



ENERGIA DALLE BIOMASSE

ITIS Basilio Focaccia

Piano Offerta Formativa a.s. 2009/2010

Responsabile del progetto: Prof.ssa Tullia Aquila

I processi di conversione biochimica delle biomasse

Digestione aerobica



Digestione anaerobica





Introduzione



I processi di conversione biochimica sono dovuti al contributo di enzimi, funghi e micro-organismi, che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni, e vengono impiegati per quelle biomasse in cui:

- **il rapporto C/N sia inferiore a 30**
- **l'umidità alla raccolta sia superiore al 30%**

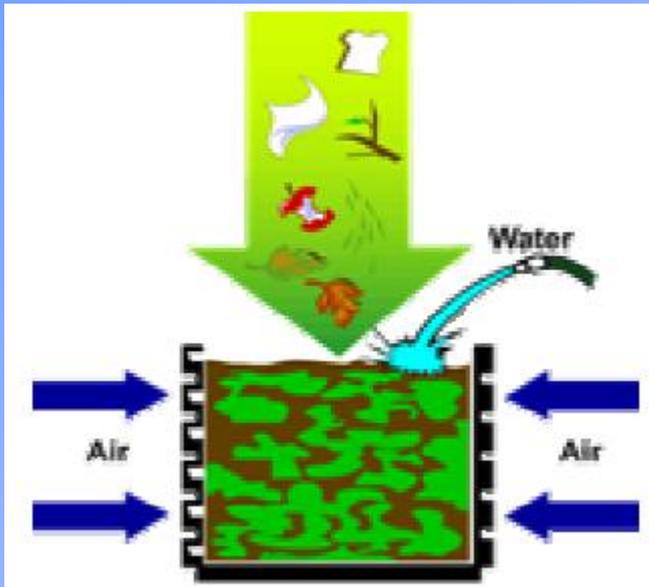
Risultano idonei alla conversione biochimica:

- colture acquatiche
- alcuni sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, ortive, patata, ecc.)
- reflui zootecnici
- scarti di lavorazione (borlande, acqua di vegetazione, sanse, etc.)
- la frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU)



Degradazione aerobica delle biomasse (compostaggio)

Insieme di processi naturali che portano alla degradazione della frazione organica, conducendo alla sintesi di una famiglia di composti chiamati comunemente "humus" (acidi umici e fulvici).



Recupero Frazione Organica: Compostaggio



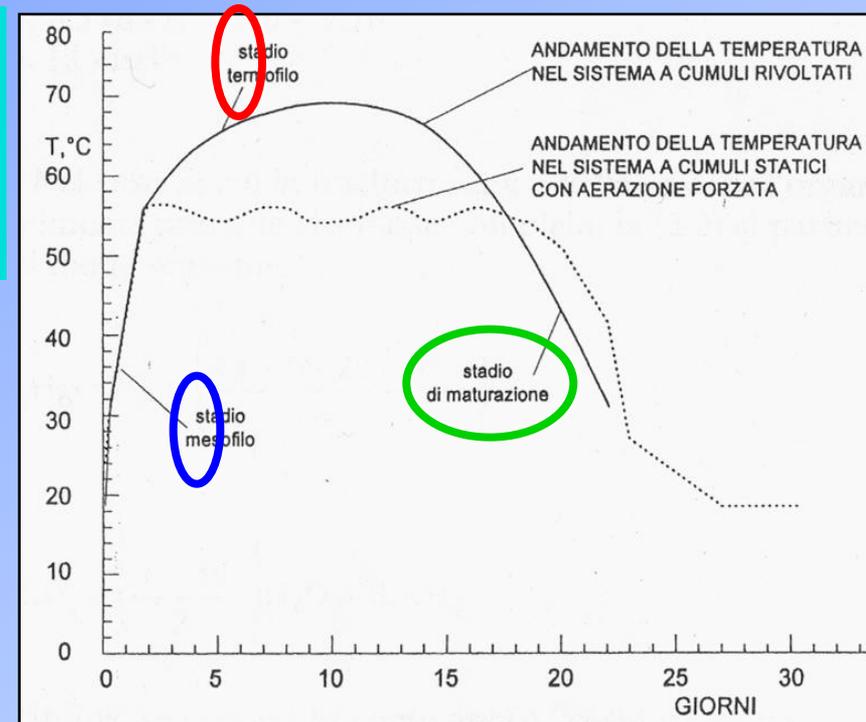
principali fasi del processo aerobico

➤ **fase mesofila (di latenza)**
crescita dei batteri (mesofili),
degradazione di carboidrati, lipidi e
proteine con produzione di CO_2 , H_2O ,
calore (rapido aumento della temperatura)

➤ **fase termofila (di stabilizzazione)**
a $T > 50^\circ\text{C}$ resistono solo i batteri termofili
si accelerano i fenomeni bioossidativi
viene rilasciata ammoniacca ($\text{pH} \approx 8$)

→ morte degli agenti patogeni

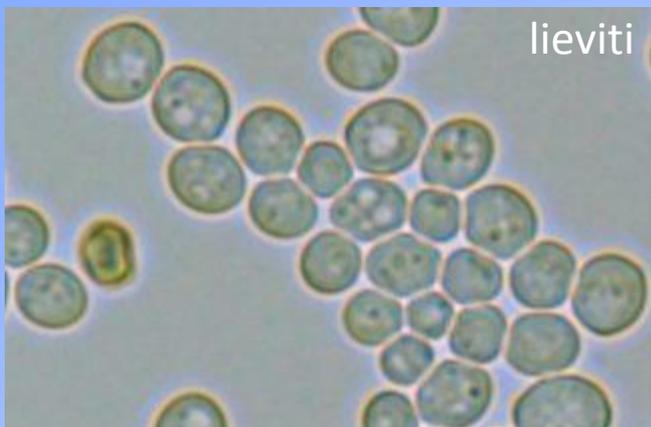
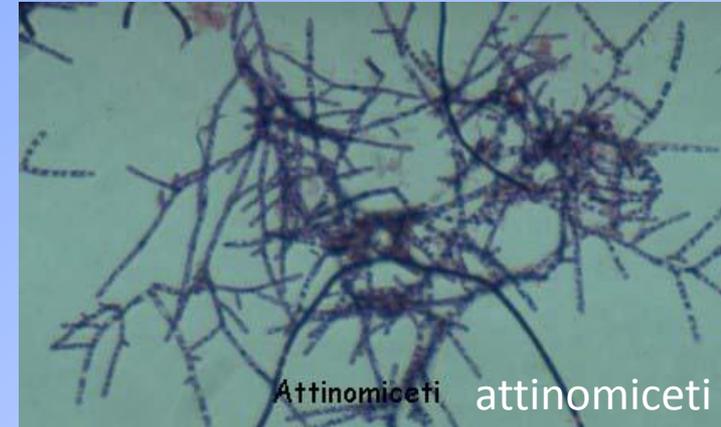
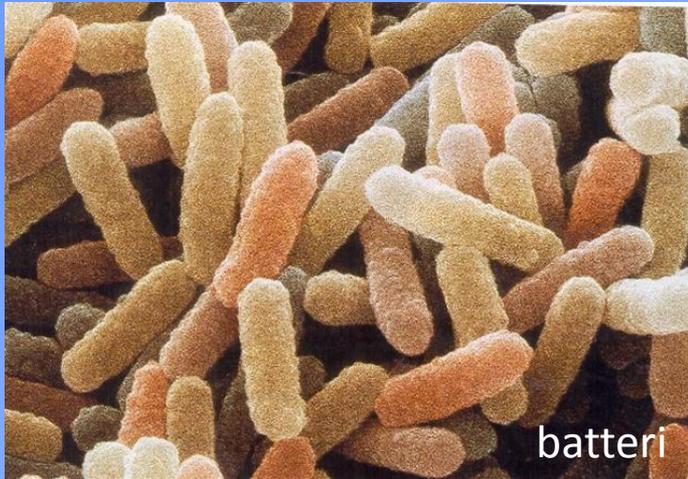
➤ **fase di raffreddamento (di maturazione)**
predominano i funghi e gli attinomiceti, inizia la degradazione di
cellulosa e lignina con formazione di acidi umici e fulvici (humus)
la T ed il pH si abbassano, l'attività microbica diminuisce



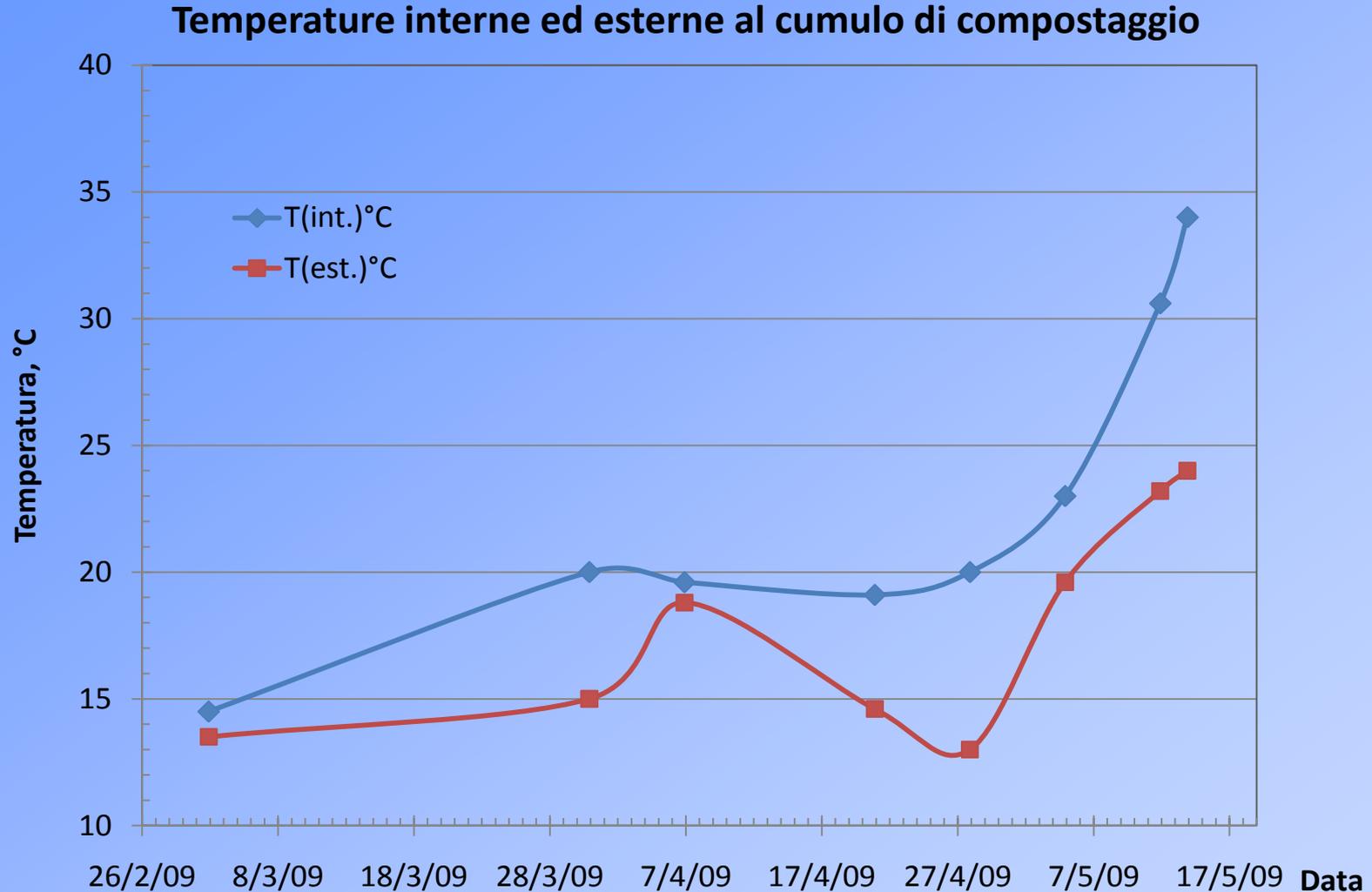
Recupero Frazione Organica: Compostaggio



ecosistema microbico attivo nel processo aerobico



Cumulo di compostaggio realizzato nel giardino della scuola



Si evidenzia, a partire da fine aprile, il rapido incremento di temperatura tipico della fase di crescita dei batteri mesofili, che degradano carboidrati, lipidi e proteine con produzione di CO₂, H₂O e calore.

Recupero Frazione Organica: Compostaggio



Compost di “qualità” (superiore)
da scarti organici selezionati alla fonte (da RD)
Ammendante Compostato Misto

D.lgs. 748/1984
D.lgs. 217/2006



**prodotto utilizzabile senza particolari
vincoli p.e. in orticoltura, frutticoltura,
florovivaismo...**



COMPOST QUALITÀ C.I.C.
marchio di qualità
del CIC CONSORZIO
ITALIANO
COMPOSTATORI

Compost di “qualità controllata” (qualità inferiore)
da scarti organici non selezionati alla fonte (da rifiuto indifferenziato)
Frazione Organica Stabilizzata (FOS)

da impianti di Trattamento Meccanico Biologico (TMB) p.e. CDR

**prodotto soggetto a standard qualitativi ed utilizzabile per ripristini ambientali
p.e. recupero di cave esaurite ed aree inquinate, sistemazione discariche esaurite...**

ammendante = correttivo della costituzione dei suoli

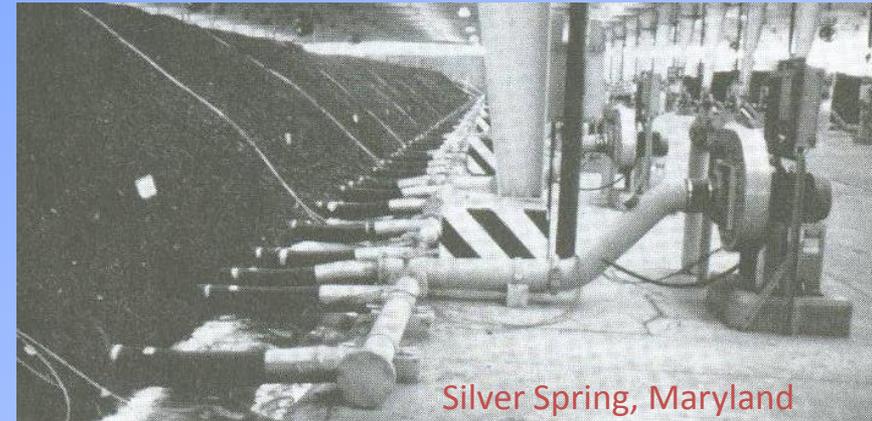
Esempi di impianti industriali di compostaggio

Sistema aperto rivoltato



impianto di trattamento di Los Angeles

Sistema aperto con aerazione forzata



Silver Spring, Maryland

Sistema chiuso: reattore di compostaggio



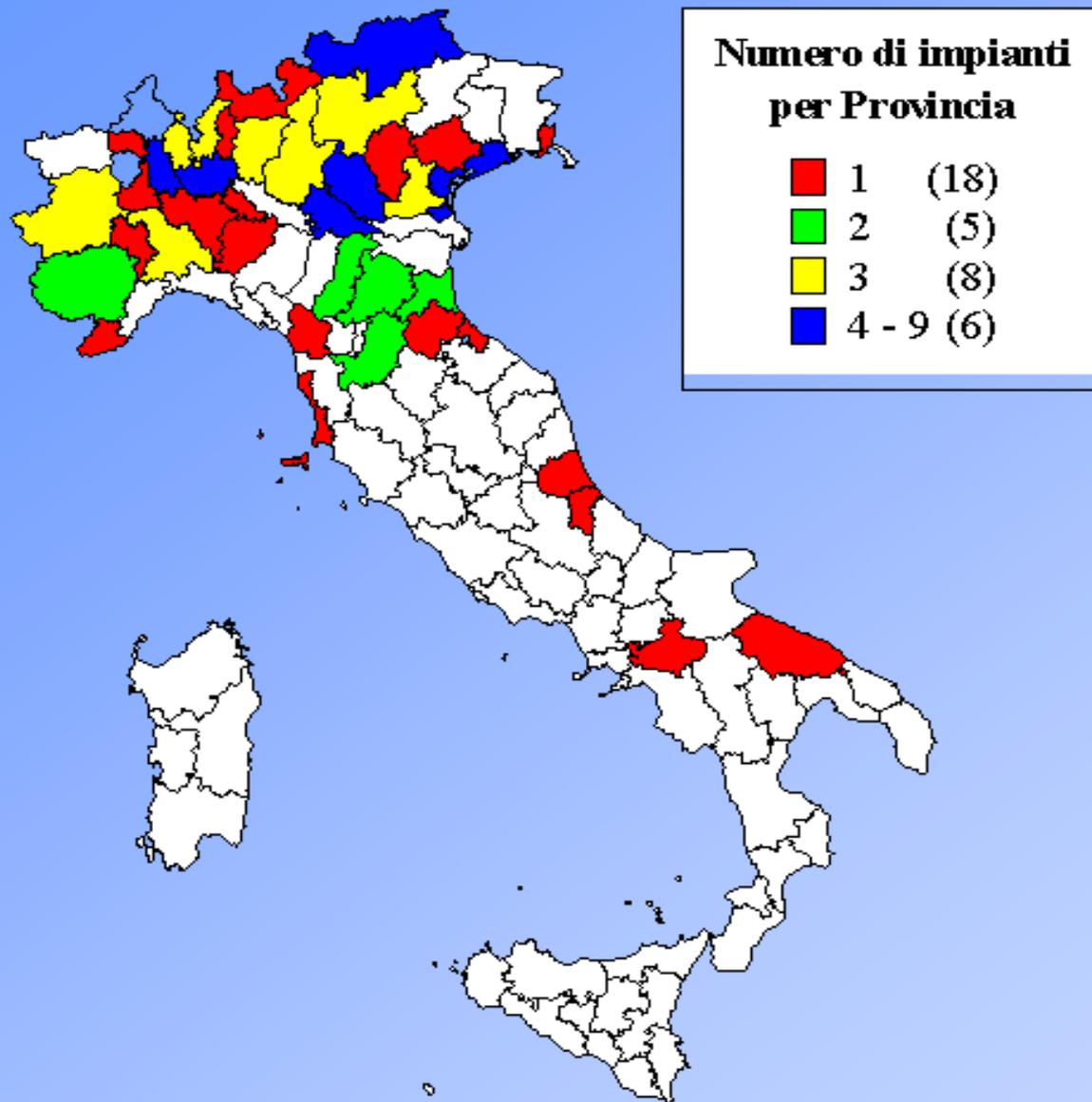
impianto di compostaggio di Teora (AV)

Sistema chiuso a flusso verticale



NGK, Aiki Prefecture
Giappone

Recupero Frazione Organica: Compostaggio



*Distribuzione territoriale dei **101** impianti di compostaggio di frazioni preselezionate in esercizio nel 1999. Tra parentesi il numero di province con la relativa dotazione di impianti.*

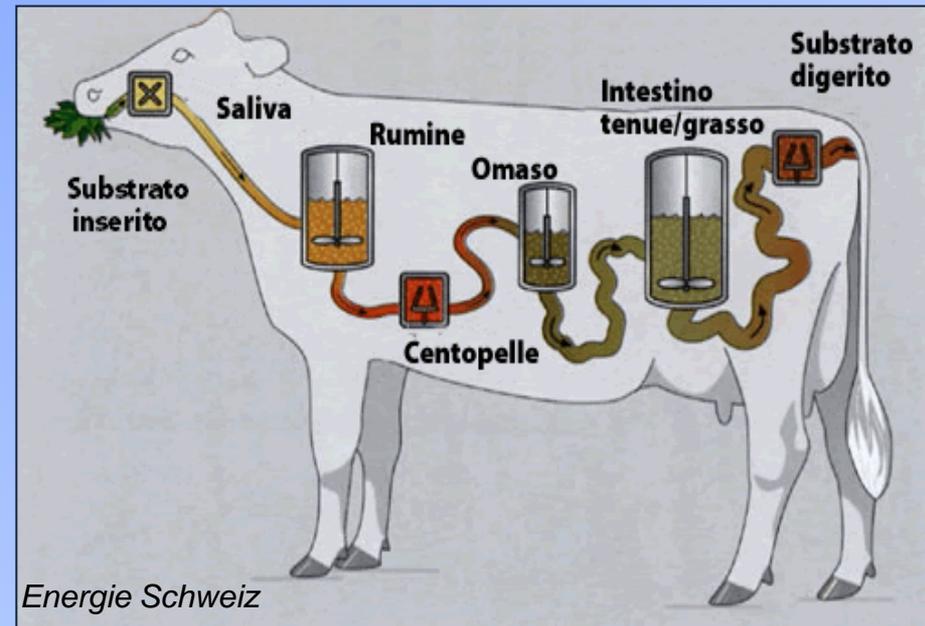
Digestione anaerobica



- La ***digestione anaerobica*** (DA) è un processo di decomposizione biologica dei liquami organici di origine animale.
- In particolari condizioni, anaerobiche appunto, alcuni batteri, presenti naturalmente nei liquami, ma anche nei rifiuti solidi e in generale in tutto ciò che ha origine organica, si sviluppano e si riproducono, utilizzando come nutrimento le sostanze organiche presenti.
- L'effetto complessivo è la **riduzione della massa** grazie alla produzione di composti chimici gassosi, che costituiscono il cosiddetto **biogas**, una miscela formata essenzialmente da **metano** (50-80%) e anidride carbonica.

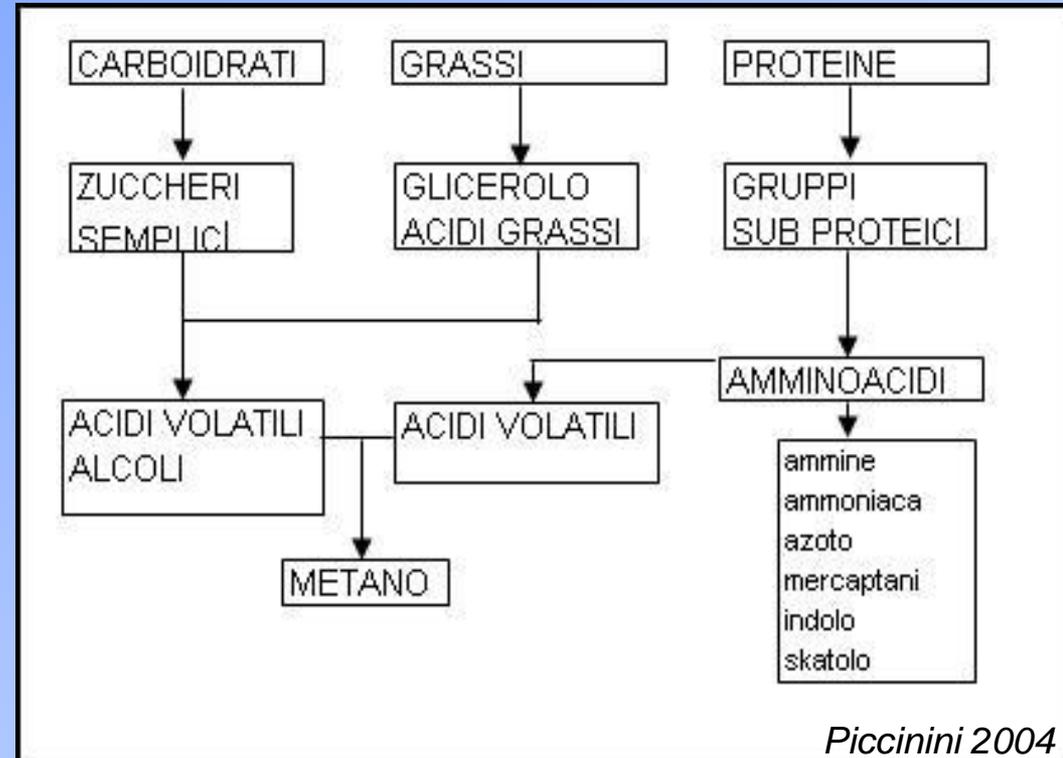
Digestione anaerobica

In linea di principio la produzione di biogas coincide con il processo digestivo in atto nello stomaco di ogni bovino, come illustrato dal grafico di Energie Schweiz.



Digestione anaerobica. Processo

Nei reflui di origine animale si possono individuare tre grandi classi di composti: carboidrati, grassi e proteine. Ciascuna di queste sostanze viene utilizzata e trasformata nei processi metabolici batterici, secondo lo schema illustrato.

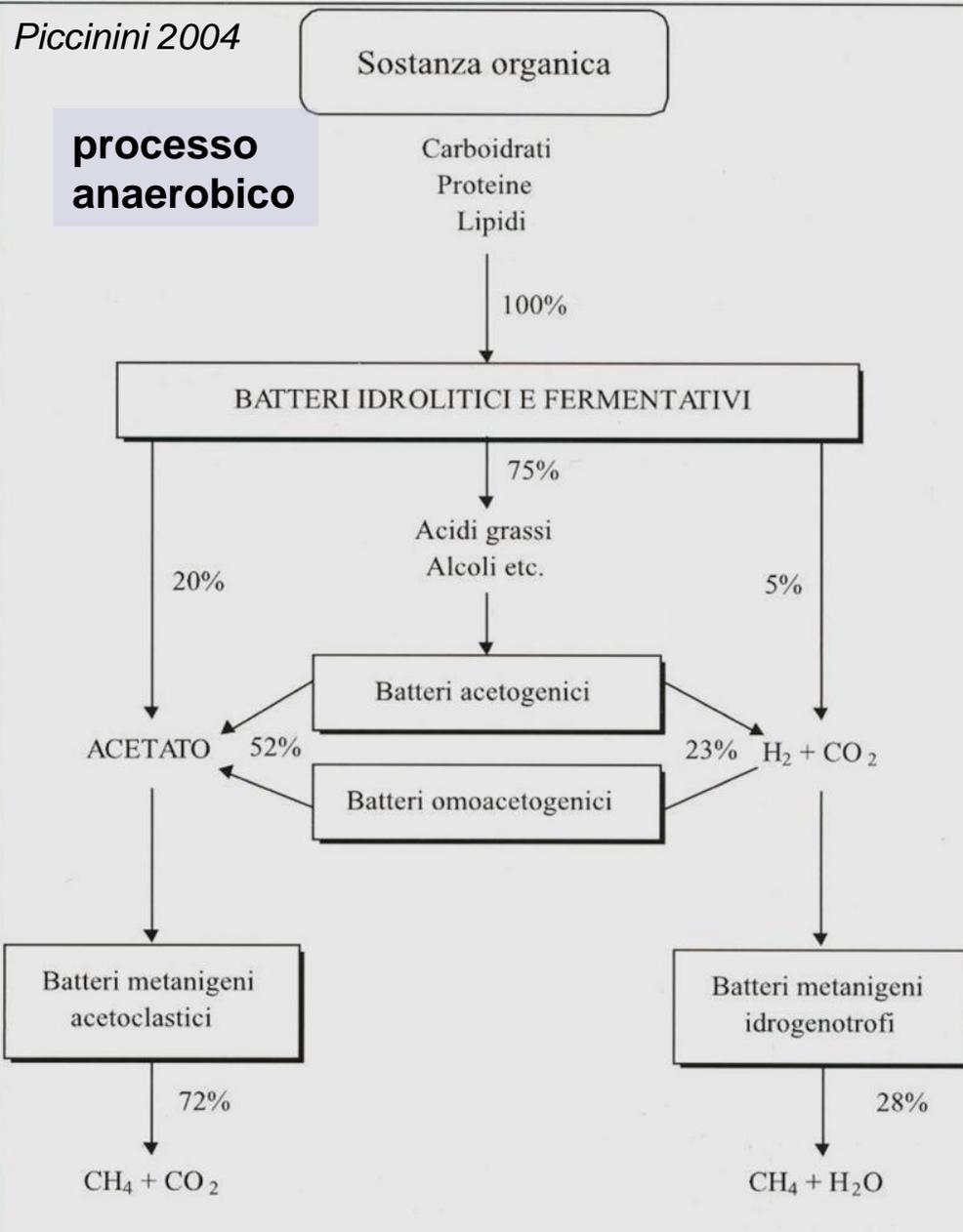


Piccinini 2004

Digestione anaerobica. Fasi processo

Piccinini 2004

processo
anaerobico



1. **batteri idrolitici:** spezzano le macromolecole biodegradabili in sostanze più semplici
2. **batteri acidogeni:** utilizzano i prodotti di degradazione dei batteri idrolitici e producono acidi organici a catena corta
3. **batteri acetogeni:** utilizzano i prodotti dei batteri acidogeni dando luogo ad acetato, idrogeno ed anidride carbonica
4. **batteri omoacetogeni:** utilizzano anidride carbonica ed idrogeno per sintetizzare acetato

- **batteri metanigeni acetoclastici:** utilizzano acido acetico per produrre **metano** ed anidride carbonica
- **batteri idrogenotrofi:** utilizzano anidride carbonica e idrogeno per produrre **metano**

Digestione anaerobica. Applicazioni

I digestori più comuni sono quelli **continui**, che possiedono dispositivi meccanici o idraulici atti a mescolare il materiale e a estrarne in continuazione gli eccessi per mantenere il volume della massa reagente costante con l'aggiunta continua di nuovo materiale organico. L'altra tipologia di digestori è quella discontinua, **batch**, impiantisticamente più semplice, ma che ha lo svantaggio di emettere odori e di possedere cicli di svuotamento problematici.

Digestione anaerobica. Applicazioni

Criteri per la suddivisione dei processi anaerobici (Cecchi et al., 2005)

- regime termico:

 - Psicrofilia (20°C) (poco utilizzato industrialmente)

 - Mesofilia (35-37°C)

 - Termofilia (55°C)

 - Estrema termofilia (65-70°C non impiegata industrialmente)

- contenuto di solidi nel reattore

 - Processo umido (5-8% solidi totali)

 - Processo semi-secco (solidi totali 8-20%)

 - Processo secco (solidi totali > 20%)

- fasi biologiche

 - Unica: l'intera catena di processi biochimici è mantenuta in un singolo reattore

 - Separate: le fasi idrolitica e fermentativa (acidogenica) sono separate da quella metanogenica

- modalità operativa

 - Reattore (o reattori) continuo miscelato

 - Reattore batch (o discontinuo)

La scelta dell'uno o dell'altro dei processi possibili e delle diverse configurazioni impiantistiche dipende essenzialmente dalle **caratteristiche del substrato da trattare**.

Digestione anaerobica. Applicazioni

- Un parametro particolarmente importante è il **pH**, il cui valore ottimale è intorno a **7-7.5**.
- La durata (il tempo di residenza) del processo dipende dal regime termico scelto: mediamente in **mesofilia** i tempi di residenza sono compresi in un campo di **14-30 giorni**, nel caso di un processo con **batteri termofili** le temperature più elevate permettono di velocizzare la digestione, che richiede solamente **due settimane** per giungere a completamento.
- Di contro la digestione termofila ha un costo maggiore poiché richiede più energia per la termostatazione ed è più critica dell'analogo processo mesofilo. Quest'ultimo è, quindi, quello attualmente più utilizzato.

Digestore anaerobico Batch

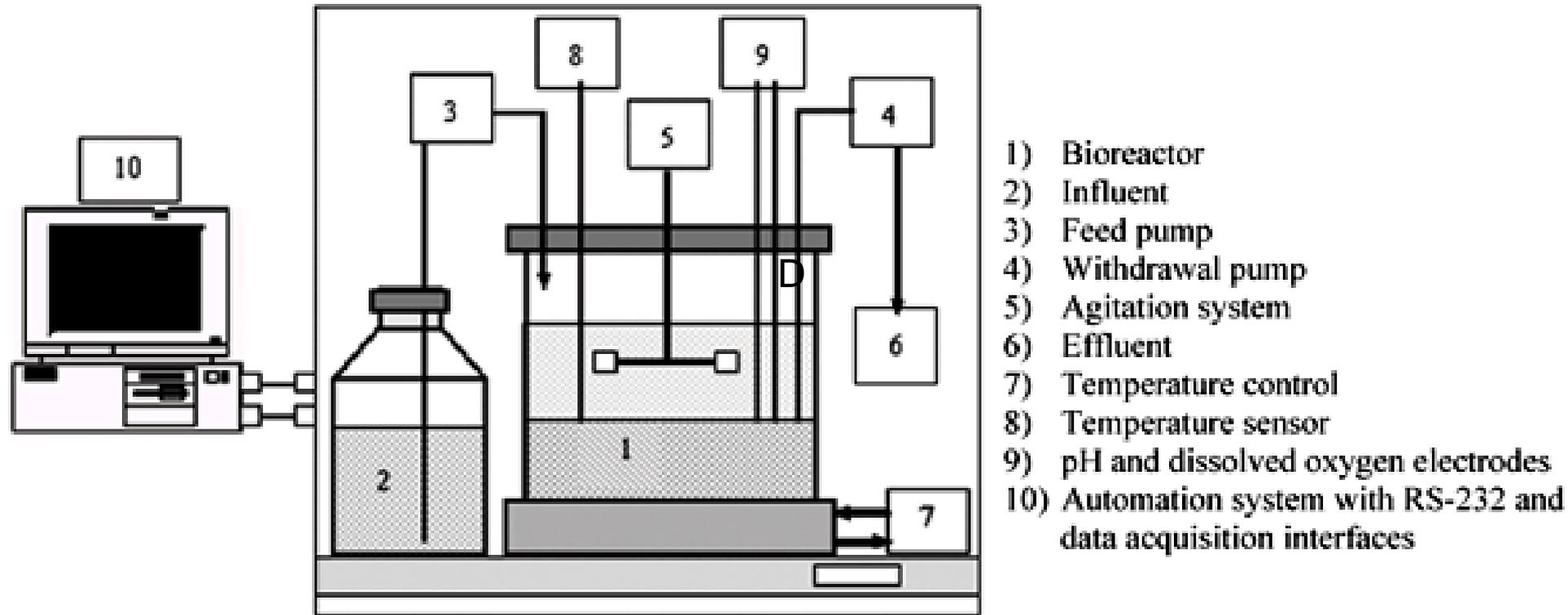


Figure 1: Diagram of the stirred anaerobic sequencing batch reactor

Digestore anaerobico

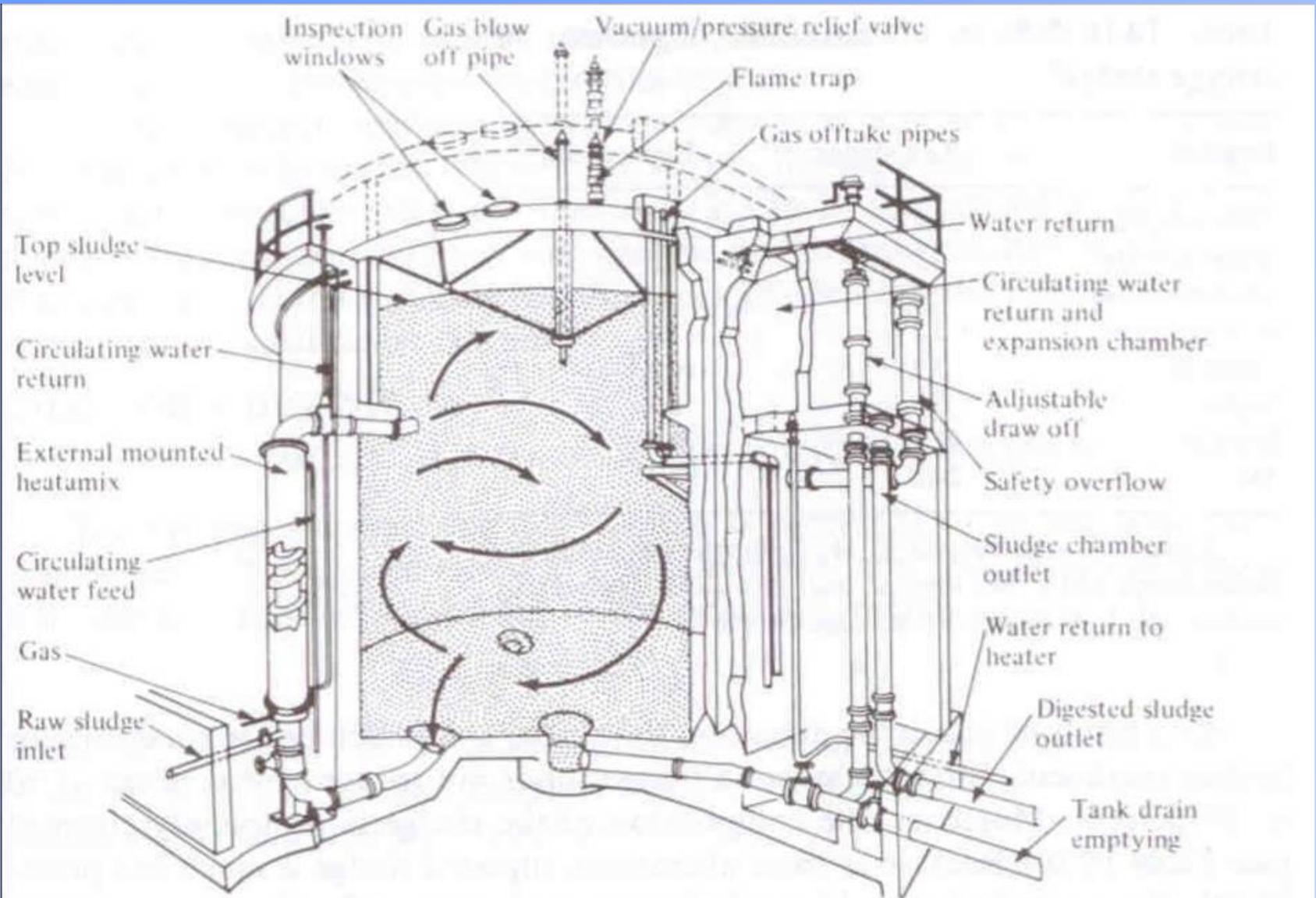
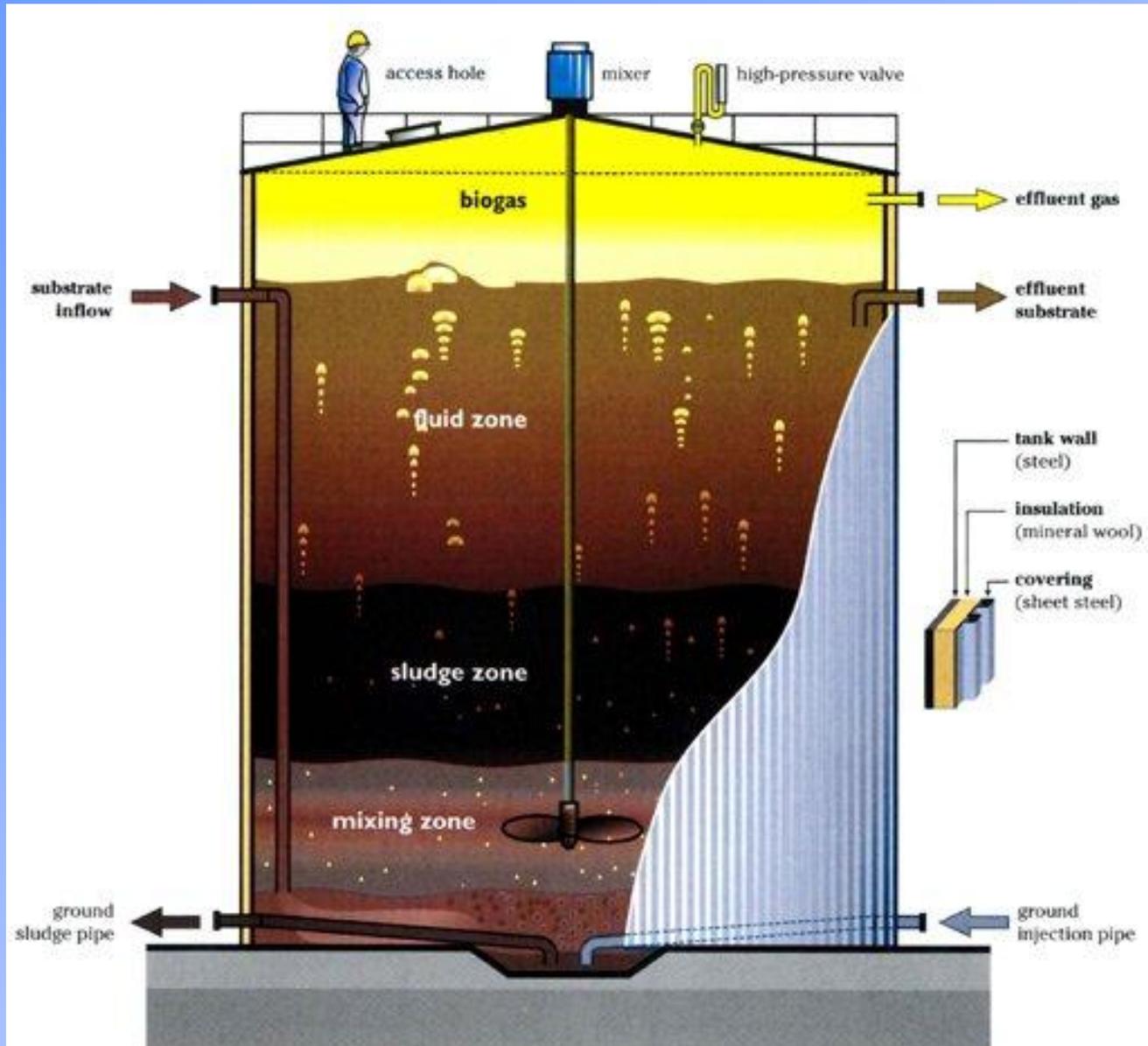


Figure 14.20 Schematic diagram of an anaerobic digestion unit. (Reprinted from B. Atkinson, "Biochemical Reactors," p. 24, Pion Ltd., London, 1974.)

Digestore anaerobico in continuo



Digestori anaerobici





web.mit.edu/SEAGRANT/edu/research/treatment/sludge.html



untitledname.com/2006/04/digester-eggs-2

Digestione anaerobica. Effetti

In genere durante la digestione anaerobica si ottiene una **riduzione di almeno il 50% dei Solidi Volatili (SV) alimentati.**

Per SV si intende la frazione solida di un campione che volatilizza in seguito a combustione a 650 °C.

In una biomassa da sottoporre a digestione anaerobica, la frazione di SV deve essere compresa tra il 70 e il 90% dei Solidi Totali (ST).

Digestione anaerobica. Effetti

Il **biogas** prodotto (potere calorifico 4500-6500 kcal/m³) può essere utilizzato per:

- combustione diretta in caldaia, con produzione di sola energia termica;
- combustione in motori azionanti gruppi elettrogeni per la produzione di energia elettrica;
- combustione in **cogeneratori** per la produzione combinata di energia elettrica e di energia termica;
- autotrazione come metano al 95% dopo purificazione.

In **cogenerazione** da 1 m³ di biogas è possibile produrre:

- ~1.8-2 kWh di elettricità
- ~2-3 kWh di calore



Digestione anaerobica

Rendimento in biogas

Il rendimento in biogas e, di conseguenza, energetico del processo di digestione anaerobica è molto variabile e dipende dalla biodegradabilità del substrato trattato.

Le rese in biogas di vari tipi di biomasse sono qui illustrate

Materiali	m ³ biogas/t SV
Deiezioni animali (suini, bovini, avicunicoli)	200 - 500
Residui colturali (paglia, collietti barbabietole..)	350 - 400
Scarti organici agroindustria (siero, scarti vegetali, lieviti, fanghi e reflui di distillerie, birrerie e cantine..)	400 - 800
Scarti organici macellazione (grassi, contenuto stomacale ed intestinale, sangue, fanghi di flottazione...)	550 - 1000
Fanghi di depurazione	250 - 350
Frazione organica rifiuti urbani	400 - 600
Culture energetiche (mais, sorgo zuccherino...)	550 - 750

Piccinini, 2004

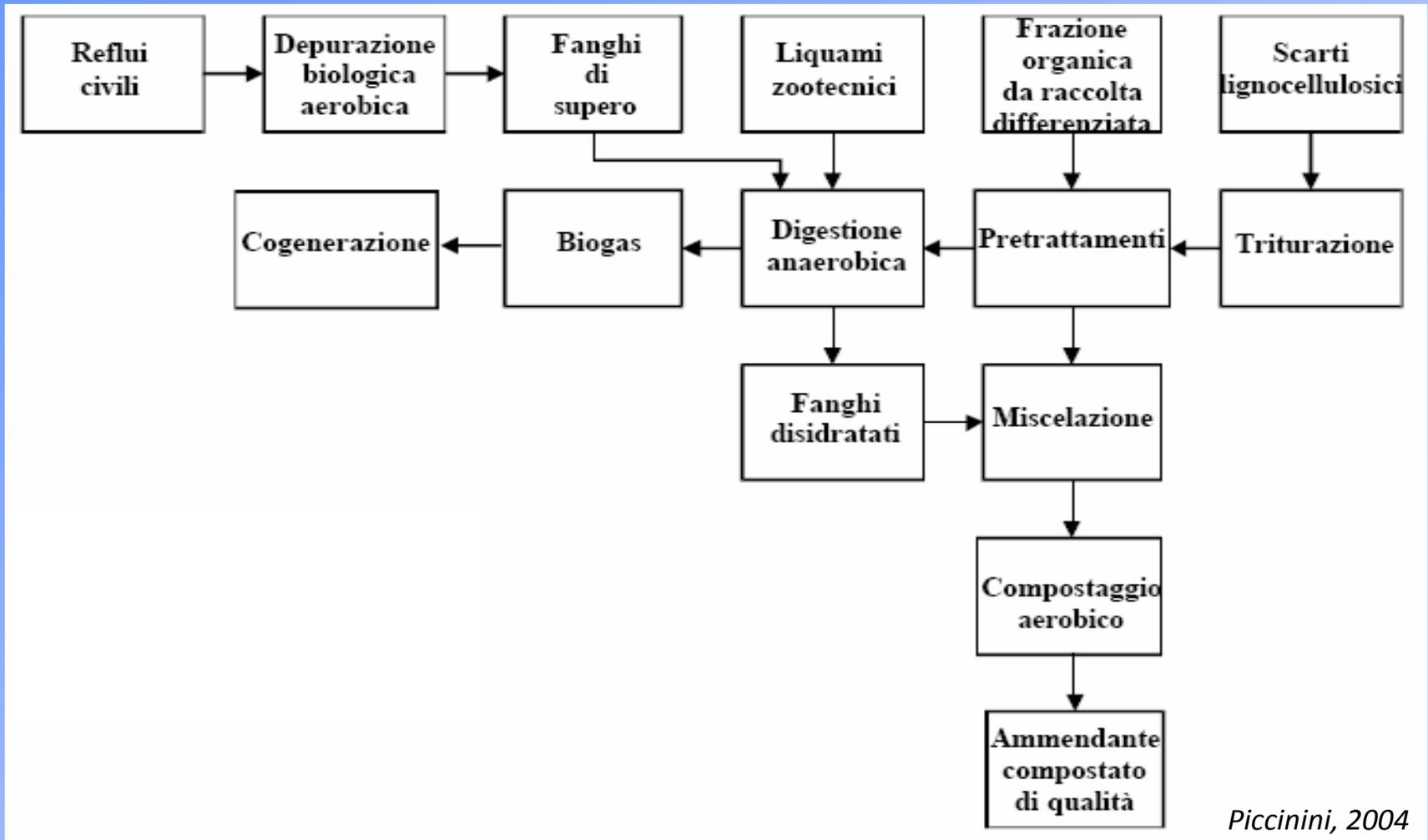
Digestione anaerobica in codigestione e a ciclo integrato

Recentemente si stanno diffondendo impianti di **codigestione** di liquami assieme a colture energetiche e/o scarti organici agro-industriali, ma anche FORSU.

Nell'impianto di depurazione di Treviso, ad esempio, il passaggio dalla digestione di soli fanghi secondari al regime di **codigestione con FORSU**, ha portato all'aumento della produzione di biogas **da 4.500 a 20.000 m³ al mese** (*Franco Cecchi*).

In questo tipo di impianti risulta vantaggioso far seguire alla DA il compostaggio aerobico della massa organica residua (**impianti a ciclo integrato aerobico/anaerobico**).

Schema del ciclo di trattamento integrato anaerobico/aerobico



Impianto di Camposampiero (PD)



Impianto centralizzato di Camposampiero (PD)

1 digestore 3300 m³ - 2 cogeneratori
0,5+0,5 MWe



Anno 2006:

FORSU 13.000 t/anno

Fanghi 7.800 t/anno

Effl. zoot. 3.000 t/anno

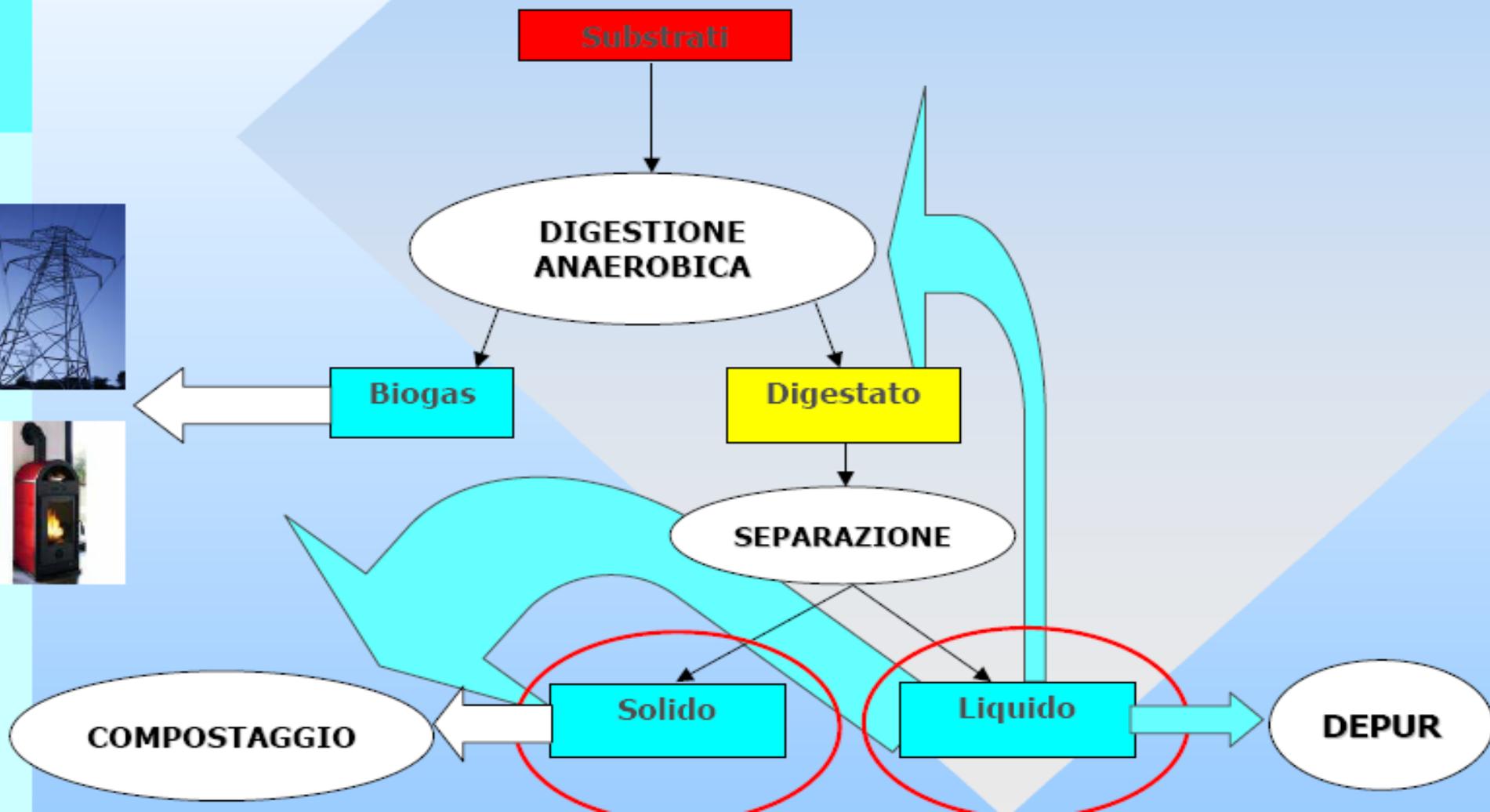
Biogas 1.800.000 m³/anno

Impianto a ciclo integrato (anaerobico/aerobico)



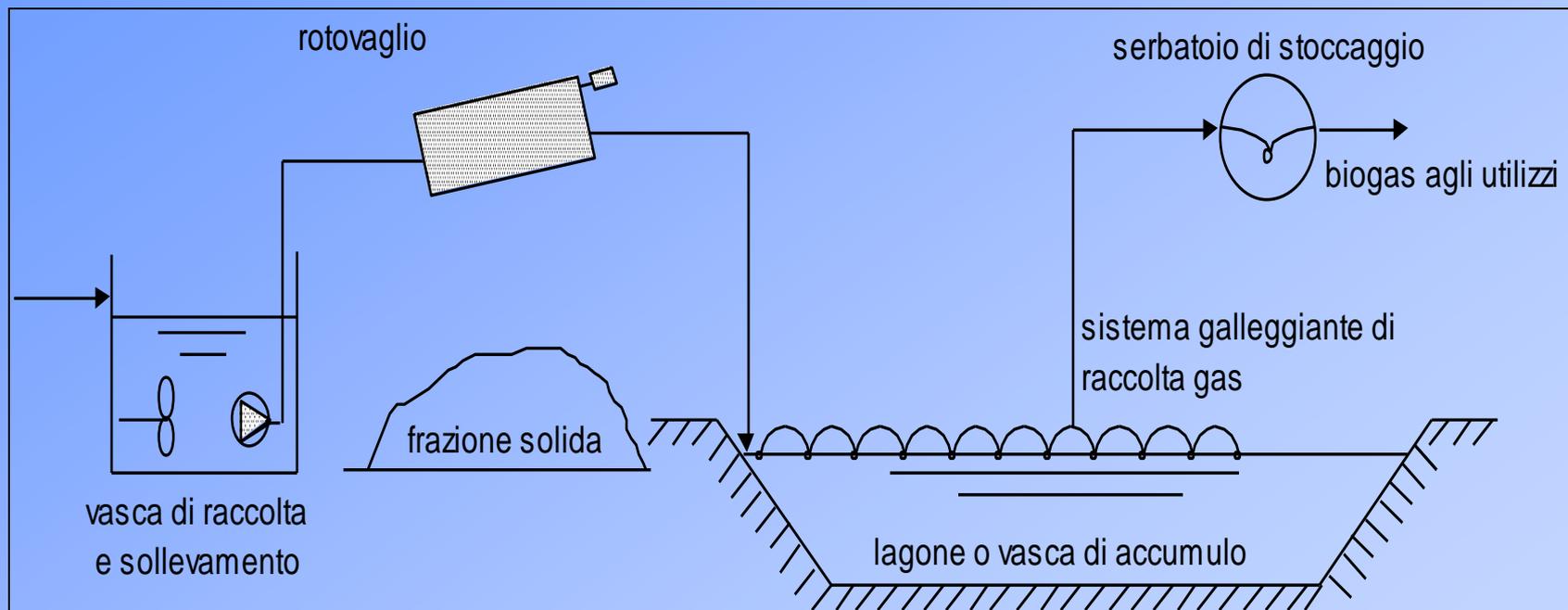
Scuola Agraria del Parco di Monza

Schema di flusso generico



Digestione anaerobica di liquami zootecnici (codigestione)

Schema di impianto di biogas semplificato, senza riscaldamento

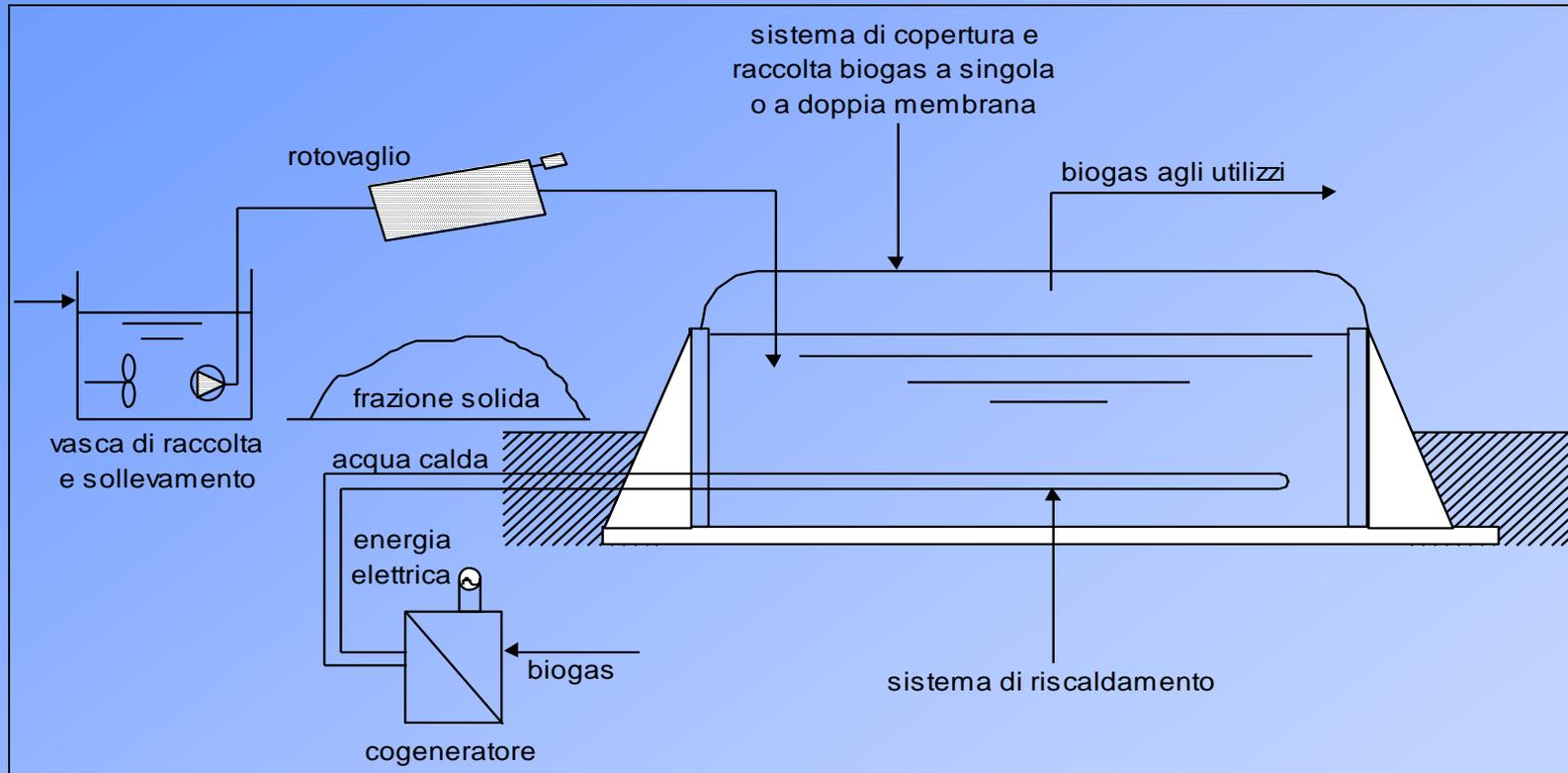


La produzione di metano ottenibile è di circa 15 m³/anno per 100 kg di peso vivo suino (circa 25 m³/anno di biogas)





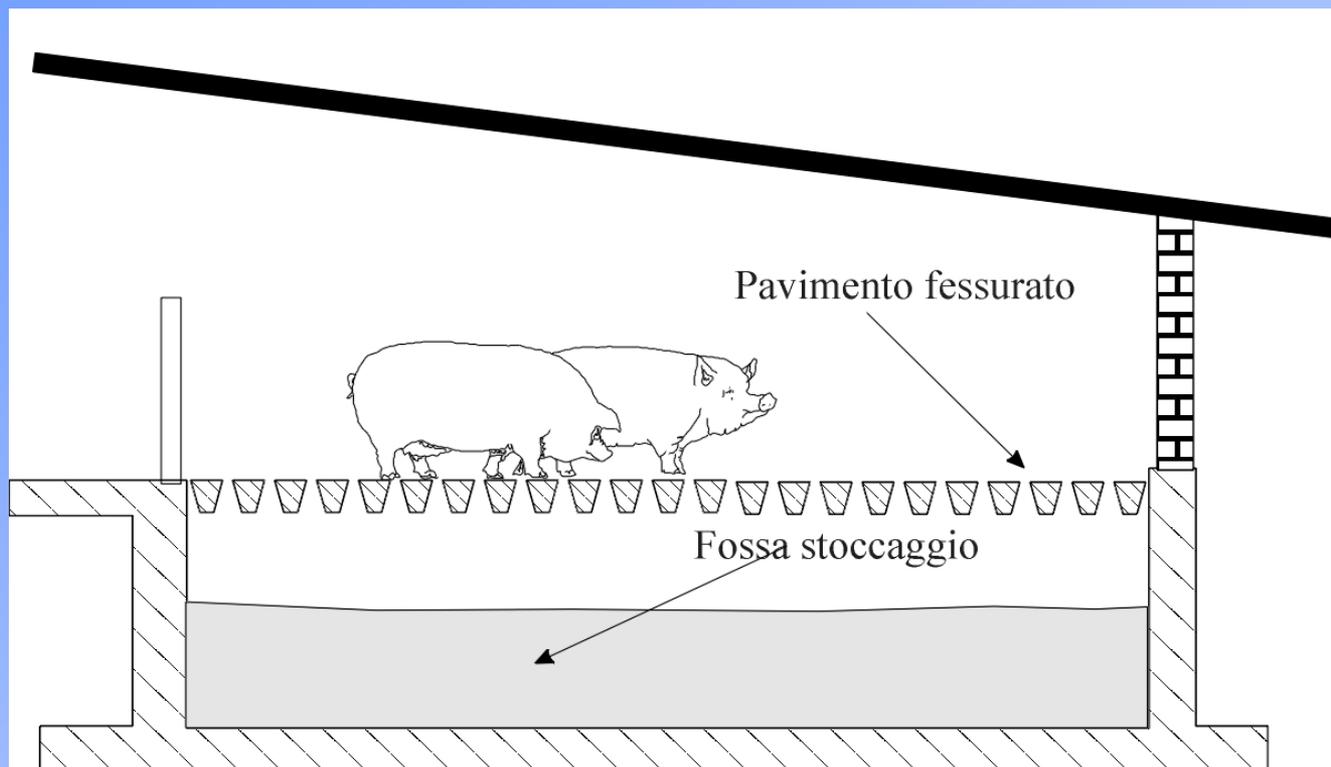
Schema di impianto di biogas semplificato con riscaldamento



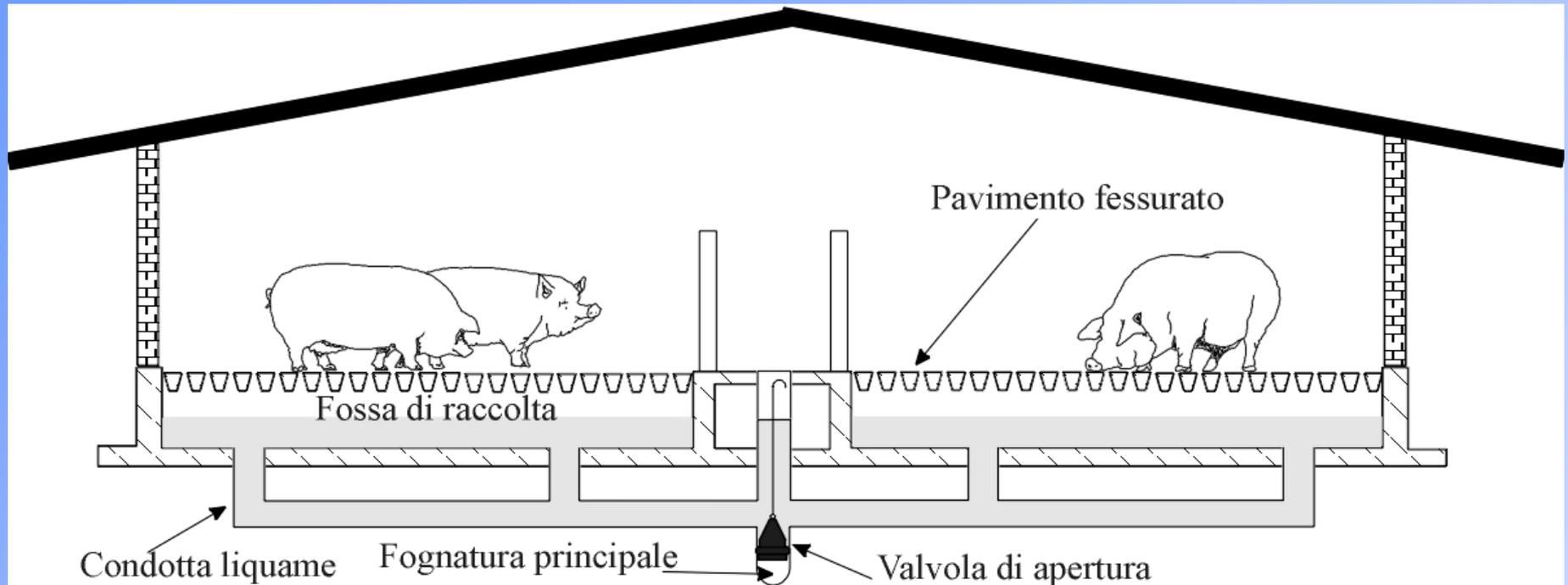
La produzione di metano ottenibile è di circa 21 m³/anno per 100 kg di peso vivo suino (circa 35 m³/anno di biogas)



PAVIMENTO TOTALMENTE FESSURATO (PTF) CON FOSSA DI STOCCAGGIO SOTTOSTANTE



PAVIMENTO TOTALMENTE FESSURATO (PTF) E RIMOZIONE DEI LIQUAMI CON SISTEMA A VACUUM



Schema impianto di biogas (codigestione) con cogenerazione

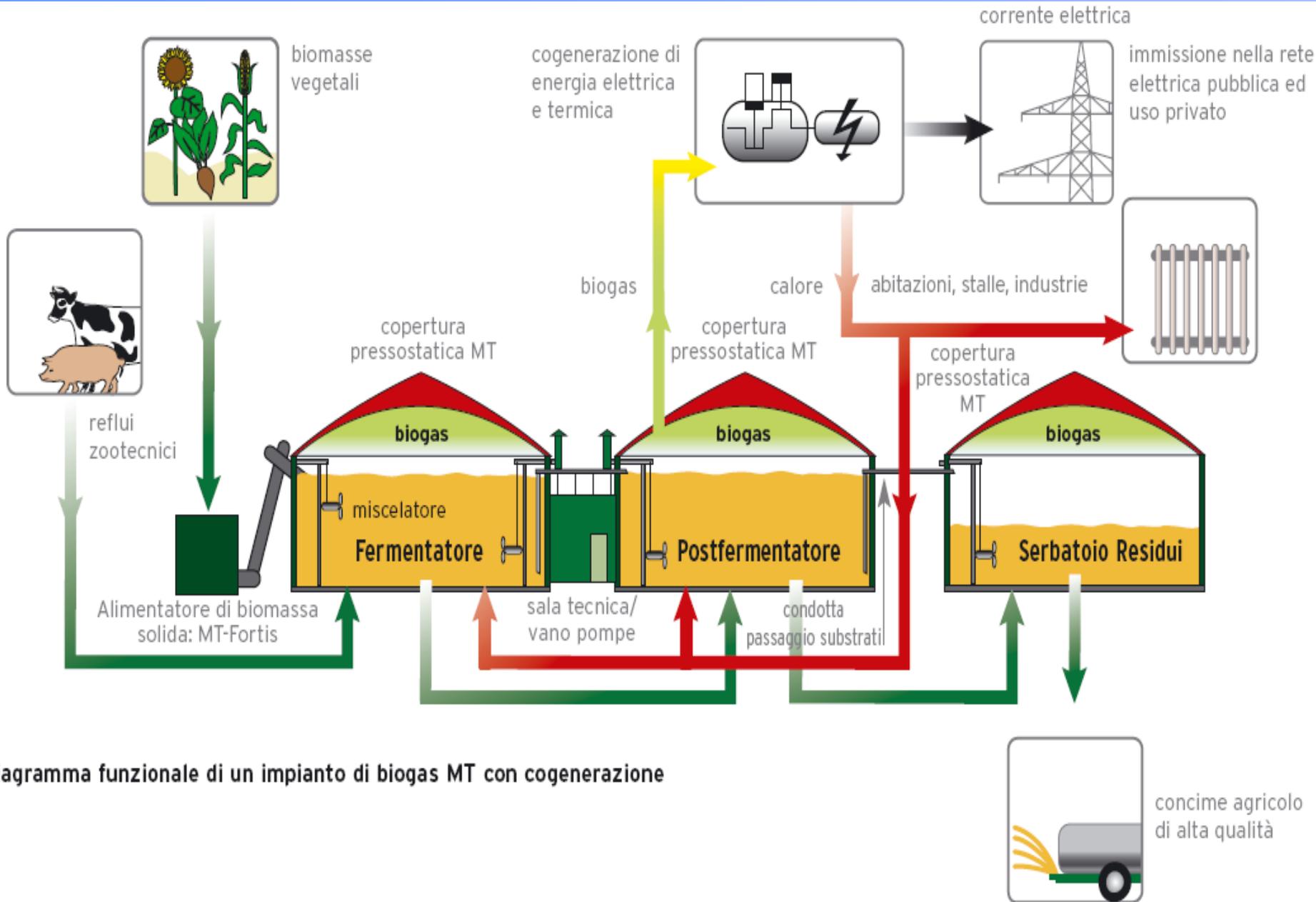


Diagramma funzionale di un impianto di biogas MT con cogenerazione

Biogas in Italia (2007)



**Digestori
Anaerobici
operanti in Italia
su effluenti
zootecnici, scarti
agroindustriali e
colture
energetiche
149 impianti
(30 in costruzione)**

Az. Rinaldi – Cremona

2 cogen. 600 kWe ciascuno



Impianto centralizzato di Spilamberto (MO)

90.000 t/a liquame suino
20-30.000 t/a scarti
agroindustriali



2 digestori

8000+ 4000 m³

1 cogeneratore 600 kW

Polo Ecologico integrato

Impianto di compostaggio

Impianto di DA FORSU

Depuratore

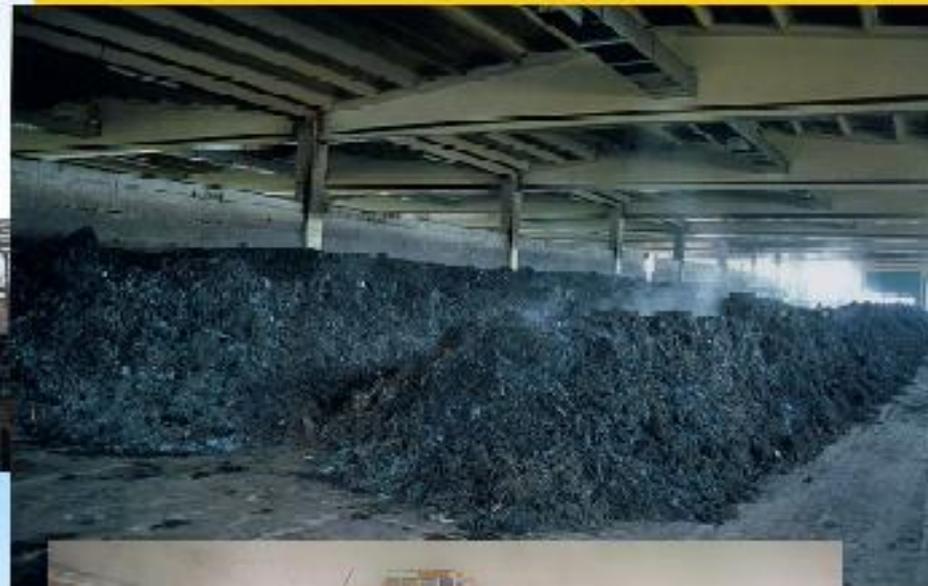
Discarica

Flussi di biogas

Acque di scarico



Impianto ACEA Pinerolo (TO)



2 cogeneratori 1100+950 kWe

Tab. 6.3 – Produzione di energia primaria da biogas (in ktep)

PAESI	Da discarica			Da fanghi di depurazione			Altra origine			Totale		
	2005	2006	2007(*)	2005	2006	2007(*)	2005	2006	2007(*)	2005	2006	2007(*)
Germania	573,2	383,2	416,4	369,8	270,2	270,2	651,4	1.011,7	1.696,5	1.594,4	1.665,1	2.383,1
Regno Unito	1.421,0	1.318,5	1.433,1	179,0	180,0	191,1				1.600,0	1.498,5	1.624,2
Italia	301,7	337,4	357,7	0,9	1,0	1,0	40,9	44,8	47,5	343,5	383,2	406,2
Spagna	236,5	251,3	259,6	56,8	48,6	49,1	23,6	19,8	21,3	316,9	319,7	330,0
Francia	141,0	150,5	161,3	75,0	144	144,2	4,0	3,6	3,7	220,0	298,1	309,2
Olanda	38,8	46,0	43,2	50,8	48,0	48,0	29,4	47,1	82,8	119,0	141,1	174,0
Austria	8,3	11,2	10,7	2,7	3,5	2,0	19,8	103,4	126,4	30,8	118,1	139,1
Danimarca	14,2	14,3	14,3	23,3	21,0	21,0	54,0	57,6	62,6	91,5	92,9	97,9
Polonia	25,1	18,9	19,1	25,3	43,1	43	0,3	0,5	0,5	50,7	62,5	62,6
Belgio	51,1	51,0	48,1	25,2	17,6	18,0	7,7	9,1	12,5	84,0	77,7	78,6
Grecia	20,5	21,2	38,0	15,5	8,6	9,8				36,0	29,8	47,8
Finlandia	50,9	26,1	26,4	12,7	10,4	10,3				63,6	36,5	36,7
Repubblica Ceca	21,5	24,5	29,4	31,4	31,1	32,1	2,9	7,8	17,0	55,8	63,4	78,5
Irlanda	24,9	25,4	23,9	4,8	5,1	7,9	4,5	1,8	1,7	34,2	32,3	33,5
Svezia	10,1	9,2	9,2	18,7	17,1	17,1	0,9	0,8	0,8	29,7	27,1	27,1
Altri UE 27	7,4	11,5	14,9	9,6	18,6	22,5	20,5	22,8	35,6	37,5	52,9	73,0
Totale UE	2.946,2	2.700,2	2.905,3	901,5	867,9	887,3	859,9	1.330,8	2.108,9	4.707,6	4.898,9	5.901,5

(*) stime Fonte: EurObserv'ER 2008

Ma se si considera la produzione di biogas in rapporto al numero di abitanti la classifica cambia!

Tab. 6.4 - Produzione di energia primaria da biogas per abitante nel 2007 (tep/1000 ab.)

PAESI	TEP/1.000 ab.	PAESI	TEP/1.000 ab.	PAESI	TEP/1.000 ab.
Germania	29,0	Finlandia	6,9	Portogallo	1,5
Regno Unito	26,7	Italia	6,9	Lituania	0,7
Lussemburgo	21,0	Slovenia	5,9	Cipro	0,2
Danimarca	18,0	Francia	4,9	Media UE	11,9
Austria	16,8	Grecia	4,3		
Olanda	10,6	Estonia	3,1		
Irlanda	7,8	Svezia	3,0		
Repubblica Ceca	7,6	Ungheria	2,0		
Belgio	7,4	Polonia	1,6		
Spagna	7,4	Slovacchia	1,6		

Fonte: EurObserv'ER 2008

Produzione in Italia

Tab. 6.7 - Produzione lorda degli impianti a Biogas in Italia (in GWh)

Substrato	2003	2004	2005	2006	2007	07/06
➤ Discarica	910,5	1.038,4	1.052,3	1.176,8	1.247,3	6,0%
➤ Fanghi di dep.	2,7	1,2	3,2	3,3	9,0	172,7%
➤ Deiezioni animali	13,2	18,5	25,7	44,7	53,3	19,2%
➤ Colture e altri rifiuti organici	106,5	112,1	116,8	111,5	137,7	23,5%
TOTALE	1.033,0	1.170,2	1.198,0	1.336,3	1.447,3	8,3%

Fonte: GSE

Tab. 6.8 - Potenza efficiente³⁸ lorda (in kW) e numero degli impianti a biogas in Italia

Substrato	N°	2004	N°	2005	N°	2006	N°	2007	07/06
➤ Discarica	148	229.623	150	236.833	176	269.620	183	297.005	10,2%
➤ Fanghi di dep.	4	3.512	5	4.714	6	4.280	6	4.714	10,1%
➤ Deiezioni animali	13	3.973	14	6.843	15	8.673	15	8.973	3,5%
➤ Colture e altri rifiuti organici	8	30.795	9	35.483	11	28.993	11	36.443	25,7%
TOTALE	173	267.903	180	283.873	208	311.566	215	347.135	11,4%

Fonte: GSE

Tabella 2 – Ripartizione regionale degli impianti di biogas per categoria (non sono riportati gli impianti di recupero di biogas dalle discariche dei rifiuti urbani)

Regione	Effluenti zootecnici + scarti organici + colture energetiche ⁽¹⁾	Fanghi di depurazione civile ⁽²⁾	Reflui agro-industriali	Forsu + fanghi di depurazione	Totale
Lombardia	72	12	2	1	87
Emilia-Romagna	28	21	7	1	57
Trentino-Alto-Adige	34	8	0	2	44
Veneto	23	11	10	3	47
Piemonte	16	21	0	1	38
Toscana	2	10	1	1	14
Puglia	1	11	1	0	13
Campania	2	5	3	0	10
Sardegna	7	0	0	1	8
Marche	2	7	0	0	9
Lazio	1	5	1	0	7
Liguria	0	5	0	0	5
Friuli-Venezia Giulia	3	3	0	0	6
Umbria	3	2	0	0	5
Basilicata	3	0	1	0	4
Abruzzo	1	0	1	0	2
Valle D'Aosta	1	0	0	0	1
Calabria	3	0	0	0	3
Sicilia	0	0	2	0	2
TOTALE	202	121	29	10	362

⁽¹⁾ Scarti organici: scarti agro-industriali e Forsu.

⁽²⁾ Fonte Gerli A., Merzagora W. (2000).

Stima della produzione di Energia elettrica in Veneto per gli impianti di DA che trattano FORSU (2006)

Biogas prodotto 2006: 17.495.000 Nm³

Energia elettrica producibile *: 38.500 MWh

Energia elettrica potenziale **: 19.250 MWh

Numero di utenze servite ***: circa 3.600

*Al lordo dell'autoconsumo

** Autoconsumo stimato del 50%

*** Stima ottenuta con un consumo pro-capite annuo di 5314 kWh (fonte Terna)

Composizione nucleo familiare medio: 2.6 (fonte Istat)

Costi

I costi di un impianto di DA dipendono:

- dalle caratteristiche dell'impianto (di tipo semplificato, completamente miscelato, coibentato e riscaldato ecc.);
- dai materiali avviati a digestione (solo liquami zootecnici, liquami zootecnici + colture energetiche e/o scarti agroindustriali ecc.).

Si può definire un costo di investimento variabile tra 250 e 700 € per metro cubo di digestore anaerobico, oppure di 2.500-7.500 € per kW elettrico installato in cogenerazione.

Il tempo di recupero dell'investimento è in genere di circa 4-8 anni.

Vantaggi digestione anaerobica (ciclo integrato)

- Si **migliora** nettamente il **bilancio energetico** dell'impianto, in quanto nella fase anaerobica si ha in genere la produzione di un surplus di energia rispetto al fabbisogno dell'intero impianto.
- Si possono **controllare** meglio e con costi minori i **problemi olfattivi**; le fasi maggiormente odorigene sono gestite in reattore chiuso e le "arie esauste" sono rappresentate dal biogas (utilizzato e non immesso in atmosfera). Il digestato è già un materiale semi-stabilizzato e, quindi, il controllo degli impatti olfattivi durante il post-compostaggio aerobico risulta più agevole.
- Si stima per i paesi dell'Unione Europea una potenziale riduzione delle emissioni di metano di circa 20 milioni di m³/giorno. Ciò significa una riduzione di circa 300.000 t/giorno di CO₂ equivalente, un valore che corrisponde a circa il 3,6% dell'emissione globale (a livello europeo) di CO₂ e a circa il **50% della prevista riduzione di emissione di CO₂** per i paesi dell'Unione Europea secondo gli accordi del **Protocollo di Kyoto**.
- Si ottiene una **integrazione di reddito** per la vendita del surplus di energia elettrica attraverso gli incentivi (Certificati Verdi) derivanti dall'applicazione della Direttiva FER 2001/77/EC sulle fonti energetiche rinnovabili.

“Se impiegassimo a dovere i rifiuti organici, gli scarti agricoli, le deiezioni animali provenienti dagli allevamenti e i fanghi risultanti dalla depurazione delle acque, potremmo produrre 20TWh elettrici l’anno, l’equivalente di tre centrali nucleari. Ma in tempi brevi, a costi bassi e senza impatti sull’ambiente”, così si esprimeva **Sergio Piccinini, direttore del CRPA**, a fine novembre 2009, in occasione della chiusura del convegno Greenenergy Expo.

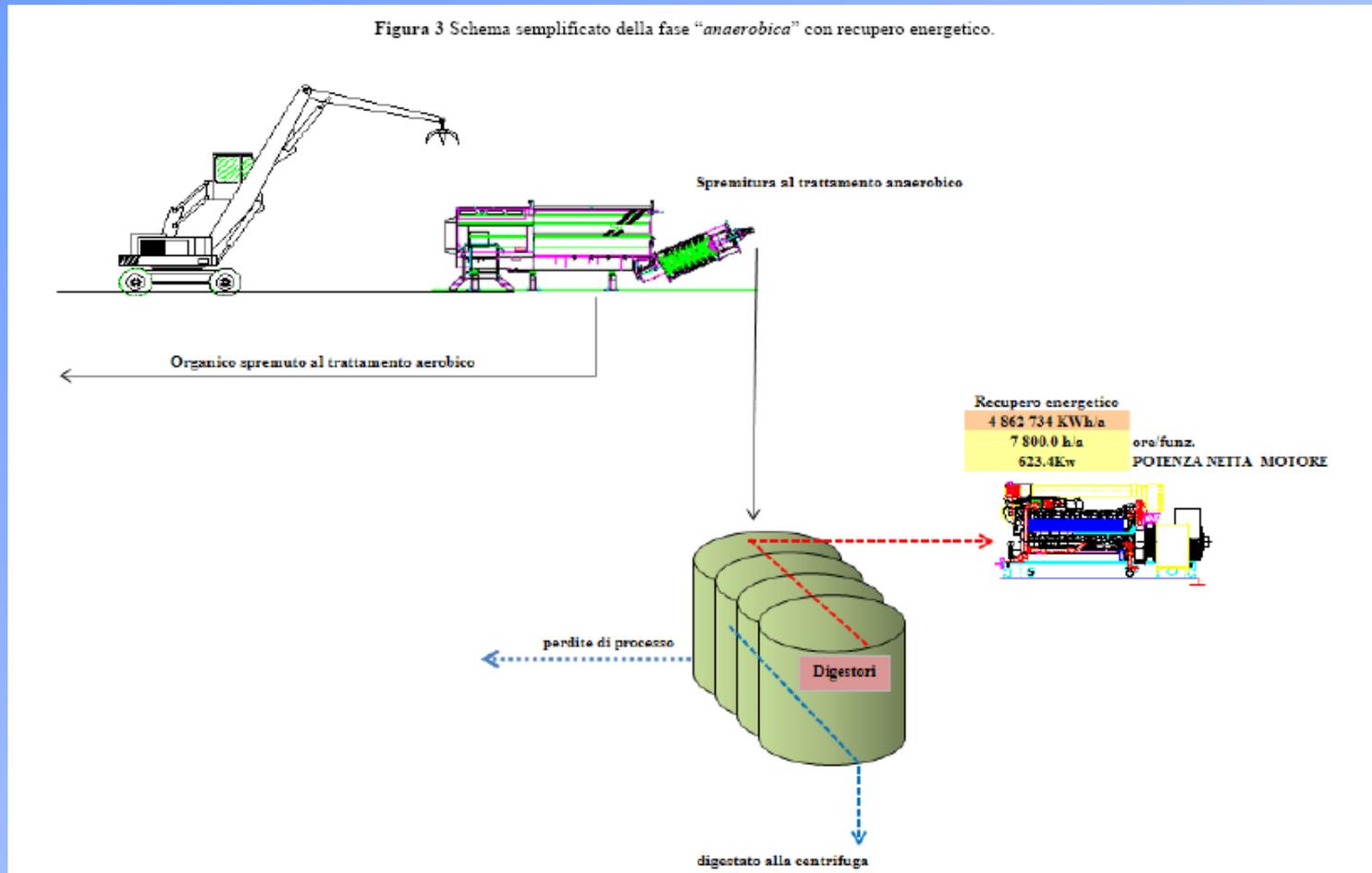


IMPIANTO DI VALORIZZAZIONE DEI FLUSSI PROVENIENTI DALLA RACCOLTA DIFFERENZIATA DELLA FRAZIONE UMIDA, CON DIGESTIONE ANAEROBICA E RECUPERO ENERGETICO



Impianto di compostaggio progettato per Salerno

Figura 3 Schema semplificato della fase "anaerobica" con recupero energetico.



Impianto di compostaggio progettato per Salerno

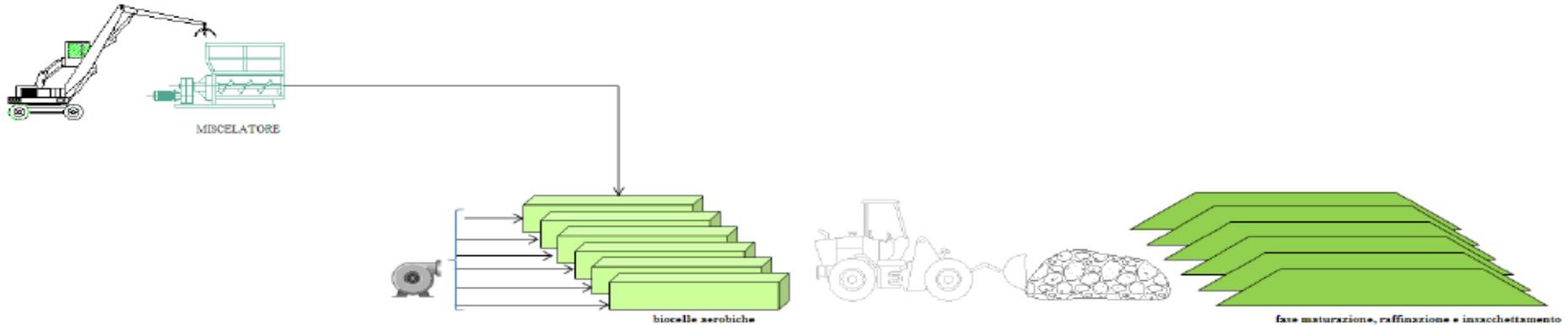
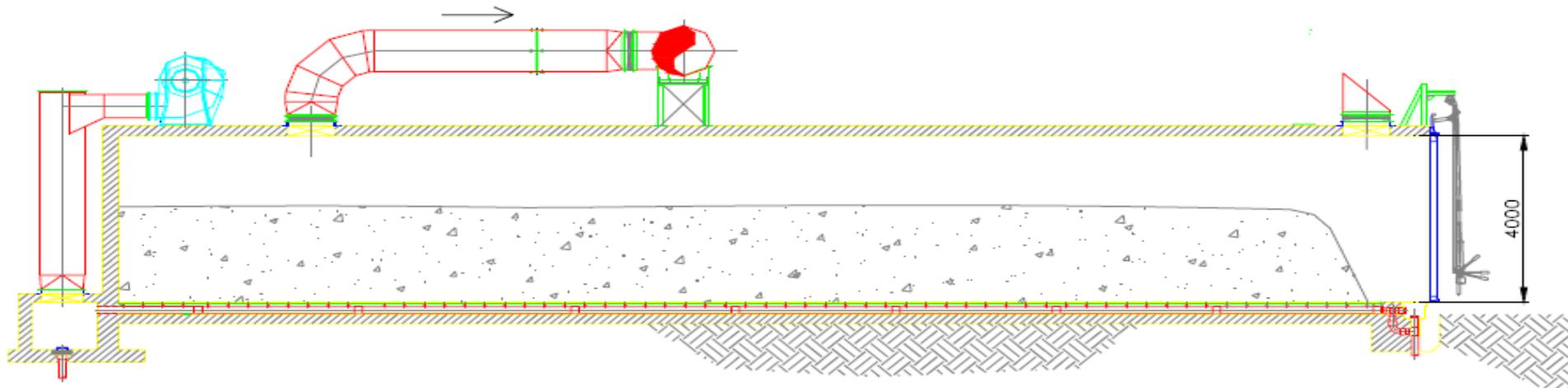


Figura 4 Schema semplificato della fase di trattamento "aerobico".

Il compostaggio in fase aerobica previsto nel progetto utilizza la tecnologia delle biocelle dotate di un impianto di aerazione che consente l'adduzione di aria all'interno delle stesse attraverso il pavimento ad intercapedine, perforato.



Impianto di compostaggio progettato per Salerno

L'intervento, in accordo con l'Amministrazione Comunale, verrà strutturato in maniera tale da costituire un vero e proprio polo per la produzione di energie alternative ed in particolare:

- *energia dal biogas prodotto dal processo di valorizzazione delle biomasse da RD;*
- *energia da fotovoltaico derivante dall'utilizzo di tutte le coperture dell'impianto.*



Figura 7 Utilizzo delle coperture ai fini del recupero fotovoltaico