

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 10);
Giustino Mezzalira (introduzione e capitolo 11)

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 associate: 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 (manualetto 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 Cippato Pellet	Legna da ardere

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 plaquette	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/m ³	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/m ³			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/m ³	MJ/ms	kWh/kg	kWh/m ³	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/m ³	tep/t	tep/m ³	Btu/kg	Btu/m ³
---------	---------------------	-------	--------------------	--------	--------------------

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

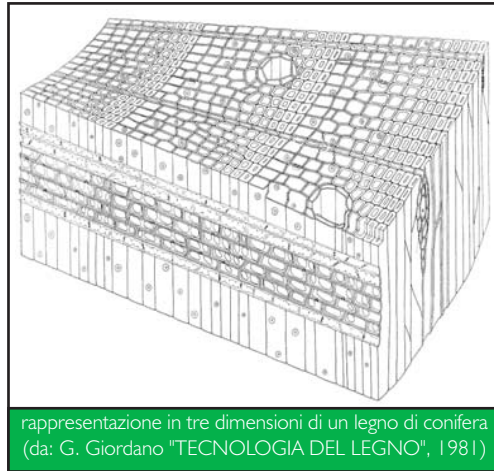
Una caldaia da 80.000 kcal/h corrisponde a 93.040 W (= 93 kW)

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.



rappresentazione in tre dimensioni di un legno di conifera
(da: G. Giordano "TECNOLOGIA DEL LEGNO", 1981)

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.

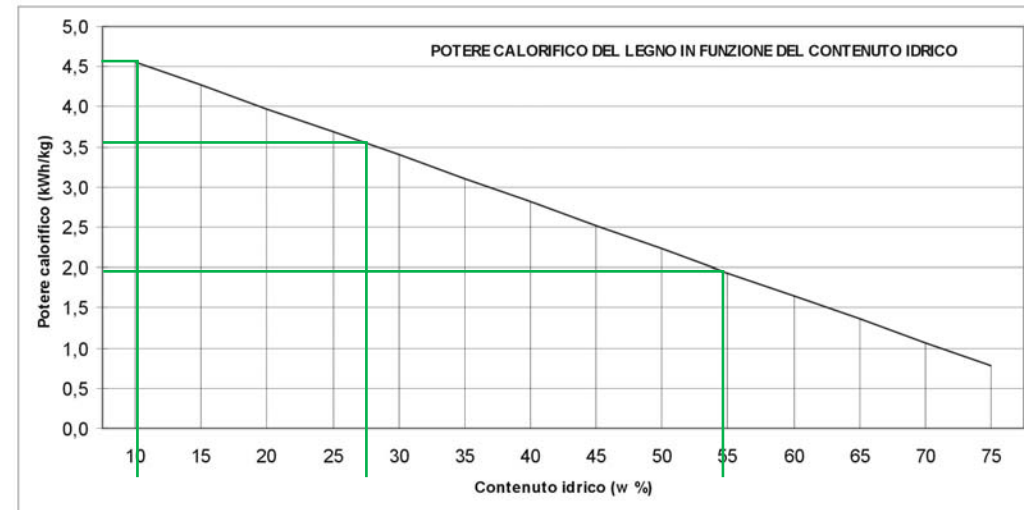
Alcuni valori medi

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%.

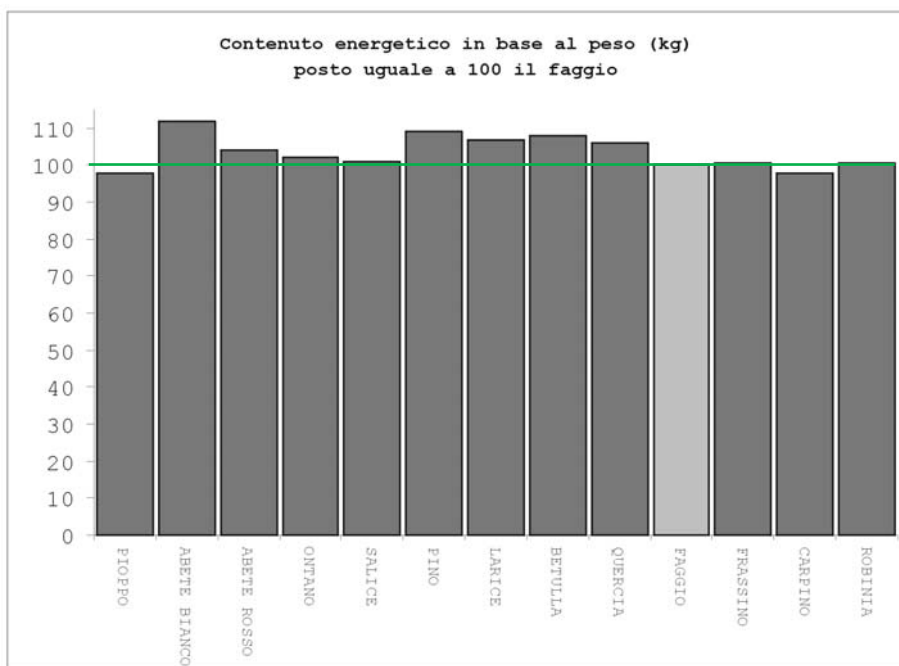
Variazione del P.C.I. del legno in vari stati idrici - (Fonte: Jonas e Haneder)

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.

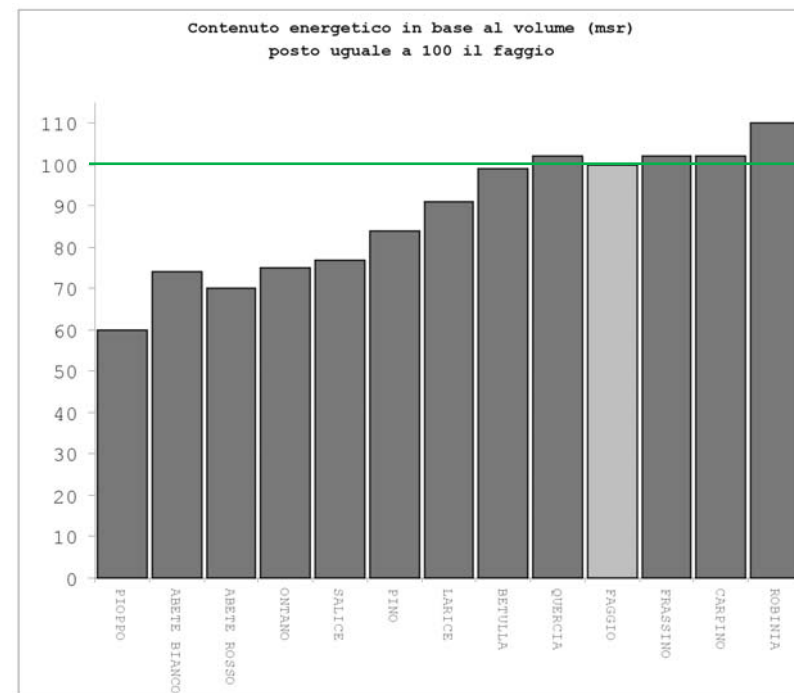


Alcuni valori indicativi del potere calorifico al contenuto idrico (w) del 13%

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

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

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

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)

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