



**LIFE – ENVIRONMENT PROJECT  
LIFE05-ENV/IT/000874**

**GHERL**

# **GreenHouse Effect Reduction from Landfill**



**Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco", Università degli Studi di Firenze**

**Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi, Università degli Studi di Siena**



**Centro Servizi Ambiente Impianti S.p.A.**

**Cornelissen Consulting Services B.V.**



## Sommario

Il gas di discarica viene generato da processi di degradazione anaerobica dei rifiuti biodegradabili presenti nel rifiuto urbano, quindi principalmente residui di cucina. La degradazione anaerobica è un processo biologico naturale che ha luogo in assenza di ossigeno. Esso ha inizio poco dopo la deposizione dei rifiuti in discarica e può durare per più di cinquanta anni dopo la chiusura della discarica stessa. Il gas di discarica ha una composizione media volumetrica pari a circa la metà di metano (CH<sub>4</sub>) e circa la metà di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>).

La strategia della CE per la riduzione dell'effetto serra (Greenhouse Effect – GHE) dalle emissioni di gas da discarica consiste in una progressiva riduzione dei rifiuti biodegradabili depositati in discarica, con l'obiettivo di ridurre la produzione di gas di discarica, così come è stabilito nella Direttiva Europea 1999/31/CE. La stessa Direttiva Europea 1999/31/EC prevede l'obbligo della captazione del gas di discarica, nelle discariche che accettano rifiuti biodegradabili, perché questo venga utilizzato ai fini del recupero energetico o, quando questo non sia possibile, perché venga bruciato in torcia. Infatti, la combustione del gas di discarica consente di convertire il CH<sub>4</sub> in CO<sub>2</sub>, riducendo il potenziale di generazione di GHE del metano di circa ventuno volte. Inoltre, quando il gas viene bruciato con recupero di energia, si ha un ulteriore beneficio derivante dalle emissioni evitate per produzione di energia elettrica convenzionale.

In ogni caso la CO<sub>2</sub> presente dal gas di discarica viene lasciata inalterata dalla combustione e quindi emessa in atmosfera contribuendo al bilancio complessivo di produzione di gas serra (anche se deriva da materiale "rinnovabile").

L'obiettivo del progetto GHERL è stata la sottrazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> dal bilancio complessivo, attraverso la rimozione della CO<sub>2</sub> dal gas di discarica, con lo scopo di ridurre il contributo all'Effetto Serra derivante dalle discariche. Il progetto ha voluto dimostrare che la tecnica di rimozione prescelta è adatta e sostenibile nella sua

applicazione al gas di scarico ed ha perseguito l'obiettivo della disseminazione dei risultati ottenuti al fine di dare supporto allo sviluppo di applicazioni simili.

## Tecniche e risultati

La rimozione della CO<sub>2</sub> da correnti gassose si può realizzare mediante l'applicazione di tecniche di cattura e stoccaggio (Carbon dioxide Capture and Storage - CCST), che hanno lo scopo di rimuovere la CO<sub>2</sub> al fine di prevenirne l'emissione in atmosfera. CCST consistono generalmente in tre fasi: cattura, trasporto e stoccaggio. Mentre le tecnologie per la cattura della CO<sub>2</sub> dai gas di scarico sono già commercialmente disponibili (ad esempio l'assorbimento con soluzioni acquose di ammine), la seconda e terza fase (trasporto e stoccaggio) sono molto meno sviluppate. In particolare lo stoccaggio deve prevedere l'immobilizzazione di elevati quantitativi di CO<sub>2</sub> alla fase gassosa/liquida e può presentare numerosi problemi di carattere tecnico ed economico nel breve periodo. Una alternativa a queste problematiche consiste nella cattura della CO<sub>2</sub> utilizzando un processo capace di trasformare ed immagazzinare la CO<sub>2</sub> in un prodotto solido. Questo prodotto solido potrebbe essere di nessun interesse in termini di riutilizzo, e quindi potrebbe essere smaltito in discarica, oppure potrebbe avere un potenziale interesse commerciale (ad esempio per l'industria chimica) e potrebbe quindi essere utilizzato. La generazione di un prodotto solido in cui si trasformi la CO<sub>2</sub> catturata, permette di eliminare le problematiche relative allo stoccaggio finale di correnti liquide/gassose di CO<sub>2</sub> catturata, aprendo la possibilità a tecnologie più facilmente realizzabili nel breve e medio termine.

Fra i possibili processi di rimozione della CO<sub>2</sub>, è stato prescelto l'assorbimento chimico con soluzioni acquose di idrossido di potassio (KOH). Infatti la CO<sub>2</sub> ed il KOH reagiscono formando il carbonato di potassio (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), che si ritrova in forma di sale disciolto nella soluzione di assorbimento e può essere recuperato in forma solida.

Il carbonato di potassio è un prodotto che ha numerose applicazioni nell'industria chimica se ottenuto in qualità adeguata (ad esempio nell'industria dei cristalli; nella produzione di vetri speciali, di sali di potassio, di inchiostri, di pigmenti e detergenti; nell'industria alimentare e nel trattamento dei gas). Può essere venduto in forma di polvere o in soluzione acquosa.

Con il fine di dimostrare la fattibilità della tecnica di rimozione prescelta, è stato costruito un impianto pilota presso la discarica di "Casa Rota" a Terranuova Bracciolini (Arezzo – Italia), gestita da uno dei partner del progetto. L'impianto pilota è fondamentalmente costituito da una colonna di assorbimento a riempimenti, dove la soluzione acquosa di KOH viene in contatto con la CO<sub>2</sub> contenuta nel gas, che viene prelevato direttamente dalla discarica (figura 1). La vista complessiva dell'impianto pilota è mostrata in figura 2, insieme allo schema dell'impianto stesso. Il processo è stato dimensionato per trattare circa 26 Nm<sup>3</sup>/ora gas di discarica (si consideri che la portata complessiva di gas nella discarica di Casa Rota è circa 1.400 Nm<sup>3</sup>/ora).

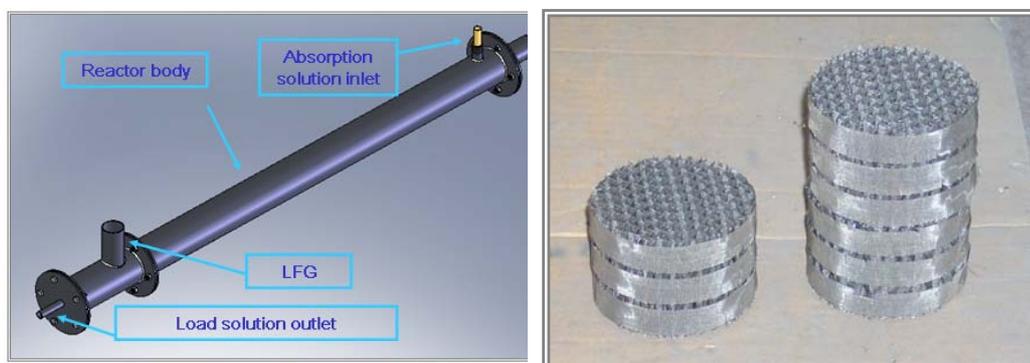


Figura 1 – Schema della colonna di reazione ed immagine del riempimento interno.

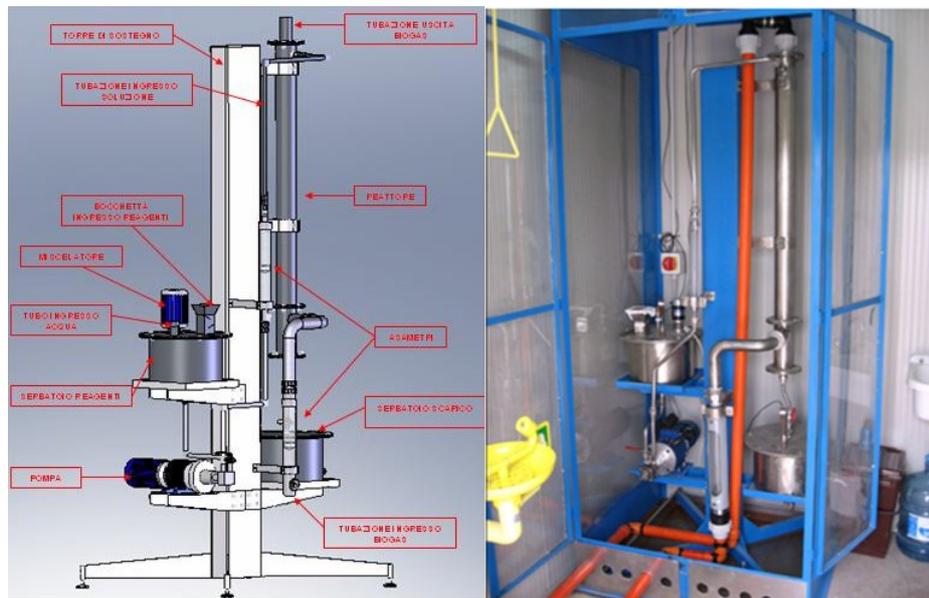


Figura 2 – Schema ed immagine dell'impianto pilota.

Sull'impianto pilota sono stati condotti numerose prove a diverse condizioni operative, in particolare è stato analizzato l'effetto della variazione della portata di soluzione assorbente e di concentrazione di KOH. La figura 3 mostra l'efficienza di rimozione della CO<sub>2</sub> rispetto alla variazione della portata di soluzione, per prove con diverse concentrazioni di KOH.

I valori di efficienza di rimozione più elevati (83-97%) si possono ottenere lavorando con elevate portate di soluzione (50-60 litri/ora) ed elevate concentrazioni di KOH (48-53% in massa).

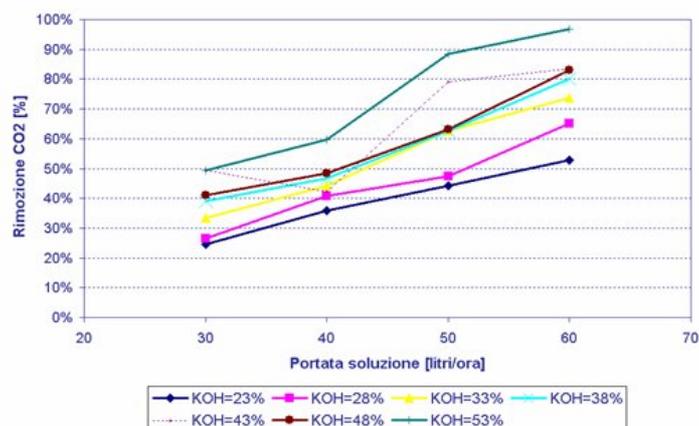


Figura 3 – Efficienza di rimozione della CO<sub>2</sub>, rispetto alla portata di soluzione, per diverse concentrazioni di KOH.

## Benefici ambientali

I risultati dell'impianto pilota mostrano che l'efficienza di riduzione della CO<sub>2</sub> può raggiungere 83-97%. Su questa base si è proceduto alla valutazione di come tale riduzione possa contribuire ad abbassare il contributo complessivo all'Effetto Serra derivante dalle discariche (figura 4), rispetto alla situazione convenzionale, in cui il gas di discarica viene captato e bruciato nei motori per il recupero di energia (figura 5).

I risultati di questa analisi mostrano che è possibile raggiungere una riduzione, in riferimento ad 1 Nm<sup>3</sup> di gas di discarica generato dalla degradazione anaerobica, pari a circa l'8-10% rispetto alla situazione convenzionale, come mostrato in tabella 1.

Inoltre è anche importante sottolineare che il K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ottenuto recuperando al CO<sub>2</sub> dal gas di discarica, può andare a sostituire lo stesso quantitativo altrimenti prodotto con metodi tradizionali. Normalmente il K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> viene prodotto utilizzando CO<sub>2</sub> pura ottenuta dalla combustione di CH. Quindi in un'ottica di Analisi di Ciclo di Vita, il beneficio ambientale ottenibile risulta anche maggiore, dal momento che consente il risparmio di fonti energetiche primarie come il CH<sub>4</sub>.

Processo convenzionale (captazione del gas e combustione con recupero energetico in motori del gas di discarica)			Processo proposto (captazione del gas, rimozione CO <sub>2</sub> , combustione nei motori con recupero di energia)		
Gas sfuggito	3,40	kgCO <sub>2</sub> eq./Nm <sup>3</sup>	Gas sfuggito	3,40	kgCO <sub>2</sub> eq./Nm <sup>3</sup>
Combustione del gas nei motori	1,06	kgCO <sub>2</sub> eq./Nm <sup>3</sup>	Combustione del gas depurato nei motori	0,66	kgCO <sub>2</sub> eq./Nm <sup>3</sup>
Totale	4,46	kgCO <sub>2</sub> eq./Nm <sup>3</sup>	Totale	4,06	kgCO <sub>2</sub> eq./Nm <sup>3</sup>
Emissioni evitate per produzione di energia elettrica	-0,68	kgCO <sub>2</sub> eq./Nm <sup>3</sup>	Emissioni evitate per produzione di energia elettrica	-0,68	kgCO <sub>2</sub> eq./Nm <sup>3</sup>
<b>TOTALE</b>	<b>3,78</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>eq./Nm<sup>3</sup></b>	<b>TOTALE</b>	<b>3,38</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>eq./Nm<sup>3</sup></b>
Assunzioni: captazione gas 60%; efficienza rimozione CO <sub>2</sub> 88%; efficienza di conversione energetica motori 35%; emissioni specifiche di CO <sub>2</sub> per elettricità convenzionale 0,551 kgCO <sub>2</sub> /kWh; riferimento alle condizioni operative delle prove 50 litri/ora di portata e 53% concentrazione in massa KOH.					

*Tabella 1 – Confronto delle emissioni di gas serra nella situazione convenzionale nel processo proposto.*

## Valutazioni economiche

Sulla base dei risultati sperimentali, è stato effettuato un dimensionamento su scala industriale dell'impianto per la rimozione della CO<sub>2</sub>, con riferimento ad una portata di gas di discarica pari a circa 1.400 Nm<sup>3</sup>/ora (simile alla discarica di Casa Rota), dotata di motori per il recupero energetico dalla combustione del gas. Nel dimensionamento è stato anche incluso un impianto per il recupero del K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dalla soluzione di assorbimento. Tale processo richiede in ingresso energia termica, che può essere recuperata dai fumi di combustione in uscita dai motori della discarica. Sulla base di queste assunzioni è stato calcolato l'investimento totale, con riferimento allo schema in figura 4.

Sono stati valutati anche i costi operativi del processo, includendo il costo di KOH, elettricità, personale, manutenzione, ammortamento dell'investimento ed il ricavo ottenibile dalla vendita del K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Secondo questa procedura si è giunti ad una valutazione positiva del bilancio economico, stimando quindi che, attraverso la vendita del K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, è possibile recuperare i costi di investimento ed i costi operativi, con un margine di ricavo netto.

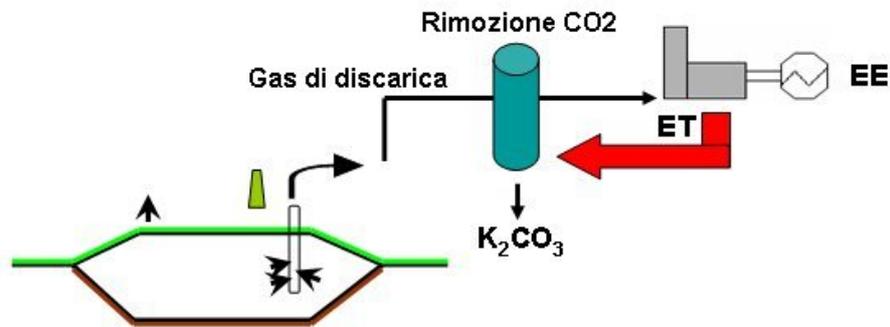


Figura 4 – Schema applicativo del processo proposto.

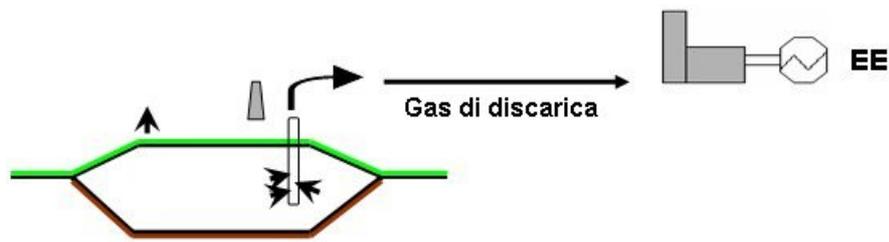


Figura 5 – Schema applicativo del processo convenzionale di recupero di energia dal gas di scarica.

Risultati simili sono stati ottenuti anche nel caso di impianti con dimensioni inferiori ( $700 \text{ Nm}^3/\text{ora}$ ) e superiori ( $2.800$  e  $4.200 \text{ Nm}^3/\text{ora}$ ).

## Trasferibilità

Il processo proposto non pone limitazioni dal punto di vista dell'applicabilità tecnica per la sua replicabilità. Infatti il sistema proposto non richiede lo sviluppo di dispositivi dedicati, dal momento che la maggior parte dei componenti necessari sono di tipologia standard.

Dal momento che non esistono limitazioni alla possibilità di replica del processo, può essere interessante andare a valutare la potenzialità di applicazione a livello Europeo. I valori – in termini di ordini di grandezza – sono riportati nel seguito:

- la discarica di Casa Rota rappresenta circa l'1% dell'utilizzo annuo di discariche in Italia
- l'uso delle discariche in Italia rappresenta circa il 10% rispetto all'Europa (UE-15).

Il potenziale nei 15 Stati Membri dell'Unione Europea era nel 2004 circa 1000 volte il potenziale stimato per Casa Rota.

Questo significa:

- riduzione delle emissioni di CO <sub>2</sub> :	7 Milioni t/anno
- consumo di KOH:	27 Milioni t/anno
- produzione di K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> :	28 Milioni t/anno

Il processo proposto può essere utilizzato per qualunque sorgente di CO<sub>2</sub>, quale ad esempio il biogas derivate dalla digestione anaerobica. Potrebbe essere interessante anche l'applicazione a fumi di combustione. In ogni caso è opportuno avere disponibilità di calore ed elettricità sul sito di realizzazione del processo.

Con il dimensionamento su scala industriale del processo proposto è stata dimostrata la fattibilità tecnica e quindi l'applicabilità e la riproducibilità del processo stesso. I risultati del bilancio economico hanno dimostrato la possibilità di un ricavo netto e quindi il processo è risultato fattibile anche dal punto di vista economico.

Comunque, la possibilità di ottenere un ricavo netto dall'applicazione di questo processo dipende sostanzialmente dal prezzo di KOH e K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Non esistono quotazioni fisse per questi prodotti chimici, quindi i possibili ricavi ottenibili dipendono dagli effettivi contratti che possono essere stipulati per l'acquisto e la vendita di questi prodotti.

La produzione ed il mercato per il KOH ed il K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> devono essere studiati in maggior dettaglio per poter predire un futuro andamento dei prezzi, soprattutto in relazione alla potenziale immissione sul mercato di consistenti quantitativi di K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ottenuti dal recupero della CO<sub>2</sub>.