



## Ricerca di Sistema elettrico

# Sperimentazione della produzione di biogas con impianto pilota DMM6000

*M. Broglia, R. Ciccoli, S. Galli, P. Gislon, M. Granati,  
F. Petrazzuolo, S. Santomassimo, G. Monteleone*

## SPERIMENTAZIONE IMPIANTO PILOTA DMM6000

M. Brogna, R. Ciccoli, S. Galli, P. Gislou, M. Granati, F. Petrazzuolo, S. Santomassimo, G. Monteleone (ENEA)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Sviluppo di sistemi per la produzione di energia elettrica da biomasse e l'upgrading dei biocombustibili

Obiettivo: Sviluppo dei sistemi di produzione di biocombustibili

Responsabile del Progetto: Vito Pignatelli, ENEA

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....	6
2.1 PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE IMPIANTO SPERIMENTALE.....	6
2.1.1 <i>Schema</i> .....	6
2.1.2 <i>Condizioni Operative</i> .....	9
2.1.3 <i>Componenti e apparecchiature</i> .....	10
2.1.3.1 Sistema di carico (SC).....	10
2.1.3.2 Trituratore (T) .....	11
2.1.3.3 Serbatoio di alimentazione (S-1).....	11
2.1.3.4 Pompa ad immersione (P-1) .....	11
2.1.3.5 Pompa di alimentazione (P-2).....	11
2.1.3.6 Digestore (DMM 6000) .....	12
2.1.3.7 Serbatoio di raccolta del digestato (S-2).....	12
2.1.3.8 Guardia idraulica (S-3) .....	12
2.1.3.9 Logiche di controllo .....	13
2.1.3.10 Strumentazione .....	14
2.1.4 <i>Sistema di Analisi della Composizione</i> .....	15
2.2 SPERIMENTAZIONE IMPIANTO DMM6000.....	19
2.2.1 <i>Biomasse utilizzate</i> .....	19
2.2.2 <i>Condizioni Operative</i> .....	20
2.2.3 <i>Analisi del Biogas Prodotto</i> .....	20
3 CONCLUSIONI.....	22

## Sommario

Nel corso di questa annualità l'obiettivo principale raggiunto è stata la realizzazione della stazione sperimentale e la messa in esercizio del digestore modulare mobile da 6 m<sup>3</sup> (DMM6000®), in grado di produrre fino a 500 Nlitri/ora di biogas.

In particolare è stata progettata tutta la sezione di trattamento della biomassa e di carico della stessa. Il sistema è stato realizzato con un elevato grado di automazione per permettere la gestione dell'impianto pilota 24h su 24h.

Analogamente alla sezione di carico, è stata progettata anche la sezione di uscita del biogas prodotto, con i relativi sistemi di misura e analisi della composizione.

Il DMM6000® è stato messo in esercizio e sono stati ricavati i primi dati sperimentali.

Il report in oggetto riprende la descrizione delle varie fasi seguite, dalla progettazione di tutta la stazione sperimentale, all'acquisizione delle apparecchiature necessarie, alla realizzazione e sperimentazione dell'impianto prototipo.

## 1 Introduzione

La valorizzazione energetica di biomasse di diversa natura (scarti, residui e reflui di produzioni agricole, allevamenti zootecnici e lavorazioni agroindustriali e la frazione organica dei rifiuti urbani), disponibili nell'ambito di un determinato territorio, può essere ottenuta in diversi modi e in particolare, con specifico riferimento alla produzione di energia elettrica su scala locale, mediante la digestione anaerobica (DA) delle biomasse fermentescibili per la produzione di biogas.

Il biogas prodotto può essere utilizzato sia in sistemi di piccola taglia distribuiti sul territorio (da qualche decina di kWe al MWe) per la generazione di elettricità e calore con sistemi basati sull'utilizzo di diversi cicli termici (motogeneratori, turbogeneratori) sia, dopo opportuna purificazione ed upgrading, può essere immesso nella rete gas nazionale come biometano.

La produzione di biometano da immettere nella rete richiede, da un lato, l'ottimizzazione dei processi di digestione anaerobica, per aumentare la resa e la quota di metano prodotta, dall'altro lo sviluppo di sistemi di depurazione che consentano di ottenere il gas della qualità necessaria.

L'attività proposta ha previsto dunque la sperimentazione su dispositivi e impianti pilota di processi e tecnologie, studiati e sviluppati nell'ambito del precedente AdP, per la produzione e purificazione di biogas.

Tra i dispositivi sviluppati vi è il digestore modulare mobile da 6 m<sup>3</sup> (DMM6000®).

Il DMM6000®, in grado di produrre fino a 500 Nltri/ora di biogas, è stato sviluppato con l'obiettivo di effettuare sperimentazioni con mix di biomasse e/o di batteri e provare con biogas reale diversi processi e tecnologie di clean up e di upgrading, in modo da ottenere un biocombustibile gassoso "pulito", utilizzabile per la generazione di energia elettrica o per alimentare sistemi per la produzione di biometano.

Nel corso di questa annualità è stata progettata e realizzata tutta la stazione sperimentali intorno al DMM6000, che ha consentito la messa in funzione del digestore, l'alimentazione dello stesso mediante gli scarti organici della mensa del C.R. Casaccia dell'ENEA, e l'ottenimento dei primi risultati sperimentali.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 Progettazione e Realizzazione Impianto Sperimentale

#### 2.1.1 Schema

Per la prova e sperimentazione del digestore anaerobico DMM6000 si sono individuate alcune sezioni di impianto che svolgono operazioni specifiche sul materiale di alimentazione o prodotto dal processo.

In particolare si sono individuate:

1. una sezione di lavorazione del materiale grezzo (preliminarmente costituito dagli scarti alimentari della mensa del centro ENEA-Casaccia) che deve produrre una miscela acquosa, con solidi sospesi e finemente tritati;
2. una sezione di accumulo, termostatazione ed omogeneizzazione della soluzione organica acquosa prodotta;
3. una sezione di carico automatizzata dell'alimentazione organica;
4. il digestore DMM6000 completo della relativa guardia idraulica;
5. il sistema di misura del gas prodotto (temperatura, portata, composizione);
6. il sistema di trattamento gas (deumidificazione, desolforazione, *up-grading*).

La fase iniziale del progetto qui descritta ha previsto l'installazione e l'esercizio del digestore e quindi le sezioni progettate e realizzate sono quelle che vanno dalla 1 alla 5.

In Figura 1 sono rappresentate le sezioni 1 e 2, quelle di lavorazione del materiale ed accumulo.

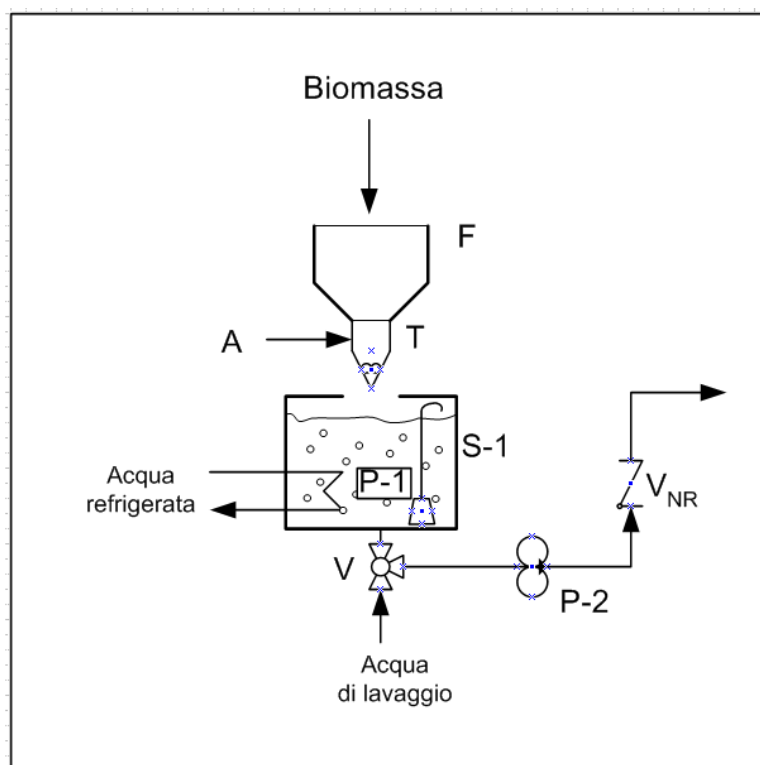


Figura 1. Sezione di carico, triturazione e stoccaggio del materiale di carico al digestore DMM6000

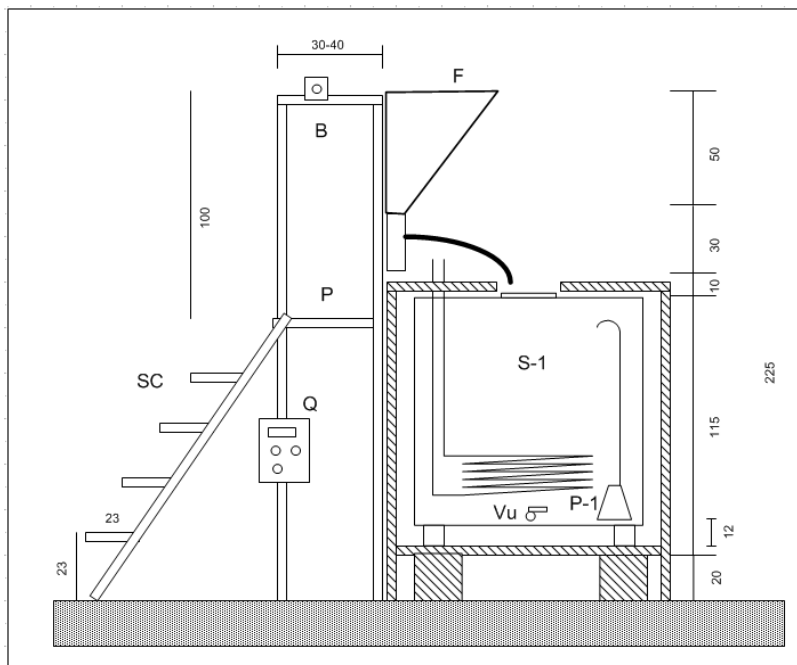
La biomassa grezza viene caricata in una vasca di acciaio inox (F), nel fondo della quale è installato un trituttore di tipo domestico (T). Prove preliminari hanno dimostrato che per produrre una miscela di carica omogenea sarà necessario pretrattare *in loco* la biomassa in un trituttore industriale, così da alimentare al trituttore T del materiale già parzialmente sminuzzato.

Durante la triturazione sarà aggiunta una quantità di acqua (A) tale da avere la concentrazione di materiale solido richiesta.

Il materiale, che si accumula nel serbatoio (S-1), è tenuto ad una temperatura prefissata, così da rallentare la fermentazione aerobica esterna al digestore. Una pompa ad immersione (P-1) è posta nel serbatoio per movimentare la miscela e renderla quanto più omogenea possibile ed evitare la stratificazione del materiale.

Per il caricamento al digestore sarà sufficiente azionare la pompa P-2, che aspira la soluzione attraverso la valvola a tre vie (V) e la farà passare attraverso la valvola di non ritorno VNR, utile ad evitare ritorni di liquido dal digestore al serbatoio.

In Figura 2 si riporta una schematizzazione della realizzazione del sistema di carico ed accumulo della miscela di carico.



**Figura 2. Schema della realizzazione del sistema di carico ed accumulo del materiale di carico al digestore**

Il sistema di carico è completato con una pedana (P), accessibile con una scala (SC), per permettere al personale incaricato di operare in maniera quanto più agevole possibile. Il trituttore (T) sarà attivabile direttamente sulla pedana mediante l'interruttore B; dal quadro elettrico Q (fornito con il digestore), modificato, sarà invece possibile attivare, oltre ai sistemi di gestione del digestore, anche la pompa ad immersione P-1 e quella di carico (P-2 - non mostrata).

Di fatto il sistema di gestione della soluzione di carico e dell'acqua a valle del serbatoio S-1 è un po' più complesso per permettere varie operazioni utili all'esercizio del sistema (riciclo della miscela con la pompa esterna, invio di acqua nel serbatoio S-1, utilizzo diretto dell'acqua, lavaggio della pompa, scarico esterno della miscela dal serbatoio S-1). In Figura 3 è riportato lo schema del sistema di carico (valvole e pompa) (sezione 3) ed il digestore (D).

In particolare a valle della pompa è stata inserita una valvola di sovrappressione, per proteggere la pompa nel caso che la valvola di ingresso del digestore fosse tenuta inavvertitamente chiusa.

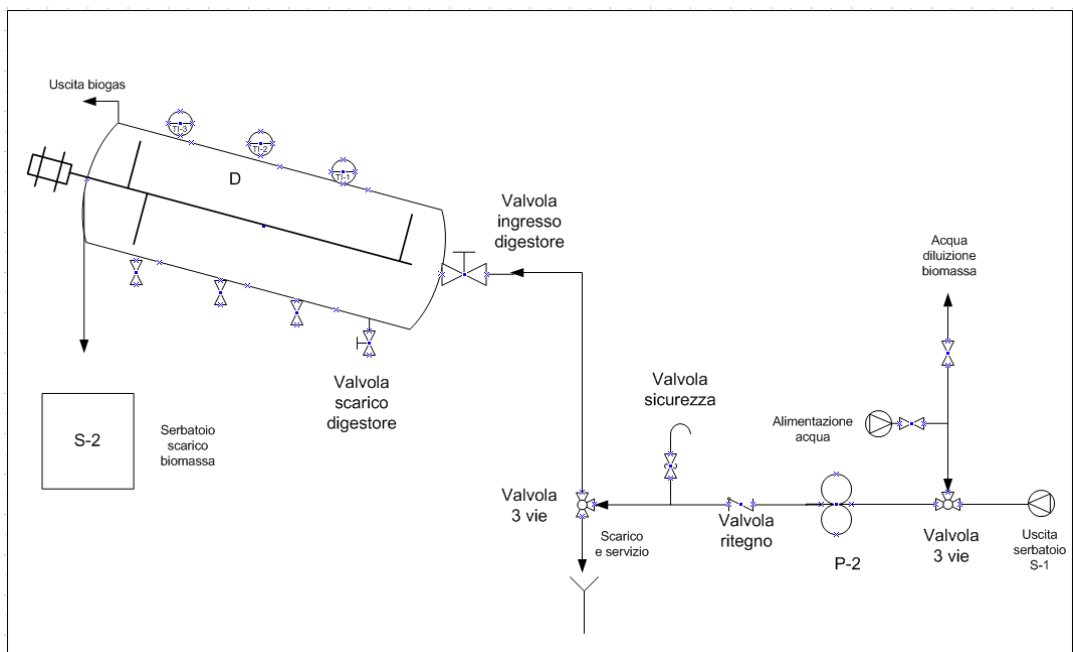


Figura 3. Sezioni di carico e digestore DMM6000

La miscela è caricata nel digestore D dove avviene la fermentazione anaerobica con produzione di biogas e digestato. Il biogas, raccolto nella parte alta del digestore (Figura 4), è convogliato mediante tubazione al sistema di stabilizzazione della pressione interna (guardia idraulica - S-3) ed al sistema di monitoraggio (sezione 5) e trattamento gas (sezione 6).

Il digestore (sezione 4) consiste di un serbatoio coibentato (D), riscaldato elettricamente con un circuito ausiliario ad acqua, e nel cui interno la biomassa è movimentata da un agitatore. Oltre alla valvola di ingresso è predisposta una valvola nella parte più bassa, per permettere il completo svuotamento del serbatoio. Sul fianco sono installati tre misuratori di temperatura e tre valvole per il prelievo di biomassa. Il digestato, tracimando dallo stramazzo interno, sarà convogliato e raccolto in un serbatoio esterno S-2.

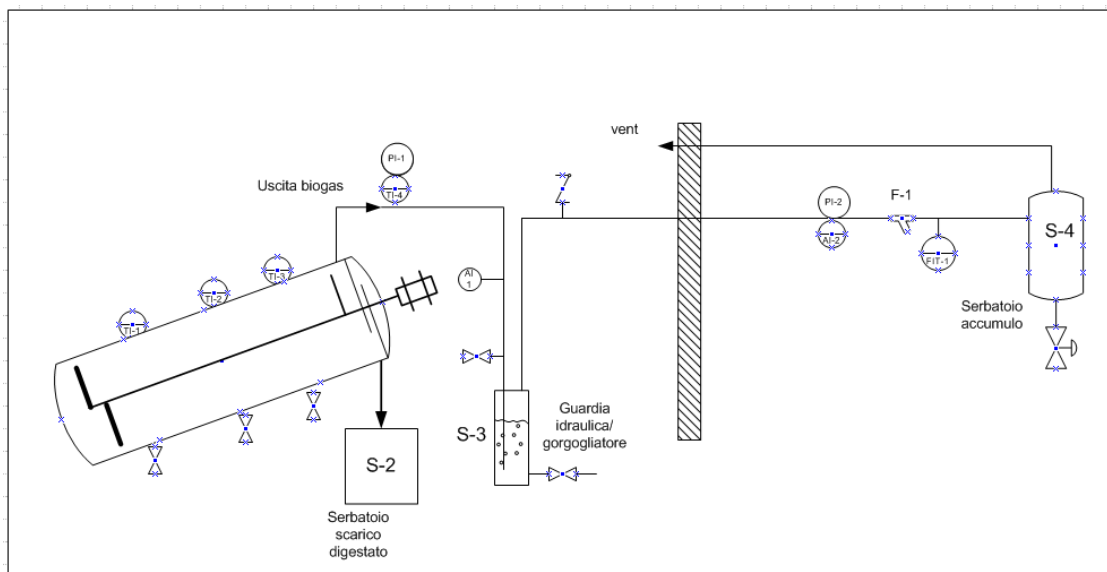


Figura 4. Sezioni digestore DMM6000 e di misura



Il biogas è prelevato dalla parte alta del digestore ed inviato nella sottostante guardia idraulica (S-3), utile a mantenere stabile la pressione nel serbatoio.

Sulla linea di ingresso ed uscita dalla guardia idraulica sono state inseriti alcuni strumenti utili alla caratterizzazione del gas prodotto (pressione, temperatura, concentrazione e portata del gas uscente dal digestore), che costituiscono la sezione 5 dell'impianto. A valle della sezione di misura il gas è scaricato in atmosfera.

La sezione di trattamento (sezione 6) sarà progettata e realizzata nella fase successiva del progetto.

### 2.1.2 Condizioni Operative

La messa in marcia del digestore DMM6000 è stata effettuata fissando le condizioni operative indicate dal costruttore al fine di individuare una condizione di lavoro stabile e di riferimento per le prove successive.

In particolare la temperatura del riscaldamento del digestore, la cui misura è rilevata dalla termocoppia posta nella parte inferiore del serbatoio D, è stata fissata al valore di 37 °C, tipica della digestione anaerobica mesofilica.

Per quanto riguarda invece la temperatura della resistenza riscaldante, la cui funzione è comunque più di sicurezza che di controllo del processo fermentativo, è stata fissata a 70 °C.

L'altro parametro della gestione del DMM6000 è la frequenza e durata dell'attivazione del miscelatore, che è stata fissata, mediante il timer interno presente nel quadro di controllo, per una movimentazione della biomassa per 2 minuti ogni 5 minuti.

Per quanto riguarda la gestione dell'alimentazione della biomassa nel digestore i tempi e la frequenza di alimentazione sono stati fissati con la logica di alimentare in maniera continua una quantità limitata di biomassa (al fine di ridurre i tempi della lavorazione, attualmente manuale, dei residui alimentari forniti dalla mensa della Casaccia). Ci si è fissati nell'alimentare il digestore ogni 6 ore per 15 secondi, così da avere un quantitativo giornaliero di 26 litri (portata nominale della pompa).

Infine l'azione di rimescolamento nel serbatoio di carico, dopo alcune prove tese ad individuare il numero minimo di azionamenti (così da ridurre l'effetto negativo dell'aereazione della biomassa, ma cercando di mantenere una miscela quanto più omogenea possibile), ha portato ad alimentare la pompa ad immersione per 5 minuti ogni 90 minuti.

In Tabella 1 sono riportati i parametri di regolazione del processo di digestione, eventualmente da modifica per studiarne l'effetto sul processo fermentativo.

**Tabella 1. Parametri di regolazione dei servizi del digestore DMM6000**

Parametro	Valore
Temperatura del riscaldamento del digestore	37 °C
Miscelatore : Durata e Frequenza (D&F)	per 2' ogni 5'
Alimentazione della biomassa (26 L/min) (D&F)	per 15" ogni 6 h
Rimescolamento nel serbatoio di carico) (5 m <sup>3</sup> /h) (D&F)	per 5' ogni 90'
Temperatura max della resistenza riscaldante	70 °C

### 2.1.3 Componenti e apparecchiature

Con riferimento agli schemi di cui al punto 2.1.1 si riportano in questo capitolo le caratteristiche delle apparecchiature utilizzate.

Il trituratore T si è mostrato abbastanza problematico da gestire; gli scarti filamentosi lo mandano spesso in blocco e la quantità di biomassa processata nell'unità di tempo risulta troppo esigua per le esigenze dell'impianto. Occorrerà installare un nuovo trituratore, di tipo più industriale che domestico, in modo da ridurre i tempi necessari alle operazioni di preparazione della miscela di alimentazione al digestore.

Da segnalare inoltre il ripetuto blocco della pompa ad immersione P-1, blocco dovuto all'ostruzione del condotto di aspirazione e/o di mandata causato essenzialmente dalla presenza di particelle filamentose in grado di aggregarsi tra di loro fino a formare grumi troppo grossi per le caratteristiche della pompa. Il problema si presenta con cadenza all'incirca settimanale ma potrebbe diventare più frequente in base all'aumento della portata giornaliera o alla variazione delle caratteristiche morfologiche e della densità della biomassa presente in sospensione.

Si sta valutando se sia il caso di installare una pompa più grande e più adatta al tipo di sospensione oppure orientarsi verso un sistema di agitazione ed omogeneizzazione completamente diverso.

Pur essendo piuttosto macchinosa l'operazione di pulizia della pompa P-1 è necessaria: deve essere estratta dal serbatoio, scollegata alla tubazione e flussata con acqua pulita in entrambe le direzioni. Tuttavia il suo blocco non compromette l'operatività dell'impianto nelle sue attuali condizioni di esercizio.

#### 2.1.3.1 Sistema di carico (SC)

E' costituito da una pedana metallica posta all'altezza di m. 1.15 da terra ed avente dimensioni pari a 100 x 94 cm, raggiungibile mediante scaletta a cinque gradini e protetta da una ringhiera alta 95 cm. La tramoggia di carico F è stata realizzata in acciaio inox, ha una bocca di carico 70 x 60 cm ed un foro di uscita in basso del diametro di 40 mm cui è stato collegato il trituratore (Figura 5).



Figura 5. Sistema di carico, trituratore e serbatoio di alimentazione

### 2.1.3.2 Trituratore (T)

Marca:	NTA Eco 706
Tipo:	a centrifugazione
Velocità di rotazione:	11000 – 24000 giri/min
Tensione:	220 V
Frequenza:	50 Hz
Peso:	2,4 kg

### 2.1.3.3 Serbatoio di alimentazione (S-1)

E' realizzato in materiale plastico ed è rinforzato con nervature metalliche per permetterne la movimentazione coi mezzi specializzati. E' costituito da un cubo di 1 m. di lato (capacità utile ca. 1000 lt.) ed è dotato di una scala graduata su una delle facce laterali.

### 2.1.3.4 Pompa ad immersione (P-1)

Marca:	Karcher SCP 6000
Tipo:	Girante standard
Materiale:	Realizzata interamente in materiale plastico
Tensione:	220 V
Frequenza:	50 Hz
Potenza:	250 W
Portata max.:	6,0 m <sup>3</sup> /h
Prevalenza max.:	5 m
Profondità max. di immersione:	9 m
Granulometria max. sospensione:	5 mm
Peso:	4 kg
Rumorosità:	49 dB

### 2.1.3.5 Pompa di alimentazione (P-2)

Marca:	Asco Nivit
Tipo:	Vite eccentrica (monovite)
Materiale:	Rotore in AISI 316, statore in materiale plastico
Tensione:	380 V
Frequenza:	50 Hz
Potenza:	1500 W
Portata:	26 lt/min
Prevalenza:	6 bar

La pompa di alimentazione ed il relativo sistema di valvole necessario per il carico del digestore, il lavaggio delle linee e della pompa stessa, nonché l'eventuale riciclo della biomassa al serbatoio S-1 sono mostrati in Figura 6.



Figura 6. Pompa di alimentazione e sistema di valvole per il caricamento del digestore

#### **2.1.3.6 Digestore (DMM 6000)**

Le caratteristiche tecniche e la descrizione del funzionamento del digestore sono riportate nel Report RdS/2011/313.

#### **2.1.3.7 Serbatoio di raccolta del digestato (S-2)**

E' realizzato in materiale plastico rinforzato con nervature metalliche per permetterne la movimentazione coi mezzi specializzati. E' costituito da un cubo di 1 m. di lato (capacità = 1000 lt.) ed è dotato di una scala graduata su una delle facce laterali. Il sistema di raccolta del digestato e la guardia idraulica di controllo pressione vengono mostrati nella Figura 7.

#### **2.1.3.8 Guardia idraulica (S-3)**

E' costituita da un cilindro di acciaio inossidabile avente diametro 27 cm ed altezza complessiva pari a 60 cm; la quota utile di controllo del livello liquido all'interno del serbatoio è di 50 cm. La guardia idraulica è dotata di indicatore di livello a vista tramite tubicino di vetro comunicante con l'interno dell'apparecchiatura, di bocchelli laterali per ingresso e uscita acqua e di bocchelli per entrata e uscita gas proveniente dal digestore, posizionati sulla flangia superiore.



**Figura 7. Scarico del digestato e guardia idraulica**

### **2.1.3.9 Logiche di controllo**

Il controllo del processo è molto semplice e si limita essenzialmente al mantenimento della temperatura ottimale per il processo di digestione anaerobica.

Il digestore è dotato di una regolazione di temperatura costituita da un sistema di riscaldamento con acqua a circuito chiuso in grado di mantenere un valore fino a 60 °C all'interno dell'apparecchiatura; l'elemento scaldante è costituito da una batteria di resistenze elettriche e il flusso di acqua è ottenuto tramite un circolatore in linea .

Il quadro di controllo del digestore presenta 3 indicatori di temperatura corrispondenti a termocoppie posizionate a diverse altezze; uno di questi indicatori esercita anche la funzione di controllo ed è perciò dotato di set point regolabile.

La temperatura impostata viene mantenuta attraverso la circolazione di acqua a circuito chiuso all'interno dell'apparecchiatura; l'acqua passa attraverso il banco di resistenze e poi trasferisce il calore alla sospensione che si trova all'interno del digestore. Quando il valore di set point è stato raggiunto il banco di resistenze si spegne.

In caso di rottura del circolatore dell'acqua lo spegnimento delle resistenze è garantito dalla presenza di uno switch di alta temperatura comandato da un sensore posto sulla linea dell'acqua in uscita dallo scambiatore elettrico.

Il mescolamento della biomassa all'interno del digestore è affidato ad un agitatore che viene attivato con tempi prestabiliti e regolabili agendo su un timer all'interno del quadro di controllo.

Il mescolamento della biomassa nel serbatoio di alimentazione è invece affidato, come già detto, alla pompa sommersa P-1 che è stata asservita ad un timer in modo da programmarne tempi e durata dell'intervento.

L'alimentazione del digestore avviene automaticamente tramite la pompa a monovite P-2; anch'essa è comandata da un timer in modo da caricare la quantità di biomassa giornaliera desiderata ad orari e in quantità prestabilite.

La pressione all'interno del digestore può essere regolata variando il livello di liquido nella guardia idraulica posta sulla linea di uscita del gas: l'indicatore di livello a vista permetterà di ottenere la pressione desiderata agendo sulle valvole di ingresso e di uscita dell'acqua.

### 2.1.3.10 Strumentazione

La strumentazione dell'impianto è costituita fondamentalmente dai 3 indicatori di temperatura posizionati all'interno del quadro elettrico del digestore; a questi si aggiungono i sistemi di misura della portata di biogas prodotto.

E' stato installato un contatore volumetrico Ariete (Figura 8) per misurare il montante di metano prodotto con indicazione solo locale, mentre il misuratore di portata istantanea Bronckhorst del tipo a termoconducibilità, installato nella hall adiacente l'impianto, permette la misura e registrazione continua della portata di biogas prodotto.



Figura 8. Contatore volumetrico del gas prodotto

### 2.1.4 Sistema di Analisi della Composizione

Il biogas prodotto dal digestore verrà inviato, opportunamente condizionato, ad uno strumento per determinarne la composizione e studiare come questa vari al variare della qualità di alimentazione del digestore e delle condizioni di processo.

La scelta dello strumento sul mercato più adatto alle nostre esigenze è stata effettuata attraverso i seguenti passi:

1. ricerca sul mercato italiano di strumenti per analisi biogas;
2. selezione delle tre ditte con gli strumenti più versatili;
3. interazione diretta e continua con i rappresentanti delle tre ditte per definire sulla base delle nostre esigenze, dei prodotti disponibili e della loro esperienza con altri clienti il modello, la configurazione e gli accessori dell'analizzatore di biogas più consoni alla sperimentazione sul digestore rispetto all'uso più comune di analizzatore di un processo produttivo;
4. scelta tra le tre proposte;
5. ordine dello strumento.

L'intero iter di selezione e acquisizione del sistema di analisi del biogas ha richiesto diversi mesi di contatti, è iniziato a febbraio 2013 e si concluderà con la consegna e collaudo dello strumento la prima settimana di ottobre.

Uno strumento di analisi biogas è composto da diverse celle di misura, una per ogni componente del biogas, quindi essenzialmente una per  $\text{CH}_4$ , una per  $\text{CO}_2$ , una per  $\text{O}_2$  ed una per  $\text{H}_2\text{S}$ . Opzionali sono quella per la misura del  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  e del  $\text{NH}_3$ . Le due celle per la misura di  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  sono celle ad infrarossi (NDIR), le due per la lettura di  $\text{O}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$  sono celle elettrochimiche (EC).

La misura più complessa è quella dell'idrogeno, gli stessi costruttori riconoscono che non riescono a garantire una misura accurata della quantità di idrogeno, ma solo un trend o un'analisi comparativa. Essendo tuttavia un parametro importante per l'analisi del processo di fermentazione, è stato deciso di includere la cella relativa.

Anche la quantità di ammoniaca è difficile da determinare perché si dissolve in acqua, quindi la quantità di ammoniaca che arriva alla cella di analisi non è quella prodotta dal digestore. Per cui in questo caso si è deciso di effettuare la misura direttamente all'uscita del digestore, con uno strumento dedicato, separato dall'analisi degli altri gas.

La cella per la misura del  $\text{H}_2\text{S}$  ha bisogno di una frequenza di campionamento più bassa di quella delle altre celle, che possono lavorare in continuo, perché richiede dei tempi di "purga", basandosi su un sensore del tipo a cella elettrochimica.

Ogni cella di misura è collegata ad un canale dello strumento, la cui uscita, analogica o digitale, viene gestita da un data logger; il software del sistema gestisce il campionamento e il salvataggio dei dati.

Il biogas deve essere condizionato per eliminare l'umidità tramite filtri o in caso di gas saturo tramite un chiller a cella peltier. Completano lo strumento due pompe, una per il campionamento e una per la rimozione della condensa. Sono opzionali diversi sensori per determinare le condizioni operative del gas, un sensore (ed eventualmente regolatore) di pressione, un sensore di temperatura e di portata. Lo strumento deve essere calibrato per i diversi gas di interesse.

Le informazioni fornite per poter definire il modello di strumento da acquisire sono state le seguenti:

- Strumento portatile o a postazione fissa;
- Numero e tipo di gas da analizzare e relativi fondo-scala;
- Tipi di uscita dallo strumento (interfaccia con computer);
- Tipo di filtrazione richiesta (grado di umidità del gas);
- Tipo di cabinato e grado di protezione (IP);
- Distanza dello strumento dal punto di prelievo;
- Numero dei punti di prelievo.

Nello specifico la richiesta d'offerta formulata prevedeva:

1. Unico punto di misura
2. Celle per la misura dei seguenti gas:
  - CH<sub>4</sub> (range 0-100%)
  - CO<sub>2</sub> (range 0-100%)
  - O<sub>2</sub> (range 0-25%)
  - H<sub>2</sub>S (range 2000 ppm)
  - H<sub>2</sub> (range 2000 ppm)
3. Contenitore trasportabile, IP54 o superiore, per esterno
4. Linee di prelievo lunghe circa 20m
5. Scansione automatica delle celle a intervalli definiti, eventualmente con tempi di scansione diversi sui diversi gas
6. Condizionamento gas con cella peltier con rimozione automatica della condensa, per trattamento gas saturo
7. Regolatore di pressione fino 1 bar
8. Segnale in uscita 4-20 mA+ interfaccia profibus
9. Collaudo presso i nostri laboratori

La selezione finale è caduta sullo strumento Analizzatore Biogas ETG MCA100 BIO prodotto dalla ETG, mostrato in Figura 9.



**Figura 9. Analizzatore biogas prodotto dal digestore**

Tale sistema è idoneo per la misura del biogas in un singolo punto a valle di un sistema di trattamento del biogas stesso, ed effettua misure in continuo per CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, ed in discontinuo per H<sub>2</sub>S, con selezione automatica della funzione sample o purge.

L'analizzatore è costituito da:

- scheda di analisi NDIR per la misura di CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>
- Cella elettrochimica per la misura di H<sub>2</sub>S e O<sub>2</sub>
- Real time analysis
- Visualizzazione degli ultimi 30 min di dati acquisiti (tramite grafico)
- Registrazione su scheda SD dei dati acquisiti con indicazione del punto di misura
- Download dei dati tramite USB
- Filtro per la rimozione delle polveri
- Sistema di pulizia cella ECD H<sub>2</sub>S al fine di prolungarne la durata
- Sistema di "hold" (congelamento dato) su uscita 4-20 mA durante la pulizia della cella H<sub>2</sub>S
- N° 4 output analogici 4-20 mA
- Interfaccia profibus
- Touch screen da 5.7"
- Contenitore da banco 6HE profondità 500 mm



- Peso 7 kg

In Figura 10 si riportano le specifiche tecniche di tutto il sistema, che include N° 1 scheda NDIR per misura CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, N° 2 celle elettrochimiche per la misura di H<sub>2</sub>S e O<sub>2</sub> e N° 1 cella di misura per H<sub>2</sub>.

<b>Specifiche analisi</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• N°1 Scheda NDIR di misura CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub></li> <li>• N°2 Celle elettrochimiche per la misura dell' H<sub>2</sub>S e dell'O<sub>2</sub>.</li> </ul>	
<p>La misura dell'H<sub>2</sub>S viene gestita tramite software alternando cicli di misura e purga. Tale sistema permette di prolungare il tempo di vita della cella.</p>	
<b>Campi scala :</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CH<sub>4</sub> _____ 0...100 vol% (NDIR)</li> <li>• CO<sub>2</sub> _____ 0...100 vol% (NDIR)</li> <li>• O<sub>2</sub> _____ 0...25 vol%(ECD)</li> <li>• H<sub>2</sub>S _____ 0...2000 ppm (ECD)</li> </ul>	
Caratteristiche tecniche:	
Portata del gas	0.7 – 1.2 lt/min
Pressione del gas in ingresso	< 1 Bar
Caratteristiche del campione	Anidro, polveri < 1um, privo di olii, etc
Tempo di risposta (TD+T90)	<10s (NDIR)
Warm-up	30 min.
Segnale in uscita	4-20 mA
Temperatura di esercizio	0-50°C
Umidità relativa	5-85%
Pressione aria ambiente	86 - 108kPa
Alimentazione elettrica	220V±44V AC 50Hz±1Hz

**Figura 10. Specifiche tecniche del sistema analitico per la determinazione di CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S**

- N° 1 Cella di misura H<sub>2</sub> (Figura 11)

Nominal Range 0 – 2'000 ppm
Maximum Overload 4'000 ppm
Expected Operation Life 2 years in air
Output Signal 4-20 mA
Resolution 3 ppm
Temperature Range - 20 °C to 50 °C
Pressure Range Atmospheric ± 10%
Pressure Coefficient No data
T90 Response Time < 45 sec
Relative Humidity Range 15 % to 90 % R.H. non-condensing
Typical Baseline Range (pure air, 20°C) -15 to + 15 ppm
Maximum Zero Shift (+20°C to +40°C) 30 ppm
Long Term Output Drift < 2% signal loss/month
Recommended Load Resistor 10 Ohm
Bias Voltage Not required
Repeatability 2 % of signal
Output Linearity Linear

**Figura 11. Specifiche tecniche del sistema analitico per la determinazione di idrogeno**

Trattamento del campione: come già indicato l'analizzatore viene fornito con un sistema di trattamento del gas da analizzare, dotato di una pompa di campionamento, un regolatore di pressione, filtri antipolvere, frigo e pompa peristaltica per la rimozione della condensa. Il tutto montato all'interno dell'armadio trasportabile dove è allocato tutto il sistema analisi. Il sistema di trattamento ha le seguenti caratteristiche:

- Mod. AAC 150
- Portata massima 200 NI/h
- Pressione massima 3 bar
- 1 scambiatore
- Perdita di pressione 2 mbar a 200 NI/h
- Alimentazione 230 V
- Pompa peristaltica
- Temperatura di esercizio + 5/+45 °C

In Figura 12 si riporta un'immagine del sistema di trattamento del campione da analizzare.

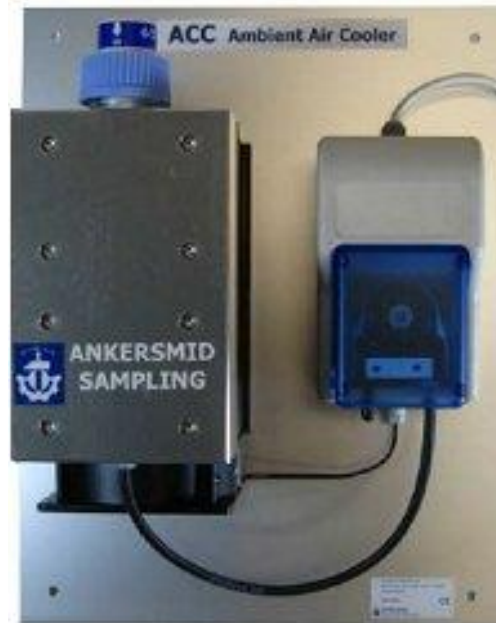


Figura 12. Sistema di trattamento del gas da analizzare

## 2.2 *Sperimentazione Impianto DMM6000*

### 2.2.1 **Biomasse utilizzate**

La campagna sperimentale è stata avviata utilizzando un inoculo misto proveniente da due diversi impianti di fermentazione anaerobica: una parte, circa 2 m<sup>3</sup>, da un impianto sperimentale che trattava una coltivazione energetica (topinambur) per la produzione di biogas, altri 2 m<sup>3</sup> dal primo stadio di un impianto industriale alimentato a deiezioni animali e scarti vegetali sito a Nepi (VT).

La biomassa per l'alimentazione utilizzata in questa prima fase di avvio è costituita da scarti organici (FORSU) provenienti dalla mensa ENEA del Centro Ricerche della Casaccia. Il materiale prima di ogni carico è pesato, sottoposto a macinazione con contemporanea aggiunta di una quantità equivalente di acqua di rete, e stoccato in un contenitore.

La quantità della sostanza secca nella biomassa iniziale variava tra il 16 e il 25% in peso. La biomassa è poi introdotta all'interno dell'apparecchiatura per mezzo di una pompa adatta alla movimentazione di soluzioni dense (vedi par. 2.1.3.5).

#### DATI DI ALIMENTAZIONE:

La sostanza secca presente nel serbatoio di alimentazione oscilla tra il 4,1 e il 8,9% come mostrato nel grafico in Figura 13. La determinazione della sostanza secca viene fatta per perdita di peso lasciando una adeguata aliquota di biomassa a 105 °C per 24 h.

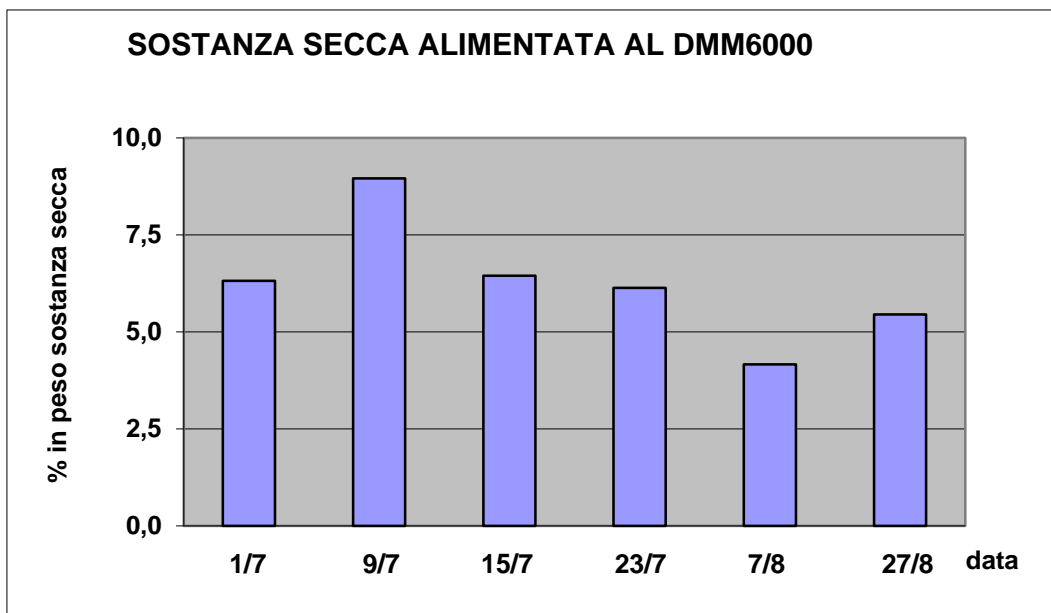


Figura 13. Contenuto di sostanza secca nella biomassa alimentata

In questa prima fase di avvio, per consentire una adeguata acclimatazione della biomassa si è alimentato il DMM 6000 con una quantità minima tale da garantire un tempo di ritenzione molto lungo.

### 2.2.2 Condizioni Operative

Si riassume quanto già riportato al par. 2.1.2: l'alimentazione viene effettuata ad intervalli di 6 ore, introducendo un carico organico, considerando le sole sostanze volatili (SV), compreso nell'intervallo  $0,096 \div 0,21 \text{ kg m}^{-3} \text{ die}^{-1}$  nell'arco delle 24 ore e corrispondenti ad un tempo di ritenzione di 230 giorni. Il digestore opera in condizioni di mesofilia con una temperatura oscillante nell'intervallo 37-39 °C.

### 2.2.3 Analisi del Biogas Prodotto

Periodicamente è stato misurato il rapporto acidità/alcalinità (FOS/TAC) nel digestato per verificare il processo di fermentazione. L'acidità (FOS) è misurato in mg di acido acetico equivalente e l'alcalinità in mg di carbonato di calcio per litro. Valori di 0,3-0,5 indicano un buon processo fermentativo in corso, valori inferiori a 0,2 indicano un carico organico troppo basso. I valori misurati sono stati costantemente  $< 0,15$  confermando le condizioni di sottoalimentazione attese.

La produzione di biogas è stata costantemente monitorata a partire del 6 Agosto. In Figura 14 è riportato la velocità di produzione espressa in L/min.

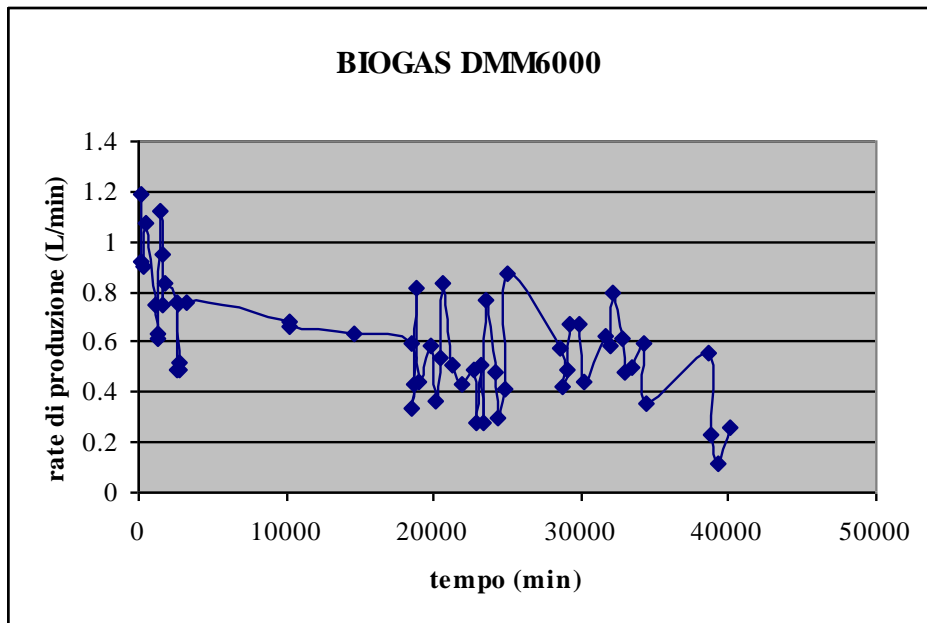


Figura 14. Volume di biogas prodotto nel tempo

Sono state fatte delle analisi del biogas, che hanno confermato la presenza di metano ed anidride carbonica. Nel grafico riportato in Figura 15 sottostante sono mostrate le concentrazioni espresse in percentuale in volume del gas.

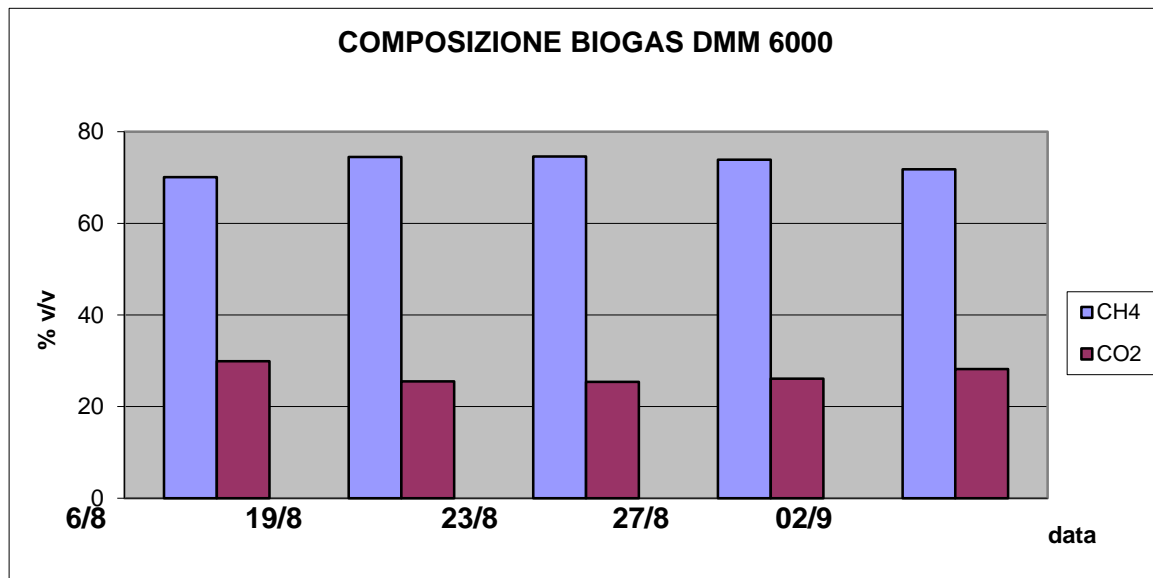


Figura 15. Composizione del biogas prodotto

Le elevate percentuali di metano indicano chiaramente che il processo è nella fase di start-up. A regime, la quantità di metano nel biogas dovrebbe attestarsi tra il 55-65% in volume.

### 3 Conclusioni

L'attività di questo anno ha previsto principalmente la progettazione, la realizzazione e l'allestimento di tutto l'apparato sperimentale necessario alla messa in marcia dell'impianto pilota DMM6000, con un elevato grado di automazione che consentisse a tutti il sistema di rimanere in funzione 24 h su 24.

Si è poi proceduto al carico del digestore con rifiuti provenienti dalla mensa del Centro; nella fase attuale il digestore è da considerarsi ancora in condizioni di start-up per garantire l'acclimatazione della flora batterica all'interno dello stesso affinché il processo di fermentazione anaerobica possa svilupparsi con successo.

Le analisi del biogas e della biomassa evidenziano che alle condizioni operative date il processo si sta consolidando per cui si procederà al raggiungimento dello stato stazionario con incrementi programmati di sostanza secca alimentata.