

Energie rinnovabili

Tecnologia e impiantistica per l'utilizzo delle colture



**Corso di laurea magistrale in Scienze e tecnologie agrarie
a.a. 2012-13 – 3 CFU**

dott. Daniele Dell'Antonia



Le tipologie e le caratteristiche delle biomasse

Caratteristiche di base

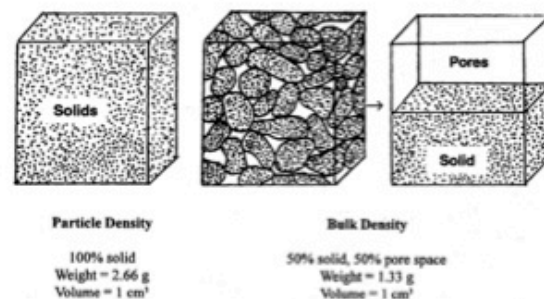
- **Massa volumica relativa**
- **Massa volumica apparente**
- **Comportamento alla distillazione (solidi, liquidi)**
- **Pressione di vapore (liquidi)**
- **Flash point (liquidi)**
- **Temperatura di ignizione o infiammabilità**
- **Viscosità (liquidi)**
- **Punto di intorbidimento (liquidi) paraffine**
- **Potere calorifico superiore (P.C.S)**
- **Potere calorifico inferiore (P.C.I)**

Massa volumica relativa

- **Rapporto tra la massa di un campione a una certa temperatura e lo stesso volume di:**
 - ❖ **aria alla pressione atmosferica (al livello del mare) a $T=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (gas)**
 - ❖ **acqua distillata a $T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (solidi, liquidi)**
- **Importanza per i combustibili:**
 - ❖ **idoneità dei sistemi di pompaggio/iniezione del combustibile utilizzato**

Massa volumica apparente (γ ; kg/m³)

- Massa di un campione a una certa temperatura effettivamente contenute nell'unità di volume.
- Importante per i materiali solidi:
 - ❖ tiene conto di eventuali spazi vuoti e, dunque, delle modalità di stoccaggio e della granulometria
 - ❖ calcolo dei volumi occupati nelle fasi di
 - ✓ trasporto
 - ✓ immagazzinamento

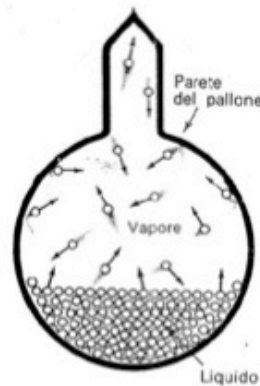


Comportamento alla distillazione (solidi, liquidi)

- E' la percentuale di liquido o di solido che distilla a varie temperature
- Importanza per i combustibili:
 - ❖ perdite per evaporazione nei serbatoi ventilati (combustibili liquidi)
 - ❖ formazione, durante la combustione dei combustibili solidi, di fiamme più o meno lunghe (manifestazione legata alla più o meno intensa liberazione di sostanze volatili)

Pressione di vapore

- E' la pressione esercitata dai vapori dei combustibili sulla superficie del liquido
- Importanza per i combustibili liquidi:
 - ❖ possibili perdite nei serbatoi ventilati
 - ❖ possibile formazione di bolle di vapore nelle condotte di adduzione



Flash point (liquidi)

- E' la più bassa temperatura alla quale i vapori di un combustibile, in presenza di aria, bruciano momentaneamente sotto l'utilizzo di una piccola fiamma
- Importanza per i combustibili liquidi:
 - ❖ rischi di incendio nei serbatoi dove sono sempre presenti vapori di combustibile miscelati con aria



Temperatura di ignizione o infiammabilità

- E' la temperatura minima alla quale un combustibile, in presenza di aria, inizia spontaneamente la combustione senza l'ausilio di fiamme o scintille



Viscosità

- E' la resistenza che incontra un fluido a scorrere su se stesso, ed è causata dalle forze intermolecolari (la viscosità diminuisce all'aumentare della temperatura)
- **Importanza per i combustibili liquidi:**
 - ❖ **dispositivi di pompaggio ed iniezione del combustibile:**
 - ✓ caratteristiche dei filtri
 - ✓ diametro delle tubazioni di adduzione



Punto di intorbidamento (liquidi) paraffine

- **Idoneità di un combustibile ad operare a basse temperature con determinati sistemi di alimentazione**



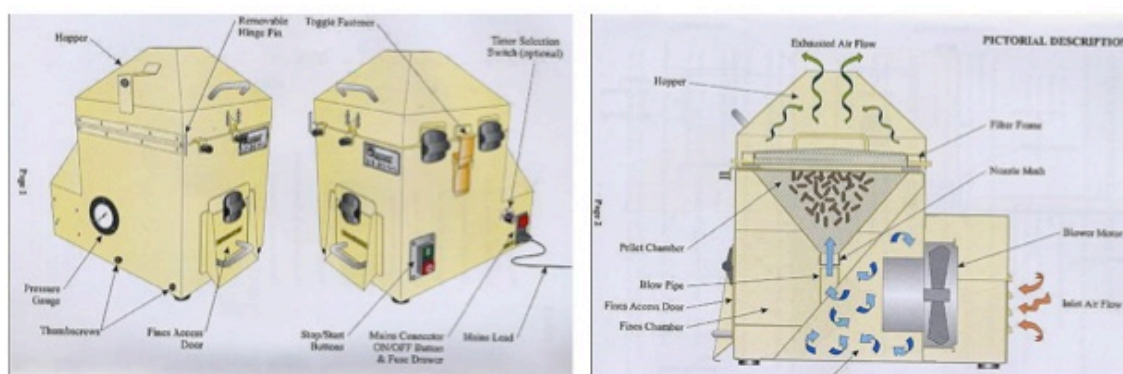
Durabilità meccanica o resistenza meccanica

- **Capacità delle unità (per esempio brichetti o pellets) di biocombustibile addensato di rimanere intatte durante il caricamento,**
- **Importanza per i combustibili solidi:**
 - ❖ fase di trasporto
 - ❖ fase di scarico
 - ❖ fase di alimentazione



Misurazione della durabilità meccanica

- La macchina contiene una camera dotata di piccoli fori dai quali escono getti d'aria alla pressione di 70 mbar
- Un campione di pellet viene posto all'interno di questa camera e trattato con getti di pressione per circa un minuto
- Dopo il trattamento, il pellet rimasto intatto viene quindi prelevato e pesato.



Qualità del pellet e sistemi di alimentazione

- Greenhouse residue pellets before and after screw feeding (a) before feeding (b) after feeding (found in the screw bunker). (Author's own measurements)



Fusibilità delle ceneri

- Stato fisico caratteristico della cenere ottenuto per riscaldamento in condizioni specifiche
- La fusibilità della cenere è determinata sia in condizioni ossidanti e sia in condizioni riducenti
- Importanza per i combustibili solidi:
 - ❖ ostruzione della griglia di combustione (diminuzione flusso di aria)
 - ❖ depositi sugli scambiatori di calore
 - ✓ diminuzione della capacità di trasferire il calore
 - ✓ presenza di composti corrosivi sui depositi (Cl e S)



Fusibilità delle ceneri

- Fusibilità delle ceneri durante la combustione di biomassa
 - ❖ Combustion ash from reed canary grass briquettes (fig. 1)
 - ❖ Melted combustion ash from reed canary grass pellets (fig. 2)

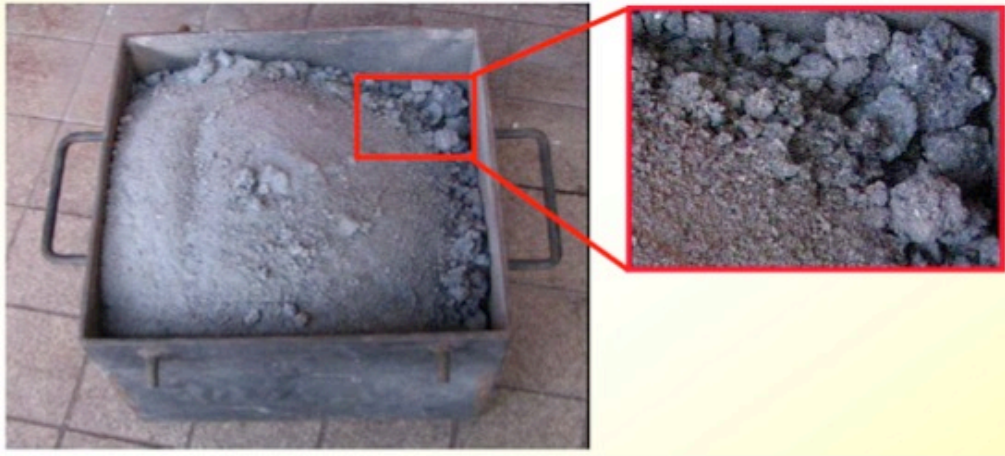


Figura 1



Figura 2

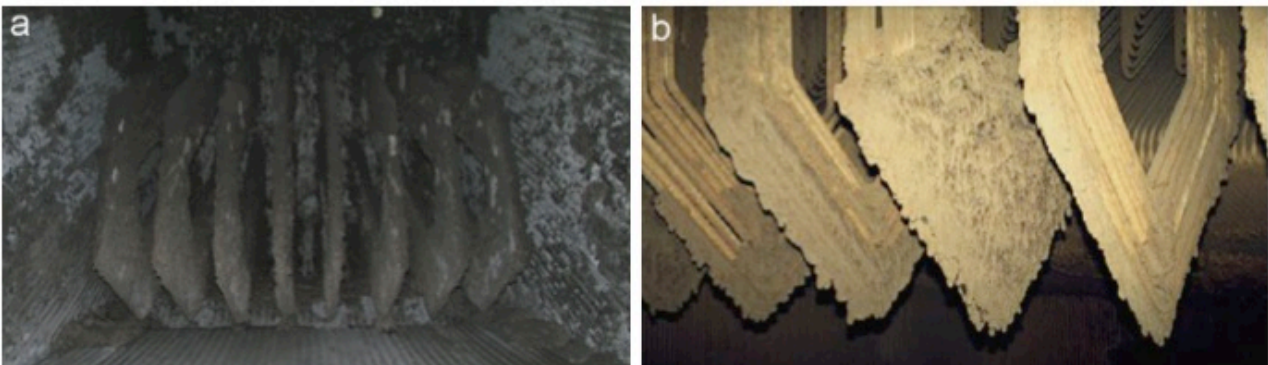
Fusibilità delle ceneri



Fonte: Obernberger 2010

Depositi sugli scambiatori con la combustione di biomassa

- Deposits on super-heaters during firing straw or straw/coal in boilers
 - ❖ (a) deposits on superheater in upper furnace during firing straw at Masnedø CHP plant
 - ❖ (b) deposit build-up on superheaters after 1 week of co-firing coal and straw at Amager power plant



Fonte: Chungen Yin 2008

Corrosione con la combustione di biomassa

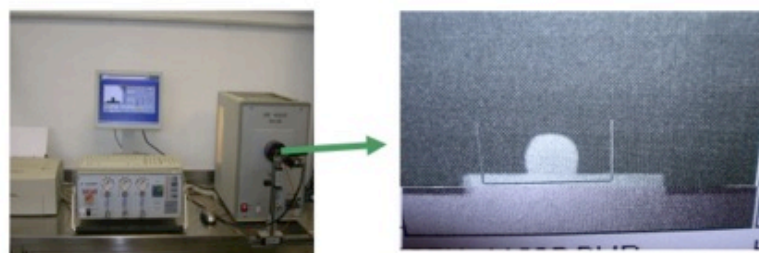
- Corrosion with high chlorine biomass co-firing (CFB unit in Germany)



Fonte: A.A. Khan 2009

Analizzatore fusibilità della cenere

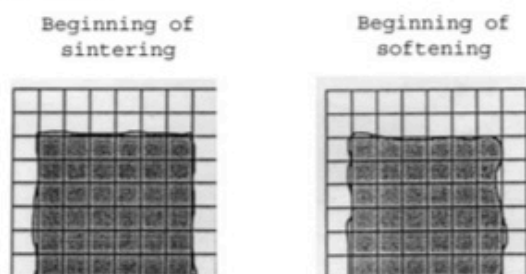
- Preparazione di cilindri con la cenere ottenuta dalla biomassa da analizzare
- Innalzamento della temperatura di 1°C ogni 5 secondi
- La telecamera è collegata ad un software che rileva ogni cambiamento di forma del cilindro e registra la temperatura



Fonte: Toscano 2006

Fasi della fusibilità della cenere

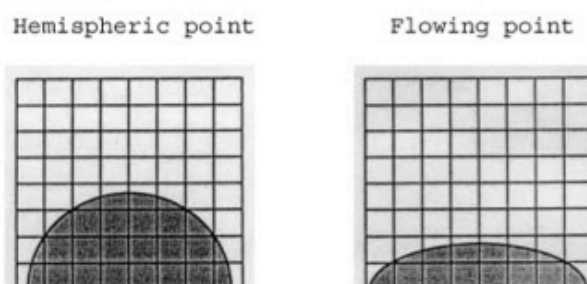
- **Temperatura di deformazione della cenere (DT)**
 - ❖ temperatura alla quale avvengono i primi segni di arrotondamento per fusione di un bordo o di un'estremità del campione in prova
- **Temperatura sferica della cenere (ST)**
 - ❖ temperatura alla quale l'altezza del campione di prova, di forma piramidale o tronco conica, è uguale alla larghezza della base, o i bordi del campione di prova cilindrico o cubico sono completamente arrotondati, con l'altezza che rimane invariata



Fonte: BIOBIB

Fasi della fusibilità della cenere

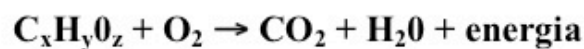
- **Temperatura emisferica della cenere (HT)**
 - ❖ temperatura alla quale l'altezza del campione di prova, preparato dalla cenere con una specifica procedura, è metà della larghezza della base, e la sua forma diventa quasi emisferica
- **Temperatura di fluidificazione della cenere (FT)**
 - ❖ temperatura alla quale la cenere si spande in uno strato sul supporto di ceramica, la cui altezza è un terzo dell'altezza del campione di prova alla temperatura emisferica di fusione della cenere



Fonte: BIOBIB

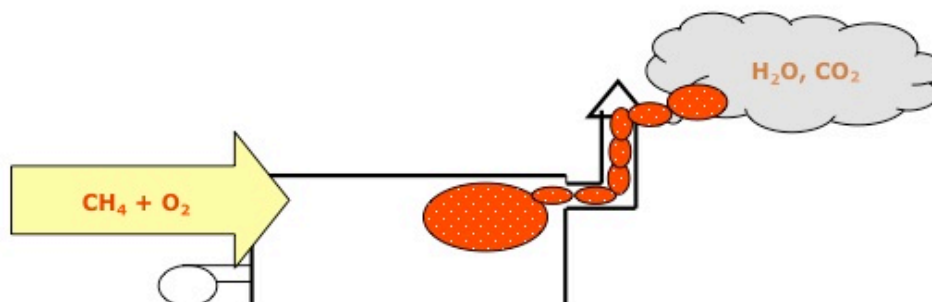
Potere calorifico superiore (kcal/kg; kcal/Nm³)

- **Quantità di energia termica sviluppata dalla combustione completa di:**
 - ❖ 1 kg di combustibile (liquido o solido)
 - ❖ 1 Nm³ (m³ normale: pressione atmosferica, T = 0 °C) (gas)
- **Include il calore latente del vapore d'acqua che si forma, nel corso del processo, dalla combinazione dell'idrogeno e dell'ossigeno contenuti rispettivamente nel combustibile e nell'aria (acqua di legame)**



Potere calorifico inferiore (kcal/kg; kcal/Nm³)

- **PCI = PCS – calore latente del vapor acqueo (che nelle realizzazioni pratiche e con impianti convenzionali va perso con i fumi)**



Misurazione del potere calorifico superiore

- Utilizzando una formula che tiene conto della composizione chimica della biomassa
- Utilizzando una strumentazione specifica (calorimetro)

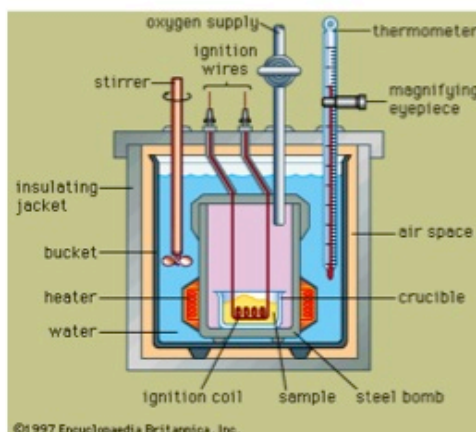


Formula per il P.C.S.

- può essere approssimativamente valutato come:
 - ❖
$$H_S \cong 33.83x_C + 121.42\left(x_H - \frac{x_O}{8}\right) + 9.21x_S$$
 - ❖ **[MJ/(kg s.s. di combustibile)]**
- x_O è l' O_2 (organico) che forma H_2O con l' H_2 senza liberare energia in quantità apprezzabile
- ogni 16 g di O_2 (organico) vengono sottratti alla reazione 2 g di H_2 (8:1 in peso)

Calorimetro

- La combustione del campione di materiale avviene in bomba di Mahler
- Il calore che se ne sviluppa è trasmesso all'acqua dal vaso calorimetrico (la cui temperatura viene misurata). Il tempo di analisi è compreso fra i 20 ed i 25 minuti
- Lo strumento sfrutta il Δt° di una massa nota di acqua



Energia dei combustibili

Tipo di combustibile	Unità di misura (U.D.)	Umidità (%)	P.C.I. [s.s.] (kcal)	P.C.I. [t.q.] (kcal)	C.E. (kcal)	Prezzo (€/U.D.)	Costo (€/MWh)	Confronto sul metano	Rendimento impianto riscaldamento
Metano	m ³	0	8250	8250	8250	0,6	62,5	1,00	0,9
GPL	l	0	5975	5975	5975	1,27	182,8	2,92	0,9
Gasolio	l	0	8653	8653	8653	1,3	129,2	2,07	0,9
Cherosene	l	0	8213	8213	8213	1,05	109,9	1,76	0,9
Legno	kg	15	4243	3607	3517	0,13	31,8	0,51	0,6
Cippato	kg	25	4243	3182	3033	0,07	19,8	0,32	0,8
Pellet	kg	10	4500	4050	3990	0,3	64,7	1,03	0,8
Mais	kg	14	4600	3956	3872	0,21	46,6	0,75	0,8

P.C.I.: Potere calorifico inferiore;
 C.E.: Contenuto energetico
 s.s.: Sostanza secca;

Potere calorifico e umidità delle biomasse

Tabella 6 - Tipologie di combustibili utilizzati.

Combustibile	PCI (MJ/kg)	Umidità (%)
Lolla di riso	12,5	10-50
Vinacce	6,8-7,5	55-60
Farine animali	18,8	< 20
Fanghi di cartiera	2,2	>60
Pulper di cartiera	16,7-25	10
CDR	15	<20
Sansa esausta	14,6	10-20
Farina di vinaccioli	18,4	13
Bucce d'uva	8,4	50
Pastazzo d'agrumi	14,2	10
Polverino di legno	16,7-18	<40
Materiale legnoso cippato	8,4-11,7	20-50

Fonte: Riva 2006

Tecnologi per ottenere energia dalle biomasse

- La biomassa con molto carbonio (C) e poca acqua viene bruciata per ottenere calore o elettricità
- La biomassa con molto azoto (N) e molta acqua viene utilizzata nei processi biochimici che trasformano le molecole organiche in metano ed anidride carbonica
- I combustibili liquidi ottenuti da particolari specie vegetali (olio) vengono utilizzati in motori a benzina o diesel

Processi di conversione in energia delle biomasse

➤ Processi biochimici

- ❖ I processi di conversione biochimica permettono di ricavare energia per reazione chimica dovuta al contributo di enzimi, funghi e micro-organismi, che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni, e vengono impiegati per quelle biomasse in cui il rapporto C/N sia inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%
 - ✓ Reflui zootecnici
 - ✓ Reflui urbani ed industriali
 - ✓ Sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, ortive, patata, ecc.)
 - ✓ Colture acquatiche

Processi di conversione in energia delle biomasse

➤ Processi termochimici

- ❖ I processi di conversione termochimica sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia e sono utilizzabili per i prodotti ed i residui cellulosici e legnosi in cui il rapporto C/N abbia valori superiori a 30 ed il contenuto di umidità non superi il 30%
 - ✓ Legna e tutti i suoi derivati
 - ✓ Residui lavorazione (lolla, pula, gusci, noccioli, ecc.)
 - ✓ Sottoprodotti colturali di tipo ligno-cellulosico

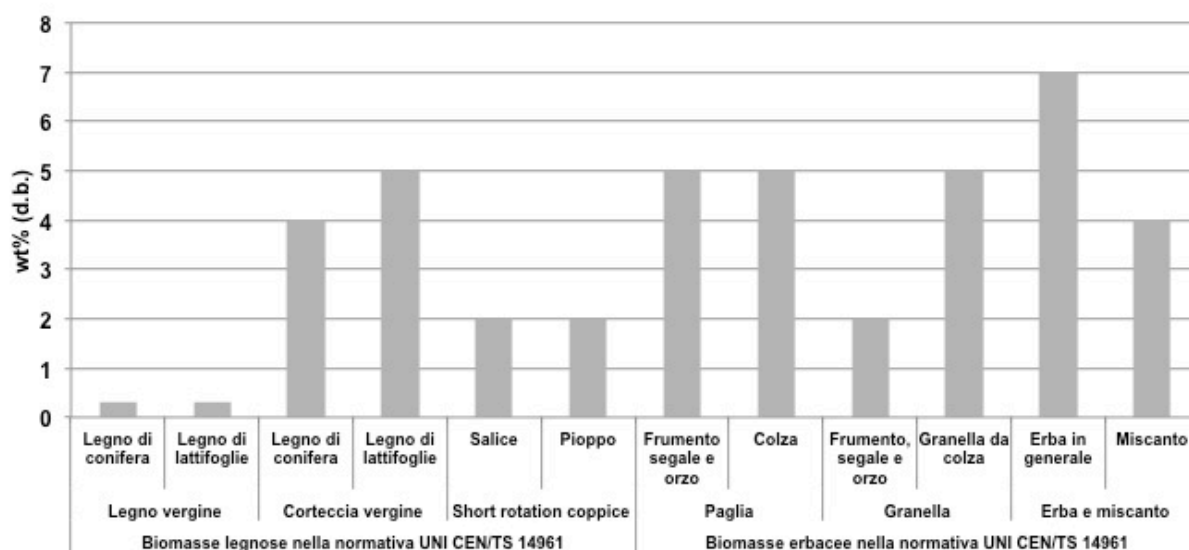
Analisi chimiche delle biomasse



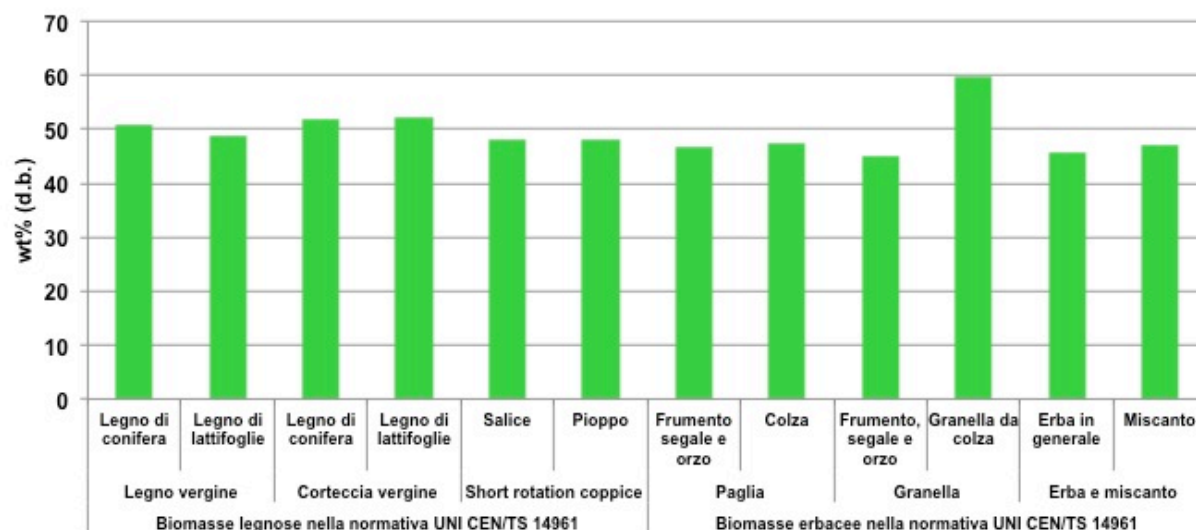
Parametri	Unità di Misura	Biomasse legnose nella normativa UNI CEN/TS 14961					
		Legno vergine		Corteccia vergine		Short rotation coppice	
		Legno di conifera	Legno di lattifoglie	Legno di conifera	Legno di lattifoglie	Salice	Pioppo
Ceneri	wt% (d.b.)	0,3	0,3	4	5	2	2
P.C.S.	MJ/kg (d.b.)	20,4	20,1	20,2	20,0	19,9	19,8
P.C.I.	MJ/kg (d.b.)	19,1	18,9	19,2	19,0	18,4	18,4
Carbonio – (C)	wt% (d.b.)	50,85	48,853	51,84	52,25	48,02	48,02
Idrogeno – (H)	wt% (d.b.)	6,28	6,1814	5,856	5,795	6,076	6,174
Ossigeno – (O)	wt% (d.b.)	41,87	43,868	38,4	38	43,12	43,12
Zolfo – (S)	wt% (d.b.)	0,02	0,01994	0,096	0,095	0,049	0,029
Azoto – (N)	wt% (d.b.)	0,10	0,0997	0,48	0,285	0,49	0,392
Cloro – (Cl)	wt% (d.b.)	0,01	0,00997	0,0192	0,019	0,029	< 0,001
Cromo – (Cr)	mg/kg (d.b.)	1	1	5	5	1	1
Rame – (Cu)	mg/kg (d.b.)	2	2	5	5	3	3
Piombo – (Pb)	mg/kg (d.b.)	2	2	4	5	0,1	0,1
Mercurio – (Hg)	mg/kg (d.b.)	0,02	0,02	0,05	< 0,05	< 0,03	< 0,03
Cadmio – (Cd)	mg/kg (d.b.)	0,1	0,1	0,5	0,5	2	0,5
Arsenico (As)	mg/kg (d.b.)	< 0,1	< 0,1	1		< 0,1	<0,1
Potassio – (K)	mg/kg (d.b.)	400	800	2000	2000	3000	3000
Calcio – (Ca)	mg/kg (d.b.)	900	1200	5000	15000	5000	5000
Magnesio – (Mg)	mg/kg (d.b.)	150	200	1000	500	500	500

Parametri	Unità di Misura	Biomasse erbacee nella normativa UNI CEN/TS 14961					
		Paglia		Granella		Erba e miscanto	
		Paglia da frumento, segale e orzo	Paglia da colza	Granella da orzo frumento, e segale	Granella da colza	Erba in generale	Miscanto
Ceneri	wt% (d.b.)	5	5	2	5	7	4
P.C.S.	MJ/kg (d.b.)	18,81	18,81	18,424	24,8	18,042	19,008
P.C.I.	MJ/kg (d.b.)	17,575	17,575	17,052	26,32	17,112	17,664
Carbonio – (C)	wt% (d.b.)	46,55	47,5	45,08	59,85	45,57	47,04
Idrogeno – (H)	wt% (d.b.)	5,985	5,985	6,468	7,125	5,859	6,144
Ossigeno – (O)	wt% (d.b.)	40,85	40,85	44,1	23,75	39,99	42,24
Zolfo – (S)	wt% (d.b.)	0,095	0,285	0,098	0,095	0,186	0,192
Azoto – (N)	wt% (d.b.)	0,475	0,76	1,96	3,8	1,302	0,672
Cloro – (Cl)	wt% (d.b.)	0,38	0,475	0,098		0,744	0,192
Cromo – (Cr)	mg/kg (d.b.)	10	10	0,5		1	1
Rame – (Cu)	mg/kg (d.b.)	2	2	4		5	2
Piombo – (Pb)	mg/kg (d.b.)	0,5	2	0,1		1	2
Mercurio – (Hg)	mg/kg (d.b.)	0,02	0,02	< 0,02		< 0,02	0,03
Cadmio – (Cd)	mg/kg (d.b.)	0,1	0,1	0,05		0,2	0,1
Arsenico (As)	mg/kg (d.b.)	< 0,1	< 0,1	< 0,1		0,1	0,2
Potassio – (K)	mg/kg (d.b.)	10000	10000	5000		15000	7000
Calcio – (Ca)	mg/kg (d.b.)	4000	15000	500		3500	2000

Ceneri

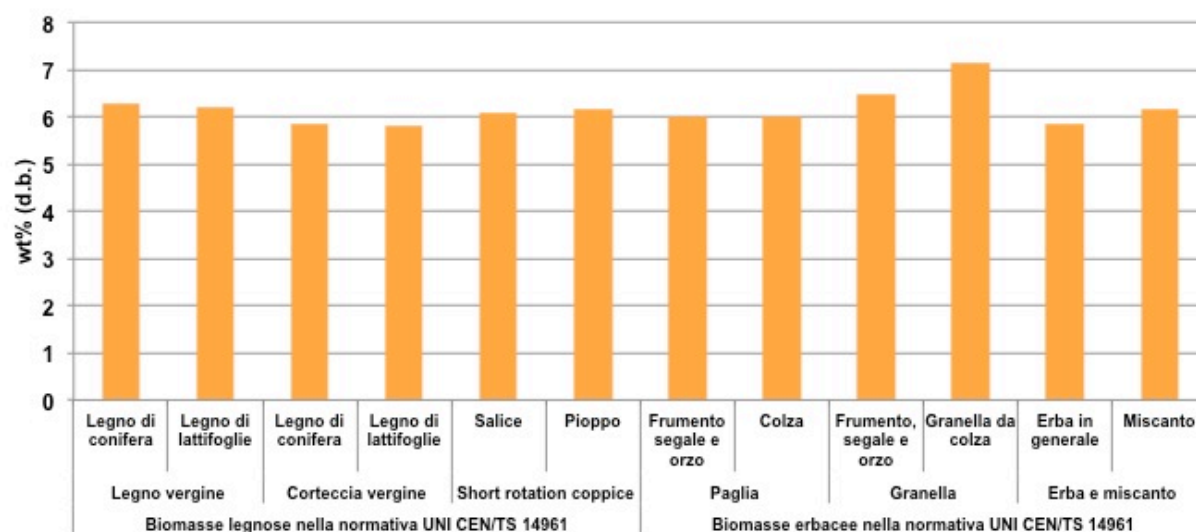


Carbonio



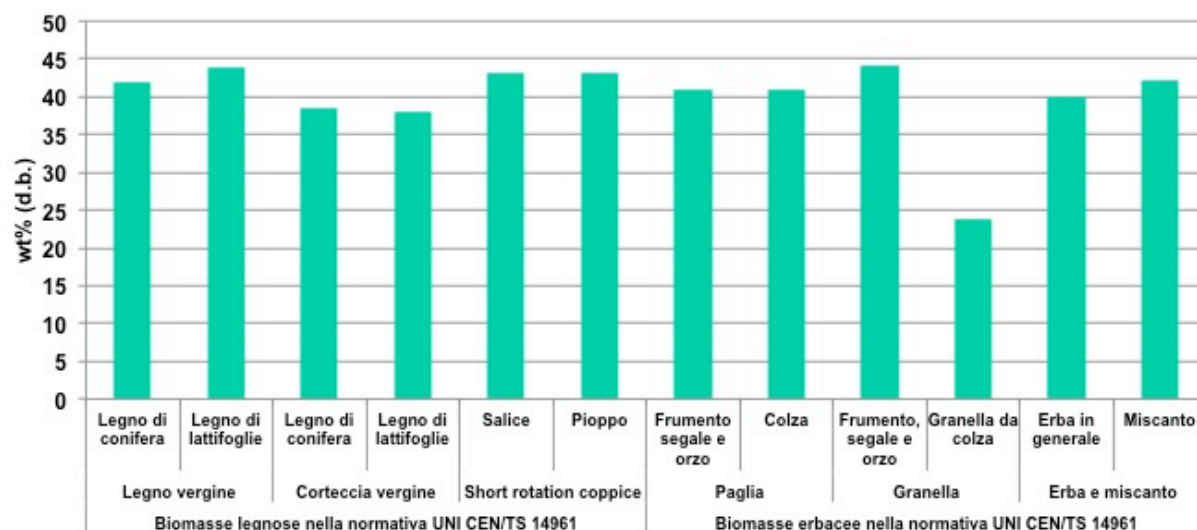
Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Idrogeno



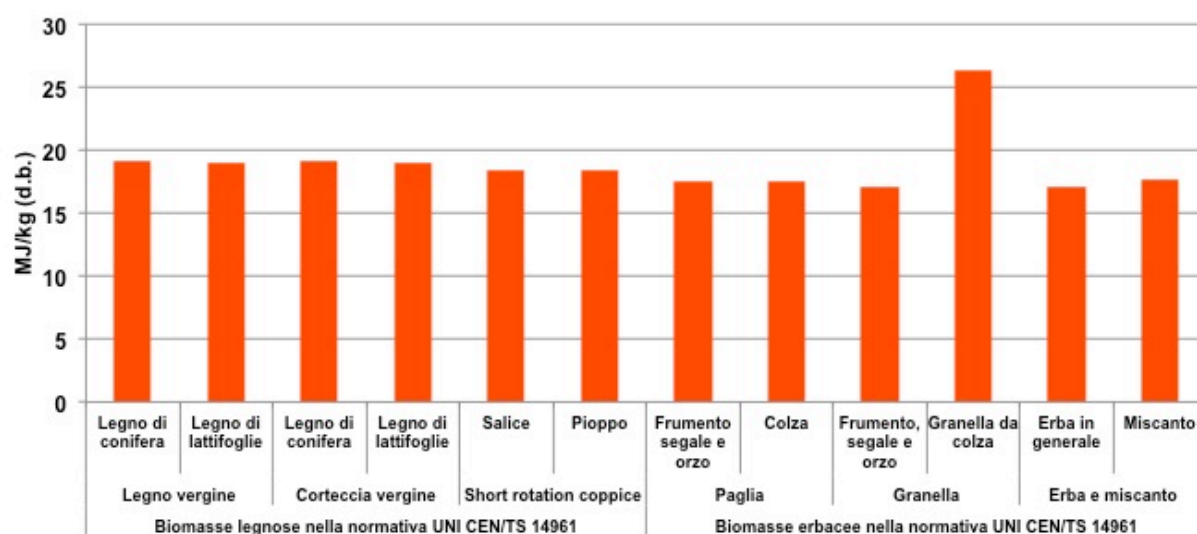
Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Ossigeno



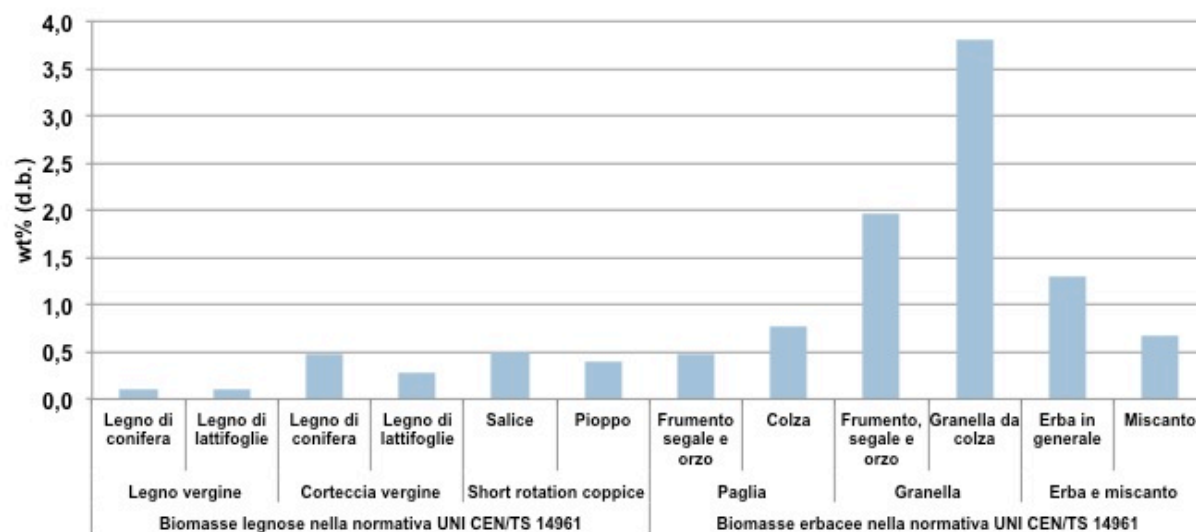
Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Potere calorifico superiore



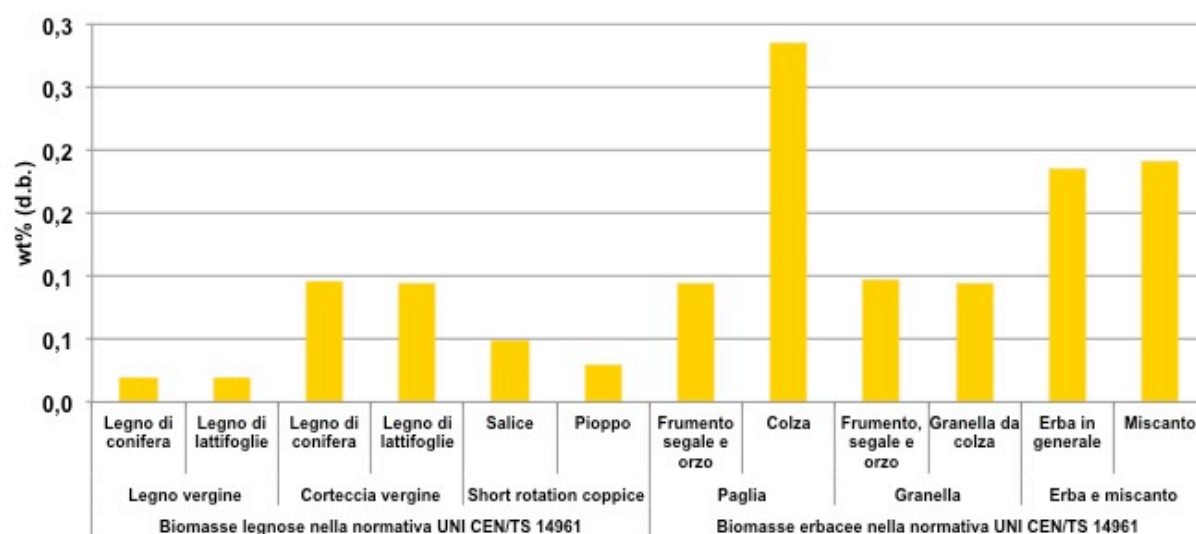
Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Azoto



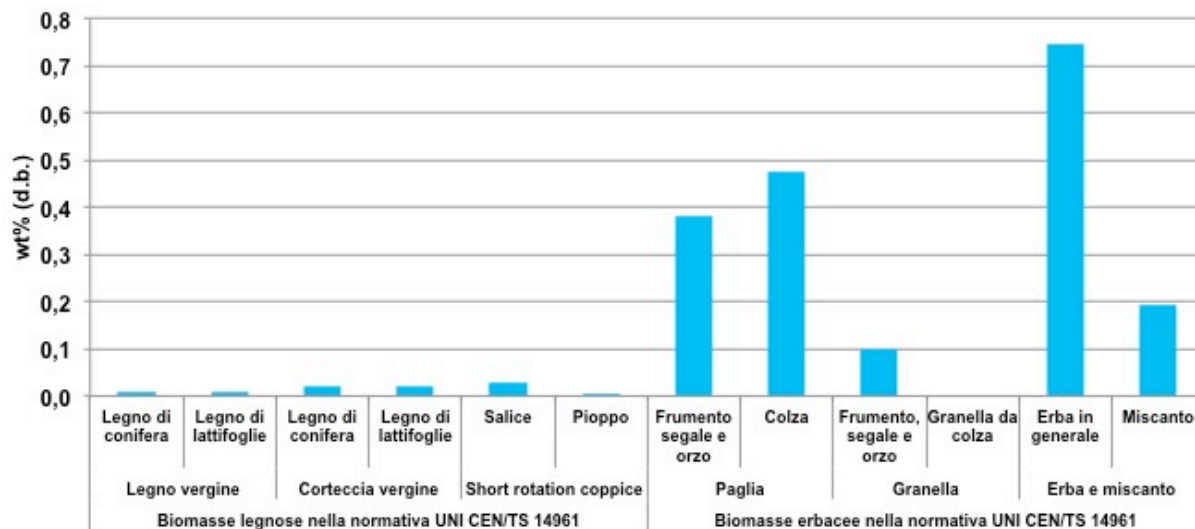
Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Zolfo



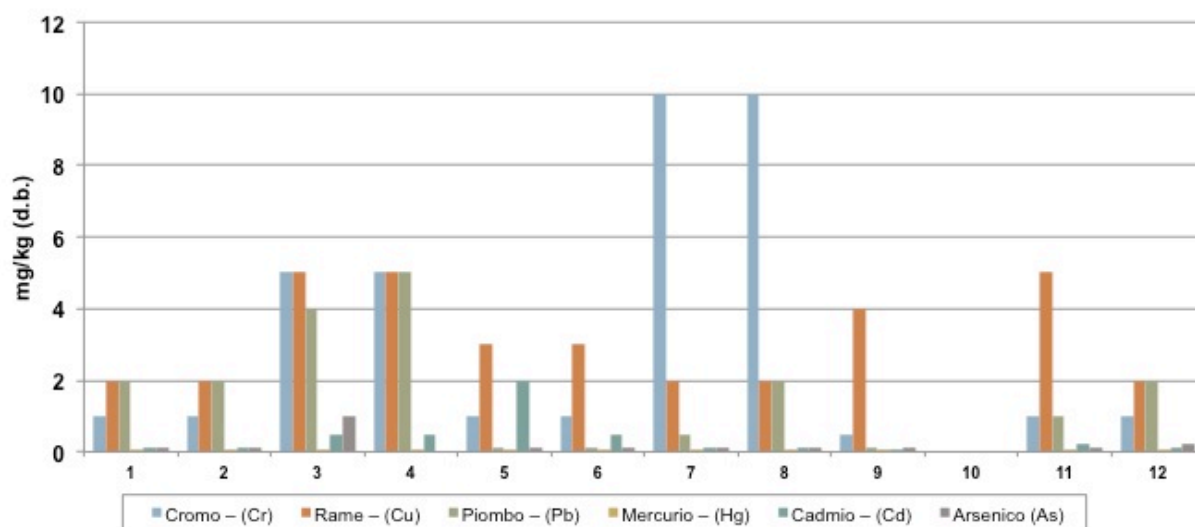
Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Cloro



Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Metalli pesanti



Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Classificazione dei biocombustibili solidi in base a natura e provenienza

45

1.1. Biomassa legnosa da arboricoltura e silvicoltura	1.1.1. Alberi e arbusti interi	1.1.1.1. Legno di latifoglie
		1.1.1.2. Legno di conifere
		1.1.1.3. Ceduo a turno di rotazione breve
		1.1.1.4. Arbusti
	1.1.2. Tronchi	1.1.2.1. Latifoglie
		1.1.2.2. Conifere
		1.1.2.3. Miscela e miscugli
	1.1.3. Residui di potatura	1.1.3.1. Fresco/verde (incluse foglie e aghi)
		1.1.3.2. Secco
		1.1.3.3. Miscela e miscugli
	1.1.4. Ceppaie	1.1.4.1. Latifoglie
		1.1.4.2. Conifere
		1.1.4.3. Ceduo a turno breve
		1.1.4.4. Arbusti
1.1.4.5. Miscela e miscugli		
1.1.5. Corteccia da scortecciatura preindustriale*		
1.1.6. Biomassa legnosa da gestione del territorio		

Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Classificazione dei biocombustibili solidi in base a natura e provenienza

46

1.2. Sottoprodotti e residui dell'industria di lavorazione del legno	1.2.1. Residui di legno non trattato chimicamente	1.2.1.1. Legno privo di corteccia
		1.2.1.2. Legna con corteccia *
		1.2.1.3. Corteccia (da operazioni industriali)*
		1.2.1.4. Miscela e miscugli
	1.2.2. Residui di legno trattato chimicamente (1)	1.2.2.1. Legno privo di corteccia(1)
		1.2.2.2. Legno con corteccia *(1)
		1.2.2.3. Corteccia (da operazioni industriali)* (1)
		1.2.2.4. Miscela e miscugli(1)
	1.2.3. Scarti fibrosi dell'industria della carta e della cellulosa	1.2.3.1. Scarti fibrosi non chimicamente trattati
		1.2.3.2. Scarti fibrosi chimicamente trattati (1)

Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Classificazione dei biocombustibili solidi in base a natura e provenienza

47

1.3. Legno post-consumo	1.3.1. Legno non trattato	1.3.1.1. Legno privo di corteccia
		1.3.1.2. Corteccia *
		1.3.1.3. Miscele e miscugli
	1.3.2. Legno trattato (1)	1.3.2.1. Legno privo di corteccia(1)
		1.3.2.2. Corteccia*(1)
		1.3.2.3. Miscele e miscugli(1)
1.3.3 Miscele e miscugli		
1.4. Miscele e miscugli		

Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Classificazione dei biocombustibili solidi in base a natura e provenienza

48

2.1. Biomassa erbacea da agricoltura e orticoltura	2.1.1. Cereali	2.1.1.1. Pianta intera
		2.1.1.2. Paglia
		2.1.1.3. Semi o granella
		2.1.1.4. Lolle, gusci e affini
		2.1.1.5. Miscele e miscugli
	2.1.2. Erbe in genere	2.1.2.1. Pianta intera
		2.1.2.2. Paglie
		2.1.2.3. Semi
		2.1.2.4. Gusci e affini
		2.1.2.5. Miscele e miscugli
	2.1.3. Oleaginose	2.1.3.1. Pianta intera
		2.1.3.2. Steli e foglie
		2.1.3.3. Semi
		2.1.3.4. Gusci e affini

Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Classificazione dei biocombustibili solidi in base a natura e provenienza

49

2.1. Biomassa erbacea da agricoltura e orticoltura	2.1.4. Piante da radici	2.1.4.1. Pianta intera
		2.1.4.2. Steli e foglie
		2.1.4.3. Tuberi, radici e affini
		2.1.4.4. Miscele e miscugli
	2.1.5. Leguminose	2.1.5.1. Pianta intera
		2.1.5.2. Steli e foglie
		2.1.5.3. Frutti
		2.1.5.4. Baccelli
		2.1.5.5. Miscele e miscugli
	2.1.6. Floricole	2.1.6.1. Pianta intera
		2.1.6.2. Steli e foglie
		2.1.6.3. Semi
		2.1.6.4. Miscele e miscugli
2.1.7. Biomassa erbacea da gestione del territorio		

Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Classificazione dei biocombustibili solidi in base a natura e provenienza

50

2.2. Residui e sottoprodotti dalla trasformazione industriale di biomassa erbacea	2.2.1. Residui erbacei non trattati	2.2.1.1. Cereali ed erbe in genere
		2.2.1.2. Oleaginose
		2.2.1.3. Tuberi, radici e affini
		2.2.1.4. Oleaginose e floricole
	2.2.2. Residui erbacei trattati (1)	2.2.2.1. Cereali e ed erbe in genere(1)
		2.2.2.2. Oleaginose(1)
		2.2.2.3. Tuberi, radici e affini(1)
		2.2.2.4. Oleaginose e floricole(1)
		2.2.2.5. Miscele e miscugli(1)
2.3. Miscele e miscugli		

Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Classificazione dei biocombustibili solidi in base a natura e provenienza

51

3.1. Frutti da frutticoltura e orticoltura	3.1.1. Bacche e affini	3.1.1.1. Bacche intere
		3.1.1.2. Polpa
		3.1.1.3. Semi
		3.1.1.4. Miscele e miscugli
	3.1.2. Drupe e affini	3.1.2.1. Frutti interi
		3.1.2.2. Polpa
		3.1.2.3. Noccioli
		3.1.2.4. Miscele e miscugli
	3.1.3. Noci, nocule e acheni (frutta secca)	3.1.3.1. Frutto intero
		3.1.3.2. Gusci, tegumenti
		3.1.3.3. Noccioli
		3.1.3.4. Miscele e miscugli
3.2. Residui e sottoprodotti dell'industria di lavorazione dei frutti	3.2.1. Residui di frutti non trattati	3.2.1.1. Bacche e affini
		3.2.1.2. Drupe e affini
		3.2.1.3. Noci, nocule e acheni
		3.2.1.4. Sansa di olive vergine
		3.2.1.5. Miscele e miscugli
	3.2.2. Residui di frutti trattati	3.2.2.1. Bacche e affini(1)
		3.2.2.2. Drupe e affini(1)
		3.2.2.3. Noci, nocule e acheni(1)
		3.2.2.4. Sansa di olive esausta(1)
3.3. Miscele e miscugli		

Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Classificazione dei biocombustibili solidi in base a natura e provenienza

52

- **Ceneri (valore alto)**
 - ❖ contaminazione con terra e sabbia
 - ❖ contenuto di corteccia più alto di quello dichiarato
 - ❖ additivi inorganici
 - ❖ trattamenti chimici, quali verniciatura, preservanti
- **Potere calorifico (valore basso)**
 - ❖ presenza di materiale combustibile con potere calorifico più basso (ad esempio colle)
- **Potere calorifico (valore alto)**
 - ❖ presenza di materiale combustibile con potere calorifico più alto (ad esempio resina, oli vegetali o minerali, plastica)
- **Azoto (valore alto)**
 - ❖ contenuto di corteccia più alto di quello dichiarato colla plastica (laminati)

Classificazione dei biocombustibili solidi in base a natura e provenienza

53

- **Zolfo (valore alto)**
 - ❖ contenuto di corteccia più alto di quello dichiarato
 - ❖ additivi organici quali amido di mais o patata
 - ❖ additivi inorganici contenenti composti dello zolfo
 - ❖ trattamento con sostanze chimiche contenenti zolfo, quali acido solforico
- **Cloro (valore alto)**
 - ❖ contenuto di corteccia più alto di quello dichiarato
 - ❖ legno proveniente da zone litoranee
 - ❖ contaminazione con sale utilizzato sulle strade durante il trasporto o lo stoccaggio preservanti chimici
- **Silicio (valore alto)**
 - ❖ contaminazione con terra, sabbia
 - ❖ contenuto di corteccia e/o aghi più alto di quello dichiarato

Classificazione dei biocombustibili solidi in base a natura e provenienza

54


- **Ti (valore alto)**
 - ❖ vernice
- **Arsenico (valore alto)**
 - ❖ preservanti chimici
- **Cadmio (valore alto) vernice**
 - ❖ Vernice
 - ❖ plastica
- **Nichel (valore alto)**
 - ❖ contaminazione da macchine utilizzate per lavorazione
 - ❖ oli minerali
- **Piombo (valore alto)**
 - ❖ contaminazione ambientale (ad esempio traffico)
 - ❖ Vernice
 - ❖ plastica

Esempi di conseguenze della gestione e trattamento sulle proprietà della biomassa legnosa

Circostanza	Possibili conseguenze
Gestione, stoccaggio, trasporto	<ul style="list-style-type: none"> ➤ aumento del contenuto di ceneri e Si a seguito di contaminazione con terra o sabbia ➤ aumento del contenuto di Cl a seguito di contaminazione con il sale sparso sulle strade
Contaminazione meccanica	<ul style="list-style-type: none"> ➤ aumento del contenuto di metalli quali Fe, Cr e Ni provenienti dai macchinari ed utensili
Contaminazione ambientale	<ul style="list-style-type: none"> ➤ aumento del contenuto di Cl a seguito della presenza di salsedine (tipico delle zone litoranee) ➤ aumento del contenuto di metalli pesanti come Pb e Zn a seguito dell'esposizione ad attività industriali o al traffico
Additivi (per pellet & bricchette)	Possibili conseguenze
Additivi inorganici: calcare o caolino	<ul style="list-style-type: none"> ➤ aumento del contenuto di ceneri e calcio ➤ aumento del contenuto di ceneri, Si e Al
Additivi organici: altre biomasse solide o oli vegetali	<ul style="list-style-type: none"> ➤ variazione delle proprietà. Ad esempio un alto contenuto di amido di mais o patata può causare un incremento del contenuto di ceneri e zolfo aumento del potere calorifico

Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Specifiche tecnico-commerciali per il pellet

	Origine	Biomassa legnosa (1) Biomassa erbacea (2) Semi e frutti (3) Miscele e miscugli (4)	
	Tipologia commerciale	Pellet	
NORMATIVA	Dimensioni (mm)		
	Diametro (D) e Lunghezza (L), mm		
	D06 D08 D10 D12 D25	D ≤ 6 ± 0,5 e L ≤ 5 x D D ≤ 8 ± 0,5 e L ≤ 4 x D D ≤ 10 ± 0,5 e L ≤ 4 x D D ≤ 12 ± 1,0 e L ≤ 4 x D D ≤ 25 ± 1,0 e L ≤ 4 x D	
	Umidità (% peso, sul tal quale)		
	M10 M15 M20	≤ 10% ≤ 15% ≤ 20%	
	Ceneri (% peso sulla sostanza secca)		
	A0.7 A1.5 A3.0 A6.0 A6.0+	≤ 0.7 % ≤ 1.5 % ≤ 3.0 % ≤ 6.0 % > 6.0% (va indicato il contenuto reale)	

Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Specifiche tecnico-commerciali per il pellet

NORMATIVA	Zolfo (% peso sulla sostanza secca)		Il tenore di zolfo è una specifica normativa solo se si utilizza biomassa chimicamente trattata o agenti leganti contenenti zolfo	
	S0.05	≤0.05%		
	S0.08	≤0.08%		
	S0.10 S0.20+	≤0.10% >0.20% (va indicato contenuto reale)		
	Durabilità meccanica (% peso di pellet dopo la prova)			
	DU97.7	≥97.7%		
	DU95.0	≥95.0%		
	DU90.0	≥90.0%		
	Polveri (% in peso di polveri con dimensione media < 3.15 mm misurate sul sito di produzione)			
	F1.0	≤1.0%		
F2.0	≤2.0%			
F2.0+	>2.0% (va indicato il contenuto reale)			
Additivi (% peso della massa pressata)				
vanno dichiarati tipologie e quantità di agenti leganti utilizzati.				
Azoto (% peso sulla sostanza secca)				
N0.3	≤0,3 %	Il tenore di azoto è una specifica normativa solo se si utilizza biomassa chimicamente trattata		
N0.5	≤0.5%			
N1.0	≤1.0%			
N3.0	≤3.0%			
N3.0+	>3.0% (va indicato contenuto reale)			

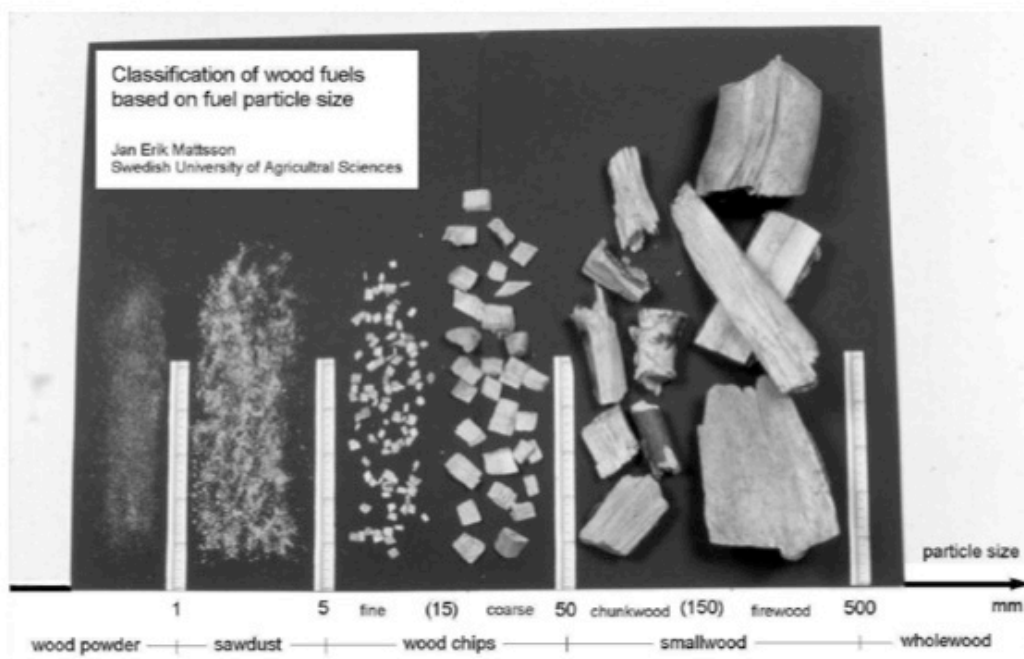
Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Specifiche tecnico-commerciali per il pellet

INFORMATIVA	Potere calorifico inferiore, qp,net,ar (MJ/kg tal quale) o densità energetica, Ear (kWh/m³ sfuso)	Si raccomanda di indicarlo per biocombustibili destinati alla vendita al dettaglio
	Densità apparente (kg/m³ sfuso)	Si raccomanda di indicarla se il biocombustibile è venduto volume"
	Cloro (% peso sulla sostanza secca)	Categorie raccomandate: CI 0.03, CI 0.07, CI 0.1 e CI 0.10+ (per quest'ultima categoria va indicato contenuto reale)

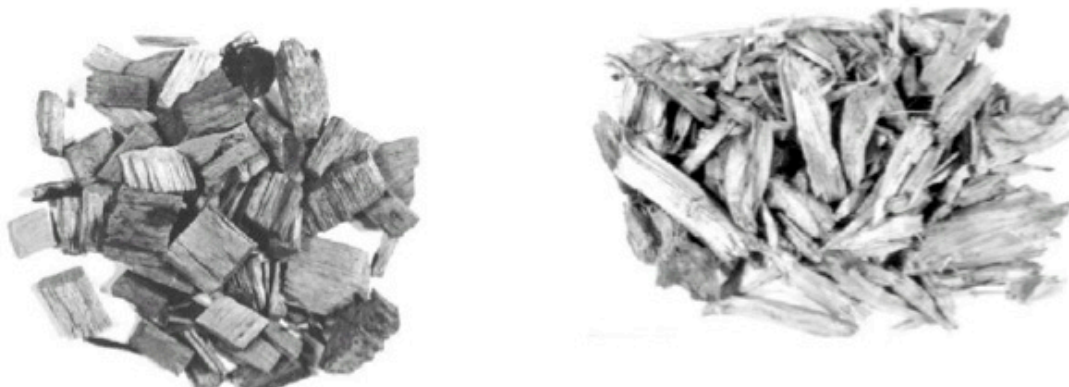
Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Classificazione del legno in base alle dimensioni



Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Qualità del cippato



Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Proprietà chimico-fisiche dei combustibili

Parametro	Unità di misura	Metano	GPL	Gasolio	Legno vergine di conifera	Legno vergine di caducifoglie	Granella di orzo	Granella di Mais
Carbonio – (C)	wt% (d.b.)	75	82	85,3	50,8	48,8	45,1	45,74
Idrogeno – (H)	wt% (d.b.)	25	18	12,7	6,3	6,2	6,5	6,46
Zolfo - (S)	wt% (d.b.)	-	-	1	0,02	0,02	0,1	0,11
Azoto – (N)	wt% (d.b.)	-	-	-	0,1	0,1	2	1,6
Ossigeno – (O)	wt% (d.b.)	-	-	-	41,9	43,9	44,1	44,49
Umidità	wt% (d.b.)	-	-	-	20	20	14	14
Ceneri	wt% (d.b.)	-	-	-	0,3	0,3	2	1,6
P.C.I.	MJ/kg (d.b.)	47,7	46	43,1	19,1	18,9	17,05	17,7
	MJ/kg (w.b.)	47,7	46	43,1	15,3	15,1	14,7	15,2

Fonte: normativa UNI CEN/TS 14961

Tipologie di biomasse

- Le biomasse ligno-cellulosiche, prima di essere immesse sul mercato, subiscono generalmente un processo di trasformazione più o meno complesso volto a conferire loro caratteristiche fisiche ed energetiche idonee all'impiego nei più comuni impianti energetici
 - ❖ Legname in ciocchi
 - ❖ Cippato
 - ❖ Bricchetti
 - ❖ Pellet



Legname da brucio (ciocchi)

- Sono costituiti da legname a pezzi, con pezzature che vanno dai 50 ai 500 mm, e tenori di umidità inferiori al 50% a seconda del tempo e del metodo di stagionatura a cui è sottoposta la biomassa. Questa tipologia di biocombustibile è utilizzato in impianti domestici ad alimentazione manuale di piccole dimensioni, che sono ormai in declino a favore di forme densificate, visto che le caldaie a legna non offrono possibilità di automazione nel caricamento e hanno in genere una minore efficienza energetica



Utilizzo dei ciocchi di legna



Il Cippato

- Per rendere omogenea la composizione dei materiali legnosi e renderli quindi adatti anche all'alimentazione automatica degli impianti energetici, si ricorre alla cippatura, che riduce gli assortimenti in pezzettini di legno di varie dimensioni. E' un ottimo combustibile che usato in apposite caldaie o stufe sprigiona una potenza calorica di 3,5-4 kWh/kg di energia a seconda del grado di umidità



Utilizzo del cippato



Il Pellet

- **Biocombustibile densificato, normalmente di forma cilindrica, prodotto con la polvere ottenuta dalla sfibratura dei residui legnosi, la quale viene pressata da apposite macchine in cilindretti che possono avere diverse lunghezze e spessori (1,5-2 cm di lunghezza, 6-8 mm di diametro).**
 - ❖ **alto potere calorifico (4,6-5,2 kWh/kg)**
 - ❖ **basso grado di umidità (inferiore al 12%)**
 - ❖ **affinità durante la movimentazione ad un combustibile fluido**
 - ❖ **per la sua praticità è adatto a piccoli e medi impianti residenziali**

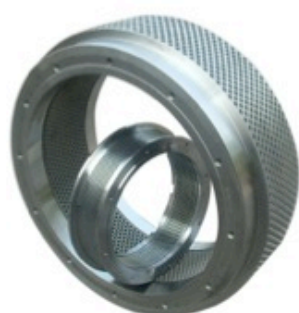
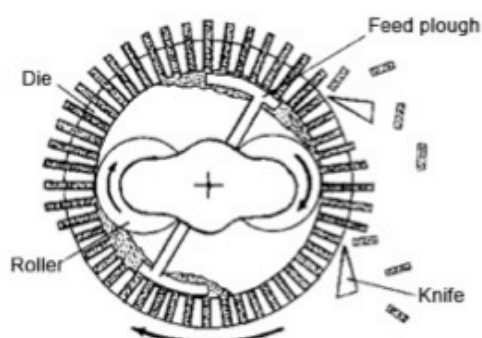


Macchine pellettizzatrici

- **Macchine pellettizzatrici a trafilatura cilindrica verticale**
 - ❖ **con rulli di pressione interni**
 - ❖ **con rulli di pressione esterni**
- **Macchine pellettizzatrici a trafilatura piana**



Pellettizzatrici a trafila cilindrica verticale



I Bricchetti

- I bricchetti sono dei tronchetti pressati (30 cm di lunghezza e 7-8 cm di diametro) ottenuti con residui e polveri grossolane. Il loro utilizzo è assimilabile a quello del legno in ciocchi.



Impianto per la produzione dei bricchetti



Granella di mais o di altri cereali

- La granella di mais può essere reimpiegata nelle aziende agricole per il riscaldamento dei locali e per la produzione di acqua calda mediante appositi bruciatori
 - ❖ dimensioni molto omogenee
 - ❖ elevata maneggiabilità
 - ❖ alto potere calorifico
 - ❖ basso grado di umidità



La certificazione delle biomasse

- **Un sistema di certificazione della qualità è un elemento essenziale per far crescere il mercato e l'uso del pellet come biocombustibile**
- **A livello europeo il comitato tecnico CEN TC 335, attivo dal 2000, ha il compito di sviluppare la standardizzazione delle caratteristiche dei biocombustibili solidi che dovrebbero consentire la nascita di un mercato europeo omogeneo**
- **La standardizzazione delle proprietà chimico-fisiche e dendro-energetiche del pellet fornisce informazioni e strumenti per facilitare gli scambi e definire regole chiare di funzionamento per gli attori che si affacciano al mercato e che ne traggono beneficio**

Situazione Italiana

- **In Italia non esiste ancora una normativa cogente che disciplina le caratteristiche che devono avere i combustibili legnosi densificati, ma è attesa l'approvazione di quella europea e il successivo obbligo di recepimento**
- **Attualmente in Italia esistono delle raccomandazioni tecniche:**
 - ❖ **Pellet gold dell'associazione italiana energia legno (AIEL)**
 - ❖ **Certificazione del pellet da parte del comitato termotecnico Italiano**



Caratterizzazione del pellet (CTI)								
Parametro	Unità	Categoria						
		A senza additivi		A con additivi		B		C
Diametro (D)	mm	D=6±0,5	D=8±0,5	D=6±0,5	D=8±0,5	D=6±0,5	D=8±0,5	10±0,5≤D≤25±1,0
Lunghezza (L)	mm	D≤L≤5xD	D≤L≤4xD	D≤L≤5xD	D≤L≤4xD	D≤L≤5xD	D≤L≤4xD	D≤L≤4xD
Umidità	% peso t.q.	≤ 10		≤ 10		≤ 10		≤ 15
Ceneri	% peso s.s.	≤ 0,7		≤ 0,7		≤ 1,5		Indicare il valore
Durabilità Meccanica	% peso	≥ 97,7		≥ 97,7		≥ 95,0		≥ 90,0
Polveri	% peso	≤ 1,0		≤ 1,0		≤ 1,0		Indicare il valore
Agenti leganti	% peso m.p.	Non presenti		Indicare tipologia e quantità		Indicare tipologia e quantità		Indicare tipologia e quantità
Azoto	% peso s.s.	≤ 0,3		≤ 0,3		≤ 0,3		Indicare il valore
Cloro	% peso s.s.	≤ 0,03		≤ 0,03		Indicare il valore		Indicare il valore
Zolfo	% peso s.s.	≤ 0,05		≤ 0,05		≤ 0,05		Indicare il valore
Densità apparente	kg/m ³	620 ≤ BD ≤ 720		620 ≤ BD ≤ 720		600 ≤ BD ≤ 720		≥ 550
P.C.I.	MJ/kg t.q.	≥ 16,9		≥ 16,9		≥ 16,2		Indicare il valore
	kcal/kg t.q.	(≥ 4039)		(≥ 4039)		(≥ 3870)		

Caratterizzazione del pellet Gold (AIEL)		
Parametro	U.M.	AIEL
Contenuto idrico (tal quale)	% su	< 10
Ceneri	% ss	< 0,7
PCI	MJ/kg	≥ 16,8
Azoto – (N)	% ss	≤ 0,3
Cloro – (Cl)	% ss	< 0,03
Zolfo – (S)	% ss	< 0,05
Arsenico – (As)	mg/kg	< 0,8
Cadmio – (Cd)	mg/kg	< 0,5
Cromo – (Cr)	mg/kg	< 8
Rame – (Cu)	mg/kg	< 5
Mercurio – (Hg)	mg/kg	< 0,05
Piombo – (Pb)	mg/kg	< 10
Zinco – (Zn)	mg/kg	< 100
Sodio – (Na)	% ss	< 0,03
Massa sterica	kg/m ³	> 600
Massa volumica	g/cm ³	> 1,15
Durabilità meccanica	%	≥ 97,7
Formaldeide (HCHO)	mg/100g	Indicare valore
Agenti leganti	< 2%	Indicare valore