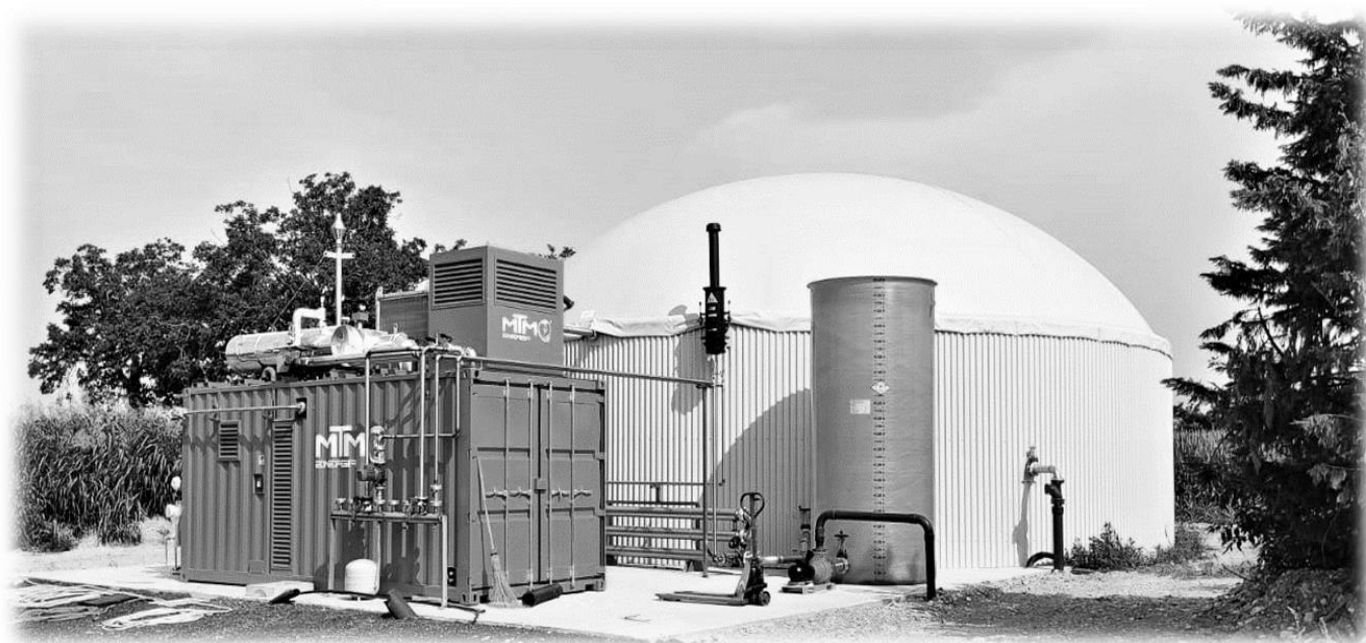


Prof. Dr. Alessandro Arioli, PhD

Tecnologia di biodigestione anaerobica “Micro”
Informazioni tecniche primarie



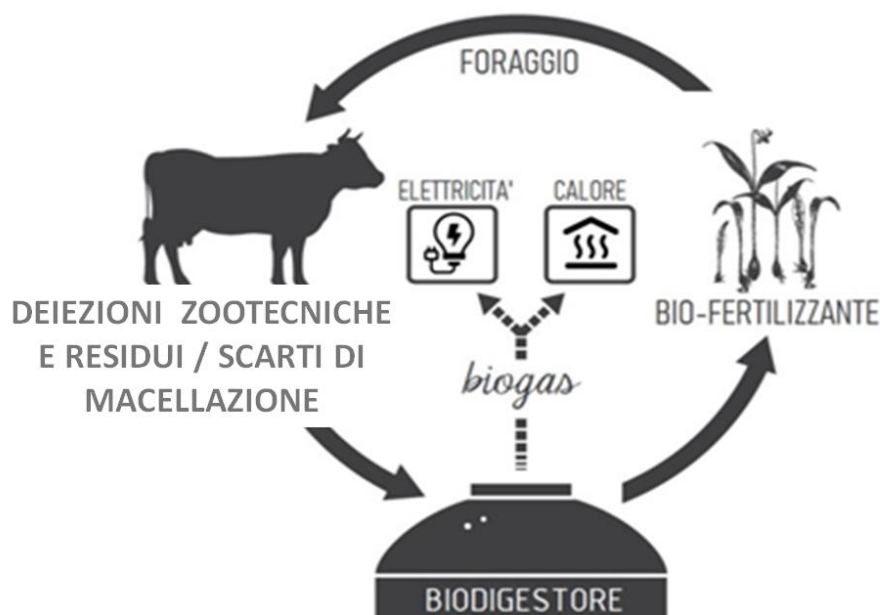
1 – Generalità



Il Foritore Qualificato
selezionato dallo
Scrivente, Prof. Dr.
Alessandro Arioli, è
l'azienda Micro Biogas
Italia S.r.l., cioè
**l'Impresa che conta il
maggior numero di
installazioni di micro-
impianti biogas in
Italia con potenza
inferiore ai 100kW
elettrici**, mutuando

l'esperienza di Partners
industriali europei che

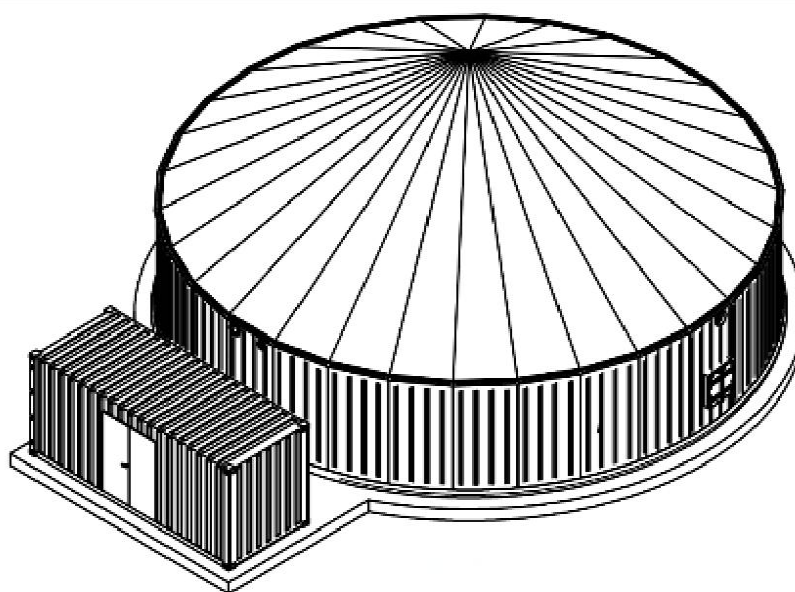
da oltre un decennio sviluppano la tecnologia qui descritta, con oltre 300 installazioni in
Europa realizzate ed operanti.



La **Tecnologia Micro** consente di produrre energia elettrica e calore su micro-scala, utilizzando come materiali in ingresso le sole biomasse residuali di amcellazione in miscella alle deiezioni zootecniche provenienti da una o più aziende zootecniche. Allo scopo, si sfrutta il processo biologico naturale della **digestione anaerobica**, la quale avviene all'interno di una vasca chiusa in acciaio inox, riscaldata e miscelata, denominate **digestore (o reattore)**.

Il processo naturale, che avviene spontaneamente nel digestore in condizioni controllate, trasforma una parte degli effluenti in un gas combustibile ad alto valore aggiunto: il biogas. Il biogas prodotto è indirizzato nel container tecnico posto a fianco del digestore, dove viene purificato e destinato ad alimentare un gruppo di cogenerazione equipaggiato con motori endotermici ciclo otto alimentati a gas accoppiati a generatori elettrici, che permettono la generazione simultanea di energia elettrica e calore. In questo modo si riesce ad ottenere un'efficienza combinata fino al 90% dell'energia primaria contenuta nel biogas.

La tecnologia Micro offre impianti compatti, automatici, di rapida installazione e semplice utilizzo, in tal modo anche piccoli allevamenti possono di dotarsi di questa tecnologia. Necessitano di un impegno superficiale ridotto, sono di altezza contenuta, ed essendo pensati per sorgere accanto (o all'interno) dell'insediamento zootecnico, non comportano un aumento significativo dell'impatto visivo sul territorio.



La tecnologia Micro offre impianti compatti, automatici, di rapida installazione e semplice utilizzo, in tal modo anche piccoli allevamenti possono dotarsi di questa tecnologia. Necessitano di un impegno superficiale ridotto, sono di altezza contenuta, ed essendo pensati per sorgere accanto (o all'interno) dell'insediamento zootecnico, non comportano un aumento significativo dell'impatto visivo sul territorio.

Il funzionamento dell'impianto è completamente automatico e gestibile da remoto ovunque si abbia a disposizione una connessione internet, anche da smartphone attraverso l'applicazione web dedicata. Non v'è necessità di prevedere manodopera completamente dedicata alla gestione/supervisione dell'impianto, l'allevatore è chiamato a svolgere solo semplici operazioni che richiedono un tempo; in tal modo egli può continuare a dedicare il proprio tempo alla cura e sviluppo della sua attività principale (l'allevamento) beneficiando parallelamente di costi operativi ridotti al minimo per la gestione dell'impianto.

L'impianto Micro è un prodotto finito, progettato, realizzato e pre-collaudato nella sezione tecnologica prima di raggiungere il sito di installazione, ed è classificabile come macchina/macchinario; si presenta con natura di oggetto imbullonato e facilmente amovibile. Le operazioni di installazione/montaggio sono completate in pochi giorni da parte di installatori professionali autorizzati, seguendo le precise prescrizioni del fabbricante. Le opere di complemento richieste sono soltanto: la realizzazione di una platea/basamento in cls armato ove appoggiare e imbullonare l'impianto, il collegamento elettrico al punto di utilizzo/consegna dell'energia elettrica prodotta, le connessioni idrauliche per l'alimentazione del liquame e scarico digestato, le condotte di "teleriscaldamento" per indirizzare l'acqua calda proveniente dal recupero termico verso le utenze aziendali.

La tecnologia Micro consiste in un unico micro-impianto di biogas integrato costituito da:

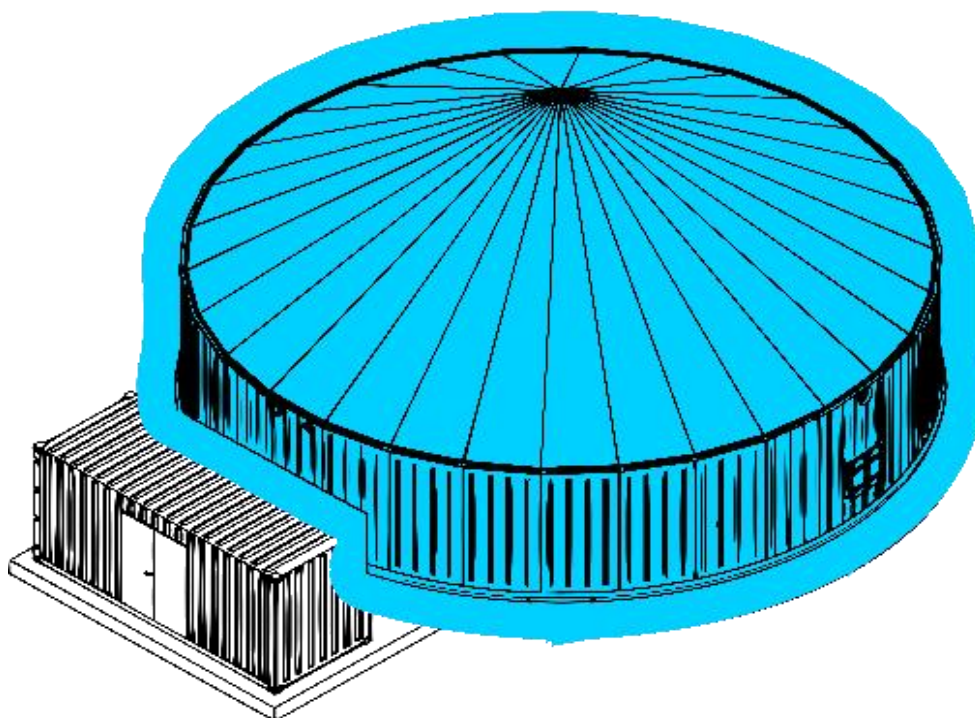
- Digestore/reattore – realizzato in acciaio inox e coibentato. Il digestore è provvisto di un sistema di tenuta e regolazione del biogas costituito da doppia membrana tecnica in PVC armato con tessuto in poliestere. È dotato di un adeguato sistema di riscaldamento e miscelazione, nonché delle sicurezze contro le sovra e sotto pressioni.
- Container tecnico – allestito a partire da un container marittimo da 15 o 22 piedi in acciaio CorTen, equipaggiato per raggiungere gli standard di qualità richiesti. All'interno del container tecnico si trovano già installati e collaudati gli impianti tecnici: il gruppo di cogenerazione, le sotto-reti (biogas, recupero termico, elettrico/elettronico) ed il sistema di controllo e gestione.

L'impianto gode di conformità del produttore su tutti i componenti forniti, ovvero dell'impianto nel suo complesso (digestore e container). L'impianto è autorizzabile al funzionamento e gode di alti standard di sicurezza delle componenti e degli operatori.

All'occorrenza può essere dotato di torcia di combustione del biogas prodotto in eccesso e di altri optional.

L'impianto è classificato come macchina/macchinario, imbullonato, facilmente amovibile. È conforme alle direttive, macchine, ATEX, dispositivi elettrici in bassa tensione e altre.

2 – Digestore



Il **digestore ospita la digestione anaerobica** e quindi la produzione di biogas in un ambiente chiuso e controllato. Le condizioni di processo sono mantenute stabili e gestite in automatico dal sistema di controllo.

Per garantire il funzionamento del cogeneratore 24/24h, la produzione di biogas è mantenuta continua e costante. Per ottenere questo risultato, il digestore è alimentato tutti i giorni della produzione quotidiana di deiezione zootecnica proveniente dall'allevamento (o di altri sottoprodotti) frazionata in più pasti. In questo modo si evita anche l'accumulo dei liquami e letami tal quali (o altri sottoprodotti) nelle aree esterne accanto alle stalle, spesso a cielo aperto. L'alimentazione quotidiana rappresenta solo una frazione del volume idraulico (capienza) del digestore, che ha la capacità di contenere diverse settimane di produzione di effluenti dell'allevamento. Il livello del materiale digestante nel digestore è misurato, registrato e monitorato in tempo reale dal sistema di controllo, che è in grado di impedirne un eccessivo riempimento disabilitando le pompe, se

necessario. Un sistema di sicurezza passivo di protezione contro il “troppo pieno” è comunque presente.

Il digestore viene realizzato unendo un numero definito di pannelli prefabbricati realizzati in acciaio inox e rivestiti con materiale coibente per assicurare l'isolamento termico. L'installazione del digestore viene eseguita in 7-14 giorni a seconda della taglia.

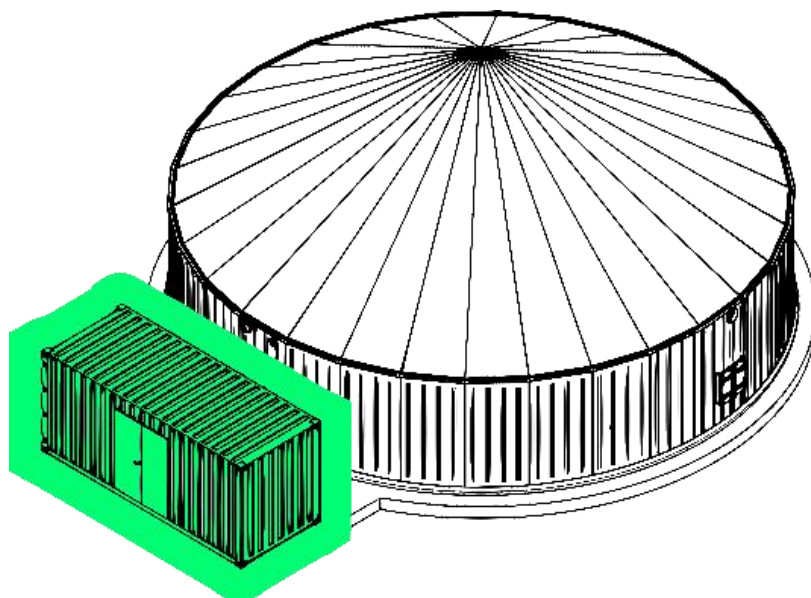
È dotato di riscaldamento esterno tramite ricircolo del digestato in uno scambiatore “tubo-in-tubo” e di miscelatori ad elica. Il digestore viene uniformemente riscaldato ad una temperatura di 42°C, sfruttando il calore auto-prodotto dalla fase di cogenerazione. Il digestore ospita anche la fase di desolforazione biologica, i dispositivi di sicurezza per sovrappressioni e troppo-pieno, oltre alla sensoristica necessaria per il controllo di processo.

Il digestore è completamente chiuso in sommità attraverso un sistema con doppia membrana in PVC armato, che assicura la tenuta del biogas, la protezione contro gli agenti atmosferici e l'auto-regolazione della pressione interna al digestore. Il digestore si trova così ad essere ermeticamente isolato dall'ambiente esterno, non producendo alcun odore. La pressione nominale del biogas durante il normale funzionamento è di 2-3 millibar (0,002-0,003 atmosfere), con un massimo di 4-5 millibar, oltre i quali si attivano i dispositivi di sovrappressione.

Il volume del biogas generato è misurato, registrato e monitorato in tempo reale dal sistema di controllo.

Il reattore può essere equipaggiato di vari sistemi di desolforazione del biogas. La desolforazione di tipo biologica opera senza necessità di manutenzione ed utilizzo di reagenti, ed è costituito da una rete speciale posizionata sotto la membrana gas più interna, che viene spontaneamente colonizzata da batteri solfatoriduttori. La desolforazione di tipo chimico-fisica sfrutta l'addizione di una modesta quantità di ossido di ferro (innocuo, economico ed ampiamente disponibile poiché simile alla comune ruggine) all'interno del digestore che si lega allo zolfo presente nel digestante evitando che gassifichi. Questi sistemi sono in grado di ripulire il biogas da oltre il 99% del contenuto di zolfo iniziale (da 2.000-3.000ppm a 5-30ppm H₂S). Le tracce di impurità residue sono poi definitivamente rimosse mediante filtri a carbone attivo.

3 Container



Il **container tecnico** ospita tutta la sezione tecnologica elettromeccanica e di controllo. Viene allestito e collaudato prima della consegna ed è quindi “pronto a partire” (plug and play). Il container è insonorizzato e rimane sempre chiuso durante il normale funzionamento dell’impianto. Il container contiene tutta la parte tecnologica ed i sottosistemi:

- linea biogas,
- gruppo di cogenerazione,
- quadro di potenza, comando e controllo, elettronica di processo,
- linea di recupero e gestione del calore prodotto che utilizza come vettore acqua miscelata a glicole. L’impianto è dotato di uno scambiatore di calore a piastre di disaccoppiamento per il recupero a servizio delle utenze aziendali del calore in esubero prodotto dalla fase di cogenerazione.

Alcuni componenti come il sistema di trattamento gas e talvolta lo scambiatore di calore esterno per il riscaldamento del digestore sono posizionati al di fuori del container tecnico, nello spazio tra digestore e container, per questioni di maggiore accessibilità e sicurezza.

Le condotte di collegamento della linea gas tra digestore-container-motori ed i componenti in cui scorre il biogas sono in acciaio inox. La linea gas è dotata di valvole automatiche di sicurezza normalmente chiuse, che impediscono la circolazione del biogas quando i motori non sono in funzione, confinandolo in una porzione ristretta. La pulizia del biogas è misurata grazie ad un analizzatore gas che può essere portatile oppure fisso a seconda dell’applicazione.

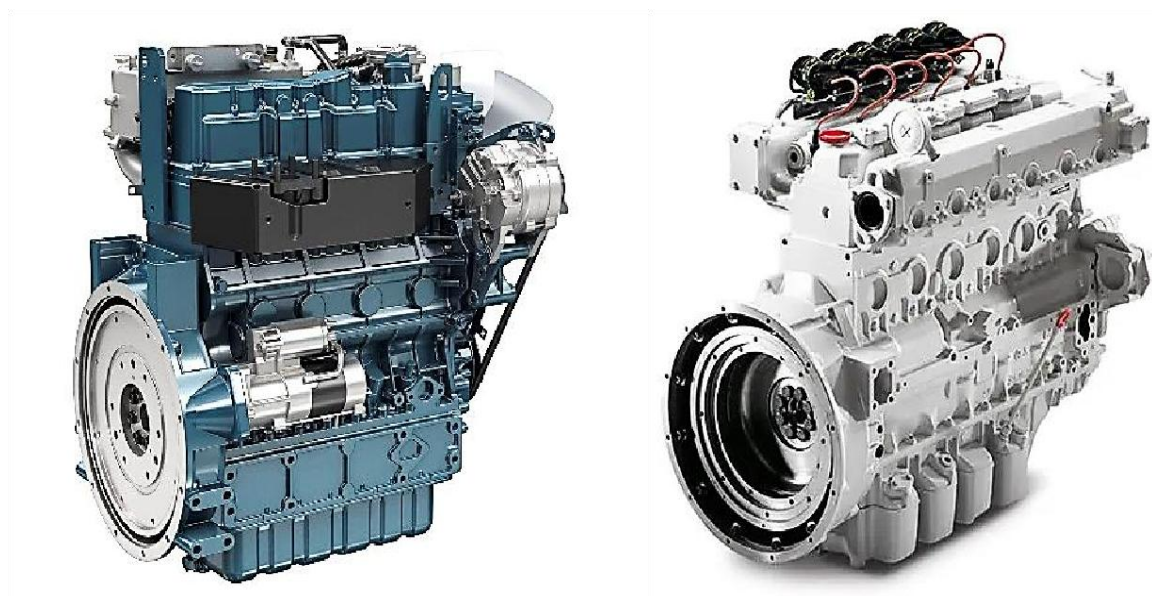
Quando gli apparati elettromeccanici del container sono in funzione è attivo un sistema di ventilazione che consente un ricambio completo dell’aria interna ogni pochi secondi.

È presente anche un sistema di deumidificazione del biogas, un sistema di sicurezza passivo contro le sovra e sotto pressioni (guardia idraulica), oltre ai filtri a carbone attivo richiamati in precedenza. Quando richiesto si equipaggia anche la torcia di combustione del biogas in esubero. Sono presenti anche i sistemi di controllo, misura e gestione del materiale alimentato e del digestato, che viaggiano attraverso condotte apposite in PVC o PE certificate fino a una pressione di 6 o 10bar (PN6-PN10).

4 Cogenerazione

I cogeneratori di tecnologia Micro sono realizzati a partire da motori ciclo otto a 4 tempi alimentati a gas di primaria casa costruttrice, associati a generatori sincroni o asincroni a seconda delle applicazioni. Trovano collocazione all'interno del container tecnico con modalità tali da garantirne una corretta insonorizzazione ed isolamento dall'ambiente esterno.

L'allestimento dei cogeneratori è selezionato in maniera tale da garantire un funzionamento continuo del gruppo h24 caratterizzato da fermi macchina minimi per le manutenzioni. La stessa manutenibilità del cogeneratore è pensata per essere non complessa, dando la possibilità al gestore dell'impianto di potersi occupare direttamente della maggior parte delle operazioni di manutenzione ordinaria, se lo desidera, con una formazione minima.



L'efficienza dei gruppi di cogenerazione è verificabile nelle schede tecniche specifiche di ogni taglia di impianto.

Si riportano di seguito i valori massimi nominali di rendimento riferiti all'energia primaria (chimica) del combustibile introdotto nel motore.

I valori effettivi di rendimento globale dipendono sostanzialmente dal dimensionamento degli scambiatori di calore sui gas di scarico dei motori, che viene definito in base alle capacità specifiche di recupero termico della singola azienda.

Taglia	Efficienza globale	Efficienza elettrica	Efficienza termica	Potenza termica
25 kW	90%	33%	57%	43 kW
37 kW	90%	34%	56%	61 kW
49 kW	90%	35%	55%	77 kW
63 kW	90%	36%	54%	94 kW
77 kW	90%	36%	54%	115 kW

La produzione di calore dei gruppi di cogenerazione avviene sotto forma di acqua calda a 80-85°C. Al fine di massimizzarne il recupero, il calore è estratto sia dal liquido di raffreddamento del motore (camicie), sia dai suoi gas di scarico. Circa il 50% del calore così estratto è riutilizzato per mantenere il digestore in temperatura; la restante parte può essere impiegata per soddisfare i fabbisogni di calore dell'allevamento, sia invernali (riscaldamento acqua di abbeveraggio, sala mungitura, cascina, ecc.) che estivi (essiccazione del foraggio).

Fino al 90% dell'energia primaria contenuta nel biogas è convertita e recuperata sotto forma di energia elettrica e acqua calda; in tal modo si sfrutta al massimo il valore potenziale del biogas prodotto. L'efficienza (rendimento) di conversione della tecnologia Micro è quindi altissima.

5 – Dimensionamento a liquami bovini

Poiché ogni allevamento è differente dall'altro, anche i liquami/letami prodotti saranno di "qualità" e quantità differente a seconda delle caratteristiche peculiari della gestione e delle strutture dell'azienda.

Per soddisfare ogni esigenza, sono disponibili cinque taglie di impianto: 25, 37, 49, 63 e 77kW. Le taglie di impianto differiscono l'una dall'altra principalmente per la dimensione della vasca di digestione, essendo le dimensioni del container sempre le stesse, eccezion fatta il 25kW che prevede un container ridotto a 15piedi.

Tipicamente la tecnologia Micro riesce a produrre 25kW ogni 10-12 tonnellate di liquame bovino (vacche da latte) in ingresso, che corrispondono a circa 100 UBA in lattazione, con le seguenti caratteristiche:

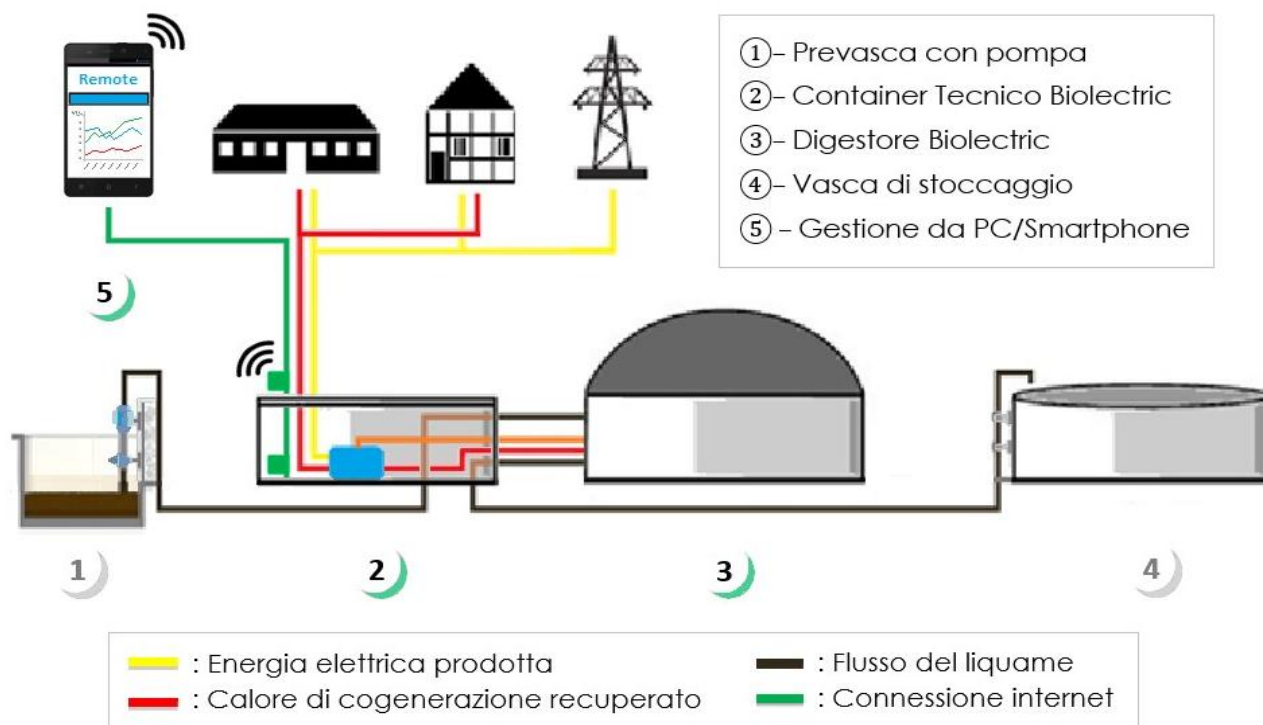
- Sostanza secca 9-10%,
- Sostanza organica in rapporto alla sostanza secca 80%,
- Potenziale produttivo di biogas >25 m³/t di tal quale,
- Azoto del liquame 3-5% della sostanza secca, di cui il 40% ammoniacale.

Il processo di digestione anaerobica non determina un aumento della volumetria del digestato da gestire rispetto al liquame alimentato, all'opposto, se ne riscontra una lieve diminuzione (5%).

6 Schema generale di Funzionamento

Il funzionamento dell'impianto può essere così schematizzato:

- **Raccolta liquame/letame:** le deiezioni animali prodotte quotidianamente dall'allevamento vengono prelevate e pompate al digestore.
- **Produzione biogas:** gli effluenti subiscono l'azione della digestione anaerobica in un ambiente chiuso e controllato, il digestore, producendo biogas.
- **Generazione energia elettrica e calore:** il biogas prodotto è aspirato e combusto dal motore a gas che si trova all'interno del container. Questo mette in rotazione un generatore elettrico trifase permettendo la produzione di energia elettrica. Abbinato all'apparato di recupero termico configura un sistema cogenerativo.
- **Stoccaggio liquami:** la quota parte quotidiana di deiezioni stabilizzate (digestato) viene pompata all'esterno del digestore ed indirizzata nelle vasche di stoccaggio esistenti nell'azienda.



L'energia elettrica prodotta dall'impianto può essere impiegata per molteplici utilizzi. Una piccola parte (9-10%) è comunque riutilizzata dall'impianto stesso per coprire il suo fabbisogno elettrico, necessario al funzionamento degli apparati elettromeccanici (autoconsumo); la restante parte può coprire i consumi elettrici dell'azienda agricola e/o essere immessa nella rete elettrica nazionale per essere ritirata dal GSE previo contratto.

7 – Controllo e monitoraggio

Gli impianti di tecnologia Micro dispongono di un sofisticato sistema di controllo elettronico che consente un funzionamento completamente automatico, riducendo al minimo il tempo di gestione della macchina. Il microimpianto è quindi in grado di gestire autonomamente i cicli di carico e scarico del digestore, gestire il funzionamento del cogeneratore in base alla quantità e qualità del biogas prodotto, di valutare e regolare le temperature di interesse, gestire il flusso dell'acqua calda prodotta, rilevare anomalie di funzionamento segnalando al gestore e mettendo l'impianto in sicurezza al contempo.

Il sistema di controllo è gestibile dall'utente anche da remoto attraverso una applicazione web, che permette di visualizzare ed operare le regolazioni ovunque si abbia a disposizione una connessione internet.

8 Recupero calore

Nonostante le ridotte dimensioni, il micro-impianto dispone di una tecnologia avanzata, che permette un efficiente recupero del calore prodotto dalla sezione di cogenerazione.

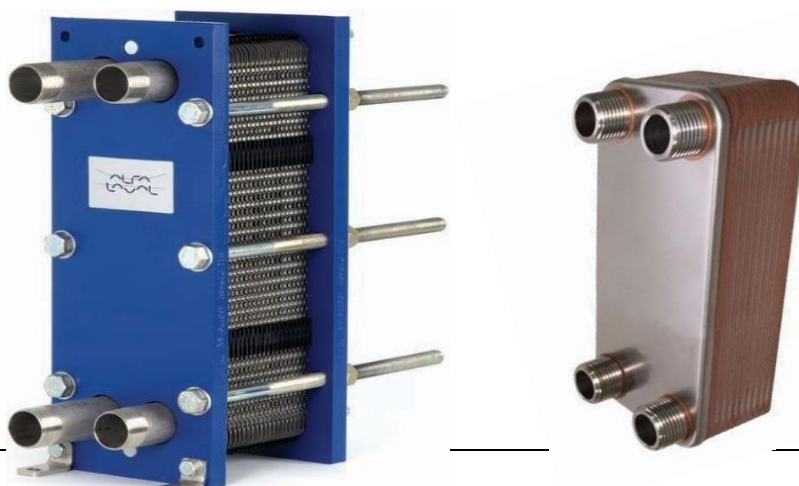
Il calore viene prodotto durante la fase di combustione del biogas all'interno del motore primo a ciclo otto, contemporaneamente alla produzione di energia meccanica. L'energia meccanica generata dal motore rappresenta il lavoro utile, che viene poi integralmente convertito in energia elettrica grazie al trascinamento di un generatore trifase. Il calore prodotto dal motore è recuperato e trasferito sottoforma di acqua calda, disponibile per varie applicazioni, non dovendosi obbligatoriamente dissipare come accade in campo automobilistico (dove viene considerato "energia di scarto").

L'energia termica prodotta dal motore a combustione interna è presente in due vettori:

- All'interno del liquido di raffreddamento del motore, analogamente a quanto accade nei circuiti di raffreddamento di stampo automobilistico.
- All'interno dei gas di scarico della combustione.

La tecnologia Micro è in grado di recuperare il calore di entrambi i vettori sottoforma di acqua calda a 80-85°C. L'ammontare di energia termica resa disponibile dalla fase di cogenerazione è ricavabile dalla scheda tecnica dei gruppi di cogenerazione. La circolazione del fluido vettore, che trasporta verso gli utilizzi il calore recuperato dalla fase di cogenerazione, è consentita per mezzo di un gruppo di pompaggio e regolazione termoidraulico idraulico automatico. L'ammontare di energia termica resa disponibile dalla fase di cogenerazione può arrivare fino a 1500 litri/ora di acqua calda a 80°C ogni 25kW installati.

L'impianto biogas opera i suoi processi biologici ad una temperatura interna di digestione di 42°C. Pertanto, una significativa quota di energia termica è recuperata e riutilizzata per consentire al digestore di mantenersi in temperatura, valutabile in circa il 50% del calore lordo prodotto. La restante parte del calore, di entità comunque considerevole, è resa disponibile per gli utilizzi desiderati dall'azienda agricola (ad es. sala mungitura, abbeveraggio animali, riscaldamento cascina e ACS, essiccazione del foraggio, ecc.). Il proprietario dell'impianto è invitato a completare il proprio ramo di recupero termico semplicemente collegandosi agli attacchi (boccole) libere di uno scambiatore di calore, già predisposto per questo scopo nel container.



In tal modo si possono sfruttare completamente i vantaggi della tecnologia Micro incrementandone al massimo il rendimento di utilizzo. Il calore in eccesso (non recuperato in alcuna forma) è dissipato attraverso i radiatori in dotazione.

9 APPROFONDIMENTO: Residui / Scarti di macellazione (SOA)

Gli **scarti / residui di macellazione** rappresentano matrici sicuramente fruibili per un impianto di biogas, in quanto dal punto di vista biologico essi posseggono un alto tenore di sostanza organica ed un'ottima capacità produttiva in termini metanigeni.

Non di meno, la valorizzazione degli scarti / residui di macellazione per la produzione di biogas consente di creare un circolo virtuoso di riutilizzo degli scarti *in situ* capace non solo di generare energia (diminuzione della dipendenza energetica e dell'uso di combustibili fossili) ma anche di trasformare gli scarti / residui in fertilizzante organico da reimpiegare in agricoltura.

Gli scarti di macellazione sono altamente eterogenei, a seconda delle parti dell'animale da cui provengono si possono trovare interiore, ossa, contenuto ruminale, sangue, grasso, ritagli di carne, pelle, zoccoli, corna, pelo e piume. Dal punto di vista biologico alcuni scarti sono recalcitranti e quindi conducono ad una produzione di biogas molto ridotta o nulla (oltre ad incrementare la possibilità di problematiche idrauliche come sedimentazioni e strati galleggianti), tra questi: ossa, pelo, zoccoli, pelle. La restante parte degli scarti ha produttività in biogas variabile a seconda della composizione della loro sostanza organica, dove i materiali con produzione più elevata sono (in ordine decrescente) grasso e ritagli di carne, seguiti da sangue, interiore e contenuto ruminale/stomacale.

Storicamente, l'entrata in vigore del regolamento CE 1774/02 (che dopo l'emergenza BSE disciplina le norme sanitarie relative a sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano), ha sottratto tali flussi dal contesto normativo dei rifiuti e li ha definiti «sottoprodotti animali non destinati al consumo umano».

Oggi gli scarti di macellazione rientrano nella categoria dei Sottoprodotti di Origine Animale (SOA), come disciplinato dal Regolamento 1069/09/CE, che incentiva la trasformazione dei SOA in quanto lo smaltimento di tutti i sottoprodotti di origine animale non è un'opzione realistica, dato che comporterebbe costi insostenibili e rischi eccessivi per l'ambiente; l'utilizzo sicuro di un'ampia gamma di sottoprodotti di origine animale, a condizione che siano ridotti al minimo i rischi sanitari, costituisce un chiaro interesse per tutti i cittadini.

In particolare, per l'utilizzo dei SOA negli impianti di biogas è necessario qualificare gli scarti in determinate categorie e rispettare determinate prescrizioni igienico-sanitarie sulle quali la ASL di competenza ha capacità discrezionale.

Sostanzialmente, sono ammassi alla valorizzazione negli impianti biogas solo i SOA materiali di Categoria 2 e Categoria 3, previo consenso degli enti preposti. Riguardo quest'ultimo aspetto, è

necessario richiedere un parere favorevole all'utilizzo dei SOA presso la ASL di competenza (generalmente chiamato "Riconoscimento alla 1069/09/CE per l'utilizzo dei SOA nell'impianto di biogas"). La ASL, prima di rilasciare il Riconoscimento, tipicamente impone qualche condizione operativa circa la gestione e l'utilizzo dei SOA prima che vengano alimentati nell'impianto biogas. Le condizioni più tipiche sono:

- distanza adeguata tra l'impianto e la zona dove sono tenuti (e/o macellati) gli animali, totale separazione fisica tra l'impianto e animali, mangime, lettiere, se necessario, con recinzioni;
- gestione adeguata degli scarti dal punto di generazione nel sito produttivo al punto di valorizzazione dell'impianto biogas;
- pretrattamento degli scarti per pastorizzazione, con temperatura minima 70°C per 1 ora (o combinazioni equivalenti) con riduzione della pezzatura a minimo 12mm. Il sistema di controllo dell'unità di pastorizzazione deve essere in grado controllare l'andamento della temperatura durante il ciclo, operare la registrazione continua dei risultati, ed essere dotato di sistema di sicurezza per impedire una temperatura di trattamento insufficiente.

Il residuo della produzione di biogas a partire da scarti di macellazione è classificato come "digestato agroindustriale" che è un ottimo fertilizzante organico con proprietà ammendanti. Il digestato agroindustriale può essere inserito all'interno dei Piani di Utilizzazione Agronomica previa esecuzione di una analisi chimicofisica e microbiologica che ne attesti il contenuto di elementi fertilizzanti (NPK) e la sicurezza igienico-sanitaria.

L'utilizzo degli scarti di macellazione in un impianto di biogas comporta una gestione della biologia del reattore anaerobico più attenta, richiedendo talvolta l'utilizzo di additivi come micro-elementi e regolatori del pH al fine di mantenere il processo in efficienza.