



DICAr

20th CIRIAF National Congress

*Sustainable Development, Human Health and
Environmental Protection*

Perugia, Italy. April 16-17, 2020

BIOMasses Circular Holistic Economi
APproach to EneRgy equipments



CONSIDERAZIONI PRELIMINARI SULLE POTENZIALITÀ DI RECUPERO ENERGETICO DA CALDAIE A COMBUSTIBILE LIQUIDO, GASSOSO, O BIOMASSE

Prof. Daniele Dondi - Università di Pavia, Italia
Dipartimento di Chimica



Co-Autori: * Marco Cartesegna, Cristina López, Anna Magrini, Gianluca Candito

Considerazioni di base

I combustibili possono contenere rapporti differenti di carbonio, idrogeno (e ossigeno quando si tratta di biomasse).

I prodotti di combustione sono quindi anidride carbonica ed acqua (in caso di combustione completa).

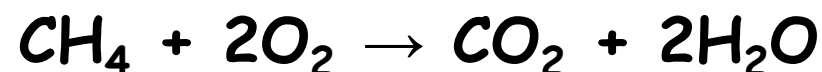
Per poter ottenere una combustione completa si gioca spesso aggiungendo un eccesso di aria.

Oltre al potere calorifico, che dipende dalla struttura molecolare, bisogna tener presente che le biomasse possono contenere una certa quantità di umidità.

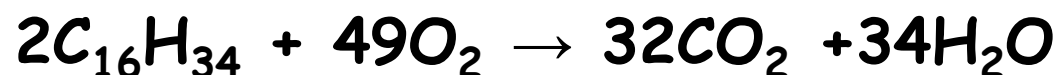
Quindi, a parità di energia fornita, quali sono i parametri interessanti di processo?

Considerando i combustibili normalmente impiegati nel settore civile e industriale e un E_{aria} = 20%

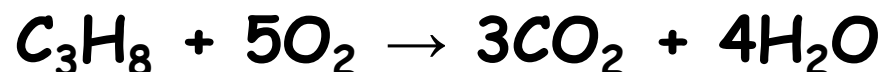
Metano



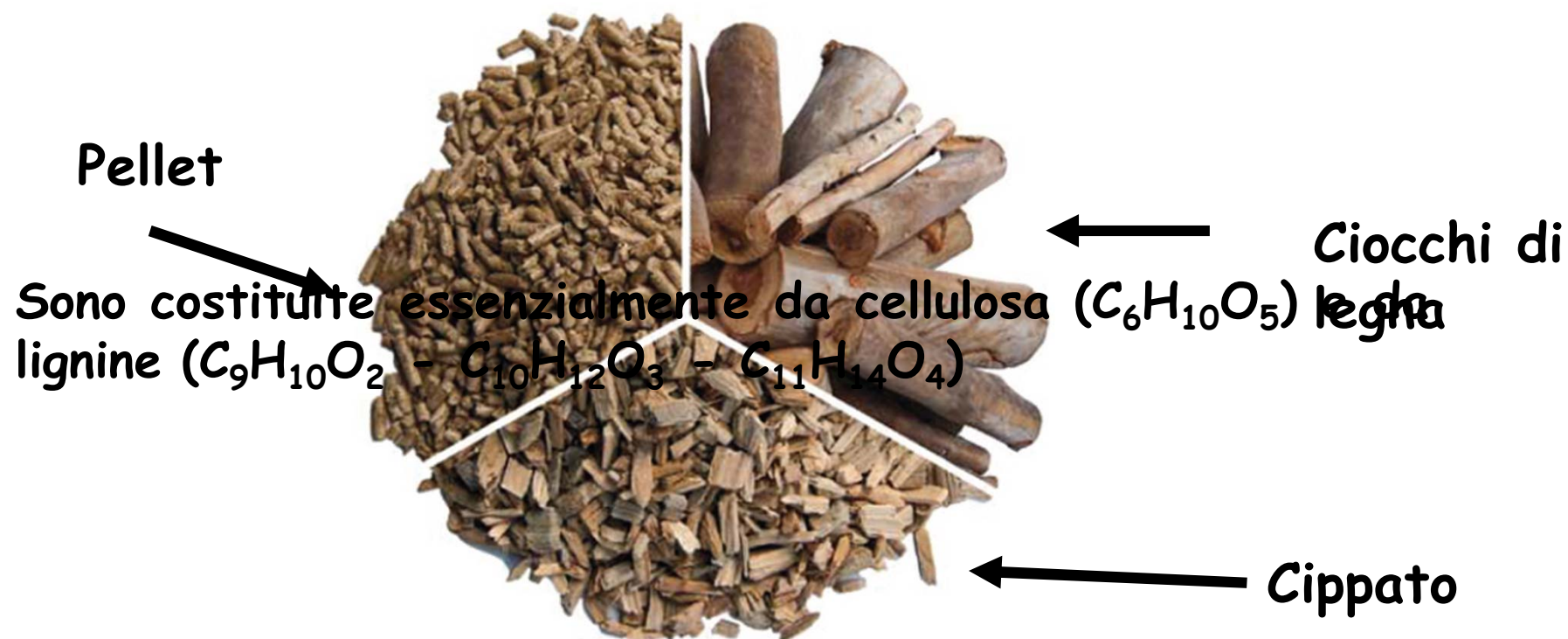
Gasolio (Cetano):



GPL (Gas di Petrolio Liquefatti):



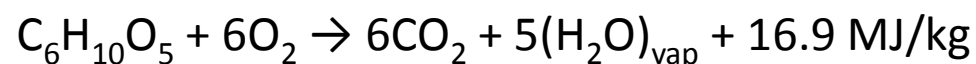
Biomasse di origine legnosa:



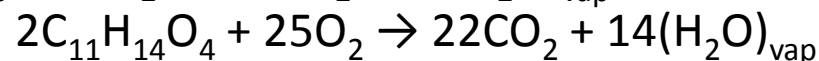
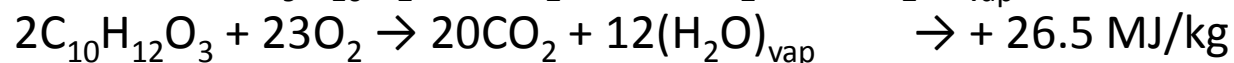
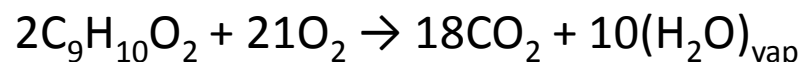
Composizione della legna anidra e potere calorifico inferiore.

Potere calorifico inferiore della legna anidra			
Sostanza	M [%]	Hi [MJ/kg]	Hi-medio
Cellulosa	50	17,3	18,8 MJ/kg
Emicellulosa	30	16,2	
Lignina	20	26,5	

Reazione di ossidazione per la cellulosa:



Reazioni di ossidazione per la lignina:



Complessivamente, per la legna anidra, risulta:



Da 1 kg di cellulosa si ottengono $m_{H_2O} = 0.556$ kg

Da 1 kg di lignina si ottengono $m_{H_2O} = 0.6$ kg

- Il 15% del potere calorifico inferiore di queste biomasse dipende dal tipo di pianta di origine, **la maggior parte è fortemente influenzato dal contenuto idrico.**
- Per determinare il potere calorifico inferiore della legna in funzione del quantitativo di acqua presente si introduce il contenuto idrico M , definito come:

$$M = \frac{m_u - m_a}{m_u}$$

dove:

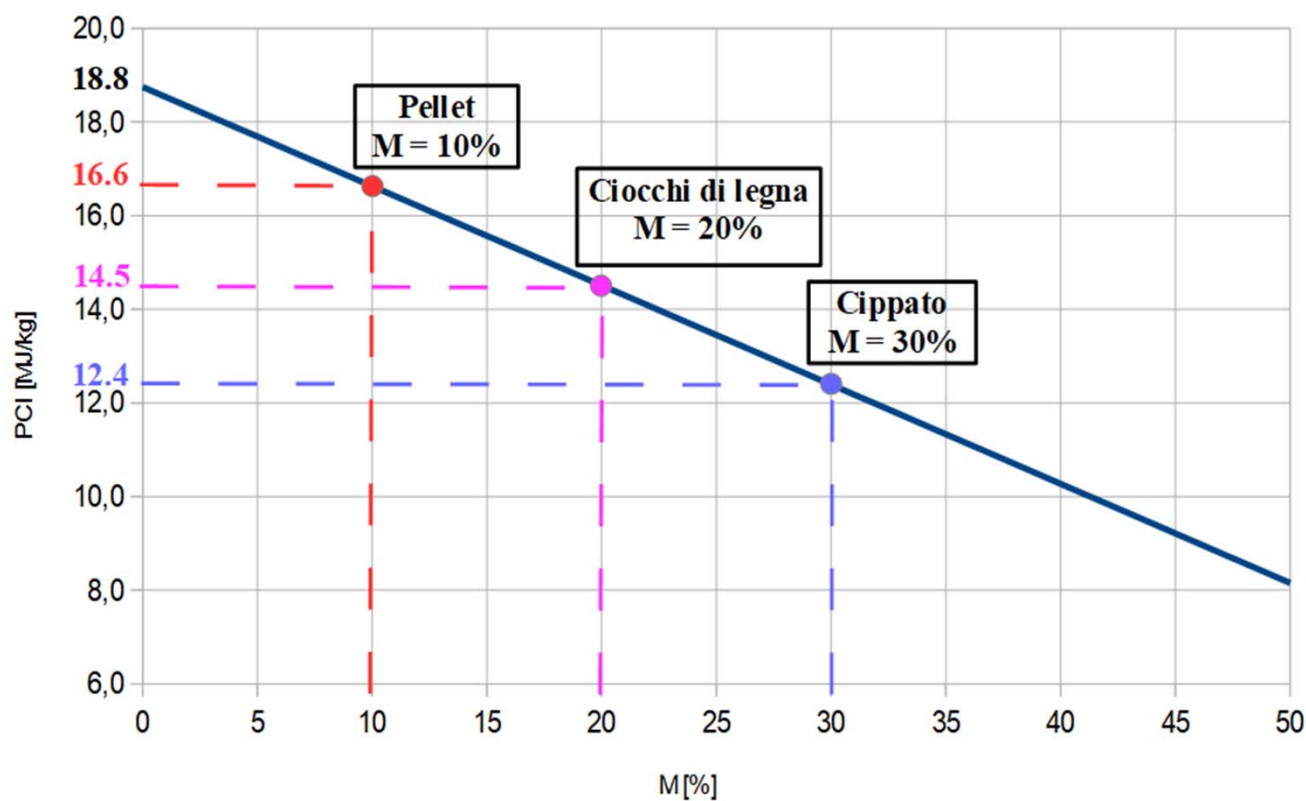
m_u [kg] = massa umida

m_a [kg] = massa anidra

All'aumentare del contenuto idrico il potere calorifico inferiore della legna tende a diminuire poiché un certo quantitativo di energia deve essere speso per la vaporizzazione dell'acqua assorbita.

Biomasse di origine legnosa

Variazione del potere calorifico inferiore col contenuto idrico



Potenza termica delle caldaie e portata massica dei fumi

$$P_{foc} = G_c \cdot H_i$$

$$G_{fumi} = \Psi \cdot G_c = \frac{(\Psi \cdot P_{foc})}{H_i}$$

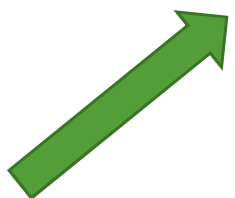
P_{foc} = potenza termica al focolare della caldaia [kW]

G_c = portata di combustibile [kg/s]

H_i = potere calorifico inferiore del combustibile [kJ/kg]

G_{fumi} = portata massica dei fumi [kg/s]

Ψ = rapporto fra la massa dei prodotti di reazione e del combustibile



Combustibile	Ψ	Gfumi [kg/s]
Metano (E = 20%)	21.55	0.04327
Gasolio (Cetano - E = 20%)	18.87	0.04503
GPL (Propano - E = 20%)	19.72	0.04278
Pellet (E = 100% - M=10%)	13.73	0.08273
Ciocchi di legna (E = 100% - M=20%)	13.40	0.09471
Cippato (E = 100% - M=30%)	12.79	0.11075
Pellet (E = 50% - M=10%)	10.56	0.06363
Ciocchi di legna (E = 50% - M=20%)	10.32	0.07119
Cippato (E = 50% - M=30%)	9.88	0.07965

Portata
massica di
fumi
calcolata
per una
potenza
erogata di
100kW

La potenza termica sensibile recuperabile è quindi pari a:

$$P_{\text{sens_rec}} = C_{p,f} \cdot G_{\text{fumi}} \cdot (T_{\text{fumi}} - T_{\text{rug}})$$

Potenza termica delle caldaie:

$$P_{\text{foc}} = G_c \cdot H_i$$

Portata massica dei fumi

$$G_{\text{fumi}} = \Psi \cdot G_c = \frac{(\Psi \cdot P_{\text{foc}})}{H_i}$$

Combustibile	P _{foc} [kW]	Ψ	G _{fumi} [kg/s]
Metano (E = 20%)	35	21,55	0,01515
	70		0,03029
	100		0,04327
	500		0,21637
	1000		0,43273
Gasolio (Cetano - E = 20%)	35	18,87	0,01576
	70		0,03152
	100		0,04503
	500		0,22513
	1000		0,45025
GPL (Propano - E = 20%)	35	19,72	0,01497
	70		0,02994
	100		0,04278
Pellet (E = 100% - M=10%)	25	13,73	0,02068
	50		0,04136
	100		0,08273
Ciocchi di legna (E = 100% - M=20%)	25	13,40	0,02368
	50		0,04735
	100		0,09471
Cippato (E = 100% - M=30%)	100	12,79	0,11075
	500		0,55373
	1000		1,10746
Pellet (E = 50% - M=10%)	25	10,56	0,01591
	50		0,03182
	100		0,06363
Ciocchi di legna (E = 50% - M=20%)	25	10,32	0,01780
	50		0,03559
	100		0,07119
Cippato (E = 50% - M=30%)	100	9,88	0,07965
	500		0,39823
	1000		0,79646

rendimento termico
utile CON RECUPERO
del calore sensibile
dai fumi

Combustibile	$\Delta\eta_{tu}$ [%]
Metano (E = 20%)	+ 4.10
Gasolio (Cetano - E = 20%)	+ 4.49
GPL (Propano - E = 20%)	+ 4.18
Pellet (E = 100% - M=10%)	+ 8.65
Ciocchi di legna (E = 100% - M=20%)	+ 9.62
Cippato (E = 100% - M=30%)	+ 10.90
Pellet (E = 50% - M=10%)	+ 6.39
Ciocchi di legna (E = 50% - M=20%)	+ 6.94
Cippato (E = 50% - M=30%)	+ 7.52

- Nel caso delle biomasse, l'incremento del rendimento termico a seguito del recupero dei fumi si dimostra essere interessante.
- Da questo studio risulta quindi evidente che l'introduzione di una tecnologia in grado di recuperare il calore dalle caldaie a biomassa sarebbe auspicabile e tuttora non sfruttata.
- Questo lavoro è una buona base di partenza per la progettazione e l'ottimizzazione di sistemi di recupero di calore.



DICAr

20th CIRIAF National Congress

BIOmasses Circular Holistic Economy
APproach to EneRgy equipments

