

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale
***«I motori a combustione interna alimentati a biogas
per applicazioni stazionarie»***

Tutor universitario: Prof.ssa Anna Stoppato

Laureando: Agnese Salviato

Padova, 19/09/2022

Il biogas è un gas costituito prevalentemente da metano e anidride carbonica, prodotto mediante digestione anaerobica della biomassa.

Parameter	Farm-scale AD plant	Centralised AD plant	Landfill	Sewage treatment plant	Natural gas
CH ₄ (vol %)	55–60	60–70	35–65	60–65	81–89
Other hydrocarbons (vol %)	0	0	0	0	3.5–9.4
H ₂ (vol %)	0	0	0–3	0	—
CO ₂ (vol %)	35–40	30–40	25–45	35–40	0.67–1.00
N ₂ (vol %)	< 1–2	2–6	< 1–17	< 1–2	0.28–14.00
O ₂ (vol %)	< 1	0.5–1.6	< 1–3	< 0.05–0.70	0
H ₂ S (ppm)	25–30	0–2000	30–500	< 0.5–6800	0–2.9
NH ₃ (ppm)	≈ 100	≈ 100	≈ 5	< 1–7	0
Halogenated compounds (mg/m ³)	< 0.01	< 0.25	0.3–225	0–2	—
Siloxanes (mg/m ³)	< 0.03– < 0.2	< 0.08– < 0.5	< 0.3–36	< 1–400	—

Property	LPG	Natural gas	Biogas	
Composition (%vol)		CH ₄ -85% C ₂ H ₆ -7% C ₃ H ₈ -2% N ₂ -1% CO ₂ -5%	CH ₄ -57% CO ₂ -41% CO-0.18% H ₂ -0.18% Traces of other gases	
	Lower heating value at 1 atm and 15 °C (MJ/kg)	45.7	50	17
	Density at 1 atm and 15 °C	2.26	0.79	1.2
	Flame speed (cm/s)	44	34	25
Stoichiometric A/F(kg of air/kg of fuel)	15.5	17.3	5.8	
Flammability limits (vol% in air)				
Leaner	2.15	5	7.5	
Richer	9.6	15	14	
Octane number				
Research Motor	103–106	120	130	
Autoignition temperature (°C)	406–450	540	650	

PCI = 15-27 MJ/Nm³

NO = 130-140

Velocità di combustione e di propagazione della fiamma minori rispetto al gas naturale.

Le principali modifiche da apportare ai motori ad accensione comandata sono :

- Sostituzione del sistema di miscelazione aria-combustibile e rimozione del sistema di iniezione;

- Aumento del rapporto di compressione;

$$r_v = \frac{V_{tot}}{V_{cc}} = \frac{V_u + V_{cc}}{V_{cc}} = 1 + \frac{V_u}{V_{cc}}$$

- Aumento dell'angolo di anticipo della scintilla;

- Rifasatura del sistema di distribuzione;

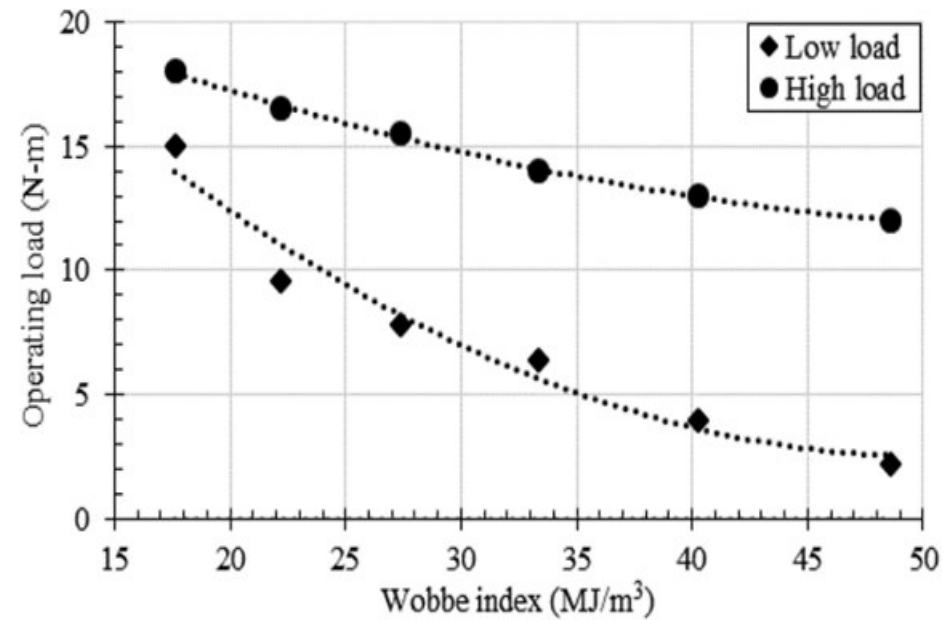
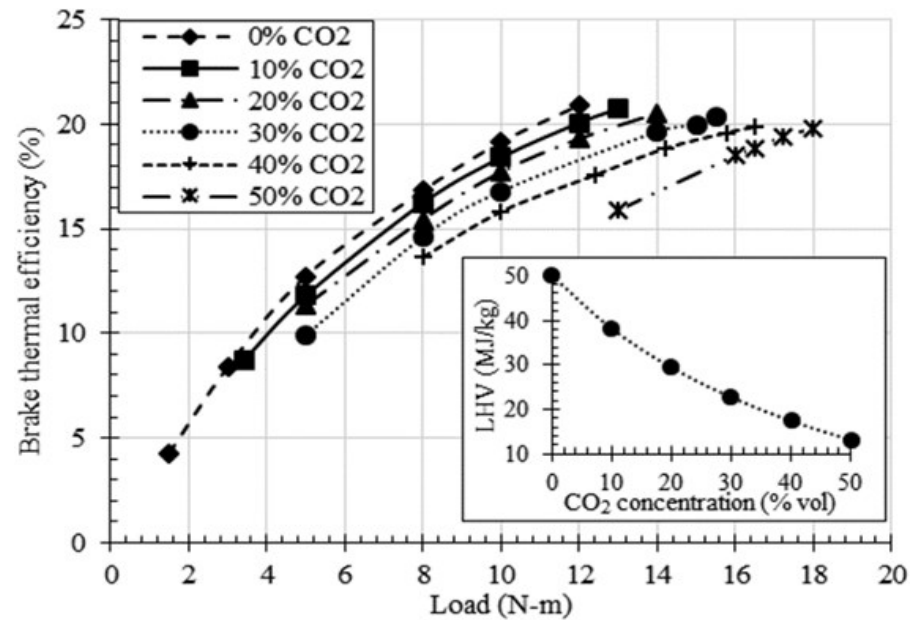
- Modifica del rapporto aria/combustibile;

$$\alpha = \frac{m_a}{m_f} \quad m_{BG} = \frac{m_{CH_4}}{\%CH_4} \cdot 100$$

- Eventuale aumento della turbolenza.

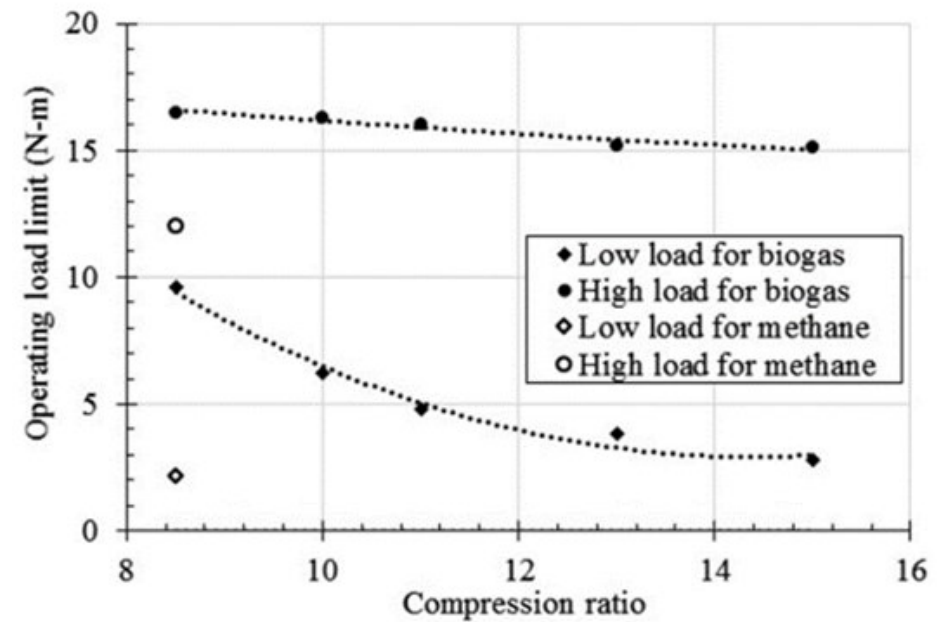
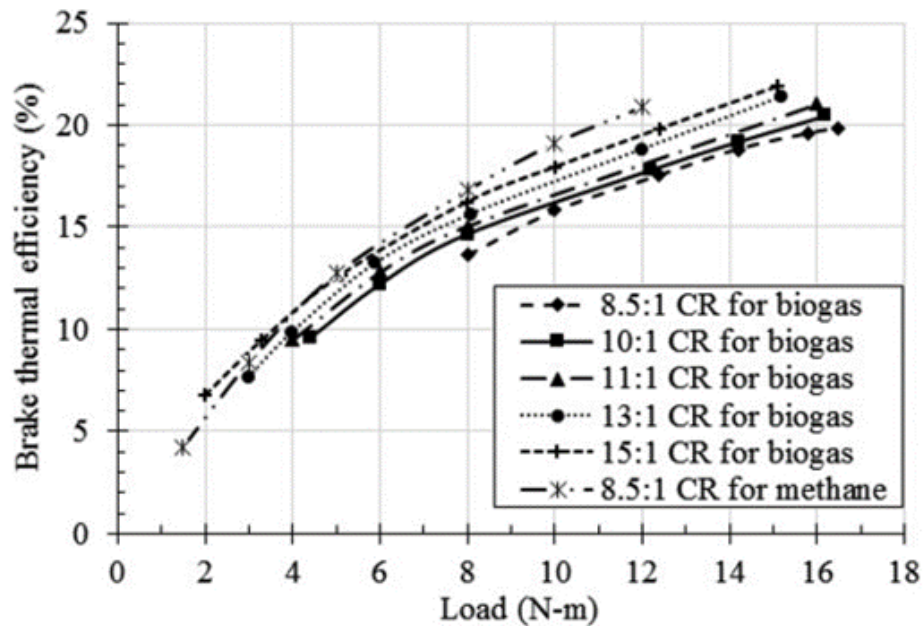
Effetti della **composizione del biogas**:

- l'aumento di contenuto di CH_4 comporta una crescita del rendimento termico del motore;
- l'aumento dell'indice di Wobbe, e cioè del contenuto di metano, comporta un intervallo di operabilità più ampio.



Effetti del rapporto di compressione volumetrico:

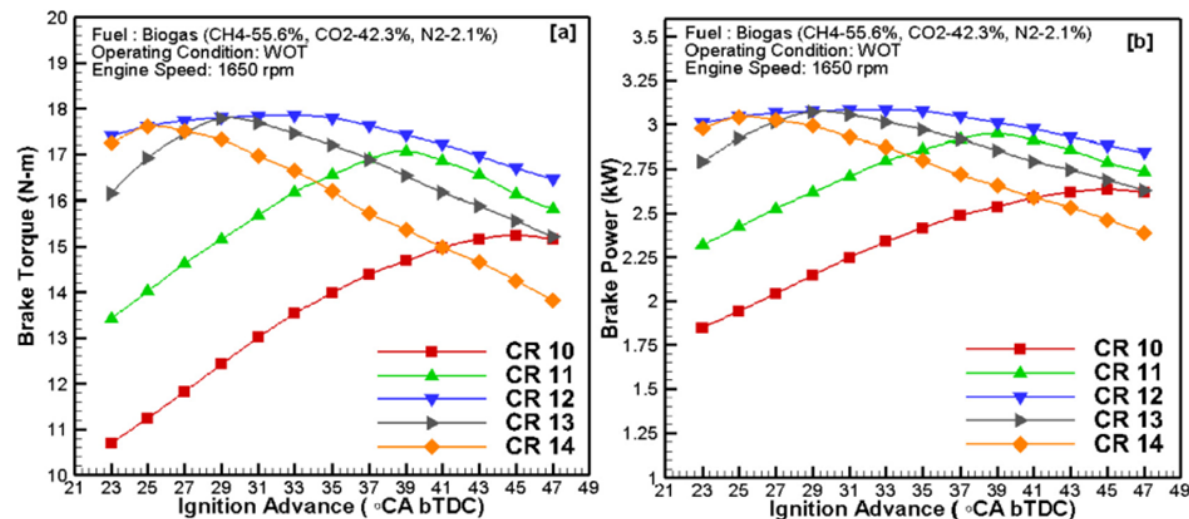
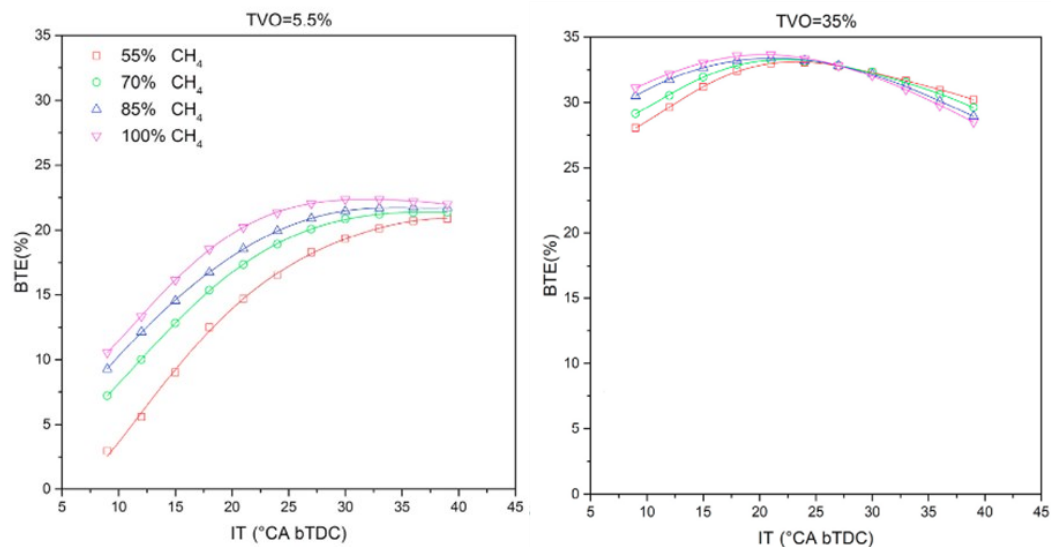
- all'aumentare del rapporto di compressione il rendimento termico aumenta;
- all'aumentare del rapporto di compressione aumenta l'intervallo di operabilità del motore.



Effetti dell'anticipo della scintilla:

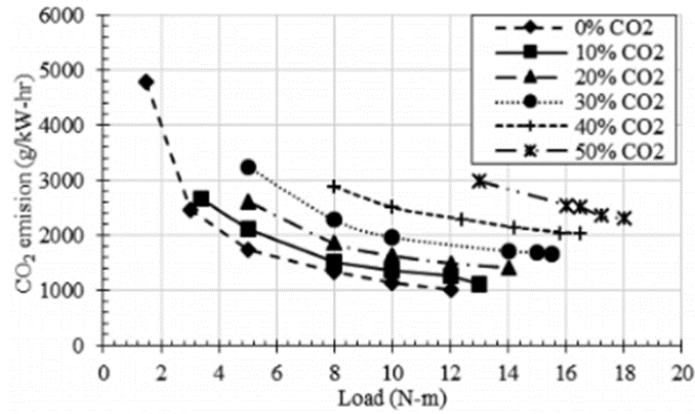
Il rendimento presenta un massimo per un valore ottimale di angolo di anticipo della scintilla rispetto al PMS:

- all'aumentare della percentuale di metano del combustibile il punto di massimo si ottiene per angoli di anticipo minori;
- all'aumentare del rapporto di compressione si ottengono i valori massimi di coppia e di potenza con anticipo della scintilla sempre più ridotto.

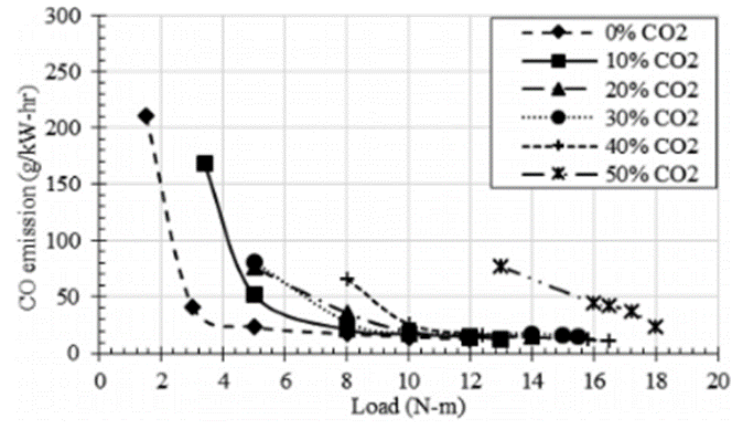


Effetti della **composizione del biogas**: l'aumento del contenuto di metano nel biogas induce un calo delle emissioni, ad eccezione del monossido di azoto.

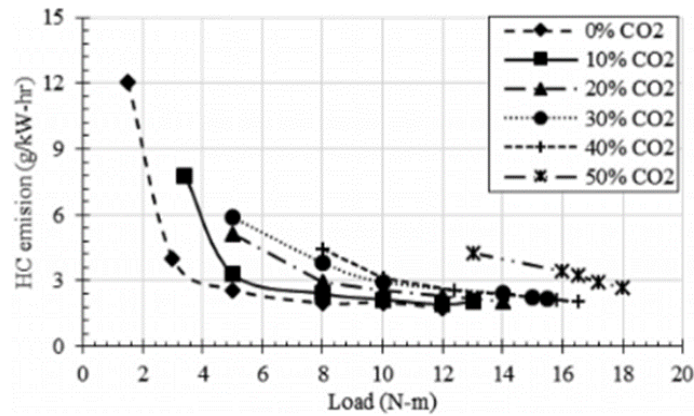
CO₂



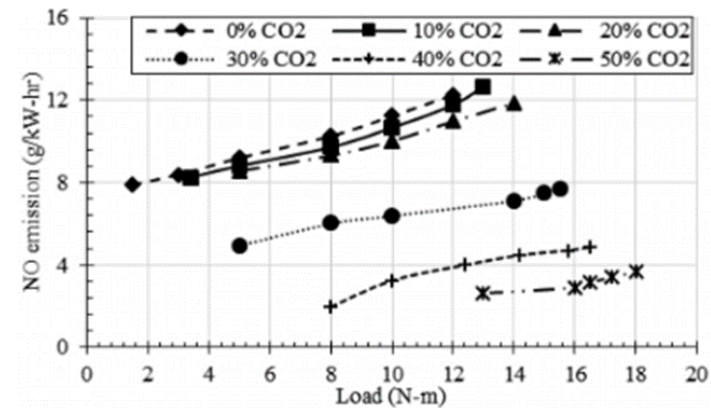
CO



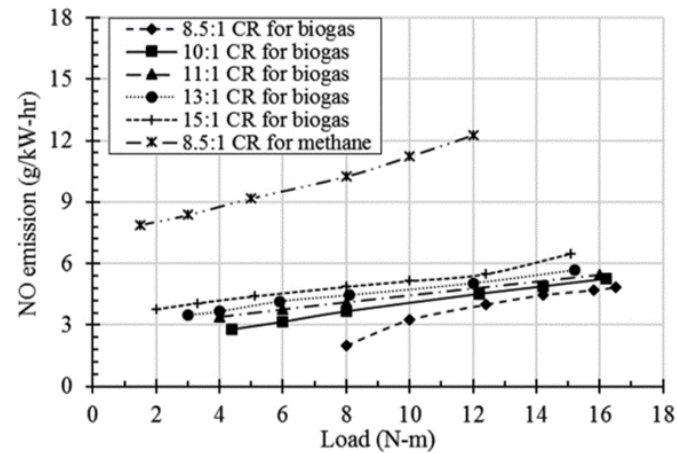
HC



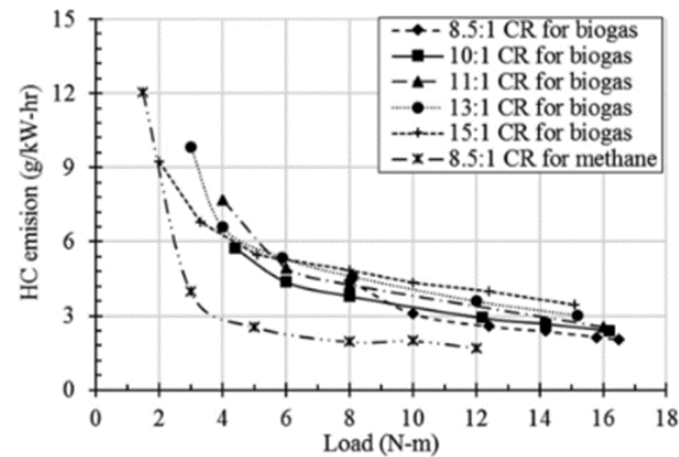
NO



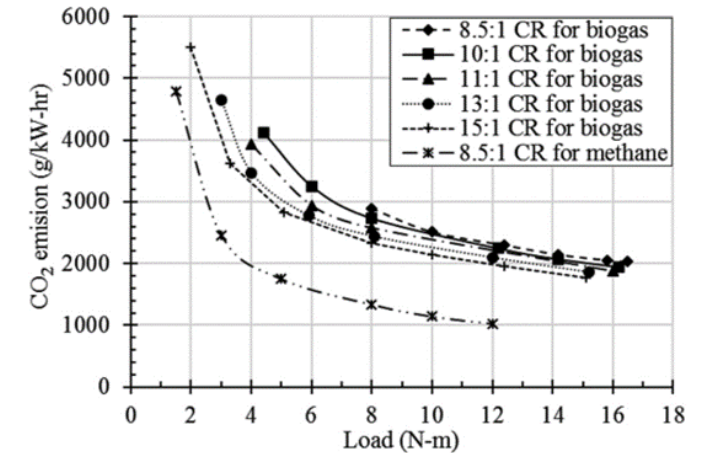
Effetti del **rapporto volumetrico di compressione**: l'aumento di r_v provoca un aumento delle emissioni di NO e HC, mentre diminuiscono quelle di CO₂.



NO

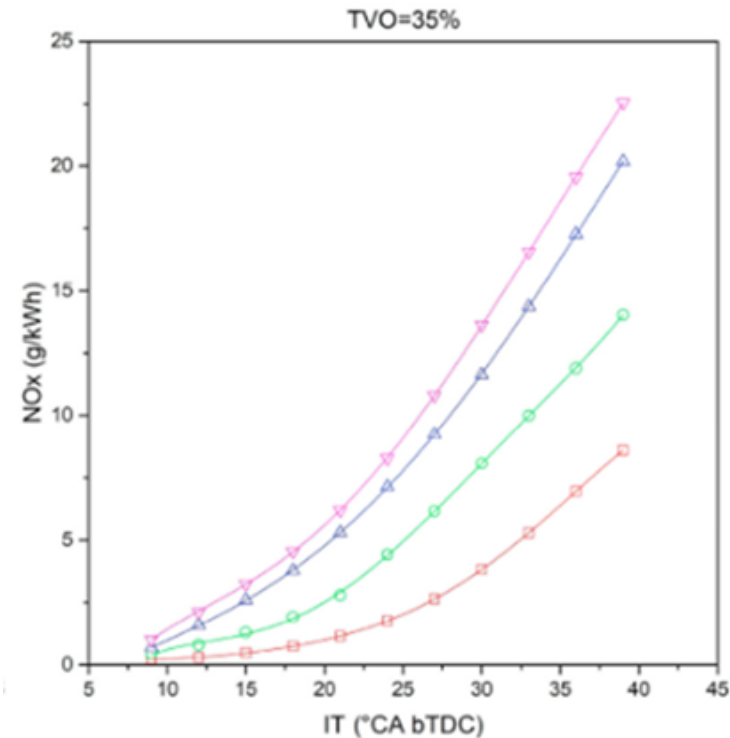
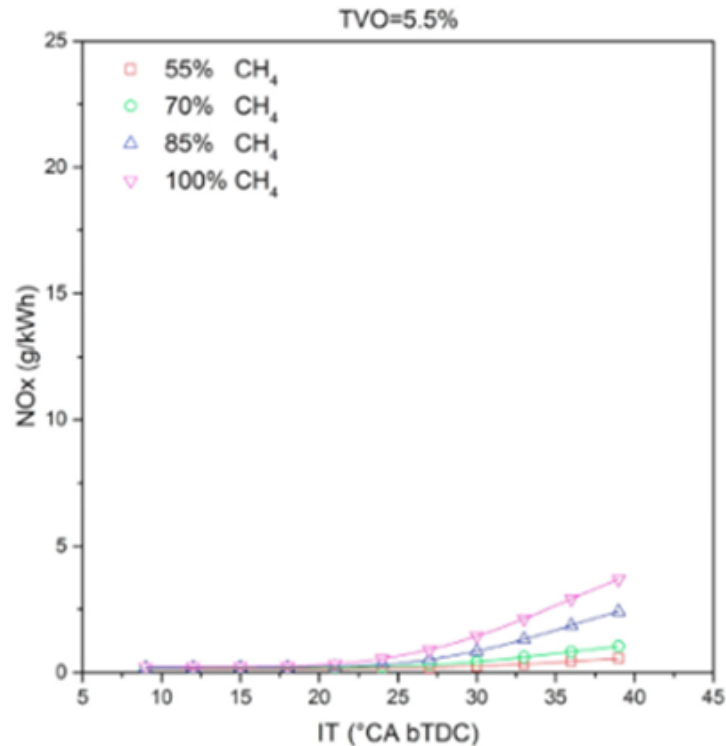


HC



CO2

Effetti **dell'anticipo della scintilla**: per anticipi della scintilla maggiori le emissioni di NO_x risultano aumentare più significativamente con l'aumento della percentuale di metano contenuta nel combustibile.



Motori a biogas:

- Rendimento elettrico 30%-43% (30-2000 kW)
- Rendimento totale fino a 90%
- Emissioni NO_x < 500 o 250 mg/Nm³
- Emissioni CO < 300 o 650 mg/Nm³

Passando da alimentazione a gas naturale ad alimentazione a biogas tipicamente il rendimento cala dell'1 o 2%. Per i motori dual fuel η può essere maggiore, fino al 47%.

Marca - Model	MAN E2876 LE202
Alimentazione - Fuel	Biogas
Potenza elettrica - Electrical power	200 kW
Potenza termica - Thermal power	231 kW
Potenza entrante - Incoming power	517 kW
Rendimento elettrico - Electrical efficiency ¹	38,7%
Rendimento termico - Thermal efficiency ²	44,7%
Rendimento totale - Total efficiency	83,4%
Ciclo - Engine cycle	Otto
Tipo - Type	Turbo Intercooler
Numero e disposizione cilindri - Cylinders number and disposition	6L
Alesaggio x corsa - Bore x stroke	128 x 166 mm
Numero di giri - Engine rotation speed	1500 rpm
Cilindrata - Displacement	12,82 lt
Rapporto di compressione - Compression ratio	14:1

Marca - Model	MAN E2676LE202
Alimentazione - Fuel	Gas Naturale
Potenza elettrica - Electrical power *	210 kW
Potenza termica - Thermal power **	248 kW
Potenza entrante - Incoming power **	529,0 kW
Rendimento elettrico - Electrical efficiency *	39,7%
Rendimento termico - Thermal efficiency **	46,9%
Rendimento totale - Total efficiency **	86,6%
Ciclo - Engine cycle	otto
Tipo - Type	Turbo intercooler
Numero e disposizione cilindri - Cylinders number and disposition	6L
Alesaggio x corsa - Bore x stroke	126 x 166 mm
Numero di giri - Engine rotation speed	1500 rpm
Cilindrata - Displacement	12,420 lt
Rapporto di compressione - Compression ratio	12,6:1



Si è visto come, grazie ad opportune modifiche e all'ottimizzazione dei parametri di funzionamento è possibile costruire motori a biogas che operano in impianti di cogenerazione ad alto rendimento e emissioni ridotte.

Una tecnologia tradizionale e matura come il motore a combustione interna è stata così adattata alle nuove esigenze di transizione energetica e riduzione dell'impatto ambientale.