

“Arcobaleno Idrogeno”

Fonte “non” rinnovabile fondamentale per la transizione energetica?

L'elemento Idrogeno

L'idrogeno è il primo elemento della tavola periodica: il più semplice, il più leggero e il più abbondante nell'universo. Allo stato libero (pressione atmosferica e temperatura ambiente) si trova sotto forma di gas biatomico (H_2), incolore, inodore, insapore e altamente infiammabile. Sulla Terra è scarsamente presente allo stato libero e molecolare e quindi, per poterlo utilizzare¹, deve essere prodotto mediante differenti processi.

L'idrogeno forma composti con la maggior parte degli elementi, spesso anche per sintesi diretta. Allo stato legato è presente nell'acqua (11,19%) e in tutti i composti organici (idrocarburi), nei composti inorganici (ammoniaca) e negli organismi viventi. Inoltre, è occluso in alcune rocce (ad es. il granito).

Il nostro pianeta è coperto di acqua per nove decimi, ma la molecola dell'acqua è una delle più stabili in natura per cui, per scinderla in ossigeno ed idrogeno, occorre una quantità di energia superiore a quella che si otterrebbe ricomponendo i due elementi nella combustione. Il metodo che consentirebbe di estrarre idrogeno dall'acqua in quantitativi e a costi competitivi con quelli dei derivati del petrolio vede l'impiego delle centrali elettro-nucleari.

In natura è il principale costituente delle stelle, dove è presente nello stato di plasma, mentre nelle attività antropiche è usato nell'industria chimica - che se ne serve come reagente - e come combustibile, soprattutto nelle reazioni termonucleari.

1

L'Idrogeno come carburante

Nel campo della mobilità umana, l'idrogeno non ha mai conosciuto un impiego massiccio; utilizzato per riempire gli involucri dei grandi dirigibili, agli inizi dell'800, è stato “abbandonato” dopo il [tragico incidente del LZ 129 Hindenburg](#) [1] nel 1937.

Cominciò ad essere utilizzato nuovamente con l'avvento delle esplorazioni spaziali, poiché avendo il più elevato impulso specifico risulta essere il miglior carburante per i motori a razzo.

Per quanto riguarda l'industria automobilistica, la tecnologia che coinvolge l'utilizzo dell'idrogeno ha raggiunto un buon livello di efficienza e di compatibilità con le esigenze dell'auto, implementando la “fuel cell²”, della quale ne esistono di vari tipi e che arriva a un rendimento anche superiore a 80% quando è alimentata con idrogeno.

L'ostacolo all'utilizzo di questa tecnologia risiede nell'attuale necessità di realizzare fuel cell sempre più compatte e leggere, che consentano di raggiungere livelli di efficienza ancora superiori nell'ottimizzazione di ogni singolo componente (materiale, architettura e processo di gestione). Inoltre, in Italia non disponiamo di alcuna fonte di idrogeno in abbondanza e a prezzo competitivo rispetto a quello dei carburanti a base petrolifera.

¹ nella produzione di ammoniaca, nell'idrogenazione degli oli vegetali, in aeronautica (in passato nei dirigibili), come combustibile alternativo e più di recente come riserva di energia nelle pile a combustibile, sia nelle reazioni chimiche, sia in quelle nucleari.

²o “pila a combustibile”: un dispositivo in cui l'ossidazione fredda dell'idrogeno genera un intenso flusso di corrente elettrica in grado di alimentare sistemi di propulsione elettrica anche di elevate prestazioni; quelle che interessano le automobili sono quelle “a membrana polimerica di scambio”. Si sono sperimentate anche fuel cell alimentate con etanolo e altri idrocarburi, ma in questo caso sarebbe necessario ricorrere ad un convertitore che ne estragga l'idrogeno, dando vita ad un apparato più complesso, il cui rendimento registra valori molto al di sotto delle aspettative.

L'idrogeno e la transizione energetica

Nazioni Unite ed OCSE, tramite i propri organi ed enti scientifici – rispettivamente IPCC (specializzato in studi sui cambiamenti climatici) e IEA (dedicato all'energia) - includono l'idrogeno negli scenari per un futuro a basse emissioni, anche se l'utilizzo attuale dell'idrogeno è ancora limitato.

L'assioma che motiva la posizione di buona parte della comunità scientifica risiede nel fatto che la molecola di idrogeno, a contatto con l'ossigeno, produce energia, generando come unico prodotto di scarto l'acqua e non il diossido di carbonio (CO₂), principale responsabile del riscaldamento globale e dell'impronta carbonica, o altri inquinanti tipici della combustione dei combustibili fossili e prodotti derivati.

La produzione dell'idrogeno richiede energia: per questo non è considerato una fonte energetica, ma un vettore energetico (come l'elettricità) che immagazzina e fornisce energia in una forma utilizzabile. Di fatto, l'idrogeno permette di accumulare e poi usare energia prodotta con altre fonti e impiegata per la sua produzione. Da qui i limiti di questa tecnologia: l'idrogeno deve quindi essere prodotto (tramite processi termici, elettrolitici o fotolitici, di cui lo Steam Methane Reforming è il più comunemente usato) di solito scindendo l'idrogeno da altri elementi con cui si trova legato, consumando a sua volta energia e con un costo associato.

Il bilancio tra le emissioni di CO₂ nella sua produzione e i costi complessivi per la sua generazione, trasporto e stoccaggio è alla base dell'intero ruolo dell'idrogeno nella transizione energetica.

Di seguito sono sintetizzati i principali processi di produzione dell'idrogeno, tuttavia, se l'idrogeno deve essere usato come carburante a zero gas serra per il trasporto - garantendo la neutralità climatica - deve essere prodotto usando esclusivamente elettricità rinnovabile (idrogeno verde).

I 7 + 2 colori dell'idrogeno

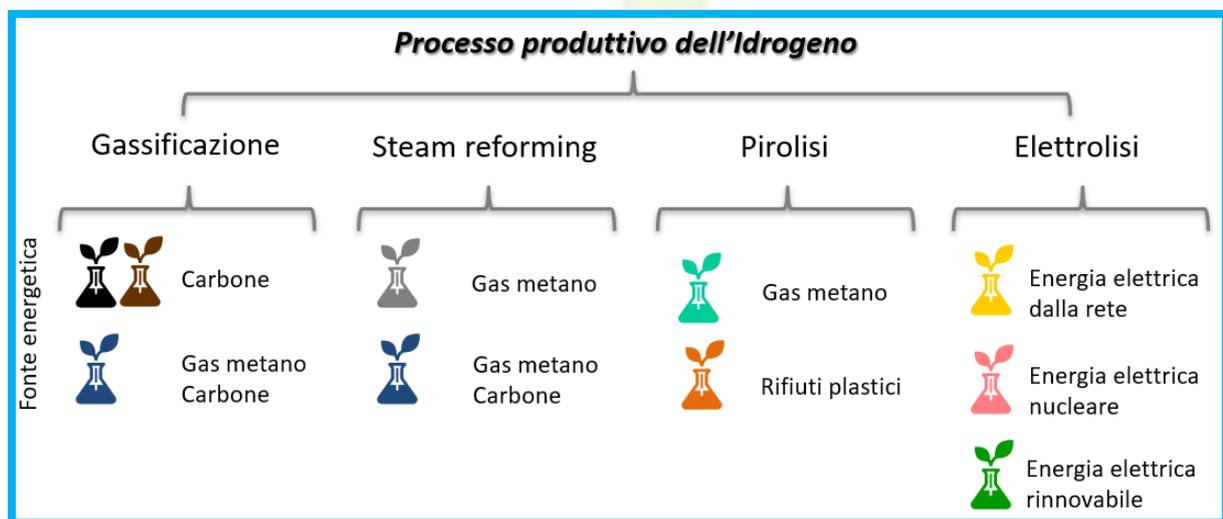


Fig. 1 Processi produttivi dell'idrogeno vs fonte energetica. Immagine elaborata da Servizi CSR della CCIAA di Treviso - Belluno

In base al tipo di processo produttivo e alla fonte energetica impiegata il Victoria Hydrogen Hub (VH2) dell'australiana Swinburne University of Technology ha attribuito all'idrogeno sette differenti colori. Tanti quanti quelli che compongono l'arcobaleno (Fig. 1):

Idrogeno nero/marrone: prodotto tramite gassificazione del carbone; il processo nel corso degli anni è stato affinato nell'industria chimica e dei fertilizzanti per la produzione di ammoniaca. Il colore nero o

marrone si riferisce tendenzialmente al tipo di carbone: bituminoso (nero) e lignite; generando elevate emissioni di CO₂ (18-20 tCO₂ /tH₂) è il processo di produzione più dannoso per l'ambiente, inoltre, aggiungendo un passaggio alla semplice combustione della risorsa fossile è anche meno efficiente.

Idrogeno grigio: creato nelle raffinerie tramite steam reforming del gas naturale (SMR), senza la cattura dei gas serra prodotti nel processo. Il vapore acqueo viene miscelato con il gas naturale agendo come ossidante del metano in una reazione endotermica, producendo idrogeno e CO. Quest'ultimo verrà successivamente convertito in CO₂ e H₂ mediante un processo di Water Gas Shift (WGS). Genera elevate emissioni di CO₂, tra le 10 e le 19 tCO₂ /tH₂) e costa tra gli 0,7 e gli 1,1 €/kg. Attualmente più del 95% dell'idrogeno consumato nel mondo è idrogeno grigio. L'idrogeno così prodotto è utilizzato principalmente per raffinare il petrolio greggio e migliorare il greggio più pesante. È possibile individuare altri due processi:

- Partial Oxidation: l'ossigeno viene utilizzato come ossidante in una miscela con il combustibile; questo processo viene utilizzato per estrarre idrogeno dal petrolio grezzo e dal carbone. Anche in questo caso si utilizza in cascata un processo di Water Gas Shift;
- Autothermal Reforming (ATR): una combinazione dei due processi precedenti.

Idrogeno blu: viene ottenuto come l'idrogeno grigio, tramite lo steam reforming del gas naturale o di gassificazione del carbone, ma con una parziale cattura, trasporto e stoccaggio del carbonio (CCS). È caratterizzato da un'intensità carbonica assai inferiore all'idrogeno grigio, con stime che variano da 1 a 4 tCO₂/tH₂. Sebbene l'uso di CCS aumenti i costi, l'idrogeno blu resta allo stato attuale la più economica alternativa "pulita" all'idrogeno grigio; i costi di produzione dell'idrogeno blu si attestano tra gli 1,1 e gli 1,6 €/kg.

Idrogeno rosa/viola/rosso: generato tramite elettrolisi, utilizzando l'energia nucleare che, secondo l'attuale legislazione europea, non è considerata rinnovabile perché i reattori sono alimentati dall'uranio, un elemento chimico metallico che subisce la fissione nucleare e si trasforma in scorie radioattive, stoccate sottoterra ma potenzialmente pericolose per migliaia di anni. Le centrali nucleari, tuttavia, rilasciano nell'atmosfera vapore acqueo e non CO₂ e per questo risultano meno inquinanti di quelle a gas e a carbone. **Idrogeno viola:** prodotto da elettrolisi dell'acqua usando sia l'energia nucleare sia il calore. **Idrogeno rosso:** prodotto da scissione catalitica dell'acqua ad alte temperature utilizzando il calore e il vapore prodotto da centrali nucleari. Questo processo richiede molta meno elettricità dell'elettrolisi tradizionale 10 tCO₂/tH₂ dal gas naturale, 12 tCO₂/tH₂ da composti petroliferi, e 19 tCO₂/tH₂ dal carbone.

Idrogeno verde: ottenuto tramite l'elettrolisi dell'acqua, utilizzando elettricità pulita da fonti rinnovabili come, l'eolico o il solare, in eccesso. È prodotto senza alcuna emissione di CO₂ o altri gas serra e ha un bassissimo impatto ambientale. Attualmente i costi produttivi dell'idrogeno verde sono assai più elevati di quelli dell'idrogeno grigio, con stime che variano da 2,3 a 4,1 €/kg. Rappresenta meno dello 0,1% della produzione globale di idrogeno e, al momento, è l'unica tecnologia presente sul mercato in grado di rispettare appieno i limiti di emissioni imposte dalla Direttiva Europea RED II del 2021.

La terminologia "Idrogeno verde" può in realtà avere differenti accezioni. Un particolare sottoinsieme dell'idrogeno rinnovabile è quello che viene denotato come bioidrogeno o idrogeno biogenico, ovvero sia l'idrogeno rinnovabile di origine biologica, ottenuto dalle bioenergie attraverso vari processi di sintesi: processi biologici, termochimici, bioelettrochimici (fonte: EBA); in altri ambiti il termine è usato più estensivamente, anche includendo l'idrogeno ottenuto per elettrolisi dell'acqua alimentata con elettricità prodotta da bioenergie (es. consultazione regolamentazione degli incentivi tariffari alla produzione di combustibili gassosi da fonti rinnovabili di cui all' art. 11, comma 2 D.Lgs. 8 novembre 2021, n. 199).



Idrogeno giallo: prodotto tramite l'elettrolisi dell'acqua con elettricità della rete derivata da fonti miste (ad es. l'energia solare che non genera emissioni di CO₂) comprese le fossili. L'idrogeno giallo potrebbe diventare la forma più economica di idrogeno rinnovabile nel medio termine, con proiezioni attuali di costi intorno ai 2,3 €/kg.

Idrogeno turchese: prodotto dal gas naturale attraverso la pirolisi del metano, che prevede di riscaldare il gas in assenza di ossigeno per rompere termicamente i legami chimici e ottenere idrogeno e carbonio solido. Il processo non produce emissioni dirette di CO₂ ma considerando l'intero ciclo di vita è legato a significativi livelli di gas serra. Al momento, l'idrogeno turchese si trova ancora nelle prime fasi di sviluppo.

A questi si aggiungono:

- **Idrogeno bianco:** è un idrogeno geologico naturalmente presente in depositi sotterranei e creato attraverso la frantumazione. Attualmente non esistono strategie per sfruttare questo idrogeno.
- **Idrogeno arancione:** utilizza i rifiuti plastici come materia prima; potrebbe offrire una soluzione sia a problemi energetici sia alle questioni legate allo smaltimento dei rifiuti plastici. Come l'idrogeno turchese, anche quello arancione si trova ancora nei primi stadi di sviluppo, con diverse tecnologie e metodi produttivi in fase di valutazione (pirolisi, catalizzazione a microonde, foto-reforming).

La produzione di idrogeno, come prodotto primario, è di circa 70 Mton, mentre altre 48 Mton di idrogeno sono ottenute come prodotto secondario (by-product) di alcuni processi nell'industria chimica e nelle raffinerie.

La produzione diretta deriva quasi interamente da fonti fossili (99,3%): in particolare, oltre il 70% si riferisce a idrogeno grigio prodotto in larga parte nel processo di Steam Methane Reforming, il 28% si riferisce a idrogeno marrone, prodotto dalla gassificazione del carbone. La restante quota si suddivide tra idrogeno blu (0,6%) e idrogeno green (0,1%).

4

Idrogeno in Italia e incentivi per la sua produzione

L'idrogeno occupa una posizione di rilievo per contribuire agli obiettivi nazionali ambientali e a una produzione più sicura e affidabile di energia per diversi usi: trasporto pesante, il riscaldamento, la decarbonizzazione di alcuni processi industriali.

L'idrogeno è una delle soluzioni fondamentali per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione, delineate nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) che devono portarci al "Net Zero" nel 2050; oltre all'idrogeno, altre fonti che concorreranno al raggiungimento dell'obiettivo saranno:

- l'aumento della produzione da rinnovabili,
- lo sviluppo della "Carbon Capture Storage", di biofuel, biometano
- eventualmente la ripresa della produzione nucleare.

La Strategia Nazionale dell'Idrogeno, realizzata dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, prende in considerazione orizzonti temporali di breve, medio e lungo termine e differenti scenari da qui al 2050, per la diffusione dell'idrogeno rinnovabile e a bassa emissione carbonica.

La Strategia stima una "domanda nazionale" tra 6 e 12 Mtep con una corrispondente necessità di elettrolizzatori variabile da alcuni GW fino ad alcune decine di GW a seconda delle condizioni di contesto e chiarisce che solo con la combinazione delle 4 soluzioni sopra elencate consentirà all'Italia di soddisfare la domanda a fronte di fonti non programmabili e intermittenti, con la capacità di trasportare grandi quantità di energia su lunghe distanze e a costi competitivi.



Fino al 2030 l'evoluzione della domanda di idrogeno sarà guidata dagli obblighi europei della RED II nei settori dell'industria e dei trasporti.

Attraverso il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), l'Italia ha già intrapreso un percorso per avviare il mercato dell'idrogeno, tramite il finanziamento di primi progetti di produzione di idrogeno, che dovranno essere operativi entro il 2026. In questo orizzonte, la strategia nazionale dell'idrogeno punta ad implementare misure per facilitare la messa a terra di tali progetti, lavorando su schemi incentivanti:

- per abbattere il costo dell'idrogeno,
- per supportare la catena del valore fino all'utilizzatore finale,
- sulla normativa,
- sui percorsi autorizzativi ambientali,
- per la sicurezza.

In questa fase si svilupperanno inoltre ecosistemi di produzione e consumo concentrati in aree confinate (c.d. Hydrogen Valleys), in grado di creare sinergie tra settori diversi, dalla mobilità all'industria e si favorirà la pianificazione della produzione di idrogeno da vettori energetici rinnovabili come, ad esempio, ammoniaca e metanolo; ciò consentirà di rendere disponibili ulteriori quantitativi di Renewable Fuel of Non Biological Origin (RFNBO).

Volendo dare uno sguardo veloce agli obiettivi a medio e lungo termine, questo è quanto indicato nella Strategia Nazionale:

- **Medium Term (2030-2040):** scaling up e sviluppo del mercato. Questa fase sarà caratterizzata da un set di misure pensate per dar seguito alle iniziative guidate dagli obblighi europei e dal PNRR per far partire un vero mercato dell'idrogeno, anche attraverso lo sviluppo di soluzioni di grande taglia in grado di abbattere i costi di esercizio.
- **Long term (2040-2050):** centralizzazione, grandi quantità, infrastrutture. Il 2050 rappresenterà il punto di arrivo degli impegni Net Zero, con una penetrazione dell'idrogeno che potenzialmente potrà raggiungere circa il 18% dei consumi finali dell'industria Hard To Abate (HTA) e del 30% dei consumi finali nel settore dei trasporti. In quest'ultima fase l'idrogeno potrà assumere un ruolo anche in altri contesti prima meno considerati, come nel bilanciamento delle reti (P2G e P2P) e nello stoccaggio di lungo periodo.

5

Per sapere le misure agevolative disponibili a livello europeo, nazionale e regionale imprese ed aspiranti imprenditrici e imprenditori possono utilizzare il servizio gratuito "Portale Agevolazioni", accessibile dal seguente link: <https://www.tb.camcom.gov.it/content/15434/creo/Avvioimpresa/Portaleagevolazioni/>

Conclusioni: uno sguardo al futuro

Appare quasi certo che l'idrogeno verde avrà un'utilità per l'accumulo di energia e per i settori cosiddetti Hard To Abate, cioè i campi industriali difficili da decarbonizzare. Più scetticismo, invece, permane sulla mobilità di terra, come macchine, camion, treni. Per ora l'elettrico appare come un'alternativa migliore per gran parte degli studi e delle istituzioni che si occupano del tema.

La quasi totalità dell'idrogeno, il 99,9%, è usato come materia prima o reagente. Paradossalmente, un grande utilizzatore è l'industria petrolifera, che se ne serve nei processi di raffinazione del greggio. Tutti gli altri usi – quelli in teoria interessanti in termini ecologici, come carburante e accumulo di energia elettrica – sono appena lo 0,1% del totale.

Per quanto riguarda gli impianti che ricavano idrogeno dall'acqua, solo 12 dei 360 GW di progetti di investimento previsti per il 2030 sono stati approvati o si trovano in fase di costruzione. Attualmente la



produzione di idrogeno genera tante emissioni di CO₂ quanto il settore dell'aviazione (2-3% delle emissioni globali).

Treviso, 11 marzo 2025

A cura di Servizi CSR

Bibliografia

[1] Archivio Luce Cinecittà “La tragedia dello Zeppelin” - 15/06/2012; https://www.youtube.com/watch?v=OTyuTIE_Agw (il link è anche riportato nel testo);

“Il ruolo dell'idrogeno nel trasporto terrestre” - Aprile 2021; Un briefing di Transport & Environment e Legambiente. Autori Carlo Tritto, T&E e Andrea Poggio, Legambiente;

“Mobilità a idrogeno: tra nuovi treni, bus e impianti di rifornimento, la Lombardia guida le fila” – 07/12/2023; National Geographic

MISSIONE IDROGENO: a cura di Nicola De Blasio autori Nicola De Blasio, Fridolin Pflugmann, Henry Lee, Charles Hua, Alejandro Nuñez-Jimenez, Phoebe Fallon – 2021. Report realizzato con il patrocinio del Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale

“Molte emissioni, poche certezze: i numeri dell'idrogeno” di Lorenzo Tecleme – 24/01/2025

Sitografia

<https://valori.it/>

[Idrogeno: presentata la Strategia Nazionale, più scenari per la sua diffusione – 24/11/2024](https://www.mase.gov.it/sites/default/files/Strategia%20Nazionale%20Idrogeno.pdf) – Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica e <https://www.mase.gov.it/sites/default/files/Strategia%20Nazionale%20Idrogeno.pdf>

[“I ‘colori’ dell'idrogeno nella transizione energetica”](#) di Massimiliano Della Pietra, Stephen McPhail, Luca Turchetti, Giulia Monteleone

Wikipedia