

LIFE08/ENV/IT/000429



UPGAS-LOWCO₂

UP-grading of landfill GAS for LOWering CO₂ emissions

LAYMAN'S REPORT



Up-grading del gas di discarica e riduzione delle emissioni di CO₂ "UPGAS-LOWCO₂"



Cos'è UPGAS-LOWCO₂?

- Il progetto UPGAS-LOWCO₂ indaga l'applicabilità di due metodi innovativi per l'*up-grading* del biogas: Assorbimento alcalino con rigenerazione (AwR) e *Up-grading* del biogas con le ceneri pesanti (BABIU).
- Il progetto è iniziato nel Gennaio 2010 ed è terminato a Giugno 2012.

Cos'è il biogas?

Il biogas è un gas, prodotto da impianti di digestione anaerobica alimentati con materiali biodegradabili (rifiuti organici, colture energetiche) o da discariche, composto principalmente da metano (CH₄) e anidride carbonica (CO₂).

- Il biogas sta suscitando sempre più interesse nel campo delle energie rinnovabili, la sua produzione ed il suo utilizzo offrono sviluppi industriali di grande interesse.
- Il suo utilizzo presenta diversi vantaggi dal punto di vista ambientale, come ad esempio la sostituzione del gas naturale e la riduzione di emissioni di CH₄ in atmosfera da parte delle discariche.
- Sono molti i possibili utilizzi del biogas: produzione di vapore ed energia termica, produzione energia elettrica, cogenerazione, utilizzo come combustibile per veicoli e nella produzione di prodotti chimici.

Cos'è l'*up-grading*?

- L'utilizzo del biogas può essere esteso a molte altre applicazioni dopo che ne è stata migliorata la qualità; la rimozione della CO₂ è uno dei principali obiettivi per aumentare il suo contenuto energetico. Il processo di purificazione del biogas, denominato "*up-grading*", permette di produrre un combustibile chiamato "biometano" in grado di sostituire a tutti gli effetti il gas naturale.
- il biometano può essere immesso nella rete di distribuzione del gas naturale oppure nel circuito di distribuzione dei carburanti per veicoli.
- attualmente esiste in commercio un'ampia varietà di metodi e di tecnologie di purificazione del biogas.



What is upgrading?

What is UPGAS-LOWCO₂?

- The UPGAS-LOWCO₂ Project is concerned with the set up and demonstration of two innovative methods for biogas upgrading: Alkali absorption with Regeneration (AwR) and Bottom Ash Biogas Upgrading (BABIU).
- Project started on January 2010 and finished on June 2012.

What is biogas?

- Biogas, produced in AD-plants, fed with a variety of bio-materials such as waste, energy crops, or in landfills, is primarily composed of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂).

- Among renewable energy sources biogas starts to gain more and more interest internationally and its production and utilization is a valuable industry field that needs to be more exploited.
- Its utilization presents several environmental advantages: utilization as substitute for fossil fuels, reduction of CH₄ release to the atmosphere when captured from landfills.
- It has different utilization ways: heat and steam production, electricity production and/or co-generation, use as vehicle fuel and production of chemicals.

- By improving its quality, biogas exploitation could be extended to a larger typologies of applications. The CO₂ removal is one of the first objective in order to increase the energy content of the biogas. The cleaning process of biogas is normally designated as "*upgrading*" and it allows to produce a fuel called "biomethane" which could replace natural gas.
- Biomethane can be fed into natural gas distribution grid or used to fuel vehicles.
- Nowadays a wide range of different methods and technologies are commercially available for cleaning and upgrading biogas.

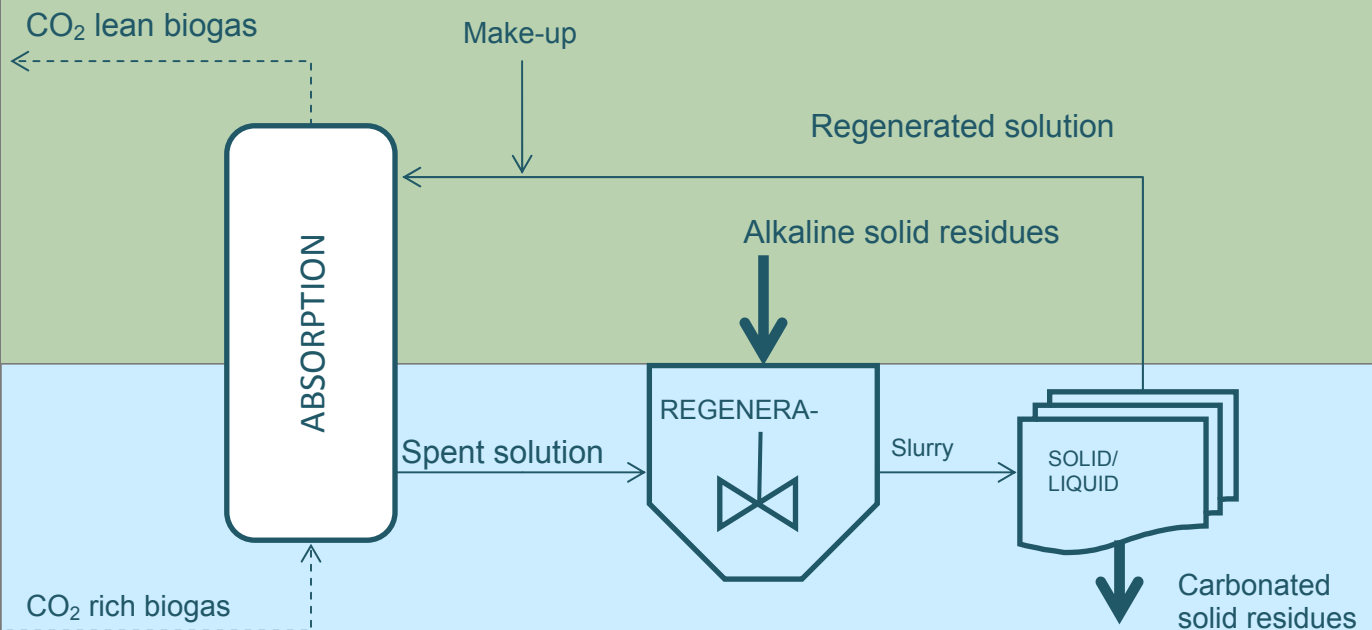




AwR: Assorbimento alcalino con rigenerazione

La CO₂ viene rimossa dal biogas per mezzo di assorbimento chimico con alcali in soluzione acquosa alcalina quali l'idrossido di potassio o di sodio (KOH or NaOH). Per poter ridurre i consumi di reagenti chimici, la soluzione viene messa in contatto diretto con i residui solidi denominati APC, ricchi di idrossido di calcio (Ca(OH)₂): la reazione produce carbonato di calcio (CaCO₃) rigenerando i composti alcalini iniziali.

<u>Assorbimento</u> (se si usa una soluzione di KOH)
$2 \text{KOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
<u>Rigenerazione</u>
$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 (\downarrow) + 2\text{KOH}$



CO₂ removal from biogas is based on chemical absorption by means of alkali aqueous solution of potassium or sodium hydroxide (KOH or NaOH). In order to reduce reactant consumption the solution could be regenerated by contacting the liquid with APC residues, rich in calcium hydroxide (Ca(OH)₂), producing calcium carbonate (CaCO₃) and regenerating the initial alkali compound.

<u>Absorption</u> (In the case of KOH solution use)
$2 \text{KOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
<u>Regeneration</u>
$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 (\downarrow) + 2\text{KOH}$

AwR: Alkali absorption with Regeneration



BABIU: *Up-grading del biogas con le ceneri pesanti*

La CO₂ viene rimossa dal biogas per mezzo di adsorbimento su residui solidi denominati BA. Dal contatto diretto tra gas (ricco di CO₂) e BA si ha la formazione di carbonato di calcio nei residui solidi. La caratteristica distintiva dei due processi di up-grading proposti è quella di rimuovere la CO₂ dal biogas e successivamente stoccarla in forma solida in maniera permanente. Al contrario, gli attuali processi disponibili in commercio rimuovono la CO₂ rilasciandola successivamente in atmosfera. Benché tale CO₂ rappresenti un contributo neutrale al bilancio globale dell'effetto serra, un processo che rimuove e cattura la CO₂ può essere considerato un contributo sottrattivo di carbonio. Il processo di formazione di carbonato di calcio nei residui solidi (APC e BA) attraverso la cattura di CO₂ viene chiamato "carbonatazione accelerata".

Cosa sono le APC e le BA?

Con la sigla APC vengono denominati i residui prodotti dal sistema di trattamento dei fumi degli impianti di incenerimento dei rifiuti: tali residui vengono solitamente classificati come rifiuti speciali pericolosi.

Con la sigla BA vengono denominate le ceneri di combustione degli impianti di incenerimento, le quali rappresentano la parte inerte che solitamente rimane dal processo di combustione e sono ricche di composti di calcio.

Tali residui vengono solitamente classificati come rifiuti speciali non pericolosi.



B.A.

BABIU: *Bottom Ash Biogas Upgrading*

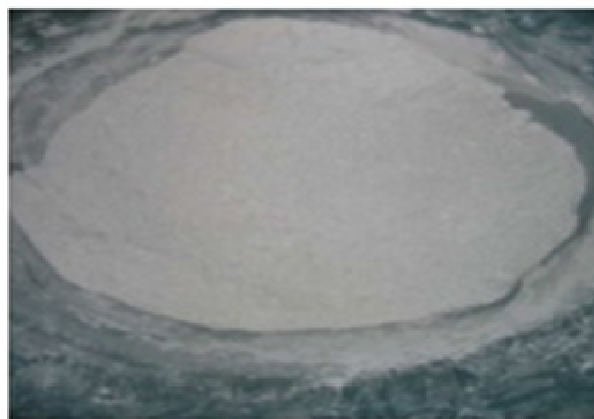
CO₂ removal from biogas is based on adsorption on BA. From the direct CO₂-rich biogas/solid BA contact the calcium carbonate in the bottom ash is formed. The distinctive feature of the proposed processes is removing CO₂ from biogas together with its permanent storage in a stable solid form. Commercial upgrading technologies, instead, release absorbed CO₂ to atmosphere. This CO₂ is actually a neutral contribution to Greenhouse gas balance. However, a process that removes and store such CO₂, acts as a sink for CO₂ emissions.

The calcium carbonate formation in the solid residues (APC or BA) through CO₂ capture, is called "accelerated carbonation".

What are APC and BA?

APC stands for air pollution control residues, generally classified as hazardous waste, are originated from the exhausts gas treatment of waste incineration plant.

BA stands for bottom ash, generally classified as non hazardous waste, are generated from waste incineration, as well, basically as the inert material remaining after the combustion.



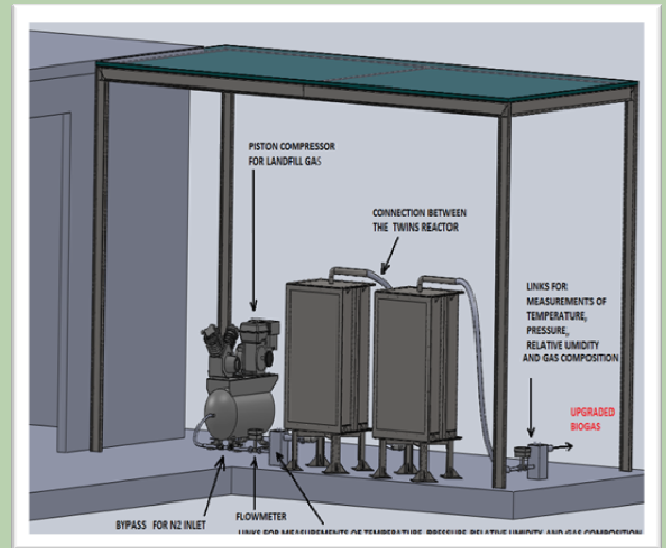
A.P.C.

Both these type of solid residues are rich in calcium compounds.



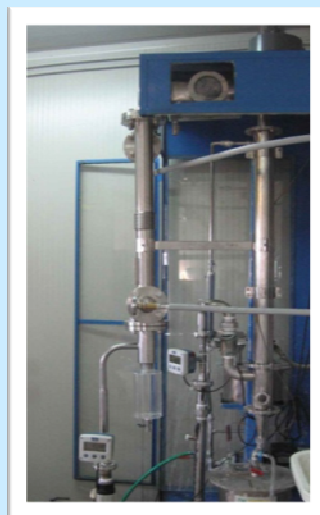
Fasi del progetto:

- ⇒ Valutazioni preliminari sulle tipologie di residui solidi utilizzabili.
- ⇒ Test di laboratorio.
- ⇒ Studi iniziali di simulazione sulle prestazioni dei reagenti chimici.
- ⇒ Configurazione dei due sistemi di up-grading, progettazione, dimensionamento e realizzazione dei due impianti pilota.
- ⇒ prove su scala pilota dei due processi, studio di diverse condizioni operative (quantità di residui, reagenti, concentrazione delle soluzioni, composizione del biogas, etc.)



Project's Phases:

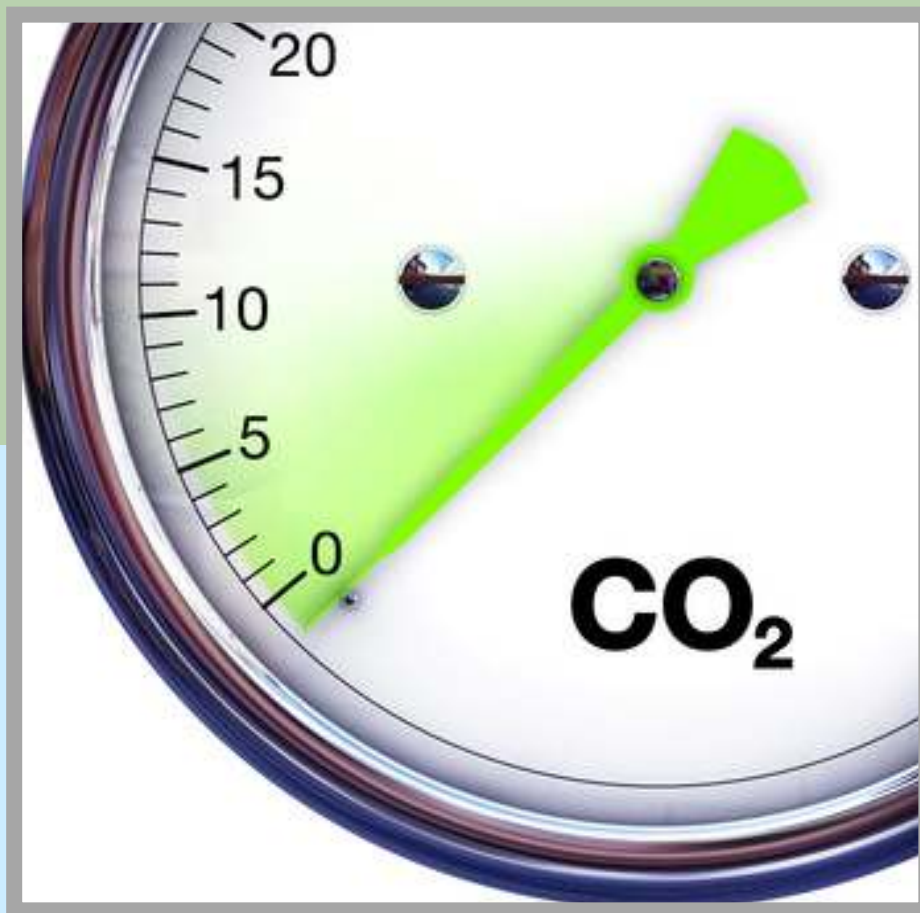
- ⇒ preliminary evaluations on type residues to be used
- ⇒ laboratory analysis;
- ⇒ simulation and preliminary characterization on reagents performances
- ⇒ system configuration, design, sizing and construction of the two pilot plants;
- ⇒ tests on pilot plant scale of the two proposed processes, several operating conditions were tested (residues amount, reagents, solution concentration, biogas composition etc.);





Risultati:

- ⇒ E' stata dimostrata la fattibilità di utilizzo dei due processi innovativi al fine di produrre un gas in uscita con un alto contenuto di metano (>90%vol.) simile al biometano.
- ⇒ APC e BA hanno dimostrato la possibilità di catturare in maniera permanente la CO₂ con valori intorno a 200-300 kg CO₂/ ton APC e 15-20 kg CO₂/ ton BA.
- ⇒ sono stati riscontrati miglioramenti sulle caratteristiche di lisciviabilità di BA e APC ; questo significa che dopo il processo di carbonatazione i residui rilasciano una quantità minore di metalli se tenuti a contatto con l'acqua, riducendo così l'impatto generato dal loro smaltimento.
- ⇒ le quantità di APC e BA e la loro disponibilità entro distanze ragionevoli danno indicazioni sulle taglie ottimali installabili per impianti di *up-grading* basati sui due metodi proposti.
- ⇒ l'efficienza di rigenerazione dei reagenti è influenzata da molti fattori.



Results:

- ⇒ the two upgrading processes allow to reach high methane purity (>90%vol.), thus to produce biomethane for grid injection or vehicles fuelling.
- ⇒ APC and BA demonstrated to be able to permanently store CO₂ : uptake 200-300 kg CO₂/ ton APC, uptake 15-20 kg CO₂/ ton BA.
- ⇒ BA and APC showed an improved leaching behavior after the carbonation process: this means that after carbonation process less metals are released if they come into contact with water.
- ⇒ the APC and BA requirements and their availability within reasonable distances, put some constraints on the maximum size for the biogas upgrading plants.
- ⇒ regeneration efficiency is limited by several factors.

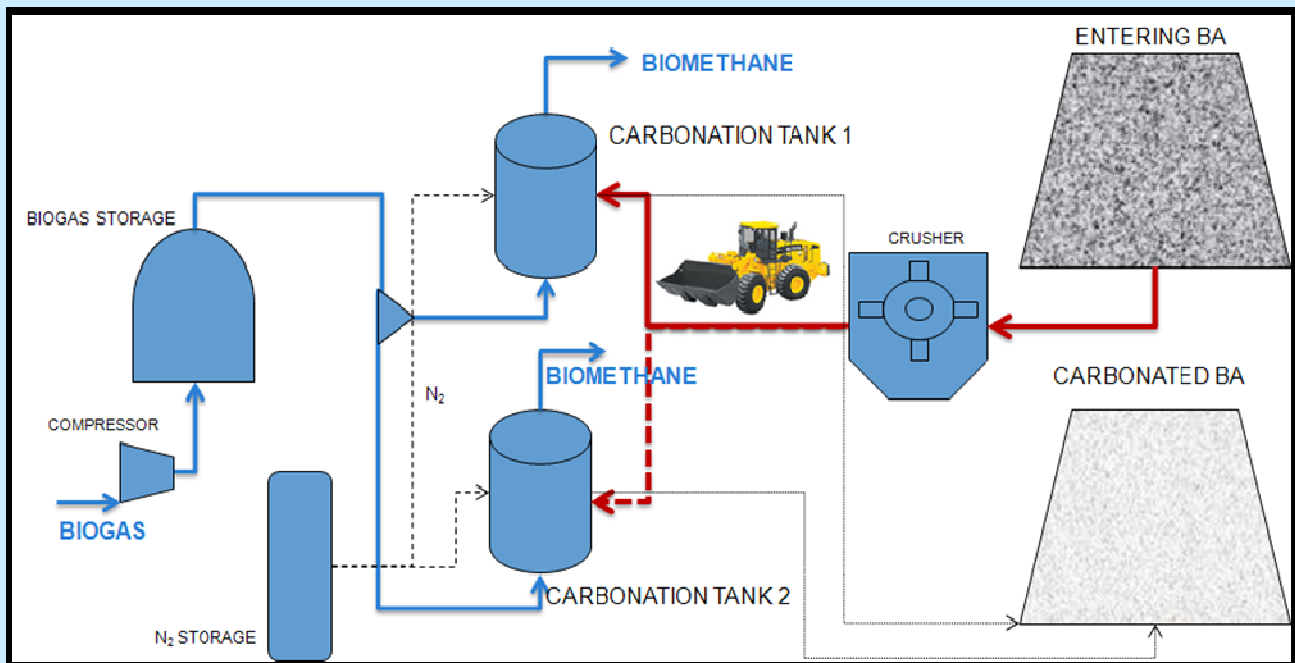
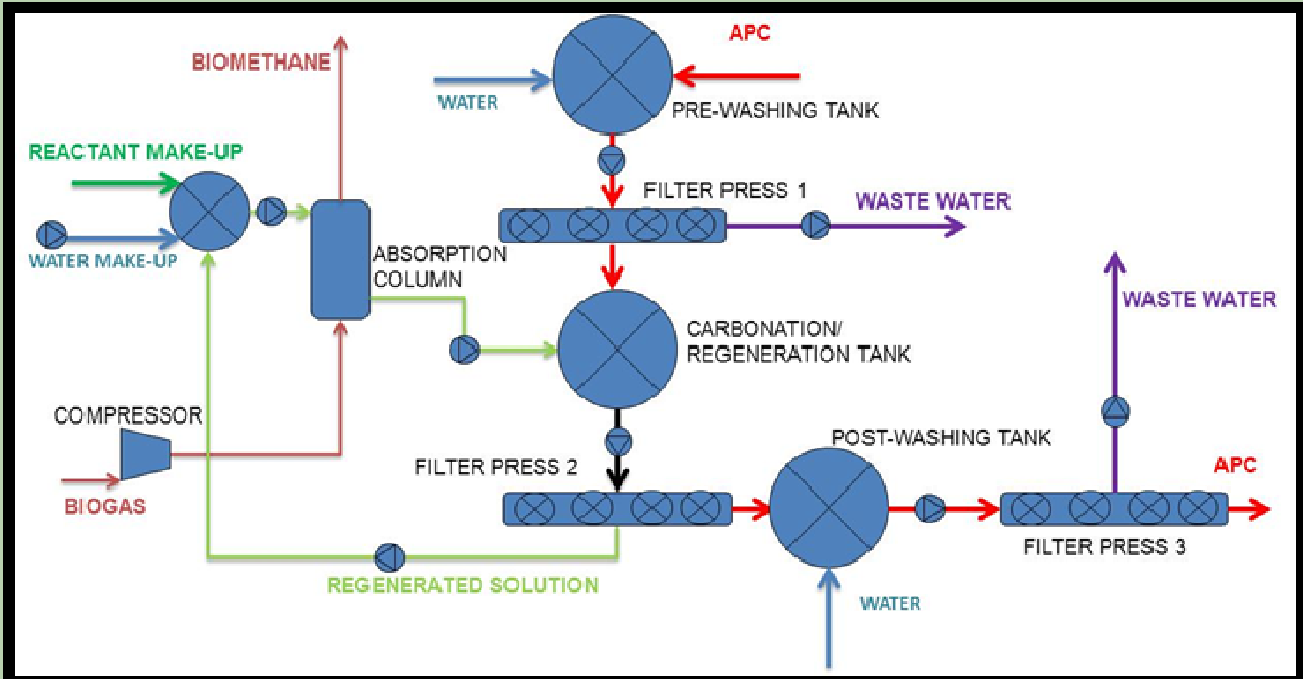


Layout dei processi e taglie industriali ottimali



(immagine sopra) Layout del processo AwR, taglia ottimale intorno a 250 Nm³/h di biogas in ingresso:

(immagine sotto) Layout del processo BABIU, taglia ottimale intorno a 100 Nm³/h di biogas in ingresso:



(up) - AwR system layout, reference size 250 Nm³/h of input biogas

(down) - BABIU system layout, reference size 100 Nm³/h of input biogas

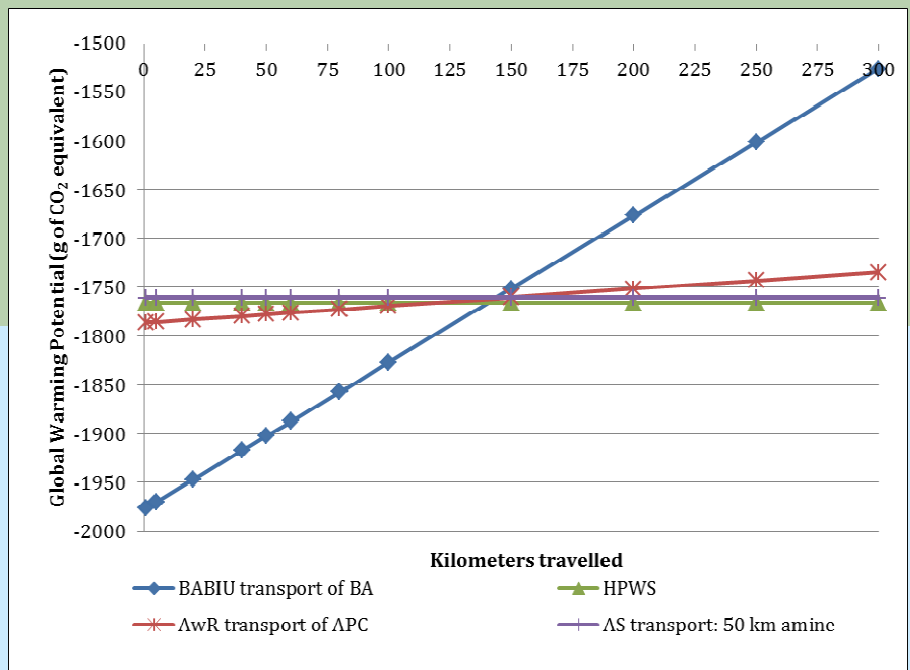
Layout and hypothetical industrial scale identification





Costi/benefici ambientali ed economici:

- ⇒ sostituzione gas naturale tramite biometano rinnovabile: riduzione emissioni CO₂ di origine fossile;
- ⇒ risparmio di emissioni di CO₂ grazie alla loro cattura nei residui solidi carbonatati;
- ⇒ applicazione del concetto di 'ecologia industriale': utilizzo dei residui solidi industriali come fonti alternative di prodotti alcalini, riduzione degli impatti causati dal trattamento e smaltimento di rifiuti industriali, produzione di materiale inerte con conseguente risparmio di materie prime;
- ⇒ simbiosi industriale nel campo della gestione dei rifiuti: riutilizzo flussi di rifiuti da incenerimento come materiali per il processo di *up-grading* (conseguente riduzione dei volumi di residui industriali conferiti in discarica);
- ⇒ costi specifici di *up-grading*:
 - tecnologie convenzionali < 0.1 €/kWh biometano,
 - processo AwR 0.21-0.24 €/kWh biometano,
 - processo BABIU 0-0.14 €/kWh biometano, in questo caso i costi di processo potrebbero essere interamente ricoperti dall'introito del trattamento e smaltimento dei residui solidi;
- ⇒ la scelta del luogo di installazione dei due processi di *up-grading* deve garantire l'ottimizzazione in termini di trasporto e disponibilità dei residui solidi; tale scelta ha un ruolo importante per quanto riguarda i benefici ambientali dei processi, soprattutto nei confronti del risparmio di emissioni di CO₂



Environmental and economical evaluations

- ⇒ natural gas substitution with renewable biomethane: fossil CO₂ emissions reduction;
- ⇒ CO₂ emission saving due to CO₂ storage in the carbonated solid residues;
- ⇒ Application of industrial ecology concept: use of industrial solid residues as alternative alkalinity sources, industrial waste treatment reducing their environmental burden, production of inert material and thus raw material saving.
- ⇒ industrial symbiosis at waste management level : reusing waste incineration streams as input for upgrading process (i.e. reduction of landfilled industrial residues)
- ⇒ specific upgrading cost:
 - for conventional technologies < 0.1 €/kWh biomethane
 - AwR 0.21-0.24 €/kWh biomethane
 - BABIU 0-0.14 €/kWh biomethane, in this case the upgrading process cost could be covered by income paid for residues disposal;
- ⇒ BABIU and AwR can have a low environmental impact, though improvements would need to be made and care would need to be taken in selecting where plants are installed to not only reduce its impact but also to ensure that enough materials are available.



Applicabilità delle tecnologie proposte



I risultati dello studio LCA evidenziano i benefici ambientali derivanti dall'applicazione dei due processi innovativi di *up-grading*. Tuttavia, l'applicabilità dei due processi risulta fortemente legata alla disponibilità di residui solidi. Per tale motivo l'installazione di tali tecnologie risulta particolarmente indicata per quei casi in cui produttori di residui solidi (ad esempio inceneritori) e produttori di biogas (discariche, impianti di digestione anaerobica) siano presenti nello stesso luogo.

Discarica di Podere Rota - CSAI Spa



Podere Rota MSW landfill site- CSAI Spa

LCA results showed several environmental benefits from the application of these two innovative technologies, however wide application is limited by the availability of solid residues and suggested application is related with local study cases characterized by the presence in the same site of residues producer (i.e. incinerator) and biogas producer (i.e. landfill or anaerobic digestion plant).

Transferability of project results



Project coordinator:

Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco"
Università degli Studi di Firenze
Italy



Partners:

Dipartimento di Ingegneria Civile
Università di Roma "Tor Vergata"
Italy



Università degli Studi di
Roma "Tor Vergata"



Centro Servizi Ambiente Impianti S.p.A.
Italy

Chemical Engineering Department
Universitat Autnoma Barcelona
Spain



Universitat Autnoma
de Barcelona



Institute of Waste Management
Department of Water,
Atmosphere and Environment
University of Natural Resources and
Applied Sciences, Vienna
Austria

Progetto realizzato con il supporto finanziario del programma Life dell'Unione Europea

The UPGAS-LOWCO2 Project is co-funded by the European Commission in the frame of the LIFE+ Programme



www.upgas.eu



lidia.lombardi@unifi.it

