



**GRUPPO  
RICICLA®**

**PROGETTO 014** ([www.ps76.org](http://www.ps76.org))

## **Il biogas a livello domestico**

### **Esperienze e applicazioni nel mondo**



#### **1.1 IL BIOGAS COME SOLUZIONE ENERGETICA SOSTENIBILE NEI PAESI IN VIA DI SVILUPPO**

L'utilizzo di energia nei paesi in via di sviluppo è oggi principalmente rappresentato da biomasse solide per la combustione come legna da ardere e altri materiali vegetali legnosi (carbonella) oltre che sterco, paglie e residui colturali. Diversi milioni di persone, in questi paesi, dipendono da tali materiali, usati come combustibili, per soddisfare i propri bisogni basilari come riscaldare ambienti e cucinare alimenti. In particolare, è proprio nelle aree rurali di queste regioni del mondo che deriva un maggior consumo di energia a livello domestico e locale. Una recente indagine ha evidenziato come in 15 paesi in via di sviluppo, dal 35 al 95% dell'utilizzo totale di energia sia rappresentato da consumo locale, contro il 25-30% nei paesi in via di sviluppo. (Z. Li, R. Tang, C. Xia, H. Luo, H. Zhong, 2005).

In futuro, l'aumento della popolazione globale e dei prezzi dei combustibili fossili farà aumentare il numero di persone che utilizzano la biomassa a fini domestici. Sicuramente, l'utilizzo sostenibile di biomasse per la produzione di energia può essere positivo ma il problema, nei paesi in via di sviluppo, è che le risorse energetiche sono spesso utilizzate in maniera non sostenibile: infatti, in queste aree, la domanda energetica è molto più alta dell'offerta visto che la pressione antropica determina un incremento della biomassa raccolta che supera la capacità rigenerativa naturale. Ne deriva un elevato consumo di biomassa per la combustione, che essendo inefficiente, provoca fumi di carbonio incombusto che in

ambienti chiusi provoca l'aumento e diffusione di malattie respiratorie e infezioni oculari.

Altri problemi, di natura sia ambientale sia sociale, sono: la deforestazione e la degradazione della qualità del suolo, i cambiamenti climatici, gli impatti sulla salute e sulle condizioni fisiche di donne e bambini, che in queste realtà rappresentano chi materialmente raccoglie la biomassa e i quali, dovendo spesso percorrere lunghe distanze, sottraggono tempo utile alla propria educazione.

Tra le molte tecnologie oggi disponibili per contrastare l'uso eccessivo di biomasse per la produzione di energia a livello domestico nelle aree rurali dei paesi in via di sviluppo, come lo sfruttamento dell'energia eolica, solare e idrica (tecnologie queste ultime, che comunque richiedono un elevato investimento iniziale e necessità di know-how straniero) quella che sicuramente permette di ottenere maggiori vantaggi è l'auto-produzione di *biogas*. Tale biocombustibile gassoso, infatti, prodotto dalla *digestione anaerobica* di sostanza organica di diverso tipo (deiezioni, residui alimentari e/o culturali), ha già dimostrato di essere una soluzione interessante sotto molteplici aspetti nelle aree rurali dei paesi in via di sviluppo.

Oltre a risolvere i problemi ambientali legati alla deforestazione e all'uso poco sostenibile della biomassa legnosa, che aumenta l'emissione di gas a effetto serra, l'uso del biogas come fonte energetica in sostituzione della tradizionale legna da ardere, potrebbe potenzialmente rivestire un ruolo di notevole importanza nel promuovere lo sviluppo sociale ed economico delle aree sopra considerate, consentendo innanzitutto l'ottenimento di energia pulita da utilizzare per il riscaldamento di alimenti e per l'illuminazione; un aumento dell'occupazione locale con la creazione di nuovi posti di lavoro (per la costruzione di impianti di biogas e dopo successiva formazione, per il supporto tecnico e la manutenzione); un beneficio per l'agricoltura, grazie all'ottenimento di *digestato*, un sottoprodotto del processo di digestione anaerobica, che rappresenta un ottimo fertilizzante per il terreno in grado di migliorarne le proprietà fisico-chimiche. Infine, non meno importante, il contributo notevole al miglioramento delle condizioni igienico-sanitarie locali, come la riduzione di malattie polmonari (causate dalla combustione spesso incompleta della biomassa legnosa), l'igienizzazione delle deiezioni (sia umani che animali), lo smaltimento di rifiuti di varia natura prodotti localmente e il cui accumulo è nocivo sia all'ambiente che alla salute umana; la riduzione di incendi domestici.

## **1.2 ASPETTI POSITIVI DELLA TECNOLOGIA DEL BIOGAS**

L'uso della tecnologia del biogas, se ben applicata, può portare numerosi benefici direttamente a chi ne fa uso, oltre che vantaggi a livello economico e sociale.

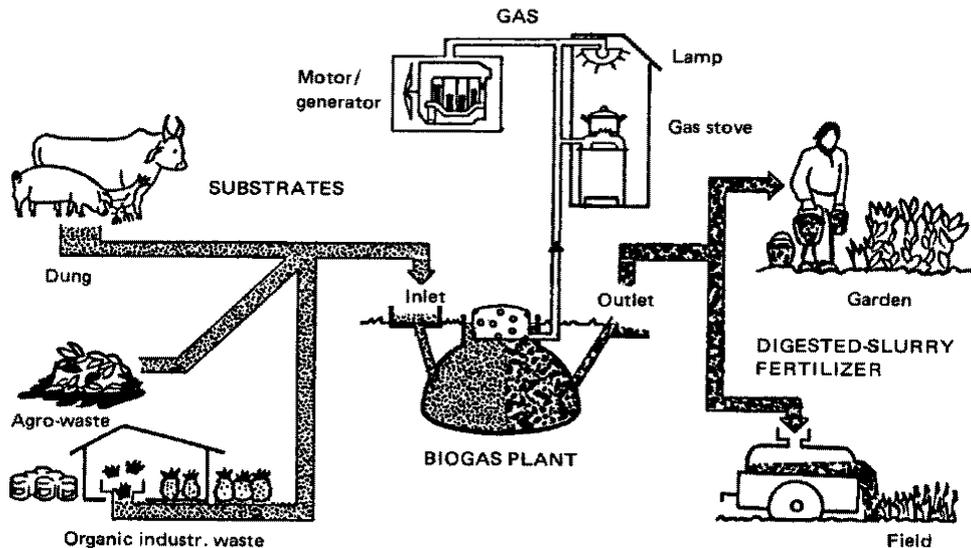


figura 2: Il ciclo del biogas (fonte:OEKOTOP)

- Produzione di energia (calore, luce, elettricità)
- Smaltimento di rifiuti organici e loro trasformazione in fertilizzanti di provata qualità
- Miglioramento delle condizioni igieniche grazie alla riduzione di microrganismi patogeni, parassiti e mosche
- Riduzione del carico di lavoro specialmente per donne e bambini, nella raccolta del legname
- Effetti ambientali positivi grazie alla protezione del suolo, dell'acqua, dell'aria e delle foreste
- Benefici economici grazie alla produzione di energia e di un fertilizzante alternativo come il *digestato*, fonte di reddito aggiuntivo e fattore di incremento delle rese dall'allevamento agricoltura.

La tecnologia del biogas può dunque contribuire alla conservazione dell'ambiente e allo sviluppo socio economico dei paesi in via di sviluppo. Tuttavia i principali limiti di tale tecnologia sono rappresentati dai costi iniziali d'investimento che possono a volte non essere sostenibili per la popolazione di paesi non avanzati.

### 1.3 I PRODOTTI DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA

Con il processo di digestione anaerobica si ottengono quindi due distinti prodotti:

- 1- il *biogas*, che rappresenta il prodotto finale primario. È una miscela composta principalmente da metano (CH<sub>4</sub>) e anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), e altri gas presenti in tracce. Può essere utilizzato come combustibile se il contenuto di metano è superiore al 50%. Il biogas prodotto a partire da deiezioni animali ha un contenuto in metano di circa il 60%.

2- il *digestato*, prodotto finale secondario dalle interessanti proprietà fertilizzanti. È ciò che resta del materiale organico introdotto nel digestore a seguito dell'utilizzo da parte dei microrganismi. In molti digestori, il *digestato* va spesso incontro a un fenomeno stratificazione in cui sono distinguibili:

- Una frazione solida più o meno consistente composta da particelle fibrose che galleggiano sulla superficie formando la cosiddetta “schiuma”
- Una frazione molto liquida che costituisce uno strato intermedio all'interno del digestore detto *surnatante*.
- Una frazione viscosa sottostante detta *fango digestato*
- Uno strato di solidi pesanti, formata da sabbia ed elementi minerali che rimangono sul fondo.

Il fenomeno di stratificazione è meno pronunciato se il materiale in ingresso nel digestore è omogeneo e presenta un alto contenuto di Solidi totali (ST).

### 1.3.1 Uso del biogas

Il biogas prodotto da digestione anaerobica è un gas leggero che può essere adoperato come qualunque altro combustibile per impieghi domestici o industriali. Il fatto di essere prodotto a pressioni poco più alte di quella atmosferica, impone che eventuali trasporti o stoccaggi debbano avvenire a compressioni notevoli che possono determinare maggiori costi. Per questo motivo. Si cerca di usare il biogas direttamente in loco per:

- Alimentare, tramite combustione diretta, fornelli e caldaie per la produzione di energia termica. I requisiti fondamentali di questi dispositivi devono essere la facilità di pulizia e manutenzione, il basso costo e buone proprietà di combustione (ad esempio, fiamma stabile e alta efficienza). In questo caso, la domanda di biogas necessaria per alimentare stufe e fornelli può essere definita sulla base del combustibile legnoso o di altra natura usato in precedenza. Ad esempio, 1 kg di legna corrisponde a 200 litri circa di biogas (F biogas), mentre 1 Kg di letame combustibile corrisponde a 100 litri di biogas e 1 kg di carbonella a circa 500 litri di biogas. Il consumo di biogas può essere espresso in base ai tempi di cottura giornalieri: ad esempio, per un pasto completo sono necessari dai 150 ai 300 litri di biogas /pro capite. Per far bollire un litro d'acqua servono dai 30 ai 40 litri biogas, per mezzo chilo di riso, dai 120-150 litri, per mezzo chilo di legumi circa 160-190 litri.
- Combustione indiretta in impianti di cogenerazione, in cui le caldaie a gas sono accoppiate a turbine per produrre energia elettrica (oltre che termica) da utilizzare per soddisfare i bisogni aziendali o da mettere in rete per la distribuzione tramite enti esterni.

- Combustione in motori alternativi o gruppi elettrogeni per produrre energia elettrica.
- Lampade a biogas per l'illuminazione. Si tratta di speciali lampade che sfruttano l'intensa luminosità di alcuni metalli (torio, lantanio, cerio) fatti riscaldare a temperature molto alte (1000-2000°C). L'efficienza di queste lampade, però, non è paragonabile a quella di normali lampadine elettriche. Una lampada a biogas consuma dai 120 ai 150 litri di biogas al giorno.

Il biogas prodotto può essere sottoposto a processi di depurazione che eliminino l'anidride carbonica, l'acqua e l'azoto contenuti nella miscela. Questi componenti infatti, abbassano il potere calorifico della miscela, mentre l'idrogeno solforato e i composti organici alogenati si comportano da agenti corrosivi causando danno agli impianti di utilizzazione.

In questo modo, i costi legati alla manutenzione della macchine possono ridursi drasticamente e si possono ottenere sensibili miglioramenti nel funzionamento delle stesse per la conversione del biocombustibile nelle forme energetiche desiderate.

Il biogas, prima di essere utilizzato, può essere sottoposto a trattamenti di vario genere mediante

- filtri di sabbia e ghiaia: eliminano i solidi sospesi come grassi, schiume e particolato organico prima dell'aspirazione nei soffianti di ricircolo o di alimentazione delle utenze.
- desolforazione: necessaria per abbattere composti a base di zolfo.
  - sistemi di desolforazione a secco, che prevedono un processo di trattamento di tipo chimico consistente nel far passare il biogas attraverso una sostanza adsorbente (contenente ossidi di ferro o carboni attivi)
  - sistemi ad umido, che possono essere assimilati alle torri di lavaggio (scrubber) che lavano il gas in controcorrente tramite un flusso d'acqua di soluzione basica, che neutralizza l' $H_2SO_4$ , formato dall' $H_2S$ .
  - utilizzo di biofiltri contenenti batteri in grado di degradare i composti solforati (è necessario immettere un 5% di aria nel gas per attivare le reazioni di degradazione).
- deumidificazione: prevista per eliminare l'acqua di condensa che si forma nelle tubazioni in seguito a variazioni di temperatura e/o pressione; può provocare malfunzionamenti. Inoltre la stessa umidità diminuisce il rendimento dei motori endotermici. Esistono diversi sistemi di deumidificazione
  - 1)-Trappole idrauliche o camere di sedimentazione, dove la diminuita velocità del gas per aumento della sezione causa la segregazione per gravità.
  - 2)- cicloni e multicicloni, dove l'acqua viene separata dalla forza centrifuga.

3)- frigoriferi ,in grado di raffreddare il gas da inviare ai motori. In tal modo si separa dal biogas l'umidità che, condensa precipitando contemporaneamente sostanze nocive e corrosive presenti nel flusso gassoso stesso.

### 1.3.2 Uso del digestato

#### 1.4.2.1 Proprietà generali

Il prodotto secondario della digestione anaerobica è rappresentato dal *digestato*, il cui uso, in agricoltura, determina importanti benefici sia direttamente, migliorando le proprietà fisiche e chimiche del terreno, sia indirettamente e più in generale, all'ambiente.

Per quanto riguarda il primo punto, il digestato può rappresentare un buon ammendante, ricco di sostanze humus-precursori (*Adani et al.*), sia un buon fertilizzante ricco di nutrienti.

Un altro aspetto caratteristico è dato non solo dall'assenza di odori, il che rappresenta una garanzia di stabilità dello stesso, ma anche dal fatto di essere, in generale, esente da eventuali sostanze tossiche (ad esempio, metalli pesanti e residui di fitofarmaci).

Altro aspetto importantissimo riguarda poi la composizione chimica del digestato, che, è bene ricordarlo, è frutto di un processo (la digestione anaerobica), che se ben condotto è in grado di determinare profonde modificazioni chimiche, fisiche e biologiche delle matrici organiche di partenza.

Ne è prova, ad esempio, il rapporto C/N ,che rispetto ai materiali di partenza, risulta più stretto nel digestato, come conseguenza della trasformazione di atomi di C da molecole organiche complesse , a metano (CH<sub>4</sub>). Ancora più evidente è la modificazione chimica delle forme di azoto, che dalle forme organiche dei materiali in ingresso, vengono utilizzate dai batteri per demolire la biomassa e trasformate in forme minerali.

Da ciò, consegue un aumento della concentrazione di azoto minerale in forma ammoniacale (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), che diversamente dalla forma nitrica (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, che si forma, ad esempio, esponendo le deiezioni animali all'aria), è solubile in acqua ed è trattenuto dal potere assorbente del suolo, quindi difficilmente lisciviabile in falda dove può contaminare le acque sottosuperficiali.

La quantità di azoto minerale presente nel digestato dipende strettamente dal tipo di materia organica di partenza utilizzata nel digestore. Se ad esempio, si utilizzano deiezioni animali (che contengono già in partenza fino al 70-75% di azoto minerale sul totale dell'azoto), nel digestato vi sarà una maggior quota di azoto minerale(fino all'80- 85)% rispetto all'utilizzo di altre matrici organiche di partenza, ad esempio sottoprodotti alimentari o culture dedicate (insilati di mais, sorgo e triticale), in cui la maggior parte dell'azoto si presenta in forma organica. In questo secondo caso, è infatti l'efficienza del processo di digestione anaerobica a determinare una maggiore o minore quota di azoto minerale nelle forme finali

(fino al 50-60% sull'azoto totale).

Oltre all'azoto, altri importanti nutrienti necessari alla crescita e allo sviluppo vegetale (P, K, Mg, Ca, S) conferiscono al digestato ottime proprietà fertilizzanti.

Le proprietà ammendanti del digestato derivano principalmente dalla presenza di una maggior quota di molecole recalcitranti (lignina, cutina, cere e steroidi) rispetto a molecole più facilmente biodegradabili presenti, in soluzione, nei succhi cellulari.

#### *1.4.2.2 Trattamenti del digestato: la separazione solido-liquido*

Una volta uscito dall'impianto, l'effluente può essere sottoposto ad alcuni trattamenti che ne migliorano la gestione e il futuro impiego.

Il sistema di trattamento senz'altro più diffuso nei paesi industrializzati, è la separazione solido-liquido ottenuta sottoponendo il digestato alla centrifugazione. Grazie a questo metodo di trattamento, si possono ottenere due distinte frazioni:

- separato liquido (o chiarificato) : è un ottimo fertilizzante inorganico perché costituito da una soluzione di ioni ammonio prontamente disponibile per la coltura. Può sostituire fertilizzanti di sintesi (ad esempio urea) riducendo drasticamente i costi per il loro acquisto e apportare benefici ambientali a patto che venga distribuito con modalità (interramento, iniezione diretta) che limitino la dispersione di ammoniaca gassosa.
- separato solido: rappresenta la frazione solida e palabile con buone proprietà ammendanti perché ricca di molecole organiche recalcitranti (humus-precursori). La sostanza organica non è qui del tutto degradata e quindi si presta per essere compostata, stoccandola in cumulo, oppure esportata come ammendante all'esterno delle aziende.

Da ultimo si può osservare che, il trattamento di separazione solido-liquido, migliora la gestione di digestione riducendo la sedimentazione di materiali pesanti e la flottazione di frazioni solide sospese nelle vasche di stoccaggio, che col tempo, e senza tale trattamento, potrebbero intasarsi. Inoltre, si ottiene un miglioramento della pompabilità del substrato, con conseguenti minori costi di manutenzione degli impianti.

Nei paesi in via di sviluppo, il digestato liquido in uscita dall'impianto, può essere direttamente distribuito sulla coltura tramite lo scavo di canalette che sfruttino la pendenza naturale del terreno, meglio se coperte o poste all'ombra di alberi, in modo da ridurre le perdite azotate. In quest'ultimo caso, il requisito fondamentale è che la coltura si trovi in prossimità dell'impianto.

Se il terreno è pianeggiante, la distribuzione può avvenire con l'uso di secchi o carriole.

## **1.4 DIFFUSIONE GLOBALE DI MINI-IMPIANTI DI BIOGAS**

A oggi esistono milioni di impianti per la produzione di biogas a livello mondiale; Le tecnologie e le esperienze adottate sono diverse e variegata tra loro e coinvolgono, oltre che i paesi in via di sviluppo, anche paesi industrializzati, sia pure in misura minore ma sempre più frequentemente.

I mini- impianti di biogas possono essere progettati per soddisfare i bisogni individuali di un'intera famiglia oppure per servire piccole comunità. Sono presenti circa 30 milioni di impianti domestici in Cina, seguiti da 3.8 milioni in India, 200.000 in Nepal e 60.000 in Bangladesh (*Rajendran K., Aslanzadeh S., Taherzadeh M.J, 2012*). La Cina ha incrementato molto rapidamente i propri investimenti in strutture per produrre biogas mentre in India si stanno attuando alcuni tra i più grandi programmi per lo sviluppo di energie rinnovabili a livello mondiale, facendo ricorso alle molte tecnologie oggi disponibili. Tra le misure adottate vi è anche quella rivolta a promuovere la costruzione di impianti di biogas. Anche in altri paesi asiatici, ad esempio in Vietnam, sono state osservate simili linee di tendenza. In Africa, pure essendovi numerosi mini-impianti di biogas, i livelli tecnologici sono ancora molto bassi: l'utilizzo di materiali poveri sotto il profilo tecnico, le scarse conoscenze pratiche così come quelle teoriche promulgate dalle università e dagli istituti di ricerca, sono le cause prime di molti insuccessi.

Per quanto riguarda la situazione nei Paesi avanzati, il numero di impianti per la produzione di biogas a livello domestico è nettamente inferiore rispetto ai Paesi in via di sviluppo: negli Stati Uniti vi sono 162 impianti operativi dal 2010 che forniscono energia per 41,00 famiglie; in Canada 17. Per ciò che concerne l'Europa, il numero di mini –impianti per produrre biogas a livello domestico è in continua crescita: alla fine del 2011, i mini-digestori erano più di 400 in Germania, 350 in Austria, 72 in Svizzera, 65 nel Regno Unito, seguiti dai 35 presenti in Danimarca e 12 in Svezia (*Rajendran K., Aslanzadeh S., Taherzadeh M.J, 2012*).

Un denominatore comune di queste esperienze è rappresentato dal costo relativamente basso di costruzione e dall'utilizzo del materiale di alimentazione rappresentato in maniera quasi esclusiva da residui alimentari, deiezioni derivanti dall'allevamento di animali domestici (bovini, suini, ovi-caprini e avicoli) e, in certi casi, anche da deiezioni umane. Il biogas prodotto negli impianti progettati nelle molteplici realtà locali del mondo, grazie al processo di digestione anaerobica, può essere utilizzato per diversi scopi come alimentare fornelli sui quali cucinare o illuminare piccoli ambienti nelle ore crepuscolari.

## **1.5 CONDIZIONI CLIMATICHE FAVOREVOLI ALLA DIFFUSIONE DI IMPIANTI DI BIOGAS**

### **1.5.1 Condizioni termiche**

La tecnologia del biogas è possibile in quasi tutte le condizioni climatiche. Si può tuttavia asserire che, in linea di massima, i costi legati alla produzione di biogas aumentano in aree in cui le temperature medie sono più basse.

Impianti a biogas senza sistemi di riscaldamento o non adeguatamente isolati non funzionano in maniera soddisfacente quando le temperature scendono sotto i 15°C.

È anche vero che sistemi di riscaldamento possono agevolare il mantenimento di temperature più favorevoli al processo anche in climi freddi e durante l'inverno ma i costi iniziali di investimento e di consumo di gas per il riscaldamento possono ridurre la convenienza economica dei digestori.

Parametri come temperatura media e fluttuazioni termiche tra il giorno e la notte o durante le diverse stagioni, possono inficiare le performance produttive dei digestori.

Per mini-impianti di biogas delle aree rurali, ci si dovrebbe assicurare, in fase di progettazione, che la produzione quantitativa di gas sia sufficiente anche durante la stagione meno favorevole dell'anno. Entro certi limiti, temperature più basse possono essere compensate da tempi di ritenzione più lunghi, ma questo significa anche aumentare le dimensioni dell'impianto.

Cambiamenti della temperatura durante la giornata, non rappresentano un problema per digestori che sono stati costruiti sotto il livello del suolo.

### **1.5.2 Precipitazioni**

La quantità di pioggia annuale o stagionale gioca un ruolo indiretto sul processo di digestione anaerobica. La scarsità di pioggia delle regioni aride può portare, infatti, ad un'insufficiente miscelazione del substrato con l'acqua.

Un basso contenuto di umidità del substrato può perciò ostacolare il processo di digestione anaerobica. In generale:

- In aree caratterizzate da basse precipitazioni, l'allevamento è in genere meno intensivo e perciò vi è una minore disponibilità di letame da utilizzare per alimentare i digestori.
- In aree in cui le precipitazioni sono elevate, il problema è rappresentato dai livelli di acqua sotterranea che possono ostacolare la costruzione di impianti di biogas costruiti sotto il livello del suolo.

### **1.5.3 Idoneità delle zone climatiche**

- foreste tropicali umide, caratterizzate da piovosità annuale superiore ai 1500 mm e temperature medie tra i 24°C e i 28°C, sono climaticamente favorevoli per la produzione di biogas. La

diffusione di malattie tropicali (esempio, Tripanosomiasi) che colpiscono spesso il bestiame in queste aree, possono rappresentare un ostacolo alla produzione di biogas portando di fatto ad una potenziale riduzione della disponibilità di substrato letamico.

- Altipiani tropicali con piovosità comprese tra i 1000 and 2000 mm, di pioggia, temperature medie tra 18 °C e 25 °C (secondo l'altitudine) sono climaticamente favorevoli al processo di digestione anaerobica.
- Savana umida: piovosità compresa tra 800 and 1500 mm, moderati sbalzi termici stagionali. Agricoltura mista con stabulazione notturna e pascolo diurno favoriscono la diffusione di impianti di biogas.
- Savana secca: scarsità idrica stagionale, brusche variazioni di temperatura e sistemi di allevamento rurali rendono difficile la diffusione di impianti di biogas, anche se il loro uso è comunque possibile in prossimità di fonti idriche permanenti o in aziende irrigue.
- Steppe di arbusti e deserti: la costante scarsità d'acqua, le variazioni notevoli di temperatura e il nomadismo delle forme di allevamento rendono impraticabile la diffusione di una tecnologia come il biogas.

## **1.6 PROTOTIPI ESISTENTI DI IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DI BIOGAS A LIVELLO DOMESTICO**

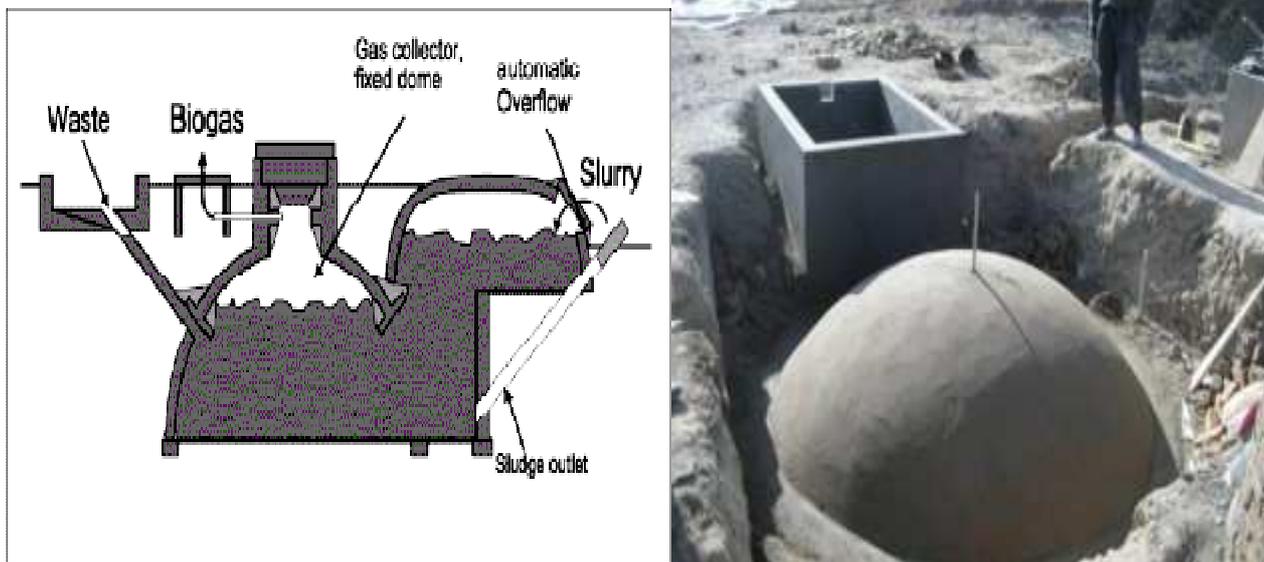
Attualmente nel mondo esistono diversi modelli di mini-impianti di biogas.

Sono qui elencate le soluzioni tecnologiche più frequentemente adottate nei contesti rurali di paesi in via di sviluppo, ma anche avanzati:

- Impianti a cupola fissa (“fixed dome”)
- Impianti a tamburo galleggiante (“floating drum”)
- Impianti tubolari (“balloon “ o “plastic bag”)
- Impianti orizzontali (“horizontal plants”)
- Impianti a fossa (“earth-pit plants”)
- Impianti in ferrocemento (“ferrocement plants”)
- Impianti TLBP (“Toilet Linked Biogas Plants”)

I più diffusi tra questi sono il modello a cupola fissa (“Fixed dome plant”) e a tamburo galleggiante (“Floating-drum Plants”).

### 1.6.1 Impianti a cupola fissa (“Fixed dome plants”)



*Impianto domestico Fixed dome*

Gli impianti a cupola fissa sono caratterizzati, come dice il nome, da un gasometro fisso e non rimovibile collocato sopra il digestore. Il loro costo di costruzione è relativamente basso e non prevedono parti in acciaio che possono arrugginirsi, permettendo quindi all’impianto di durare a lungo (20 anni ed oltre).

L’impianto è costruito sottoterra, e ciò garantisce una protezione da possibili danni fisici e consente inoltre di risparmiare spazio oltre che contrastare le basse temperature notturne o durante la stagione fredda.

La costruzione di impianti a cupola fissa richiede molto lavoro e crea quindi occupazione locale.

Questi digestori non sono di facile costruzione e necessitano di supervisione tecnica svolta da personale esperto.

Un impianto a cupola fissa si compone di un digestore chiuso a forma di cupola, provvisto di un gasometro rigido e di una camera di compensazione. Il gas prodotto è immagazzinato nella parte più alta del digestore. Quando ha inizio la produzione di gas, gli effluenti sono dislocati dal digestore alla camera di compensazione. La pressione aumenta con la quantità di gas immagazzinato e ciò incrementa la differenza di quota tra i livelli di substrato del digestore e della camera di compensazione provocando la risalita in superficie del substrato maturo. Se il gas prodotto è poco, la pressione è insufficiente per spingere il digestato in eccesso nella camera di compensazione.

Il digestore è composto di una struttura in muratura, cemento o cemento armato.

Un impianto a cupola fissa produce quanto un impianto a “tamburo galleggiante” se non insorgono problemi sulla tenuta del biogas.

La produzione di gas è ridotta quando la pressione fluttua notevolmente (questa varia in funzione del volume di gas accumulato). È perciò necessario prevedere regolatori di pressione qualora si richiedano valori costanti di questa (ad esempio per motori).

Oltre alla tenuta del gas possono insorgere rischi di formazione di crepe nella struttura dovute ai cambiamenti di pressione. Per ridurre la formazione di crepe si può predisporre un cosiddetto “anello debole”, cioè una guarnizione flessibile tra la parte più alta e quella più bassa della struttura a emisfero.

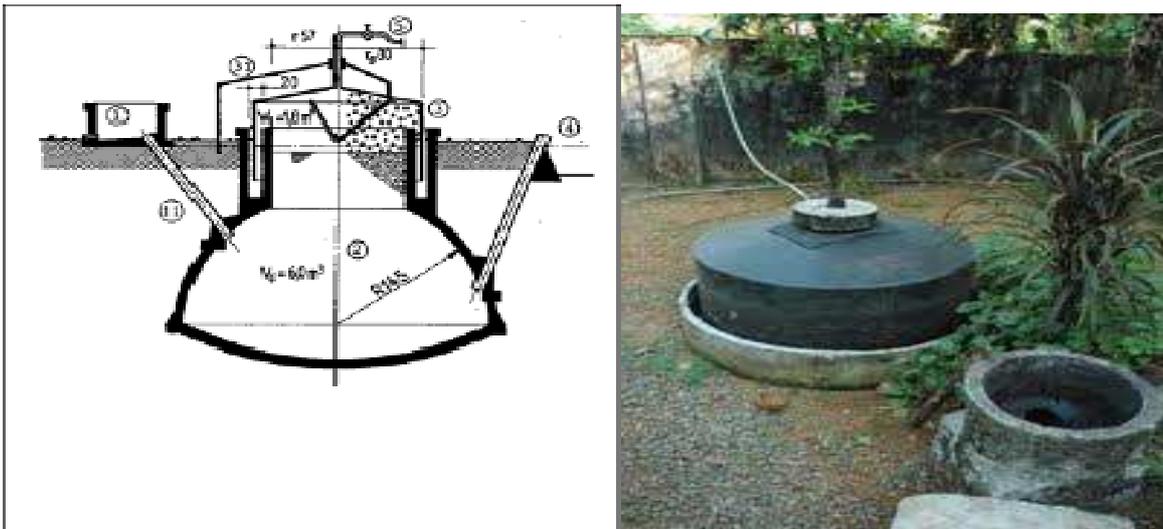
Esistono diversi modelli di impianti a cupola fissa:

- Modello a cupola fissa cinese: è l'archetipo di ogni impianto “fixed dome”. Per la maggior parte sono stati costruiti in Cina. Il digestore consta di un cilindro sormontato da un tappo a sezione rotonda.
- Modello Janata: è stato progettato in India come risposta al modello cinese ma è stato abbandonato in seguito ai molti problemi legati alla formazione di crepe.
- Modello Deenbandhu: rappresenta il modello migliorato del tipo “Janata”; è più resistente di quest'ultimo e richiede meno materiale da costruzione. Il digestore ha una forma ad emisfero.
- Modello Camartec: presenta una struttura ad emisfero; è stato messo a punto per la prima volta in Tanzania verso la fine degli anni '80.

Gli impianti a cupola fissa devono essere ricoperti di terra fino all'estremità superiore del gasometro per contenere la pressione formata all'interno. Per climi freddi è previsto un sistema di riscaldamento interno. Parametri economici suggeriscono volumi non inferiori ai 5 m<sup>3</sup>. Sono possibili anche volumi fino a 200 m<sup>3</sup>.

- Vantaggi: bassi costi iniziali e lungo arco di vita utile; nessuna parte in movimento o metallica che può arrugginirsi; design compatto che risparmia spazio; crea occupazione per l'elevata manodopera necessaria.
- Svantaggi: il gasometro in muratura necessita di speciali materiali sigillanti e alto grado di specializzazione tecnica per ottenere un impianto gas-ermetico; la quantità di gas può non essere visibile; le fluttuazioni di pressione possono rendere complicato l'uso del gas; l'escavazione può essere difficoltosa e antieconomica in suoli rocciosi.

### **1.6.2 Impianti a tamburo galleggiante (“floating –drum plants”)**



*Impianto domestico Floating drum*

Un impianto a tamburo galleggiante si compone di un digestore cilindrico o a forma di cupola e di un gasometro mobile galleggiante o tamburo. Il gasometro quindi galleggia direttamente sopra il substrato in fermentazione oppure è alloggiato sull'acqua contenuta in una guida del muro. Il tamburo, dentro cui si accumula il biogas, è dotato di una struttura esterna o interna di guida che ne permette la stabilità e lo mantiene dritto. Quando il biogas è prodotto spinge il tamburo verso l'alto e ciò permette il mantenimento di pressioni stabili all'interno del digestore.

Questo tipo di impianti sono generalmente utilizzati per la digestione anaerobica di deiezioni animali o umane ricorrendo ad un tipo di alimentazione continuo, cioè introducendo il substrato quotidianamente.

Sono anche impiegati a servizio di fattorie di piccole o medie dimensioni con volumi 5-15 m<sup>3</sup> oppure di edifici pubblici e stabilimenti agro-industriali (digestori con dimensioni da 20-100 m<sup>3</sup>).

- Vantaggi: impianti di facile comprensione costruttiva e operativa. Il gas è a pressione costante, e la produzione è direttamente visibile grazie all'osservazione della posizione del gasometro. Non si hanno perdite di gas poiché il tamburo può essere sottoposto a regolare manutenzione ogni volta che se ne abbia la necessità.
- Svantaggi: alti costi da sostenere per il tamburo in acciaio che inoltre richiede manutenzione perché suscettibile alla corrosione. Per questo motivo, gli impianti a tamburo galleggiante hanno un arco di vita utile più breve rispetto ai modelli a cupola fissa (fino a 15 anni: in zone tropicali costiere circa 5 anni). Se il substrato impiegato è particolarmente fibroso, il gasometro presenta una tendenza a "bloccarsi" nella schiuma galleggiante prodotta.

Gli impianti che poggiano sull'acqua di un compartimento nel muro rispetto a quelli in cui il tamburo

galleggia direttamente sul substrato, consentono una più facile manutenzione dell'impianto oltre che permettere di allungarne la vita utile. Rispondono inoltre a maggiori criteri di esteticità (il gasometro non si sporca), e il costo per realizzare tale adattamento costruttivo è relativamente modesto.

Il digestore è realizzato con mattoni, cemento, muratura in pietra e intonaco. Il tamburo è formato da fogli d'acciaio di spessore 2.5 mm sui lati e 2.0 mm sulla parte superiore. È di fondamentale importanza che il tamburo sia resistente alla corrosione e per questo è di solito trattato con prodotti di rivestimento come vernici ad olio, sintetiche o bituminose che devono essere però applicate a più riprese. Soprattutto in regioni costiere, la riverniciatura deve essere fatta almeno una volta all'anno. La produzione di gas è più elevata se il tamburo è colorato di nero o rosso poiché i colori scuri assorbono meglio la radiazione solare. Il tamburo deve inoltre presentare una superficie leggermente inclinata per facilitare lo scolo dell'acqua piovana e ridurre il rischio di formazione di ruggine. Viceversa, nei tamburi a tetto troppo spiovente, il gas presente all'estremità non può essere usato poiché quando il tamburo è alla massima elevazione, il gas non raggiunge sufficienti pressioni per poter essere adoperato.

Tamburi galleggianti in plastica rinforzata con fibra di vetro e polietilene ad alta densità sono stati impiegati con successo, ma sono più costosi rispetto a quelli in acciaio,. I tamburi in PVC non sono convenienti in quanto non resistenti ai raggi UV.

Nel disegno impiantistico è prevista la costruzione di una struttura per la guida del coperchio a tamburo: quest'ultima serve per fare in modo che il bordo del tamburo non tocchi la parete esterna e non s'inclini. Inoltre deve essere costruita in modo tale da permettere la rimozione agevole del tamburo per le operazioni di manutenzione.

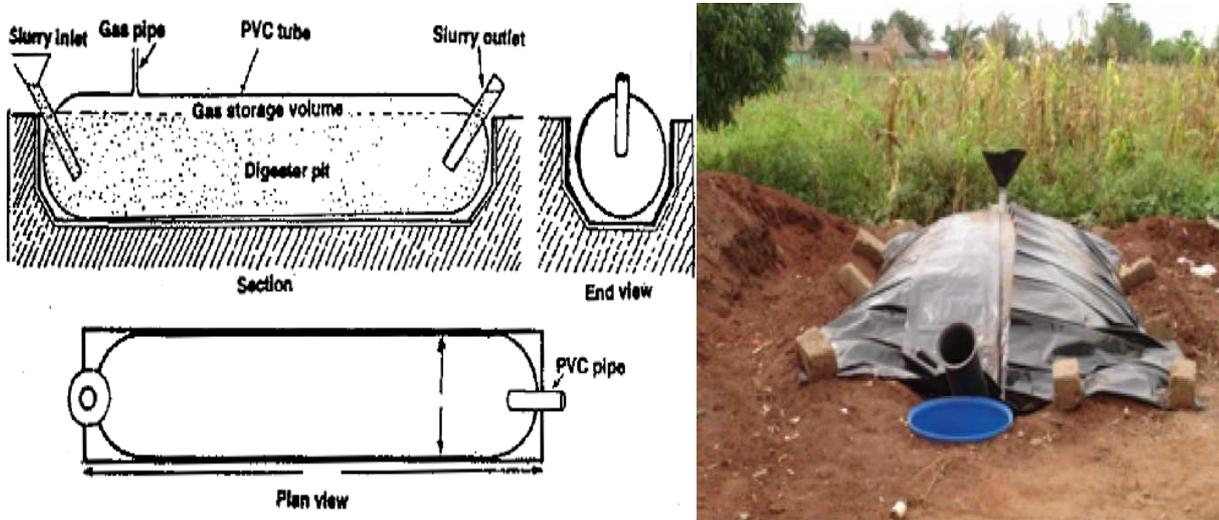
Il tamburo si può rimuovere solo lasciando entrare aria svuotando l'acqua presente nell'intercapedine o aprendo lo sbocco del gas.

Il tamburo può essere eventualmente sostituito da un "pallone". Ciò permette di ridurre ulteriormente i costi di costruzione ma d'altra parte possono insorgere problemi nei punti di attacco del digestore e per la maggiore suscettibilità del pallone ai danni fisici rispetto al tamburo in acciaio. Anche per questa tipologia di impianto sono stati progettati diversi modelli

- **Modello KVIC:** caratterizzato da digestore cilindrico; è stato il primo modello floating drum ad essere costruito ed è senz'altro il più diffuso in India.
- **Modello Pragati :** caratterizzato da digestore emisferico.
- **Modello Ganesh:** fatto di acciaio e plastica
  - Impianto floating-drum . costituito da elementi prefabbricati componibili in cemento rinforzato
  - Impianto floating-drum in poliestere rinforzato con fibra di vetro.

- BORDA model: digestore a emisfero e tamburo galleggiante.

### 1.6.3 Impianti tubolari (“balloon” o “plastic bag”)



*Impianto domestico Plastic bag*

Questi impianti sono caratterizzati da un'elevata semplicità costruttiva. Il digestore è un vero e proprio sacco in materiale plastico (ad esempio in PVC) che funge allo stesso tempo da gasometro. Al digestore tubolare sono direttamente collegati tubi di uscita ed entrata del materiale da digerire. La pressione del gas può essere modulata semplicemente apponendo pesi sopra il sacco. Se la pressione è però eccessiva, la superficie del sacco può danneggiarsi; ecco perché sono spesso previste valvole di sicurezza. Poiché tale materiale è direttamente sottoposto all'azione di agenti atmosferici, deve essere di plastica rinforzata o caucciù sintetico. Altri materiali che possono essere impiegati sono butile, Trevira e RMP (Red mud plastic). La durata di vita utile è 2-5 anni.

- Vantaggi: bassi costi e facilità di trasporto; semplicità costruttiva; alte temperature nel digestore in climi caldi; adattabilità ad ambienti caratterizzati da falde superficiali; facilità di lavaggio, svuotamento e mantenimento.
- Svantaggi: ha una vita utile non particolarmente lunga, elevata suscettibilità a essere danneggiato. Per basse pressioni sono richiesti sistemi di pompaggio.

Una variante di questo tipo di impianti è rappresentata dal digestore “Channel-type”, in cui il gasometro è costituito da un telone in materiale plastico ed è sormontato da una tenda parasole.

### 1.6.4 Impianti orizzontali (“horizontal plants”)

Gli impianti di biogas orizzontali sono di solito scelti per installazioni leggere imposte da terreni rocciosi o con falda superficiale. Sono realizzati in cemento e mattoni.

Vantaggi: costruzioni leggere malgrado gli ampi spazi riservati al substrato

Svantaggi: difficoltà di eliminazione della schiuma; problemi di dispersione del gas.

### **1.6.5 Impianti a fossa (“earth-pit plants”)**

I digestori realizzati con mattoni non sempre sono costruiti su terreni stabili. In questo caso può essere utile, dopo aver scavato la fossa che ospiterà la camera di fermentazione, applicare una griglia metallica cementata in modo da prevenire il rischio di percolazione. Il bordo della fossa è rinforzato da un anello in mattoni che funge da ancoraggio per il gasometro. Il gasometro può essere di metallo oppure costituito da teli di plastica, i cui bordi, appesantiti da una cornice di legno si estendono fino a raggiungere il liquame e sono ancorati al fondo per contrastarne la galleggiabilità. La pressione desiderata è ottenuta apponendovi pesi.

- Vantaggi: bassi costi di installazione
- Svantaggi: breve vita utile; adatto soltanto a suoli impermeabili.

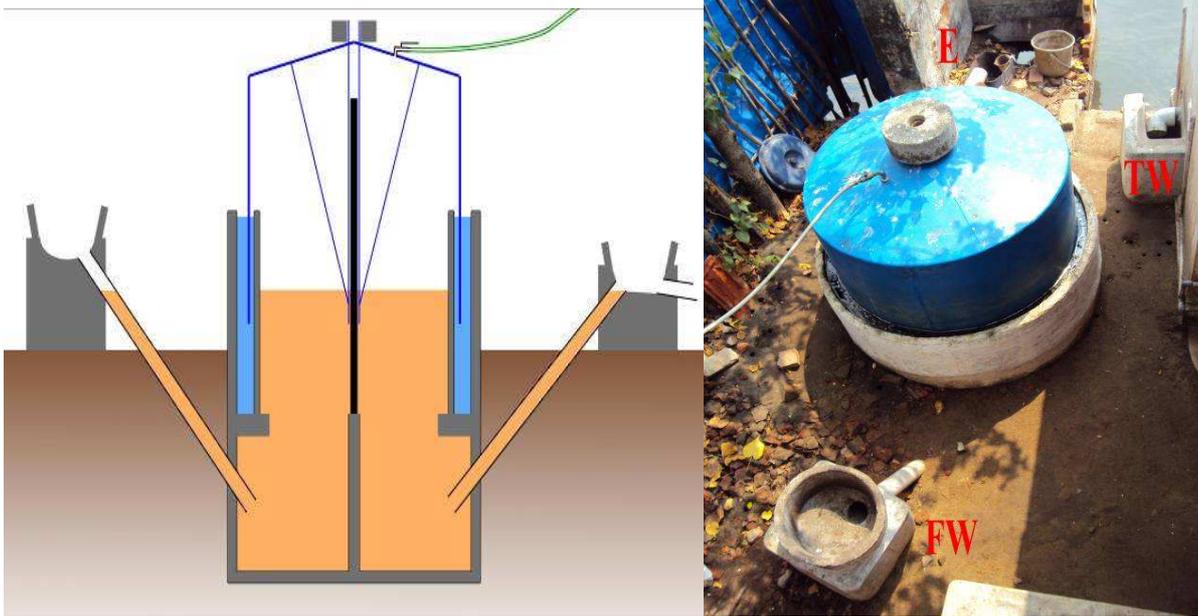
### **1.6.6 Impianti in ferro cemento (“ferrocement plants”)**

Le costruzioni in ferro cemento possono essere applicate sia alla stregua di strutture a guscio auto-supportanti, sia come rivestimenti di fondo per le fosse. La vasca ha una forma generalmente cilindrica e può essere disponibile già prefabbricata con un volume ridotto (6m<sup>3</sup>).

- Vantaggi: bassi costi di costruzione, specialmente se paragonati con costi potenzialmente alti di muratura su impianti alternativi; è possibile la produzione in serie; basso input di materiali.
- Svantaggi: è necessario adottare misure per migliorare la tenuta del gas; necessario un consumo notevole di cemento di buona qualità; l'uso di griglie metalliche può essere costoso; alta qualificazione della manodopera, costruzione non ancora adeguatamente testata per ciò che riguarda il tempo di vita utile.

Tali impianti sono raccomandati solo in quei casi in cui si abbia a disposizione sufficiente know-how sulla realizzazione di strutture in ferro cemento.

### 1.6.7 Impianti TLBP (“Toilet Linked Biogas Plants”)



*Impianto domestico TLBP*

Questi impianti sono diffusi soprattutto nel sud dell'India, dove sono stati progettati per contrastare il problema dello smaltimento dei rifiuti solidi urbani e della carenza d'infrastrutture fognarie. Consentono di operare una digestione sia dell'umido sia delle acque nere provenienti da scarichi delle toilette evitando che questi siano smaltiti in acque stagnanti. Inoltre, producono biogas e fertilizzante organico per le famiglie. I modelli con volume superiore ai 2 m<sup>3</sup> possono essere anche collegati a gabinetti ed essere alimentati, oltre che con materiale organico della cucina, con deiezioni umane.

I mini -impianti in questione, un tempo realizzati in cemento rinforzato, possono ora essere totalmente composti di elementi prefabbricati in plastica rinforzata di fibra di vetro. Ciò ha portato numerosi vantaggi, soprattutto per la facilità di trasporto degli stessi e per la riduzione della manodopera necessaria all'istallazione, anche se risultano i costi di realizzazione sono leggermente più alti. Hanno volumi da 1 a 6 m<sup>3</sup>, e quelli di dimensioni più grandi, anziché avere gasometri galleggianti direttamente sul substrato, sono collocati in un compartimento stagno riempito d'acqua, consentendo perciò minime perdite di gas e un miglioramento delle condizioni di pulizia dell'impianto.

L'impianto presenta un design che riproduce in piccolo il digestore “floating drum” ed è formato da una vasca di digestione, un gasometro a tamburo, un'entrata per l'umido, una per gli scarti del gabinetto, un'uscita per l'effluente e una per il biogas. La tanica di digestione è inserita in una buca del terreno, mentre il tamburo sporge appena fuori dallo stesso. All'interno del digestore è presente una barriera che separa il contenitore in due camere separate: in questo modo i solidi non in sospensione rimangono bloccati nella prima camera, in presa diretta con lo scarico del gabinetto e l'entrata del rifiuto umido,

mentre la frazione liquida si riversa nella seconda camera. Un manico centrale ancorato alla barriera funge da guida per il gasometro che quindi resta dritto e non rischia di capovolgersi.

L'entrata dei residui alimentari e quella di uscita dell'effluente hanno base quadrata (45x45cm) fatta di mattoni e sono collegate all'impianto con tubi disposti ad angolo di 45°C.

Il gasometro si muove lungo l'asse centrale a seconda del volume di gas prodotto. La pressione del gas in uscita può essere aumentata apponendo un peso (ad esempio, una pietra) di 20 Kg.

Una valvola sul gasometro consente la connessione con un tubo che porta il gas alla cucina permettendo la cottura di alimenti su fornelli a biogas.

A carico delle famiglie sono i costi per l'acquisto del cemento (100 Kg), dei mattoni e per l'approvvigionamento di letame bovino (100 Kg) usato per avviare l'impianto. L'assemblaggio è poi effettuato da operai specializzati che terminano l'installazione dell'impianto in circa sei ore.

La co-digestione di diversi tipi di substrato è positiva per il processo di digestione anaerobica, migliorandone la stabilità, la resa in metano e la gestione dei rifiuti.

Nel caso della digestione combinata di scarti alimentari e deiezioni, l'alto rapporto C/N e la biodegradabilità del primo compensano il basso C/N delle seconde. Così, si riduce la tossicità dell'ammoniaca dovuta al basso valore C/N e la scarsa resa in metano, dovuta a basso contenuto di sostanza biodegradabile.

Viceversa, l'alto contenuto di macro e micro nutrienti delle deiezioni compensa quello relativamente esiguo degli scarti alimentari.

Si ottiene dunque un effluente che costituisce una ricca fonte di nutrienti utili per le piante.

Tuttavia, poiché sono utilizzate feci per produrre biogas, devono anche essere considerati potenziali rischi per la salute umana. È necessario dunque assicurarsi che la digestione anaerobica sia abbastanza efficace da inattivare i batteri patogeni. Un uso improprio dei fertilizzanti aumenta il infatti il rischio di contrarre malattie.