



SARDEGNA
RICERCHE

Energia da Biomasse e Biocombustibili in Sardegna

**Lo stato dell'arte della ricerca
scientifica nel settore delle
biomasse: *i processi di
digestione anaerobica***

Antonio Lallai



Dipartimento di Ingegneria Chimica
Università degli Studi di Cagliari

Cagliari, 25 Novembre 2008

La Fase B del progetto

I processi di digestione anaerobica

- ✓ Indagine sullo stato dell'arte della ricerca scientifica nel settore della digestione anaerobica.
- ✓ Determinazione delle attività generali da sviluppare nel settore della digestione anaerobica per una efficace ricaduta sul territorio.

Gruppo di Lavoro UNICA:

Prof. Vincenzo Solinas

Dott. Andrea Salis

Dott.ssa Marcella Pinna

Prof. Antonio Lallai

Prof. Giampaolo Mura

Dott.ssa M. Cristina Pinna

Prof. Daniele Cocco

Prof. Giorgio Cau

Dipartimento di Scienze Chimiche

Dipartimento di Ingegneria Chimica e Materiali

Dipartimento di Ingegneria Meccanica

Che cos'è la digestione anaerobica?

**Materiale
organico**

**microrganismi
anaerobici**

biogas

.. in assenza di ossigeno

...è il processo di decomposizione della sostanza organica realizzato da numerosi ceppi batterici che operano in un ambiente in cui è assente l'ossigeno. La sostanza organica viene trasformata in un gas (*biogas*) costituito principalmente da metano (CH_4) e anidride carbonica (CO_2).

Che cos'è la digestione anaerobica?

**Materiale
organico**

**microrganismi
anaerobici**

biogas

.. in assenza di ossigeno

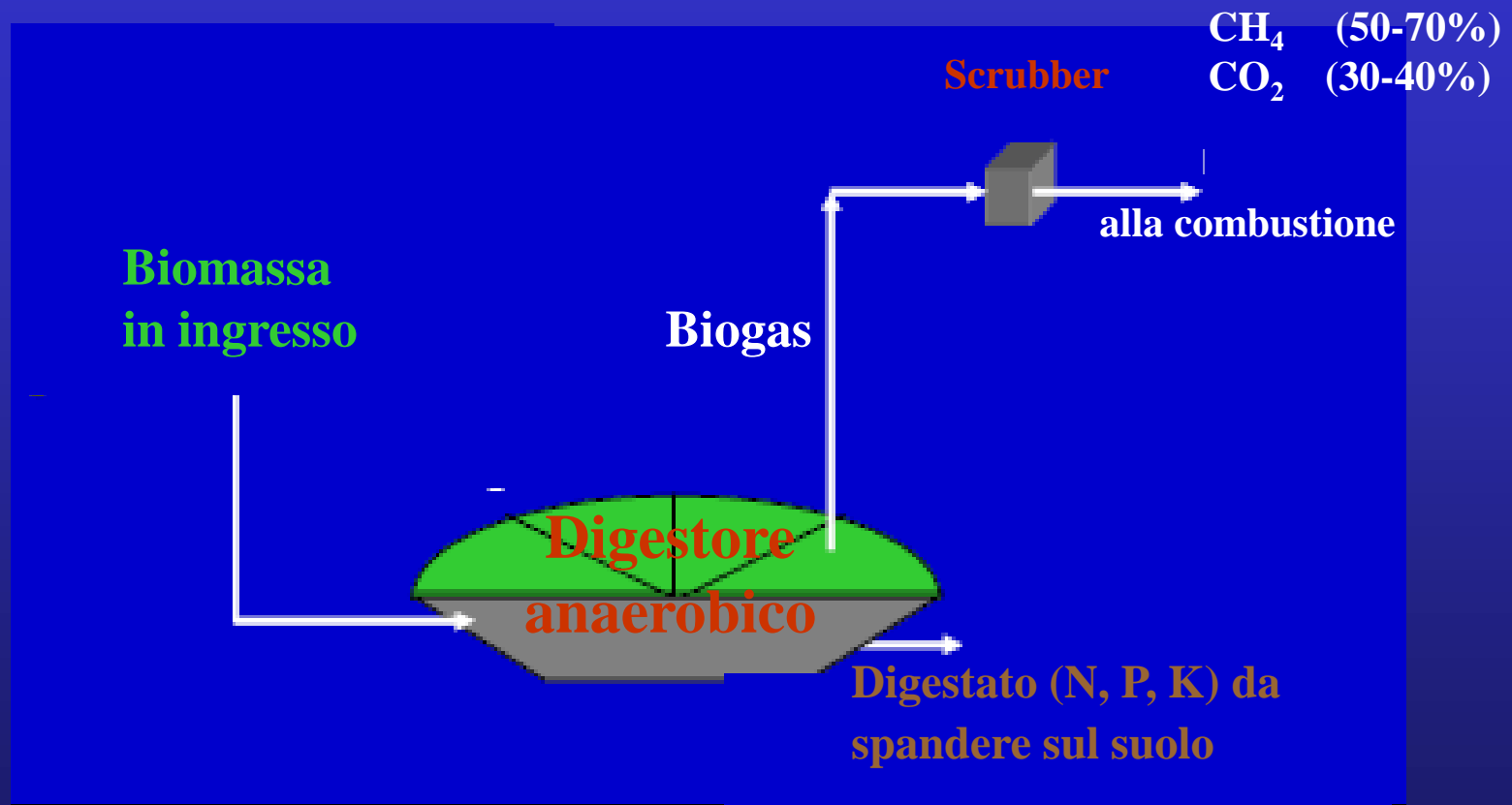
***Composizione
del biogas***

Metano	50-70 %
Anidride carbonica	30-40 %
Idrogeno	5-10 %
Azoto	1-2 %
Vapore acqueo	0.3 %
Idrogeno solforato	Tracce

1 m³ di biogas è equivalente a.....

- 3.47 kg di legno
- 0.62 litri di kerosene
- 0.61 litri di diesel
- 1.5 kg di carbone
- 0.45 kg di GPL
- 0.5 kg di butano

.... è concettualmente semplice_{1/2}



....biogas was first used for heating bath water in Assyria during the 10th century BC!

.... è concettualmente semplice^{2/2}

- Il metano del biogas può essere usato come combustibile per produrre calore ed e.e., acqua calda o vapore
- Dato il bilancio energetico positivo, del processo di digestione anaerobica e di combustione del metano, il biogas può essere considerato una fonte di energia, pulita e rinnovabile, per l'ampia disponibilità esistente della sostanza organica

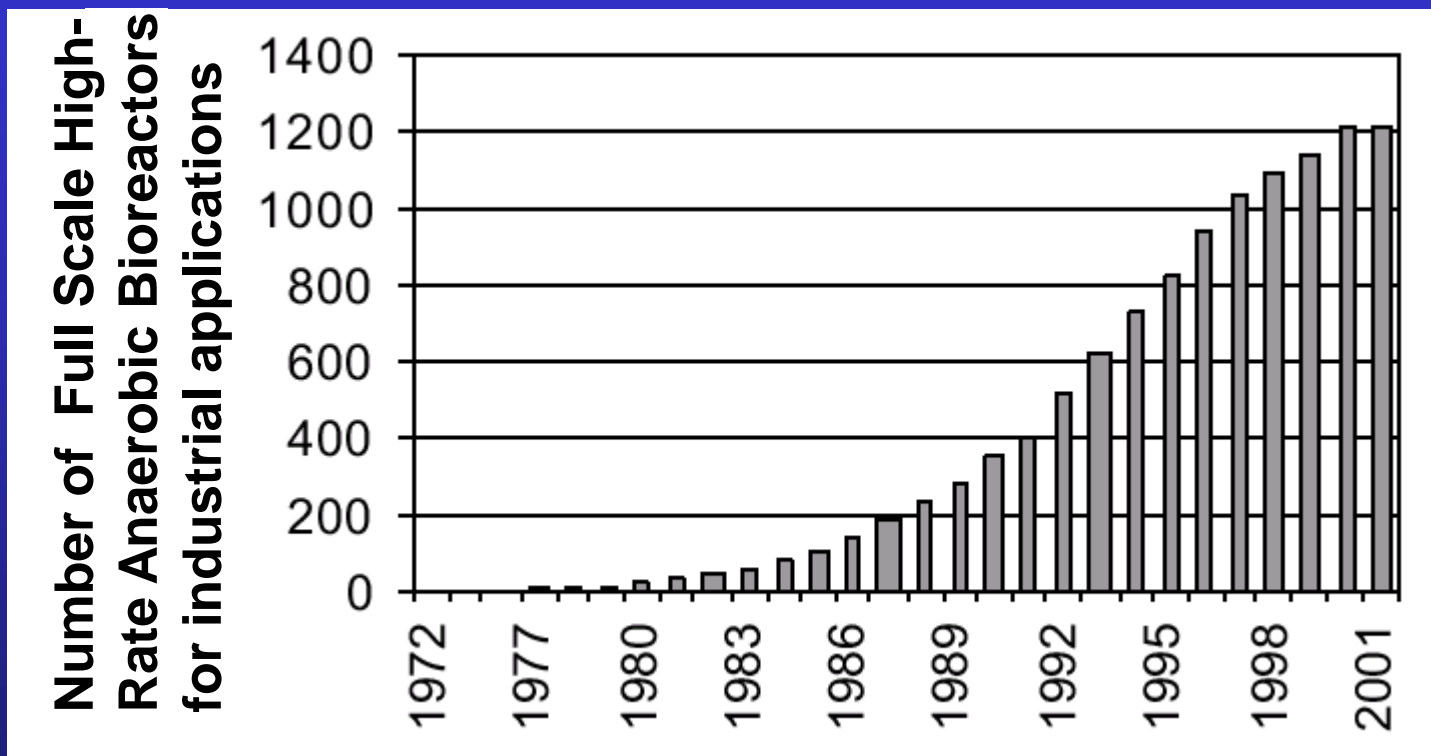


Reflui, materiali e colture avviabili alla DA

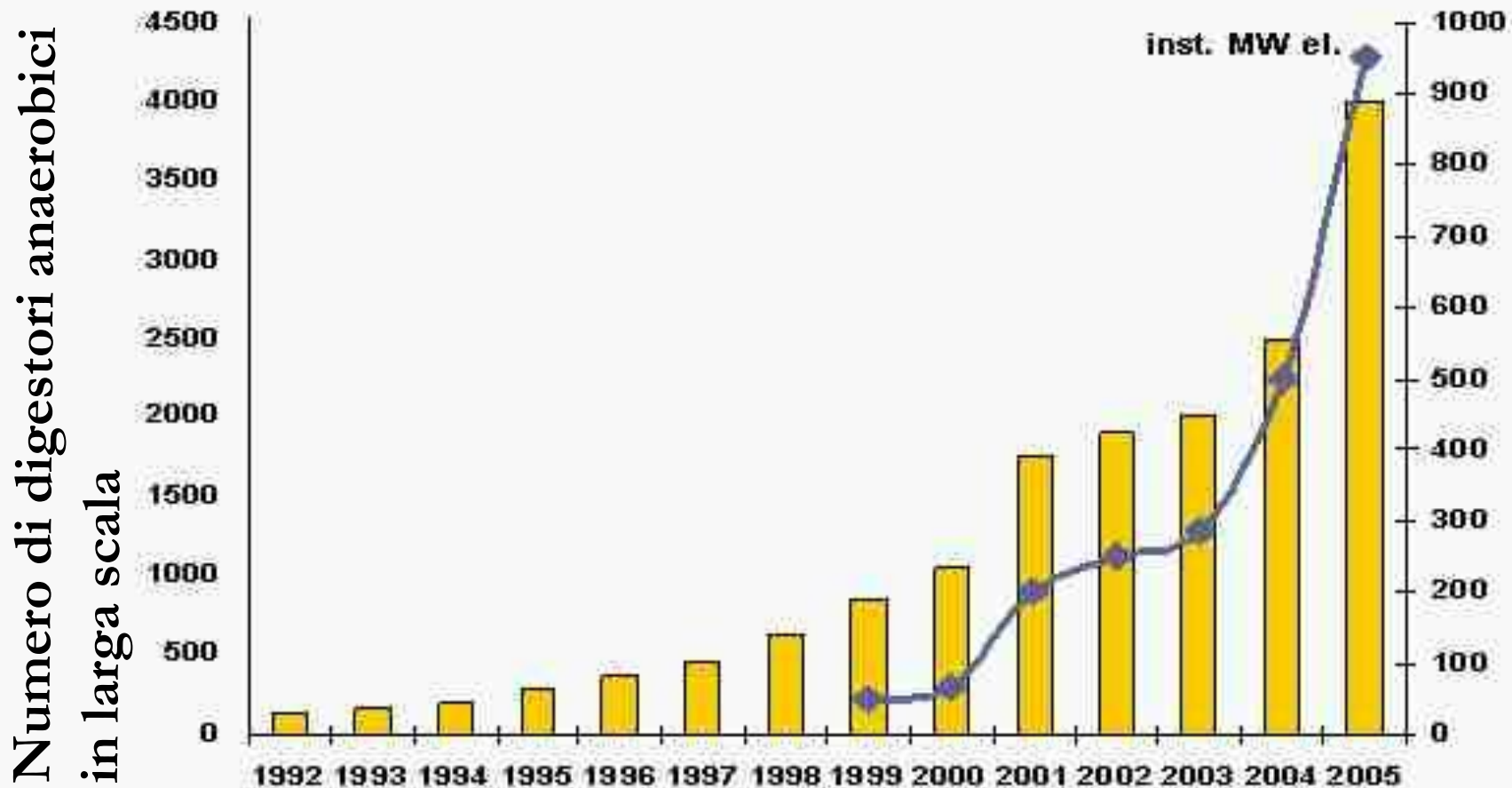
- **Deiezioni animali** (suini, bovini, avi-cunicoli)
- **Residui colturali** (paglia, collietti barbabietole..)
- **Scarti organici dell'agroindustria** (siero, scarti vegetali, lieviti, fanghi e reflui di distillerie, birrerie e cantine..)
- **Scarti organici di macellazione** (grassi, contenuto stomacale ed intestinale, sangue, fanghi di flottazione...)
- **Fanghi di depurazione**
- **Frazione organica rifiuti solidi urbani**
- **Colture energetiche** (mais, sorgo zuccherino...)
- **Reflui acquosi industriali** (carta e cartone, industria chimica..)
- **Acqua di falde contaminate**



Successo della Digestione anaerobica negli USA



Successo della Digestione anaerobica in Germania



Benefici e vantaggi_{1/2}

Ambientali

- Trattamento di stabilizzazione anaerobica dei fanghi di depurazione: *minor consumo di O_2 (e quindi minor produzione di CO_2) e minor produzione di solidi rispetto ai processi aerobici*



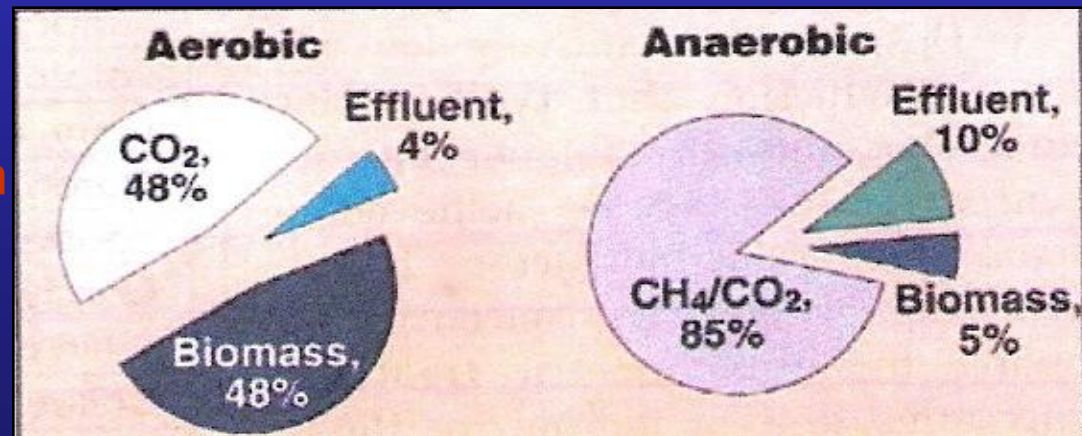
Benefici e vantaggi_{1/2}

Ambientali



- Trattamento di stabilizzazione anaerobica dei fanghi di depurazione: *minor consumo di O_2 (e quindi minor produzione di CO_2) e minor produzione di solidi rispetto ai processi aerobici*

Emissioni evitate di gas serra

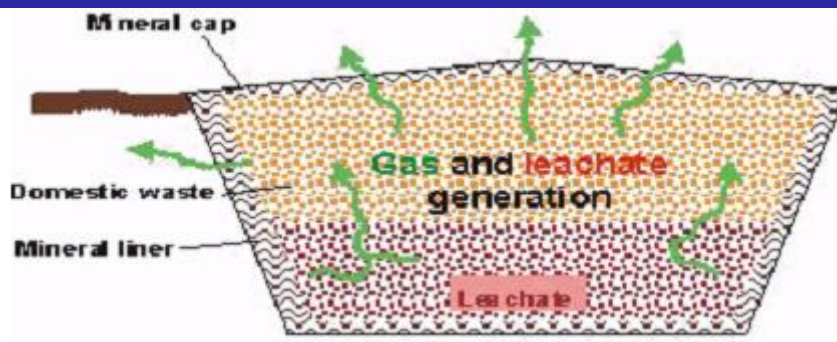


Benefici e vantaggi_{1/2}

Ambientali



- Trattamento di stabilizzazione anaerobica dei fanghi di depurazione: *minor consumo di O_2 (e quindi minor produzione di CO_2) e minor produzione di solidi rispetto ai processi*



- Riduzione delle emissioni di metano incontrollato dalle discariche di RSU e delle sostanze odorigene;
- Minor richiesta di “volumi” di territorio da adibire a discarica per RSU

Benefici e vantaggi_{2/2}

Igienici

- La riduzione della presenza dei microrganismi patogeni nel digestato e dei moscerini negli ambienti di stoccaggio e durante la fertirrigazione o lo spandimento del digestato



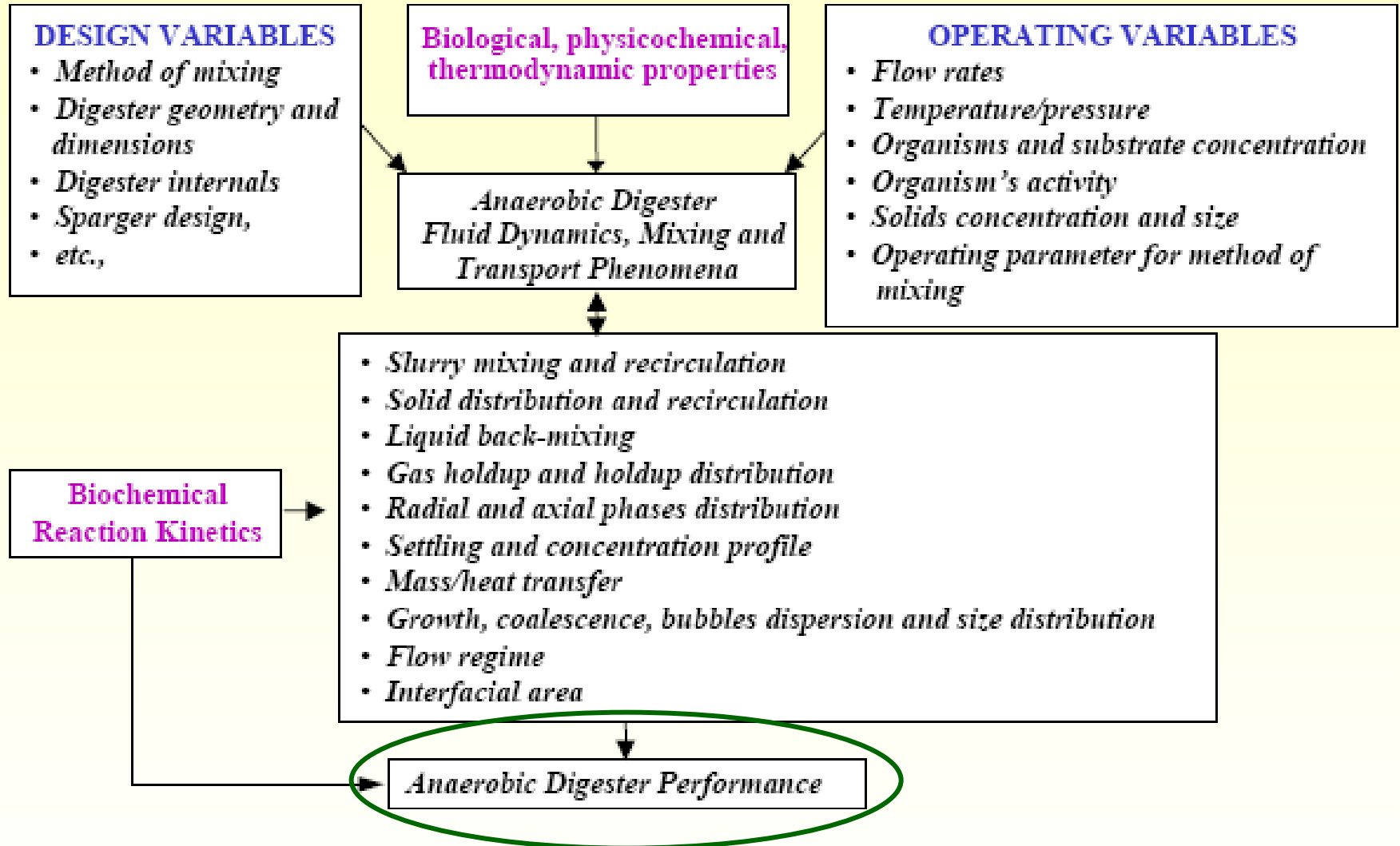
Altri.....

- Il trattamento di depurazione dei reflui con la DA comporta minori costi di depurazione rispetto ad altre tecnologie
- Gli alti prezzi dei combustibili tradizionali e la possibilità di produrre energia (calore ed e.e.) consente di realizzare profitti.

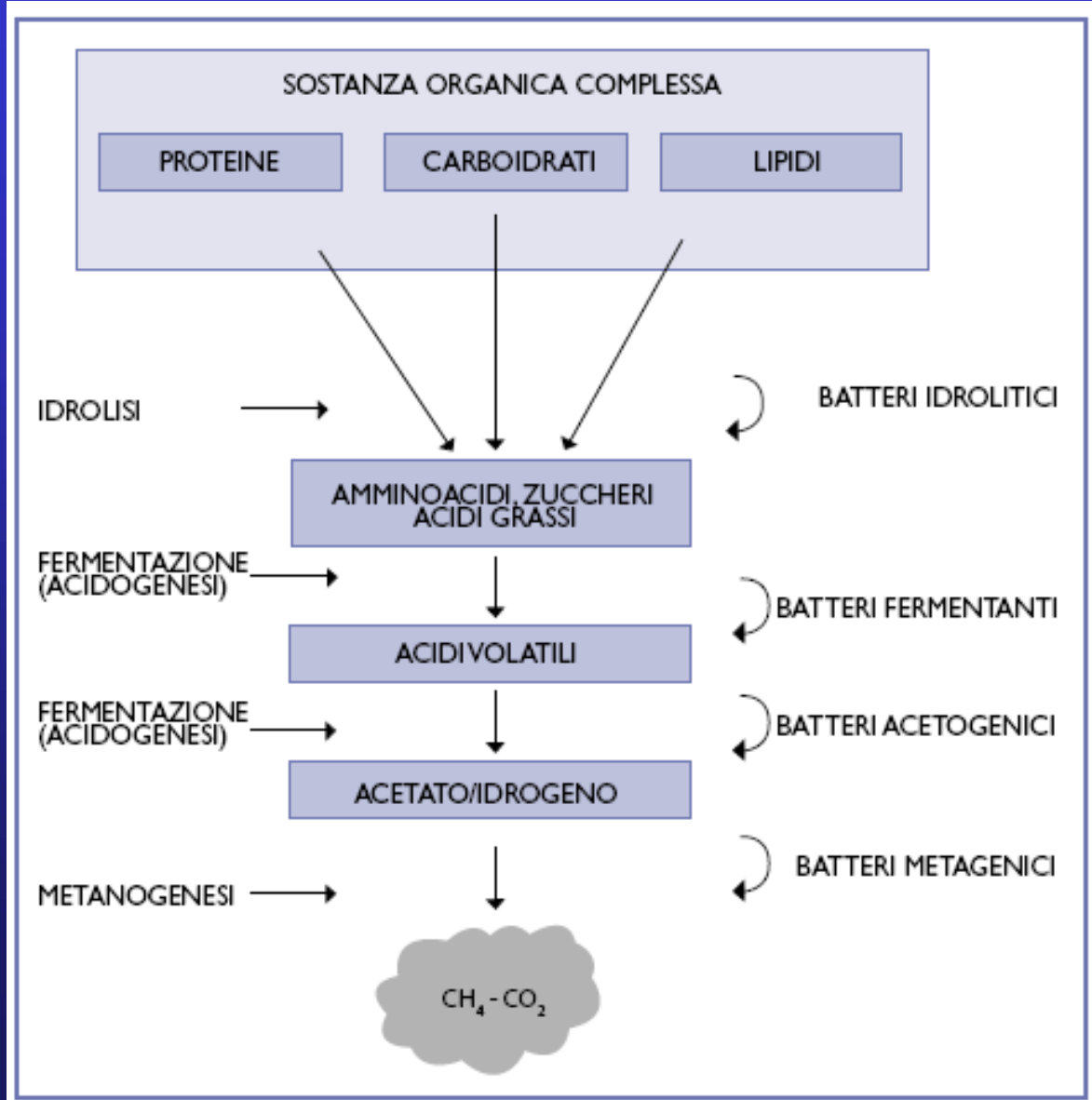


Ruolo della ricerca sullo sviluppo della DA

Complessità della Digestione Anaerobica!



Schema della Biodegradazione Anaerobica



Fattori che influenzano il processo

Temperatura

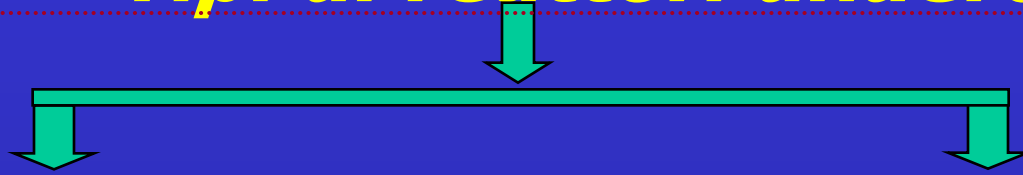
pH

Concentrazione dei Nutrienti

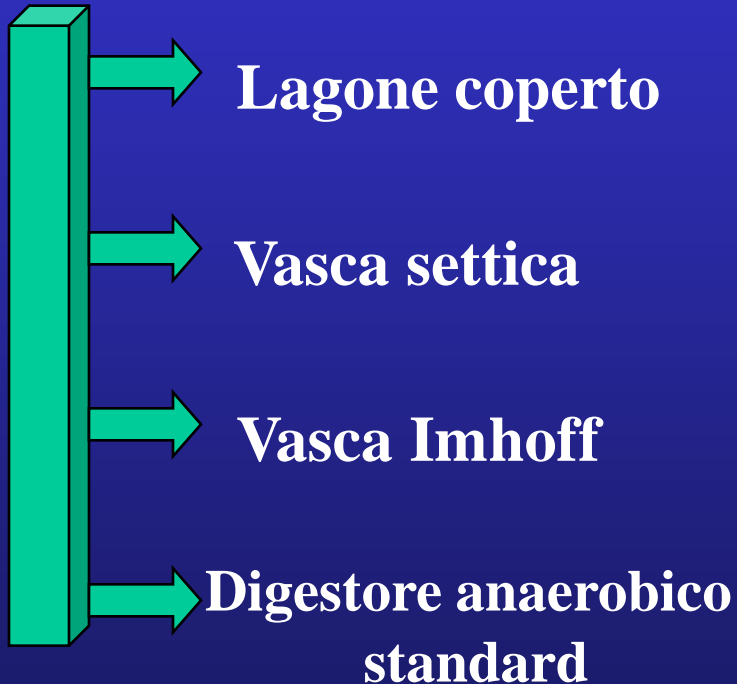
Carico organico applicato

Presenza di sostanze tossiche o inibenti

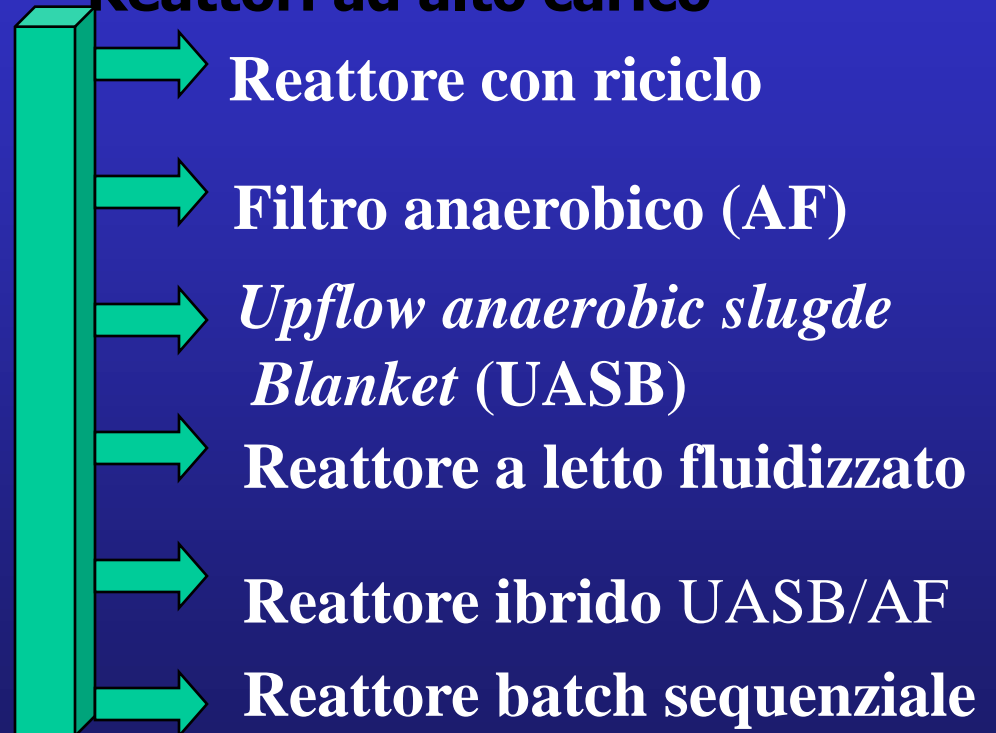
Tipi di reattori anaerobici



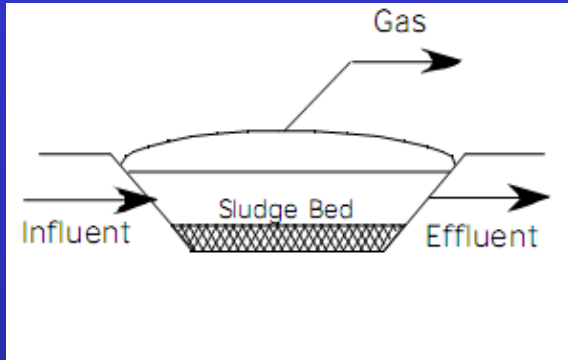
Reattori a basso carico



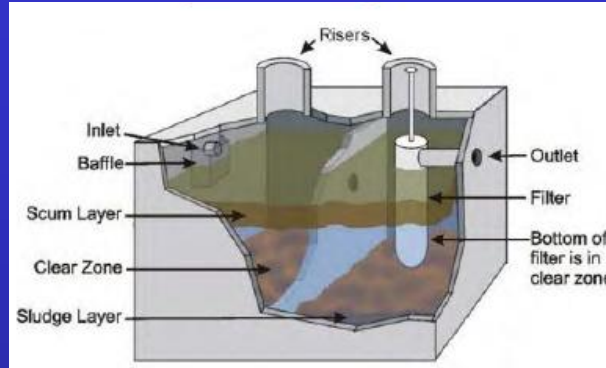
Reattori ad alto carico



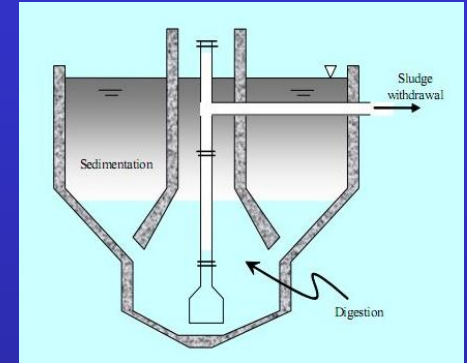
Digestori a basso carico



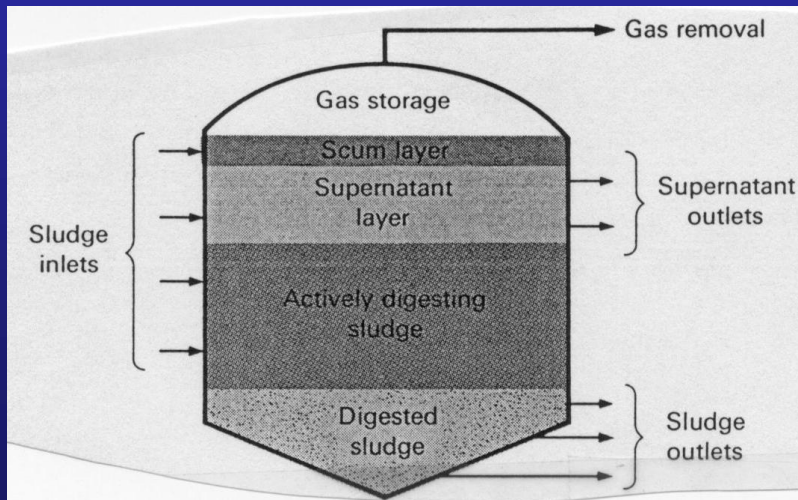
Lagone coperto



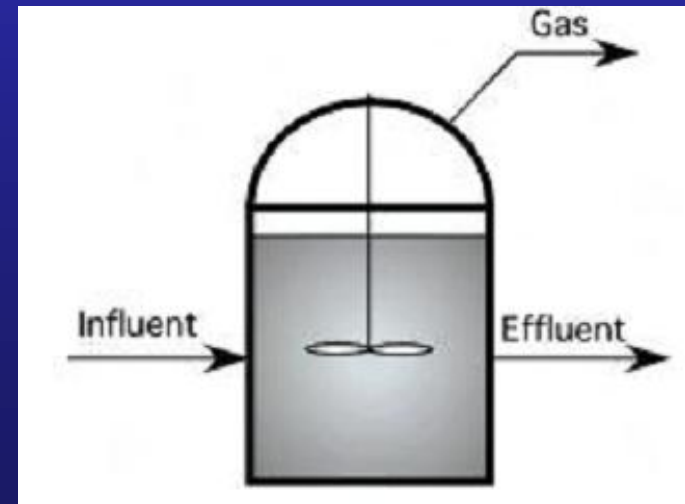
Vasca settica



Vasca Imhoff



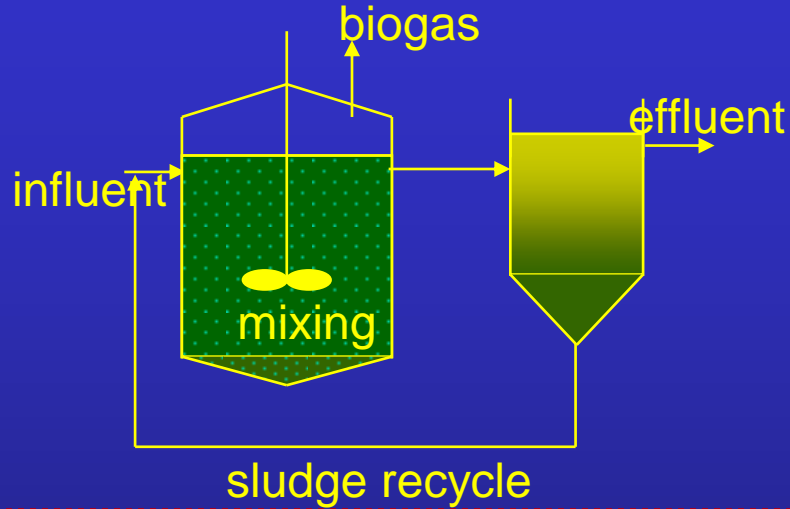
Reattore stratificato



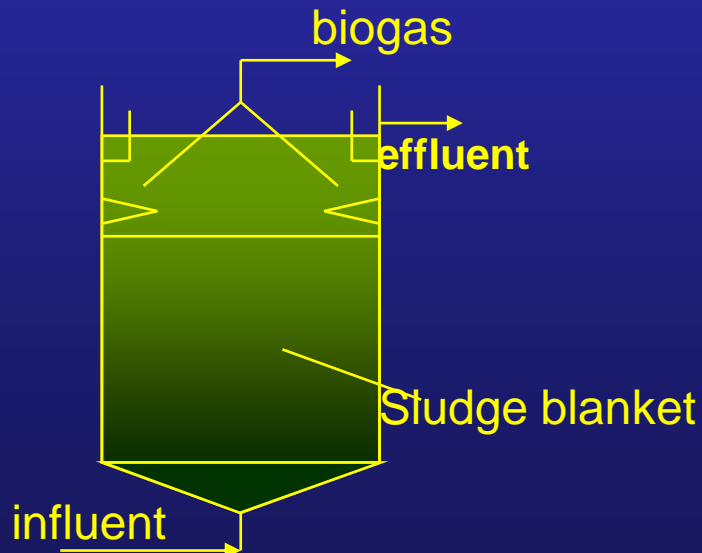
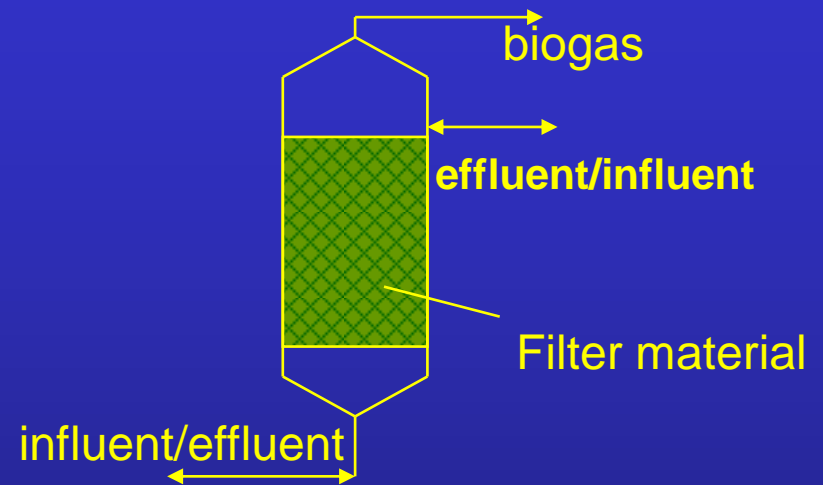
Reattore a miscelazione completa

Digestori ad alto carico_{1/2}

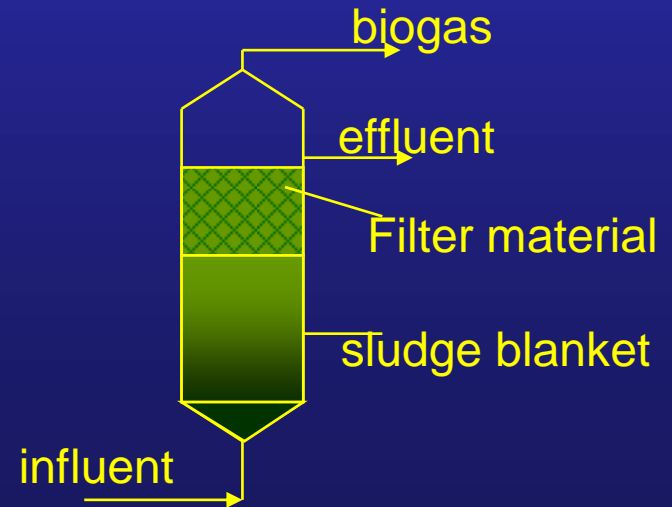
Reattore con riciclo di biomassa



Biofiltri (AF)

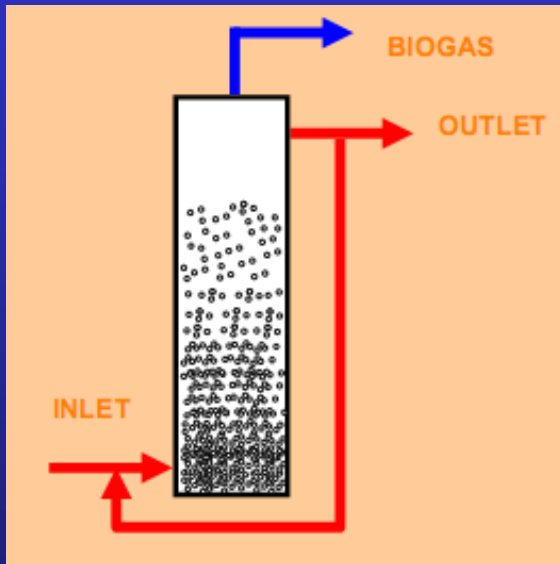


Reattore UASB

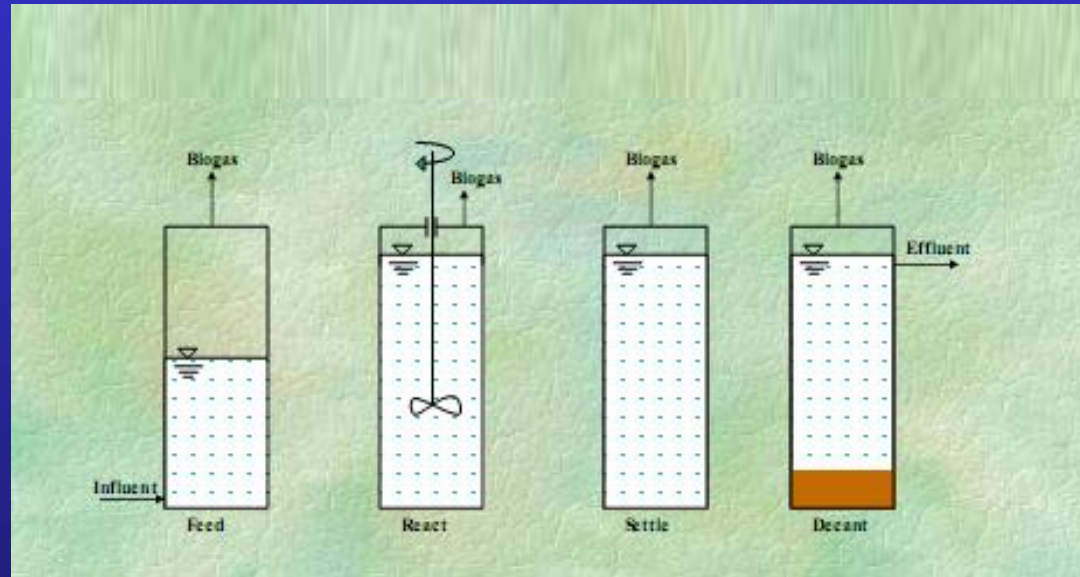


Reattore ibrido UASB/AF

Digestori ad alto carico_{2/2}

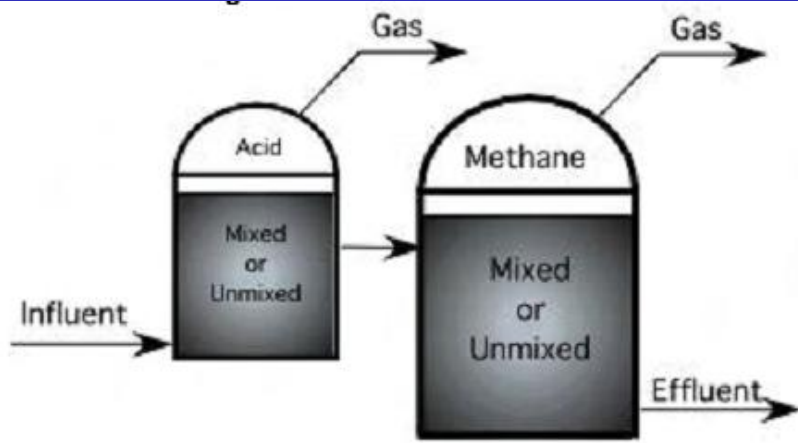


Letto fluidizzato/espanso

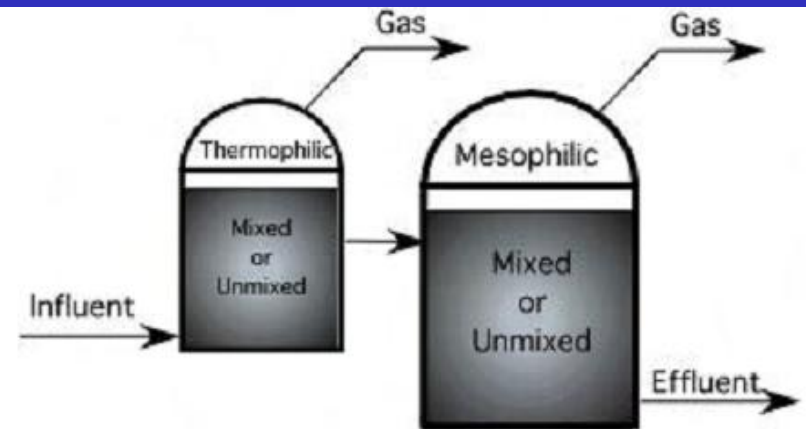


Reattore batch sequenziale

Sistemi a due stadi

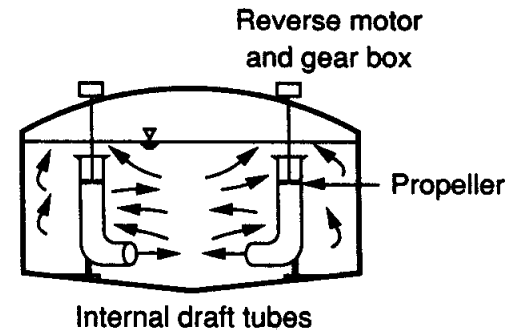
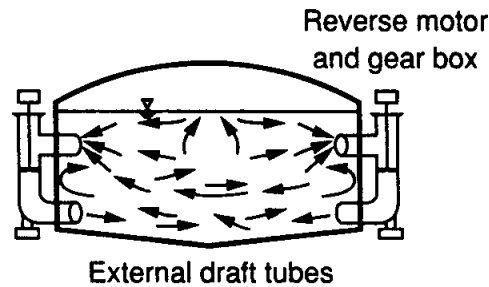
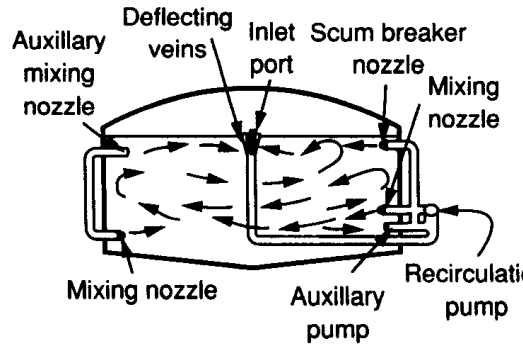
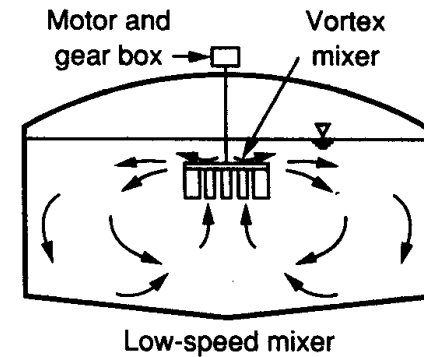
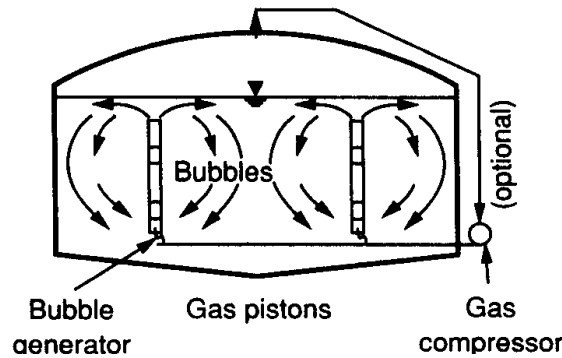
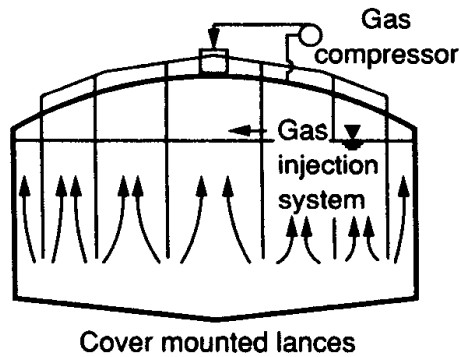
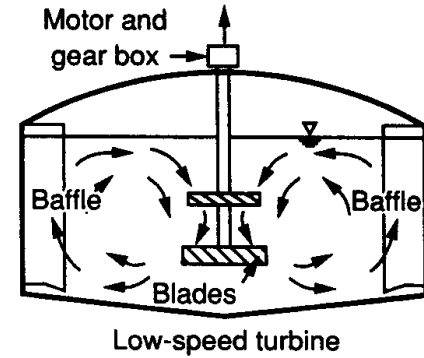
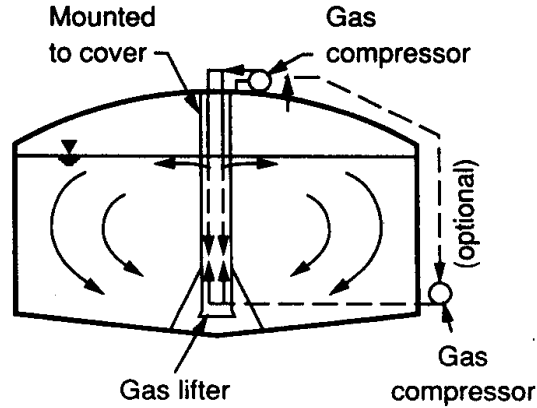
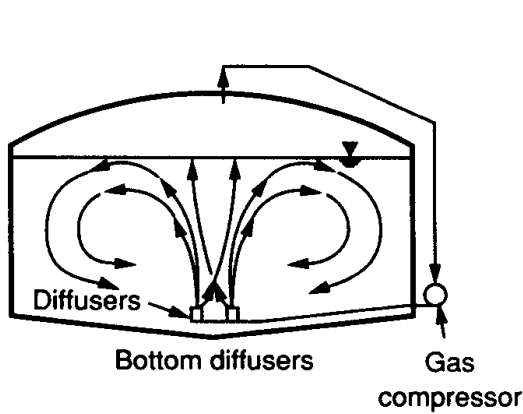


Acid Phased Reactor



Temperature Phased Reactor

Tipi di agitatori



Linee di ricerca maggiormente sviluppate negli ultimi anni sulla *DA*

***DA* DELLA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI
URBANI (FORSU)**

CODIGESTIONE

***DA* DI COMPOSTI TOSSICI ed EFFETTI D'INIBIZIONE**

PRODUZIONE D'IDROGENO MEDIANTE *DA*

LA *DA* NEI TRATTAMENTI COMBINATI

FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI

1/3

- composizione dei rifiuti: 30-60% dei rifiuti domestici (scarti di cucina, residui di cibo, sfalci d'erba, ramaglie, ecc.)
- trattamenti biologici (*digestione anaerobica e compostaggio*) sembrano costituire un'alternativa abbastanza sostenibile per lo smaltimento della frazione differenziata dei rifiuti putrescibili
- la digestione anaerobica è quella che ha il miglior rapporto costo/efficienza dovuto all'elevato recupero di energia legato al processo e al limitato impatto ambientale

FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI

2/3

- individuazione dei parametri più affidabili per la classificazione dei solidi volatili (biodegradabilità del rifiuto, produzione di biogas, ecc.)
- pretrattamenti sul rifiuto prima della digestione anaerobica (fisico) ma anche biologico di tipo aerobico (parziale decomposizione)
- effetto del flusso di calore e micro-aerazione (accelerano l'idrolisi e l'acidificazione) e della lisciviazione (miglioramento della fase metanigena)

FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI

3/3

- modellazione del processo: si riferiscono alla cinetica dei substrati solubili (considerano solo le fasi della fermentazione, dell'acetogenesi e quella metanogenica); difficoltà nel definire un modello affidabile
- valutazione sulla convenienza dell'utilizzo del digestato come ammendante dei suoli

CODIGESTIONE

- tecnologia sempre più applicata per il trattamento di differenti tipi di rifiuti solidi e liquidi miscelati e trattati in un unico digestore (es. codigestione di rifiuti organici con i fanghi di depurazione)
- miglioramento nelle rese di metano grazie ad integrazione dei nutrienti (ad es. percolato di discarica + acque di vegetazione da molinatura olive)
- uso più efficiente delle attrezzature e la ripartizione dei costi di funzionamento dell'impianto può consentire di raggiungere la fattibilità economica e di superare l'ostacolo della non disponibilità di certi substrati durante tutto l'arco dell'intero anno
- modellazione matematica della codigestione di letame e acque di vegetazione verificata su dati di impianto pilota (predire il comportamento dinamico del bioreattore)

DIGESTIONE ANAEROBICA DI COMPOSTI TOSSICI E EFFETTI-D'INIBIZIONE ^{1/2}

- composti recalcitranti e xenobiotici (numerosi composti di sintesi, ad es. idrocarburi alifatici clorurati) e clorofenoli (composti molto tossici) si è trovato che sono degradabili anche per via anaerobica
- effetto di differenti co-substrati (acido lattico, metanolo, saccarosio, ecc.): in certi casi indispensabili per la degradazione di composti clorurati, in altri no
- adeguatezza dei reattori UASB, aventi biomassa costituita da fanghi granulari, al trattamento di reflui industriali con concentrazioni medio-alte di composti clorurati
- individuazione di schemi di degradazione

DIGESTIONE ANAEROBICA DI COMPOSTI TOSSICI E EFFETTI-D'INIBIZIONE ^{2/2}

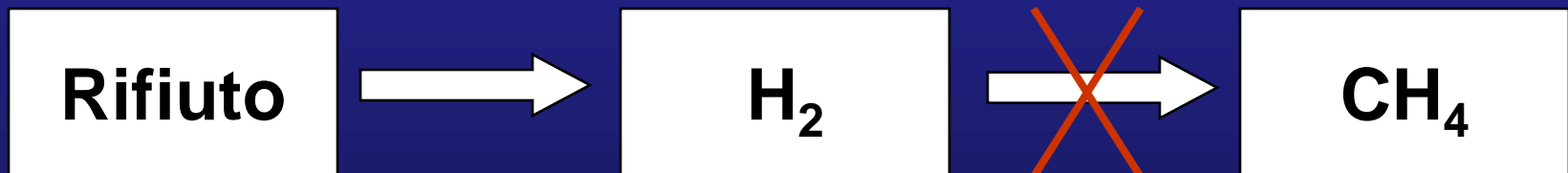
- Ruolo dell'acclimatazione a particolari substrati nel facilitare la degradazione di xenobiotici
- Reattori Anaerobici a Letto Fluidizzato adatti alla degradazione di composti clorofenolici (ruolo della acclimatazione e della presenza di altra fonte di carbonio)
- Tossicità e inibizione di pesticidi, disinfettanti e prodotti farmaceutici (ad es. antibiotici, l'effetto inibitorio è specifico per il dato composto e non prevedibile)

PRODUZIONE D'IDROGENO_{1/2}

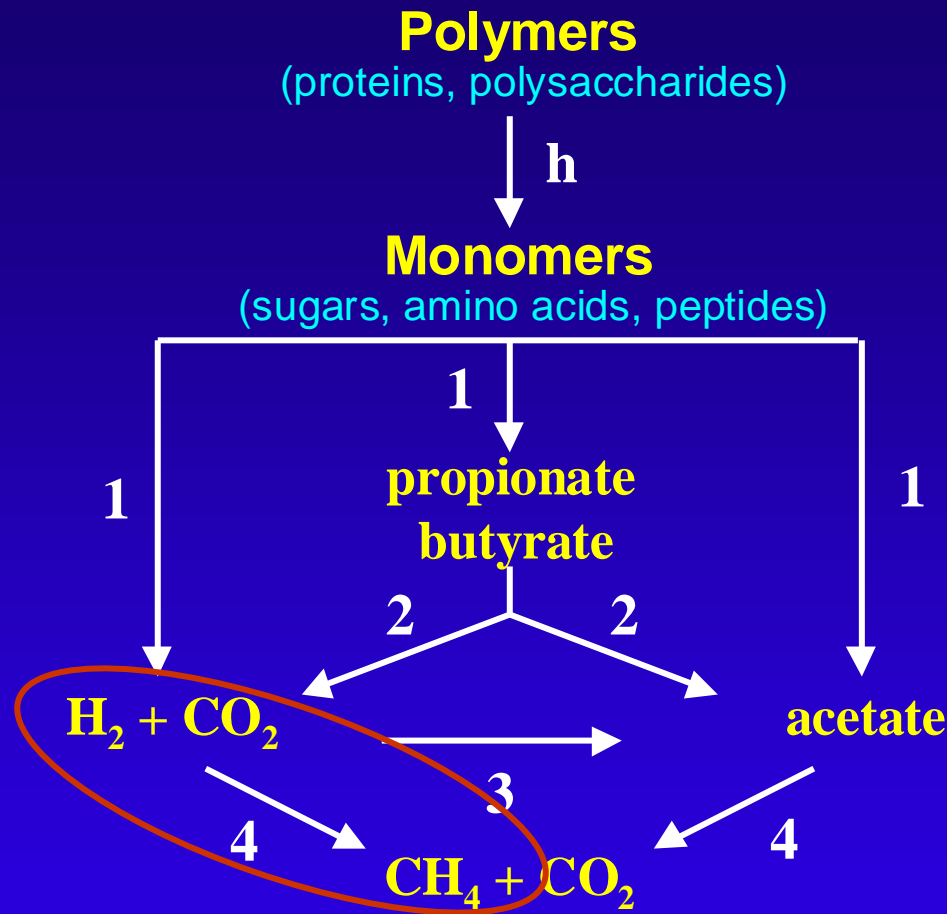
Process	General reaction	Microorganisms used
1 Direct Biophotolysis	$2 \text{H}_2\text{O} + \text{light} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$	Microalgae
2 Photo-fermentations	$\text{CH}_3\text{COOH} + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{light} \rightarrow 4 \text{H}_2 + 2 \text{CO}_2$	Purple bacteria, Microalgae
3 Indirect biophotolysis	a $6 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{CO}_2 + \text{light} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$ b $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H}_2 + 2 \text{CH}_3\text{COOH} + 2 \text{CO}_2$ c $2 \text{CH}_3\text{COOH} + 4 \text{H}_2\text{O} + \text{light} \rightarrow 8 \text{H}_2 + 4 \text{CO}_2$ Overall reaction: $12 \text{H}_2\text{O} + \text{light} \rightarrow 12 \text{H}_2 + 6 \text{O}_2$	Microalgae, Cyanobacteria
4 Water Gas Shift Reaction	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	Fermentative bacteria, Photosynthetic bacteria
5 Two-Phase $\text{H}_2 + \text{CH}_4$ Fermentations	a $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H}_2 + 2 \text{CH}_3\text{COOH} + 2 \text{CO}_2$ b $2 \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 2 \text{CH}_4 + 2 \text{CO}_2$	Fermentative bacteria + Methanogenic bacteria
6 High-yield Dark Fermentations	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 12 \text{H}_2 + 6 \text{CO}_2$	Fermentative bacteria

PRODUZIONE D'IDROGENO_{2/2}

- La digestione anaerobica dei rifiuti organici indirizzata verso la produzione di idrogeno permette di generare energia a basso costo e contemporaneamente di trattare i rifiuti (l'idrogeno si forma come sottoprodotto durante la fase acetogenica della digestione anaerobica)



Schema della Biodegradazione Anaerobica



h Hydrolytic enzymes

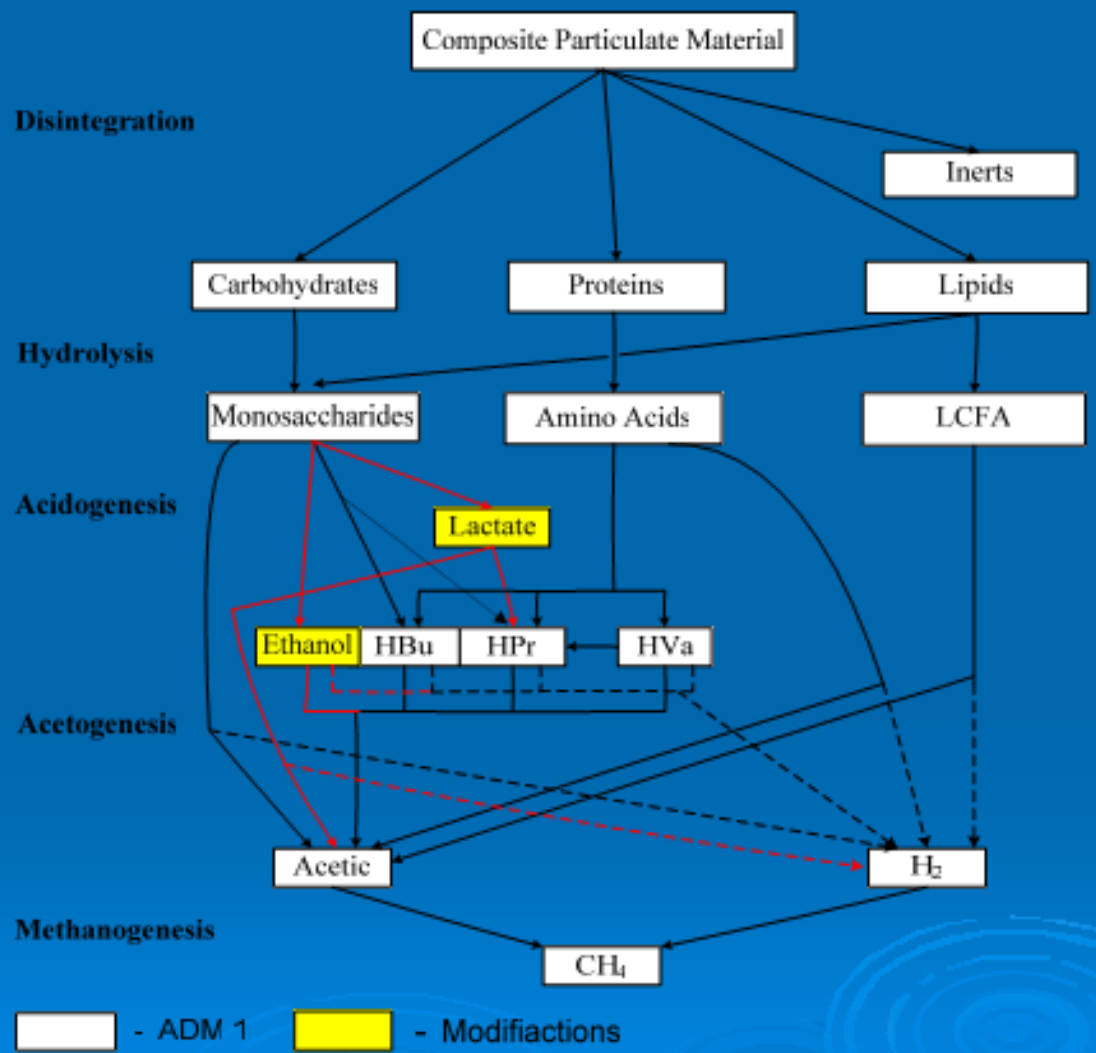
1 Fermentative bacteria

2 Syntrophic acetogenic bacteria

3 Homoacetogenic bacteria

4 Methanogens

Modifica dello *Schema standard* della Biodegradazione Anaerobica



HBu – Butyric acid, HPr – Propionic acid, HVa – Valeric acid, LCFA – Long chain fatty acids

PROPOSTE SULLE ATTIVITÀ DI RICERCA DA SVILUPPARE IN SARDEGNA

Analisi del funzionamento dei digestori esistenti

Inventario delle biomasse disponibili per la *DA*

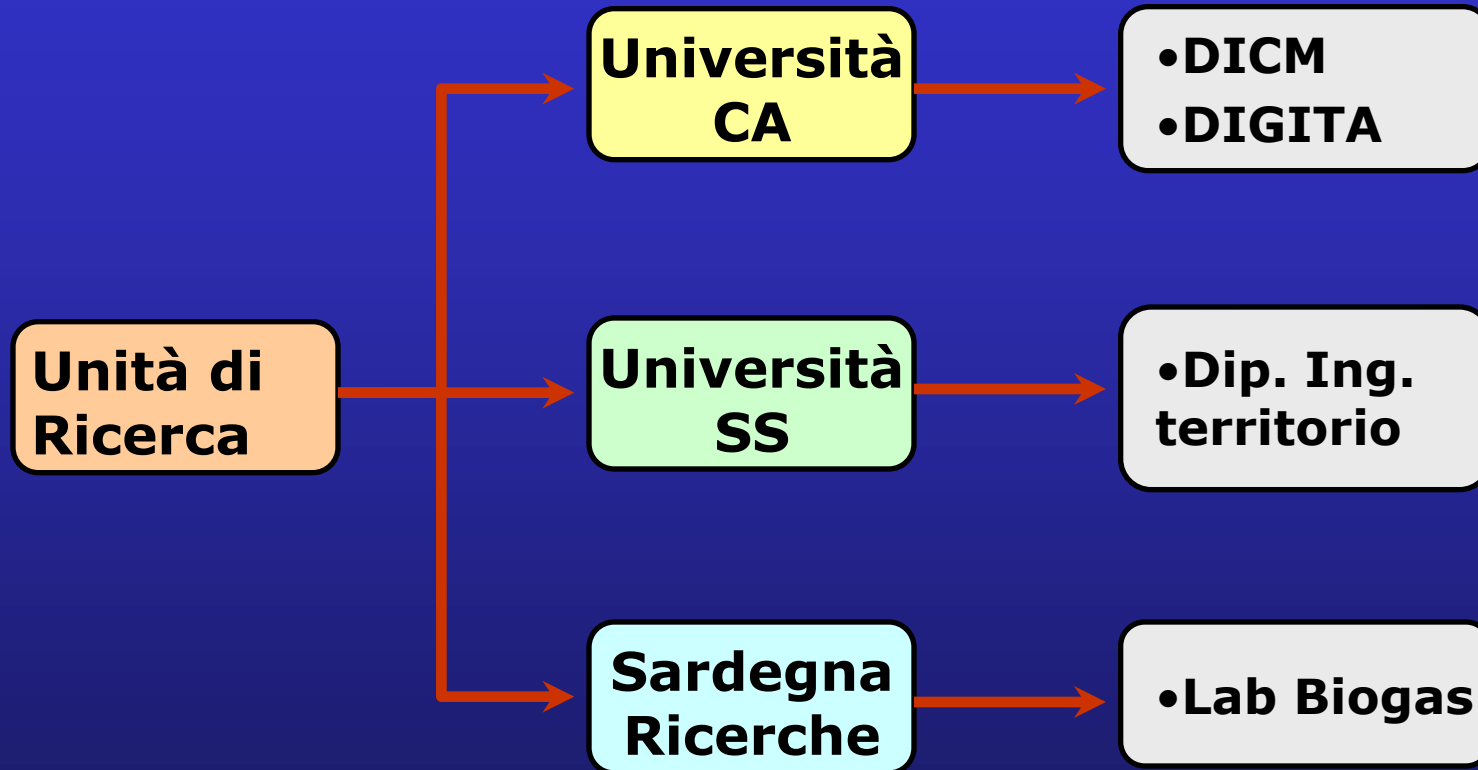
Inventario dei siti con falda inquinata da xenobiotici e

Analisi dei digestori anaerobici ad elevata efficienza

Produzione di idrogeno via digestione anaerobica

Sperimentazione su impianti di laboratorio e pilota

Ricerca in Sardegna sulla *Digestione anaerobica*



Fine

*Grazie per
l'attenzione*

Cagliari, 25 Novembre 2008