

IDROGENO: PRODUZIONE E COMPRESSIONE. UNA SCOMMESSA ENERGETICA PER IL FUTURO

Al giorno d'oggi l'energia gioca un ruolo fondamentale nella nostra società. Infatti, a causa del rapido sviluppo socio-economico, un approvvigionamento energetico costante è indispensabile per mantenere il nostro tenore di vita, attualmente soddisfatto da fonti non rinnovabili. L'International Energy Outlook 2019 della US EIA (Energy Information Administration), ha però previsto un aumento del consumo energetico globale di quasi il 50% entro il 2050: queste fonti non saranno quindi più in grado di soddisfare il fabbisogno energetico mondiale. Inoltre, queste risorse energetiche hanno causato un forte aumento della concentrazione dei gas serra, prima tra tutti l'anidride carbonica. Nel gennaio 2022 è stato registrato un valore di 419 ppm, evidenziando come la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera è salita di più del 50% al di sopra del livello preindustriale. Ecco perché con l'accordo di Parigi del 2015 l'Unione Europea si è impegnata ad intraprendere una strada che la porterà a diventare la prima economia a impatto climatico zero entro il 2050.

In questo scenario dominato dall'esaurimento dei combustibili fossili, dal riscaldamento globale e dalla crescita della domanda energetica, l'idrogeno sembra essere molto promettente grazie alla sua capacità di immagazzinare grandi fonti di energia all'interno del suo legame chimico, ed è proprio la Commissione Europea a considerarlo una "priorità fondamentale" per la transizione energetica in Europa.

Un valore molto interessante che può farci comprendere il grande vantaggio dell'idrogeno come combustibile è la sua elevata densità di energia gravimetrica (143 MJ kg⁻¹), l'energia derivata da 1 kg di idrogeno è, infatti, equivalente all'energia prodotta da quasi 4 kg di benzina. Altre proprietà benefiche dell'idrogeno sono il basso punto di infiammabilità (-231 °C) e l'elevato numero di ottano (>130). L'idrogeno presenta però una densità di energia volumetrica molto bassa (0,0107 MJ L⁻¹) ed un'alta infiammabilità, che lo rendono estremamente difficile da immagazzinare e trasportare,

ostacolando l'applicazione industriale di questa tecnologia. Un altro grande problema è legato alla sua produzione.

A differenza dei combustibili fossili, l'idrogeno è classificato come vettore energetico secondario, cioè, per la sua produzione, sono necessarie altre forme di energia. Ad oggi, circa il 95% dell'idrogeno proviene da metodi basati sui combustibili fossili, primo tra tutti lo *steam reforming* del metano, il cui prodotto è noto come "*idrogeno grigio*". È però importante sottolineare che solo l'"*idrogeno verde*", interamente prodotto da fonti rinnovabili grazie all'utilizzo di elettrolizzatori, è considerato utile per ottenere una vera e propria transizione energetica. Una possibile alternativa proposta da molte aziende energetiche è l'utilizzo di "*idrogeno blu*", basato sulla cattura dell'anidride carbonica emessa durante la produzione di "*idrogeno grigio*"; secondo molti questo è però destinato a ripercorrere la strada degli infruttuosi progetti di carbone pulito proposti da circa 20 anni [1].

Oltre all'emissione di anidride carbonica, quando si parla di processi legati alla produzione di questo vettore energetico bisogna tener conto di sottoprodotti ed impurezze. Questo, infatti, è un grosso problema se si considera che le celle a combustibile per il loro funzionamento necessitano di idrogeno ultra-puro [2]. Inoltre, essendo il contenuto energetico volumetrico dell'idrogeno basso a pressione ambiente, questo gas deve essere compresso per competere con i combustibili usuali.

Esistono differenti metodi di compressione e possono essere divisi in due categorie: meccanici e non meccanici. Attualmente, i primi sono i più usati per applicazioni industriali grazie alla loro tecnologia matura, alla facile accessibilità e al basso costo di acquisto. Tuttavia, questi sistemi consumano una notevole quantità di energia e, a causa delle parti meccaniche in continuo movimento, sono soggetti a vibrazioni e rumore e necessitano dell'uso di lubrificanti e di una costante manutenzione. Nel quadro dei costi dell'idrogeno, non con-

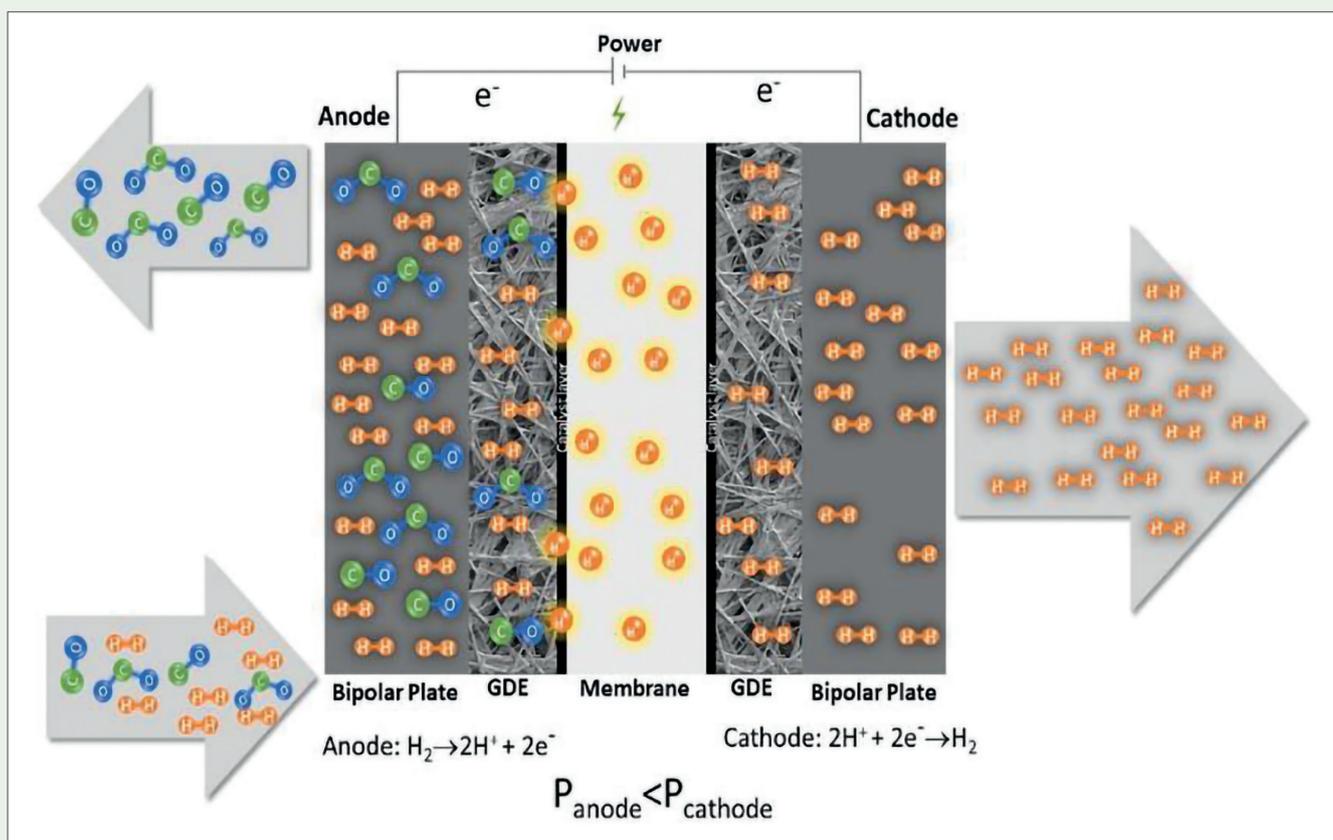


Fig. 1 - Compressore elettrochimico di idrogeno (*Electrochemical Hydrogen Compressor, EHC*) [6]

siderando la produzione, la sua compressione meccanica rappresenta il costo principale in una struttura decentralizzata, essendo responsabile del 54% del CAPEX, del 28% del consumo totale di energia e del 18% del OPEX di una stazione di rifornimento di idrogeno [3]. Per questi motivi l'ottimizzazione dei compressori non-meccanici è al centro della ricerca di questi ultimi anni. Sistemi come compressione criogenica [4], a idruro metallico [5, 6], ad adsorbimento-desorbimento su materiali porosi [3] e compressione elettrochimica di idrogeno [5-7] sono delle ottime alternative. La prima combina la liquefazione e la compressione dell'idrogeno, ha però lo svantaggio del costo elevato e della difficile gestione termica. I compressori ad idruro metallico e ad adsorbimento-desorbimento sono comunemente noti come compressori "azionati termicamente" poiché sfruttano dei cicli termici per adsorbire e successivamente desorbire l'idrogeno ad alta pressione; i primi sfruttano le proprietà di composti intermetallici che formano idruri, i secondi dei materiali altamente porosi con un'elevata area superficiale e quindi un elevato potenziale di adsorbimento, come per esempio i carboni attivi. In ultimo, il compressore elettrochimico è una tecnologia molto promettente in quanto abbina alla compressione la purificazione dell'idrogeno grazie al principio elettrochimico su cui si

basano, ossia l'ossidazione dell'idrogeno impuro all'anodo e l'evoluzione di idrogeno puro e ad alta pressione al catodo. Il nucleo di questo dispositivo è solitamente chiamato *membrane electrode assembly* (MEA) ed è basato su un insieme comprendente due elettrodi a diffusione di gas (GDE) e una membrana a scambio protonico (Fig. 1).

L'idrogeno è quindi un potenziale combustibile green con innumerevoli vantaggi, tuttavia, per un uso diffuso e pratico sarà sicuramente necessaria un'ottimizzazione dei metodi di produzione e stoccaggio, ma, soprattutto, di una distribuzione sostenibile dal produttore agli utenti finali, grazie all'utilizzo di una rete di strutture di supporto e stazioni di rifornimento. L'obiettivo della ricerca scientifica ora in corso è quindi quello di sviluppare tecnologie per produrre, immagazzinare, trasportare e utilizzare l'idrogeno a costi abbastanza economici, in modo da competere con le fonti energetiche tradizionali come i combustibili fossili. Analizzando la letteratura scientifica e brevettuale, gli studi sulla produzione e lo stoccaggio dell'idrogeno hanno ricevuto crescente attenzione negli ultimi trent'anni, passando da una ventina di articoli nel 1990 a più di 1000 articoli nel 2021 (Fig. 2, sinistra), a denotare una crescente attenzione verso questo promettente vettore energetico. È interessante mettere in evidenza come l'Italia si

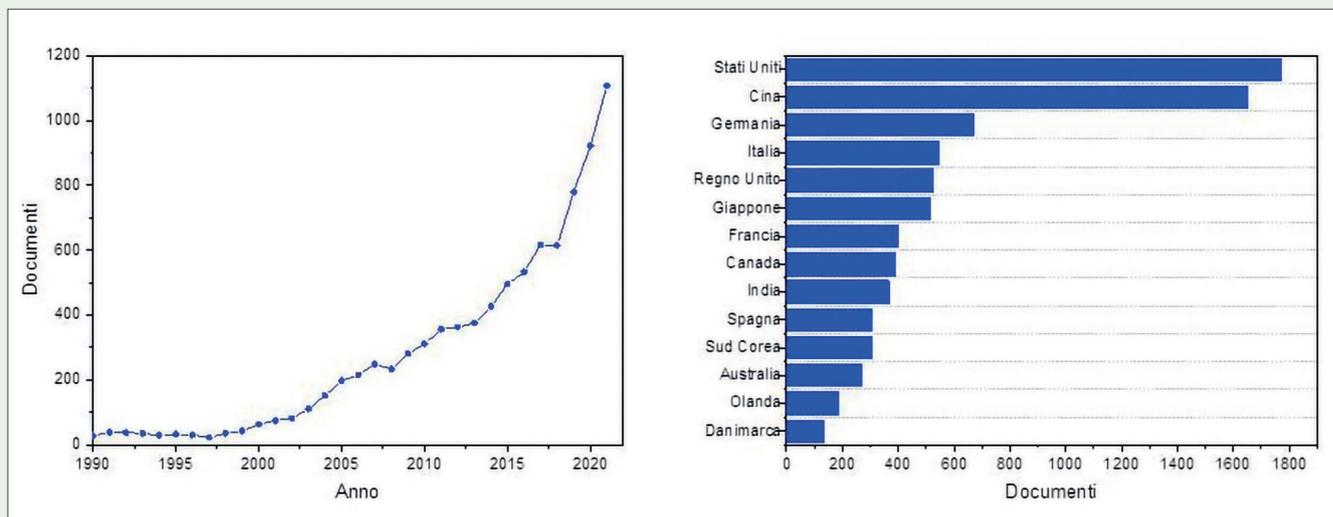


Fig. 2 - Ricerca effettuata utilizzando il database Scopus: "Parole chiave usate: hydrogen production and storage"

classificati al quarto posto tra gli stati più attivi in questo ambito con circa il 6% degli articoli pubblicati (Fig. 2, destra). In questo contesto, presso il Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano, è stato avviato un progetto di dottorato su tematiche dell'innovazione e green stanziato dal PON Ricerca e Innovazione del Ministero dell'Università e della Ricerca. Il progetto ha il titolo "Innovazione ed ottimizzazione della filiera di trasporto e distribuzione dell'idrogeno come vettore energetico green e rinnovabile" e prevede la stretta collaborazione tra il gruppo di ricerca del Dipartimento di Chimica con la società Regas Srl di Treviglio (BG). L'obiettivo di questo progetto è lo studio e l'ottimizzazione della filiera di distribuzione dell'idrogeno, an-

dando a vagliare più aspetti di questa tematica, in particolare lo sfruttamento della griglia di distribuzione del gas naturale già presente sul territorio e il successivo step di separazione e compressione dell'idrogeno necessario per l'utilizzo efficiente di questo vettore energetico. In ambito idrogeno, Regas ha già sviluppato il prodotto HyCON (Fig. 3), un sistema pensato per l'integrazione delle energie rinnovabili con la rete del gas naturale. HyCON produce idrogeno verde da elettrolisi e successivamente lo inietta in maniera controllata e sicura all'interno della rete gas, andando a decarbonizzare le relative utenze e coordinando in maniera automatizzata il processo di *sector coupling*. Ad oggi, differenti Stati nel mondo hanno già intrapreso questa strada: l'obiettivo è far sì che anche l'Italia sia pronta per un futuro prossimo in cui l'idrogeno diventerà un concorrente concreto all'interno del mondo dell'energia globale.



Fig. 3 - Sistema HyCON progettato da Regas Srl

BIBLIOGRAFIA

- [1] N. Armaroli, *Mem. e Rend. di Chim. Fis. Mat. e Sci. Nat.*, 2020, **138**, 251.
- [2] M. Trégaro, M. Rhandi *et al.*, *Chinese J. Catal.*, 2020, **41**, 770.
- [3] G. Sdanghi, G. Maranzana *et al.*, *Energies*, 2020, **13**(12), 3145, DOI: [10.3390/en13123145](https://doi.org/10.3390/en13123145).
- [4] G. Sdanghi, G. Maranzana *et al.*, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2019, **102**, 150.
- [5] M. Rhandi, M. Trégaro *et al.*, *Chinese J. Catal.*, 2020, **41**, 756.
- [6] G.N.B. Durmus, C.O. Colpan, Y. Devrim, *J. Power Sources*, 2021, **494**, 229743.
- [7] J. Zou, N. Han *et al.*, *Electrochem. Energy Rev.*, 2020, **3**, 690.