

Gassificazione della legna opportunità per il mondo rurale

ing. Mario Ciasca

prof. Leonetto Conti

Gennaio 2007

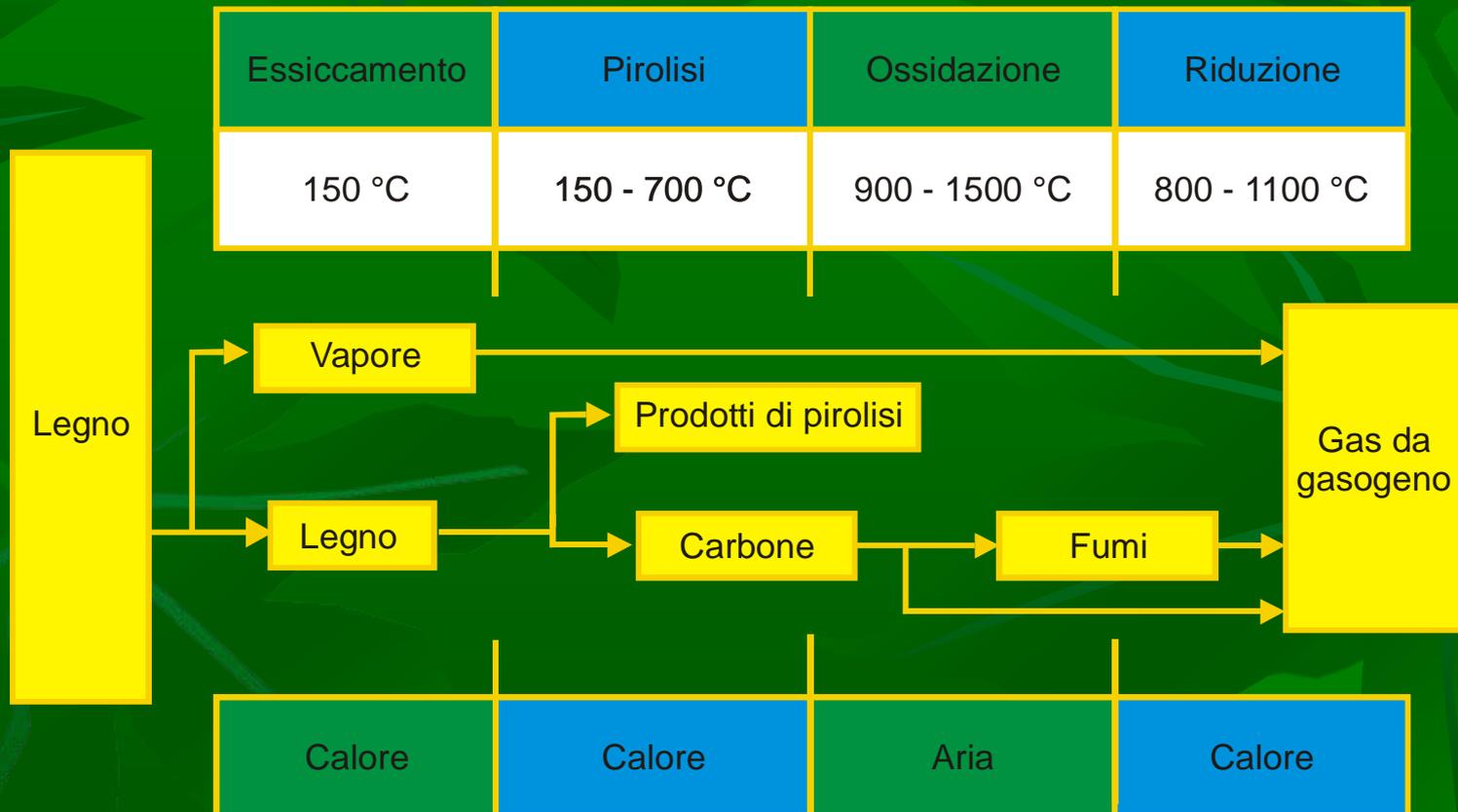


Il processo di gassificazione

L'essenza del processo di gassificazione è la conversione di un combustibile solido in un gas combustibile e quindi in energia



Conversione della biomassa in un gassificatore



Chimica del processo di gassificazione

Ossidazione



Riduzione



Costituenti elementari delle biomasse

C, H e O sono i costituenti principali delle biomasse

- La quantità di O contenuta costituisce una parte dell'ossigeno necessario per la combustione stessa, la restante parte viene introdotta attraverso l'iniezione di aria dall'esterno.
- Il C è presente in varie forme ossidate, il che spiega il basso potere calorifico della biomassa rispetto al carbone.
- La concentrazione di C è più elevata nelle biomasse legnose rispetto a quelle erbacee, per questo motivo i combustibili legnosi presentano un potere calorifico più alto.
- Le sostanze volatili nella biomassa (76-86 wt%, db) sono superiori a quelle del carbone.
- L'idrogeno si ritrova nel gas tal quale (H_2) o come vapor d'acqua (H_2O)

Concentrazioni di C, H, O per vari tipi di biomasse [wt.%(d.b.)]

Combustibile	C	H	O
Trucioli di legno	47.1-51.6	6.1-6.3	38.0-45.2
Corteccia	48.8-52.5	4.6-6.1	38.7-42.4
Paglia	43.2-48.1	5.0-6.0	36.0-48.2
Miscanto	46.7-50.7	4.4-6.2	41.7-43.5

Concentrazione di N, Cl ed S

Concentrazione di N, S, Cl per vari tipi di biomasse [mg/kg (d.b.)]

Combustibile	N	S	Cl
Trucioli di legno	900-1700	70-300	50-60
Corteccia	300-4500	350-550	150-200
Paglia	3000-5000	500-1100	2500-4000
Miscanto	4000-6000	200-1400	500-2000
Fieno	10000-20000	2500	2500-4500
Aghi di abete	12000-15000	- - -	- - -
Erba	19000-25000	800	2600

Contenuto di inorganici in alcune biomasse

Materiale	Materiale inorganico % p. sul secco	PCS MJ/kg sul secco
Legnosi		
Cotone	1,1	19,5
Pioppo	1,0	19,5
Pino	0,5	20,3
Eucalipto	2,4	18,7
Erbacei		
Erba	10,1	18,0
Sorgo zuccherino	9,0	17,6
Vari		
Paglia di riso	19,2	15,2
Carta	6,0	17,6
Letame	23,5	13,4
Fuco (Brown kelp)	45,8	10,3
Corteccia di pino	2,9	20,4
Carbone e torba		
Bituminoso (Illinois)	8,7	28,3
Lignite (North Dakota)	10,4	14,0
Torba	7,7	20,8

Contenuto in cenere

Il contenuto di cenere nella biomassa varia in un range molto ampio; si va dallo 0.5% (w/w d.b.) del legno tenero (segatura) al 5-8% (w/w d.b.) della corteccia fino a raggiungere valori del 20.6% (w/w d.b.) per la lolla di riso.

Contenuto di ceneri per le varie biomasse [w/w (d.b.)]

Biomassa	Contenuto di cenere
Corteccia	5-8
Trucioli di legno senza corteccia	1-2.5
Trucioli di legno con corteccia	0.8-1.4
Segatura	0.5-1.1
Pino	1.3
Aghi di pino	1.5
Pioppo	0.7
Faggio	0.8
Paglia	8.9
Cereali	5.9
Miscanto	2-8
Lolla di riso	20.6
Bagassa	11.3

Contenuto di K, Si, Mg, Na e Ca

- ❑ Il contenuto di questi elementi determina la composizione delle ceneri. Questa è responsabile delle proprietà fisiche del materiale come il punto di rammollimento, il punto di fusione, la volatilità.
- ❑ Ca e Mg aumentano la temperatura di fusione delle ceneri, il K la diminuisce. Le ceneri di paglia, cereali ed erba (basse concentrazioni di Ca e alte concentrazioni di K) sinterizzano o fondono a temperature notevolmente più basse rispetto ai combustibili legnosi.
- ❑ K e Na combinati con Cl e S giocano un ruolo determinante per i meccanismi di corrosione. In particolare questi elementi evaporano durante il processo di gassificazione formando cloruri di alcali che condensano sulle tubazioni dello scambiatore di calore e reagiscono formando solfati e rilasciando cloro.
- ❑ La volatilizzazione e la successiva condensazione porta alla formazione di ceneri di dimensioni inferiori a $1\ \mu\text{m}$ (aerosol) di difficile rimozione dal gas prodotto. Questo fatto è particolarmente grave nell'impiego in turbine.

Metalli pesanti

- ❑ La concentrazione di metalli pesanti nelle ceneri porta delle limitazioni nell'utilizzo delle stesse.
- ❑ Fra questi il più importante è il Cd mentre lo Zn assume rilevanza quando vengono utilizzate biomasse trattate chimicamente (i.e. gli scarti di legno verniciati).

Concentrazioni di metalli pesanti nelle ceneri [mg/kg(d.b.)]

Elemento	Trucioli	Corteccia	Paglia	Cereali
Zn	260-500	300-940	60-90	120-200
Cd	3.0-6.6	1.5-6.3	0.1-0.9	0.1-0.8

Composizione delle ceneri di alcune biomasse

Composizione di ceneri per le varie biomasse [%w (d.b.)]

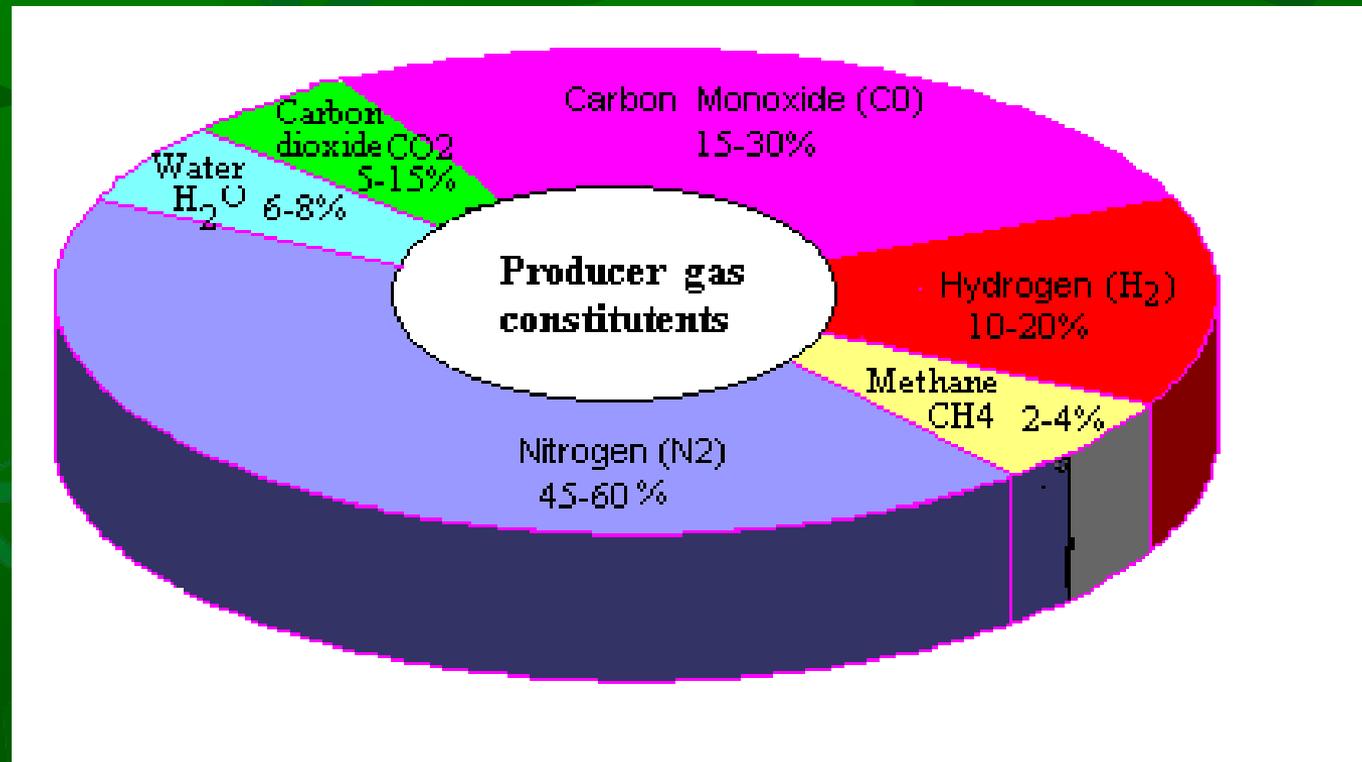
	CaO	K₂O	P₂O₅	MgO	Na₂O	SiO₂	SO₃	Altro
Pioppo	47,2	20,0	5,0	4,4	0,2	2,6	2,7	17,9
Pino	49,2	2,6	0,3	0,4	0,4	32,5	2,5	12,1
Erba	4,8	15,0	2,6	2,6	0,1	69,9	1,9	3,1

Costituenti elementari delle biomasse

N, Cl, S sono costituenti minoritari ma rivestono ruoli di grande importanza

- **L'azoto** è presente nei gas di gasogeno essenzialmente come Ammoniaca. Se non eliminata, nella combustione del gas si producono gli NO_x .
Gli NO_x si originano anche dal processo di gassificazione, ma in quantità trascurabile.
- **Il cloro** vaporizza quasi completamente durante la gassificazione come HCl. L'acido cloridrico ha un effetto altamente corrosivo sui componenti dell'impianto.
Come effetto collaterale, non meno importante, forma sali volatili con i metalli alcalini, difficilmente rimovibili dal gas e che condensano sulle pareti fredde degli impianti provocando incrostazioni e corrosioni
- **Lo zolfo** forma composti gassosi come H_2S ed SO_x , in rapporti che dipendono dalle condizioni di gassificazione.
In ogni caso, dato il basso tenore di questo elemento nelle biomasse questi contaminanti hanno un'importanza secondaria ed il gas è facilmente purificabile per la maggior parte delle applicazioni

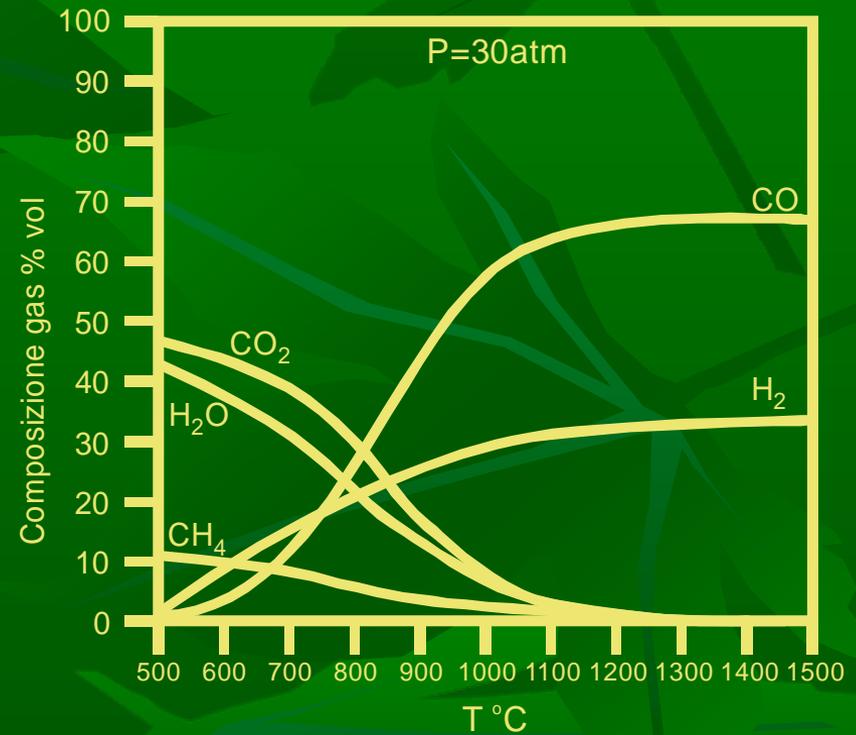
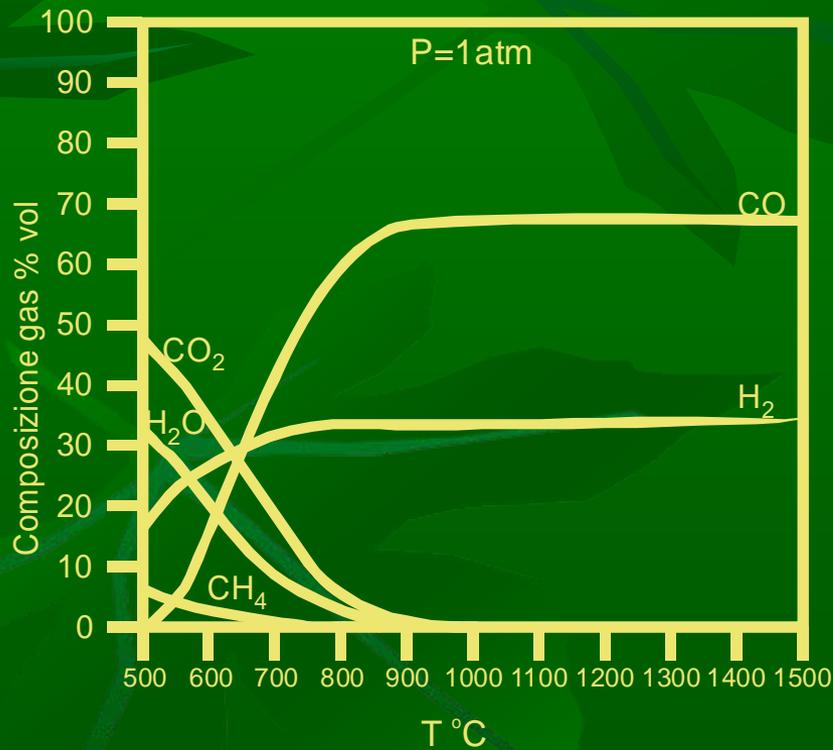
Composizione tipica di un gas di gasogeno



Fattori che influenzano il processo di gassificazione

- ❑ Temperatura
- ❑ Pressione
- ❑ Rapporto H/O
- ❑ Rapporto Equivalente (ER)
- ❑ Agente gassificante

Influenza della temperatura e della pressione



Influenza del rapporto H/O

▪ $H/O = 0$

Il gas consiste unicamente di CO e CO₂

▪ $H/O =$ Valori intermedi

Il gas consiste principalmente di CO, CO₂, H₂, CH₄ con rapporti in funzione degli altri parametri

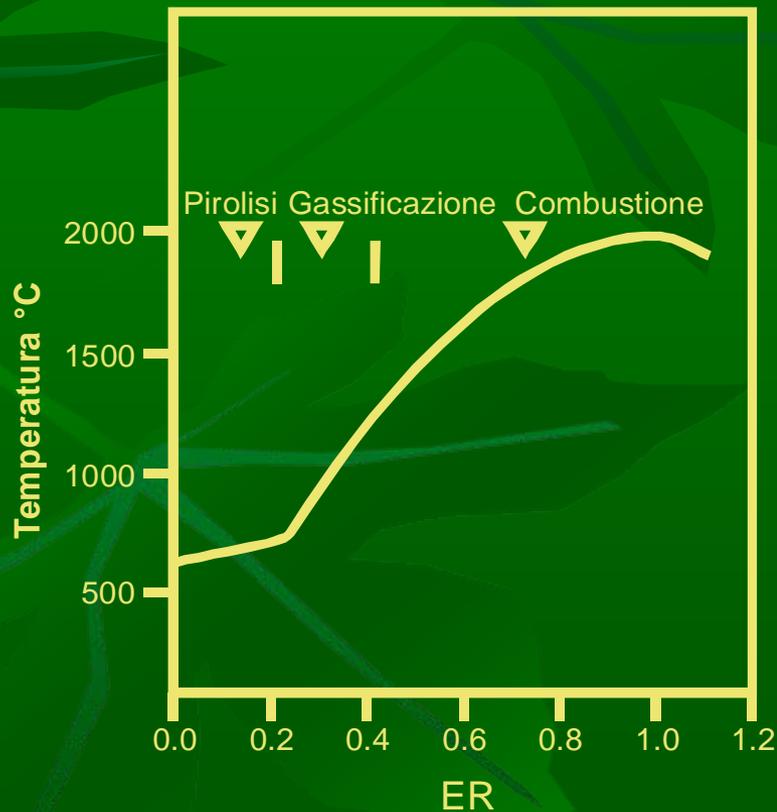
▪ $H/O = \infty$

Il gas consiste essenzialmente di CH₄

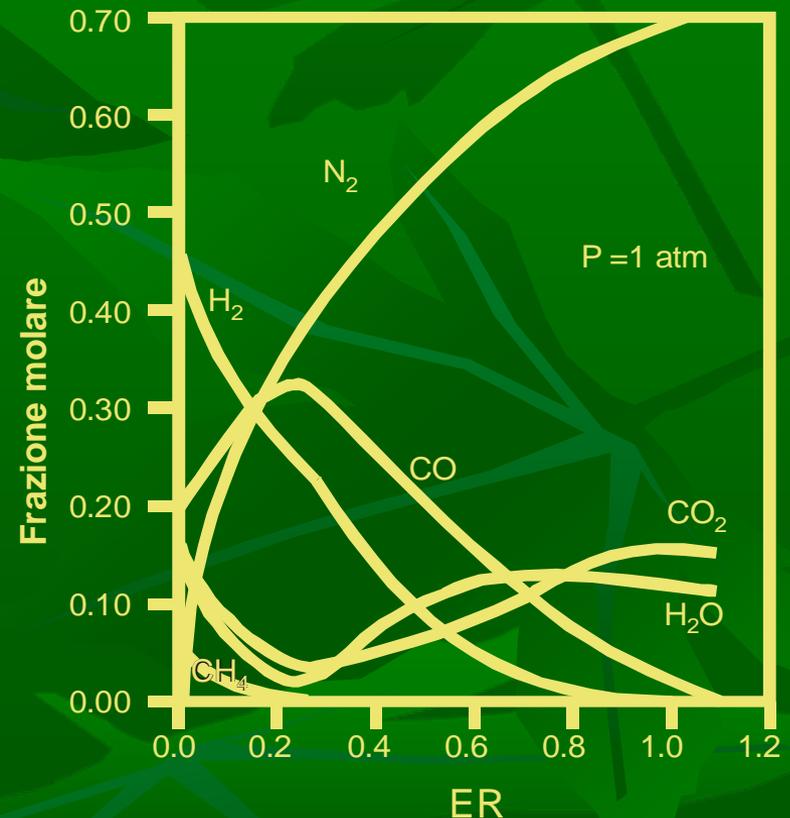
Influenza del rapporto ER

$$ER = \frac{\text{peso dell'ossidante/peso del carburante secco}}{\text{ossidante/carburante}^*}$$

*rapporto stechiometrico in peso



Temperatura di reazione in condizioni adiabatiche della biomassa nella reazione con l'aria



Composizione del gas all'equilibrio nella reazione con aria in funzione di ER

Influenza dell'agente ossidante

Componenti (%vol)	Aria	Ossigeno	Vapore
Monossido di Carbonio	17 - 22	30 - 37	32 - 41
Anidride carbonica	9 - 15	25 - 29	17 - 19
Idrogeno	12 - 20	30 - 34	24 - 26
Metano	2 - 3	4 - 6	12 - 14
Azoto	50 - 54	2 - 5	2 - 5
Potere Calorifico Inferiore MJ/Nm ³	4,5 - 5,6	9 - 10	12 - 13

Tecnologie di gassificazione

❑ Letto fisso

Di semplice costruzione

❑ Letto fluido bollente

Buon contatto ossigeno-biomassa

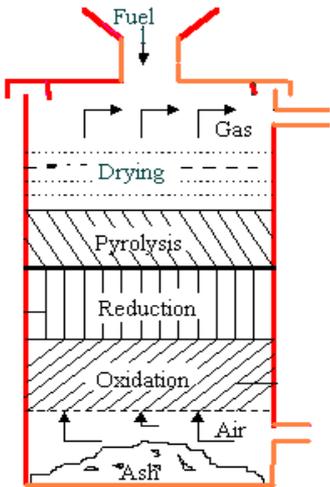
❑ Letto fluido ricircolante

Ottima miscelazione aria-biomassa

❑ Letto trascinato

Tecnologia complessa

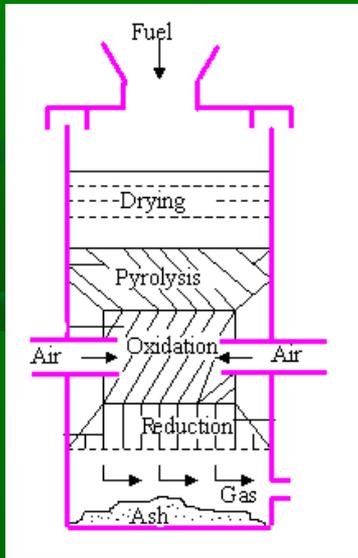
Gassificatori updraft



- Massima efficienza poiché il gas lascia il gassificatore a bassa temperatura
- Il calore sensibile del gas preriscalda ed essicca il combustibile
- Il gas contiene una grande quantità di catrami
- Non è adatto per un utilizzo nei motori o turbine



Gassificatore downdraft

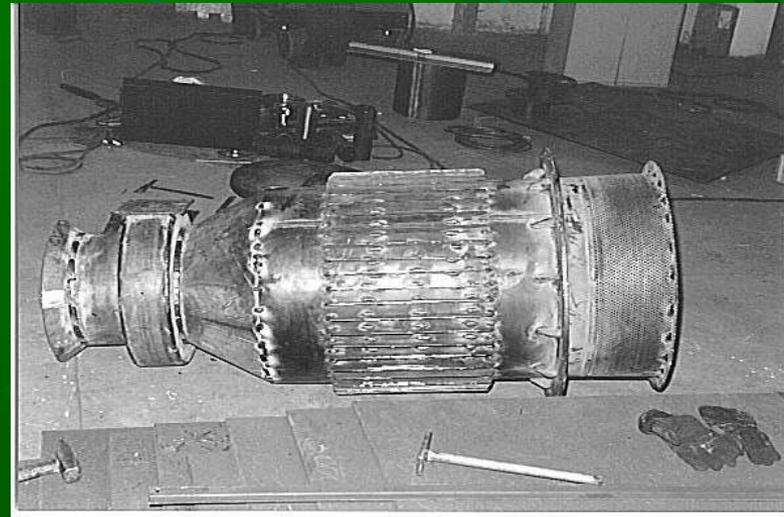
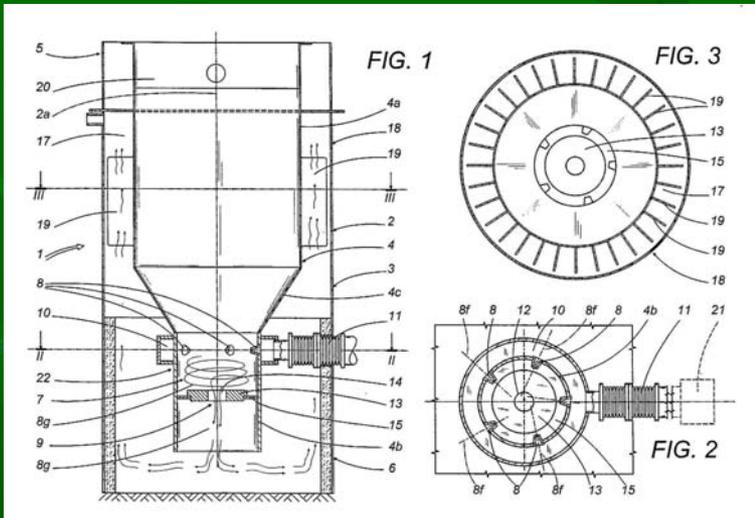


- In questo gassificatore l'aria è introdotta nel flusso discendente del combustibile
- L'efficienza termica è inferiore rispetto al gassificatore updraft; il gas lascia il gassificatore caldo
- Ma il gassificatore NET recupera calore internamente con gas in uscita a temperatura bassa
- NET consente tempi di avviamento ridotti anche con biomasse umide
- Il gas NET ha un contenuto molto basso in catrami e non deve essere purificato
- Il gassificatore NET è l'unico a norma motoristica nell'impiego con motori a scoppio

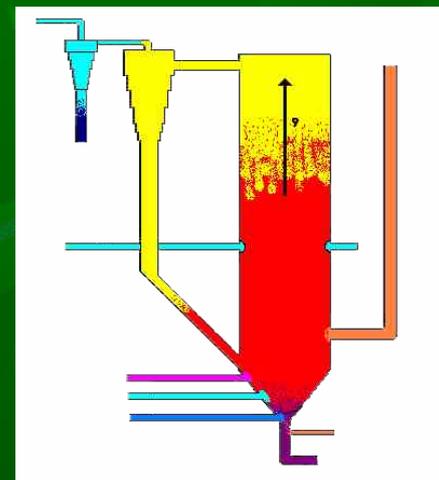
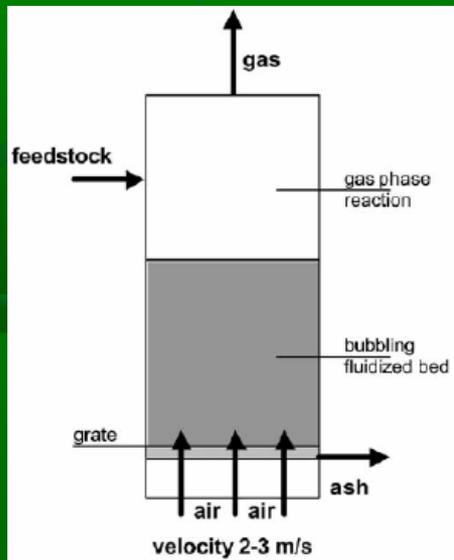


L'innovazione del gasogeno

- Gas nativamente privo di tar&dust
 - Recupero di calore interno
- Impiego di legna fresca 50% H₂O

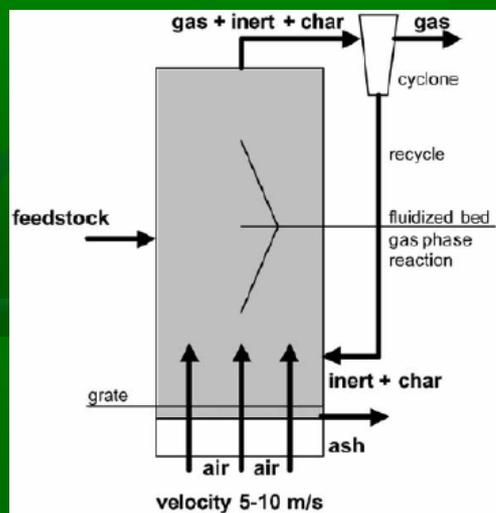


Gassificatore a letto fluido bollente

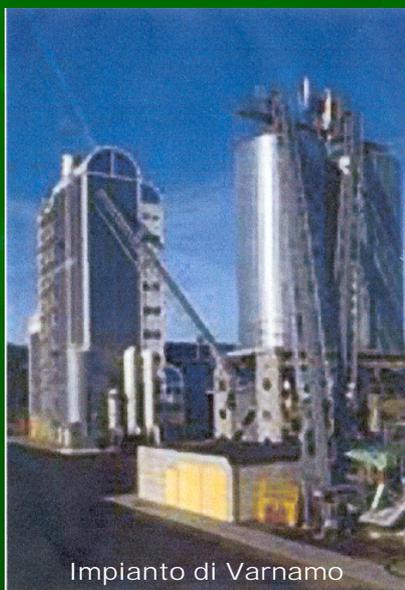


- Buon controllo della temperatura ed alte velocità di reazione
- Buon contatto gas-solido
- Possibilità di introduzione di catalizzatori nel letto
- Elevata efficienza
- Elevata capacità specifica
- Il gas in uscita contiene un'elevata concentrazione di particolato ed una discreta quantità di catrami

Gassificatori a letto fluido circolante



- Alta efficienza di conversione
- Elevata capacità specifica
- Buon controllo della temperatura ed elevate velocità di reazione
- Livello moderato di catrami nel gas in uscita
- Adatto per impianti di grandi dimensioni



Impianto di Varnamo

Qualità del gas di Gasogeno

Componente	U.M.	Motore Endotermico	Turbina
Particolato:			
>20 μ	mg/Nm ³		0,1 max
10 - 20 μ	mg/Nm ³	10 max	1,2
5 - 10 μ	mg/Nm ³		10 - 15
<5 μ	mg/Nm ³		40 - 100
Metalli alcalini	mg/Nm ³	---	0,1 max
Acido cloridrico	mg/Nm ³	20 max	0,5 max
Zolfo	mg/Nm ³	400 max	1 max
Ammoniaca	mg/Nm ³	11 max	---
Catrami o oli residui	mg/Nm ³	10 max	50 max

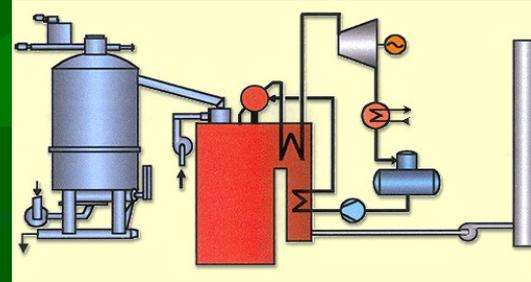
Pulizia dei gas prodotti una esclusiva dei gasogeni NET

Analisi N°		A	B	C	D	E
		07976	07976	07976	07976	07976
Metano (CH ₄)	%	0.15	0.19	0.31	0.14	0.19
Biossido di carbonio (CO ₂)	%	20.3	19.7	18.4	20.6	21.3
Azoto (N ₂)	%	51.7	52.4	50.6	54.5	52.3
Ossigeno (O ₂)	%	1.3	1.7	0.2	0.4	0.7
Monossido carbonio (CO)	%	13.2	14.7	16.6	14.2	13.7
Idrogeno (H₂)	%	13.2	11.2	14.7	10.0	11.7
Idrogeno solforato (H ₂ S)	ppm	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Benzene	ppm	1.6	3.5	2.4	0.9	0.9
Toluene	ppm	0.7	0.4	0.6	0.3	0.6
Xileni	ppm	3.2	3.7	6.2	3.4	5.6
Naftalene	ppm	8.5	9.7	13.6	17.5	10.4
Trimetilbenzeni	ppm	0.9	0.3	0.2	0.2	0.6
Catrami	ppm	< 2				

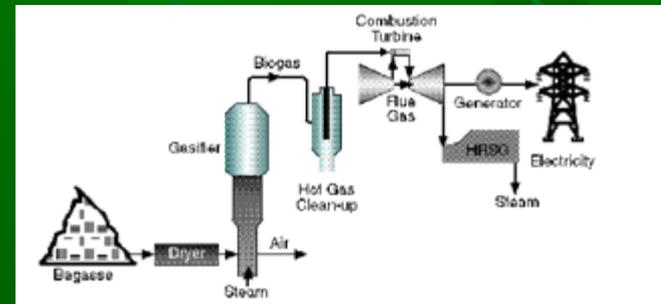
Invece di > 30

Utilizzo del gas

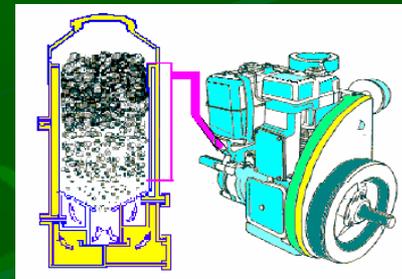
□ Caldaie



□ Turbine



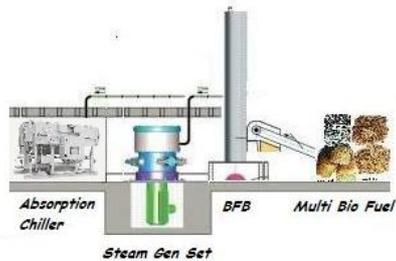
□ Motori endotermici



Innovazione



Sperimentazione di un cogeneratore
a vapore da 200kWel



*Multi Biomass Combustion Boiling Fluidized Bed Facility
For Steam Electricity and Heat generation*

