

SOMMARIO

PRESENTAZIONE	5
1. UNITA DI MISURA	7
1.1 Volume	7
1.2 Peso	7
1.3 Rapporti peso-volume	8
1.4 Terminologia dei volumi	8
1.5 Massa volumica delle principali specie forestali	9
1.6 Massa sterica dei principali biocombustibili solidi	11
1.7 Rapporti di conversione legno-legna-cippato	11
2. CONTENUTO ENERGETICO	15
2.1 Unità di misura dell'energia termica	15
2.2 Energia e potenza	16
2.3 L'acqua nel legno	17
2.4 Ritiro e rigonfiamento volumetrico	18
2.5 Contenuto idrico e umidità	19
2.6 Composizione chimica	20
2.7 Potere calorifico e gestione delle ceneri	21
2.8 Calcolo analitico e valori di riferimento del potere calorifico	27
2.9 Densità energetica sterica	29
2.10 Equivalenze energetiche	30
3. PRODUZIONE DI LEGNA, CIPPATO E PELLETTI	33
3.1 Gli assortimenti ritraibili dal bosco	33
3.2 Sistemi di esbosco	37
3.3 Calcolo dei costi di produzione	41
3.4 Produzione di biocombustibili solidi di origine agricola	54

3.4.1 Qualità delle biomasse agricole	55
3.4.2 Costi di raccolta	56
3.4.3 Considerazioni generali operative sulla raccolta dei residui di potatura in vigneti e frutteti	59
3.5 Trasporto dei biocombustibili	61
3.6 Scenari di produzione di legna e cippato	68
3.7 Il processo di pellettizzazione	70
3.8 Densificazione delle patate agricole	80
3.9 Costi di produzione dei densificati da patate	81
3.10 Sansa e nocciolino	82
4. REQUISITI QUALITATIVI E NORME DI RIFERIMENTO	85
4.1 Specifiche tecniche per biocombustibili legnosi	86
4.2 Classificazione dei combustibili solidi	87
4.3 Strumenti per la determinazione delle principali caratteristiche qualitative dei biocombustibili solidi	94
4.4 Strumenti per la determinazione speditiva del contenuto idrico	95
5. PROCESSI DI STAGIONATURA ED ESSICCAZIONE DEL LEGNO	97
5.1 La stagionatura del legno	97
5.2 Stagionatura della legna da ardere	101
5.3 Stagionatura del cippato	105
5.4 Piattaforma biomasse logistico-commerciale (BL&TC)	110
5.5 Sistemi di essiccazione	111
6. COMPRAVENDITA, ANDAMENTI DI MERCATO E VALUTAZIONI ECONOMICHE	123
6.1 Compravendita della legna e del cippato	123
6.2 Costi dell'energia e andamenti	128
6.3 Confronto tra i costi dell'energia utile a scala domestica	130
6.4 Consumi energetici ed emissioni di CO ₂	133
ALLEGATI	135
BIBLIOGRAFIA	157

PRESENTAZIONE

Per sviluppare sul territorio un sistema decentralizzato di piccoli e medi impianti di conversione energetica dalla scala domestica alle minireti di teleriscaldamento, alimentati con biocombustibili agroforestali, basati su moderni ed efficienti generatori termici e applicazioni minicogenerative, è necessaria la strutturazione di un'offerta professionale in grado di garantire ai clienti finali un approvvigionamento in quantità e qualità adeguate alle specifiche richieste dalle moderne tecnologie.

Il rispetto dei requisiti qualitativi dei biocombustibili, sulla base dei quali i generatori sono sottoposti ai processi di certificazione, è fondamentale per garantire le loro prestazioni in termini di rendimento e fattori di emissione.

L'obiettivo del presente manuale tecnico è quindi contribuire a elevare il livello di professionalità dei produttori e dei distributori di biocombustibili solidi e rafforzare la consapevolezza degli operatori della filiera e dei consumatori finali dell'importanza della concreta applicazione sul mercato delle norme tecniche e degli standard di certificazione di prodotto e di processo.

Dopo un'introduzione sulle caratteristiche fisico-chimiche ed energetiche dei principali biocombustibili, segue un'ampia trattazione dei processi produttivi sia delle biomasse forestali sia dei sottoprodotti agricoli, in forma tal quale e densificata. Il capitolo 4 riporta la descrizione delle norme europee in vigore per i biocombustibili solidi, mettendo in evidenza alcuni importanti cambiamenti che a breve, con la pubblicazione delle norme internazionali ISO, saranno introdotti nel mercato europeo e nazionale e che, come nel caso del cippato, contribuiranno a eliminare e mitigare alcune criticità che la norma europea aveva creato.

Un approfondimento è dedicato alla realizzazione delle piattaforme biomasse. La costruzione di una rete diffusa di piattaforme logistico-commerciali per la produzione e la commercializzazione professionale dei biocombustibili - dotate di adeguate strutture e attrezzature per il pretrattamento delle materie prime e la conservazione e distribuzione dei prodotti finiti - rappresenta un aspetto chiave per la crescita del mercato e lo stimolo

a nuovi investimenti.

La parte finale del manuale, che comprende alcuni allegati, è dedicata alla valutazione comparativa dei costi dell'energia prodotta con i combustibili fossili convenzionali e all'analisi delle modalità più trasparenti di compravendita dei biocombustibili.

L'auspicio è che questo manuale possa rappresentare un'utile strumento di lavoro per le decine di migliaia di operatori della filiera, contribuendo concretamente alla loro crescita professionale e allo sviluppo responsabile e sostenibile del settore delle biomasse agroforestali.

L'obiettivo comune che abbiamo con le altre associazioni italiane delle rinnovabili è contribuire ad arginare la crescente perdita di potere di acquisto – quantificabile in più di 60 miliardi di Euro all'anno – causata dalla dipendenza dell'Italia dalle fonti fossili. Così facendo sarà possibile mantenere nel sistema socio-economico interno - sotto forma di risparmio, profitto, occupazione e riduzione di emissioni di gas clima alteranti - buona parte del valore economico di sostituzione che le rinnovabili offrono.

Valter Francescato, direttore tecnico AIEL

1. UNITÀ DI MISURA^[1]

1.1 Volume

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

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

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

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

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

1.2 Peso

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

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

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

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

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

1.3 Rapporti peso-volume

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

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

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

Massa volumica (Mv): si riferisce al rapporto tra il peso e il volume del corpo legnoso (corpo poroso) composto da un'insieme di sostanze e da vuoti (cavità vascolari) variamente riempiti di aria e/o di acqua. Si esprime in g/cm³ e in kg/m³.

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

Nel caso del pellet la massa volumica è riferita al peso del singolo pezzo che deve essere superiore a 1,15 g/cm³; nella fattispecie quando rilasciato in un recipiente d'acqua esso affonda rapidamente.

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

1.4 Terminologia dei volumi

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

Tabella 1.4 Definizioni delle unità di misura in sei lingue

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



1.5 Massa volumica delle principali specie forestali

Tabella 1.5.1 CONIFERE - valori medi con contenuto idrico (M) 13%^[2]

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

Tabella 1.5.2 LATIFOGLIE – valori medi con contenuto idrico (M) 13%^[2]

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

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

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

* ÖNORM: Istituto austriaco di Normazione - Österreichisches Normungsinstitut

1.6 Massa sterica dei principali biocombustibili solidi^[3]

Tabella 1.6

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

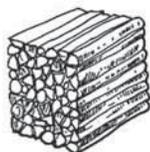
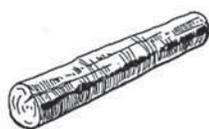
1.7 Rapporti di conversione legno-legna-cippato

La tabella 1.7.1 riporta i fattori orientativi di conversione tra i più comuni assortimenti da energia riportati in allegato alle norme austriache ÖNORM M7132 e M7133^[4].

Tabella 1.7.1 Rapporti di conversione legno-legna-cippato

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

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



1 m³ tondo ≈ 1,4 msa spacconi ≈ 2 msr legna ≈ 3 msr cippato (G50)

Fattori di conversione dei principali sottoprodotti della prima lavorazione del legno^[4]

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

Tabella 1.7.2 Fattori di conversione per la legna da ardere (con corteccia)^[3]

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

