

**UTILIZZO DEL BIOGAS DI DISCARICA PER LA PRODUZIONE DI BIOMETANO  
PER AUTOTRAZIONE**

Ing. Katia PICCINNO

Tutor: Ing. Giovanni PINO  
Co-tutor: Dott. Francesco GERI

## PREFAZIONE

Lo stage in questione si inserisce nell'attività del Settore Innovazione Tecnologica dell'APAT sulla valutazione degli aspetti ambientali connessi alla produzione ed utilizzo dei Bio-Combustibili che dovranno sostituire anche parzialmente i combustibili fossili attualmente in uso soprattutto nel campo del trasporto urbano nelle aree metropolitane.

Fra questi assume particolare importanza l'utilizzo del Bio-Metano contenuto nel Biogas di discarica dei rifiuti urbani (con concentrazione circa del 55%) e la conseguente eliminazione di uno dei gas ad effetto serra più potenti come il metano.

Poiché le emissioni in atmosfera provenienti dai fumi di scarico dei bus ed automobili sono una delle cause principali dell'inquinamento atmosferico nelle città metropolitane si potrà così incidere sulla riduzione dei gas serra e degli inquinanti.

Per il miglioramento della qualità dell'aria, occorrerà utilizzare i Bio-Combustibili che hanno un bilancio sostanzialmente in pareggio per le emissioni di CO<sub>2</sub> e gli inquinanti (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM, THC, COV) emessi dopo la combustione saranno ridotti rispetto ai combustibili fossili tradizionali. Il biogas di discarica può dare un contributo importante alla riduzione dell'inquinamento atmosferico provocato dagli autoveicoli, in quanto ha un'alta concentrazione di metano che, con opportuni trattamenti, può essere elevata fino a livelli di concentrazioni presentate dal gas naturale.

Un risultato maggiore potrà essere ottenuto con la raccolta differenziata dei rifiuti urbani dove si separeranno le parti umide dei rifiuti da quelle solide e si potranno ottenere grandi quantità di Bio-gas, con una maggiore concentrazione di Bio-Metano (circa il 70%), attraverso la loro digestione anaerobica negli appositi Reattori. Successivamente la parte solida dei rifiuti sarà gassificata negli appositi Gassificatori con produzione di syngas (miscela di idrogeno ed ossido di carbonio) per l'utilizzo nella produzione di elettricità e riscaldamento (teleriscaldamento), con riduzione anche in questo caso di fossili, gas serra ed inquinanti per la produzione di energia elettrica e termica.

Il Bio-Metano è già ampiamente utilizzato nelle principali città europee e americane come combustibile per autotrazione, soprattutto in autoveicoli di grossa potenza (bus e autocompattatori per la raccolta di rifiuti).

Il presente lavoro ha analizzato le possibilità di utilizzare il Bio-Metano per autotrazione individuando alcune problematiche legate al suo uso attraverso l'impianto di produzione del

Bio-Metano installato nella discarica di Malagrotta a Roma che alimenta da anni una flotta di auto-compattatori dell'AMA per la raccolta dei rifiuti urbani di Roma.

Ing. Giovanni Pino

Responsabile Settore Innovazione Tecnologica

## RIASSUNTO

Le emissioni in atmosfera provenienti dai fumi di scarico delle automobili sono la causa principale dell'inquinamento atmosferico nelle città. E' ormai una necessità, per migliorare la qualità dell'aria, utilizzare combustibili a più basso inquinamento e soprattutto biocombustibili che hanno un bilancio sostanzialmente in pareggio per le emissioni di CO<sub>2</sub>. Il biogas di discarica può offrire un contributo importante alla riduzione dell'inquinamento atmosferico provocato dagli autoveicoli, in quanto ha un'alta concentrazione di metano che, con opportuni trattamenti, può essere elevata fino a livelli di concentrazioni presentate dal gas naturale. Si può ottenere così il biometano che sostituisce il metano di rete. Il biometano è già ampiamente utilizzato in alcune città europee e americane come combustibile per autotrazione, soprattutto in autoveicoli di grossa potenza (bus e autocompattatori per la raccolta di rifiuti). Il presente lavoro ha analizzato le possibilità di utilizzare il biometano per autotrazione individuando alcune problematiche legate al suo uso e descrivendo l'impianto di produzione del biometano installato nella discarica di Malagrotta a Roma che alimenta da anni una flotta di autocompattatori dell'AMA per la raccolta dei rifiuti urbani di Roma.

## ABSTRACT

The emissions of pollutants in air due to exhaust gas coming from the motor cars are the principal cause of the air pollution in the cities. It is necessary, at this point, especially in bigger agglomerations with an elevated intensity of automotive traffic to use alternative fuels which can produce low emissions respect to traditional fuels (gasoline, gasoil). In particular, it is interesting the utilisation of MSW landfill biogas as sources to produce biomethane as vehicle fuel. The landfill biogas contain an high percentage of methane which can be elevated, by means of specific treatments, up to reach the concentration of natural gas. This biomethane can therefore substitute the natural gas as motor fuel. The biomethane is widely utilise in many European and Usa cities especially for high power vehicle (diesel motors), as bus and refuse collection vehicles (autocompactors). The present work has analysed the real possibilities to utilized the biomethane, evidencing some problematic questions connected to its use. Moreover it has been described the biomethane production plant installed at Malagrotta (Rome) which feeds several autocompactors utilised to collected the refuse of Rome.

## INDICE

<b>I</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>6</b>
<b>II</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>8</b>
<b>III</b>	<b>INQUINAMENTO DEI TRASPORTI NELLE AREE URBANE .....</b>	<b>8</b>
<b>IV</b>	<b>II COMBUSTIBILE METANO .....</b>	<b>10</b>
<b>V</b>	<b>II COMBUSTIBILE BIOMETANO.....</b>	<b>11</b>
<b>VI</b>	<b>COSTO BIOMETANO.....</b>	<b>13</b>
<b>VII</b>	<b>GESTIONE DISCARICHE.....</b>	<b>13</b>
	<i>VII.I BIOGAS DI DISCARICA.....</i>	<i>14</i>
	<i>VII.II FASI DI PRODUZIONE BIOGAS.....</i>	<i>14</i>
	<i>VII.III COMPOSIZIONE BIOGAS DI DISCARICA.....</i>	<i>15</i>
	<i>VII.IV PRODUZIONE BIOGAS DAI RIFIUTI URBANI.....</i>	<i>18</i>
	<i>VII.V EFFETTI AMBIENTALI DELLE EMISSIONI DI BIOGAS.....</i>	<i>18</i>
	<i>VII.VI SISTEMI DI CAPTAZIONE BIOGAS.....</i>	<i>19</i>
	<i>VII.VII NORMATIVA SUL BIOGAS DI DISCARICA .....</i>	<i>20</i>
<b>VIII</b>	<b>SISTEMI DI GESTIONE BIOGAS.....</b>	<b>21</b>
<b>IX</b>	<b>UTILIZZAZIONE BIOGAS DISCARICA MALAGROTTA.....</b>	<b>21</b>
	<i>IX.I MOTOGENERATORI.....</i>	<i>22</i>
	<i>IX.II TURBINA A GAS.....</i>	<i>22</i>
	<i>IX.III IMPIANTO BIOMETANO.....</i>	<i>22</i>
	<i>IX.IV CARATTERISTICHE IMPIANTO .....</i>	<i>26</i>
	<i>IX.V CARATTERISTICHE BIOGAS E BIOMETANO PRODOTTO.....</i>	<i>26</i>
	<i>IX.VI BILANCIO ENERGETICO.....</i>	<i>26</i>
	<i>IX.VII CONFRONTO BIOMETANO E METANO DI RETE .....</i>	<i>27</i>
<b>X</b>	<b>MOTORI A GAS METANO.....</b>	<b>27</b>
	<i>X.I EMISSIONI DA AUTOVEICOLI A BIOMETANO.....</i>	<i>30</i>
<b>XI</b>	<b>ESPERIENZE INTERNAZIONALI .....</b>	<b>32</b>
<b>XII</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>33</b>
<b>XIII</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>34</b>

## I INTRODUZIONE

Il settore dei trasporti autostradali, specie quello da traffico presente nelle grandi aree metropolitane, ha assunto una considerevole rilevanza ambientale su scala europea.

La presenza di sostanze inquinanti in aria indotte dal traffico provoca, infatti, una serie di effetti negativi sia direttamente sulla salute dell'uomo e degli animali, sia indirettamente attraverso l'inquinamento graduale delle diverse matrici ambientali (suolo, acque, aria) che si va ad aggiungere agli inquinamenti provenienti dagli altri settori. L'inquinamento sulle matrici ambientali provoca a catena effetti, oltre che sull'uomo, anche sul cambiamento del clima globale, sul degrado delle opere d'arte e dei manufatti, ecc..

Ognuno di questi effetti dà luogo, tra l'altro, ad un costo ambientale che teoricamente è pari al costo necessario per ripristinare la situazione antecedente l'inquinamento. Sfortunatamente non sempre è possibile eliminare tecnicamente le conseguenze prodotte da un inquinamento anche a fronte di costi sociali molto elevati. Ciò può provocare un continuo degrado dell'ambientale e delle risorse naturali disponibili le cui conseguenze sono difficilmente valutabili.

La strada più razionale resta, pertanto, quella della prevenzione che, anche se non elimina i fenomeni di inquinamento che comunque rimangono associati a qualsiasi attività umana, può ridurre tali fenomeni almeno a livelli che possano rientrare nella capacità di autorigenerazione naturale. Le attività di prevenzione richiedono, tuttavia, un'elevata organizzazione della società e dei sistemi produttivi; soprattutto esse richiedono notevoli sforzi ed investimenti nella ricerca di nuove tecnologie e nuovi prodotti.

Negli ultimi anni, le azioni intraprese per evitare o limitare le emissioni degli autoveicoli, soprattutto nelle aree urbane e suburbane, sono state numerose e molto diversificate da parte di tutti i soggetti coinvolti.

In particolare gli amministratori pubblici hanno predisposto norme ambientali sempre più rigorose; i costruttori degli autoveicoli hanno messo a punto strategie per la realizzazione di motori ad alto rendimento e basse emissioni; i petrolieri hanno prodotto combustibili con ridotte sostanze inquinanti, soprattutto zolfo, aromatici, piombo.

Anche il mondo della ricerca si è messo in azione portando avanti linee di attività che tendono a sviluppare nuove tecnologie per il trasporto veicolare, come ad esempio l'uso di motori

elettrici in sostituzione dei motori a combustione interna e l'uso di combustibili "puliti" come l'idrogeno.

Tra le azioni ambientalmente più significative di questi ultimi anni possono essere messe in evidenza le attività di ricerca e sviluppo di nuove tipologie di combustibili che utilizzati in alternativa, oppure molto più realisticamente, utilizzati congiuntamente agli attuali combustibili, benzina ed al gasolio, siano in grado di ridurre sensibilmente l'inquinamento atmosferico provocato dagli autoveicoli senza apportare eccessive modifiche al sistema attuale delle tecnologie del trasporto su strada ed al sistema di distribuzione.

Tra questi nuovi combustibili rientrano i cosiddetti biocombustibili, cioè quei combustibili di origine vegetale che utilizzano il carbonio presente nell'atmosfera (principalmente CO<sub>2</sub>) per accrescere la loro massa. In questo modo si crea un circolo virtuoso attraverso il quale la combustione del biocombustibile produce CO<sub>2</sub> (trasformando il carbonio organico presente nel combustibile in carbonio inorganico) che è poi utilizzata (attraverso la fotosintesi) per accrescere la massa organica da cui è ricavato il combustibile (si realizza, cioè, un bilancio sostanzialmente in pareggio per le emissioni di CO<sub>2</sub>). I biocombustibili possono essere di origine vegetale (biomassa), come ad esempio il biodiesel, l'etanolo, oppure derivati dalla fermentazione anaerobica della frazione organica umida presente nei residui e nei rifiuti.

Il presente lavoro, in particolare, ha analizzato le attuali modalità di utilizzo del biogas prodotto nelle discariche di rifiuti urbani che opportunamente trattato può produrre un combustibile da utilizzare sia per la generazione di energia elettrica che per l'autotrazione.

E' da sottolineare che l'utilizzo del biogas prodotto in una discarica raggiunge due rilevanti obiettivi ambientali: il primo obiettivo è quello di ridurre le emissioni in atmosfera provenienti dalla discarica che causano fastidiosi effetti, di natura soprattutto olfattiva, nelle zone limitrofe alla stessa discarica. Tra l'altro, gli investimenti finanziari necessari per l'installazione di impianti e strutture per il recupero del metano spingono i gestori ad incrementare l'efficienza dei sistemi di captazione del biogas riducendo così le emissioni residue, pur sempre esistenti in ogni discarica.

Il secondo obiettivo ambientale è legato al recupero dell'energia contenuta nel biogas evitando di impiegare combustibili convenzionali, contribuendo ad incrementare le cosiddette "emissioni evitate".

## **II METODOLOGIA**

La metodologia utilizzata nello sviluppo del presente lavoro è stata basata principalmente sulla ricerca della documentazione tecnica, disponibile in letteratura, relativa alle attività svolte, o in atto, a livello internazionale circa l'uso del biogas di discarica come combustibile.

E' da evidenziare che, nonostante siano state effettuate numerose esperienze internazionali in questo settore, i dati disponibili in letteratura tecnica e nei siti internet specializzati sono risultati spesso incoerenti e di difficile inserimento in contesti sperimentali riproducibili.

Il lavoro riportato nella presente relazione, ha, pertanto, una validità di tipo ricognitivo e di "stato dell'arte"; tale lavoro, tuttavia, ha cercato di mettere in evidenza alcuni elementi non ancora sufficientemente indagati che possono quindi costituire uno spunto per successive attività di ricerca sperimentale.

## **III INQUINAMENTO DEI TRASPORTI NELLE AREE URBANE**

Attualmente, in corrispondenza delle aree urbane, i trasporti costituiscono, su base annua, la principale fonte di emissione di inquinanti come ossidi di azoto, composti organici volatili tra cui benzene, monossido di carbonio, polveri (in particolare polveri fini, e cioè la frazione di polveri che è la principale responsabile dei danni alla salute); sono, inoltre, responsabili su base nazionale di una quota considerevole (intorno al 28%) di anidride carbonica, il principale gas a effetto serra.

In particolare i trasporti incidono, nelle aree urbane, per oltre il 60% delle emissioni di ossidi di azoto e di composti organici volatili, e per oltre il 90% delle emissioni di monossido di carbonio. Questo, accompagnato al fatto che i veicoli emettono praticamente a livello del suolo (per cui le alte concentrazioni degli inquinanti emessi si fanno sentire soprattutto nelle immediate vicinanze dei punti di emissione), li rende le fonti di impatto più importanti su scala locale.

I trasporti sono inoltre responsabili del 75% delle emissioni complessive di benzene, su scala nazionale; di queste oltre il 65% sono originate nelle aree urbane<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> APAT Rapporto 4/2001 "Sviluppo ed uso di metodologie per la stima delle emissioni atmosferiche da trasporto stradale in Italia su scala provinciale".

Nella sola Europa la totale domanda di mobilità crescerà del 2% all'anno per i passeggeri e del 3% all'anno per le merci. Il trasporto automobilistico (79% del totale), in passeggeri-chilometro, è circa 10 volte più elevato di quello effettuato con ciascun altro mezzo di locomozione (8% autobus, 7% aereo e 6% ferroviario).

La sfida tecnologica riguarderà la domanda di ricerca e sviluppo per far fronte alle significative riduzioni delle emissioni previste dall'Unione Europea. Infatti, i limiti delle emissioni di ossido di carbonio (CO), di ossido di azoto (NOx), di idrocarburi (HC) e di particolato carbonioso, espresse in g/km, prevedono, per il 2005 (step Euro IV), una riduzione di circa il 50% sia per i veicoli con motori ad accensione comandata che per quelli con motori diesel e, per il 2010 (step Euro V), un'ulteriore diminuzione del 50% rispetto al 2005<sup>2</sup>.

In figura 1 è riportato il confronto delle emissioni dei trasporti stradali con quello di altri macrosettori dell'inventario nazionale delle emissioni<sup>3</sup>.

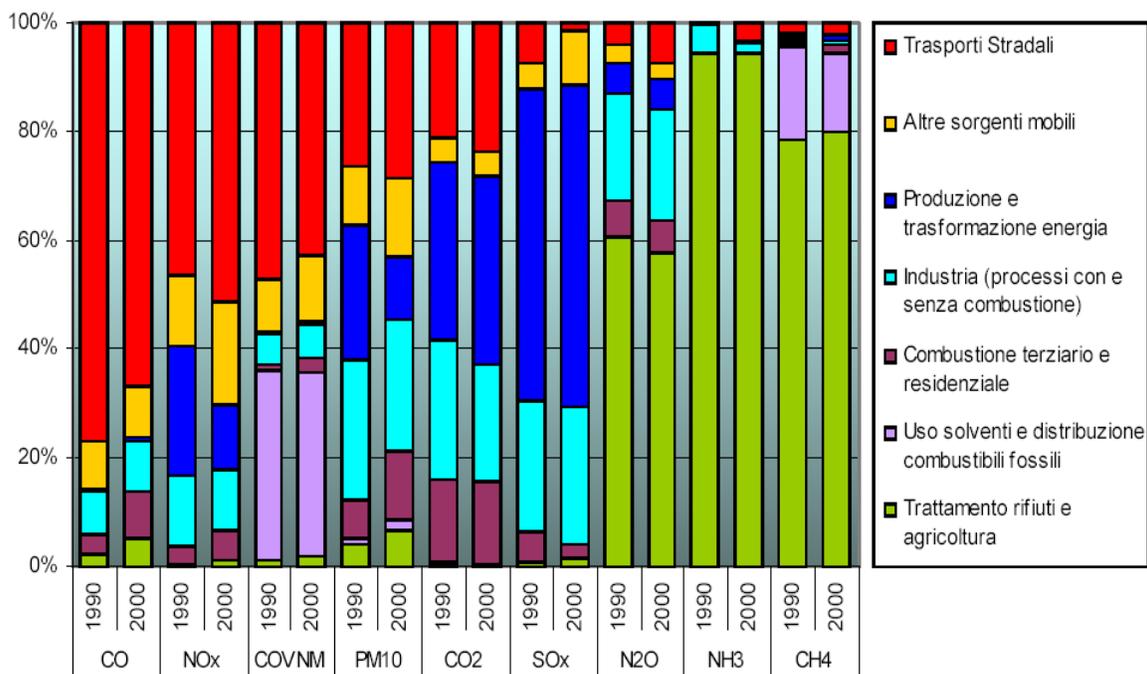


Figura 1 - Contributo percentuale delle emissioni dei trasporti stradali e degli altri settori sul totale delle emissioni in atmosfera nel 1990 e nel 2000.

<sup>2</sup> Dati CNR

<sup>3</sup> APAT "Le emissioni atmosferiche da trasporto stradale in Italia dal 1990 al 2000". Bozza per revisione 13/02/03.

## IV II COMBUSTIBILE METANO

Tra i combustibili commerciali con ridotto impatto ambientale utilizzati nei sistemi dei trasporti, il metano (gas naturale) ed il GPL (gas di petrolio liquefatto costituito da una miscela liquida di propano e butano) sono senz'altro quelli di più facile reperimento. Per tali combustibili, infatti, si è sviluppata una fitta rete di distribuzione, a livello nazionale, che consente, soprattutto in alcune regioni, un utilizzo normale di un autoveicolo di piccola potenza.

Il metano è un combustibile che presenta i seguenti vantaggi:

- è più leggero dell'aria (densità : metano 0,71 kg/Nm<sup>3</sup>; aria 1.29 kg/Nm<sup>3</sup>). Qualunque perdita tende perciò a disperdersi verso l'alto e, per questo motivo, le auto a metano, al contrario di quelle a GPL, possono accedere e sostare in tutte le autorimesse, anche sotterranee (Decreto Ministero Interni del 01/02/86, G.U. n. 38 del 15/02/86);
- ha un'alta temperatura di infiammabilità: deve raggiungere una temperatura di 580° C, alla pressione atmosferica. Tale valore è superiore a quello della benzina e del gasolio;
- non è tossico; può causare asfissia qualora la sua concentrazione in aria riduca a valori troppo bassi il tenore do ossigeno;
- dal punto di vista ambientale, presenta numerosi vantaggi:
  - non contiene zolfo, quindi non produce anidride solforosa evitando così il fenomeno delle piogge acide;
  - le missioni di CO<sub>2</sub> sono inferiori del 25% rispetto a quelle della benzina e del 40% rispetto a quelle del carbone;
  - le emissioni di CO sono inferiori di circa il 70 % rispetto alla benzina;
  - le emissioni di NO<sub>x</sub> sono inferiori di circa il 90% rispetto alla benzina;
  - le emissioni di HC sono inferiori di circa il 30% rispetto alla benzina;
  - non genera polveri e particolato perchè è in forma gassosa, anche se può produrre particolato ultrafine non ancora regolamentato; il suo trasporto avviene attraverso metanodotti sotterranei o navi;
- come combustibile per autotrazione, ha un numero di ottano minimo di 120 e non è corrosivo;

- ha un alto potere calorifico (il metano possiede un potere calorifico di circa 11600 kcal/kg contro circa 10200 kcal/kg circa del gasolio, 10300 kcal/kg della benzina e 10000 kcal/kg del gpl) ed una tonalità termica di poco inferiore a quella della benzina (0.82 kcal per litro di miscela metano-aria contro le 0.89 kcal per litro di miscela benzina-aria);
- ha un limite di infiammabilità con aria compreso tra 5% e 15% alla temperatura di 20°C.

Il metano di contro presenta i seguenti inconvenienti:

- impone una limitata autonomia dovuta alla necessità di stoccaggio in forma gassosa in bombole ad alta pressione;
- presenta una diminuzione di potenza del motore qualora quest'ultimo non sia specificatamente progettato per le caratteristiche del metano;
- ha un basso numero di cetano che impedisce il suo uso in motori diesel se non specificatamente progettati;
- i motori a gas hanno in genere un consumo più elevato rispetto a quelli a gasolio;

Le norme che regolamentano l'uso del metano per autotrazione sia per quanto riguarda le specifiche del metano che le caratteristiche della componentistica utilizzata a bordo degli autoveicoli sono ancora in discussione. A tale scopo la ISO ha insediato sin dal 1995, nell'ambito del Comitato Tecnico dei veicoli a motore (TC 22) uno specifico sottocomitato (SC 25) per unificare la materia. In Italia la materia di unificazione dei motori è affidata all'associazione CUNA federata con UNI, che ha emesso la tabella, a carattere provvisorio, CUNA NC632-01 relativa alle caratteristiche del metano per autotrazione.

## **V II COMBUSTIBILE BIOMETANO**

Il biogas è il prodotto gassoso ottenuto dai processi di digestione anaerobica (cioè in assenza di ossigeno) che avvengono nelle masse organiche presenti nei residui e nei rifiuti. La reazione anaerobica dei rifiuti può essere realizzata sia in appositi reattori (bioreattori) sia avvenire spontaneamente nei rifiuti urbani presenti in una discarica.

La produzione di biometano dal biogas è realizzata attraverso un processo di depurazione e concentrazione del biogas prodotto. Tale processo è relativamente complesso e costoso ma le caratteristiche finali del gas sono assimilabili a quelle del metano di rete. Questa possibilità è rilevante per la diffusione di autocarri utilizzati per la raccolta stessa dei rifiuti urbani con motori alimentati a metano e per il risparmio energetico che ne consegue.

Il D.Lgs. 128/2005 definisce così il biogas come biocarburante<sup>4</sup>: “gas combustibile ricavato dalla biomassa ovvero dalla parte biodegradabile dei rifiuti, che può essere trattato in un impianto di purificazione onde ottenere una qualità analoga a quella del gas naturale, al fine di essere usato come biocarburante o gas di legna”.

Il decreto e' finalizzato a promuovere l'utilizzazione di biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili in sostituzione di carburante diesel o di benzina nei trasporti, al fine di contribuire al raggiungimento degli obiettivi nazionali in materia di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra e di sicurezza dell'approvvigionamento di fonti di energia rispettando l'ambiente, e di promozione delle fonti di energia rinnovabili.

Il decreto fissa, inoltre, gli obiettivi indicativi nazionali di immissione in consumo di biocarburanti e altri carburanti rinnovabili. Tali obiettivi sono di utilizzare, entro il 31 dicembre 2005, l'1.0% di biocarburante del totale del carburante diesel e di benzina nei trasporti immessi al consumo nel mercato nazionale ed il 2.5% entro il 31 dicembre 2010.

L'aspetto normativo relativo all'uso del biometano per autotrazione, ancor di più del metano fossile, è fortemente carente a livello nazionale e internazionale. Se a livello internazionale si discute, infatti, sugli aspetti normativi per l'unificazione della materia, per il biometano si è ancora nelle fasi iniziali e si attendono i risultati del lavoro delle commissioni relative all'uso del metano fossile per estenderle al biometano. A titolo di esempio si riportano le caratteristiche del biometano richieste dai motori IVECO nelle prove effettuate a Roma dall'AMA<sup>5</sup>:

Metano, %vol	>93
Ossigeno, %vol	<1
Azoto, %vol	<5.5
Idrogeno solforato, mg/m <sup>3</sup>	<23
Anidride carbonica, %vol	<3
Idrogeno, %vol	<0.1
P, Ca, Si, Cl	assenti

---

<sup>4</sup> Oltre al biometano il decreto definisce biocarburanti: bioetanolo, biodiesel, biometanolo, biodimetilene, bio-ETBE, etil-ter-butil-etero, bio-MTBE, metil-ter-butil-etero, biocarburanti sintetici, bioidrogeno, olio vegetale puro.

<sup>5</sup> Rif. Bibl. 2

## VI COSTO BIOMETANO

Determinare il costo totale di produzione del biometano è un esercizio assai difficile perché esso dipende da fattori molto complessi. Uno dei fattori principali è quello relativo alla scala dell'impianto di produzione e dalle dimensioni della discarica. E' evidente infatti che discariche di grandi dimensioni producono una quantità elevata di biogas e, quindi, per esse è possibile installare impianti di produzione biometano in scala opportuna per contenere i costi di produzione. Un altro fattore che influenza sensibilmente il costo di produzione del biometano è costituito dal sistema utilizzato per lo stoccaggio ad alta pressione, dal sistema di compressione ed erogazione del gas all'utilizzatore (ad esempio erogazione veloce o lenta).

Da stime interne APAT il costo totale di produzione del biometano al punto di erogazione all'utilizzatore può variare tra 0.2-0.3 € per Nm<sup>3</sup>. Tale costo è stato stimato con una taglia minima dell'impianto di produzione di 1000 Nm<sup>3</sup> di biogas<sup>6</sup> ed una produzione di biometano pari a circa 500 Nm<sup>3</sup>. Una taglia più piccola dell'impianto comporta costi di produzione sensibilmente maggiori.

## VII GESTIONE DISCARICHE

Per i rifiuti urbani è ormai delineato il seguente schema di gestione:

- raccolta differenziata iniziale (con recupero di carta, vetro, plastica, metalli, imballaggi, oli);
- successiva separazione della parte secca e della parte umida presente nei rifiuti indifferenziati a valle della raccolta differenziata; produzione di combustibile (CDR) a partire dalla parte secca separata;
- produzione di frazioni organiche stabilizzate con la parte umida separata (la stabilizzazione delle sostanze organiche può essere, tra l'altro, sfruttata per produrre biogas attraverso la digestione anaerobica);
- smaltimento in discarica dei residui delle precedenti lavorazioni e dei rifiuti non trattati.

---

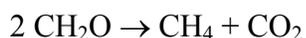
<sup>6</sup> Una discarica in grado di captare 1000 Nm<sup>3</sup>/h è una discarica medio-grande con un bacino di utenza che può approssimativamente essere compreso tra 100.000 – 500.000 abitanti a seconda dell'età dei rifiuti accumulati.

Una gestione del tipo descritta porterà, per le discariche di rifiuti urbani future, ad una netta riduzione della produzione di biogas a causa della ridotta presenza di sostanze organiche umide.

## **VII.I BIOGAS DI DISCARICA**

Il biogas di discarica è il prodotto gassoso derivante dalla decomposizione anaerobica del materiale organico presente nei rifiuti urbani accumulati nelle discariche. La decomposizione avviene all'interno dei rifiuti in seguito alla fermentazione, in assenza o ridotta quantità di ossigeno, causata dalla popolazione batterica presente nei rifiuti stessi che per la propria sopravvivenza trasforma le sostanze organiche complesse in molecole più semplici, in parte gassose (biogas) ed in parte liquide (percolato).

La reazione generale di formazione del biogas può essere così sintetizzata:



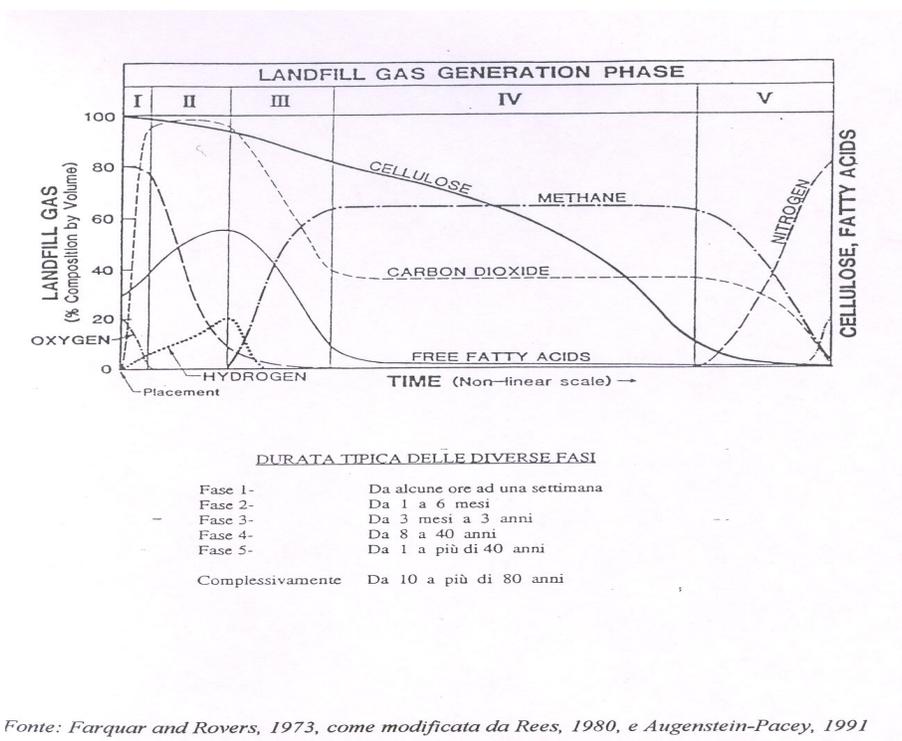
La conoscenza della produzione di biogas, in termini quali-quantitativi, ed il suo protrarsi nel tempo, rappresentano gli aspetti essenziali per una corretta progettazione dei sistemi di captazione e di utilizzo.

## **VII.II FASI DI PRODUZIONE BIOGAS**

Le fasi attraverso le quali la sostanza organica è trasformata in biogas sono assai complesse e dipendono da numerosi fattori, quali le caratteristiche del rifiuto smaltito, le condizioni di temperatura, umidità, pressione in cui avvengono tali trasformazioni, le modalità di costruzione e gestione delle discariche.

Numerose sono le ipotesi e le sperimentazioni effettuate per definire le trasformazioni che avvengono nei rifiuti e la loro cinetica ma esse non hanno ancora portato a conclusioni definitive.

Nella figura 2 sono rappresentate le fasi tipiche della produzione di biogas in una discarica di rifiuti urbani.



Fonte: Farquar and Rovers, 1973, come modificata da Rees, 1980, e Augenstein-Pacey, 1991

Figura 2 – Fasi di produzione biogas di discarica di rifiuti urbani

### VII.III COMPOSIZIONE BIOGAS DI DISCARICA

Il biogas totale prodotto in una discarica di rifiuti urbani, soprattutto quando è coltivata in lotti, ha in genere una composizione mediamente costante, a meno dei composti in tracce, anche se può variare nel tempo in quantità.

Nella tabella 1 seguente è riportata la composizione volumetrica tipica del biogas di discarica.

<b>COMPOSTI</b>	<b>COMPOSIZIONE (% VOLUME)</b>
CH <sub>4</sub>	40-60
CO <sub>2</sub>	30-50
H <sub>2</sub> O	2-5
O <sub>2</sub>	<1
N <sub>2</sub>	2-15
H <sub>2</sub> S	Tracce
H <sub>2</sub>	0-20

Tabella 1 – Composizione biogas di discarica

La concentrazione degli elementi organici diversi dal metano presenti nel biogas sono in genere compresi tra 1-2% in peso. Elencare tutti i composti presenti in tracce è di fatto impossibile poiché sono innumerevoli e dipendono da molti fattori, quali la tipologia, la vita ed il grado di umidità dei rifiuti, le condizioni atmosferiche, le modalità di costruzione della discarica.

A titolo di esempio nella tabella 2 si riporta una composizione, di fonte EPA, per i composti organici superiori (non metanigeni) nel biogas di discarica.

<b>COMPOSTI</b>	<b>COMPOSIZIONE (% PESO)</b>
Metano	98.7
Terpeni	0.1
Etano	0.1
Propano	0.1
N-butano	0.2
Iso-butano	0.1
N-pentano	0.1
Ciclopentano	0.1
Percloroetilene	0.3
Isomeri dello xilene	0.1
Toluene	0.1

(Fonte: U.S.EPA, 1990)

Tabella 2 – Valori tipici composti organici superiori nel biogas di discarica

Relativamente alla presenza di alcuni microcomposti organici (in genere presenti in concentrazioni variabili tra qualche frazione a qualche centinaia di mg/Nmc) che possono indurre particolari problemi durante la combustione sono da segnalare:

- composto contenenti ossigeno (ad esempio alcoli, aldeidi);
- composti contenenti zolfo (ad esempio mercaptani, acido solfidrico, solfuri di carbonio);
- idrocarburi aromatici alogenati (ad esempio benzene, toluene xilene, propilbenzene);
- idrocarburi alogenati (ad esempio clorofluorometani, cloroetani, clorobenzoli, cloruri di vinile);
- altri composti caratteristici (ad esempio terpeni, silossani).

#### **VII.IV      PRODUZIONE BIOGAS DAI RIFIUTI URBANI**

Diverse sono le teorie sviluppate con cui vengono stimate le produzioni di biogas di una discarica di rifiuti urbani ma che, a causa dell'impossibilità tecnica di determinare nel tempo la reale produzione nei casi concreti (si ricorda che la produzione di biogas si protrae anche fino a 50 anni dalla deposizione del rifiuto) esse non possono essere verificate e rimangono astratte.

Le stime del biogas prodotto normalmente si basano sul valore del biogas realmente captato, facilmente misurabile, e su un rendimento medio del sistema di captazione adottato.

In generale, i valori medi riportati in letteratura della stima della quantità di biogas complessiva, prodotta in un periodo di circa 30 anni, sono compresi tra:

- 200-250 Nm<sup>3</sup> totali per tonnellata di rifiuto urbano in circa 30 anni;
- 15-20 Nm<sup>3</sup>/anno per tonnellata di rifiuto per i primi 10 anni che si riducono a metà per gli anni successivi.

#### **VII.V      EFFETTI AMBIENTALI DELLE EMISSIONI DI BIOGAS**

Il biogas prodotto nelle discariche dei rifiuti urbani rappresenta l'effetto ambientale più evidente per la popolazione residente nelle vicinanze della discarica stessa.

Tale biogas, oltre agli effetti di tipo organolettico (cattivi odori nelle aree limitrofe alla discarica), può presentare pericoli di esplosioni in caso di accumulo del biogas in ambienti confinati, come è realmente successo in diversi casi anche a distanza di qualche chilometro dalla discarica.

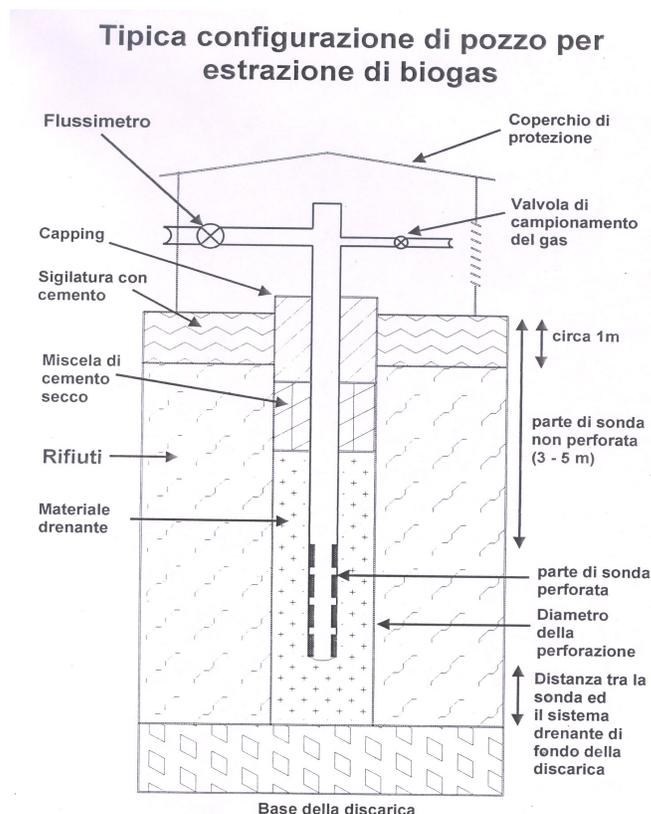
Inoltre, esso contribuisce ad aumentare la presenza di composti inquinanti nell'atmosfera e, soprattutto, ad aumentare la concentrazione di metano che è un composto che presenta una potenzialità, nei confronti dell'effetto serra, di circa 20 volte superiore rispetto alla CO<sub>2</sub>.

## VII.VI SISTEMI DI CAPTAZIONE BIOGAS

I sistemi di captazione consistono nell'installazione di pozzi di captazione all'interno del banco dei rifiuti. Tali pozzi sono collegati attraverso tubazioni ad una stazione di aspirazione del biogas costituita, in genere da turbo-aspiratori, che aspira il biogas prodotto e lo invia al sistema di trattamento. Tali sistemi, tuttavia, non riescono a captare tutto il biogas prodotto dalla massa dei rifiuti sia perché occorrerebbe una maglia di pozzi estremamente fitta sia perché la depressione nella massa dei rifiuti, indotta dall'aspiratore, non può essere inferiore a certi valori altrimenti oltre al biogas sarebbe aspirata anche una quantità elevata di aria esterna con il pericolo di arrivare a concentrazioni gas-aria nel range di esplosività (5-15% di aria).

Il rendimento dei sistemi di captazione è variabile anche in relazione alle condizioni della massa dei rifiuti (umidità, condizioni atmosferiche, tempo di residenza dei rifiuti, qualità dei rifiuti, sistemi di coltivazione, ecc.) ed in genere non è superiore al 60% di captazione del biogas prodotto, potendo però arrivare anche a rendimenti del 30% per sistemi non ben progettati. Un tipico pozzo di estrazione è riportato nella figura 3.

Figura 3 – Pozzo di estrazione biogas



## VII.VII    **NORMATIVA SUL BIOGAS DI DISCARICA**

Le discariche di rifiuti sono soggette alle norme generali previste nel D.Lgs 152/2006 “Norme in materia ambientale” ed alle norme specifiche previste nel D.Lgs 136/2003 “Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti”.

Tali norme prescrivono che la corretta gestione dei rifiuti dovrà essere basata sul principio di smaltire in discarica solo quella parte dei rifiuti che non può essere recuperata o trattata.

In particolare il D.Lgs 136/2003 prevede che le discariche che accettano rifiuti biodegradabili devono essere dotati di impianti per l'estrazione dei gas che garantiscano la massima efficienza di captazione e il conseguente utilizzo energetico.

La gestione del biogas deve essere condotta in modo tale da ridurre al minimo il rischio per l'ambiente e per la salute umana; l'obiettivo è quello di non far percepire la presenza della discarica al di fuori di una ristretta fascia di rispetto.

È inoltre indispensabile mantenere al minimo il livello del percolato all'interno dei pozzi di captazione del biogas, per consentirne la continua funzionalità, anche con sistemi di estrazione del percolato eventualmente formatosi; tali sistemi devono essere compatibili con la natura di gas esplosivo, e rimanere efficienti anche nella post-operativa.

Il gas deve essere di norma utilizzato per la produzione di energia, anche a seguito di un eventuale trattamento, senza che questo pregiudichi le condizioni di sicurezza per la salute dell'uomo e per l'ambiente.

Nel caso di impraticabilità del recupero energetico la termodistruzione del gas di discarica deve avvenire in idonea camera di combustione a temperatura  $T > 850^\circ$ , concentrazione di ossigeno  $\geq 3\%$  in volume e tempo di ritenzione  $\geq 0,3$  s.

Il sistema di estrazione e trattamento del gas deve essere mantenuto in esercizio per tutto il tempo in cui nella discarica è presente la formazione del gas.

La manutenzione, la sorveglianza e i controlli della discarica devono essere assicurati anche nella fase della gestione successiva alla chiusura, fino a che l'ente territoriale competente accerti che la discarica non comporta rischi per la salute e l'ambiente. In particolare, devono essere garantiti i controlli e le analisi del biogas, del percolato e delle acque di falda che possano essere interessate.

## VIII SISTEMI DI GESTIONE BIOGAS

I principali sistemi di gestione del biogas attualmente in uso sono:

- termodistruzione per combustione in torcia;
- generazione di energia elettrica in turbine a gas, motori a scoppio;
- valorizzazione del gas (biometano)

In figura 4 è sintetizzato il ciclo di captazione e destinazione del biogas.

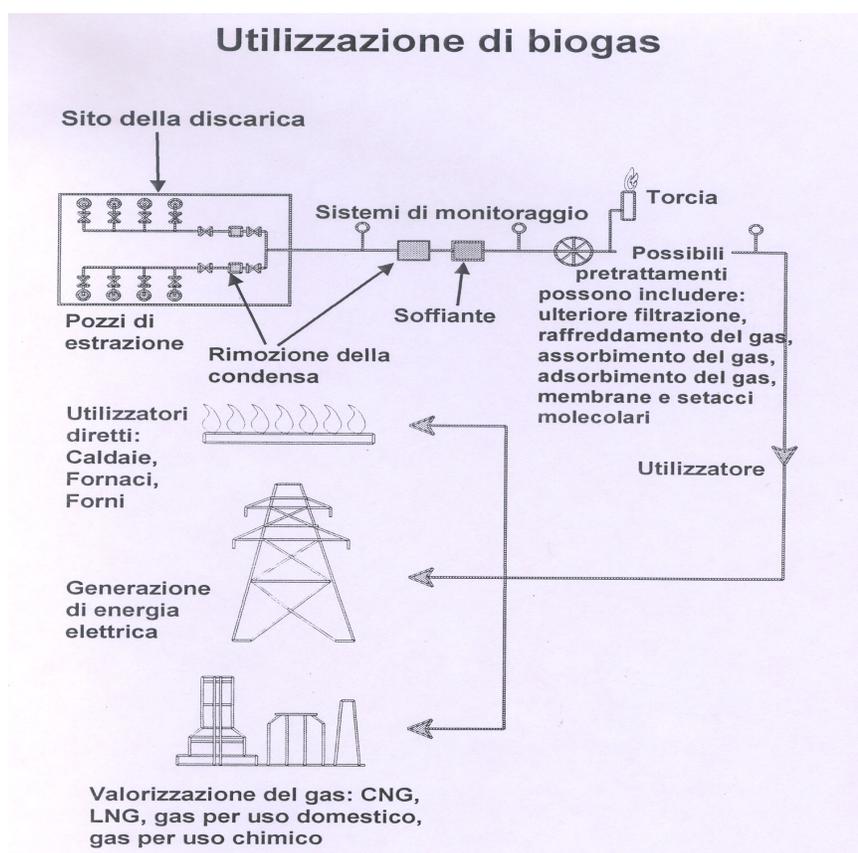


Figura 4 – Ciclo di utilizzo biogas

## IX UTILIZZAZIONE BIOGAS DISCARICA MALAGROTTA

Come esempio concreto di utilizzo del biogas di discarica è stato preso il sistema di gestione del biogas attuato nella della discarica di Malagrotta (Roma). Le informazioni sono state desunte dalla documentazione tecnica consegnata durante la presentazione dei compattatori a

metano a Roma il 12 giugno 1997. La discarica di Malagrotta ha una superficie di oltre 200 Ha ed è la discarica di più rilevanti dimensioni a livello nazionale ed una delle più estese a livello europeo.

Il sistema di gestione praticato nella discarica è particolarmente interessante poiché prevede l'utilizzo di gran parte del biogas prodotto per la produzione di energia elettrica e di biometano per autotrazione.

Il biogas captato nella discarica di Malagrotta, circa 8000 Nmc/h, è utilizzato per alimentare i seguenti impianti:

- Impianto di produzione energia elettrica in un gruppo di motogeneratori;
- Impianto produzione energia elettrica in una turbina a gas;
- Impianto produzione biometano.

## **IX.I MOTOGENERATORI**

Nella discarica è installato un gruppo di 4 Motogeneratori (Caterpillar) con una potenza installata da 3.3 MWe totali. E' previsto un sistema di trattamento del biogas inviato ai 4 motogeneratori costituito da un lavaggio con acqua (scrubber) che consente la concentrazione del biometano ad un valore di circa il 70% in volume. La produzione di energia elettrica netta è inviata nella rete esterna ENEL.

## **IX.II TURBINA A GAS**

Nella discarica è installato un impianto turbogas costituito da una turbina a gas (Solar) da 4.1 MWe totali. E' previsto un sistema di trattamento del biogas iniettato alla turbina costituito da filtrazione e da separazione delle condense. La produzione di energia elettrica netta è inviata nella rete esterna ENEL.

## **IX.III IMPIANTO BIOMETANO**

Il biometano è prodotto in un impianto che prevede:

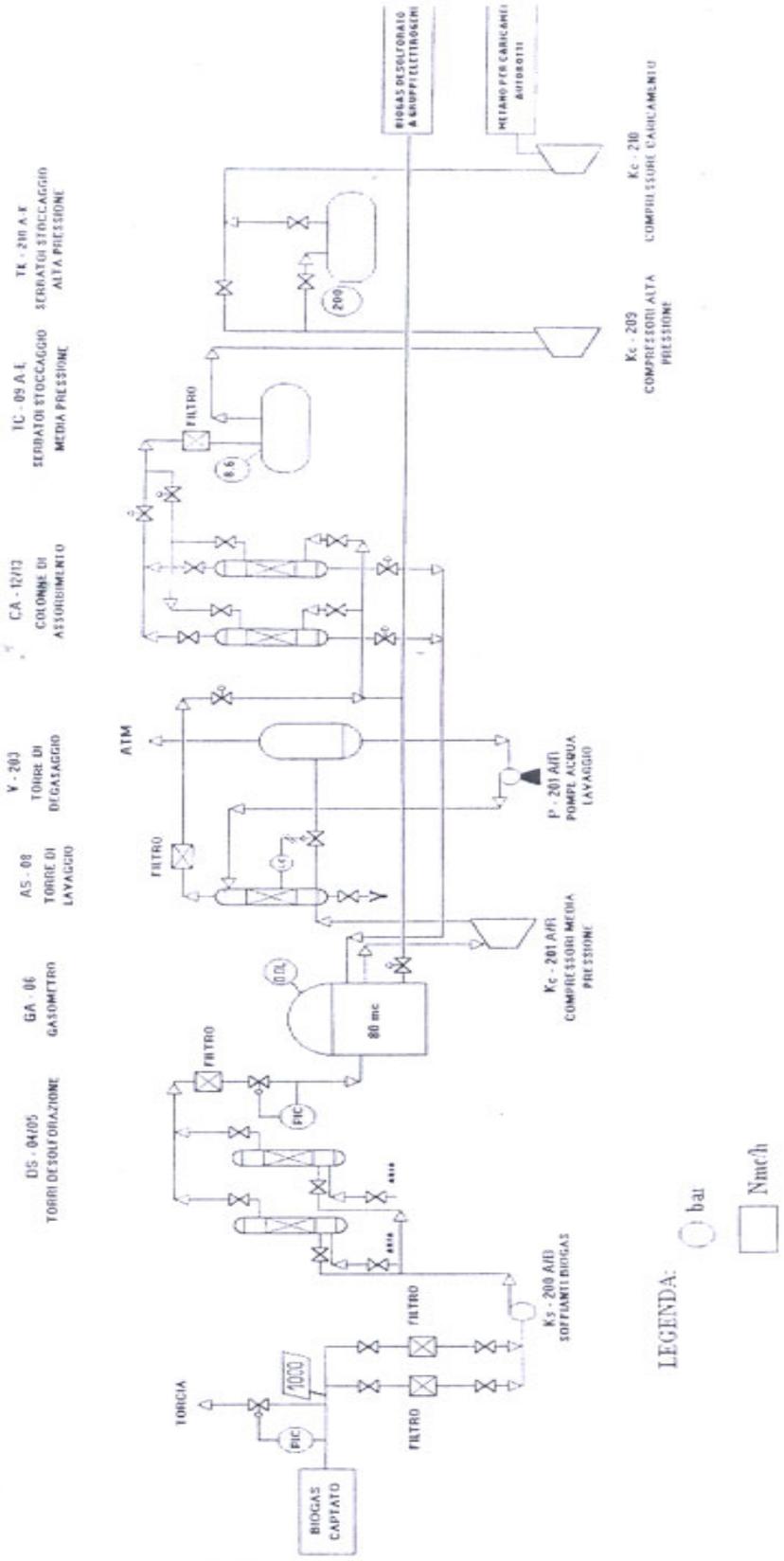
- la riduzione della quantità di composti acidi presenti nel biogas (Torri di desolfurazione);
- la concentrazione del metano mediante l'eliminazione della CO<sub>2</sub> presente nel biogas attraverso il suo assorbimento in acqua (Torri di lavaggio);
- La ulteriore concentrazione di metano e la riduzione della quantità di acqua (Colonne di adsorbimento).

La figura 5 riporta lo schema di processo semplificato dell'impianto per la produzione di biometano installato a Malagrotta.

Nella foto è rappresentato l'impianto di Malagrotta.

FIGURA 5 - SCHEMA DI PROCESSO IMPIANTO DI TRATTAMENTO BIOGAS

(Fonte: Documentazione presentazione dei compattatori a metano. Roma 12 giugno 1997)



## FOTO IMPIANTO MALAGROTTA

(Fonte: Documentazione presentazione dei compattatori a metano. Roma 12 giugno 1997)



#### **IX.IV CARATTERISTICHE IMPIANTO**

Le principali caratteristiche tecniche dell'impianto sono:

Portata biogas, Nmc/h	1000
Produzione biometano, Nmc/h	400
Pressione operativa, bar	8
Pressione stoccaggio, bar	200

L'impianto è previsto per un esercizio continuo di 24 ore/giorno. Il sistema di controllo è completamente automatico ed attuato attraverso un PLC in sala controllo.

#### **IX.V CARATTERISTICHE BIOGAS E BIOMETANO PRODOTTO**

Le caratteristiche principali del biogas captato nella discarica e del biometano prodotto nell'impianto sono:

	<u>Biogas</u>	<u>Biometano</u>
Metano, % vol.	50-58	97-99
Anidride carbonica, % vol.	35-45	1-3
Idrogeno solforato, ppm	50-100	0.15
Ossigeno+azoto+idrogeno, ppm	0.5	0.5
Acqua, ppm	saturo	1-3

#### **IX.VI BILANCIO ENERGETICO**

Una stima del bilancio energetico globale di produzione di biometano a partire da un rifiuto urbano è sinteticamente riportato qui di seguito:

Biogas captato da 1 tonnellata di rifiuto, Nmc/ton rifiuto <sup>7</sup>	11
Biometano prodotto, Nmc/ton rifiuto	5
Energia spesa totale per la produzione di biometano, kw/ton rifiuto	2.7
apporto energetico, kw/Nmc biometano prodotto	0.5
Energia lorda prodotta da 1 Nmc di biometano kw/Nmc	9.4

## IX.VII CONFRONTO BIOMETANO E METANO DI RETE

Il biometano prodotto ha caratteristiche del tutto comparabili rispetto al metano commerciale. Nella tabella 3 sono riportate alcune caratteristiche del biometano prodotto nell'impianto di Malagrotta comparate con le caratteristiche del metano di rete di Roma (utilizzato in genere metano algerino e metano italiano).

Tabella 3 - Tabella comparazione

	<u>Biometano</u>	<u>Metano commerciale</u>	
		Algerino	Italiano
Metano, % vol.	95	86	95
Etano, % vol.	-	7.7	0.06
Anidride carbonica, % vol.	0.3	0.19	0.02
Idrogeno solforato, % vol.	< 0.05	-	-
Potere calorifico (Pci), kcal/Nmc	8100	8100	8500

## X MOTORI A GAS METANO

I motori a gas di piccola potenza utilizzati in autotrazione sono derivati, in genere, da motori a ciclo Otto alimentati a benzina che subiscono delle modifiche per consentire l'alimentazione a gas.

<sup>7</sup> Produzione media dei primi 10 anni, con un rendimento di captazione del 60%.

I motori con elevata potenza, come quelli montati su grandi automezzi, quali camions e bus, sono invece generalmente motori diesel trasformati a motori a ciclo Otto con alimentazione a gas.

Nel caso dei motori Diesel occorre ridurre il rapporto di compressione, anche se di poco (si porta da 17/19 a 14/15) e trasformarli in motori a scoppio mettendo candele al posto dell'iniettore<sup>8</sup>. Un sistema moderno a iniezione prevede che il metano, prelevato a 220 bar dal serbatoio, sia ridotto a 9 bar nel collettore dove sono innestati speciali iniettori elettronici (multipoint) con luci di passaggio circa 10 volte superiori a quelle dell'iniezione di benzina per far passare in breve tempo il quantitativo necessario. L'iniezione è regolata dalla sonda lambda.

Il ciclo di combustione del metano risulta essere termodinamicamente meno efficiente del ciclo diesel, per il minor rapporto di compressione<sup>9</sup>. Tuttavia il metano presenta un maggior rendimento rispetto alla benzina, per la maggiore resistenza alla detonazione.

L'alta efficienza del motore diesel, insieme ai continui miglioramenti nelle emissioni, fa prevedere che esso resterà il motore base per il trasporto anche per il prossimo futuro.

Mentre i motori di piccola potenza alimentati a metano di rete non presentano eccessivi inconvenienti operativi data la loro ridotta potenza ed hanno infatti avuto un discreto sviluppo su automezzi di trasporto privato, diversa è la situazione sull'uso del metano su automezzi di grande potenza.

Per quest'ultimi sono richiesti investimenti più cospicui, prestazioni del motore pressoché costanti ai diversi carichi ed impatti ambientali ridotti che giustifichino il cambio di carburante.

A tale scopo sono in corso prove sperimentali, ormai da anni, da parte dei costruttori sia per verificare se il metano può avere impatti negativi sugli autoveicoli sia per stabilire le

---

<sup>8</sup> La bassa dettonabilità del metano rende necessario innescare la combustione provocando l'accensione mediante la scintilla di una candela in un motore con funzionamento a ciclo otto. La miscelazione (aria-combustibile) avviene tramite iniettori. Viene utilizzata una regolazione della miscela in un campo di rapporto stechiometrico della miscela  $\lambda=1$  e catalizzatore a tre vie (solo in questo modo si è certi che i componenti NOx, HC, CO vengano convertiti nella combustione in azoto, vapore acqueo e anidride carbonica). La regolazione del rapporto  $\lambda=1$  può essere garantita attraverso una sonda lambda disposta nel collettore di scarico che rileva il contenuto di ossigeno e invia il segnale, tramite centralina elettronica, alla valvola di controllo che dosa l'aria per mantenere il rapporto stechiometrico.

<sup>9</sup> Il rendimento del motore a metano cresce al crescere del rapporto di compressione e varia tra il 25-35% (per i motori diesel il rendimento varia tra il 35-42%)

caratteristiche chimico-fisiche del metano che possano garantire la buona funzionalità del mezzo<sup>10</sup>.

La trasformazione di automezzi di grossa cilindrata da gasolio a metano, può avere interesse per grandi aziende municipalizzate di trasporto e di servizi, dove il trasporto giornaliero rientra nei limiti di autonomia del mezzo per un pieno di carburante. Poiché tale trasformazione richiede alle aziende notevoli investimenti, la fase di diffusione generalizzata del metano, ed in particolare del biometano, tarda ad arrivare anche a causa di alcune remore da parte dei costruttori delle macchine relative sia alla garanzia sulle caratteristiche del metano ed all'effetto che esso può avere, in tempi lunghi, su alcune parti meccaniche, sia agli sforzi che essi devono sostenere per mettere a punto un motore alimentato con un carburante diverso da quello con cui il motore è stato sviluppato. Tali remore sono ancora più evidenti quando invece del metano di rete si utilizza il biometano, per il quale le problematiche tecniche sono anche legate alla gestione ed all'efficienza dell'impianto di produzione che deve produrre un combustibile in grado di evitare corrosioni a parti vitali del motore, degradazioni delle proprietà degli oli lubrificanti e soprattutto deve essere in grado di ridurre le emissioni in atmosfera di composti inquinanti e maleodoranti (emissioni particolarmente fastidiose in città), di composti inerti (poiché riducono il rendimento volumetrico del motore), di acqua (per evitare formazioni di idrati). Inoltre, l'impianto di trattamento deve poter garantire che le caratteristiche del biometano prodotto siano costanti nel tempo e mantenute entro i limiti stabiliti da specifiche tecniche. La costanza delle caratteristiche del biometano è così importante che le esperienze che utilizzano biometano prodotto in impianti di depurazione di acque reflue civili sono molto più numerose rispetto a quelle che utilizzano biometano di discarica in quanto la variabilità qualitativa di quest'ultimo è meno controllabile nel tempo.

---

<sup>10</sup> Da dati dell'AMA di Roma inseriti nella documentazione fornita in occasione della presentazione degli autocompattatori a metano presso la discarica di Malagrotta il 12 giugno 1997, risulta che: un autocompattatore a metano costa il 40% in più del veicolo equivalente a gasolio, ha una tara superiore per la presenza delle bombole ed un consumo più elevato. Il risparmio stimato, rispetto ad un veicolo alimentato a gasolio, considerato l'intero arco di vita, risulta di circa il 20% e deriva principalmente dal costo inferiore del combustibile.

## X.I EMISSIONI DA AUTOVEICOLI A BIOMETANO

Le emissioni dipendono dalle caratteristiche del combustibile utilizzato e dalle condizioni di funzionamento del sistema utilizzatore. Le emissioni degli autoveicoli a biometano possono essere distinte:

- Emissioni regolamentate (SO<sub>x</sub>, CO, HC, particolato (PM), NO<sub>x</sub>);
- Emissioni non regolamentate

Le emissioni regolamentate sono, per i veicoli a metano, generalmente più basse rispetto agli autoveicoli che utilizzano altri combustibili (benzina, gasolio). Per le emissioni non regolamentate resta ancora da accertare la presenza nei gas esausti di microinquinanti derivati in genere da cattiva combustione (come aldeidi, benzene, mercaptani, terpeni, solfuri, ecc.) che possono indurre ad inquinamenti atmosferici e cattivi odori superiori a quelli derivati da altri combustibili.

L'utilizzo del biometano come combustibile in autotrazione può dare origine, quando la combustione del metano non è ben ottimizzata, a gas di scarico contenenti composti aldeidici che, oltre a dare un odore particolare e fastidioso, sono irritanti per l'apparato respiratorio.

Si riportano qui di seguito i valori emersi delle sostanze regolamentate contenute nei gas di scarico durante le prove effettuate dall'AMA di Roma su autocompattatori della i IVECO<sup>11</sup> alimentati a biometano prodotto a Malagrotta.

INQUINANTE	EMISSIONI (g/kwh)
NO <sub>x</sub>	<2
HC	<0.06
CO	<2
PM	<0.05

Si riportano, inoltre, le tabelle riassuntive degli standard emissivi delle norme EURO.

---

<sup>11</sup> AMA "Alternative energy sources utilization as fuel in refuse collection vehicles".1996.

Standard Emissivi Norme EURO – *Veicoli pesanti* (gr/kWh)

Norme	In vigore dal:	Tipo test	CO	THC	NMHC	NOx	Particolato
EURO I	1.10.1993	13-mode	4.5	1.10	-	8	0.612 < 85 kW 0.360 > 85 kW
EURO II	1.10.1996	13-mode	4.0	1.10	-	7	0.15 (a)
EURO III	1.1.2000	ESC (c)	2.1	0.66	-	5	0.10 0.13 (b)
		ETC (d)	5.5	0.78	1.6	5	0.16 0.21 (b)
EURO IV	1.10.2005	ESC (c)	1.5	0.46	-	3.5	0.02
		ETC (d)	4.0	0.55	1.1	3.5	0.03
EURO V	1.10.2008	ESC (c)	1.5	0.46	-	2	0.02
		ETC (d)	4.0	0.55	1.1	2	0.03

Note: (a) Fino al 30.11.1998 il limite del particolato per motori con cilindrata < 700 cc/cilindro e velocità di regime del motore maggiore di 3000 giri/min era di 0.25 gr/kWh  
 (b) Per motori con cilindrata < 750 cc per cilindro e con una velocità di regime del motore superiore a 3000 giri/min.  
 (c) Misurato secondo lo standard ESC (European Stationary Cycle)  
 (d) Misurato secondo lo standard ETC (European Transient Cycle)

EURO I e II : Direttiva 91/542/EEC;  
 EURO III, IV e V: Disposizioni del Consiglio Europeo del Dicembre 1998.

Standard Emissivi Norme EURO – *Veicoli Passeggeri* (1) - (gr/km)

BENZINA	In vigore dal: (2)	CO	HC	NOx
EURO I *	1.7.1992	4.05	0.66	0.49
EURO II *	1.1.1996	3.28	0.34	0.25
EURO III	1.1.2000	2.30	0.20	0.15
EURO IV	1.1.2005	1.00	0.10	0.08

DIESEL	In vigore dal: (2)	CO	HC	NOx	PM
EURO I *	1.7.1992	2.88	0.20	0.78	0.14
EURO II *	1.1.1996	1.06	0.19	0.73	0.10
EURO III	1.1.2000	0.64	0.06	0.50	0.05
EURO IV	1.1.2005	0.50	0.05	0.25	0.025

Note: \* secondo il nuovo set di prove in applicazione nel 2000.  
 (1) "EURO III e IV (Direttiva 98/69/EC): standard applicabili anche a veicoli commerciali leggeri di massa < 1305 kg.  
 (2) Le date si riferiscono ai nuovi Tipi di veicoli. Per i nuovi veicoli sono posticipate di un anno.

## XI ESPERIENZE INTERNAZIONALI

Numerosi sono stati i casi di sperimentazione, fin dai primi anni '90, del biometano come carburante per autotrazione. Tali sperimentazioni dimostrerebbero la fattibilità della scelta del biometano come carburante anche se la mancanza effettiva e coerente di dati operativi, a causa anche delle sperimentazioni in corso, non hanno del tutto chiarito il reale impatto dell'utilizzo del biometano, soprattutto per quanto riguarda le emissioni di microinquinanti organici in atmosfera e per quanto riguarda le problematiche di resistenza e manutenzione degli automezzi.

Le principali esperienze, in Europa, condotte su autoveicoli alimentati a biometano sono state effettuate in:

- Italia, Roma
- Francia, nelle città di Lille, Montech, Chambéry, Tours;
- Norvegia, città di Oslo;
- Svezia, città di Linköping;
- Stati Uniti, nell'Oregon

In particolare a Roma operano una flotta di 20 autocompattatori (vedi foto) a metano da circa 10 anni alimentati a biometano prodotto nell'impianto di Malagrotta.



## **XII CONCLUSIONI**

Le attività di sperimentazione effettuate su automezzi alimentati a biometano negli ultimi anni hanno dimostrato la fattibilità tecnica dei sistemi di produzione del biometano a partire da biogas da discarica e le buone prestazioni degli autoveicoli utilizzati sia da un punto di vista meccanico che ambientale.

Rimangono tuttavia da investigare attraverso ulteriori campagne sperimentali e specifiche valutazioni dei dati provenienti dalle attività in atto:

- le effettive emissioni di microcomposti inquinanti nei gas di scarico;
- la tenuta nel tempo (invecchiamento) delle marmitte catalitiche installate nelle macchine in relazione alla presenza di microcomposti inquinanti ed acidi;
- il comportamento di alcune parti meccaniche nei confronti della corrosione provocata da composti acidi ( $H_2S$ ), soprattutto le parti ad alta pressione (bombole).

Inoltre, dovrà essere adeguatamente rivista la normativa tecnica riguardo alla definizione delle specifiche commerciali del biometano (caratterizzazione chimico-fisica e presenza di microcomposti organici, soprattutto composti acidi e composti clorurati) e alle garanzie funzionali e meccaniche che dovranno essere fornite dai costruttori delle macchine in relazione alla qualità del combustibile.

### **XIII BIBLIOGRAFIA**

1. C.N. La Diega, E.Carè, C Di Palo, T. Piccinno, M. Zagaroli “Utilizzo per autotrazione di biometano da biogas” Capri-Congresso “Energy and environment towards the year 2000”.
2. AMA “Alternative energy sources utilization as fuel in refuse collection vehicles”.1996.
3. Waste Management Paper No. 27 “Landfill Gas”1994.
4. Dr. R.M. Sterrit “Formazione, misurazione e controllo dei gas di scarica” Relazione presentata al seminario Internazionale “Monitoraggio delle discariche” Bologna 4.11.1997.
5. T.Piccinno, M.C. Di Cosimo “Valorizzazione energetica del biogas” Relazione presentata al seminario Internazionale “Monitoraggio delle discariche” Bologna 4.11.1997.
6. P. Danielson “The Volvo bus gas experience” Relazione presentata al Nordic Biogas Conference. Helsinky 2006.