



scienza attiva[®]

Cenni sulla produzione di energia
Con recupero di Biogas da digestione
anaerobica

Marta Bazzoffi – Mariachiara D’Aniello

GISMAP, Firenze – Beglar Ingegneria srl, Firenze

Glossario.....	2
PREMESSA.....	4
1. Parte introduttiva.....	5
2. Esempio di filiera di trattamento dei liquami e dei fanghi che ne derivano.....	7
3. Cos'è la digestione anaerobica.....	8
4. Differenze tra un combustibile fossile ed uno derivato da biomasse.....	11
5. Conteggio ton CO2 (gas serra) nell'utilizzo di biogas invece che combustibile fossile.....	12
6. Accumulo e trasporto del biogas.....	13
7. Utilizzo dell'energia ritraibile biogas.....	14
8. Biogas: una produzione sostenibile.....	16
9. La Diffusione Del Sistema In Europa.....	16
10. Conclusioni.....	17
Bibliografia & Link Utili.....	19



Glossario

Abitante Equivalente (AE): secondo il D.Lgs. 152/06 art. 74 co.1 punto a per "abitante equivalente si intende il carico organico biodegradabile avente una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni (BOD5) pari a 60 grammi di ossigeno al giorno.

Acidi grassi (volatili): la fermentazione anaerobica produce acidi grassi volatili (AGV) dalla degradazione della sostanza organica. In particolare, la produzione di AGV avviene durante la fase acidogena (vedi figura 1). Gli AGV sono acidi organici a catena corta (2-5 atomi di carbonio)

Alcoli: composti organici costituito dall'unione di un gruppo alchilico (R) con un gruppo ossidrilico (OH); gli alcoli più comuni sono il metanolo (CH_3OH) e l'etanolo ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)

Amminoacidi: molecole organiche costituenti delle proteine, formate da un gruppo funzionale dell'ammina ($-\text{NH}_2$) e un gruppo dell'acido carbossilico ($-\text{COOH}$). Gli amminoacidi che compaiono nelle proteine degli organismi viventi sono 20 e sono codificati nel DNA.

Biodegradabilità: proprietà delle sostanze organiche di decomporsi, ovvero di trasformarsi da sostanze complesse a elementi semplici, mediante l'azione di specifici microorganismi.

Catena trofica: condizione nutrizionale di un organismo.

Chetoni: composti caratterizzati dal gruppo carbonilico; vengono largamente utilizzati per la produzione di materie plastiche, medicinali, profumi e solventi.

Cogenerazione: produzione contemporaneamente di energia elettrica e calore.

Energia da Fonti Rinnovabili (FER): "Energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas" (Decreto Legislativo 28/2011).

Gas serra: comprendono il vapor d'acqua, l'anidride carbonica (dalla combustione di combustibili fossili), il metano (discariche e allevamento di animali, il protossido d'azoto (sottoprodotto del processo biologico di denitrificazione in ambienti anaerobici e del processo biologico di nitrificazione in ambienti aerobici; circa un terzo delle emissioni di N_2O attuali sono antropogeniche e provengono dai terreni agricoli, dal bestiame e dall'industria chimica), l'ozono e i clorofluorocarburi (frigoriferi).

Materiale particolato: particelle di piccolo diametro, generalmente inferiore a $10\ \mu\text{m}$.

Metalli pesanti: nelle acque sono normalmente presenti diversi metalli che hanno una densità relativamente alta e che sono tossici in basse concentrazioni, quali il cadmio (Cd) il cromo (Cr), il rame (Cu), il ferro (Fe), il piombo (Pb), il manganese (Mn), il mercurio (Hg), il nichel (Ni) e lo zinco (Zn). Alcuni di questi metalli, come il Cu e lo Zn, sono utili a supportare l'attività biologica; in ogni caso quantità eccessive di metalli possono limitare fortemente la possibilità di utilizzo delle acque

Monosaccaridi: zuccheri semplici composti da sostanze organiche formate da carbonio, idrogeno e ossigeno. Si costituiscono da carboidrati che non possono essere demoliti per idrolisi.

Nutrienti: carbonio, azoto e fosforo che costituiscono la fonte primaria di sostentamento dei ceppi batterici; la loro presenza causa molti problemi di qualità dell'acqua compreso l'aumento dei costi di depurazione.

Ossido-riduzioni: reazioni chimiche in cui si ha trasferimento di elettroni da una specie riducente che si ossida ad un'altra specie ossidante, che si riduce a sua volta. Le reazioni di ossidazione e di riduzione devono quindi avvenire contemporaneamente.



scienza attiva

Potere calorifico: quantità di calore realizzata nella combustione completa delle unità di peso o di volume di combustibile, misurata in kJ/kg, kCal/kg o kCal/l.

Putrescibilità: decomposizione con produzione di gas delle sostanze organiche, dovuta a processi enzimatici e microbici;

Sostanza organica: qualsiasi composto di origine biologica. La sostanza organica è la principale fonte di energia e di nutrienti per microrganismi e per l'attivazione dei loro processi vitali.

Solidi sospesi totali: totalità delle sostanze disciolte presenti in un campione di acqua.

Solidi volatili: i solidi rimanenti dopo il trattamento di incenerimento rappresentano i solidi fissi, mentre la frazione perduta nel riscaldamento a 600 °C rappresenta i solidi volatili.

Scambiatori di calore: impianto nel quale si ha la trasmissione del calore da un fluido ad un altro.

Substrato: termine utilizzato per indicare le sostanze organiche biodegradabili che rappresentano le sostanze nutritive per batteri e altri microorganismi, i quali le utilizzano per il loro metabolismo (crescita e riproduzione), provvedendo nel contempo a degradarle progressivamente.



PREMESSA

La crescente e continua richiesta di approvvigionamento energetico richiede lo sviluppo di sistemi di produzione di energia basati sullo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili, in alternativa ai combustibili fossili di uso comune e in via di esaurimento.

Una soluzione alternativa è lo sfruttamento delle biomasse agricole (colture dedicate, scarti dell'agricoltura, scarti dell'agro-industria), di reflui zootecnici (liquami e letame suino, bovino etc.) e di fanghi di depurazione, che attraverso il processo di digestione anaerobica, vengono convertiti in biogas, utilizzato interamente per la produzione di energia.

Gli impianti di depurazioni sono importanti per la protezione dei nostri corsi d'acqua. A questo scopo gli impianti di depurazioni necessitano di un ingente quantità di energia che è maggiore a quella necessaria per tutte le scuole dei nostri comuni. Gli impianti di depurazione generano però importanti quantità di energia rinnovabile grazie al gas di depurazione, i fanghi di depurazione e le acque reflue. I fanghi di depurazioni sono quindi energia rinnovabile.

Molti degli impianti di trattamento delle acque reflue in Europa, hanno installato un CHP (Combined Heat and Power Partnership). L'energia elettrica prodotta da questi impianti può essere utilizzata dall'operatore stesso per i suoi impianti o essere rivenduta come energia verde ma anche essere immessa nella rete venduta ad un prezzo garantito per 20 anni. Grazie a questa compensazione la conversione in elettricità di tutti i gas prodotti dalle acque reflue o dalla costruzione di nuovi impianti ad alta efficienza diventa nuovamente redditizia.

Il risultato della digestione anaerobica è la produzione di metano. Il gas prodotto è caratterizzato da un buon potere calorifico (PCS=6000-7000 kCal/m³; PCI= 5000-5600 kCal/m³) e che rappresenta il 90% dell'energia originariamente presente nelle sostanze organiche biodegradabili del fango. Il metano risulta poco solubile nell'acqua e quindi tende a liberarsi facilmente dal fango, accumulandosi nelle parti alte della vasca di digestione che, per tale motivo deve essere coperta.

La digestione, essendo il risultato di un metabolismo batterico, risente sensibilmente della temperatura e delle sue variazioni; il periodo richiesto per lo svolgimento naturale del processo è di circa 2 mesi, e può venir ridotto notevolmente aumentando la temperatura di esercizio nel reattore. Immettendo calore nel digestore mediante una fonte esterna si favorisce lo sviluppo e l'aumento delle cinetiche dei metabolismi batterici, con conseguente diminuzione del tempo richiesto per la digestione.

I processi anaerobici sono stati originariamente impiegati e trovano tutt'ora applicazione nella stabilizzazione dei fanghi di depurazione con esigenze peculiari, connesse alla bassa biodegradabilità e alla forma sospesa del materiale alimentato.

Un ulteriore campo di impiego riguarda il trattamento della frazione organica dei rifiuti solidi urbani (RSU) e di scarti agricoli eventualmente in co-digestione con fanghi di depurazione, per la produzione di energia da fonti rinnovabili e come alternativa di smaltimento a ridotto impatto ambientale.

La produzione di biogas può oscillare entro un intervallo piuttosto ampio di valori in funzione del contenuto in solidi volatili del fango da trattare e dell'entità dell'attività biologica all'interno del digestore. E' possibile stimare in modo grossolano la produzione di biogas considerando una produzione specifica per abitante equivalente. Per fanghi primari (cioè i fanghi estratti da trattamento di sedimentazione primaria) la produzione di biogas si aggira tra 15 e 22 m³/10³ ab·d mentre per fanghi secondari (fanghi estratti dalla sedimentazione secondaria) è dell'ordine di 28 m³/10³ ab·d.



scienza attiva

Negli impianti di depurazione delle acque reflue di elevata potenzialità il biogas può essere utilizzato come combustibile per caldaie e motori a combustione interna, che a loro volta possono essere impiegati per il funzionamento delle pompe e delle soffianti oppure per la produzione di elettricità per usi interni all'impianto stesso. L'acqua calda prodotta dalle caldaie dagli scambiatori dei motori o dalle caldaie a recupero può essere utilizzata per il riscaldamento del fango in ingresso al digestore e degli edifici dell'impianto, oppure in alternativa possono essere utilizzate caldaie per il riscaldamento del fango alimentate a biogas. Il recupero energetico risulta caratterizzato da una maggiore efficienza nel caso in cui il calore venga fornito a temperatura elevata poiché ciò rende possibile una maggiore varietà di utilizzi del biogas.

Quest'ultimo può essere usato in sistemi di cogenerazione, che sono sistemi per produrre in modo combinato energia elettrica ed energia in un'altra forma. Ad esempio esistono schemi nei quali il biogas viene impiegato per alimentare un generatore la cui funzione è quella di produrre energia elettrica, mentre l'acqua calda proveniente dagli scambiatori di calore del motore viene utilizzata per il riscaldamento del digestore o degli edifici dell'impianto. L'eventuale sovra produzione di biogas rispetto i fabbisogni interni all'impianto può essere venduto all'esterno.

1. Parte introduttiva

La Direttiva europea 2001/77/CE¹ riguardante la promozione dell'energia elettrica da fonti rinnovabili e l'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto², in data 16 febbraio 2005, hanno posto le basi per la ricerca e lo sviluppo di fonti rinnovabili che possano, almeno in parte, sostituire i combustibili fossili ai fini della produzione di energia; il settore energetico rappresenta, infatti, la principale fonte di emissioni di gas serra in Italia.

Tra le fonti rinnovabili, le biomasse hanno un ampio margine di impiego ai fini della produzione di energia elettrica, grazie alla disponibilità elevata attualmente ancora inutilizzata. Inoltre, l'uso delle biomasse non aggrava il fenomeno dell'effetto serra, poiché la quantità di anidride carbonica rilasciata durante la conversione energetica è equivalente a quella assorbita durante la crescita della biomassa stessa.

La Direttiva 2001/77/CE è stata recepita dall'Italia con DLgs 387 del 29 dicembre 2003³; Più recentemente, il DM 6 luglio 2012 ha stabilito le nuove modalità di incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti alimentati da fonti rinnovabili, diverse da quella solare fotovoltaica, con potenza non inferiore a 1 kW.

Nel grafico seguente è possibile osservare le percentuali delle fonti di energia attualmente in uso in Italia. Si nota subito che la fonte maggiormente utilizzata è il petrolio, che è un combustibile fossile, maggiormente responsabile dell'inquinamento atmosferico.

¹ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32001L0077:IT:HTML> - promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità

² http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/l28060_it.htm

³ http://www.acs.enea.it/doc/dlgs_387-03.pdf - Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità

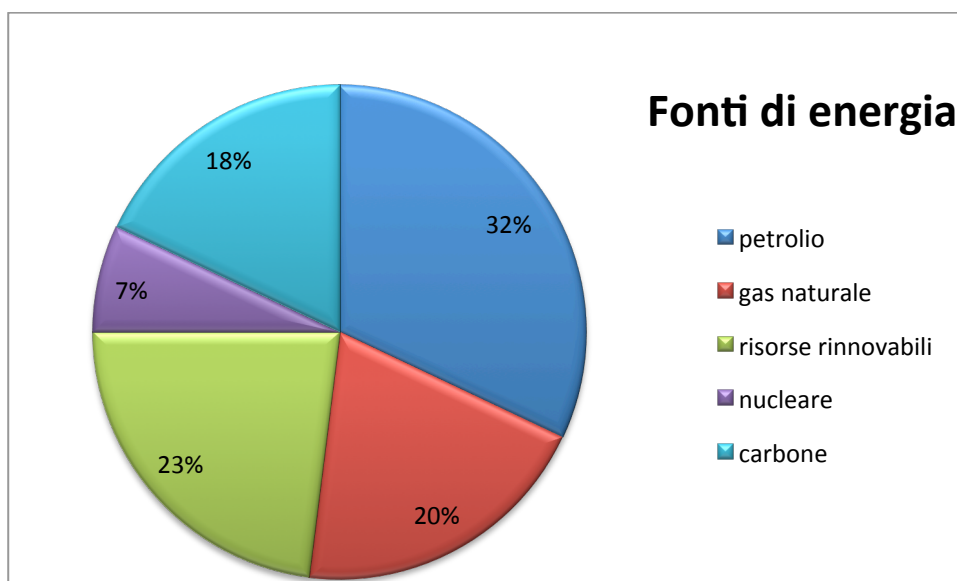


Grafico 1

Per quanto riguarda le fonti di energia rinnovabile, in Italia le percentuali di utilizzo sono quelle mostrate nel grafico seguente, estrapolate dal database GSE (Gestore dei Servizi Energetici), che è responsabile del sistema di monitoraggio delle fonti rinnovabili in Italia e della rilevazione statistica dei piccoli impianti di produzione elettrica

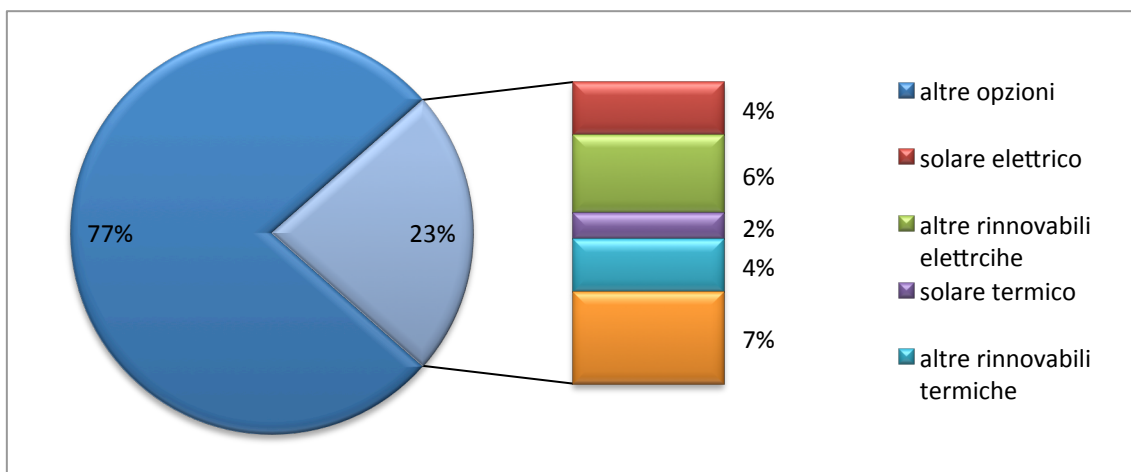


Grafico 2

Il grafico seguente invece mostra la potenza lorda espressa in megawatt (MW) prodotta dalle diverse fonti di energie rinnovabili in Italia a partire dall'anno 2008 fino al 2012.

Si nota come tutte le fonti di energia rinnovabile siano cresciute nel tempo e in particolare osserviamo che l'energia solare ha subito un forte incremento negli ultimi 4 anni. Dal rapporto Terna Dati statistici sull'energia elettrica in Italia, si deduce che l'aumento nettamente più rilevante tra le energie rinnovabili si è registrato proprio nel parco fotovoltaico, passato da 3,5 GW a 12,8 GW (+268,1% rispetto al 2010). Ciò è essenzialmente dovuto al fatto che in Italia, da settembre 2005, è attivo un meccanismo di incentivazione, definito "Conto Energia", per la produzione di energia elettrica mediante impianti fotovoltaici. La caratteristica fondamentale



scienza attiva

dell'attuale sistema di incentivazione è quella di remunerare l'energia prodotta dall'impianto con una tariffa vantaggiosa.

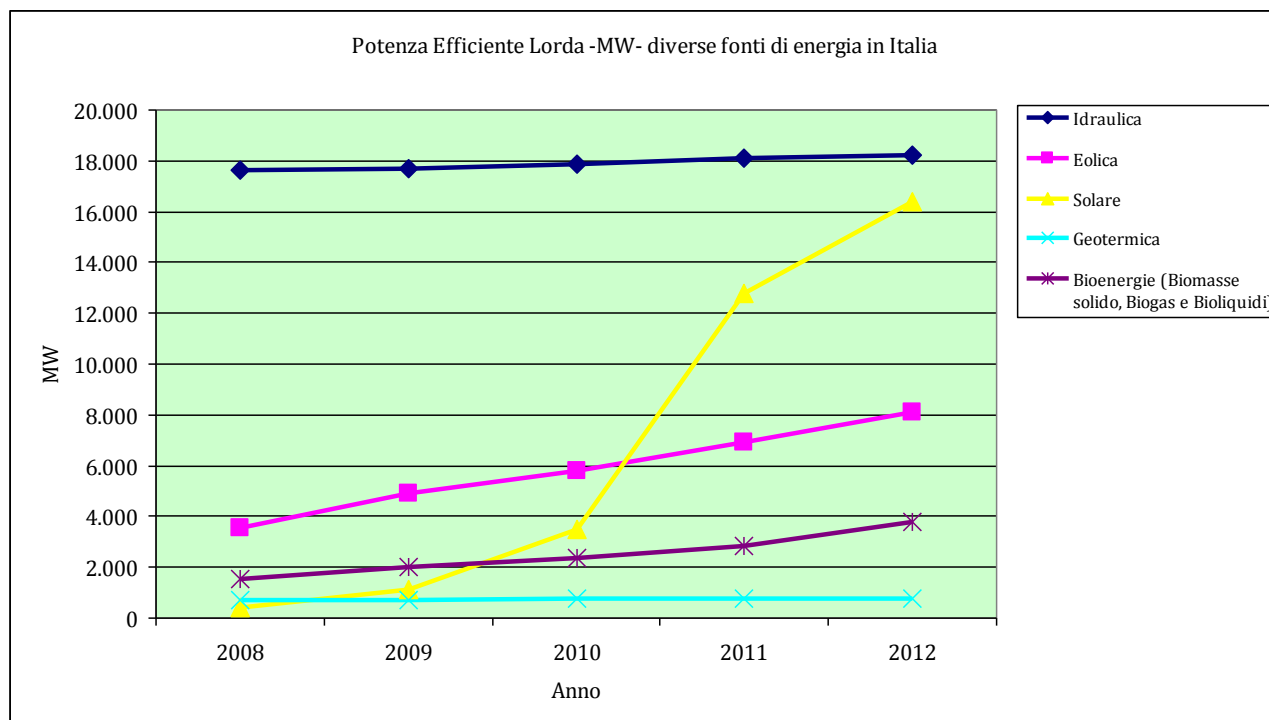


Grafico 3

Una volta fatto il quadro delle attuali fonti di energie rinnovabili impiegate in Italia, vogliamo in questo lavoro fare riferimento alla produzione di biogas legato ad un trattamento di stabilizzazione del fango presente in una possibile linea fanghi impianto di trattamento delle acque reflue.

2. Esempio di filiera di trattamento dei liquami e dei fanghi che ne derivano

Le acque di scarico, o liquami, rappresentano l'insieme dei reflui liquidi provenienti da abitazioni, attività commerciali, artigianali, industriali, oltre alle acque meteoriche che raggiungono le fognature tramite ruscellamento superficiale. Tali acque reflue contengono numerosi microorganismi patogeni provenienti direttamente dalle deiezioni umane, e contengono anche elementi nutrienti che sono in grado di stimolare la crescita delle piante acquatiche e delle sostanze tossiche.

Fino al 1940 la maggior parte delle acque reflue urbane erano di origine civile, ma successivamente con il forte sviluppo industriale sono aumentati in modo progressivo gli apporti di reflui provenienti dalle attività lavorative in industriali. Ciò ha comportato l'aumento della quantità di metalli pesanti e di composti organici di sintesi.

Per tutelare la salute degli esseri viventi e proteggere l'ambiente è dunque necessario procedere a un corretto convogliamento delle acque reflue prodotte dalla comunità abitativa verso un impianto di trattamento, che rimuove gli elementi patogeni in esse contenute. I metodi di trattamento dei liquami sono vari ed è necessario scegliere quello più adeguato, a seconda delle caratteristiche delle acque da trattare e in base alla destinazione finale d'impiego delle acque trattate. La caratterizzazione completa delle acque reflue è infatti molto importante nell'ambito della modellizzazione dei processi finalizzata al dimensionamento e alla ottimizzazione dei



scienza attiva

trattamenti di tipo biologico, soprattutto per i reflui che contengono componenti di origine industriale.

I livelli di trattamento delle acque reflue, una volta convogliate all'impianto sono i successivi:

- Trattamento preliminare: rimozione del materiale grossolano eventualmente contenuto nelle acque reflue, quali stracci, bastoncini, materiali galleggianti, che possono causare problemi nei comparti successivi del trattamento;
- Trattamento primario: rimozione di una parte dei solidi in sospensione e di sostanze organiche contenute nei reflui attraverso un'operazione fisica, solitamente di sedimentazione;
- Trattamento secondario: rimozione del materiale organico biodegradabile (sospeso o disciolto) e della totalità dei solidi sospesi. In questa fase è possibile anche la rimozione dei nutrienti (azoto e fosforo);
- Trattamento terziario: rimozione ulteriore dei solidi mediante filtrazione su mezzo granulare o microstaccatura.

Alcune parti del processo producono fango, composto dal materiale organico recuperato dalle acque reflue e dagli scarti del materiale biologico impiegato nel trattamento, che deve essere recuperato, trattato e appositamente smaltito. La gestione dei fanghi è un'operazione complessa, ma se svolta in modo corretto essi possono essere proficuamente impiegati dopo la stabilizzazione condotta tramite digestione anaerobica o compostaggio.

La fase di stabilizzazione dei fanghi biologici è indispensabile per ottenere un fango non più putrescibile, più sicuro da manipolare e facilmente disidratabile; i fanghi biologici sono infatti in gran parte costituiti dalla sostanza organica originariamente presente nei reflui da trattare.

I principali processi che si applicano al trattamento dei fanghi sono i seguenti e sono utilizzati per la rimozione dell'acqua dal fango e per la stabilizzazione della sostanza organica in esso contenuta:

- Operazioni preliminari: riduzione delle dimensioni delle particelle, rimozione delle sabbie, equalizzazione delle portate;
- Ispessimento: riduzione dei volumi del fango attraverso processi a gravità, a flottazione o con centrifugazione;
- Stabilizzazione: riduzione del peso del fango mediante digestione anaerobica/aerobica o compostaggio;
- Condizionamento: miglioramento della disidratabilità del fango attraverso trattamento chimico
- Disidratazione: riduzione dei volumi dei fanghi mediante centrifugazione, nastropressatura, filtropressatura ed essiccamento;
- Incenerimento: riduzione dei volumi del fango attraverso combustione in appositi forni;
- Smaltimento e utilizzo finale del fango trattato.

3. Cos'è la digestione anaerobica

La digestione anaerobica è un processo biologico complesso per mezzo del quale, in assenza di ossigeno, la sostanza organica viene trasformata in biogas, costituito principalmente da metano



scienza attiva

e anidride carbonica. La percentuale di metano nel biogas varia a secondo del tipo di sostanza organica digerita e delle condizioni di processo, da un minimo del 50% fino all'80% circa.

Affinché il processo abbia luogo è necessaria l'azione di diversi gruppi di microrganismi in grado di trasformare la sostanza organica in composti intermedi, principalmente acido acetico, anidride carbonica ed idrogeno, utilizzabili dai microrganismi metanigeni che concludono il processo producendo il metano.

I microrganismi anaerobi presentano basse velocità di crescita e basse velocità di reazione e quindi occorre mantenere ottimali, per quanto possibile, le condizioni dell'ambiente di reazione. Nonostante questi accorgimenti, i tempi di processo sono relativamente lunghi se confrontati con quelli di altri processi biologici; tuttavia il vantaggio della digestione anaerobica è che la materia organica complessa viene convertita in metano e anidride carbonica e quindi porta alla produzione finale di una fonte rinnovabile di energia sotto forma di un gas combustibile ad elevato potere calorifico.

L'ambiente di reazione, definito solitamente reattore anaerobico, per consentire la crescita contemporanea di tutti i microrganismi coinvolti, dovrà risultare da un compromesso tra le esigenze dei singoli gruppi microbici. Il pH ottimale, ad esempio, è intorno a 7-7,5. La temperatura ottimale di processo è intorno ai 35°C, se si opera con i batteri mesofili, o di circa 55°C, se si utilizzano i batteri termofili.

Le tecniche di digestione anaerobica possono essere suddivise in due gruppi principali:

- digestione a secco (dry digestion), quando il substrato avviato a digestione ha un contenuto di sostanza secca superiore al 20%;

- digestione a umido (wet digestion), quando il substrato ha un contenuto di sostanza secca inferiore al 10%; è la tecnica più diffusa, in particolare con i liquami zootecnici. Processi con valori intermedi di sostanza secca sono meno comuni e vengono in genere definiti processi a semisecco. Il processo di digestione anaerobica è anche suddiviso in:

- processo monostadio, quando le fasi di idrolisi, fermentazione acida e metanigena avvengono contemporaneamente in un unico reattore;

- processo bistadio, quando si ha un primo stadio durante il quale il substrato organico viene idrolizzato e contemporaneamente avviene la fase acida, mentre la fase metanigena avviene in un secondo momento. Un'ulteriore suddivisione dei processi di digestione anaerobica può essere fatta in base al tipo di alimentazione del reattore, che può essere continua o in cumuli (batch), e in base al fatto che il substrato all'interno del reattore venga miscelato o scorra sequenzialmente attraversando fasi via via diverse (plug flow). La digestione anaerobica può, inoltre, essere condotta, come già ricordato, o in condizioni mesofile (circa 35°C) o termofile (circa 55°C); la scelta tra le due determina in genere anche la durata (il tempo di residenza) del processo. Mediamente in mesofilia si hanno tempi compresi nel range 14-30 giorni, mentre in termofilia il tempo di residenza è in genere inferiore ai 14-16 giorni. Con impiantistica di tipo semplificato è possibile operare anche in psicofilia (10-20 °C), con tempi di residenza superiori ai 30 giorni, fino ad un massimo di 90 giorni.

L'entità della produzione di gas biologico dipende dalle caratteristiche del fango grezzo e dalle caratteristiche e durata del processo di digestione.

In media si stima la produzione di gas biologico derivante dalla digestione anaerobica del fango, pari a 600-1200 litri di biogas/ kg di solidi volatili trasformati in gas biologico. Da 1000 L di biogas è possibile produrre : ~ 1,8 – KWh di elettricità e ~ 2- 3 KWh di energia termica.



I batteri anaerobici operano in assenza di ossigeno libero in quanto l'accettore finale di elettroni è la stessa sostanza organica; quest'ultima è convertita mediante ossido-riduzioni nel suo stato più ossidato (CO_2) e quello più ridotto (CH_4).

Nei processi anaerobici la materia organica è degradata da più specie di microorganismi legati in una catena trofica in cui i prodotti di demolizione di uno stadio sono utilizzati come substrato per lo stadio successivo.

Di seguito si riportano le fasi che compongono la degradazione anaerobica, dalle molecole organiche complesse fino ad arrivare alla produzione di biogas

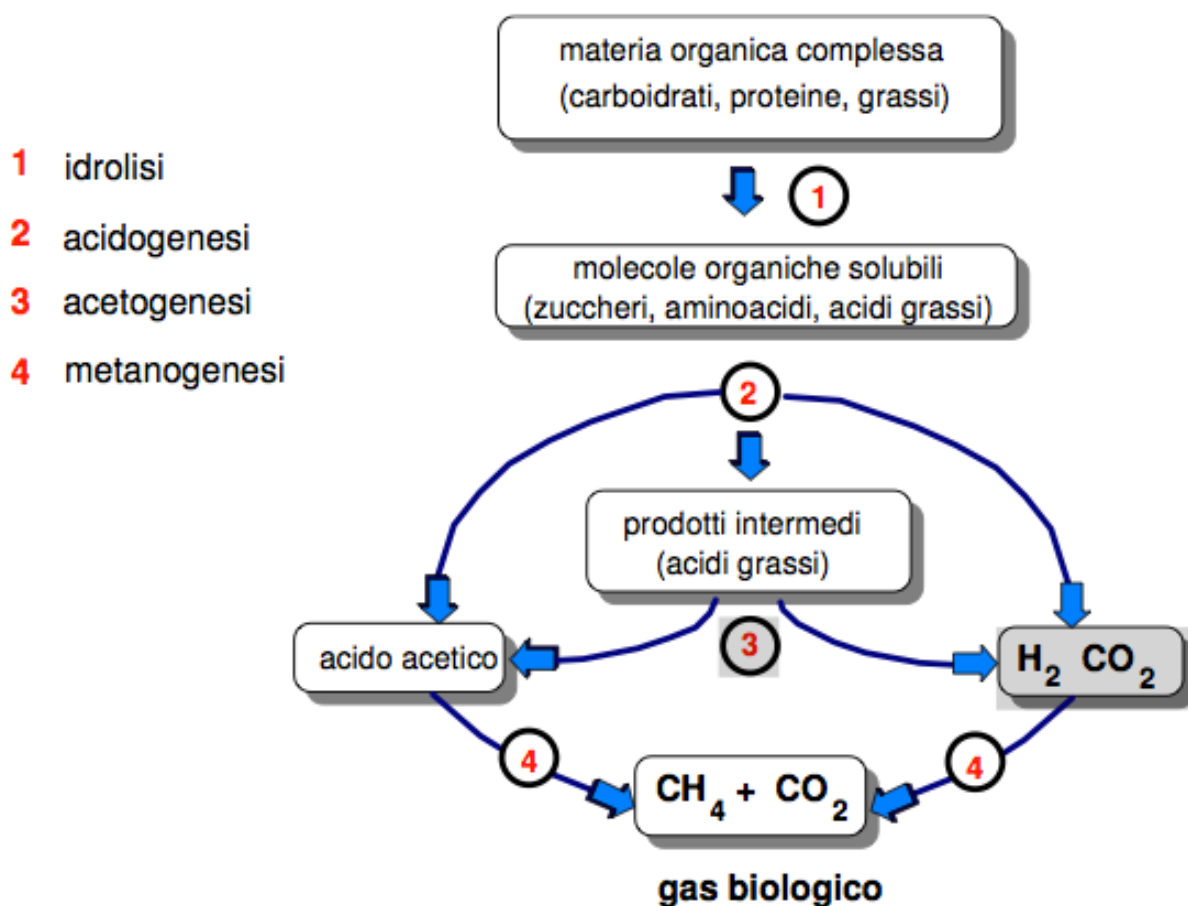


Figura 1 - Schema delle trasformazioni che avvengono durante la digestione anaerobica di sostanza organica

Nello schema generale riportato in figura 1 sono rappresentate le fasi che costituiscono la degradazione anaerobica:

1. Idrolisi: le molecole complesse (proteine e grassi) sono degradate a molecole più semplici (amminoacidi, acidi grassi e monosaccaridi) mediante dei microorganismi che utilizzano delle reazioni enzimatiche
2. Acidogenesi: i batteri convertono i prodotti della degradazione precedente con formazione di H_2 e CO_2
3. Acetogenesi: i batteri che intervengono in questa fase convertono gli acidi volatili ad acido formico e acetico con la formazione di H_2 e CO_2



4. Metano genesi: in questa fase si ha la produzione di CO₂ e CH₄ mediante l'utilizzo dei prodotti della fase di aceto genesi.

Sulla attività batterica influisce un parametro molto importante, la Temperatura. Questa ha un effetto determinante sulla rapidità e completezza delle reazioni che avvengono nella digestione anaerobica. Si distinguono tre diversi intervalli operativi:

- Da 4 a 15 °C: campo psicrofilo
- Da 20 a 40 °C: campo mesofilo
- Da 45 a 70 °C: campo termofilo

La maggior parte dei digestori opera in campo mesofilo con temperatura comprese tra 27 e 37 °C, all'interno dei quali vi è un ricircolo di biogas che viene utilizzato nel processo stesso.

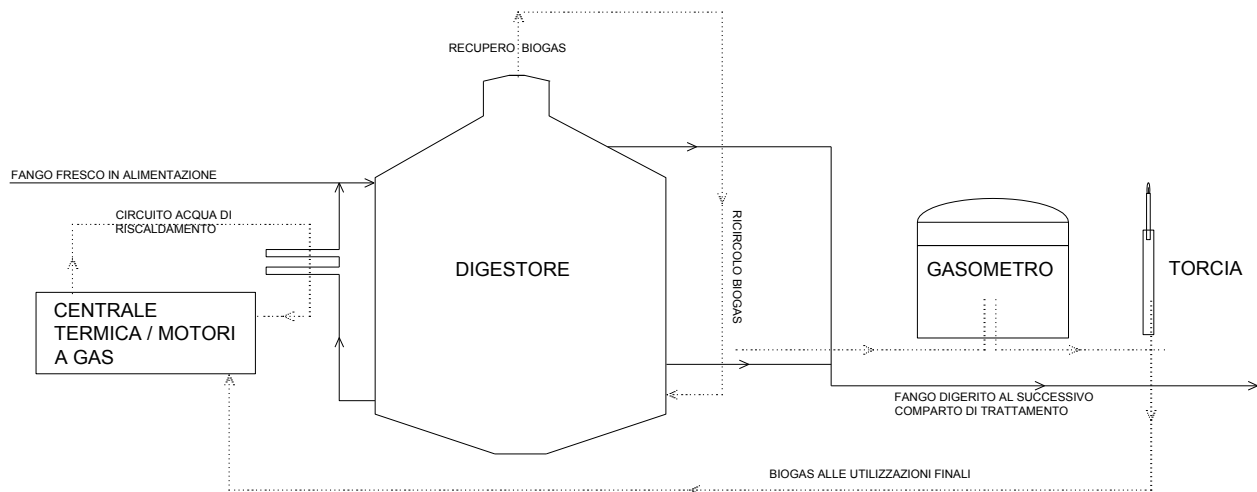


Figura 2- Schema di un digestore mesofilo monostadio

4. Differenze tra un combustibile fossile ed uno derivato da biomasse

I combustibili fossili sono rappresentati da carbone, che era la fonte energetica più utilizzata, dall'inizio dell'era industriale fino ai primi del Novecento, e dal petrolio, che è la fonte attualmente più sfruttata a scopi energetici e che deriva dall'azione di trasformazione dei batteri anaerobi delle sostanze organiche in idrocarburi. Il petrolio viene sottoposto a raffinazione una volta estratto con processi di trivellazione, ovvero viene trattato con trattamento di distillazione frazionata, che consente di separarlo in diverse componenti. La lavorazione del petrolio in raffineria costituisce la fonte principale di produzione del GPL (Gas di Petrolio Liquefatto), anch'esso utilizzato come combustibile soprattutto nei motori dei veicoli. La quota dei gas liquidi ottenuti dalle varie fasi del ciclo di raffinazione può essere stimata intorno al 2% rispetto al grezzo in lavorazione,

La quantità di calore prodotta dall'unità di massa di un determinato combustibile, quando questo brucia completamente, rappresenta il potere calorifico del combustibile stesso; i combustibili fossili offrono un'alta resa energetica, infatti il loro potere calorifico inferiore (potere calorifico superiore diminuito del calore di condensazione del vapore d'acqua formatosi durante la combustione) varia tra 40 e 46 MJ/kg. Fare uso di questa energia però comporta bruciare il combustibile, con l'ossidazione del carbonio in anidride carbonica e l'idrogeno in acqua (vapore). A meno di non essere immagazzinati, questi prodotti di combustione sono normalmente rilasciati



scienza attiva

in atmosfera, rimettendo in circolo il carbonio stoccato milioni di anni fa e contribuendo così ad un aumento delle concentrazioni atmosferiche dei gas serra.

Il potere calorifico del biogas è stimato essere circa di 25 MJ/kg e dunque è inferiore rispetto a quello dei combustibili fossili. La percentuale di metano nel biogas varia a seconda del tipo di sostanza digerita e delle condizioni di processo, da un minimo del 50% fino all'80% circa. Nel caso del potere calorifico menzionato, si fa riferimento ad un biogas contenente circa il 65% di metano.

5. Conteggio ton CO₂ (gas serra) nell'utilizzo di biogas invece che combustibile fossile

Gli effluenti gassosi di una combustione sono per lo più costituiti da anidride carbonica (CO₂) e vapore acqueo. Miscelati a questi si trovano le emissioni inquinanti classiche di un processo di combustione.

Il biogas viene valorizzato nelle unità di cogenerazione, dove, mescolato all'aria di combustione, è ossidato all'interno del ciclo termodinamico che porta alla trasformazione dell'energia termica contenuta nel biogas in energia meccanica, con successiva produzione di elettricità attraverso l'alternatore. Residuo del processo di valorizzazione del biogas sono dunque i gas di scarico ad elevata temperatura, la cui portata massica corrisponde alla somma delle portate di biogas e aria di combustione

Dal punto di vista delle emissioni di gas ad effetto serra, un'analisi dettagliata degli effetti ambientali connessi all'esercizio di un impianto a biogas deve tener conto, oltre che della ben nota CO₂, prodotta soprattutto nella fase di combustione del biogas e trasporto della biomassa, anche delle emissioni di altri gas, quali in particolare il metano (CH₄) ed il l'ossido di di-azoto (N₂O).

Ponendo pari a 1 l'effetto prodotto da 1 kg di CO₂, si elencano i contributi a cui si fa riferimento per la stima delle emissioni di CO₂-equivalente nella combustione di biogas:



scienza attiva

Gas ad effetto serra	Emissioni di CO ₂ equivalente (kg CO ₂ eq/kg gas)
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298

Le emissioni connesse all'esercizio di un impianto a biogas sono riconducibili soprattutto alle emissioni derivanti dal consumo di energia elettrica. L'energia elettrica in un impianto a biogas è impiegata per l'alimentazione dei mescolatori, delle pompe e del sistema di supervisione e controllo

6. Accumulo e trasporto del biogas

Se il gas biologico viene utilizzato solo per il riscaldamento dei digestori, la produzione giornaliera risulta ampiamente sovrabbondante e quindi in questo caso non è necessario accumulare il gas eccedente.

Nel caso in cui il gas biologico prodotto debba essere utilizzato anche per altri scopi, risulta necessario uno stoccaggio per compensare le variazioni orarie dei consumi, ed in tal caso, si tende ad accumulare il gas in contenitori in pressione.

Ogni impianto in cui vi è produzione di biogas, prevede una torcia detta anche fiaccola di combustione del biogas in eccesso. La sua funzione è quella di eliminare il gas in eccesso tramite combustione, evitando che esso si disperda pericolosamente nell'ambiente e nel contempo di eliminare, con l'innalzamento della temperatura connesso alla combustione, i gas odoriferi che si accompagnano al gas biologico. La torcia per motivi di sicurezza, va posizionata ad adeguata distanza da qualsiasi struttura dell'impianto.

Il rilevante valore energetico del biogas ne suggerisce l'impiego, con produzione di energia meccanica o elettrica per usi interni all'impianto, potendo così coprire una frazione significativa dei fabbisogni complessivi per la depurazione.

L'uso del biogas richiede degli interventi di correzione delle sue caratteristiche ad evitare inconvenienti e danni nei circuiti e nelle apparecchiature: quando il biogas fuoriesce dal digestore trascina del materiale particolato ed è saturo di vapore acqueo che tende a condensare in conseguenza della diminuzione di temperatura che si verifica nei circuiti di trasporto. Per questo è necessario predisporre dei sistemi di separazione; la presenza di solfato di idrogeno determina la formazione di ossidi di zolfo durante la combustione, questi si sviluppano nelle caldaie e nei motori in cui viene utilizzato il gas. Ne conseguono rischi di corrosione ed è quindi necessario attuare un trattamento per eliminare gli ossidi di zolfo. Questi processi permettono di formare zolfo allo stato elementare.

L'utilizzo del biogas richiede la disponibilità di una capacità di accumulo; se ci sono volumetrie contenute dei digestori, è possibile prevedere una campana gasometrica installata sul digestore stesso oppure è possibile disporre un gasometro esterno al digestore.

Il biogas può essere utilizzato anche solo per il riscaldamento del digestore stesso, in modo tale da ridurre i costi dell'impianto; in ogni caso la produzione di biogas è sempre insufficiente ad assicurare la copertura dell'intero fabbisogno energetico dell'impianto di depurazione; è quindi conveniente che il suo utilizzo venga concentrato nelle fasce orarie di maggior costo dell'energia prelevata dalla rete (le ore diurne sono quelle di massimo consumo).



scienza attiva

Ciò comporta la necessità di stoccare il gas prodotte nelle ore notturne per poterne disporre durante a più elevata tariffazione. Nel caso del solo riscaldamento del digestore il gas viene utilizzato in una caldaia, con produzione di acqua calda che circola attraverso scambiatori di calore con i fanghi. la disponibilità di biogas è molto superiore al fabbisogno per il semplice riscaldamento del digestore e quindi è possibile utilizzare il biogas anche per altri scopi, come per l'essiccamento dei fanghi.

Un recupero energetico più completo può ottenersi utilizzando motori a combustione interna alimentati con biogas per produzione di energia meccanica o elettrica, con cogenerazione di calore dai circuiti di raffreddamento. Questa soluzione, in caso di motore fuori uso, porterebbe alla sospensione dell'intero processo di digestione, e quindi è poco utilizzato.

Il motore a gas viene molto più frequentemente accoppiato ad un alternatore per produrre energia elettrica che può essere immessa nella rete dell'impianto e quindi impiegata per qualsiasi uso.

7. Utilizzo dell'energia ottenibile con il biogas

Il principale vantaggio della digestione anaerobica sugli altri processi di stabilizzazione dei fanghi da depurazione è la produzione di biogas.

Il biogas è una miscela di CO_2 (25-30%), CH_4 (65-70%) ed altri gas. Quando la digestione si svolge bene il biogas può contenere fino al 70% di metano e risulta quindi combustibile. I costituenti minori sono presenti in percentuale variabile tra il 2 e 5 % e sono: H_2S , N_2 e H_2 .

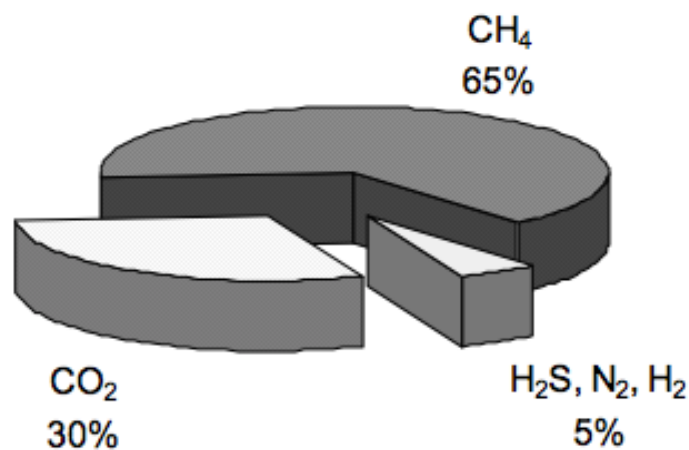


Grafico 4 - Composizione del biogas

Il gas biologico prodotto dal processo di digestione anaerobica, è un combustibile ad alto pregio, ben noto nelle sue caratteristiche, tanto è vero che la sua utilizzazione, nella fermentazione di altre sostanze organiche costituisce una delle fonti più interessanti di energie alternative rinnovabili.

Nel caso specifico di impianti di depurazione delle acque reflue, il gas biologico si presta non solo per il riscaldamento dei digestori stessi, ma anche per la produzione di energia meccanica e/o di energia elettrica, con tutta una serie di possibilità.



scienza attiva

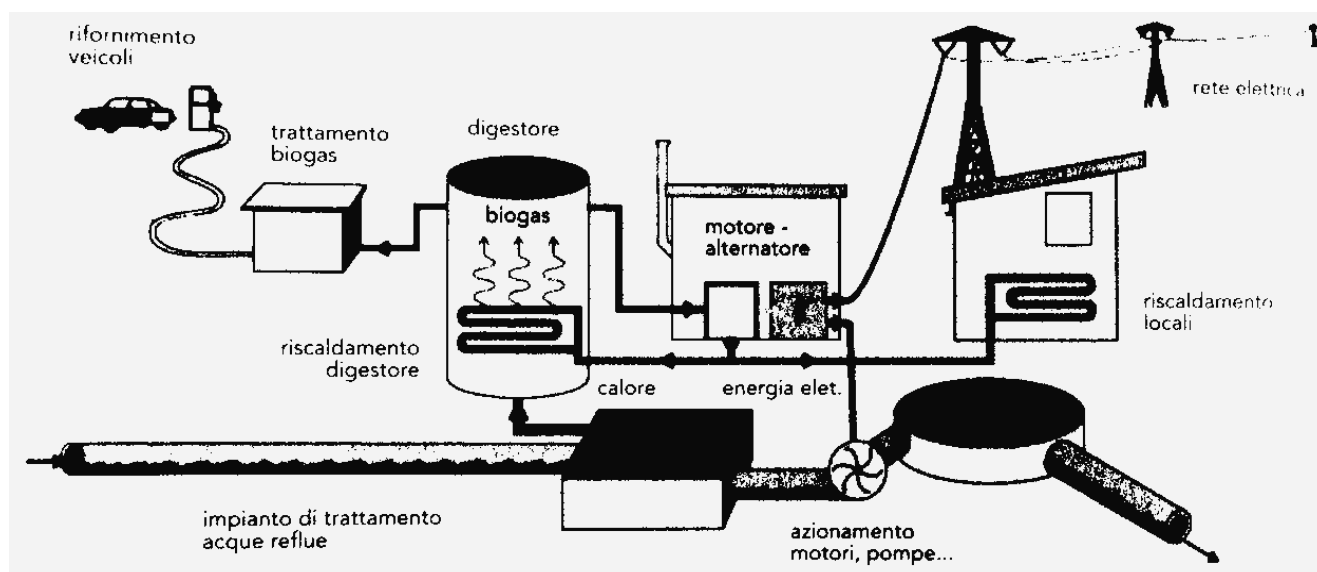


Figura 3-Schema per l'utilizzazione dell'energia ritraibile dal gas biologico in un impianto di depurazione delle acque

Nello schema precedente compaiono le possibili utilizzazioni di energia elettrica e di biogas utilizzabile direttamente. Nello schema di figura, il gas biologico prodotto dal digestore, viene utilizzato per l'azionamento di un motore termico, accoppiato ad un alternatore, per la produzione di energia elettrica, utilizzabile direttamente dai macchinari presenti nell'impianto e con possibilità di cessione anche della rete elettrica generale, in sistemi di interscambio, che possono essere attivati sia in situazioni di emergenza sia nel caso in cui le tariffe elettriche in atto presentano opportune politiche di ottimizzazione.

Il motore a combustione interna, utilizza il biogas per la produzione di energia elettrica o meccanica con rendimenti dell'ordine del 37-38%; il calore risultante può essere utilizzato oltre che per riscaldare il digestore stesso anche per altri usi che necessitano di calore a bassa temperatura.

In alcuni casi la potenza prodotta è tale da rendere autosufficiente dal punto di vista energetico un impianto di depurazione a meno che non esistano consumi particolarmente elevati. In altre tipologie di impianto che prevedano dei sistemi di depurazione non classici e convenzionali, è praticamente impossibile raggiungere l'autosufficienza energetica, e l'energia retrainabile dall'uso del biogas può coprire al massimo il 60% della richiesta totale.

E' possibile utilizzare il biogas nei motori termici, previa depurazione da esso dell'idrogeno solforato.

Inoltre è possibile utilizzare il gas biologico direttamente per l'autotrazione e depurato dell'anidride carbonica, può essere immesso nelle reti di distribuzione cittadina del metano. Da indagini economiche effettuate risulta che questa soluzione possa essere quella vincente. La popolazione situata nelle immediate vicinanze dell'impianto rifornita con metano, nel caso venduto ad una tariffa agevolata, ne trarrebbe molto vantaggio. A titolo orientativo, il metano fornito da un impianto di depurazione da 500.000 abitanti, è in grado di far fronte alle necessità di 30-50000 abitanti per gli usi domestici più acqua calda e di 10-20000 abitanti anche per uso di riscaldamento.



8. Biogas: una produzione sostenibile

Facciamo un esempio pratico di un impianto che recupera biogas dal processo di stabilizzazione dei fanghi di depurazione: il biogas prodotto all'interno dei digestori, viene inviato tramite soffiante a una centrale di cogenerazione ad esempio costituita da un motore a combustione interna in grado di utilizzare 160 m³/h di biogas prodotto.

Il cogeneratore da 300 kW di potenza sarà in grado di produrre 2.400.000 kWh/anno di energia elettrica e circa 1.900.000 kWh/anno di calore (al netto dell'autoconsumo del processo e delle dispersioni) equivalente ad un risparmio di 192.000 m³ di gas metano.

Come già detto, la produzione di energia elettrica mediante combustibili fossili comporta l'emissione di sostanze inquinanti e gas serra. Tra questi gas il più rilevante è l'anidride carbonica CO₂, ritenuta la principale responsabile dell'effetto serra.

Il valore delle emissioni di CO₂ nel caso proposto come esempio è (fonte: ENEA Rapporto Energia Ambiente 2003) uguale a 630 g/kWh.

L'impianto in progetto generando un quantitativo di energia elettrica pari a 2,4 GWh/anno consentirà di evitare l'emissione in atmosfera della seguente quantità di biossido di carbonio: la CO₂ evitata è pari a 1.512 tonnellate/anno.

In particolare l'impianto consentirà di evitare/importare combustibili fossili per fini di generazione termoelettrica [0,22x10⁴/1000 Tep/kWh]⁴.

Stante la produzione attesa pari a circa 2,4 GWh/anno l'impianto determinerà un risparmio di energia fossile di 530 Tep (una Tonnellata Equivalente di Petrolio corrisponde a circa 6,841 barili).

La produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, quale il biogas, concorrerà quindi alla riduzione della dipendenza energetica dall'estero, alla diversificazione delle fonti energetiche ed alla regionalizzazione della produzione

9. La Diffusione del sistema in Europa

In Europa la diffusione della digestione anaerobica è incominciata nel settore della stabilizzazione dei fanghi di depurazione e attualmente si stimano circa 1.600 digestori operativi. Allo stato attuale la digestione anaerobica è considerata una delle tecnologie migliori per il trattamento delle acque reflue industriali ad alto carico organico, e già nel 1994 erano attivi circa 400 impianti di biogas industriali e centralizzati.

Inoltre, sono circa 2.000 i digestori anaerobici operanti su liquami zootecnici nei Paesi dell'UE, in particolare in Germania (più di 1.600), seguita da Danimarca, Austria, Italia e Svezia. È doveroso ricordare anche che il recupero di biogas dalle discariche per rifiuti urbani rappresenta in Europa, ed in particolare in Gran Bretagna, la più importante fonte di energia alternativa da biomasse, con circa 450 impianti operativi.

Negli ultimi anni sta crescendo anche l'utilizzo della digestione anaerobica nel trattamento della frazione organica raccolta in modo differenziato dei rifiuti urbani (FORSU), in miscela con altri scarti organici industriali e con liquami zootecnici (co-digestione). In Danimarca, in particolare, sono attualmente funzionanti 21 impianti centralizzati di co-digestione che trattano annualmente circa 1.000.000 di t di liquami zootecnici e 325.000 t di residui organici industriali e FORSU.

⁴ Tep = ton. equivalenti di petrolio; Decreto Min. 20 luglio '04



scienza attiva

10. Conclusioni

Come si è visto, in alcune delle diverse fasi di trattamento dei reflui vengono prodotti i fanghi, che sono composti da materiale organico; se come trattamento di stabilizzazione del fango si sceglie quello di digestione anaerobica, attraverso il processo di fermentazione anaerobica si genera il gas biologico (biogas), che non può essere immesso direttamente in atmosfera.

Gli impianti di trattamento che producono biogas per mezzo del processo anaerobico di stabilizzazione dei fanghi, devono bruciarlo con una torcia. Così facendo l'energia termica che si recupera dalla combustione del biogas viene sprecata perché dispersa nell'aria.

A causa dell'importanza del recupero energetico e della possibilità di individuare alternative di riutilizzo per i fanghi stabilizzati, la digestione anaerobica continua a rappresentare il processo più largamente impiegato per la stabilizzazione dei fanghi di depurazione. La digestione anaerobica inoltre produce una quantità di biogas che generalmente è sufficiente a soddisfare i fabbisogni energetici dell'impianto stesso attraverso la co-generazione.

L'utilizzo del biogas viene dunque dedicato alla produzione di energia elettrica atta all'autoconsumo e alla produzione di calore per il riscaldamento dei digestori, alla climatizzazione invernale degli edifici, uffici facenti parte del complesso e in modo particolare all'essiccazione dei fanghi residui dal processo di trattamento dei reflui.

Inoltre, con la produzione di energia da biogas, ovvero da "fonte rinnovabile" si aggiunge il beneficio economico dei Certificati Verdi o della Tariffa Omnicomprensiva.

I Certificati Verdi sono dei veri e propri titoli negoziabili sul mercato elettrico, emessi e controllati dal gestore dei servizi elettrici nazionale GSE, aventi lo scopo di incentivare la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e attestanti la provenienza di tale energia da impianti alimentati da fonti rinnovabili quali: il sole, il vento, le risorse idriche, le risorse geotermiche, e la trasformazione in energia elettrica dei prodotti vegetali o dei rifiuti organici e inorganici.



TIPOLOGIA	SUB-TIPOLOGIA	FONTI	SUB-FONTE	
Idroelettrico	<i>acqua fluente a serbatoio a bacino acquedotto</i>	Idraulica	-	
Eolico	<i>on-shore off-shore</i>	Eolica	-	
Geotermoelettrico	-	Geotermica	-	
Solare	<i>fotovoltaico</i>	Solare	-	
Termoelettrico	<i>a vapore a gas a combustione interna a ciclo combinato altro</i>	Biogas	Biogas da attività agricola e forestale	
			Biogas da deiezioni animali	
			Gas da Discarica	
			Gas da Depurazione	
			Biogas da FORSU	
			Altri Biogas	
		Biomasse liquide	Biodiesel	
			Oli vegetali grezzi (soia, colza, palma ecc.)	
			Rifiuti liquidi biodegradabili (oli esausti e/o rigenerati, grassi animali ecc.)	
			Altre biomasse liquide	
			Biomasse solide	Biomasse solide (prodotte da attività agricola, allevamento e forestale, ecc.)
				Biomasse da Rifiuti completamente biodegradabili (farine animali, rifiuti di cucine e mense ecc.)
				Gas da pirolisi o gassificazione di biomasse
Gas da pirolisi o gassificazione di rifiuti				
Parte biodegradabile di RSU/RSAU				
Parte biodegradabile di CDR				
Parte biodegradabile di rifiuti generici CER				
Ibrido	<i>a vapore a gas a combustione interna a ciclo combinato altro</i>	Fonte Convenzionale + Fonte Rinnovabile	sub-fonte della fonte Rinnovabile scelta	
Marino		Moto Ondoso e Maremotrice	-	

Tabella 1 - classificazione impianti alimentati da fonti rinnovabili⁵

La qualifica di "Impianto Alimentato da Fonti rinnovabili" (IAFR) deriva dalla riforma del sistema elettrico che ha introdotto anche i meccanismi di promozione delle fonti rinnovabili. La normativa attuale ha assegnato al GSE il compito di qualificare gli impianti di produzione alimentati da fonti rinnovabili, una volta accertato il possesso dei requisiti previsti dalle diverse normative.

La tariffa Omnicomprensiva si applica a quegli impianti alimentati a fonti rinnovabili di "potenza nominale media annua" non superiore ad 1 MW (200 kW nel caso degli eolici on-shore) entrati in esercizio dopo il 31/12/2007.

⁵ Gli impianti ibridi sono impianti che utilizzano sia fonte rinnovabile che fonte convenzionale (in misura superiore al 5% previsto dalla normativa) inclusi gli impianti di co-combustione. Per co-combustione si intende la combustione contemporanea di combustibili convenzionali e rinnovabili nella stessa fornace o camera di combustione



scienza attiva

Bibliografia & Link Utili

- <http://www.fabbricabioenergia.polimi.it/docs/schede%20informative/Scheda%20pretrattamenti.pdf>
- <http://kyotolombardia.it/materiale-scientifico/seconda-annualita/Linea%20Scenari%20e%20Politiche%20SP2C%20Relazione%20finale%20parte%20A.pdf>
- <http://www.gse.it/it/Statistiche/RapportiStatistici/Pagine/default.aspx>
- http://users.unimi.it/ricicla/Lezioni/Usorriciclo_09/D%27Imporzano-%202009.pdf
- C.Sigmund, 'Teoria e pratica della depurazione delle acque reflue, procedure di smaltimento e progettazione', Dario Flaccovio Editore, pagine 713-716
- http://www.blueenergycontrol.it/upload/files/Illustra_Impianto_Crivelli_.pdf
- http://www.idra.unipa.it/temp_dw/nicosia/Fanghi+RSU_3-rev2%20%28STABIL_ANAER%29.pdf
- <http://www.habitatenergy.it/cogenerazione-situazione.html>
- CIB - Consorzio Italiano Biogas e Gassificazione, <http://ceastas.org/>
- L. Masotti, "Depurazione delle acque", Ed. Calderini (2011)
- P. Sirini, G. Tchobanoglous, "Ingegneria dei rifiuti solidi", Ed. Mc Graw Hill (2009)
- Metcalf, Eddy, "Ingegneria delle acque reflue, trattamento e riuso", Ed. Mc Graw Hill (2009)
- L. Bonomo, "Trattamento delle acque reflue", Ed. Mc Graw Hill (2008)