

# LEGNA E CIPPATO



PRODUZIONE | REQUISITI QUALITATIVI | COMPRAVENDITA

[WWW.BIOMASSTRADECENTRES.EU](http://WWW.BIOMASSTRADECENTRES.EU)

**MANUALE PRATICO**

# **LEGNA E CIPPATO**

**PRODUZIONE | REQUISITI QUALITATIVI | COMPRAVENDITA**

**[WWW.BIOMASSTRADECENTRES.EU](http://WWW.BIOMASSTRADECENTRES.EU)**



*Al Prof. Bernardo Hellrigl*

**Autori**

Valter Francescato ed Eliseo Antonini – AIEL (Capitoli 1-2, 4-5 e allegati)  
Luca Zuccoli Bergomi – Dip. TeSAF, Università degli Studi di Padova (Capitolo 3)

**Foto**

AIEL, Dip. TeSAF, LK-Stmk

**Pubblicazione supportata da**

EIE/07/054/2007

[www.biomassradecentres.eu](http://www.biomassradecentres.eu)

**Editore**

AIEL - Associazione Italiana Energie Agroforestali  
Viale dell'Università 14 - Agripolis  
35020 Legnaro (Pd)  
Tel. +39.049.8830722  
[www.aiel.cia.it](http://www.aiel.cia.it)

**Progetto grafico**

Marco Dalla Vedova

**Stampa**

Litocenter Srl - Limena (Pd)  
Finito di stampare nel mese di marzo 2009

**Copyright © 2009 Autori**

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere fotocopiata, riprodotta, archiviata, memorizzata o trasmessa in qualsiasi forma o mezzo, elettronico, meccanico, reprografico, digitale, se non nei termini previsti dalla legge che tutela il diritto d'autore e comunque con il consenso scritto degli Autori.

La sola responsabilità del contenuto di questa pubblicazione è degli Autori.

Essa non necessariamente riflette l'opinione della Comunità Europea.

La Commissione Europea non è responsabile dell'uso che può derivare dalle informazioni in essa contenute.

# SOMMARIO

<b>PRESENTAZIONE</b>	7
<b>1. UNITÀ DI MISURA</b>	9
1.1 Volume	9
1.2 Peso	9
1.3 Rapporti peso-volume	10
1.4 Terminologia dei volumi	10
1.5 Massa volumica delle principali specie forestali	11
1.6 Massa sterica dei principali biocombustibili solidi	13
1.7 Rapporti di conversione legno-legna-cippato	13
<b>2. CONTENUTO ENERGETICO</b>	17
2.1 Unità di misura dell'energia termica	17
2.2 Energia e potenza	18
2.3 L'acqua nel legno	19
2.4 Ritiro e rigonfiamento volumetrico	20
2.5 Contenuto idrico e umidità	21
2.6 Composizione chimica	22
2.7 Potere calorifico e gestione delle ceneri	23
2.8 Calcolo analitico e valori di riferimento del potere calorifico	29
2.9 Densità energetica sterica	31
2.10 Equivalenze energetiche	32
<b>3. PRODUZIONE DI LEGNA E CIPPATO</b>	35
3.1 Fasi e sistemi di lavoro	35
3.2 Macchine ed attrezzature	36
3.3 Costi di produzione del cippato forestale	42

<b>4. REQUISITI QUALITATIVI E NORME DI RIFERIMENTO</b>	45
4.1 Specifiche tecniche per la legna e il cippato	45
4.2 Determinazione speditiva del contenuto idrico	46
4.3 Determinazione della pezzatura del cippato	48
4.4 Caratteristiche qualitative richieste dalle caldaie	49
4.5 Processi della stagionatura del legno	50
4.6 Stagionatura della legna da ardere	54
4.7 Stagionatura del cippato	58
4.8 Piattaforma biomasse logistico-commerciale	61
4.9 Sistemi di essiccazione	63
<b>5. COSTI DELL'ENERGIA, ANDAMENTI E CONFRONTI</b>	69
5.1 Andamento recente dei prezzi di alcuni combustibili fossili	70
5.2 Costi dell'energia a confronto nel medio periodo	71
5.3 Costi dell'energia utile	73
5.4 Compravendita della legna e del cippato	76
5.5 Consumi energetici ed emissioni di CO <sub>2</sub>	80
<b>ALLEGATI</b>	83
A1. Esempio di contratto per la compravendita di cippato a contenuto energetico	85
A2. Esempio di dichiarazione di qualità del cippato	89
A3. Valori limite del contenuto di metalli pesanti nella cenere destinata all'uso agronomico in Austria	90
A4. Esempio di listino prezzi per la vendita professionale della legna da ardere	91
A5. Abbreviazioni e simboli	92
A6. Prefissi del sistema internazionale	93
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	95

## PRESENTAZIONE

Questo manuale pratico è uno dei principali risultati del progetto Biomass Trade Centres, sostenuto dall'Agenzia della Commissione Europea per l'Innovazione e la Competitività (EACI) nell'ambito del programma Energia Intelligente per l'Europa. Il manuale intende contribuire ad aumentare il livello di professionalità dei produttori di legna da ardere e di cippato favorendo l'implementazione delle specifiche tecniche europee (CEN/TS 14961) e l'incontro tra domanda e offerta.

Ai produttori è richiesto di immettere sul mercato biocombustibili con caratteristiche energetiche note e confrontabili, idonee alle esigenze degli apparecchi termici a cui sono destinati. L'offerta di legna e di cippato deve andare quindi di pari passo con la loro caratterizzazione qualitativa, assicurando al cliente finale sia la garanzia di approvvigionamento che il rispetto dei requisiti qualitativi richiesti, in particolare dagli apparecchi di piccola e media taglia.

Da parte dei produttori degli apparecchi termici vi è la necessità di poter disporre sul mercato di legna e cippato che soddisfino i requisiti qualitativi sulla base dei quali le caldaie sono state costruite e certificate (rendimenti e fattori di emissione).

Infine, l'utente nel momento di scegliere tra i vari sistemi di riscaldamento, è interessato a conoscere se concretamente nel proprio territorio esistono produttori di combustibili legnosi con le adeguate caratteristiche qualitative.

L'organizzazione di una rete territoriale di piattaforme logistiche per la produzione e la commercializzazione professionale dei combustibili legnosi rappresenta un aspetto chiave per la crescita del mercato e lo stimolo per nuovi investimenti sull'intera filiera.

Un mercato con una maggiore trasparenza dei prezzi e delle condizioni di compravendita favorisce il settore ed i suoi operatori.



# 1. UNITÀ DI MISURA

## 1.1 Volume

Il **metro cubo** ( $m^3$ ) fa riferimento al volume interamente occupato dal legno. Questa unità di misura è comunemente adottata per il legname da lavoro.

Il **metro stero** (**ms**) invece, che considera i “vuoti per pieni”, è tipicamente utilizzato per i combustibili legnosi.

Il **metro stero accatastato** (**msa**) è l’unità di misura che si impiega per la legna da ardere ordinatamente accatastata.

Il **metro stero riversato** (**msr**) è l’unità di misura tipicamente impiegata per il cippato; in misura minore anche per la legna.

Per i combustibili legnosi, sia nella forma tal quale che densificata, il volume occupato varia in funzione della forma, della dimensione e della disposizione dei singoli pezzi, fattori questi che modificano il rapporto tra volume “pieno” e volume “vuoto”, ovvero il volume sterico.

## 1.2 Peso

Le unità di misura ponderali per i combustibili legnosi sono il chilogrammo e la tonnellata.

La tonnellata è un multiplo del chilogrammo ed è un’unità accettata dal Sistema Internazionale di misura (S.I.).

Il quintale (q), benchè molto in uso sia in Italia che in altri paesi europei, non fa parte del S.I. e non è più accettato.

Nella tabella seguente si riportano le unità di misura di peso e di volume comunemente impiegate per la compravendita dei combustibili legnosi.

Unità di misura			
tonnellata	chilogrammo	metro stereo accatastato	metro stereo riversato
t	kg	msa	msr
Legna da ardere Cippato Pellet e Briquettes		Legna da ardere	Cippato Legna da ardere

### 1.3 Rapporti peso-volume

Il rapporto fra il peso del combustibile legnoso e il suo volume può essere espresso con tre differenti unità di misura:

**Peso specifico:** è un valore adimensionale che deriva dal rapporto tra il peso e il volume dell'acqua (4°C) e delle sostanze legnose.

Si riferisce al peso delle sostanze legnose allo stato anidro - principalmente cellulosa, emicellulose e lignina - che compongono le pareti cellulari. Queste sostanze hanno un peso specifico di 1,5 e tale valore è identico per le diverse specie.

**Massa volumica (Mv):** si riferisce al rapporto tra il peso e il volume del corpo legnoso (corpo poroso) composto da un'insieme di sostanze e da vuoti (cavità vascolari) variamente riempiti di aria e/o di acqua. Si esprime in g/cm<sup>3</sup> e in kg/m<sup>3</sup>.

Spesso la massa volumica è indicata come peso specifico apparente oppure erroneamente anche solamente come peso specifico.

Nel caso del pellet la massa volumica è riferita al peso del singolo pezzo che deve essere superiore a 1,15 g/cm<sup>3</sup>; nella fattispecie quando rilasciato in un recipiente d'acqua esso affonda rapidamente.

**Massa volumica sterica o densità sterica (Ms):** è tipicamente impiegata per gli ammassi di combustibili legnosi tal quali (legna da ardere e cippato) che formano tra i singoli pezzi spazi vuoti più o meno ampi, in funzione della loro pezzatura e forma. Si esprime in kg/msa e kg/msr, a seconda rispettivamente che l'ammasso sia accatastato o riversato.

### 1.4 Terminologia dei volumi

Al fine di rendere uniformi e confrontabili i riferimenti delle unità di misura utilizzate nell'ambito del settore legno energia, si riportano le seguenti definizioni che corrispondono a quelle in uso in alcuni paesi europei (tabella 1.4).

**Tabella 1.4** Definizioni delle unità di misura in sei lingue

INGLESE	Simbolo	TEDESCO	Simbolo
Solid cubic meter	Solid m <sup>3</sup>	Festmeter	Fm
Bulk cubic meter	Bulk m <sup>3</sup>	Schüttraummeter	Srm
Stacked cubic meter	Stacked m <sup>3</sup>	Schichtraummeter	rm
ITALIANO	Simbolo	SLOVENO	Simbolo
Metro cubo	m <sup>3</sup>	Kubični meter	m <sup>3</sup>
Metro stero riversato	msr	Prostrni meter	prm
Metro stero accatastato	msa	Nasut kubični meter	Nm <sup>3</sup>
FRANCESE	Simbolo	POLACCO	Simbolo
Mètre cube de bois plein	m <sup>3</sup>	metr sześcienny	m <sup>3</sup>
Mètre cube apparent plaquette	MAP	metr nasypowy	mn
Stère	stère	metr przestrzenny	mp



## 1.5 Massa volumica delle principali specie forestali

**Tabella 1.5.1** CONIFERE - valori medi con contenuto idrico (M) 13%<sup>[1]</sup>

SPECIE	kg/m <sup>3</sup>	SPECIE	kg/m <sup>3</sup>
Abete rosso	450	Cipresso	600
Abete bianco	470	Pino domestico	620
Pino cembro	500	Larice	660
Douglasia	510	Pino marittimo	680
Pino silvestre	550	Tasso	700
Pino nero	560	Pino d'aleppo	810

**Tabella 1.5.2 LATIFOGLIE – valori medi con contenuto idrico (M) 13%<sup>[1]</sup>**

SPECIE	kg/m <sup>3</sup>	SPECIE	kg/m <sup>3</sup>
Salici	450	Bagolaro	720
Pioppo bianco	480	Frassino maggiore	720
Pioppo nero	500	Orniello	720
Ontano bianco	520	Maggiociondolo	730
Ontano napoletano	550	Acero campestre	740
Ontano nero	560	Faggio	750
Castagno	580	Rovere	760
Ciliegio	600	Robinia	760
Olmo	620	Farnia	770
Sambuco	620	Sorbi	770
Betulla	650	Carpino bianco	800
Tiglio	650	Carpino nero	820
Nocciolo	670	Cerro	900
Acero montano e riccio	670	Olivo	920
Platano	670	Leccio	940
Noce	700	Corniolo	980

**Tabella 1.5.3 Massa volumica media del legno allo stato anidro (ÖNORM\* B 3012)**

	Specie (legno anidro M=0)	kg/m <sup>3</sup>
Conifere	Pino nero	560
	Larice	550
	Pino silvestre	510
	Douglasia	470
	Abete rosso	430
	Abete bianco	410
	Pino cembro	400
Latifoglie	Carpino bianco	750
	Cerro	740
	Robinia	730
	Faggio	680
	Quercia	670
	Frassino	670
	Olmo	640
	Betulla	640
	Acero	590
	Nocciolo	560
	Tiglio	520
	Salice	520
	Ontano	490
	Tremolo	450
	Pioppo	410

\* ÖNORM: Istituto austriaco di Normazione - Österreichisches Normungsinstitut

## 1.6 Massa sterica dei principali biocombustibili solidi<sup>[2]</sup>

Tabella 1.6

Combustibili legnosi	M %	specie	Massa sterica (kg/ms)
Legna da ardere (33 cm in catasta)	15	faggio	445
		abete	304
Cippato	30	faggio	328
		abete	223
Corteccia di conifere	15		180
Segatura			160
Truciolini di pialla			90
Pellet	8		620-650
Combustibili di origine agricola			
Balle parallelepipedo	15	miscanto	140
Triturato		miscanto	110
Granella		triticale	750

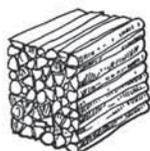
## 1.7 Rapporti di conversione legno-legna-cippato

La tabella 1.7.1 riporta i fattori orientativi di conversione tra i più comuni assortimenti da energia riportati in allegato alle norme austriache ÖNORM M7132 e M7133<sup>[3]</sup>.

Tabella 1.7.1 Rapporti di conversione legno-legna-cippato

Assortimento	Legno tondo	Spacconi	Legna spaccata corta		Cippato	
			accatastata	riversata	fino (G30)	medio (G50)
	m <sup>3</sup>	msa	msa	msr	msr	msr
1 m <sup>3</sup> tondo	1	1,4	1,2	2,0	2,5	3,0
1 msa spacconi 1 m	0,7	1	0,8	1,4	(1,75)	(2,1)
1 msa legna spaccata corta	0,85	1,2	1	1,7		
1 msr legna spaccata corta	0,5	0,7	0,6	1		
1 msr cippato di bosco fino (G30)	0,4	(0,55)			1	1,2
1 msr cippato di bosco medio (G50)	0,33	(0,5)			0,8	1

Nota: una tonnellata di cippato G30 con M 35% corrisponde a circa 4 msr di cippato di abete rosso e a circa 3 msr di cippato di faggio.



1 m<sup>3</sup> tondo ≈ 1,4 msa spacconi ≈ 2 msr legna ≈ 3 msr cippato (G50)

**Fattori di conversione dei principali sottoprodotti della prima lavorazione del legno<sup>[3]</sup>**

1 msr di sciaveri legati in fasci	= 0,65 m <sup>3</sup>	di legno tondo
1 msr di cippato di segheria G50	= 0,33 m <sup>3</sup>	
1 msr di segatura fine (≤5mm)	= 0,33 m <sup>3</sup>	
1 msr di trucioli di pialla	= 0,20 m <sup>3</sup>	
1 msr di corteccia tal quale	= 0,30 m <sup>3</sup>	

**Tabella 1.7.2 Fattori di conversione per la legna da ardere (con corteccia)<sup>[2]</sup>**

Specie	legno tondo (m <sup>3</sup> )	stanghe accatastate (msa)	spacconi 1 m accatastati (msa)	legna 33 cm accatastata (msa)	legna 33 cm riversata (msr)
Con rif. a 1 m <sup>3</sup> tondo con corteccia					
Faggio	1,00	1,70	1,98	1,61	2,38
Abete rosso		1,55	1,80	1,55	2,52
Con rif. a 1 ms stanghe accatastate					
Faggio	0,59	1,00	1,17	0,95	1,40
Abete rosso	0,65		1,16	1,00	1,63
Con rif. a 1 ms spacconi 1 m accatastati					
Faggio	0,50	0,86	1,00	0,81	1,20
Abete rosso	0,56	0,86		0,86	1,40
Con rif. a 1 ms legna 33 cm accatastata					
Faggio	0,62	1,05	1,23	1,00	1,48
Abete rosso	0,64	1,00	1,16		1,62
Con rif. a 1 msr legna 33 cm riversata					
Faggio	0,42	0,71	0,83	0,68	1,00
Abete rosso	0,40	0,62	0,72	0,62	



**Tabella 1.7.3** Masse volumiche e steriche di alcune specie forestali<sup>[2]</sup>

Cont. idrico M %	Faggio			Quercia			Abete rosso			Pino		
	m <sup>3</sup>	Lsp ms	Cip msr	m <sup>3</sup>	Lsp ms	Cip msr	m <sup>3</sup>	Lsp ms	Cip msr	m <sup>3</sup>	Lsp ms	Cip msr
masse volumiche e steriche in kg <sup>*</sup>												
0	680	422	280	660	410	272	430	277	177	490	316	202
10	704	437	290	687	427	283	457	295	188	514	332	212
15	716	445	295	702	436	289	<b>472</b>	304	<b>194</b>	527	340	217
20	730	453	300	724	450	298	488	315	201	541	349	223
30	798	495	328	828	514	341	541	349	223	615	397	253
40	930	578	383	966	600	397	631	407	260	718	463	295
50	1117	694	454	1159	720	477	758	489	312	861	556	354

È stata impiegata l'equivalenza 1m<sup>3</sup> tondo=2,43 msr di cippato (cv=0,41 m<sup>3</sup>/msr).

Abbreviazioni - Lsp: legna spaccata (33 cm, accatastata); Cip: cippato.

\* Nell'intervallo di contenuto idrico (M) 0-23%, i valori sono stati calcolati a partire dalle masse volumiche anidre di tabella 1.5.3. Le masse volumiche e steriche (con acqua) di volta in volta calcolate sono state corrette impiegando i seguenti fattori di rigonfiamento volumetrico: faggio 21,8%, quercia 13,9%, abete rosso 13,5%, pino 13,8%, assumendo un andamento lineare della variazione del volume nell'intervallo di contenuto idrico considerato.

### Esempio 1.7.1 – Calcolo analitico della massa sterica nell'intervallo M 0-23%

In riferimento alla nota (1) della tabella 1.7.3, per una migliore comprensione del calcolo delle masse volumiche e steriche nell'intervallo M 0-23%, si riporta un esempio di calcolo della massa sterica del cippato di abete rosso con M 15%.

#### Parametri di partenza

Massa volumica anidra (tabella 1.5.3) = 430 kg/m<sup>3</sup>

Fattore di rigonfiamento vol. = 13,5% (cap. 2.4)

Coefficiente volumetrico (cv) = 0,41 m<sup>3</sup>/msr

Contenuto idrico (M) 15% → umidità (u) = 17,65% (cap. 2.5)

#### Calcolo della massa volumica con M 15%

$Mv_{15} = 430 \text{ kg/m}^3 \times [1 + (17,65:100)] = 430 \times 1,1765 = 506 \text{ kg/m}^3$

#### Calcolo del fattore di correzione volumetrico (rigonfiamento volumetrico)

$Fcv = 1 + [(13,5:100):30] \times 17,65 = 1,07$

#### Calcolo della massa volumica (con acqua) corretta

$Mv_{15 \text{ corr}} = Mv_{15} : Fv = 506 : 1,07 = 472 \text{ kg/m}^3$

#### Calcolo della massa sterica del cippato con M 15%

$msr_{15} = 472 \text{ kg/m}^3 / 2,43 = 194 \text{ kg/msr}$

### Esempio 1.7.2 – Determinazione della massa sterica di un carico di cippato per campionamento

a) utilizzare un contenitore di volume noto (es. 13 litri) e una bilancia.

b) prelevare un campione rappresentativo dal rimorchio – es. 3 secchi da un rimorchio di 40 m<sup>3</sup> (cfr. UNI CEN/TS 14778-1) – riempire completamente il secchio senza compattare il cippato

c) pesare i campioni e dividere il valore medio (kg) per il volume noto (l)  
– es. (3,25 kg x 1.000 l) : 13 l = 250 kg/msr



## 2. CONTENUTO ENERGETICO

### 2.1 Unità di misura dell'energia termica

Ogni combustibile possiede una determinata quantità di energia definita **energia primaria** che con la combustione si trasforma in energia utile per gli scopi desiderati (riscaldamento, acqua calda sanitaria, calore di processo).

Le unità di misura derivate dal Sistema Internazionale (S.I.) da impiegare sono il Joule (J), il Watt (W) e loro multipli.

Le più comunemente impiegate sono le seguenti:

MJ/kg	MJ/ms	kWh/kg	kWh/ms	MWh/t
-------	-------	--------	--------	-------

**Tabella 2.1.1** Equivalenze tra unità di misura di energia termica

	<b>kJ</b>	<b>kcal*</b>	<b>kWh</b>	<b>tep</b>
1 kJ	1	0,239	$0,278 \times 10^{-3}$	$23,88 \times 10^{-9}$
1 kcal <sup>(*)</sup>	4,1868	1	$1,163 \times 10^{-3}$	$0,1 \times 10^{-6}$
1 kWh	3.600	860	1	$86 \times 10^{-6}$
1 tep	$41,87 \times 10^6$	$10 \times 10^6$	$11,63 \times 10^3$	1

\* Le calorie (cal) non fanno parte del S.I. delle unità di misura

#### Conversioni più comuni

1 kWh	= 860 kcal	= 3.600 kJ (3,6 MJ)
1 MJ	= 239 kcal	= 0,278 kWh
1 kcal	= 4,19 kJ	= 0,00116 kWh
1 tep	= 41,87 GJ	= 11,63 MWh

**Tonnellata equivalente di petrolio (tep)** è un'unità di misura convenzionale utilizzata a scopi statistico-comparativi che esprime il contenuto di energia di una tonnellata di petrolio greggio.

## 2.2 Energia e potenza

L'energia termica è quella forma di energia che è associata al movimento di agitazione molecolare. Essa può essere considerata come la somma di tutte le energie cinetiche delle singole molecole. L'energia termica non è sinonimo di calore con il quale si intende invece la quantità di energia termica trasferita da un sistema ad un altro.

### Unità di misura dell'energia

1 Joule =	1 Newton x 1 metro =	1 Watt x secondo (Ws)
-----------	----------------------	-----------------------

**Tabella 2.2.1** Corrispondenze tra quantità usuali di energia termica

	kWh	MWh	GWh	TWh	TJ	PJ	tep
1 kWh	1	1x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-6</sup>	1x10 <sup>-9</sup>	3,6x10 <sup>-6</sup>	3,6x10 <sup>-9</sup>	86x10 <sup>-6</sup>
1 MWh	1x10 <sup>3</sup>	1	1x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-6</sup>	3,6x10 <sup>-3</sup>	3,6x10 <sup>-6</sup>	86x10 <sup>-3</sup>
1 GWh	1x10 <sup>6</sup>	1x10 <sup>3</sup>	1	1x10 <sup>-3</sup>	3,6	3,6x10 <sup>-3</sup>	86
1 TWh	1x10 <sup>9</sup>	1x10 <sup>6</sup>	1x10 <sup>3</sup>	1	3,6x10 <sup>3</sup>	3,6	86x10 <sup>3</sup>
1 TJ	278x10 <sup>3</sup>	278	278x10 <sup>-3</sup>	278x10 <sup>-6</sup>	1	1x10 <sup>-3</sup>	23,9
1 PJ	278x10 <sup>6</sup>	278x10 <sup>3</sup>	278	278x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>3</sup>	1	23,9x10 <sup>3</sup>
1 tep	11,6x10 <sup>3</sup>	11,6	11,6x10 <sup>-3</sup>	11,6x10 <sup>-6</sup>	41,87x10 <sup>-3</sup>	41,87x10 <sup>-6</sup>	1

La **potenza termica (Q)** è il rapporto tra l'energia termica prodotta ed il tempo impiegato a produrla. Esprime la quantità di calore utile ceduto al vettore termico.

Unità di misura della potenza  $Watt = \frac{Joule}{secondo}$

La **potenza al focolare (Q<sub>B</sub>)** esprime la potenza erogata dal combustibile al focolare della caldaia.

La **potenza nominale (Q<sub>N</sub>)** esprime la quantità massima di energia termica prodotta dalla caldaia in modo continuo dalla combustione nell'unità di tempo.

Il **rendimento della caldaia (η<sub>k</sub>)** esprime il rapporto tra la potenza termica utile (Q) e la potenza al focolare (Q<sub>B</sub>).

La potenza di una caldaia si esprime solitamente in kW, tuttavia sono ancora impropriamente utilizzate le kcal. Per trasformare le kcal in Watt, unità di misura del Sistema Internazionale, si usa la seguente relazione:

1 kcal	=	1,163 W	1 kW	=	860 kcal
--------	---	---------	------	---	----------

Una caldaia da 100.000 kcal corrisponde a 116.280 W [= 116 kW]

### Esempio 2.2.1 – Calcolo dell'energia erogata

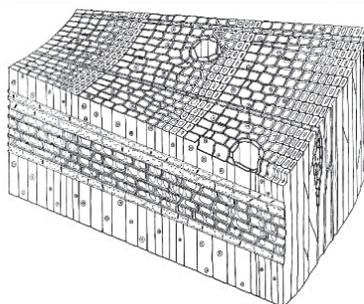
Una caldaia da 100 kW che funziona a pieno regime per 1.000 ore/anno produce una quantità di energia lorda pari a  $100 \text{ kW} \times 1.000 \text{ h} = 100.000 \text{ kWh} = 100 \text{ MWh}$

## 2.3 L'acqua nel legno

Il legno normalmente non si trova mai allo stato anidro, ma ha un contenuto idrico (M) variabile, a seconda della lunghezza del periodo di stagionatura all'aria, tra il 60 e il 15%. Il legno è quindi un materiale poroso e igroscopico che, per la sua struttura chimico-istologica, presenta una doppia porosità:

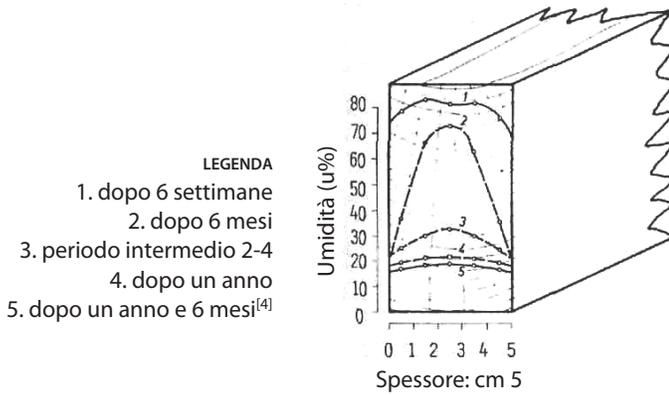
- :: **macroporosità**, costituita dalle cavità dei vasi conduttori e dalle cellule parenchimatichiche che contengono acqua libera o di imbibizione;
- :: **microporosità** della sostanza legnosa vera e propria (principalmente cellulosa, emicellulose e lignina) che contiene sempre una certa quantità di acqua legata o di saturazione.

**Figura 2.3.1** Rappresentazione tridimensionale della struttura di un legno di conifera<sup>[1]</sup>



Dal momento in cui l'albero è tagliato il legno inizia a perdere acqua. Dapprima evapora l'acqua di imbibizione a partire dalle parti più esterne del tronco (alburno) fino ad interessare, più tardi, quelle più interne (durame). Nel legno stagionato ad un certo punto l'acqua libera evapora completamente mentre quella di saturazione raggiunge un equilibrio dinamico con l'umidità dell'ambiente esterno, attestandosi a valori inferiori al 20% (u). Come mostra la figura 2.3.2 la perdita d'acqua all'interno del legno non è uniforme.

**Figura 2.3.2** Variazione nel tempo, in senso radiale, dell'umidità (u) in una tavola di faggio

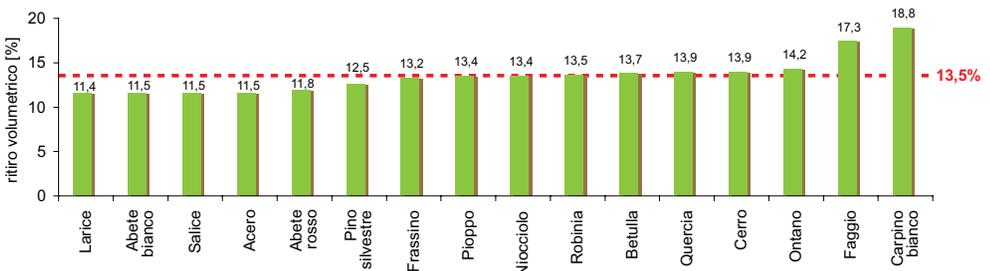


## 2.4 Ritiro e rigonfiamento volumetrico

Nel corso della fase di stagionatura della legna da ardere e del cippato, fino ad un contenuto idrico del 23% ( $u < 30\%$ , punto di saturazione delle fibre) non si manifestano riduzioni del volume dei singoli pezzi e degli ammassi. Fino a quel punto il legno ha perso solo l'acqua libera (imbibizione). Successivamente, quando invece il legno inizia a perdere anche l'acqua legata (saturazione) si manifesta una riduzione del suo volume (ritiro,  $\beta_v$ ) che varia a seconda della specie e che mediamente è del 13,5% (figura 2.4.1). Al contrario, se l'acqua di saturazione aumenta il legno si rigonfia ( $\alpha_v$ )\*.

Il ritiro dei singoli pezzi di un ammasso - catasta di legna o mucchio di cippato - comporta una diminuzione del suo volume più o meno sempre inferiore a quello calcolabile per i singoli pezzi<sup>[5]</sup>.

**Figura 2.4.1** Ritiro volumetrico di alcune specie<sup>[3]</sup>



\* Ritiro e rigonfiamento sono legati dalle seguenti relazioni  $\beta_v = (100 \times \alpha_v) : (100 + \alpha_v)$ ;  $\alpha_v = (100 \times \beta_v) : (100 - \beta_v)$

Da un punto di vista applicativo, le variazioni di volume (ritiro/rigonfiamento) rilevabili nell'intervallo M 0-23% (campo igroscopico) devono essere prese in considerazione per il corretto calcolo delle masse volumiche e steriche (con acqua) e quindi della densità energetica dei combustibili tal quali (tabelle 1.7.3 e 2.9.1, esempio 1.7.1).

## 2.5 Contenuto idrico e umidità

Il tenore idrico del legno è espresso in termini percentuali secondo le due formule seguenti:

### Umidità del legno (anidro) → u (%)

Esprime la massa di acqua presente in rapporto alla massa di legno anidro.

$$u = \frac{Pu - P0}{P0} \times 100$$

### Contenuto idrico del legno → M (%) o w (%)\*

Esprime la massa di acqua presente in rapporto alla massa di legno fresco e rappresenta la misura impiegata nella compravendita dei combustibili legnosi.

$$M = \frac{Pu - P0}{Pu} \times 100$$

in cui:

Pu= peso del legno umido

P0= peso del legno anidro

### Formule di conversione

Le due formule seguenti consentono di calcolare u a partire da M e viceversa.

$$u = \frac{100 \times M}{100 - M} \qquad M = \frac{100 \times u}{100 + u}$$

M %	15	20	25	30	35	40	45	50	60
u %	18	25	33	43	54	67	82	100	150
u %	15	20	30	40	50	65	80	100	150
M %	13	16	23	28	33	39	44	50	60

Supponendo che la massa del legno fresco appena tagliato sia costituita per metà di acqua e per l'altra metà di sostanza legnosa, si ha che il contenuto idrico del legno (M) è pari al 50% mentre l'umidità del legno (u) è del 100%.

\* M (=moisture) o w (= Wassergehalt).

## 2.6 Composizione chimica

Le biomasse vegetali sono costituite essenzialmente da carbonio (C), ossigeno (O) e idrogeno (H). La componente del biocombustibile solido, attraverso la cui ossidazione è liberato il suo contenuto energetico, è il carbonio. Accanto a questo l'idrogeno apporta al processo di ossidazione un'ulteriore quantità di energia che, assieme a quella del carbonio, determina il potere calorifico inferiore del combustibile. L'ossigeno invece sostiene solamente l'andamento del processo di ossidazione (tabella 2.6.1).

**Tabella 2.6.1** Composizione chimica dei biocombustibili solidi e di alcuni combustibili fossili<sup>[2]</sup>

	C	H	O	N	K	S	Cl
	in % sulla sostanza secca (ss)						
Faggio (con corteccia)	47,9	6,2	43,3	0,22	0,22	0,015	0,006
Pioppo SRC	47,5	6,2	44,1	0,42	0,35	0,031	0,004
Salice SRC	47,1	6,1	44,2	0,54	0,26	0,045	0,004
Corteccia di conifere	51,4	5,7	38,7	0,48	0,24	0,085	0,019
Miscanto	47,5	6,2	41,7	0,73	0,7	0,150	0,220
Paglia di frumento	45,6	5,8	42,4	0,48	1,0	0,082	0,190
Granella di triticale	43,5	6,4	46,4	1,68	0,6	0,11	0,07
Pannello di colza	51,5	7,38	30,1	4,97	1,60	0,55	0,019
<i>Per confronto, combustibili fossili</i>							
Carbone	72,5	5,6	11,0	1,30	-	0,940	< 0,1
Lignite	65,9	4,6	23,0	0,70	-	0,390	< 0,1
Gasolio	85-86	11-13	1-4	-	-	-	-
Metano	75	25	-	-	-	-	-

### Effetti della composizione sulla combustione e sulle emissioni

Gli elementi che hanno un effetto diretto sul livello di emissioni nocive prodotte dalla combustione sono: lo zolfo (S), l'azoto (N), il cloro (Cl) e il contenuto di cenere. Per questi elementi vale in generale la regola che un loro maggior contenuto nel combustibile comporta una più marcata presenza nelle emissioni in atmosfera.

Nei biocombustibili legnosi il contenuto di azoto è relativamente basso, mentre nei cereali, specie quando si includono anche gli organi riproduttivi (granella), e soprattutto nelle oleaginose (panello di colza), il livello di **azoto** è molto più elevato e ciò influisce direttamente sulla formazione di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) che in combustione assumono la forma di gas e non rimangono nelle ceneri.

Il **potassio** (K) – maggiormente presente nei biocombustibili agricoli – abbassa il punto di fusione delle ceneri favorendo la formazione nel braciere di scorie che causano notevoli disturbi al processo di combustione. Inoltre, il potassio, in seguito alla combustione, è liberato in forma

di particelle fini e rappresenta uno degli elementi più abbondanti del particolato.

Nei combustibili legnosi, rispetto ai combustibili fossili carboniosi, il contenuto di zolfo (S) è molto inferiore; la maggior parte dello zolfo rimane generalmente nelle ceneri (40-90%), il resto va a formare  $SO_2$  volatili.

I combustibili legnosi sono caratterizzati da un contenuto di cloro (Cl) piuttosto basso, mentre, ad esempio, nelle paglie di cereali e nel miscanto è nettamente più elevato. Il Cl partecipa alla formazione di composti quali l'HCl e le diossine/furani. Nonostante la parte prevalente di Cl vada nelle ceneri (40-95%), la formazione di HCl, favorito dalle condense, assieme ad altri composti, può dar luogo ad effetti corrosivi significativi delle parti metalliche della caldaia e della canna fumaria.

## 2.7 Potere calorifico e gestione delle ceneri

Il potere calorifico di un combustibile esprime la quantità di energia che può essere ricavata dalla combustione completa di un'unità di peso.

Il contenuto idrico del legno modifica – riducendolo – il potere calorifico del legno.

Parte dell'energia liberata nel processo di combustione è infatti spesa per l'evaporazione dell'acqua e quindi non è disponibile per l'uso termico desiderato.

L'evaporazione dell'acqua «consuma» 2,44 MJ ogni kg di acqua, pertanto si distinguono:

**potere calorifico inferiore:** l'acqua liberata è considerata allo stato di vapore, ovvero è stata sottratta l'energia termica necessaria all'evaporazione dell'acqua (calore latente di vaporizzazione dell'acqua a 25°C);

**potere calorifico superiore:** nel prodotto della combustione si considera l'acqua allo stato liquido.

Quando non precisato, per "potere calorifico" si intende il potere calorifico inferiore.

Il **potere calorifico anidro ( $pc_0$ )** del legno delle diverse specie legnose varia molto poco, tra 18,5 e 19 MJ/kg. Nelle conifere è di circa il 2% superiore a quello delle latifoglie. La differenza è dovuta in particolare al maggiore contenuto di lignina delle conifere e in parte anche al maggior contenuto di resine, cere ed oli. Il potere calorifico (anidro) della lignina (26-27 MJ/kg) è superiore rispetto a quello della cellulosa (17,2-17,5 MJ/kg) e delle emicellulose (16 MJ/kg). Una certa variabilità del  $pc_0$  è dovuta anche alla lieve variazione del contenuto di idrogeno (H) e da quella più marcata del contenuto di ceneri.

Considerando anche i biocombustibili agricoli, l'intervallo di variazione del  $pc_0$  varia invece tra 16,5 e 19 MJ/kg. I combustibili legnosi hanno un  $pc_0$  mediamente superiore del 9% rispetto alle erbacee il cui  $pc_0$  varia tra 16,5 e 17,5 MJ/kg<sup>[2]</sup>.

**Tabella 2.7.1** Potere calorifico, contenuto di ceneri e loro punto di fusione in alcuni biocombustibili solidi<sup>[2, 6, 7]</sup>

	pc <sub>0</sub> MJ/kg	Ceneri (% ss)	Punto di fusione delle ceneri (°C)
Abete rosso (con corteccia)	18,8	0,6	1.426
Faggio (con corteccia)	18,4	0,5	1.340
Pioppo (SRC)	18,5	1,8	1.335
Salice (SRC)	18,4	2,0	1.283
Corteccia di conifere	19,2	3,8	1.440
Legno di vite (cippato)	19,8	3,4	1.450
Miscanto	17,6	3,9	973
Paglia di frumento	17,2	5,7	998
Granella di triticale	16,9	2,1	730
Panello di colza	21,2	6,2	-

### Contenuto di cenere e punto di fusione

Tra i biocombustibili solidi il legno, esclusa la corteccia, è quello che presenta il minor contenuto di cenere, mentre i biocombustibili agricoli sono caratterizzati tipicamente da valori elevati.

Durante la combustione, sul letto di braci, si hanno delle modificazioni fisiche delle ceneri; con l'aumento della temperatura esse prima rammolliscono fino a giungere alla completa fusione delle particelle. L'uso di combustibili con basse temperature di fusione delle ceneri aumenta il rischio di formazione di scorie di fusione sulla griglia. Le scorie di fusione disturbano il processo di combustione alterando i flussi di aria primaria e favorendo il surriscaldamento della griglia e i fenomeni corrosivi.

Le problematiche legate alla formazione delle scorie possono essere gestite e risolte agendo ad esempio sul raffreddamento della griglia, sul ricircolo dei fumi, inserendo sistemi meccanici di pulizia automatica (griglie autopulenti) o - nel caso dei cereali - con l'uso di additivi a base di calcio\*.

Il legno e la corteccia hanno un punto di fusione relativamente elevato (1.300-1.400°C) mentre nelle erbacee è inferiore ai 1.000°C, perciò possono formarsi facilmente scorie durante la combustione. Nel caso dei cereali (granella) il punto di fusione è inferiore ai 750°C, risultando così particolarmente critico (tabella 2.7.1).

Per i motivi sopra elencati, i biocombustibili agricoli presentano maggiori criticità rispetto al legno e devono essere impiegati solo in specifici apparecchi di combustione.

\* Ca e Mg normalmente aumentano la temperatura di fusione delle ceneri.

### Caratterizzazione e riferimenti normativi per la gestione delle ceneri

Le ceneri si distinguono in:

#### **Ceneri pesanti o sottogriglia** (*bottom ash*)

È la frazione più consistente delle ceneri che si accumulano al di sotto della griglia della caldaia e sono convogliate in un serbatoio di accumulo.

La loro massa volumica è di 1,3 t/m<sup>3</sup>.

#### **Ceneri fini o volanti** (*fly ash*)

Sono le ceneri che derivano dalla pulizia dei fumi e si possono a loro volta distinguere in:

- ceneri leggere da multiciclone;
- ceneri fini da elettrofiltro, filtro a manica e filtro a condensazione.

La massa volumica è 0,8-0,9 t/m<sup>3</sup>.



### Composizione chimica delle ceneri

I componenti che più hanno un impatto ambientale (piombo, cadmio e zinco) sono quelli relativamente più volatili che si accumulano prevalentemente nelle ceneri fini (tabella 2.7.2).

**Tabella 2.7.2 Valori medi di alcuni biocombustibili**<sup>[6, 9, 10]</sup>

Parametri	u.m.	ceneri di corteccia	ceneri di cippato	ceneri di segatura	ceneri di paglia	
pH	CaCl <sub>2</sub>	12,7	12,8	12,5	11,2	
C <sub>org</sub>	% ss	0,8	1,3	5,9	5,2	
CO <sub>2</sub>		4	7,2	12,5	1	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		1,7	3,6	2,5	2,7	
K <sub>2</sub> O		5,1	6,7	7,1	11,5	
CaO		42,2	44,7	35,5	7,4	
MgO		6,5	4,8	5,7	3,8	
Na <sub>2</sub> O		0,8	0,6	0,5	0,3	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		7,1	4,6	2,3	1,2	
SiO <sub>2</sub>		26,0	25,0	25,0	54,0	
SO <sub>3</sub>		0,6	1,9	2,4	1,2	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3,5	2,3	3,7	1	
MnO		1,5	1,7	2,6	0,1	
Cu		mg/kg <sub>ss</sub>	87,8	126,8	177,8	23,2
Zn			618,6	375,7	1429,8	234,6
Co	23,9		15,3	16,7	1,5	
Mo	4,8		1,7	3,4	7,1	
As	11,4		8,2	7,8	5,4	
Ni	94,1		61,5	71,9	3,9	
Cr	132,6		54,1	137,2	12,3	
Pb	25,3		25,4	35,6	7,7	
Cd	3,9		4,8	16,8	0,7	
V	58,4		42,0	26,7	5,5	

### Riferimenti normativi per la gestione

La gestione delle ceneri da biomassa è disciplinata dalla parte IV del D.lgs. n. 152/2006 (Norme in materia ambientale) che le classifica come "rifiuti speciali non pericolosi" nella categoria rifiuti inorganici provenienti da processi termici.

Il codice CER [10.00.00] è distinto in:

ceneri pesanti [10.01.01]

ceneri leggere [10.01.03]

Possono essere impiegate solamente le ceneri di legna non trattata con vernici o solventi o prodotti chimici in generale. Il concetto di “rifiuto speciale non pericoloso” introduce la possibilità di sottoporre tali materiali a procedure semplificate.

L’attuale orientamento sia della legislazione comunitaria che nazionale nella gestione dei rifiuti prevede, laddove possibile, il recupero di materia ed energia ed impone il conferimento solo come ultima scelta.

Se classifichiamo la cenere non come rifiuto ma come “sottoprodotto”, possiamo considerare di escludere la necessità/obbligo di avviarla allo smaltimento.

### Recupero del sottoprodotto

Le possibilità di recupero sono indicate nell’All. 1 e successive modifiche introdotte dal D.M. 186/2006, denominato «Recupero di materia con procedura semplificata» qui di seguito riportate:

- a) produzione di conglomerati cementizi, utilizzo in cementifici o industria dei laterizi (13.2);
- b) Produzione di compost (16.1);
- c) Produzione di fertilizzanti: essi devono, essere conformi alla L. 19 ottobre 1984, n. 748 (18.1);
- d) Recupero ambientali. Il recupero è subordinato all’esecuzione di test di cessione del rifiuto, secondo il modello e le modalità descritte in allegato al D.M. medesimo.

Un ulteriore riferimento normativo per il riutilizzo delle ceneri è il D.lgs. 220/95 che ha recepito il reg. CEE 2092/91 sull’utilizzo di “prodotti per la concimazione e l’ammendamento impiegabili in agricoltura biologica”, il quale indica tra questi l’uso di cenere di legno vergine.

### Uso agronomico

Le ceneri possono essere considerate dal punto di vista agronomico:

1. **concime**: per rimettere in circolo elementi asportati dal suolo;
2. **correttivo-ammendante**: per innalzare il pH del suolo, dovuto alla presenza di metalli alcalino-terrosi insolubili o poco solubili (Ca e Mg) e metalli alcalini solubili (Na e K) sotto forma di ossidi, idrossidi e carbonati.

Con riferimento all’asportazione di fosforo di alcune delle principali colture coltivate in Italia, nell’ambito del progetto BIOCEN<sup>[11]</sup> sono stati suggeriti apporti compresi tra 200 e 3.100 kg/ha/anno.

Nel caso di piccoli impianti domestici (a legna, cippato e pellet), è buona pratica spargere

le ceneri nell'orto e nel giardino di casa, oppure devono essere conferite nel contenitore del verde della raccolta differenziata.

### Uso delle ceneri in AUSTRIA

A livello federale nel 1996 sono state predisposte delle raccomandazioni per l'uso delle ceneri a scopo agronomico che stabiliscono dei limiti per ciascun elemento che le compone (tabella 2.7.3). La miscela di ceneri utilizzabile è quella derivante dalla miscelazione delle ceneri sottogriglia e quella del primo precipitatore (ciclone o camera di separazione). Quelle derivanti da impianti di filtrazione più selettiva (elettrofiltri, filtri a manica) non possono essere miscelate e nemmeno utilizzate.

Prima dell'uso delle ceneri, devono essere effettuate analisi chimico-fisiche su un numero minimo di parametri e sono previste periodicità diverse a seconda della potenza dell'impianto: sopra i 5 MW ogni anno, da 2 a 5 MW ogni due anni e sotto i 2 MW ogni tre anni.

**Tabella 2.7.3** Quantitativi massimi indicativi impiegabili per diversi usi del suolo

1.000 kg/ha/anno	superfici agricole
750 kg/ha/anno	prati e pascoli
2.000 kg/ha ogni 30 anni	bosco*
3.000 kg/ha ogni 50 anni	

\* I quantitativi ammessi sono stati calcolati sulla base della quantità di cadmio, che rappresenta quindi il principale fattore limitante l'impiego.

Per le aree agricole e i prati-pascoli, le raccomandazioni fissano un limite massimo del contenuto di metalli pesanti che non possono essere superati nel caso di uso agronomico delle ceneri (Allegato 3). Pertanto il quantitativo massimo spandibile dipende in modo specifico dalla composizione delle ceneri. Da parte del soggetto che effettua lo spargimento, vi è l'obbligo di mantenere un registro dettagliato delle operazioni effettuate (quantità e modalità di spargimento, analisi chimico-fisiche delle ceneri, superfici percorse, ecc.).

A titolo conoscitivo, si riportano di seguito i risultati di un programma di monitoraggio condotto in Austria sulla composizione delle ceneri da cippato con corteccia e segatura, prodotte da circa 20 impianti di varie dimensioni, allo scopo di fare un raffronto tra le composizioni delle tre tipologie di ceneri prodotte e i limiti di legge per l'uso in foresta<sup>[9]</sup>.

**Tabella 2.7.4** Valori medi espressi in mg/kg s.s.

	ceneri sottogriglia	ceneri fini dal ciclone	ceneri fini dal condensatore	limite di legge*
Cu	164,6	143,1	389,2	250
Zn	432,5	1.870,4	12.980,7	1.500
Co	21	19	17,5	100
Mo	2,8	4,2	13,2	20
As	4,1	6,7	37,4	20
Ni	66	59,6	63,4	100
Cr	325,5	158,4	231,3	250
Pb	13,6	57,6	1 053,3	100
Cd	1,2	21,6	80,7	8
V	43	40,5	23,6	100
Hg	0,01	0,04	1,47	--

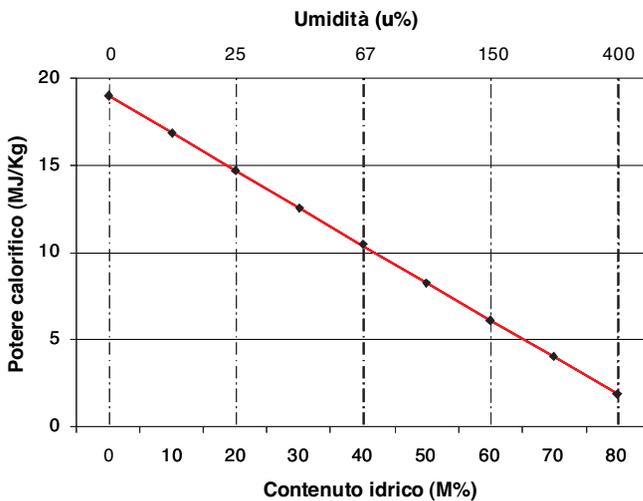
\* Ministero austriaco per l'Agricoltura, Foreste, Ambiente e Acqua: linee guida per l'uso delle ceneri in foresta.

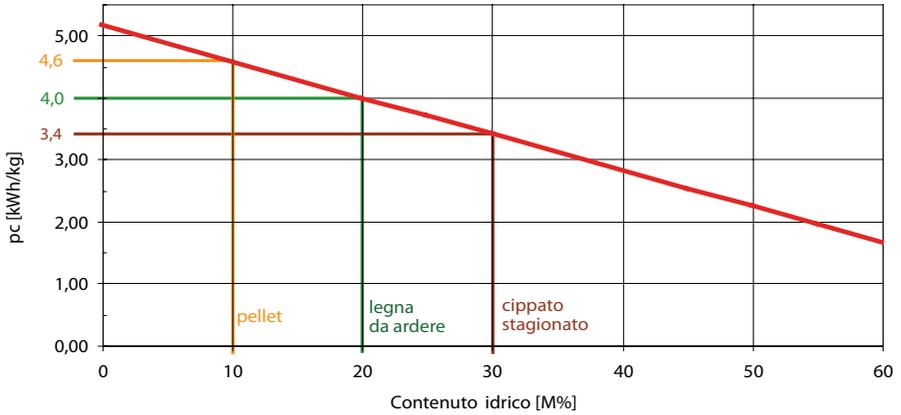
## 2.8 Calcolo analitico e valori di riferimento del potere calorifico

La formula per il calcolo del potere calorifico del legno (MJ/kg) con un dato contenuto idrico (M%) è la seguente<sup>[2]</sup>:

$$pc_M = \frac{pc_0 \times (100 - M) - 2,44 \times M}{100}$$

**Figura 2.8.1** Variazione del pc (pc<sub>0</sub>=19 MJ/kg) in funzione di M ed u<sup>[5]</sup>



**Figura 2.8.2** Variazione del pc (con  $pc_0 = 5,14 \text{ kWh/kg}$ ) in funzione di M

Nel corso della stagionatura, la diminuzione del contenuto idrico del 10% comporta un aumento del contenuto energetico di circa 0,6 kWh/kg (2,16 MJ/kg).

**Tabella 2.8.1** Variazione del pc in funzione di M ( $pc_0 = 18,5 \text{ MJ/kg}$ )

M (%)	MWh/t	GJ/t	M (%)	MWh/t	GJ/t
15	4,27	15,36	38	2,93	10,54
16	4,21	15,15	39	2,87	10,33
17	4,15	14,94	40	2,81	10,12
18	4,10	14,73	41	2,76	9,91
19	4,04	14,52	42	2,70	9,71
20	3,98	14,31	43	2,64	9,50
21	3,92	14,10	44	2,58	9,29
22	3,86	13,89	45	2,52	9,08
23	3,80	13,68	46	2,47	8,87
24	3,75	13,47	47	2,41	8,66
25	3,69	13,27	48	2,35	8,45
26	3,63	13,06	49	2,29	8,24
27	3,57	12,85	50	2,23	8,03
28	3,51	12,64	51	2,17	7,82
29	3,45	12,43	52	2,12	7,61
30	3,40	12,22	53	2,06	7,40
31	3,34	12,01	54	2,00	7,19
32	3,28	11,80	55	1,94	6,98
33	3,22	11,59	56	1,88	6,77
34	3,16	11,38	57	1,82	6,56
35	3,11	11,17	58	1,77	6,35
36	3,05	10,96	59	1,71	6,15
37	2,99	10,75	60	1,65	5,94

Nella pratica si impiegano i seguenti valori medi per i combustibili legnosi:

$p_{c_0} = 18,5 \text{ MJ/kg} = 5,14 \text{ kWh/kg}$	LEGNO ANIDRO	(M 0%)
$p_{c_{10}} = 16,9 \text{ MJ/kg} = 4,6 \text{ kWh/kg}$	PELLET	(M 10%)
$p_{c_{20}} = 14,4 \text{ MJ/kg} = 4 \text{ kWh/kg}$	LEGNA DA ARDERE	(M 20%)
$p_{c_{30}} = 12,2 \text{ MJ/kg} = 3,4 \text{ kWh/kg}$	CIPPATO	(M 30%)

Per convertire i MJ in kWh e viceversa si impiega il fattore di conversione 3,6.

Esempi di conversione MJ-kWh
$18,5 \text{ MJ} : 3,6 = 5,14 \text{ kWh}$
$4 \text{ kWh} \times 3,6 = 14,4 \text{ MJ}$
$1 \text{ kWh/kg} = 1 \text{ MWh/t}$

## 2.9 Densità energetica sterica

Esprime il rapporto tra il contenuto energetico del combustibile e il volume sterico che occupa. Si esprime in MJ/ms o kWh/ms.

**Tabella 2.9.1** Densità energetica sterica (DS) in funzione del contenuto idrico<sup>[2]</sup>

Combustibile	Quantità	Contenuto idrico	Massa	Potere calorifico	Densità energetica *		
		M%	kg	MJ/kg	MJ	kWh	litri di gasolio
Legna accatastata							
Faggio 33 cm	1 msa	15	445	15,3	6.797	1.888	189
Faggio 33 cm	1 msa	30	495	12,1	6.018	1.672	167
Abete r. 33 cm	1 msa	15	304	15,6	4.753	1.320	132
Abete r. 33 cm	1 msa	30	349	12,4	4.339	1.205	121
Cippato							
Faggio	1 msr	15	295	15,3	4.505	1.251	125
Faggio	1 msr	30	328	12,1	3.987	1.107	111
Abete r.	1 msr	15	194	15,6	3.032	842	84
Abete r.	1 msr	30	223	12,4	2.768	769	77
Pellet di legno	1 msr	8	650	17,1	11.115	3.088	309

\* Nell'intervallo M 0-23% è stato applicato il rispettivo fattore di correzione volumetrico.

## 2.10 Equivalenze energetiche<sup>[3]</sup>

Combustibile	Potere calorifico (valori medi)	
	MJ	kWh
Gasolio extraleggero	36,17 MJ/l (42,5 MJ/kg)	10 kWh/l (11,80 kWh/kg)
Gasolio leggero	38,60 MJ/l (41,5 MJ/kg)	10,70 kWh/l (11,50 kWh/kg)
Metano*	36,00 MJ/m <sup>3</sup>	10,00 kWh/m <sup>3</sup>
GPL**	24,55 MJ/l (46,30 MJ/kg)	6,82 kWh/l (12,87 kWh/kg)
Carbone	27,60 MJ/kg	7,67 kWh/kg
Coke 40/60	29,50 MJ/kg	8,20 kWh/kg
Lignite (briquettes)	20,20 MJ/kg	5,60 kWh/kg
1 kWh elettrico	3,60 MJ	1 kWh
<b>1 kg di legno (M = 20%)</b>	<b>14,40 MJ/kg</b>	<b>4,00 kWh/kg</b>

\* 1 kg = 5,8 l (20 °C, 216 bar)

\*\* 1m<sup>3</sup> GPL = 4 l = 2 kg

1 kg gasolio ≈ 3 kg di legno

1 l gasolio ≈ 2,5 kg di legno

Per rapidi calcoli approssimativi si possono impiegare le seguenti equivalenze energetiche che non tengono conto dell'efficienza dell'impianto.

1.000 litri di gasolio da riscaldamento ≈

5-6 m<sup>3</sup> di legna di latifoglie

7-8 m<sup>3</sup> di legna di conifere

10-15 m<sup>3</sup> di cippato

2,1 t di pellet



### Esempio 2.10.1 – Calcolo del fabbisogno di cippato partendo dai consumi di gasolio precedenti

Il fabbisogno annuale di cippato di una caldaia è calcolabile sulla base del precedente consumo di combustibile fossile.

a) Calcolo del carico termico partendo dal gasolio consumato (media ultimi tre anni)

- consumo gasolio: 23.530 l/anno

- pc gasolio: 10 kWh/l

- rendimento medio impianto  $\eta_k$ : 85%

kWh erogati:  $(23.530 \times 10) \times 0,85 = \mathbf{200.000 \text{ kWh/anno}}$

b) Calcolo del fabbisogno di cippato

- energia termica da erogare: 200.000 kWh/anno

- pc cippato (M 30%): 3,4 kWh/kg

- rendimento medio impianto  $\eta_k$ : 80%

fabbisogno cippato:  $200.000/3,4/0,80 = \mathbf{73.530 \text{ kg } (\approx 75 \text{ t})}$

c) Calcolo orientativo della potenza (Q) del generatore (ipotesi 1.500 ore annue di funzionamento)

$Q \text{ (kW)} = 200.000 \text{ kWh}/1.500 \text{ h}/0,80 \approx \mathbf{160 \text{ kW}}$

Per il calcolo del consumo di cippato nei piccoli-medi impianti possono essere applicate, con un discreto grado di precisione, le seguenti formule speditive:

Potenza caldaia in kW x 2,5 = Consumo di cippato in msr/anno (legno tenero P45, M30)

Potenza caldaia in kW x 2,0 = Consumo di cippato in msr/anno (legno duro P45, M30)



## 3. PRODUZIONE DI LEGNA E CIPPATO

### 3.1 Fasi e sistemi di lavoro

Nei lavori di utilizzazione forestale si distinguono le seguenti fasi:

- **abbattimento:** recisione del fusto al piede e atterramento
- **allestimento:** sramatura (taglio dei rami e del cimale fino alla completa pulizia del tronco) e depezzatura (divisione del fusto in assortimenti commerciali)
- **concentramento:** trasporto del legname dal letto di caduta alle vie di esbosco
- **esbosco:** trasporto del legname lungo le vie di esbosco fino all'imposto
- **scortecciatura:** asportazione parziale o completa della corteccia
- **trasporto:** movimentazione del legname attraverso strade forestali e pubbliche
- **trasformazione:** riduzione a misura di impiego combustibile (taglio, fenditura, cippatura).

La **cippatura** è una fase che in questi ultimi anni ha acquisito importanza allo scopo di sfruttare e valorizzare biomassa altrimenti inutilizzata e scartata.

Si possono poi distinguere due sistemi di lavoro:

- sistema del legname corto (*Short Wood System - SWS*): l'allestimento avviene sul letto di caduta e il fusto si esbosca già diviso in assortimenti commerciali;
- sistema dell'albero intero (*Full Tree System - FTS*): dopo l'abbattimento l'albero è esboscato intero e allestito sulla strada forestale o all'imposto.

Nel nostro paese il sistema prevalente è ancora il primo, ma, soprattutto sull'arco alpino, il FTS si va sempre più diffondendo, specialmente se l'esbosco è effettuato con gru a cavo; questo permette l'accumulo bordo strada o all'imposto dei residui forestali, disponibili quindi per essere cippati.



## 3.2 Macchine ed attrezzature

La rassegna delle principali macchine ed attrezzature su cui si basano i cantieri forestali di raccolta del legno nella realtà italiana è sinteticamente presentata in tabella 3.2.1. Per ciascun dato si riporta l'intervallo dei valori più frequenti, escludendo quindi gli estremi. Il costo orario, ove specificato, è da ritenersi sempre comprensivo di un operatore. Tutti i prezzi indicati sono IVA esclusa.

**Tabella 3.2.1**

### Motosega

prezzo: 500-900 €  
 produttività in fustaia:  
 1-1,2 m<sup>3</sup>/h (diradamento)  
 2-2,5 m<sup>3</sup>/h (maturità)  
 produttività in ceduo:  
 0,4-0,7 msa/h (cedui mediocri)  
 0,8-1,8 msa/h (cedui ben sviluppati)  
 consumo orario: 0,6-1 l (miscela)  
 costo orario ≈ 18-20 €



### Trattore con verricello

prezzo trattore: 45.000-60.000 €  
 prezzo verricello: 3.000-4.200 €  
 produttività in fustaia: 2,5-6 m<sup>3</sup>/h  
 produttività in ceduo: 3-7 msa/h  
 consumo orario: 4 - 9 l  
 costo orario: ≈ 45-50 € (2 operatori)



### Trattore con rimorchio

prezzo trattore: 45.000-60.000 €  
 prezzo rimorchio: 8.000-25.000 €  
 capacità di carico: 5-15 t  
 produttività: 5-12 m<sup>3</sup>/h  
 (a seconda della distanza di esbosco)  
 consumo orario: 5-10 l  
 costo orario: ≈ 40-50 €



### Gru a cavo a stazione motrice mobile leggera

prezzo: 40.000-120.000 €  
 trazione massima: 2.000 daN  
 produttività: 3-6 m<sup>3</sup>/h  
 consumo orario: 5-6 l  
 costo orario: ≈ 25-40 €

### media

prezzo: 100.000-220.000 €  
 trazione massima: 5.000 daN  
 produttività: 3-12 m<sup>3</sup>/h  
 consumo orario: 6-10 l  
 costo orario: ≈ 40-80 €



**Harvester**

prezzo: 300.000-370.000 €  
 diametro max di taglio: 65-70 cm  
 diametro max di sramatura: 45-60 cm  
 pendenza max di lavoro: 35% (ruote)  
 60% (cingoli)  
 (in condizioni di portanza ottimali)  
 produttività in fustaia: 8-20 m<sup>3</sup>/h  
 consumo orario: 11-16 l  
 costo orario: ≈ 90-120 €

**Forwarder**

prezzo: 180.000-270.000 €  
 capacità di carico: 10-14 t  
 pendenza massima di lavoro: 35%  
 lunghezza topi: fino a 6 m  
 produttività: 12-20 m<sup>3</sup>/h  
 (a seconda della distanza di esbosco)  
 consumo orario: 7-11 l  
 costo orario: ≈ 65-80 €

**Harvester ibrido**

prezzo: 240.000 €  
 diametro massimo di taglio: 55 cm  
 diametro massimo di sramatura: 50 cm  
 pendenza massima di lavoro: 45-50%  
 produttività: 10-15 m<sup>3</sup>/h  
 consumo orario: 10-12 l  
 costo orario: ≈ 80 €

**Skidder**

prezzo: 120.000-150.000 €  
 strascico: fino a 3 t  
 pendenza massima di lavoro: 20%  
 produttività: 8-12 m<sup>3</sup>/h  
 (a seconda della distanza di esbosco)  
 consumo orario: 6-10 l  
 costo orario: ≈ 55-65 €

**Processore su trattore**

prezzo trattore: 30.000 €  
 prezzo processore: 45.000 €  
 diametro massimo di taglio: 48 cm  
 diametro massimo di sramatura: 40 cm  
 produttività: 10-15 m<sup>3</sup>/h  
 consumo orario: 4-5 l  
 costo orario: ≈ 35 €

**Processore su escavatore**

prezzo escavatore: 170.000 €  
 prezzo processore: 60.000 €  
 diametro massimo di taglio: 65 cm  
 diametro massimo di sramatura: 60 cm  
 produttività: 15-40 m<sup>3</sup>/h  
 consumo orario: 15 - 17 l  
 costo orario: ≈ 85 €



**Cippatrice****piccola potenza**

prezzo: 3.500-35.000 €

diametro lavorabile: max 20 cm

consumo orario: 5-8 l

produttività: 2-3 t/h

**media potenza**

prezzo: 15.000-75.000 €

diametro lavorabile: max 30 cm

consumo orario: 10-14 l

produttività: 4-7 t/h

**elevata potenza**

prezzo: 31.000-250.000 €

diametro lavorabile: &gt;30 cm

produttività: 13-20 t/h

consumo orario: 34-38 l

costo orario: ≈ 150-190 €

**Segalegna**

prezzo: 600-2.000 €

diametro lavorabile: 14-25 cm

**Spaccalegna**

prezzo: 1.500-14.000 €

lunghezza tronco lavorabile: 0,3-4 m

**Combinate (sega-spaccalegna)**

prezzo: 7.000-70.000 €

diametro lavorabile: 25-60 cm

lunghezza tronco lavorabile: 2-6 m

costo orario: ≈ 70-150 €

**Autotreno trasporto legname**

prezzo autocarro: 110.000-150.000 €

prezzo rimorchio: 20.000-30.000 €

carico utile: 18-20 t

consumo: 2,5-3,5 km/l

costo orario: ≈ 60-75 €

**Autotreno trasporto cippato**

prezzo autocarro: 100.000-115.000 €

prezzo rimorchio: 45.000 €

carico utile: 20-22 t (85-90 msr)

consumo: 2,5-3,5 km/l

costo orario: ≈ 65-70 €

**con benna**

prezzo autotreno: 205.000 €

carico utile: 81 msr

costo orario: ≈ 70-75 €



Le macchine più specificatamente coinvolte nella filiera legno-energia sono impiegate per la produzione della legna da ardere e del cippato.

### **Macchine per la produzione della legna da ardere**

Dopo la prima lavorazione con motosega in bosco o in impianto, il legname è trasportato al piazzale di lavorazione, dove subisce la riduzione a misura di impiego combustibile.

Tale trasformazione prevede tre operazioni distinte:

- **selezione:** il materiale viene separato, generalmente a mano, secondo le categorie del ciocco da caminetto, dello spaccone e della legna corta da forno;
- **troncatura:** riduzione della lunghezza del legname tagliando il tronchetto in direzione perpendicolare alle fibre a lunghezze variabili tra i 25 e i 100 cm;
- **fenditura:** riduzione della larghezza spaccando il tronchetto con l'applicazione di una forza meccanica parallela alla fibratura che ne determina lo scollamento.

A seconda dell'operazione compiuta, le macchine per la lavorazione della legna da ardere si distinguono in:

- **segalegna:** basate su seghe a nastro, che lavorano diametri anche maggiori di 40 cm e danno basse perdite di segagione, o su seghe a disco, più limitate nei diametri e con maggiori perdite di segagione;
- **spaccalegna:** dotate di organo di spacco a cuneo o a vite. Quelle a cuneo di uso domestico presentano 2 o 4 facce, lavorano in verticale ed esercitano una forza di spacco fino a 15 t, mentre nelle macchine più potenti il tronco, posizionato orizzontalmente, viene mosso da uno spintore contro un cuneo, o griglia, fino a 16 facce, con una forza fino a 40 - 60 t. Le spaccalegna a vite presentano un cono filettato che si avvita nel legno fino a spaccarlo, sono più veloci di quelle a cuneo ma poco precise; montare tale organo su un braccio meccanico è l'opzione più sicura;
- **combinata** (sega-spaccalegna): alcuni modelli sono portati, ma sono per lo più centri di lavorazione stazionari che combinano le due fasi lavorative, permettendo un'elevata automazione e una maggiore produttività del ciclo di lavorazione, partendo sia da tronchi che da ramaglia e scarti. Sono dotate di motore a scoppio o elettrico (sino a 55 kW), possono lavorare tronchi lunghi al massimo 6 m con diametri fino a 60 cm e possono produrre più di 12 t/h di materiale.

La lavorazione di specie a legno duro richiede una potenza maggiore rispetto a quelle a legno tenero e tutti i legni si spaccano più facilmente allo stato fresco rispetto allo stagionato.

## Cippatrici

La cippatrice è una macchina specificatamente progettata per la riduzione del legno in scaglie e può presentarsi fissa, semovente, carrellata, allestita su rimorchio o su autocarro o montata sull'attacco a tre punti del trattore. La macchina può essere dotata di motore autonomo o essere azionata dalla presa di potenza del trattore. In base all'unità di cippatura, le macchine possono essere classificate in:

- **cippatrici a disco:** unità di cippatura costituita da un pesante volano su cui sono montati da due a quattro coltelli in posizione radiale. Una controlama regolabile, che coadiuva l'azione dei coltelli, permette di variare le dimensioni delle scaglie, mediamente comprese fra 0,3 e 4,5 cm;
- **cippatrici a tamburo:** sono macchine più grandi e potenti delle cippatrici a disco, adatte a lavorare sia toppe che ramaglia. L'organo di taglio è costituito da un cilindro in acciaio su cui sono montati coltelli (fino a 12) in posizione tangenziale; il materiale restituito è più eterogeneo, con scaglie fino a 6,5 cm. I coltelli vanno sostituiti ogni 50-100 t (lavorando latifolia) o 200-300 t (lavorando conifera);
- **cippatrici a vite o coclea:** l'organo di taglio è costituito da una grossa vite a sezione decrescente con i bordi taglienti che ruota su un'asse orizzontale. Sono macchine poco diffuse, adatte a lavorare quasi esclusivamente tronchi o fusti interi e producono scaglie più grandi (fino a 8 cm) rispetto alle altre unità.

A seconda della potenza della cippatrice si parla di:

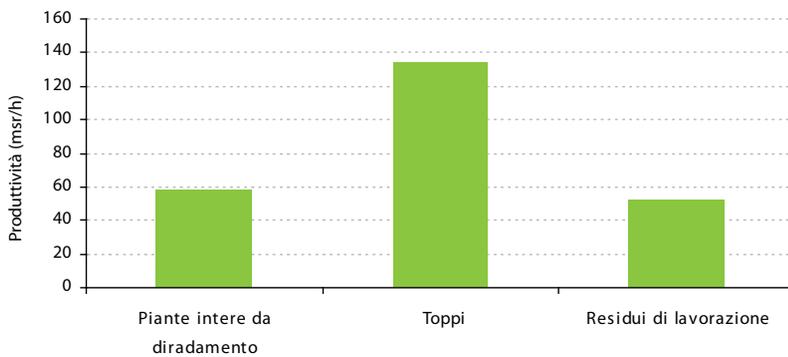
- **piccola potenza:** solitamente collegate all'attacco a tre punti del trattore o carrellate. Sono azionate da p.d.p. o hanno un motore indipendente (~50 kW); lavorano diametri fino a 20 cm e arrivano a produrre 20 t/giorno;
- **media potenza:** allestite anche su rimorchi mono o bi-asse. Possono essere azionate da motori a scoppio indipendenti (50 - 110 kW); lavorano diametri fino a 30 cm e arrivano a produrre 50 t/giorno;
- **elevata potenza:** allestite su rimorchi a 2 o più assi o su autocarri (anche semoventi). In alcuni casi possono essere azionate dal motore dello stesso autocarro, generalmente presentano un motore autonomo (>130 kW); macinano diametri elevati (>30 cm) e possono superare ampiamente le 60 t/giorno.

Il **vaglio** è un importante accessorio che permette di selezionare le scaglie in fase di espulsione, raffinando quindi il cippato ma abbassando al contempo la produttività.

Quando la cippatura avviene in luogo diverso dall'impianto di utilizzazione finale, il pro-

dotto è trasportato tramite autocarro o autotreno con cassoni in lega leggera, raramente autoarticolato; l'autotreno può essere allestito con benna per caricarsi in modo autonomo. Studi austriaci mostrano come varia la produttività (msr/h) di una cippatrice di elevata potenza a seconda del materiale di partenza<sup>[19]</sup>; i valori medi di produttività (grafico 3.2.1) comprendono i tempi di attesa dell'autotreno in cui scaricare il cippato, che si attestano attorno al 20% del tempo totale.

**Grafico 3.2.1**



### 3.3 Costi di produzione del cippato forestale

A titolo esemplificativo si riportano tre schemi di possibili filiere legno-energia per l'alimentazione di caldaie a cippato (a griglia fissa o mobile) in zona montana. I calcoli vengono presentati nell'ottica dell'impresa boschiva che gestisce la filiera.\*

**1. Intervento di diradamento in bosco di conifere** con sistema FTS. Destinazione del cippato: caldaia a griglia fissa di piccola-media taglia (M 30%, P45; cfr. tabella 4.4.1), prezzo franco centrale 18-20 €/msr (223 kg/msr, 80-90 €/t).

Fase operativa	Attrezzatura	Produttività (msr/h)	Costo (€/msr)
Abbattimento	2 motoseghe	35	0,5
Esbosco pianta intera	2 trattori con verricello	17	5,9
Allestimento meccanizzato all'imposto	processore su trattore	24,3	1,4
Carico topi su autotreno	autotreno con gru	121,5	0,6
Trasporto presso piattaforma (A+R 90 km)	autotreno con gru	36,5	2
Scarico topi da autotreno	autotreno con gru	145,8	0,5
Stagionatura	—	—	0,3
Cippatura topi	cippatrice elevata potenza	100	1,4
Conferimento cippato (A+R 90 km)	autotreno	24,4**	2,0
TOTALE			14,6

Al totale va aggiunto il valore delle piante in piedi (da 0 a 5 €/msr in interventi di diradamento)

\*\* Cippato stagionato (M 30%)

**2. Taglio di maturità in bosco di conifere** con sistema FTS. Destinazione del cippato: caldaia a griglia mobile di elevata potenza (M 55%, P63; cfr. tabella 4.4.1), prezzo franco centrale 10-13 €/msr (29-38 €/t). I residui di lavorazione sono materiale presente bordo strada a costo nullo, poiché i costi di lavorazione sono caricati sul legname da opera.

Fase operativa	Attrezzatura	Produttività (msr/h)	Costo (€/msr)
Cippatura residui di lavorazione	cippatrice elevata potenza	55	2,6
Conferimento cippato (A+R 90 km)	autotreno	22,1***	2,4
TOTALE			5,0

\*\*\* Cippato fresco (M 55%)

\* Sono state impiegate le seguenti equivalenze: 1m<sup>3</sup> tondo=2,43 msr (cv=0,41 m<sup>3</sup>/msr) di cippato; 1 msr=223 kg (M 30%); 1 msr=347 kg (M 55%).

**3. Intervento di diradamento in bosco di conifere** con sistema FTS. Destinazione del cippato: caldaia a griglia mobile di elevata potenza (M 55%, P63; cfr. tabella 4.4.1), prezzo franco centrale 10-13 €/msr (29-38 €/t). Il risultato concorda con le indicazioni provenienti dalla bibliografia, secondo cui i cantieri aventi come unico prodotto cippato fresco destinato a caldaie a griglia mobile (sia da conifere che da latifoglie) sono poco praticabili dal punto di vista economico. La produzione di tale cippato deve quindi essere un'operazione integrativa del cantiere forestale e non esclusiva.

Fase operativa	Attrezzatura	Produttività (msr/h)	Costo (€/msr)
Abbattimento	2 motoseghe	35	0,5
Esbosco pianta intera	2 trattori con verricello	17	5,9
Cippatura pianta intera	cippatrice elevata potenza	60	2,4
Conferimento cippato (A+R 90 km)	autotreno	22,1*	2,4
TOTALE			11,2

Al totale va aggiunto il valore delle piante in piedi (da 0 a 5 €/msr in interventi di diradamento)

\* Cippato fresco (M 55%)





## 4. REQUISITI QUALITATIVI E NORME DI RIFERIMENTO

La classificazione qualitativa dei biocombustibili solidi è definita a livello europeo dalla specifica tecnica CEN/TS 14961 (*Solid biofuels, fuel specification and classes*, 2005), sulla base della quale nel 2007 è stata pubblicata in Italia la specifica tecnica UNI/TS 11264 “Caratterizzazione di legna da ardere, brichette e cippato”.

### 4.1 Specifiche tecniche per la legna e il cippato

La specifica europea CEN/TS 14961:2005 definisce una serie di informazioni normative che devono essere prese in considerazione nella stesura dei contratti di fornitura e le relative dichiarazioni di qualità del biocombustibile fornito (Allegati A1 e A2). Di seguito si riporta la parte normativa delle specifiche per la legna da ardere e il cippato.

Tabella 4.1.1

Origine e provenienza		Tronchi di conifera e latifoglia (1.1.2.1, 1.1.2.2, 1.1.2.3)
Tipologia commerciale		LEGNA DA ARDERE
NORMATIVA	<b>Dimensione o Pezzatura</b>	
	Lunghezza (L)	
	Spessore (D) (diametro massimo del singolo pezzo)	
	P200–	$L < 200$ e $D < 20$ (legnetti da accensione)
	P200	$L = 200 \pm 20$ e $40 \leq D \leq 150$ mm
	P250	$L = 250 \pm 20$ e $40 \leq D \leq 150$ mm
	P330	$L = 330 \pm 20$ e $40 \leq D \leq 160$ mm
	P500	$L = 500 \pm 40$ e $60 \leq D \leq 250$ mm
	P1000	$L = 1000 \pm 50$ e $60 \leq D \leq 350$ mm
	P1000+	$L > 1000$ (indicare lunghezza e diametro reale)
<b>Contenuto idrico (M)</b>		
M20	$\leq 20\%$	pronta all'uso
M30	$\leq 30\%$	stagionata al coperto
M40	$\leq 40\%$	stagionata in bosco
M65	$\leq 65\%$	legno fresco, appena tagliato in bosco
<b>Tipo di legno (composizione)</b>		
Indicare la specie legnosa o se si tratta di legno di latifoglie o di conifere o miscuglio delle due		

Tabella 4.1.2

Origine e provenienza		Biomassa legnosa non contaminata (1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.6, 1.2.1.1, 1.2.1.2, 1.2.1.4)		
Tipologia commerciale		<b>LEGNO CIPPATO</b> 		
NORMATIVA	<b>Dimensioni o Pezzatura</b>			
		Frazione principale >80% (massa)	Frazione fine <5%	Frazione grossa <1%
	P 16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm	< 1 mm	> 45 mm, tutto < 85 mm
	P 45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm	< 1 mm	> 63 mm
	P 63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm	< 1 mm	> 100 mm
	P 100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	< 1 mm	> 200 mm
	<b>Contenuto idrico (M)</b>			
	M20	≤ 20% essiccato		
	M30	≤ 30% stagionato all'aria e adatto ad essere stoccato nel silo		
	M40	≤ 40% non stagionato e non adatto ad essere stoccato nel silo		
M55	≤ 55%			
M65	≤ 65%			
<b>Contenuto di cenere (%ss)</b>				
A0.7	≤ 0,7%			
A1.5	≤ 1,5%			
A3.0	≤ 3,0%			
A6.0	≤ 6,0%			
A10	≤ 10,0%			

## 4.2 Determinazione speditiva del contenuto idrico

Pur essendo il metodo per pesata (cfr. UNI CEN/TS 14774-1) l'unico riconosciuto come riferimento per un'esatta determinazione del contenuto idrico del legno\*, oggi la tecnologia offre strumenti portatili e pratici per la sua rapida determinazione. Essi risultano molto utili nell'attuazione di contratti di fornitura a peso (cfr. cap. 5.4).

Naturalmente la precisione del risultato dipende dalla rappresentatività del campione e dall'accuratezza con cui l'operatore effettua le misurazioni. Particolare cura deve essere posta nell'impostazione iniziale degli strumenti e dei fattori di correzione.

I misuratori che si trovano in commercio si dividono in strumenti ad infissione e a contatto.

\* Il metodo per pesata trova applicazione in laboratorio e consiste nel misurare il peso del campione prima e dopo la completa essiccazione in stufa a 103 °C; sono necessarie circa 24 ore.

### Legna da ardere e stanghe

Nel caso della legna da ardere e del legno tondo (stanghe) si possono impiegare strumenti ad infissione che misurano la resistenza elettrica (conduttanza) tra due elettrodi (chiodi). Esiste una correlazione tra resistenza elettrica ed umidità del legno, che è massima nel campo igroscopico (M 0-23%). La misura è effettuata solo nello spazio tra gli elettrodi alla profondità di inserzione degli stessi (fino a ca. 5 cm).

I modelli specifici più recenti sono in grado di determinare il contenuto idrico del campione nel range M 10-60% (u 11-150%) con una risoluzione dello 0,1% ([www.humimeter.com](http://www.humimeter.com)).

### Cippato

Nel caso del cippato si impiegano strumenti a contatto che misurano la costante dielettrica (carica elettrostatica) che è tanto maggiore quanto più elevata è l'umidità del legno. Negli ultimi anni sono stati sviluppati igrometri dielettrici specifici per il cippato, la segatura, i trucioli, la corteccia e il pellet, rispondenti alla specifica CEN/TS 14961 ([www.schaller-gmbh.at](http://www.schaller-gmbh.at)). Lo strumento è in grado di misurare cippato appartenente alle classi di pezzatura P16 e P45, con un contenuto idrico massimo del 60%. Il materiale



viene dapprima pesato per individuare la corretta curva di calibrazione nello strumento. A questo punto il cippato viene rovesciato all'interno del contenitore dove è attraversato da un debole campo elettromagnetico influenzato dal contenuto idrico del legno. In pochi secondi è possibile leggere sul display la misura del contenuto idrico del campione.

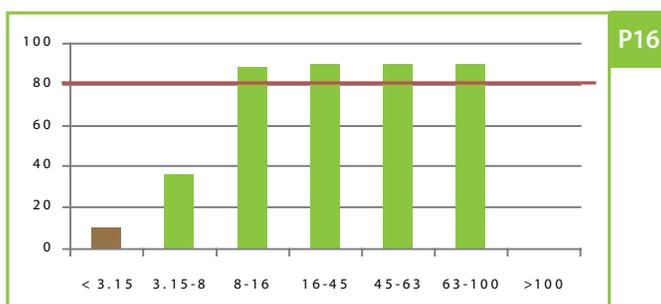
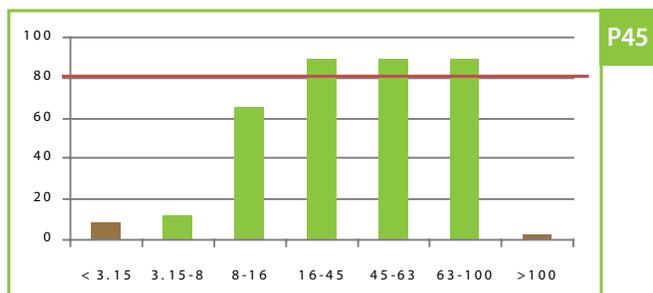
## 4.3 Determinazione della pezzatura del cippato

La classe di pezzatura è determinata in laboratorio con appositi vagli vibranti disposti in serie che rispondono ai requisiti della norma UNI CEN/TS 14961.

**Figura 4.3.1** Vaglio per la determinazione delle classi dimensionali del cippato (AIEL 2006)



**Figura 4.3.2** Esempio di distribuzione dimensionale in due campioni di cippato P45 e P16



## 4.4 Caratteristiche qualitative richieste dalle caldaie

Le principali caratteristiche qualitative richieste dalle caldaie sono la pezzatura, il contenuto idrico e di ceneri. La tabella 4.4.1 fornisce un quadro indicativo delle caratteristiche richieste dai generatori termici a legna e cippato.

**Tabella 4.4.1**

Tipo di caldaia	Classe di potenza kWt	Griglia	Sistema di alimentazione	Pezzatura (P)	Contenuto idrico (M)	Ceneri (A)
Manuale a legna	< 100	fissa	manuale	P330-1000	M20	-
Automatica a cippato	< 150	fissa	coclea	P16-45	M20-M30	A1,5
	(30)150 -1000	fissa/ semimobile	coclea	P16-45	M20-M40	A1,5-3,0
	>1000	mobile	spintore	P16-100	M30-M55	A3,0-10,0

Nelle **caldaie a legna** a caricamento manuale, la pezzatura richiesta dipende dalla dimensione della bocca di carico; in alcuni modelli, con potenza 100 kW e apertura superiore della bocca, possono essere impiegati pezzi fino a 1 m di lunghezza.

Nelle caldaie a legna è richiesto l'impiego della classe M20, diversamente la combustione non avviene in modo completo in quanto l'energia richiesta all'evaporazione dell'acqua porta la temperatura della camera di combustione al di sotto del livello minimo richiesto per sostenere il processo di combustione. L'uso di legna con livelli di contenuto idrico > M20 determinano un notevole aumento del fattore di emissione.

Le **caldaie a cippato** a griglia fissa richiedono materiale molto omogeneo (P16 e P45), sia per la ridotta dimensione della griglia sia perché pezzi fuori misura possono essere causa di blocchi alle coclee di trasporto e di caricamento. Diversamente, i generatori di maggiore potenza, dove si possono montare sistemi a spintore, sono molto più flessibili.

Il contenuto idrico del cippato nelle caldaie a griglia fissa non deve superare il 30% (M30); esse infatti hanno una scarsa inerzia termica in quanto i volumi della camera di combustione e dell'acqua nello scambiatore sono limitati, perciò l'ingresso di materiale molto

umido abbasserebbe eccessivamente la temperatura di combustione. Inoltre, un contenuto idrico troppo elevato può compromettere la fase di avvio, essendo queste caldaie dotate di un dispositivo di accensione automatica (elettrica). Il contenuto idrico del cippato dovrebbe essere quanto più omogeneo possibile in quanto, maggiore è la sua eterogeneità, maggiore sono i costi di investimento per avere una tecnologia in grado di gestire il più complesso processo di combustione che ne deriva.

Benché le caldaie a griglia mobile riescano a bruciare cippato fresco, maggiore è il contenuto idrico del cippato, maggiore è la perdita di efficienza del processo di conversione energetica in quanto parte dell'energia deve essere "consumata" per evaporare l'acqua dal legno. Inoltre, l'impiego di cippato di bassa qualità (es. prodotto esclusivamente da ramaglie di conifere, con prevalente presenza di aghi) comporta un aumento dei costi di manutenzione (scorie di fusione, pulizia scambiatori) e una sensibile riduzione del rendimento del generatore con conseguente aumento del costo dell'energia utile<sup>[14]</sup>.

## 4.5 Processi della stagionatura del legno

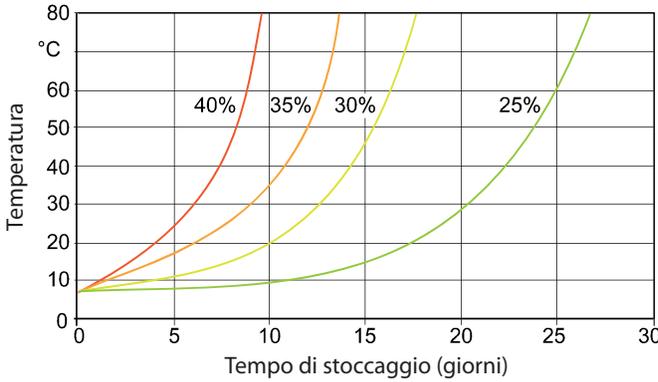
### Autoriscaldamento

Le biomasse lignocellulosiche fresche nella fase di stoccaggio si riscaldano principalmente a causa dei processi di respirazione delle cellule parenchimatiche ancora vive; tali processi si interrompono raggiunti i 40°C. L'ulteriore incremento di temperatura della massa legnosa è riconducibile al metabolismo dei funghi e dei batteri.

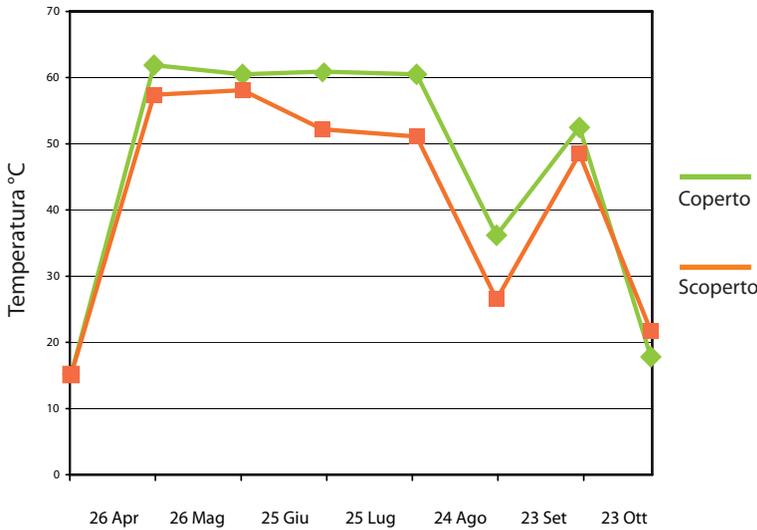
I funghi possono sopravvivere fino a temperature di circa 60°C, mentre i batteri termofili iniziano la loro attività a 75-80°C. In particolari condizioni, il riscaldamento della massa legnosa può raggiungere anche i 100°C circa; le cause di questo ulteriore aumento di temperature non sono tuttavia ancora state chiarite. Oltre i 100°C si instaurano processi di trasformazione termochimica che possono condurre, anche se molto raramente, a fenomeni di autocombustione che interessano perlopiù materiali legnosi molto fini (segatura fine) e la corteccia.

In condizioni ottimali di crescita dei batteri e dei funghi (es. M 40%) il riscaldamento della massa legnosa avviene già dopo pochi giorni. Al contrario, i microrganismi non sono attivati nel caso di permanenti condizioni di basse temperature (inverno), a meno che questi non siano stati precedentemente attivati (Figure 4.5.1 e 4.5.2)).

**Figura 4.5.1** Andamento della temperatura nel cumulo di cippato con diversi contenuti idrici. Tanto maggiore è il contenuto idrico tanto più rapidamente il cumulo si riscalda<sup>[2]</sup>



**Figura 4.5.2** Andamento delle temperature (da aprile a novembre) all'interno di due cumuli, uno coperto con telo traspirante (TOPTEX) e uno scoperto<sup>[12]</sup>



**Perdita di sostanza legnosa**

A causa dell'intensificarsi delle attività metaboliche di funghi e batteri si determina una decomposizione della sostanza legnosa, quindi una perdita di massa organica combustibile. Per minimizzare tali perdite l'attività biologica deve essere tenuta il più possibile sotto controllo. Di seguito sono elencati alcuni provvedimenti da adottare - in particolare

per il cippato e la corteccia - che rappresentano i combustibili più sensibili a tali problematiche:

- stoccare materiale meno umido possibile e proteggerlo dalle precipitazioni
- favorire la ventilazione naturale che accelera la perdita di calore e di acqua
- la pezzatura grossolana e regolare del materiale favorisce la ventilazione interna
- utilizzare utensili di taglio adeguatamente affilati (pezzatura regolare)
- minimizzare la presenza di aghi e foglie, facilmente aggredibili dai microrganismi
- minimizzare la durata dello stoccaggio
- altezza del mucchio non troppo elevata.

Spesso non è sempre possibile adottare tutti i sopra detti accorgimenti, perciò deve essere considerata una certa perdita di sostanza legnosa. La tabella 4.5.1 fornisce alcuni valori orientativi<sup>[2]</sup>.

**Tabella 4.5.1**

Materiale/tipo di stoccaggio	Perdita annua di ss (%)
Cippato forestale fine, fresco, scoperto	20 fino a >35
Cippato forestale fine, stagionato, coperto	2-4
Cippato forestale grossolano (7-15 cm), fresco, coperto	4
Corteccia, fresca, scoperta	15-22
Legna da ardere (faggio, abete) dopo due anni, coperta	2,5
Legna da ardere (faggio, abete) dopo due anni, scoperta	5-6
Stangame (abete, pini) fresco, scoperto	1-3
Giovani piante intere (pioppi, salici) fresche, scoperte	6-15

La perdita di sostanza secca può – almeno parzialmente – essere compensata dalla diminuzione del contenuto idrico del materiale nel sito di stoccaggio che comporta un aumento del potere calorifico inferiore (riferito a 1 kg di massa incl. l'acqua). Anche nel caso in cui si faccia ricorso all'essiccazione (con aria riscaldata), una perdita complessiva di sostanza secca di circa il 4% deve essere preventivata. Se si ricorre, per un certo periodo, alla ventilazione forzata (con aria non riscaldata), che consente un'auto-riscaldamento della massa, la perdita da imputare raddoppia fino a circa il 7-8%<sup>[2]</sup>.

### **Sviluppo dei funghi e rischi per la salute**

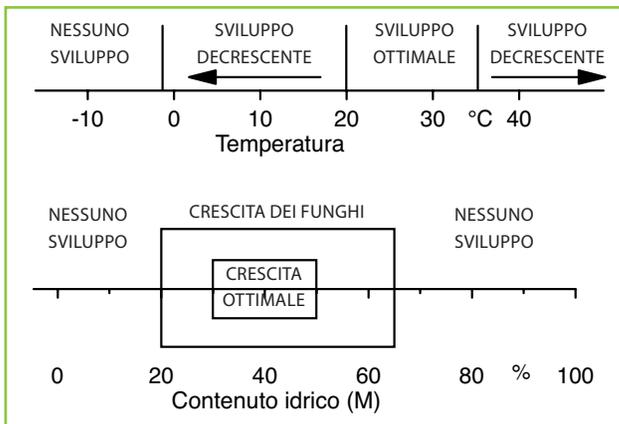
Lo sviluppo dei funghi non provoca solo la perdita di sostanza secca ma crea dei rischi per la salute umana.

I funghi che attaccano il legno (carie) si differenziano in due categorie: (1) ascomiceti e

deuteromiceti; (2) basidiomiceti. Questi ultimi sono i principali responsabili della demolizione cellulare del legno. Gli ascomiceti e i deuteromiceti distruggono principalmente cellulosa ed emicellulose, contemporaneamente possono essere attivi anche i basidiomiceti che attaccano invece la lignina. Normalmente la lignina è più difficilmente aggredibile, quindi la sua quota spesso aumenta nel corso dello stoccaggio (ca. 1-3% per ciascun mese in più di stoccaggio). Inoltre, può aver luogo da parte dei basidiomiceti una distruzione selettiva della lignina. Quindi, in funzione dei processi prevalenti, cambia nel corso della stagionatura la composizione del legno e quindi il suo contenuto energetico. Le muffe (*Aspergillus*, *Penicillium*) contribuiscono in modo irrilevante alla decomposizione della sostanza legnosa; esse inizialmente utilizzano solo le sostanze nutritive della parte superficiale della biomassa.

Lo sviluppo dei funghi è fortemente legato alla temperatura e al contenuto idrico del legno (figura 4.5.3).

**Figura 4.5.3** Intervalli di temperatura e contenuto idrico ottimali per lo sviluppo dei funghi nel legno<sup>[2]</sup>



I rischi per la salute umana derivano dalla disseminazione delle spore fungine che, nel corso della movimentazione dei combustibili legnosi, possono arrivare al sistema respiratorio. Le spore possono provocare allergie e micotossicosi.

Si suggeriscono alcune prescrizioni preventive:

- il legno dovrebbe essere il più possibile stoccato e stagionato nella forma tal quale (non come cippato)
- la stagionatura del cippato (fino a M30) non dovrebbe durare più di tre mesi
- minimizzare la presenza di parti verdi (aghi, foglie) e di frazione fine

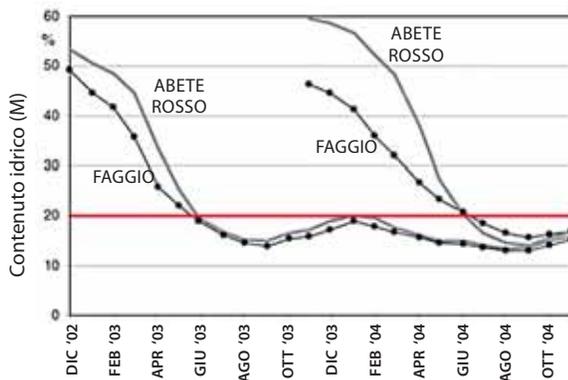
- i mucchi stoccati all'aperto dovrebbero avere una conformazione conica per favorire l'allontanamento dell'acqua piovana
- le pareti fessurate del deposito dovrebbero essere alte ed esposte alle correnti d'aria per evitare la formazione di condense
- nei depositi di cippato interrati dovrebbe essere predisposto un sistema di aerazione.

## 4.6 Stagionatura della legna da ardere

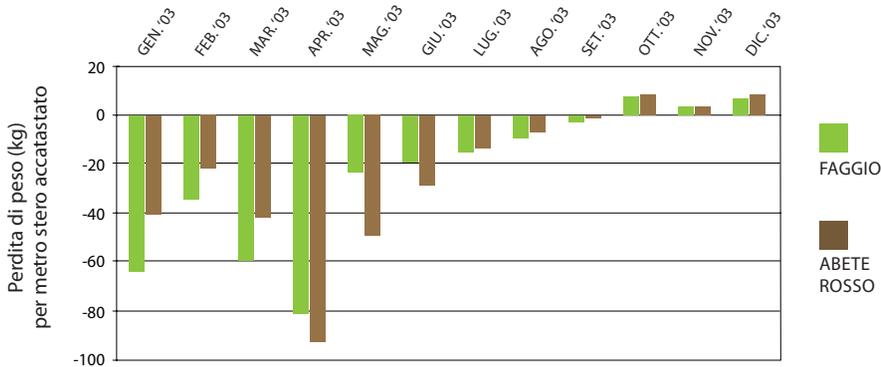
La perdita d'acqua nella legna da ardere avviene già nei mesi invernali e a marzo si manifesta il più alto grado di perdita d'acqua (ca. 10%). Nelle estati particolarmente calde (es. 2003, Figura 4.6.1) la legna fresca, tagliata in dicembre e stoccata al coperto, può raggiungere già in giugno un contenuto idrico del 20% (M20), ovvero idonea ad essere commercializzata come "pronta all'uso". Tuttavia, nel caso di estati umide (es. 2004, figura 3.6.1), le differenze rilevabili sono minime e M 20% è raggiunto solo un mese più tardi. Da maggio in poi il legno di abete si asciuga più rapidamente di quello di faggio mentre in precedenza il faggio risulta più secco, a causa sia del minor contenuto idrico iniziale che della più rapida perdita d'acqua. In ogni caso, il raggiungimento di M20 nelle due specie avviene più o meno nello stesso periodo di tempo.

In aprile la quantità di acqua evaporata dal legno è massima con punte di circa 90 l/msa/mese. Da settembre il legno riacquista umidità dall'aria e dalle piogge che, da ottobre a dicembre, è quantificabile in circa 5 l/msa/mese (figura 4.6.2).

**Figura 4.6.1** Andamento del contenuto idrico nella legna spaccata e accatastata di faggio e abete, stagionata all'aria e coperta<sup>[4]</sup>



**Figura 4.6.2 Perdita d'acqua nella legna spaccata (1 m) di abete e faggio, accatastata, stagionata all'aria e coperta<sup>[4]</sup>**



La legna stoccata al coperto si asciuga nei primi mesi invernali un po' più rapidamente; questo vantaggio può tuttavia essere colmato - nel caso di legna scoperta - nei successivi mesi estivi. Ciò nonostante - in particolare nei luoghi molto piovosi - la presenza di una copertura è raccomandabile poiché contribuisce a limitare la riacquisizione di umidità nel successivo periodo autunno-invernale. Lo stoccaggio coperto è il più indicato, ammesso che la struttura sia opportunamente ventilata (pareti fessurate).

La legna non spaccata raggiunge M20 due mesi più tardi rispetto a quella spaccata. Perciò, per raggiungere M20 con maggiore sicurezza e per conservare tale contenuto idrico fino all'autunno, è consigliabile spaccare i tondelli con diametro superiore a 10 cm prima della stagionatura.

### Prescrizioni per lo stoccaggio della legna da ardere

Nel corso delle operazioni di lavorazione e preparazione delle cataste bisogna evitare il più possibile di "sporcare" la legna. Il piazzale di lavorazione deve essere dotato di una pavimentazione solida e stabile (cemento o asfalto).

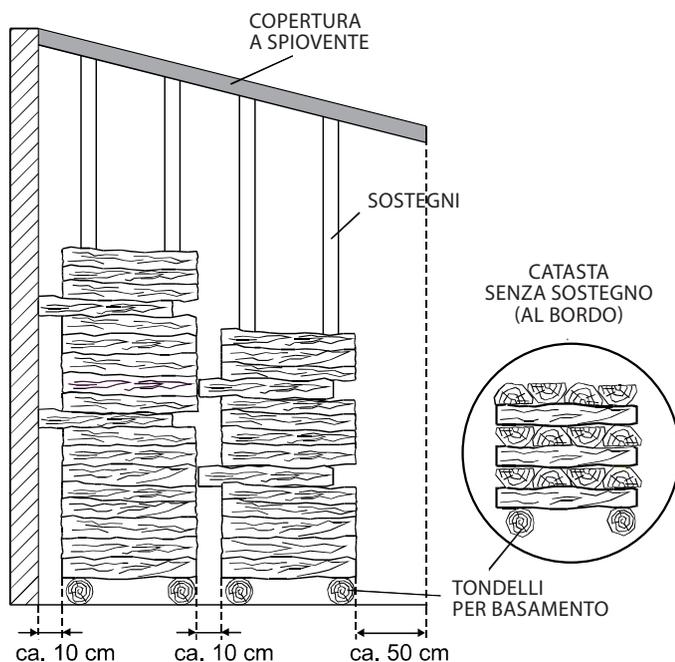
La stagionatura della legna da ardere può avvenire in piazzali aperti o sotto coperture ventilate. La catasta va protetta dall'umidità del suolo e dalla pioggia.

Principali prescrizioni per lo stoccaggio della legna da ardere:

- il terreno (pavimentazione) sottostante deve essere mantenuto asciutto, possibilmente favorendo il passaggio di aria rialzando la catasta con sostegni di legno (travi, tondelli)
- quale luogo di stoccaggio preferire luoghi esposti all'aria e al sole (es. al bordo del bosco, piazzale)

- mantenere una distanza tra le cataste e tra queste e le pareti della struttura di stoccaggio di almeno 10 cm (figura 4.6.3),
- mantenere le pareti esterne della struttura aperte (fessurate)
- laddove possibile è consigliabile stoccare il consumo giornaliero di legna nel vano caldaia per ottenere un suo preriscaldamento.

**Figura 4.6.3** Esempio di disposizione e spaziatura delle cataste sotto copertura<sup>[2]</sup>



### Contenitori per lo stoccaggio, la stagionatura e la movimentazione della legna

In commercio esistono diverse tipologie di contenitori per lo stoccaggio, la stagionatura e la movimentazione della legna spaccata. Tra i più interessanti, anche sul piano economico, sono i contenitori costituiti da un pallet di legno basale al quale è applicata una rete metallica a maglia quadrata che funge da parete; la sommità è ricoperta da un altro pallet isolato verso l'esterno con nylon. Tale struttura è alta due metri e contiene circa 2 msr di legna spaccata, introdotta direttamente dal nastro della taglia-spacca (figura 4.6.1).

**Figura 4.6.1**

Un'altra possibilità funzionale e a basso costo è il riutilizzo della struttura metallica montata su pallet di legno a supporto dei contenitori in plastica da 1 m<sup>3</sup> per lo stoccaggio dei liquidi (figura 4.6.2).

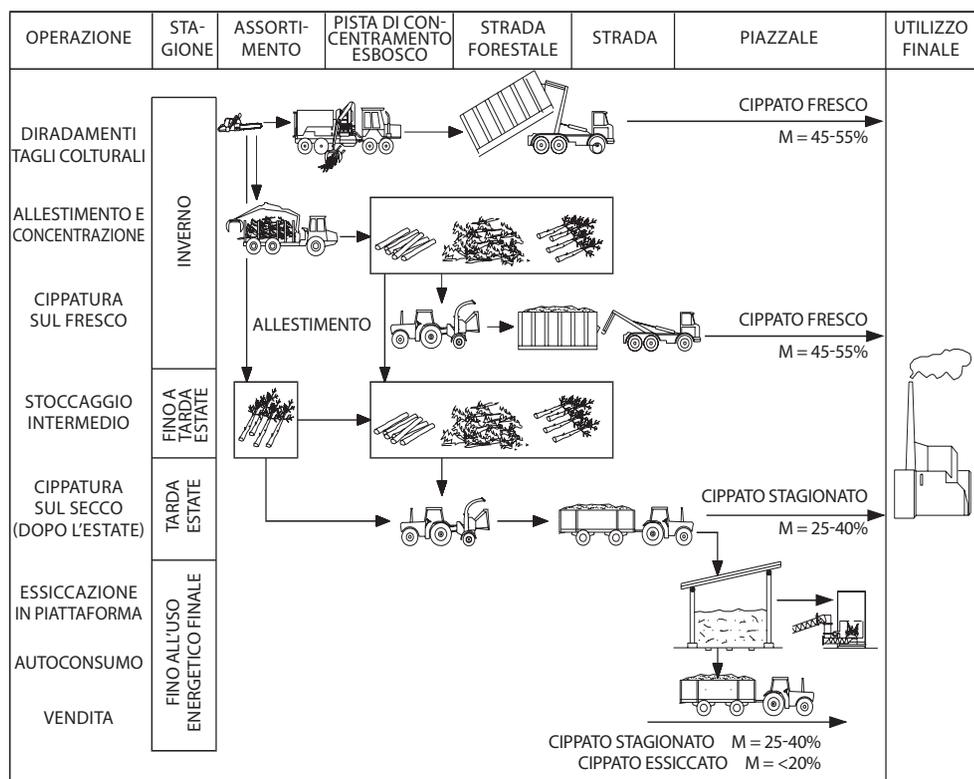
**Figura 4.6.2**

## 4.7 Stagionatura del cippato

Per produrre cippato di qualità idonea all'impiego in caldaie di piccola e media potenza (griglia fissa), si utilizzano quali materiali legnosi di partenza: tronchi di conifera sramati, refili e sciaveri di conifera e latifoglia, tronchi di latifoglia con o senza rami e ramaglie di latifoglie, possibilmente con un diametro minimo di 5 cm, per limitare il contenuto di cenere, percentualmente presente più nella corteccia che nel legno.

Tali materiali devono essere sottoposti ad una fase di stagionatura, prevedendo uno stoccaggio intermedio in un imposto esterno al bosco prima della loro cippatura nella tarda estate-autunno (figura 4.7.1).

**Figura 4.7.1** Logistica, temporalità e destinazione del cippato forestale<sup>[2]</sup>



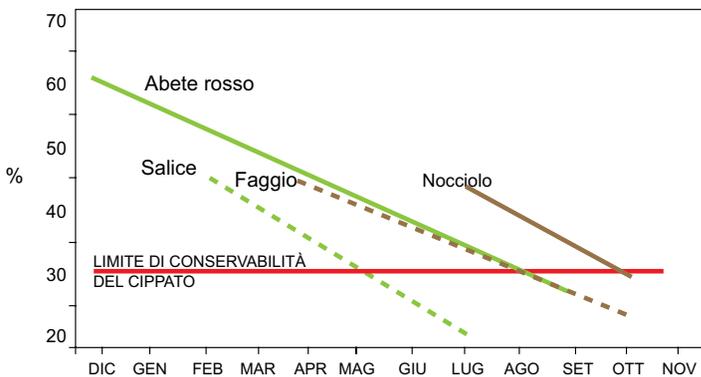
La stagionatura deve avvenire nel corso dell'estate quando è massimo l'apporto energetico gratuito da parte del sole e del vento che favorisce l'essiccazione naturale del

legno. Nel corso della stagionatura la perdita di contenuto idrico delle latifoglie varia generalmente tra il 40 e il 50%. Tagliando le piante in maggio, con le foglie presenti, esse - grazie all'evapotraspirazione - accelerano l'essiccazione naturale del legno. Ciò si verifica anche per le conifere (abete), quando sono tagliate dal tardo autunno a dicembre e successivamente allestite all'imposto.

Lasciare la legna tagliata in un ambiente ombroso interno al bosco non determina una sensibile perdita del contenuto idrico del legno, per questo la stagionatura del materiale deve sempre avvenire in un sito adeguatamente soleggiato e il più possibile ventilato<sup>[3]</sup>.

Il legname tal quale (figura 4.7.2) - dal momento del taglio - portato in un imposto soleggiato esterno al bosco, raggiunge nella tarda estate un contenuto idrico inferiore al 30% ed è pronto per essere cippato<sup>[3]</sup>. Il valore M 30% è definito limite di conservabilità, al di sotto del quale il cippato è classificato idoneo ad essere stoccato senza problemi di stabilità biologica (ÖNORM M 7133).

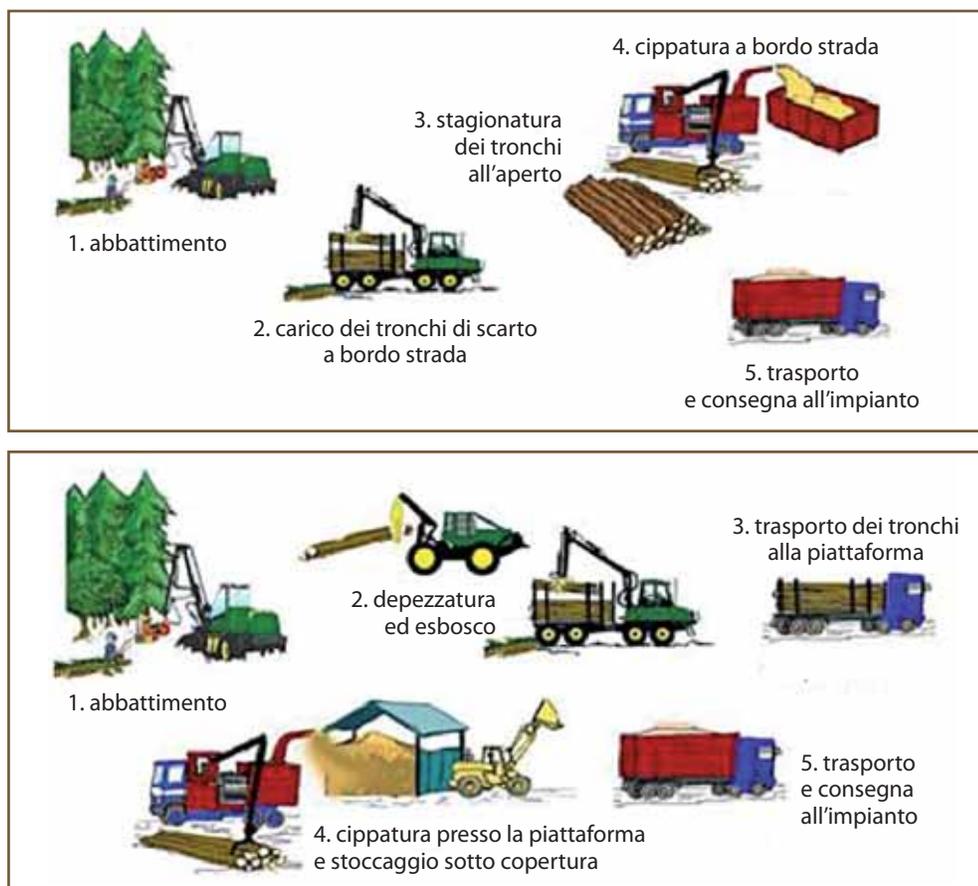
**Figura 4.7.2** Andamento di M per varie specie<sup>[3]</sup>



La fase di stagionatura del materiale tal quale può avvenire a bordo strada, nei casi in cui si disponga di un imposto soleggiato e di adeguate dimensioni, oppure deve essere trasportato presso una piattaforma logistica dove è cippato e stoccato sotto copertura (figura 4.7.3).

Quando la stagionatura avviene presso una piattaforma logistico-commerciale, per velocizzare la perdita di acqua dei tronchi, è buona prassi "fendere" i tronchi più grossi ( $\varnothing > 35-40$  cm) con una apposita pinza fendi-tronchi (figura 4.7.4).

**Figura 4.7.3** Produzione di cippato forestale dopo la stagionatura del materiale all'imposto e presso una piattaforma<sup>[13]</sup>



**Figura 4.7.4**



## 4.8 Piattaforma biomasse logistico-commerciale (BL&TC)

La BL&TC è un luogo fisico localizzato in base alle caratteristiche forestali e produttive del bacino di approvvigionamento (offerta) e della localizzazione e tipologia degli acquirenti (domanda), dotato di piazzali di primo stoccaggio e stagionatura del legno tal quale e di una copertura per lo stoccaggio e stagionatura del cippato e della legna da ardere (figura 4.8.1). La BL&TC è un'infrastruttura fondamentale per la produzione e commercializzazione professionale dei combustibili legnosi tal quali che consente di offrire sul mercato prodotti rispondenti alle specifiche tecniche.

**Figura 4.8.1** Piattaforma logistico-commerciale Pölstal (Stiria-Austria)



### Coperture per la conservazione e stagionatura del cippato

Il modo più efficace di conservare e stagionare il cippato è disporlo sopra una superficie impermeabile (cemento e/o asfalto) protetto da una copertura localizzata in un sito soleggiato e ventilato. La struttura della copertura (figura 4.8.2) deve massimizzare l'aerazione dello stoccaggio e consentire di compiere comodamente le operazioni di movimentazione e carico/scarico del cippato.

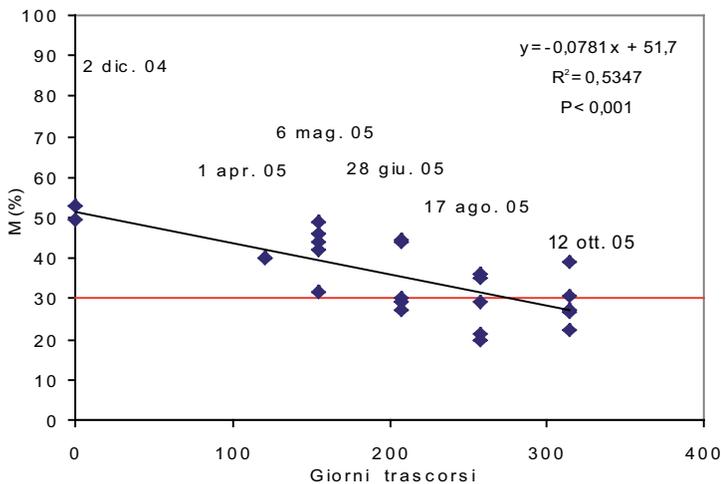
**Figura 4.8.2** Esempi di struttura architettonica di due piattaforme biomasse in Austria (Pölstal, Stiria) e in Italia (Deutschnofen, Bolzano)



### Copertura del cippato con tessuti protettivi

Sono disponibili sul mercato tessuti protettivi specifici per il cippato ([www.tencate.com](http://www.tencate.com)) che hanno dimostrato una buona efficacia sia per la stagionatura del cippato fresco che per la conservazione del cippato M<30 (figura 4.8.3.).

**Figura 4.8.3** Il legno (platano) tagliato in dicembre e cippato fresco raggiunge M30 dopo 9 mesi<sup>[15]</sup>



Il tessuto è traspirante e consente l'allontanamento dell'aria satura d'acqua durante la fase di autoriscaldamento della massa. Il cippato deve essere posto possibilmente su una superficie impermeabile e al cumulo deve essere data forma conica per favorire lo scorrimento dell'acqua piovana sulla superficie del tessuto (figura 4.8.4).

**Figura 4.8.4** Cumulo di cippato protetto con tessuto presso l'impianto di Praglia, Padova



## 4.9 Sistemi di essiccazione

### Asciugatura indotta dal calore dei processi fermentativi

Il calore originato dai processi di demolizione della sostanza legnosa nei cumuli di cippato origina moti convettivi che richiamano aria più fresca dal basso e lateralmente. Perciò, sono particolarmente efficaci le pavimentazioni ventilate nelle coperture di stoccaggio. Nel caso di cippato di pezzatura medio-fine, l'effetto di autoriscaldamento sull'asciugatura del cippato è molto efficace in combinazione con sistemi di ventilazione forzata. L'allontanamento forzato dell'aria satura d'acqua, originata dal calore di auto-riscaldamento della massa, comporta anche il suo raffreddamento.

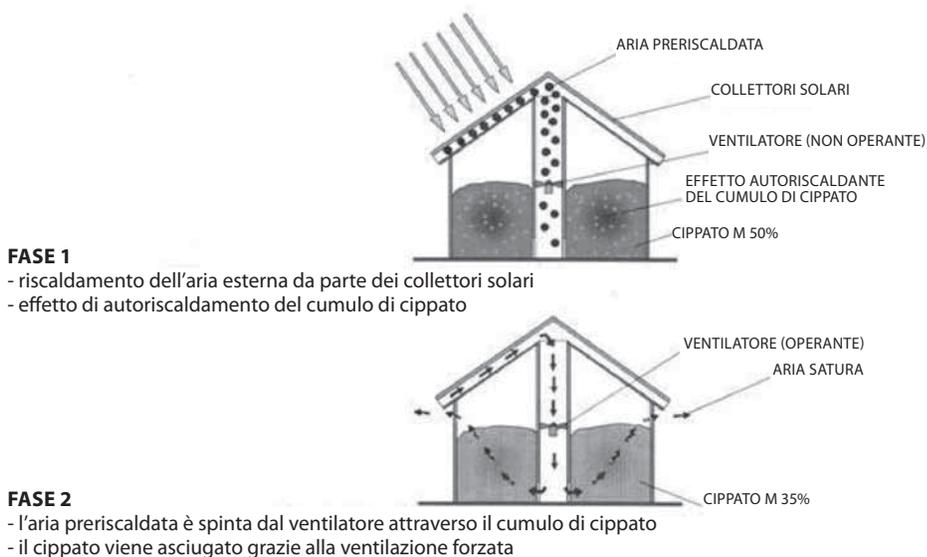
Nelle strutture con sistemi di circolazione dell'aria forzata, i cicli di aerazione sono regolati dalle differenze di temperatura; già a partire da un  $\Delta T$  interno-esterno di 5-10°C è favorita la circolazione naturale dell'aria consentendo così di ridurre l'energia necessaria per forzare la circolazione.

### Ventilazione forzata con aria preriscaldata dall'energia solare

Qualsiasi misura tecnica (esterna) che innalza anche di pochi gradi la temperatura dell'aria all'interno della massa del cippato, induce fenomeni di circolazione d'aria favorendo l'essiccazione del legno.

Nel caso di coperture con prevalente funzione di stagionatura del cippato, si può prevedere la costruzione di strutture con sistemi di ventilazione forzata di aria preriscaldata in un'apposita intercapedine sotto tetto. L'aria preriscaldata dal sole viene successivamente convogliata in un camino di ventilazione e forzata dal basso con un ventilatore all'interno dei cumuli di cippato (figure 4.9.1 e 4.9.2). Con tali sistemi, indicativamente, si riescono a portare in una settimana (in primavera-estate) 150 msr di cippato da M 50% a M 30%.

**Figura 4.9.1** Fasi di un sistema di ventilazione forzata con aria preriscaldata<sup>[6]</sup>



**Figura 4.9.2** Sistema di ventilazione forzata con aria preriscaldata nella piattaforma di Pölstal, Stiria – Austria



Durante la notte, quando l'umidità relativa dell'aria aumenta, è bene sospendere la ventilazione forzata al fine di impedirne l'acquisizione da parte del cippato.

Per il calcolo di progetto della portata d'aria necessaria, si può fare riferimento alla superficie coperta dal cumulo. Tale grandezza è espressa in termini di velocità dell'aria, che per il cippato varia nel range 180-540 m<sup>3</sup>/h (=0,05-0,15 m/s) per ogni m<sup>2</sup> di superficie coperta dal cumulo. Queste grandezze possono anche essere espresse in termini volumetrici (tasso di ventilazione), per esempio nel caso del cippato sono necessari circa 40 m<sup>3</sup>/h d'aria per ogni m<sup>3</sup> di legno (tondo) da essicare. Nella prassi, per accelerare il processo di essiccazione, il tasso di ventilazione può essere aumentato fino a 150 m<sup>3</sup>/((h m<sup>3</sup>)<sup>[2]</sup>.

### Sistemi a ventilazione forzata per la legna da ardere

Si tratta di una serra con un sistema di ventilazione forzata che consente di ridurre notevolmente i tempi di stagionatura. In 15 giorni circa si portano 200 msr di legna fresca a M20. Il ventilatore assorbe circa 1 kWe e favorisce la circolazione dell'aria riscaldata principalmente dal sole e d'inverno con l'integrazione di una caldaia a cippato/pellet. Il ricambio dell'aria satura interna avviene automaticamente con l'azionamento di aperture sul tetto. La struttura (figura 4.9.3) ha un costo di circa € 150.000 e il costo di produzione della legna aumenta di ca. 15 €/msr. L'onere è comunque compensato dalla minore richiesta di spazio e dalla possibilità di commercializzare legna M20 con 8 mesi e mezzo di anticipo.

**Figura 4.9.3** Serre per l'essiccazione della legna da ardere presso Biomassehof Allgäu (Baviera)



### Essiccazione con aria calda

L'effetto di essiccazione migliora sensibilmente impiegando aria riscaldata con un generatore. La temperatura di lavoro può variare da 20 fino a 100°C. Anche in questo caso l'aria è immessa nell'ammasso di legna/cippato per mezzo di un ventilatore.

Il calore necessario per l'essiccazione è pari complessivamente a ca. 3-4 MJ per kg di acqua, di cui 2,5 MJ/kg per il preriscaldamento e l'evaporazione dell'acqua. Accanto ai sistemi dedicati per la produzione di calore è bene sfruttare calore a basso costo (o gratuito) coprodotto e recuperato da impianti di cogenerazione (biogas o impianti a cippato); questa energia termica - che nel periodo estivo è quasi sempre completamente dissipata - può essere pertanto valorizzata per essiccare il cippato o la legna.

### Dispositivi semplificati di essiccazione

Per l'essiccazione del cippato e della legna sono proposte strutture semplificate fisse o mobili con una doppia pavimentazione basale forata attraverso la quale è immessa aria calda. Il sistema di distribuzione del calore è costituito da una serie di tubazioni rigide facilmente allestite nell'essiccatoio ricavabile da un container scarrabile o da un carro agricolo (figure 4.9.4 e 4.9.5).

Accanto agli essiccatoi semplificati sono oggi disponibili sul mercato dispositivi più evoluti predisposti per sfruttare il calore di processo degli impianti di biogas (figura 4.9.6).

**Figura 4.9.4** Container: costa ca. € 50.000, può ospitare 22 contenitori di legna da 1 msr; il resto dello spazio è occupato dal ventilatore e dal sistema di regolazione. Tempi di essiccazione: ca. 5 giorni per ottenere legna M20<sup>[16]</sup>



Foto: Energie Pflanzen 6/2006

**Figura 4.9.5** Rimorchio agricolo: costa ca. 1.500-2.000 €. L'aria calda è ottenuta dal calore di recupero di un impianto di biogas attraverso uno scambiatore: i due tubi flessibili conducono aria a 80°C nel doppio fondo (alto circa 10 cm) del carro agricolo riempito di cippato. Nella fase di essiccazione il cippato non ha bisogno di essere mescolato e in 2-3 giorni è pronto per la consegna (M30)<sup>[17]</sup>



Foto: Energie Planzen 6/2007

**Figura 4.9.6** Essiccatoi a tamburo orizzontale per legna e cippato ([www.s-und-ue.de](http://www.s-und-ue.de))<sup>[18]</sup>





## 5. COSTI DELL'ENERGIA, ANDAMENTI E CONFRONTI

I prezzi di mercato dei vari combustibili, sia legnosi che fossili, sono espressi con unità di misura diverse (ponderali e volumetriche) e sono altresì caratterizzati da poteri calorifici assai differenti, perciò si rende difficile un loro immediato confronto. Il parametro che permette di confrontare il prezzo dei combustibili è il costo dell'energia primaria (€/MWh), ovvero il costo dell'energia che essi contengono prima della loro conversione in energia utile.

**Tabella 5.1** Costi dell'energia primaria a confronto rispetto al cippato (prezzi IVA esclusa\*)

	MWh	Prezzo €	Prezzo energia €/MWh	Rapporto
1 t cippato (M30, P45)	3,40	<b>68</b>	<b>20,00</b>	1,00
1 t cippato (M40, P45)	2,81	<b>56</b>	<b>20,00</b>	1,00
1 t legna (M20, P330)	3,98	130	32,66	1,63
1 t Pellet (M10) sfuso	4,70	150	31,91	1,60
1 t Pellet (M10) sacchi 15 kg	4,70	180	38,30	1,91
100 mc Metano "servito"	1,00	70	70,00	3,50
1 t Gasolio per serre	11,7	448	38,39	1,92
1 t Gasolio da riscaldamento	11,7	863	73,95	3,70
1000 l GPL (bombola proprietà)	6,82	1020	149,56	7,48
	MWh	Prezzo €	Prezzo energia €/MWh	Rapporto
1 t cippato (M30, P45)	3,40	<b>85</b>	<b>25,00</b>	1,00
1 t cippato (M40, P45)	2,81	<b>70</b>	<b>25,00</b>	1,00
1 t legna (M20, P330)	3,98	130	32,66	1,31
1 t Pellet (M10) sfuso	4,70	150	31,91	1,28
1 t Pellet (M10) sacchi 15 kg	4,70	180	38,30	1,53
100 mc Metano "servito"	1,00	70	70,00	2,80
1 t Gasolio per serre	11,7	448	38,39	1,54
1 t Gasolio da riscaldamento	11,7	863	73,95	2,96
1000 l GPL (bombola proprietà)	6,82	1020	149,56	5,98

\* Per le utenze domestiche servite a metano ad uso promiscuo, l'IVA è normalmente un costo e quindi il prezzo in questo caso è comprensivo di IVA nonché delle addizionali regionali e locali che concorrono a formare il prezzo/costo finale.

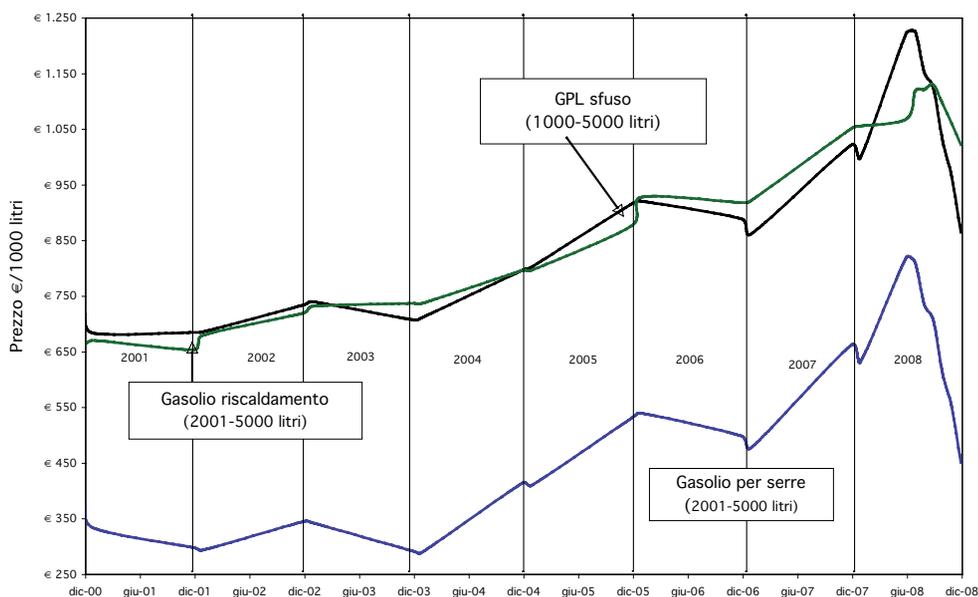
La tabella 5.1 riporta un confronto tra i costi dell'energia di vari combustibili (dicembre 2008) calcolando il rapporto rispetto al cippato con due diversi costi dell'energia primaria: 20 e 25 €/MWh.

Attualmente (stagione termica '08-'09), osservando alcuni contratti di fornitura di cippato in essere, con riferimento in particolare al mercato dell'energia termica, i prezzi di compravendita dell'energia primaria del cippato oscillano tra i 20 e i 25 €/MWh. A questi valori è da aggiungersi l'IVA (10%) e sono inoltre da concordare i costi di conferimento che possono essere inclusi o esclusi.

## 5.1 Andamento recente dei prezzi di alcuni combustibili fossili

I grafici 5.1.1 e 5.1.2 mostrano il recente andamento dei prezzi del gasolio da riscaldamento e del GPL. Dopo una relativa stabilità dei prezzi (periodo '00-'04), negli ultimi cinque anni, si è assistito ad un progressivo e significativo incremento del prezzo che è culminato nell'estate del 2008 per poi ritornare su valori di inizio 2005.

**Grafico 5.1.1** Prezzi del gasolio e del GPL nel periodo 01-2000 – 08-2008

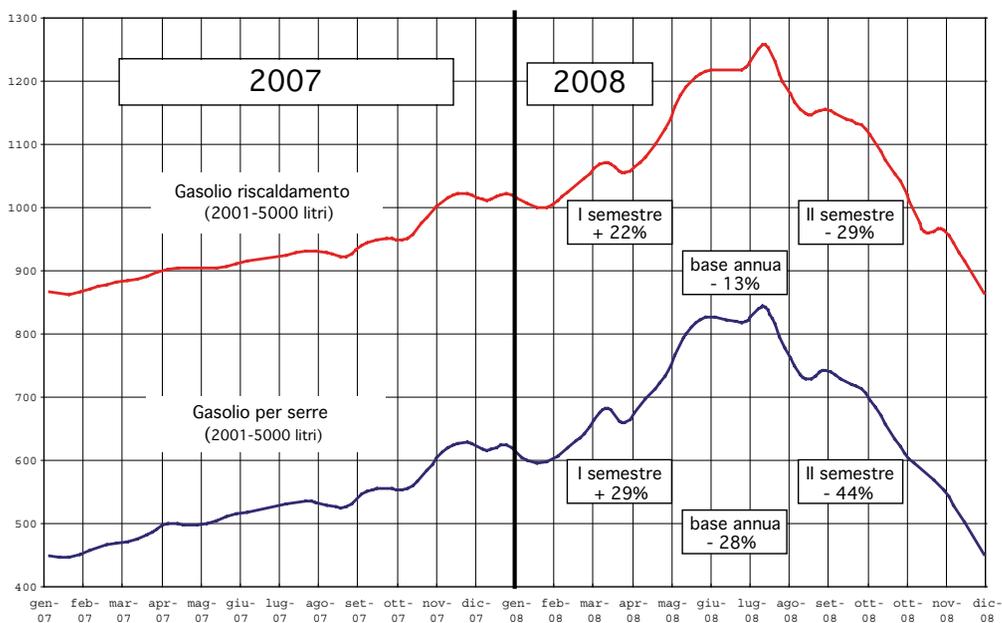


Fonte: elaborazione su dati CCIAA Padova e Treviso

Nel grafico 5.1.1 si può notare come apparentemente il prezzo del gasolio da riscaldamento e del GPL siano del tutto simili, mentre il costo/prezzo dell'energia differisce sensibilmente (cfr. grafico 5.2.1).

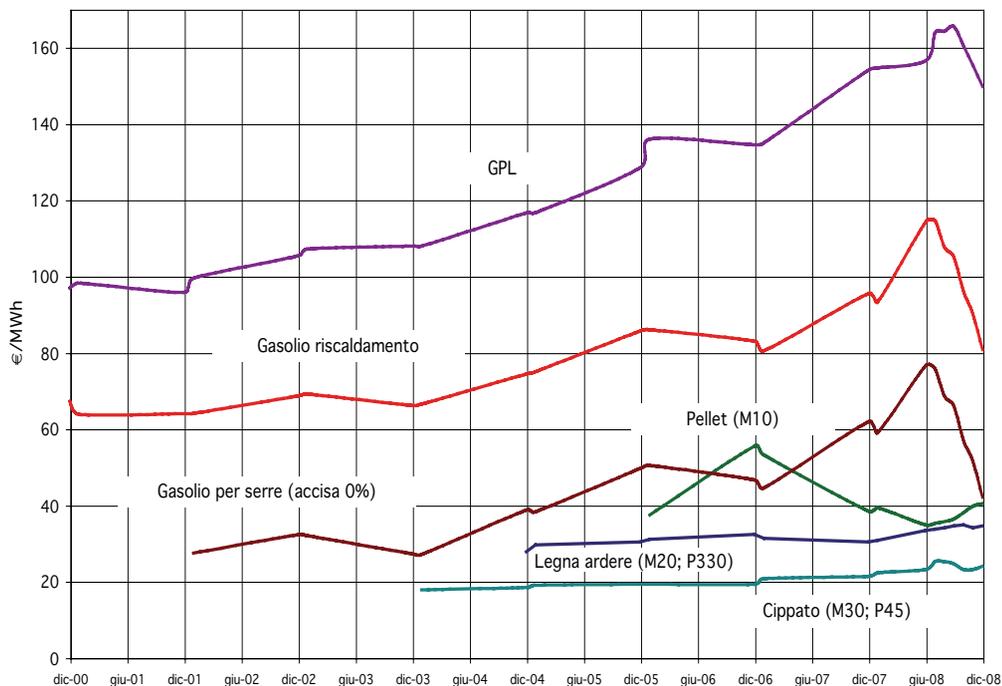
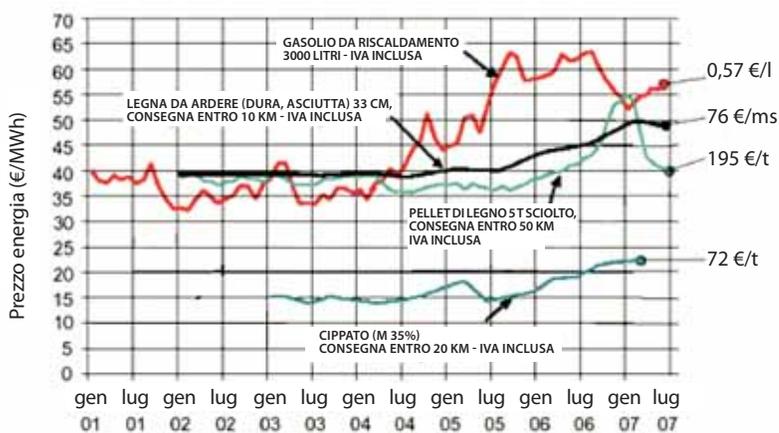
Il gasolio per serre rispecchia esattamente l'andamento del prezzo del gasolio da riscaldamento avendo tolto interamente l'accisa.

### Grafico 5.1.2 Prezzi del gasolio da riscaldamento e per serre nel periodo '07-'08



## 5.2 Costi dell'energia a confronto nel medio periodo

Il grafico 5.2.1 mette a confronto l'andamento dei costi dell'energia di alcuni combustibili legnosi e fossili. A differenza di altri paesi (grafico 5.2.2), sia per la legna che per il cippato, non esiste un sistema di monitoraggio dei prezzi né a livello regionale né tanto meno a livello nazionale. I prezzi riportati per il cippato sono quelli applicati in alcuni contratti di fornitura di impianti termici medio-piccoli e si riferiscono a cippato M30, P45. Per il pellet si è fatto riferimento alle recenti rilevazioni nazionali ([www.pelletgold.net](http://www.pelletgold.net)) e ai dati del mercato austriaco e tedesco ([www.propellets.at](http://www.propellets.at), [www.depv.de](http://www.depv.de)).

**Grafico 5.2.1** Costi dell'energia nel periodo 2001-2008 (IVA escl.)**Grafico 5.2.2** Costi dell'energia nel periodo 2001-2007 in Germania meridionale

Fonte: www.tfz.bayern.de

## 5.3 Costi dell'energia utile

Un aspetto importante nelle valutazioni economiche è il calcolo del costo dell'energia utile, ovvero comprensivo dell'investimento e delle spese accessorie per il funzionamento dell'impianto.

A titolo esemplificativo è stato determinato il costo di produzione di sei diversi sistemi di generazione termica con caldaie di 100 kW e con medesimo grado di utilizzo annuo (1300 ore). Indicativamente un'abitazione di circa 100 m<sup>2</sup> e con tre persone che vi abitano, ha un consumo annuo di ca. 10-15 MWh. Tale potenza (100 kW) quindi, può servire orientativamente una palazzina di 6 appartamenti (tabella e grafico 5.3.1).

Le assunzioni fatte (es. la scelta del saggio d'interesse, della durata dell'investimento, del rendimento medio annuo del generatore etc.) e i valori utilizzati si riferiscono a condizioni medie.

**Tabella 5.3.1** Le voci di costo ed i valori per i diversi sistemi

IMPIANTI E COSTI OPERATIVI	U.M.	LEGNA A.	LEGNA C.	CIPPATO	PELLET	METANO	GASOLIO	GPL
Saggio d'interesse	%	5	5	5	5	5	5	5
Durata investimento (anni)	a	20	20	20	20	20	20	20
Potenza della caldaia	kW	100	100	100	100	100	100	100
Ore annuo funzionamento	h	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
Prod. energia primaria	MWh/a	130	130	130	130	130	130	130
Rend. stagionale impianto	%	75%	75%	79,0%	84%	90%	85%	90%
Energia utile*	MWh/a	97,50	97,50	102,70	109,20	117,00	110,50	117,00
Costi investimento (IVA incl.)	€	45.000	45.000	65.000	40.000	13.000	18.000	13.000
Costi del capitale = reintegra (R)	€/a	1.361	1.361	1.966	1.210	393	544	393
Fabbisogno annuo combustibile	u.m.	32,7	32,7	38,2	28,3	13.542	13.000	19.062
Costo/prezzo combustibile**	€/u.m.	77	130	88	216	0,72	1,04	1,22
Spesa annua combustibile (a)	€/a	2.944	4.971	3.365	6.104	9.750	13.463	24.863
Energia elettrica (b)	€/a	50	50	200	100	30	30	30
Costi operativi (O=a+b)	€/a	2.994	5.021	3.565	6.204	9.780	13.493	24.893
Spese emissioni e pulizia camino (c)	€/a	130	130	130	130	60	60	60
Manutenzione ord. e straord. (d)	€/a	300	300	400	200	95	95	95
Costi d'esercizio (E=c+d)	€/a	430	430	530	330	155	155	155
COSTI ANNUI (R+O+E)	€/a	4.785	6.812	6.060	7.744	10.328	14.192	25.441
COSTI ENERGIA UTILE	€/MWh	49,08	69,87	59,01	70,92	88,27	128,44	217,44

\* Poteri calorifici impiegati: legna M20 3,98 MWh/t, cippato M30 P45 3,4 MWh/t, pellet 4,6 MWh/t, metano 9,6 kWh/m<sup>3</sup>, gasolio 10 kWh/l, GPL 6,82 kWh/l.

\*\* Prezzi (IVA inclusa, per i combustibili legnosi è al 10%).

**Abbreviazioni** - Legna A.: legna da ardere autoprodotta, pezzatura voluta; Legna C.: legna da ardere comperata sul mercato locale (P500); Cippato: M30 P45.



**Box 5.3.1 Dati tecnico-economici di un caso reale – Impianto termico di Loro Ciuffenna (AR)**

L'impianto ha erogato energia per due annate termiche: 2006/2007 e 2007/2008.

Le utenze:

- 1) Sede della Comunità Montana
- 2) Scuola elementare e materna
- 3) Scuola media e mensa
- 4) Micronido

**Dati di sintesi dell'impianto (2007/2008)**

Potenza nominale della caldaia	500 kW
Lunghezza rete	270 m
Sottostazioni	4
Volumetria riscaldata	16.000 mc
Consumo di cippato	235,6 t/anno
Contenuto idrico medio del cippato (M)	33 %
Costo del cippato	66 €/t + IVA 10% inclusa
Spesa annua per il cippato	15.550 €
Costo energia primaria del cippato	20,5 €/MWh
Mancata spesa annua ( risp. metano)	54.000 €
Consumo energia elettrica	5.072 kWh/anno
Spesa energia elettrica	1.000 €/anno
Investimento totale	337.855 €
Investimento netto	229.741 €
Contributo pubblico (regionale)	108.114 € (32%)

**Consumo di cippato e costo dell'energia termica**

ANNATA TERMICA	Cippato (t/anno)	MWh termici erogati	€/MWh
2006/2007	213,4	556	39,03
2007/2008	235,6	603	38,45

**Contributo delle voci di costo**

Voci di costo	2006-2007		2007-2008	
	€/MWh	%	€/MWh	%
Quota reintegra capitale	9,5	24,37	8,8	22,78
Spesa cippato	25,3	64,91	25,8	67,00
Manutenzione e gestione	1,8	4,61	1,7	4,31
Energia elettrica	1,6	4,15	1,5	3,88
Smaltimento ceneri	0,8	1,97	0,8	2,03
<b>TOTALE</b>	<b>39,03</b>	<b>100</b>	<b>38,45</b>	<b>100</b>

### **Rendimento medio stagionale dell'impianto**

Per l'annata termica 2007-2008 il rendimento medio stagionale dell'impianto – ovvero il rapporto tra l'energia primaria del cippato in ingresso (732 MWh) e l'energia termica erogata alle utenze (603 MWh) – è stato dell'82%.

## **5.4 Compravendita della legna e del cippato**

La vendita della legna e del cippato avviene a peso (€/t) o a volume sterico (€/msa e €/msr), perciò il produttore professionale deve fornire all'acquirente le informazioni minime sulle caratteristiche fisico-energetiche del combustibile tali da permettere una oggettiva valutazione di convenienza del prezzo ponderale o volumetrico proposto.

In questo senso l'applicazione delle specifiche tecniche europee (cfr. cap. 4) nella compravendita riveste notevole importanza. La presenza di produttori professionali sul mercato consente di mettere a punto sistemi di compravendita pratici e trasparenti che conquistano la fiducia dei consumatori e favoriscono lo sviluppo del mercato.

### **Legna da ardere**

Le informazioni normative che devono essere specificate per la vendita della legna da ardere sono quelle riportate in tabella 4.1.1. Le piattaforme logistico-commerciali più evolute (es. [www.holzbrennstoffe.de](http://www.holzbrennstoffe.de), [www.ofen-holz.at](http://www.ofen-holz.at); [www.biomassehof-stmk.at](http://www.biomassehof-stmk.at)) vendono la legna a volume sterico, pronta all'uso (M20), specificando, oltre alla classe di contenuto idrico, la composizione e le caratteristiche dimensionali. In allegato si riporta un esempio di compilazione di un listino prezzi per la vendita professionale della legna da ardere (A4).

Nei casi ancora molto frequenti in cui sia specificata solo la composizione della legna e non il suo contenuto idrico, l'acquisto a volume è sempre da preferire rispetto a quello a peso per la minore incertezza con cui si riesce a determinare il costo dell'energia, soprattutto nel caso di acquisto di materiale non stagionato<sup>[5]</sup>.

Attualmente è piuttosto diffusa la vendita della legna accatastata in bancali di 1x1x1,8 m con specificazione della composizione. Per gli utilizzatori occasionali la legna spaccata corta è disponibile pronta all'uso (M20) in cartoni o in sacchi di rete, venduta a peso (6-17 kg) con indicazione della specie legnosa.



### Esempio 5.4.1 – Calcolo del costo dell'energia della legna da ardere

Si supponga di dover acquistare la legna per alimentare la propria moderna caldaia per l'intera stagione termica e di dover valutare il miglior prezzo offerto. Il produttore vi propone un prezzo a volume sterico per spacconi da 1 m (P1000) differenziato per specie:

faggio            62 €/msa

abete rosso    46 €/msa

Si ha la necessità quindi di ricercare il miglior prezzo attraverso il calcolo del costo dell'energia

1) calcolo la massa sterica della legna M20, P1000 per le due specie utilizzando le tabelle 1.7.2 e 1.7.3

faggio →  $453 \times 0,81 = 367 \text{ kg/msa}$

abete →  $315 \times 0,86 = 271 \text{ kg/msa}$

2) calcolo il costo dell'energia della legna M20 con  $pc_{20} = 4 \text{ kWh/kg}$

faggio →  $62 : [(367 \times 4) : 1.000] = 42,2 \text{ €/MWh}$  (11,7 €/GJ)

abete →  $46 : [(271 \times 4) : 1.000] = 42,4 \text{ €/MWh}$  (11,8 €/GJ)

Con questo livello di prezzi proposti e tipo d'uso finale della legna i due prodotti dal punto di vista del costo dell'energia risultano equivalenti.

## Cippato

Nei mercati del centro-nord Europa e nel caso di cippato venduto direttamente dalle segherie, la composizione è generalmente sempre nota, perciò la vendita a volume, anche senza una precisa indicazione del contenuto idrico, consente di determinare con sufficiente precisione il costo dell'energia.

Al contrario, nel centro-sud Europa e nel caso di produttori che operano su soprassuoli forestali misti, è di fatto impossibile conoscere la composizione del cippato; nella fattispecie risulta quindi più indicata la compravendita del cippato a peso con misurazione del contenuto idrico. Infatti, attraverso la conoscenza del peso e del contenuto idrico, anche con la più ampia differenza di composizione, la variazione del contenuto energetico del carico è molto limitata perché – come già detto – il  $pc_0$  del legno è pressoché uguale nelle diverse specie<sup>[14]</sup>.

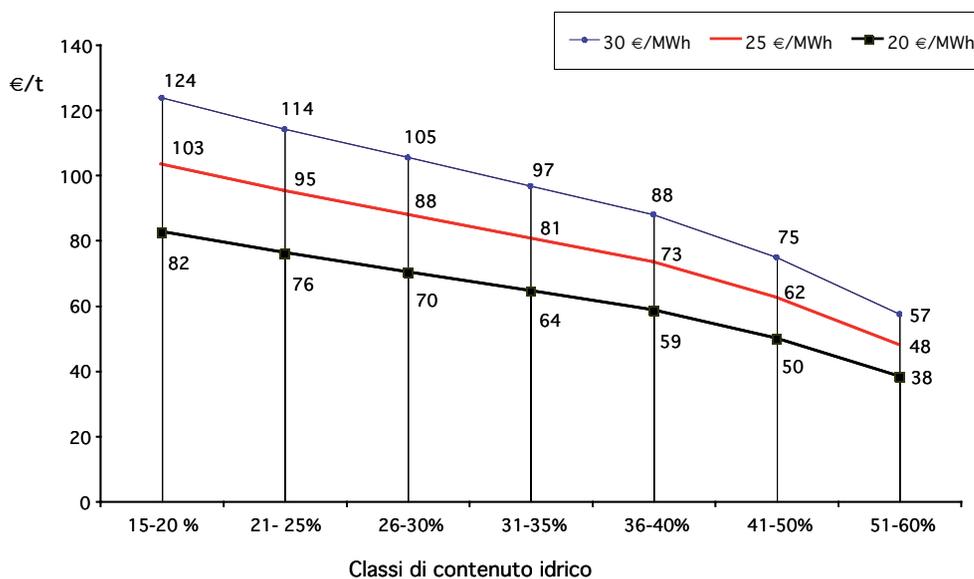
Nella prassi, le parti contrattano un prezzo base del cippato ad un contenuto idrico minimo, sulla base del quale è calcolato il prezzo dell'energia primaria. A questo punto si definisce una tabella in cui si fissano i prezzi del cippato in base alla classe di contenuto idrico, mantenendo costante il prezzo dell'energia (tabella 5.4.1).



**Tabella 5.4.1** Prezzi ponderali del cippato per classi di contenuto idrico al costo dell'energia di 25 €/MWh

Classi di contenuto idrico	M (%)	€/t	
		IVA escl.	IVA incl.
M 20	≤ 20	103	114
M 25	≤ 25	95	105
M 30	≤ 30	88	97
M 35	≤ 35	81	89
M 40	≤ 40	73	81
M 50	≤ 50	62	69
M 60	≤ 60	48	53

**Grafico 5.4.1** Variazione del prezzo ponderale del cippato in funzione delle classi di contenuto idrico per tre valori del costo dell'energia



In allegato (A1) si riporta una bozza di contratto di compravendita del cippato a contenuto energetico.

## 5.5 Consumi energetici ed emissioni di CO<sub>2</sub>

Per l'adozione di sistemi rinnovabili di energia è utile e corretto poter disporre di valutazioni comparative sul consumo energetico non rinnovabile necessario per alimentare - con energia e materie prime - l'intero processo (filiera) di produzione dell'energia utile. L'analisi energetica\* include tutti i consumi di energia non rinnovabile che avvengono lungo la filiera: l'estrazione, la lavorazione, lo stoccaggio e la conversione energetica del combustibile, compreso il costo energetico dei macchinari e delle attrezzature impiegate per le singole fasi.

In tabella 5.5.1 si riportano i consumi energetici espressi in percentuale di energia non rinnovabile consumata per produrre l'energia termica utile (CER\*\*).

Il consumo energetico per la produzione e l'uso finale del combustibile comporta l'emissione in atmosfera di una certa quantità di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e di altri gas ad effetto serra che sono espressi in forma aggregata con il parametro CO<sub>2</sub> equivalente.

I valori riportati in tabella 5.5.1 consentono di calcolare la riduzione di CO<sub>2</sub> conseguibile sostituendo i combustibili fossili con quelli legnosi.

**Tabella 5.5.1 Consumi energetici ed emissioni di CO<sub>2</sub>**

Sistemi di riscaldamento	CER %	CO <sub>2</sub> kg/MWh	CO <sub>2</sub> eq. kg/MWh
Legna da ardere (10 kW)	3,69	9,76	19,27
Cippato forestale (50 kW)	7,81	21,12	26,04
Cippato forestale (1 MW)	8,61	21,13	23,95
Cippato da SRC di pioppo (50 kW)	10,44	27,39	40,16
Pellet (10 kW)	10,20	26,70	29,38
Pellet (50 kW)	11,08	28,95	31,91
Gasolio (10 kW)	17,33	315,82	318,91
Gasolio (1 MW)	19,04	321,88	325,43
GPL (10 kW)	15,03	272,51	276,49
Metano (10 kW)	14,63	226,81	251,15
Metano (1 MW)	17,72	233,96	257,72

\* Analisi condotta con il database GEMIS (*Global Emission Model for Integrated Systems* versione 4.42, Öko-Institut e.V. Darmstadt (Germania) [www.oeko.de](http://www.oeko.de)).

\*\* CER: *Cumulated Energy Requirement*, è la misura dell'ammontare complessivo di risorse energetiche (primarie) necessarie per erogare l'unità di energia termica utile.

**Esempio 5.5.1 – Calcolo della riduzione di CO<sub>2</sub> e di CO<sub>2</sub> eq.**

In riferimento all'impianto di Loro Ciuffenna (pag. 75) si riporta un esempio di calcolo della riduzione di CO<sub>2</sub> ottenuta sostituendo il metano con il cippato forestale.

- 1) calcolo del monte energia utile annuo erogato dall'impianto

calcolo il valore medio dei MWh annui erogati:  $(556+603)/2 = 580$  MWh

- 2) calcolo delle tonnellate di CO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> eq. emesse annualmente con il metano (tabella 5.6.1)

metano:  $(580 \times 233,96): 1000 = 135,7$  t CO<sub>2</sub>

metano:  $(580 \times 257,72): 1000 = 149,5$  t CO<sub>2</sub> eq.

- 3) calcolo delle tonnellate di CO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> eq. emesse annualmente con il cippato (tabella 5.5.1)

cippato forestale:  $(580 \times 21,13): 1000 = 12,3$  t CO<sub>2</sub>

cippato forestale:  $(580 \times 23,95): 1000 = 13,9$  t CO<sub>2</sub> eq.

- 4) calcolo della riduzione di CO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> eq. metano-cippato

$135,7 - 12,3 = 123,4$  t CO<sub>2</sub>/anno

$149,5 - 13,9 = 135,6$  t CO<sub>2</sub> eq./anno

Ipotezzando una vita utile dell'impianto di 20 anni si ottiene una mancata emissione di 2468 t CO<sub>2</sub>.

Un automobilista che percorre annualmente 25.000 km emette ca. 3,5-4 t di CO<sub>2</sub>; questo impianto sostituisce quindi ca. 30 automobili che percorrono nel loro insieme 830.000 km/anno.

- 5) calcolo del valore monetario della riduzione

sul mercato internazionale BlueNext (EUA) una tonnellata di CO<sub>2</sub> è quotata 15 € (dicembre 2008)

$123,4 \times 15 = 1851$  €/anno



**ALLEGATI**



# A1. Esempio di contratto per la compravendita di cippato a contenuto energetico

(cfr. CEN/TS 14961:2005 e UNI/TS 11264:2007)

## Parti Contraenti

Il presente contratto è stipulato tra:

il fornitore *Cooperativa AGROFORESTALE Viale Università 14 32021 Agordo (BL) P.Iva 01237780265* di seguito denominato **FO**  
e

l'acquirente *Teleriscaldamento EnergiaLegno Spa* di seguito denominato **TE**

## Art. 1. Oggetto

L'oggetto di questo contratto è la consegna da parte di FO di cippato, prodotto dalla sminuzzatura di legno vergine, a TE. Il cippato servirà da combustibile per l'approvvigionamento della centrale termica di proprietà di TE.

## Art. 2. Tempi di consegna

FO si impegna a consegnare ciascun carico di combustibile entro 6 gg lavorativi dalla richiesta scritta (via fax o email) comunicata da TE. Quest'ultimo comunicherà anche l'entità del carico da consegnare espresso in tonnellate.

## Art. 3. Fabbisogno annuale

La quantità di cippato da consegnare nel periodo di validità del presente contratto è pari a quella che sarà effettivamente consumata dall'impianto nella stagione di riscaldamento, che - sulla base dei calcoli energetici - si stima in **500 tonnellate** (con contenuto idrico di riferimento del 30%).

## Art. 4. Provenienza della biomassa combustibile

Il cippato consegnato deve essere prodotto dalla lavorazione meccanica di legno vergine come definito nel Dlgs 152/2006 "Norme in materia ambientale".

Il cippato può essere prodotto dalla sminuzzatura di: tronchi sramati di conifere o latifoglie, tronchi di latifoglie con rami e privi di foglie, ramaglia di latifoglie senza foglie o con

foglie secche, refile e sciaveri e altri scarti di prima lavorazione del legno che consentano di ottenere cippato di elevata qualità. Con riferimento alla classificazione della UNI/TS 11264: 1.1.2.2, 1.1.1.2, 1.2.1.1, 1.2.1.2.

#### Art. 5. Pezzatura

Per la pezzatura si fa riferimento alle specifiche della norma UNI/TS 11264.

Il cippato consegnato dovrà appartenere alla classe **P45**.

Classi dimensionali del cippato secondo la norma CEN/TS 14961

Classi dimensionali (mm)	Composizione granulometrica percentuale		
	Frazione principale >80%	Frazione fine <5%	Frazione grossolana <1%
P16	$3,15 \leq P \leq 16$	<1 mm	> 45 mm e tutto < 85 mm
P45	$3,15 \leq P \leq 45$	<1 mm	> 63 mm
P63	$3,15 \leq P \leq 63$	<1 mm	>100 mm
P100	$3,15 \leq P \leq 100$	<1 mm	>200 mm

#### Art. 6. Purezza

Il cippato consegnato deve essere privo di elementi estranei quali: chiodi, fili, bulloni ed ogni altro oggetto metallico.

#### Art. 7. Contenuto idrico e peso del carico

Il contenuto idrico (M) e il peso del carico è determinato da FO.

#### Art. 8. Modalità e tempi di fatturazione

La fatturazione del cippato consegnato si riferisce al suo **contenuto energetico**, ovvero al suo  $p_{C_M}$  espresso in MWh/t, calcolato sulla base del peso (t) e del contenuto idrico (M) del carico, secondo la seguente formula:

$$p_{C_M} = \frac{18,5 \times (100 - M) - 2,44 \times M}{100} \times 0,278$$

Per ciascuna consegna, FO rilascia a TE una **dichiarazione di qualità del cippato** (cfr A2).

### Art. 9. Prezzo di consegna franco centrale

TE paga il cippato a FO al prezzo base di **85,00 Euro/t** (+IVA 10%) con **M30, franco centrale termica (24,15 €/MWh)**. Il prezzo varia in funzione del contenuto idrico del cippato consegnato. Il contenuto idrico del cippato consegnato non dovrà mai essere superiore al 35%.

La tabella seguente definisce la variazione del prezzo base in funzione di 4 classi di contenuto idrico.

Prezzo energia:	€/MWh 24,15	€/t	
Classi di contenuto idrico		IVA escl.	IVA incl.
M 20	15-20 %	€ 95	€ 104,5
M 25	21- 25%	€ 90	€ 99,0
M 30	26-30%	€ 85	€ 93,5
M 35	31-35%	€ 75	€ 82,5

### Art. 11. Pagamenti

TE liquida l'importo fatturato **entro 30 giorni f.m** dalla data di emissione della fattura. In caso di mancato pagamento entro i termini stabiliti, FO si riserva la possibilità di interrompere il servizio di fornitura nonché di chiedere il pagamento degli interessi di mora, sulla base della normativa vigente.

### Art. 12. Forniture non conformi

La fornitura di un carico di cippato non conforme non sarà pagata da parte di TE.

### Art. 13. Durata del contratto

Il presente contratto ha una durata di **tre anni** a partire dalla sottoscrizione delle parti. Se l'operatività dell'impianto cessa o se è considerevolmente compromessa dal ritiro delle autorizzazioni necessarie, ovvero da decisioni emesse dalle Autorità competenti o per altri motivi che non sono imputabili alle parti contraenti, TE è autorizzato a scindere permanentemente il presente contratto entro 6 mesi.

### Art. 14. Disposizioni particolari

1. Per tutte le controversie che dovessero sorgere in ordine alla validità, interpretazione, corretta applicazione del presente contratto e, comunque, da qualsiasi pretesa rinveniente dallo stesso, le parti convengono che è esclusivamente competente il Tribunale di Belluno.

2. Il presente contratto ha validità a tutti gli effetti dal momento della firma delle due parti contraenti
3. Il presente contratto è prodotto e consegnato in due copie. Ogni parte ne conserva una sottoscritta dai contraenti.
4. Ogni clausola addizionale, soppressione di clausola o complemento contrattuale deve essere consegnato alle parti per iscritto.
5. Il soggetto contrattuale subentrante alle parti assume i diritti e i doveri contemplati nel presente contratto.
6. Le parti contraenti si dividono le spese di stesura del presente contratto in ragione del 50% ciascuno.

Luogo, data  
timbro e firma  
del legale rappresentante di FO

Luogo, data  
timbro e firma  
del legale rappresentante di TE

## A2. Esempio di dichiarazione di qualità del cippato

(cfr. CEN/TS 15234:2006)

Richiedente: Teleriscaldamento EnergiaLegno Spa

DICHIARAZIONE DI QUALITÀ DEL CIPPATO AI SENSI DELLA SPECIFICA TECNICA CEN/TS14961 e UNI/TS 11264	
<b>Fornitore</b>	Cooperativa AGROFORESTALE Viale Università 14 32021 Agordo (BL) Tel 0437 8830722 Fax 0437 8830718 Referente: Sig. Rossi Email agroforestale@agroforestale.it Contratto N 152
<b>Origine</b>	Tronchi di conifere, sciaveri e reflii (1.1.2.2; 1.2.1.2)
<b>Luogo di provenienza</b>	Agordo – Belluno
<b>Quantità fornita</b>	<b>10 t</b> (si allega attestazione della pesata)
<b>Caratteristiche qualitative</b>	
Pezzatura	P45
Contenuto idrico (M)	M30
Contenuto di cenere (% ss)	A3.0
Massa sterica (kg/msr)	230
Potere calorifico (MJ/kg)	12,2
Densità energetica (MJ/msr)	2806

Luogo e data

Firma del compilatore

### A3. Valori limite del contenuto di metalli pesanti nella cenere destinata all'uso agronomico, in Austria<sup>[9, 10]</sup>

Elemento	Valore limite mg/kg <sub>ss</sub>	Quantità spandibile g/ha/anno	
		terreni agricoli	prati-pascoli
Zinco (Zn)	1.500	1.500	1.125
Rame (Cu)	250	250	190
Cromo (Cr)	250	250	190
Piombo (Pb)	100	100	75
Vanadio (V)	100	100	75
Cobalto (Co)	100	100	75
Nichel (Ni)	100	100	75
Molibdeno (Mo)	20	20	15
Arsenico (As)	20	20	15
Cadmio (Cd)	8	8	6
PCDD/F (diossine)	100 ng TE/kg <sub>ss</sub>	100 µg/ha	75 µg/ha

PCDD/F – Dibenzodiossina policloridrica/furani

TE: tossicità equivalente

## A4. Esempio di listino prezzi per la vendita professionale della legna da ardere

I prezzi riportati hanno solo valore indicativo

**LISTINO PREZZI 2007/08**

**Validità fino al 31.07.08**

**Prezzi franco partenza, IVA inclusa.**

**LEGNA DA ARDERE DI FAGGIO E ABETE ROSSO – PRONTA ALL'USO (M20)**

- Prezzi per metro stero accatastato (msa) e metro stero riversato (msr), 1msa ~ 1,4 msr
- Potere calorifico inferiore ( $pc_{20} = 4$  kWh/kg)
- ~ 450 kg faggio ~ 300 kg abete rosso con M20 = 1 msa P330 (L = 33 cm)

<b>Faggio</b> (con una quota di altre sp. pesanti)	Lunghezza (L)	fino a 7 msr	fino a 5 msa	oltre 5 msa sconto 5%
	100 cm (P1000)	-	79,00 €	75,05 €
50 cm (P500)	-	84,00 €	79,80 €	
<b>1 msa = 450 kg</b>	33 cm (P330)	59,70 €	84,00 €	79,80 €
<b>1 msr = 320 kg</b>	25 cm (P250)	63,30 €	89,00 €	84,55 €
<b>Abete rosso</b> (con una quota di larice/pino)	Lunghezza (L)	fino a 7 msr	fino a 5 msa	oltre 5 msa sconto 5%
	100 cm (P1000)	-	69,00 €	65,55 €
50 cm (P500)	-	74,00 €	70,30 €	
<b>1 msa = 300 kg</b>	33 cm (P330)	53,00 €	74,00 €	70,30 €
<b>1 msr = 215 kg</b>	25 cm (P250)	56,60 €	79,00 €	75,05 €

## A5. Abbreviazioni e simboli

$m^3$ : metro cubo

msa: metro stero accatastato

msr: metro stero riversato

u: umidità riferita al peso anidro [%]

M: contenuto idrico riferito al peso tal quale [%]

Mv: massa volumica [ $kg/m^3$ ]

Ms: massa volumica sterica o densità sterica [ $kg/msa$ ,  $kg/msr$ ]

Pu: peso umido [kg, t]

P0: peso anidro [kg, t]

s.s.: sostanza secca [kg, t]

DS: Densità energetica sterica [MJ/msa, MJ/msr]

$pc_M$ : potere calorifico inferiore [MJ/kg, kWh/kg]

$pc_0$ : potere calorifico anidro [MJ/kg, kWh/kg]

tep: tonnellata equivalente di petrolio

Q: potenza termica [kW]

$Q_B$ : potenza al focolare [kW]

$Q_N$ : potenza termica nominale [kW]

$\eta_k$ : rendimento della caldaia [%]

$\beta_v$ : ritiro volumetrico del legno [%]

$\alpha_v$ : rigonfiamento volumetrico del legno [%]

SRC: cedui a corta rotazione

## A6. Prefissi del Sistema Internazionale

$10^n$	Prefisso	Simbolo	Nome	Equivalente decimale
$10^{15}$	<u>peta</u>	P	<u>Biliardo</u>	1 000 000 000 000 000
$10^{12}$	<u>tera</u>	T	<u>Bilione</u>	1 000 000 000 000
$10^9$	<u>giga</u>	G	<u>Miliardo</u>	1 000 000 000
$10^6$	<u>mega</u>	M	<u>Milione</u>	1 000 000
$10^3$	<u>kilo o chilo</u>	k	<u>Mille</u>	1 000
$10^2$	<u>etto</u>	h	<u>Cento</u>	100
10	<u>deca</u>	da	<u>Dieci</u>	10
$10^{-1}$	<u>deci</u>	d	Decimo	0,1
$10^{-2}$	<u>centi</u>	c	Centesimo	0,01
$10^{-3}$	<u>milli</u>	m	Millesimo	0,001
$10^{-6}$	<u>micro</u>	$\mu$	Milionesimo	0,000 001



## BIBLIOGRAFIA

- 1 GIORDANO G., 1988 - *Tecnologia del legno*. UTET, Milano.
- 2 HARTMANN H. (Hrsg.), 2007 - *Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen* (2. Auflage). Sonderpublikation des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow (DE) 224 S., ISBN 3-00-011041-0.
- 3 JONAS A., HANEDER H., FURTNER K., 2005 - *Energie aus Holz*. Landwirtschaftskammer Niederösterreich St. Pölten (AT).
- 4 HÖLDRICH A., HARTMANN H., DECKER T., REISINGER K., SOMMER W., SCHARDT M., WITTKOPFT S., OHRNER G., 2006 - *Rationelle Scheitholzbereitungsverfahren*. Technologie- und Förderzentrum (TFZ) Straubing (DE).
- 5 HELLRIGL B., 2006 - *Elementi di xiloenergetica. Definizioni, formule e tabelle*. Ed. AIEL, Legnaro (PD).
- 6 LOO VAN S., KOPPEJAN J., 2003 - *Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*. Ed. Twente University Press (NL).
- 7 FRANCESCATO V., ANTONINI E., PANIZ A., GRIGOLATO S., 2007 - *Vitis Energetica, valorizzazione energetica dei sarmenti di vite in provincia di Gorizia*. Informatore Agrario n° 10.
- 8 OBERNBERGER I., 1995 - *Logistik der Aschenaufbereitung und Aschenverwertung*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn (DE)
- 9 BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1997 - *Der sachgerechte Einsatz von Pflanzenaschen im Wald*. Wien (AT)
- 10 BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1998 - *Der sachgerechte Einsatz von Pflanzenaschen im Acker- und Grünland*. Wien (AT)
- 11 AA.VV. Progetto BIOCEN, 2004 - *Gestione e valorizzazione delle ceneri di combustione nella filiera legno-energia*. Regione Lombardia
- 12 BURGER F., 2005 - *Wood Chip Drying Pilot Study "Wadlhausen"*. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising (DE).
- 13 ITEBE, 2004 - *Produire de la plaquette forestière pour l'énergie*. Bonne pratique n°1 du bois déchiqueté. Lons Le Saunier (FR).
- 14 FRANCESCATO V., ANTONINI E., MEZZALIRA G., 2004 - *L'energia del legno. Nozioni, concetti e numeri di base*. Regione Piemonte.
- 15 FRANCESCATO V., PANIZ A., ANTONINI E., CORREALE S.F., AGOSTINETTO L., 2007 - *Stagionatura e caratterizzazione qualitativa del cippato di legno*. Rivista Tecnica AGRIFOREENERGY n° 2. Ed. AIEL, Legnaro (PD).
- 16 FLORIAN G., 2006 - *Nicht länger das Aschenputtel der Holzbranche*. Energie Pflanzen n°6. Das Fachmagazin für nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien. Scheeßel-Hetzwege (DE).
- 17 DANY C., 2007 - *Allgäuer Hackschnitzel*. Energie Pflanzen n°6. Das Fachmagazin für nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien. Scheeßel-Hetzwege (DE).
- 18 BIERNATH D., 2006 - *Brennholztrocknung mit der Biogasanlage*. Energie Pflanzen n°2. Das Fachmagazin für nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien. Scheeßel-Hetzwege (DE).
- 19 STAMPFER K., KANZIAN C., 2006 - *Current state and development possibilities of wood chip supply chains in Austria*. Croatian Journal of Forest Engineering 27 (2): pp 135-144.

