

La tecnologia e l'uso dell'idrogeno

Centro di Ricerca CIVIS
Osservatorio Innovazione e Brevetti

30/11/2025

Il contributo CIVIS per la divulgazione sull'idrogeno permette di:

- **Sostenere** la **conoscenza** su un tema emergente come l'idrogeno, anticipando una possibile sfida chiave della transizione energetica.
- **Approfondire** un campo ancora poco finanziato in Italia, dove il rischio percepito spesso frena gli investimenti e la paura per la sicurezza non è basata su evidenze scientifiche.
- Possibilità di **collegare scienza, economia e gestione**.
- Formare nuove competenze utili per il futuro delle imprese e del territorio.
- Divulgare temi complessi in modo accessibile, creando **consapevolezza** e **cultura** dell'innovazione sostenibile.
- Investire sul **futuro** del territorio e sulle competenze delle persone in un territorio che potrebbe rappresentare un caso pilota.

Idrogeno - Agenda

- Introduzione (importanza dell'idrogeno)
- Classificazione dei diversi tipi di idrogeno
- La tecnologia dell'idrogeno
- La catena di produzione-utilizzo dell'idrogeno
- L'uso dell'idrogeno
- Studio di modelli replicabili: Hydrogen Valley
- Conclusioni

Introduzione

- L'idrogeno è l'elemento chimico più leggero e abbondante nell'universo e negli ultimi decenni risulta essere un tema di particolare interesse nel contesto della **decarbonizzazione**.
- Sulla Terra **non si trova puro in natura**, ma può essere prodotto da acqua, gas naturale o altre fonti.
- Una volta ottenuto, può essere usato come **vettore energetico**, cioè come mezzo per immagazzinare, trasportare e produrre energia.
- Quale vettore energetico può **immagazzinare** energia prodotta in eccesso da impianti a fonte rinnovabile e restituirla nel momento di utilizzo.

L'idrogeno sta assumendo un'ampia rilevanza negli ultimi anni:

- **Può essere una fonte di energia pulita**, in quanto se viene utilizzato in una cella a combustibile o in combustione-carburazione (esempio caldaie-motori endotermici), produce solo vapore acqueo come emissione, senza generare CO₂ e altri prodotti di scarto.
- Se prodotto da **fonti rinnovabili** (es. elettrolisi con energia solare o eolica), si parla di **idrogeno verde**, a **emissioni quasi zero**.
- Può essere fondamentale per la decarbonizzazione dei **settori “hard-to-abate”**, ad alta densità di energia da fonte fossile

Tuttavia, nel 2022, l'idrogeno rappresentava **meno del 2%** dei consumi energetici europei ed era prevalentemente prodotto da reforming di **gas naturale**, con conseguenti elevate emissioni di CO₂ e bilancio di energia complessivo non favorevole e migliorabile in efficienza di trasformazione.

Quadro normativo

L'UE ha sviluppato un **quadro integrato di policy**, normativo e operativo per promuovere lo sviluppo dell'idrogeno «pulito», sia a livello infrastrutturale che di mercato, con strumenti chiave per abilitare investimenti, garantire produzione sostenibile, e facilitare la domanda.

Area	Iniziativa chiave	Impatto
Quota energetica obiettivo	10 milioni t/a entro 2030; 10% entro 2050	Decarbonizzazione
Regolamentazione	Nuove direttive e standard Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RFNBO)	Certificazione e trasparenza
Finanziamento e governance	Clean Hydrogen Partnership, IPCEI Hydrogen	Innovazione e scala
Mercato e infrastruttura	Riforme di mercato, Hydrogen Bank	Efficienza e resilienza
Supporto domanda/offerta	Hydrogen Mechanism (piattaforma digitale)	Coordinamento sistema

Classificazione dei diversi tipi d'idrogeno

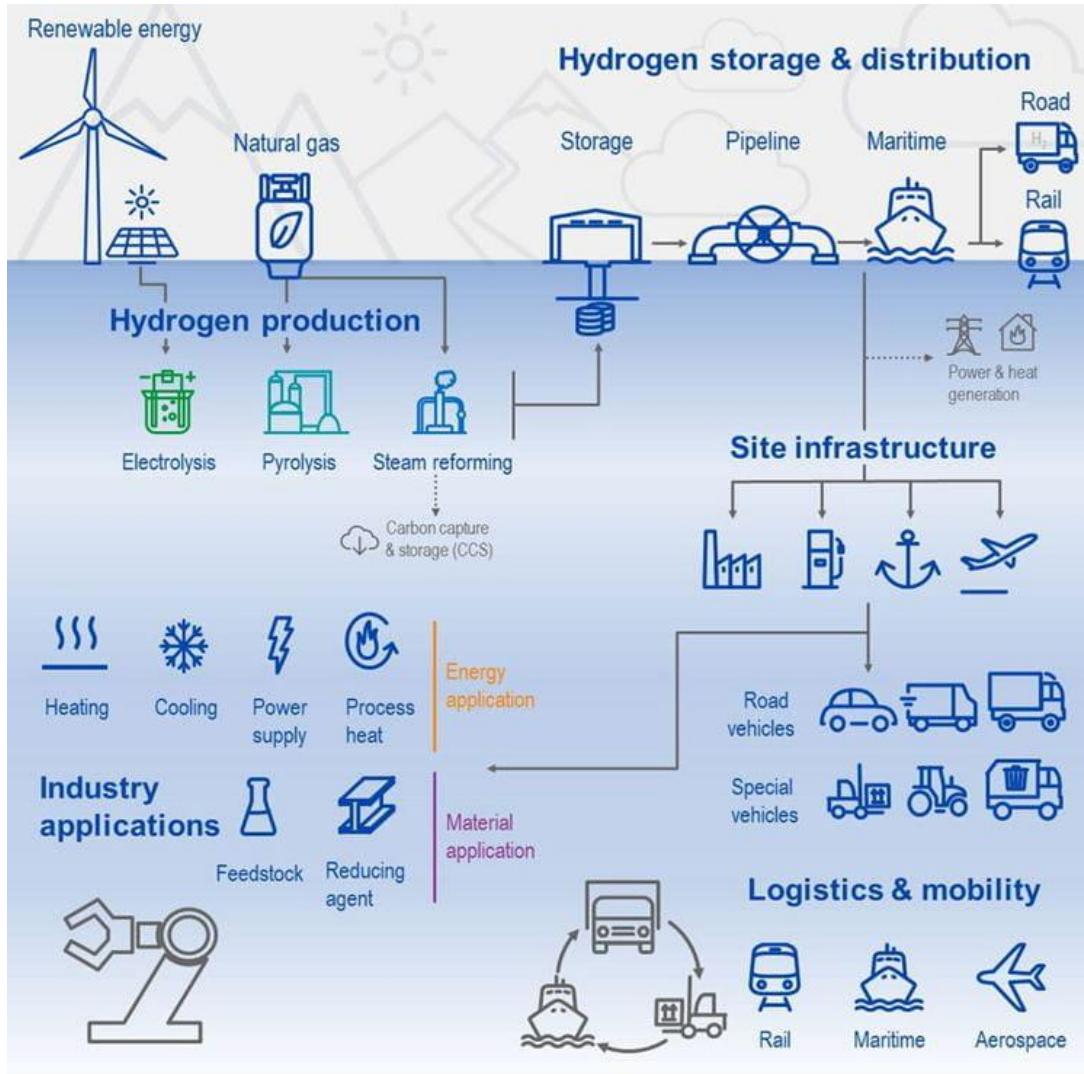
I colori dell'idrogeno

- L'idrogeno non ha un colore di per sé, essendo un gas incolore e inodore, ma i «colori» (grigio, blu, verde, ecc.)
- Spesso il termine idrogeno è usato genericamente: i «colori» servono a distinguere i diversi modi in cui viene prodotto.
- Ogni colore indica una diversa fonte energetica e un diverso impatto ambientale.
- Questa classificazione permette di capire la sostenibilità di ciascun tipo di idrogeno.

Colore	Fonte / Processo	Emissioni di CO ₂ (tCO ₂ /tH ₂)	Stato / Note
Nero	Gassificazione del carbone (carbone bituminoso)	~19	Alte emissioni; metodo tradizionale
Marrone	Gassificazione del carbone (lignite)	~19	Come il nero, cambia solo il tipo di carbone
Grigio	Combustibili fossili (soprattutto reforming del metano con vapore)	10-19	>95% della produzione mondiale; elevate emissioni
Blu	Reforming del metano con vapore + cattura e stoccaggio della CO ₂ (CCS)	1-4	Più pulito del grigio; opzione "pulita" più economica oggi
Verde	Elettrolisi alimentata da energie rinnovabili (solare, eolica)	~0	Opzione più pulita; <0,1% della produzione globale; ancora costosa
Giallo	Elettrolisi alimentata da energia solare	~0	Sottotipo del verde; potenziale leader di costo nel medio periodo
Rosa	Elettrolisi alimentata da energia nucleare	~0	Pulito ma non rinnovabile; evita problemi di intermittenza
Viola	Elettrolisi con elettricità e calore nucleare	~0	Variante del rosa; usa anche calore termico
Rosso	Scissione catalitica ad alta temperatura con calore e vapore da centrali nucleari	~0	Più efficiente dell'elettrolisi tradizionale
Turchese	Pirolisi del metano (produzione di carbonio solido)	Molto basse	In fase iniziale; promettente per idrogeno a basse emissioni
Arancione	Conversione di rifiuti plastici (pirolisi, catalisi a microonde, foto-riformazione)	TBD	In fase sperimentale; unisce energia e gestione dei rifiuti plastici
Bianco	Idrogeno naturale generato nella crosta terrestre (reazioni tra acqua e minerali ferrosi)	~0 (naturale)	Nessuna strategia di sfruttamento attiva; campo emergente

La catena di produzione-utilizzo dell'idrogeno

La catena di produzione-utilizzo dell'idrogeno



1. Produzione. L'idrogeno viene prodotto mediante diversi metodi che ne caratterizzeranno poi la tipologia – «colore»: l'elettrolisi dell'acqua (usando elettricità da fonti rinnovabili), il reforming del metano (con o senza cattura della CO₂), la pirolisi del gas naturale o la gassificazione di carbone o pirogassificazione di biomassa o di altra materia organica. Ogni metodo comporta un diverso impatto ambientale, bilanci di energia differenti ed efficienze di produzione diverse.

2. Stoccaggio. Una volta prodotto, l'idrogeno può essere immagazzinato in forma compressa, liquida o in serbatoi sotterranei. Il tipo di stoccaggio dipende dall'uso previsto e dalla distanza da coprire.

3. Distribuzione e trasporto. L'idrogeno viene trasportato verso i punti di utilizzo tramite condotte dedicate, autocisterne, container o navi, oppure può essere miscelato in piccole percentuali (inferiori al 30%) con il gas naturale nelle reti esistenti.

4. Utilizzo finale. L'idrogeno può essere impiegato in vari settori: nell'industria (per processi chimici o metallurgici), nei trasporti (tramite celle a combustibile per veicoli pesanti, treni o autobus), o per produrre energia e calore in edifici e centrali elettriche.

Le tecnologia dell'idrogeno

Evoluzione temporale della tecnologia



1960-1980 Ricerca e aerospazio

L'idrogeno viene impiegato per la propulsione dei razzi NASA. Le celle a combustibile nascono come tecnologia.



1990s Interesse industriale iniziale

Prime sperimentazioni di veicoli a idrogeno. Coinvolgimento di grandi aziende automobilistiche.



2000s R&D e prime policy

L'idrogeno entra nei piani energetici. Ricerca su produzione, stoccaggio e sicurezza.



2010s Spinta verde

L'idrogeno viene incluso nelle strategie climatiche. Nascono progetti su elettrolisi da rinnovabili.



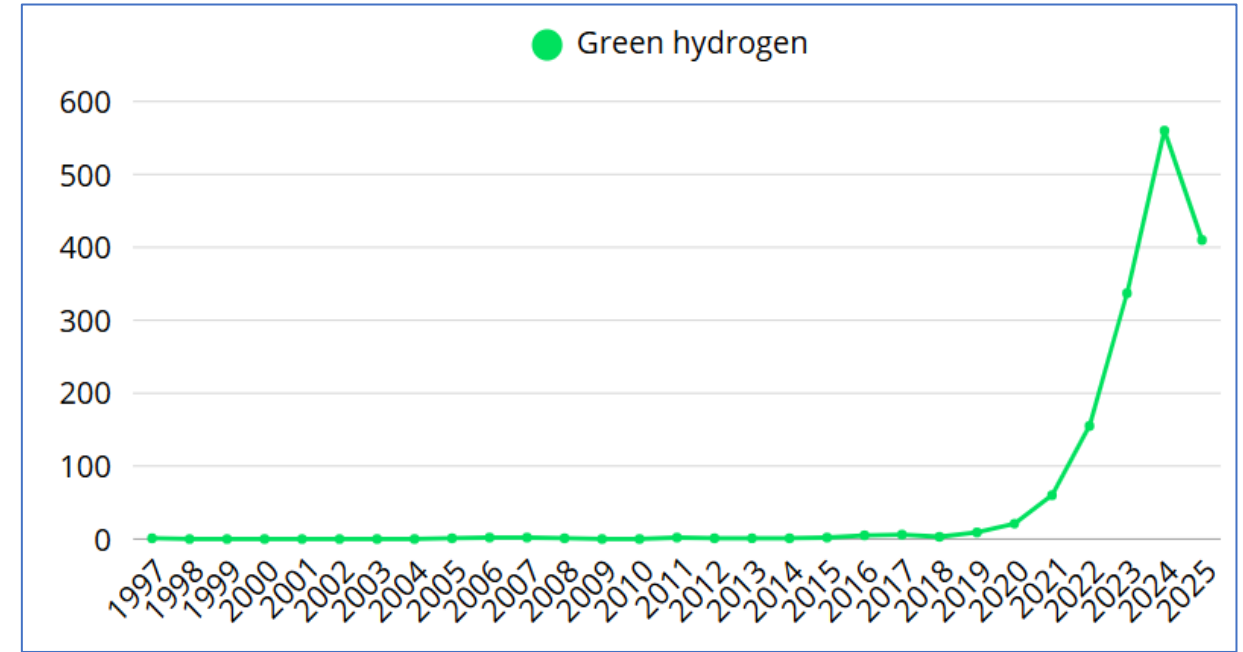
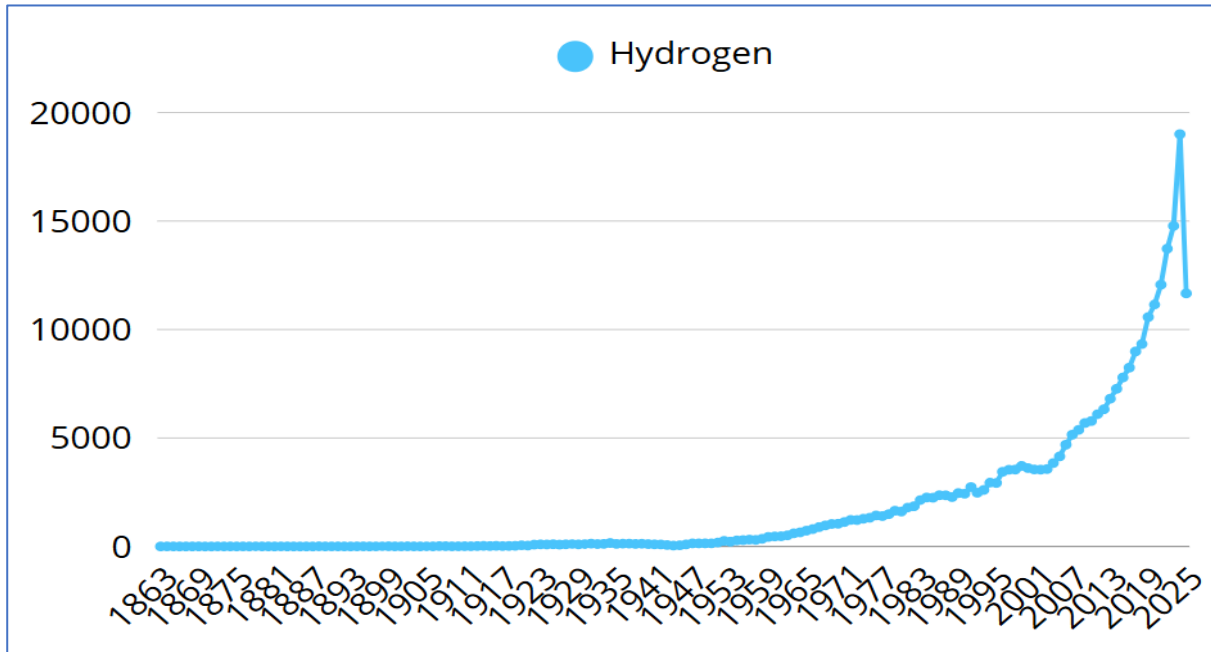
Futuro Scalabilità e integrazione

L'idrogeno è previsto come vettore centrale nella transizione energetica.

Le tecnologie dell'idrogeno comprendono soluzioni in rapida **evoluzione**, con un mercato globale in forte crescita e prospettive di lungo periodo. Queste tecnologie definiscono la catena del valore dell'idrogeno, integrando scienza, industria e sostenibilità. Includono:

- **Produzione** → elettrolizzatori, reforming, pirolisi, gassificazione
- **Stoccaggio e trasporto** → serbatoi, compressori, reti e condotte dedicate
- **Conversione in energia** → celle a combustibile, generatori, impianti ibridi

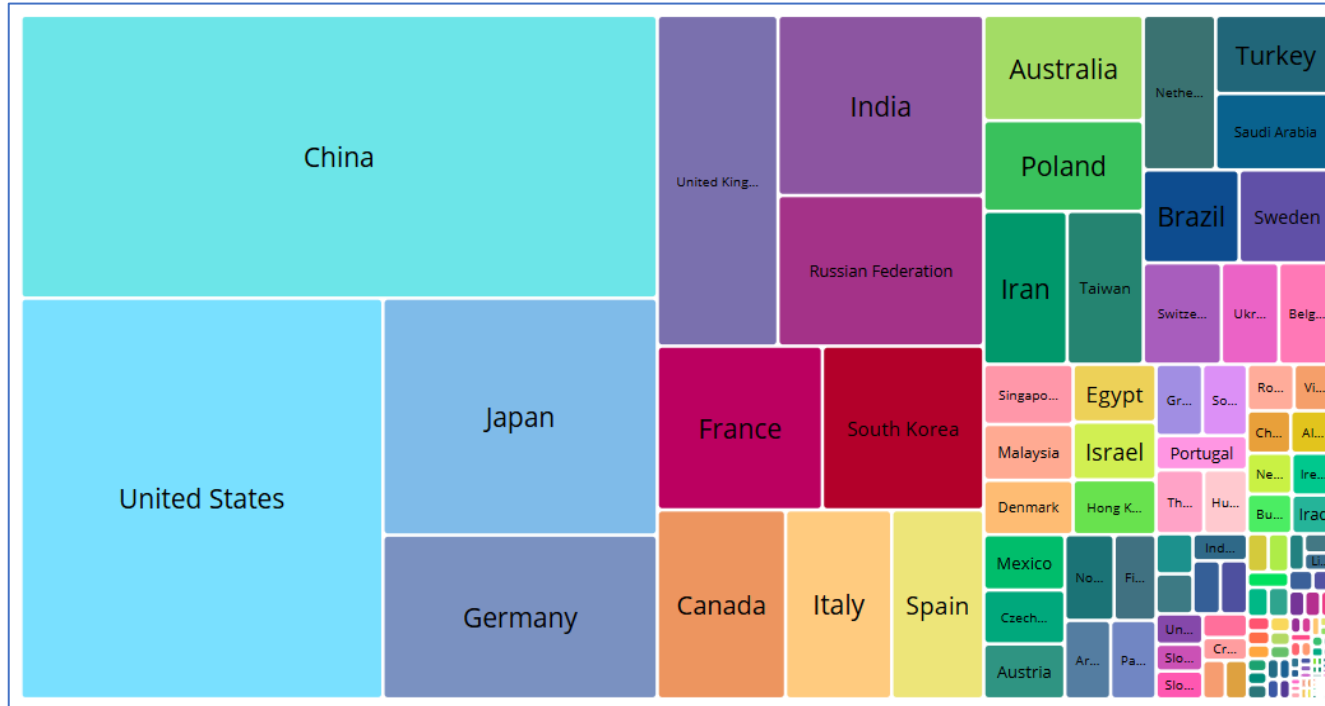
Trend al livello di pubblicazioni



Il grafico mostra come l'idrogeno sia stato a lungo un tema di ricerca di nicchia, con poche pubblicazioni tra la fine dell'800 e gli anni '70. Dagli anni '80 si osserva un progressivo aumento dell'interesse, legato alla ricerca di alternative ai combustibili fossili. Dopo il 2019, le pubblicazioni passano da 10.500 ad oltre 19.000 nel 2024, segno di una crescita marcata della ricerca, favorita dall'attenzione verso l'ambiente.

L'idrogeno verde emerge nel 2019 con 9 pubblicazioni, ma la crescita è rapida: si arriva a 560 pubblicazioni nel 2024. Questo conferma una crescente focalizzazione sull'idrogeno e, in particolare, sulla sua variante sostenibile, spinta da normative ambientali e maggiore consapevolezza pubblica.

Paesi di ricerca sulla tecnologia dell'idrogeno



Questa analisi evidenzia un paradosso italiano: a livello di produzione scientifica, emerge una ricerca diffusa con 7.760 pubblicazioni (contro una media di 2.140). Questo punto di forza si scontra però con una debolezza strutturale nel finanziamento strategico italiano, infatti l'Italia si trova al 76esimo posto su 160. Infatti, la classifica dei "funding sponsor" è dominata da colossi statali cinesi e americani, come:

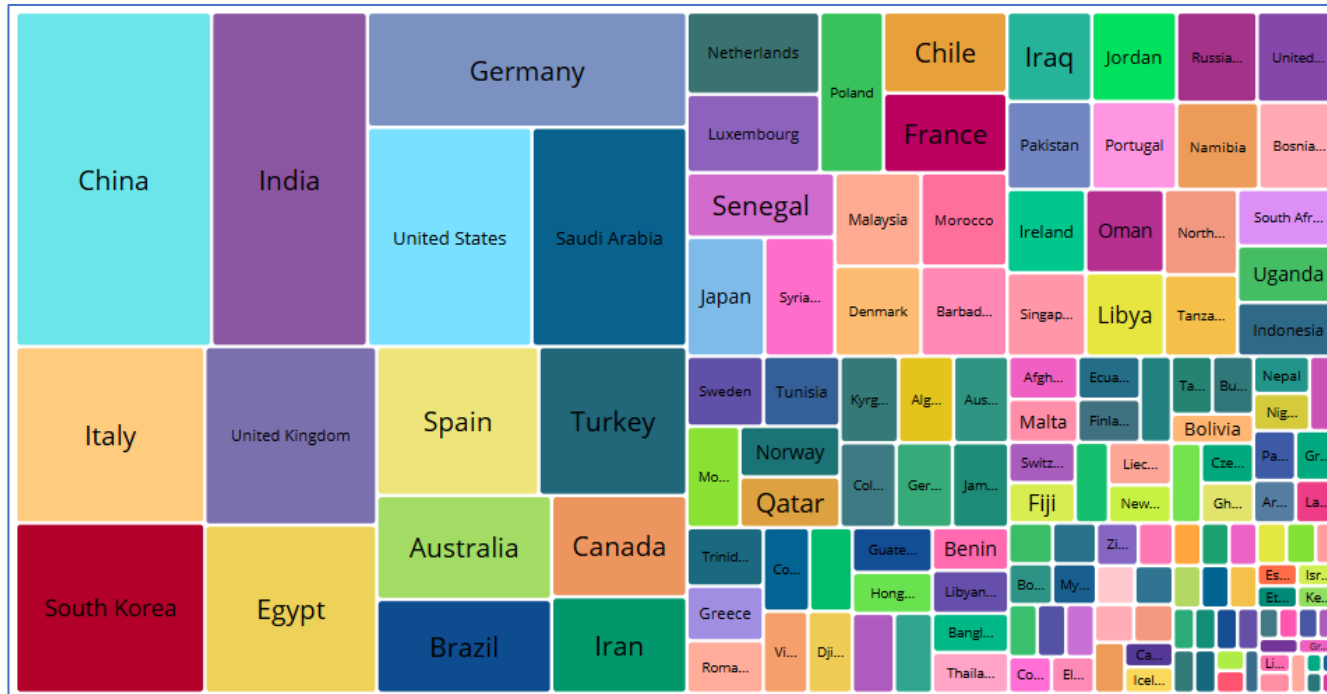
National Natural Science Foundation of China

National Key Research and Development Program of China

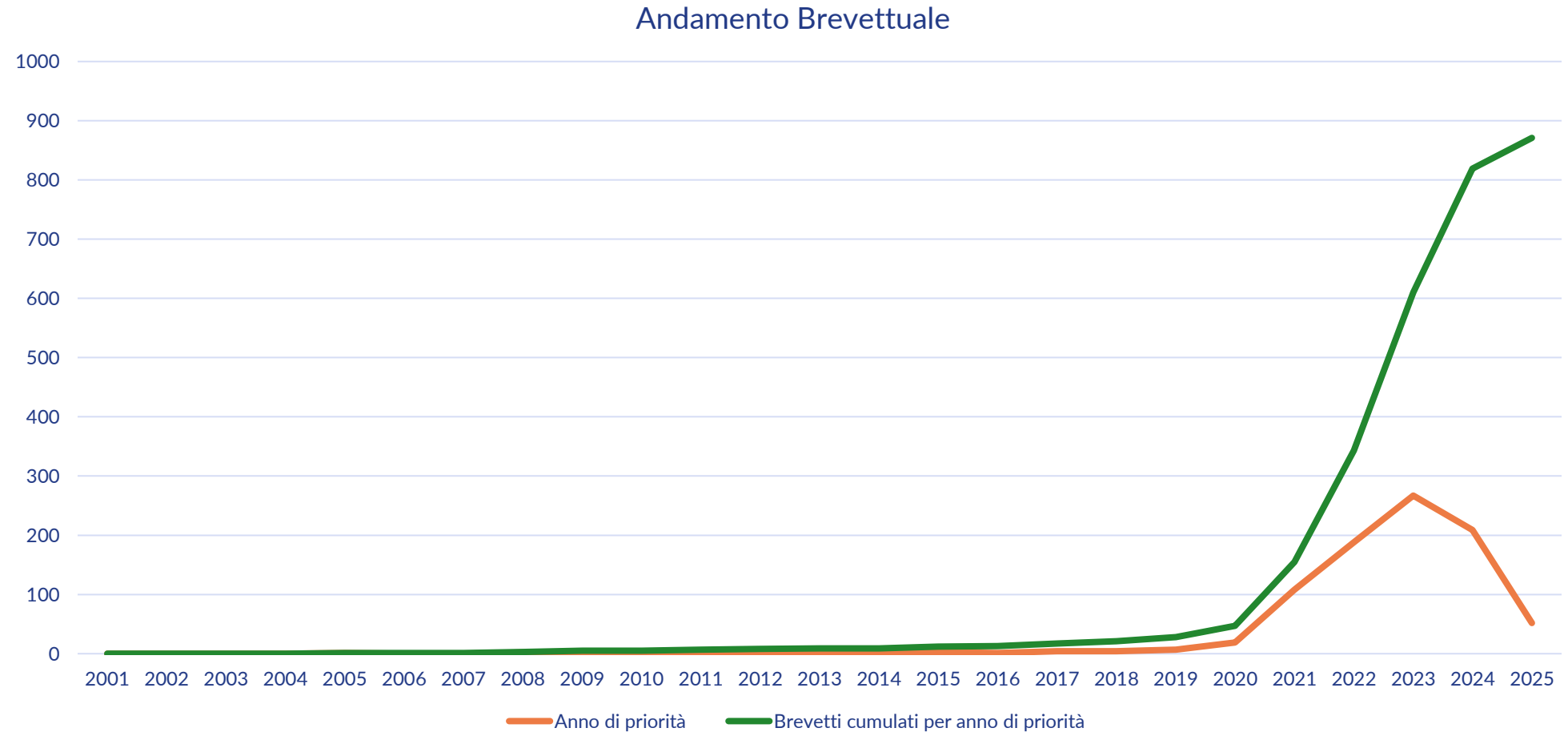
National Science Foundation

Quindi l'Italia eccelle nella ricerca, ma sul piano della potenza finanziaria viene superata dai fondi di altri Paesi.

Paesi di ricerca sulla tecnologia dell'idrogeno verde

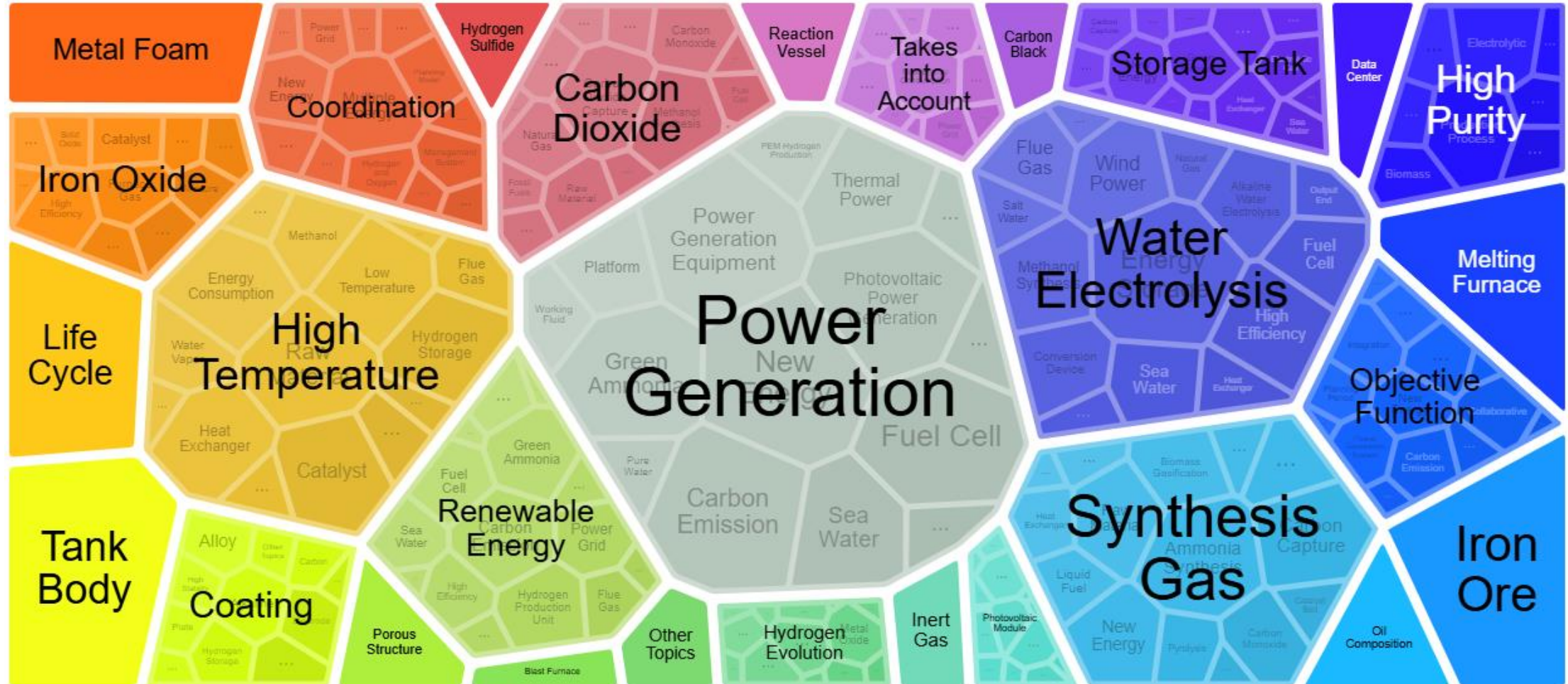


Brevetti – Idrogeno verde



Anche i brevetti mostrano un andamento simile, vi è stata infatti un'importante crescita della tecnologia attorno al 2020.

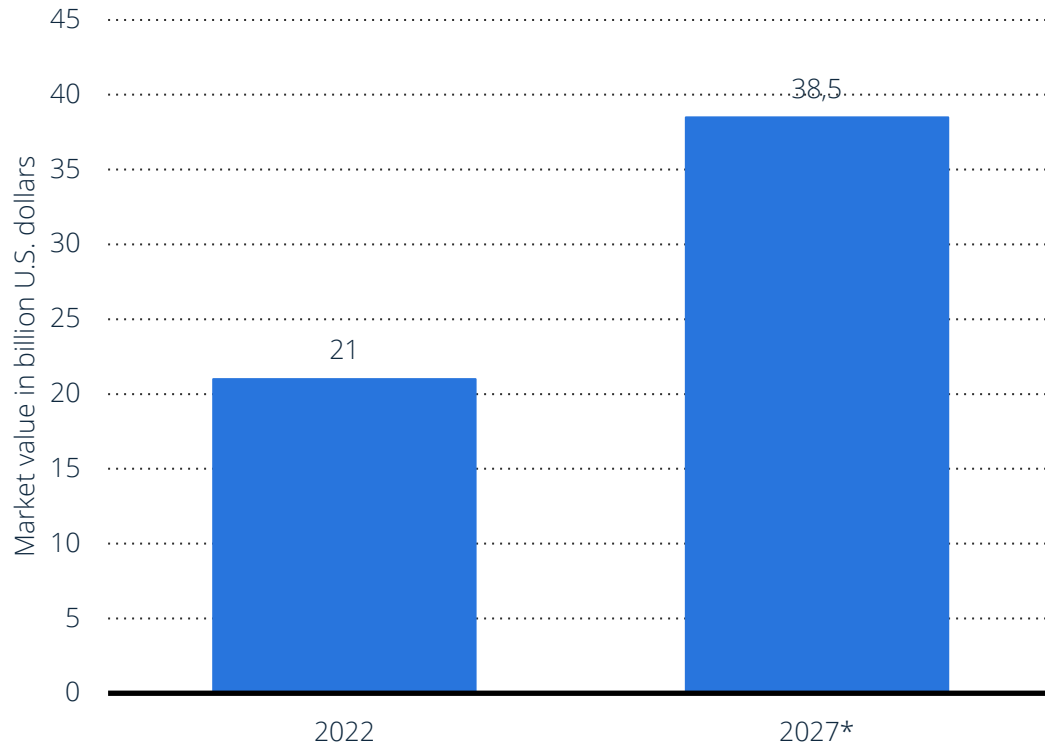
Clusterizzazione dei concetti tecnici presenti nei brevetti sull'idrogeno verde



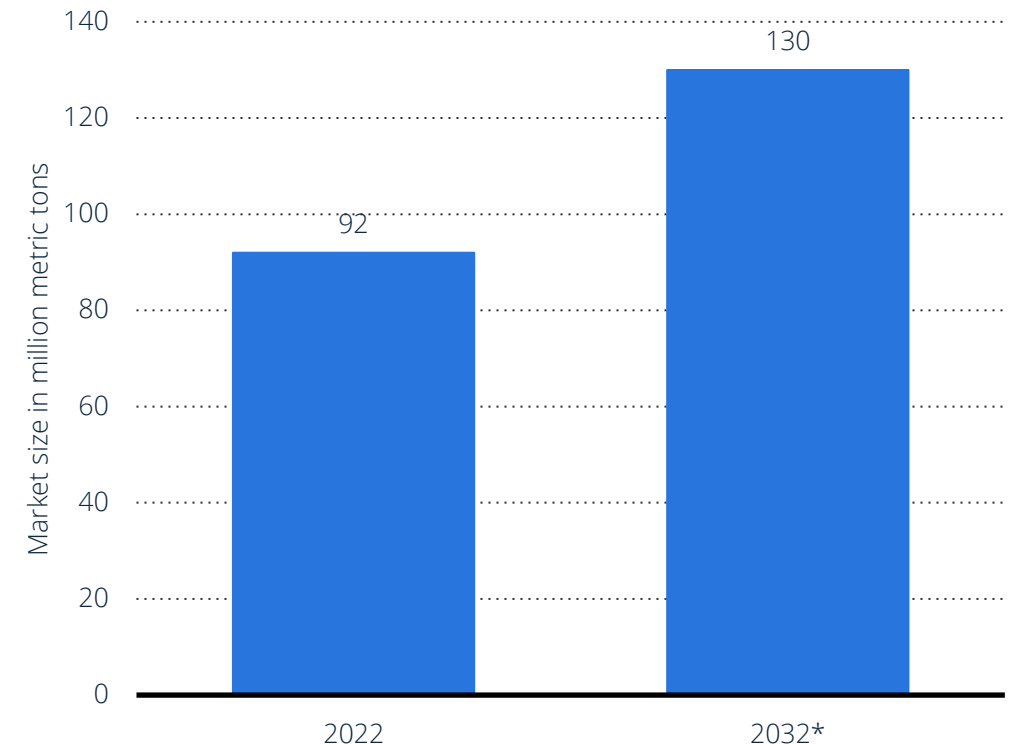
- L'analisi delle concetti tecnici brevettuali fa emergere come punto focale la generazione di energia, come produzione dell'idrogeno e dell'intero insieme di tecnologie che ne consentono l'utilizzo efficiente e integrato (celle a combustibile, i sistemi di generazione termica e fotovoltaica, e la gestione delle emissioni).
- Un'area molto estesa è dedicata **all'elettrolisi dell'acqua**, che conferma il suo ruolo centrale nella produzione di idrogeno da fonti rinnovabili. Accanto all'elettrolisi compaiono concetti come **acqua di mare, efficienza** e **fuel cell**, a sottolineare il tentativo di ottimizzare l'intero processo, economicamente e tecnicamente).
- Emerge inoltre l'attenzione per i **materiali**: ci sono gruppi di brevetti dedicati a schiume metalliche, ossidi di ferro, rivestimenti e corpi dei serbatoi. Questo suggerisce che una parte rilevante dell'innovazione si concentra su aspetti essenziali per garantire durabilità, sicurezza e performance degli impianti.
- Vi sono inoltre cluster legati al **carbonio**, al **gas di sintesi** e ad altri combustibili fossili. Questo potrebbe riflettere il fatto che molte soluzioni brevettate sono ibride, cioè pensate per accompagnare la transizione, sfruttando ancora tecnologie esistenti e integrandole con l'idrogeno in un'ottica evolutiva.
- Parole quali "Life Cycle", "Coordination", "Objective Function" e "Takes into Account" indica come il focus dell'innovazione sia **sistemico**: le soluzioni devono tener conto dell'intero ciclo di vita, delle sinergie tra tecnologie e dell'efficienza complessiva del sistema.

L'uso dell'idrogeno

Valore di mercato delle tecnologie legate all'idrogeno nel 2022, 2027 e 2032



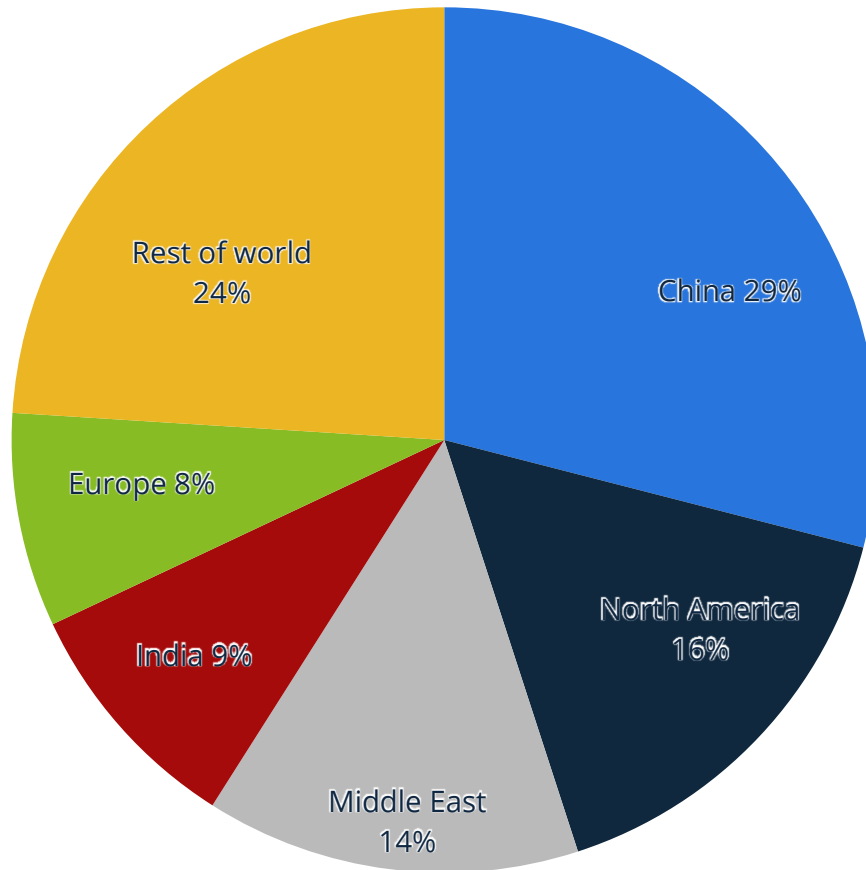
Global market value of hydrogen technologies 2022-2027



Market size of hydrogen technologies 2022-2032

Il grafico mostra il potenziale di crescita delle tecnologie dell'idrogeno anche con potenziali stime future (basate sulle attuali percezioni). Si stima che nei prossimi 5 o 10

Distribuzione dei consumi di idrogeno nel mondo (2023)



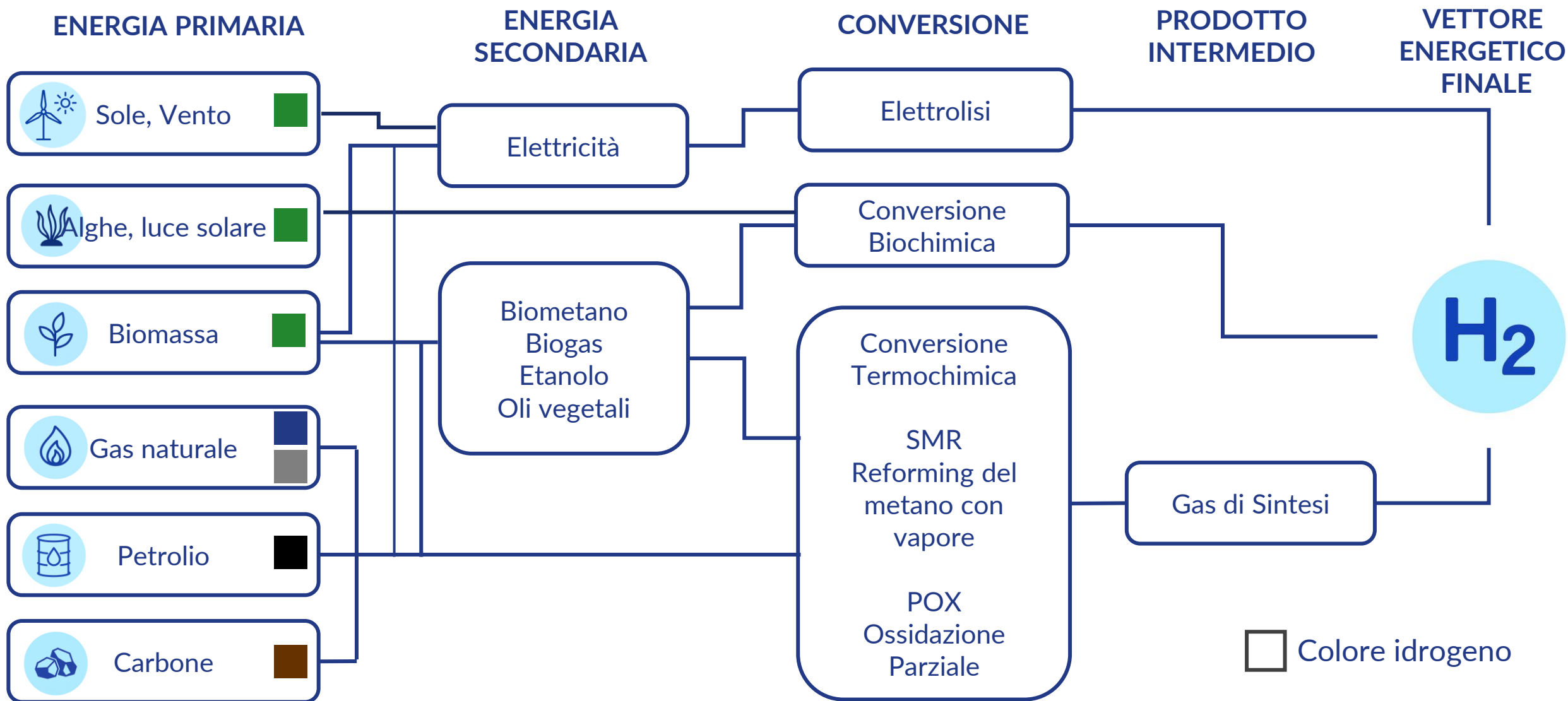
- I mercati di maggiore interesse risultano essere afferenti all'economia cinese. Sembra invece marginale il consumo proprio europeo. Il forte consumo della Cina è legato alla forte presenza dell'industria manifatturiera e chimica e a un piano di investimenti massiccio per la transizione energetica.
- La Cina è seguita dal Nord America, dal Medio Oriente e dall'India.
- Il resto del mondo (24%) raccoglie progetti in fase iniziale, soprattutto in Asia-Pacifico e America Latina.
- L'Europa rappresenta solo l'8% dei consumi, segnalando un ritardo nella domanda interna, nonostante un ruolo di leadership nella ricerca e nelle politiche di decarbonizzazione.

Gli ambiti di applicazione

Settore	Uso dell'idrogeno	Colore/Tipo	Stato di avanzamento	Prospettive / Note
Industria pesante	Riduzione diretta del ferro (acciaierie), cementifici, vetro	Verde / Grigio / Blu	Ricerca applicata	Strategico per decarbonizzazione hard-to-abate; progetti in Germania, Svezia (HYBRIT)
Raffinazione & chimica	Materia prima per ammoniaca, metanolo, fertilizzanti	Grigio / Blu / Verde	Sviluppo industriale	Transizione verso H ₂ verde rallentata dai costi
Mobilità pesante	Camion, autobus, navi, aerei a breve raggio	Verde / Blu	Pre-commerciale	Priorità alta nel REPowerEU; scarsa infrastruttura oggi
Trasporto ferroviario	Treni a idrogeno su tratte non elettrificate	Verde / Blu	Adozione iniziale	Progetto Alstom / Trenord in Lombardia in corso
Mobilità leggera	Auto a celle a combustibile (FCEV)	Verde / Blu	Adozione iniziale	Competizione con le auto elettriche a batteria; forte investimento in Corea e Giappone
Power-to-power	Stoccaggio stagionale energia, backup per rinnovabili	Verde	Sviluppo sperimentale avanzato	Utile per stabilità della rete elettrica; tecnologie ancora costose
Energia domestica e urbana	Miscelazione in reti gas, riscaldamento (caldaie H ₂)	Verde / Blending	Ricerca applicata	Miscelazione H ₂ al 20% già testata; serve revisione normativa e dell'infrastruttura
Aviazione e navale	Fuel cell o combustibili sintetici a base di H ₂ (e-fuels)	Verde	Ricerca applicata (fase iniziale)	Strategico per lungo termine, difficile sostituire i fossili a breve

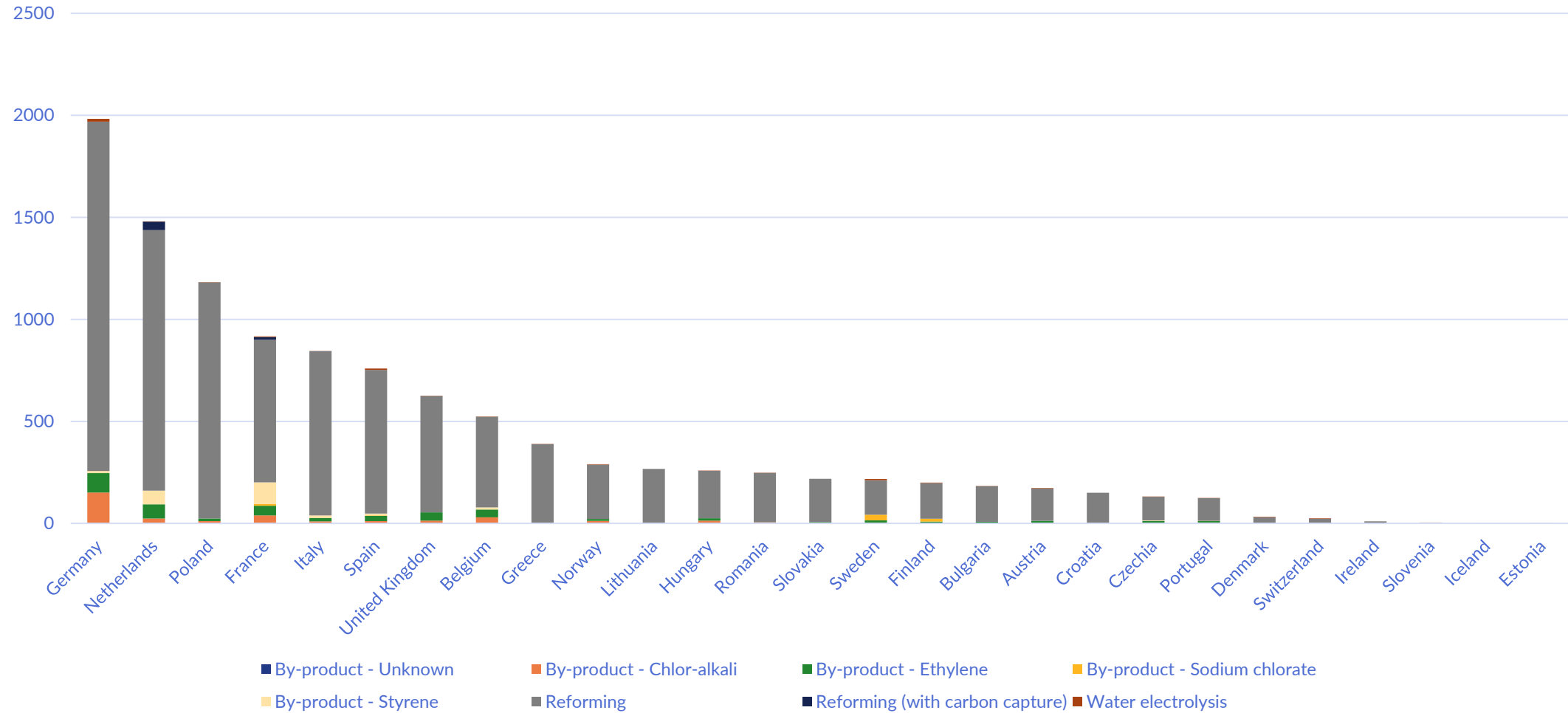
La produzione dell'idrogeno

Produzione idrogeno

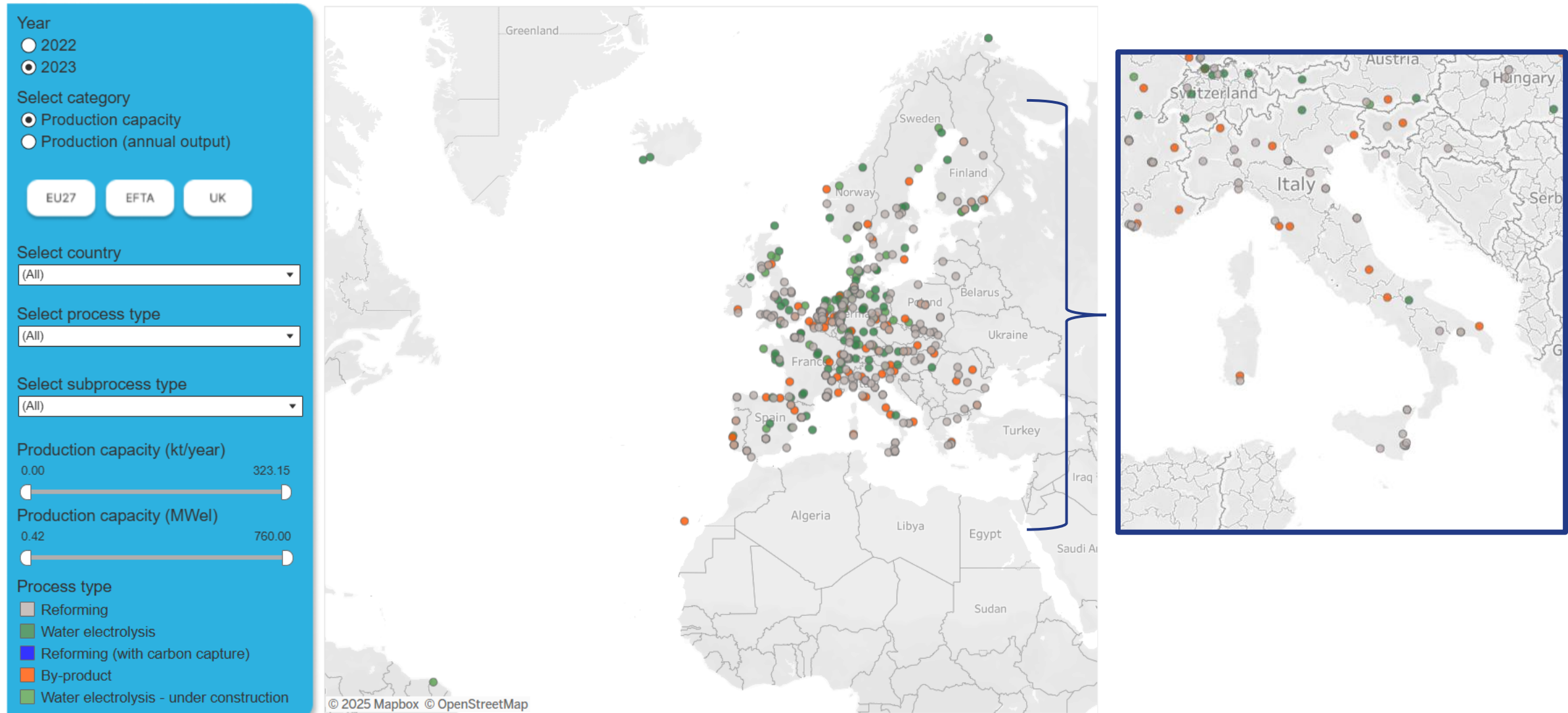


Capacità Produttiva – Idrogeno (2024) in kton

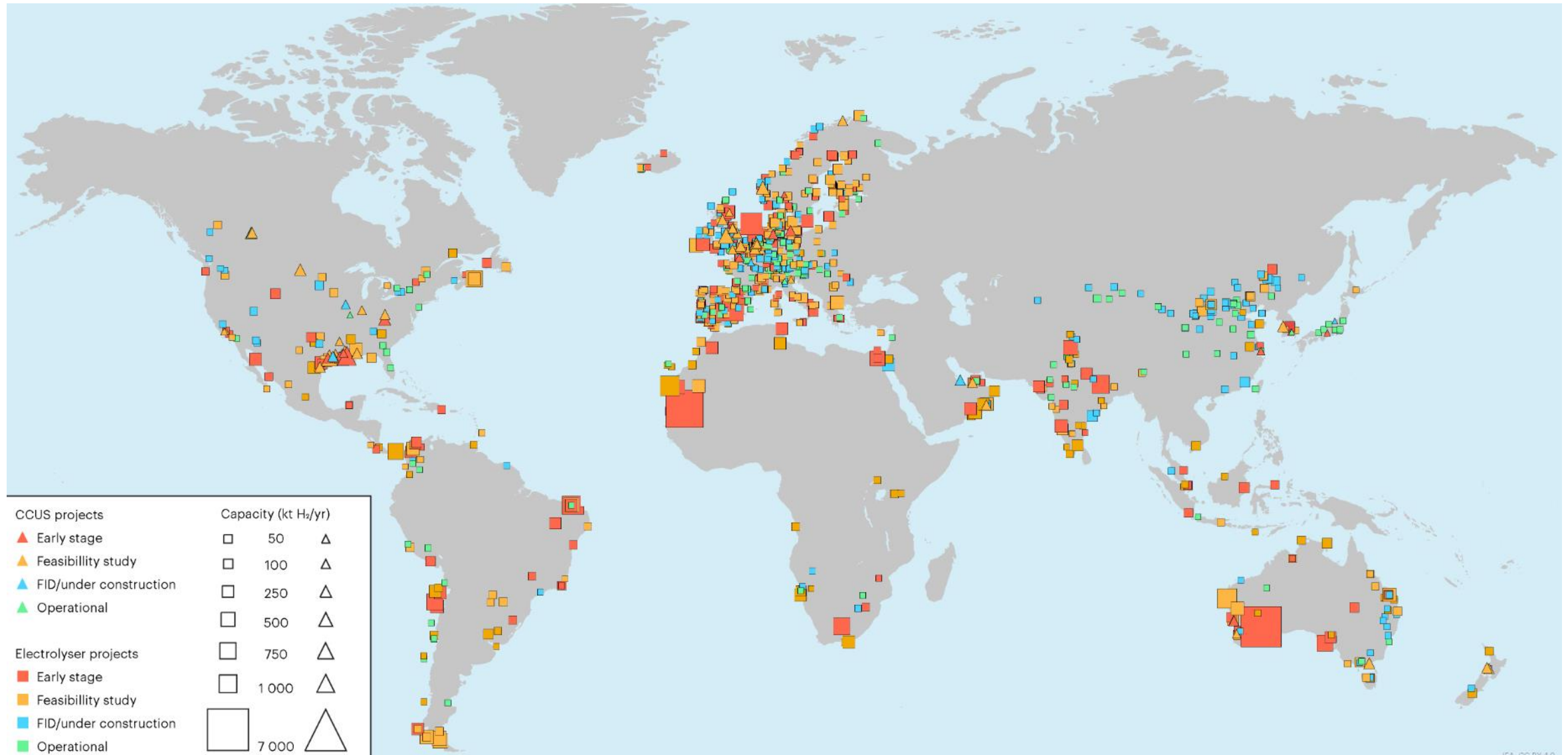
Capacità Produttiva



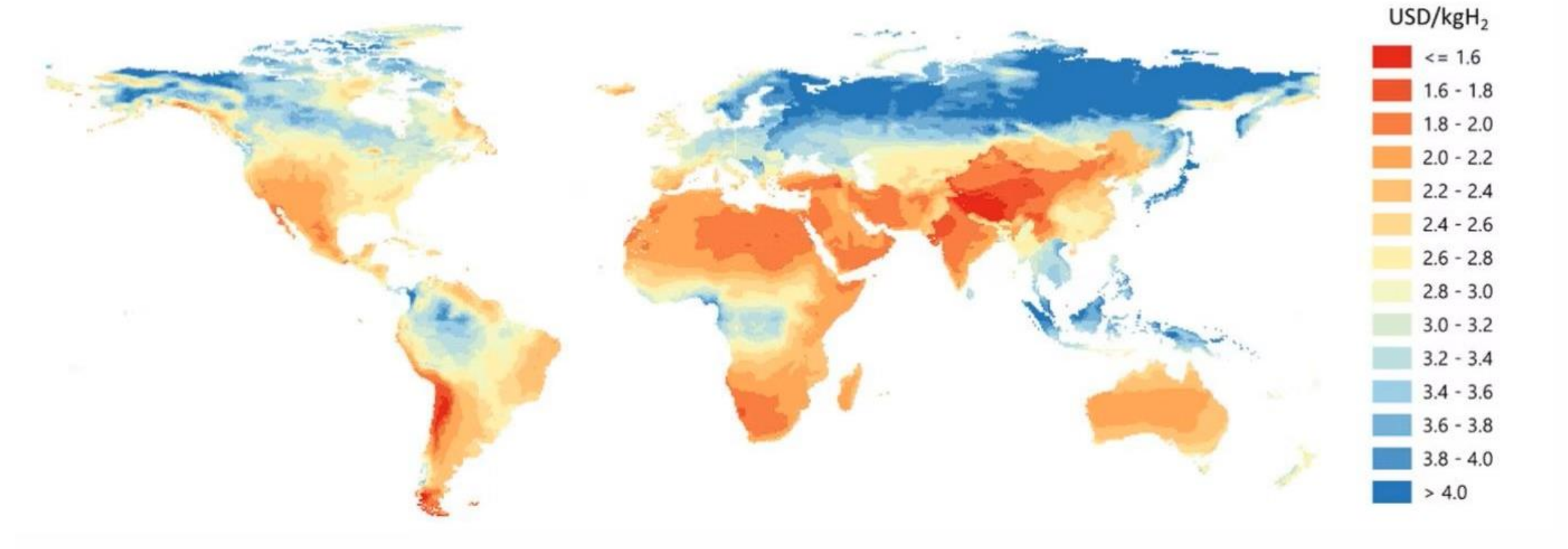
I principali impianti produttivi in Europa



I progetti per la produzione dell'idrogeno

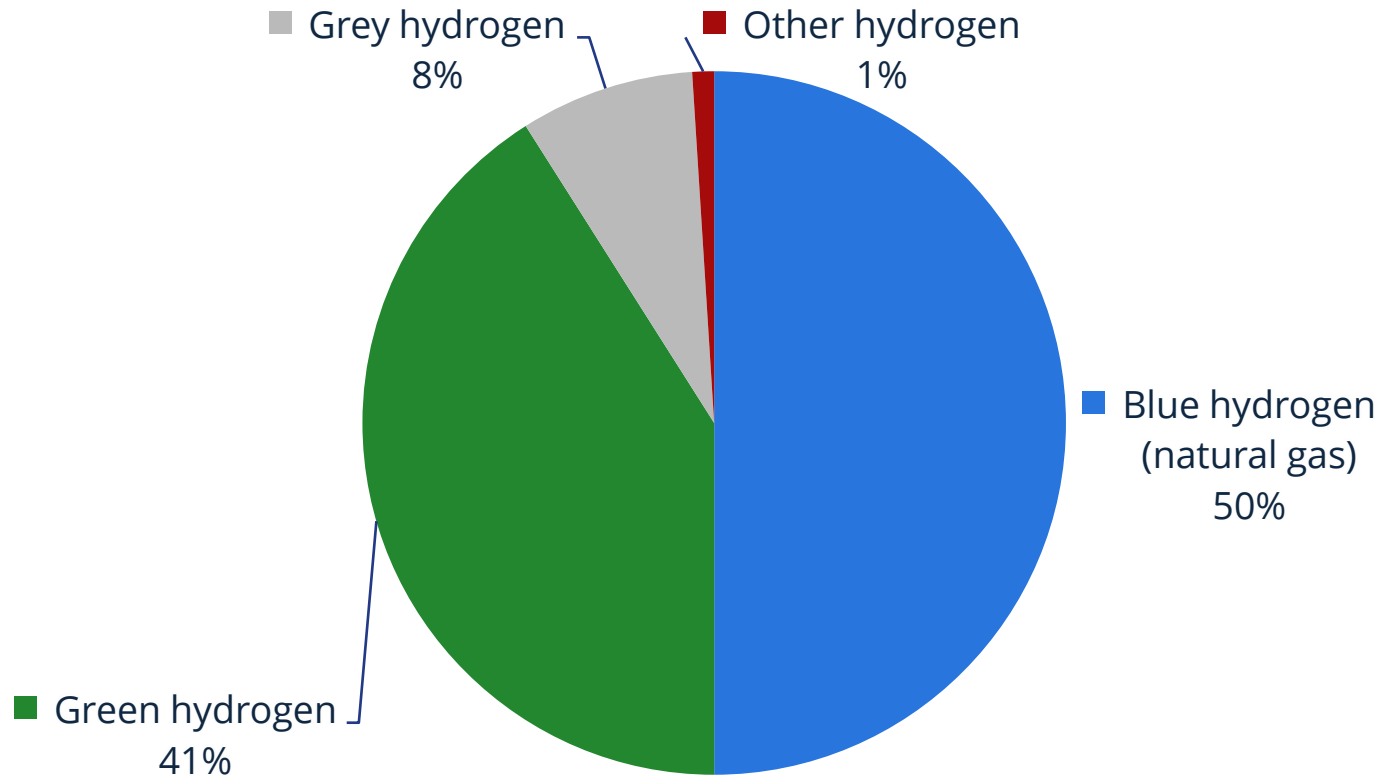


Costo dell'idrogeno prodotto con pannelli fotovoltaici e eolico nel lungo termine



<https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

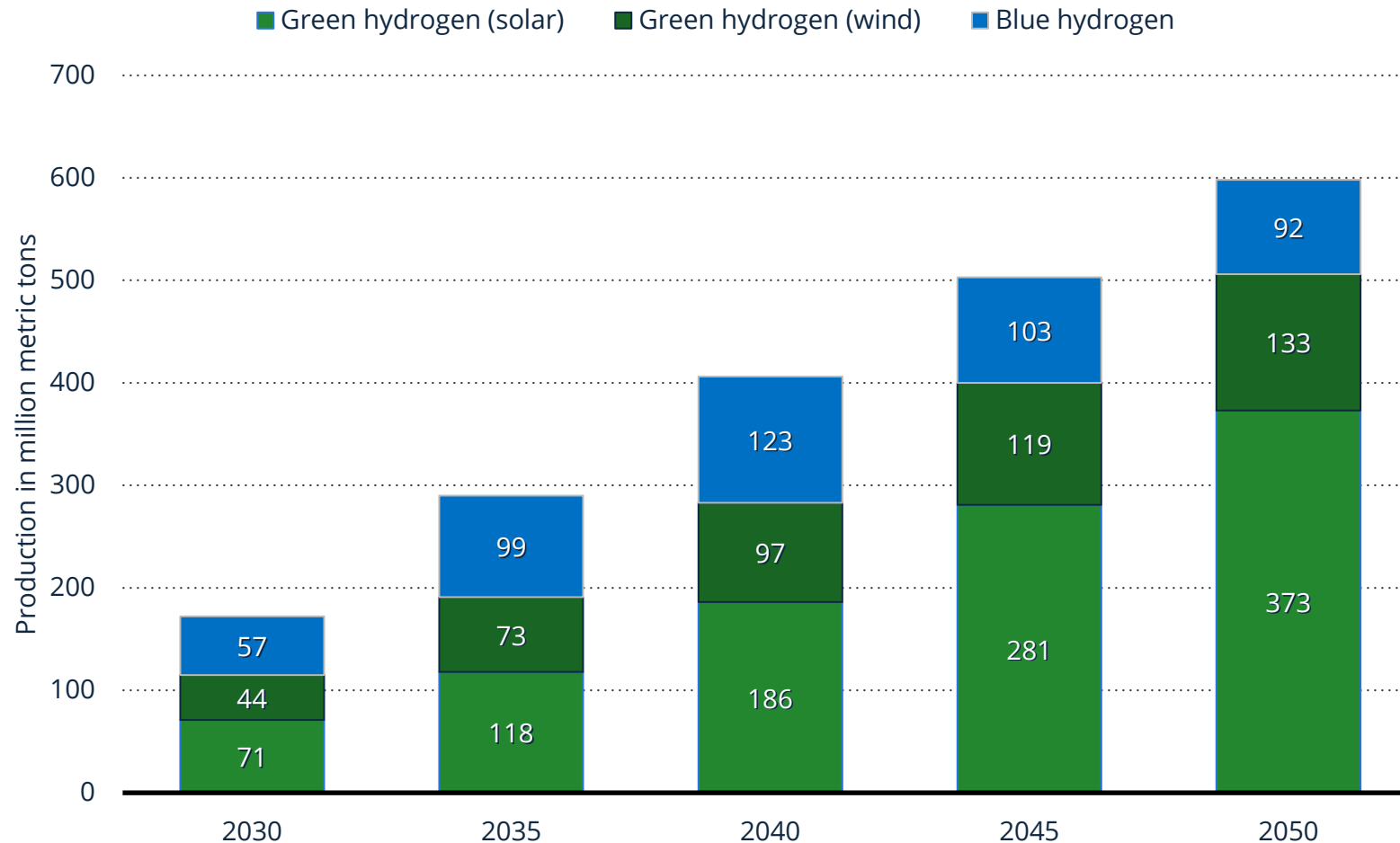
Previsioni sulla produzione dell'idrogeno



Il grafico mostra come la produzione dell'idrogeno è concentrata su due tipologie dominanti:

- Idrogeno blu (da gas naturale con cattura della CO₂) – circa 50% del totale previsto
- Idrogeno verde (da fonti rinnovabili) – circa 40%, simbolo della produzione tramite elettrolisi alimentata da energie rinnovabili (solare, eolica, idroelettrica).
- Idrogeno grigio – circa 8% da gas naturale senza cattura della CO₂.
- Altro – circa 1%, che comprende soluzioni sperimentali o di nicchia.

Previsione dell'offerta globale di idrogeno «pulito» dal 2030 al 2050, per tecnologia



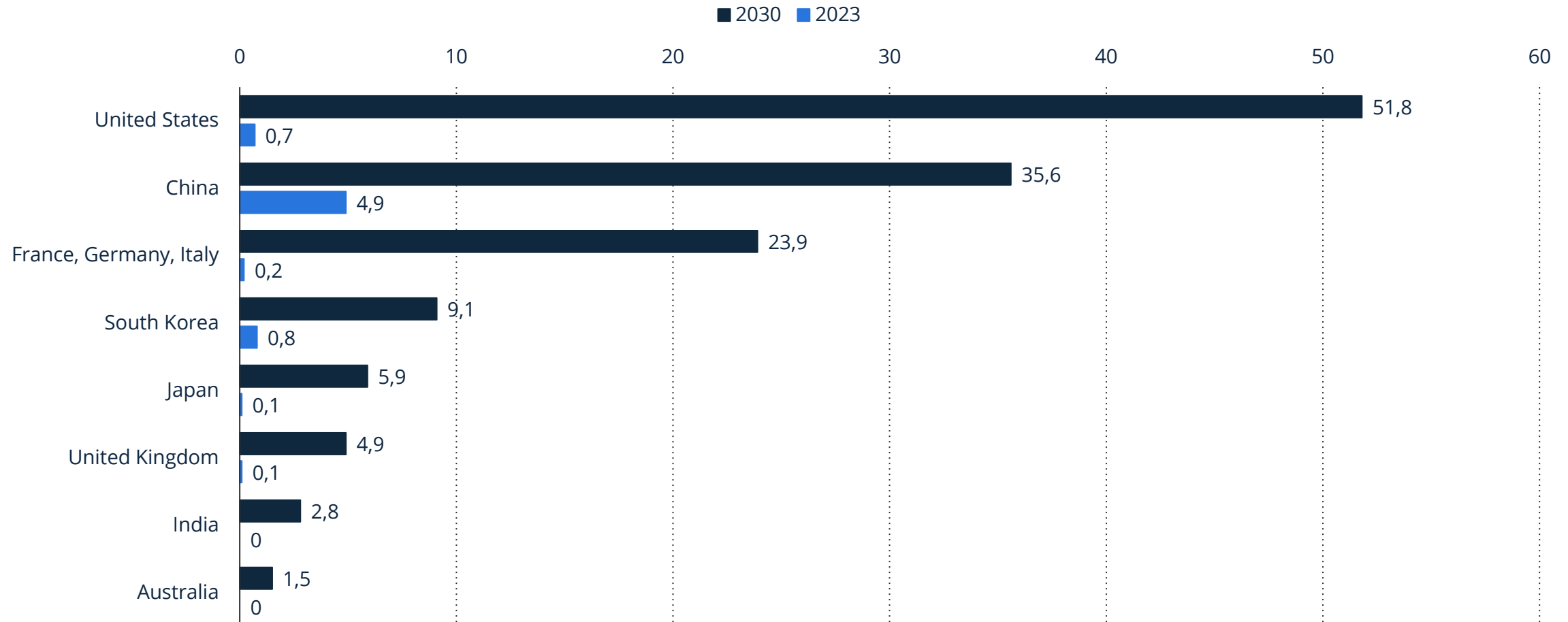
Tutti i tipi di idrogeno che possono essere classificati come puliti sono in crescita:

- La spinta più forte riguarda l'idrogeno verde da solare, che diventa dominante dopo il 2040
- L'idrogeno blu mantiene un ruolo di transizione, ma tende a stabilizzarsi o ridursi nel lungo periodo.
- L'idrogeno da eolico cresce, ma con un ritmo più contenuto rispetto al solare.

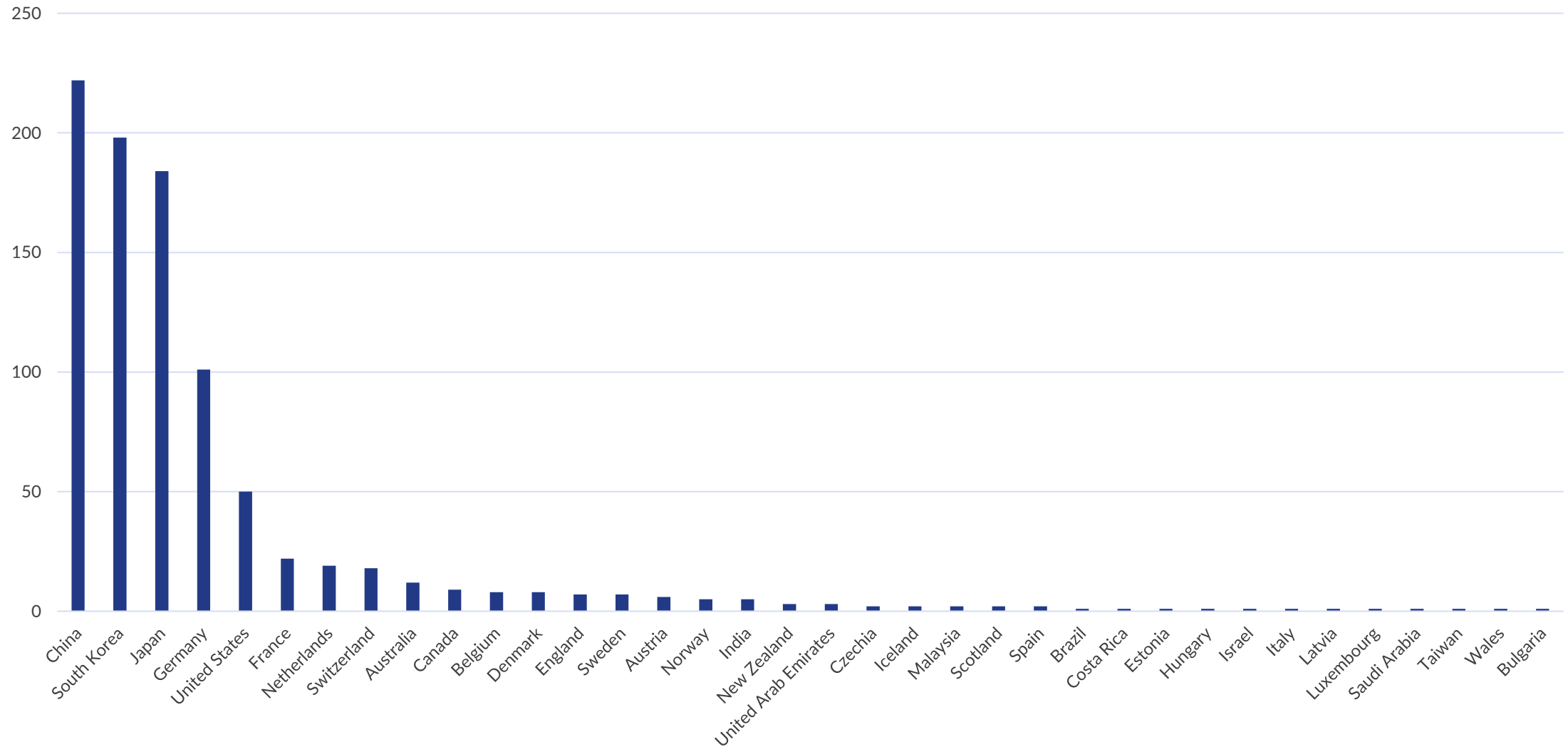
Questo riflette sia il calo dei costi del fotovoltaico, la maggiore disponibilità di energia solare nei paesi in via di sviluppo, sia la strategia di decarbonizzazione globale, che punta a eliminare progressivamente le fonti fossili.

Paesi con la maggiore domanda di idrogeno rinnovabile e carburanti sintetici - 2023

Previsione per il 2030 (in petajoule – 1 petajoule = 10^{12} kilojoule)



Stazioni di rifornimento per paese



- La prima mappa evidenzia una forte **concentrazione degli impianti in Germania, Francia, Paesi Bassi e Italia settentrionale**, aree strategiche per la produzione industriale e la transizione energetica. L'Italia mostra una presenza significativa, anche se frammentata, con una prevalenza di impianti basati su reforming tradizionale (arancione) e sottoprodotto (grigio), vi è solo un impianto per l'elettrolisi (green).
- La seconda mappa mostra come **Europa, Stati Uniti, Cina e Australia** siano i principali poli di sviluppo, con progetti di ampia scala già attivi o in fase avanzata. Tuttavia, la maggior parte dei progetti è ancora nelle **fasi embrionali**, indicando che il mercato dell'idrogeno è in piena fase di consolidamento e sperimentazione.
- In generale vi è **una crescente centralità dell'idrogeno** nelle strategie energetiche globali, contestualmente a una **diversità di approcci tecnologici e di avanzamento** tra paesi e regioni. Mentre in Europa si riscontra un tessuto industriale già operativo, il panorama globale mostra un'accelerazione progettuale che prelude a un'espansione futura. L'Italia, pur con una presenza significativa, potrebbe rafforzare ulteriormente il proprio ruolo investendo di più in elettrolisi e tecnologie green.
- La Cina emerge come principale nazione sugli investimenti, mostrando progettualità concrete per studiarne l'avanzamento della tecnologia

Costi di produzione dell'idrogeno (€/kg)

Elettrolisi da Rete Elettrica

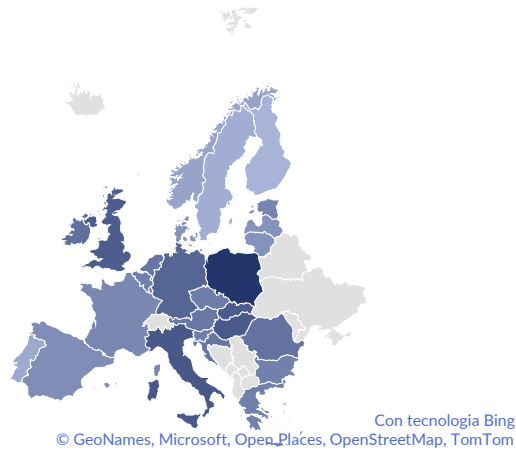
Reforming con Cattura del Carbonio

Dal costo dell'idrogeno nei diversi stati europei si evince che l'idrogeno verde non è ancora competitivo in molti Paesi. Il costo dell'energia elettrica è il driver principale per le tecnologie verdi.

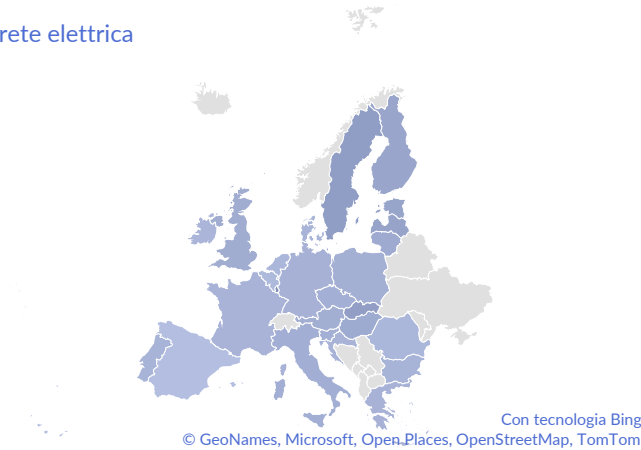
Il reforming da metano è ancora il più economico, ma dovrebbe essere superato per obiettivi climatici a lungo termine.

Le mappe evidenziano la necessità di strategie differenziate per area geografica: una politica europea unica potrebbe non essere efficace senza adattamenti nazionali.

Elettrolisi da rete elettrica



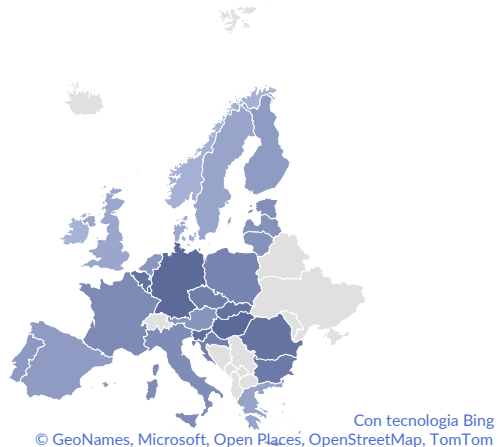
Reforming con cattura col carbonio



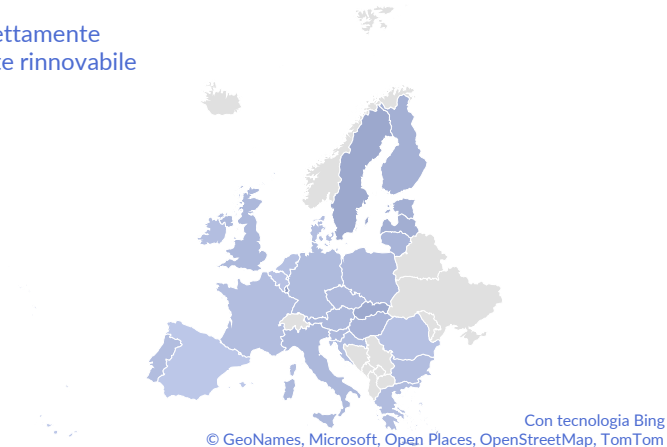
Idrogeno da Fonte Rinnovabile

Reforming a Vapore del Metano

Idrogeno direttamente prodotto da fonte rinnovabile



Reforming a vapore del metano



Studio di modelli replicabili: Hydrogen Valley

Il modello dell'Hydrogen Valley

- Le **Hydrogen Valley** rappresentano uno dei **principali progetti** pilota nell'ambito dell'idrogeno. Esse sono identificate nel piano RePowerEU come essenziali per potenziare l'economia dell'idrogeno.
- Una Hydrogen Valley è un **ecosistema integrato** e multidisciplinare in cui tutta la filiera dell'idrogeno, dalla produzione al consumo, è sviluppata e testata su scala territoriale, con l'obiettivo di dimostrare la fattibilità tecnica, economica e ambientale di un'economia basata sull'idrogeno.
- Ogni Hydrogen Valley dovrà **sviluppare** dei **casi d'uso reali** e integrati, favorire le collaborazioni pubblico-private e attrarre investimenti e generare scalabilità.

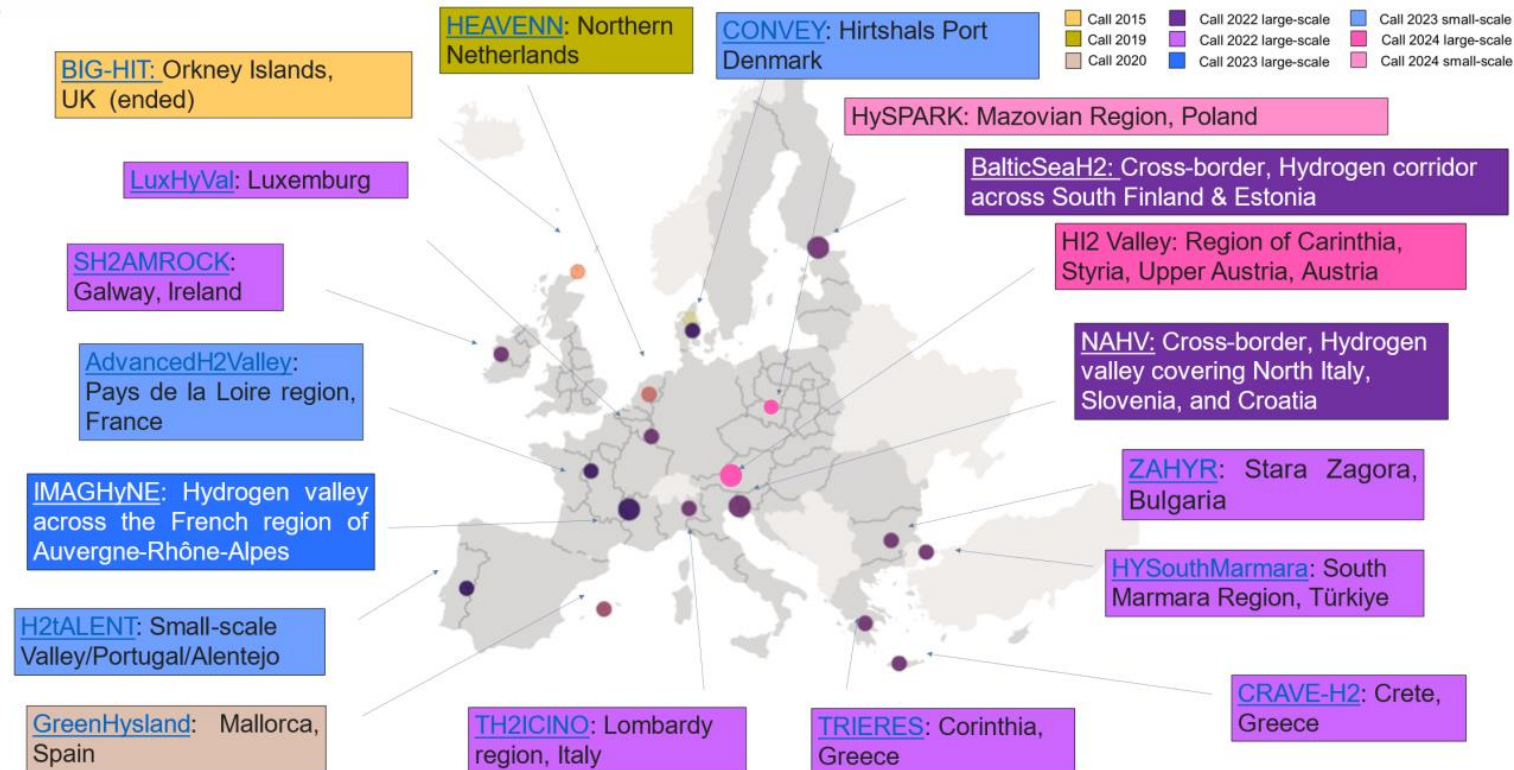
Le Hydrogen Valley



Hydrogen Valleys supported by the Clean Hydrogen Partnership

Different scales, hydrogen production mainly via electrolysis, diverse end-uses

17



Excludes Hydrogen Valleys included in the [Mission Innovation H2VP](#)

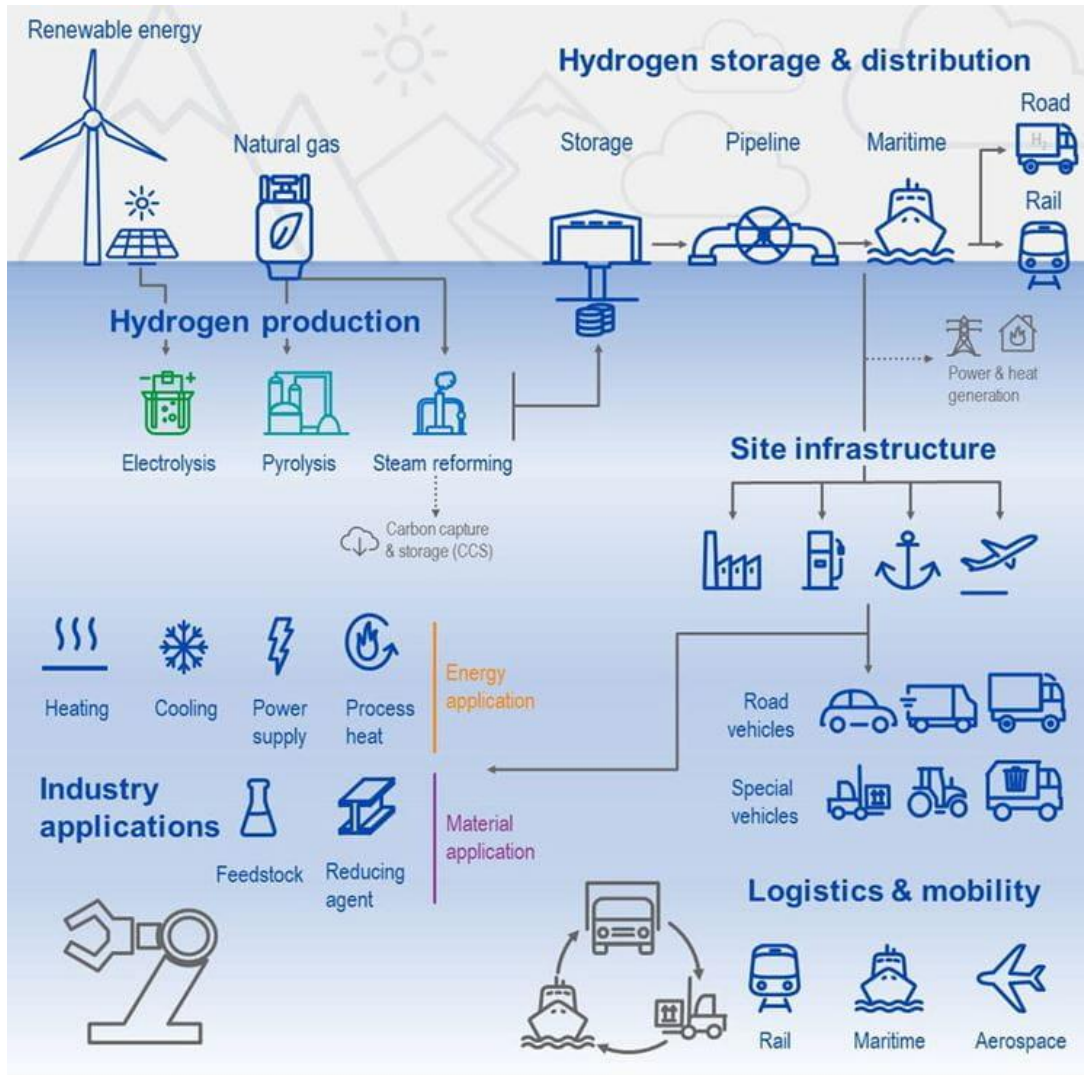
Le Hydrogen Valley sono progetti finanziati in molteplici nazioni in Europa, con una forte concentrazione in aree industriali e portuali.

L'Italia è coinvolta attivamente con la Hydrogen Valley TH2ICINO in Lombardia e la NAHV nel nord-est, in collaborazione con altri Paesi.

- L'hydrogen valley **TH2ICINO (Towards Hydrogen Integrated Economies In Northern Italy)** mira a realizzare una micro-economia dell'idrogeno attraverso la realizzazione e la dimostrazione di un ecosistema completo, integrato da **6 casi d'uso replicabili** collegati alle fasi della catena del valore dell'idrogeno. I risultati serviranno a validare uno **strumento di pianificazione strategica** (Master Planning Tool - MPT), la cui **replicabilità** verrà successivamente testata.
- La dimostrazione della Hydrogen Valley si basa sui **quattro pilastri della catena del valore dell'idrogeno**:
 - i. produzione di idrogeno,
 - ii. stoccaggio dell'idrogeno,
 - iii. distribuzione dell'idrogeno,
 - iv. consumo di idrogeno.
- In questa fase il progetto verte su attività di modellazione, simulazione e creazione di scenari, dalla produzione tramite elettrolisi fino all'utente finale, al fine di valutare e ottimizzare diversi scenari tenendo conto di tutti i vincoli tecnologici prevedibili.
- Una volta identificati i casi ottimali, una **fase di implementazione** porterà alla realizzazione concreta dell'innovativo concetto di ecosistema.

Conclusioni

In sintesi



Le tecnologie dell'idrogeno (elettrolizzatori, celle a combustibile, infrastrutture di stoccaggio e trasporto) costituiscono un **ecosistema in forte evoluzione** e rappresentano una delle leve centrali della decarbonizzazione.

- **Produzione:** ad oggi la maggior parte dell'idrogeno prodotto è ancora "grigio", prodotto da fonti fossili con alte emissioni, ma la transizione è orientata verso l'idrogeno verde, generato tramite elettrolisi alimentata da energie rinnovabili. L'idrogeno blu sembra essere la tipologia più sostenibile per una fase di transizione.
- **Distribuzione e utilizzo:** i maggiori utilizzi dell'idrogeno riguardano i settori hard to abate che in generale richiedono un alto quantitativo di energia e dipendono da processi chimici che generano CO₂ e i trasporti. A livello globale, Cina e Nord America guidano i consumi e gli investimenti, mentre l'Europa, pur eccellendo nella ricerca e nelle politiche ambientali, mostra una domanda ancora limitata.

- L'idrogeno si trova ancora in una fase iniziale di sviluppo, che richiede il contributo congiunto di università, imprese e istituzioni.
- È necessario rafforzare le competenze tecnico-scientifiche e manageriali, per integrare la sostenibilità nei processi industriali e nelle politiche regionali.
- Occorre promuovere ricerca applicata, formazione e divulgazione, così da creare un ecosistema territoriale capace di innovare.
- I cittadini devono essere informati e coinvolti, per comprendere opportunità, limiti e implicazioni di questa tecnologia.

La ricerca è stata realizzata nel contesto delle attività di CIVIS (Centro sulla cultura, l'innovazione, i valori imprenditoriali per lo sviluppo) per cui si ringrazia la Fondazione Villoresi Poggi per aver sostenuto tale attività.



www.liuc.it

