

Patent: MBGC <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016092582>  
(organic waste to biogas, for urban and periurban); [view1](#)

# MBGC

Sistema di trattamento reflui, umani ed animali,  
e scarti organici vegetali ed animali

[MBGC™](#) - Mini Bio Gas Continuous  
(biogas and biomethane from sewage/wet  
urban and organic in general).

# Impiego del sistema

- Allevamenti animali
- Agricoltura
- Condomini, Case di riposo ed Ospedali
- Mercati generali di carni, frutta e verdura
- Supermercati e Mense

# Vantaggi

- Forte abbattimento costi smaltimento rifiuti organici (umido)
- Trattamento reflui con forte abbattimento costi approvvigionamento acqua
- Recupero di Biogas, di CO<sub>2</sub>, da destinarsi agli impieghi preposti
- Separazione e recupero dei Sali minerali per fertilizzanti e mercati specifici
- NO rifiuti da inceneritore (e relative tasse) ma separazione di materie prime

MBGC è un sistema integrato e compatto, per la digestione anaerobica di matrici organiche, rivolto a piccole aziende manifatturiere della filiera agro-alimentare e agro-zootecnica, nonché di insediamenti urbani e periurbani, GDO ed Ho.Re.Ca. Si caratterizza attraverso un innovativo sistema idraulico e complessivamente produce solo sottoprodotti da avviare a processi successivi, alienando il concetto di “scarto”. MBGC è costituito da un contenitore coibentato e stagno (in cemento armato vibrato, standard di mercato), di norma parallelepipedo, compartimentato in 3 volumi in cui si attua un percorso idraulico articolato, con parziali ricicli di substrato. In MBGC si distinguono una fase inferiore liquida ed una superiore gassosa, entrambe allestite con sistemi congrui alla separazione delle miscele presenti, liquide e gassose. Congrui sistemi di aspirazione/pescaggio estraggono le componenti gassose CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e miscele liquide a diverso titolo di NPK ed altri sali minori, nonché H<sub>2</sub>O chiarificata. MBGC non rilascia nulla nell’ambiente, né in aria né verso il sottosuolo. MBGC prevede un processo di alimentazione regolare (giornaliero o frazioni di esso) con processo automatico e regolato da PLC integrato da opportuna sensoristica, ed eventualmente controllato a distanza. MBGC nasce come soluzione compatta multifunzione, di digestione anaerobica ed elevata separazione di sottoprodotti, per tagli di potenza attestati tra 1 e 10 kW, mediante prefabbricati disponibili sul mercato, per potenze superiore converrà valutare la scalabilità con l’aggregazione di moduli base, oppure procedere con realizzazione sul sito di installazione definitiva ricorrendo alle medesime linee progettuali.

## Piano Commerciale di Ripresa e Resilienza

PCRR JWTeam Srls - Sede Legale: Via Terrazzano 85 – 20017 Rho (MI) - C.F. e P.I. 12092970966, Cap.Soc. € 200, Pec: pcrjw@pec.it  
Luogo Milano; Data ....; Foro di riferimento: Milano (Italia); per quanto non espressamente indicato, si fa riferimento alla giurisprudenza in  
aue sulla proprietà intellettuale e secondo trattati vigenti tra i paesi delle parti (in Convenzione di Parigi).

### CONTRATTO PER LICENZA DI KNOW-HOW E BREVETTO PERTINENTE. MBGC\_IT0001427413

Tra: **PCRR JWTeam Srls** (P.iva 12092970966), rappresentata da Lavanga Vito, con sede in Rho (MI), Italia, denominato “Concessionario” (da una parte) e la **Ditta ... (Vat code ...)**, rappresentata da ....., con sede in Città, Stato, denominata “Licenziataria” (dall’altra), altresì premesso che il Concessionario è in possesso di informazioni tecniche, commerciali e know-how applicativo pertinente il brevetto **IT0001427413**, che interessano la Licenziataria, si conviene e stipula quanto di seguito.

Art. 1 - Il Concessionario autorizza la Licenziataria a **produrre, vendere, usare** i beni prodotti con il know-how fornito ed il brevetto, sia in forma scritta che verbale, di persona o in forma telematica.

Art. 2 - La licenza, non esclusiva, non può essere ceduta a terzi, salvo previo consenso del Concessionario. Alla prima Licenziataria si riconosce il diritto di prelazione su ogni eventuale successiva licenza nello stesso territorio (previo ulteriori accordi, convertibile in **ESCLUSIVA** per fini di bilancio patrimoniale, B I.3 cc art.2424, **con anticipo doppio e garantito ogni anno** oppure **UNICA, con anticipo minimo garantito ogni anno**).

Art. 3 - La presente licenza (produzione, distribuzione ed uso) è accordata per i seguente territorio: comprensorio di circa 1.000.000 abitanti (un milioni di abitanti, delimitato da congruo elenco province/comuni), a far centro la **città ... (Stato), nei confini dello stato di appartenenza della città.**

Art. 4 - Il Concessionario si impegna a fornire alla Licenziataria, assistenza e tutte le informazioni circa il materiale d’uso, la sperimentazione dello stesso, i metodi di impiego utilizzati, ivi compresi quanto da mantenere segreto, in modo che un tecnico di normale qualificazione professionale possa realizzare i beni o servizi, dopo un ragionevole periodo di apprendimento e di sperimentazione. Il Concessionario fornirà alla Licenziataria, entro il termine di 3 mesi dalla firma del presente contratto, l’assistenza e tutte le informazioni, progetti e i disegni utili che consentano la realizzazione del prodotto. Beni e servizi della Licenziataria, potranno fregiarsi di marchio distintivo del Concessionario (se autorizzato, con licenza dedicata), a garanzia di conformità e liceità dei beni stessi. A detti materiali sarà unito un dossier, datato da PEC e segreto, completo di questo accordo con i dati sensibili.

Art. 5 - Il Concessionario dichiara di non essere a conoscenza dell’esistenza di validi brevetti appartenenti a terzi e posti a tutela del procedimento industriale oggetto del presente contratto, senza tuttavia garantire che un tale brevetto non possa rivelarsi in seguito esistente.

Art. 6 – La Licenziataria verserà al Concessionario il **8%** del fatturato conseguente (diretto o indiretto) o di beni equivalenti nel mercato agito; si conviene una rendicontazione semestrale e diritto alla trasparenza sulla contabilità pertinente. La Licenziataria si obbliga a versare l’importo di 100.000€ (centomila/00 euro), il 20% alla firma del presente accordo, il saldo entro 30 giorni, a titolo di anticipo ed impegno nello sviluppo della licenza. Ulteriori mark-up potranno essere concordati in futuro, per iscritto, a fronte di specifici servizi aggiuntivi.

Art. 7 - La Licenziataria, per se e coloro che introduce al segreto, si obbliga a considerare come strettamente riservati tutti i documenti e le informazioni comunicati (know-how), anche dopo la conclusione del presente contratto. Al riguardo, essa adotterà tutte le più opportune precauzioni al fine di salvaguardare il segreto e know-how complessivo.

Art. 8 - Le Parti si impegnano a non partecipare, direttamente o per interposta persona, in alcuna società che possa utilizzare indebitamente, nello stesso territorio accordato, la documentazione e le informazioni tecniche oggetto del presente contratto. Le Parti si presteranno reciproca collaborazione per impedire, in ogni miglior modo, che terzi possano copiare servilmente il prodotto. In particolare, esse si presteranno reciproca assistenza nell’azione diretta a perseguire gli imitatori o contraffattori, nei modi e nelle forme consentite dalle leggi e dagli ordinamenti vigenti nei Paesi dove esistono o agiscono terzi da perseguire.

Art. 9 - Il presente contratto avrà la durata di 20 anni. Al termine della validità del presente contratto, la Licenziataria si asterrà dal divulgare la documentazione tecnica in suo possesso.

**Concessionario Firma:**

**Licenziataria Firma:**

Restituire, completa in ogni sua parte, mediante PEC, a: [pcrjw@pec.it](mailto:pcrjw@pec.it)

# (12) International Application Status Report

**Received at International Bureau:** 02 February 2016 (02.02.2016)

**Information valid as of:** 04 May 2016 (04.05.2016)

**Report generated on:** 04 July 2020 (04.07.2020)

**(10) Publication number:**

WO2016/092582

**(43) Publication date:**

16 June 2016 (16.06.2016)

**(26) Publication language:**

English (EN)

**(21) Application Number:**

PCT/IT2015/000306

**(22) Filing Date:**

14 December 2015 (14.12.2015)

**(25) Filing language:**

Italian (IT)

**(31) Priority number(s):**

MI2014A002125 (IT)

**(31) Priority date(s):**

12 December 2014 (12.12.2014)

**(31) Priority status:**

Priority document received (in compliance with PCT Rule 17.1)

**(51) International Patent Classification:**

C12M 1/107 (2006.01); C12M 1/00 (2006.01); C12M 1/02 (2006.01)

**(71) Applicant(s):**

LAVANGA, Vito [IT/IT]; Via Terrazzano 85 20017 Rho (MI) (IT) (*for all designated states*)

**(72) Inventor(s):**

LAVANGA, Vito; Via Terrazzano 85 20017 Rho (MI) (IT)

FARNE', Stefano; Via Trasimeno 40/14 20128 Milano (MI) (IT)

**(54) Title (EN):** METHOD FOR ANAEROBIC DIGESTION AND DEVICE FOR IMPLEMENTING SAID METHOD

**(54) Title (FR):** PROCÉDÉ DE DIGESTION ANAÉROBIE ET DISPOSITIF POUR LA MISE EN ŒUVRE DUDIT PROCÉDÉ

**(57) Abstract:**

**(EN):** This invention relates to a method and to a device for the implementation of said method, to decompose and to selectively extract methane, carbon dioxide, NPK salts (nitrogen, phosphorus and potassium salts) of various titre and clarified water, from an organic matrix; said components will be the raw material for further industrial processes. The method is characterized in that it includes the following phases: • implementation of a hydrolytic phase, constituted by the fission action by means of the water, by hydration; • implementation of an acidogenesis phase generated by means of specific bacteria; • implementation of an acetogenesis phase generated by means of specific bacteria; • implementation of a methanogenesis phase by means of specific bacteria, with a simultaneous gravimetric separation of a mainly oleic phase, lighter and of a predominantly protein phase, heavier; • gravimetric separation of solutions of said NPK salts of different titres • taking of clarified water. The device is characterized in that it comprises a basin (1) divided into various zones (V1), (V2), (V3), in each of which biological reactions occur, in accordance with the claimed method, said zones being all communicating and identified by suitable separation baffles, in particular: • a first baffle (2) extended from a first end (1a) of the basin to a second end (1b) of said basin (1), dividing it into two parts; • a second baffle (3), of height equal to said first baffle that divides one of said parts in a first zone (V1) and in a second zone (V2) extending from said first end (1a) of the basin (1) until it reaches the vicinity of said second end of the basin (1), so that said two zones (V1) and (V2) are communicating through an opening, of substantially vertical development, between the end of said second baffle (3) and the second end (1b) of the basin (1); • a plurality of baffles (4) and (5) transversely arranged to said first baffle (2) and inside a third zone (V3), delimited by said first baffle (2), said third zone (V3) being placed in communication with said second zone (V2) through a transfer pipe (6), positioned at about half height of said first baffle (2); • two blocks (B) and (C), placed in the upper part of said basin (1) and provided by taking means (12, 12a, 13, 13a), each of said blocks (B) and (C) including a plurality of vertical pipes and being fitted to carry out a gravimetric separation of the gases that are generated during the treatment of said mixture; said baffles (2) and (3) and said transfer pipe (6), by identifying a path crossed by the liquid mixture to be treated, that runs into the beginning of said first zone (1) where it is placed an inlet pipe (7) of the liquid mixture to be treated and comes out from various points of said third zone (V3).

**(FR):** La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour la mise en œuvre dudit procédé, pour décomposer et extraire sélectivement du méthane, du dioxyde de carbone, des sels de NPK (sels d'azote, de phosphore et de potassium) de titres divers et de l'eau clarifiée, à partir d'une matrice organique; lesdits composants constituant la matière première pour d'autres procédés industriels. Le procédé est caractérisé en ce qu'il comprend les phases suivantes : mise en œuvre d'une phase hydrolytique, constituée par l'action de fission au moyen de l'eau, par hydratation; mise en œuvre d'une phase d'acidogénèse au

moyen de bactéries spécifiques; mise en œuvre d'une phase d'acétogénèse au moyen de bactéries spécifiques; mise en œuvre d'une phase de méthanogénèse, au moyen de bactéries spécifiques, avec séparation gravimétrique simultanée d'une phase principalement oléique, plus légère, et d'une phase principalement protéique, plus lourde; séparation gravimétrique de solutions desdits sels de NPK de titres différents; prélèvement de l'eau clarifiée. Le dispositif se caractérise en ce qu'il comprend un bassin (1) divisé en différentes zones (V1) (V2), (V3), dans chacune desquelles ont lieu des réactions biologiques, conformément au procédé de l'invention, lesdites zones étant toutes communicantes et identifiées par des chicanes de séparation appropriées, en particulier : une première chicane (2) s'étendant d'une première extrémité (1a) du bassin jusqu'à une deuxième extrémité (1b) dudit bassin (1), le divisant en deux parties; une deuxième chicane (3), de hauteur égale à celles de ladite première chicane qui divise l'une desdites parties en une première zone (V1) et en une deuxième zone (V2) s'étendant entre ladite première extrémité (1a) du bassin (1) et le voisinage de ladite seconde extrémité du bassin (1), de sorte que lesdites deux zones (V1) et (V2) communiquent par une ouverture, de développement sensiblement vertical, entre l'extrémité de ladite deuxième chicane (3) et la seconde extrémité (1b) du bassin (1); une pluralité de chicanes (4) et (5) placées transversalement par rapport à ladite première chicane (2) et à l'intérieur d'une troisième zone (V3), délimitée par ladite première chicane (2), ladite troisième zone (V3) étant mise en communication avec ladite deuxième zone (V2) par un tuyau de transfert (6), placé à environ la moitié de la hauteur de ladite première chicane (2); deux blocs (B) et (C), placés dans la partie supérieure dudit bassin (1) et munis de moyens de prélèvement (12, 12a, 13, 13a), chacun desdits blocs (B) et (C) comprenant une pluralité de tuyaux verticaux et étant conçu pour effectuer une séparation gravimétrique des gaz qui se dégagent pendant le traitement dudit mélange; lesdites chicanes (2) et (3) et ledit tuyau de transfert (6) délimitant un trajet emprunté par le mélange liquide à traiter, qui s'étend du début de ladite première zone (1) dans laquelle est placé un tuyau d'entrée (7) du mélange liquide à traiter et sort par différents points de ladite troisième zone (V3).

### **International search report:**

Received at International Bureau: 02 May 2016 (02.05.2016) [EP]

### **International Report on Patentability (IPRP) Chapter II of the PCT:**

Not available

### **(81) Designated States:**

AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

European Patent Office (EPO) : AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR

African Intellectual Property Organization (OAPI) : BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG

African Regional Intellectual Property Organization (ARIPO) : BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW

Eurasian Patent Organization (EAPO) : AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM

### **Declarations:**

Declaration made as applicant's entitlement, as at the international filing date, to apply for and be granted a patent (Rules 4.17(ii) and 51bis.1(a)(ii)), in a case where the declaration under Rule 4.17(iv) is not appropriate

Declaration of inventorship (Rules 4.17(iv) and 51bis.1(a)(iv)) for the purposes of the designation of the United States of America



*Ministero dello Sviluppo Economico*  
*Direzione generale per la lotta alla contraffazione*  
*Ufficio Italiano Brevetti e Marchi*

**ATTESTATO DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE**

**N. 0001427413**

Il presente brevetto viene concesso per l'invenzione della domanda sotto specificata:

num. domanda	anno	C.C.I.A.A.	data pres. domanda	classifica
002125	2014	MILANO	12/12/2014	C12M1 107

TITOLARE/I      LAVANGA VITO  
                       RHO (MI)

DOM. ELETT.    LAVANGA VITO

INDIRIZZO      VIA TERRAZZANO, 85  
                       20017 RHO (MI)

TITOLO          IMPIANTO INTEGRATO E COMPATTO PER LA DIGESTIONE  
                       ANAEROBICA DI MASSE ORGANICHE, CON PRODUZIONE COMBINATA  
                       DI GAS METANO DI ELEVATA PUREZZA.

INVENTORE/I    LAVANGA VITO  
                       FARNE' STEFANO



CAMERA DI  
 COMMERCIO  
 MILANO  
 18 AGO. 2017  
 L'Ufficiale Rogante  
 M. CORTONESI

COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE  
 FIRMATA DIGITALMENTE DAL  
 DIRIGENTE DELL'UIBM

Roma, 27/02/2017

IL DIRIGENTE  
 Dr.ssa Loredana Guglielmetti





MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO  
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

# UIBM



menu

Ricerca

il risultato della ricerca delle domande è limitato alle **1000** occorrenze più recenti.

ricerca per **combinazione di criteri**

Risultati ricerca (13 occorrenze)

102014902316174

Stampa Visura

Informazioni identificative della domanda di brevetto per invenzione industriale numero 102014902316174 presentata il 12/12/2014 ( MI2014A002125 )

Data deposito	Tipo domanda	Stato finale	Data concessione	Numero concessione	Tipo deposito
12/12/2014		titolata	27/02/2017	0001427413	deposito presso la camera di commercio

**Titolo** ⓘ

MBGC - MINI BIO GAS CONTINUOS SISTEMA INTEGRATO E COMPATTO, PER LA DIGESTIONE ANAEROBICA DI MATRICI ORGANICHE, RIVOLTO A PICCOLE AZIENDE MANIFATTURIERE DEI COMPARTI AGRO-ALIMENTARI, NONCHE' DI INSEDIAMENTI URBANI E PERIURBANI.

**Classificazione IPC 2** ⓘ

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	12	M	1	
C	12	M	1	107

**Titolare 1** ⓘ

Denominazione/Cognome	Nome	Tipo società	Diritti %	CAP	Città	Provincia	Nazione
LAVANGA	VITO		0	20017	Rho	Milano	

**Domicilio Elettivo 1** ⓘ

Denominazione/Cognome e nome	Via	Numero civico	CAP	Città	Provincia	Nazione	EEmail	PEC
non presente	VIA TERRAZZANO, 85	non presente	20017	Rho	Milano	non presente	non presente	non presente

**Istanza 1** ⓘ

Numero	Data	Tipo
782016000130606	23/12/2016	Risposta a rapporto di ricerca

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO (<http://www.mise.gov.it>)  
Direzione generale per la lotta alla contraffazione - UIBM (<http://www.uibm.gov.it>)  
Via Molise 19  
0187 Roma



# 1. WO2016092582 - METHOD FOR ANAEROBIC DIGESTION AND DEVICE FOR IMPLEMENTING SAID METHOD

[PCT Biblio. Data](#)[Description](#)[Claims](#)[Drawings](#)[ISR/WOSA/A17\(2\)\[a\]](#)[National Phase](#)[Notices](#)[Documents](#)[PermaLink](#) [Machine translation](#) ▼

## Title

**[EN]** METHOD FOR ANAEROBIC DIGESTION AND DEVICE FOR IMPLEMENTING SAID METHOD

**[FR]** PROCÉDÉ DE DIGESTION ANAÉROBIE ET DISPOSITIF POUR LA MISE EN ŒUVRE DUDIT PROCÉDÉ

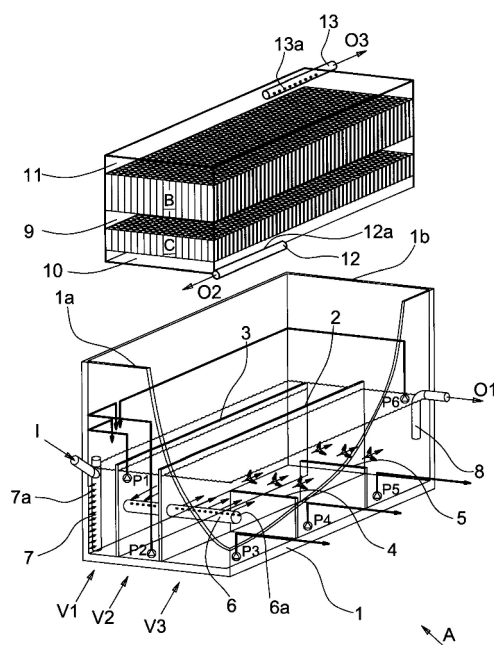


Fig. 1

## Abstract

**[EN]**

This invention relates to a method and to a device for the implementation of said method, to

decompose and to selectively extract methane, carbon dioxide, NPK salts (nitrogen, phosphorus and potassium salts) of various titre and clarified water, from an organic matrix; said components will be the raw material for further industrial processes. The method is characterized in that it includes the following phases: • implementation of a hydrolytic phase, constituted by the fission action by means of the water, by hydration; • implementation of an acidogenesis phase generated by means of specific bacteria; • implementation of an acetogenesis phase generated by means of specific bacteria; • implementation of a methanogenesis phase by means of specific bacteria, with a simultaneous gravimetric separation of a mainly oleic phase, lighter and of a predominantly protein phase, heavier; • gravimetric separation of solutions of said NPK salts of different titres • taking of clarified water. The device is characterized in that it comprises a basin (1) divided into various zones (V1), (V2), (V3), in each of which biological reactions occur, in accordance with the claimed method, said zones being all communicating and identified by suitable separation baffles, in particular: • a first baffle (2) extended from a first end (1a) of the basin to a second end (1b) of said basin (1), dividing it into two parts; • a second baffle (3), of height equal to said first baffle that divides one of said parts in a first zone (V1) and in a second zone (V2) extending from said first end (1a) of the basin (1) until it reaches the vicinity of said second end of the basin (1), so that said two zones (V1) and (V2) are communicating through an opening, of substantially vertical development, between the end of said second baffle (3) and the second end (1b) of the basin (1); • a plurality of baffles (4) and (5) transversely arranged to said first baffle (2) and inside a third zone (V3), delimited by said first baffle (2), said third zone (V3) being placed in communication with said second zone (V2) through a transfer pipe (6), positioned at about half height of said first baffle (2); • two blocks (B) and (C), placed in the upper part of said basin (1) and provided by taking means (12, 12a, 13, 13a), each of said blocks (B) and (C) including a plurality of vertical pipes and being fitted to carry out a gravimetric separation of the gases that are generated during the treatment of said mixture; said baffles (2) and (3) and said transfer pipe (6), by identifying a path crossed by the liquid mixture to be treated, that runs into the beginning of said first zone (1) where it is placed an inlet pipe (7) of the liquid mixture to be treated and comes out from various points of said third zone (V3).

**(FR)**

La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour la mise en œuvre dudit procédé, pour décomposer et extraire sélectivement du méthane, du dioxyde de carbone, des sels de NPK (sels d'azote, de phosphore et de potassium) de titres divers et de l'eau clarifiée, à partir d'une matrice organique; lesdits composants constituant la matière première pour d'autres procédés industriels. Le procédé est caractérisé en ce qu'il comprend les phases suivantes : mise en œuvre d'une phase hydrolytique, constituée par l'action de fission au moyen de l'eau, par hydratation; mise en œuvre d'une phase d'acidogénèse au moyen de bactéries spécifiques; mise en œuvre d'une phase d'acétogénèse au moyen de bactéries spécifiques; mise en œuvre d'une phase de méthanogénèse, au moyen de bactéries spécifiques, avec séparation gravimétrique simultanée d'une phase principalement oléique, plus légère, et d'une phase principalement protéique, plus lourde; séparation gravimétrique de solutions desdits sels de NPK de titres différents; prélèvement de l'eau clarifiée. Le dispositif se caractérise en ce qu'il comprend un bassin (1) divisé en différentes zones (V1) (V2), (V3), dans chacune desquelles ont lieu des réactions biologiques, conformément au procédé de l'invention, lesdites zones étant toutes communicantes et identifiées par des chicanes de séparation appropriées, en particulier : une première chicane (2) s'étendant d'une première extrémité (1a) du bassin jusqu'à une deuxième extrémité (1b) dudit bassin (1), le divisant en deux parties; une deuxième chicane (3), de hauteur égale à celles de ladite première chicane qui divise l'une desdites parties en une première zone (V1) et en une deuxième zone (V2) s'étendant entre ladite première extrémité (1a) du bassin (1) et le voisinage de ladite seconde extrémité du bassin (1), de sorte que lesdites deux zones (V1) et (V2) communiquent par une ouverture, de développement sensiblement vertical, entre l'extrémité de ladite deuxième chicane (3) et la seconde extrémité (1b) du bassin (1); une pluralité de chicanes (4) et (5) placées transversalement par rapport à ladite première chicane (2) et à l'intérieur d'une troisième zone (V3), délimitée par ladite première chicane (2), ladite troisième zone (V3) étant mise en communication avec ladite deuxième zone (V2) par un tuyau de transfert (6), placé à environ la moitié de la hauteur de ladite première chicane (2); deux blocs (B) et (C), placés dans la partie supérieure dudit bassin (1) et munis de moyens de prélèvement (12, 12a, 13, 13a), chacun desdits blocs (B) et (C) comprenant une pluralité de tuyaux verticaux et étant conçu pour effectuer une séparation gravimétrique des gaz qui se dégagent pendant le traitement dudit mélange; lesdites chicanes (2) et (3) et ledit tuyau de transfert (6) délimitant un trajet emprunté par le mélange liquide à traiter, qui s'étend du début de ladite première zone (1) dans laquelle est placé un tuyau d'entrée (7) du mélange liquide à traiter et sort par différents points de ladite troisième zone (V3).

**Also published as**

ES2743308

**Publication Number**

WO/2016/092582

**Publication Date**

16.06.2016

**International Application No.**

PCT/IT2015/000306

**International Filing Date**

14.12.2015

**IPC**

C12M 1/107 2006.01

C12M 1/00 2006.01

C12M 1/02 2006.01

**CPC**

C12M 21/04

C12M 23/34

C12M 23/36

C12M 27/20

C12M 41/18

C12M 41/24

*[View more classifications](#)*

**Applicants**

LAVANGA, Vito [IT]/[IT]

**Inventors**

LAVANGA, Vito  
FARNE', Stefano

**Priority Data**

MI2014A002125 12.12.2014 IT

**Publication Language**

English [EN]

**Filing Language**

Italian [IT]

**Designated States**

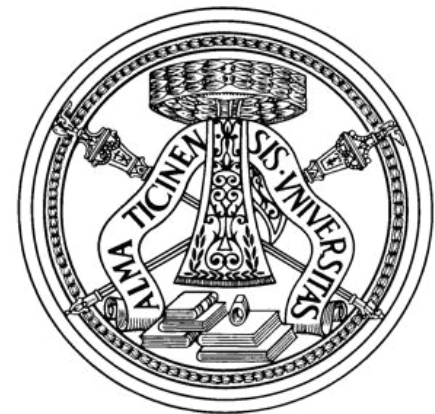
*[View all](#)*

*Latest bibliographic data on file with the International Bureau*

# IMPIANTO DI GENERAZIONE DI BIOGAS: ANALISI DEL PROCESSO E STUDIO DI FATTIBILITÀ

*Candidato: Omar Belluomo*

*Relatore: Prof. Stefano Farné*



*Università degli studi di Pavia  
Facoltà di Ingegneria*

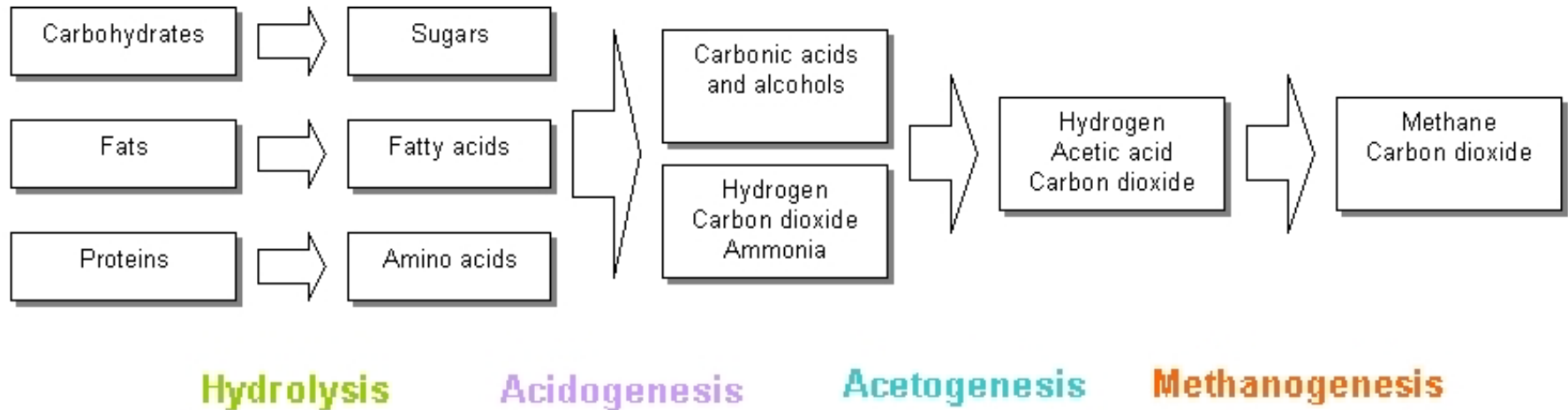
# SOMMARIO

- Digestione Anaerobica
- Stato dell'arte attuale
- MBGC





# FASI DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA



# FASI DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA

- IDROLISI:
  - Liquefazione del substrato
  - Scomposizione dei composti in altri più semplici ad opera di batteri



# FASI DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA

## ○ ACIDOGENESI:

- Nuove colonie di batteri
- Formazione acidi grassi
- Formazioni importanti di Idrogeno



# FASI DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA

- ACETOGENESI:
  - Nuovi batteri in grado di attaccare acidi alcolici
  - Produzione Anidride Carbonica, Acidi Acetici e Acqua
  - Nascita legame di simbiosi con i primi organismi metanigeni



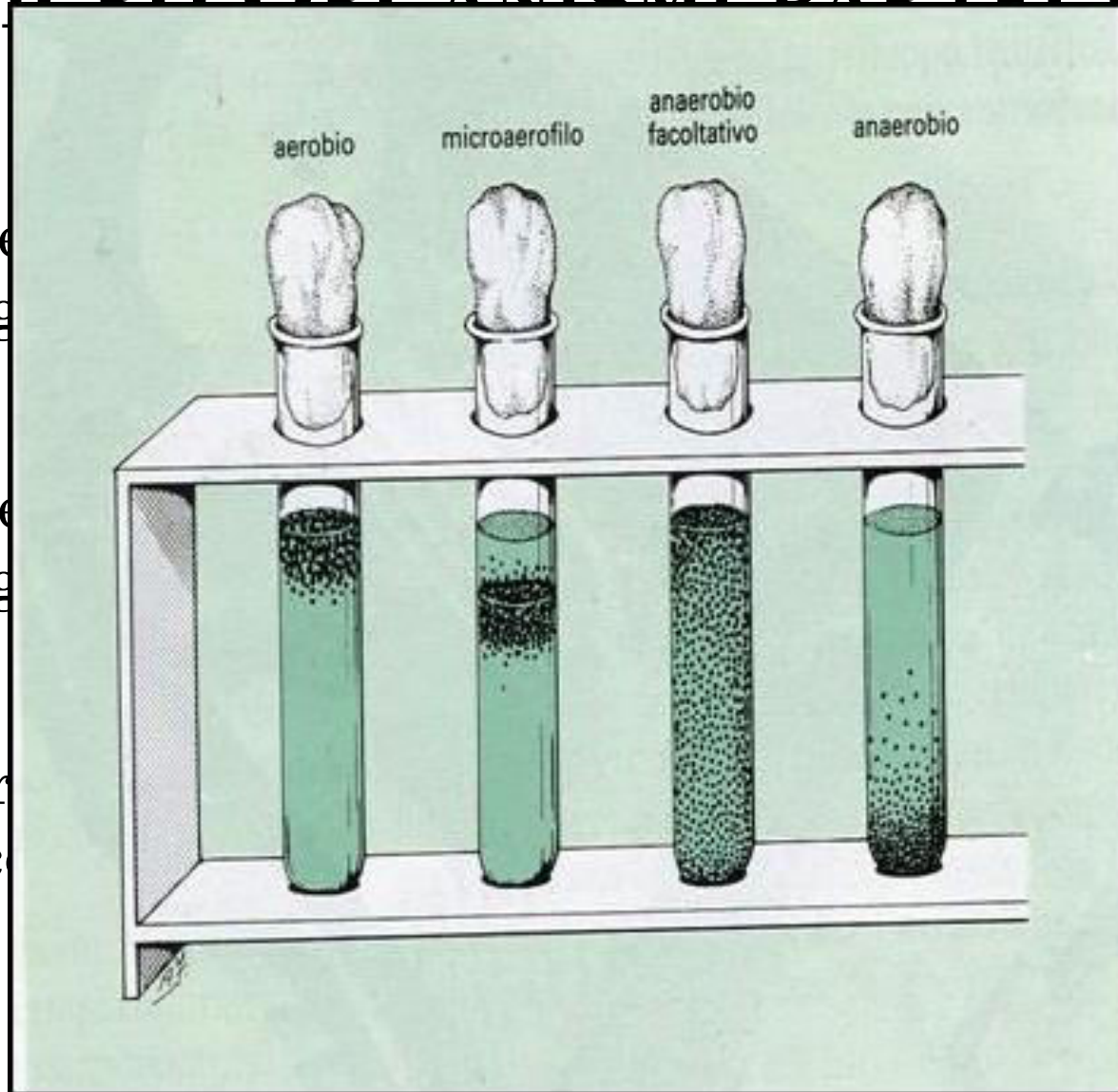
# FASI DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA

- METANOGENESI:
  - Formazione di metano attraverso due metodi:
    - Dismutazione aneroba acido acetico
    - Metanogenesi batteri idrogenotrofi



# I MICRO ORGANISMI DAPTECIP

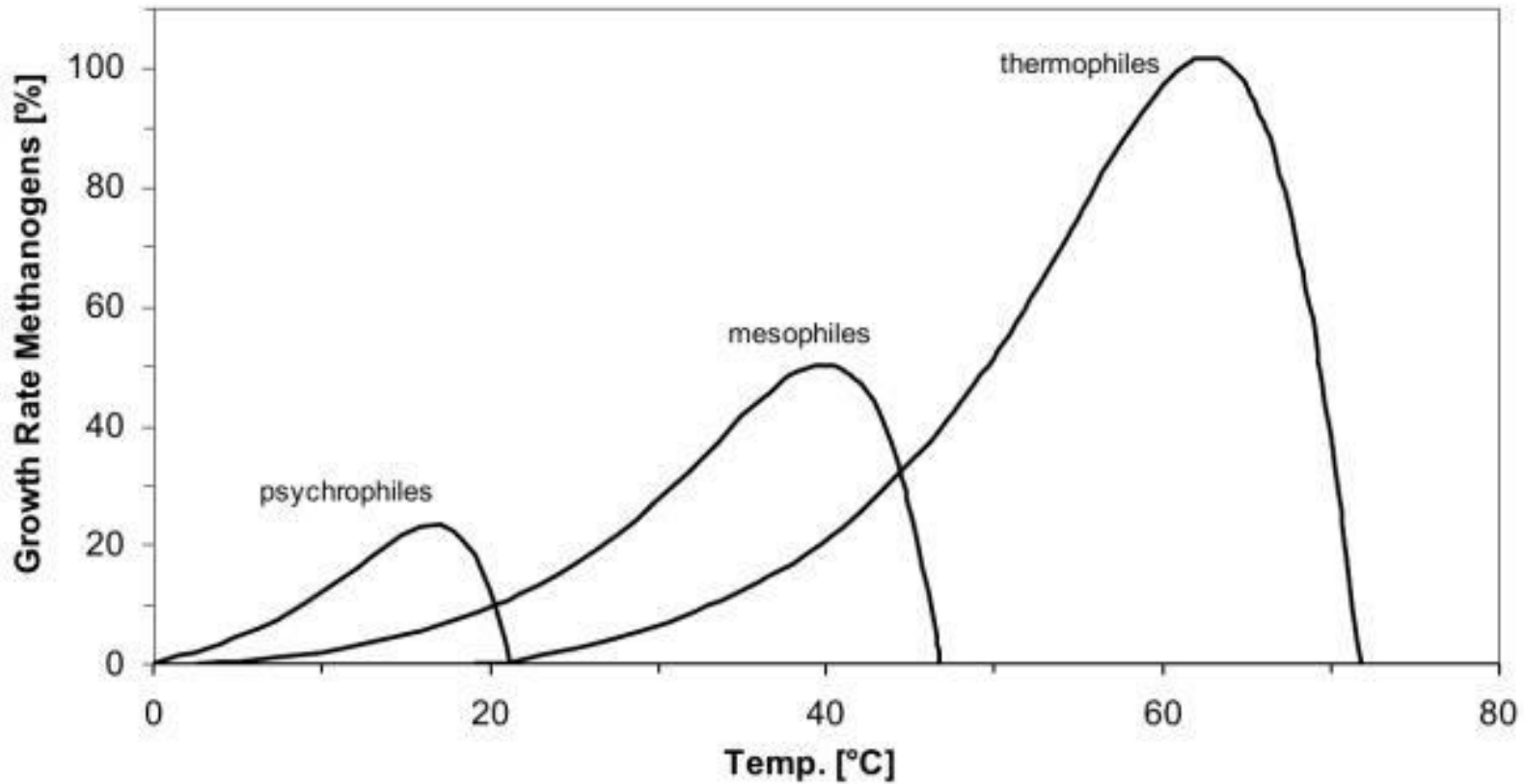
- Anaerobio  
ossigeno
- Anaerobio  
ossigeno
- Microaerofilo  
concentrazione



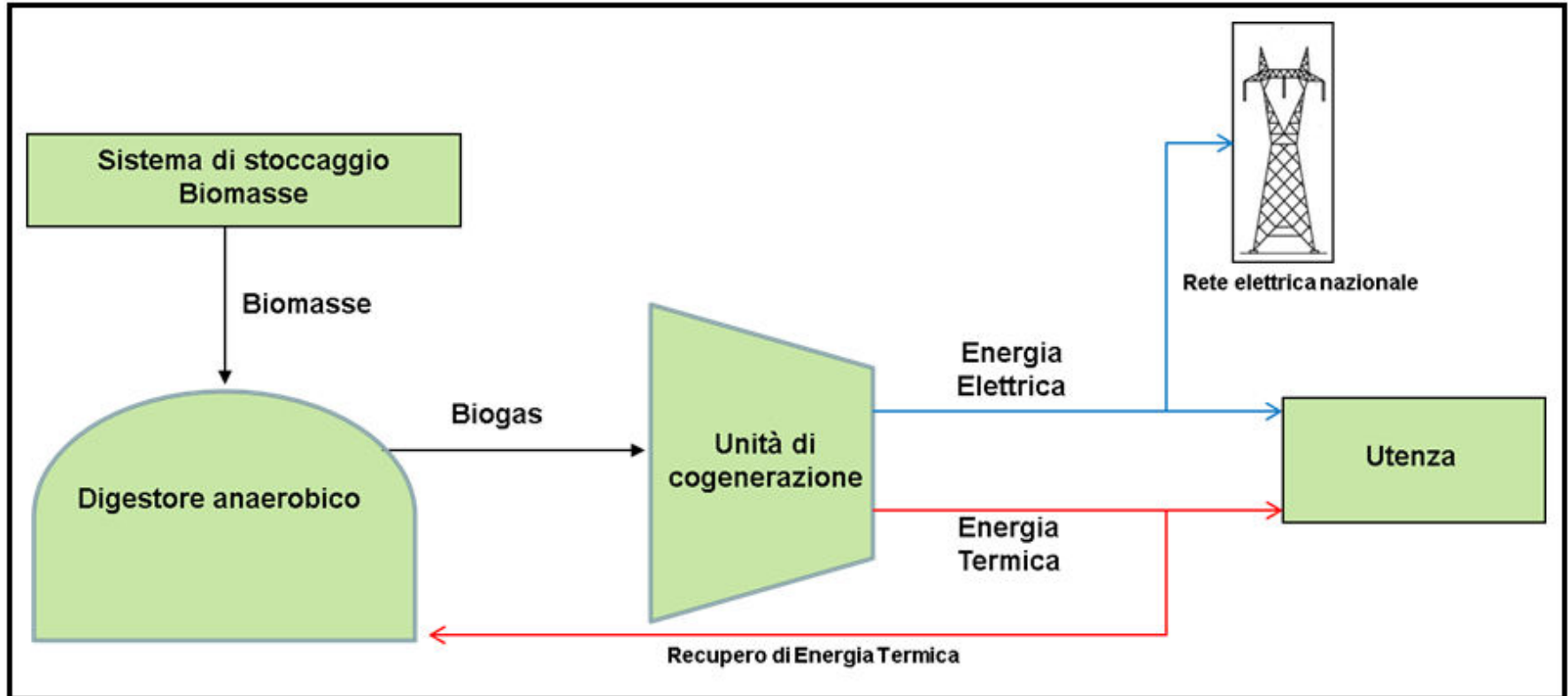
za di



# FATTORI CHE INFLUENZANO LA DIGESTIONE



# FASI CARATTERIZZANTI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI BIOGAS



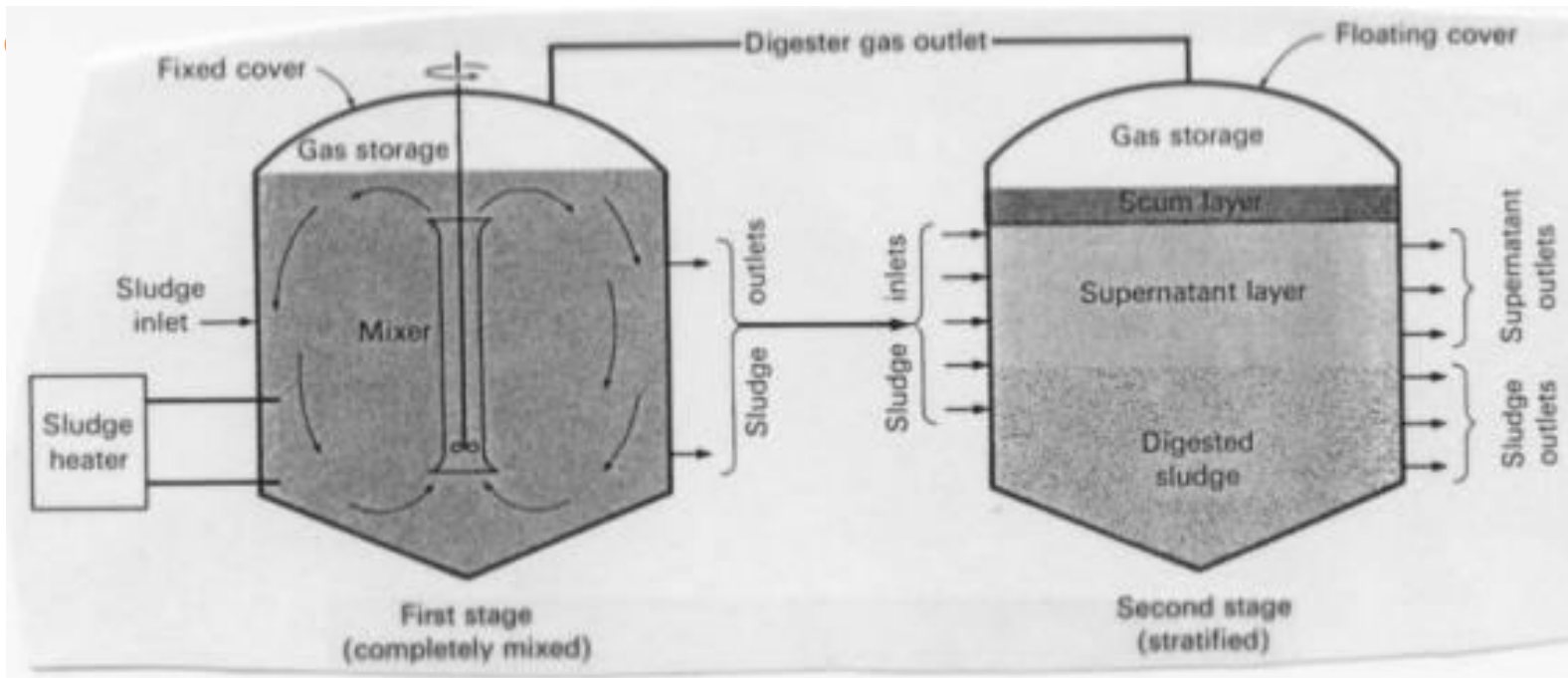


# TIPOLOGIE DI IMPIANTO

- Per sistema con cui avviene l'alimentazione:
  - Batch: isolamento del substrato
  - Continuous: continua e periodica aggiunta di substrato



# TIPOLOGIE DI IMPIANTO

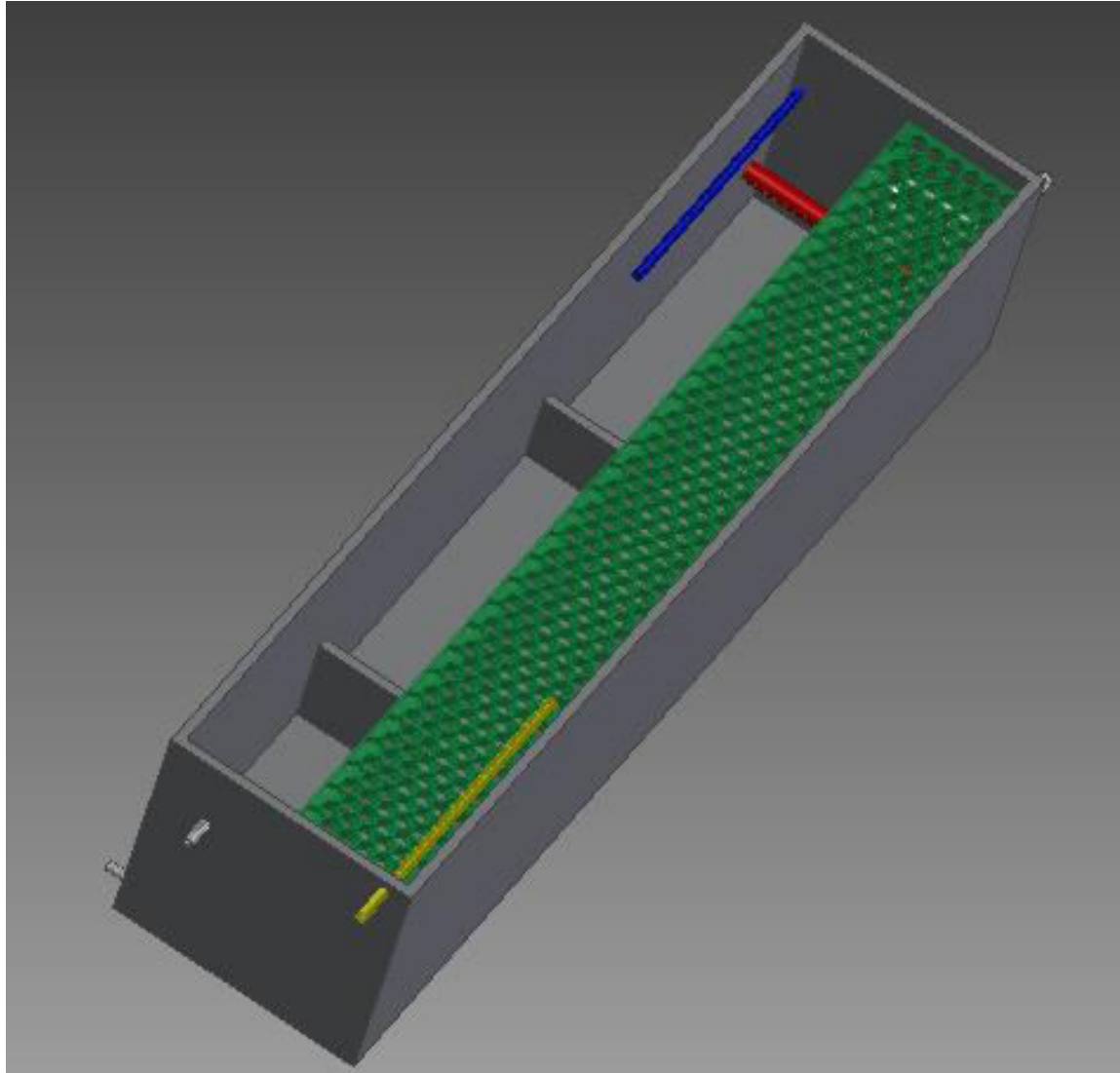


# PRODOTTI

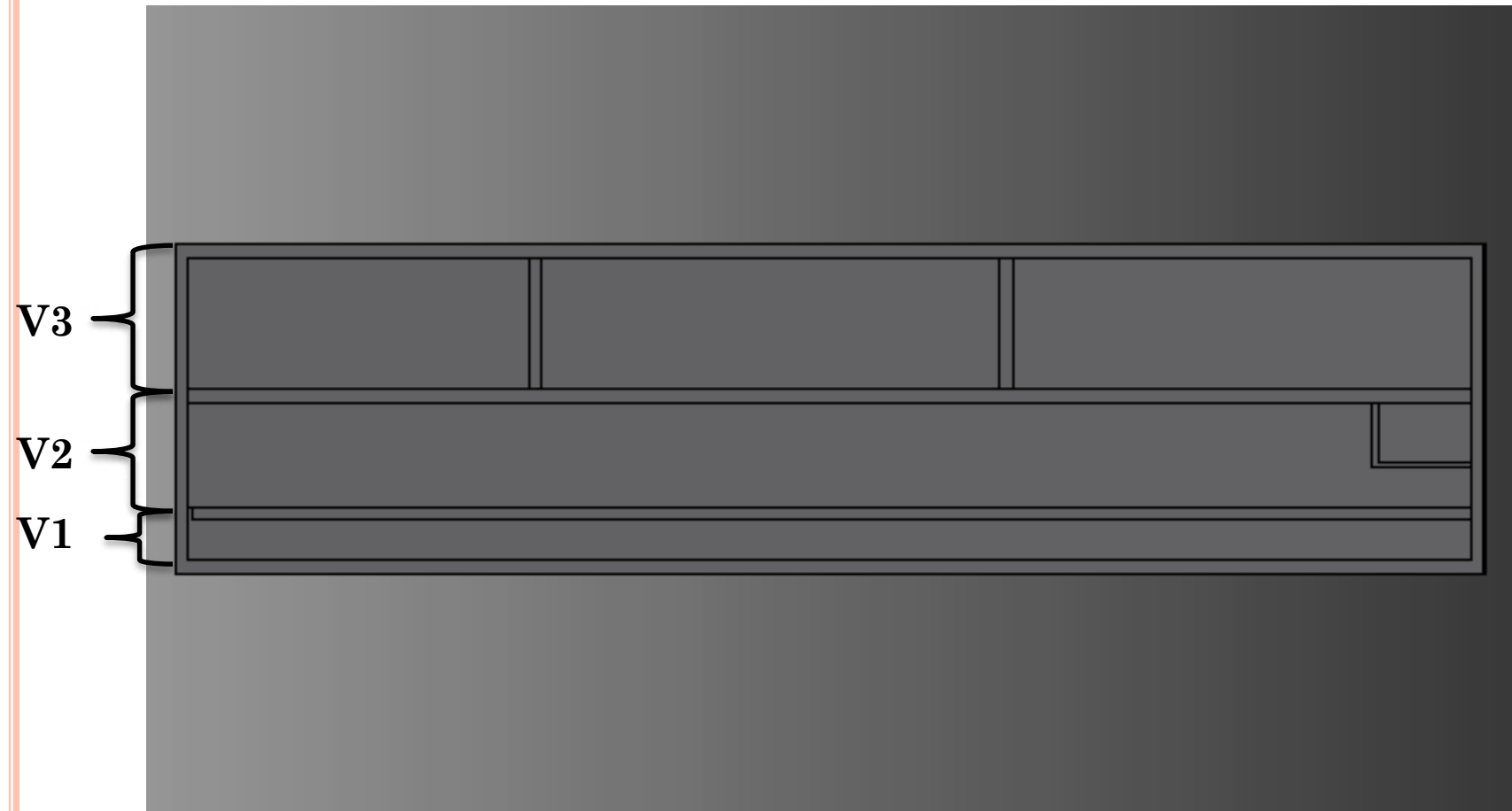
- Biogas:
  - Metano
  - Anidride Carbonica
  - Miscela variabile di altri gas
- Acque Reflue
- Digestato



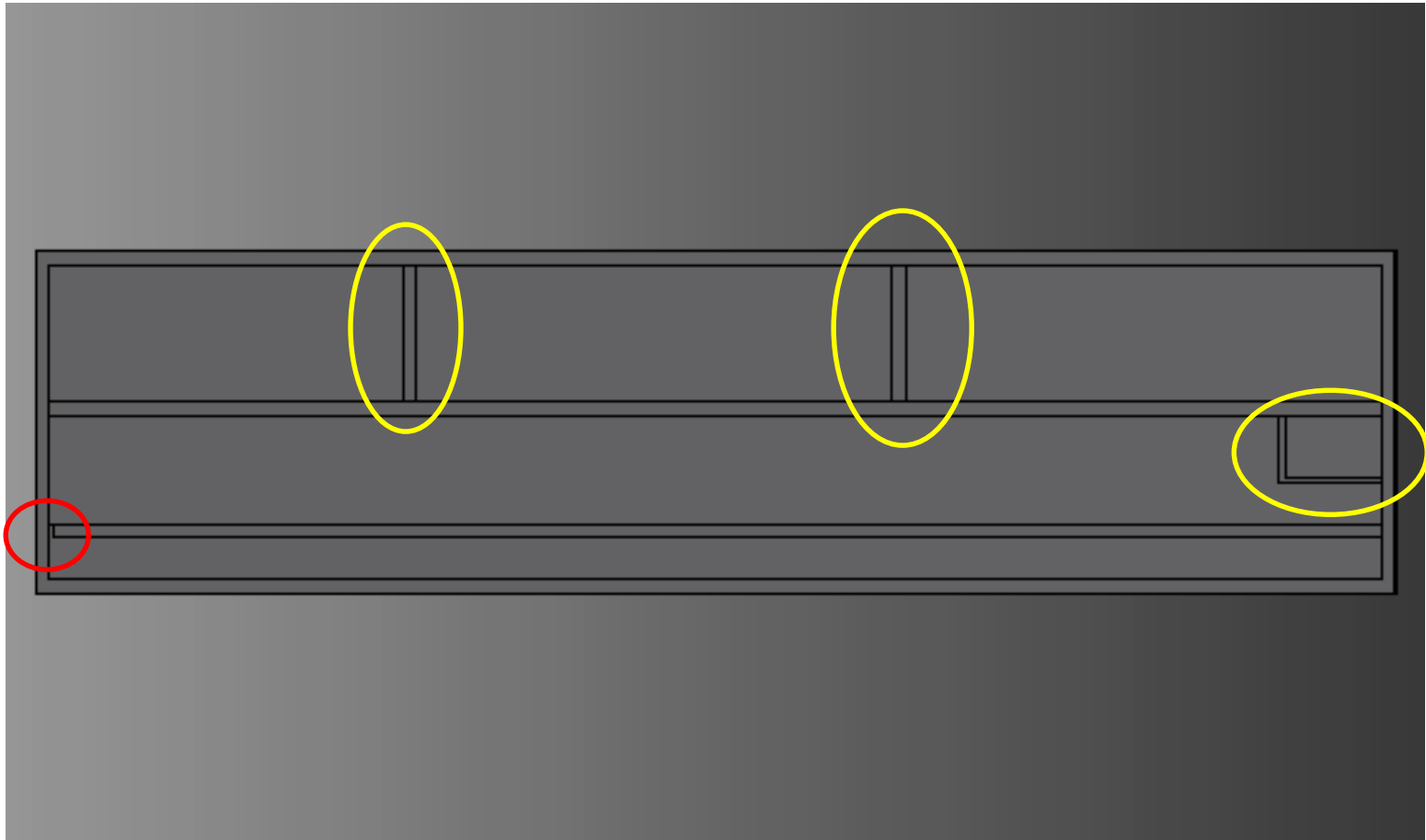
# STRUTTURA MINIBIOGASCONTINUOUS



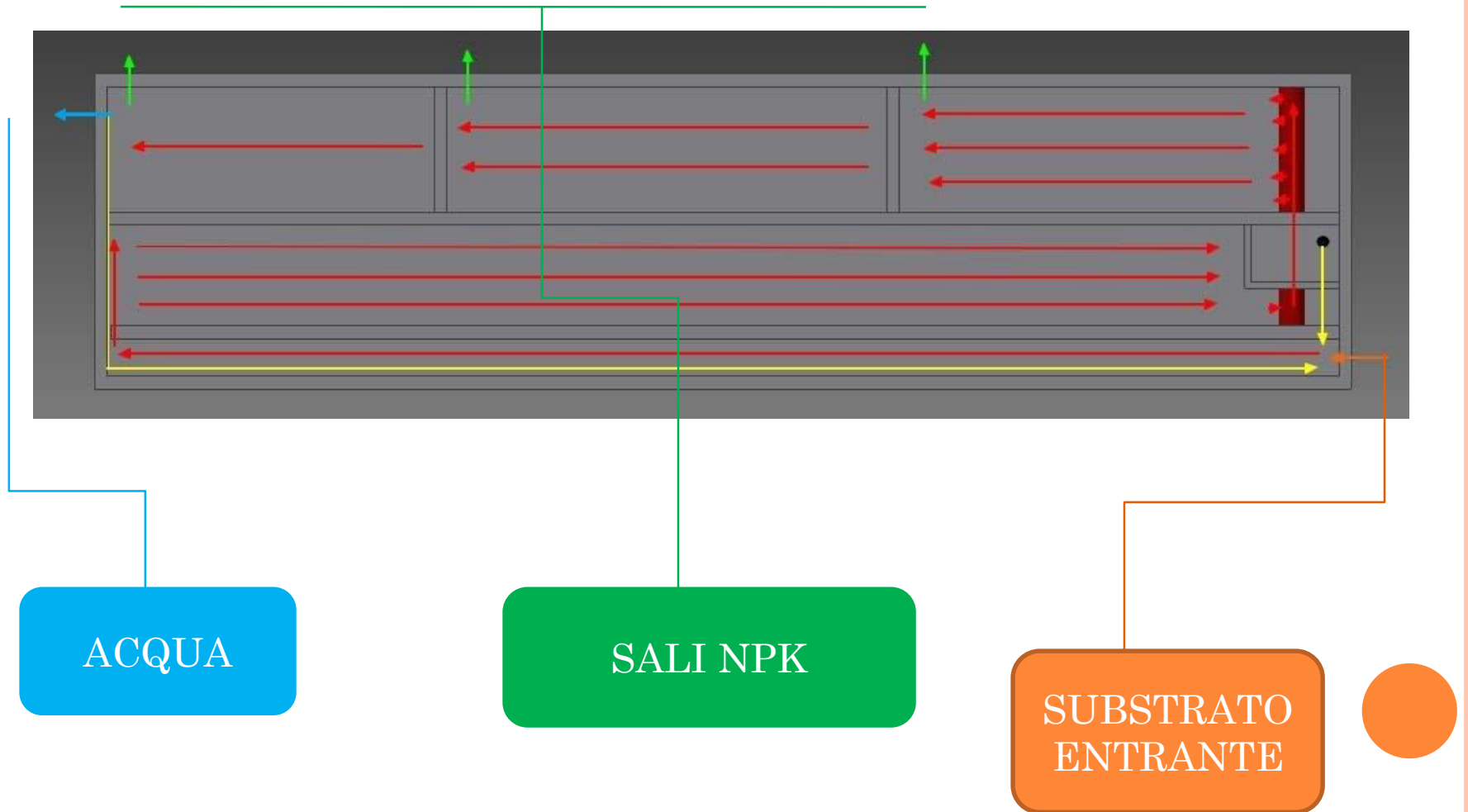
# STRUTTURA MINIBIOGASCONTINUOUS



# STRUTTURA MINIBIOGASCONTINUOUS



# FUNZIONAMENTO MBGC



# MODELLO MATEMATICO

- Flusso laminare:
  - Formulazione di Bazin
  - Formulazione di Chezy
    - Numero Reynolds
- Separazione Gravimetrica:
  - Legge di Newton
  - Legge di Stokes
  - Legge Intermedia





# CONCLUSIONI

- Il MBGC, grazie alle dimensioni ridotte, può essere posizionato in differenti situazioni
- Per il suo funzionamento necessita di una bassa quantità di substrato giornaliero
- Produce anche acqua chiarificata
- Bassi consumi



# INDICE

- 1- INTRODUZIONE
- 2- DIGESTIONE ANAEROBICA
  - I. Micro-organismi
  - II. Fasi principali
  - III. Influenza temperatura
  - IV. Influenza ph
  - V. Suddivisione per percentuale materiale secco
  - VI. Prodotti secondari
    - i. Digestato
    - ii. Acque reflue
- 3- TECNOLOGIE ATTUALI
  - I. Discorso generale ( da sistemare)
  - II. Usi biogas
  - III. Usi digestato
  - IV. Usi acque reflue
- 4- MBGC
  - I. Struttura
  - II. Funzionamento
    - i. Fase liquida
    - ii. Fase gassosa
  - III. Modello matematico
- 5- CONCLUSIONI
- 6- BIBLIOGRAFIA
- 7- RENDERING

## Introduzione

L'esistenza dei microorganismi è l'elemento base di ogni processo di fermentazione. Nel 1810 Gay-Lussac formulò l'equazione che caratterizza la fermentazione alcolica, mentre Pasteur dimostrò solamente nel 1855 la profondità della correlazione tra i microorganismi e la fermentazione stessa.

In verità l'utilizzo, seppur inconsapevole, della fermentazione ha radici storiche antichissime che risalgono sino all'epoca delle antiche popolazioni egizie che salificavano il pane con l'utilizzo del lievito. Allo stesso tempo i sumeri usavano questo processo per creare delle prime bevande alcoliche simili alla birra, ma nacque con Pasteur la consapevolezza delle funzioni della fermentazione.

Grazie a questa convinzione arriva, per la prima volta, nei grandi sistemi tecnici dell'industria, l'utilizzo dei microorganismi e viene coniato il concetto di fermentazione. Intorno al 1900 si assiste alla nascita dei primi impianti di scarico di acqua biologica in più centri industriali europei. I primi ad utilizzare il biogas furono i tedeschi, intorno al 1922, che riproducono in scala tecnica le conoscenze accumulate, ma con l'arrivo sul mercato del petrolio a costi bassissimi le cose cambiarono. Intorno al 1950 la concorrenza offerta dal basso prezzo del petrolio lascia che il biogas, e le annesse tecnologie, finiscano nel dimenticatoio.

Solo dopo il 1970, con la crisi petrolifera, il mondo ritrovò nuovamente interesse nella tecnologia che rappresentava il biogas. Solo in Germania, intorno al 1983, si arrivò ad avere fino a 100 impianti attivi. Ad oggi si ha la consapevolezza che la produzione di energia da fonti rinnovabili è di fondamentale importanza per la riduzione di emissioni di gas serra. L'impiego di biomassa infatti possiede il vantaggio fondamentale di produrre CO<sub>2</sub> neutro, in quanto viene rilasciata solo la parte positiva del monossido di carbonio.

La possibilità di un impiego più promettente per il biogas in futuro è dato dalle tecnologie che sfruttano la digestione anaerobica per produrlo.

La digestione anaerobica (AD) per la produzione di biogas potrebbe sostituire, per la fornitura di energia, i combustibili fossili e ridurre l'impatto ambientale, fornendo

un combustibile pulito da materie prime rinnovabili , quali le colture energetiche, frazioni organiche dei rifiuti solidi urbani e rifiuti agro-industriali.

*[ D.P. Chynoweth; Renewable methane from anaerobic digestion of biomass; 2001]*

Ma ciò che rende gli impianti di biogas, e quindi la digestione anaerobica, migliori rispetto ad altre strutture in grado di fornire energia rinnovabile è la capacità di poter controllare e raccogliere materiale organico di scarto e, allo stesso tempo, produrre energia, fertilizzante e acqua.

Considerando il progressivo aumento di rifiuti in tutto il globo, diventa ormai una necessità, non più solo un'occasione, controllare l'afflusso di rifiuti e migliorare la produzione di biogas.

*[Technical–economical analysis of the Saveh biogas power plan; Giti Taleghani; 2004]*

Sostenibilità è quindi diventato un punto cruciale di ogni progetto nato nell'ultimo decennio: si tende a creare strutture che abbiano un impatto minore sulla natura e che abbiano quindi un costo di manutenzione minore. Si tende a risparmiare cercando di massimizzare il prodotto ottenuto ed è in questo tipo di contesto che è divenuto indispensabile parlare di biogas e, di conseguenza, di digestione anaerobica. Possiamo notare però, come le attuali tecnologie per la produzione di biogas siano essenzialmente di dimensioni troppo rilevanti e di conseguenza dipendenti da un apporto elevato di biomassa per essere mantenute in funzione.

Queste caratteristiche rendono gli impianti per la generazione di biogas relegati in poche situazioni e non alla portata di tutti.

Durante la mia trattazione verrà proposta una soluzione di facile d'uso e di modeste dimensioni, quindi con un dipendenza minore da un grosso e continuo afflusso di biomassa.

Con il proseguimento della trattazione, allo scopo di esporre al meglio questa nuova soluzione, verranno prima analizzati i processi che caratterizzano la digestione anaerobica e in seguito l'attuale stato dell'arte. In questo modo il lettore dovrebbe poter apprezzare al meglio le scelte attuate nella caratterizzazione dell'impianto di biogas.

## La digestione anaerobica

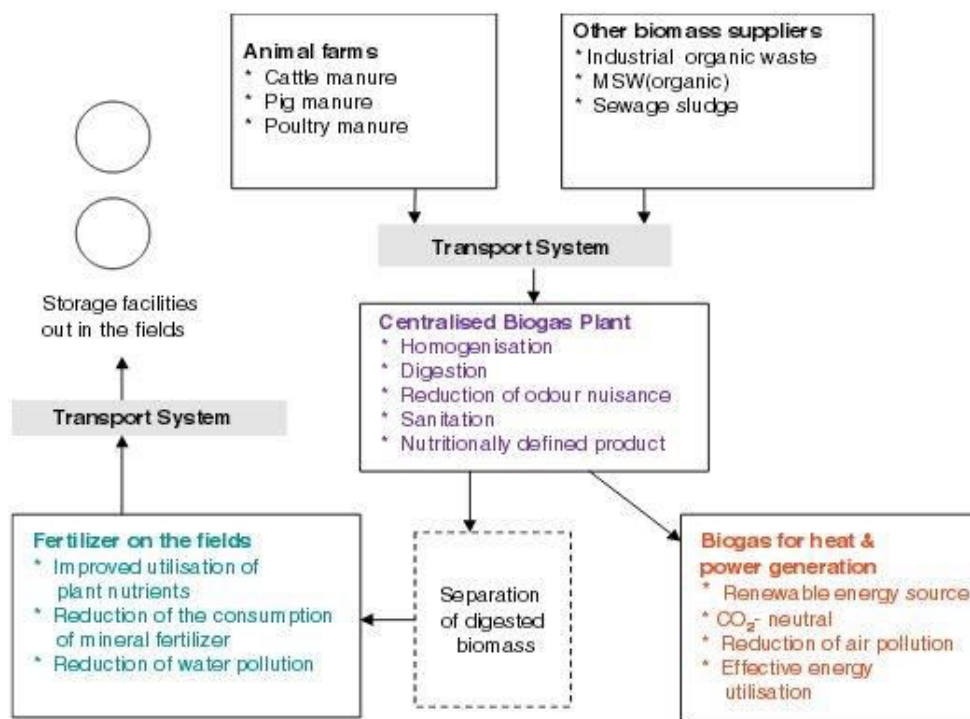
La digestione anaerobica è il processo fondamentale che si pone alla base della produzione del così detto biogas.

Consiste nella degradazione di materiale organico da parte di micro-organismi in regime di anaerobiosi, cioè in totale assenza di ossigeno. E' un processo simile al compostaggio che avviene però in regime aerobico: in presenza di ossigeno.

Il ciclo di produzione del biogas rappresenta un sistema integrato di produzione di energia rinnovabile, l'utilizzo delle risorse, il trattamento dei rifiuti organici e il riciclaggio dei nutrienti e redistribuzione, genera intrinsecamente benefici agricoli e ambientali, come elencato di seguito:

- Produzione di energia rinnovabile.
- Riciclaggio dei rifiuti poco costoso e salutare per l'ambiente.
- Meno emissioni di gas a effetto serra
- Riduzione degli agenti patogeni attraverso servizi igienico-sanitari.

[J.B. Holm-Nielse, T. Al Seadi, P. Oleskowicz-Popiel; *The future of anaerobic digestion and biogas utilization*; Elsevier scienze ltd; 2009 ]



In figura: rappresentazione schematica delle fasi di lavorazione.

## Micro-organismi

I micro-organismi che compiono la digestione anaerobica possono essere classificati in base alla loro tolleranza dell'ossigeno:

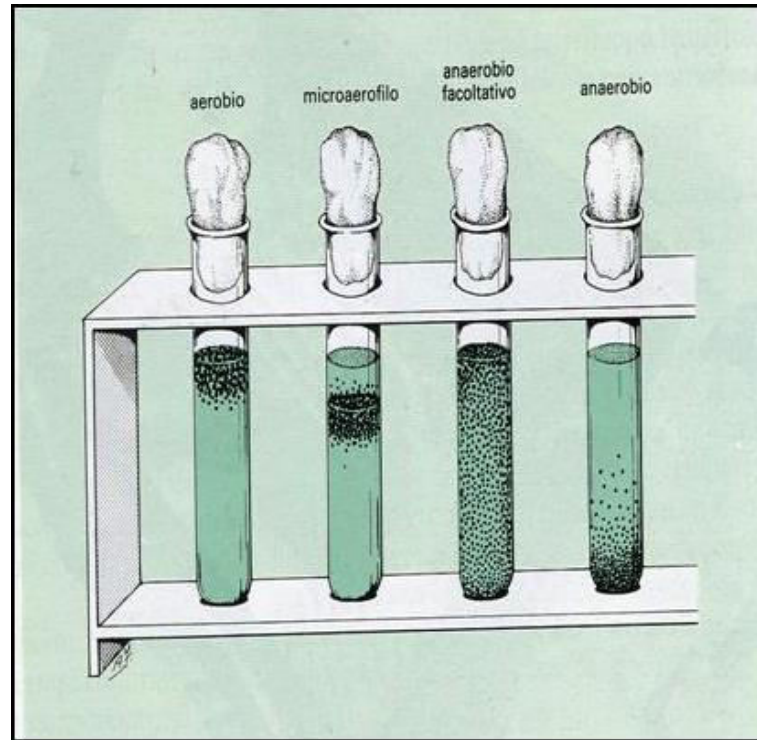
- Anaerobi obbligati, sono il gruppo non in grado di resistere a normali concentrazioni delle molecola ossigeno  $O_2$ ;
- Anaerobi facoltativi, sono il gruppo di micro-organismi che crescerebbe meglio in presenza della molecola di ossigeno, ma ne tollerano anche l'assenza;
- Microaerofili, sono organismi in grado di utilizzare l'ossigeno ma solo in concentrazioni ridotte;
- Aerotolleranti, sono un ultimo tipo di organismo che non è in grado di utilizzare l'ossigeno per il proprio metabolismo, ma riesce comunque a crescere in presenza della sua molecola.

Questi diversi tipi di micro-organismi anaerobici, a causa della loro differente sopportazione dell'ossigeno, si pongono a differenti quote nella melma in digestione: gli anaerobi obbligati si nascondono sul fondo per evitare contatti con la molecola  $O_2$ , gli anaerobi facoltativi, così come gli organismi aerotolleranti, si distribuiscono su tutto il composto raccogliendosi in maggioranza lungo la superficie e infine gli organismi microaerofili si pongono ad un quota ideale per ricevere solo il quantitativo di ossigeno non tossico per la propria sopravvivenza.

Dal punto di vista microbiologico, la degradazione anaerobica di materia organica in metano, e certi sottoprodotti, è un processo complesso, in più passaggi, di interazioni metaboliche eseguite da comunità microbiologiche ben organizzate. Di conseguenza, una varietà di microorganismi coesistono nei digestori anaerobici. Anche quando viene utilizzato una sola tipologia di substrato, la loro attività concentrata è necessaria per un corretta conversione della materia.

*[ Michael Schön; Numerical Modelling of Anaerobic Digestion Processes in Agricultural Biogas Plants*

*BoD – Books on Demand, 2010]*



**In figura: esempio del comportamento delle differenti tipologie di microorganismi.**

Il processo di digestione anaerobica causa una serie di trasformazioni nel materiale organico che libera, alla fine del processo, del materiale lavorato e una serie di gas: rispettivamente il digestato e il biogas.

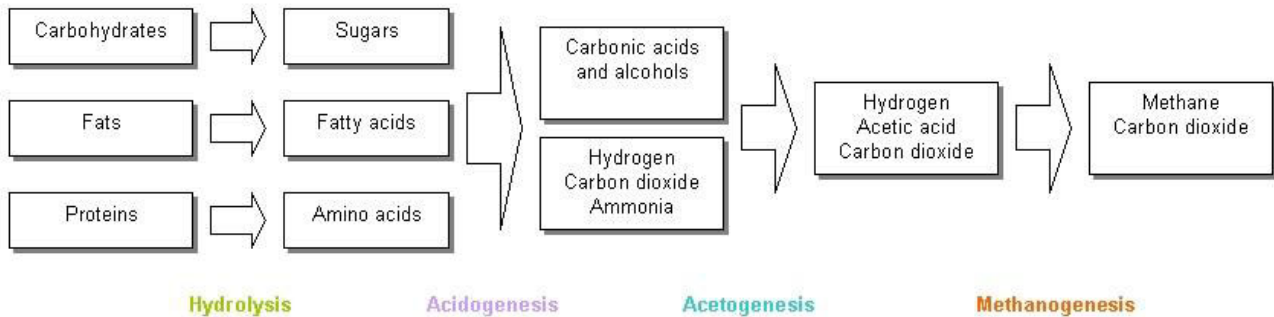
### **Fasi principali della digestione anaerobica**

La fermentazione per ottenere biogas è un processo piuttosto complesso che può essere suddiviso essenzialmente in quattro differenti fasi :

*[ Michael Schön; Numerical Modelling of Anaerobic Digestion Processes in Agricultural Biogas Plants*

*BoD – Books on Demand, 2010]*

- Fase idrolitica ( hydrolysis );
- Fase acida ( acidogenesis );
- Fase acetica ( acetogenesis/dehydrogenation );
- Fase metanigena ( methanation );



**In figura: percorso di una digestione anaerobica con elementi coinvolti.**

Le singole fasi sono portate avanti da differenti gruppi di microorganismi che hanno tra loro un rapporto simbiotico mentre, allo stesso tempo, hanno differenti esigenze sull'ambiente.

La prima fase consiste nella liquefazione del substrato: i composti organici più complessi, vengono attaccati da enzimi contenenti batteri, per poi essere scissi in composti organici più semplici. In questa fase si può parlare di idrolisi dato che le sostanze vengono disciolte in presenza di acqua. L'idrolisi e la fermentazione dei micro-organismi sono la prima causa dell'attacco ai polimeri e ai monomeri e producono prevalentemente acetato, idrogeno e una grande varietà di acidi volatili grassi come il "propionate" e il "butyrate".

I micro-organismi di origine idrolitica espellono enzimi idrolitici, ad esempio, *cellulasi*, *cellobiase*, *xilanasi*, *amylase*, *lipasi* e *la proteasi*. Un complesso gruppo di microorganismi partecipa all'idrolisi e alla fermentazione di materiale organico.

[ Peter Weiland; *Biogas production: current state and perspectives*;

*Appl Microbiol Biotechnol.* 2010]



Nella seconda fase, comunemente chiamata fase acida, il prodotto ottenuto dall'idrolisi della precedente fase ( tra cui troviamo acqua, ammoniaca e sostanze acide) viene attaccata da batteri che finiscono per formare acidi grassi. Il comportamento delle varie parti in gioco dipende dalla concentrazione delle sostanze elementari del nostro composto: più quest'ultima è bassa e più si avrà formazione di acetato. Durante questo processo si viene a creare il 20% degli acidi acetici complessivi.

L'accumulo di idrogeno può inibire il metabolismo dei batteri acetogeni. E' quindi di fondamentale importanza il mantenimento di un basso livello di idrogeno per la buona riuscita dell'acetogenesi e per la salvaguardia dei batteri produttori di H<sub>2</sub>.

Molti dei batteri sono strettamente anaerobici come, ad esempio i "*Bacterioides*", "*Clostridia*", "*Bifidobacteria*". Inoltre partecipano facoltativamente anche altri tipologie di batteri anaerobi come gli "*Streptococchi*" o gli "*Enterobacteriaceae*".

[ Peter Weiland; *Biogas production: current state and perspectives*;

*Appl Microbiol Biotechnol. 2010*]

La terza fase, quella acetica (acetogenesi), è caratterizzata da un nuovo gruppo di batteri in grado di attaccare gli acidi organici e alcolici per ottenere acidi acetosi, monossido di carbonio e infine acqua. I prodotti ottenuti da questa "trasformazione" sono particolarmente importanti perché fungono da substrato per i micro-organismi metanigeni. In questa fase l'aumento della percentuale di acqua ostacola la formazione dei batteri acetogeni e questo si ripercuote sulla formazione del substrato utile per i micro-organismi metanigeni. Quest'ultimi riconoscono l'importanza della vita dei batteri e quindi utilizzano l'idrogeno presente nell'acqua per formare metano creando in questo modo condizioni favorevoli alla loro sopravvivenza creando un rapporto di simbiosi tra le due tipologie di organismi.

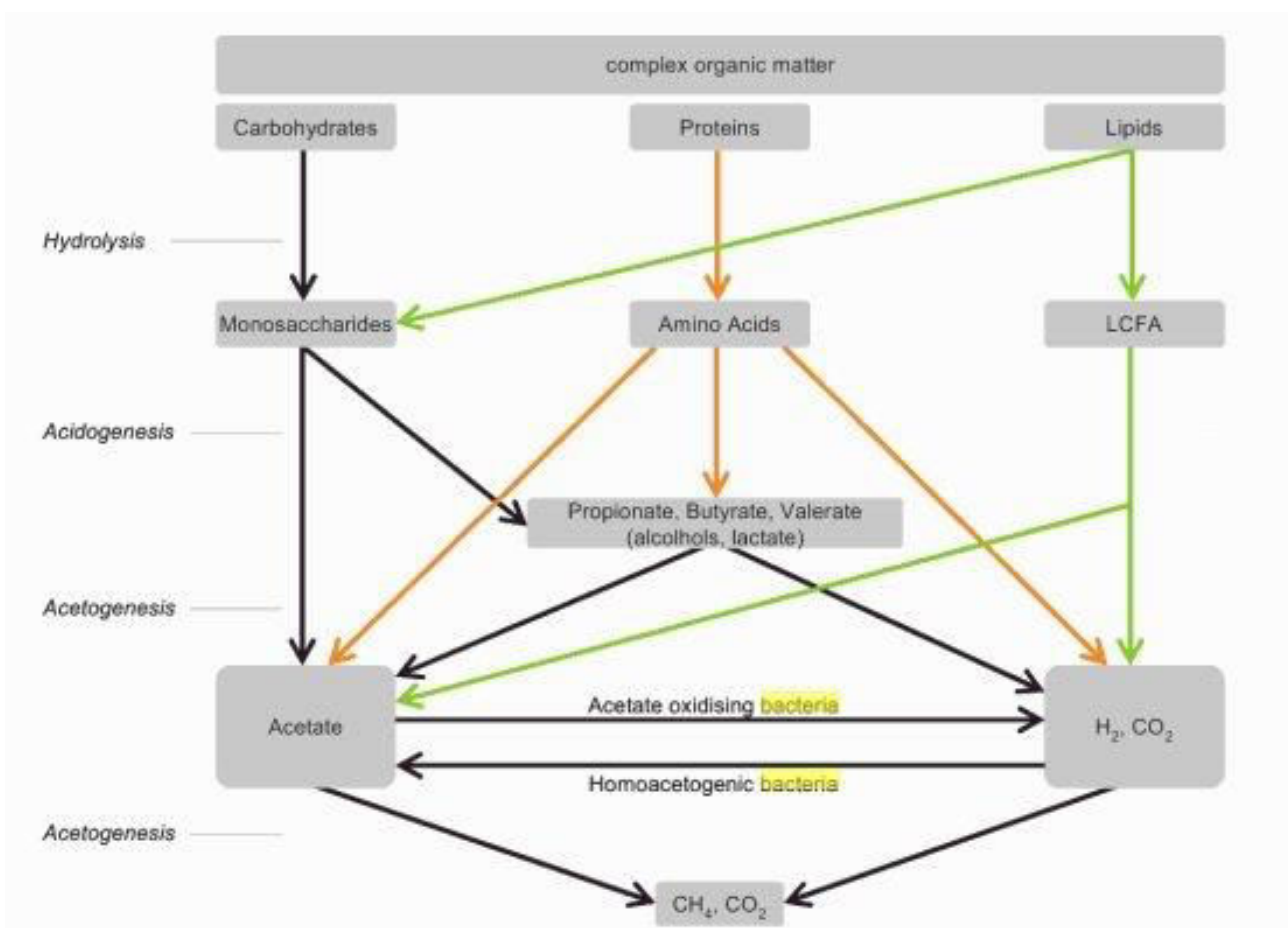
[ Peter Weiland; *Biogas production: current state and perspectives*;

*Appl Microbiol Biotechnol. 2010*]

La quarta e ultima fase è la fase metanigena (metanogenesi): quella caratterizzata dalla maggior produzione di metano. I micro-organismi formati in precedenza trasformano i prodotti del composto ottenuto dalle precedenti trasformazioni per creare metano, monossido di carbonio e una miscela di altri gas. La formazione di questi ultimi elementi può avvenire essenzialmente in due modi: attraverso la metanogenesi di batteri idrogenotrofi, oppure attraverso la dismutazione anaerobica dell'acido acetico. Buona parte del metano prodotto proviene dalla seconda delle due trasformazioni. Il metano può essere considerato il prodotto ultimo del ciclo e, in quanto tale, non reagente all'interno del processo.

[ Peter Weiland; Biogas production: current state and perspectives;

Appl Microbiol Biotechnol. 2010]



In figura: fasi principali e percorso di una digestione anaerobica

Questi batteri sono strettamente anaerobi e richiedono un basso livello di ossidoriduzione per crescere rispetto alla maggior parte degli altri batteri anaerobi esistenti. Inoltre poche specie di batteri sono in grado di convertire gli acetati in CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, ad esempio: *Methanosarcina barkeri*, *Metanono-coccus mazei*, and *Methanotrix soehngen*, mentre invece tutti i batteri anaerobi sono in grado di degradare l'idrogeno per formare metano.

[ Peter Weiland; Biogas production: current state and perspectives;

Appl Microbiol Biotechnol. 2010]

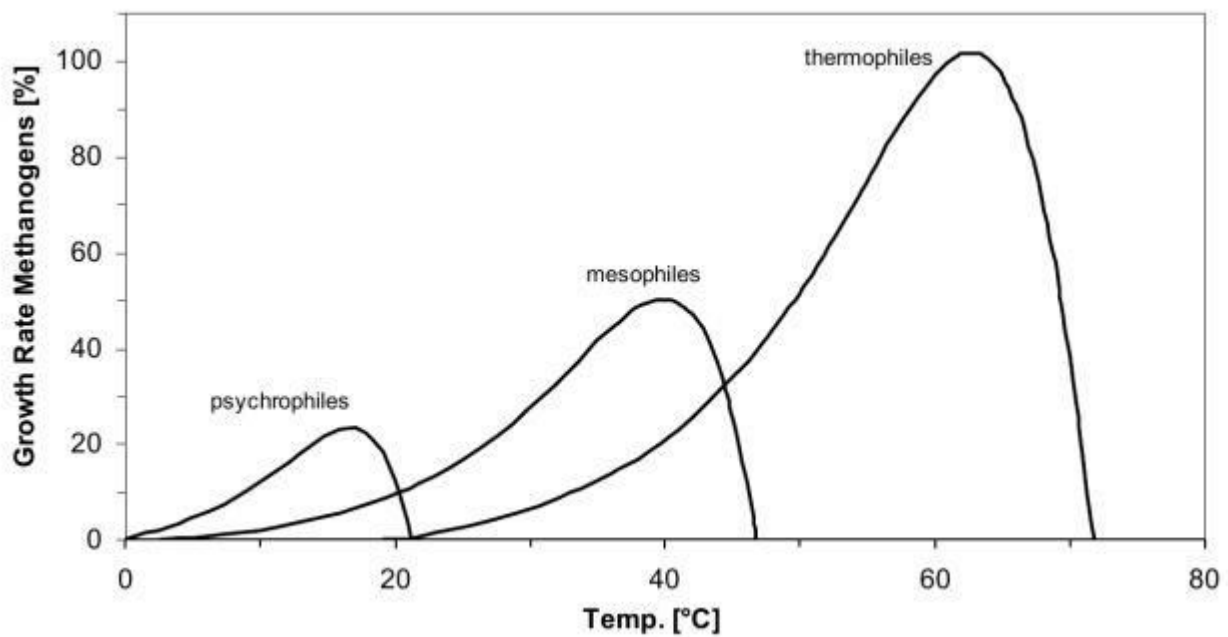
### **Influenza della temperatura**

Al variare della temperatura cambia il “regime” della digestione: in genere all'aumentare della temperatura diminuisce il tempo di lavorazione.

Quando, per tutto il processo della digestione, la temperatura è tenuta a circa 35°C la digestione viene definita a regime *mesofilo* e il tempo di resilienza è tra 14-30 giorni.

Quando la temperatura è tenuta circa a 55°C la digestione è a regime *termofilo* e il tempo di resilienza sarà tra 14-16 giorni. I batteri caratterizzanti questo regime hanno un tasso di crescita piuttosto elevato.

Con impianti molto semplici è possibile anche lavorare in regime *criofilo* tenendo la temperatura tra 10-15°C. In quest'ultimo caso il tempo di resilienza in impianto sarà necessariamente superiore ai 30 giorni.



In figura: crescita relativa di microorganismi metanigeni criofilo, mesofilo, termofilo

Qualsiasi sia il regime a cui avviene la digestione anaerobica è importante che non ci siano fluttuazioni nella temperatura, per non avere produzioni negative di biogas.

Il processo termofilo è più sensibile alle variazioni di temperatura, mentre i batteri mesofili sono in grado di tollerare sbalzi di  $\pm 3^\circ\text{C}$

### Influenza del PH

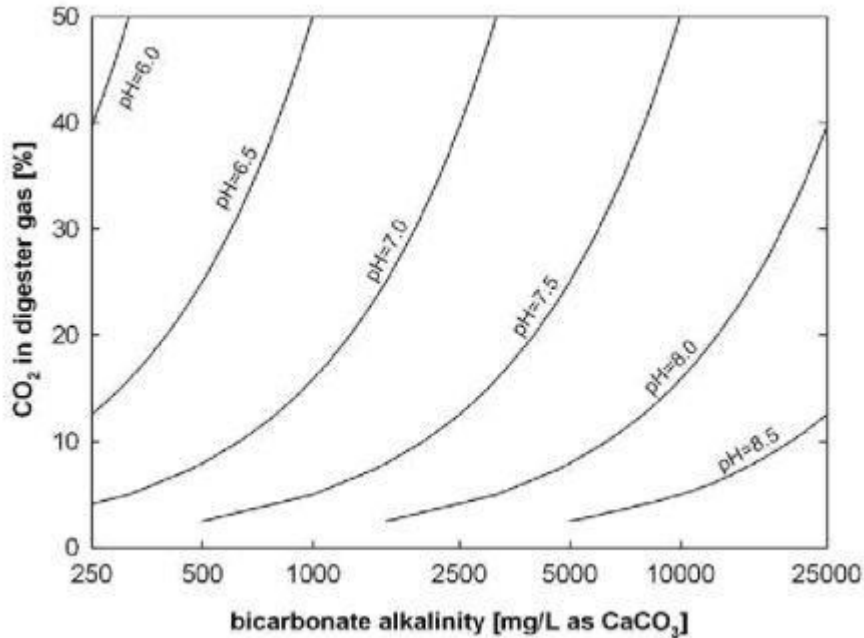
Il pH è definito come il cologaritmo decimale della concentrazione degli ioni idrogeno  $\text{H}^+$ . Rappresenta un'importante caratteristica, dato che colpisce l'equilibrio tra molte specie chimiche.

La crescita ottimale dei gruppi di microorganismi coinvolti nella degradazione anaerobica è strettamente legata al pH, quest'ultimo ha un forte impatto

sull'attività degli enzimi nei microorganismi, attività che è un prerequisito per la digestione anaerobica.

L'attività raggiunge il suo massimo quando anche il valore del pH è ottimale, cioè in un intervallo preciso di valori, variabili in base alla tipologia di microorganismi coinvolti. Per i microorganismi metanigeni questo intervallo di valori è piuttosto stretto e varia da 8.5 a 5, è maggiore per i microorganismi acidogeni dove oscilla tra 4 e 8, mentre per i microorganismi acetogeni il valore ottimale oscilla intorno al valore 7.

[ Michael Schön; Numerical Modelling of Anaerobic Digestion Processes in Agricultural Biogas Plants  
BoD – Books on Demand, 2010]



In figura: effetto del pH, a temperatura  $t=35^{\circ}\text{C}$ , sulla relazione tra fase liquida ( bicarbonate alkalinity), e fase gassosa ( CO<sub>2</sub> )

Alcuni esempi di potenziali metanigeni di varie tipologie di substrati:

Sample	$B_0 \text{ lg}^{-1} \text{ VS}$	$k \text{ d}^{-1}$
Kelp ( <i>Macrocystis</i> )	0.39–0.41	
Sorghum	0.26–0.39	
<i>Sargassum</i>	0.26–0.38	
Napiergrass	0.19–0.34	0.05–0.16
Poplar	0.23–0.32	
Water hyacinth	0.19–0.32	0.09–0.11
Sugarcane	0.23–0.30	0.05–0.16
Willow	0.13–0.30	0.01–0.04
<i>Laminaria</i>	0.26–0.28	
Municipal solid waste	0.20–0.22	0.13–0.16
Avicel Cellulose	0.37	0.14

In generale, al termine della digestione, il biogas ottenuto è in composto da: 50-80% di metano, 15-45% di anidride carbonica, 5% di altri gas come il solfuro di idrogeno (o idrogeno solforato).

### **Suddivisione per percentuale materiale secco**

E' possibile suddividere la digestione anaerobica in diverse tipologie di classi. Per il tipo di lavorazione che andremo a fare è importante nominarne in particolare due :

- Digestione a secco: il composto di biomassa in digestione ha un contenuto materiale secco superiore al 20%.
- Digestione a umido: il composto di biomassa in digestione ha un contenuto di materiale secco inferiore al 20%.

Processi con valori intermedi sono meno comuni ma vengono comunque impiegati, per semplicità questo tipo di digestioni vengono chiamate a semi-secco.

Il materiale secco viene definito con il termine “solido volatile” (SV) e non rappresenta la quantità di materia organica del composto. La materia organica viene chiamata “solidi totali” ed è presente, di norma, in percentuale del 80% all’interno del SV. Il restante 20% dei solidi volatili sono Sali di varie tipologie.

### **Prodotti secondari al Biogas**

Al termine della digestione anaerobica, oltre al biogas, abbiamo principalmente altri due prodotti, la parte non più ulteriormente lavorabile del substrato: il digestato e le acque reflue.

### **Il digestato**

Il digestato è uno dei residui della digestione anaerobica, durante quest’ultima la materia organica che viene degradata varia tra il 40 % e il 95%, e viene usato prevalentemente come fertilizzante. E’ stato affermato che il digestato contiene sostanze bioattive , come fitormoni ( es gibberelline , acido indolacetico ) , acidi nucleici, monosaccaridi, aminoacidi liberi, vitamine e acido fulvico, con il potenziale per promuovere la crescita degli impianti e per aumentare la tolleranza allo stress biotico e abiotico. Il digestato ha contenuti più elevati di acido indolacetico che la materia prima originale . Questo aumento può essere spiegato solo da una sintesi microbica durante il processo di digestione.

### **Acque Reflue**

E’ l’ultimo elemento dell’output della digestione anaerobica. Trova un parte della sua origine nell’umidità che il substrato possiede al momento dell’inizio dell’idrolisi, mentre un’altra parte di acque reflue viene prodotta dalle reazioni microbiche avvenute all’interno del digestore.



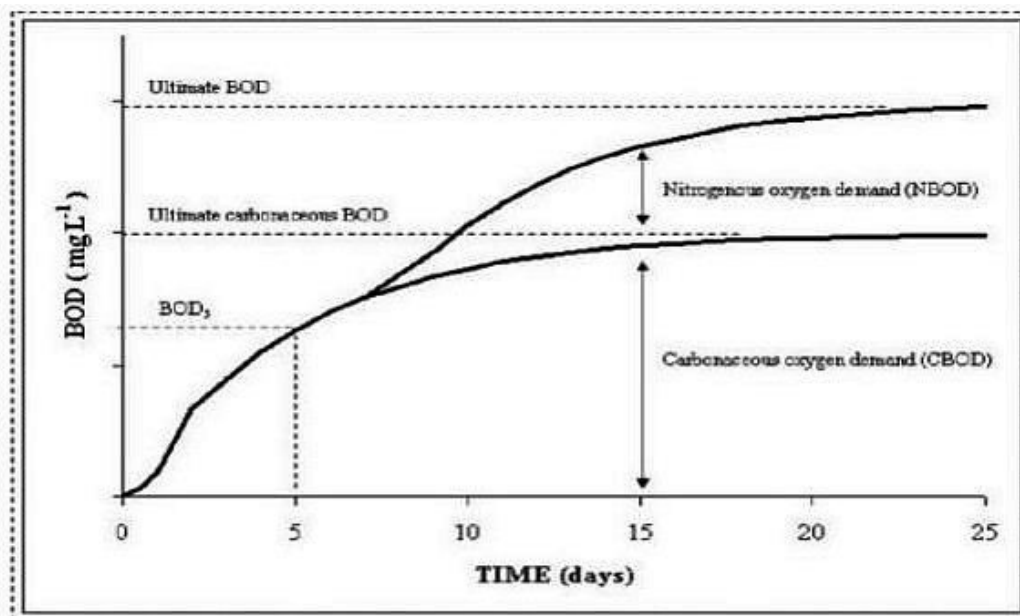
In figura: acque reflue

Non sono idonee ad un uso diretto a causa dell'alto livello di sostanze organiche, e inorganiche, pericolose per la salute e l'ambiente. Per questo motivo non è possibile reimmettere nell'ambiente questo tipo di acque, senza averle ulteriormente lavorate, dato che andrebbero a ledere gli equilibri dell'ecosistema.

Il tenore di sostanze biodegradabili, e di conseguenza la loro capacità di inquinare, viene in genere misurato attraverso due differenti criteri:

- BOD: biochemical oxygen demand, cioè una misura della quantità di O<sub>2</sub> che viene consumata in un determinato lasso di tempo da microorganismi aerobi. Per convenzione viene considerato un intervallo di tempo di 5 giorni a una temperatura di 20°C, prendendo in esame un litro di acqua ;
- COD: chemical oxygen demand, rappresenta la quantità di ossigeno necessaria per completare l'operazione di ossidazione del materiale organico o non presente nel liquido ;

[ENVIRONMENTAL AND ECOLOGICAL CHEMISTRY – Vol. II – Biochemical Oxygen Demand- Michael R. Penn, James J. Pauer, James R. Mihelcic ]



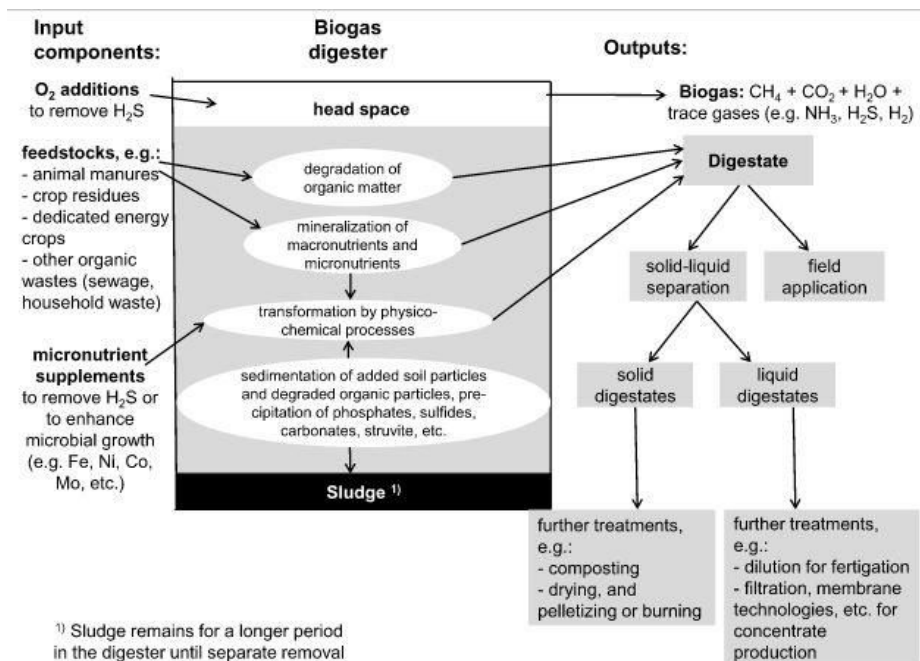
In figura: rappresentazione teorica dell'andamento della curva BOD all'aumentare del tempo.



## TECNOLOGIE ATTUALI (stato dell'arte attuale)

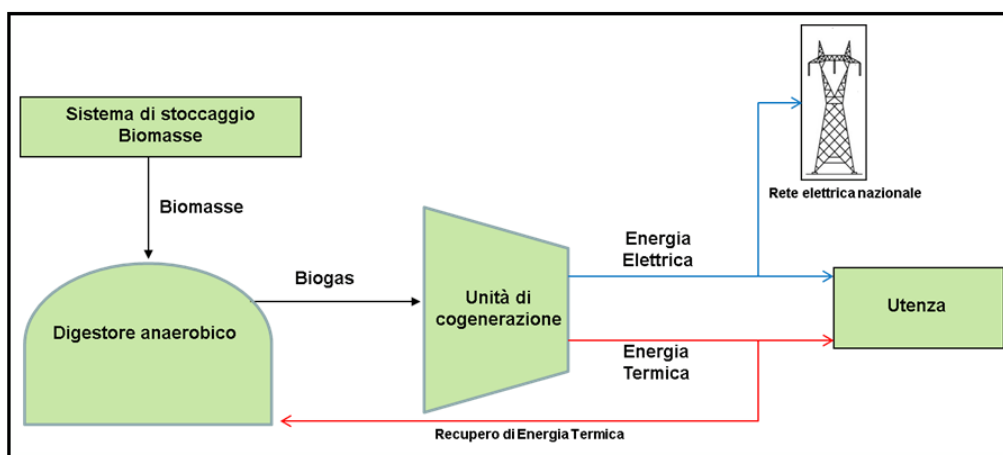
Per la produzione del biogas attualmente vengono utilizzati diversi tipi di sistemi che sfruttano in maniera diversa, più o meno efficiente, la digestione anaerobica. Tutti questi tipi di struttura hanno quindi sistemi di funzionamento, in linea di massima, piuttosto simili.

Un impianto di biogas è una complessa installazione di una varietà di elementi la cui struttura dipende in larga misura dalla quantità e dalla qualità delle materie prime trattate. Esistono diverse tipologie di substrati che possono essere digeriti negli impianti, quindi ci sono varie tecnologie, diversi tipi di costruzioni e sistemi di funzionamento per trattare le diverse materie prime. È inoltre piuttosto importante notare che, a seconda del tipo, delle dimensioni e delle condizioni operative di ciascun impianto, esistono diverse tecnologie connesse per il trattamento, lo stoccaggio e l'utilizzo del biogas. Gli stessi aspetti riguardano lo stoccaggio e l'utilizzo del digestato.

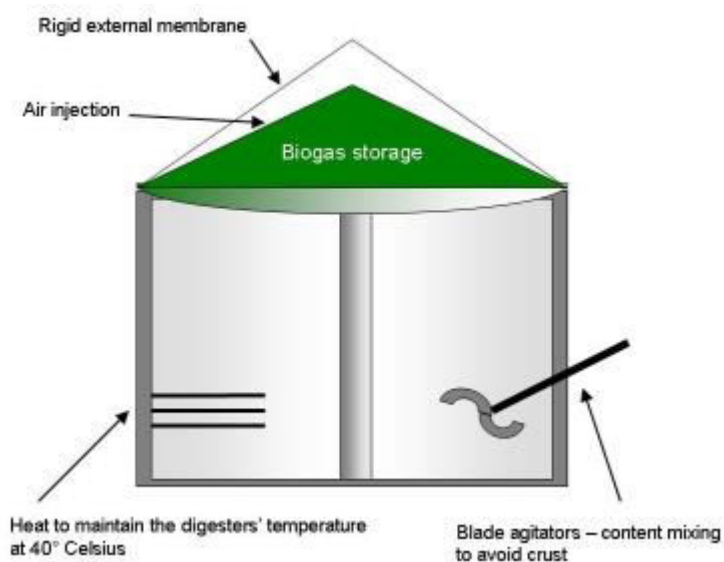


In un comune impianto di biogas il processo produttivo prevede diverse fasi:

- trasporto, stoccaggio ed eventuale pretrattamento delle materie prime;
- produzione di biogas attraverso la digestione anaerobica;
- stoccaggio del digestato, eventuale trattamento e utilizzo agronomico;
- stoccaggio del biogas, trattamento e utilizzo.



L'unità fondamentale di un impianto di generazione di biogas è il così detto *digestore* : una vasca, connessa ad una serie di altri componenti, di dimensioni variabili nella quale avviene la digestione.



**In figura: schematizzazione di un digestore.**

Durante la prima fase vengono coinvolti, tra gli strumenti all'interno del sistema: la vasca di stoccaggio dei liquami, l'indotto di ricezione/raccolta di eventuali co-

prodotti pompabili, un sistema di igienizzazione, quando sembra necessario, un sistema di stoccaggio e uno di alimentazione dei substrati solidi.

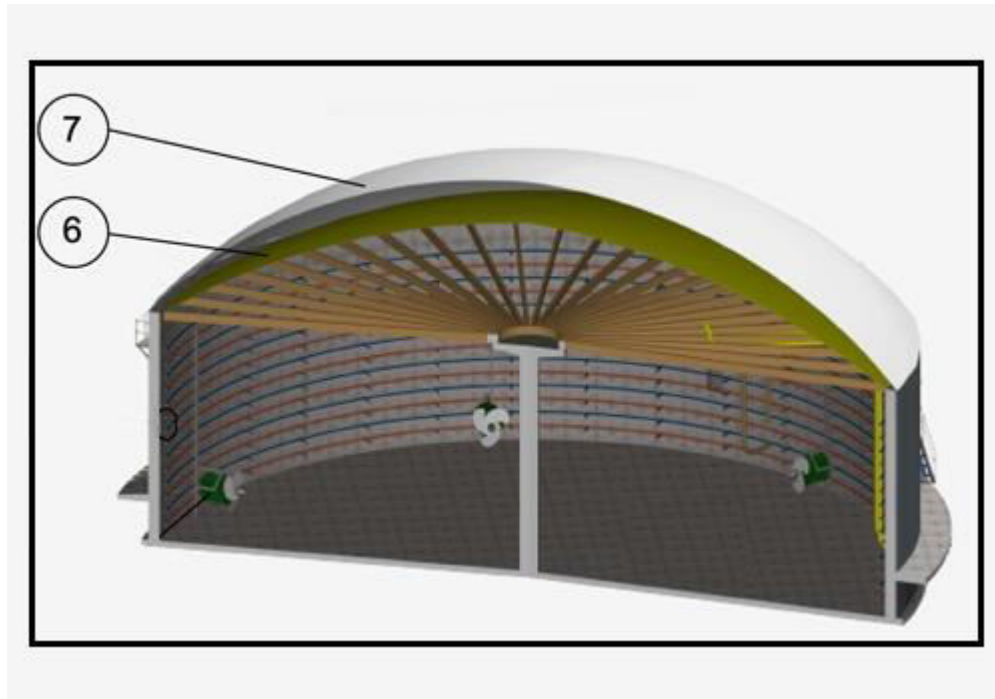
Inoltre le successive fasi della produzione comprendono:

- Produzione di biogas nel digestore, durante questa seconda fase la principale unità coinvolta è la vasca del digestore;
- Stoccaggio del digestato per un suo possibile utilizzo come fertilizzante;
- Produzione del biogas;
- Trattamento e/o utilizzo del biogas;

Nelle ultime fasi, tra gli strumenti importanti che vengono coinvolti nella produzione ci sono: il gasometro, l'unità di cogenerazione e, se necessaria, un'unità di upgrading del biogas a biometano.

Un gasometro (gas-holder) è una struttura creata con lo scopo di trattenere gas di diversa tipologia e con differenti usi. Il volume della struttura segue la quantità di gas immagazzinato con la pressione proveniente dal peso di un cappuccio mobile sulla cima.

Una struttura tipicamente grossa di un gasometro può vantare un volume totale approssimativamente di 50.000 metri cubi, con un corrispondente diametro di 60 metri.



**In figura: sezione di un gasometro associato al digestore. E' formato da due differenti membrane: una interna (6) e una esterna (7).**

Per quanto il principio di base di funzionamento degli impianti di biogas sia sostanzialmente lo stesso esistono diverse configurazioni dei digestori che portano a risultati differenti.

Per l'alimentazione le differenti configurazioni sono essenzialmente due:

- Batch, in cui il substrato viene stoccato, pretrattato e infine isolato nel digestore per tutta la durata della trasformazione. E' di facile costruzione e gestione, ma ha rendimenti minori;
- Continuos, caratterizzato da un apporto continuo di substrato, ad intervalli regolari. Di conseguenza viene prelevato costantemente sia digestato che biogas;

Altre configurazioni che differiscono nel processo riguardano invece le temperature:

- Condizione termofila: caratterizzata da una temperatura superiore ai 55°C;
- Condizione mesofila: caratterizzata da una temperatura di circa 35-37 °C;
- Condizione psicofila: caratterizzata da una temperatura di circa 20 °C;

Esistono anche casi di produzioni di biogas a temperatura inferiori, ma con rendimenti pari al 30% rispetto ad una struttura a condizione mesofila.

Per la quantità di materiale solido da cui è caratterizzato il substrato esistono 3 sostanziali configurazioni:

- Processo umido;
- Processo semi-secco ;
- Processo secco ;

Infine vengono utilizzate due configurazioni differenti per quanto riguarda la complessità della struttura:

- A singolo reattore: di semplice costruzione e quindi con costi minori. Ha come grosso svantaggio il non controllo delle fasi all'interno del digestore, dato che avvengono tutte nella medesima vasca. Questo causa diversi problemi tra cui quello dell'interazione tra batteri acidogeni e metanogeni: i primi riducono il ph della "soluzione", ma i secondi operano soltanto in uno specifico intervallo dei valori del ph.

- A doppio reattore: di costruzione più complessa rispetto al precedente. Permette di avere un miglior controllo della digestione preparando uno spazio apposito per i batteri acidogeni e metanogeni, posizionandoli in due differenti digestori. Le fasi di idrolisi, acetogenesi e acidogenesi avvengono nel primo digestore, dove i batteri acidogeni possono ridurre il ph senza conseguenze. In seguito il substrato viene inviato alla seconda vasca dove viene controllato il ph così che, durante la metanogenesi, i batteri metanogeni possano massimizzare il loro lavoro.

Inoltre è possibile fare una distinzione sommaria degli impianti di produzione di biogas in base alla potenza che questi erogano.

Gli impianti con potenza da 300 a 1.000 kW sono adatti ad aziende agricole e agro-zootecniche di dimensioni medio-grandi, o che si avvalgono del conferimento di liquami, letame e sottoprodotti agricoli.

I grandi impianti biogas con oltre 1.000 kW di potenza. Sono impianti adatti a realtà di ingenti dimensioni, come latifondi, consorzi cooperativi oppure partecipazione pubblica, funzionano in modo del tutto analogo agli impianti di scala inferiore, ma naturalmente, a causa dell'ovvia differenza di dimensione, comportano una complessità logistica più articolata.

La loro diffusione, ovviamente, non è ancora elevata.

## Uso Biogas

Il biogas può essere utilizzato per la produzione di energia elettrica in impianto , in un motore a gas CHP ( combined heat and power) , dove il calore di scarico del motore è convenientemente utilizzato per mantenere a livello ideale la temperatura del digestore.

Efficienze elettriche fino al 43 % possono essere realizzate nell'utilizzo di un motore a gas CHP.

Turbine Microgas comportano una minore efficienza elettrica ( 25-31 % ), ma hanno una buona efficienza parte del carico e lunghi intervalli tra le manutenzioni .

Le celle energetiche risultano avere un'efficienza elettrica più elevata, ma necessitano allo stesso tempo di gas più puri per funzionare. Tutto questo perché il catalizzatore per convertire il metano in idrogeno e il catalizzatore all'interno della cella a combustibile sono molto sensibili alle impurità

[P Weiland - Applied microbiology and biotechnology, 2010 – Springer]

Se compresso ad adeguati valori, inoltre il biogas può essere usato come carburante per diverse tipologie di autoveicoli.

E' importante considerare che per l'utilizzo del biogas quest'ultimo deve essere deumidificato e desolfurato per eliminare possibili danni alle unità che li utilizzano. In particolar modo il biogas ottenibile da coltivazioni apposite hanno un alto livello di H<sub>2</sub>S: compreso tra i 100 e 3000 ppm. Il livello adeguato per un utilizzo si aggira sui 250 ppm.

Il processo di desolforazione si basa sull'ossidazione del H<sub>2</sub>S attraverso batteri "*Sulfobacter oxydans*" che devono essere presenti per poter convertire H<sub>2</sub>S in semplice zolfo o acidi similari.

[P Weiland - Applied microbiology and biotechnology, 2010 – Springer]

Bisogna porre attenzione in questa fase perché un inoculo di aria, necessario al metabolismo dei batteri, potrebbe causare una riduzione della concentrazione di metano. Questo può essere evitato innalzando l'umidità del gas prima della desolforazione oppure, attraverso un metodo più costoso, aggiungendo un catalizzatore ferroso.

Inoltre, nello studio di un impianto per la generazione di biogas, bisogna tener conto delle strutture utili allo smantellamento dei prodotti “minori” rispetto al gas: il digestato e le acque reflue.

### **Uso digestato**

Il digestato metanogenico fornisce i nutrienti per la crescita delle piante . Può anche essere usato per proteggere i suoli contro l'erosione.

Inoltre, grazie alla digestione anaerobica, si ottiene un notevole abbassamento dell'impatto odorigeno: attraverso misurazioni si è notato come l'odore possa essere ridotto fino all'80%.

La digestione anaerobica causa anche la disattivazione di diverse specie di semi, funghi, parassiti, virus e batteri come la *Salmonella Escherichia coli*, *Listeria*. Questo rende l'uso del digestato potenzialmente non nocivo.

[P Weiland - Applied microbiology and biotechnology, 2010 – Springer]





## Uso acque reflue

Per l'utilizzo dell'acque reflue bisogna ricorrere, in special modo per le grosse quantità di liquido, a una ulteriore tipologia di impianto.

Essenzialmente esistono due modi di trattare l'argomento:

- Il trattamento delle acque reflue
- Il "water reclamation"

I procedimenti si differenziano per il modo in cui trattano il problema "acque reflue".

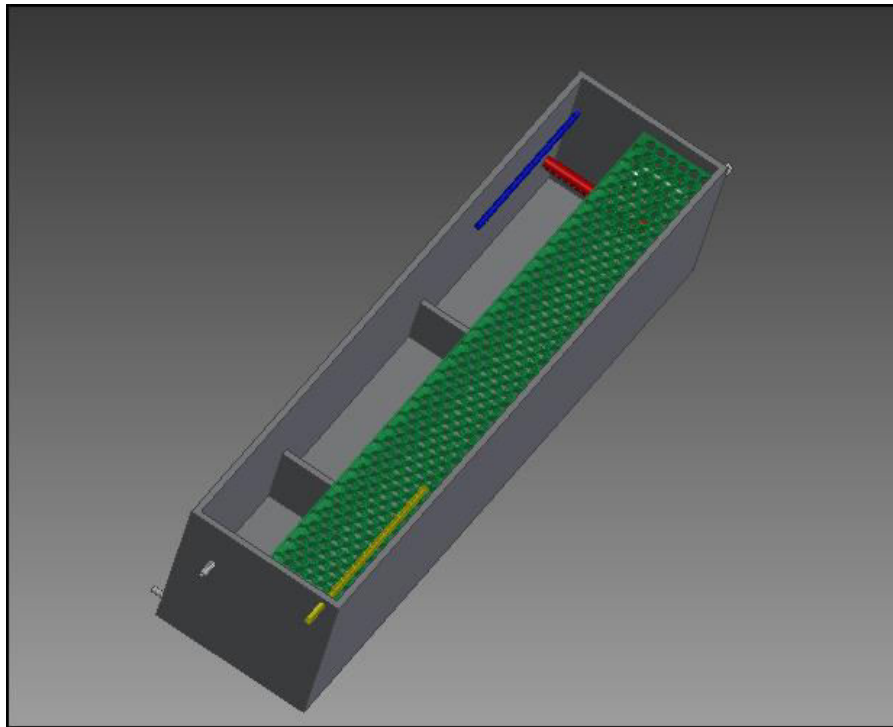
Il primo si distingue dal secondo per una maggiore concentrazione nell'operazione di stoccaggio delle acque inquinanti piuttosto che il rivalutarle.

Il "trattamento" significa rimuovere le impurità dall'acqua da trattare: alcuni metodi di trattamento sono applicabili ad entrambi i metodi.



In figura: un esempio di impianto per il trattamento acque.

## MINI BIO GAS CONTINUOS



In figura: rendering del MBGC.

L'impianto su cui verte questa relazione viene risponde al nome di Mini Bio Gas Continuos.

Il Mini Bio Gas Continuos è un sistema integrato e compatto, per la digestione anaerobica di matrici organiche, rivolto a piccole aziende manifatturiere dei comparti agro-alimentari, come allo stesso modo di insediamenti urbani di diverse dimensioni. Trova la sua maggiore caratterizzazione in un innovativo sistema idraulico ed elevata separazione dei suoi effluenti, producendo solo sottoprodotti da avviare a processi successivi.

L'obiettivo finale di questa invenzione è quella di ridurre approssimativamente a zero lo scarto prodotto dalle lavorazioni.

## Struttura

L'invenzione MBGC è costituita nella sua parte più essenziale da un contenitore coibentato stagno a forma, in norma, di parallelepipedo diviso al suo interno, nella parte inferiore della struttura, in 3 macro-volumi differenti. Nella parte inferiore, proprio grazie a questi volumi creati si avrà il percorso della fase liquida.

Per organizzare i 3 macro-volumi si usano due "setti" di altezza pari a due terzi dell'altezza totale. Il secondo setto copre la scatola in tutta la sua lunghezza, mentre il primo al contrario si estende per quasi tutta la lunghezza della struttura lasciando però uno spiraglio verticale, largo poche decine di centimetri, dove potrà passare la melma. Avremo quindi i primi due volumi in comunicazione attraverso un passaggio "naturale" fornito dal varco verticale lasciato dalla lunghezza del primo setto mentre per collegare il secondo ed il terzo volume si usa un sistema più ingegnoso utile a filtrare il composto che ormai ha finito la digestione e, almeno per quanto riguardo il contributo energetico dato dal biogas, non ha più nulla da offrire.

Per collegare gli ultimi due volumi si usa una tubazione, di diametro congruo e chiusa all'estremità, forata con fori di diametro appropriato così che valga la relazione tra l'area della sezione della tubazione e la somma delle aree dei vari fori valga:

$$\sum A_i = A_t$$

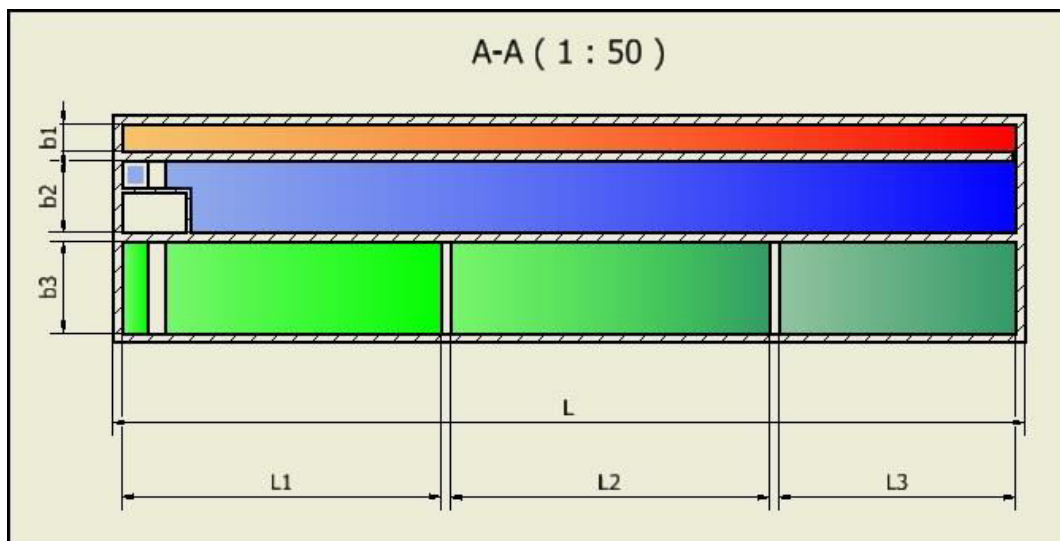
Il terzo volume è diviso a sua volta in 3 parti da due nuovi setti perpendicolari ai precedenti. Queste coprono in larghezza tutto il terzo volume e sono tenuti ad una appropriata distanza, utile a far sì che si possano depositare, in tre stadi differenti,

differenti tipologie di Sali. Questi sali verranno poi prelevati attraverso apposite pompe posizionate in prossimità degli angoli, luogo dove l'accumulo di Sali sarà presumibilmente maggiore.

I 3 macro-volumi stanno tra loro, di norma, in rapporto preciso dato dal volume del substrato inserito all'inizio del sistema.

$$V_1=2x ; V_2=6x ; V_3=8x ;$$

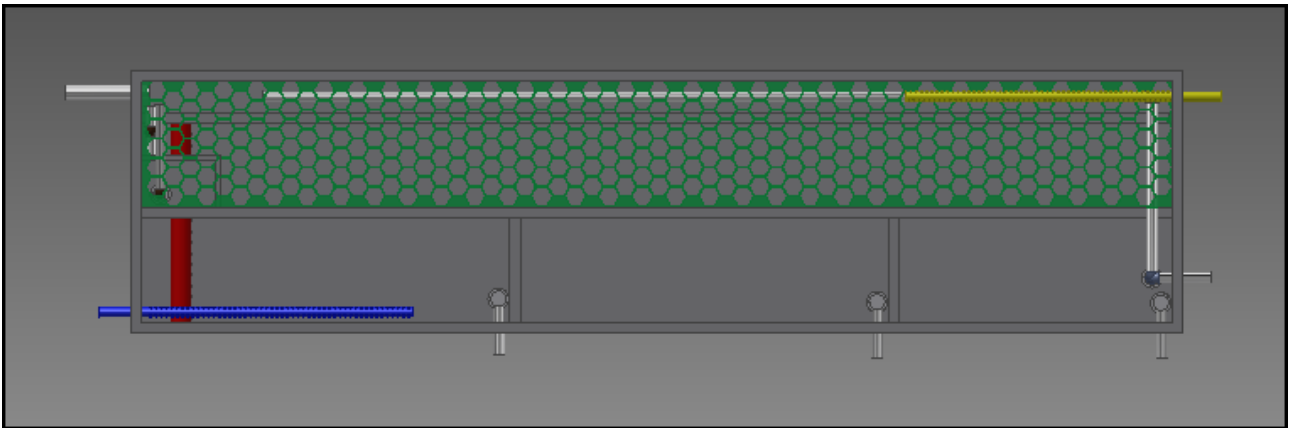
Dove con i rispettivi  $V_i$  ho indicato i 3 macro-volumi e con  $x$  volume del substrato approntato all'inizio del regime.



In figura: vista dall'alto con in differenti colorazioni i 3 volumi principali

Come detto precedentemente, MBGC lavora due differenti fasi: una liquida e una gassosa. La prima si posiziona sulla parte bassa dell'invenzione, quella divisa in volumi, mentre la parte gassosa è protagonista della zona alta del contenitore.

Nella zona alta della scatola, per la parte a funzionamento gassoso della struttura, sono posizionati due strati di honeycomb: una particolare soluzione che sfrutta il diverso peso e le diverse dimensioni delle molecole gassose per poterle filtrare.



**In figura: vista dall'alto del MBGC.**

## **Funzionamento**

### **Fase Liquida**

In entrata viene inserito del substrato a percentuale variabile di solidi totali.

Il corretto funzionamento della macchina implica che la percentuale dei solidi totali del substrato sia circa il 10%: questo implica che il substrato entrante venga miscelato con un quantitativo ideale di acqua per avere il risultato voluto.

Per questo motivo il sistema in prima attivazione deve essere riempito di acqua per tutto il suo volume: in questo modo il funzionamento viene garantito dal circolo che viene inizializzato dal prelevare acqua a fine del sistema.

Il substrato diluito, con un indice wet corrispondente al 10%, inizia il circolo viaggiando lungo il primo volume, quello minore. Durante questa fase il substrato affronta la fase idrolitica e quella acetica.

Grazie al varco verticale che ha nella sua fase finale il setto, il substrato si immette nel secondo volume.

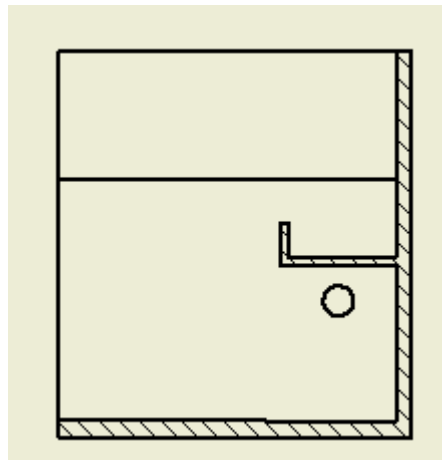
Il substrati affrontano nel secondo volume le mancanti due fasi della digestione anaerobica: quella acida e infine quella metanigena.

In questo secondo volume il substrato inizia a stratificarsi secondo il peso delle proprie molecole. La parte alta sarà occupata dalle molecole più oleiche e leggere, la parte sul fondo da quelle più proteiche e pesanti, mentre quella centrale è costituita da acqua e Sali non più lavorabili.

Il sistema MBGC sfrutta la tendenza a stratificarsi del “fluido” e infatti, alla fine del percorso dedicato alla digestione, in prossimità del fondo del secondo volume, le tre fasi di cui è composto vengono divise.

Le componenti oleiche e proteiche, grazie a due differenti pompe, entrano in un percorso che le porta all’inizio del sistema, così che possano partecipare nuovamente alla digestione.

Una pompa è posizionata sul fondo realizzato da un gradino atto a massimizzare la divisione gravimetrica del composto.



**In figura: gradino utilizzato per la divisione gravimetrica del composto oleico.**

La divisione gravimetrica funziona secondo un principio molto semplice: la fase più pesante del fluido, a determinate condizioni di velocità, tende a raggiungere il fondo mentre le fasi più leggere tendono ad occupare le parti più alte del fluido fino al raggiungimento del pelo libero.

La seconda pompa è posizionata sul fondo della vasca in prossimità del secondo setto, in questo modo la parte proteica aspirabile è maggiore dato che il fluido percorso del fluido è indirizzato verso il terzo volume.

La parte non più lavorabile dalla digestione, restante a mezza quota, può quindi procedere nel percorso immettendosi nel terzo volume.

Il terzo volume, quello più grosso, non è soggetto alla digestione anaerobica. Tutto il materiale arrivato a questa fase è da considerarsi lavorato e composto solamente da cenere (Sali di varia natura) e acqua.

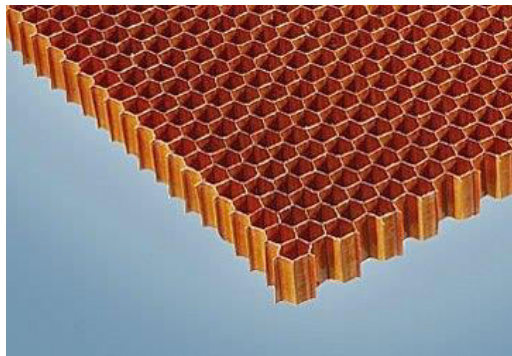
Il composto tende, essendo in un circuito chiuso, ad proseguire verso il fondo della vasca.

## Fase Gassosa

La fase gassosa del MBGC si sviluppa nella parte alta della struttura, localizzata in particolar modo al di sopra dei primi due volumi.

A causa della digestione anaerobica viene formata la miscela di gas chiamata per l'appunto biogas. Questa miscela di gas è formata in gran parte da metano e anidride carbonica, entrambe con importanti utilizzi.

Per ottimizzare il processo di divisione del gas vengono utilizzati due strati di honeycomb, posti al di sopra dei primi due volumi.



In figura: esempio di struttura di un honeycomb.

Gli honeycomb hanno un principio di funzionamento molto semplice: grazie alla loro struttura, formata da molte celle adiacenti a nido d'ape, isolano le molecole del gas così che non ci siano influenze esterne che gli possano imporre un moto.

Alla molecola restano quindi le proprie dimensioni e peso per muoversi all'interno di questo condotto verticale.

Dimensionando quindi il diametro delle celle degli honeycomb è quindi possibile creare canali in cui solo determinate molecole possano passare.

Il peso specifico del metano ( $0.66 \text{ Kg/m}^3$ ) è minore di quello dell'aria ( $1.18453 \text{ Kg/m}^3$ ) e minore di quello del  $\text{CO}_2$  ( $1.68 \text{ Kg/m}^3$ ), quindi, utilizzando due strati di honeycomb, è possibile creare dei canali preferenziali in cui possano muoversi i gas. L'honeycomb posizionato inferiormente, costruito in metallo e, eventualmente, aiutato da un dispositivo di raffreddamento, compie un'importante funzione causando la condensa dell'umidità che il biogas si porta dietro dopo la digestione anaerobica e l'acqua condensata, grazie dell'honeycomb, ricade sulle prime due



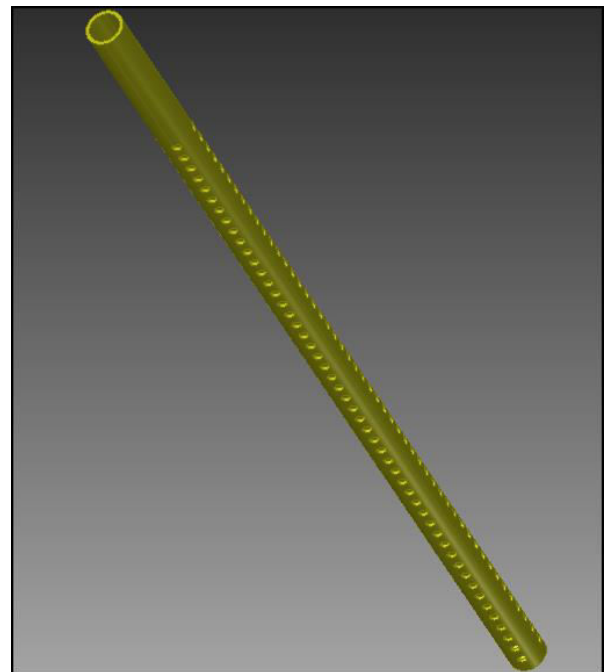
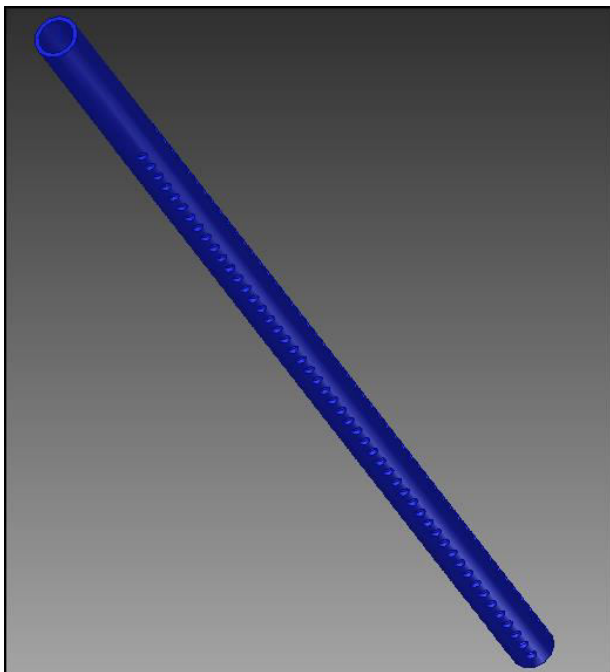
vasche attivando un sistema di ricircolo anche dell'umidità presenta all'interno del sistema a livello gassoso.

Superato questo passaggio il metano potrà essere ulteriormente filtrato dal secondo honeycomb.

Grazie infine a due punti di pescaggio posti a differenti quote potrà essere prelevata la molecola del gas che più serve al nostro scopo.

Le strutture per prelevare i gas sono composte da lunghe tubazioni chiuse ad un'estremità e forate, caratterizzate da un pollice di sezione, con fori laterali di complessiva sezione minore di quella trasversale (per imporre omogeneità di afflusso). Sul fondo, attraverso un aspiratore sarà possibile prelevare il gas.

Le due tubazione sono, per andare in contro alla fisionomia della molecola con cui devono entrare in contatto, in due posizioni opposte: una al di sopra degli honeycomb, mentre l'altro posto appena al di sopra del pelo libero della melma e nell'angolo opposto rispetto all'altra tubazione.



**In figura: rendering, da destra a sinistra, della tubazione adibita al CO<sub>2</sub> e della tubazione adibita al metano.**

## Modello Matematico

La melma per poter attraversare un ottimale processo di digestione anaerobica deve avere un moto che non sia caratterizzato da un andamento vorticoso.

Analizzando i due “percorsi” in cui la trasformazione avviene, è possibile accertarsi che la velocità del fluido, compatibilmente con la geometria della scatola, non sia causa di un moto di turbolento.

Per prima cosa, viene effettuata un’analisi della velocità del fluido per avere certezza che quest’ultimo sia caratterizzato da moto laminare.

### TRATTO 1

$P_1 = 2h_1 + b_1$       perimetro bagnato.

$A_1 = b_1 \cdot h_1$       area sezione

$R_1 = A_1/P_1$       Raggio idraulico ( cioè il rapporto sezione-perimetro bagnato)

Utilizzo la formula di Bazin per ricavare il coefficiente di scabrezza .

### FORMULA BAZIN

$K_0 = 87 / (1 + (C/R_1^{0.5}))$       C: valore tabellato

Avendo il coefficiente di scabrezza posso usarlo per ricavare la velocità media in un determinato tratto attraverso la formula di Chezy.

## FORMULA CHEZY

$$V_1 = K_0((R_1 I)^{0.5}) \quad ; \quad I = - (dH/dS)$$

Dove H è la perdita di carico, l'energia posseduta dal fluido, e S e la lunghezza del tratto considerato.

## TRATTO 2

$$P_2 = 2h_1 + b_2 \quad \text{perimetro bagnato}$$

$$A_2 = b_2 h_1 \quad \text{area sezione}$$

$$R_2 = A_2/P_2 \quad \text{Raggio idraulico, cioè il rapporto sezione-perimetro bagnato}$$

## FORMULA BAZIN

$$K_0 = 87 / (1 + (C/R_2)^{0.5}) \quad C: \text{valore tabellato}$$

## FORMULA CHEZY

$$V_2 = K_0((R_2 I)^{0.5}) \quad ;$$

$$I = - (dH/dS) \quad ;$$

Dove H è la perdita di carico, l'energia posseduta dal fluido, e S e la lunghezza del tratto considerato.

Essendo in possesso della velocità del "fluido" nelle due sezioni del sistema in cui avviene la digestione anaerobica, è possibile ricavare il numero di Reynolds per verificare che il moto del mio fluido sia effettivamente laminare: condizione necessaria perché avvenga in modo ottimale la digestione anaerobica.

$$Re = (\rho v d) / \mu$$

Dove con  $\rho$  indico la densità del "fluido", con  $v$  la velocità con cui quest'ultimo si muove, con  $d$  la lunghezza della caratteristica della superficie lungo il quale si muove il fluido e con  $\mu$  la viscosità.

Il latte, data la somiglianza a con il fluido a  $WET=0.1$  che verrà trattato, è una buona base per ipotizzare densità, peso specifico e viscosità del "fluido".

$$\text{Densità} = 1029 \text{ Kg/m}^3 ;$$

$$\text{Peso Specifico} = 10090 \text{ N/m}^3 ;$$

$$\text{Viscosità} = F(dy/dv) ;$$

La perdita di carico  $H$ , cioè l'energia posseduta dal fluido, può essere ricavata mediante l'equazione di Bernoulli.

$$H = p + \rho g h_l + (\rho/2) V^2 ;$$

Dove con  $\rho$  indico la densità del "fluido", con  $g$  l'accelerazione di gravità, con  $h_l$  la quota in altezza del pelo libero, con  $V$  la velocità del "fluido".

## Separazione gravimetrica

In diversi punti della struttura, nella fase di riciclo al termine del secondo volume e per tutta la durata del terzo volume, si ricorre alla separazione gravimetrica del fluido.

Viene operata, al termine del secondo volume, per dividere la parte oleica e proteica da quella ideale al proseguimento del ciclo: in questo modo è possibile riciclarle.

Nel terzo volume, mediante due setti, la separazione gravimetrica è utilizzata per avere una divisione dal fluido in tre differenti tipologie di sali NPK.

Quando due liquidi immiscibili sono tenuti in contatto per un sufficiente lasso di tempo, la fase più densa tenderà ad affondare mentre quella più leggera a salire. Questo fenomeno è chiamato “*separazione delle fasi*”.

Al variare del numero di Reynolds si possono facilmente calcolare le velocità con cui la fase più pesante tende a scendere e, allo stesso modo, la fase più leggera tende a salire.

Legge di Newton 
$$V_f = 1.74 \sqrt{(g D_p (\rho_h - \rho_l)) / \rho_c} ; Re \geq 500$$

Legge di Stoke 
$$V_f = \frac{1000 g D_p^2 (\rho_h - \rho_l)}{18 \mu_c} ; Re \leq 2$$

Legge intermedia 
$$V_f = \frac{3.54 g^{0.71} D_p^{1.14} (\rho_h - \rho_l)^{0.71}}{\rho_c^{0.29} - \mu_c^{0.43}} ; 500 \geq Re \geq 2$$

Dove  $V_f$  è la velocità finale,  $D_p$  è il diametro della particella,  $\mu$  è la viscosità,  $\rho$  è la densità e con  $g$  viene indicata la costante di gravità. Inoltre con le annotazioni  $h$ ,  $l$ ,  $c$  si è voluto indicare i fluidi: pesante (heavy), leggero (light) e continuo (continuous).

[Application of evolutionary computational approach in design of horizontal three-phase gravity separator;  
journal of petroleum science and engineering]

## Le portate

Nel MBGC entra della “melma” con matrice variabile e umidità variabile.

Per prima cosa bisogna considerare l’umidità del nostro composto entrante. Abbiamo bisogno che sia  $WET=0.1$  mentre quello in entrata può oscillare tra 50% e il 10%. Per riconoscere l’umidità si può considerare il volume del composto che, data la conoscenza della matrice in entrata e analisi statistiche associate alla matrice in questione, ci fornisce un valore approssimato del WET del nostro composto.

Se questo non rientrasse nei parametri bisognerà prendere acqua da fine ciclo per “sistamarlo”

$$Q_i = Q_0 + Q_h;$$

Dove con  $Q_i$  indico la portata che inizia il ciclo,  $Q_0$  la portata fornita ad inizio impianto e con  $Q_h$  la portata di acqua fornita nel caso bisognasse bilanciare il tutto.

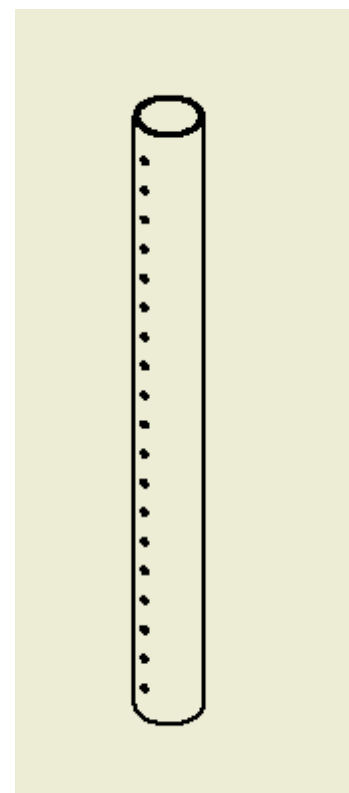
Al termine della sezione 2, terminata la digestione anaerobica, il fluido avrà idealmente tre ben distinte fasi: una più **proteica** sul fondo, una più **oleica** nella parte alta e quella ideale a continuare il ciclo, quasi esclusivamente composta da “cenere” (cioè i Sali) e acqua, nel centro.

Quest’ultima parte proseguirà in una tubazione, che avrà dovuti fori e sarà posta alla dovuta altezza( circa metà altezza del setto ).

La tubazione, chiusa alle estremità, copre in lunghezza la distanza tra il secondo setto e la parete della terza vasca, avrà quindi una lunghezza pari a:

$$L = b_2 + b_3;$$

**in figura: rappresentazione del tubo adibito al passaggio del substrato dal primo al secondo volume.**



Inoltre per assicurare un flusso del fluido corretto e continuo, senza vie preferenziali, dovrà verificare una precisa relazione tra i fori distribuiti su di esso e il suo diametro interno.

$$(\text{Area diametro interno}) \leq \sum(\text{Aree fori})$$

Il flusso che continua il ciclo sarà quindi composto essenzialmente da Sali e acqua.

Avendo WET=0.1 significa che la matrice in circolo ha il 90% di acqua e 10% di ST (solidi totali). Quest'ultimo a sua volta è composto da cenere al 20% e al 80% da SV (solidi volatili)

La portata che continuerà nella tubazione sarà quindi caratterizzata da:

$$Q_2 \geq 0.9Q_1 + (0.2 \times 0.1)Q_i; \rightarrow Q_2 \geq 0.92Q_1$$

Allo stesso tempo verranno riciclate la parte oleica e proteica della melma attraverso due pompe di profondità di cui una sul fondo e l'altra in una separatore ricavata in prossimità della superficie.

$$(Q_p+Q_o) \leq 0.08Q_1$$

**NB:** il "minore/maggiore trova ragione d'essere per un problema nella determinazione di quanto la matrice sia stata lavorata a fine processo.

Il flusso che continuerà il percorso nella terza vasca verrà scisso nelle sue componenti durante i processi del terzo volume ottenendo così 3 differenti tipi di Sali e acqua

$$Q_3 = ( NPK_1 + NPK_2 + NPK_3 + Q_4 )$$

E' particolarmente importante mettere in evidenza che, grazie all'impostazione di tipo continuo dell'impianto, il processo arrivato al suo termine darà dei risultati che, per essere prelevati, non impediscono ne rallentano il funzionamento della struttura.

La scelta della quantità di Sali da prelevare, oltre alla periodicità con cui viene eseguito questo compito, resta quindi all'operatore aiutato da appositi strumenti.



## La digestione

WET = x% = ST      solidi totali: il restante (100- x)% è la percentuale dell'acqua

ST = y%SV      solidi volatili rappresentano la parte organica all'interno dei solidi totali

Volume disponibile per la digestione = V => V=V<sub>1</sub> + V<sub>2</sub>.

Dove V<sub>1</sub>,V<sub>2</sub>,V<sub>3</sub> sono rispettivamente i volumi del primo, secondo e terzo blocco.

Q<sub>0</sub>    portata di melma entrante, non miscelata ad acqua.

## Carico Organico Volumetrico stimato.

Quantità di sostanza organica caricata giornalmente per unità utile di digestione per giorno.

$$COV = (Q_0 SV ST)/V$$

## Tempo Di Ritenzione Idraulica.

Tempo di permanenza dei substrati all'interno del digestore.

Data la natura "continua" del MBGC considerare questo valore può essere particolarmente utile per aver un'idea dell'intervallo di tempo minimo che bisognerebbe tenere tra un pescaggio di sali e il successivo così da ottimizzare il nostro lavoro.

$$HRT = V/Q_0$$

## Potenziale metanigeno stimato.

Da sperimentazioni varie è stato appurato che 1 Kg di SV, solidi volatili, restituisce mediamente una energia di 1.48 Kw/h elettrici.

Uguualmente a come è stato fatto per il SV, da sperimentazioni, è stato ricavato che il metano contiene circa di 10 Kw/h chimici per m<sup>3</sup> di metano ( o Nm<sup>3</sup>, Normal m<sup>3</sup>, ovvero a condizioni standard).

Per poter impostare un'adeguata proporzione tra le due potenze devo convertire i Kw/h elettrici in Kw/h energetici, per farlo utilizzo un appropriato fattore di conversione sperimentale.

$$2.5 \times 1.4 = 3.5 \text{ Kw/h chimici}$$

Per semplicità di calcolo, è possibile arrotondare a 4 Kw/h e calcolare, attraverso una proporzione, il volume corrispondente di metano per chilogrammo di SV.

$$10 \times K = 4 \text{ Kw/h} \rightarrow K=0.4$$

E' possibile ritenere quindi, con buona approssimazione, che ad un 1Kg di SV corrispondano circa 0.4 metri m<sup>3</sup> di metano.

Facendo riferimento al carico organico , ipotizzando che il sistema venga alimentato giornalmente con 5 quintali di “melma” e che l’acqua, prima quindi che ne venga fornita altra per arrivare ad un WET ideale per l’avviamento della digestione anaerobica, sia il 60% del composto (WET=0.4) . :

$$Q = 500 \text{ Kg/gg} \rightarrow Q_{SV} = (0.8 \times 0.4) \times Q \rightarrow Q_{SV} = 160 \text{ Kg/gg}$$

Da cui posso ricavare quanto metano verrà prodotto giornalmente: se a 1Kg di SV corrispondono 0.4 m<sup>3</sup> di metano, allora:

$$160 \text{ Kg/gg di SV} \rightarrow 64 \text{ m}^3/\text{gg di Metano}$$

Inoltre esiste una proporzione tra la quantità di metano prodotta e di CO<sub>2</sub>

$$2/1 = \text{METANO}/\text{CO}_2$$

Da cui:

$$64 \text{ m}^3/\text{gg di METANO} \rightarrow 32 \text{ m}^3/\text{gg di CO}_2$$

## Vantaggi e confronto con le attuali tecnologie.

Il MBGC è costituito da un numero non eccessivamente elevato di elementi: un prefabbricato studiato appositamente e diviso in tre volumi, una serie di honeycomb da disporre nelle zone appropriate, un numero limitato di pompe e un numero limitato di tubazioni; inoltre i lavori di edilizia e carpenteria sono piuttosto limitati.

Le dimensioni limitate dell'involucro, 10 metri di lunghezza per circa due di larghezza, rendono non particolarmente complesso il trasporto della struttura, inoltre il materiale di cui è costituito, cemento vibrato, rende la struttura a costi accettabili

	U.D.M	impianto privato di piccole dimensioni	impianto consortile di medie dimensioni	impianto FORSU	MBGC
Quantità biomassa trattata	t/a	981	15565	9534	182
Produzione biogas per tonnellata	(m <sup>3</sup> )/t	48,5	55,3	140	128
Consumo elettrico per tonnellata	KWh/t	4,5	12,8	138,3	2.5
Taglia dell'impianto		piccola	medio-alta	media	molto piccola
tipologia vasca		aperta	chiusa	chiusa	chiusa
Tempo ritezione idraulica	gg	Lungo periodo	20	50	7-10 dopo 7/8 gg. l'80% va in V3, il 20% ricicla in V1
Regime		Digestione aerobica	Mesofilo	Mesofilo	Mesofilo
Temperatura ideale per processo di digestione.	C°	t. ambiente (ottimale in zone con clima caldo)	40	40	35
Inquinamento odorigeno		Alto	Medio Aumenta ne caso vengano usate vasche a cielo aperto lo stoccaggio di materiale	Medio Aumenta ne caso vengano usate vasche a cielo aperto lo stoccaggio di materiale	Basso Il MBGC è in regime di depressione ed è composto da una "scatola" stagna: il gas non ha modo di uscire.
Consumo elettrico riferito alla produzione elettrica	%	6	11	50.4	1
Consumo termico riferito alla produzione	%	54	40	18.5	0

I vantaggi che ha il MBGC sono quindi molteplici. Rispetto alla concorrenti ha bassi costi per essere alimentata, così come ha bisogno di una quantità relativamente bassa di biomassa giornaliera per funzionare. La biomassa entrante, grazie alla miscelazione iniziale, può avere un indice wet variabile.

Il circuito è di piccole dimensioni, questo permette di avere un processo biologico stabile e di facile controllo. Tutto questo si ripercuote su dei prezzi di gestione più bassi rispetto alle tecnologie simili. Le dimensioni e la richiesta di materiale bassa rende il MBGC associabile a molte realtà differenti.

Data la sua struttura adibita ad un processo continuo elimina le pause di caricamento che hanno i comuni impianti di biogas.

Infine la sua caratteristica più peculiare risiede nel non cercare di ottenere profitto dalla sola produzione di biogas. Il MBGC permette di ottenere, grazie alla divisione gravimetrica dell'ultimo volume, di ottenere ben 3 differenti tipologie di Sali NPK e dell'acqua chiarificata, pronta per essere riutilizzata nel ciclo oppure estratta per altre ragioni.

## Conclusioni

La tecnologia verde è la tecnologia del futuro, ma la vera sfida è l'ideare delle tecnologie competitive e sostenibili.

Questo tipo di tecnologie offrono infatti una serie di vantaggi non ignorabili: migliorano l'ambiente e di conseguenza la salute dell'uomo, sono una fonte di energia rinnovabile e infine forniscono un modo sano di riutilizzare i rifiuti umani, animali, industriali, agricoli e urbani.

Se sospinto nella maniera adeguata inoltre, l'inserimento di nuove tecnologie verdi può ridurre ad una dipendenza minore dai combustibili fossili.

Il mini bio gas continuos, essendo un generatore di biogas di modeste dimensioni è in grado di fornire bassi costi di produzione, manutenzione e gestione. Permette inoltre di poterlo collocare in moltissimi ambienti, questo è facilitato dalla sua facilità di costruzione. Combina quindi un buon numero di vantaggi personali a quelli che sono tutti i vantaggi della tecnologia che contraddistingue i generatori di biogas e la tecnologia verde in genere.

Tutto ciò, unito al grosso difetto degli attuali digestori rappresentato dalla dipendenza di grosse quantità di substrato, rendono il Mini BioGas Continuos un'ottima alternativa alle attuali tecnologie.

## BIBLIOGRAFIA

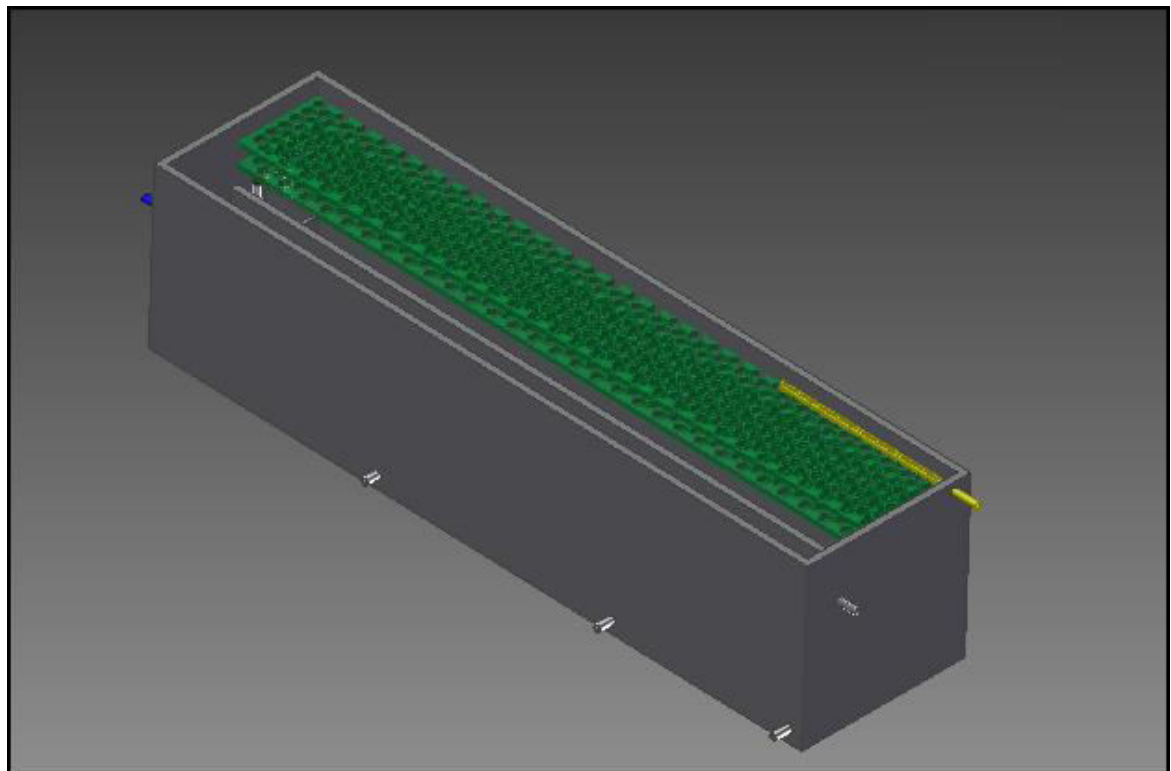
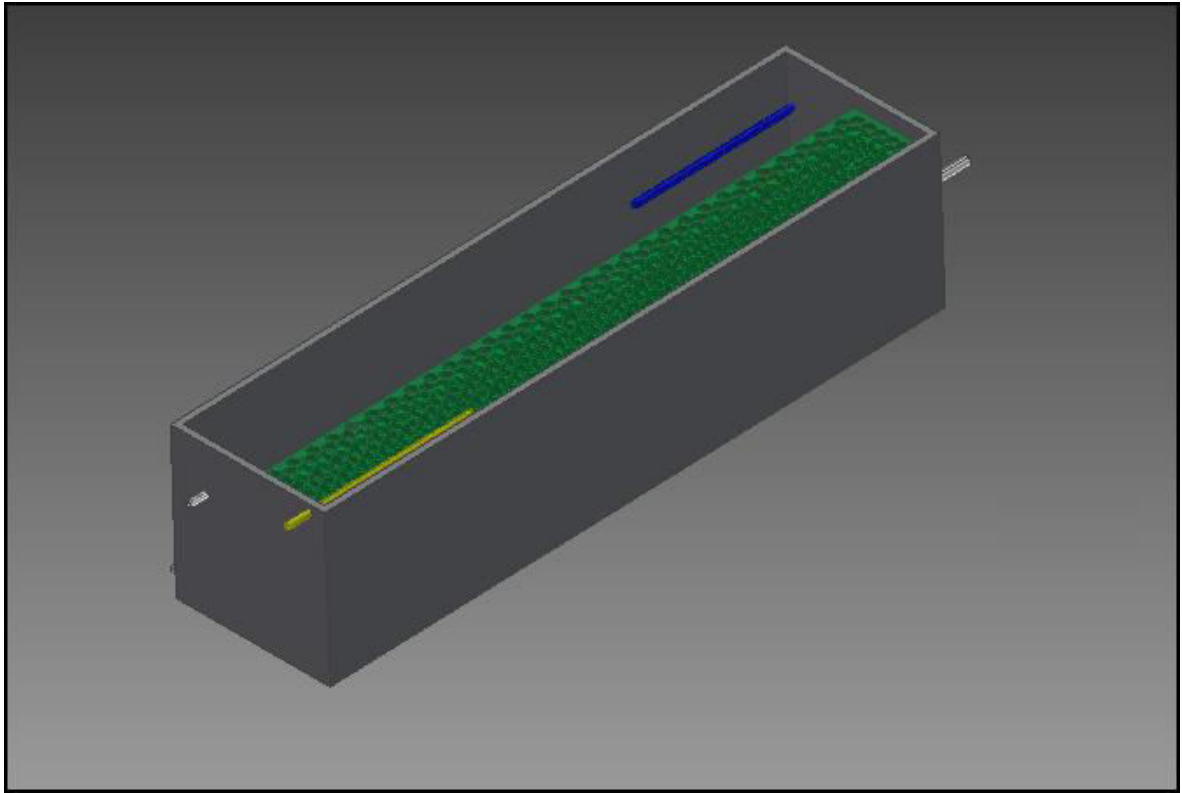
- N. Labartino, S. Piccinini; 2014; *Tutto quello che occorre saper sul biogas. Con Sebe, FOCUS AGROENERGIE*, Agricoltura (Rivista Mensile delle Regione Emilia-Romagna).
- E. Paschetta, E. Dinuccio, F. Gioielli, S. Menardo, P. Balsari; 2010; *Monitoring of an anaerobic digestion plant in a cattle farm in Piedmont*, Turin University (2010)
- C. Fabbri , G. Bonazzi; 2010; *Non solo energia dagli impianti di biogas* Agricoltura (Rivista Mensile delle Regione Emilia-Romagna)
- *Biogas, criteri per una produzione sostenibile*; Legambiente; 2013
- S. Piccinini, M. Soldano, C. Fabbri; 2008; *Le scelte politiche energetico-ambientali lanciano il biogas*; Informatore Agrario.
- Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine; 2006; *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Wiley
- J.J. Cairó, J.M. París; 1988; *Microbiología de la digestión anaerobia, metanogénesis. 4o Seminario de Depuración Anaerobia de Aguas Residuales*; Valladolid. F.F. Polanco, P.A. García, S. Hernándo.
- R. Byron Bird, Warren E. Stewart; Edwin N. Lightfoot; 2005; *Transport Phenomena*, New York, Wiley, 2005
- Batchelor, G. K. ; 1967; *An Introduction to Fluid Dynamics*; Cambridge University
- Rott, N.; 1990; *Note on the history of the Reynolds number*; Annual Review of Fluid Mechanics

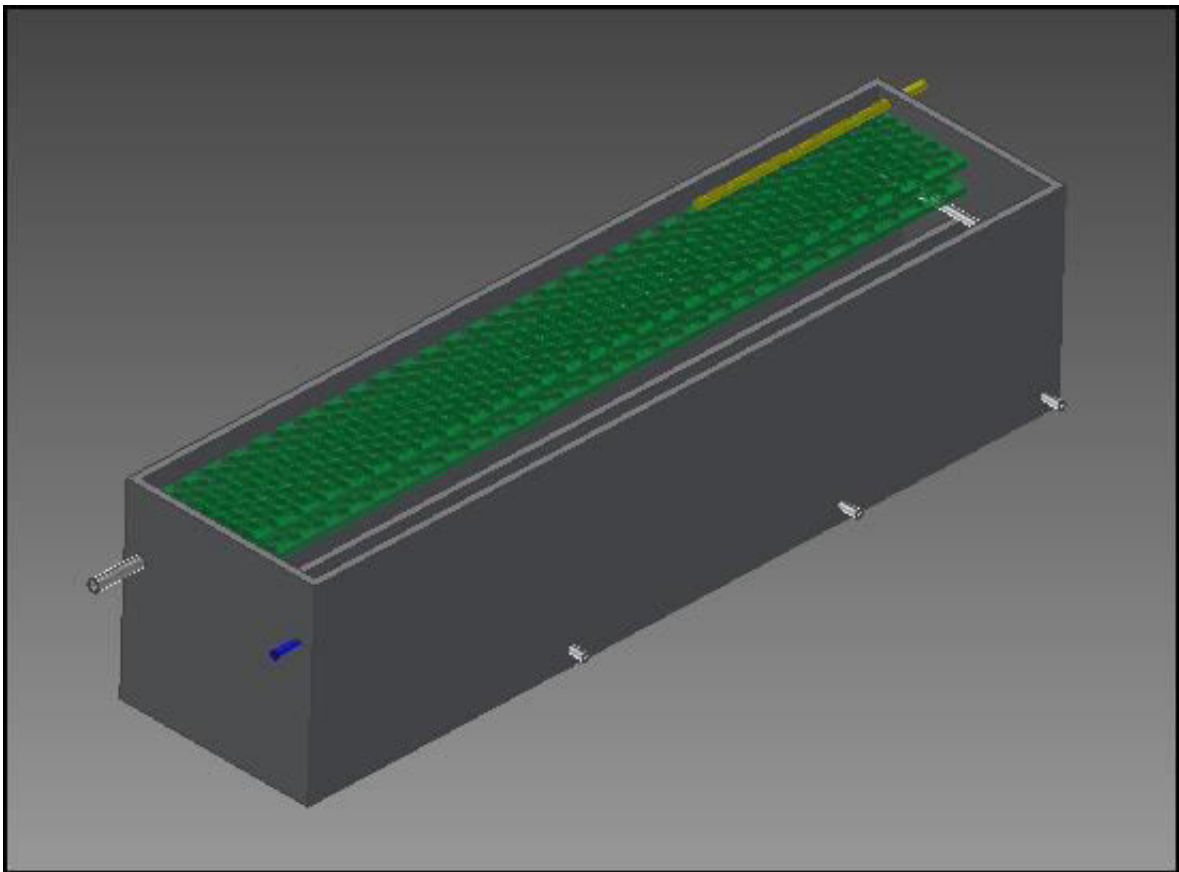
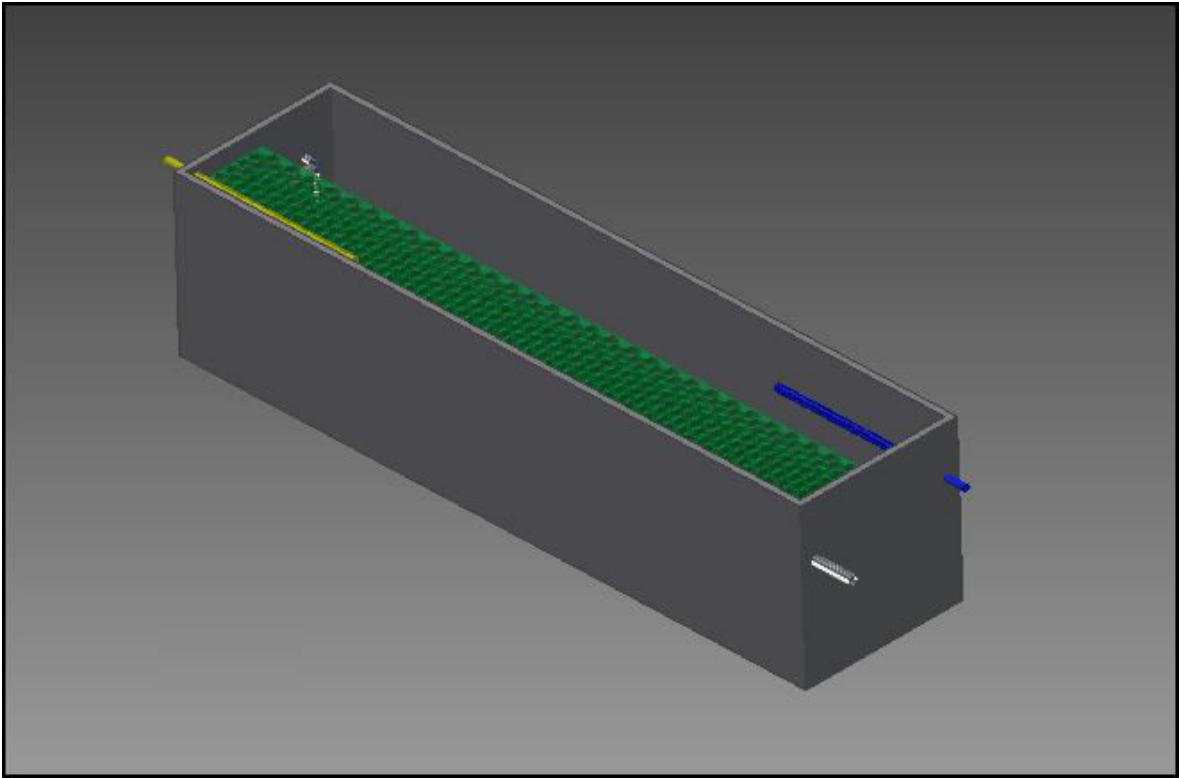
- Peter Weiland; 2009; *Biogas production: current state and perspectives*; Applied Microbiology and Biotechnology, Elsevier science.
- Mehdi Mostafayan, Mohammed Reza Saeb, Alireza Emami Alorizi, Maysam Farahani; 2014; *Application of evolutionary computational approach in design of horizontal three-phase gravity separators*; Journal of petroleum science and engineering.
- G. Lettinga; 1995; *Anaerobic Digestion and wastewater treatment system*; Department of environmental technology, Wageningen Agricultural University.
- V. NallaThambi Gunaselaan; 1997; *Anaerobic Digestion of a biomass for methane production: a review*; Biomass and bioenergy, vol.13, Elsevier science.
- Gianfranco Becciu, Alessandro Paoletti; 2010; *Fondamenti di Costruzioni Idrauliche*; UTET Scienze Tecniche.
- Alberto Bianchi, Umberto Sanfilippo ; 2001; *Pompe e impianti di sollevamento*; Hoepli editore.
- J. Mata Alvarez, S. Macé, P. Llabrés; 2000; *Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievement and prospective*; Bioscience of Technology; Elsevier science.
- Michael R. Penn, James J. Pauer, James L. Mihelcici; ; *Biochemical oxygen demand; Environmental and ecological chemistry*.
- D. Citrini, G. Nosedà; 1987; *Idraulica (seconda edizione)*, Casa editrice Ambrosiana
- Solomie A. Gebrezgabher, Miranda P.M. Meuwissen, Bram A.M. Prins, Alfons G.J.M. Oude Lansink; 2010; *Economic Analysis of anaerobic digestion- A case of green power biogas plant in Netherlands*; NJAS – Wageningen Journal of Life and Science; Elsevier science.

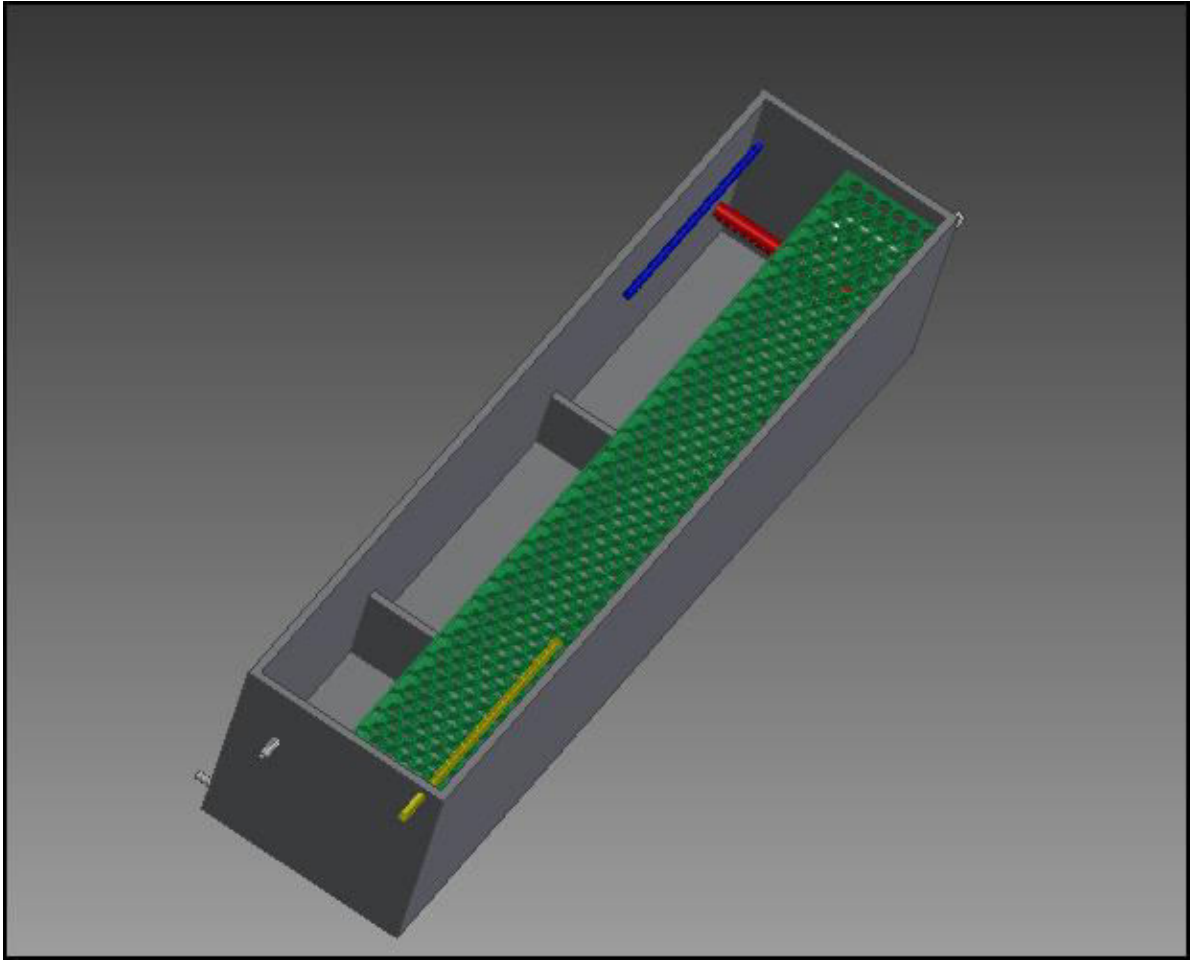


- Kurt Møller, Torsten Muller; 2012; Effects of anaerobic digestion on digestate nutrients availability and crop growth: a review; Eng. Life science, No.3.
- Dunne, T., and Leopold, L.B.; 1978; Water in Environmental Planning: San Francisco; Calif., W.H. Freeman.
- Andrea Schievano, Michele Pognani, Giuliana D'imporzano, Fabrizio Adani; 2008; Predicting anaerobic biogasification of ingestates and digestates of a full-scale biogas plant using chemical and biological parameters; Biosource Technology; Elsevier science.
- Antonio Di Molfetta, Rajandrea Sethi; 2012; Ingegneria degli acquiferi
- J.B. Holm-Nielsen, T. Al Seadi, P. Oleskowicz-Popiel; 2009; The future of anaerobic digestion and biogas utilization; Biosource Technology; Elsevier science

## Rendering







## *Innovative Small Size Plant for the Production of Biogas and Electric Energy from Biomass*

Farné Stefano

Department of Industrial, Electrical, Computer and Biomedical Engineering, University of Pavia, Italy.



Country: Italy

Article Received: 19 June 2020

Article Accepted: 11 August 2020

Article Published: 30 August 2020

### ABSTRACT

The interest for Renewable Energy Sources (RES) has strongly increased due to the need to reduce the greenhouse gas (GHG) emissions, as indicated, in particular, by the renewable energy directive 2018/2001/EU and to reuse organic waste and by-products that would otherwise have to be disposed of in an expensive way. The present article relates to a method and to a device to decompose a biomass matrix and to selectively extract methane, carbon dioxide, NPK (nitrogen, phosphorus and potassium) salts and clarified water. This method and device is the subject of an Italian and European patent registered by Stefano Farné and Vito Lavanga under the name of MBGC (Mini BioGas Continuous). The MBGC can be applied to the production of biomethane (for thermal and electrical purposes), of organic (protein and oleic) substances, of NPK salts, that can be used in the production of biofuels, fertilizing mixtures for various industrial sectors (livestock farms, chemical, etc.), of hydrogen, as present in solution in the liquid phase and of carbon dioxide for agronomic industries, metallurgical industries, fire services, agro-food etc. It has been analysed a meaningful literature on the subject of biogas production plants, with specific focus to those of small size and subsequently the MBGC plant is described in detail from the point of view of both plant engineering and its operation.

**Keywords:** Biogas, biomass, anaerobic digestion, biomethane, NPK salts.

### 1. Introduction

It is strongly felt the need to have systems for the reuse aimed at restoring value to limited quantities of organic matrices (sewage, manure, wet waste, wastewater etc.), often considered as organic waste to be disposed. These organic matrices can be produced by little farms, livestock, fruit and vegetable markets, mowing and pruning, grass cuttings, accommodations (hotels and residences for the elderly), restaurants, catering and residential settlements (like condominiums, small neighborhoods, villages, etc.). The costs and the inconveniences of their treatment are not negligible and they can affect a company's balance, as well as negatively impact the environment. At the same time there is a general need for the supply of energy, better if renewable, available at the production site of the waste and therefore, substantially, at "zero km". The current state of the art includes anaerobic digesters usually intended to high productions, with very high costs and generally ineffective for small power, small free space available, small quantities of organic matrices to be disposed. The digesters currently present, moreover, does not offer effective solutions for the management of digestate and of other by-products.

The development potential of biogas plants has been the subject of numerous studies. A review paper (Capodaglio et al., 2016) has analyzed the most promising emerging biogas technologies in the perspective of their potential uses, environmental benefits, and public acceptance, drawing a picture of current conditions on the adoption of a biogas road map in several EU Member States. At the national level, it has been predicted (Comparetti et al., 2013) the Sicilian potential biogas production, using the Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW), animal manure, food industry by-products; this study was based on the statistical data about OFMSW, the number of animals bred in medium and large farms and the amounts of by-products of food processing industries. A similar study has been conducted (Valenti et al., 2017) on the potential biogas production from agricultural by-products (citrus pulp and olive pomace) in Sicily while it has been determined the potential energy production from anaerobic digestion of animal wastes and agricultural residues in Friuli Venezia Giulia (dell'Antonia et al., 2013), both finding very interesting potential. The environmental sustainability of this energy source was analyzed in

various studies (Bacenetti et al., 2013 and 2014) that have considered all the factors having environmental effects (field operations, inputs as fuels, fertilizers and pesticides, extraction, production and transportation) of maize silage and of different crop systems for biomass and biogas production. Moreover (Bacenetti et al., 2013) the environmental assessment of the production of electricity from anaerobic digestion of zootechnical waste has been studied. The use of the latter kind of sewage has been investigated (Coppolecchia et al., 2015) in three different Italian dairy farms, showing how the most common techniques (scraper, slatted floor, flushing) can change the characteristics of collected manure; this study should be taken into account in defining the input compound system in MBGC. With regard to the input compound features, a comparative study was set up (Dinuccio et al., 2013) in order to assess the technical feasibility of the long-term reuse of the mechanically separated co-digested solid fraction as a feedstock for anaerobic digestion plants. The relationship between the input compound and the biogas obtained from the anaerobic digestion has been investigated (Comparetti et al., 2013), determining the chemical composition of kitchen waste and cheese whey and their correlation to the outgoing biogas yield. An input compound to anaerobic digestion plants as MBGC can also be the slaughterhouse wastes, carefully evaluated (Castellucci et al., 2013), in relation to the requirements of the European Regulations on animal by-products (ABPs) in order to fix a starting point for future tests on their co-digestion in a micro-scale pilot digester. The purpose was to define optimal feed ratio values which ensure an increasing content of methane in the outgoing biogas. With reference to small size and power plants, it has been considered (Hamed M. El-Mashad et al., 2004) a 10 m<sup>3</sup> completely stirred tank reactor for anaerobic treatment of liquid cow manure under thermophilic conditions (50°C), using a solar heating system mounted on the reactor roof and simulating the results obtained by two different system models. In consideration of the peculiar characteristics of MBGC, which make it particularly suitable for distributed and pervasive use, it has been examined a study (Plöchl et al., 2006) about the currently use of biogas in developing countries, that can certainly be improved by a more efficient way of producing and storing the biogas; as a consequence, it could become an opportunity to provide the neighborhood with biogas as an energy source for cooking and lighting and a possible electric energy production by the use of mini-scale generators. The possibility to obtain other products, in addition to biomethane, has been investigated (Oberti R. et al., 2013) through the design, manufacture and installation of an innovative two-stage pilot-scale plant, composed of hydrogenesis and methanogenesis reactors, for the production also of biohydrogen. With regard to the latter point, in the description of MBGC, a mention has been made of another patented device, called HWFC, whose function is to extract hydrogen from a fluid. This aspect will be presented in a forthcoming work as it is outside the scope of the present article which aims, instead, to describe the MBGC, a plant of small size, which can be made with components easily available on the market and installed in a distributed way, near the production sources of the waste biomass and close to the use of biogas and of its by-products such. In section 3, a case study will be presented in order to help the reader to better understand the method and device described in this article.

## **2. Materials and Methods**

### ***2.1 Description of the MBGC Plant***

The MBGC method developed consists of the following subsequent stages:

- *hydrolysis, by hydration;*
- *acidogenesis;*
- *acetogenesis;*
- *methanogenesis;*

*the last three phases are obtained by means of specific bacterial consortia<sup>1</sup>*

- *simultaneous gravimetric separation of a lighter (mainly oleic) phase, and a heavier (mainly protein) phase;*
- *gravimetric separation of solutions of NPK salts of different concentrations;*
- *withdrawal of clarified water.*

The MBGC device is shown in the figures 1 and 2, whose letters and numbers are indicated in brackets in this text. (A) indicates the device, fitted to decompose and to separate the components of a biomass mixture. The basin (1), thermally insulated on the outside surface, is divided into the zones V1, V2 and V3, that are all communicating and separated by suitable baffles. The two zones V1 and V2 are in communication through a vertical opening between the end of the baffle (3) and the wall (1b); the baffles (4), (5), having a height equal to half of the baffles (2), (3), are transversely arranged to the baffle (2) and inside the third zone (V3), that is in communication with V2 by means of a perforated pipe (6), positioned at half the height of (2). The baffles (2) and (3) and the transfer pipe (6) define a path that must be traveled by the biomass mixture. The waste biomass to be treated run into the beginning of V1, through an inlet perforated pipe (7); at the bottom of V3 it is positioned an outlet pipe (8) for the withdrawal of clarified water from half the height of (2). In addition, along said path, they are positioned some submerged pumps (P1, P2, P3, P4, P5, P6), whose function will be specified later on. The zones V1 and V2 are heated to a temperature suitable to favor the biological processes of the mesophilic regime (typically comprised between 30 and 60 °C) and to sustain a slight excitation through convective motions. In the upper part of the basin (1) they are placed two blocks (B) and (C), each of which includes a plurality of vertical pipes. The upper block (B), of greater development in height, preferably made of plastic material (PE, PVC or similar) and the lower block (C), made of metal, are separated by a gap (9). The lower block (C) is cooled by means of a coil (not shown in figures 1, 2) crossed by a heat transfer fluid suitable to slightly lower the temperature of (C). The blocks (B) and (C) are inserted so as to obtain also a bottom gap (10) and an upper gap (11). At the ends of (10) and (11), they are positioned two pipes (12) and (13), on which they are made a plurality of holes (12a) and (13a) respectively, aligned along a generatrix of said pipes. To operate, the device (A) uses a hydro-dynamic state of communicating vessels, so as to reduce the waste of mechanical energy for the necessary advancement movements of the organic matrix. The flow of the waste biomass to be treated, indicated by the arrow (I), runs into V1 and is homogeneously spread through the holes (7a). The so obtained biomass mixture goes across the various areas in which the basin (1) is divided, and it is subject to various chemical-biological reactions: • in V1 it is implemented the hydrolysis, constituted by the splitting action of the water, by hydration, favored by conditions of high temperature; • in the final stretch of V1 it

is implemented the acidogenesis by specific bacterial consortia; • in the area comprised between V1 and V2, it is carried out the acetogenesis by specific bacterial consortia; • in V2 it is implemented the methanogenesis by specific bacterial consortia. In this zone, because of the larger section, the flow speed will be lower, in order to have a higher permanence time that favors the massive production of CH<sub>4</sub> and the gravimetric separation of a mainly oleic phase, lighter and a protein predominantly phase, heavier; • in the final stretch of V2 it is withdrawn a given quantity of the biomass mixture through the submerged pumps (P1) and (P2) and it is recycled to the beginning of V1; in particular (P1), placed in the upper part, recycles the mainly oleic mixture, while (P2), placed in the lower part, recycles the protein predominantly mixture; • in the transit from (V2) to (V3), through the pipe (6), placed at mid-height of the liquid phase, a horizontal flow is generated; • inside V3, following the generation of said horizontal flow, a widespread and different gravimetric action on the various components present in the biomass mixture occurs, obtaining their deposition in the different sectors provided by means of (4) and (5); the submerged pumps (P3), (P4) and (P5) withdraw the NPK salts of different concentrations from those sectors; • in the terminal portion of V3, the liquid mass is composed almost exclusively of water, that is withdrawn by the outlet pipe (8); • in the terminal portion of V3, at the top and in the proximity of the surface of the liquid phase, it is withdrawn the liquid, still containing oleic traces, that is recycled at the beginning of V1; this withdrawal is obtained through (P6) and in suitable amount to the processes of dilution to be implemented at the beginning of V1, in order to correctly condition the waste biomass.

*Note: <sup>1</sup>Not indicated below as they are outside the scope of this article*

The gases generated during the degradation and digestion (CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>) are collected in the gap (10) above the liquid mass and they are gravimetrically separate: the CO<sub>2</sub>, heavier, tends to remain in the lower part, from which it will be extracted through the holes (12a), while the methane, lighter, will rise up to the upper gap (11), from which it will be extracted through the holes (13a). Inside the gases generated by the reaction it is also present the steam that, passing through the vertical channels of the lower block (C), condensate and returns in liquid form inside the fluid mass below; this condensation is obtained by lowering the temperature of the vertical channels of the lower block (C) and reaching the saturation condition (dew point). In the final stretch of V1 and in the zone between V1 and V2, in which are carried out the acidogenesis and the acetogenesis, a system of homogeneous and diffused lighting can find place (Farné, S., Lavanga, V., SDNA), in order to prevent the formation of H<sub>2</sub>S due to a photosynthesis in absence of oxygen.

## **2.2 Biochemical-mathematical Model**

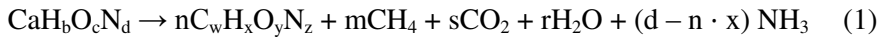
The most abundant products resulting from the biological digestion of an organic matrix in the absence of oxygen are biomethane and carbon dioxide. The percentages of gas produced are variable and methane can reach 50-70% of the total gas phase. During methanogenesis, methane is obtained mainly from these two reactions:



Considering the variability and complexity of the incoming waste biomass (organic waste, food waste, slurry, sewage, manure, wastewater etc.), further products from anaerobic digestion can be obtained: for example, the ammonia that comes from the demolition of proteins. In the case of anaerobic digestion of an organic matrix with



the  $C_aH_bO_cN_d$  formula, the overall stoichiometric relationship can be represented by the formula (Cecchi et al., 2005):



Where,

$$s = a - nw - m$$

$$r = c - ny - 2s$$

### 2.2.1 Speed and laminar motion

At the entrance of the basin there is the input waste biomass and, to be optimal, the digestion process must have a non-swirling trend. It must be ascertained that the speed of the semi-fluid biomass mixture, compatibly with the geometry of the basin, is not the cause of a turbulent motion. First of all, speed analysis is performed to make sure that the semi-fluid biomass mixture is characterized by a laminar motion. The average speed  $v$  can be calculated, in every zone of the basin, by the formula of Chezy (2), (Farné, 2015).

$$v = K_0 \sqrt{RI} \quad (2)$$

Where,

$$I = - (dH/dS)$$

H : pressure drop

S : length of the considered section

$K_0$  : roughness coefficient calculated by the Bazin's formula (3), (Farné, 2015)

$$K_0 = \frac{87}{1 + \frac{c}{\sqrt{R}}} \quad (3)$$

c: tabulated value depending on the nature of the internal walls

R = A/P : hydraulic radius

A = b\*h : section area

P = b + 2h : wet perimeter

b : base of the zone

h : height reached by the biomass mixture

Having calculated  $v$  in V1 and V2, it is possible to calculate the Reynolds number (4), to verify that its motion is laminar, in order to assure the optimal conditions for the anaerobic digestion (Farné, 2015).

$$Re = (\rho v d) / \mu \quad (4)$$

Where,  $\rho$  : density of the biomass mixture,  $v$  : speed with which the biomass mixture moves,  $d$  : length of the characteristic of the surface along which the fluid moves,  $\mu$  : viscosity.

### 2.2.2 Gravimetric separation

At various points of the device, in the recycling phase at the end of the second zone and for the entire duration of permanence in the third zone, the gravimetric separation of the fluid is used. It is operated, at the end of the second zone, to divide the oleic and the protein fractions, in order to recycle them, also by means of a specific device (Farné, S., Lavanga, V., GSMF). In the third zone, by means of two baffles, the gravimetric separation is used to divide the fluid into three different types of NPK salts. Due to the phenomenon of the phase separation, depending on the Reynolds number (4) of the flow, the final velocity (Mostafaiyan M. et al., 2015) in which the heavy phase settles down and the light phase rises up can be calculated employing the formulas (5), (6), (7)<sup>2</sup>:

$$\text{Newton's law } V_f = 1.74 \cdot \sqrt{\frac{gD_p(\rho_h - \rho_l)}{\rho_c}} \quad \text{for } \text{Re} \geq 500 \quad (5)$$

$$\text{Stoke's law } V_f = \frac{1000gD_p^2(\rho_h - \rho_l)}{18\mu_c} \quad \text{for } \text{Re} \leq 2 \quad (6)$$

$$\text{Intermediate law } V_f = \frac{3.54g^{0.71}D_p^{1.14}(\rho_h - \rho_l)^{0.71}}{\rho_c^{0.29} - \mu_c^{0.43}} \quad \text{for } 2 \leq \text{Re} \leq 500 \quad (7)$$

Where,

$V_f$  : final velocity

$D_p$  : particle diameter

$\mu$  : viscosity

$\rho$  : density

$g$  : gravity constant

the subscripts h, l, and c denote the heavy, light and continuous phases, respectively.

### 2.2.3 Biomass characteristics

The following parameters are considered (Preto R., 2016):

- TS (total solids): it is the dry substance contained in the biomass, that can be digested by the bacterial consortia and converted in biogas and salts. The quantity is determined by drying a sample in an oven at 105 °C for 24 hours.
- TVS (total volatile solids) = y% of the total solids (TS): organic part, within the total solids, that can produce gases. It is the fraction of dry substance which is volatilized by evaporation at 550 °C up to constant weight. (8)
- NPK = (100-y)% of the total solids (TS): concentration of salts contained in the total solids (9)
- WET = x% of the TS inside the biomass; the remaining (100- x) % is the water content (10)
- COD: chemical oxygen demand: quantity of oxygen consumed for the oxidation of the organic substance.

<sup>2</sup>the numerical coefficients depend on the units of measurement chosen, an aspect not important for the purposes of this article

This quantity is determined through the use of a strong oxidizing chemical agent i.e. potassium dichromate ( $K_2Cr_2O_7$ ) in an acid medium.

- BOD<sub>5</sub>: amount of oxygen consumed in 5 days. The quantity is determined under controlled conditions due to the biological oxidation of the organic substance present in the sample.
- BOD<sub>L</sub>: 20-day biological oxygen demand.
- TOC (Total Organic Carbon): total organic carbon. The TOC of a wastewater can be used as an indication of its polluting load and in some cases it may be possible to establish a correlation between the values of TOC, BOD and COD.

#### **2.2.4 Reactor Management Parameters**

They determine the process according to the residence times of the biomass to be degraded in the reactor, the concentration of microorganisms, the yields of biogas production in relation to the volume of the reactor and the characteristics of the treated substrate. These parameters are divided into (Preto R., 2016):

- Available volume for digestion: V that is equal to  $(V_1 + V_2)$  in the case of MBGC
- Average hydraulic residence time (HRT - HYDRAULIC RETENTION TIME): ratio between the volume of the considered reactor and the volume added every day. HRT is a conventional parameter in stationary digestion reactors; in MBGC a volume enters and an equal volume is withdrawn, by overflowing, having to keep the operating volume constant.
- Average sludge residence time (SRT – SLUDGE RETENTION TIME): ratio between the total mass of volatile solids (mass that passes into the gaseous state over a certain temperature) present in the reactor and the flow of solids extracted from the reactor itself.
- Organic volumetric load (OLR) of substrate applied to the reactor: quantity of substrate entering the reactor referred to the volume unit of the reactor itself and to the time.
- Organic load related to biomass or volatile solids in the reactor (CF): defined as the quantity of volatile substance present in the reactor per unit of time.
- Estimated volumetric organic load: it is the amount of organic matter loaded daily per useful digestion unit per day.
- Specific gas production (SGP - SPECIFIC GAS PRODUCTION): produced between the volume of gas generated and volatile solids. The specific gas production ( $m^3$  biogas / kg fed substrate) is the quantity of gas that is produced per quantity of volatile substance fed to the reactor. This parameter, widely used to define the yields of the anaerobic digestion processes, is actually closely linked to the biodegradability of the treated substrate rather than to the properties of the process adopted.
- Biogas production speed (GPR): flow rate of biogas produced compared to the reactor volume and time. The biogas production rate ( $m^3$  biogas / day) / ( $m^3$  reactor) is defined as the flow rate of biogas produced in

relation to the volume of the reactor and the time.

### 2.2.5 Flow Rates

A waste biomass with variable composition and humidity enters the MBGC basin. The numbers and percentages indicated below are realistic but may vary based on the actual composition of the incoming waste biomass; they are mainly reported to illustrate the functioning of MBGC and its productivity. For the sake of simplicity, we assume that the density of the waste biomass is equal to that of water, i.e. 1 kg/dm<sup>3</sup>. The compound of the biomass mixture should be 90% water and 10% total solids (WET = 10%) but obviously it is not certain that this is the case. The total solids (dry matter) of the waste biomass can fluctuate between 10% and 50%. To estimate its humidity rate, it is foreseen to execute a composition analysis at regular intervals, in order to calculate a mean value of the associated humidity. If this is not within the parameters, it will be necessary to withdraw water from the end of the cycle to recalibrate it:

$$Q_i = Q_0 + Q_h \quad (11)$$

Where,

$Q_i$  is the flow rate of the biomass mixture that starts the cycle

$Q_0$  is the flow rate of the waste biomass supplied at the initial part of the system; it is composed by TS and by its intrinsic humidity, but it is not mixed with external water;

$Q_h$  is the flow rate of water provided to increase the humidity of the waste biomass

$Q_0$  is composed by a fraction of protein TS and of oleic TS, depending on the type and composition of the waste biomass. Assume that TS are globally the 20% of  $Q_0$  subdivided in:

$$\text{protein TS} = 0,15 \cdot Q_0 \quad (12)$$

$$\text{oleic TS} = 0,05 \cdot Q_0 \quad (13)$$

At the end of V2, after 10 days of stay in the MBGC, the BMP (fig. 3) diagram (test that assesses the methanogenesis potential of an organic matrix), gives the percentage of the digested biomass. With reference to formulas (8) and (9), assume that:

- the digested percentage is the 80% of TS
- $TVS = TS \cdot y\% = ST \cdot 0,8$
- $NPK = TS \cdot (100-y)\% = TS \cdot 0,2$

from this, it follows that:

$$\text{Biogas produced} = 80 \% \text{ of TVS} = 0,8 \cdot (0,8 \cdot TS) \quad (14)$$

$$\text{Salts produced} = 80 \% \text{ of NPK} = 0,8 \cdot (ST \cdot 0,2) \quad (15)$$

- Not digested = 20 % of TS → from formulas (12) and (13):

- Protein fraction not digested:

$$Q_p = 0,2 \cdot (\text{protein TS}) = 0,2 \cdot 0,15 \cdot Q_0 = 0,03 \cdot Q_0 \quad (16)$$

- Oleic fraction not digested:

$$Q_o = 0,2 \cdot (\text{oleic TS}) = 0,2 \cdot 0,05 \cdot Q_0 = 0,01 \cdot Q_0 \quad (17)$$

At the end of V2, the biomass mixture has three fairly distinct phases:

- the protein fraction not digested on the bottom side;
- the oleic fraction not digested in the upper part;
- salts and water, in the middle.

The most part of the protein and oleic fractions will be recycled to the beginning, while salts and water will continue the cycle through a pipe perforated along its surface and placed at about half the height of the baffle.

The pipe (fig. 4), closed at the ends, is extended between the second baffle and the wall of the third zone and therefore it has a length equal to:

$$L = b_2 + b_3;$$

where

$b_2$  = base of the second zone

$b_3$  = base of the third zone

Furthermore, to ensure a correct and continuous flow of the fluid, without preferential routes, it was thought to establish a relationship between the holes distributed on it and its internal diameter.

$$(\text{internal diameter area}) \leq \sum (\text{hole areas})$$

The flow that continues the path in V3 will be split into its components during the processes of the third zone thus obtaining water and three different types of salts. The salts will be divided according to their density into 3 sectors created specifically to contain them:

$$Q_3 = (\text{NPK1} + \text{NPK2} + \text{NPK3} + Q_4)$$

Where,  $Q_3$  = flow in the third zone,  $Q_4$  = water flow.

It is particularly important to highlight that, thanks to the setting “continuous” of MBGC, the digestion products will be expelled due to the hydraulic thrust so it will not be necessary to stop the plant. The operator, helped by special tools, will choose the quantity of salts to be withdrawn and the periodicity of this withdrawal.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Case study: description of a complete biomass treatment cycle

The following dimensions of the MBGC have been taken into consideration: 2,5 m x 10 m x 2,5 m. It has been calculated that this basin is able to treat a volume around 1,000 dm<sup>3</sup> of waste biomass per day, corresponding to a

mass of 1,000 kg due to the previous hypothesis. It is assumed that it contains a 20% of total solids. The percentage will be appropriately adjusted through a system of communicating vessels that will bring other 1,000 dm<sup>3</sup> of recirculated fluid back to the start of the process, in order to bring WET to the desired value of 10. In this way, the incoming waste biomass becomes a total volume of 2,000 dm<sup>3</sup> of biomass mixture, in which the percentage of TS is 10%. It has been highlighted that an innovation of MBGC is the characteristic of being "continuous": under steady state conditions, the organic matrix continues to move, driven by what is loaded daily in V1 and pushing out daily the by-products in V2 and in V3. To describe the flow and the production potential of the organic matrix, let's focus on a waste biomass entering from the outside of 1,000 dm<sup>3</sup> (and becoming a biomass mixture of 2,000 dm<sup>3</sup>), assume that it is the only "active" quantity and follow its movement inside the MBGC path. This description and the results obtainable in a complete thirty days treatment are summarized in Tab. 1 and in figures 5-11. It is evident that this is a schematization and that the results could vary in reality but, it is considered useful for a better understanding.

The waste biomass of 1,000 dm<sup>3</sup> is withdrawn from the previous storage (eg. Imhoff tank) of first transfer from the waste systems (eg. a stable) and is composed by a part of 700 dm<sup>3</sup> of protein fraction taken from the lower part and a part of 300 dm<sup>3</sup> of oleic fraction taken from the upper part of the Imhoff tank. The withdrawal takes place by two pumps located respectively at the bottom and at the top of the same Imhoff tank and sent through a pipeline to the entrance of the MBGC basin. Using formulas (12) and (13) it is obtained:

$$\text{protein TS} = 0,15 * Q_0 = 150 \text{ Kg}$$

$$\text{oleic TS} = 0,05 * Q_0 = 50 \text{ kg}$$

Considering the zone V1, whose extension in length varies from 0 to 10 m (ideally divided into sectors of about 3m):

- the entry point of the 1,000 dm<sup>3</sup> of waste biomass is positioned at the beginning of the biomass mixture inserted the day before;
- the introduction point of the recirculated water (100 + 100 dm<sup>3</sup> from V2 and 800 dm<sup>3</sup> from V3) is positioned at about 1 m, to facilitate a preliminary mixing;
- a mixer, consisting essentially of two perforated pipes and a pump, is positioned so that one pipe is at about 0.2 m and the second one at about 2.8 m from the insertion point of V1. The perforated pipes are about 1.5 m high, with holes facing each other, and one has the task of aspirating the biomass while the other has the task of returning it to V1 (i.e. in its first sector), making it homogeneous, also by means of a specific device (Farné, S., Lavanga, V., MHLM).

At the same time as mixing, the heating process takes place, that has the function of accelerating the hydrolytic phase. At about 0.3 m from the beginning of V1, a vertical finned coil is placed in which a heat carrier fluid flows at about 55 °C, previously heated by the passage in the condenser of a heat pump. The heat transfer fluid, exiting the coil, passes into the radiant floor circuit of zones V1 and V2, conditioning it at an average temperature of 40 °C, optimal for mesophilic digestion. Underfloor heating will trigger convective motions and horizontal translation in the biomass mixture, helping to homogenize it in its path from the first to the tenth day.

By the BMP test (fig. 3) it is known when the peak of hydrogen production occurs. Suppose it is on the fourth day and therefore in correspondence with the transfer from V1 to V2. It is possible to extract this hydrogen dissolved in the liquid phase with a deviation (not shown in materials and method): the biomass mixture, exiting V1 can be conveyed into a patented device called HWFC which allows the extraction of hydrogen, and is then reintroduced in the flow of V2. This arrangement would also improve the subsequent methanogenesis process. The quantity of methane and carbon dioxide globally produced is given by formula (14):

$$\text{produced biogas} = 0,64 * ST = 0,64 * 200 \text{ kg} = 128 \text{ kg}$$

of which approximately (Cecchi et al., 2005):

$$\text{biomethane} = 2/3 \text{ of produced biogas} = 85.3 \text{ kg}$$

$$\text{carbon dioxide} = 1/3 \text{ of produced biogas} = 42.7 \text{ kg}$$

These biogas quantities are separated and collected by the means described in the “materials and methods” chapter. According to the BMP chart (fig. 3), assume that about the 80% of the biomass mixture will be digested in 10 days; to recover the undigested 20%, a recirculation system is activated at the end of the zone V2 which sends the undigested back to the beginning of the process, so as to oblige it to continue with the anaerobic digestion. The undigested mass will be about 40 kg as obtained according to formulas (16) and (17):

$$\text{Protein fraction not digested: } Q_p = 0,03 * Q_0 = 30 \text{ kg}$$

$$\text{Oleic fraction not digested: } Q_o = 0,01 * Q_0 = 10 \text{ kg}$$

Assuming that only the 95% of the undigested biomass is effectively taken, a quantity of 28.5 kg diluted in a fluid volume of 100 dm<sup>3</sup>, and another of 9.5 kg, diluted in a fluid volume of 100 dm<sup>3</sup>, are withdrawn from the top and from the bottom respectively and is sent back at the beginning of the process.

In V3, the digested material will settle into three sectors according to its density: the thicker fraction will fall at the beginning while the less dense will continue in the other two sectors. Using formula (15) it is obtained:

$$\text{Salts produced} = 0,8 * (ST * 0,2) = 0,16 * 200 \text{ kg} = 32 \text{ kg}$$

At day 30, the waste biomass, that have started its treatment 30 days before, ends its path; a volume of 800 dm<sup>3</sup> (containing 5% of undigested oleic, equal to 0.5 kg) is withdrawn from the top of the basin and sent back to the entry point of V1, while a volume of 1,000 dm<sup>3</sup> of clarified water is withdrawn from the basin. In this way, the treatment is complete.

A note about NPK salts extraction: in the in the above described configuration and in steady state conditions, NPK salts will be extracted weekly from the three sectors inside V3. This periodicity allows a significant accumulation of NPK salts. The extraction process will be performed before the daily input of waste biomass (1,000 dm<sup>3</sup>) so as to create a lower overall volume. In fact, a fluid volume of 600 dm<sup>3</sup> will be withdrawn which, distributed over a total area of 25m<sup>2</sup>, causes the liquid level to drop by about 0.024 m. When entering the 1,000 dm<sup>3</sup> of waste biomass, the clarified water spill (from the half-height pipe) will be only 400 dm<sup>3</sup> and not 1,000 dm<sup>3</sup> as in normal conditions. A total of 224 kg will be accumulated in 7 days. This quantity, divided by the 3 sectors, corresponds to an average of



about 75 kg in each that, diluted in 200 dm<sup>3</sup> of fluid, correspond to an average concentration of approximately 37.5%.

### **3.2 Advantages of MBGC**

As previously illustrated, MBGC has peculiar characteristics that give it several advantages:

- **Potentiality:** MBGC can produce limited powers (from 1 to 10 kW), so there are no similar systems.
- **Compactness:** in the configuration presented in this article, a volume of 62.5 m<sup>3</sup> and dimensions (2.5x10x2.5) m are enough to absorb a daily waste biomass of 1,000 kg (with 20% of generic TS) to start the process and to obtain a power of 10 kW. Furthermore, MBGC can be completely buried, also to avoid visual impacts.
- **Cost-effectiveness of materials:** MBGC is made of standard, cheap and easily available construction materials.
- **Versatility:** MBGC has been designed to adapt to multiple operational contexts like small farms, condominiums, buildings not connected to the sewage network, residential agglomerations in rural areas, small businesses and industries, villages etc. In addition, it takes a few days to install.
- **Energy savings:** MBGC is entirely thermally insulated, so that once the process is triggered, its energy consumption is extremely low and can also be supplied from renewable energy sources.
- **Savings in utility bills:** the production of biomethane by the MBGC gives the end user the opportunity to use it to generate electric energy and heat.
- **Savings on waste disposal costs:** the MBGC allows to save on the costs that a structure must incur to dispose of waste as they are used to feed the same.
- **Economic return from by-products and from the injection of excess power into the grid:** NPK salts, carbon dioxide, methane and electric energy can be sold to make an additional profit.
- **State incentives:** the MBGC can take advantage of state incentives as it produces energy from biomass which turns into savings on the purchase of the same (Capodaglio et al. 2016).

### **4. Conclusions**

The physical structure of the device was described along with the principles and methods, simultaneously with its operation. Later, a model of calculation of the system was introduced, one of the main subjects of this paper. The analysis model made it possible to relate the geometrical and biochemical parameters to the operating conditions of the plant, allowing a formulation to be obtained for calculating the producibility of the plant. Based on the calculation model and on some assumptions, it was possible to make a simulation of its operation. A description of the biomass flow inside the various zones of the MBGC has been illustrated, following a complete cycle of 30 days. The results have highlighted the behavior of a standard module, characterized by a good level of producibility in terms of biogases (methane and carbon dioxide), NPK salts and clarified water, which could be appropriately



replicated to obtain the level of productivity sought by a possible customer. As a consequence, the benefits of MBGC have been listed. The MBGC development and application studies are still ongoing and they will be the subjects of future works.

**PATENTS:** MBGC - Method for anaerobic digestion and device for implementing said method - Publication Number WO/2016/092582, Publication Date 16.06.2016, International Application No. PCT/IT2015/000306, <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016092582>

**ACKNOWLEDGMENTS:** Dr. Vito Lavanga, freelance researcher and inventor.

## Declarations

### *Source of Funding*

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### *Competing Interests Statement*

The authors declare no competing financial, professional and personal interests.

### *Consent for publication*

We declare that we consented for the publication of this research work.

### *Code availability*

The programming code that we have used for this research is available and authors are willing to share when it is required.

## References

- Bacenetti, J., Fusi, A., Guidetti, R., & Fiala, M. (2013). Life Cycle Assessment of maize cultivation for biogas production. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(2s). <https://doi.org/10.4081/jae.2013.356>
- Capodaglio A. G., Callegari A., Lopez M. V. (2016). European Framework for the Diffusion of Biogas Uses: Emerging Technologies, Acceptance, Incentive Strategies, and Institutional-Regulatory Support. *Sustainability*, 8(4), 298; <https://doi.org/10.3390/su8040298>
- Castellucci, S., Cocchi, S., Allegrini, E., & Vecchione, L. (2013). Anaerobic digestion and co-digestion of slaughterhouse wastes. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(2s). <https://doi.org/10.4081/jae.2013.346>
- Cecchi, F., Battistoni, P., Pavan, P., Bolzonella, D., Innocenti, L. (2005). Digestione anaerobica della frazione organica dei rifiuti solidi. APAT, Manuali e linee guida, 13.
- Comparetti, A., Febo, P., Greco, C., Orlando, S., Navickas, K., & Venslauskas, K. (2013). Sicilian potential biogas production. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(2s). <https://doi.org/10.4081/jae.2013.345>
- Coppolecchia, D., Gardoni, D., Baldini, C., Borgonovo, F., & Guarino, M. (2015). The influence on biogas

production of three slurry-handling systems in dairy farms. *Journal of Agricultural Engineering*, 46(1), 30-35. <https://doi.org/10.4081/jae.2015.449>

dell'Antonia, D., Cividino, S., Carlino, A., Gubiani, R., & Pergher, G. (2013). Development perspectives for biogas production from agricultural waste in Friuli Venezia Giulia (Nord-East of Italy). *Journal of Agricultural Engineering*, 44(2s). <https://doi.org/10.4081/jae.2013.354>

Dinuccio, E., Gioelli, F., Cuk, D., Rollè, L., & Balsari, P. (2014). The use of co-digested solid fraction as feedstock for biogas plants. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(4), 153-159. <https://doi.org/10.4081/jae.2013.208>

El-Mashad, H. M., van Loon, W. K. P., Zeeman, G., Bot, G. P. A., Lettinga G. (2004), Design of A Solar Thermophilic Anaerobic Reactor for Small Farms. *Biosystems Engineering*, Volume 87, 345-353

Farné, S. (2015). *Macchine. Macchine idrauliche*, 1st ed.; Collana Synopsis, Casa editrice Medea: Pavia, Italy

Farné, S., Lavanga, V. (2016). MBGC - Method for anaerobic digestion and device for implementing said method - Publication Number WO/2016/092582, Publication Date 16.06.2016, International Application No. PCT/IT2015/000306, <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016092582>

Farné, S., Lavanga, V. (2016). HWFC - DEVICE FOR PRODUCING HYDROGEN - Publication Number WO/2016/092578, Publication Date 16.06.2016, International Application No. PCT/IT2015/000298, <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016092578>

Farné, S., Lavanga, V. (2016). SDNA - Publication Number WO/2016/092576, Publication Date 16.06.2016, International Application No. PCT/IT2015/000296, <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016092576>

Farné, S., Lavanga, V. (2016). GSMF - METHOD TO SEPARATE THE COMPONENTS IN THESE GAS LIQUIDS, VAPOURS OR GAS, AND DEVICE FOR IMPLEMENTING SAID METHOD, Publication Number WO/2016/092577, Publication Date 16.06.2016, International Application No. PCT/IT2015/000297, <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016092577>

Farné, S., Lavanga, V. (2016). MHLM - METHOD AND DEVICE FOR THE HOMOGENEOUS AND DELIMITED MIXING OF FLUIDS, Publication Number WO/2016/092579, Publication Date 16.06.2016, International Application No.

PCT/IT2015/000299, <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2016092579>

Mostafaiyan M., Reza Saeb M., Emami Alorizi A., Farahani M. (2014). Application of evolutionary computational approach in design of horizontal three-phase gravity separator. *Journal of petroleum science and engineering*, 119, 28-35

Oberti, R., Tenca, A., Perazzolo, F., Riva, E., Finzi, A., Naldi, E., Provolo, G., & Bodria, L. (2013). A farm-scale pilot plant for biohydrogen and biomethane production by two-stage fermentation. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(2s). <https://doi.org/10.4081/jae.2013.357>

Plöchl, M., Heiermann, M. (2006). Biogas Farming in Central and Northern Europe: A Strategy for Developing Countries? The CIGR journal, 8(1), 10-15

Preto, R. (2016). Elementi di biomasse. University of Pavia, 12-16

Valenti, F., Porto, S. M., Cascone, G., & Arcidiacono, C. (2017). Potential biogas production from agricultural by-products in Sicily. A case study of citrus pulp and olive pomace. Journal of Agricultural Engineering, 48(4), 196-202. <https://doi.org/10.4081/jae.2017.727>

**TABLES**

**Table 1 - Complete treatment in 30 days of a biomass mixture**

Days	1-2	3-4	5→9	10	11→30
Zone	V1	V1-V2	V2	V2-V3	V3
Process	Introduction of the waste biomass, mixing with recirculated fluid, homogenization and heating	The biomass mixture arrives, in day 3, in the final part of V1 and enters, in day 4, in the initial part of V2, in which it is partially transformed into acetic acid	The previously formed acetic acid is transformed into methane and carbon dioxide	The biomass mixture arrives at the end of the zone V2. Undigested biomass sent back to V1	The biomass mixture enters and proceeds in V3. Salts separation due to density
Waste biomass dm <sup>3</sup>	1,000				
Recirculated fluid from V2 dm <sup>3</sup>	200			200	
Recirculated fluid from V3 dm <sup>3</sup>	800				800
Total biomass mixture dm <sup>3</sup>	2,000	2,000	2,000	1,800	1,800
Phases	Hydrolysis	Hydrolysis + acidogenesis (in V1); Acidogenesis + acetogenesis (in V2)	Methanogenesis	Methanogenesis	
Reaction		Acidogenesis: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2COOH + CH_3COOH + CO_2 + H_2$	$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$ $CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$	$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$ $CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$	

		Acetogenesis: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$			
By-products obtained			85.3 kg of $\text{CH}_4$ 42.7 kg of $\text{CO}_2$		1,000 dm <sup>3</sup> of clarified water; 32 kg of NPK salts
Figures	5, 6	7, 8	9		10a, 10b 11

FIGURES

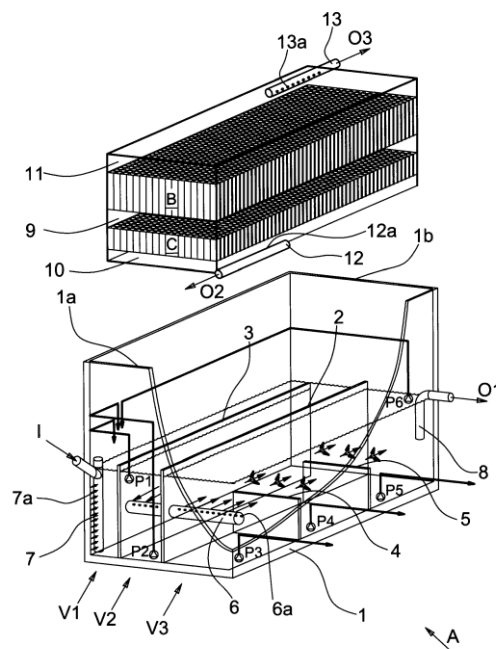


Fig.1 – Perspective view of MBGC

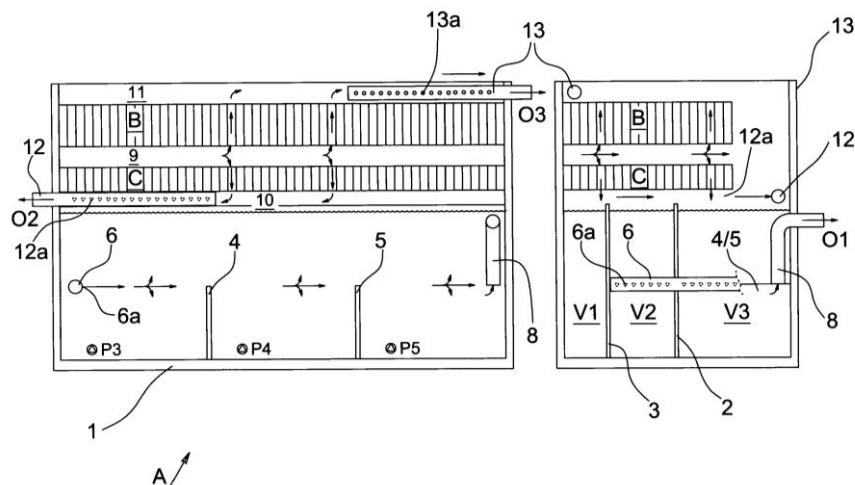
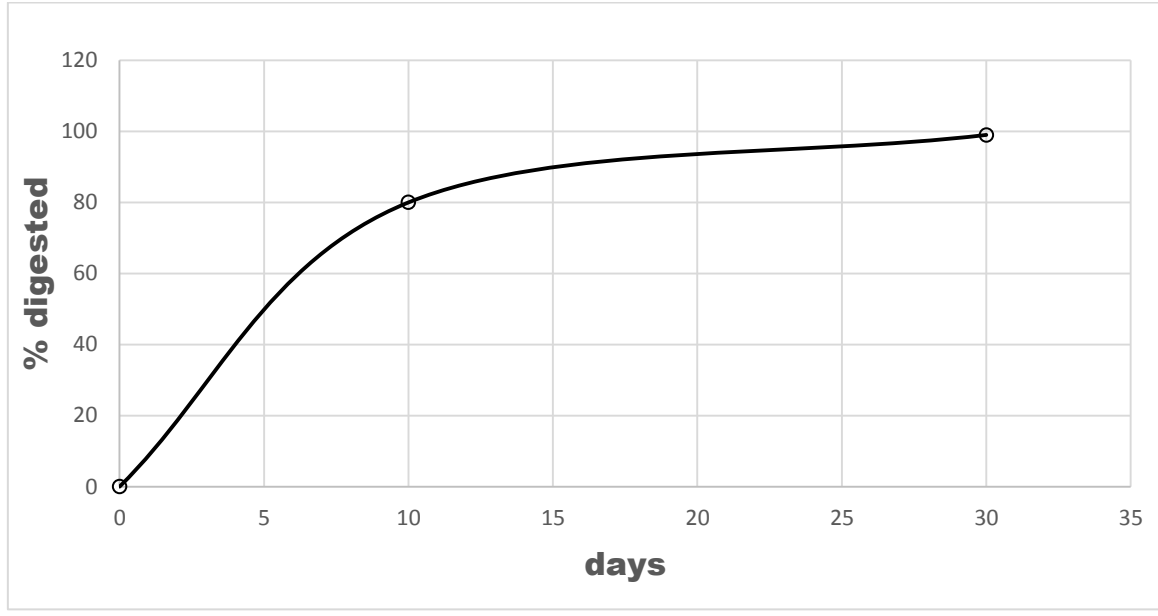
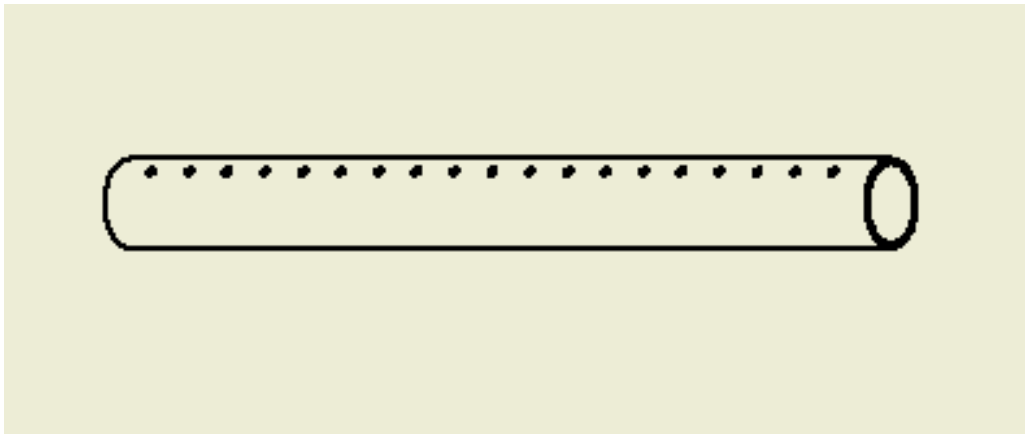


Fig. 2 – Orthogonal views of MBGC



**Fig. 3** - Example of a BMP diagram



**Fig. 4** - Connecting tube between V2 and V3 zones

**Caption:**

- Waste biomass
- Biomass mixture
- Zone V1
- Zone V2
- Zone V3
- Water (mainly)
- Substrate already present in the basin
- Haloplins (daily position of the biomass mixture)



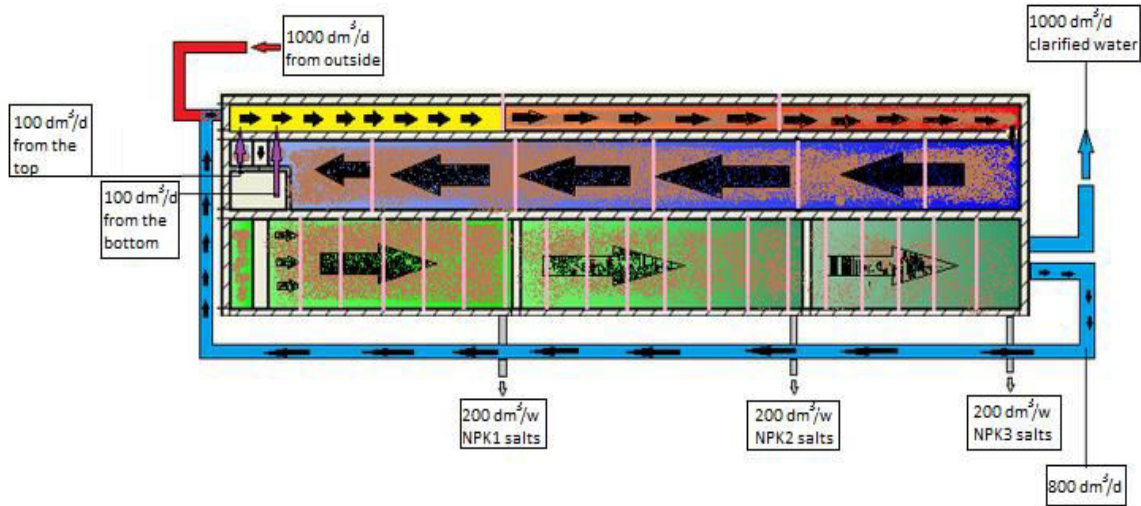


Fig. 5 - Day 1 in V1

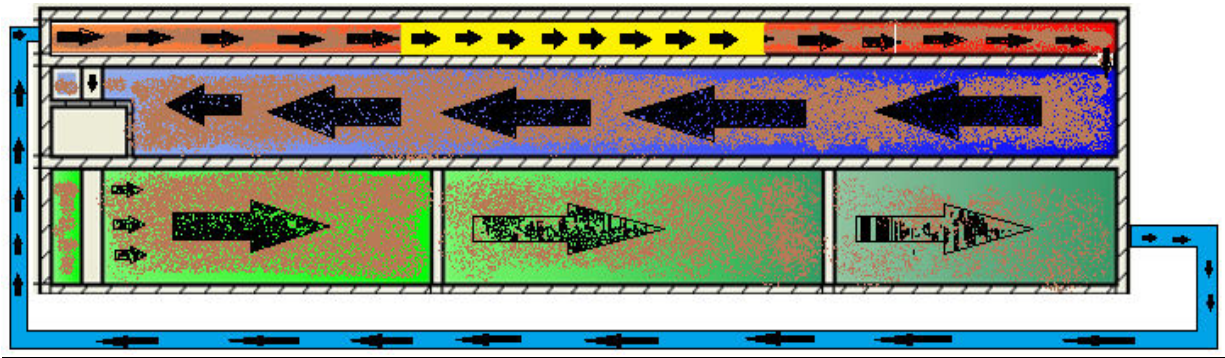


Fig. 6 -Day 2 in V1

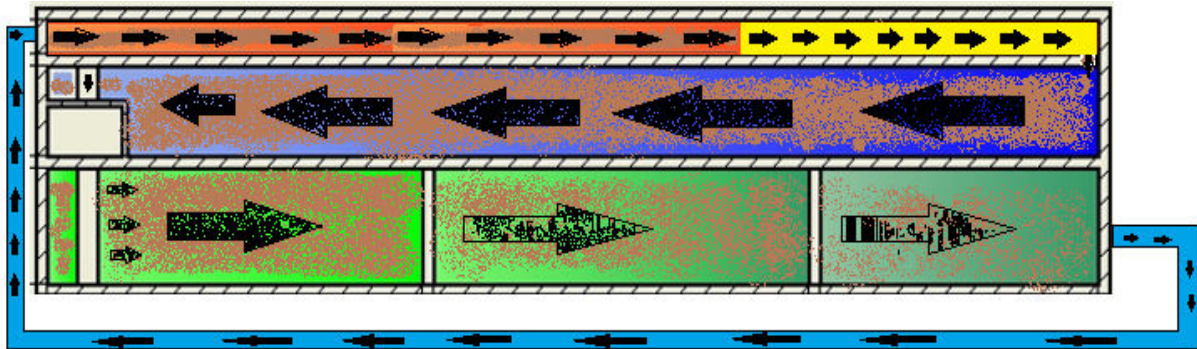


Fig. 7 - Day 3 in V1

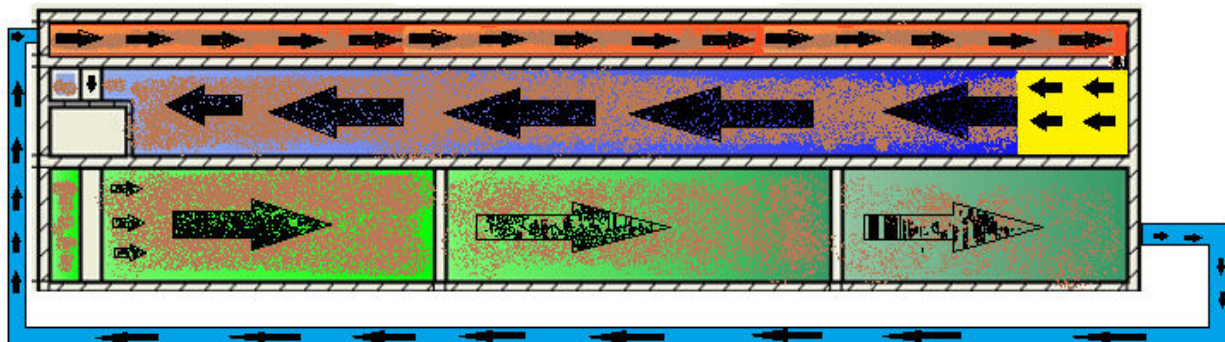


Fig. 8 - Day 4 in V2

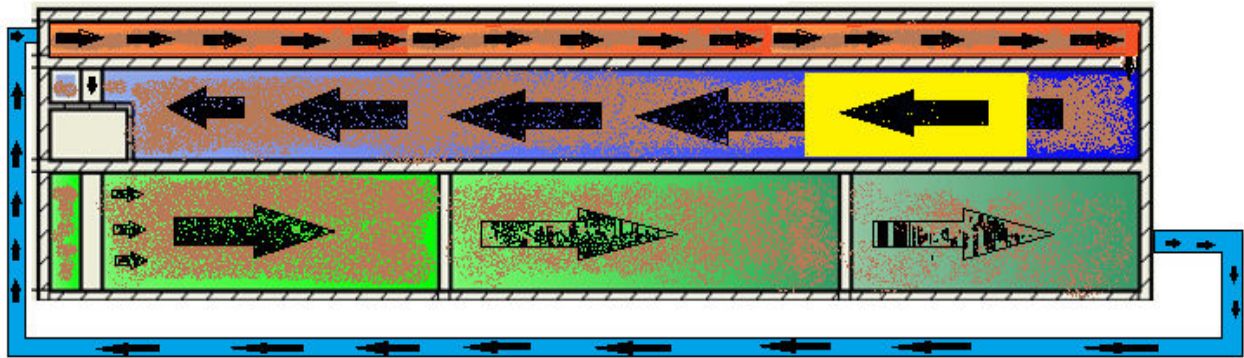


Fig. 9 - Days 5-6-7-8-9 in V2

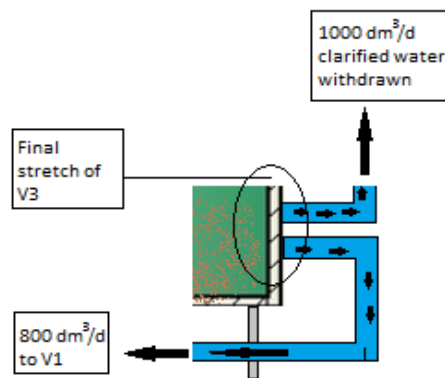


Fig. 10a – withdrawn of recirculated water

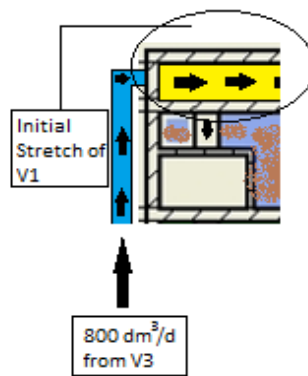


Fig. 10b - Return of the recirculating water

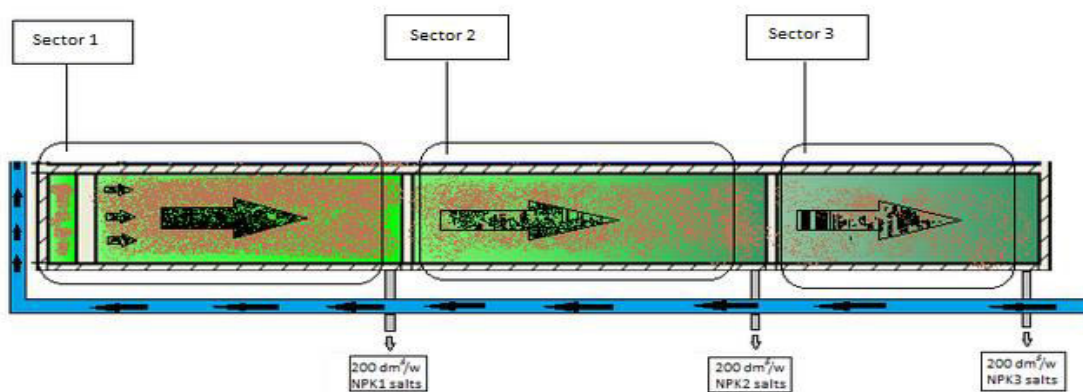


Fig. 11 -Salt extraction