



BILANCIO ENERGETICO CO₂

Per procedere con un **bilancio energetico dell'impianto** Sares Green, dobbiamo tenere conto delle principali variabili energetiche e di emissione legate all'utilizzo del **gas metano**, del **Chemfuel**, e del **Chemcarbon** prodotto dal processo di pirolisi. Di seguito elencheremo i passaggi necessari per sviluppare il bilancio energetico e i dati necessari.

La quantità di **Chemgas** prodotta dall'impianto Sares Green è del **12,1%** del car fluff trattato. Questa percentuale si riferisce a un trattamento totale di **60.000 tonnellate** di car fluff, corrispondente a circa **7.260 tonnellate di Chemgas**.

Il dato proviene dalla **Relazione tecnica** del progetto, che riporta i risultati delle sperimentazioni e il bilancio materiale dell'impianto.

Il **Chemgas** prodotto dall'impianto di Sares Green viene utilizzato **internamente** come combustibile per alimentare le caldaie. Queste caldaie forniscono l'energia termica necessaria al processo produttivo dell'impianto, riscaldando l'olio diatermico a circa 370°C. In caso di sovrappressioni, il Chemgas viene deviato verso una torcia di emergenza, dove viene completamente combusto.

Il **Chemgas** e il gas **metano** vengono combusti insieme nell'impianto. Il gas metano è necessario soprattutto nella fase di avviamento, in cui il Chemgas non è ancora prodotto in quantità sufficiente. Successivamente, man mano che il Chemgas viene generato durante il processo, la quantità di metano richiesta diminuisce. Tuttavia, il Chemgas prodotto non è sufficiente a sostenere l'intero fabbisogno termico, per cui viene sempre integrato con una quota di gas metano.

La combustione media avviene con **circa il 60-70%** del Chemgas prodotto, mentre la restante parte del fabbisogno energetico è coperta dal gas metano.

Considerando quindi un mix energetico costituito dal chemgas nella misura del 65% e per la parte restante gas metano otteniamo le seguenti stime di emissioni di CO₂



Stima delle emissioni di CO2

- **Chemgas:** Con il 65% di Chemgas, e considerando il suo contenuto di CO2, la combustione rilascerà direttamente la quantità prodotta di CO2.
- **Gas Metano:** Per il 35% del gas metano bruciato, possiamo utilizzare il fattore di emissione noto (2,75 kg CO2 per kg di metano).

Per un calcolo preciso delle emissioni totali, sarebbe necessario il flusso specifico di Chemgas e metano utilizzati ma facendo una stima basata sui dati in ns. possesso possiamo procedere al calcolo

- **Chemgas:** contiene il **60,4% di CO2** in peso già presente . Anche se questo non partecipa direttamente alla combustione, viene comunque rilasciato nell'atmosfera. Il Chemgas ha un **PCI di 19.030 kJ/kg** .
- **Gas Metano:** produce **2,75 kg di CO2 per ogni kg** bruciato, con un potere calorifico di circa **36.000 kJ/kg** .

Supponiamo che l'impianto bruci **100 kg di gas** con una miscela di Chemgas e metano:

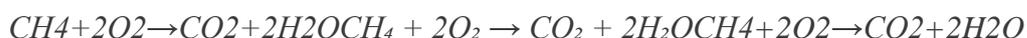
- **65 kg di Chemgas:** poiché il 60,4% è già CO2, vengono rilasciati **39,26 kg di CO2**.
- **35 kg di gas metano:** ogni kg di metano produce **2,75 kg di CO2**, quindi la combustione di metano genera **96,25 kg di CO2**.

Combinando le due fonti, si ottengono circa **135,51 kg di CO2** per ogni **100 kg** di gas combusto nell'impianto. (da cui manca ancora il contributo diretto di CO2 da parte del chemgas)*

Prima di procedere prego prendere visione di quanto segue

**Contributo emissivo CO2 da Chemgas e Gas Metano:*

1. **Metano:** Il metano (CH₄) è un idrocarburo semplice. Quando brucia completamente in presenza di ossigeno (O₂), la reazione genera anidride carbonica (CO₂) e acqua (H₂O):



Per ogni molecola di metano, si ottiene una molecola di CO₂, con un fattore di emissione ben documentato di **2,75 kg di CO₂** per ogni kg di metano combusto.

2. **Chemgas:** Il Chemgas è un gas di sintesi (syngas) prodotto dalla pirolisi o gassificazione di materiali come il **car fluff**. La composizione chimica del Chemgas può variare, ma contiene



- tipicamente una miscela di idrocarburi leggeri (simili al metano) e altri componenti come idrogeno (H_2), monossido di carbonio (CO), e diossido di carbonio (CO_2) già presenti nel gas prima della combustione.

Origine della CO_2 nel Chemgas:

- Parte della CO_2 nel Chemgas non deriva dalla combustione**, ma è già presente come prodotto della pirolisi del car fluff. Questo significa che la CO_2 esiste già nel gas prima che venga bruciato e, quando il Chemgas viene usato come combustibile, questa CO_2 viene semplicemente rilasciata nell'atmosfera senza ulteriore ossidazione.
- Combustione del Chemgas:** La combustione di componenti come CO e idrocarburi leggeri nel Chemgas produce ulteriore CO_2 , ma non nella stessa misura del metano, dato che una parte del gas è già in forma di CO_2 .

Fonti scientifiche:

- Composizione tipica del syngas e la pirolisi:** I processi di pirolisi e gassificazione producono syngas, che può avere un'elevata frazione di CO_2 già presente. La composizione di un syngas può variare notevolmente a seconda delle condizioni di processo e del materiale di partenza. Fonti come **Bridgwater et al. (1999)** e **Di Blasi et al. (2001)** hanno studiato a fondo le caratteristiche del syngas ottenuto dalla pirolisi e gassificazione, evidenziando che può contenere frazioni significative di CO_2 e CO.
- Emissioni di CO_2 da Chemgas:** Documenti tecnici relativi a impianti di pirolisi (come quelli di Sares Green) confermano che **il 60,4% del Chemgas prodotto è costituito da CO_2** , già presente prima della combustione. Questo significa che non tutto il Chemgas contribuisce alla produzione di nuova CO_2 , ma una grande parte è già in forma di CO_2 .

Fonti aggiuntive:

- Fattori di emissione del metano:** I fattori di emissione del metano sono ben documentati e standardizzati. Puoi trovare questi dati nei report dell'**Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**, che specifica 2,75 kg di CO_2 per kg di metano combusto.

Conclusione:

La CO_2 presente nel Chemgas è in parte **pre-esistente** a causa del processo di pirolisi, quindi non tutta la CO_2 emessa durante l'uso del Chemgas proviene dalla combustione come nel caso del metano. Puoi trovare dati scientifici specifici sui processi di pirolisi e gassificazione nelle fonti indicate sopra per verificare ulteriormente questi fenomeni.



Proseguiamo nel conteggio

- **Quantità di Chemgas:** 7.260 tonnellate (pari al 65% del combustibile).
- **Quantità di gas metano:** dobbiamo calcolare la quantità corrispondente al 35% del combustibile totale.
- **Emissioni di CO₂:**
 - **Chemgas:** contiene il **60,4% di CO₂** già presente nel gas.
 - **Gas Metano:** produce **2,75 kg di CO₂** per ogni kg di metano bruciato.

Se il **65%** corrisponde a **7.260 tonnellate** di Chemgas, il **35%** del combustibile restante è costituito da gas metano: quindi **3.909 tonnellate di gas metano**

La combustione di **7.260 tonnellate di Chemgas** rilascia CO₂ già presente nel gas:

- *Quantità di Chemgas prodotta:* 7.260 tonnellate.
- *Composizione del Chemgas:* Il **60,4%** del Chemgas è già costituito da CO₂.
- *Restante parte del Chemgas:* Idrocarburi leggeri, CO, e H₂, che generano ulteriore CO₂ durante la combustione.

CO₂ già presente nel Chemgas

La CO₂ già presente costituisce il 60,4% del peso del Chemgas. Dato che il Chemgas totale è 7.260 tonnellate, la CO₂ rilasciata direttamente è: CO₂ diretta=7.260×0,604=4.383,84 tonnellate di CO₂

CO₂ generata dalla combustione

*La restante parte del Chemgas è composta da **39,6%** di altri gas (come CO, idrocarburi leggeri e idrogeno). Per stimare la CO₂ prodotta da questa frazione, dobbiamo considerare che la combustione completa di:*

- **CO** genera una molecola di CO₂,
- **Idrocarburi** (simili al metano) generano CO₂ in proporzione alla loro composizione,
- **Idrogeno** non genera CO₂ (produce solo vapore acqueo).

*Poiché non abbiamo dati esatti sulla composizione chimica del 39,6% restante, possiamo approssimare la frazione di idrocarburi leggeri simili al metano, che producono circa **2,75 kg di CO₂ per kg combusto**.*

Se assumiamo che questa frazione sia costituita per lo più da CO e idrocarburi, possiamo stimare la produzione di CO₂ come segue:

Frazione combustibile=7.260×0,396=2.876,16 tonnellate di Chemgas combustibile



Per semplicità, assumiamo che questa frazione si comporti come metano, quindi:

CO₂ da combustione=2.876,16×2,75=7.909,44 tonnellate di CO₂

Emissioni totali di CO₂ dal Chemgas (combustione + rilascio)

Ora possiamo sommare la CO₂ rilasciata direttamente con quella generata dalla combustione:

CO₂ totale dal Chemgas=4.383,84 (CO₂ diretta)+7.909,44 (CO₂ da combustione)=12.293,28 tonnellate di CO₂

La combustione di 7.260 tonnellate di **Chemgas rilascerà circa 12.293 tonnellate di CO₂**, di cui **4.384 tonnellate** provengono direttamente dal gas (già presente nel Chemgas), e **7.909 tonnellate** sono generate dalla combustione degli altri componenti combustibili.

Arriviamo dunque al conteggio finale

Emissioni di CO₂ dal gas metano

La combustione di 3.909 tonnellate di metano genera 2,75 kg di CO₂ per ogni kg di metano:

CO₂ dal metano=3.909×2,75=10.254,75 tonnellate di CO₂

Emissioni TOTALI di CO₂

Sommiamo le emissioni di CO₂ da Chemgas e metano:

**CO₂ totale Chemgas + Gas Metano =
12.293 + 10.254 = 22.547 Tonnellate di CO₂**

Produzione di CO₂ per trasformare dei rifiuti in altri rifiuti con spreco di gas metano



Partendo dai dati della **Relazione tecnica di SARES Green Rev. 0 - Marzo 2018**.
Vediamo quali sono le percentuali dei derivati da car fluff

- **Chemgas:** 12,1%
- **Chemfuel:** 24,6%
- **Chemcarbon:** 57,4%
- **Acqua reflua:** 7,6%

A questo punto del processo abbiamo prodotto 22.547 tons di CO₂ ed abbiamo ottenuto:

- **14.760 tons di Chemfuel**
- **34.440 tons di Chemcarbon**
- **4.560 tons di acque reflue (classificate rifiuto pericoloso)**

Procediamo e consideriamo (MA solo a titolo di esempio perché riteniamo irrealizzabile l'operazione) che Feralpi ritiri il Chemcarbon

*Secondo i documenti relativi all'impianto di pirolisi per il trattamento del car fluff, il **chemcarbon** è un prodotto con un contenuto di carbonio tra il **60% e il 70%**. Per stimare le emissioni di CO₂, consideriamo il contenuto di carbonio*

*Ogni kg di carbonio produce **3.67 kg di CO₂**. Se assumiamo una media del **65%** di carbonio nel chemcarbon, possiamo calcolare le emissioni per ogni tonnellata di chemcarbon:*

1. Emissioni di CO₂ per tonnellata di chemcarbon:

$$0.65 \text{ tonnellate di carbonio} \times 3.67 \text{ kg CO}_2/\text{kg di carbonio} = 2.3855 \text{ tonnellate di CO}_2$$

*Quindi, una tonnellata di chemcarbon bruciata genera circa **2.39 tonnellate di CO₂**.*

CO₂ prodotta da CHEMCARBON

Chemcarbon risultato da processo: 34.400 tons

Tons 34.400 x 2.39 di CO₂ =

CO₂ Chemcarbon = 34.400 × 2,39 = 82.216 tonnellate di CO₂

Proseguiamo nell'analisi dei derivati dal processo:



CHEMFUEL

In questo caso ipotizziamo che il derivato della lavorazione venga, per semplicità, bruciato come fosse un carburante senza ulteriori lavorazioni che ne aggravino il bilancio di CO₂

Una stima basata sulla fonte seguente

Life-Cycle Assessment of Pyrolysis Bio-Oil Production*

[Philip Steele](#); [Maureen E. Puettmann](#); [Venkata Kanthi Penmetsa](#); [Jerome E. Cooper](#)

Forest Products Journal (2012) 62 (4): 326–334.

<https://doi.org/10.13073/FPJ-D-12-00016.1>

esprime un potenziale contributo di CO₂ per tonnellata nell'ordine di 2.8 /3.6 tons per tonnellata di Chemfuel (per semplicità useremo un valore mediano di 3.2 CO₂/tons)

Arriviamo velocemente a:

$$\text{CO}_2 \text{ Chemfuel} = 14.760 \times 3,2 = \mathbf{47.232 \text{ tonnellate di CO}_2}$$

RIFIUTO PERICOLOSO

ACQUE DERIVANTI DA PROCESSO

A questo punto manca ancora il contributo dello smaltimento di ca 4.500 tons di acque reflue inquinate (classificate con il codice **CER 16 10 01*** corrisponde a "soluzioni acquose, percolati di discarica e altri rifiuti liquidi contenenti sostanze pericolose")

La quantità di CO₂ prodotta dallo smaltimento di rifiuti classificati come pericolosi, come le acque pericolose con codice CER 161001, può variare significativamente in base al metodo di trattamento utilizzato (ad esempio, incenerimento, trattamento chimico o termico) e alla composizione specifica dei rifiuti.

Generalmente, l'incenerimento di rifiuti pericolosi tende a produrre significative emissioni di CO₂, che possono essere calcolate a partire dai bilanci di massa e dalla composizione chimica dei rifiuti.

Per semplicità ed in termini prudenziali potremmo assimilare l'emissione di CO₂/tons di acque reflue come fosse **chemfuel**



CO2 rifiuto CER 16.10.01 (sostanza pericolosa)=
 $4.500 \times 3,2 = 14.400$ tonnellate di CO2

Bilancio totale emissioni di CO2:

Chemgas+ gas metano	Tons 22.547
Chemcarbon	Tons 82.216
Chemfuel	Tons 47.232
Acque reflue	Tons 14.400
Totale	Tons 166.395

Da cui CO2/tons di rifiuto trasformato = 2.77 Tons

Un inceneritore di rifiuti mediamente produce tra **0,7 e 1,2 tonnellate di CO2** per ogni tonnellata di rifiuto incenerito. La variabilità dipende dal tipo di rifiuti trattati, dalla tecnologia dell'impianto e dall'efficienza energetica. Alcuni impianti di incenerimento con recupero energetico possono ridurre questa quantità grazie alla produzione di energia, che abbassa ulteriormente l'impatto netto delle emissioni di CO2.

Il bilancio energetico è DISASTROSO

In questo capitolo non abbiamo preso in considerazione alcun tipo di inquinante