

GUIDA PER IL MONITORAGGIO

PER L'OTTIMIZZAZIONE DELLA DIGESTIONE ANAEROBICA E DEGLI IMPIANTI DI BIOMETANO

RIASSUNTO



Autori:

Sandra Esteves, Sustainable Environment Research Centre, University of Glamorgan (Wales, UK)

Martin Miltner, Vienna University of Technology (Austria)

Sascha Fletch, LandesEnergieVerein (LEV) Steiermark (Austria)



THE WALES
CENTRE OF EXCELLENCE
FOR ANAEROBIC DIGESTION

UNIVERSITY OF • PRIFYSGOL
Glamorgan
Morgannwg
CARDIFF • PONTYPRIDD • CAERDYDD



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY



As Part Delivery of:



Promozione del biometano e sviluppo del mercato attraverso partnership locali e regionali
Progetto del Programma Intelligent Energy Europe

Contract Number: IEE/10/130; Deliverable Reference: Task 5.2; Delivery Date: October 2012 Dati economici aggiunti nel luglio 201



Ariennir gan
Lywodraeth Cymru
Funded by
Welsh Government

Contenuti

1. Scopo del Report	3
2. Guide monitoraggio parametri.....	9
3. Parametri Generali (progettazione, operatività e performance)	21
4. Tecniche e principi di misurazione utilizzati nel monitoraggio degli impianti AD e biometano	23
5. Costi e benefici del monitoraggio di impianti AD e biometano	26
6. Conclusioni	30
7. Bibliografia	32

Disclaimer:

La responsabilità per il contenuto di questo documento è degli autori . Il contenuto non riflette necessariamente il parere dell'Unione europea . Né l'Agenzia esecutiva per la competitività e l'innovazione né la Commissione europea è responsabile dell'uso che potrebbe essere fatto delle informazioni qui contenute .

Le informazioni contenute in questo rapporto è fornito in buona fede ad un vasto pubblico e per la natura del tema e la varietà di tecnologie, substrati , tipo di operazioni e mercati, molti aspetti sono stati generalizzata. Gli autori non sono responsabili , per quanto consentito dalla legge, per le eventuali spese o perdite comprese qualsiasi danno speciale, incidentale , consequenziali o simile o perdite , che direttamente o indirettamente si virifichino come conseguenza dell'utilizzo del rapporto o delle informazioni qui disponibili. La segnalazione di prodotti commerciali o tecniche o costi , le loro fonti o il loro utilizzo in relazione con il materiale riportato nel presente documento non deve essere interpretato come approvazione effettiva o implicita, di tecnologie , prodotti o servizi .

Copyright :

Nessuna copia è consentita di tutto o parte del presente rapporto senza il consenso scritto da parte degli autori . La relazione di sintesi (deliverable 5.2) è stata tradotto in otto lingue europee. Il rapporto completo è attualmente disponibile solo in inglese .

Università di Glamorgan , 2012 Copyright per tutte le foto su questa relazione.

1. Scopo del Report

Il report spiega l'importanza di attuare un monitoraggio adeguato della digestione anaerobica (AD) e degli impianti di biometano. Esso passa in rassegna numerosi parametri e sistemi di campionamento e di monitoraggio del processo di AD, dei substrati, del digestato e del biogas prodotti. Il report include anche informazioni sul monitoraggio relativo alla depurazione del biogas e all'aggiornamento delle tecnologie di processo. Non verranno esaminate le azioni di controllo, sistemi o regimi che possono essere applicati per impianti AD e biometano.

Questa guida fornisce informazioni di carattere generale relative a parametri chiave che possono essere monitorati in modo che un impianto AD possa essere controllato al fine di:

- a) consentire una certa flessibilità di variazione del carico idraulico ed organico di substrati
- b) consentire una certa diversificazione dei tipi di substrati
- c) smaltire rifiuti (quando i substrati sono classificati come rifiuti)
- d) massimizzare l'efficienza di conversione organica in biogas / biometano
- e) produrre digestato e biometano di buona qualità
- f) accedere ai mercati di digestato più specifici ed esigenti
- g) accedere ad altri mercati per il biometano prodotto (ad esempio carburante e biometano per la rete del gas)
- h) ridurre la quantità di impianti / processo di down time
- i) ridurre le dimensioni dell'impianto e ridurre i costi operativi (ad esempio dosaggio chimico e carichi termici)
- j) migliorare i vantaggi ambientali dell'impianto e ridurre gli impatti

In ultima analisi, questi benefici avranno un impatto positivo sugli aspetti economici dell'impianto AD e di biometano e continueranno ad aggiungere credenziali alle tecnologie per:

- a) aggiornamenti tecnici a lungo termine
- b) consentire una certa flessibilità operativa
- c) accettabilità degli impianti
- d) vantaggi in termini ambientali ed economici
- e) mantenere le promesse fatte al governo e al pubblico

Questo consentirà da parte del pubblico e degli amministratori una rapida accettabilità di nuove proposte di impianti AD e di biometano le quali continueranno a ricevere il sostegno di politiche governative e di incentivi finanziari.

2. Necessità di monitorare le performance dei processi AD, dei Substrati e degli output

La digestione anaerobica è un processo biochimico che avviene in vasche chiuse, in cui viene mineralizzata materia organica per ottenere principalmente metano e biossido di carbonio attraverso una serie di reazioni ad opera di diversi gruppi di microrganismi (Figura 1). Le varie fasi del processo possono avvenire tutte all'interno di una vasca (digestore, talvolta indicato come reattore) o in vasche separate. Dal processo di digestione anaerobica viene prodotto il metano che può essere utilizzato per produrre elettricità, calore o utilizzato come carburante per veicoli, e anche un digestato, che può contenere sostanze nutrienti importanti. La digestione anaerobica utilizzata per il trattamento dei rifiuti organici e per la produzione di biogas è una tecnologia rispettosa dell'ambiente e molto interessante. Comporta benefici ambientali che includono il trattamento dei rifiuti, riduzione dell'inquinamento, la produzione di energia rinnovabile e il miglioramento delle pratiche agricole attraverso il riutilizzo dei nutrienti per le colture. Ampliare l'uso e i benefici ottenuti del digestato e sostanze nutritive è attualmente oggetto di ulteriori attività di R & S. Più di 8000 impianti di AD sono attualmente presenti in tutto il mondo (senza contare gli impianti di micro-scala). Attualmente l'Europa vanta la più grande capacità installata e la distribuzione continua a crescere in alcune regioni con l'obiettivo di fornire il trattamento dei rifiuti e, in molti casi, la produzione di bioenergia. Secondo l'AIE, oltre 170 impianti di biometano sono stati costruiti in tutto il mondo partendo da una varietà di substrati per la produzione di biometano da utilizzare come carburante per veicoli o per l'immissione in rete.

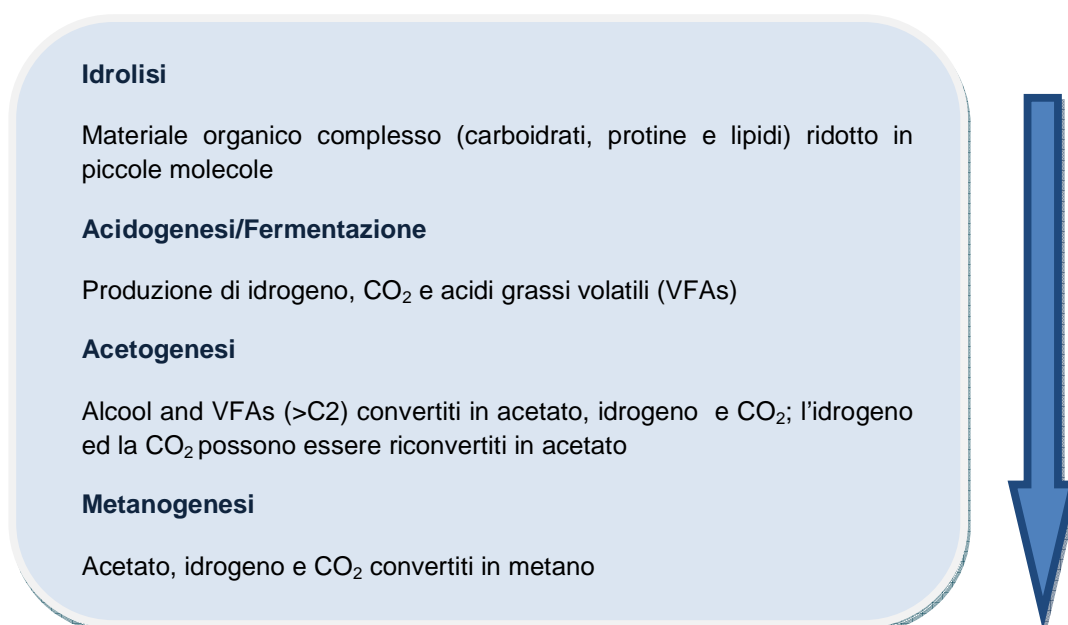


Figura 1 – Diagramma semplificato dei vari stadi del processo di AD

La digestione anaerobica è un processo versatile che è in grado di degradare una moltitudine di substrati organici che vanno da una varietà di residui urbani, industriali ed agricoli e a colture energetiche. Questa versatilità tuttavia comporta alcune sfide. Il processo in molti casi deve essere in grado di far fronte a substrati con una vasta gamma di composizioni fisiche e chimiche, che possono essere altamente variabili, anche su base giornaliera o settimanale e possono anche portare alcune inibizioni al processo.

Oltre alla varietà di substrati (o feedstocks) che possono eventualmente essere utilizzati, il processo di AD è caratterizzato da sistemi complessi e dinamici dove aspetti meccanici, microbiologici e fisico-chimiche sono strettamente collegati e influenzano la prestazione del processo. La ricerca che coinvolge le competenze di microbiologi, chimici, ingegneri e matematici in gran parte eseguita in tutto il mondo nel corso degli ultimi quattro decenni ha portato al costante aggiornamento dei principi di processo e un maggiore consapevolezza della complessità e della diversità del processo. Tuttavia, non tutte le complessità e modelli di azione-reazione relativi alle attività microbiche e le rese generali sono pienamente compresi. La stabilità del processo dipende dal corretto equilibrio fra i tassi di crescita simbiotici dei principali gruppi metabolici dei batteri (ad esempio acetogeni e metano geni).

Sebbene intrinsecamente stabile, il processo AD può raggiungere instabilità a causa di una varietà di perturbazioni di processo quali:

- a) sovraccarico dei tassi organici o idraulici;
- b) presenza di composti tossici o inibitori, che possono ostacolare la digestione a causa di danni ai microrganismi attivi o ad una riduzione dell'efficacia (attività) di enzimi;
- c) mancanza di sostanze nutritive o di oligoelementi essenziali per il mantenimento e la crescita dei microbi;
- d) deviazione dalla temperatura di funzionamento ottimale.

E' importante capire che ogni stadio ha le sue caratteristiche intrinseche, l' idrolisi e la metanogenesi sono in genere i più impegnativi. L'idrolisi ha dimostrato essere il rate-limiting step per la digestione del substrato particolato e anche di alcuni grassi. La velocità complessiva della reazione di idrolisi dipende dalle dimensioni del substrato e la forma, la superficie, la concentrazione microbica, produzione e adsorbimento di enzimi.

La Metanogenesi è in genere il rate-limiting step per substrati più facilmente degradabili in cui gli impianti possono includere i tempi di ritenzione brevi che possono portare a una perdita netta di microbi all'interno dei digestori in quanto i metanogeni crescono lentamente. Un digestore potrebbe subire limitazioni non solo da una serie di microbi. Infatti per molti impianti, limitazioni possono provenire da più di un gruppo di microbi, e quindi più di una delle fasi di digestione.

Spanjers e Van Lier (2006) hanno monitorato circa 400 impianti AD in scala reale in gran parte per il trattamento delle acque reflue e hanno scoperto che, nel 95% degli impianti, la strumentazione in-situ e in linea si limitava a pH, temperatura, portata di acqua, la portata, il livello e la pressione del biogas. Madsen et al. (2011) ha verificato che molti impianti operano sulla base di analisi ex-situ e vengono impiegati in situ o in linea solo sensori quali pH, il potenziale redox e la percentuale di produzione di gas. Finora questo continua ad essere anche la percezione da parte degli autori di questa relazione. Tuttavia, l'industria sta mostrando più motivazione a comprendere meglio il processo e monitorarlo in modo più approfondito, ed anche le tecniche di controllo a distanza iniziano ad essere usate.

In molti casi, si è evitata l'instabilità del processo conducendo il processo AD molto al di sotto della capacità nominale con ridotte capacità di substrato. Questo, tuttavia, significa che impianti più grandi del necessario sono costruiti e gestiti con maggiore capitale e costi di esercizio ed inefficienze connesse. E' importante invece considerare che essendo il processo di digestione anaerobica un processo biochimico che avviene ad opera di batteri ed alimentato da substrati organici, i batteri crescono solo se le condizioni sono adeguate. Pertanto, una sottoalimentazione e un funzionamento con lunghi tempi di ritenzione in digestori non necessariamente producono un migliore trattamento dei rifiuti e conversioni più elevate in biogas in quanto la crescita della coltura microbica sarà limitata a causa della mancanza di alimentazione. La microbiologia nell'ambito del processo di AD è anche più complessa rispetto all'alimentazione dell'impianto: il rapporto dei microrganismi, microbi ad alta velocità di conversione si svilupperanno solo se il carico del sistema è relativamente alto o quando il digestore è affetto da determinati disturbi. Questo è il caso dei metanogeni del Methanosarcinasp. (ad esempio De Vrieze et al., 2012) per esempio. Nonostante gli alti tassi di conversione, quando i digestori sono dominati solo da queste specie microbiche, questi possono produrre un digestato di qualità ridotta, conseguente probabilità di un ulteriore step di depurazione del digestato (anaerobico o altro); il digestato può essere caratterizzato da un relativamente alto carico organico e da odori connessi all'elevato contenuto di acidi grassi volatili, che possono poi causare fitotossicità nell'impianto se utilizzati a terra.

Ci sono anche differenze importanti introdotte dai pretrattamenti del substrato (ad esempio le condizioni di stoccaggio o pretrattamenti più complessi) eseguiti per aumentare attivamente la velocità di idrolisi dei substrati, e questi possono avere un'influenza diretta per esempio sul pH, livelli di ammonio e VFA (volatile fatty acid) quando i substrati entrano nel digestore. In aggiunta, ci sono una serie di altri fattori che contribuiscono a decidere come condurre i digestori, e il tipo di processo di digestione è certamente un fattore importante. Ad esempio, digestori ad alta velocità come i reattori Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) normalmente progettati per funzionare su basso livello di solidi sospesi e grassi sono normalmente in grado di ospitare un tasso più elevato di carico organico e ridotti tempi di ritenzione idraulica (HRTS) rispetto al più convenzionale Continuously Stirred Tank Reactors (CSTRs). Ciò è dovuto alla loro capacità di trattenere microbi all'interno di granuli del digestore riducendo significativamente il potenziale di wash out microbico. Inoltre, la struttura granulare consente una certa protezione per i metanogeni.

Vi è una notevole quantità di letteratura che fa riferimento ad alcune condizioni di inibizione note per sistemi AD e un certo numero di modi di ottimizzare le prestazioni del sistema (ad esempio Chen et al, 2008;.. Fricke et al, 2006). Tuttavia, oltre alle variazioni di substrati e il processo biochimico altamente complesso, un numero di interazioni biochimiche può avere effetti antagonisti nonché sinergici. Tutti questi fattori rendono le prestazioni del processo in alcuni casi difficili da prevedere. Alcuni di questi effetti complessi si verificano per esempio quando la digestione avviene in presenza di vari metalli e ammoniaca, con difficoltà di individuare un preciso valore dell'elemento che o è necessario o è in eccesso. Ci sono anche altri fattori importanti come la biodisponibilità e bioaccessibilità di alcuni composti ad esempio tracce di metalli essenziali, che possono essere individuati mediante l'analisi. Tuttavia, è più difficile definire la loro disponibilità/accessibilità alla coltura microbica, e anche certi composti (aggiunti come parte del substrato o tramite dosaggio chimico (es alcalinità o controllo di H₂S) possono alterare la disponibilità di elementi essenziali e indurre, per esempio, precipitazioni.

Ci sono altri modi per aumentare l'efficienza di un impianto AD, invece di progettare e gestire processi di digestione di grandi dimensioni per cercare di tamponare i potenziali problemi,. Questi possono essere conseguiti monitorando attivamente e frequentemente i substrati così come la matrice del processo di AD e i materiali in uscita. Comprendere l'efficienza di processo, capacità e l'andamento della digestione anaerobica, è la chiave per far sì che gli operatori possano prendere decisioni di controllo appropriate. Queste possono essere relative a cambiare i substrati, ad aggiungere un tampone pH, nutrienti e oligoelementi, a modificare le velocità di carico organico ed idraulico, a introdurre pre-trattamenti del substrato o post-trattamenti del digestato, o ad attuare, tra le altre azioni (su base intermittente), un processo industriale di rimozione dell'ammoniaca.

È importante che la ricerca continui in modo da sviluppare una maggiore comprensione del processo, ottimizzare le tecniche di monitoraggio e controllo degli impianti AD e ridurre i costi . E' anche importante che ulteriori conoscenze non vengano solo da esperienze di laboratorio, ma anche da esperienze industriali a larga scala, dove le condizioni operative sono in generale più variabili e regimi di monitoraggio e controllo sono varie e quindi possono essere valutate a pieno .

Ci sono ovviamente anche dei limiti su ciò che i regimi di monitoraggio e controllo possono raggiungere. È importante comprendere che non sempre è possibile operare su substrati significativamente differenti, o operare in modo diverso dalla specifica generale dell'impianto, e le modifiche progettuali richiedono tempo, possono causare qualche interruzione al normale processo di funzionamento e richiedono investimenti significativi.

Inoltre, al fine di migliorare il funzionamento ed efficienza del digestore, ragionevolmente si può monitorare la qualità del digestato questo anche per soddisfare le condizioni di scarico degli effluenti o rispettare i requisiti di smaltimento.

Allo stesso modo, la qualità del biogas e biometano deve essere monitorata continuamente o almeno frequentemente. Chiaramente, la qualità del biometano prodotto deve essere garantita in qualsiasi momento, quindi è un obbligo monitorare e registrare la qualità dei dati e di parametri quantitativi a seconda dell'utilizzo finale del biometano. Come ci si aspetterebbe, gli obblighi più restrittivi da rispettare sono nel momento in cui il biometano viene immesso nella rete del gas naturale. Anche nel fornire biometano come carburante, conservato a pressioni elevate è necessario un certo controllo. Oltre ai requisiti di legge, alcuni parametri di upgrading dell'impianto biogas devono essere monitorati e registrati per la verifica e la successiva interpretazione dei dati in base alla tecnologia di upgrading. Il monitoraggio è richiesto non solo nelle fasi di messa in funzione, ma anche durante il funzionamento a regime dell'impianto. I dati di monitoraggio sono utili e possono indicare un deterioramento delle prestazioni dell'impianto, se analizzati per tutta la durata di operatività dell'impianto. Tali dati potranno anche prevedere la possibilità di aumento delle prestazioni, aumento dell'efficienza, riduzione dei programmi di utilità o debottlenecking. Infine, dati corretti di parametri di manutenzione supportano la manutenzione preventiva e la programmazione di quella appropriata (ad esempio manutenzione di macchinari, la sostituzione dei materiali di consumo, rifornimento delle sostanze chimiche), e, quindi, aiutano a massimizzare la disponibilità complessiva dell'impianto.

2. Guida al monitoraggio dei parametri

Ci sono numerosi parametri che possono essere monitorati all'interno di ogni matrice / fase dell'impianto AD e biometano (Figura 2). I parametri di monitoraggio individuati sono stati selezionati dagli autori in base alle informazioni della letteratura, agli anni di esperienza pratica nella ricerca sulla AD e all'aggiornamento dei processi di produzione di biogas e di lavoro con impianti su larga scala in tutta Europa.

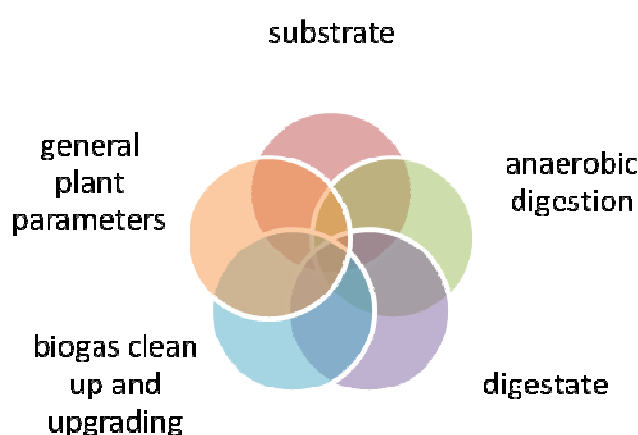


Figure 2 – Interazione tra i vari stadi in impianto AD e biometano

Parametri sono stati distinti in base alla matrice / stadio dell'impianto AD e biometano in cui possono essere misurati (Figura 3). Il report completo associato al Task 5.2 include una spiegazione più completa di ogni parametro. La combinazione di un certo numero di questi parametri fornirà una buona comprensione del funzionamento degli impianti e consentirà una serie di vantaggi tra cui l'ottimizzazione della produzione di biogas e biometano. Non tutti i parametri devono essere misurati per tutti gli impianti. Tuttavia, in alcuni casi potrebbe essere necessario misurare parametri aggiuntivi a seconda delle circostanze specifiche.

In particolare per quanto riguarda gli impianti AD, substrati e digestato, nessun regime di monitoraggio standard è stato definito dalla comunità di ricerca o operatori cioè nessun accordo è stato raggiunto per la migliore selezione dei parametri da utilizzare per il monitoraggio, e solo per pochi sono stati definiti livelli e concentrazioni ottimali. Le frequenze ottimali o minime di misurazione non sono state definite. Sarebbe utile avere maggiori frequenze di monitoraggio, tuttavia, ciò comporta costi aggiuntivi e costi esterni di laboratorio di analisi, gli investimenti in sensori e analizzatori, i costi di impianto o del personale che esegua analisi ex-situ o

calibrazione dei sensori e la manutenzione. Una volta implementato un regime di controllo, vi è anche la necessità che gli operatori siano in grado di interpretare i dati sensoriali o biochimici risultanti dalle analisi, quindi correlarle e identificare eventuali interferenze nelle analisi e trarre conclusioni sullo stato dell'impianto in modo da intraprendere azioni di controllo e di miglioramento. Come se non bastassero le sfide, tutto questo deve essere eseguito rapidamente in caso contrario la funzionalità del processo può deteriorarsi.

Protocolli di monitoraggio in materia di produzione di biometano in parte sono stati installati e sono operativi, ma la situazione di ciascun paese è significativamente diversa. In genere, il monitoraggio della qualità biometano è ben definito e non ci sono limiti per alcune specie, vale a dire i componenti in genere indesiderati come l'anidride carbonica, solfuro di idrogeno, zolfo totale, ammoniaca, ossigeno e umidità. Il metano in realtà non è menzionato direttamente nella maggior parte dei casi, e le caratteristiche del gas e la qualità sono specificati in termini di requisiti, in termini di potere calorifico, indice di Wobbe, densità o densità relativa. La frequenza di monitoraggio e requisiti relativi ai dati possono variare e i parametri non sempre devono essere monitorati in modo continuo (intervalli di misurazione di 15 minuti sono spesso sufficienti). Tuttavia, l'approccio esatto nel monitoraggio e i protocolli sono generalmente come descritto dalla legge o richiesto dall'operatore rete del gas naturale.

Lo stato del processo e il rendimento possono essere monitorati misurando la conversione del substrato (ChemicalOxygenDemand (COD), la rimozione di sostanza secca o solidi totali (TS), o disostanza organica o secca o di solidi volatili (VS)), l'accumulo di prodotti intermedi (acidi grassi volatili (VFA), pH, alcalinità, H₂, CO), e la formazione del prodotto (produzione del gas, CH₄, CO₂). In breve, i singoli VFA sono stati generalmente accettati come utili al monitoraggio dei parametri per gli impianti di AD. Il pH dà una risposta lenta e l'estrema variabilità di pressioni parziali di H₂ pongono in molti casi una difficoltà di interpretazione. Ulteriori parametri possono essere misurati e sono legati alle comunità microbiche (abbondanza e la diversità delle popolazioni) e le attività microbiche. Ultimamente queste analisi microbiche stanno guadagnando notevole interesse. La figura 4 illustra aspetti di monitoraggio possibili che possono essere utilizzati per valutare le prestazioni dei digestori e molti di questi parametri sono descritti in maggiore dettaglio nel rapporto completo associato anche con Task 5.2.



Figura 3 – Monitoraggio parametri per ogni stadio o matrice rilevante per l'operatività dell'impianto AD

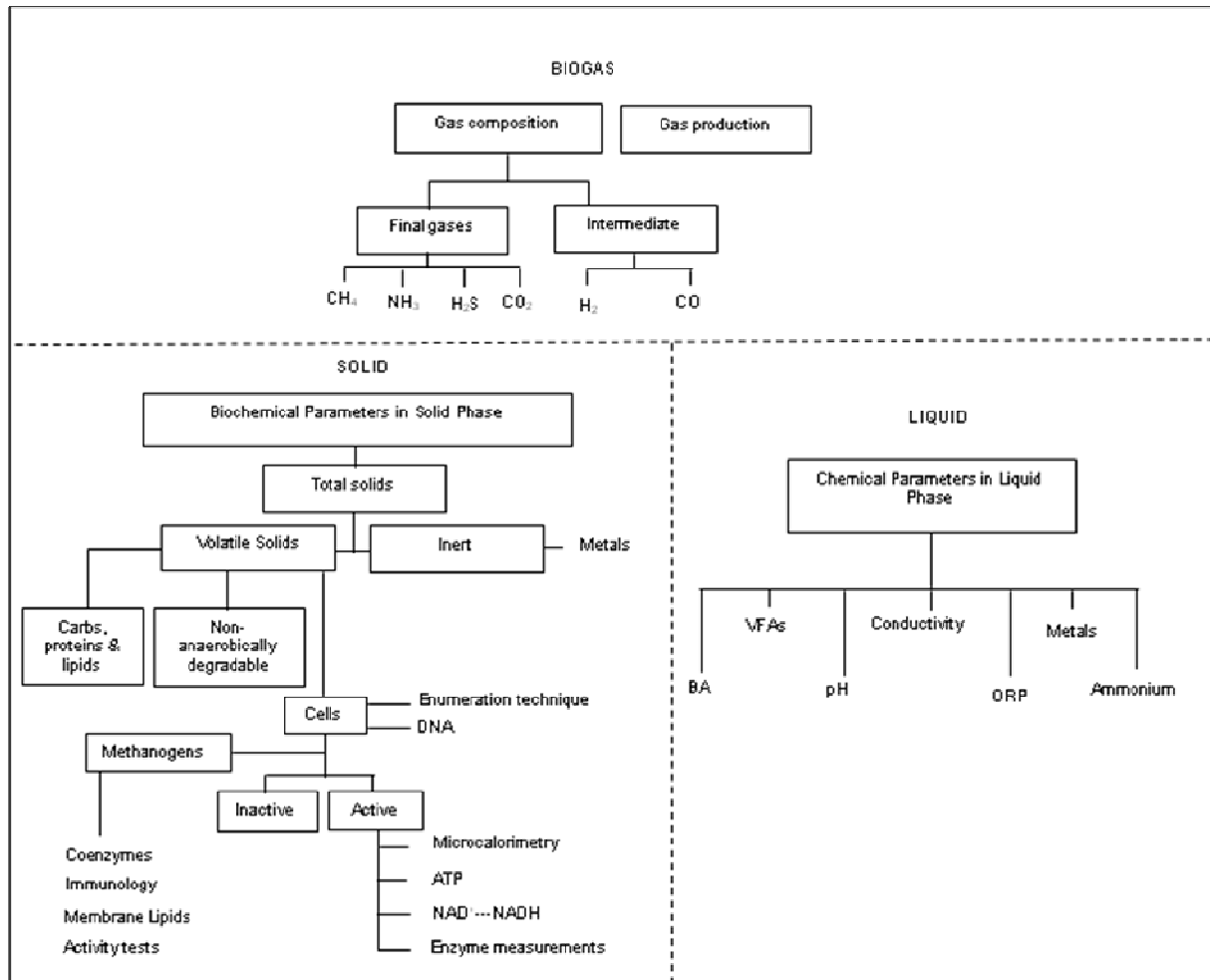


Figure 4 –Test di caratterizzazione per le 3 fasi dei digestori anaerobici

La Figura 5 introduce la terminologia usata per definire dati di monitoraggio, in questo caso esemplificati nel monitoraggio della matrice all'interno del digestore.

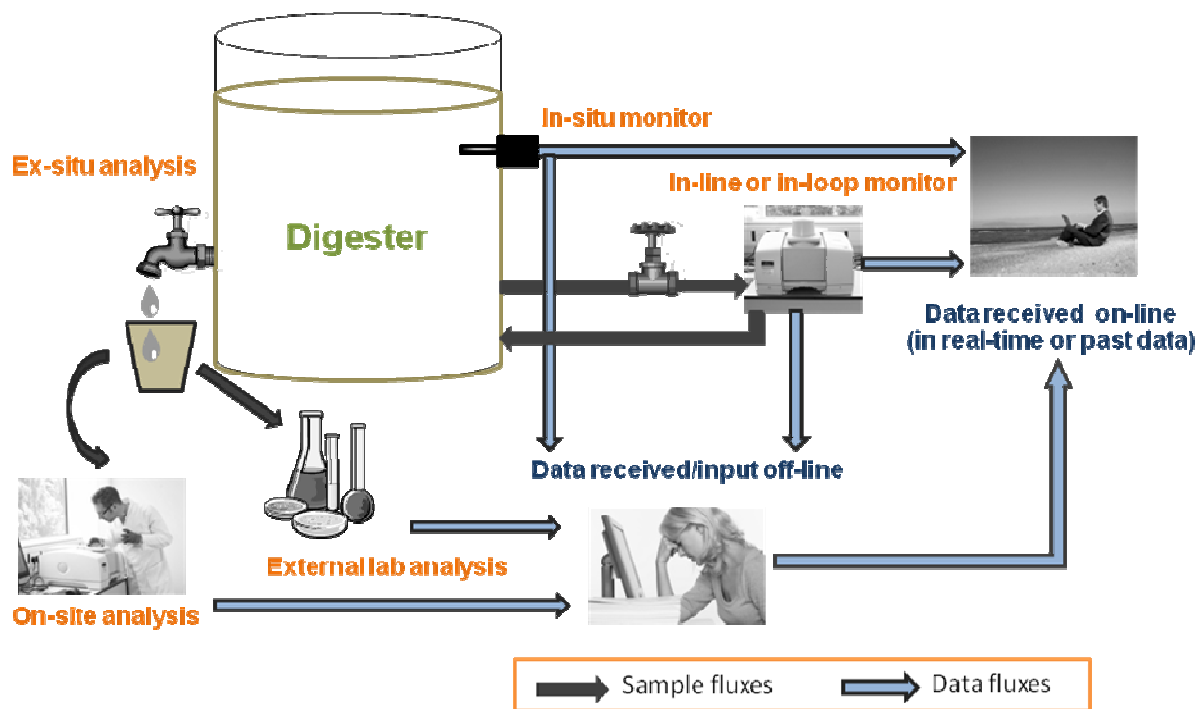


Figura 5 – Concetti/terminologia utilizzata per definire il monitoraggio dei campioni e la raccolta dati

Il successo di un sistema di monitoraggio di un processo è determinato anche dal posizionamento adeguato di sensori e di regimi adeguati di campionamento o di protocolli. Questo si applica a qualsiasi matrice o stadio all'interno dello stabilimento, con un effetto migliore quando le matrici sono molto eterogenee e per i campioni per i quali le condizioni di tempo e di stoccaggio possono influenzare le loro caratteristiche, cosa che accade spesso nei sistemi AD. Con il monitoraggio in situ, anche se i sensori sono meno soggetti a problemi di qualità di campionamento e di misurazione di campioni non rappresentativi (quando il digestore è ben miscelato), essi soffrono in molti casi di problemi di incrostazione, specialmente per i sensori a contatto con matrici liquido / solide. Inoltre, un aspetto importante è la posizione del sensore o sonda o la porta di campionamento. E' probabile che si verifichino incrostazioni di sensori posti in-situ e in-linea a contatto con matrici solide e liquide ed e' necessario ripulire ed effettuare manutenzione di frequente a meno che non ci sia un sensore autopulente. I Sensori possono talvolta essere collocati in posizioni in cui il contenuto di digestato sia scarso, o possano verificarsi alcuni depositi di materiali inorganici, o in cima ai digestori dove la formazione di schiuma e la crosta possono interferire con la lettura, a meno che il ruolo del sensore è quello di misurare tali condizioni specifiche. Per tutti questi motivi l'immissione di porte e sensori di campionamento deve essere pensato con cura e dovrebbe essere decisa una certa flessibilità per posizionamento delle porte e dei sensori durante la fase di progettazione dell'impianto. Quindi il campionamento in più punti, il monitoraggio frequente e su diversi parametri sono una buona strategia da seguire, consentendo la compensazione di una certa eterogeneità del campione, incrostazioni e altre interferenze.

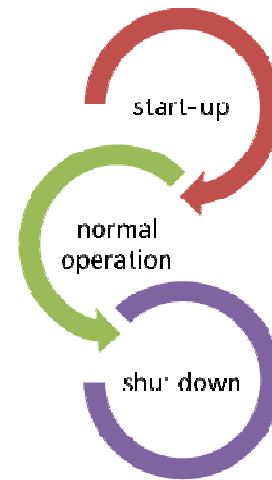
Metodi di monitoraggio ideale dovrebbe essere in-situ o in linea, automatizzati ed eseguiti in continuo, fornendo dati in tempo reale. Ciò provocherebbe interferenze minime e segnalerebbe tempestivamente indicazioni di squilibrio e di importanti cambiamenti nello stato microbico e nelle prestazioni del sistema. Ciò consentirebbe anche azioni di controllo immediate anche a distanza. Attualmente, tuttavia, non tutti i parametri importanti possono essere misurati automaticamente in situ o in linea su base continua ed in tempo reale con i dati acquisiti on-line. Alcune difficoltà tecniche e costi rendono impraticabile cioè in alcuni casi l'acquisto e funzionamento di sensori, sonde o analizzatori è relativamente costoso ed anche in alcuni casi il pre-trattamento del campione può essere necessario per evitare incrostazioni per esempio specialmente quando si misurano campioni con il particolato.

Quando si seleziona un metodo di misurazione si deve tenere a mente la necessaria precisione di misura e la qualità dello strumento. Gli strumenti da applicare a questo settore possono richiedere una manutenzione e calibrazione su una base regolare. Particolare attenzione dovrebbe essere prestata al principio di misura e possibili interferenze, e gli strumenti o sensori devono essere usati solo in un ambiente per il quale sono stati progettati.

I metodi di campionamento influiscono per lo più le analisi ex-situ e monitoraggio in linea (per lo più durante il funzionamento ad intermittenza), la rappresentatività e la freschezza / conservazione del campione a volte può essere difficile da garantire. Inoltre, se l'alimentazione dei substrati è intermittente durante il giorno o per tutta la settimana, ci saranno varie differenze constatate nel monitoraggio dei contenuti del digestore e del biogas in quel periodo. Per esempio, se un digestore non è alimentato durante il fine settimana o l'alimentazione è notevolmente ridotta, i contenuti di digestato ed i profili del biogas saranno diversi il lunedì rispetto al Giovedì, quando il digestore è stato alimentato più intensamente nei giorni precedenti.

Regimi intermittenti o inefficienti di miscelazione del digestore possono portare anche alcuni contenuti irregolari all'interno del digestore. Questo può quindi avere un impatto sulla omogeneità del campione prelevato. Anche campioni prelevati dal digestore e che possono rilasciare gas disciolti come CO₂, avranno un impatto sulle misurazioni quali pH e l'alcalinità. Inoltre, contenitori in plastica per la raccolta di campioni possono assorbire una piccola porzione di VFA e altri composti.

In sintesi, la ragione dei regimi non standard di monitoraggio in termini di scelta dei parametri e la frequenza di analisi è in gran parte a causa della complessità del processo di AD e la grande varietà di substrati utilizzati, tipi di digestato, condizioni operative e gli obiettivi dell'impianto. Regimi di controllo diversi si applicano anche a seconda della fase di funzionamento dell'impianto. Il sistema di monitoraggio di un impianto AD può essere suddiviso in tre fasi: 1) Start-up, 2) il normale funzionamento che comprende 'stato quasi o quasi costante' e le condizioni di funzionamento più transitorie, e 3) spegnimento.



Ogni fase dell'operazione ha esigenze particolari in termini di monitoraggio. La frequenza del monitoraggio può essere meno frequente in caso di funzionamento normale ad esempio "condizioni di stato quasi stazionario" visto che diversi impianti di biogas operano regolarmente su colture energetiche specifiche. Tuttavia, i regimi di monitoraggio devono poter contare su misurazioni più frequenti e con una parametrizzazione più ampia durante l'avvio (soprattutto quando la fonte di inoculo è dal digestore (s) che opera in modo diverso), e durante condizioni transienti ad esempio per un numero di impianti AD che utilizzano rifiuti biodegradabili dove si verificano frequenti cambiamenti di ingresso substrato .

E' anche importante capire che alcuni cambiamenti indotti dall' ingresso del substrato o le variazioni delle condizioni di funzionamento possono richiedere molto tempo per modificare in modo significativo le prestazioni dell'impianto AC, i periodi di monitoraggio possono richiedere anche fino a tre volte la ritenzione idraulica (HRTS), che possono essere per alcuni impianti AD molti mesi. In tali casi, le esigenze di monitoraggio abbastanza frequente per quei periodi (cioè un numero di parametri monitorati almeno un paio di volte a settimana). In questi casi, l'andamento dei parametri di monitoraggio diventano più preziosi rispetto a semplicemente evitare certi livelli / limiti. Ritardi nella manifestazione di sub prestazioni ottimali nel digestore possono essere legate al tempo necessario per la costruzione di concentrazioni nel digestore di un composto, per esempio ioni metallici leggeri di sodio, calcio e potassio, o ammonio, che possono raggiungere livelli eccessivi in grado di creare inibizioni significative dopo qualche tempo. Tuttavia, le tendenze di concentrazioni crescenti dimostrerebbe che i problemi possono iniziare a verificarsi ad un certo punto. Inoltre, non sempre si verifica un deterioramento delle prestazioni nel tempo. Infatti, alcuni substrati e condizioni operative non possono inizialmente essere tollerate, ma dopo un regime di alimentazione moderato che permette l'adattamento e spostamento della popolazione microbica, il digestore può successivamente essere in grado di accogliere determinati livelli di tali composti o condizioni operative.

È difficile generalizzare quali parametri e frequenze di controllo appropriate sono necessari per tutti gli impianti AD a causa dell'influenza di tutti i fattori sopra esposti. Gli operatori dovrebbero riflettere su una serie di aspetti tecnici di funzionamento di frequente. La figura 5 contiene una serie di domande cui gli operatori devono ciclicamente rispondere. Quante più risposte "sì" si ottengono, tanto più necessario sarà un regime di monitoraggio più completo presso l'impianto di AD.

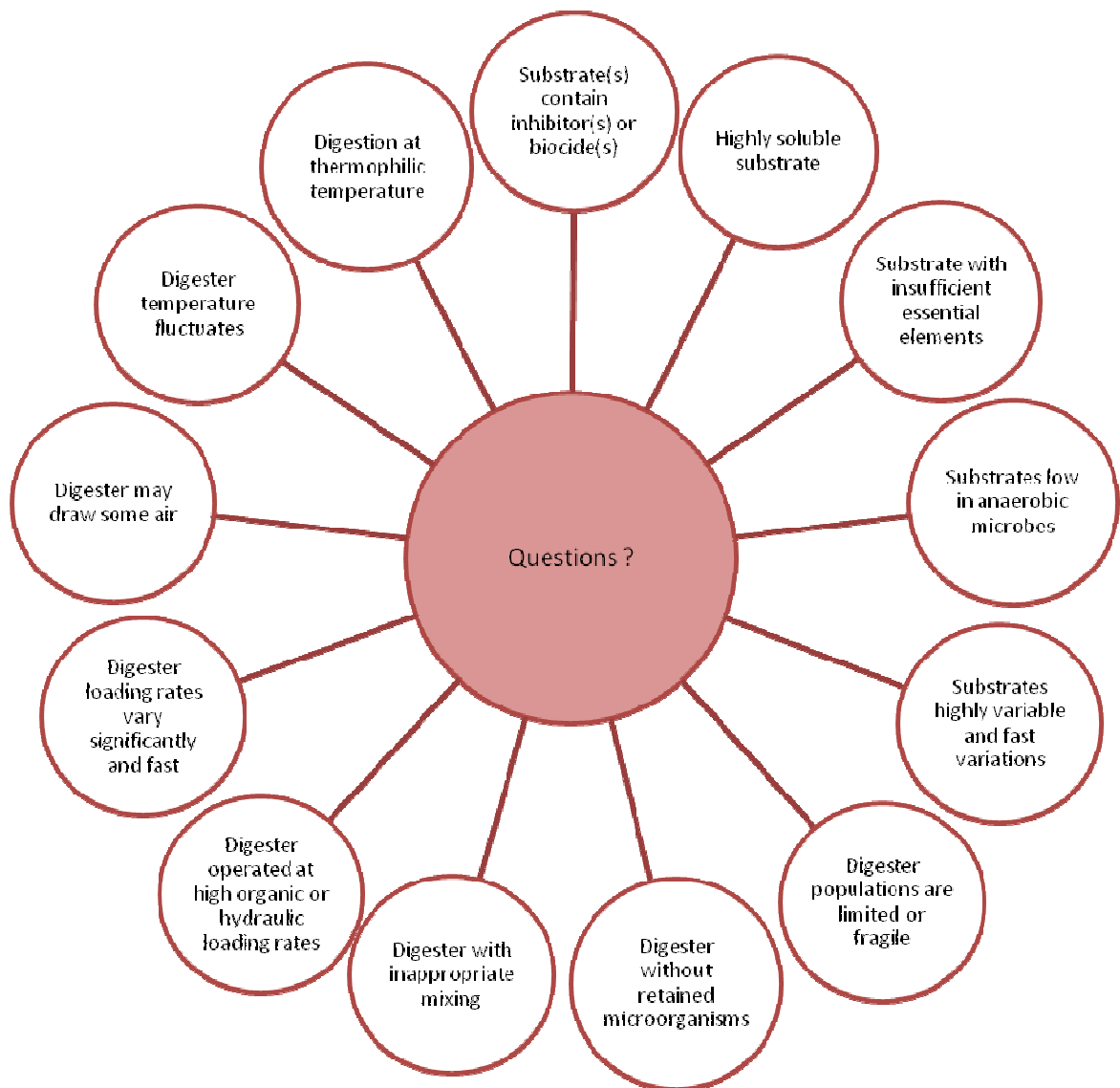


Figura 5 – Alcune domande cui gli operatori dovrebbero rispondere regolarmente

Inoltre, uno sforzo è stato fatto qui per indicare tre grandi classi di funzionamento del digestore, che indicano un livello di rischio e per i quali è suggerito un regime di controllo indicativo. In tutti i casi, la temperatura deve essere monitorata e mantenuta entro l'intervallo ottimale (sia mesofilo o termofilo) e non dovrebbe avvenire nessun ingresso di aria al digestore. L'Inoculazione di un digestore dovrebbe avvenire da un digestore ben funzionante idealmente operare su substrati simili, al fine di portare una coltura adattata e una certa diversità. In alcuni casi più di un tipo di inoculo può essere miscelato in modo da assicurarsi che è presente una grande varietà di microbi. Materiale inerte deve essere rimosso il più possibile prima di entrare nel digestore o avere un adeguato programma di rimozione. Altrimenti, con il tempo il digestore può riempirsi di sabbia e precipitati, riducendo il volume di lavoro dei digestori e alterando l'efficienza di miscelazione.

Classe A – Impianto AD ottimizzato che opera in condizioni stabili – Rischio basso

I regimi di monitoraggio possono essere meno costanti in termini di diversità dei parametri e anche meno frequenti quando gli impianti AD:

- hanno un funzionamento ottimale e non spinti al massimo o con tassi di carico organici o idraulico superiori al tipo di digestore e substrati utilizzati,
- operano in condizioni stazionarie per lunghi periodi cioè operare con lo stesso tipo e velocità di carico di substrato/i, e
- quando l'operazione è senza condizioni inibitorie (ad esempio, nutrienti e metalli sono sufficienti, ma non in eccesso, non sono introdotti biocidi e la capacità tampone è adeguata).

In queste condizioni, le misurazioni della portata e composizione del biogas possono essere effettuate di continuo o molto regolarmente, supportate da misurazioni settimanali del pH e bicarbonato di alcalinità e almeno concentrazione totale di VFA. Ciò consentirebbe una valutazione ragionevole delle prestazioni del digestore. Inoltre, la caratterizzazione dei substrati potrebbe avvenire anche settimanalmente e che comprenda un contenuto minimo solido (TS e VS) per verificare tassi di carico al digestivo. Altri parametri possono essere misurati occasionalmente per verificare le prestazioni complessive o in base ai requisiti della normativa nazionale, come ad esempio nel dimostrare la qualità del digestato. Ulteriore monitoraggio sarebbe richiesto se le prestazioni iniziano a cambiare, come indicato da acidi totali, e livelli di alcalinità, misure di produzione di biogas e le variazioni delle superfici o delle caratteristiche del digestato. Questo regime di monitoraggio per questi tipi di impianti è idoneo ad evitare errori significativi.

Classe B – Impianto AD che opera in condizioni transitorie – Rischio Medio

Il regime di controllo che segue è probabilmente appropriato quando gli impianti AD non sono spinti al massimo o al di sopra dei tassi di carico organico o idraulico per il tipo di digestore e substrati utilizzati, ma vengono azionati per alcuni periodi di condizioni transitorie per esempio variazioni del tipo di substrati e dei tassi di carico organico ed idraulico. Al fine di ottimizzare i tempi di funzionamento e cioè eventuali inibizioni di carico potenziali, le caratterizzazioni substrato dovrebbe essere almeno una volta alla settimana per il contenuto solido e più frequentemente per qualsiasi cambiamento significativo nel substrato. Per qualsiasi cambiamento significativo in substrati la seguente caratterizzazione dovrebbe anche avere luogo:

- C: N: P: rapporto S
- metalli tra cui il calcio, sodio e potassio in funzione dei tipi di substrati.

Il Monitoraggio della portata del biogas e delle concentrazioni di gas devono avvenire continuamente e contenuti di digestato devono essere monitorati circa 3 volte alla settimana per parametri quali alcalinità, VFA individuali (cioè acidi acetico, propionico, butirrico, iso-butirrico, valerico e iso-valerianici), pH. Potrebbero essere necessarie alcune altre misurazioni nel digestore quali oligoelementi, ammoniaca e alcuni alcali (terra) metalli a seconda dei substrati utilizzati. Se le prestazioni non si dimostrano ottimali, una più ampia parametrizzazione potrebbe essere necessaria così come un monitoraggio più frequente effettuato in modo che le azioni di controllo possano avvenire in modo più efficace.

Classe C – Impianti AD che operano al Massimo tasso di carico (incluso sistemi di digestione ad alto tasso con basso HRTs) con condizioni transitorie significative Rischio alto

Altri impianti AD richiedono regimi di controllo più rigidi. Per esempio, quando un digestore combina un certo numero di questi scenari operativi:

- opera molto vicino alla velocità massima di carico biologico, o per il tempo minimo di conservazione come da specifiche di progetto,
- esistono condizioni che possono in alcuni casi essere una mancanza di nutrienti essenziali e oligoelementi,
- esiste la possibilità di composti inibitori alimentati o generati, quali i livelli significativi di alcali (terra) di metalli, acidi grassi a catena lunga, ammoniaca o biocidi determinati ad esempio da detergenti,
- modifiche significative nella composizione del substrato avvengono molto rapidamente.

In questi casi, il controllo di un insieme di parametri che riguardano il biogas, substrato/i e il digestato sarà fondamentale e ci saranno benefici se vengono misurati di continuo o semi-continuo, molto frequentemente, in situ o in linea con i dati ricevuti quasi in tempo reale. Se sono richieste analisi ex situ o analisi manuali biochimiche, esse dovrebbero essere effettuate con risultati acquisiti molto rapidamente in modo che, se necessario, si possono attuare rapidamente azioni di controllo. Oltre al monitoraggio on-line della portata del biogas e del contenuto in metano e H₂S (a seconda del tipo di substrato), almeno una volta al giorno è probabile che siano necessarie analisi di parametri quali l'efficienza di rimozione organici, alcalinità, VFA individuali, ammoniaca e alcuni (alcali terra metalli) (seconda substrati). Misurazioni frequenti di oligoelementi sono necessarie. Inoltre, l'attività enzimatica batterica e microbica può anche essere di beneficio, specialmente quando la necessità di diagnosi della causa di un calo di prestazioni del digestore non risulta con altre misurazioni. Un certo numero di digestori operanti ad alta frequenza con HRTS bassa (ad esempio al di sotto di 4 giorni) su substrati a basso contenuto solido in sospensione con consorzio microbico immobilizzato anche normalmente richiedono questo tipo di regime di controllo, come anche nell'ambito di una settimana, può verificarsi un impatto significativo per la biochimica del digestore. Monitoraggi meno frequenti limiteranno in termini di ottimizzazione degli impianti seguendo diverse condizioni di funzionamento e in rapida evoluzione, e limiteranno anche la capacità di identificare con sicurezza la causa di risultati non ottimali o di fallimento.

In ogni caso, è importante tenere a mente che quanto più parametri vengono monitorati, maggiore sarà il controllo delle condizioni di processo e maggiore sarà la flessibilità per controllare il funzionamento. Non c'è mai eccesso di informazioni, e più velocemente le informazioni diventano disponibili più rapidamente avverrà l'azione di controllo.

Con microrganismi viventi svolgere i compiti essenziali, il tempo è l'essenza. E' anche importante che i dati sono analizzati e compresi, e quindi la conoscenza dell'operatore e l'esperienza non può essere trascurato. In pratica un buon monitoraggio fornisce agli operatori un quadro di ciò che sta accadendo nel processo di AD e caratteristiche digestato che ne derivano. Il monitoraggio dei parametri specifici ad intervalli regolari consente di dedurre le tendenze e offre agli operatori la possibilità di individuare una situazione critica in anticipo, lasciando il tempo di prendere le misure precauzionali è la chiave per funzionamento a lungo termine con successo. Se AD piante non sono monitorati per almeno parametri chiave è molto difficile ottenere vantaggi importanti del sistema. E 'simile a' guidare una macchina senza un parabrezza o un volante '. Diventa difficile operazione di riferimento e per ottimizzare l'erogazione della pianta. È anche difficile capire quale sarebbe il principale fattore (s) se si verifica un guasto di processo, che limita di conseguenza la capacità di fornire velocemente (e in alcuni casi redditizio) azioni correttive.

Nei casi in cui gli impianti non sono monitorati e controllati in modo efficace, è probabile che le prestazioni del digestore siano sotto il livello ottimale e, nel peggiore dei casi, la biochimica di un digestore può fallire. La necessità di re-inoculare e fare lo start-up del digestore può ritardare il funzionamento per molti mesi. Ad esempio, se non viene raggiunta una conversione accettabile dei materiali organici del biogas, oltre a ridurre la generazione di energia, ci sarà anche un aumento delle perdite di emissione potenziali per l'ambiente, che deve essere evitata. E' quindi indispensabile una buona comprensione dello stato del processo esiste a livello operativo.

Oltre al valore del multi-parametro e del frequente monitoraggio, si può anche acquisire valore mantenendo una buona archiviazione e memorizzazione di dati per lunghi periodi. Queste informazioni dovrebbero essere catalogate in un formato facilmente recuperabile e comprensibile anche da un operatore differente. È comune che le modifiche apportate nel tipo di substrato e nei carichi, nonché le modalità di funzionamento non sono sempre registrati, così come diventa difficile interpretare i cambiamenti nella risposta di processo e nei dati di prestazione. Per impianti AD che non hanno un sistema significativo di monitoraggio, per comprendere le motivazioni per cui alcuni cambiamenti possono verificarsi, un certo numero di piccoli campioni possono essere conservati in un congelatore dedicato per alcuni mesi in modo che possano essere analizzati se necessario.

Un certo numero di ricercatori ha esaminato il monitoraggio dei parametri e dei regimi di AD (ad esempio Madsen et al, 2011;.. Boe et al, 2010, Monson et al, 2007.). Ulteriori sviluppi nel campo continuano sia in termini di comprensione, la biochimica e le risposte dei parametri di processo e anche in termini di ulteriore sviluppo di nuove tecniche di monitoraggio e di migliorare e ridurre il costo delle varie tecniche di monitoraggio. Vale la pena quindi, continuare a studiare la letteratura accademica e seguire lo sviluppo di nuove tecniche di monitoraggio / sensori / analizzatori che saranno disponibili sul mercato in futuro che può essere meno soggetto a interferenze, incrostazioni e possono essere automatizzati e fornire dati in tempo reale.

3. Parametri Generali (progettazione, operatività e performance)

Gli impianti AD sono normalmente indicati da una serie di parametri che sono elencati di seguito. Questi descrivono parametri di progettazione, prestazioni di funzionamento tipico e comprendono produzione annuale e l'utilizzo di energia. Queste informazioni sono normalmente usate per riassumere il profilo dell'impianto AD e permettono l'analisi comparativa tra i processi e gli impianti, così come di tracciare la capacità della digestione anaerobica nelle regioni. Questi dati sono normalmente compilati in fase di progettazione e in base al rendimento previsto, ma possono essere rivisti in caso di modifiche nella risposta dei substrati, delle prestazioni e del processo. Queste revisioni possono essere compilate sulla base della documentazione dell'operatore. Le informazioni generalmente forniscono una panoramica generale del tipo e delle prestazioni dell'impianto AD a biometano. Tali informazioni dovrebbero includere:

Identificazione del tipo/i di substrati utilizzati

Sistemi di gestione (umido o secco, mesofilo o termofilo, a intermittenza o continuo, multi digestori ad uno o più stadi con microbi sospesi)

Grado di degradazione del processo di digestione (% VS)

Output di Digestato (tonnellate/anno)

Specifiche dei mercati per il digestato (intero, separazione fibre liquido)

Rendimento annuale o giornaliero di materie prime (e.g. tonnellate/anno)

Tasso di carico organico (OLR)

Quantità di sostanza organica secca o solidi volatili che viene caricata per volume di lavoro del digestore al giorno (kg VS or COD/m³.d)

Tasso di carico volumetrico (VLR)

Quantità di material prima (peso umido) caricata per volume di lavoro del digestore al giorno (kg di materia prima (ww)/m³.d)

Tempo ritenzione idraulica (HRT)

Tempo medio di permanenza del substrato nel digestore
(working digester volume m³ / substrate daily feed rate m³/d)

Produzione annuale o giornaliera del biogas/biometano (e.g. m³_{STP} CH₄/annum)

Rese metano

CH₄ prodotto per tonnellate di substrato (peso umido o VS o COD) aggiunto o distrutto (m³_{STP}CH₄ / tonne VS aggiunto o distrutto)

Metano or biogas prodotto per volume di digestore al giorno (e.g. m³_{STP} CH₄ / m³digestore.d)

Temperatura e pressione standard (STP) condizioni normali 273 K. 1013 hPa

Conversione dell'energia, correnti parassita e utilizzo

Usò biogas es. CHP (calore e elettricità) o upgrading del biometano (immissione in rete o autotrazione)

Potenza motore o turbina (MW_e)

Capacità unità di upgrading del Biometano (m^3_{STP} biogas/h) e produzione (m^3_{STP} biometano/h)

Produzione annuale o giornaliera di elettricità o calore (e.g. MWh_e or $MWh_{th}/annum$)

Carico di elettricità o calore annuale o giornaliera, corrente parassita (es. kWh_e or $kWh_{th}/anno$)

Ulteriori requisiti energia/carburante (kWh_e or $kWh_{th}/anno$) gas naturale, petrolio o elettricità

La compilazione e la registrazione di queste informazioni fa parte delle buone pratiche e in molti casi sono richieste da parte delle normative ambientali in base ai rendimenti per le energie rinnovabili, incentivati attraverso i sistemi di governo.

4. Tecniche e principi di misurazione utilizzati nel monitoraggio degli impianti AD e biometano

Il monitoraggio degli impianti di trasformazione AD e di biogas si basa su una serie di metodi analitici e tecniche che sono state sviluppate e applicate in molti altri processi in biotecnologia e dall'ingegneria chimica. Tuttavia, in alcuni casi, una specifica metodologia è stata concepita in modo da usare principi di misurazione ampiamente applicati per i sistemi di biogas. In molti casi, per esempio, la preparazione del campione è stato richiesto a causa del biofouling e l'elevato contenuto di solidi sospesi nei campioni AD.

Principi di misurazione fanno affidamento su un numero limitato di tecniche fisiche, chimiche o biologiche, o combinazioni di esse. Alcuni principi di misurazione possono essere utilizzati per valutare più parametri mentre alcuni parametri possono essere misurate con diversi principi. La scelta di quale principio da utilizzare per il monitoraggio può essere effettuato sulla base dei costi, precisione, tempo necessario per l'analisi, le potenziali interferenze e requisiti per la preparazione del campione. Alcuni dei metodi di misurazione più significativi che sono stati applicati a sistemi AD comprendono:

1. Gravimetria
 - Semplice metodo per quantificare i composti sulla base della massa (che possono in alcuni casi essere combinati con pre-trattamento/i di calore ad esempio per eliminare l'umidità per la caratterizzazione TS)
2. Cromatografia
 - separazione di sostanze mediante la differente affinità tra una fase mobile e una fase stazionaria (basata sulla solubilità relativa, adsorbimento, dimensioni o carica)
 - può essere utilizzato per liquidi o gas e può essere utilizzato per misurare VFA individuali e la composizione del gas
 - Le tecniche si dividono in gas cromatografia (GC), Gascromatografo Headspace Gas (HS-GC) e cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC)
3. Elettrochimica
 - basato sulla misura di potenziale elettrico, corrente o resistenza utilizzando elettrodi
 - può essere usato per misurare campioni liquidi pH, redox, conducibilità e un numero di specie ioniche come ammonio, calcio, vari metalli pesanti, carbonati e solfuri. È stato anche usato per misurare idrogeno disciolto
4. Titrimetrico
 - misurazione della quantità di reagente che reagisce con il componente da valutare
 - può essere utilizzato per misurare alcalinità e può essere usato come metodo per misurare surrogati VFA totali

5. Biosensori

- Unire la selettività delle sostanze biologiche con la microelettronica e optoelettronica
- Può essere utilizzato per misurare la BOD, e più recentemente l'ammoniaca e VFA totali

6. I nasi elettronici per la misurazione di gas

- L'uso di sensori di gas elettronici, cosiddetti 'nasi elettronici', o mapper di composti volatili sono stati utilizzati per misurare l'attività metabolica, indirettamente.
- Questo tipo di sensore può avere un potenziale promettente in AD in quanto non invasivo, tuttavia, equilibrio di fase del liquido-gas è limitata a sistemi anaerobici, e più ricerca deve ancora essere effettuato se devono essere utilizzati in questo campo. nasi elettronici

7. Microbiologia e strumenti molecolari

- Tecniche che possono essere utilizzate per il conteggio dei microbi o per l'analisi del DNA/RNA correlat ; queste includono la microscopia , la fluorescenza in situ (FISH) , elettroforesi su gel in gradiente denaturante (DGGE) , real - time PCR (qPCR) e DNA sequencer
- Queste tecniche hanno compiuto progressi significativi negli ultimi anni e la loro applicazione può diventare più diffusa nei sistemi di AD in futuro

8. Spettrometrica

- misurare l' assorbanza , trasmissione , diffusione o fluorescenza della radiazione nella gamma dell'ultravioletto (UV) , visibile (VIS) e infrarossi (IR)
- la spettroscopia molecolare i liquidi , mentre la spettroscopia atomica misura componenti in fase gassosa
- A seconda analisi eseguite con la fotometrica , le concentrazioni misurate es COD , NH₄ - N e VFA possono soffrire di interferenze da particelle e dalla colorazione intrinseca del campione
- Applicazioni significativi per AD di queste tecniche sono state studiate negli ultimi dieci anni



Alcuni dei principi di misura sopra hanno, o possono essere applicati in teoria, di costruire strumenti per misurare parametri di linea all'interno dei sistemi AD. Un certo numero di loro sono stati costruiti e gestiti in laboratori, ma in alcuni casi non sono state ancora pienamente sviluppato come strumenti commerciali (ad esempio, una linea HS-GC sensore a base per le misure VFA (Boe et al., 2007) e il bicarbonato intermittente alcalinità analizzatore riportato da Esteves et al., (2000)).

Anche le recenti tendenze nel campo del monitoraggio utilizzano raggi infrarossi (IR), Spettroscopia e tecniche di analisi multivariata per stimare una serie di parametri relativi AD. Spettroscopia IR è stato utilizzato ad esempio per il monitoraggio VFA, alcalinità (parziale e totale), COD, carbonio organico

totale (TOC), TS e VS, l'identificazione dei fanghi primari vs fanghi secondari, così come potenziali biometano, in alcuni casi per un certo numero di differenti substrati e il funzionamento digestivo da parte di ricercatori tra cui Steyer et al. (2002), Lomborg et al. (2009), Jacobi et al. (2009), Reed et al. (2011) e Lesteur et al. (2011). Un analizzatore che richiede poca manutenzione è stata in grado di fornire multi-parametri e risultati che sono stati abbastanza affidabile. Tuttavia, in alcuni casi la preparazione del campione mediante filtrazione o essiccazione è stata eseguita, il che significa che la tecnica non può essere utilizzata in situ o in linea di on-line di acquisizione dati. Tuttavia, questi requisiti di pre-elaborazione non sono stati universale. Modelli di dati devono tuttavia essere costruito e tarato per le correlazioni desiderati, che in molti casi significa investimento di tempo, e come un modello non può necessariamente montare la correlazione (s) per diversi tipi di substrati questo può ritardare l'uso di queste tecniche settore. Ma una volta che il modello (s) sono stati calibrati il tempo di ciclo di misura è dell'ordine di minuti. Significativo di R & S relative a questo continua ad essere eseguito e alcuni modelli hanno già iniziato a essere commercializzato, e una varietà di modelli sono stati prodotti da un certo numero di istituzioni accademiche e aziende. Spettrometria Raman ha anche iniziato a essere utilizzati. Chemiometria acustici sono oggetto di ricerca e possono avere un certo potenziale per l'utilizzo in sistemi di AD (ad esempio Lomborg et al., 2009 e Lhunegbo et al., 2012).

5. Costi e benefici del monitoraggio di impianti AD e biometano

Il monitoraggio in tempo reale di alcuni parametri biochimici relativi al funzionamento del digestore è utile in aggiunta a quello della portata e della composizione del biogas. Tuttavia questi ulteriori parametri non sono sempre monitorati a causa della non disponibilità degli strumenti analitici o dei costi per le analisi in tempo reale ..

I dati dei costi relativi ai sensori per il monitoraggio e gli analizzatori, nonché delle analisi di laboratorio e dei contratti per il monitoraggio dell'impianto sono difficili da compilare. Ciò è dovuto alle diverse situazioni e ai diversi contesti regionali. Una serie di informazioni sui costi è stata tuttavia raccolta da alcuni paesi europei ed è stata riassunta qui.

Costi tipo per contratti di fornitura degli strumenti analitici, analisi di laboratorio e monitoraggio impianti

Gli analizzatori in continuo che sono più comunemente usati misurano portata e composizione del biogas e biometano. I costi per gli analizzatori di gas multicomponenti che misurano le concentrazioni di gas CH₄, CO₂, O₂ e H₂S variano da € 20.000-80.000, a seconda del principio di misura dell'analizzatore e la precisione e se prevedono misure off-line o su base continua ed eseguono la calibrazione automatica e l'essiccazione del gas. Le misurazioni del volume del biogas e del biometano, compensati per pressione e temperatura possono essere eseguite con analizzatori con costi che variano circa da € 5.000-12.000 a seconda della portata del gas. La misurazione del pH in genere può essere effettuata sia in tempo reale o ex-situ e i costi delle sonde pH è di circa 300 € ma la scatola del trasmettitore del segnale richiede un supplemento di € 700-900.

Le analisi ex-situ in genere si eseguono per i parametri biochimici rilevanti per il controllo delle materie prime, i contenuti del digestore e le caratteristiche del digestato. Queste analisi possono essere eseguite utilizzando apparecchiature di analisi o metodologie di analisi in loco o con l'invio di campioni a laboratori esterni. Per esempio, i costi di acquisto di un analizzatore di acidi grassi volatili che fornisce le concentrazioni di un certo numero di VFA tra cui acidi acetico, propionico e butirrico può costare circa € 35.000, mentre un titolatore per misurare l'alcalinità e VFA complessivo è nell'ordine di € 1700-3800. Altri costi di gestione sono associati all'esecuzione di queste analisi che comprenderanno materiali di consumo, la manutenzione e il personale.

La Tabella 4 riassume i costi, sulla base dei dati forniti da una varietà di laboratori in tutta Europa . I costi sembrano variare a seconda delle metodologie utilizzate , nonché del livello di reddito del paese . E' bene chiarire che, in un certo numero di paesi, la disponibilità di fornitura di queste analisi non è molto diffusa. Per alcuni parametri quali le popolazioni microbiche e anche analisi VFA o i potenziali di biogas e biometano , l'analisi è in gran parte svolta da università o istituti di ricerca, poiché la disponibilità di laboratori commerciali è ancora limitata. I contratti annuali di monitoraggio delle prestazioni degli impianti variano per caratteristiche e costi, ma in genere riguardano le informazioni di

base per contribuire ad evitare il fallimento del digestore e per soddisfare la conformità alle normative che possono essere nell'ordine di € 5.000 – 40.000;-per un livello più elevato di valutazioni dei costi l'obiettivo non è solo per evitare il fallimento del digestore , ma anche sostenere la continua ottimizzazione degli impianti sulla base di valutazioni tecniche e analisi di laboratorio . Questi valori tuttavia , devono essere presi come guida , visto che ogni impianto è diverso , più o meno un'operazione variabile e il tipo e la frequenza delle analisi e modifiche proposte possono essere anche significativamente diversi .

Il report dal titolo "European Case Studies di sistemi di monitoraggio di impianti di digestione anaerobica"(deliverable. Task 5.1) contiene qualche riferimento a costi di monitoraggio per alcuni numero di impianti di digestione anaerobica e biometano in Europa.

Tabella 4 - Costi per l'analisi dei parametri rilevanti da parte di laboratori esterni (i costi si intendono per campione se non diversamente specificato)

Parametri	Costi di laboratorio
Potenziale del biogas / biometano per materie prime e digestato (il batch test in genere richiede circa 30 giorni; la metodologia può variare e i risultati possono includere il contenuto solido , nonché la composizione del biogas ; il pH e VFA possono essere monitorati al termine del test e può essere eseguito un controllo in parallelo)	€ 520-800
Composizione del Biogas (CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S, O ₂)	€ 20 -30 /composti
pH	€ 5 - 10
TS	€ 6 - 40
oTS (VS)	€ 9 - 40
COD	€ 30 - 60
Nutrienti (N, P, K)	€ 35 - 85
Analisi degli elementi (Carbonio, idrogeno, azoto, zolfo, CO , idrogeno, azoto, zolfo e ossigeno)	€ 210
TKN	€ 14 - 45
NH ₄	€ 15 - 40
VFAs	€ 50 – 100 (Total) Speciati in 6 VFAs €120 Per composto €30
Metalli pesanti (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn)	€ 65 - 129
Cationi e anioni (sodio , potassio , ammonio , fosforo , cloruro , nitrati , nitriti)	€ 80 - 125
Elementi in traccia Oligoelementi (cobalto, nichel , selenio , molibdeno , ferro , tungsteno)	€ 50 - 135

Parametri igienici (salmonella , E. coli , enterococchi)	€ 150 - 210
Popolazione microbica tramite qPCR (Eubac e methanogeni)	€ 470
16 S piro sequenziamento (a seconda della lunghezza sequenziamento e la dimensione dei dati)	€ 720 - 1650
Analisi metagenomica (1 GB di dati)	€ 1200
Fase metanogenica (a seconda della metodologia e numero di substrati testato)	€ 75 – 280

Nota: Le Analisi vengono svolte tre volte e i costi escludono le tasse governative.

Uno sconto del 10-20% può essere offerto per contratti di monitoraggio a lungo termine o per campioni multipli. Alcuni laboratori hanno anche tariffe minime.

Esempi di benefici economici grazie ad una migliore performance dell'impianto a seguito di monitoraggio

Due esempi sono di seguito esposti per dimostrare i vantaggi economici quando la produzione di biogas aumenta a seguito del monitoraggio.

Impianto AD da scarti agricoli (Austria)

Potenza nominale (iniziale)	500 kW
Materia in ingresso (portata annua)	pig slurry (1,600 tons), clover (175 tons) and energy crops (corn-whole crop silage 8,500 tons
Conto energia	€ 170.2 / MWh
Energia elettrica (initial)	4,077 MWh
Biogas per tonn di colture o TS	600 m ³ / t oDM
Ricavi da calore	€22.5 / MWh
Quantità di calore vendibile (iniziale)	1,937 MWh
Prezzo delle colture	62.5 €/ t TS
Costi di investimento	€ 2,041,000

Senza tener conto della tassazione dei profitti annuali o di eventuali costi maggiori in termini di spesa in conto capitale, al fine di consentire i miglioramenti, un impianto meglio gestito potrebbe potenzialmente portare ad un aumento della produzione di biogas del 10%, che si tradurrebbe in un aumento a reddito annuo di 72.000 € o un incremento di € 150.000 se l'aumento è stato del 20% in termini di biogas prodotto.

Impianto AD alimentato da scarti alimentari (Operanti nel Regno Unito)

Potenza nominale (iniziale)	1 MW
Materie prime (portata annua)	30,000 tonnes di scarti alimentari
Conto Energia	9.24 p/kWh
Tariffa elettricità e calore	4.64p/kWh and 2p/kWh

A titolo di esempio, un aumento del 20% nella produzione di biogas per questo pianto AD equivarrebbe ad un aumento delle entrate di circa £ 200.000 all'anno da fonti di calore e energia elettrica e di calore ed il conto energia. Ci sarebbero maggiori ricavi nel caso in cui il calore beneficiasse di un incentivo come calore rinnovabile. E'anche possibile che, come impianto di trattamento di rifiuti un aumento della produzione di biogas comporterebbe un incremento del trattamento dei rifiuti e un aumento dei rifiuti potrebbe anche portare ad un aumento della tassa sul reddito.

Gli incrementi di produzione di metano di oltre il 10% sono parte di questo progetto e saranno presto pubblicati come parte del risultato finale del Task 5.3.

Monitoraggio dell upgrading di impianti AD

Prima di tutto, il monitoraggio e l'archiviazione di parametri qualitativi e quantitativi di biometano è obbligatorio a seconda della utilizzazione finale del biometano. Obblighi più restrittivi devono essere soddisfatti per l'immissione in rete del gas. Inoltre, l'acquisizione e la conservazione dei relativi parametri di performance risultano essere di grande valore per un efficiente operatività dell'impianto. Questi parametri possono indicare un deterioramento delle prestazioni dell'impianto se analizzati nel corso della vita dell'impianto dando valore alla manutenzione preventiva. In secondo luogo, durante l'operatività dell'impianto, questi dati possono fornire la possibilità di osservazione delle performance (verifica di conformità alle specifiche di progetto), il miglioramento dell'efficienza o Debottlenecking.

6. Conclusioni

I parametri misurabili per gli impianti di biogas AD e l'upgrading delle tecnologie sono numerosi. Vi sono tuttavia ancora un numero di parametri che non vengono misurati in-situ e in tempo reale. Questo in alcuni casi riguarda difficoltà analitiche, in altri casi, a causa della notevole manutenzione e del costo. In questa guida sul monitoraggio, sono stati scelti e definiti più parametri che consentano un approccio efficace al monitoraggio. Questi parametri di monitoraggio principali sono stati scelti da esperti sulla base di R & S e l'esperienza pratica nell'upgrading di impianti AD e biogas in tutta Europa. Si possono applicare parametri di monitoraggio diversi a seconda dell'obiettivo dell'upgrading degli impianti AD di biogas, se il controllo deve essere eseguito, il tipo e le caratteristiche dei substrati utilizzati, il tipo di tecnologia di conversione e dei mercati del digestato e biometano prodotti.

I tipi e le caratteristiche dei substrati, la loro preparazione e conservazione e il design del digestore avrà un impatto significativo sulle prestazioni dell'impianto AD. Inoltre, ogni consorzio multi-batterico può essere unico (in diversità e quantità) e le reazioni chimiche sono anche complesse. Pertanto, e anche se sussistono prestazioni analoghe, i digestori non sono uguali e non rispondono sempre nello stesso modo. Mentre ci sono linee guida generali per la funzionalità dei digestori, esattamente i livelli ottimali per i vari componenti biochimici non possono essere completamente definiti. In generale, la caratterizzazione frequente dei substrati (contenuto organico e di umidità, biodegradabilità, elementi nutritivi e di traccia e composti eventualmente inibitori) che portano ad un design e funzionamento appropriato del digestione, insieme alla risposta feedback delle prestazioni del digestore cioè in termini di portata di metano, nonché residui VFA individuali e alcalinità, sarebbero dei parametri di monitoraggio ideali. Questi parametri insieme sono in grado in molti casi di dettare abbastanza rapidamente opportune azioni di controllo, necessarie per ottimizzare le prestazioni digestore.

Analogamente, è stato dimostrato che il monitoraggio della qualità e quantità del biometano nonché diversi parametri di produzione dell'impianto di biometano forniscono input efficienti, sicuri e affidabili per il funzionamento dell'impianto di upgrading del biogas. Il monitoraggio e la memorizzazione dei dati provenienti da un certo numero di parametri di qualità del biometano è un obbligo sia per l'immissione nella rete di distribuzione del gas naturale o per l'approvvigionamento di carburante dei veicoli, ma i criteri esatti variano nei diversi paesi. Tuttavia, una documentazione completa e tracciabile del biometano prodotto è obbligatoria e deve essere vista come una risorsa durante il funzionamento dell'impianto. A seconda della tecnologia di upgrading del biogas applicata, il monitoraggio e la memorizzazione di alcuni parametri di funzionamento dell'impianto consentono l'identificazione del deterioramento delle prestazioni dell'impianto o la possibilità di miglioramento dell'efficienza. Inoltre, la manutenzione preventiva e la manutenzione dell'impianto e dei suoi componenti sono supportati da un sistema di monitoraggio globale, che porta alla massima disponibilità degli impianti.

Considerando gli incentivi in materia di energia rinnovabile, in molti paesi in Europa e sulla base dei dati presentati in questo rapporto in relazione al costo di analizzatori, analisi di laboratorio esterno e contratti annuali di monitoraggio per impianto AD e biometano, quando l'attuazione di programmi di monitoraggio permettere miglioramenti nella produzione di biogas sia dalle materie prime agricole sia dai rifiuti urbani e industriali anche poco più del 10%, gli introiti derivanti dalla produzione di biogas aggiuntivo è molto probabilmente superiore all'investimento in programmi di monitoraggio, anche su impianti di media dimensione .

7. Bibliografia

Boe K., Batstone D.J., Steyer J.-P. and Angelidaki I. (2010) State indicators for monitoring the anaerobic digestion process. *Water Research* 44: 5973-5980.

Boe, K., Batstone, D.J., Angelidaki, I. (2007) An innovative online VFA monitoring system for the anaerobic process, based on headspace gas chromatography. *Biotechnology and Bioengineering*, 96 (4): 712-721.

Chen Y., Cheng J.J., Creamer K.S. (2008) Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology* 99(10): 4044–4064

De Vrieze J, Hennebel T., Boon N., and Verstraete W. (2012) *Methanosarcina*: The rediscovered methanogen for heavy duty biomethanation. *Bioresource Technology* 112: 1-9.

Esteves, S.R.R., Wilcox, S.J, O'Neill, C., Hawkes, F.R. and Hawkes, D.L. (2000) On-line Monitoring of Anaerobic-Aerobic Biotreatment of a Simulated Textile Effluent for Selection of Control Parameters. *Environmental Technology* 21(8): 927-936.

Fricke K., Santen H., Wallmann R., Huttner A. and Dichtl N. (2006) Operating problems in anaerobic digestion plants resulting from nitrogen in MSW. *Waste Management* 27: 30–43.

Jacobi, H.F., Moschner, C.R, and Hartung, E. (2009) Use of near infrared spectroscopy in monitoring of volatile fatty acids in anaerobic digestion. *Water Science and Technology* 60(2), 339 – 346.

Lesteur, M., Latrille, E., Bellon-Maurel, V., Roger, J.M., Gonzalez, C., Junqua, G. and Steyer, J.P. (2010) First step towards a fast analytical method for the determination of biochemical methane potential of solid wastes by near infrared spectroscopy. *Bioresource Technology*. 102(3): 2280-2288.

Lhunegbo F.N., Madsen M., Esbensen K.H., Holm-Nielsen J.B. and Halstensen M. (2012) Acoustic chemometric prediction of total solids in bioslurry: A full-scale feasibility study for on-line biogas process monitoring. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 110 (1): 135–143

Lomborg C.J, Holm-Nielsen J. B., Oleskowicz-Popiel P, Esbensen K.H. (2009) Near infrared and acoustic chemometrics monitoring of volatile fatty acids and dry matter during co-digestion of manure and maize silage. *Bioresource Technology* 100 (5): 1711–1719

Madsen M., Holm-Nielsen J.B. and Esbensen K.H. (2011) Monitoring of anaerobic digestion processes: A review perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 3141 – 3155

Monson K.D., Esteves S.R., Guwy A.J. and Dinsdale R.M. (2007) Anaerobic Digestion of Biodegradable Municipal Wastes – A Review, University of Glamorgan ISBN 978-1-84054-156-5.

Reed, J.P., Devlin, D., Esteves, S.R.R., Dinsdale, R., Guwy, A.J. (2011) Performance parameter prediction for sewage sludge digesters using reflectance FT-NIR spectroscopy. *Water Research*, 45(8): 2463 – 2472.

Spanjers, H. and van Lier, J.B. (2006) Instrumentation in anaerobic treatment – research and practice. *Water Science and Technology*, 53(4-5): 63-76.

Steyer J.P., Bouvier J.C., Conte T., Gras P., Sousbie P. (2002) Evaluation of a four year experience with a fully instrumented anaerobic digestion process. *Water Science and Technology*, 45(4-5): 495 – 502.