

L'ENERGIA DEL LEGNO



Nozioni, concetti e numeri di base



REGIONE
PIEMONTE



in collaborazione con:



Pubblicazione realizzata in occasione di Forlener

Colophon



Assessorato Politiche per la montagna, foreste e beni ambientali
www.regione.piemonte.it/monatgna

a cura del Settore Politiche Forestali
Corso Stati Uniti, 21 - 10128 Torino
e-mail: tosettore.foreste14-2@regione.piemonte.it

AUTORI:

Valter Francescato ed Eliseo Antonini, AIEL (capitoli da I a IO);
Giustino Mezzalira (introduzione e capitolo II)

COORDINAMENTO EDITORIALE:

Giustino Mezzalira, Paulownia Italia srl,
via Marosticana, 2 - 36050 Bolzano Vicentino (VI)
www.paulownia.it

STUDIO GRAFICO ED IMPAGINAZIONE:

Gianluca Ruocco Guadagno, Paulownia Italia srl

STAMPA:

Arti Grafiche Urbani,
via Galvani 30 z.i. - Sandrigo (Vicenza)
www.artigraficheurbani.it

DISEGNI:

EMMESTUDIO sas di Moscardo Albano & C.
via Lazzaretto, 98 - 37133 Verona
Tel. \ Fax - 045 527899

© Copyright 2004 Regione Piemonte

E' consentita la riproduzione citandone la fonte.

prima edizione: settembre 2004



Pubblicazione realizzata in occasione di Forlener

Si ringraziano tutti coloro che hanno gentilmente collaborato alla raccolta delle informazioni per il presente volume. Un grazie particolare va al Prof. Bernardo Hellrigl che ha fornito molti spunti e dati utili.

Indice

I - PRESENTAZIONE.....	pag.4
II - PREMessa.....	pag.5
III - INTRODUZIONE.....	pag.6
IV - ABBREVIAZIONI O SIMBOLI.....	pag.7
I. UNITA' DI MISURA DEI COMBUSTIBILI LEGNOSI.....	pag.8
2. ENERGIA TERMINI E POTENZA.....	pag.12
3. L'ACQUA NEL LEGNO.....	pag.14
4. POTERE CALORIFICO.....	pag.16
4.1 DETERMINAZIONE ANALITICA DEL POTERE CALORIFICO.....	pag.17
4.2 LA VARIAZIONE DEL POTERE CALORIFICO IN BASE AL PESO E AL VOLUME DI ALCUNE SPECIE FORESTALI (w25%).....	pag.18
4.3 EQUIVALENZE ENERGETICHE TRA COMBUSTIBILI LEGNODI E COMBUSTIBILI FOSSILI.....	pag.20
5. I COMBUSTIBILI LEGNOSI TAL QUALI.....	pag.22
5.1 LEGNA DA ARDERE.....	pag.22
5.2 LEGNO CIPPATO.....	pag.23
6. CORRISPONDENZE VOLUMETRICHE TRA LEGNO, LEGNA E CIPPATO... pag.26	
7. I COMBUSTIBILI LEGNOSI DENSIFICATI.....	pag.27
7.1 BRIQUETTES.....	pag.27
7.2 PELLETS.....	pag.28
8. METODI SPEDITIVI PER LA DETERMINAZIONE DELL'UMIDITÀ.....	pag.29
9. PROPOSTE PER LA COMMERCIALIZZAZIONE DEL CIPPATO.....	pag.32
10. IL LEGNO E IL CARBONIO.....	pag.37
11. QUANTO LEGNO-ENERGIA C'È?.....	pag.44
11.1 I DIVERSI "CONTENITORI DI LEGNO-ENERGIA" ED I NUMERI RELATIVI ALLA LORO DISPONIBILITÀ.....	pag.44
11.2 ALCUNI DATI SUL CONSUMO E SULLA DISPONIBILITÀ DI LEGNO-ENERGIA IN ITALIA.....	pag.51
BIBLIOGRAFIA.....	pag.55

"Ti illudi di intenderti di selvicoltura, il che non è cosa facile.
Hai contato quanti alberi ci sono nel tuo bosco?
Come contare gli alberi?"

Anna Karenina - Lev Nikolaevic Tolstoj

Presentazione

Per l'Assessorato Politiche per la Montagna Foreste e Beni Ambientali della Regione Piemonte FORLENER 03 rappresenta un'occasione importante per proseguire nelle azioni di informazione e divulgazione già da tempo intraprese sugli aspetti della filiera legno energia che maggiormente incidono sul territorio.

Accanto ai convegni dedicati alla risorsa legno energia ed agli strumenti per il decollo della filiera, in cui si valutano realtà e prospettive, si sono voluti realizzare alcuni strumenti per l'ampia divulgazione delle realtà assodate: il vademecum, la videocassetta sulla raccolta del legno destinato ad usi energetici, la realizzazione di numeri speciali acclusi a riviste del settore.

Oltre all'erogazione di appositi finanziamenti destinati alla realizzazione degli impianti (Reg. CEE 2081/93 - ob. 5b, progetti speciali integrati, Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006) ed altri rivolti alle attività costituenti la filiera legno-energia (miglioramenti boschivi, meccanizzazione della raccolta dei prodotti del bosco, etc.), l'Assessorato si è attivato con iniziative di formazione, aggiornamento e informazione.

Queste attività, rivolte sinora principalmente ai soggetti direttamente coinvolti nella strutturazione del settore legno-energia, vengono estese da un paio di anni ad un pubblico sempre più ampio.

Affinché l'utilizzo delle fonti energetiche locali e rinnovabili si trasformi da argomento destinato agli specialisti del settore ad un più esteso fenomeno culturale, si rende necessario coinvolgere il più alto numero possibile di persone.

In quest'ottica, questa agile pubblicazione comprende un'ampia serie di interessanti informazioni sull'utilizzo energetico del legno, che va dagli aspetti ecologici a quelli economici, considerando gli elementi logistici dell'approvvigionamento e le tecnologie connesse alla combustione.

Il tutto sotto forma di guida, predisposta per agevolare il lettore nelle proprie scelte.

Gli argomenti sono presentati in modo semplice e pratico, con una grafica snella ed efficace, capace di condurre il lettore direttamente al cuore delle informazioni per ottenere le risposte ai più comuni problemi di chi si accinge ad utilizzare il legno quale fonte energetica nel contempo ecologica ed economica.

L'intento è quindi quello non solo di fornire informazioni corrette ma offrire un piccolo servizio utile anche per operare delle scelte più consapevoli.

Roberto Vaglio

Assessore alle politiche per la Montagna, Foreste e Beni ambientali della Regione Piemonte

Premessa

Questa pubblicazione in buona parte, prende spunto dall'ampia ricerca condotta dal Professore Bernardo Hellrigl ("Numeri per la dendroenergetica") e dalla pubblicazione "Energie aus Holz" di Anton Jonas e Herbert Haneder.

Con il Professor Bernardo Hellrigl, che qui desideriamo sentitamente ringraziare, sono intercorsi numerosi incontri e scambi di opinione riguardanti principalmente gli aspetti interpretativi e di rappresentatività delle molte informazioni raccolte.

Pensando al legno in termini di fonte energetica, rimane ancora attuale l'antica domanda: che cos'è il legno?

Il legno è sempre stato studiato essenzialmente sotto il profilo commerciale e tecnologico, quale materiale destinato alle costruzioni e ai manufatti. L'obiettivo principale di questa pubblicazione è cercare di descrivere, definire e caratterizzare il legno e i combustibili legnosi sotto il loro profilo energetico.

Laddove possibile, si suggeriscono anche delle indicazioni terminologiche e definizioni al fine di precisare e così uniformare il significato e relativo uso delle unità di misura che sono comunemente utilizzate in questo settore.

È quindi un primo - ancorché provvisorio e quindi perfezionabile - quadro di riferimento al cui centro sono poste le caratteristiche del legno quale combustibile.

C'è ancora da lavorare e ricercare in quest'ambito. E' un contributo aperto che ha lo scopo di fornire informazioni tecniche e divulgare dati attendibili, funzionali e condivisi dagli operatori del settore legno-energia.

Valter Francescato ed Eliseo Antonini
AIEL - Associazione Italiana per l'Energia dal Legno

Introduzione

Da alcuni anni in Italia, come in gran parte del resto d'Europa, è in atto una "riscoperta del legno", sia come materiale costruttivo che come fonte di energia.

In numerosi convegni, articoli tecnici, testi scientifici e divulgativi si è parlato in modo approfondito dei tanti vantaggi legati all'uso del legno come fonte di energia.

Questo vademecum (manualino tascabile e da tenere a portata di mano) nasce dall'esigenza, da molti sentita, di disporre di "numeri" certi su cui fondare le analisi sia tecniche che economiche che stanno alla base della scelta di adottare il legno come fonte di energia termica per riscaldare un'abitazione, un grande edificio pubblico, un insieme di utenze unite da una rete di teleriscaldamento o per produrre energia termica ed elettrica in un grande impianto di cogenerazione.

Il progetto di cui fa parte questo vademecum si compone di diverse tappe: la prima delle quali, rappresentata dal presente vademecum, fornisce concetti di base e i numeri che servono a caratterizzare il legno come fonte di energia (quanta energia c'è nel legno; quanto legno c'è); nelle successive saranno fornite quantificazioni che riguardano la sua produzione nei principali contesti produttivi (forestale, agricolo, industriale) per permettere soprattutto di impostare in modo corretto le analisi economiche relative all'approvvigionamento degli impianti a biomassa legnosa (quanto costa produrre e raccogliere il legno?).

Questa seconda tappa del progetto verrà sviluppata nei prossimi anni perché alcuni dei "numeri" non sono ancora disponibili o non sono ancora sufficientemente attendibili (si pensi solo alla quantificazione della produttività dei cedui a cortissima rotazione in ambiente agricolo di cui solo ora iniziano ad aversi i primi risultati di serie sperimentazioni scientifiche).

Chi pensa di sapere tutto sul legno solo perché da sempre accompagna la storia dell'uomo avrà numerose sorprese leggendo questo vademecum. Scoprirà così che il legno pellettizzato ("pellet di legno") non galleggia sull'acqua (ha un peso specifico superiore ad uno!); che è sempre necessario conoscere l'umidità del legno se non si vuole pagare l'acqua al valore del legno; che di legno da bruciare ce n'è dappertutto e che intere centrali potrebbero funzionare solo utilizzando le produzioni e/o i residui legnosi dell'agricoltura e della gestione del verde urbano.

Giustino Mezzalana

Abbreviazioni o Simboli

m³: metro cubo

ms: metro stero

msa: metro stero accatastato

msr: metro stero alla rinfusa

u%: umidità riferita al peso secco (anidro)

w%: umidità riferita al peso del legno allo stato idrico in cui si trova

tep: tonnellate equivalenti di petrolio (uso statico)

Btu: unità termica britannica

P.C.I.: potere calorifico inferiore

P.C.S.: potere calorifico superiore

G50: dimensione del chip di legno (5,0 cm²)

MJU: Joule utili considerato cioè il rendimento termodinamico dell'apparecchio

P_s: Peso Specifico

M_v: Massa volumica

M_{vs}: Massa volumica sterica (o Densità apparente)

E: Densità energetica

M_u: Massa umida

M_a: Massa anidra

s.s.: sostanza secca

 : informazione pratica

Prefissi e simboli per multipli e sottomultipli

Fattore	Prefisso	Simbolo
10 ¹⁵	peta	P
10 ¹²	tera	T
10 ⁹	giga	G
10 ⁶	mega	M
10 ³	kilo	k
10 ²	hecto	h
10 ¹	deka	da
10 ⁻¹	deci	d
10 ⁻²	centi	c
10 ⁻³	milli	m
10 ⁻⁶	micro	μ

1. UNITÀ DI MISURA DEI COMBUSTIBILI LEGNOSI

VOLUME

Tipicamente per il legno a uso energetico, nella forma tal quale e densificata, la determinazione del volume deve tener conto della forma dei pezzi e del modo con cui sono accatastati, fattori questi che modificano il rapporto volume "pieno" e volume "vuoto" ovvero il volume apparente.

Per metro cubo (m³) s'intende il volume interamente occupato da legno e questa unità di misura è comunemente adottata per il legname da lavoro.

Il metro stero invece, che considera i "vuoti per pieni", è utilizzato per la legna ad uso energetico. Sebbene possano essere utilizzate per tutte le forme di legna tal quale, si può suggerire questa distinzione:

- ✓ per il legno cippato è comunemente utilizzato il **metro stero alla rinfusa** (msr);
- ✓ per la legna a pezzi è comunemente utilizzato il **metro stero accatastato** (msa).

PESO

Nelle misure ponderali del legno, deve essere sempre indicato anche il tenore del contenuto d'acqua (vedi capitolo 3).

Queste sono le unità di misura di volume e di peso comunemente impiegate per i combustibili legnosi.

	Unità di misura				
	tonnellata	chilogrammo	metro cubo	metro stero alla rinfusa	metro stero accatastato
Simbolo	t	kg	m ³	msr	msa
Tipo di combustibile legnoso	Legna da ardere Cippato Briquettes Pellets			Legna da ardere	Legna da ardere
				Cippato	
				Pellet	

PESO E VOLUME

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

Peso specifico: si riferisce al peso delle sostanze legnose allo stato anidro (cellulose, emicellulose, lignine etc.) che compongono le pareti cellulari con cui si struttura il corpo legnoso.

La sostanza legnosa ha un **peso specifico di 1,5** (valore adimensionale riferito al rapporto peso e volume dell'acqua a 4° C); tale valore è identico per le diverse specie legnose (Fonte: Giordano).

Massa volumica: si riferisce al peso e al volume del corpo legnoso (corpo poroso) o al singolo pezzo di combustibile densificato (pellet e briquette); composti da un'insieme di sostanze e da vuoti (lumi vascolari etc.) variamente riempiti di aria e/o di acqua.

Si esprime in: kg/m³ o t/ m³

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

Massa volumica sterica: è impiegata per gli ammassi dei combustibili legnosi tal quali (legna da ardere, cippato e pellet) che presentano al loro interno degli spazi vuoti, più o meno grandi in funzione della loro pezzatura e della loro forma.

Si esprime in: kg/msr, kg/msa, t/msr o t/msa

TERMINOLOGIA STANDARD DEI VOLUMI

Al fine di rendere uniformi i riferimenti delle unità di misura utilizzate nell'ambito del legno energia, si suggerisce di impiegare le seguenti definizioni (prima colonna della tabella successiva) le quali corrispondono a quelle in uso in alcuni altri paesi.

ITALIANO	Simbolo	TEDESCO	Simbolo	FRANCESE	Simbolo	INGLESE	Simbolo
Metro cubo	m ³	Festmeter	Fm	Mètre cube de bois plein	m ³	Solid cubic meter	Solid m ³
Metro stero alla rinfusa	msr	Schüttraummeter	Srm	Mètre cube apparent plaque	MAP	Bulk cubic meter	Bulk m ³
Metro stero accatastato	msa	Schichtraummeter	rm	Stère	stère	Stacked cubic meter	Stacked m ³

LA MASSA VOLUMICA DELLE PRINCIPALI SPECIE FORESTALI

Conifere

SPECIE	UMIDITÀ (u %)	C. IDRICO (w %)	kg/m³	AUTORE
Abete bianco	12-15	11-13	470	Giordano
Abete rosso	12-15	11-13	450	Giordano
Larice	12-15	11-13	660	Giordano
Pino silvestre	12-15	11-13	550	Giordano
Pino nero	12-15	11-13	560	Piccioli
Pino domestico	12-15	11-13	620	Giordano
Pino marittimo	12-15	11-13	680	Giordano
Pino d'Aleppo	12-15	11-13	810	Giordano

Latifoglie

SPECIE	UMIDITÀ (u %)	C. IDRICO (w %)	kg/m³			AUTORE
			Min.	Med.	Max.	
Faggio	12-15	11-13	520	750	930	Giordano
Castagno	12-15	11-13	370	580	700	Giordano
Rovere	12-15	11-13	580	760	970	Giordano
Farnia	12-15	11-13	600	770	950	Giordano
Cerro	12-15	11-13	800	900	920	Giordano
Fragno	12-15	11-13		730		Maselli
Leccio	12-15	11-13	800	940	1100	Giordano
Carpino bianco	12-15	11-13	700	800	880	Giordano
Carpino nero	12-15	11-13	750	820	880	Giordano
Nocciolo	12-15	11-13	580	670	720	Giordano
Salici	12-15	11-13	320	450	550	Giordano
Betulla	12-15	11-13	530	650	780	Giordano
Ontano bianco	12-15	11-13	420	520	640	Giordano
Ontano nero	12-15	11-13	500	560	630	Giordano
Ontano napoletano	12-15	11-13		550		Giordano
Olmo	12-15	11-13	460	620	700	Giordano
Bagolaro (<i>Celtis a.</i>)	12-15	11-13	650	720	760	Giordano
Acerò campestre	12-15	11-13	620	740	900	Giordano
Acerò montano e riccio	12-15	11-13	590	670	770	Giordano
Tiglio	12-15	11-13	580	650	700	Giordano
Frassino maggiore	12-15	11-13	520	720	870	Giordano
Frassino minore o Orniello	12-15	11-13	560	720	860	Giordano
Pioppo bianco	12-15	11-13	420	480	540	Giordano
Pioppo nero	12-15	11-13	400	500	600	Giordano
Platano	12-15	11-13		670		Giordano
Robinia	12	11		750		Regione Piemonte

UNITÀ DI MISURA DEL CONTENUTO DEL LEGNO

Unità di misura del Sistema Internazionale (S.I.)

MJ/kg	MJ/m³	MJ/ms	kWh/kg	kWh/m³	kWh/ms
-------	-------	-------	--------	--------	--------

NOTA: In dendroenergetica se non specificato altrimenti, il Wh e suoi multipli sono intesi in termini di energia termica per distinguerlo dai Wh elettrici.

Altre unità di misura comunemente utilizzate

kcal/kg	kcal/m³	tep/t	tep/m³	Btu/kg	Btu/m³
---------	---------	-------	--------	--------	--------

Equivalenze delle unità di misura di energia termica

	kJ	kcal	kWh	tep	Btu
1 kJ	1	0,239	0,278x10 ⁻³	23,88x10 ⁻⁹	0,948
1 kcal	4,1868	1	1,163x10 ⁻³	0,1x10 ⁻⁶	3,968
1 kWh	3.600	860	1	86x10 ⁻⁶	3.413
1 tep	41,87x10 ⁶	10x10 ⁶	11,63x10 ³	1	39,68x10 ⁶
1 Btu	1,055	0,252	0,293x10 ⁻³	25,2x10 ⁻⁹	1

Le 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

Due equivalenze importanti

1 tep	2,86 t di legno ¹
13.870 btu	1 kg di legno

Di un combustibile legnoso si definiscono:

Potere calorifico (P.C.): quantità di energia termica che si può ricavare dalla combustione completa riferita all'unità di peso.

Si esprime in: MJ/kg, kWh/kg, kWh/t

Se non specificato, si fa sempre riferimento al potere calorifico inferiore.

Densità energetica (E): è il rapporto tra il contenuto energetico del combustibile legnoso e il volume sterico in cui è compreso.

Si esprime in: MJ/ms o kWh/ms.

¹ Quando non espresso il contenuto di umidità del legno è da considerarsi compreso tra il 18 il 22% (w).

2. ENERGIA E POTENZA

L'energia termica è quella forma di energia che viene 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)

Corrispondenze tra quantità usuali di energia termica (Fonte: HELLRIGL)

	kWh	MWh	GWh	TWh	TJ	PJ	tep	ktep	Mtep
1 kWh =	1	1x10 ⁻³	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁹	3,6x10 ⁻⁶	3,6x10 ⁻⁹	86x10 ⁻⁶	86x10 ⁻⁹	86x10 ⁻¹²
1 MWh =	1x10 ³	1	1x10 ⁻³	1x10 ⁻⁶	3,6x10 ⁻³	3,6x10 ⁻⁶	86x10 ⁻³	86x10 ⁻⁶	86x10 ⁻⁹
1 GWh =	1x10 ⁶	1x10 ³	1	1x10 ⁻³	3,6	3,6x10 ⁻³	86	86x10 ⁻³	86x10 ⁻⁶
1 TWh =	1x10 ⁹	1x10 ⁶	1x10 ³	1	3,6x10 ³	3,6	86x10 ³	86	86x10 ⁻³
1 TJ =	278x10 ³	278	278x10 ⁻³	278x10 ⁻⁶	1	1x10 ⁻³	23,9	23,9x10 ⁻³	23,9x10 ⁻⁶
1 PJ =	278x10 ⁶	278x10 ³	278	278x10 ⁻³	1x10 ³	1	23,9x10 ³	23,9	23,9x10 ⁻³
1 tep =	11,6x10 ³	11,6	11,6x10 ⁻³	11,6x10 ⁻⁶	41,87x10 ⁻³	41,87x10 ⁻⁶	1	1x10 ⁻³	1x10 ⁻⁶
1 ktep =	11,6x10 ⁶	11,6x10 ³	11,6	11,6x10 ⁻³	41,87	41,87x10 ⁻³	1x10 ³	1	1x10 ⁻³
1 Mtep =	11,6x10 ⁹	11,6x10 ⁶	11,6x10 ³	11,63	41,87x10 ³	41,87	1x10 ⁶	1x10 ³	1

La **potenza termica** è il rapporto tra l'energia termica prodotta ed il tempo impiegato a produrla.

Unità di misura della potenza

$$\text{Watt} = \frac{\text{Joule}}{\text{secondo}}$$

La **potenza nominale o potenza massima al focolare** di una caldaia, esprime la quantità di energia termica che è prodotta dalla combustione di un combustibile in un'unità di tempo.

La **potenza reale** è la quantità di energia che è ceduta al vettore termico (es. acqua) in un'unità di tempo definito (es. un'ora).

Entrambe si esprimono solitamente in kW, indicando la quantità di energia termica prodotta e/o scambiabile in un'ora.

Es. Una caldaia da 25 kW (potenza nominale) che funziona a pieno regime per dieci ore, produce una quantità di energia pari a 25 kW x 10 h = 250 kWh.



✓ Sono ancora impropriamente utilizzate le kcal/h per esprimere la potenza termica delle caldaie. Per trasformare le kcal/h in Watt, unità di misura del Sistema Internazionale, si usa la seguente relazione:

1 kcal/h	= 1,163 W
1 kW	= 860 kcal/h

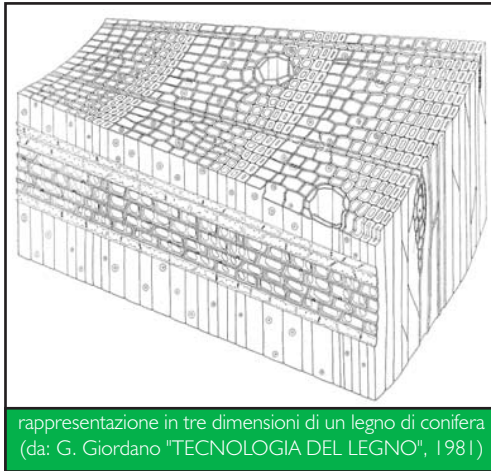
Una caldaia da 80.000 kcal/h corrisponde a 93.040 W (= 93 kW)

3. L'ACQUA NEL LEGNO

Il legno, per la sua struttura e architettura chimico-istologica, presenta una doppia porosità:

- macroporosità costituita dalle cavità dei vasi conduttori e dalle cellule parenchimatiche;
- microporosità della sostanza legnosa vera e propria (cellulosa, emicellulosa e lignina).

La biomassa legnosa normalmente non si trova allo stato anidro, ma ha un contenuto di umidità variabile.



COME SI ESPRIME L'UMIDITÀ DEL LEGNO

L'umidità del legno è espressa 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.

$$u = \frac{M_u - M_a}{M_a} * 100[\%]$$

Contenuto idrico del legno → w (%)

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

$$w = \frac{M_u - M_a}{M_u} * 100[\%]$$

in cui:

M_u = massa del legno umido

M_a = massa del legno anidro

CONVERSIONE DELLE MISURE PERCENTUALI (Fonte: Jonas e Haneder)

$$u = \frac{100 * w}{100 - w} [\%]$$

$$w = \frac{100 * u}{100 + u} [\%]$$

w	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
u	11,1	17,6	25,0	33,3	42,9	53,8	66,7	81,8	100,0	122,2	150,0

u	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
w	9,1	13,0	16,7	20,0	23,1	25,9	28,6	31,0	33,3	35,5	37,5

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

4. POTERE CALORIFICO

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

L'umidità del legno modifica - **riducendolo** - il potere calorifico del legno.

Parte dell'energia liberata nel processo di combustione è infatti assorbita dall'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 (0,68 kWh), pertanto si distingue:

1. Potere calorifico superiore (P.C.S.): nel prodotto della combustione si considera l'acqua allo stato liquido;

2. Potere calorifico inferiore (P.C.I.): l'acqua liberata è considerata allo stato di vapore, ovvero è stata sottratta l'energia termica necessaria all'evaporazione dell'acqua.

Quando non precisato, per "potere calorifico" si deve sempre intendere il potere calorifico inferiore.

Se riferito all'unità di peso, il potere calorifico del legno nelle diverse specie, **a parità di contenuto idrico**, varia molto poco.

Tuttavia, è risaputo che il legno di latifoglie ha un potere calorifico allo stato anidro leggermente inferiore a quello delle conifere.

Giordano, per il legno anidro, riporta 18,1 MJ/kg e 17,6 MJ/kg, rispettivamente per le conifere e le latifoglie.

Jonas e Hartman indicano entrambi, per il legno anidro, un solo valore valido sia per le conifere che per le latifoglie pari a, rispettivamente, **19 MJ/kg e 18,5 MJ/kg**.

Potere calorifico medio del legno anidro = 5,14 kWh/kg = 18,5 MJ/kg

Le lievi differenze di potere calorifico medio riscontrabili tra le varie specie, sono da imputarsi alla composizione del legno: la lignina ha un potere calorifico circa 1,5 volte superiore alla cellulosa. Ancora superiore è quello delle resine, lipidi, cere e gomme.

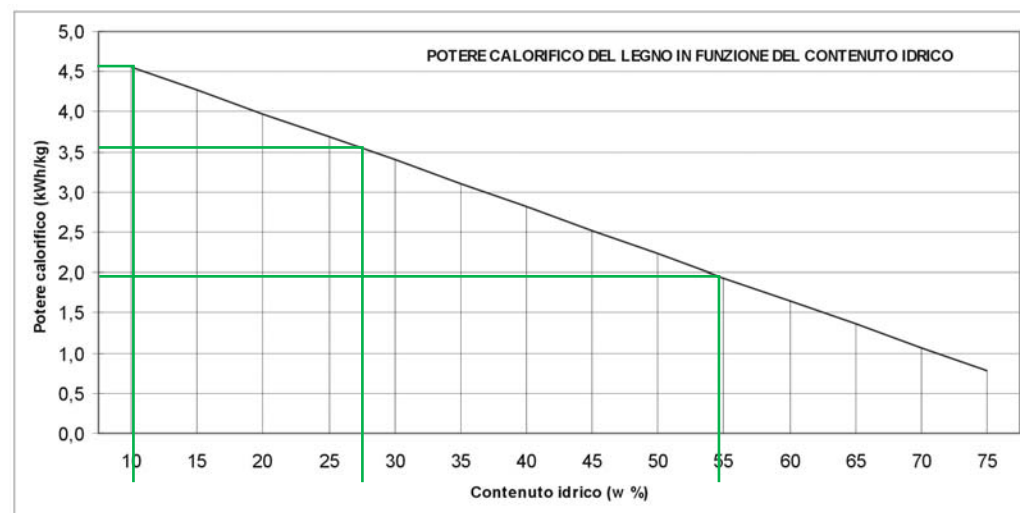
Alcuni valori medi

Cellulosa P.C.I. 4,9 kWh/kg 17,64 MJ/kg	Lignina P.C.I. 8,3 kWh/kg 29,88 MJ/kg	Fonte Fritsche
Cellulosa P.C.I. 4,6 kWh/kg 16,7 MJ/kg	Lignina P.C.I. 6,9 kWh/kg 25 MJ/kg	Fonte Hellrigl

4.1 Determinazione analitica del potere calorifico

La formula per il calcolo del P.C.I. di un legno generico ad un certo contenuto idrico (w%) è la seguente: (riportata in Hartmann):

$$P.C.I._w = \frac{18,5 * (100 - w) - 2,44 * w}{100} * 0,278 [kWh / kg]$$



L'aumento del contenuto idrico (w) dell'1% comporta una diminuzione del potere calorifico di circa 0,21 MJ/kg = 0,0583 kWh/kg

Variazione del potere calorifico inferiore in funzione del suo contenuto idrico (w %)

w	0	10,7	15,3	20	25,9	33,3	42,9	50	60
P.C.I. (MJ/kg)	18,5	16,3	15,3	14,3	13,7	11,5	9,53	8,03	5,94
P.C.I. (kWh/kg)	5,14	4,53	4,25	3,98	3,81	3,20	2,65	2,23	1,65

Si può rilevare che il calo del contenuto idrico dal 50 %, facilmente riscontrabile nei legni leggeri allo stato fresco, al 20% (valore medio per la legna ben stagionata in legnaia) fa aumentare il potere calorifico del 78%.

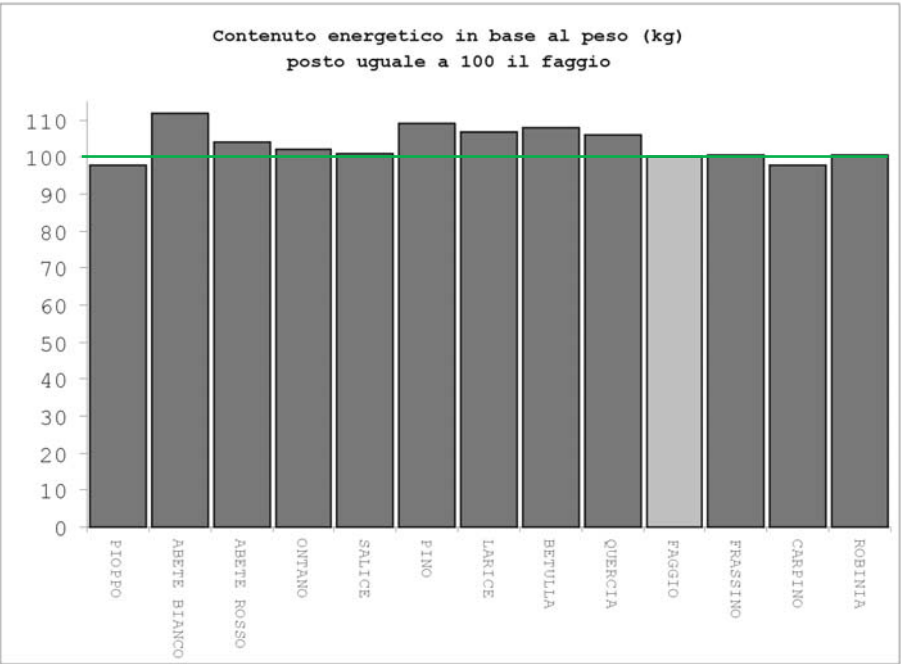
Variazione del P.C.I. del legno in vari stati idrici - (Fonte: Jonas e Haneder)

Stato del legno	Contenuto idrico (w)	Potere calorifico inferiore
Boschivo fresco	50 - 60%	2,0 kWh/kg = 7,2 MJ/kg
Stagionato per una estate	25 - 35%	3,4 kWh/kg = 12,2 MJ/kg
Stagionato per più anni	15 - 25%	4,0 kWh/kg = 14,4 MJ/kg
Stato anidro	0%	5,2 kWh/kg = 19 MJ/kg

4.2 LA VARIAZIONE SPECIFICA DEL CONTENUTO ENERGETICO IN BASE AL PESO E AL VOLUME DEL LEGNO (w 25%) - (Fonte: Jonas e Haneder)

Il potere calorifico dei legni, tutti i legni, a parità di peso e contenuto idrico, è molto simile, ovvero varia in misura non significativa. Queste piccole variazioni sono dovute alle lievi differenze nella composizione chimica dei legni delle diverse specie.

Il grafico seguente mostra una comparazione tra il potere calorifico - espresso secondo il peso con w 25% - del faggio rispetto ad altre specie.

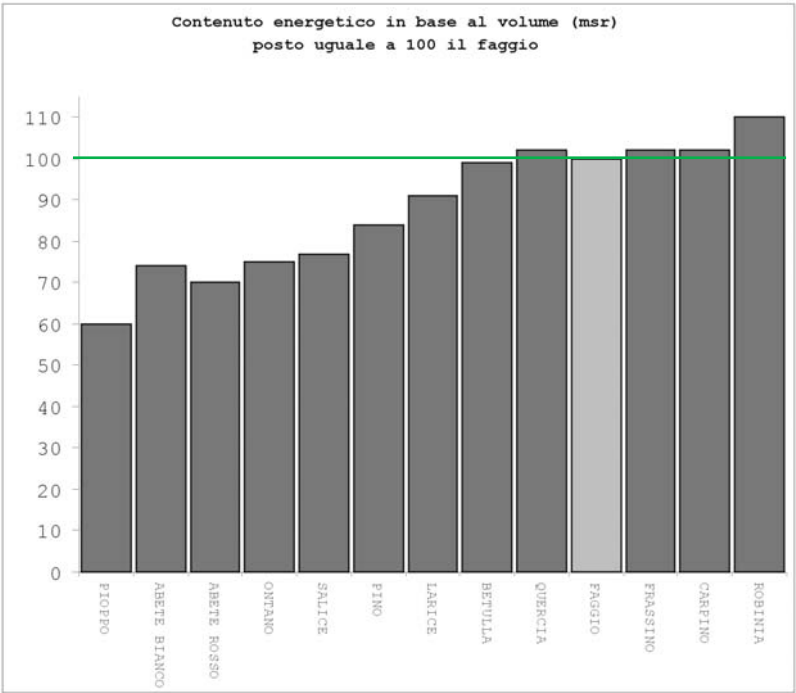


Alcuni valori indicativi del potere calorifico al contenuto idrico (w) del 13%

POTERI CALORIFICI	SPECIE LEGNOSE
4,0 kWh/kg	Faggio
4,1 kWh/kg	Pioppo, Acero, Robinia, Olmo
4,2 kWh/kg	Frassino, Quercia
4,3 kWh/kg	Larice
4,4 kWh/kg	Pino, Douglasia
4,5 kWh/kg	Picea, Abete

(Fonte: Holz)

Diversamente, se consideriamo il contenuto energetico di un volume unitario di legno (msr, msa) (densità energetica), si possono rilevare differenze molto significative tra le specie, a causa della differente massa volumica che le caratterizza.



4.3 Equivalenze energetiche tra combustibili legnosi e combustibili fossili

Confronto del legno con i più comuni combustibili (Fonte: A. Jonas e H. Haneder)

Combustibile	P.C.I. (Valori medi)	
	MJ	kWh
l di gasolio extraleggero	36,17 MJ/l (42,5 MJ/kg)	10 kWh/l
l di gasolio leggero	38,60 MJ/l (41,5 MJ/kg)	10,70 kWh/l
1 kg di carbone	27,6 MJ/kg	7,67 kWh/kg
1 kg di lignite	29,5 MJ/kg	8,20 kWh/kg
1 kg torba anidra	20,2 MJ/kg	5,60 kWh/kg
1 m³ metano	36 MJ/m³	10,00 kWh/m³
1 m³ idrogeno	10,75 MJ/kg	3,08 kWh/m³
1 kg propano	46,3 MJ/kg	12,87 kWh/kg
1 kg di nafta	41 MJ/kg	11,77 kWh/kg
1 kg di legno (w = 20%)	14,4 MJ/kg	4,00 kWh/kg

1 kg gasolio ≈ 3 kg di legno
1 l gasolio ≈ 2,5 kg di legno

CORTECCIA DI ABETE ROSSO

La corteccia di abete rosso ha un potere calorifico simile a quello del legno.
Un metro stereo alla rinfusa di cippato di corteccia, con un contenuto idrico del 50%, pesa circa 260 kg e ha una densità energetica di circa 600 kWh/msr (=2.3 kWh/kg). (A. Jonas e H. Haneder)

Equivalenze energetiche orientative tra legno e altri combustibili - (Fonte: Hellrigl)

	Gasolio 11.86 kWh/kg	Olio combustibile 11.40 kWh/kg	Olio combustibile 10.41 kWh/l	Gas naturale 9.54 kWh/m³	Carbone 8.14 kWh/kg
1 t legno massiccio w 15% PCI = 4.16 kWh/kg	351 kg	365 kg	400 litri	437 m³	511 kg
1 m³ legno massiccio w 15% PCI 4.16 kWh/kg = 2727,23 kWh/m³	230 kg	239 kg	262 litri	286 m³	345 kg
1 mst legna in catasta (1 m) w 15% PCI = 4.16 kWh/kg = 1930,58 kWh/m _{st}	162 kg	169 kg	185 litri	202 m³	237 kg
1 mst legna da stufa (25-33 cm) w 15% PCI = 4.16 kWh/kg = 2291,11 kWh/m _{st}	193 kg	201 kg	220 litri	240 m³	281 kg
1 t pellet w 8% PCI = 4803,19 kWh/t	405 kg	421 kg	461 litri	503 m³	590 kg
1 mst cippato medio (G50) w 50% PCI = 2,23 kWh/kg = 487,3 kWh/m _{st}	41 kg	43 kg	47 litri	51 m³	60 kg
1 mst cippato medio (G50) w 30% PCI = 3,4 kWh/kg = 742 kWh/m _{st}	62 kg	65 kg	71 litri	78 m³	91 kg
1 mst cippato medio (G50) w 20% PCI = 3,98 kWh/kg = 833,88 kWh/m _{st}	73 kg	76 kg	85 litri	93 m³	109 kg
1 mst pellet w 8% PCI = 4,8 kWh/kg = 3116,84 kWh/m _{st}	262 kg	273 kg	299 litri	327 m³	383 kg

NOTA. Valori desunti e rielaborati da Giordano (1951) ed Jonas e Haneder (2001) per 50% di conifere (570 kg/m3 e 3.730 kcal/kg, per us = 15) e 50% latifoglie (740 kg/m3 e 3.430 kcal/kg, per uu = 15%).

5. I COMBUSTIBILI LEGNOSI TAL QUALI

5.1 Legna da ardere



Catasta di squantoni di legno

Tradizionalmente il legno a uso energetico più diffuso si presenta nella forma della legna da ardere, la quale può avere dimensioni diverse.

Si possono distinguere:

Assortimenti	Lunghezza (cm)
Squantoni e tondelli	100
Legna da stufa o corta o ciocchi	25-33-50

Equivalenze volumetriche (Fonte: GLETTLER)

1 m³ di legno = 2 msr di legna corta

1 m³ di legno = 1,4 msa di squantoni di 1 m

Parametri energetici indicativi per la legna da ardere

	Unità di misura	Valori
Massa volumica	kg/m ³	600 - 850
Contenuto idrico (w)	%	20
Potere calorifico inferiore	kWh/kg	4 - 4,5
Densità energetica	kWh/msa (spacconi)	1785 - 2529
	kWh/msa (da stufa)	2168 - 3071
	kWh/msr (da stufa)	1275 - 1806
Ceneri	% (in peso)	0,2 - 0,5

5.2 Legno cippato

Il termine cippato deriva dal vocabolo inglese "chipping", che significa "ridurre in scaglie".

L'operazione consiste nel ridurre il legno in scaglie o "minuzzoli" ("chips") di dimensioni variabili (2-10 cm di lunghezza e spessore di qualche millimetro), ottenuti per mezzo di macchine chiamate "cippatrici".



Cippatrice di grande potenza

Caratteristiche fisiche ed energetiche del cippato (Fonte: Regione Piemonte)

Valori indicativi riferiti al volume (msr)

FAGGIO: massa volumica = 240 kg/msr: p.c.i. (u = 12%) = 15,91 MJ/kg

ABETE: massa volumica = 170 kg/msr: p.c.i. (u = 12%) = 15,07 MJ/kg

Umidità	Specie	Peso	Contenuto energetico			Variazione contenuto energetico (%)
(w %)		Kg	MJ	kWh	Mcal	
20	faggio	288	3.993	1.109	954	100%
	abete	204	2.986	830	713	
30	faggio	312	3.950	1.097	943	99%
	abete	221	2.954	820	705	
50	faggio	360	3.852	1.070	920	96%
	abete	255	2.881	800	688	
100	faggio	480	3.544	985	847	89%
	abete	340	2.651	736	633	
150	abete	425	2.434	676	581	82%

Equivalenze volumetriche

2,5 msr di cippato	1 m ³ di legno	Fonte: LAMMER
1,75 msr di cippato	1 msa di legna	Fonte: LAMMER
1 msr (30-50 mm)	0,33 m ³ di legno	Fonte: JONAS
1 msr di trucioli da piallatura	0,2 m ³ di legno	Fonte: JONAS
1 msr di segatura (fino a 5 mm)	0,33 m ³ di legno	Fonte: JONAS
1 msr di corteccia non cippata	0,30 m ³ di corteccia	Fonte: JONAS

Contenuto energetico del cippato di alcune specie (Fonte Lammer)

	Unità di misura	Valori
Massa sterica	kg/msr	220 - 350
Contenuto idrico (w)	%	30
Potere calorifico inferiore	kWh/kg	3 - 3,4
Densità energetica	kWh/msr	660 - (912) - 1190
Ceneri	% (in peso)	0,2 - 0,5

Equivalenze ponderali

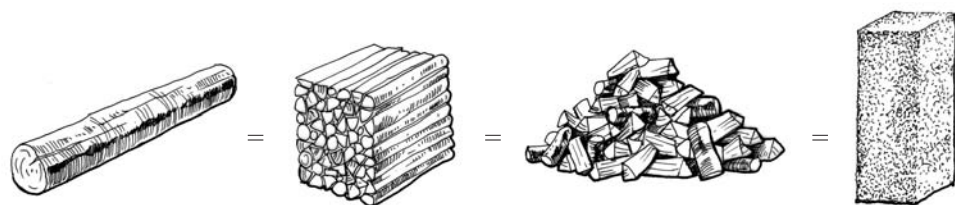
1 tonnellata di cippato (w = 25%)	4 msr di legno dolce (ab. rosso)	Fonte: JONAS
1 tonnellata di cippato (w = 25%)	3 msr di legno duro (faggio)	Fonte: JONAS
Cippato di abeti (valore di rif. svizzero)	200 kg/msr	Fonte: HOLZENERGIE
Cippato di faggio (valore di rif. svizzero)	270 kg/msr	Fonte: HOLZENERGIE
Cippato w = 40%	300 kg/msr	Fonte: REGIONE PIEMONTE

Contenuto energetico del cippato di alcune specie (Fonte Lammer)

	PESO	VOLUME
Abete rosso, abete bianco (w = 30%)		750 kWh/msr
Larice (w = 30%)		960 kWh/msr
Pino silvestre (w = 30%)		879 kWh/msr
Faggio, Quercia (w = 30%)		1057 kWh/msr
Cippato generico (u=20%)	4,0 kWh/kg	
Cippato generico (u=30%)	3,4 kWh/kg	



6. CORRISPONDENZE VOLUMETRICHE TRA LEGNO, LEGNA E CIPPATO



1 m³ solido = 1,2 msa di squartoni = 2 msr legna da stufa = 3 msr cippato (medio)

Rapporti di conversione per il legno a uso energetico (Fonte: Jonas e Haneder)

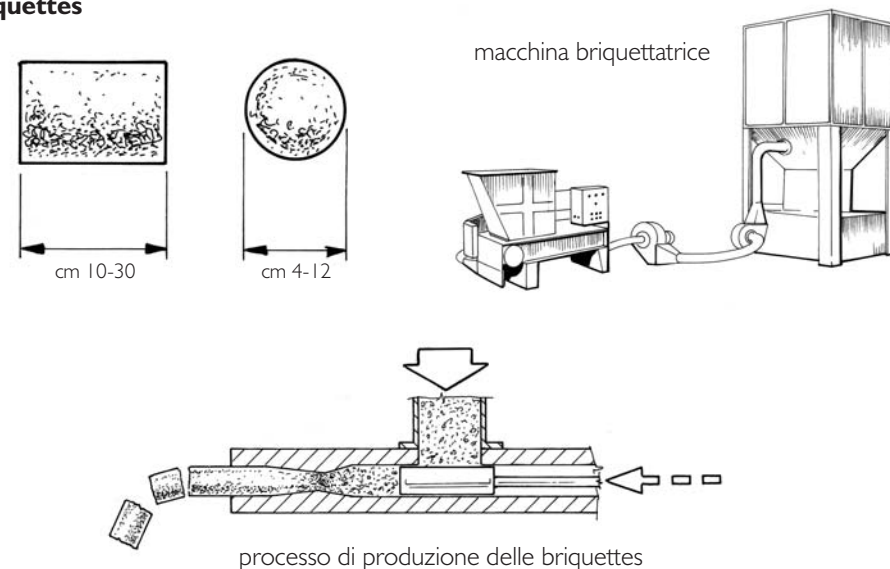
Assortimento	Tondo	Spacconi	Legna corta		Cippato	
			accatastato	alla rinfusa	Fino	medio
	m ³	msa	msa	msr	msr	msr
1 m ³ tondo =	1	1,4	1,2	2,0	2,5	3,0
1 msa spacconi 1 m =	0,7	1	0,8	1,4	(1,75)	(2,1)
1 msa legna da stufa =	0,85	1,2	1	1,7		
1 msr legna da stufa =	0,5	0,7	0,6	1		
1 msr cippato fino di bosco =	0,4	(0,55)			1	1,2
1 msr cippato medio di bosco =	0,33	(0,5)			0,8	1

7. I COMBUSTIBILI LEGNOSI DENSIFICATI

7.1 BRIQUETTES

Sono prodotte dalla pressatura di diversi residui legnosi non trattati (con pezzatura del materiale fino a 15 cm) con una umidità residua non superiore al 14% (w). I sistemi di brichettatura si distinguono in sistemi a bassa, media e alta pressione, questi ultimi (sistema a vite e a pistone) attivano le forze di coesione tra le particelle evitando l'uso di sostanze leganti accessorie. La produttività delle brichettatrici varia da 30 a 1200 kg/h.

Briquettes



Parametri energetici indicativi per le briquettes

	Unità di misura	Valore
Massa volumica	kg/m ³	> 900
Contenuto idrico (w)	%	< 15
Potere calorifico inferiore	kWh/kg	4,6 - 4,8
Ceneri	% (in peso)	0,5 - 1

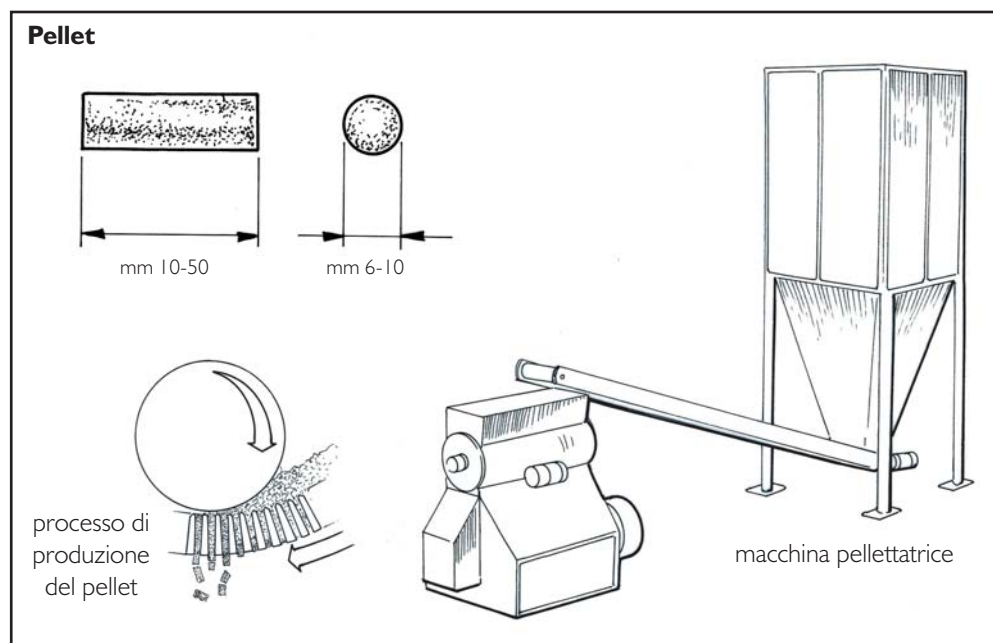
Potere calorifico (Fonte: Jonas e Haneder)

Briquettes di abete bianco/rosso da 4,6 a 4,8 kWh/kg

7.2 PELLETS

Deriva da un processo industriale attraverso il quale la segatura di legno vergine, o le scaglie di legno vergine polverizzate, con contenuto idrico (w) compreso tra l'11 e il 14%, sono trasformate - con elevate pressioni - in piccoli cilindri. Nella fase di formazione del pellet il calore di attrito attiva l'effetto legante della lignina; solitamente quindi non è necessario l'uso di leganti, i quali sono vietati da diverse normative oppure sono limitati a precise sostanze naturali (amido, melassa, olii vegetali, sulfonato di lignina etc.).

La produttività del processo di pellettizzazione può variare da 800 a 4000 kg/h.



Parametri indicativi per i pellets

	Unità di misura	Valore
Lunghezza	mm	10 - 50
Diametro	mm	6 - 10
Massa volumica	kg/m ³	1150 - 1400
Massa sterica	kg/msr	> 650
Contenuto idrico (w)	%	8 - 12
Potere calorifico inferiore	kWh/kg	4,7 - 5
Ceneri	% (in peso)	0,3 - <1

8. METODI SPEDITIVI PER LA DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO IDRICO DEL LEGNO

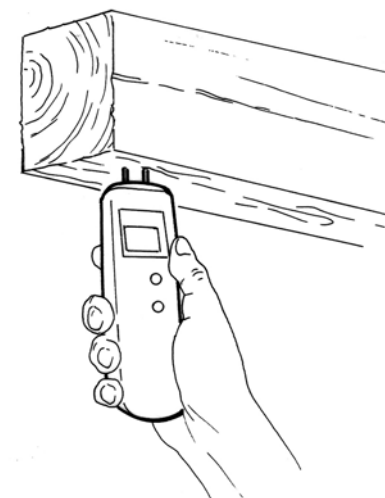
Le masse volumiche indicate al capitolo 1 si riferiscono a valori di umidità (u%) che sono tradizionalmente impiegati per il legname da opera.

Diversamente, per il legno ad uso energetico si fa riferimento a valori del contenuto idrico (w%), che - per i combustibili tal quali - si attestano su valori maggiori e più o meno ampiamente variabili. Ad esempio è consuetudine utilizzare la legna da ardere nelle caldaie dopo una stagionatura di 1 - 2 anni in legnaia, quando il suo contenuto idrico (w %) si attesta su valori che variano tra il 20 e il 25%. Per il cippato, invece, si può far riferimento anche al suo stato fresco, ovvero a un contenuto idrico del 50-60%.

Legna da ardere

Per determinare il contenuto idrico nella legna da ardere, si può utilizzare l'igrometro il quale, mediante dei sensori posti a contatto del campione, restituisce il valore.

Dopo aver effettuato la corretta taratura dello strumento, sulla base della specie legnosa, è importante fare i rilievi sia sulla corteccia che in almeno due sezioni di fenditura.



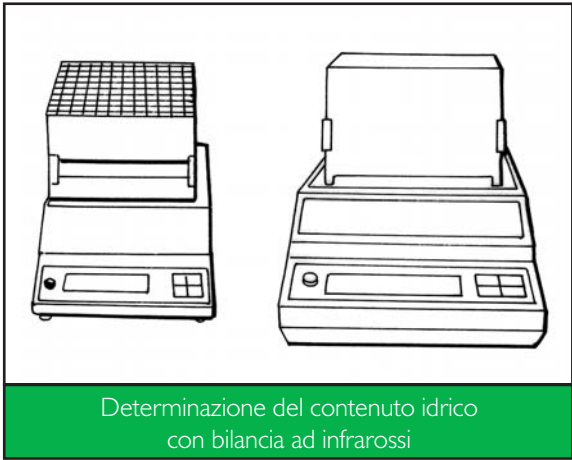
Variazione indicativa della massa volumica (kg/m³) di alcune specie legnose in funzione del contenuto idrico (Fonte: Regione Piemonte)

u %	0	12	30	50	70	> 100	Contenuto idrico indicativo all'abbattimento (w)
w %	0	11	23	33	41	> 50	
Conifere							
Abeti, rosso/bianco	390	420	460	540	670	900-1200	50%
Pini, silvestre/nero	470	500	540	650	800	900-1100	50%
Pino strobo	320	350	400	490	620	800-1050	60-67%
Larice	570	600	640	750	910	950-1100	50%
Latifoglie							
Carpini, bianco/nero	750	780	820	930	1100	fino 1200	44 - 50%
Castagno	560	600	650	780	960	1000-1100	44 - 50%
Faggio	710	750	800	920	1100	fino 1200	41 - 50%
Querce	680	720	770	900	1080	fino 1200	41 - 50%
Ontani, bianco/nero	510	550	600	740	920	fino 1000	50%
Pioppi ibridi	300	330	360	450	570	750-950	60 - 71%
Pioppo nero	370	400	430	540	660	750-950	60 - 71%
Robinia	710	750	800	920	1100	fino 1200	37 - 47%

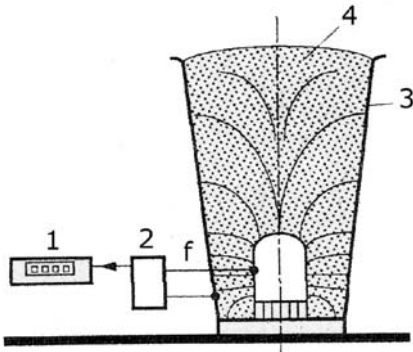
Cippato

Il contenuto idrico del cippato può essere determinato impiegando due tipologie di strumenti che si differenziano essenzialmente per il metodo di determinazione, la precisione e la rapidità della misura:

- Bilancia ad infrarossi: bilancia di alta precisione che utilizza il metodo di essiccazione a raggi infrarossi. Questa operazione necessita di circa 15'-20'.



- Analizzatore del contenuto idrico: contenitore che utilizza il metodo di misura dielettrico con un grado di precisione del $\pm 2\text{-}3\%$; si tratta di uno strumento speditivo dove l'operatore versa circa 5 kg di cippato; il display restituisce il valore in pochi secondi.



Analizzatore del contenuto idrico con metodo dielettrico (Fonte: Podesser e Gutkauf)
1. Dispaly; 2. Oscillatore; 3. Cilindro condensatore; 4. Cippato; F. Frequenzimetro

9. PROPOSTE PER LA COMMERCIALIZZAZIONE DEL CIPPATO

Così come per gli altri combustibili convenzionali, i combustibili legnosi possono essere acquistati e venduti sulla base del loro **contenuto energetico**. Questo già avviene in altri paesi (Austria, Francia, e nei paesi del nord Europa) e sarebbe un ulteriore strumento per creare un mercato più trasparente.

La variazione del contenuto energetico per unità di volume - in funzione del contenuto idrico - è più contenuta rispetto a quella riferita all'unità di peso (t) e poiché il legno cippato è comunemente commercializzato ad un contenuto idrico uguale o superiore al 30%, non si verificano le diminuzioni di volume, causate dal suo ritiro, che si manifestano invece con valori del contenuto idrico inferiori.

Per questo motivo, oggi in Italia, il cippato è venduto a volume (msr), senza alcuna misurazione del contenuto idrico. Tuttavia, impiegando questo metodo commerciale, il materiale acquistato al minor prezzo non necessariamente corrisponde ad un minor costo dell'energia prodotta e quindi ad un risparmio complessivo da parte dell'utilizzatore.

In due impianti altoatesini è stato calcolato il costo dell'energia prodotta approvvigionando gli impianti per circa 6 mesi con cippato proveniente da segheria e per 6 mesi con cippato proveniente da legname prodotto nei boschi locali e stagionato tal quale prima di essere cippato.

Impianto	Periodo	Provenienza cippato	Consumo cippato msr/anno	Prezzo cippato €/msr	Spesa annua cippato (€)	PCI calcolato kWh/msr	En. Termica erogata MWh/anno	Costo dell'energia (**) €/MWh
Heizhaus St. Walburg	17/12/2000-30/06/2001	Segheria	4.274	11,86	50.709	446,14	1.906,8	26,6
	01/07/2001-31/12/2001	Bosco (*)	2.938	13,35	39.214	686,14	2.015,8	19,5
Heizhaus St. Pancraz	17/12/2000-31/07/2001	Segheria	2.300	10,40	23.919	431,17	991,7	24,1
	31/07/2001-31/12/2001	Bosco (*)	1.239	15,80	19.580	738,20	914,6	21,4

(elaborazione di G. Staffler, gestore degli impianti in Untertal - BZ)

(*) il cippato di bosco è stato prodotto da piante di abete e larice sramate e stagionate in bosco

(**) questo valore è riferito solo al costo del combustibile.

Si può notare come in entrambi gli impianti, il cippato pagato (a volume) al minor prezzo ha comportato un maggior costo dell'energia prodotta. Questa analisi dimostra quanto sia difficile che il valore (prezzo) del volume di cippato acquistato rispecchi il suo effettivo valore energetico.

Per questo motivo proponiamo che, per dare maggior trasparenza al mercato, di adottare delle **forme contrattuali**, che definiscano - di comune accordo tra le parti - il prezzo del cippato sulla base del suo contenuto energetico, il quale - come visto precedentemente - è quantificabile, con elevato grado di precisione, in base a due parametri determinabili oggettivamente: il peso e il contenuto idrico medio (w %) del carico acquistato.

Cercheremo di dimostrare qui di seguito, come il contenuto energetico del cippato è anche funzione della sua **composizione specifica**, aspetto questo, difficilmente determinabile con oggettività. Tipicamente infatti il cippato deriva dagli scarti delle lavorazioni boschive, alberature stradali, scarti delle potature legnose agricole, scarti dell'industria del legno che, a parità di volume, hanno contenuti energetici molto diversi.



La compravendita del cippato: a volume o a peso?

Se consideriamo ad esempio due specie tipiche dell'arco alpino, si ha quanto segue:

Contenuto idrico (w = 30%)	Specie	Kg/msr	Differenza di contenuto energetico			
			VOLUME	Diff.	PESO	Diff.
			kWh/msr		kWh/kg	
	Faggio	312	1098,1	276,88 kWh/msr	3,53	0,20 kWh/kg
	Abete	221	821,21		3,73	

ACQUISTO DEL CIPPATO A VOLUME.

Si supponga di acquistare un carico di 30 msr di cippato al prezzo di 16 €/msr; il costo è di 480 €. Supponendo inoltre che il cippato abbia un contenuto idrico (w%) del 30% e le seguenti possibili composizioni specifiche, si verifica - sotto il profilo del contenuto energetico - quanto segue:

COMPOSIZIONE CIPPATO	Cont. Energetico 30 msr (Kwh)	Diff. (kWh)	Diff. %	Cent €/kWh
100% faggio	32.943	8307	- 25,2	1.46
100% abete	24.636			1.955
50% di faggio e 50% di abete	28.790			1.67

Allo stesso costo (480 €) quindi, come mostra la tabella sopra, posso acquistare contenuti energetici molto differenti.

In termini percentuali la differenza (8.307 kWh) del contenuto energetico presente nei 30 msr di abete rosso, equivalgono al 25,21% di quello che avrei avuto se avessi comperato l'equivalente volume di cippato di faggio.

Dunque, acquistando cippato di abete si acquista un contenuto energetico che equivale solo a tre quarti del contenuto energetico del faggio.

In termini di peso questa differenza da luogo ad una perdita che equivale a circa 2,3 tonnellate² di cippato con contenuto idrico del 30% che - al prezzo considerato - corrispondono, in termini monetari, a 122 €.

In altre parole, ogni quattro carichi di cippato si può arrivare a "disperdere" fino ad una carica di combustibile.

² Considerando in media il peso del cippato 300 kg/msr con w 30 %.

ACQUISTO DEL CIPPATO A PESO, OVVERO A CONTENUTO ENERGETICO

Il potere calorifico (kWh/kg) del legno è - a parità di contenuto idrico - pressoché uguale per le diverse specie legnose. Determinando il peso e il contenuto idrico con metodi oggettivi, è possibile acquistare l'equivalente contenuto energetico di cippato.

Supponiamo di acquistare 10 t di cippato con contenuto idrico (w) del 30% al prezzo di 50 €/t.

Il costo quindi è di 500 €.

COMPOSIZIONE CIPPATO	Contenuto energetico (kWh)	Diff. kWh	Diff. %	Cent €/kWh
100% faggio	35.306	1946	5,5	142
100% abete	37.252			134
50% faggio e 50 % abete	36.279			138

Determinando peso e contenuto idrico, anche con la più ampia differenza della composizione specifica, la variazione del contenuto energetico è piuttosto limitata.

La determinazione del peso può avvenire in due diversi modi:

- pesatura integrale del carico con una normale pesa; in tal caso è necessario fare dei campioni sul carico per la determinazione del contenuto idrico e determinare la media delle rilevazioni;
- pesatura - con una bilancia da laboratorio - di un certo numero di campioni di volume definito (es. recipiente di 20 litri) e rapportare il tutto al peso di un metro stero; si moltiplica quindi per il volume del carico che si suppone essere noto o facilmente determinabile.

Versare del cippato in un recipiente di 13 litri senza comprimere il materiale.

Fare una pesata a cui naturalmente togliere la tara.

Il contenuto del recipiente pesa 3,36 kg il che significa che un metro stero pesa 258,46 kg ad un determinato grado di umidità.

Allo stesso tempo, per ogni campione pesato si rileva anche il contenuto idrico al fine di arrivare alla determinazione del contenuto energetico.

Quale indicazione generale, il numero di campioni da eseguire sul carico dipende dal grado di omogeneità del carico (più è omogeneo meno campioni si possono fare) e alle dimensioni del carico (più è grande più campioni è necessario fare).



✍ A titolo di esempio, proponiamo qui di seguito, una tabella per il calcolo del prezzo del cippato a diversi contenuti idrici, dove la costante è il prezzo del contenuto energetico del combustibile legnoso, in questo caso il cippato:

16.1 €/MWh, calcolato su un prezzo base di € 50/t.

MJ/t	MWh/t	w (%)	€/t
14312,00	3,98	20	€ 64,06
14102,60	3,92	21	€ 63,12
13893,20	3,86	22	€ 62,18
13683,80	3,80	23	€ 61,25
13474,40	3,75	24	€ 60,31
13265,00	3,69	25	€ 59,37
13055,60	3,63	26	€ 58,44
12846,20	3,57	27	€ 57,50
12636,80	3,51	28	€ 56,56
12427,40	3,45	29	€ 55,62
12218,00	3,40	30	€ 54,69
12008,60	3,34	31	€ 53,75
11799,20	3,28	32	€ 52,81
11589,80	3,22	33	€ 51,87
11380,40	3,16	34	€ 50,94
11171,00	3,11	35	€ 50,00
10961,60	3,05	36	€ 49,06
10752,20	2,99	37	€ 48,13
10542,80	2,93	38	€ 47,19
10333,40	2,87	39	€ 46,25
10124,00	2,81	40	€ 45,31

Quando arriva il carico di cippato presso l'impianto (di peso noto), si entra nella tabella con il valore del contenuto idrico³ e si calcola il prezzo del carico.

Esempio: un rifornimento di 15 t di cippato al 40% (w), avrà un prezzo di 45,31 €/t x 15 t = 679.65 € a cui va aggiunta l'IVA (10%).

³ Determinato, con i metodi illustrati nel capitolo 8, sulla base di un protocollo di analisi che indica quanti campioni devono essere prelevati dal carico.

10. IL LEGNO E IL CARBONIO

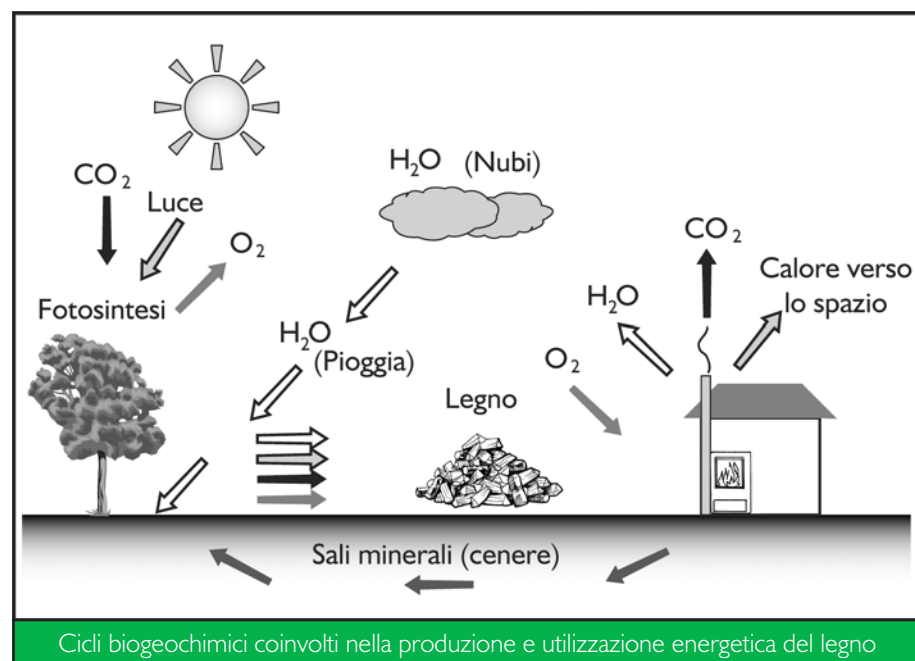
Il ciclo gassoso del carbonio nell'atmosfera terrestre è strettamente correlato all'attività biologica e procede, nei tempi brevi, attraverso le fasi di fotosintesi e respirazione di piante e animali (consumatori e bioriduttori).

Considerando la scala temporale del ciclo biochimico del carbonio, si possono distinguere:

- ✓ **il carbonio fossile**, emesso dalla combustione dei combustibili fossili;
- ✓ **il carbonio circolante**, è dinamicamente in equilibrio e assume una diversa allocazione temporanea negli ecosistemi terrestri (Fonte: Hellrigl).

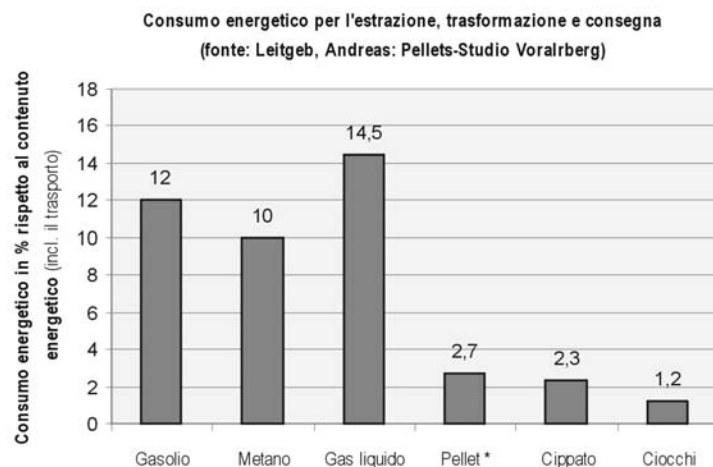
Questa distinzione è basata sull'ampiezza temporale dei cicli: nel primo caso il ciclo si chiude in tempi "geologici" mentre nel secondo si tratta di tempi biologici.

Dalla combustione dei combustibili fossili è liberato carbonio fossile, considerato essere il principale responsabile dell'aumento della concentrazione di CO₂ in atmosfera, mentre la combustione del legno libera carbonio circolante, ovvero carbonio che era stato fissato nel legno attraverso la fotosintesi e che in tempi biologici ritornerà ad essere immagazzinato negli ecosistemi della biosfera (Fonte: HELLRIGL).

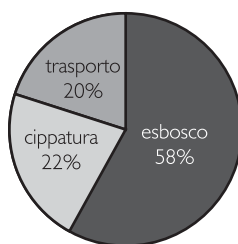


ENERGIA GRIGIA

Nei vari e articolati processi di produzione dei combustibili, sia fossili che legnosi, esiste ed è quantificabile, una parte di energia che è impiegata per la loro produzione; questo impiego determina un rilascio di anidride carbonica nell'aria che va contabilizzata nel bilancio complessivo.



(*) Il consumo energetico può variare dal 6 al 13% (Paniz e Pettenella, 2003)

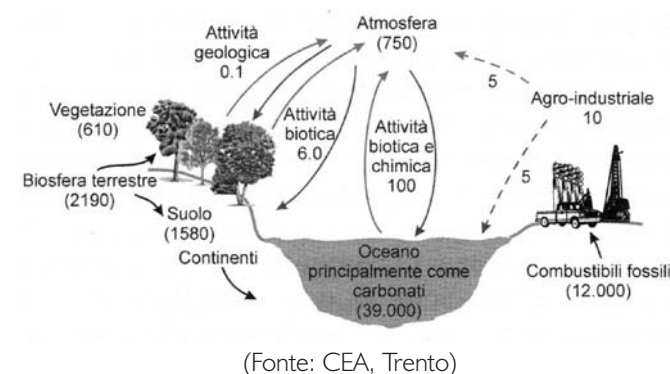


Percentuale di consumo energetico nelle fasi di esbosco, cippatura e trasporto del cippato di bosco

Percorso di 90 km (andata e ritorno)
Si rileva un consumo di 50 kWh per produrre 1000 kWh di calore utile

(Fonte : Energie-bois Suisse, Michel Borel, Les granulés de bois, 2001)

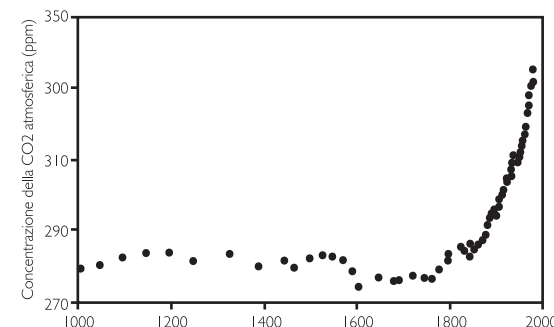
Ciclo del carbonio⁴ - Quantitativi immagazzinati nelle principali porzioni della biosfera.



Le piante immagazzinano il carbonio nel legno e in altri tessuti fino a quando non muoiono e, con la decomposizione, esso è rilasciato nell'atmosfera oppure è incorporato nel suolo sotto forma di sostanza organica dove permane per periodi anche molto lunghi.

La concentrazione atmosferica di CO₂ è in continuo aumento (è stato stimato 1,5 ppm/anno⁵) dovuta all'aumento considerevole del consumo di combustibili fossili avvenuto nell'ultimo secolo. Forti emissioni di CO₂ derivano inoltre dai disboscamenti, dagli incendi e dalla progressiva intensificazione delle pratiche agricole (aratura, concimazioni minerali) che hanno comportato inoltre una graduale riduzione del carbonio nel terreno.

Andamento della concentrazione di CO₂ atmosferica negli ultimi 1000 anni

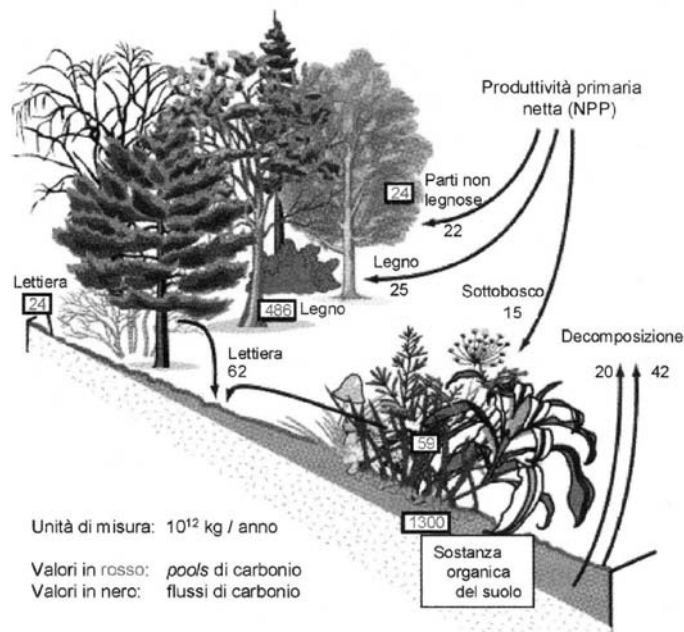


(Fonte: IDS0)

⁴ I valori sono espressi in 10⁹ tonnellate immagazzinate

⁵ Il contenuto di CO₂ nell'aria è attualmente di 0,57 g/m³

Flussi e depositi di carbonio negli ecosistemi terrestri



(Fonte: CEA, Trento)

Fissazione del carbonio negli ecosistemi forestali in Italia (Fonte: Ciccarese e Pettenella)

La quantità stimata di carbonio fissato nelle foreste italiane:	1253 Mt	
SUOLO (ha la maggior capacità fissativa)	723 Mt	59 %
PIANTE (parte ipogea e epigea)	426 MT	32 %
Fustaie	54 %	
Cedui	44 %	
Altre formazioni forestali (macchia mediterranea, arbusteti, arboricoltura)	2 %	
LETTIERA	87,7 Mt	7,5 %
SOTTOBOSCO	12,53 Mt	1,5 %

Se consideriamo il legno dal punto di vista degli elementi chimici che lo compongono, si vede che il carbonio è l'elemento che lo costituisce al 50 %.

Composizione chimica del legno (in peso)

	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)
Legno	50	6	43.8	0,2

La componente "carbonio" in altri combustibili legnosi può essere anche superiore a quella del legno, ciò è dovuto ai lunghi processi biochimici di formazione delle sostanze in condizioni particolari di pressione e temperatura.

Contenuto di carbonio di alcuni combustibili

	kgC/kg	AUTORE
Legno anidro	0,5 ⁶	AA.W.
Dendromassa (anidra)	0,45	Tuscan
Biomassa arborea totale	0,45	La Marca
Carbone di legno di carbonaia	0,91	Giordano
Carbone di legno	0,83	Giordano
Torba	0,60 - 0,65	Giordano
Lignite	0,72	Giordano
Carbone bituminoso	0,75	Tuscan
Litantrace	0,75 - 0,90	Giordano
Antracite	0,90 - 0,93	Giordano
Carbone	0,97 - 0,98	Giordano
Gasolio	0,86	Enciclop. Petrolio
Petrolio	0,85	Giordano

Per una corretta analisi del contributo al ciclo del carbonio (emissioni-assorbimento) da parte dei combustibili, è necessario tener in debito conto anche le emissioni legate alle fasi e ai processi che portano alla produzione di combustibili.

⁶ Valore convenzionale impiegato da moltissimi Autori.

Produrre combustibili legnosi significa quindi utilizzare macchine e attrezzi che rilasciano carbonio in atmosfera. La tabella che segue è un esempio di quantificazione delle emissioni di carbonio nelle produzioni di alcuni assortimenti forestali e per una definita lunghezza di trasporto.

Emissioni di carbonio nella produzione forestale in Germania (Fonte: Böswald)

Distanza di trasporto: 70 km

Specie	tronchi da sega		legno da industria	
	kgC/t _{anidra}		kgC/m ³	
Picea	7,79	11,46	2,94	4,32
Pino silvestre	7,13	10,67	3,07	4,60
Faggio	5,01	8,95	2,77	4,96
Querce	5,18	9,00	2,91	5,05

(Basato su dati di WEGENER et al. 1994)

Interessante è anche avere un'indicazione sul tipo di carbonio (vd. inizio cap. 10) che è emesso in relazione al tipo di combustibile ed inoltre il rapporto che c'è tra carbonio emesso e contenuto energetico del combustibile stesso.

Emissioni di carbonio ed energia prodotta (Fonte: Jungmeier)

	kgCO _{2eq} /kWh	Tipo di Carbonio	Rapporto ⁷
residui legnosi boschivi	0,060	circolante	1,00
legno da ceduo a corta rotazione	0,104	circolante	1,73
gasolio	0,480	fossile	8,00
gas naturale	0,367	fossile	6,11

EMISSIONI DI CARBONIO NELLA COMBUSTIONE COMPLETA

Emissioni di carbonio riferite all'unità di contenuto energetico del combustibile

Legno	0,418	kgCO ₂ /Mcal	Jungmeier	C. circolante
"	0,388	kgCO ₂ /Mcal	Marland	C. circolante
"	0,450	kgCO ₂ /Mcal	Hellrigl	C. circolante
"	0,440	kgCO ₂ /Mcal (con P.C.S.)	Anonimo	C. circolante
Petrolio	0,304	kgCO ₂ /Mcal	Battistelli	C. fossile
Benzina	0,290	kgCO ₂ /Mcal	Hellrigl	C. fossile
Carbone	0,400	kgCO ₂ /Mcal	ENEA	C. fossile

⁷ Posto 1,00 il valore più basso.

Confronto delle emissioni di carbonio nel riscaldamento con diversi combustibili a parità di energia termica utile prodotta (145.258,74 MJU/anno = 40.349,65 kWhU/anno)

Sono state quantificate e messe a confronto le emissioni di carbonio (in un ottica di ciclo chiuso) derivanti da caldaie alimentate a combustibili legnosi e caldaie alimentate da combustibili convenzionali, tutte con una potenza di **25 kW**, impiegate per riscaldare un edificio di circa **850 m³**.

COMBUSTIBILE	GASOLIO	METANO	LEGNA DA ARDERE	CIPPATO	PELLET
Quantità di combustibile	3,8 t	4500 m ³	12 t	14,1 t	9,5 t
Potere calorifico inferiore	42,7 MJ/kg	35,87 MJ/m ³	14,2 MJ/kg (w=20%)	12,1 MJ/kg (w=30 %)	18 MJ/kg (w=8 %)
Rendimento termodinamico	90%	90 %	85% ⁸	85%	85 %
Emissione di C fossile produzione ⁹	456 kg ¹⁰	450 kg	144 kg ¹¹	324 kg	256 kg
Emissione di C fossile combustione	3268 kg	1820 kg	0 kg	0 kg	0 kg
Emissione totale di CO ₂ ¹²	13.667,1 kg	8331 kg	528,5 kg	1189,1 kg	939,5 kg
Confronto (posto = 1 la legna ardere)	25,86	15,75	1	2,25	1,8

Per soddisfare il fabbisogno termico dell'edificio, limitando la casistica alla sola legna da ardere, la caldaia consuma circa 12 t di legna stagionata per anno che possono essere ricavate da:

- A. **1600 m di siepe monofilare da legna** composta da specie a rapido accrescimento (es. platano e olmo etc.); ogni anno si utilizzano 270 m (turno 6 anni).
- B. **3,8 ha di bosco ceduo misto di latifoglie collinare** con incremento corrente (medio) di 4 m³/ha/anno (turno di 20 anni). Ogni anno si interviene su una superficie di 1900 mq da cui si ottengono circa 12 t.
- C. **2,6 ha di bosco ceduo di robinia** con incremento corrente (medio) di 6 m³/ha/anno (turno di 20 anni). Ogni anno si interviene su una superficie di 1300 mq da cui si ottengono circa 12 t.

⁸ Fornita dal costruttore.
⁹ Fonte: Leitgeb A. - Pellets-Studio Voralberg
¹⁰ Estrazione, trasporti e raffinazione.
¹¹ Abbattimento, allestimento, esbosco, trasporto, taglia-spacca e manipolazione.
¹² 2 g di sostanza secca contengono 1 g di C che genera a 3,67 g di CO₂.

11. QUANTO LEGNO-ENERGIA C'È?

Tra i tanti numeri che bisogna conoscere per poter pensare in modo corretto all'uso energetico del legno, quelli sulla disponibilità della risorsa sono di importanza strategica.

Troppo spesso infatti dei bei progetti, anche ottimamente dotati dal punto di vista finanziario, sono falliti per il banale motivo che non si erano fatti i conti con la realtà, ipotizzando disponibilità inesistenti, puntando ad utilizzare risorse presenti ma fuori mercato o viceversa sottovalutando risorse abbondanti ed a portata di mano.

D'altro canto spesso la realizzazione di progetti che adottano le soluzioni tecnologiche più rispettose dell'ambiente trovano l'opposizione da parte di cittadini ed amministratori locali che temono che produrre energia partendo dal legno provochi gravi danni all'ambiente, ad esempio riducendo la disponibilità di aree verdi od impoverendo i boschi.

Contrariamente ai numeri che ci hanno permesso nella prima parte di questo vademecum di caratterizzare il legno da un punto di vista chimico e fisico, quanto segue non fornisce dati numerici assoluti ma solo "relativi", variabili da contesto a contesto.

Di seguito la disponibilità di legno-energia viene espressa in termini numerici solo relativamente ad alcuni casi che sono portati a mo' di esempio e che sono validi solo nei ristretti contesti a cui fanno riferimento.

Ciò che invece è di valore generale è la classificazione tipologica dei "contenitori" di biomassa legnosa utilizzabile a fini energetici.

11.1 I DIVERSI "CONTENITORI DI LEGNO-ENERGIA" ED I NUMERI RELATIVI ALLA LORO DISPONIBILITÀ

Fintanto che per produrre energia dal legno si poteva utilizzare solo legna da ardere, bruciata in stufe, caminetti, cucine a legna, le fonti di legno-energia erano abbastanza limitate ed erano rappresentate in modo prevalente dai boschi e dalle siepi campestri. La cippatura e la pellettizzazione hanno ampliato di molto la gamma delle fonti da cui si possono ricavare prodotti legnosi a fini energetici.

Di fatto oggi, in una logica di corretto uso dei materiali e dell'energia, ogni fonte di legno deve essere guardata come un potenziale "contenitore" di legno-energia. Quanto del suo contenuto sia poi effettivamente disponibile dipende, da un lato dal costo di raccolta, trasformazione e trasporto fino alla più vicina sede di utilizzazione, dall'altro dalla competizione con altri potenziali utilizzi.

A seconda dei contesti in cui viene prodotto il legno utilizzabile per fini energetici può presentarsi da un punto di vista merceologico sotto tre diverse vesti:

- quella di **prodotto**: il legno è l'obiettivo principale o secondario a cui si punta attraverso la coltivazione degli alberi;
- quella di **residuo**: il legno è un materiale che resta alla fine di attività di manutenzione dell'ambiente, di cura di alberi che hanno finalità diverse da quella di produrre legname o da lavorazioni del legno che non prevedono una sua contaminazione con prodotti chimici;
- quella di **rifiuto**: il legno è un materiale che deve essere smaltito rispettando le prescrizioni di legge e sostenendo dei costi.



a. Prodotti legnosi forestali ed agricoli non trasformati (fusti, polloni, tronchi, squartoni)



b. Residui agricoli e forestali (ramaglie, sarmenti, tronchi degli espianti, ceppaie)



c. Residui delle manutenzioni delle pertinenze idrauliche e delle scarpate stradali (ramaglie, tronchi)



d. Residui delle manutenzioni del verde urbano (ramaglie, tronchi degli abbattimenti e degli espianti)



e. Residui delle prime e seconde lavorazioni industriali (cortecce, refili, segature, trucioli)



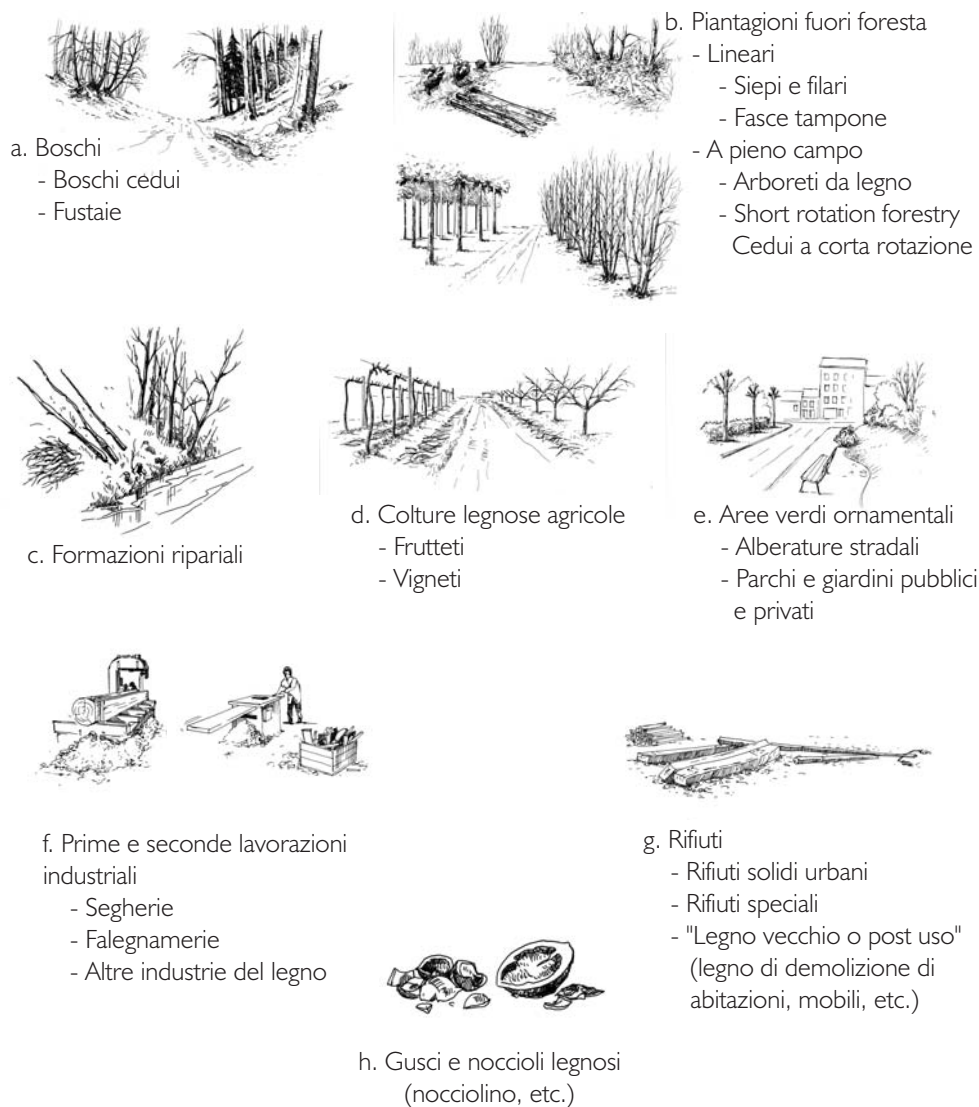
f. Residui della lavorazione di frutti a guscio legnoso (nocciolino, etc.)



g. Rifiuti legnosi (legno trattato con colle, vernici, impregnati; legno delle demolizioni di edifici e di mobili, bancali, cassette)

Tipologie delle biomasse legnose utilizzabili a fini energetici

I principali "contenitori" di legno energia sono oggi classificabili come segue:



i contenitori di legno-energia

Boschi

Tutti i boschi producono legno utilizzabile a fini energetici; in alcuni casi il legno energia è il principale prodotto del bosco (boschi cedui); nelle fustaie invece il prodotto legnoso principale è il legname da lavoro ma nel ciclo colturale vengono prodotti ingenti quantitativi di legno che può essere valorizzato principalmente destinandolo ad usi energetici (si pensi ai diradamenti, ai residui che restano sul terreno al termine di una utilizzazione forestale, etc.).

In molti contesti il valore di macchiatico del legno prodotto nei boschi è negativo, soprattutto laddove non esiste un'adeguata viabilità o dove mancano imprese forestali adeguatamente dotate di macchinari e di personale professionalmente preparato. La disponibilità di legno-energia derivante dai boschi di solito è dunque inferiore a quella potenzialmente esistente viste le superfici coperte da boschi.

Fuori Foresta

L'insieme degli alberi coltivati a fini produttivi su terreni agricoli prende il nome di "fuori foresta"; le piantagioni possono essere distinte in "lineari" (siepi campestri, filari), piantate in genere lungo il reticolo idrografico o la rete viaria ed "a pieno campo". A loro volta, nelle piantagioni lineari si distinguono le siepi e filari tradizionali (frangivento, siepi da legna, etc.) e le "fasce tampone", piantate per il precipuo motivo di difendere i corpi idrici superficiali dalla contaminazione da nutrienti di origine agricola o civile; nelle piantagioni a pieno campo si distinguono gli arboreti da legno (colture specializzate di specie legnose a legname pregiato piantate con l'obiettivo di produrre in tempi brevi assortimenti di pregio), dalle "short-medium rotation forestry" (cedui a cortissima, corta e media rotazione), piantagioni in cui l'obiettivo è quello di massimizzare la produzione corrente di biomassa, destinata principalmente a fini energetici.

Negli arboreti da legno, come nelle fustaie, la produzione di legno-energia non è l'obiettivo principale ma, come nel caso delle colture legnose agricole (vedi oltre), possono essere annualmente o periodicamente prodotti dei residui legnosi interessanti perché concentrati e facilmente accessibili (si pensi a cosa resta sul letto di abbattimento di un pioppeto dopo l'asporto dei tronchi).

Le piantagioni fuori foresta hanno avuto una generalizzata riscoperta nell'ultimo decennio, a partire soprattutto dall'emanazione delle "Misure di accompagnamento alla riforma della PAC" del 1992 (Reg. ti CE 2078/92 e CE 2080/92).

Il legno-energia prodotto nei sistemi fuori foresta è in molte situazioni facilmente accessibile; i cantieri di impianto, coltivazione e raccolta possono essere facilmente meccanizzati; la produttività per unità di superficie risulta spesso molto elevata e pertanto il prezzo del legno energia delle piantagioni fuori foresta risulta competitivo. Vista la rapidità di sviluppo degli alberi nei sistemi fuori foresta, attraverso di essi è possibile aumentare in modo anche significativo l'offerta a scala locale di legno in tempi medio-brevi.

Come dimostrano le fasce tampone, questi sistemi arborei possono svolgere importanti funzioni collaterali alla sola produzione di biomassa legnosa che ne favoriscono il sostegno da parte della pubblica amministrazione (depurare l'acqua, abbellire il paesaggio, offrire spazio di vita alla fauna selvatica, etc.).



Principali fonti di legno-energia nei territori collinari e montani

Formazioni ripariali

Localmente, soprattutto nelle pianure dell'Italia settentrionale, le pertinenze idrauliche dei fiumi possono essere ricche di formazioni arboree ripariali. La loro gestione dinamica (tagli frequenti con cantieri fortemente meccanizzabili), legata alla sicurezza idraulica, ne fa una fonte localmente interessante di legno energia a costi molto contenuti (identificabili spesso con il puro costo di trasporto dal cantiere di raccolta alla centrale a biomassa od al piazzale di stoccaggio e trasformazione delle biomasse legnose) visto che la loro raccolta rientra nei costi dei cantieri di manutenzione idraulica.

Una situazione analoga si ha con la manutenzione delle fasce di rispetto delle strade pubbliche.

Culture legnose agricole

In Italia le colture legnose agricole (frutteti, vigneti) ricoprono milioni di ettari di superficie. Tutte le superfici annualmente o periodicamente sono interessate da potature di produzione che lasciano sul terreno significativi quantitativi di residui. A fine ciclo viene effettuato l'espianto ed in alcuni casi la quantità di legno presente per unità di superficie si avvicina a quella di un diradamento forestale o del taglio di un bosco ceduo.

L'estensione delle coltivazioni e la loro concentrazione in aree particolarmente vocate, l'utilizzo di macchine imballatrici, trincia-raccoltrici e la facile accessibilità alle superfici rende il legno delle potature dei frutteti e dei vigneti una fonte particolarmente interessante per la produzione di cippato.

La rimozione delle potature è un'operazione culturale "consuetudinaria" che rappresenta un costo per l'azienda agricola. Normalmente l'eliminazione dei residui avviene attraverso la triturazione sul posto e l'eventuale incorporamento nello strato superficiale del terreno. Invece, laddove il legno può essere vettore di pericolose malattie, è obbligatorio asportare i residui dalla piantagione. La valorizzazione energetica dei residui risulta interessante perché, a fronte dei costi delle operazioni di eliminazione dei residui di potatura, è possibile avere degli introiti legati alla vendita del materiale di risulta.

Verde urbano

L'insieme degli alberi e degli arbusti che compongono il verde urbano (pubblico e privato) costituiscono una sorta di "foresta diffusa" che annualmente o periodicamente è interessata da operazioni di potatura. A fine ciclo poi ogni componente del verde urbano va abbattuta ed allontanata. Contrariamente ai residui legnosi che derivano dalla manutenzione delle colture arboree agricole, quelli del verde urbano sono più dispersi e la loro raccolta si giustifica da un punto di vista economico solo quando la loro concentrazione nello spazio e nel tempo è elevata.

In tal senso, particolarmente interessanti sono le alberature stradali e le grandi aree di verde pubblico. Come nel caso della manutenzione delle pertinenze idrauliche dei fiumi, il legno che deriva dalla manutenzione del verde urbano ha un costo molto conveniente perché, di fatto, anche i costi di trasporto fino al luogo di utilizzazione finale e di trasformazione (cippatura) rientrano nei costi di manutenzione del verde urbano. In questo caso il legno è un residuo di cui ci si deve comunque sbarazzare.

Industrie del legno

Le industrie del legno (prime e seconde lavorazioni) producono in Italia ingenti quantitativi di residui e di scarti legnosi. I primi possono essere facilmente valorizzati a fini energetici e già da tempo è diffuso il loro riuso a livello aziendale. I secondi possono essere valorizzati solo in impianti particolari, appositamente autorizzati.

In molti contesti i residui delle industrie del legno sono i prodotti legnosi più interessanti per la produzione di energia dal legno perché il loro costo è basso e la loro concentrazione è elevata.

In zone ricche di prime e seconde lavorazioni industriali la convenienza ad utilizzare a fini energetici i residui ed i rifiuti legnosi è tale da annullare l'interesse per tutte le altre fonti di legno (ad esempio quella forestale), riducendo di molto anche le iniziative che puntano alla valorizzazione energetica del legno quale mezzo per ottenere una maggiore manutenzione del territorio (cura dei boschi, gestione delle fasce golenali, etc.).

Il pellet e le briquettes derivano oggi quasi esclusivamente dalla trasformazione di residui delle industrie del legno.

Rifiuti legnosi

I rifiuti solidi urbani (RSU) contengono sempre una componente legnosa. Il riutilizzo a fini energetici di questo rifiuto è possibile in diversi modi. Il più semplice è quello del recupero energetico nei termovalorizzatori, od inceneritori, dove il legno dà il suo contributo senza essere separato dalle altre componenti (od essendo solo parzialmente separato dalle altre componenti) degli RSU.

Laddove si è diffusa la raccolta differenziata il legno è separato a monte dai cittadini e può essere così raccolto in appositi contenitori che servono anche per smaltire piccoli quantitativi di potature domestiche. In questo caso, dopo essere stato trasformato in cippato, il legno può entrare in circuiti di valorizzazione energetica simili a quelli che permettono di utilizzare numerosi altri residui e rifiuti legnosi.

Nel caso si attui la pratica del compostaggio della componente organica degli RSU, la separazione del legno dalle altre componenti organiche è guardata in modo negativo perché il legno è importante per dare struttura ai cumuli di compostaggio. E' questo un tipico caso in cui l'utilizzo energetico del legno è limitato dalla competizione con usi alternativi.

Altri tipi di rifiuto pongono dei limiti più vincolanti al loro riuso a fini energetici perché il legno si presenta addizionato a colle, vernici, prodotti preservanti: è il caso del "legno vecchio" delle demolizioni di case o di vecchi mobili, delle traversine ferroviarie, dei pali impregnati, etc.

In questo caso la valorizzazione energetica può avvenire solo all'interno di impianti di incenerimento specificamente costruiti.

Gusci e noccioli legnosi

Un ultimo contenitore di legno-energia, localmente di grande interesse ma distribuito in modo molto irregolare nel territorio nazionale, è quello dei residui della lavorazione delle noci e delle nocciole: i gusci di questi frutti secchi sono di fatto costituiti da legno; dove la nocicoltura o la corilicoltura sono diffuse (ad esempio in alcune parti del Piemonte, del Lazio, della Campania) i gusci sono il prodotto legnoso più interessante perché di prezzo competitivo e di ampia disponibilità.

11.2 ALCUNI DATI SUL CONSUMO E SULLA DISPONIBILITA' DI LEGNO-ENERGIA IN ITALIA

Di seguito vengono riportati in forma tabellare alcune serie di dati sul consumo (produzione di calore e di energia elettrica) e sulla disponibilità di legno a fini energetici in Italia. Le fonti sono diverse e pertanto essi non sono omogenei nei risultati finali.

I dati più dettagliati ed aggiornati sono quelli recentemente pubblicati dall'APAT (2003) nel rapporto 30/2003 "Le biomasse legnose", scaricabili dal sito internet www.sinanet.apat.it.

In sintesi essi mostrano quanto sia elevato il contributo (reale e potenziale) delle fonti di legno-energia "non forestali" e quanto grande possa ancora essere la crescita della disponibilità di legno-energia migliorando l'utilizzo di quello già presente in alcuni "contenitori" ed aumentandone la produzione nei terreni agricoli.

Consumo di legno-energia (Mt) per la produzione di calore ed energia elettrica in Italia (anno 2001)

SETTORI DI IMPIEGO	CONSUMO(Mt)
Legna da ardere nel settore residenziale	17.630
Teleriscaldamento a biomasse legnose	0.108
Legno utilizzato nelle industrie	3.458
Cogenerazione da impianti a biomasse	1.222
Sub-totale per la produzione di calore	22.417
Legno utilizzato per la produzione di energia elettrica	1.279
Totale	23.696

Da: Francescato, "La filiera del cippato in Italia. Domanda, offerta e aspetti economici", 2004

Produzione di residui in diversi contesti produttivi

Tipo di biomassa legnosa	Produzione
Residui agricoli (potatura di frutteti ed oliveti)	2-3 t ss/ha, anno
Residui di potatura di alberature stradali	0.04-0.08 t ss/pianta, intervento
Residui delle utilizzazioni boschive commerciali	10-60 t ss/ha, intervento
Residui delle ripuliture di fossi, scarpate ed alvei fluviali	20-100 t ss/ha, intervento
Residui legnosi prodotti in un pioppeto	30-40 t s.verde, ciclo produttivo

Da: Spinelli, "I residui legnosi agro-forestali", 1998

Produzione di residui in colture legnose agricole in Emilia Romagna

Coltura	Produzione: t s. verde/ha, anno
Pesco	6
Susino	5,5
Albicocco	5
Ciliegio	5,3
Melo	5,4
Pero	5,4
Vite	4,4
Actinidia	6,3
Nettarine	6

Da: Lazzari, "L'utilizzo di residui agricoli ligno-cellulosici.", 2.000

Produzione di residui e rifiuti legnosi nelle industrie del comparto lavorazione legno

(riferita all'anno 1997, ottenuta estrapolando i dati ottenuti da un'indagine di Federlegno-Arredo relativa al Triveneto)

Tipo di biomassa legnosa	Produzione
Scarti di legno vergine	4.7 Mt/anno
Scarti di legno trattato	1.4 Mt/anno
TOTALE	6.1 Mt/anno

Da: Cerullo, Pellegrini (Assolegno): "Stima delle quantità di residui legnosi prodotti in Italia", 2002

Stime sulla disponibilità di legno per fini energetici in Comune di Venezia

Contesto produttivo	Disponibilità (t s.verde/anno)	
	minimo	massimo
boschetti	280	300
Arboreti da legno	366	525
Siepi campestri	1.090	2.181
Vigneti e frutteti	444	1.400
Comparto industriale e urbano	4.781	4.781
Realizzazione del primo lotto del "Bosco di Mestre" (200 ha)	1.554	1.756

Da: Comune di Venezia: "La produzione potenziale di legno-energia nel territorio del Comune di Venezia-Mestre.", 2002.

Stime sulla disponibilità di legno per fini energetici nella Regione Veneto

Biomassa legnosa proveniente dalle foreste	Disponibilità (t s. verde/anno)	
	minimo	massimo
Residui delle utilizzazioni delle fustaie	73.000	88.000
Tagli finali dei boschi cedui	247.000	325.000
Cure colturali	8.000	9.000
TOTALE	328.000	422.000
Biomassa legnosa proveniente dal "fuori foresta", dalle colture agrarie arboree e dal verde urbano		
4 - Siepi campestri	135.000	360.000
5 - Arboreti da legno (pioppeti)	60.000	60.000
6 - Formazioni golenali	6.000	12.000
7 - Frutteti e vigneti (residui di potatura)	609.000	609.000
8 - Frutteti e vigneti (espianti)	30.000	30.000
9 - Verde urbano (residui di potatura ed espianti)	90.000	180.000
10 - Alberature stradali	2.000	3.000
TOTALE	932.000	1.254.000
Biomassa legnosa proveniente dalle industrie del legno		
11 - Residui industria del legno	710.000	710.000
TOTALE	710.000	710.000
TOTALE GENERALE	1.970.000	2.386.000

Da: Regione del Veneto: "Indagini conoscitive preliminari allo sviluppo di un Piano regionale per l'utilizzo energetico delle biomasse legnose del Veneto.", 2000.

Disponibilità totale di legno per fini energetici in Svizzera

Contesto produttivo	Potenziale produttivo a media scadenza (Mm3/anno)	Potenziale produttivo teorico (Mm3/anno)
boschi	1.5-2.8	
Scarti di legna	1.1	
Legname vecchio	0.7	
Legna dai campi	0.3	
TOTALE	3.6-4.9	6.0

Da: ASEB, "Energia dal legno.", 1997.

Stime del contributo potenziale delle diverse fonti di legno utilizzabili come combustibile in Italia

Fonte	Quantitativo (milioni di t di legno secco)
Boschi (raccolta di solo la metà dell'incremento corrente annuo)	7-8 Mt
Colture legnose a fini energetici sui terreni agricoli (stima potenziale)	5 Mt
Raccolta differenziata di rifiuti	1 Mt
Segherie ed industrie del legno	4 Mt
Residui agricoli	3-4 Mt
TOTALE	20-22 Mt

Da: Cerullo, Pellegrini (Assolegno): "Stima delle quantità di residui legnosi prodotti in Italia", 2002

Stime sulla disponibilità di legno per fini energetici in Comune di Venezia

	Anno di riferimento	Quantità (milioni di t)	Quantità (milioni di mc)
Consumi di biomasse legnose a fini energetici			
- Consumi domestici	1997	21,56	28,75
- Consumi nei forni a legna	2000	0,30	0,34
- Consumi di scarti industriali	2000	0,38-2,28	0,46-3,50
Biomassa disponibile non utilizzata a fini energetici			
- Biomassa di scarto derivante dalle lavorazioni forestali	1997	n.d.	0,97-1,16
- Residui di potature delle colture arboree	1997	9,60	12,80
- Residui dalla pioppicoltura	1997	0,35	0,48
• potature	1997	0,21	0,28
• ceppaie	1997		
Prelievi potenziali			
- Residui delle utilizzazioni delle fustaie	1997	n.d.	5,65
- Utilizzazioni dei cedui	1997	n.d.	16,55
- Cure colturali	2000	n.d.	1-2
- Utilizzazioni "fuori foresta": filari	1999	0,35-0,56	0,47-0,75
- Utilizzazioni "fuori foresta": piccole superfici boscate	1999	n.d.	0,07

Da APAT, "Le biomasse Legnose", 2003.

Bibliografia

ALESSANDRINI A., 1993. - Pensare il bosco. Edizioni Abete.

ANDERLE A., CICCARESE L., DAL BON D., PETTENELLA D., ZANOLINI E., 2002 - Assorbimento e fissazione di carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi in Italia. APAT, Roma.

AIEL (FRANCESCATO V. MEZZALIRA G.), 2002. - La produzione potenziale di legno-energia nel territorio del Comune di Venezia-Mestre. Rapporto per il Comune di Venezia.

APAT (CICCARESE L. SPEZZATI E. PETTENELLA D.), 2004. - Le biomasse legnose. APAT Rapporti n° 30. Roma.

ASEL, 1997. - Energia dal Legno. Zurigo

BERCHIS S. e BERRUTTO R., 1977. - Il legno come scelta energetica. In: Impianti di riscaldamento a cippato. Regione Piemonte. Assessorato Economia Montana e Foreste - Assessorato Agricoltura.

BÖSWALD K. 1996. - Die Bedeutung des Waldes und der Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt, eine Analyse am Beispiel des Bundeslandes Bayern. Forstliche Forschungsberichte, 159/1996. München.

CENTRO DI ECOLOGIA ALPINA, 2003 - Il ruolo delle foreste nel bilancio del carbonio. Aspetti ecologici ed economici. Reporto n° 28, Viote, Monte Bondone (TN).

CERULLO S. PELLEGRINI A., 2002. - Stima delle quantità di residui legnosi prodotti in Italia. Relazione presentata nell'ambito della fiera "Progetto Fuoco", Verona.

CICCARESE L. PETTENELLA D., 1999 - Il protocollo di Kyoto e le risorse forestali: implicazioni tecniche e politiche in campo nazionale e internazionale. Sherwood n° 41

CICCARESE L. PETTENELLA D., 2000 - Il ruolo delle foreste come serbatoio di carbonio. Sviluppi recenti del processo di negoziazione del Protocollo di Kyoto. Sherwood n° 61

FRANCESCATO V. ANTONINI E. PETTENELLA D., 2004 - La filiera del cippato in Italia. Domanda, offerta e aspetti economici. Legno Energia Rivista Tecnica Europea n° 2/2004.

GIORDANO G., 1955. - Tecnologia del legno. UTET, Milano.

GIORDANO G., 1997. - Antologia del legno. LEGNOLEGNO scrì

GLETTER R., 1999 - Schetholz-Gebläsekessel. Kammer für Land und Forstwirtschaft Kärnten. Klagenfurth.

HARTMANN H., BÖHN T. e MAIER L., 2000. Naturbelenene biogene Festbrennstoffe - Umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Umwelt & Entwicklung Nr. 154. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen München.

HELLRIGL B., 2002 - Numeri per la Dendroenergetica - Edizione provvisoria.

HOLZENERGIE SCHWEIZ - <http://www.vhe.ch/>

LA MARCA O., CORONA Pm. e FERRARA A., 1993. Contenimento del livello di CO₂ nell'atmosfera: il ruolo attuale e potenziale delle formazioni forestali italiane. STES, Roma.

LAMMER H., 1999. Automatische Holzfeuerungen. Kammer für Land und Forstwirtschaft Kärnten. Klagenfurth.

LEITGEB A., 1998 - Holzpellet - Studie Voralberg Halbertschwende.

LIENBACHER N., HOBARTH M., s.d. Mit Holz heizen-Wohn-Klima schaffen. Präsidentenkonferenz des Landwirtschaftskammern Österreichs. Wien.

MARLAND G. e MARLAND S., 1992. Should we store carbon in trees? Water, Air and Soil Pollution, Nr. 64.

JONAS A., HANEDER H., 2001. - Energie aus Holz. Niederösterreichische Landeslandwirtschaftskammer, St. Pölten.

JUMGMEIER G. e SCHWAIGER H., 2000. - Changing Carbon Storage Pools in LCA of Bioenergy - A Statistic Accounting Approach for a Dynamic Effect. COST E9: Mid-term meeting, Helsinki.

KEA, s.d. Der Wald gibt Wärme - Heizen im Kreislauf der Natur. Klimaschutz- und Energieagentur Baden - Würffemberg G.m.b.H.

PANIZ A., PETTENELLA D., 2003. Il mercato del pellet in Italia, da prodotto di nicchia a biocombustibile di massa? Collana Editoriale AIEL.

PIEGAI F., 2000. Consumi di combustibili in lavori forestali. Sherwood n. 62.

PODESSER E., GUTKAUF B., 1994. - Measurement unit for the water content of wood chips. 8th European Conference on Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry. Vienna, Austria.

REGIONE PIEMONTE, Assessorato Agricoltura (BERRUTO R. e BECHIS S.), 1999. Il risparmio energetico e la razionalizzazione dei consumi nelle aziende. Torino.

REGIONE PIEMONTE, Assessorato All'Ambiente, Agricoltura e Qualità (AURSONE R. ALLIANI N. QUIRINO M.), 2003. - L'utilizzo del legno come fonte di calore. Torino.

REGIONE VENETO, Direzione Regionale Tutela dell'Ambiente, 2000. - Indagini conoscitive preliminari allo sviluppo di un Piano Regionale per l'utilizzo energetico delle biomassa legnose del Veneto. Venezia.

SAVOLAINEN V. e BERGGREN., 2000. - Wood fuel basic information pack. BENET Bioenergy network, Energi Dalen, Jyväskylä Ammatikorkeakoulu Jyväskylä Polytecnic. Jyväskylä.

SORLINI, S. ZONI S., 2001. Stato dell'arte della bricchettatura ed eventuali applicazioni. Punto Energia, Facoltà di Ingegneria Università degli Studi di Brescia.

SPINELLI R., 1998. - I residui legnosi agro-forestali. Rapporto del progetto ARSIA "Tecniche di raccolta, cippatura e trasporto della biomassa legnosa agro-forestale di recupero per un'utilizzazione energetica". Firenze.