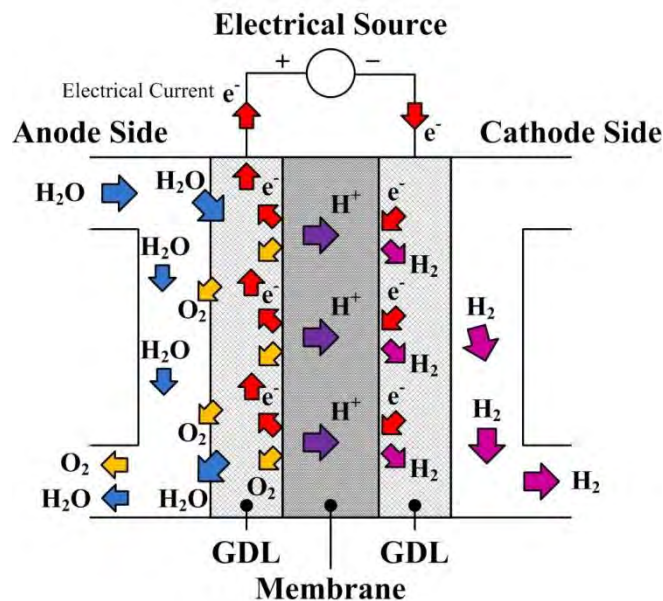


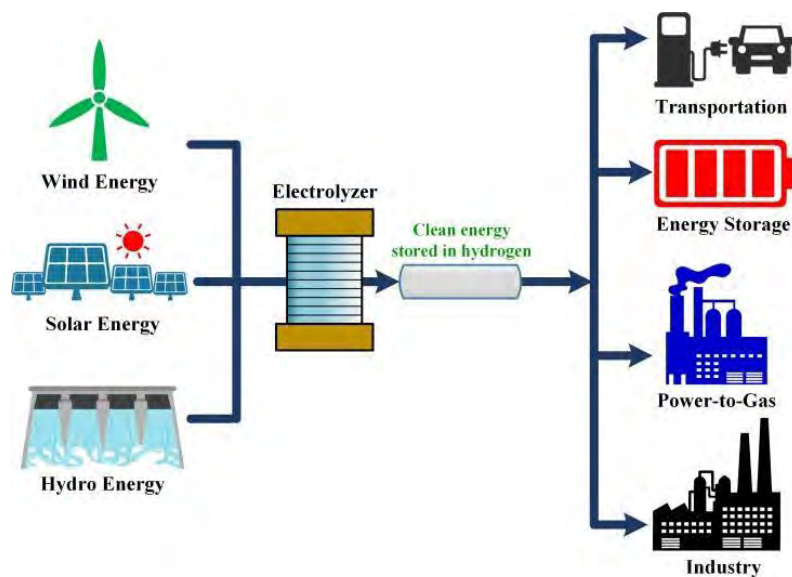
Conservare ed utilizzare l'energia rinnovabile senza produrre CO₂ : un obiettivo possibile con l'idrogeno green

L'idrogeno è l'elemento più abbondante dell'universo. Si presenta, allo stato libero, a pressione atmosferica e temperatura ambiente, sotto forma di un gas biatomico avente formula H₂. Sulla Terra tuttavia, è scarsamente presente allo stato libero e molecolare e deve quindi essere prodotto. Vi sono numerosi usi consolidati a livello industriale nell'industria chimica e petrolchimica (raffinazione dei combustibili fossili e nella sintesi dell'ammoniaca). Più recentemente l'attenzione verso questo gas è stata rivolta all'utilizzo come combustibile pulito per autotrazione e per produrre elettricità riducendo le emissioni di CO₂.

La maggior parte dell'idrogeno attualmente prodotto (circa il 95%) utilizza il processo di *steam-reforming* a partire dal gas naturale (oppure da etanolo o da propano) con una reazione ad alta temperatura; alla fine del processo si ottiene tuttavia anche CO₂. In alternativa è possibile produrre idrogeno a partire dalla molecola di acqua (H₂O) sfruttando l'energia elettrica tramite un elettrolizzatore. Questo processo è intrinsecamente pulito in quanto come prodotto di scarto si ottiene soltanto ossigeno. Naturalmente va tenuto in considerazione il modo in cui l'energia elettrica viene prodotta: se si utilizzano i combustibili fossili la generazione di CO₂ è causata indirettamente (l'idrogeno così ottenuto è detto *gray*); per questo motivo sarebbe da preferire l'uso di fonti rinnovabili (ottenendo idrogeno *green*).



Produzione di idrogeno tramite elettrolizzatore PEM; ingresso: acqua (H₂O), uscita idrogeno (H₂) ed ossigeno (O₂)



Usi dell'idrogeno prodotto da fonte rinnovabile in autotrazione, per accumulo, come additivo del gas naturale e nell'industria.

Una volta prodotto, l'idrogeno può essere conservato e riutilizzato quando necessario. In questo modo si propone come alternativa alle tradizionali batterie; nelle celle a combustibile (Fuel Cell) infatti si produce elettricità convertendo l'idrogeno con un procedimento inverso a quello di elettrolisi.

In apparenza può sembrare poco sensato produrre idrogeno con l'elettricità e poi riutilizzarlo per produrre nuovamente elettricità. In realtà ciò avviene tramite le batterie già a partire da oggetti di uso quotidiano come nei telefoni sino ai veicoli elettrici. Ha senso quindi considerare un vettore energetico alternativo che non implica emissione di CO₂.

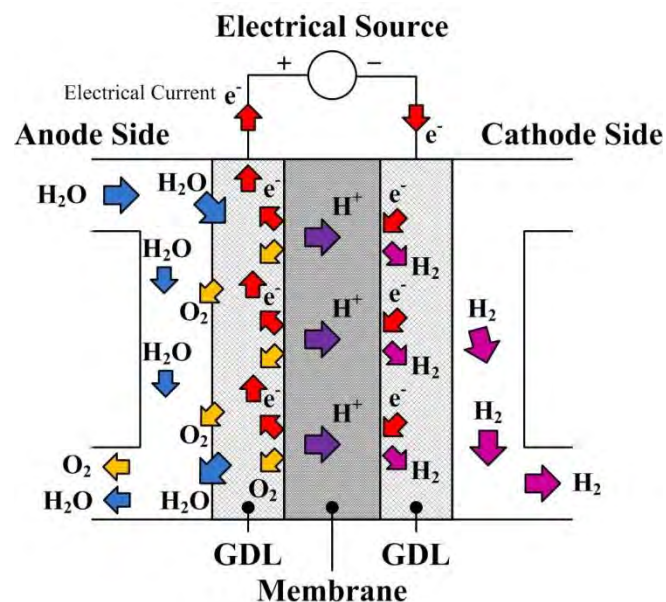
L'utilizzo delle fonti rinnovabili ha posto nuove sfide in termini di ricerca per rendere sempre più efficiente la conversione dell'energia elettrica in idrogeno. I problemi da risolvere sono legati ai costi delle tecnologie di elettrolisi e dell'elettricità da rinnovabili, alle interfacce tra l'elettrolizzatore e la rete o con le fonti rinnovabili in configurazione off-grid, ed alla variabilità delle condizioni climatiche. Sono necessari appropriati convertitori perché la tensione prodotta da una fonte rinnovabile sia continua (impianto fotovoltaico) oppure alternata (impianto eolico) deve essere adattata ad un valore opportuno per alimentare l'elettrolizzatore. La variabilità della sorgente inoltre richiede opportuni modelli degli elettrolizzatori in grado di riprodurre la dinamica.

Presso l'ICAR in collaborazione con il laboratorio "GREEN" di Nancy che fa capo All' Université de Lorraine, (FR) e l'University of Technology North Bangkok (KMUTNB), si studiano sia i convertitori di potenza per alimentare gli elettrolizzatori sia i modelli dinamici di elettrolizzatori per riprodurre le loro funzioni in laboratorio. Recentemente sono state proposte nuove tecnologie circuitali per l'interfaccia con elettrolizzatori di tipo PEM (proton exchange membrane). Questi sono disponibili sul mercato con potenze a partire dal centinaio di Watt e quindi si presterebbero anche ad un uso domestico; inoltre sono disponibili modelli dinamici degli stessi.

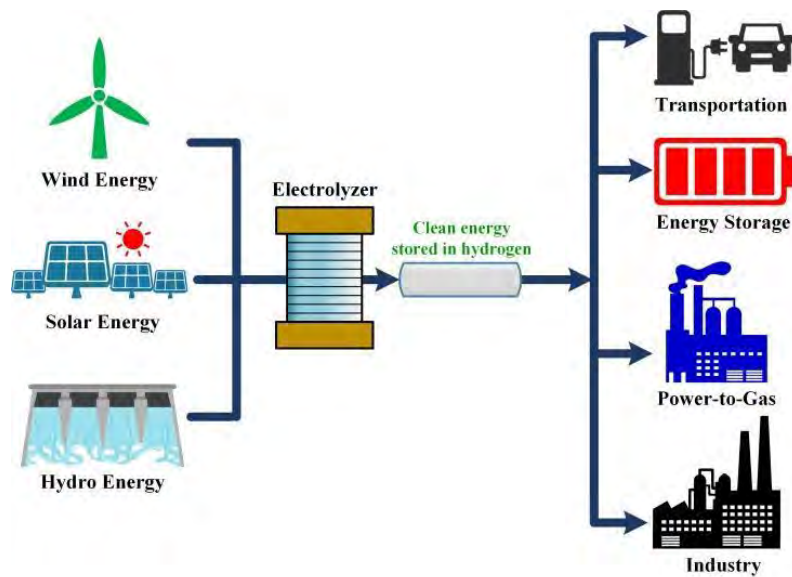
Storing and exploiting renewable energy without producing CO₂ : a possible goal with green hydrogen

Hydrogen is the most abundant element in the universe. It occurs, in its free state, at atmospheric pressure and ambient temperature, in the form of a diatomic gas with the formula H₂. On Earth, however, it is scarcely present in the free and molecular state and must therefore be produced. There are many consolidated industrial uses in the chemical and petrochemical industry (refining of fossil fuels and in ammonia synthesis). More recently, the focus has been on the use of this gas as a clean automotive fuel and to produce electricity mitigating CO₂ emissions.

Most of the hydrogen currently produced (about 96%) uses the steam-reforming process of natural gas (or ethanol or propane) with a high temperature reaction; however, CO₂ is obtained as by-product of this process. Alternatively, it is possible to produce hydrogen from water by exploiting electricity through an electrolyzer. This process is inherently clean because only oxygen is obtained as a waste product. Of course, the way in which electricity is produced must be taken into account: if fossil fuels are used, CO₂ generation is generated indirectly (the hydrogen thus obtained is called gray); for this reason the use of renewable sources (obtaining green hydrogen) would be preferred.



Hydrogen production by a PEM electrolyzer; input: water (H₂O), hydrogen (H₂) and oxygen (O₂) output



Uses of hydrogen produced from renewable sources in automotive, for storage, as additive of natural gas and in industry.

Once produced, hydrogen can be stored and reused when necessary. In this way, it is proposed as an alternative to traditional batteries; in fuel cells, in fact, electricity is produced by converting hydrogen with an inverse process to that of electrolysis.

It may seem unreasonable to produce hydrogen with electricity and then reuse it to produce electricity again. However, this is already happening with batteries from everyday objects such as telephones to electric vehicles. It therefore makes sense to consider an alternative energy carrier that does not involve CO₂ emissions.

The use of renewable energy sources has posed new challenges in terms of research to make the conversion of electricity into hydrogen increasingly efficient. The problems to be solved are related to the cost of electrolysis technologies and renewable energy as well as to power electronic conversion circuits and the variability of climatic conditions. Appropriate electronic converters are necessary for the voltage produced by a renewable source either continuous (photovoltaic system) or alternating (wind turbine) to be adapted to the electrolyzer characteristics. The variability of the source also requires appropriate models of electrolyzers able to reproduce the dynamics.

At ICAR, in collaboration with the "GREEN" laboratory in Nancy, part of the Université de Lorraine (FR) and the University of Technology North Bangkok (KMUTNB), both power converters to supply the electrolyzers and dynamic models of electrolyzers to reproduce their functions in the laboratory are being studied. Recently, new circuit topologies have been proposed for PEM (proton exchange membrane) electrolyzer applications, which are available on the market with power ratings starting from one hundred watts, also be suitable for domestic use, and proper dynamic models.

Sitografia per approfondire (Sitography to learn more)

<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>

<https://www.cleantech.com/the-role-of-green-hydrogen-in-global-decarbonization/>

https://www.hydrogen.energy.gov/annual_review19_report.html

<https://www.frontier-economics.com/media/3120/value-of-gas-infrastructure-report.pdf>

https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Reports/Ph4-24%20Hydrogen%20in%20nat%20gas.pdf

<https://www.iea.org/tcep/energyintegration/hydrogen/>

<https://www.mdpi.com/1996-1944/12/12/1973/htm>

<https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/51995.pdf>

https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review19/2019_amr_report_hydrogen_fuel.pdf

<http://www.icrepq.com/icrepq%2716/PL1.pdf>

<https://www.rees-journal.org/articles/rees/pdf/2016/01/rees160035-s.pdf>

Ultimi articoli pubblicati (Last published papers)

- Yodwong, B., Guilbert, D., Phattanasak, M., Kaewmanee, W., Hinaje, M., & **Vitale, G.** (2020). Proton Exchange Membrane Electrolyzer Modeling for Power Electronics Control: A Short Review. C— *Journal of Carbon Research*, 6(2), 29.
- Yodwong, B., Guilbert, D., Phattanasak, M., Kaewmanee, W., Hinaje, M., & **Vitale, G.** (2020). AC-DC Converters for Electrolyzer Applications: State of the Art and Future Challenges. *Electronics*, 9(6), 912.
- Guida, V., Guilbert, D., **Vitale, G.**, & Douine, B. (2020). Design and Realization of a Stacked Interleaved DC–DC Step-Down Converter for PEM Water Electrolysis with Improved Current Control. *Fuel Cells*.
- Alonge, F., Collura, S. M., D'ippolito, F., Guilbert, D., Luna, M., & **Vitale, G.** (2020). Design of a robust controller for DC/DC converter–electrolyzer systems supplied by μ WECSs subject to highly fluctuating wind speed. *Control Engineering Practice*, 98, 104383.
- Guilbert, D., & **Vitale, G.** (2020). Improved Hydrogen-Production-Based Power Management Control of a Wind Turbine Conversion System Coupled with Multistack Proton Exchange Membrane Electrolyzers. *Energies*, 13(5), 1239.
- Guilbert, D., Sorbera, D., & **Vitale, G.** (2020). A stacked interleaved DC-DC buck converter for proton exchange membrane electrolyzer applications: Design and experimental validation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(1), 64-79.
- Collura, S. M., Guilbert, D., **Vitale, G.**, Luna, M., Alonge, F., d'Ippolito, F., & Scipioni, A. (2019). Design and experimental validation of a high voltage ratio DC/DC converter for proton exchange membrane electrolyzer applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(14), 7059-7072.
- Guilbert, D., & **Vitale, G.** (2019). Dynamic Emulation of a PEM Electrolyzer by Time Constant Based Exponential Model. *Energies*, 12(4), 750.