

# PRODUZIONE BIOGAS

## ASPETTI MODELLISTICI

- Ruolo importante soprattutto in fase di progettazione, VIA
- Classificazione modelli sulla base di:
  - disponibilità di dati e livello di conoscenza del sistema
  - considerazione o meno evoluzione temporale del sistema
  - modalità di rappresentazione del fenomeno

- ♦ **MODELLI STATISTICI**
  - grande disponibilità di dati
  - descrizione caratteristiche input ed output
  - nessuna conoscenza del sistema
  - nessuna relazione causa-effetto
- ♦ **MODELLI STOCASTICI**
  - grande disponibilità di dati
  - relazioni causa-effetto (lega probabilisticamente input ed output)
  - nessuna conoscenza del sistema, non conosce i fenomeni che portano ai legami di cui sopra
  - sistemi black-box
- ♦ **MODELLI DETERMINISTICI**
  - richiede la conoscenza del sistema
  - descrizione meccanismi sistema con equazioni matematiche semplici o complesse

### Modelli produzione biogas generalmente deterministici

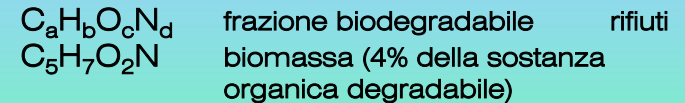
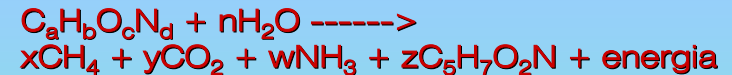
- **MODELLI DETERMINISTICI STATICI**
  - relazione istantanea input-output
  - evoluzione temporale dei processi non considerata
- **MODELLI DETERMINISTICI DINAMICI**
  - considerano evoluzione temporale dei processi che dall'input portano all'output

- ♦ **MODELLI EMPIRICI**
  - sistemi black box
  - relazione matematica tra input ed output basata su elaborazione probabilistica di dati statistici (es. percolato = 0,3 precipitazione)
- ♦ **MODELLI STECHIOMETRICI**
  - basati su una reazione stechiometrica globale
  - rifiuti rappresentati da una formula generale
  - produzioni di biogas elevate
- ♦ **MODELLI BIOCHIMICI**
  - considera le differenti componenti dei rifiuti in termini di diversa biodegradabilità
- ♦ **MODELLI ECOLOGICI**
  - interrelazioni complesse tra componenti ecosistema

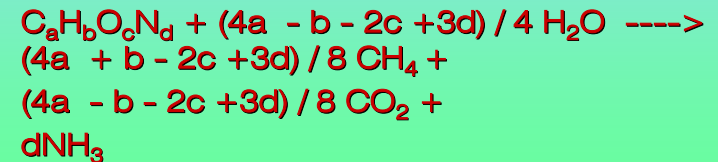
## Struttura modello

- ◊ SOTTOMODELLO STECHIOMETRICO
  - massima quantità di biogas da unità di massa di substrato
  - modello statico
- ◊ SOTTOMODELLO CINETICO
  - evoluzione temporale della produzione di biogas
  - modello dinamico
  - generalmente deterministico: degradazione delle varie frazioni
  - a volte ecologico: evoluzione dinamica substrato, biomassa, parametri di influenza
- ◊ SOTTOMODELLO DIFFUSIVO
  - variazioni temporali e spaziali pressione in discarica e composizione biogas
  - modello dinamico

## ◊ REAZIONE STECHIOMETRICA GENERALE



Trascurando la conversione in biomassa



1 mole C org. = 1 mole (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>)

1 mole C org. = 1 mole (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>)

a 0° C e 1 atm:

1 mole C = 22,4 l (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>)

in peso:

1 g C = 1,867 l (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>)

produzione max di biogas da C organico

CH<sub>4</sub> = 0,55-0,6 1,867 l

## ◊ CONTENUTO CARBONIO ORGANICO NEI RIFIUTI (Sottomodello Chimico-fisico)

per componente *i*-esima

$$(CO_b)_i = C_i \cdot f_b \cdot (1 - u_i) p_i \quad (\text{kg C/kg RSU})$$

$C_i$  = C organico componente *i* (kg C/kg *i* secco)

$f_b$  = frazione  $C_i$  biodegradabile (%)

$u_i$  = umidità componente *i* (% su peso umido)

$p_i$  = peso umido del componente *i* (kg *i* umido/kg RSU)

$f_b$  proporzionale al contenuto di lignina

$f_b = 0,83 - 0,028 LC$  (% sui SV)

LC: contenuto lignina dei SV

	$u_i$ (kg / kg i umida)	$CO_i$ (kg C / kg i secca)	$f_{bi}$
Alimentari	0,6	0,48	0,8
Rifiuti giardino	0,5	0,48	0,7
Carta e cartone	0,08	0,44	0,5
Plastica e gomma	0,02	0,7	0,0
Tessuti	0,1	0,55	0,2
Legno	0,2	0,5	0,5

	SV (% ST)	LC (% SV)	$f_{bi}$ (% SV)
Alimentari	7-15	0,4	0,82
Giornali	94	21,9	0,22
Carta ufficio	96,4	0,4	0,82
Cartone	94	12,9	0,47
Rifiuti giardino	50-90	4,1	0,72

## ♦ CARBONIO ORGANICO EFFETTIVAMENTE BIOGASSIFICABILE

proporzionale alla temperatura

$$(CO_{eb})_i = (CO_{bi})_i \cdot (0,014 T + 0,28)$$

(kg C/kg RSU)

in realtà T dovrebbe influenzare maggiormente la cinetica

## ♦ PRODUZIONE BIOGAS

$$Y_i = 1,867 (CO_{eb})_i \quad (m^3 / kg RSU)$$

## ♦ CINETICA DI PRODUZIONE

(Sottomodello Bio-chimico)

Tasso e durata della produzione  
Espressione generale

$$dC / dt = f(t, C^n)$$

C: substrato biogassificabile o biogas generato  
n: ordine della cinetica

Primo ordine:

maggioranza dei casi (anche se altri fattori hanno influenza: temperatura, umidità, pezzatura)

Ordine zero:

rateo di produzione indipendente da substrato rimasto o gas generato  
Ipotizzabile per fase più attiva della produzione

$$\frac{d(CO_g)_i}{(CO_e)_i - (CO_g)_i} = k_i \cdot dt$$

$(CO_g)_i$ : carbonio organico gassificato  
(kg C/kg RSU umido)

$(CO_{eb})_i$ : quantità di carbonio organico effettivamente biogassificabile  
(kg C/kg RSU umido)

$k_i$ : costante di biodegradazione globale (da idrolisi a gassificazione completa) componente  $i$  (anni)<sup>-1</sup>  
andrebbe corretto in funzione di T

t: tempo (anni)

$$a_i = (u_i)/(u_s)$$

rapporto fra umidità effettiva e di saturazione

$$b_i = (SR_i)/(SR_{max})_i$$

$(SR)_i$  = superficie reattiva del componente  $i$  nelle effettive condizioni di deposito ( $m^2$ )

$(SR_{max})_i$  = superficie reattiva massima del componente  $i$  ( $m^2$ )

$$k_{ie} = a_i \cdot b_i \cdot k_i$$

Per semplicità tre sole frazioni:

- rapidamente biodegradabili
  - mediamente biodegradabili
  - lentamente biodegradabili
- ognuna con diverso  $k$

$$k = \ln 2 / t_{50}$$

$t_{50}$ :  $t$  per ridurre del 50% la sostanza organica biodegradabile

Sperimentalmente:

- rapidamente biodegradabile:

$$t_{50} = 1 \text{ anno}; \quad k_1 = 0,693 \text{ anni}^{-1}$$

- mediamente biodegradabile:

$$t_{50} = 5 \text{ anni}; \quad k_2 = 0,139 \text{ anni}^{-1}$$

- lentamente biodegradabile:

$$t_{50} = 15 \text{ anni}; \quad k_3 = 0,046 \text{ anni}^{-1}$$

♦ Produzione biogas ( $m^3/t_{RSU}$ )

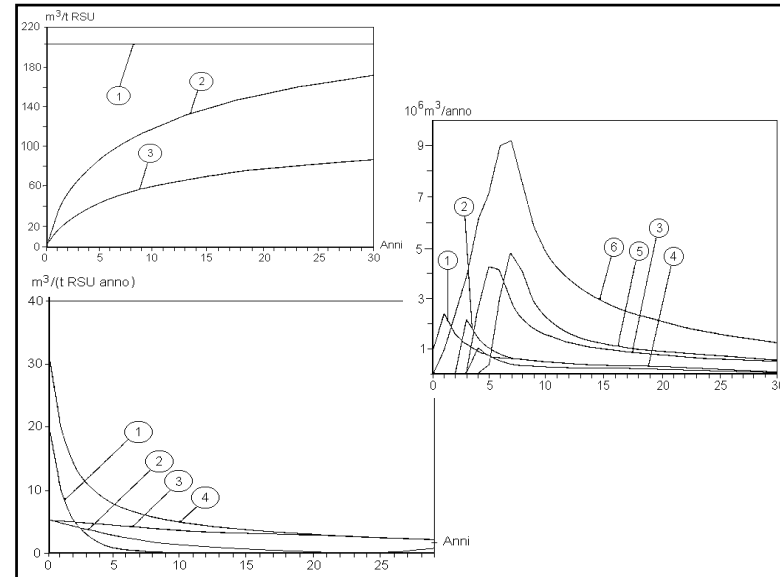
$$G_t = \sum_{i=1}^3 1,868 (CO_e)_i (1 - e^{-k_{ie}t})$$

♦ Produzione massima teorica ( $t = \infty$ )

$$G_{max} = \sum_{i=1}^3 1,868 (CO_e)_i$$

♦ Produzione specifica ( $m^3/t_{RSU} \times \text{anno}$ )

$$g = \frac{dG}{dt} = \sum_{i=1}^3 1,868 (CO_e)_i k_{ie} \cdot e^{-k_{ie}t}$$



## TEMPO DI GENERAZIONE

10 - 30 anni

4 anni            climi molto umidi  
50 anni          climi molto secchi

## LAG TIME

da poche settimane a 1 anno

## RANGE DI ERRORE

30%

anche 10%

parlare sempre in termini di probabilità

## INCERTEZZE E PUNTI DELICATI

Stima di  $k$  e  $CO_b$  più che ordine della cinetica

	$u_i$	$u_{s,i}$	$C_i$	$f_b$	$a_i$
Res.al.	0,6	0,7	0,48	0,8	0,86
Res.veg.	0,5	0,6	0,48	0,7	0,83
Carta	0,08	0,7	0,44	0,5	0,14
Plastica	0,02	0,04	0,7	0	--
Tessili	0,1	0,5	0,55	0,2	0,2
Legno	0,2	0,2	0,5	0,5	1
Vetro	0,03	0,04	0	0	--
Metalli	0,03	0,04	0	0	--

$$\alpha_i = (u_i)/(u_{s,i})$$

rapporto fra umidità effettiva e di saturazione

$$\beta_i = (SR)_i / (SRmax)_i = 0-1$$

$(SR)_i$  = superficie reattiva del componente  $i$  nelle effettive condizioni di deposito ( $m^2$ );

$(SRmax)_i$  = superficie reattiva massima del componente  $i$  ( $m^2$ ).

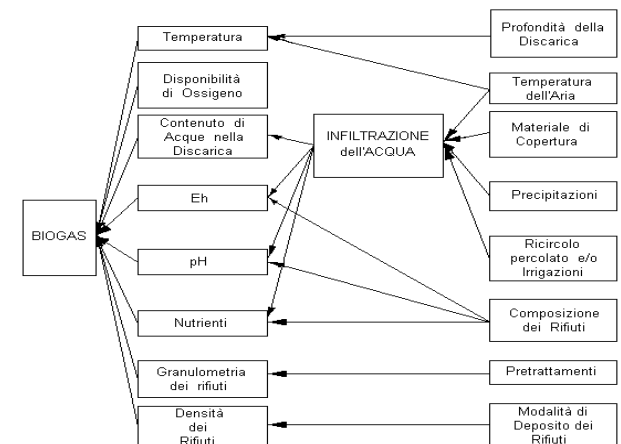
## BIOGAS: PRODUZIONE E GESTIONE

Prodotto della degradazione anaerobica della frazione organica biodegradabile dei rifiuti

GAS	CONCENTRAZIONI USUALI
metano	(0-45) 45-65 % vol
anidride carbonica	(55-80) 35-55 % vol
monossido di carbonio	(<1) 0% vol
idrogeno	(0-30) 0% vol
idrogeno solforato	<50 ppm
mercaptani	<50 ppm
tricloroetilene	<50 ppm
tetraclometilene	<50 ppm
carbonio tetracloruro	<5 ppm
cloruro di vinile	<20 ppm
vapor acqueo	2-4 % vol
ossigeno	(<20) 0 % vol
azoto	(<80) 0 % vol
argon	<1% vol
altri in tracce	<1% vol

Tra parentesi valori anomali (degradazione instabile, infiltrazioni d'aria).

## Produzione: fattori di influenza



## Produzione: fattori di influenza

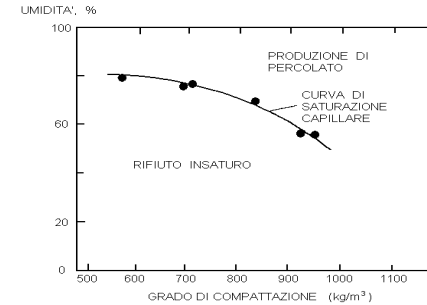
Componente	Range	Contenuto di acqua		
		Media	Capacità di campo	
Rif. Alim.	50-70		60	70
Carta	4-12	8		70
Cartone	4-10	7		70
Plastica	1-4	2		4
Tessuti	6-15	10		50
Gomma	1-4	2		4
Cuoio	8-12	10		50
Res. Veg.	30-60		50	60
Legno	1-4	2		20
Vetro	2-4	3		4
Lattine	2-4	3		4
Met non fer.	2-4	2		4
Met. Ferr.	2-4	3		4

Umidità: idrolisi, mezzo di diffusione e contatto substrato-batteri-nutrienti

## Produzione: fattori di influenza

Compattazione rifiuti: effetti contrastanti perché all'aumentare del grado di compattazione dei rifiuti:

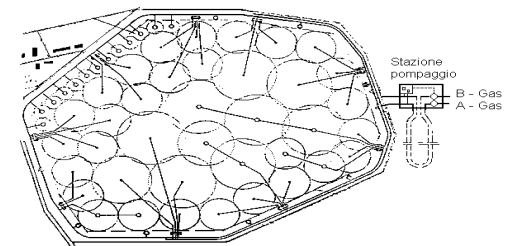
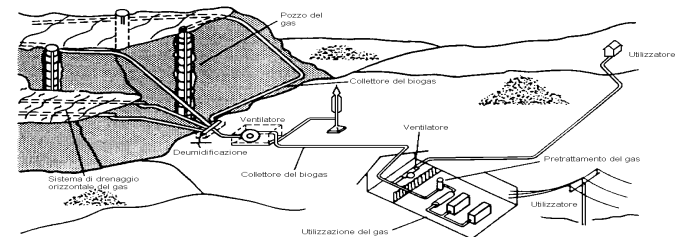
- la capacità di campo dei rifiuti varia
- la superficie totale reattiva della frazione solida diminuisce.



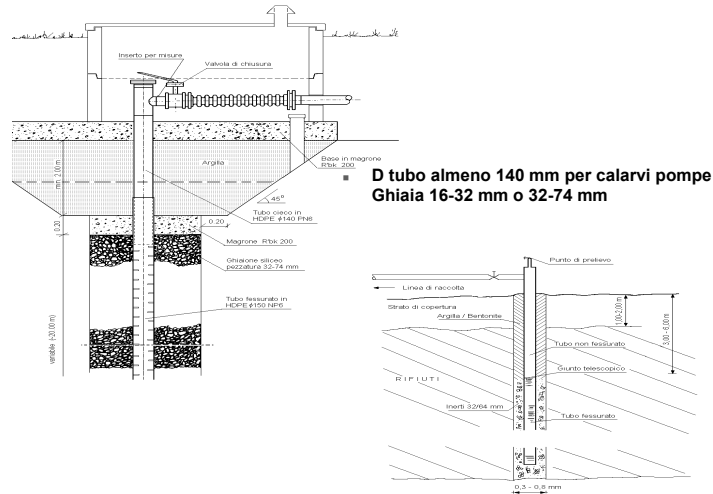
## Produzione: fattori di influenza

- **Temperatura:** influenza la velocità di tutti i processi biologici, provocando possibili alterazioni della composizione della popolazione batterica. Ottimale: 40÷45°C.
- **Pezzatura rifiuti:** effetti contrastanti. La riduzione della pezzatura aumenta la superficie reattiva e favorisce l'idrolisi ma anche la formazione di acidi grassi volatili. Inoltre influisce sulla densità con gli effetti già considerati.

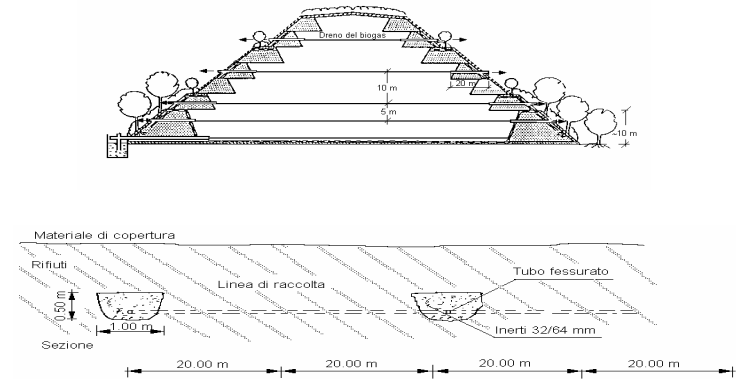
## Drenaggio e captazione



## Drenaggi verticali



## Drenaggi orizzontali

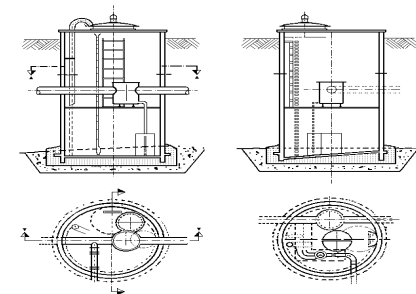


## Linee di trasporto

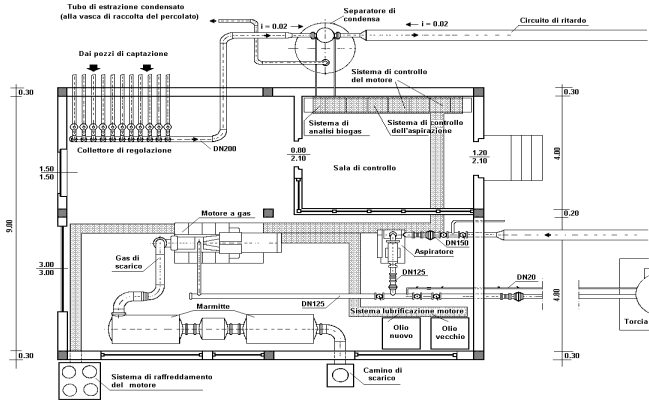
- Primo tratto della condotta con pendenza del 5% (prudenziale) circa verso la testa del pozzo.  
 Stessa pendenza al resto della tubazione in direzione della condotta perimetrale di trasporto  
 Pendenza condotta perimetrale: 1%.
- Valori di velocità del gas per dimensionamento tubazioni:
  - $< 5 \text{ m s}^{-1}$  per trasporto in controcorrente al flusso della condensa;
  - $< 10 \text{ m s}^{-1}$  per trasporto del gas in equicorrente al flusso della condensa o con l'utilizzo frequente di separatori di condensa;
 valori più elevati comportano perdite di carico troppo elevate e danni alle tubazioni causa vibrazioni indotte

## Pretrattamenti

Separazione condensa: la temperatura del gas è circa  $30^\circ\text{C}$  con un'umidità relativa del 100%.  
 Il raffreddamento del gas provoca la condensazione di acqua già nei collettori di aspirazione, che può ostruire le condotte e provocare altri danni.

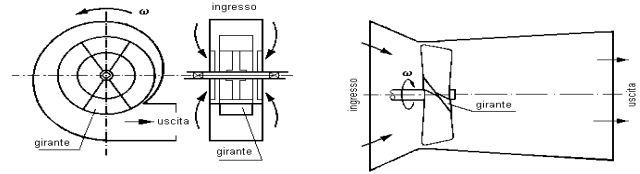


# Stazione finale

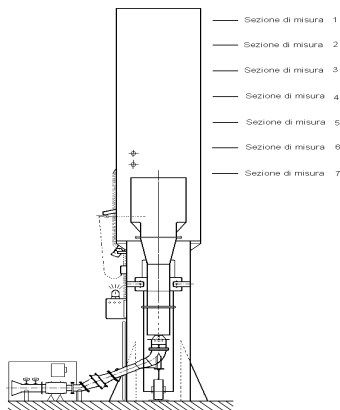


# Aspirazione

- Si mantiene una depressione in testa ai pozzi compresa tra -5 e -20 mbar
- Aspiratori, di costruzione antideflagrante:
  - ventilatori radiali
  - ventilatori assiali (o elicoidali)



# Combustione



# Recupero energetico

- Motori: sistema più diffuso di utilizzo del biogas. Rendimento complessivo della generazione di energia elettrica con motori a gas inferiore al 30%, per un PCI del gas al 50% di  $\text{CH}_4$  di  $18.000 \text{ kJ/m}^3$  (ossia  $4,5 \text{ kWh/m}^3$ ) è possibile ottenere circa  $1,3 \text{ kWh}$  elettrici.
- Limiti:
  - costanza di portate e pressioni di alimentazioni;
  - depurazione preliminare di talune sostanze, particolarmente i composti alogenati e solforati per evitare corrosione;
  - osservanza dei limiti della normativa riguardante le emissioni gassose in atmosfera.