

Energie rinnovabili

Tecnologia e impiantistica per l'utilizzo delle colture



**Corso di laurea magistrale in Scienze e tecnologie agrarie
a.a. 2012-13 – 3 CFU**

dott. Daniele Dell'Antonia



Fonte: Chiumenti 2006

Digestione anaerobica

Energia rinnovabile in zootecnia

- **Digestione anaerobica**
 - ❖ **Fermentazione anaerobica**
 - ❖ **Fasi della digestione anaerobica**
 - ❖ **Tempo di ritenzione e relativi parametri**
 - ❖ **Tipi di deiezioni e caratteristiche medie**
 - ❖ **Vantaggi ambientali**
 - ❖ **Cenni sull'evoluzione tecnologica**

Fermentazione anaerobica

- **Processo biochimico consistente nella demolizione - per opera di microrganismi posti in determinate condizioni di temperatura, di pressione e di acidità - di sostanze organiche complesse (lipidi, glucidi e protidi) identificabili con la quantità di solidi volatili (sv).**

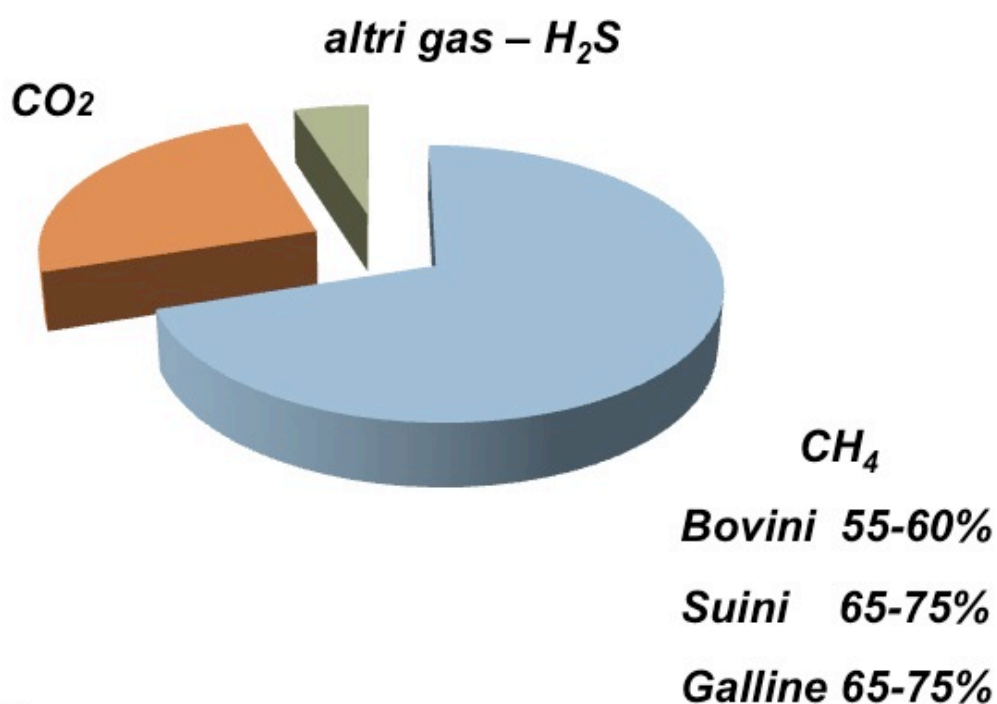
DEIEZIONI ZOOTECNICHE (REFLUI)
Rapporto C/N < 30
Solidi Totali (ST) - ≤ 30% sul tal quale



Biogas (o gas biologico)
 $50 < \text{CH}_4 < 70\%$
 CO_2
 $4.700 \leq \text{PCI} \leq 6.700 \text{ kcal/m}^3$

Effluente deodorizzato (fango)

Composizione del biogas prodotto



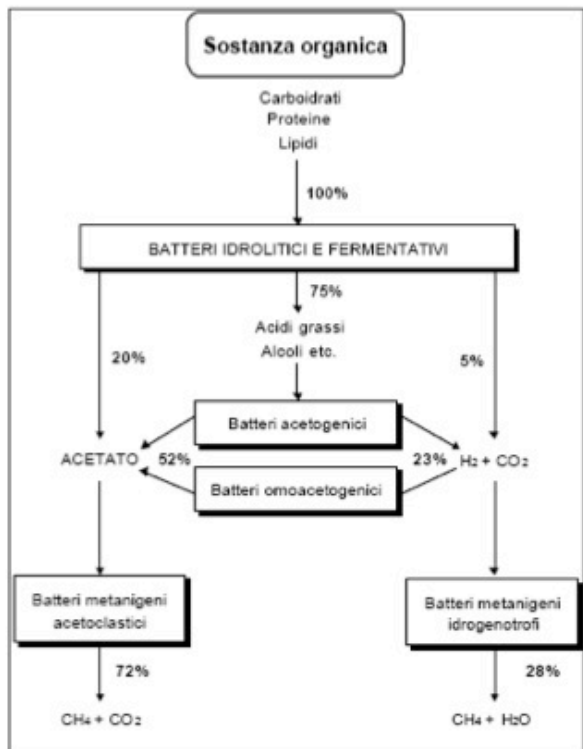
Fonte: Chiamenti 2006

Composizione del biogas prodotto

Volume	Formula chimica	Percentuale in volume (%)
Metano	CH ₄	50-80
Anidride carbonica	CO ₂	20-50
Azoto	N ₂	0-3
Idrogeno solforato	H ₂ S	0-2
Idrogeno	H ₂	0-1
Ossigeno	O ₂	0-1
Ammoniaca	NH ₄	0-0,5

Fonte: AIEL 2007

Fasi del processo di digestione

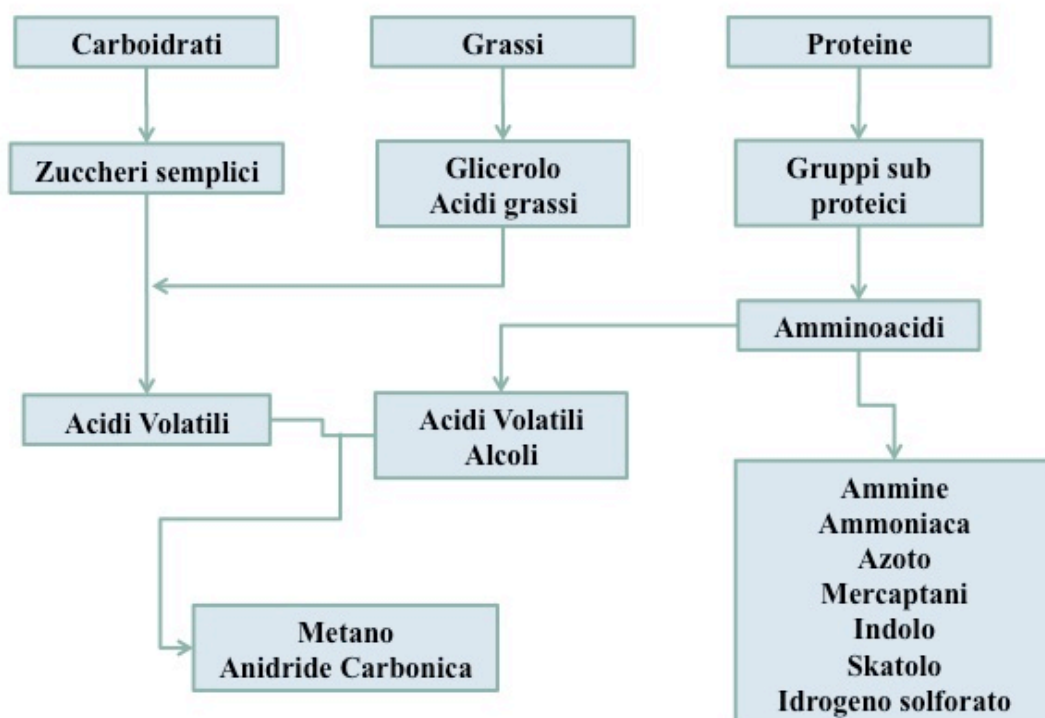


1° FASE IDROLISI - attacco enzimatico
polimeri organici → monomeri

2° FASE ACIDOGENESI -
composti idrolizzati → acidi grassi volatili, CO₂, NH₃ e H₂;

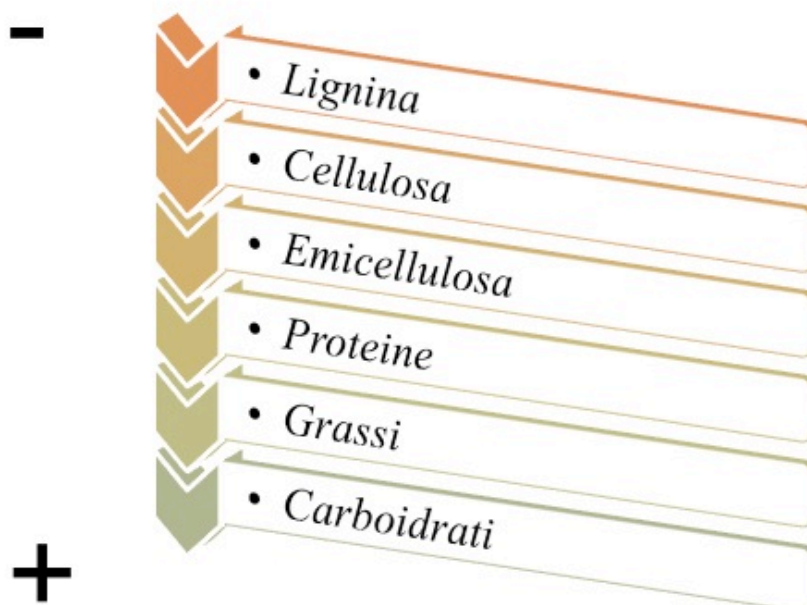
3° FASE METANOGENESI
composti semplici → a mezzo di batteri anaerobici CH₄ e CO₂

Schematizzazione del processo di digestione anaerobica



Fasi del processo di digestione

- La velocità di degradazione della sostanza organica non è eguale per tutta la sostanza organica



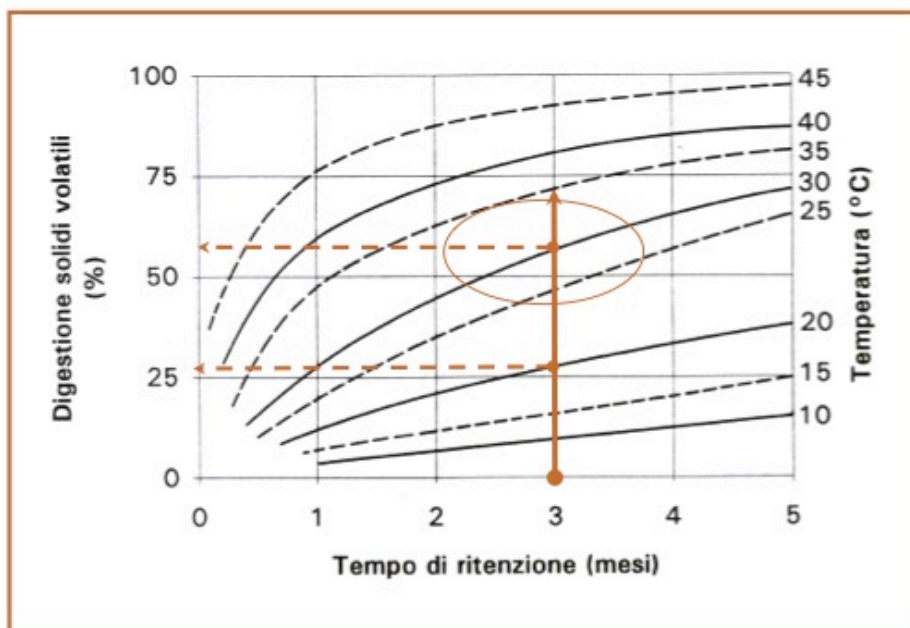
Fasi del processo di digestione

- La velocità di degradazione della sostanza organica varia anche in funzione della temperatura adottata nel processo

	Temperatura (°C)	Tempi medi (gg)
Psicrofilo	< 25°C	60 – 90
Mesofilo	30 - 38°C	20 - 40
Termofilo	45 - 55°C	10 - 20

Tempi di ritenzione

**BATTERI
ETEROTROFI
4-40 °C con
optimum a 30°C**



PRODUZIONE BIOGAS AUMENTA con l'AUMENTO DEL TEMPO di RITENZIONE

Fonte: Chiumenti 2006

Tempi di ritenzione

- Nella maggior parte degli impianti si adotta il processo mesofilo, con i seguenti tempi di ritenzione del prodotto:

Prodotto	Tempo
Liquami suinicoli	20 giorni
Liquami bovino	30 giorni
Co-Digestione	35-40 giorni

- La presenza di materiali celluloseici impone l'aumento del tempo di ritenzione a 35-40 giorni
- Il processo termofilo, pur consentendo di ridurre il tempo di permanenza della biomassa nel digestore 10-15 giorni - e conseguentemente il volume richiesto per il reattore - non è molto usato nel comparto zootecnico perché biologicamente meno stabile

Parametri produttivi

- Per una stima approssimata della produzione di biogas nella digestione anaerobica si possono assumere i seguenti indici di trasformazione della biomassa in biogas

- $1 \text{ m}^3 \text{ biogas} = 3 \text{ kg solidi volatili immessi}$

Parametri produttivi

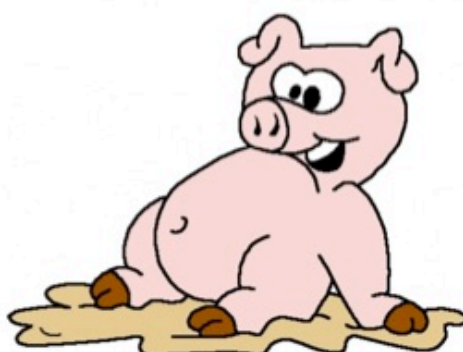
- La produzione di biogas dalle diverse categorie di animali è influenzata dalle seguenti caratteristiche:
 - ❖ alimentazione
 - ❖ presenza o meno di paglia nei liquami
 - ❖ tempo di permanenza nella stalla delle deiezioni
- Anche la paglia utilizzata come lettiera può contribuire alla produzione di biogas
 - ❖ tempi di digestione più lunghi dei liquami
 - ❖ problemi nella movimentazione degli stessi
- Più tempo intercorre tra la produzione e il loro convogliamento nel digestore maggiore è la degradazione della sostanza organica, che inizia a fermentare in tempi molto brevi

Parametri produttivi

- Nelle stalle per bovini non si hanno di norma grandi problemi a disporre dei liquami con tempestività
 - ❖ utilizzo dei raschiatori meccanici azionati anche più volte al giorno
- Nelle stalle per suini la permanenza delle deiezioni animali nella stalla si ha anche per tempi lunghi, con conseguente abbassamento della quantità di solidi volatili disponibile per la produzione di biogas

La produzione specifica di biogas

Deiezioni animali	m ³ /kg S.O.
Bovini	0,2-0,3
Suini	0,2-0,5
Avicoli	0,35-0,6

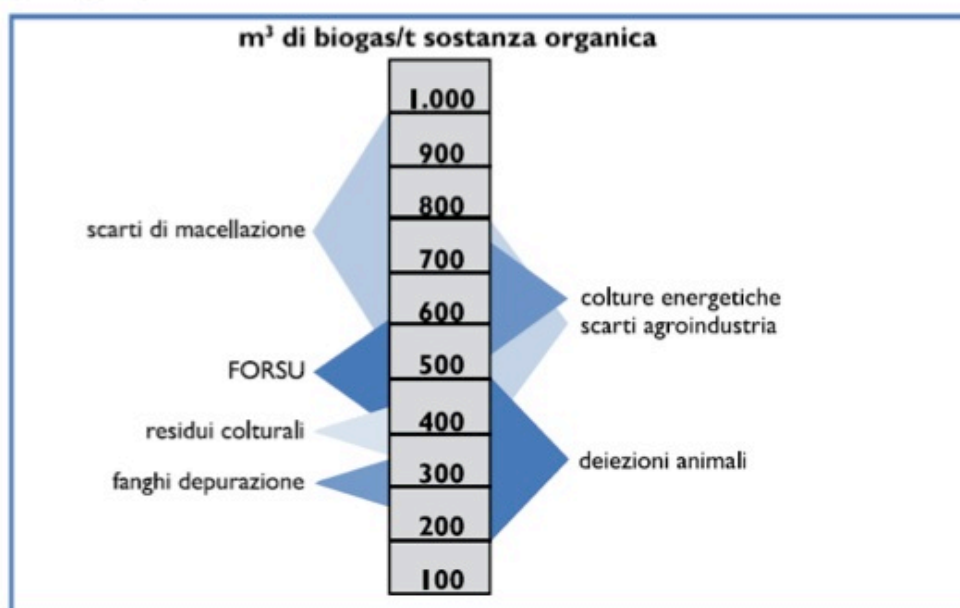


La produzione specifica di biogas

Altre biomasse	m ³ /kg S.O.
Paglia	0,35-0,45
Erba	0,40-0,55
Insilato di mais	0,45-0,60
Insilato di erba	0,4-0,55
Scarti di patate	0,4-0,5
Scarti di frutta	0,2-0,5
Grassi e olii	0,7-1,5
Residui animali	0,5-0,6
Siero di latte	0,8-0,9

Fonte: Chiumenti 2006

La produzione specifica di biogas

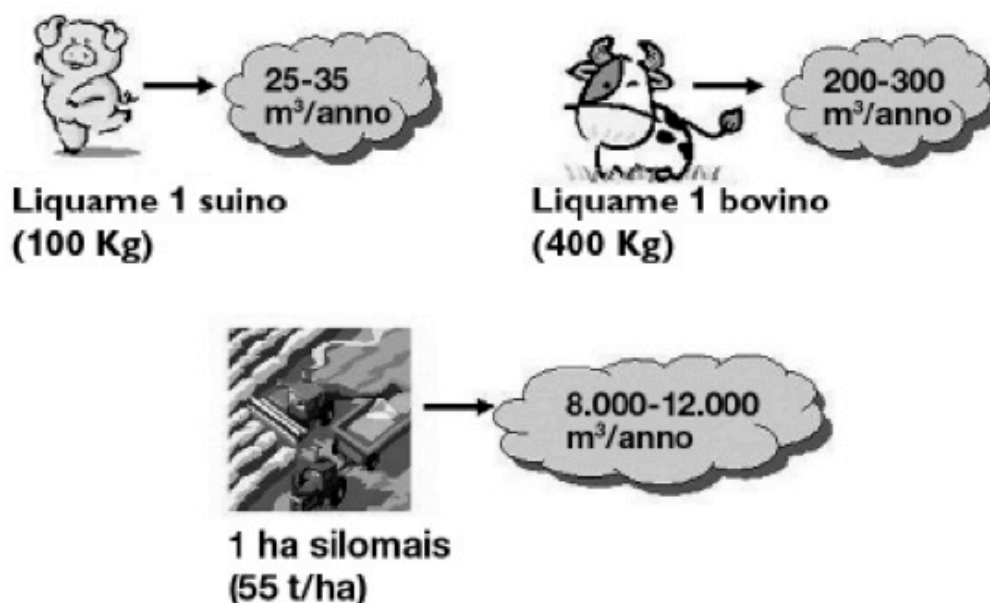


Fonte: CETA 2007

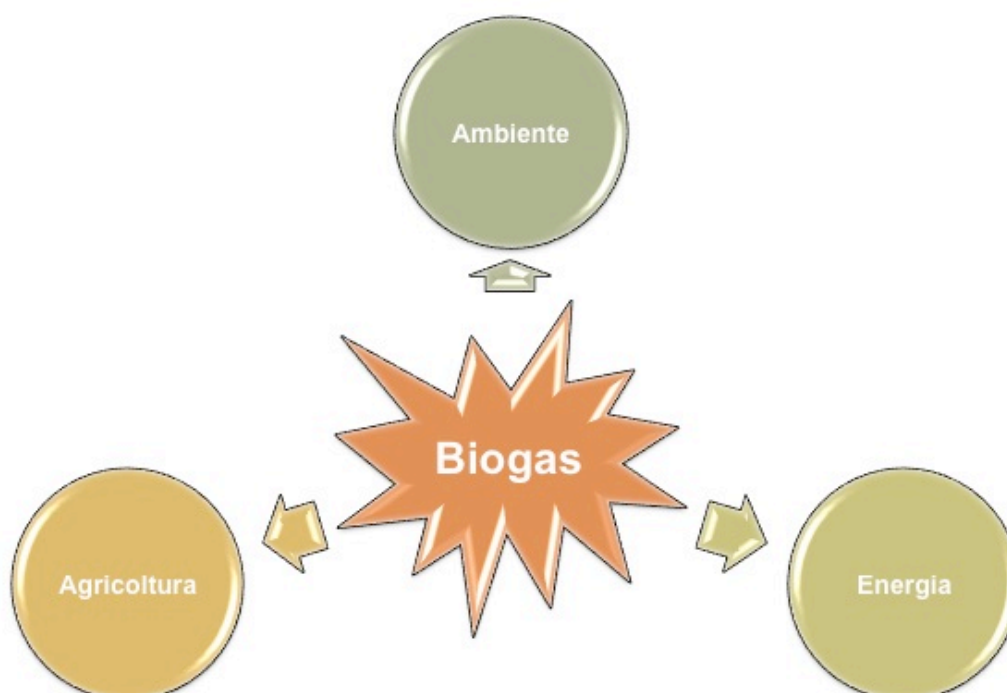
La produzione specifica di biogas

Allevamento	Sostanza organica (%)	Biogas (m ³ /kg di S.O.)	CH ₄ (% in volume)	P.C.I. (kWh/m ³)
Bovini	8,8	0,25	55-60	6,1
Suini	3	0,37	65-75	7,5
Ovaiole	17,5	0,47	65-75	7,5
Altri Avicoli	17,5	0,47	65-75	7,5

Dimensionare l'impianto



Importanza della digestione anaerobica



Vantaggi ambientali

- Se i vantaggi di ordine energetico sono di pubblico dominio e facilmente quantificabili anche in termini economici, non a tutti sono noti i vantaggi di ordine ambientale ed agronomico:
 - ❖ stabilizzazione e deodorizzazione dei liquami
 - ❖ sensibile diminuzione del carico organico > 50%
 - ❖ disponibilità di N in una quota identica a quella contenuta nei liquami di origine e in forma ammoniacale
 - ❖ eliminazione dei fenomeni di fitotossicità
 - ❖ devitalizzazione dei semi di piante infestanti

Vantaggi ambientali

- **La distribuzione in copertura di liquami zootecnici digeriti non costituisce problema per le colture agrarie, dato che il prodotto non risulta più fitotossico. La distribuzione va, comunque, fatta seguendo le norme del codice di buona pratica agricola - non con il lancio a distanza con il carrobotte.**

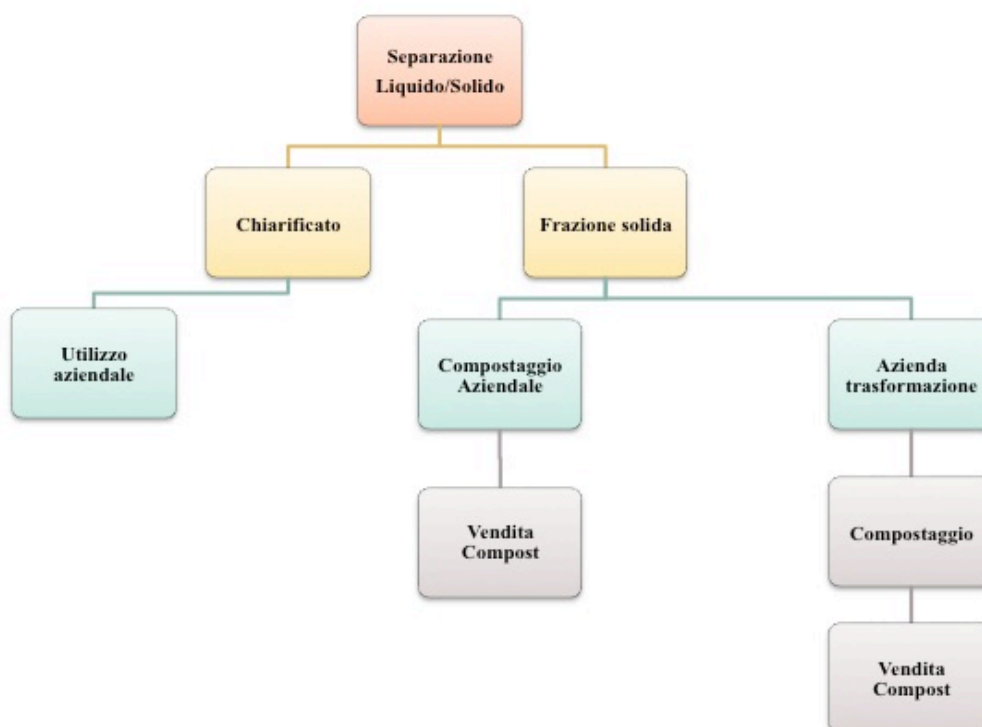


Distribuzione del digestato

- **Iniezione nel terreno**
- **Iniezione nel prato**



Separazione liquido solido



Vantaggi ambientali



- **La distribuzione in copertura con impianti ad ala mobile di liquami digeriti può risultare più semplice rispetto a liquami tal quali, per minori problemi di intasamento degli ugelli. Il problema “odori molesti” per un liquame correttamente digerito è circoscritto.**

Vantaggi ambientali



- **Il deposito di materiale organico digerito sulle foglie di mais non presenta rallentamenti vegetativi.**

Cenni di evoluzione tecnologica

- **Anni 75-85: sviluppo delle tecnologie e prime applicazioni nel settore zootecnico**
 - ❖ **Obiettivo recupero energetico**

- **Anni 85-90: realizzazione di impianti semplificati con teli galleggianti**
 - ❖ **Obiettivo energetico ed ambientale**



Cenni di evoluzione tecnologica

- **Dagli anni 90: rilancio degli impianti per l'agricoltura (prima in Europa e oggi in Italia); co-digestione reflui zootecnici con altre biomasse**
 - ❖ **Aspetto energetico**
 - ✓ recupero di energia
 - ❖ **Aspetto ambientale**
 - ✓ minori odori, igienizzazione del liquame
 - ❖ **Aspetto agronomico**
 - ✓ distribuibilità in copertura
 - ✓ l'eliminazione fitotossicità
 - ✓ resta inalterato il potere fertilizzante



Fonte: Chiamenti 2006

Trattore e Biogas

- **Nel 1981 si è realizzato un trattore alimentato a biogas (compressore a 220 bar) con la collaborazione della ditta Tessari in un progetto di ricerca della Regione del Veneto**



Fonte: Chiamenti 2006

Primi impianti

- **In questo periodo si sono realizzati impianti a basso costo (e basso livello di coibentazione) soprattutto in allevamenti suinicoli, anche solo con copertura di normali vasche di stoccaggio di liquami**



Fonte: Chiamenti 2006

Tecnologia semplice

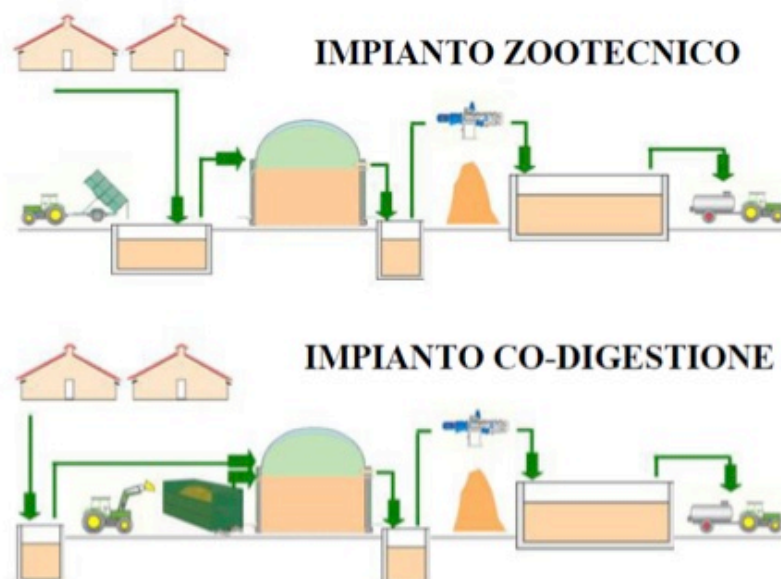
- **Gli impianti a tecnologia semplificata sono costituiti da vasche, anche a tipologia prefabbricata, coperte con teli galleggianti, aventi la duplice funzione di garantire le condizioni di anaerobiosi e di raccogliere il biogas prodotto**
- **In questi impianti si opera a temperatura ambiente**
 - ❖ **tempo di ritenzione di 60-90 giorni per una stabilizzazione dei liquami**
 - ❖ **bassa efficienza nel periodo invernale (20°C)**
 - ❖ **bassa produzione di biogas**

Co-digestione

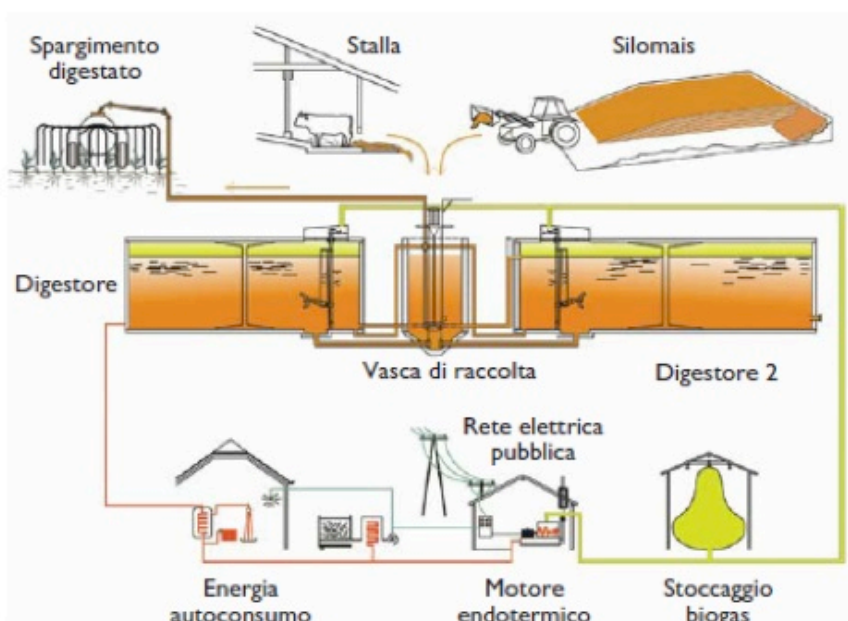
- A partire dagli anni '90 l'obiettivo è quello di aumentare la produzione di energia degli impianti con la co-digestione
 - ❖ utilizzo del silomais come biomassa energetica
 - ❖ con un ettaro di mais ceroso si può arrivare alla produzione di 18.000-20.000 kWh di energia elettrica



Layout impianto di digestione anaerobica

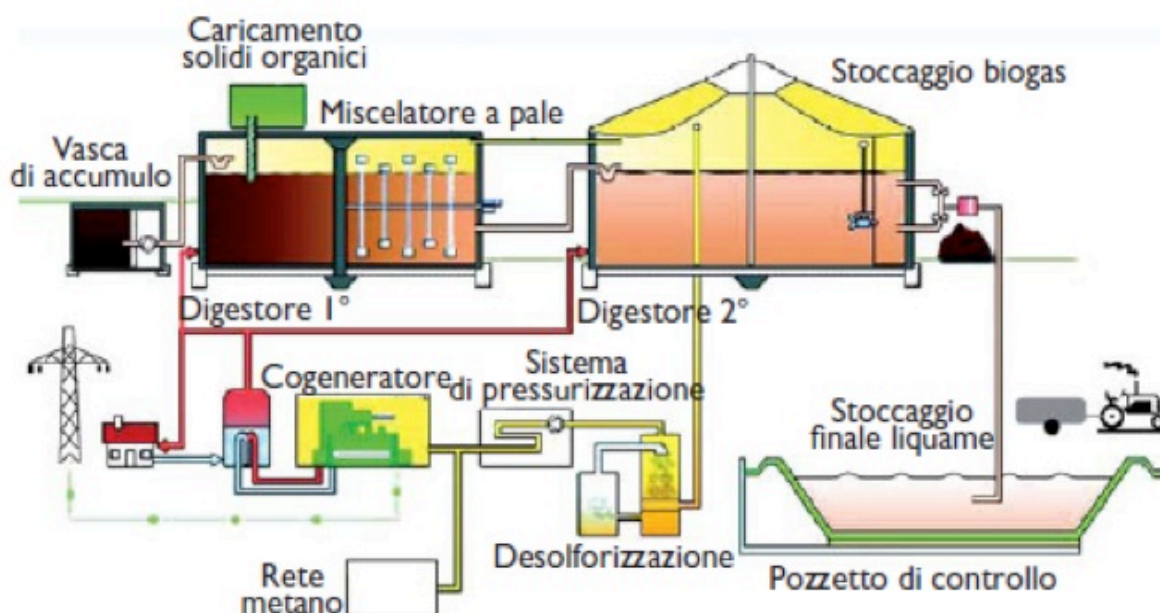


Schema di impianto per la codigestione



Fonte: AIEL 2007

Schema di impianto per la codigestione



Fonte: AIEL 2007

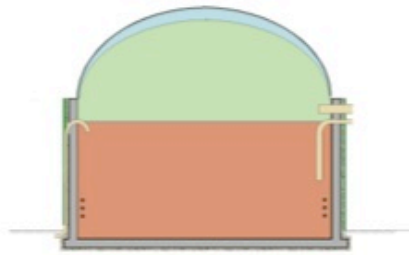
Tipologie di impianto



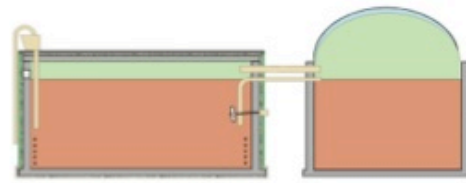
Tipologie di impianto

- **L'attuale offerta di impianti è molto diversificata, con difficoltà di scelta da parte degli agricoltori**
 - ❖ **impianto monostadio o bistadio**
 - ❖ **secondo stadio gasometrico termostato o meno**
 - ❖ **impianti orizzontali ed impianti verticali**
 - ❖ **gasometro sopra il digestore o disgiunto**
 - ❖ **materiale del reattore: acciaio o cemento armato**
 - ❖ **sistema di termostatazione**
 - ❖ **sistema di miscelazione: idraulico, a gas, meccanico**

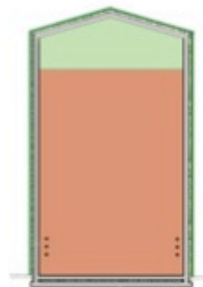
Tipologie di impianto



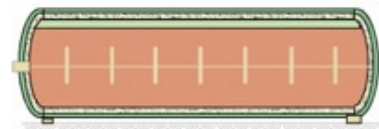
MONOSTADIO



BI-STADIO



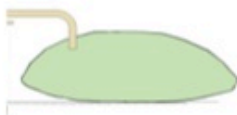
ORIZZONTALE



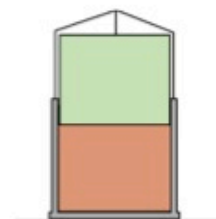
**VERTICALE
COPERTO**

Fonte: Chiumenti 2006

Tipologie di impianto



**GASOMETRO
A PALLONE**



**GASOMETRO
TRADIZIONALE**



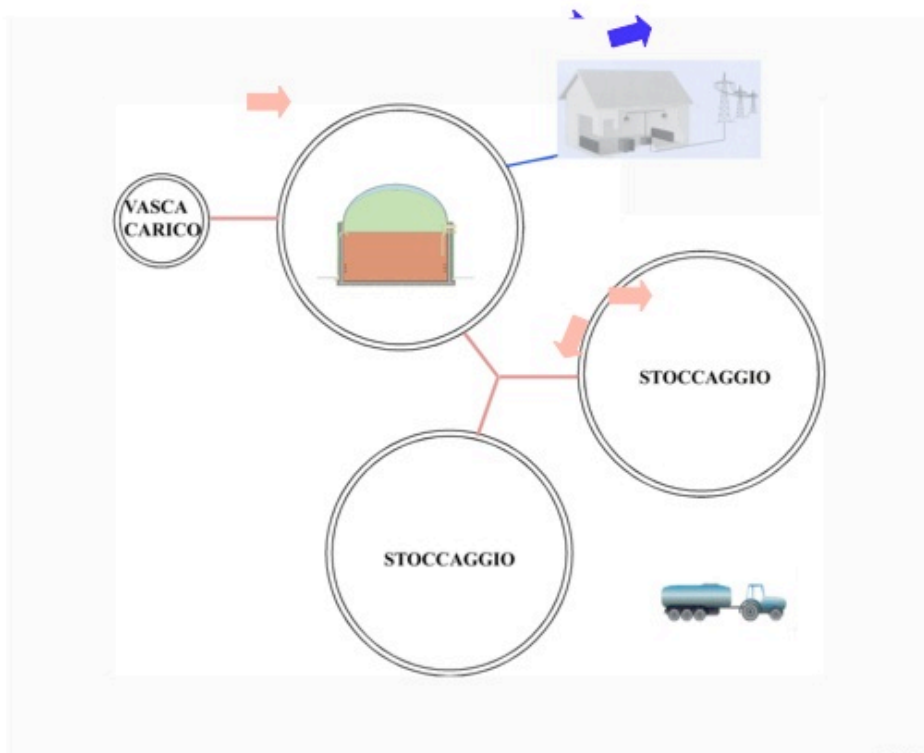
**CALOTTA
GASOMETRICA**

Fonte: Chiumenti 2006

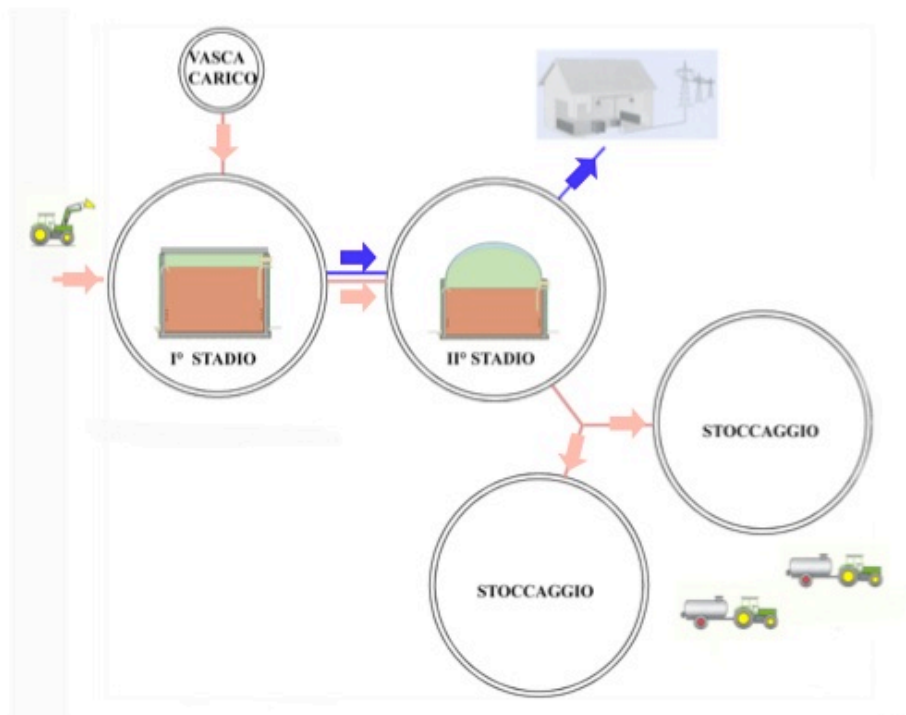
Materiale di costruzione

- La scelta del materiale di costruzione è il primo importante passo per la realizzazione dell'impianto
 - ❖ struttura in acciaio
 - ❖ struttura in cemento armato
 - ✓ preferita rispetto a quella in acciaio
 - ✓ costi minori di realizzazione
 - ✓ costi minori per l'isolamento

Impianto Monostadio



Impianto Bi-Stadio



Fonte: Chiamenti 2006

Tipologia di impianto

- La scelta tra impianto mono-stadio e impianto bi-stadio va fatta tenendo in considerazione tra l'altro che un impianto monostadio è costruttivamente più semplice e meno costoso, ma il bi-stadio consente una maggiore produzione di gas, per un complessivo maggiore tempo di ritenzione idraulica dei liquami nel reattore.
- La scelta della calotta gasometrica per l'impianto monostadio va attentamente analizzata anche dal punto di vista energetico.

La termostatazione dell'impianto



Isolamento

- Una struttura deve essere considerata ben coibentata se è caratterizzata da una trasmittanza $< 0,40 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, ottenibile con solaio di copertura e pareti isolati con lastre di polistirene o poliuretano espanso dello spessore di almeno 0,1 m
- Con i digestori in acciaio lo spessore dell'isolante richiesto aumenta a livelli di 0,15-0,20 m
- E' importante anche l'isolamento della pavimentazione

Isolamento

- **Digestori in calcestruzzo in fase di completamento: in evidenza i pannelli di polistirene applicati esternamente alla struttura in c.a.**



Fonte: Chiumenti 2006

Isolamento

- **Nei digestori a struttura d'acciaio è adottabile anche lo scambiatore di calore esterno, sistemato tra il reattore e il materiale isolante**



Fonte: Chiumenti 2006

Riscaldamento

- **Posa in opera della tubazione in PE di riscaldamento del basamento del digestore**
- **L'utilizzo di pannelli di materiale isolante ad alto livello di resistenza alla compressione (sotto l'armatura) consente di limitare le dispersioni di calore attraverso la pavimentazione**



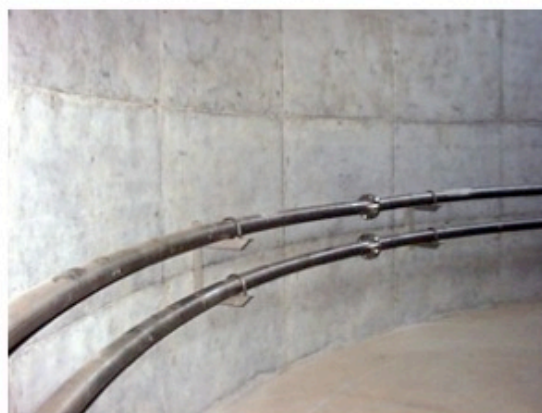
Fonte: Chiamenti 2006

Termostatazione interna

- **Per la termostatazione ci si è ormai orientati verso lo scambiatore interno**
 - ❖ **riscaldamento dei liquami dalla temperatura ambiente a quella di digestione**
 - ❖ **Il riscaldamento è favorito dalla miscelazione della biomassa**
- **Si utilizza di norma l'acqua calda prodotta dal co-generatore, immessa nell'impianto ad una temperatura massima di 65°C per non influire negativamente sulla flora batterica agente del processo fermentativo**
- **Lo scambiatore interno viene realizzato nella maggior parte dei casi con tubazioni in acciaio inox**
 - ❖ **ancorate alla parete e distanziate di almeno 0,5 metri**
 - ❖ **posizionate nella parte bassa del digestore a partire da un metro dal fondo**

Scambiatori di calore

- Scambiatore di calore interno in acciaio inox ad elementi flangiati



Fonte: Chiumenti 2006

Scambiatori di calore

- Scambiatore di calore interno in acciaio inox a tubazioni saldate



Fonte: Chiumenti 2006

Scambiatori di calore

- Tubazioni di termostatazione dell'impianto, con in evidenza quelle principali di entrata e ritorno e quelle di riscaldamento del pavimento del digestore



Fonte: Chiumenti 2006

Vasca di igienizzazione

- Nel caso di co-digestione di alcune biomasse extra-aziendali è imposto l'obbligo di trattarla a 70°C per 60 minuti



Fonte: Chiumenti 2006

Copertura dell'impianto

- **Con la copertura gasometrica le dispersioni triplicano rispetto ad un digestore con solaio di copertura, diventando la voce più rilevante (fino al 70%) dell'intero fabbisogno energetico per la termostatazione dell'impianto**

Copertura dell'impianto

- **Digestori con copertura ad un telo supportato da struttura sottostante**



Copertura dell'impianto

- **Calotta gasometrica a volume costante di forma emisferica: in evidenza il compressore che tiene in tensione la struttura**



Fonte: Chiamenti 2006

Copertura dell'impianto

- **Gasometri a volume costante disgiunti dal digestore**



Fonte: Chiamenti 2006

Copertura dell'impianto

- **Due digestori a doppio stadio con in primo piano le cupole gasometriche a volume costante montate sui secondi stadi**



Fonte: Chiamenti 2006

Copertura dell'impianto

- **Copertura con pilastro centrale di supporto del telo esterno**



Copertura dell'impianto

- Copertura di un digestore con struttura in legno



Fonte: Chiamenti 2006

Copertura dell'impianto

- Il gasometro a volume variabile costituisce la soluzione classica



Fonte: Chiamenti 2006

Copertura dell'impianto

- **Gasometro a sacco sotto tettoia**



Fonte: Chiamenti 2006

Copertura dell'impianto

- **Digestore monostadio a struttura chiusa con accumulo interno del biogas**



Fonte: Chiamenti 2006

Copertura dell'impianto

- **Digestori anaerobici monostadio con gasometro “a campana”**



Fonte: Chiamenti 2006

Copertura dell'impianto

- **Impianto orizzontale: è la tipologia ritenuta più adatta per la digestione di biomasse ad alto contenuto di sostanza secca**



Fonte: Chiamenti 2006

Struttura orizzontale

- Gli impianti a strutturazione orizzontale trovano applicazione soprattutto nella digestione di biomasse provenienti dal settore civile, come quelle della raccolta differenziata
- Garantiscono la possibilità di operare anche con concentrazioni di sostanza secca in entrata dell'ordine del 20-22%



Fonte: Chiamenti 2006

Struttura interrata

- La possibilità di interrare il digestore riduce la necessità di isolamento della struttura, con grandi vantaggi nella termostatazione dell'impianto.
- Negli impianti interrati, si ha il vantaggio di poter installare sopra il digestore tutte le attrezzature di servizio
 - ❖ il pozzetto di ispezione con l'arganello di sollevamento del miscelatore
 - ❖ la valvola di sicurezza
 - ❖ l'eventuale tramoggia per il carico diretto di biomasse solide
- Gran parte dei digestori in Germania e anche in Alto Adige hanno questa caratteristica.

Struttura interrata



Carico e scarico dell'impianto



Carico dell'impianto

- Vasca di carico di un impianto con in evidenza il miscelatore per la omogenizzazione dei reflui che arrivano dalle stalle



Fonte: Chiumenti 2006

Carico dell'impianto

- Apparato di pompaggio e triturazione per materiali fibrosi (paglia, silomais, erba..) collegato a monte con la vasca di miscelazione e a valle con il digestore



Fonte: Chiumenti 2006

Carico dell'impianto

- Tramoggia di carico di materiali solidi nel digestore per mezzo di coclea



Fonte: Chiumenti 2006

Carico dell'impianto

- Tramoggia per il carico del silomais, lettiera di broiler, letame
- Nel caso di digestori fuori-terra il carico è fatto con coclea



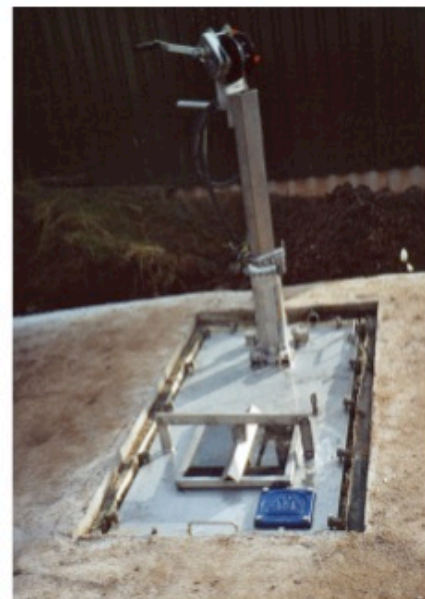
Fonte: Chiumenti 2006

La miscelazione dell'impianto

- **Metodi di miscelazione del materiale nell'impianto di digestione anaerobica**
 - ❖ **Macchine con motore esterno**
 - ❖ **Macchine con motore sommerso**
 - ✓ **Sistema di sollevamento e posizionamento**
 - ✓ **Maggiori vantaggi rispetto alla soluzione con motore esterno**
 - **Liquami suini di facile sedimentazione**
 - **Liquami bovini con paglia**
 - **Crosta superficiale**

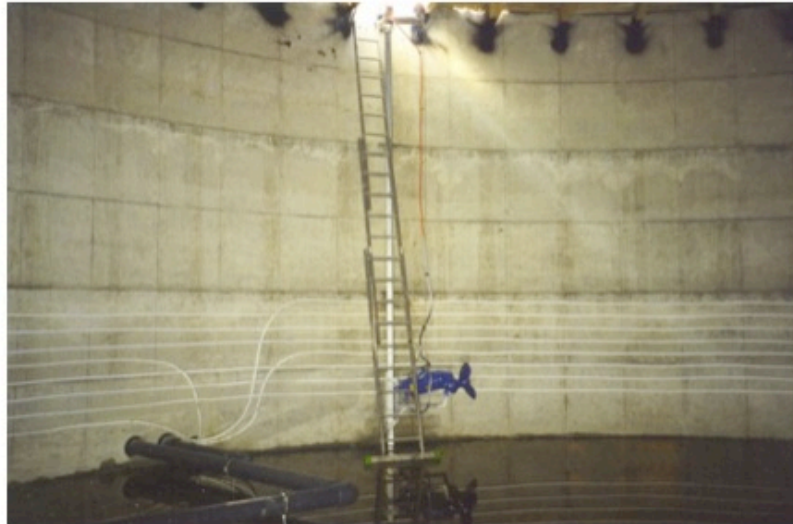
Miscelazione con motore sommerso

- **Miscelatore di tipo sommerso con argano di sollevamento-posizionamento**



Miscelazione con motore sommerso

- Per la miscelazione si possono utilizzare macchine con motore sommerso, ancorate ad un sistema di sollevamento-posizionamento all'interno del digestore.



Fonte: Chiamenti 2006

Miscelazione con motore sommerso

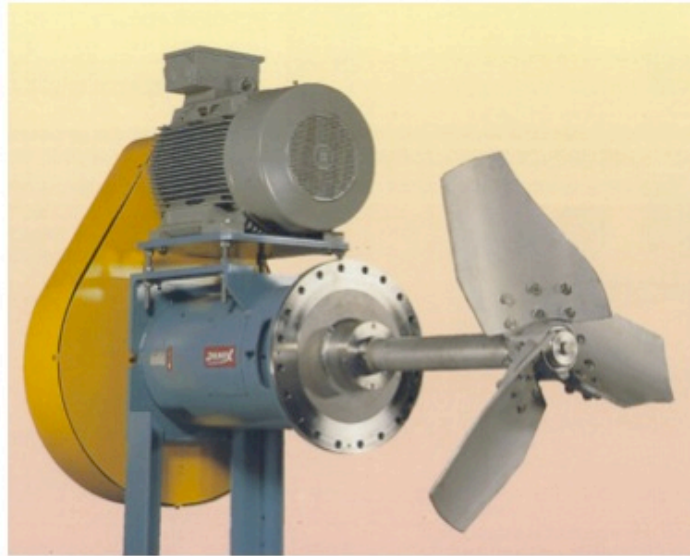
- Miscelatore di tipo sommerso
- In evidenza anche le tubazioni in PE a parete per il riscaldamento dei liquami



Fonte: Chiamenti 2006

La miscelazione dell'impianto

- La forma delle pale del miscelatore è molto importante perché dalla sua efficienza dipende la spesa energetica



Fonte: Chiamenti 2006

La miscelazione dell'impianto

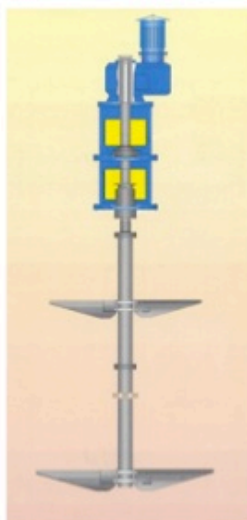
- I miscelatori meccanici a basso regime di rotazione sono preferibili sotto l'aspetto energetico, ma impegnativi economicamente



Fonte: Chiamenti 2006

La miscelazione dell'impianto

- **Miscelatore ad asse verticale a motore esterno**
 - ❖ utilizzabile in digestori con solaio di copertura



Fonte: Chiamenti 2006

La miscelazione dell'impianto

- **Lo scarico di fondo è di norma da prevedersi negli allevamenti suinicoli e nelle aziende di vacche da latte in cui si preveda la co-digestione con biomasse di facile sedimentabilità.**



Fonte: Chiamenti 2006

La miscelazione dell'impianto

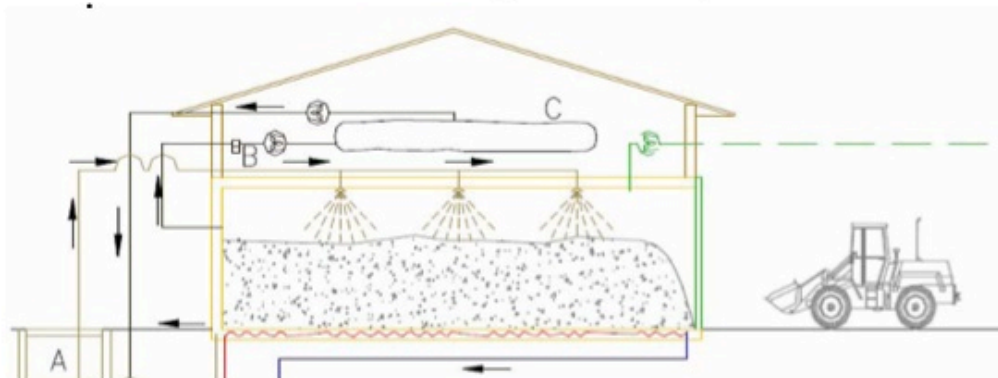
- L'inserimento di un rischiatore di fondo, in abbinamento con un pozzetto interno, è utile quando si operi con biomassa ad alto contenuto in solidi di non facile degradabilità



Fonte: Chiumenti 2006

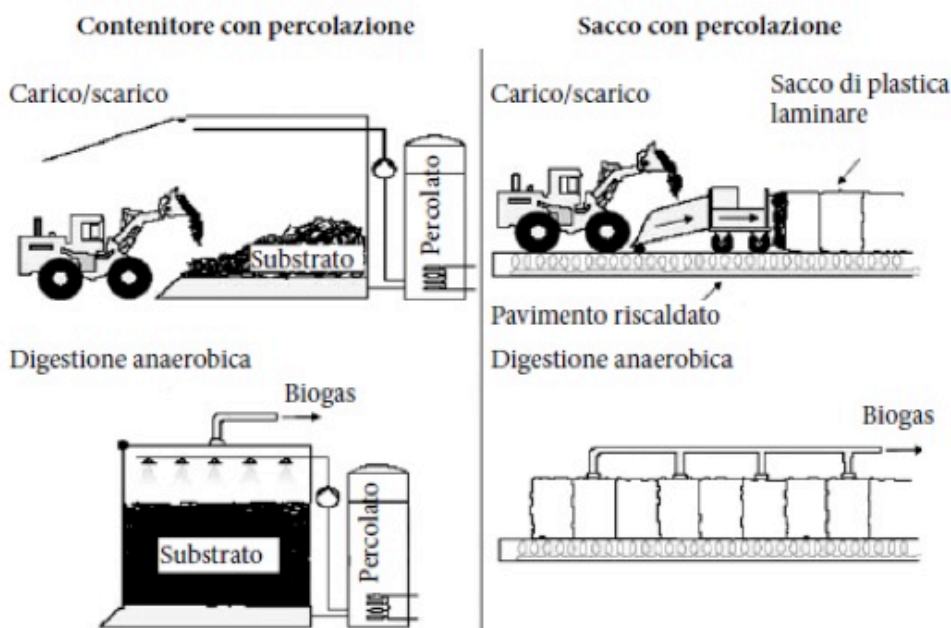
Digestori a secco

- La struttura di questi impianti è tipo container, con porta di carico-scarico a chiusura ermetica con riscaldamento attuato mediante tubazioni inserite nelle pareti e nella pavimentazione. La biomassa viene sistemata con altezza del cumulo di 3-4 metri e viene mantenuta in ambiente anaerobico per 30-35 giorni per poi essere scaricata con la stessa pala con la quale si era effettuato il



Fonte: Chiumenti 2006

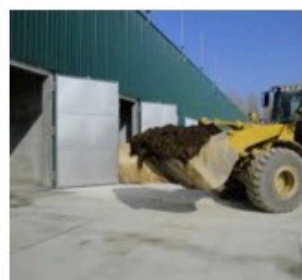
Processi tipici di digestione batch a secco



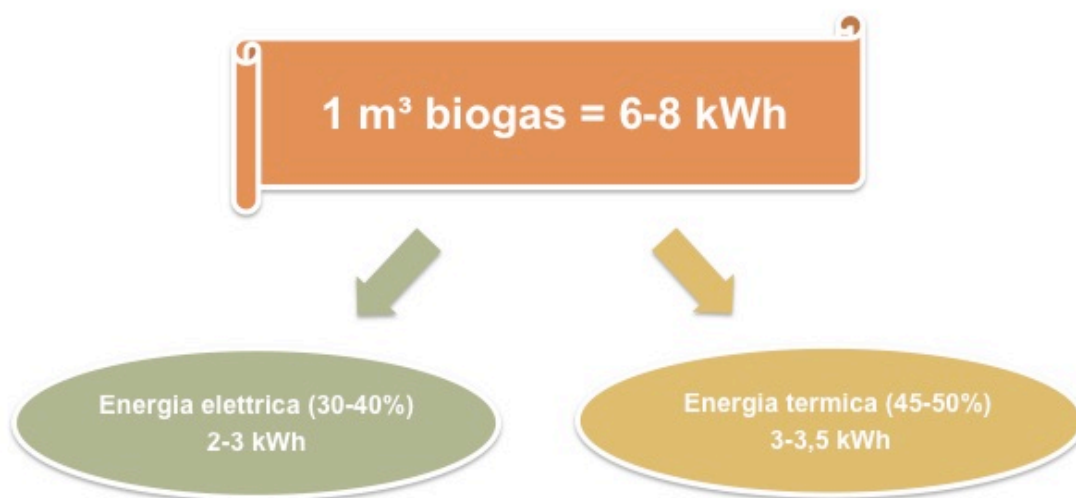
Fonte: Weiland 2003

Digestori a secco

- Considerata la produzione discontinua di biogas occorre disporre di almeno 3-4 celle



Rendimento energetico



Impianto agricolo-zootecnico da 2 MW in Ungheria



La desolfurazione del biogas

- La desolfurazione (idrogeno solforato contenuto nel biogas in tracce) può anche essere ottenuta introducendo con regolarità nel digestore aria nella misura del 2-4% in volume: si ha la precipitazione dell' H_2S come cristalli di zolfo
- A garanzia della durata dei motori, inoltre, occorre evitare la presenza di ogni componente in rame, materiale che viene aggredito dall'idrogeno solforato

La separazione liquido/solido (L/S)

- La separazione liquido/solido dopo il processo di digestione facilita le operazioni di fertirrigazione in copertura e riduce di volumi di stoccaggio del digerito



La separazione liquido/solido (L/S)

- Le attrezzature oggi più utilizzate sono i separatori cilindrici rotanti con rulli di compressione e i separatori a compressione elicoidale
 - ❖ abbattimento del 10% dell'azoto per i liquami suini
- Le attrezzature più efficienti sono separatori centrifughi
 - abbattimento del 30% dell'azoto per i liquami

Compostaggio

- Produzione di compost dal liquame
- Sotto l'aspetto impiantistico e di processo non ci sono particolari problemi
 - ❖ concorrenza del compost proveniente dal comparto civile
 - ❖ bassi prezzi



Compostaggio

