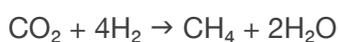


Ferruccio Trifirò
Professore Emerito Università di Bologna
ferruccio.trifiro@unibo.it

IDROGENAZIONE DELLA BIO CO₂ E DELLA CO₂ CON H₂ VERDE A CH₄

La disponibilità di H₂ verde ha permesso di sviluppare impianti per la conversione di bio-CO₂ (sottoprodotto della produzione di biometano) e di impianti pilota per l'idrogenazione della CO₂ recuperata dalle emissioni di impianti industriali alimentati da combustibili fossili. Proprio il 3 giugno 2025 è uscito un articolo, "Catalyst Materials for CO₂ Hydrogenation Explained" [1], che tratta di queste sintesi. L'idrogenazione catalitica della CO₂ a CH₄ è storicamente chiamata "reazione di Sabatier" [2], dal nome del suo scopritore, il chimico francese Paul Sabatier, che insieme a Jean-Baptiste Senderens, nel 1887, realizzò la reazione:



utilizzando catalizzatori a base di nichel e lavorando fra 300-400 °C, a circa 3 MPa. È interessante ricordare che, diversi anni dopo (nel 1912), Sabatier ricevette il Premio Nobel per la Chimica.

L'idrogeno verde [2], utilizzato nell'idrogenazione della bio-CO₂ e della CO₂, è prodotto per elettrolisi dell'acqua utilizzando energia elettrica derivante dall'attuale surplus di energia rinnovabile. L'elettrolita è generalmente una soluzione acquosa di NaOH o di KOH, e gli elettrodi sono costituiti da acciaio rivestito di nichel; le celle lavorano a temperature fra 50-80 °C e producono idrogeno ad alta purezza (fino a 15 bar).

Questo articolo riporta brevemente due linee di attività, tratte da precedenti review, per la valorizzazione della CO₂:

i) esempi industriali di utilizzo di idrogeno verde per idrogenare la bio-CO₂ coprodotta con il biometano da rifiuti organici [2];

ii) esempi di impianti pilota e progetti industriali per idrogenare la CO₂ (recuperata da emissioni da combustibili fossili) a metano [3].

Impianti di idrogenazione di bioCO₂

Dato il prevedibile forte sviluppo degli impianti per la produzione di biogas e biometano, la quantità di CO₂ coprodotta aumenterà notevolmente. Pertanto, la possibilità di ridurre le emissioni di CO₂ mediante un suo utilizzo contribuirà ad aumentare il valore della produzione del biogas [2]. Sono necessarie solo poche modifiche ai processi esistenti per realizzare la separazione della CO₂.

L'idrogenazione della CO₂ può essere realizzata con idrogeno verde mediante catalisi eterogenea negli impianti di pirogassificazione per il trattamento di rifiuti legnosi, oppure mediante microrganismi metaniferi negli impianti di digestione anaerobica di rifiuti organici. Attualmente, nella maggior parte degli impianti la CO₂ viene immessa in atmosfera dopo la separazione dal biometano. Solo in pochi casi, in Europa, la CO₂ è recuperata per produrre biometano.

A Pinerolo (TO), presso lo stabilimento di "Acea Pinerolese Industriale", è stato costruito nel 2014 il primo impianto in Italia per la produzione di biometano [2], ottenuto dalla frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU), seguito nel 2020 da un secondo impianto di dimensioni maggiori.

Nel 2016 è partito un progetto chiamato "ProGeo", per realizzare un impianto sperimentale di idrogenazione della CO₂ a biometano, con idrogeno verde; la CO₂, prodotta dalla digestione anaerobica dei rifiuti organici, è separata dal biometano nello stadio di upgrading mediante assorbimento in

acqua, dopo raffreddamento e compressione del biogas.

ENEA, con il progetto +GAS [2], ha studiato la possibilità di aumentare la quantità di biometano prodotto in un impianto di digestione anaerobica, introducendo idrogeno verde nel biodigestore per aumentare l'idrogenazione della CO₂. Il processo si basa sull'utilizzo di batteri idrogenofili metanogeni, già impiegati nella produzione di biometano. Con questa tecnologia non solo si aumenta la resa in biometano, ma si evita l'emissione di CO₂ in atmosfera e si riducono i costi legati alla separazione della CO₂ nel processo di upgrading del biogas.

In Francia sono entrati in marcia due impianti per la produzione di biometano [2]. In particolare, a Indre-et-Loire è stato realizzato l'impianto Methycentre, dove, con idrogeno verde, viene idrogenata cataliticamente la CO₂ proveniente dal digestore anaerobico e separata dal metano nell'impianto di upgrading. A Duchy [2], vicino Saint-Florentin, è stato costruito l'impianto Hyaunais, dove la CO₂ coprodotta con il metano, dopo separazione, è idrogenata a biometano con idrogeno verde in un reattore contenente microrganismi selezionati.

Idrogenazione della CO₂ recuperata da impianti di combustione di fossili

Il sequestro della CO₂ (ad esempio dai processi industriali) è un approccio fondamentale per mitigare l'impatto ambientale, ma resta aperta la questione del suo utilizzo, viste le grandi quantità prodotte [3]. L'idrogenazione della CO₂ a CH₄, con idrogeno verde, rappresenta una buona strategia per "rigenerare" gli idrocarburi combustibili che l'hanno generata.

Si riportano informazioni sulla realizzazione di due impianti pilota e sulla proposta di un progetto [3] per la produzione di metano tramite idrogenazione con idrogeno verde della CO₂ emessa da industrie che utilizzano combustibili fossili o da fonti naturali come vulcani, o comunque recuperata dall'atmosfera.

Il 28 aprile 2014 ENEA ha avviato, presso il Centro di Ricerca della Casaccia (Roma), un progetto spe-

rimentale di sintesi del metano per idrogenazione della CO₂ industriale [3]; l'idrogeno può essere ottenuto per elettrolisi dell'acqua, utilizzando il *surplus* di energie rinnovabili (eolico e fotovoltaico). L'impianto è stato chiamato Fenice, in riferimento all'uccello mitologico che rinasce dalle proprie ceneri: un parallelo simbolico alla "rinascita" della CO₂ - residuo della combustione - utilizzata per produrre un nuovo combustibile.

La reazione di idrogenazione catalitica avviene a 200 °C, ad alta pressione, con un catalizzatore a base di Ni supportato su γ -Al₂O₃ fornito dalla BASF; la produzione è pari a 0,25 m³/h di metano. Il 27 settembre 2018, nell'ambito del progetto UE STORE&GO (H2020), è stato inaugurato a Troia (Foggia) un impianto dimostrativo per la produzione di metano (in particolare GNL) mediante idrogenazione della CO₂ con H₂ verde [3]. L'azienda Hysytech ha curato la purificazione e la liquefazione del metano. In questo impianto la CO₂ viene catturata dall'atmosfera mediante assorbimento su filtri attivi; l'energia elettrica utilizzata proviene da fonti rinnovabili, favorita dalla presenza di numerosi parchi eolici e fotovoltaici nel territorio. Il materiale filtrante è costituito da granuli porosi modificati con ammine, che legano la CO₂ in presenza di umidità; una volta saturo di CO₂, il filtro viene rigenerato per riscaldamento a circa 100 °C. Nel 2019 è nato il progetto SINBIO "Sistemi Integrati di produzione e immissione in rete di biometano e gas sintetici da fonti rinnovabili" [3], finanziato dalla Regione Lazio e cofinanziato dalla Comunità Europea, con il coinvolgimento di diversi Enti. Il progetto prevedeva la realizzazione di un impianto pilota per l'idrogenazione, con idrogeno verde, della CO₂ sequestrata da processi industriali.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=24524>
- [2] C. Giavarini, F. Trifirò, *La Chimica e l'Industria Newsletter*, 2022, **9**(6), 4.
- [3] C. Giavarini, F. Trifirò, *La Chimica e l'Industria Newsletter*, 2023, **10**(1), 4.