



 POLITECNICO DI MILANO

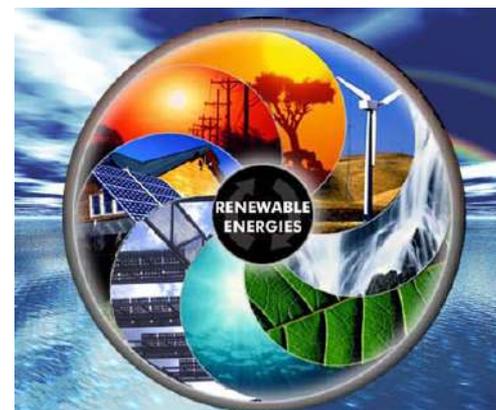


# Impianti per la produzione del biogas e matrici utilizzabili

Alessandro Casula



- Con il termine energie rinnovabili si intendono le forme di energia prodotte da fonti di energia derivanti da particolari risorse naturali che per loro caratteristica intrinseca si **rigenerano** almeno alla stessa velocità con cui vengono consumate o **non sono esauribili** nella scala dei tempi di ere geologiche e, per estensione, il cui utilizzo **non pregiudica** le stesse risorse naturali per le generazioni future (fonte Wikipedia).





- Sono dunque forme di **energia alternative** alle tradizionali fonti fossili (che sono invece parte delle energie non rinnovabili) e molte di esse hanno la peculiarità di essere anche **energie pulite** ovvero di non immettere in atmosfera sostanze nocive e/o climalteranti quali ad esempio la CO<sub>2</sub>. Esse sono dunque alla base della cosiddetta **economia verde** (fonte Wikipedia).



- L'utilizzo delle energie rinnovabili rappresenta una esigenza sia per i Paesi industrializzati che per quelli in via di sviluppo:
  - I primi necessitano di un uso più sostenibile delle risorse, di una riduzione delle emissioni di gas serra e dell'inquinamento atmosferico, di una diversificazione del mercato energetico e di una sicurezza di approvvigionamento energetico
  - Per i Paesi in via di sviluppo, invece, le energie rinnovabili rappresentano una concreta opportunità di sviluppo sostenibile e di accesso all'energia in aree remote



- I principali **vantaggi** degli impianti a fonte energetica rinnovabile sono:
  - Risparmio energetico di energia primaria
  - Razionalizzazione energetica
  - Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>
  - Riduzione in generale dell'impatto ambientale
  - Alternativa ai combustibili fossili e nucleari
  - Inesauribilità



- I combustibili fossili sono la **principale causa** delle emissioni di CO<sub>2</sub> e del conseguente innalzamento della temperatura (effetto serra)
- Le fonti energetiche rinnovabili in particolare sono una concreta **alternativa** alle fonti energetiche fossili
- **Non danno luogo** ad emissioni di CO<sub>2</sub> o, come nel caso delle biomasse, il bilancio complessivo che ne deriva è nullo o quasi



# Vantaggi degli impianti IAFR



LO SAPEVI CHE RAGGIUNGERE  
GLI OBIETTIVI SULLE RINNOVABILI  
TI COSTERÀ SOLO UN GELATO AL MESE?



LO SAPEVI CHE NEL 2020  
CI SARANNO PIÙ LAVORATORI  
NELLE RINNOVABILI CHE BARISTI?



TROVA UN ALTRO SETTORE  
CHE INVESTIRÀ ALMENO 70 MILIARDI  
NEI PROSSIMI 10 ANNI, SE CI RIESCI!



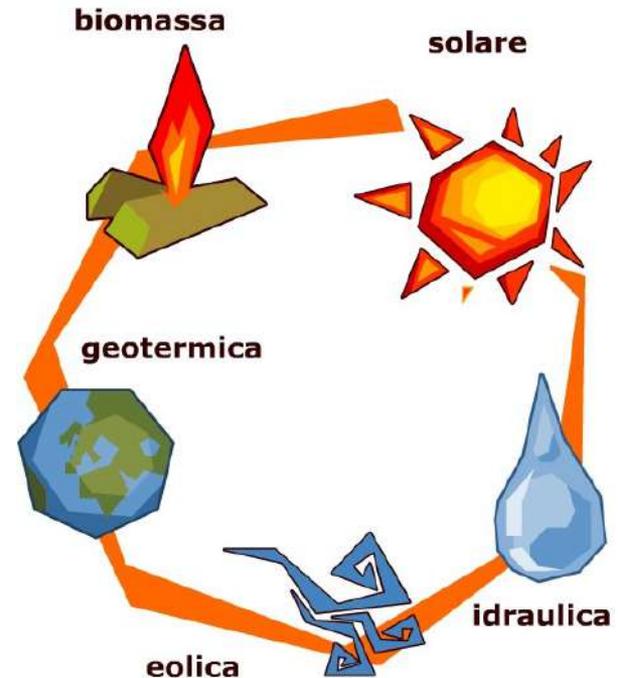


- Ridurre le emissioni di gas serra del 20 %, alzare al 20 % la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili (FER) e portare al 20 % il risparmio energetico il tutto entro il 2020: è questo in estrema sintesi il contenuto del cosiddetto “pacchetto clima-energia 20-20-20” varato dall’Unione Europea nel 2009.
- **FER:** l’obiettivo è quello che tramite queste fonti si produca il 20 % di energia nella copertura dei consumi finali (usi elettrici, termici e per il trasporto). Per raggiungere questa quota, sono definiti obiettivi nazionali vincolanti (17% per l’Italia): nel settore trasporti in particolare almeno il 10% dell’energia utilizzata dovrà provenire da fonti rinnovabili.





- Energia solare:
  - Solare termico e termodinamico
  - Solare fotovoltaico
- Energia eolica
- Energia idroelettrica
- Energia geotermica
- Energia da biomasse:
  - Biomasse solide, biomasse liquide, biogas
  - Biocarburanti
- Energia marina







La Fabbrica della Bioenergia  
Politecnico di Milano  
Polo territoriale di Cremona

[www.fabbricabioenergia.it](http://www.fabbricabioenergia.it)



## CENTRO DI COMPETENZA E LABORATORIO



- La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei **materiali di matrice organica**, costituiti o derivati da organismi vegetali o loro componenti, che possono essere utilizzati direttamente come **combustibili**, ovvero trasformati in altre sostanze combustibili (liquide o gassose) di più facile utilizzo, in **sistemi di conversione** in grado di produrre energia elettrica, termica, meccanica.



- **Coltivazioni energetiche** agricole (es. canna, miscanto, sorgo, oleaginose, etc.) e forestali (es. pioppo, robinia, etc.)
- **Residui** agricoli (es. paglia, stocchi, tutoli, potature) e forestali (es. pulizia dei boschi, del verde pubblico, dell'alveo dei fiumi)
- **Residui** agroindustriali (es. vinacce, sanse, gusci e noccioli) e della lavorazione del legno ed affini
- **Prodotti organici** derivanti dall'attività biologica degli animali e dell'uomo, inclusi gas, reflui e frazioni organiche dei rifiuti



Sansa di olive



Stocchi di mais



Tronchi di legno



Deiezioni animali



FORSU



Cippato di legno



Coltivazione di pioppo



Coltivazione di sorgo da fibra

## SOTTOPRODOTTO

È un sottoprodotto **e non un rifiuto**, qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfa **tutte** le seguenti condizioni

la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;

è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;

la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;

l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

FONTE PROV CR



## IMPLICAZIONI DELLE CONDIZIONI

tutte le condizioni devono essere rispettate

Il prodotto o l'oggetto rappresentano un cascame di produzione, non occasionale ma continuativo e non rappresenta la produzione primaria

Il prodotto può essere utilizzato nello stesso sito o in un altro sito purché con destinazione e utilizzo certo

la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale, senza aggravii ambientali sul sottoprodotto, senza operazione dirette volte a rendere compatibile il sottoprodotto dal punto di vista ambientale e merceologico

utilizzo legale nel rispetto dei requisiti tecnici pertinenti e nel rispetto dell'ambiente

Contratto di fornitura

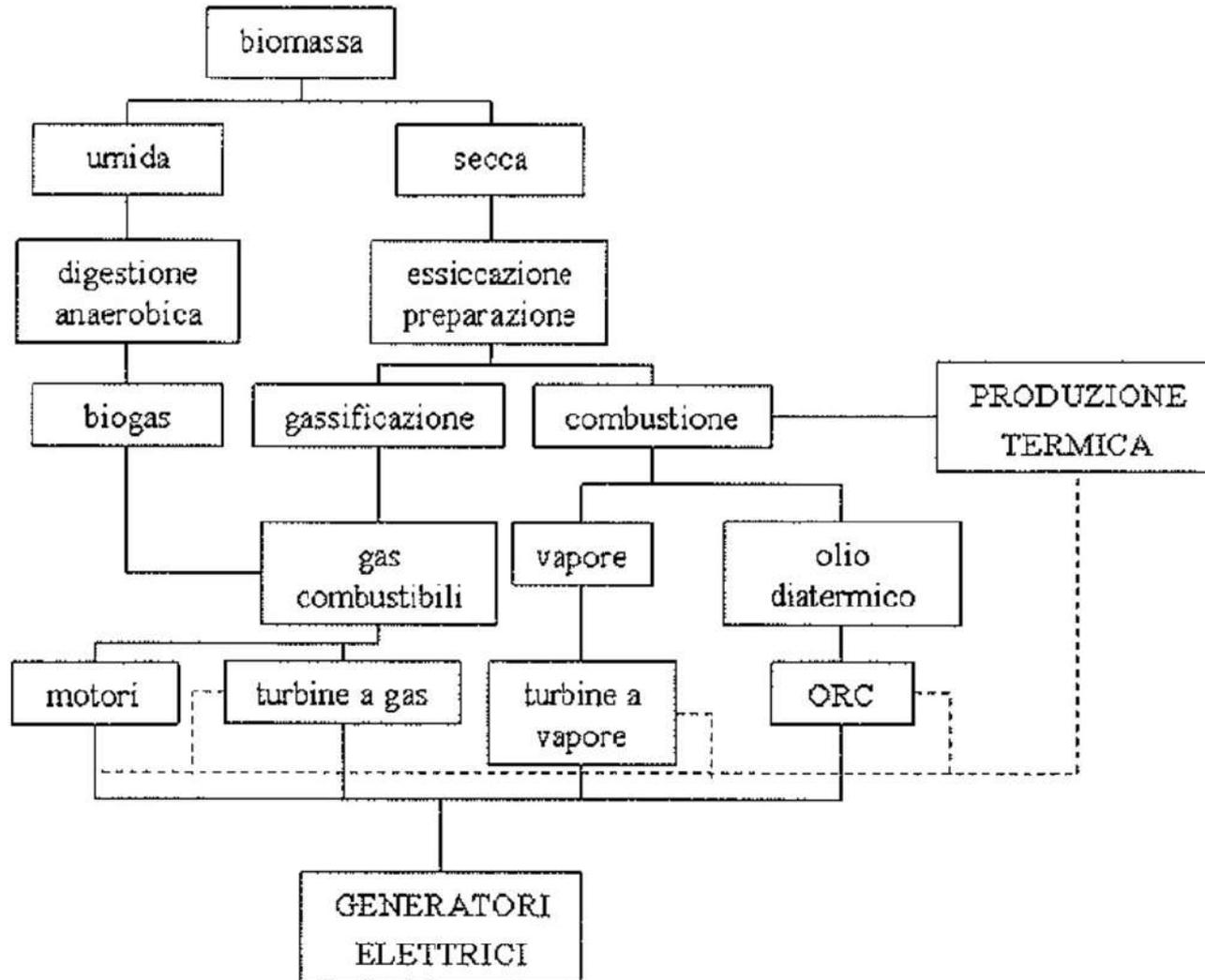
FONTE PROV CR



- Le principali applicazioni *no-food* della biomassa sono:
  - produzione di energia (**biopower**)
  - sintesi di carburanti (**biofuels**)
  - sintesi di prodotti (**bioproducts**)



# Produzione di energia (biopower)





<b>Livello globale</b>	riduzione delle emissioni bilancio CO <sub>2</sub> bilancio energetico biodiversità
<b>Livello nazionale</b>	contributo al fabbisogno energetico costo di produzione dell'energia creazione nuovi posti di lavoro valorizzazione aree agroforestali
<b>Ambiente</b>	conservazione del suolo tutela risorse idriche valori ricreativi e paesaggio
<b>Agricoltura</b>	bilancio economico fabbisogno di lavoro stabilità delle rese flessibilità avvicendamento

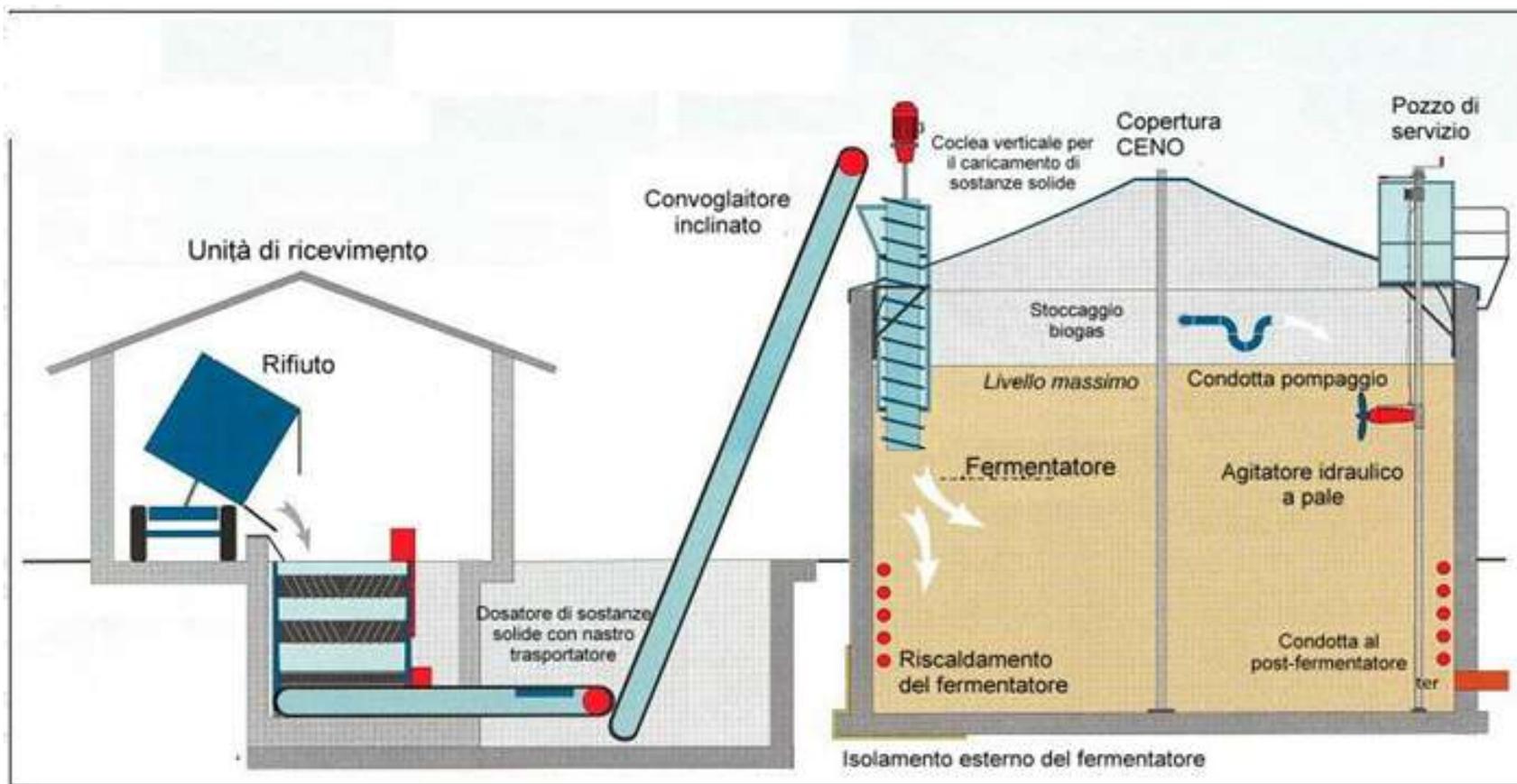
<b>Soggetti coinvolti</b>	<b>Vantaggi</b>
<b>Per le aziende agricole</b>	sviluppo della multifunzionalità, incremento della biodiversità, conservazione della fertilità, maggiore competitività, ecc.
<b>Per il territorio rurale</b>	nuovi posti di lavoro, conservazione delle comunità rurali, valorizzazione dei residui da smaltire, gestione attiva delle foreste
<b>Per la nazione</b>	riduzione delle importazioni di energia, incremento di competitività del sistema, allineamento alle politiche comunitarie
<b>Per l'ambiente</b>	riduzione dell'effetto serra, sequestro del carbonio, riduzione del consumo di petrolio, riduzione emissione composti tossici



- La **digestione anaerobica** è un processo biologico attraverso il quale, in assenza di ossigeno, diverse tipologie di microrganismi, legati in una catena trofica in cui il prodotto di uno stadio di degradazione funge da substrato per lo stadio successivo, degradano la sostanza organica con formazione di biogas e digestato.
- Il biogas prodotto dalla digestione anaerobica può originarsi quindi nelle **discariche controllate**, con un processo di metanizzazione passiva dei rifiuti deposti, oppure in appositi reattori miscelati e riscaldati, detti digestori, atti alla stabilizzazione termochimica di **residui agroindustriali, fanghi di depurazione, frazione organica selezionata dei rifiuti, sottoprodotti e biomasse**.



- L'impianto a biogas è principalmente costituito da un digestore anaerobico ove avviene la fermentazione delle biomatrici e la produzione di biogas





- Via degradativa della sostanza organica (scarti dell'industria agroalimentare, insilati di mais, foraggi, deiezioni animali, rifiuti umidi domestici) che ha luogo **in assenza di ossigeno** sia in forma libera sia legato a molecole inorganiche (principalmente:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  )

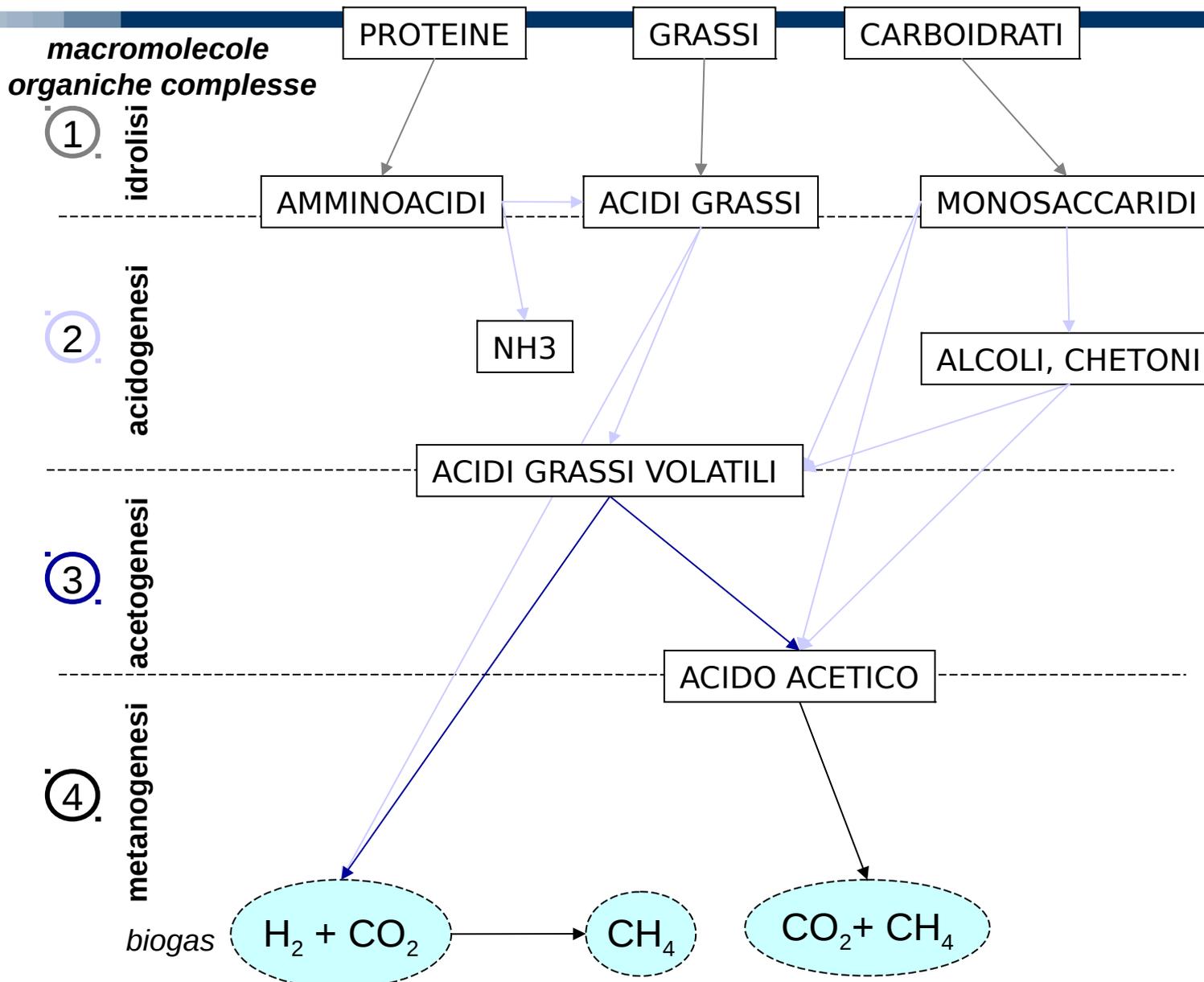


- La trasformazione avviene attraverso fasi successive ed è dovuta ad un complesso consorzio batterico. Nella catena trofica, i prodotti di demolizione di uno stadio sono utilizzati come substrato per lo stadio successivo.



# Cosa fanno i microrganismi?

CATENA TROFICA  
o di 'smontaggio'



**Cos'è:** miscela di diversi gas, la cui composizione è influenzata dalla composizione del substrato alimentato, in prevalenza anidride carbonica e metano

### Composizione media:

COMPONENTE	% IN VOLUME
Metano (CH <sub>4</sub> )	55-60 (50-75)
Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )	35-40 (25-45)
Vapore Acqueo (H <sub>2</sub> O)	2 (20°C) - 7 (40°C)
Idrogeno Solforato (H <sub>2</sub> S)	0,02 - 2%
Azoto (N <sub>2</sub> )	<2
Ossigeno (O <sub>2</sub> )	<2
Idrogeno (H <sub>2</sub> )	<1

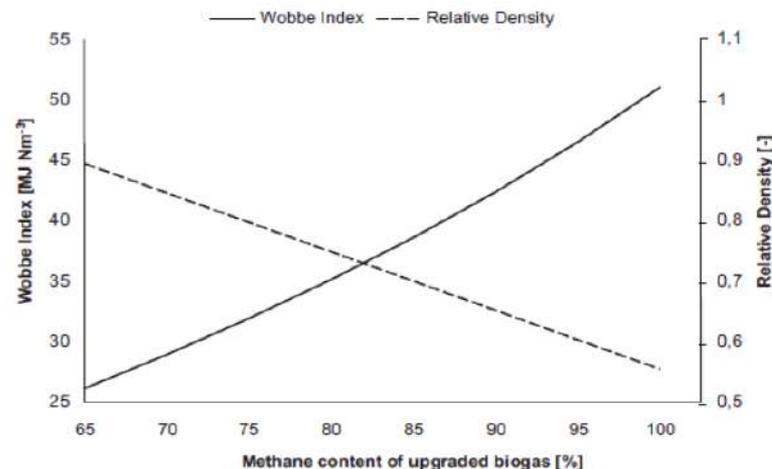
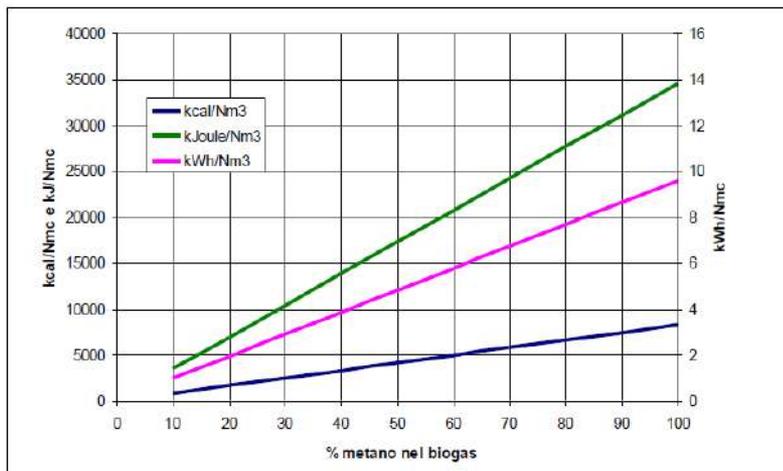
### Produzione di biogas:

Dipende da:

- Natura e degradabilità del substrato
- Condizioni di processo (carichi applicati, tempi di permanenza, condizioni ambientali)



# Caratteristiche calorifiche del biogas



Parametro	Unità di misura	Gas Naturale ( 87% CH <sub>4</sub> ; 1,2% CO <sub>2</sub> ; 11,8% composti in traccia)	Biogas (60% CH <sub>4</sub> , 38% CO <sub>2</sub> , 2% composti in traccia)
PCI	MJ/m <sup>3</sup>	40	21,48
Densità	kg/m <sup>3</sup>	0,84	1,21
Indice di Wobbe	MJ/m <sup>3</sup>	55	19,5

**Indice di Wobbe:** rapporto tra potere calorifico e radice quadrata della densità relativa

**Densità relativa:** rapporto tra densità del gas e densità dell'aria



- L'impianto può essere alimentato con differenti biomatrici, che spesso sono dei residui di altri processi produttivi o di consumo





Substrato		CH <sub>4</sub>		% CH <sub>4</sub> <sup>9</sup>
Tipo	Composizione	gCOD/gSV	(m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /kgSVdegradato)	%CH <sub>4</sub> /(%CH <sub>4</sub> +%CO <sub>2</sub> )
Carboidrati	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	1,19	0,415	50
Proteine	C <sub>5</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	1,42	0,496	50
Lipidi	C <sub>57</sub> H <sub>104</sub> O <sub>6</sub>	2,90	1,014	70
Etanolo	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	2,09	0,73	75
Acetato	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	1,07	0,373	50
Propionato	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	1,51	0,53	58
FORSU	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	1,04	0,542	58
Mais insilato	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	1,06	0,477	53
Siero	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	1,07	0,417	52

## Produzione e composizione teorica di biogas

- Calcolo teorico assumendo che la reazione di trasformazione della sostanza organica sia completa e non vi sia presenza di ossigeno, nitrati o solfati nella matrice di alimento



## Produzione *reale* di biogas:

- La valutazione della produzione di biogas in ***condizioni reali***, è fatta per via sperimentale.
  - **BMP (*Biochemical Methane Potential*, Potenziale Biochimico di Metanizzazione)**: produzione di metano che si osserverebbe per un tempo di degradazione infinito.
- Rappresenta l'equivalente anaerobico del  $BOD_{ultimo}$
- Le metodiche di determinazione del BOD e BMP differiscono nel grado di standardizzazione raggiunto.



## BMP per diverse biomasse:

Matrice	$m_{\text{BIOGAS}}^3 t_{\text{SV}}^{-1}$ alimentati
Fanghi di depurazione civile	<b>250-350</b>
Frazione organica VS dei rifiuti urbani (FORSU)	<b>400-700</b>
Deiezioni animali (suini, bovini, avicunicoli)	<b>200-500</b>
Colture energetiche (mais, sorgo zuccherino, erba, ecc)	<b>550-750</b>
Residui colturali (paglia, colletti di barbabietole, ecc.)	<b>350-400</b>
Scarti organici agroindustriali (siero, scarti vegetali, lieviti, fanghi reflui di distilleria, birrerie, cantine)	<b>400-800</b>
Scarti organici di macellazione (grassi, contenuto stomacale e intestinale, sangue, fanghi di flottazione, ecc.)	<b>550-1000</b>



Stima della produzione di biogas e metano da una matrice:

ESEMPIO DI CONVERSIONE DI UNITÀ DI MISURA:

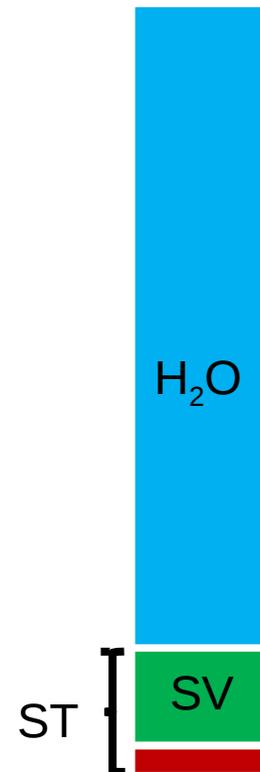
Si consideri un letame bovino avente le seguenti caratteristiche:

- **Umidità** = 85%;
- **SV/ST** = 80%:

Una prova di BMP ha dato il seguente risultato:

- **BMP** =  $0,37 \text{ Nm}^3_{\text{biogas}}/\text{kg}_{\text{SV}}$
- Il contenuto di metano nel biogas è risultato pari al 65%

Calcolare il BMP in  $\text{Nm}^3_{\text{CH}_4}/\text{kg}_{\text{TQ}}$





**Stima della produzione di biogas e metano da una matrice:**

SOLUZIONE

*Dalle caratteristiche del substrato sappiamo che:*

$$1 \text{ kg}_{\text{tq}} = \left(1 - \frac{85}{100}\right) \text{kg}_{\text{ST}} = \left(1 - \frac{85}{100}\right) \times \frac{80}{100} \text{ kg}_{\text{SV}}$$

$$1 \text{ kg}_{\text{tq}} = 0,15 \text{ kg}_{\text{ST}} = 0,12 \text{ kg}_{\text{SV}}$$

*Dalle caratteristiche del biogas sappiamo che:*

$$1 \text{ Nm}^3_{\text{biogas}} = \frac{65}{100} \text{ Nm}^3_{\text{CH}_4} = 0,65 \text{ Nm}^3_{\text{CH}_4}$$

*Convertendo quindi:*

$$0,37 \frac{\text{Nm}^3_{\text{biogas}}}{\text{kg}_{\text{SV}}} \times 0,12 \frac{\text{kg}_{\text{SV}}}{\text{kg}_{\text{tq}}} \times 0,65 \frac{\text{Nm}^3_{\text{CH}_4}}{\text{Nm}^3_{\text{biogas}}} = 0,029 \frac{\text{Nm}^3_{\text{CH}_4}}{\text{kg}_{\text{tq}}}$$



- Il biogas da digestione anaerobica di fanghi di depurazione e della frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) è caratterizzato dalla presenza di composti organici volatili (VOC):
  - Con la FORSU due sono le sostanze presenti in maniera dominante, p-cimene e d-limonene; insieme sono presenti in percentuale del 90% su tutti i VOC
  - Con i fanghi sono presenti 50-70 idrocarburi, tra i quali risultano dominanti l'idrocarburo lineare undecano ma anche decano, dodecano, nonano, tridecano e molti idrocarburi ramificati con 9-13 atomi di carbonio
- I silossani sono prevalentemente presenti nel biogas da fanghi di depurazione per il loro largo impiego in cosmesi e nella pulizia



Parametro	Unità di misura	Biogas da FORSU	Biogas da fanghi di depurazione
CH <sub>4</sub>	vol %	50 – 77 <sup>1</sup> 55 - 65 <sup>2</sup> 68 <sup>4</sup> 50 – 75 <sup>4</sup>	55-65 <sup>4</sup>
CO <sub>2</sub>	vol %	19 – 45 <sup>1</sup> 35 - 45 <sup>2</sup> 26 <sup>4</sup>	19-45 <sup>4</sup>
N <sub>2</sub>	vol %	0 – 5 <sup>1</sup> < 1 <sup>2</sup>	<2 <sup>4</sup>
O <sub>2</sub>	vol %	0 - 1 <sup>1</sup>	<1 <sup>4</sup>
H <sub>2</sub> S	ppm	63 – 3000 <sup>1</sup> 10 - 40 <sup>2</sup> 10-2000 <sup>3</sup> 280 <sup>4</sup> < 21,500 <sup>4</sup>	700 – 2800 <sup>4</sup> 150 – 3000 <sup>4</sup> 63 <sup>4</sup>
H <sub>2</sub> O	vol%	100%	100%
Composti alogenati	mg/m <sup>3</sup>	100-800	-
Siloxani	ppmv	0-50	2 – 15 <sup>4</sup> 1.5 – 10,6 <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Arrhenius & Johansson, 2012; <sup>2</sup> Persson, 2003; <sup>3</sup> Osorio & Torres 2009; <sup>4</sup> DTI 2012

Caratteristiche del biogas da fanghi e forsu



- Le biomasse agricole sono costituite dalla frazione biodegradabile dei prodotti, sotto-prodotti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura
- Le biomasse agricole maggiormente utilizzate sono costituite dagli insilati di colture energetiche in co-digestione con reflui zootecnici
- Tipici sottoprodotti agro-industriali sono il siero di latte, gli scarti dall'industria casearia, dalla lavorazione del pomodoro, dai macelli ed altri ancora
- Il biogas prodotto con queste tipologie di substrati ha maggiori concentrazioni di  $H_2S$ , sono inoltre facilmente presenti tracce di pesticidi e farmaci



Parametro	Unità di misura	Biogas da agro-zootecnia e agro-industria
CH <sub>4</sub>	vol %	50 - 75 <sup>1</sup> 60 - 70 <sup>2</sup>
CO <sub>2</sub>	vol %	26 - 60 <sup>1</sup> 30 - 40 <sup>2</sup>
N <sub>2</sub>	vol %	1-40 <sup>1</sup> < 1 <sup>2</sup>
O <sub>2</sub>	vol %	0 - 5 <sup>1</sup>
H <sub>2</sub> S	ppm	280 - 20000 10 - 2000 <sup>2</sup>
H <sub>2</sub> O	vol%	100%
Composti alogenati	mg/m <sup>3</sup>	1 - 800
Siloxani	ppmv	0,1 - 4

<sup>1</sup> Arrhenius & Johansson, 2012; <sup>2</sup> Persson, 2003

Caratteristiche del biogas da agrozootecnia e agroindustria



# Schema impianto a biogas





# Schema impianto a biogas

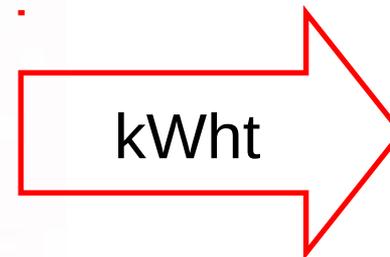
37

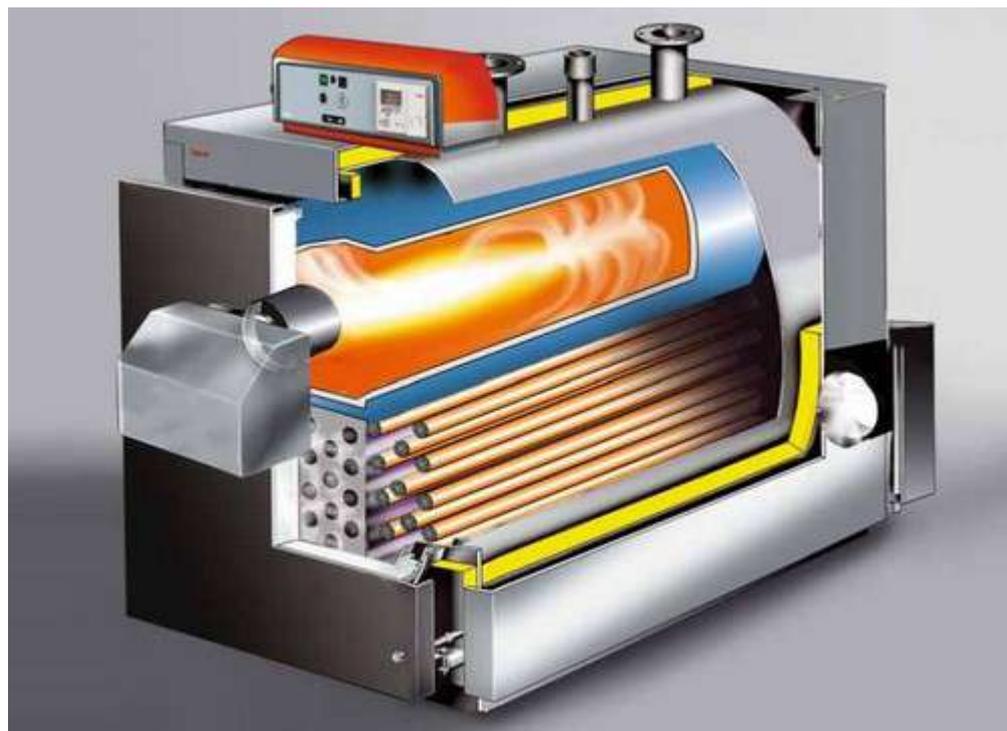
















- Processo di produzione del biometano a partire da matrici organiche animali o vegetali:
  - **Pre-trattamento** – questa fase comprende qualsiasi tecnica di selezione, triturazione e miscelazione della materia prima (sostanza organica) per renderla più adatta possibile al digestore
  - **Digestione anaerobica** – è il processo principale durante il quale la sostanza organica è trasformata in biogas e digestato che è il residuo finale del processo
  - **Raffinazione** – questo è il processo in cui il biogas grezzo è trasformato in un combustibile ad alto contenuto di metano ( $\geq 95\%$ ) eliminando la CO<sub>2</sub> ed altre impurità e contaminanti



---

# Alessandro Casula

[alessandro.casula@polimi.it](mailto:alessandro.casula@polimi.it)