

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II  
Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

CORSO DI STUDI IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

**ELABORATO DI LAUREA**

**PURIFICAZIONE E UPGRADING DEL BIOGAS  
PER LA PRODUZIONE DI BIOMETANO**

RELATORI

Prof. Francesco Pirozzi  
Ing. Antonio Panico

CANDIDATO

Pasquale Marzano  
Matr. N49/380

# **COMBUSTIBILI FOSSILI**

CARBONE, GAS NATURAE E PETROLIO



# **ENERGIE RINNOVABILI**

EOLICA, SOLARE, GEOTERMICA,  
IDROELETTRICA E **BIOENERGIE**

# IL BIOMETANO

- Definito dall'articolo 2 del D.lgs 28/2011: gas ottenuto a partire da fonti rinnovabili avente caratteristiche e condizioni di utilizzo pari a quelle del gas naturale.



# SUBSTRATI ORGANICI

I substrati tipicamente utilizzati sono costituiti da rifiuti (di origine animale o vegetale) o da colture dedicate:

RESIDUI AGRICOLI-ZOOTECNICI

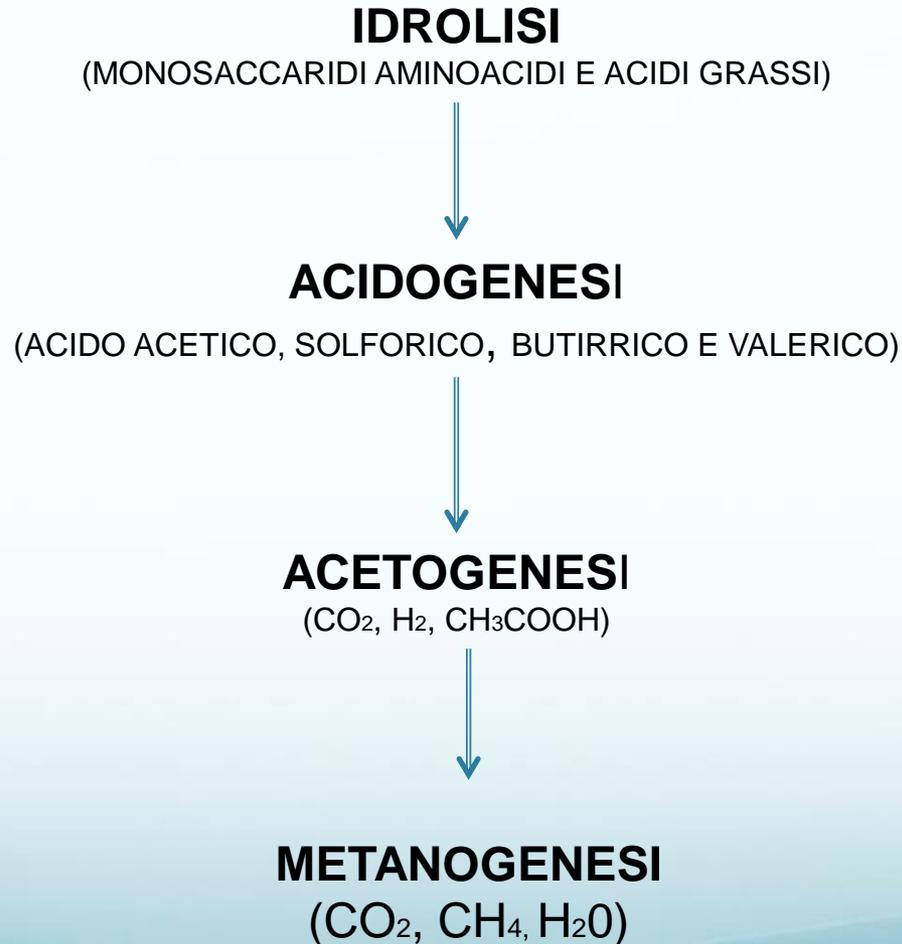
RIFIUTI SOLIDI URBANI (FORSU) E INDUSTRIALI

COLTURE DEDICATE

# DIGESTIONE ANAEROBICA

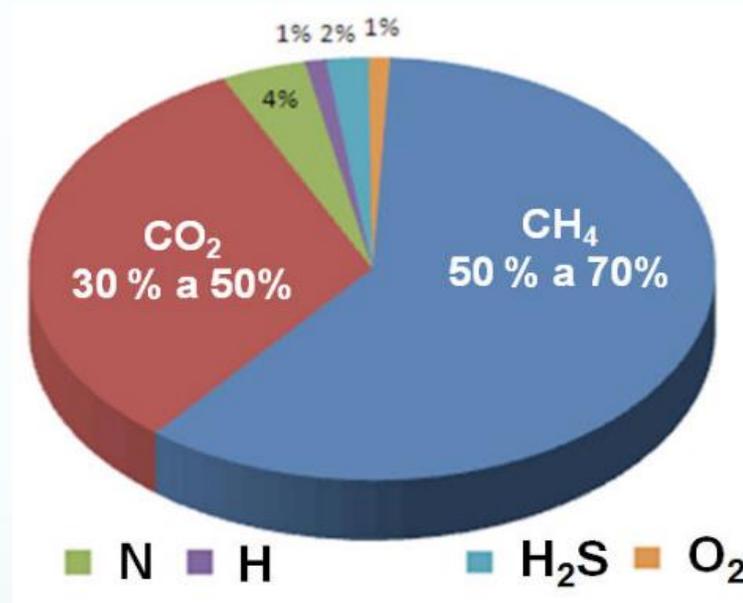
È un processo biologico, condotto da microrganismi anaerobici, che scompongono la materia organica in composti più semplici.

Essa si suddivide nelle seguenti fasi :



# IL BIOGAS

Il biogas è una miscela di gas, prodotta dall'azione di microrganismi anaerobici (batteri), che in assenza di ossigeno scompongono la materia organica in composti chimici più semplici .



La composizione della miscela dipende dal substrato digerito.

## Caratteristiche di biogas grezzo e gas naturale

Parametri	Biogas da digestione anaerobica	Gas naturale del Mare del Nord	Specifiche gas naturale rete Snam
Potere calorifico inferiore (MJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	23	40	35 - 45,3
Indice di Wobbe superiore (MJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	27	55	49,9 - 55,2
Metano (% vol)	63 (53-70)	87	-
Anidride carbonica (% vol)	47 (30-47)	1,2	≤ 3
Azoto (% vol)	0,2	0,3	-
Ossigeno (% vol)	0	0	≤ 0,6
Idrogeno solforato (ppm)	<1000	1,5 (1-2)	≤ 4,6
Ammoniaca (ppm)	<100	0	-
Cloro totale (mg Cl/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	0-5	0	-

## Caratteristiche richieste al biometano per l'immissione in rete

Parametri	Germania		Francia		Svizzera	Svezia	Austria	Olanda
	rete-L	rete-H	rete-L	rete-H				
Indice Wobbe sup. (MJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	37,8-46,8	46,1 - 56,5	42,5-46,8	48,2-56,5			47,7-56,5	43,46-44,41
Metano (% vol)					> 96	95-99		> 80
CO <sub>2</sub> (% vol)	≤ 6		< 2		< 6	< 5 (CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> )	≤ 2	
Ossigeno (% vol)	≤ 3		< 0,01		<0,5		≤ 0,5	< 0,5
Idrogeno (% vol)	≤ 5		< 6		<5		≤ 4	< 12
T di rugiada (°C)	< T <sub>amb</sub>		< -5			< T <sub>amb</sub> - 5	<-8 (40 bar)	-10
Idrogeno solforato (mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	< 30 S <sub>tot</sub>		< 100 S <sub>tot</sub>		< 3,6 ppm	< 23 (S <sub>tot</sub> )		
Zolfo totale (mg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	< 30		< 100		< 30	< 23	≤ 5	< 45

Fonte: IEA Task 24 e IEA Task 37

# PROCESSI DI PURIFICAZIONE

```
graph TD; A[PROCESSI DI PURIFICAZIONE] --> B[DEUMIDIFICAZIONE]; A --> C[DESOLFORAZIONE (H2S)];
```

## DEUMIDIFICAZIONE

- SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO
- COMPRESSIONE
- ASSORBIMENTO (SALI IGROSCOPICI)
- ADSORBIMENTO (OSSIDI METALLICI O CARBONE ATTIVO)

## DESOLFORAZIONE (H<sub>2</sub>S)

- PRECIPITAZIONE (Sali di ferro)
- SCRUBBING BIOLOGICO (ATTIVITA AEROBICHE)
- SCRUBBING CHIMICO CON OSSIDAZIONE (assorbimento con soluzioni caustiche)
- ADSORBIMENTO (ossidi metallici o carbone attivo)

# PROCESSI DI UPGRADING

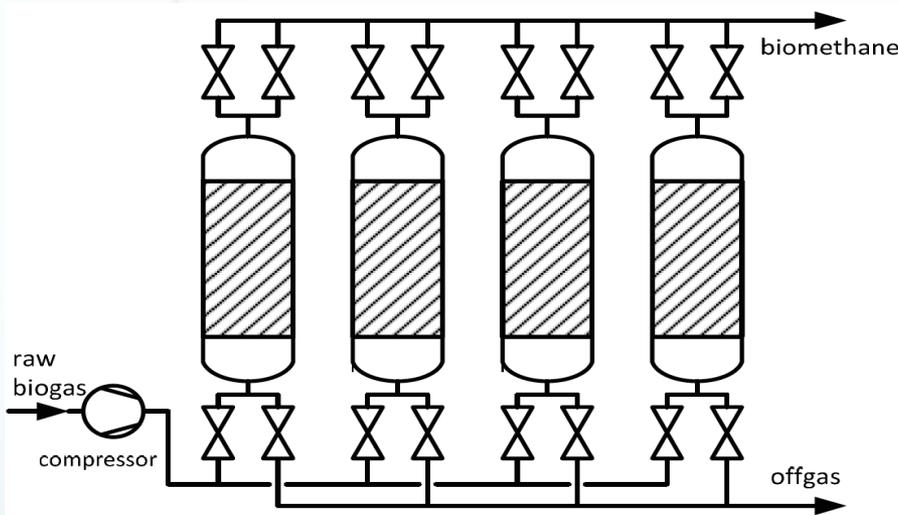
- ADSORBIMENTO (PSA)

- ASSORBIMENTO (scrubbing ad H<sub>2</sub>O, organico e chimico)

- SEPARAZIONE (membrana)

# ADSORBIMENTO A PRESSIONE OSCILLANTE (PSA)

L'impianto di tipo PSA opera il processo di separazione della  $\text{CO}_2$  dal  $\text{CH}_4$  per mezzo di colonne, nelle quali è contenuto materiale adsorbente (generalmente carbone attivo o zeoliti) e in cui vengono applicate pressioni che variano nel corso del processo.



## LIMITI:

PRETRETAMENTO PER RIMOZIONE  $\text{H}_2\text{S}$  E  $\text{H}_2\text{O}$

## PREGI:

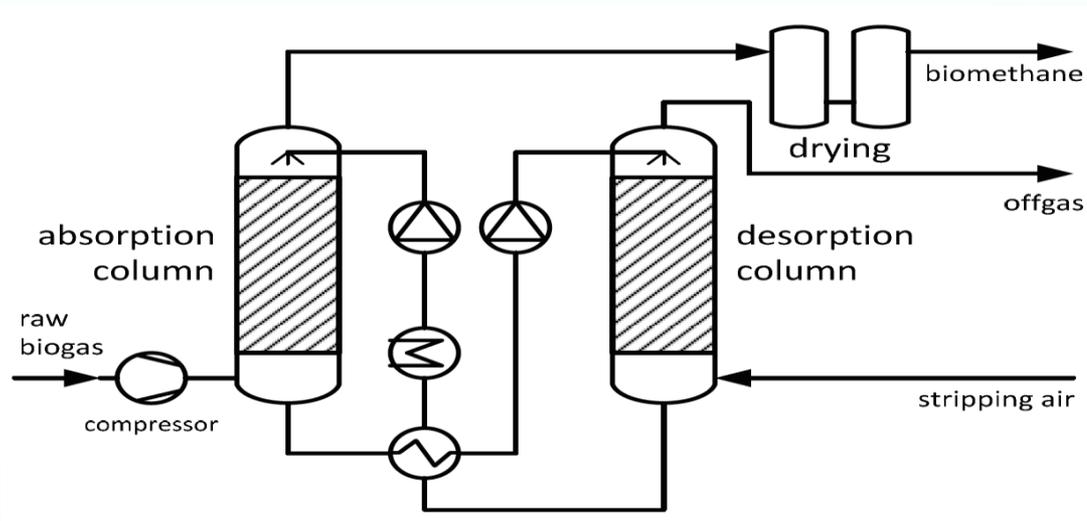
SEMPLICITÀ DI COSTRUZIONE  
DIMENSIONI COMPATTE  
IMPIEGO PICCOLI IMPIANTI

# SCRUBBING AD H<sub>2</sub>O PRESSURIZZATA (PWS)

In questa tecnologia, i gas adsorbiti si legano fisicamente al liquido di lavaggio, che in questo caso è H<sub>2</sub>O.

Oltre alla CO<sub>2</sub> con questa tecnologia si eliminano anche residui di H<sub>2</sub>S e di NH<sub>3</sub>.

Il fluido utilizzato è l'acqua la quale sarà satura di CO<sub>2</sub> all'uscita dalla colonna.



## SVANTAGGI:

## VANTAGGI:

- RIMOZIONE CONTESTUALE DI CO<sub>2</sub> E H<sub>2</sub>S
- FLESSIBILITA IMPIANTISTICA
- IL NON UTILIZZO DI SOSTANZE CHIMICHE
- CONSUMI ENERGETICI PER LA COMPRESSIONE E RIGENERAZIONE DELL' H<sub>2</sub>O
- PRODUZIONE DI ACQUE REFLUE
- PRETRATTAMENTI PER LA RIMOZIONE DELL'H<sub>2</sub>S

# ASSORBIMENTO FISICO (COMPOSTI ORGANICI)

Tecnologia molto simile alla PWS, solo che al posto dell' acqua come fluido di scrubbing si utilizza una soluzione di solvente organico (glicole polietilenico).

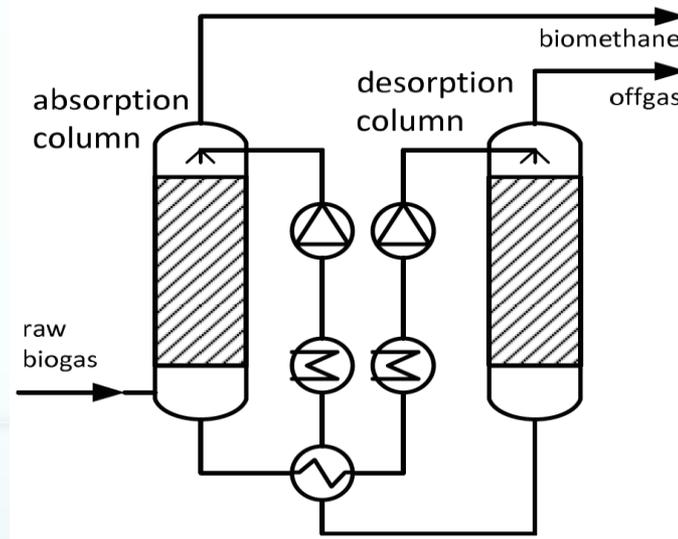
La CO<sub>2</sub> risulta essere molto più solubile con questo solvente, con il risultato che per una stessa quantità di biogas grezzo, saranno necessarie meno ricircoli del liquido di lavaggio



# ASSORBIMENTO CHIMICO CON AMMINE (MEA, DEA E MDEA)

L'assorbimento chimico è caratterizzato da una fase iniziale di assorbimento fisico, susseguito da una reazione chimica tra i componenti chimici di lavaggio e i gas assorbiti.

Questa reazione chimica rende il legame tra il liquido assorbente e i gas assorbiti molto più forte, con la conseguenza che la capacità di carico del liquido di lavaggio, è di gran lunga maggiore rispetto ad un assorbimento fisico .



## VANTAGGI:

- IMPIANTO COMPATTO
- OTTIMA QUALITÀ DEL BIOMETANO
- ASSORBIMENTO A Patm

## SVANTAGGI:

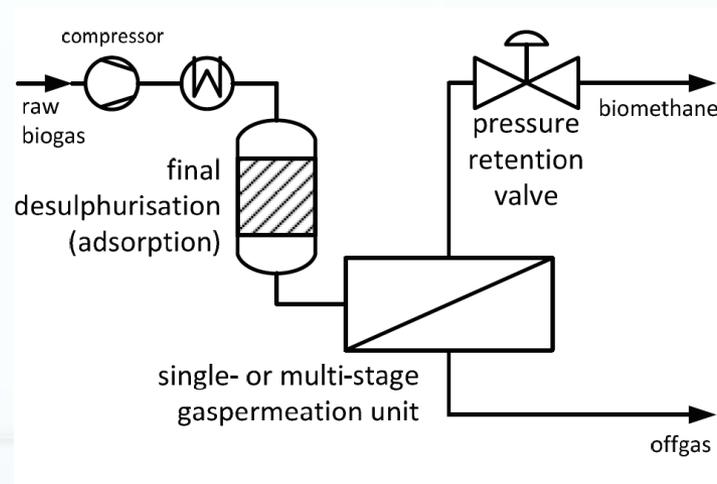
- PRETRATTAMENTI
- CONSUMI ENERGETICI PER RIGENERAZIONE (T=160 °C P=4-5 bar)
- UTILIZZO SOSTANZE CHIMICHE

# SEPARAZIONE MEDIANTE MEMBRANA

Questa tecnologia utilizza materiali polimerici, impermeabili a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{NH}_3$ , mentre  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{O}_2$  e  $\text{N}_2$  passano attraverso le membrane.

Il metano passa solo in piccole quantità.

In Figura, lo schema dell' impianto



## VANTAGGI

- NO CONSUMI D' ACQUA E REAGENTI CHIMICI
- RIMOZIONE CONTESTUALE DI  $\text{H}_2\text{S}$  E  $\text{CO}_2$
- TECNOLOGIA SEMPLICE E COMPATTA

## SVANTAGGI

- PRETRATTAMENTI
- COSTI D' INVESTIMENTO
- CONSUMI ENERGETICI (ALTA PRESSIONE)
- PERDITE DI METANO

# SETTORI INFLUENZATI DAL BIOMETANO

- **SISTEMA ENERGETICO**
- **SISTEMA TRASPORTI**
- **SISTEMA IGIENICO SANITARIO**
- **SISTEMA AGRICOLO- ZOOTECNICO**
- **SISTEMA ECONOMICO**