



Idrogeno sì, idrogeno no



Gennaio 2025

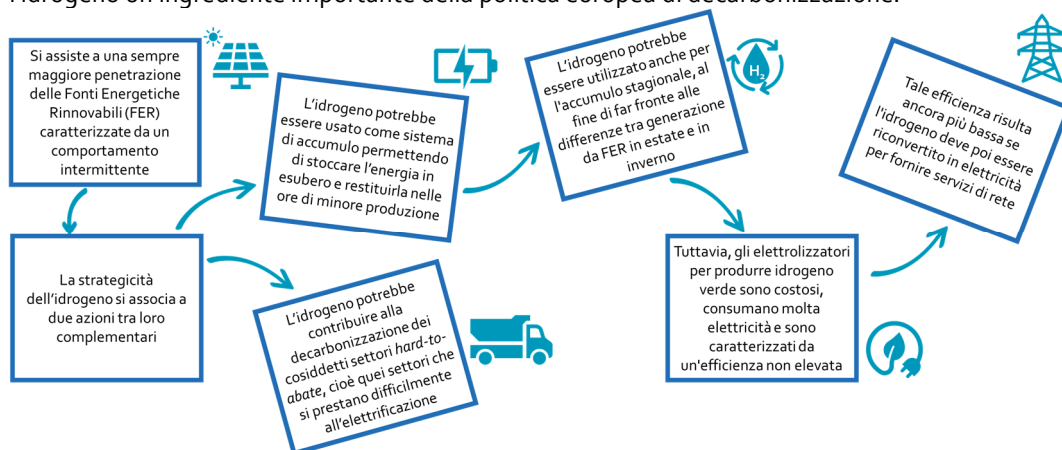
Di cosa si tratta

L'idrogeno è attualmente oggetto di un importante dibattito. La Commissione Europea considera l'idrogeno un ingrediente importante della politica europea di decarbonizzazione.

Per una discussione approfondita di tutte le tematiche relative all'idrogeno si rimanda il lettore al recente review paper degli stessi autori pubblicato per il journal **ENERGIES**



Review paper



Per queste e altre ragioni, i pro e i contro dell'utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico sono attualmente ancora dibattuti sia a livello sia tecnico, sia scientifico.

Nelle prossime pagine si vuole definire da un lato quali vantaggi l'idrogeno potrebbe fornire al sistema energetico in supporto alle attuali politiche di decarbonizzazione e dall'altro quali problematiche sussistano ancora per il suo utilizzo su grande scala che fanno sì che alcune questioni rimangano ancora aperte e, talora, oggetto di ricerca scientifica e tecnologica.

Verranno considerate prima le tecnologie di produzione dell'idrogeno (lato "offerta"), poi l'utilizzo dell'idrogeno da parte dell'industria e dei trasporti, infine potenzialità e problemi legati all'interfacciamento con la rete elettrica, inclusa la futura esigenza di creare un mercato liquido per la commodity idrogeno.

I colori del idrogeno

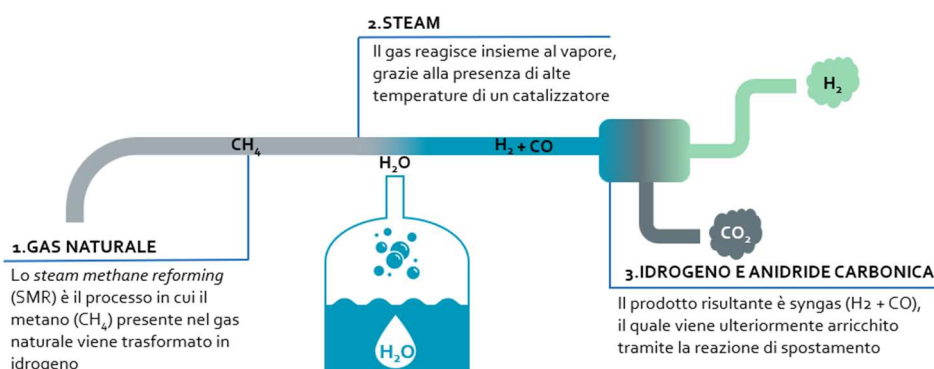


La produzione di idrogeno

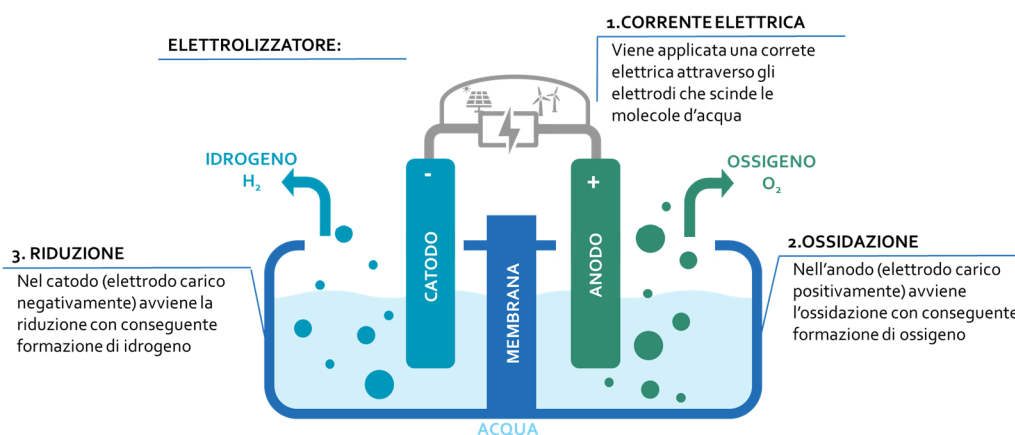
La produzione di idrogeno non è una novità assoluta, ci sono processi già ben sviluppati ed altamente commercializzati. Grazie agli sforzi nella ricerca e sviluppo nel settore, oggi possiamo contare almeno 30 tecnologie di produzione dell'idrogeno, di cui il 30% ad un livello di maturità elevato, ed un 20% meno maturo ma con promettenti rendimenti studiati. Vi sono quattro principali famiglie:

Processi Termici	Processi Elettrolitici
Ad esempio la gassificazione della biomassa, anche lignocellulosica per la possibilità di ottenere idrogeno dal trattamento termico (pirolisi + gassificazione + separazione) dello scarto delle filiere agricole/alimentari o dalla manutenzione di boschi e foreste in ottica d'economia circolare e valorizzazione dello scarto	Processi Sinergici Questi processi possono coinvolgere due o più processi e fenomeni (es. sono-fotolisi o elettro-fotolisi) che cooperano per la produzione di idrogeno con un effetto sinergico, raggiungendo rendimenti più elevati che nei rispettivi processi separati
Processi Biologici	

Nel comparto industriale oggi si produce principalmente idrogeno per *reforming* del metano (*steam-reforming*), un processo che permette di ottenere idrogeno coinvolgendo vapore ad alta temperatura, ma che produce e libera anidride carbonica nell'atmosfera.



Essendo questo processo non coerente con la necessità di decarbonizzare, un'altra tecnologia è diventata molto popolare: **quella che sfrutta l'elettrolisi attraverso dispositivi chiamati elettrolizzatori**.



Sono in commercio e in sviluppo diverse varianti di elettrolizzatori, anche operanti ad elevate temperature, con l'obiettivo di aumentare l'efficienza di conversione, ovvero produrre più idrogeno consumando meno elettricità. Infatti, un problema dell'applicazione dell'elettrolisi su larga scala per la produzione dell'idrogeno allo stato attuale è la forte dipendenza dal costo dell'energia elettrica che vincola il prezzo al kg di idrogeno prodotto (ad oggi molto).

I costi dell'idrogeno da elettrolisi, che è la tecnologia attualmente più matura per produrre idrogeno verde, sono attualmente attorno a 6-7 €/kg, notevolmente superiori rispetto a quelli (intorno a 2 €/kg) per la produzione da metano mediante *steam reforming* (che però genera CO_2). Questo fa sì che l'impiego su larga scala dell'idrogeno verde per applicazioni industriali sia fortemente dipendente da sussidi tali da coprire non solo i costi di capitale per investire nelle nuove tecnologie ma anche l'attuale gap sui costi operativi di produzione. Generalmente, in prospettiva si ritiene conveniente l'utilizzo dell'idrogeno solamente in quei settori dove l'elettrificazione del

processo risulta difficilmente implementabile (settori cosiddetti *hard-to-abate*). Tali settori includono importanti industrie energivore, quali acciaio, cemento e ceramica, ed il trasporto pesante.

Lo scenario di sviluppo tecnologico porta quindi a due possibilità nel futuro, che potranno verificarsi anche parallelamente:

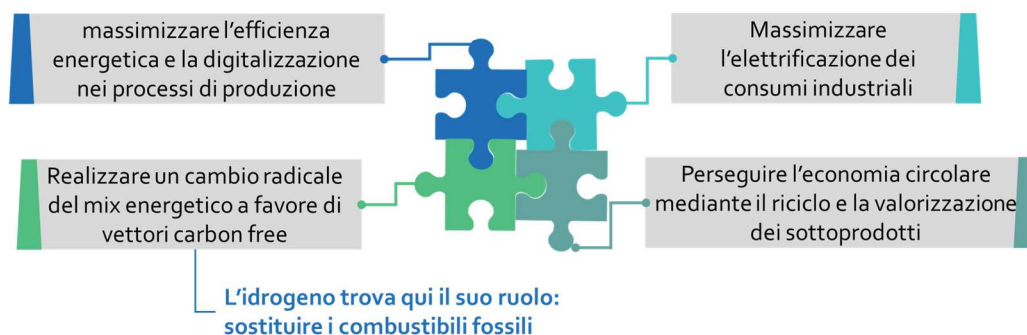
- l'idrogeno avrà chance maggiori di essere competitivo se prodotto con un approccio tecnologico più trasversale, evitando di dipendere da una sola tecnologia, da un solo processo e dalla relativa supply-chain, con il rischio di non risultare efficace a lungo termine;
- approfondendo i processi sinergici e permettendo la loro integrazione in tecnologie più mature, si potrà esplorare l'opportunità di aumentarne la loro efficienza, riducendo la richiesta d'energia a parità di idrogeno prodotto, con la conseguente riduzione del relativo costo (es. elettrolizzatori a efficienza più elevata, che consumano meno elettricità per produrre 1 kg di idrogeno).

Impieghi industriali

Il settore industriale è responsabile del 45% circa di emissioni totali di gas serra. Le emissioni più rilevanti derivano da



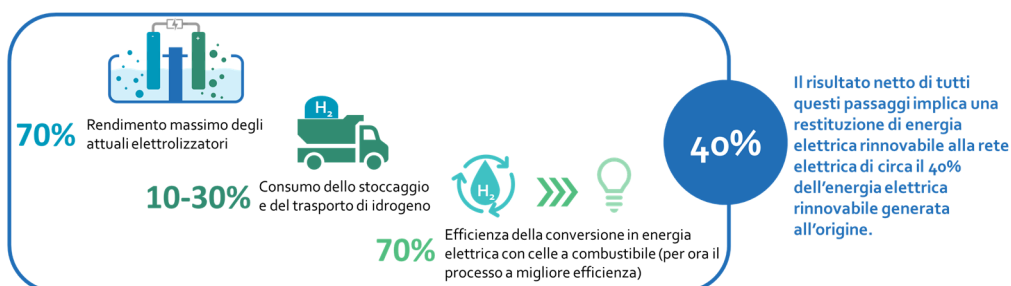
Una corretta ed efficace strategia di riduzione delle emissioni dovrebbe prevedere quattro azioni fondamentali:



Negli ultimi anni, in ambito scientifico, politico e industriale c'è stata una convergenza sugli indirizzi di utilizzo dell'idrogeno nell'industria che coprono diversi processi ad alte temperature e alcuni processi chimici. In particolare, come vettore energetico nei settori siderurgico, vetro e ceramica e come materia prima nel settore petrolchimico e chimico. In altri settori come le fonderie (ghisa e metalli non ferrosi), cemento e carta, si prevede un uso marginale, sia per le temperature dei processi, meno elevate, sia per le dimensioni minori delle apparecchiature, che consentiranno uno sviluppo dei processi verso l'elettificazione e l'uso di altri combustibili *low-carbon*.

Un aspetto critico ancora da superare è la necessità del settore industriale di avere un approvvigionamento costante e continuo di idrogeno per l'utilizzo nei processi di produzione. Le fonti energetiche rinnovabili sono notoriamente non programmabili per cui è necessario

provvedere ad un'infrastruttura che garantisca una produzione importante di idrogeno e lo stoccaggio di grandi quantità. Infatti, l'insicurezza sulla copertura della domanda elettrica dovuta al comportamento intermittente delle fonti rinnovabili non programmabili implica la necessità di integrare con forme di accumulo che permettano lo stoccaggio di grandi quantità di energia. L'idrogeno, pur adatto a questo tipo di impiego, sconta la non elevata efficienza energetica dei processi di conversione (da elettrico ad idrogeno e viceversa): la sostituzione dei combustibili fossili (principalmente gas naturale) con idrogeno verde rappresenta, da un punto di vista energetico, un grande spreco di energia rinnovabile:



Settore dei trasporti

Le prospettive di utilizzo futuro dell'idrogeno nei principali settori di mobilità sono le seguenti.



Trasporto leggero

L'utilizzo dell'idrogeno nei motori a combustione interna di fatto **non ha prospettive a causa dei rendimenti molto ridotti**. La tecnologia alternativa è quella delle celle a combustibile che, pur essendo più matura, **non è comunque in grado di garantire un livello di efficienza sufficiente** per giustificare un'applicazione su larga scala nei veicoli leggeri, a vantaggio della soluzione elettrica a batteria.



Trasporto pesante su strada

In questo settore, nonostante le già menzionate incerte prospettive tecnologiche, l'idrogeno è comunque considerato una **soluzione possibile**, considerando le maggiori autonomie connesse a questo tipo di alimentazione rispetto all'elettrico, a condizione però che si assista ad una diffusione capillare delle stazioni di rifornimento, come pianificato per i prossimi anni. Da considerare, tuttavia, che le autonomie dei mezzi pesanti a batteria sono previste in significativa crescita e, pertanto, si prevede che lo spazio per i mezzi a *fuel cell* verrà progressivamente eroso.



Trasporto pubblico su gomma

Tale settore vedrà una progressiva sostituzione della flotta esistente a livello nazionale, e nei prossimi anni è possibile attendersi una **espansione dell'utilizzo dell'idrogeno**, soprattutto in prossimità dei distretti locali di produzione, distribuzione e utilizzo dell'idrogeno stesso (*hydrogen valleys*). Infatti, in questi luoghi saranno disponibili grandi quantità di idrogeno utilizzabili, prevedibilmente, a costi più competitivi di quelli attuali, fattore non trascurabile al momento. Tuttavia, la soluzione futura prevalente e già attualmente ampiamente utilizzata nel trasporto pubblico locale, specie in ambito urbano, è quella a batteria, C'è da aspettarsi pertanto un impiego più significativo del vettore idrogeno per le tratte extraurbane, in relazione alle maggiori autonomie che i mezzi così alimentati sono in grado di garantire.



Oltre alla diffusione di treni “nativi” a idrogeno, mobilità attualmente limitata principalmente a causa dei **costi molto elevati** di tali mezzi, si possono citare alcune interessanti esperienze di retrofitting di locomotive diesel, con costi del 30-50% inferiori rispetto all'acquisto di un equivalente nuovo materiale rotabile. Anche in questo caso si segnala tuttavia una iniziale diffusione, per il momento per tratte inferiori agli 80 – 100 km, di treni a batteria, in competizione con quelli a idrogeno.



Vi sono **problemi legati alla sicurezza e alla densità energetica** del vettore idrogeno. La densità energetica dell'idrogeno è inferiore rispetto a quella dei combustibili convenzionali. Pertanto, è necessario riservare molto spazio a bordo delle navi per lo stoccaggio dell'idrogeno, salvo utilizzare soluzioni onerose e complesse per ridurre il volume, come la liquefazione a bassa temperatura, la compressione ad alta pressione o l'utilizzo di derivati quali ammoniaca o metanolo. A ciò si aggiungono problematiche di sicurezza legate al pericolo di detonazione, in un quadro legislativo ancora non pienamente rispondente sul tema.



L'impiego dell'idrogeno appare attualmente ancora **troppo incerto e non sufficientemente maturo**, soprattutto per quanto riguarda la costituzione di una catena di approvvigionamento efficiente, per trarre considerazioni precise e definitive al riguardo, per cui si potrà stilare un quadro più nitido solo nei prossimi anni. I vincoli comunitari in termini di utilizzo dei SAF (Sustainable Aviation Fuels), tra i quali carburanti sintetici a base di idrogeno, fanno in ogni caso prospettare un utilizzo futuro dell'idrogeno, se non significativamente in forma pura, almeno in composizione.

Idrogeno a supporto della rete elettrica



In futuro, l'implementazione di infrastrutture per l'accumulo dell'idrogeno potrebbe rivelarsi una importante opportunità, a vantaggio sia dell'industria, sia del sistema elettrico.

1. La disponibilità di un accumulo di idrogeno potrebbe permettere di incrementare la flessibilità dei processi di lavorazione e superare eventuali problemi legati ad un'eventuale fornitura di idrogeno insufficiente o intermittente
2. L'accumulo di idrogeno potrebbe essere utilizzato come fonte di flessibilità per il sistema elettrico
3. L'idrogeno (assieme all'idroelettrico ed alle “flow batteries”) è una delle poche tecnologie attualmente mature che possono implementare un accumulo di tipo stagionale, compensando la differenza tra estate e inverno della producibilità media da generazione rinnovabile.

Come mostrato da uno studio di Frontier Economics ed ENTSO-E, l'Europa dispone di un significativo potenziale di strutture geologiche saline, concentrate soprattutto nel nord-Europa (si parla di un potenziale di accumulo di 85.000 TWh, ben superiore alla produzione di idrogeno che potrebbe essere richiesta a compensazione della sovrapproduzione della generazione rinnovabile). Tuttavia, ci sono relativamente pochi siti disponibili nel sud-Europa, laddove si trova gran parte del potenziale da fotovoltaico.

DENSITÀ BASSA

Inoltre, l'idrogeno, pur caratterizzato da un potere calorifico inferiore più elevato rispetto a metano e petrolio (120 MJ/kg), ha una densità molto bassa in condizioni atmosferiche (circa 0,089 kg/m³), e quindi richiede volumi molto più elevati rispetto ai combustibili tradizionali. Per questa ragione,

l'idrogeno viene di solito compresso, liquefatto o trasformato in altri vettori energetici quali l'ammoniaca (tuttavia la conversione è a bassa efficienza – 29% per l'ammoniaca).

EFFICIENZA RIDOTTA

Ulteriore questione che potrebbe potenzialmente limitare l'uso dell'accumulo ad idrogeno è il fatto che gli elettrolizzatori, come visto precedentemente, sono caratterizzati da un'efficienza relativamente ridotta (60-70%). Tuttavia, la perdita del 30% di energia elettrica rinnovabile nel processo di conversione in idrogeno è parzialmente compensata dal vantaggio di poter accumulare l'energia sotto forma chimica per tempi lunghissimi, permettendo anche uno stoccaggio di tipo stagionale.

Altre tecnologie come le celle elettrolitiche a ossidi solidi sembrano promettenti per il futuro e sarebbero caratterizzate da efficienza ben superiore (80-85%) ma hanno allo stato attuale ancora problemi da superare per diventare adatte per una produzione industriale. Ancora peggiori sono i rendimenti attuali delle celle a combustibile utilizzate per produrre elettricità a partire dall'idrogeno (45-60%).

RETI DEDICATE AL TRASPORTO

Poiché gli elettrolizzatori consumano molta elettricità è evidente che un incremento significativo della produzione di idrogeno verde da elettrolisi potrebbe comportare costi elevati per il rinforzo delle reti elettriche a cui gli elettrolizzatori saranno collegati. In generale, si pone il problema se sia meglio produrre idrogeno nei siti industriali laddove questo è richiesto (*brown fields*), potenziando eventualmente la rete elettrica laddove necessario, oppure produrlo laddove ci siano grandi infrastrutture per la produzione elettrica da fonte rinnovabile e poi da qui trasportarlo verso gli impianti che ne fanno uso tramite infrastrutture dedicate. Questo renderebbe necessario realizzare grandi reti dedicate al trasporto di idrogeno o riadattare parte degli attuali gasdotti all'utilizzo con idrogeno. Ciò è senz'altro molto conveniente economicamente, ma sconta alcuni problemi tecnici, come evidenziato dall'Agenzia per la Cooperazione degli Energy Regulators europei (ACER) nel rapporto "*Transporting Pure Hydrogen by Repurposing Existing Gas Infrastructure: Overview of existing studies and reflections on the conditions for repurposing*". Tra i maggiori problemi tecnici per la riconversione gas-idrogeno, si cita la maggiore degradazione dell'acciaio dei tubi causata dall'idrogeno, oltre alla necessità di aumentare di circa tre volte la potenza delle stazioni di compressione, rispetto alla potenza richiesta dal gas naturale.



Rapporto ACER

ITALIA COME HUB DI IMPORTAZIONE

La posizione geografica dell'Italia nel Mediterraneo potrebbe suggerire un ruolo di questa come "hub" di importazione di idrogeno da Paesi terzi, ad esempio dall'Africa del nord, dove esistono forti potenziali di produzione da fotovoltaico. In tal senso, SNAM ha recentemente stipulato un accordo con i *Transmission System Operators* delle rispettive reti gas austriache e tedesche per la costruzione di un *South Corridor* per l'importazione di idrogeno dalle coste nord-africane.



Accordo SNAM

IDROGENO COME COMMODITY

Bisogna inoltre considerare che una futura produzione su larga scala dell'idrogeno lo renderà esso stesso una *commodity*, con necessità di creare un mercato dedicato. Vista la forte interazione tra sistema elettrico e idrogeno, l'architettura di un futuro mercato per quest'ultimo dovrà essere pensata tenendo conto delle presenti architetture del mercato elettrico, in modo tale da non creare opportunità di "*gaming*" per produttori dotati di potenziale potere di mercato e magari attivi su entrambe le *commodities*.

Appunti a cura di:



Piergiovanni Domenighini, Gianluigi Migliavacca, Claudio Zagano, Claudio Carlini

Piergiovanni dopo la Laurea in Ingegneria Edile ha conseguito il Dottorato in Energia e Sviluppo Sostenibile.

Gianluigi è stato coordinatore di tre progetti europei sulle smart grids e attualmente coordina in RSE le attività sul "multi-energy".

Claudio Zagano è laureato in fisica e in RSE è capo progetto della Ricerca Idrogeno finanziata dal PNRR.

Claudio Carlini riceve la laurea in Ingegneria Elettrica presso l'Università di Pavia nel 2009. Entra a far parte di RSE nel 2010.



appuntidienergia@rse-web.it