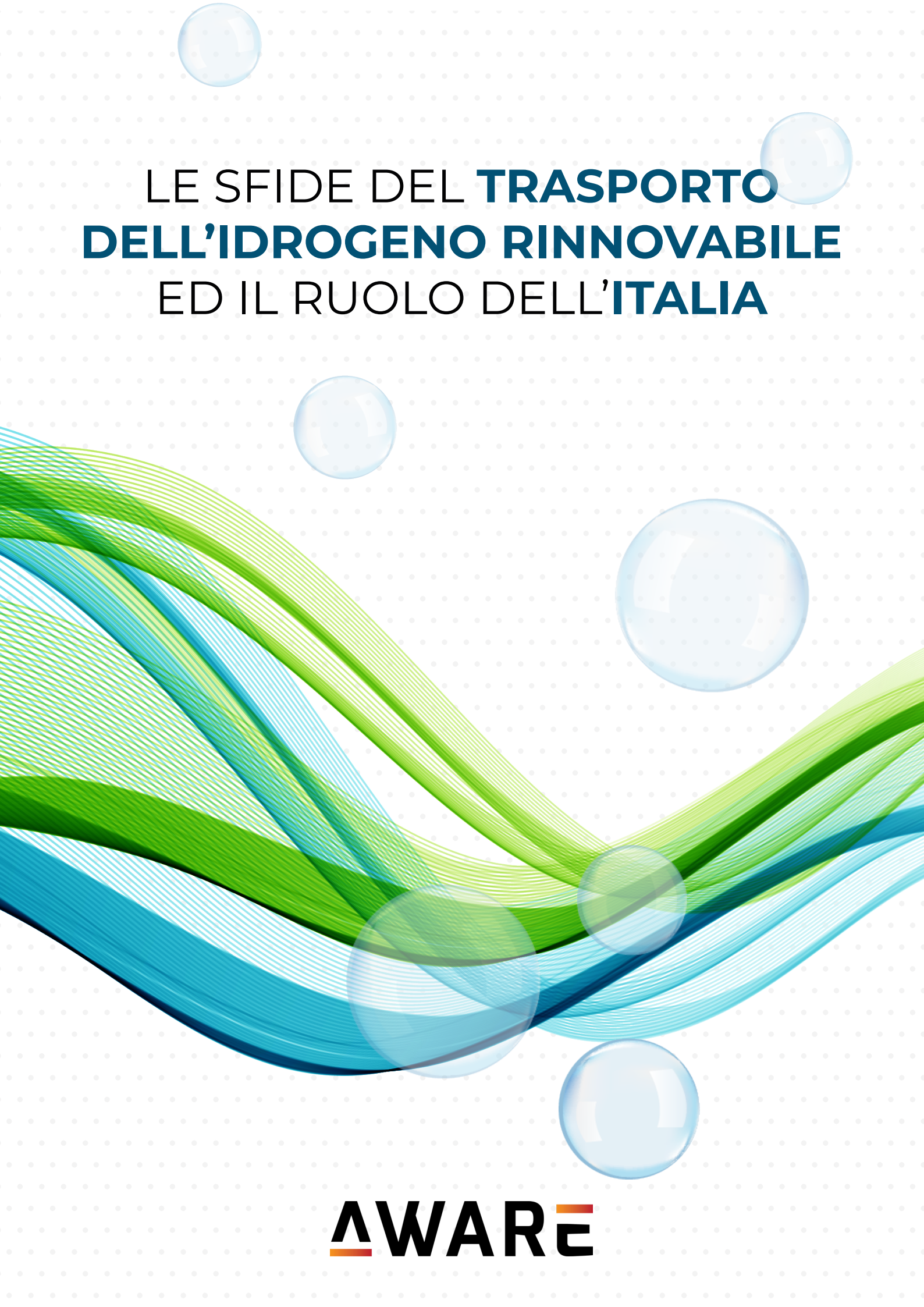




LE SFIDE DEL **TRASPORTO** **DELL'IDROGENO RINNOVABILE** ED IL RUOLO DELL'**ITALIA**

AWARE



AUTORI

Adriano Falcone
Maria Rosa Milanese
Lisa Castigioni

CURATORI

Riccardo Antonucci
Nathan Mario Senise Volpe

SI RINGRAZIANO

Per il supporto alla realizzazione:
Prof. Davide Papurello

per la parte grafica:
Alessandra Ajraldi



CHI SIAMO

AWARE è un Think Tank nato nell'**Ottobre del 2019** che si pone l'obiettivo ultimo di contribuire alla definizione del futuro che verrà stimolando la **riflessione** e il **dibattito** sulle nuove sfide del mondo contemporaneo.

Per farlo sono stati individuati due macro argomenti che meglio rappresentano le chiavi per leggere e guidare il futuro del nostro pianeta:

- **l'evoluzione delle tecnologie e del settore digitale nelle sue declinazioni;**
- lo **sviluppo sostenibile**, basato su tre pilastri (sociale, economico ed ambientale).

INDICE

Capitolo 1	2
1.1 Introduzione	3
1.2 Glossario	6
1.3 Panoramica sulle differenti tipologie di idrogeno e i suoi derivati	9
a) I principali prodotti derivati dell'idrogeno	10
b) Ammoniaca verde	11
c) Metanolo verde	11
1.4 Descrizione e caratteristiche del trasporto dell'idrogeno	12
 Capitolo 2	 15
2.1 Il trasporto dell'idrogeno	15
2.2 Le rotte commerciali dell'idrogeno a livello globale	15
2.3 Criticità, sfide e opportunità	20
a) Ostacoli tecnici: ruolo dell'idrogeno e sfida ambientale	21
b) Incertezza nel trasporto: modalità, volumi e distanze	23
c) Sviluppo di infrastrutture e investimenti necessari nel settore	25
 Capitolo 3	 27
3.1 Il ruolo dell'Italia	27
a) Produzione, importazione ed esportazione di idrogeno verde	32
b) Fattori abilitanti per il ruolo dell'Italia come hub europea	34
3.2 L'idrogeno verde come elemento chiave nei rapporti con altri paesi del Mediterraneo	37
a) Algeria come paese emergente	40
b) Egitto come possibile hub regionale	42
c) Marocco come partner chiave per l'UE	43
 Conclusioni	 45
 Proposte di Policy	 47
 Bibliografia	 50

CAPITOLO 1

1.1 Introduzione

La produzione di energia disponibile da fonti energetiche limitate è tradizionalmente stata la principale problematica per il sistema energetico. A causa della dipendenza dell'Italia dalle importazioni e della limitata disponibilità di risorse interne, la sicurezza dell'approvvigionamento energetico risulta particolarmente debole. Tuttavia, con l'introduzione sempre crescente di fonti di energia rinnovabile (FER) nel mix energetico nel corso del tempo: la quota dei consumi finali lordi di energia coperta da FER nel 2010 si attestava al 13% mentre ha toccato il 20,4% nel 2020. Il modello energetico convenzionale fondato sui combustibili fossili si sta modificando, creando al contempo nuove opportunità e sfide per preservare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico. Da notare come per il nostro paese la dipendenza dalle fonti fossili si attesti intorno al 78% nel 2022, anche se si tratta di un trend in decrescita (<https://italyforclimate.org/nel-2022-cresce-la-dipendenza-energetica-dellitalia/>). I principali drivers, anche a livello Europeo, riguardano la politica energetica di decarbonizzazione (ad es. carbon pricing, incentivazione con tariffe premio ecc.) e i costi attualizzati di produzione. L'impiego delle fonti rinnovabili è crescente, mentre le principali barriere riguardano non solo l'accettazione sociale, ma anche i processi autorizzativi, l'uso del territorio e la gestione dell'aleatorietà delle fonti. Su questo punto l'interazione tra sistemi a batteria (BESS - Battery Energy Storage System) e elettrolizzatori per la produzione di idrogeno risultano essere cruciali.

L'idrogeno rappresenta uno dei potenziali vettori energetici per affrontare le problematiche causate attualmente dalle fonti di energia convenzionali a livello globale, coinvolgendo sia i partecipanti del mercato che il settore pubblico. Attraverso l'equilibrio tra domanda e offerta di idrogeno nel sistema energetico, esso ha il potenziale a lungo termine di ridurre in parte la dipendenza da risorse energetiche provenienti dall'estero, abbassare le emissioni di gas serra e sostituire una gamma di combustibili fossili. Ovviamente questi aspetti sono validi se l'idrogeno è prodotto da energia elettrica rinnovabile (idrogeno verde). Un aspetto positivo collegato risiede nella riduzione della caratteristica di aleatorietà delle fonti rinnovabili, agendo come stoccaggio di energia. Alla fine del 2021, quasi il 47% della produzione globale di idrogeno proviene dal gas naturale (idrogeno grigio), il 27% dal carbone (idrogeno nero), il 22% dal petrolio (come sottoprodotto) e solo il 4% circa dall'elettrolisi (<https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>), la quale è chiaramente realizzata con energia elettrica dipendente dal mix elettrico del paese produttore (ben lontano dal 100% rinnovabile). Ration per cui si hanno ampi margini di lavoro e di manovra per poter spingere verso una maggiore penetrazione dell'idrogeno verde. Il vettore idrogeno ha la più alta densità energetica, rispetto ai potenziali competitor (33 kWh/kg H₂, 14 kWh/kg LNG, 11.9 kWh/kg Gasoline-Diesel, 7.9 kWh/kg carbone, <https://www.synthecfuels.com/hydrogen/>), ma soffre ancora di costi abbastanza proibitivi, soprattutto per quanto riguarda l'idrogeno verde.

Attualmente, l'Italia e gli altri Stati membri dell'Unione Europea stanno concentrando una crescente attenzione sull'idrogeno. Questo è evidente dall'incremento costante del numero di nazioni che stanno attuando strategie legate allo sviluppo di tale vettore energetico, finalizzate a creare un'economia dell'idrogeno adatta allo scopo, in grado di migliorare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico, mitigare gli eventuali effetti negativi correlati a una maggiore integrazione delle fonti di energia rinnovabile nel sistema

energetico, e trasformare tali paesi in esportatori di idrogeno.

L'idrogeno è tra le tecnologie attualmente più promettenti per sostenere la transizione energetica in corso sia a livello mondiale che per quanto riguarda l'Unione Europea. A novembre 2020, il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) ha rilasciato le prime "Linee Guida per la Strategia nazionale sull'idrogeno". Tale indicazione ha lo scopo di identificare i settori in cui si ritiene che l'idrogeno verde possa diventare competitivo nel breve termine. Inoltre, il MISE ha istituito un'apposita tavola rotonda sull'idrogeno, che coinvolge oltre 70 stakeholder nazionali interessati allo sviluppo e alle applicazioni di questo vettore energetico. Questi stakeholder operano nei settori della produzione, dell'accumulo, del power-to-gas e sono coinvolti negli utilizzi finali in industria e trasporti.

La riduzione delle emissioni di gas serra e il contenimento del riscaldamento globale possono entrambi ottenere notevoli miglioramenti grazie all'idrogeno verde. La capacità dell'idrogeno di immagazzinare energia a breve, medio e lungo termine, inclusa la possibilità di stoccaggio stagionale, rende evidente il suo potenziale contributo alla transizione energetica. La produzione su larga scala di idrogeno rinnovabile fornisce una fonte di energia completamente priva di emissioni nocive lungo tutto il suo ciclo di vita, con gli unici sottoprodotti della combustione costituiti da acqua e calore. Inoltre, l'utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico e tecnologia di accumulo può essere applicato in una serie di settori e servire come un mezzo per integrarli in diversi ambiti. Di conseguenza, possiamo categorizzare l'applicazione dell'idrogeno in power-to-gas, power-to-power, power-to-mobility e power-to-industry, a seconda delle sue diverse modalità d'uso, indicate in Figura 1.

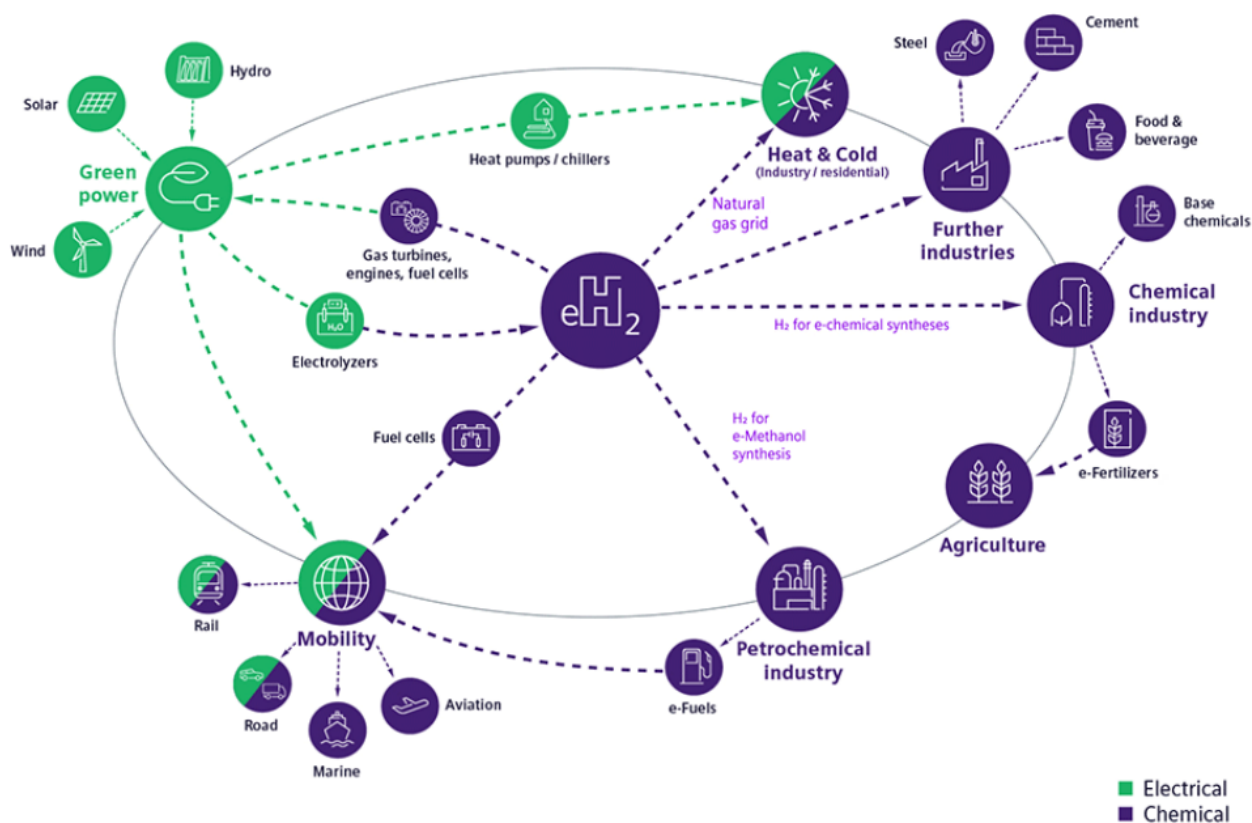


Figura 1 - Le varie applicazioni dell'idrogeno nei diversi settori della società (Fonte: SiemensEnergy, 2021)

L'idrogeno rinnovabile svolgerà un ruolo cruciale nel futuro sistema energetico integrato, offrendo la possibilità di stoccare energia a lungo termine e integrare i mercati dell'elettricità e del gas. Questo è essenziale per raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica e zero emissioni nel lungo periodo. Tuttavia, la produzione di questo vettore energetico attualmente è costosa e non può competere con le fonti di energia convenzionali. I costi dell'idrogeno grigio sono i più bassi, per lo più compresi tra 0.8 e 2.1 euro per kg di prodotto. L'idrogeno blu potrebbe essere significativamente più alto rispetto all'idrogeno grigio a causa dei costi aggiuntivi per la cattura e lo stoccaggio del carbonio. Tuttavia, attualmente i costi più elevati per l'idrogeno si registrano nel caso in cui l'idrogeno venga prodotto in un elettrolizzatore utilizzando l'energia elettrica da fonti rinnovabili. Il range di costo varia da 2.2 a 8.2 € per kg. Per promuovere l'adozione di questa innovazione, l'idrogeno richiede un sostegno significativo da parte delle istituzioni italiane ed europee tramite misure regolamentari e politiche, nonché incentivi finanziari. Inoltre, la futura competitività dei costi nella produzione di idrogeno rinnovabile potrebbe aumentare grazie alla diminuzione attuale dei prezzi delle fonti di energia rinnovabile e alle prestazioni migliorate degli elettrolizzatori. Dunque, il supporto all'innovazione dell'idrogeno è fondamentale per raggiungere l'obiettivo di abbassare i costi di produzione dell'idrogeno rinnovabile al fine di renderlo competitivo.

Il Green Deal dell'UE sottolinea la necessità di leader climatici nell'industria europea e risorse per sviluppare le prime applicazioni commerciali delle tecnologie innovative entro il 2030, con un'enfasi specifica sull'idrogeno pulito. Le istituzioni europee hanno istituito un nuovo quadro regolamentare per il sistema energetico europeo, tenendo conto delle innovazioni tecnologiche come l'idrogeno, in particolare l'idrogeno verde. Lo sviluppo dell'idrogeno rinnovabile è attualmente una priorità assoluta per l'UE, ma richiede misure intermedie distinte con il supporto di altre forme di idrogeno a basse emissioni di carbonio. Questa transizione incoraggerà l'uso dell'idrogeno prodotto attraverso gas e la messa in atto delle tecnologie di cattura e stoccaggio del carbonio.

Il seguente paper è organizzato in modo da fornire un'ampia panoramica sulla tematica dell'idrogeno, esaminando vari aspetti chiave e considerazioni. Nella Sezione 1 del primo Capitolo viene fornita una panoramica generale sulle diverse tipologie di idrogeno, i suoi derivati e una descrizione delle caratteristiche relative al trasporto dello stesso. Per facilitare la comprensione del linguaggio tecnico utilizzato nell'analisi, è stato inserito nella Sezione 2 un glossario che fornisce definizioni chiare e concise dei termini chiave utilizzati all'interno di questo studio.

Successivamente, nel Capitolo 2 viene esaminato il trasporto dell'idrogeno a livello globale. Questa sezione si concentra sulle rotte commerciali e sugli attori principali, ovvero i paesi coinvolti nel commercio di idrogeno. Inoltre, vengono esaminate le criticità, le sfide e le opportunità che si presentano in questo settore in continua evoluzione.

Una parte di questa analisi è dedicata al ruolo dell'Italia. Nel Capitolo 3 viene esaminata la produzione, l'importazione e l'esportazione di idrogeno verde nel contesto italiano. Vengono esplorati i fattori abilitanti che potrebbero consentire all'Italia di diventare un hub europeo per l'idrogeno.

Infine, vengono presi in considerazione i rapporti dell'Italia con altri paesi del Mediterraneo e del Mare del Nord, poiché queste relazioni possono avere un impatto significativo sul suo posizionamento all'interno del mercato dell'idrogeno.

Nella conclusione, vengono riassunti i punti chiave dello studio e si fornisce una visione d'insieme dei possibili scenari futuri relativi all'idrogeno e al ruolo che l'Italia potrebbe svolgere in questo contesto.

1.2 Glossario

Di seguito vi è una sintesi dei concetti e delle terminologie che verranno utilizzate nell'analisi. Alcuni di questi concetti saranno ripresi e sviluppati in maniera più esaustiva nel corso dell'analisi.

• Stoccaggio dell'idrogeno

L'idrogeno può essere immagazzinato in grandi quantità per lunghi periodi di tempo. L'energia prodotta non viene persa nel tempo e può essere immagazzinata su scala industriale e recuperata come fonte di energia di riserva quando è necessario. Tre sono le forme di possibile stoccaggio dell'idrogeno:

- se l'idrogeno viene trasportato come gas ad alta pressione, il suo stoccaggio richiede l'uso di serbatoi ad alta pressione (350-700 bar o 5000-10.000 psi);
- se trasportato come liquido a bassa temperatura e a pressione atmosferica, lo stoccaggio dell'idrogeno liquido richiede temperature criogeniche per evitare che ribollisca in un gas (che si verifica a $-252,8^{\circ}\text{C}$);
- se trasportato sotto forma di sostanze chimiche dove l'idrogeno è legato in modo stabile ma reversibile, può essere immagazzinato utilizzando tre tipologie differenti di materiali. Per primi quelli che utilizzano l'adsorbimento per immagazzinare l'idrogeno sulla superficie del materiale, per secondi quelli che usano l'assorbimento per immagazzinare l'idrogeno all'interno del materiale, e come terza via, quella rappresentata dallo stoccaggio di idruri, che utilizza una combinazione di materiali solidi e liquidi.

• Vettori energetici

- **Ammoniaca (NH_3)**: è un gas incolore, di odore pungente, la cui molecola è composta da un atomo di azoto e tre d'idrogeno, facilmente solubile in acqua con reazione basica. L'ammoniaca ha una densità di energia maggiore rispetto all'idrogeno liquido, il quale deve essere immagazzinato a condizioni criogeniche di -253°C , mentre l'ammoniaca può essere immagazzinata a -33°C . Inoltre, è molto meno energivora quindi, sebbene pericolosa da maneggiare a causa della sua tossicità, è molto meno infiammabile dell'idrogeno. L'ammoniaca è un composto chimico comunemente usato nell'industria, la sua applicazione più importante è per la produzione di acido nitrico. Inoltre, è spesso utilizzata nella produzione di fertilizzanti, e grazie a un secolo di utilizzo dell'ammoniaca in questo settore, esiste già una vasta infrastruttura logistica. La grande sfida posta in campo è come produrla e come riconvertirla in idrogeno utilizzando le rinnovabili come fonte di energia per questi processi, in modo da creare un circolo energetico virtuoso senza emissione di CO_2 . Di fatto la sintesi dell'ammoniaca in maniera tradizionale è responsabile per un miliardo di tonnellate di CO_2 di emissioni annue, quasi il 3% del totale;

- **Metanolo (CH_3OH)**: è un composto organico, il più semplice degli alcoli. Il suo punto di ebollizione è di $64,7^{\circ}\text{C}$, quindi in ambiente si presenta in forma liquida. È molto volatile ed estremamente infiammabile, se disperso nell'ambiente è una sostanza altamente nociva e pericolosa. Inoltre, è un composto chimico impiegato nella produzione di svariati materiali, come la plastica, le vernici ed i solventi. Il metanolo può essere prodotto efficientemente da un'ampia varietà di fonti, tra cui alcuni tipi di combustibile fossile (gas naturale, carbone, oil shale, sabbia bituminosa, etc.), ma anche da prodotti di scarto agricolo e dalla comune spazzatura urbana differenziata. Di fatto oggi il metanolo viene prodotto quasi esclusivamente dal syngas, una miscela ottenuta dalla parziale ossidazione dei combustibili fossili come gas naturale e carbone. Attualmente sono in corso analisi avanzate per studiare la fattibilità dei

processi di produzione del metanolo da fonti rinnovabili; un'ipotesi è la sua produzione da anidride carbonica e acqua, utilizzando il calore prodotto da un impianto solare termico. Inoltre, una tecnologia di note

- **Ammoniaca (NH_3)**: è un gas incolore, di odore pungente, la cui molecola è composta da un atomo di azoto e tre d'idrogeno, facilmente solubile in acqua con reazione basica. L'ammoniaca ha una densità di energia maggiore rispetto all'idrogeno liquido, il quale deve essere immagazzinato a condizioni criogeniche di $-253\text{ }^\circ\text{C}$, mentre l'ammoniaca può essere immagazzinata a $-33\text{ }^\circ\text{C}$. Inoltre, è molto meno energivora quindi, sebbene pericolosa da maneggiare a causa della sua tossicità, è molto meno infiammabile dell'idrogeno.

L'ammoniaca è un composto chimico comunemente usato nell'industria, la sua applicazione più importante è per la produzione di acido nitrico. Inoltre, è spesso utilizzata nella produzione di fertilizzanti, e grazie a un secolo di utilizzo dell'ammoniaca in questo settore, esiste già una vasta infrastruttura logistica. La grande sfida posta in campo è come produrla e come riconvertirla in idrogeno utilizzando le rinnovabili come fonte di energia per questi processi, in modo da creare un circolo energetico virtuoso senza emissione di CO_2 . Di fatto la sintesi dell'ammoniaca in maniera tradizionale è responsabile per un miliardo di tonnellate di CO_2 di emissioni annue, quasi il 3% del totale;

- **Metanolo (CH_3OH)**: è un composto organico, il più semplice degli alcoli. Il suo punto di ebollizione è di $64,7\text{ }^\circ\text{C}$, quindi in ambiente si presenta in forma liquida. È molto volatile ed estremamente infiammabile, se disperso nell'ambiente è una sostanza altamente nociva e pericolosa. Inoltre, è un composto chimico impiegato nella produzione di svariati materiali, come la plastica, le vernici ed i solventi. Il metanolo può essere prodotto efficientemente da un'ampia varietà di fonti, tra cui alcuni tipi di combustibile fossile (gas naturale, carbone, oil shale, sabbia bituminosa, etc.), ma anche da prodotti di scarto agricolo e dalla comune spazzatura urbana differenziata. Di fatto oggi il metanolo viene prodotto quasi esclusivamente dal syngas, una miscela ottenuta dalla parziale ossidazione dei combustibili fossili come gas naturale e carbone. Attualmente sono in corso analisi avanzate per studiare la fattibilità dei processi di produzione del metanolo da fonti rinnovabili; un'ipotesi è la sua produzione da anidride carbonica e acqua, utilizzando il calore prodotto da un impianto solare termico. Inoltre, una tecnologia di note

- **Densità energetica idrogeno**: la densità energetica è la quantità di energia presente in una data massa o in un dato volume. L' idrogeno, paragonato al gas naturale o alla benzina, presenta una densità energetica per unità maggiore (1 kg di idrogeno contiene la stessa energia di 2,4 kg di metano o di 2,8 kg di benzina). Sfortunatamente però, l'idrogeno è il gas meno denso che si conosca, quindi per generare una quantità di energia interessante per unità di volume, deve essere compresso a pressioni molto elevate. Perciò la densità energetica per unità di volume dell'idrogeno è molto bassa. Per un confronto pratico possiamo comparare le densità energetiche di metano e idrogeno ($10\text{ }^\circ\text{C}$) a diverse pressioni; per avere la stessa densità energetica di un metanodotto ad alta pressione (70 bar), l'idrogeno dovrebbe essere compresso a oltre 320 bar. Per questi motivi è poco probabile che le attuali reti di metanodotti possano essere utilizzate per il trasporto dell'idrogeno. Inoltre, sempre a causa della bassa densità, i costi di compressione dell'idrogeno sono molto elevati;

- **Liquefazione idrogeno**: l'idrogeno bolle a $-253\text{ }^\circ\text{C}$. La sua liquefazione e, soprattutto, il suo mantenimento a temperature così basse è un processo difficile e molto energivoro. Il vantaggio dell'idrogeno in forma liquida è che, rispetto all'idrogeno gassoso, è più facile da trasportare su strada, rotaia o via mare;

- **Steam reforming**: il reforming a vapore, o meglio conosciuto come steam reforming, è

un processo termochimico che converte idrocarburi, come il metano o l'etano, in idrogeno e monossido di carbonio. Il processo avviene a temperature elevate, di circa 700-1.100 °C, e in presenza di vapore acqueo. Questo processo industriale è ampiamente utilizzato per la produzione di idrogeno ed è la principale fonte di idrogeno per l'industria chimica, la produzione di ammoniaca e il processo Haber-Bosch;

- **LOHCs:** i vettori di idrogeno organici liquidi (liquid organic hydrogen carriers - LOHC) sono sostanze chimiche che possono legare l'idrogeno in modo reversibile. Il processo di idrogenazione e deidrogenazione dei LOHC è meno costoso e richiede meno energia rispetto alla liquefazione dell'idrogeno. Il processo di idrogenazione dei LOHC avviene in presenza di un catalizzatore, come il nichel o il cobalto. L'idrogeno si lega al LOHC formando un composto idrogenato, che ha una densità energetica significativamente superiore all'idrogeno gassoso. I LOHC sono ancora in fase di sviluppo, ma hanno il potenziale di diventare una soluzione importante per il trasporto dell'idrogeno su larga scala;

- **Idrogeno prodotto da elettricità:** questo tipo di idrogeno si ottiene attraverso l'elettrolisi dell'acqua, utilizzando un elettrolizzatore alimentato da elettricità, indipendentemente dalla fonte che ha prodotto questa elettricità. Le emissioni totali di gas serra associate alla produzione di idrogeno tramite elettricità variano a seconda del metodo di generazione dell'energia elettrica utilizzato.

- **Idrogeno rinnovabile (verde):** l'idrogeno rinnovabile è prodotto tramite elettrolisi dell'acqua in un elettrolizzatore alimentato da elettricità proveniente da fonti rinnovabili. Questo processo di generazione di idrogeno rinnovabile comporta emissioni di gas serra quasi nulle lungo l'intero ciclo di vita. Nel rispetto degli standard di sostenibilità, è possibile ottenere idrogeno rinnovabile attraverso la riformazione del biogas o la conversione biochimica della biomassa. Nel 2022, la produzione di idrogeno a basse emissioni rappresenta meno dell'1% della produzione totale di idrogeno in Italia.

- **Idrogeno prodotto da fonti fossili (grigio):** questo tipo di idrogeno si ottiene utilizzando combustibili fossili come materia prima, principalmente attraverso la riformazione del gas naturale o la gassificazione del carbone. Attualmente, costituisce la maggior parte dell'idrogeno prodotto. Le emissioni di gas serra associate alla produzione di idrogeno basato su fonti fossili sono estremamente elevate. Di conseguenza, la produzione di idrogeno contribuisce a emissioni di CO₂ pari a circa 830 milioni di tonnellate all'anno, equivalente alle emissioni del Regno Unito e dell'Indonesia combinate.

- **Idrogeno prodotto da fonti fossili con cattura di carbonio (blu):** questo tipo di produzione di idrogeno prevede la cattura delle emissioni di gas serra rilasciate durante il processo di produzione dell'idrogeno. Sebbene le emissioni di gas serra siano inferiori rispetto all'idrogeno prodotto da fonti fossili senza cattura di carbonio, l'efficacia della cattura di gas serra può variare, raggiungendo un massimo di 90% di CO₂ catturata.

- **Carburanti sintetici derivati dall'idrogeno:** questa categoria fa riferimento a una vasta gamma di carburanti gassosi e liquidi generati utilizzando idrogeno e carbonio come materie prime. Tra i carburanti sintetici rientrano il cherosene sintetico per l'aviazione, il diesel sintetico per autoveicoli e una varietà di composti utilizzati nella produzione di prodotti chimici e fertilizzanti, come l'ammoniaca e il metanolo. Le emissioni di gas serra associate a questi carburanti sintetici possono variare a seconda della materia prima utilizzata e del processo impiegato.

1.3 Panoramica sulle differenti tipologie di idrogeno e i suoi derivati

L'idrogeno è un tipo di vettore energetico per l'accumulo di energia e può essere prodotto in diversi modi, inclusa la conversione di energia elettrica. Questo gas può essere utilizzato come carburante in un motore a combustione o in una cella a combustibile per convertirlo in energia elettrica e termica. Esistono numerose opzioni per la sua produzione. Il processo per ottenere idrogeno a basse emissioni di carbonio implica la riformazione a vapore del gas naturale (steam reforming) e la cattura della CO₂ emessa per il riutilizzo o il sequestro in caverne di stoccaggio sotterranee o subacquee. D'altra parte, il processo per ottenere idrogeno verde implica l'uso di un elettrolizzatore che separa l'acqua (H₂O) in idrogeno (H₂) e ossigeno (O₂) utilizzando energia rinnovabile, in un processo noto come "elettrolisi".

L'idrogeno può essere immagazzinato in vari luoghi, come caverne di sale (nella forma gassosa) o piccoli serbatoi (nella forma liquida), oppure può essere trasformato in uno dei prodotti cosiddetti derivati che verranno esaminati in seguito. Grazie a queste caratteristiche relative all'immagazzinamento e alla sua trasformazione, l'idrogeno agevola l'integrazione di diverse industrie, consentendo l'utilizzo delle energie rinnovabili in varie nuove modalità. Pertanto, la Commissione europea ritiene che, affinché l'idrogeno possa contribuire nel raggiungimento dell'obiettivo di neutralità climatica, deve essere prodotto su una scala molto più ampia e completamente decarbonizzato, ma ciò è possibile solo attraverso la creazione di un vasto mercato dove sia la domanda che l'offerta di idrogeno siano sufficientemente elevati e bilanciati. Il ruolo fondamentale della domanda di idrogeno emerge nell'evoluzione di un'economia dell'Unione Europea che aspira ad essere incentrata sull'idrogeno. Questa necessità è strettamente legata ai progressi nella tecnologia dell'idrogeno, che mirano a posizionare tale elemento come un'alternativa affidabile rispetto ad altre fonti energetiche.

L'idrogeno può essere prodotto principalmente attraverso l'uso di energia generata da fonti fossili, ma esistono anche diverse altre modalità di produzione dell'idrogeno, con differenti livelli di impatto ambientale. Tuttavia, al momento l'Unione europea non ha ancora una classificazione comune per l'idrogeno. Questa mancanza di standardizzazione è dovuta alle varie fonti energetiche utilizzate nel processo di produzione dell'idrogeno e alle diverse quantità di emissioni di gas serra generate come risultato. Pertanto, la Commissione europea nella sua Strategia dell'Idrogeno del 2020 ha introdotto una distinzione tra:

- **Idrogeno prodotto da elettricità:** questo tipo di idrogeno si ottiene attraverso l'elettrolisi dell'acqua, utilizzando un elettrolizzatore alimentato da elettricità, indipendentemente dalla fonte di quest'ultima. Le emissioni totali di gas serra associate alla produzione di idrogeno tramite elettricità variano a seconda del metodo di generazione dell'energia elettrica utilizzato.
- **Idrogeno rinnovabile:** tale idrogeno è prodotto tramite elettrolisi dell'acqua in un elettrolizzatore alimentato da elettricità proveniente da fonti rinnovabili. Questo processo di generazione comporta emissioni di gas serra quasi nulle lungo l'intero ciclo di vita. Nel rispetto degli standard di sostenibilità, è possibile ottenere idrogeno rinnovabile attraverso la riformazione del biogas o la conversione biochimica della biomassa. Nel 2022, la produzione di idrogeno a basse emissioni rappresentava meno dell'1% della produzione totale di idrogeno.
- **Idrogeno prodotto da fonti fossili:** questo tipo di idrogeno si ottiene utilizzando combustibili fossili come materia prima, principalmente attraverso la riformazione del gas naturale o la gassificazione del carbone. Attualmente, costituisce la maggior parte dell'i-

idrogeno prodotto. Le emissioni di gas serra associate alla produzione di idrogeno basato su fonti fossili sono estremamente elevate. Di conseguenza, la produzione di idrogeno contribuisce a emissioni di CO₂ pari a circa 830 milioni di tonnellate all'anno, equivalente alle emissioni del Regno Unito e dell'Indonesia combinate.

- **Idrogeno prodotto da fonti fossili con cattura di carbonio:** questo tipo di produzione di idrogeno prevede la cattura delle emissioni di gas serra rilasciate durante il processo di produzione dell'idrogeno. Sebbene le emissioni di gas serra siano inferiori rispetto all'idrogeno prodotto da fonti fossili senza cattura di carbonio, l'efficacia della cattura di gas serra può variare, raggiungendo un massimo di 90% di CO₂ catturata.

- **Carburanti sintetici derivati dall'idrogeno:** questa categoria fa riferimento a una vasta gamma di carburanti gassosi e liquidi generati utilizzando idrogeno e carbonio come materie prime. Tra i carburanti sintetici rientrano il cherosene sintetico per l'aviazione, il diesel sintetico per autoveicoli e una varietà di composti utilizzati nella produzione di prodotti chimici e fertilizzanti, come l'ammoniaca e il metanolo. Le emissioni di gas serra associate a questi carburanti sintetici possono variare a seconda della materia prima utilizzata e del processo impiegato.

Ad oggi il consumo di idrogeno in Italia è quasi interamente limitato agli usi industriali nella raffinazione e nella chimica (ammoniaca) ed è prevalentemente prodotto da fonti fossili. La produzione di idrogeno verrà ulteriormente approfondita con riguardo all'Italia nella Sezione 2 del Capitolo 3.

a) I principali prodotti derivati dall'idrogeno

Parallelamente all'uso dell'idrogeno puro, esistono una vasta gamma di carburanti gassosi e liquidi derivati dall'idrogeno e dal carbonio, i quali un ruolo fondamentale nello sfruttare appieno il suo potenziale.

Dai cherosene sintetici per l'aviazione all'idrogeno verde per il diesel automobilistico, questi derivati stanno rivoluzionando il settore del trasporto. Tuttavia, le loro applicazioni si estendono ben oltre il settore dei trasporti, trovando impiego anche nell'industria chimica e nell'agricoltura per la produzione di fertilizzanti. Il pieno potenziale dell'idrogeno si realizza solo quando viene convertito in derivati. L'idrogeno può essere combinato con il carbonio proveniente dalla CO₂ per produrre idrocarburi e una vasta gamma di molecole. Può essere utilizzato per la produzione di ammoniaca, impiegata sia come materia prima per i fertilizzanti (la principale applicazione) sia come carburante per nuove applicazioni, come la navigazione. Il metanolo, i carburanti sintetici e altri composti possono anche essere prodotti dall'idrogeno. Una volta trasformato in questi derivati, l'energia si concentra ulteriormente, rendendo economicamente conveniente il trasporto a lunga distanza e lo stoccaggio a lungo termine. Di conseguenza, la conversione in derivati dell'idrogeno apre nuovi orizzonti per il commercio globale di energia rinnovabile.

Per quanto riguarda il settore del trasporto marittimo, i derivati dell'idrogeno svolgono un ruolo cruciale. Tobias Block, Head of Strategy and Content presso l'eFuel Alliance, ritiene che gli e-fuels rappresentino la soluzione più promettente per la decarbonizzazione del settore marittimo. Il settore navale è notoriamente difficile da elettrificare, il che rende l'uso di carburanti liquidi come LNG sintetico, metanolo, ammoniaca o diesel rinnovabili un'alternativa essenziale. Gli e-fuels, grazie alle loro caratteristiche chimiche simili ai combustibili fossili, possono essere miscelati con i carburanti tradizionali per raggiungere una diffusione di mercato completa, consentendo significativi risparmi di CO₂ fin da subito. Per sostenere questa transizione, sono necessari impegni politici globali ambiziosi e mec-

canismi di sostegno a livello nazionale ed europeo come visto nella recente approvazione della FuelEU maritime regulation, dedicata a ridurre gradualmente nel tempo l'intensità carbonica dei carburanti usati nel settore marittimo.

b) Ammoniaca verde

L'ammoniaca verde, in quanto vettore energetico, offre alcuni vantaggi rispetto all'idrogeno. È liquida a -33 °C, rispetto all'idrogeno che richiede temperature di -253 °C, ed esiste già un'infrastruttura per il suo stoccaggio e trasporto. L'ammoniaca può alimentare turbine a gas per la generazione di elettricità senza emissioni. Oltre a semplificarne il trasporto, i derivati dell'idrogeno possono contribuire notevolmente alla decarbonizzazione dei processi industriali. La previsione è che entro il 2050, l'ammoniaca sarà il principale carburante per le applicazioni marittime del Regno Unito, rappresentando il 35% del mercato. Si prevede che l'ammoniaca verde sarà 15 volte più economica dell'idrogeno liquido. Tuttavia, l'adozione delle navi alimentate dall'ammoniaca non è prevista prima del 2035, poiché richiederà lo sviluppo di nuove tecnologie. Oltre al suo utilizzo nella produzione di fertilizzanti, l'ammoniaca trova applicazioni industriali in settori come la produzione di plastica e fibre sintetiche.

c) Metanolo verde

Il metanolo verde viene prodotto mediante la combinazione di idrogeno verde e diossido di carbonio. Attualmente, il metanolo è uno dei principali prodotti nell'industria chimica. La produzione su larga scala di metanolo verde può contribuire in modo significativo alla transizione energetica.

Oltre alle celle a combustibile alimentate direttamente con idrogeno, esistono diverse altre tipologie quali le Solid Oxide Fuel Cells (SOFC), le Phosphoric Acid Fuel Cells (PAFC) e le Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC). Le SOFC operano a temperature elevate e sono adatte per applicazioni stazionarie, come la produzione di energia elettrica in impianti industriali. Le PAFC sono caratterizzate da una temperatura di lavoro moderata e sono spesso utilizzate per applicazioni stazionarie, come sistemi di cogenerazione. Le PEMFC, d'altra parte, operano a temperature più basse e sono comunemente impiegate in veicoli a celle a combustibile e applicazioni portatili. Rispetto alle celle a combustibile ad idrogeno, le celle a combustibile a metanolo offrono un'alternativa interessante.

Il metanolo verde è facile da immagazzinare, trasportare e utilizzare. La sua produzione fa uso di tecnologie consolidate, con impianti operativi da oltre un decennio.

La sintesi del metanolo verde, impiegando energia rinnovabile, acqua e CO₂ provenienti da processi industriali, crea un sistema circolare. L'acqua prodotta viene reinserita nell'elettrolizzatore e il calore residuo può essere catturato e riutilizzato, insieme all'ossigeno.

Il metanolo è uno degli utilizzi industriali più ampi dell'idrogeno ed è utilizzato principalmente come materia prima per la produzione di altre sostanze chimiche. Il suo derivato principale è la formaldeide, che trova impiego nella produzione di resine utilizzate nell'edilizia, nell'industria automobilistica e nei beni di consumo.

1.4 Descrizione e caratteristiche del trasporto dell'idrogeno

La strategia dell'Unione Europea sull'idrogeno e il piano REPowerEU hanno delineato un quadro completo per promuovere l'adozione dell'idrogeno rinnovabile e a basse emissioni di carbonio, con l'obiettivo di contribuire in modo economicamente vantaggioso alla decarbonizzazione dell'Unione Europea e alla riduzione della sua dipendenza dai combustibili fossili. Nella strategia dell'Unione Europea sull'idrogeno si sottolinea come il bisogno di infrastrutture per il trasporto dell'idrogeno rimarrà inizialmente limitato, poiché la domanda verrà soddisfatta principalmente da produzioni locali o geograficamente vicine, e in alcune regioni potrebbe essere utilizzata una miscela di idrogeno e gas naturale. Tuttavia, è auspicabile iniziare a progettare infrastrutture di trasporto a medio raggio fondamentali per raggiungere gli obiettivi fissati nella strategia e nel piano REpowerEU.

Particolarmente rilevante riguardo il trasporto dell'idrogeno è l'obiettivo fissato dal piano europeo REpowerEU dove viene identificato come prioritario per l'Unione Europea lo sviluppo dell'idrogeno rinnovabile, con l'obiettivo di produrre 10 milioni di tonnellate in loco e importarne altre 10 milioni entro il 2030. Per agevolare l'importazione di un quantitativo di idrogeno rinnovabile che potrebbe arrivare a toccare la cifra di 10 milioni di tonnellate, la Commissione sosterrà lo sviluppo di ampi corridoi di importazione attraverso il Mediterraneo e l'area del Mare del Nord.

Il commercio globale dell'idrogeno potrebbe apparire piuttosto diverso dall'attuale commercio internazionale di combustibili fossili, tra cui il gas naturale.

Perché l'idrogeno diventi una merce scambiata a livello mondiale, il costo delle importazioni deve essere inferiore al costo della produzione interna. A differenza del petrolio o del gas naturale, il trasporto dell'idrogeno su lunghe distanze non è un compito facile. La liquefazione dell'idrogeno è un processo ad alta intensità energetica, mentre il mantenimento della bassa temperatura necessaria per il trasporto e lo stoccaggio a lunga distanza comporta perdite energetiche aggiuntive e costi associati.

Il trasporto dell'idrogeno avrà probabilmente un ruolo importante nella creazione della value chain per tale vettore energetico, poiché è proprio il trasporto che condurrà il carburante dal punto di produzione all'utente finale.

Attualmente, non esiste una soluzione univoca ottimale per la diffusione e dell'idrogeno in tutti i contesti di trasporto. Allo stato attuale, la produzione di idrogeno avviene principalmente in prossimità dei luoghi di utilizzo. Tuttavia, poiché sia i volumi di produzione che le distanze di trasporto si stanno ampliando per far fronte alla crescente domanda, sarà necessario sviluppare notevolmente l'infrastruttura dell'idrogeno.

Questo sviluppo infrastrutturale sarà cruciale per collegare le regioni ricche di risorse per la produzione di idrogeno a basse emissioni con i mercati. L'idrogeno gassoso può essere trasportato ai consumatori che ne richiedono quantità modeste utilizzando rimorchi multielement per gas, come tubi ad alta pressione in acciaio o contenitori compositi più leggeri. In alternativa, l'idrogeno può essere trasportato allo stato liquido in contenitori criogenici termo-isolati, adatto ai consumatori con domande di medie dimensioni, specialmente quando la costruzione di condutture dedicate risulta economicamente svantaggiosa a causa dei flussi volumetrici relativamente bassi.

Per il trasporto su lunghe distanze, potrebbe essere necessario sviluppare reti di trasporto, facendo uso di condutture dove possibile o tramite l'utilizzo di apposite navi che coprano lunghe distanze. Questo richiederà la conversione dell'idrogeno in una forma caratterizzata da alta densità energetica, come l'ammoniaca, trasportatori organici liquidi di idrogeno (LOHC) o carburanti sintetici a base di idrocarburi. Gli idrocarburi sintetici potranno

essere utilizzati direttamente come materie prime e carburante, mentre l'ammoniaca potrà essere utilizzata senza ulteriore riconversione in idrogeno.

La maggior parte del trasporto di idrogeno avviene attualmente su strada tramite l'utilizzo di autocarri, specialmente quando si parla di quantità significative. Questa modalità di trasporto è vantaggiosa per coprire brevi distanze, poiché offre benefici in termini di costi. Il trasporto in cisterne criogeniche su strada o rotaia potrebbe apparire più efficiente, ma i consumi energetici del processo di liquefazione in sé sono eccessivi per un vettore energetico. Il processo di liquefazione dell'idrogeno, che implica il raffreddamento del gas a livelli criogenici inferiori a -253°C , richiede circa il 25-30% dell'energia contenuta nell'idrogeno stesso. Ad esempio, con un'efficienza del 25%, la produzione di 1 kg di idrogeno liquido potrebbe richiedere l'equivalente energetico di circa 4 kg di idrogeno gassoso, includendo l'energia necessaria per comprimere, raffreddare e mantenere le condizioni criogeniche durante il trasporto.

L'utilizzo di idrogeno da fonti rinnovabili per la produzione di metanolo e ammoniaca rende disponibili due vettori ad alto contenuto energetico. Entrambi hanno già un proprio mercato e una rete di distribuzione e sono facilmente trasportabili. L'idrogeno gassoso può essere distribuito al punto di utilizzo in contenitori ad alta pressione o tramite condutture. Il trasporto in serbatoi ad alta pressione affronta sfide simili a quelle dello stoccaggio in recipienti ad alta pressione e può essere facilitato utilizzando il trasporto stradale, ferroviario o marittimo. Ciò rende questa soluzione flessibile e adatta a raggiungere qualsiasi destinazione senza la necessità di nuove infrastrutture.

Davanti a queste sfide, una domanda chiave è quale sia la migliore alternativa all'idrogeno liquido da impiegare per scopi di consegna dello stesso su distanze estremamente lunghe. Attualmente, tra le sostanze identificate come potenziali vettori di H_2 adatti al trasporto marittimo, le seguenti tre opzioni sono probabilmente le più popolari:

- (a) l'ammoniaca liquida;
- (b) i cosiddetti trasportatori organici liquidi di idrogeno, in generale, e il toluene-metilcicloesano (MCH) in particolare;
- (c) il metanolo.

Attualmente, non è ancora chiaro quale sia la metodologia di trasporto più economica, dato che ci sono diverse opzioni disponibili, tra cui il trasporto di idrogeno gassoso, liquido o dopo una lavorazione chimica. Si stanno studiando diverse soluzioni per rendere il trasporto dell'idrogeno il più sicuro possibile. Una di queste soluzioni coinvolge il legame chimico dell'idrogeno a un "carrier" organico per semplificare il trasporto. Questo approccio offre il vantaggio di un prodotto finale meno esplosivo e infiammabile, con minori requisiti di sicurezza. Inoltre, non richiede elevate pressioni o temperature di stoccaggio. Questo idrogeno legato chimicamente può essere caricato e trasportato in modo simile ai carburanti tradizionali su autocarri o navi, sfruttando le infrastrutture esistenti. Tuttavia, va notato che il trasporto di idrogeno non è privo di sfide, e il legame dell'idrogeno con altre sostanze chimiche deve essere attentamente considerato. È importante che il processo di creazione del legame e di estrazione non richieda un consumo eccessivo di energia, poiché ogni processo chimico comporta un dispendio energetico noto che non dovrebbe essere sottovalutato.

Nonostante queste sfide, in confronto alle tradizionali spese di trasporto dell'idrogeno, questa procedura rappresenta già un'alternativa interessante. Queste tematiche verranno ulteriormente approfondite all'interno del Capitolo 2 Sezione 2 di questo studio, dedicato al trasporto dell'idrogeno a livello globale.

In Italia, secondo le direttive del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE), è stato stabilito un obiettivo minimo per lo sviluppo delle infrastrutture tradizionali di trasporto del gas, considerando anche l'utilizzo dell'idrogeno. Entro il 2030, si prevede che fino al 2% del gas naturale distribuito possa essere gradualmente sostituito con l'idrogeno. Le specifiche tecniche, come definite dalla UNI/TS 11537:2019, che regolamentano l'introduzione del biometano nelle reti di trasporto e distribuzione del gas naturale, stabiliscono un limite tecnico massimo dell'1% di volume di idrogeno nel biometano che può essere inserito nella rete. Tuttavia, è importante notare che al momento in Italia non esiste una legislazione organica chiaramente definita per l'iniezione su larga scala di idrogeno "puro" nella rete di trasporto del gas naturale.

In conclusione, il trasporto dell'idrogeno presenta due modalità principali: su breve distanza e su lunga distanza, ciascuna con le proprie caratteristiche distintive. Il primo è una soluzione ideale per soddisfare le esigenze locali e si contraddistingue per la sua efficienza in quanto questa modalità di trasporto si dimostra altamente efficiente quando si tratta di consegnare idrogeno per applicazioni locali: riduce notevolmente i costi associati al trasporto su lunghe distanze e minimizza le perdite durante il trasporto.

Il trasporto su breve distanza è anche caratterizzato da un certo grado di flessibilità, in quanto esso permette consegne dirette a una varietà di applicazioni, che includono celle a combustibile per veicoli, centrali elettriche locali e altri utilizzi industriali. La versatilità è una delle sue principali qualità. Inoltre, il trasporto su strada su breve distanza tende ad essere più economico in termini di infrastruttura anche se richiede una gestione logistica accurata per garantire consegne tempestive ed efficienti.

Il trasporto su lunga distanza, effettuato tramite gasdotti o trasporto marittimo, è ottimale per coprire distanze estese e permette di ridurre le perdite di idrogeno che in questo tipo di trasporto sono generalmente inferiori rispetto a quello su strada, migliorando l'efficienza complessiva del processo. In tal modo, meno idrogeno va sprecato durante il tragitto. Un'ulteriore particolarità riguarda la necessità di investimenti significativi in infrastrutture specifiche, in quanto la presenza di infrastrutture dedicate rende il trasporto più affidabile. L'efficienza energetica è un altro elemento da considerare per questa modalità di trasporto: la liquefazione dell'idrogeno necessaria per il trasporto su lunga distanza richiede una quantità aggiuntiva di energia, la quale influisce sulla sua efficienza complessiva. Questa liquefazione comporta una perdita di energia, ma è spesso una scelta necessaria per coprire distanze estese in modo efficace. La scelta di una modalità di trasporto appropriata è fondamentale per garantire un utilizzo efficace dell'idrogeno rinnovabile, contribuendo così alla creazione di una società a basse emissioni di carbonio e sostenibile. Criticità, sfide e opportunità che si presentano riguardo il trasporto dell'idrogeno verranno approfondite nella Sezione 3 del Capitolo 2.

CAPITOLO 2

2.1 Il trasporto dell'idrogeno

In questo secondo capitolo, si approfondisce il tema del trasporto dell'idrogeno, analizzando le principali rotte commerciali a livello globale e i Paesi coinvolti. Si esaminano inoltre le criticità, le sfide e le opportunità che questa tipologia di trasporto presenta.

In particolare, la prima parte del capitolo si concentra sulle rotte commerciali, si analizzano i possibili hub di importazione e i principali Paesi di esportazione dell'idrogeno. Si evidenziano inoltre le tendenze in atto, come l'aumento dell'interesse verso questo vettore energetico.

La seconda parte del capitolo si focalizza sulle criticità, le sfide e le opportunità del trasporto dell'idrogeno. Si analizzano sia i principali problemi tecnici e logistici che devono essere affrontati, sia le opportunità che questa tipologia di trasporto può offrire.

Il trasporto dell'idrogeno è una sfida fondamentale per la sua diffusione su larga scala, dal momento che i costi elevati del trasporto impattano significativamente sui costi complessivi di questo vettore energetico, rappresentando una sfida per la sostenibilità commerciale del settore.

Tale dinamica è dovuta principalmente al fatto che le zone con le condizioni più favorevoli alla produzione di idrogeno si trovano sovente in aree distanti dai siti di consumo - con conseguenti carenze in termini di interconnessioni e reti di trasporto -, mentre la domanda è concentrata nelle aree urbane.

La risoluzione di questa criticità passa attraverso due tipologie di soluzione, in base all'arco temporale di riferimento. In particolare, nel breve termine il trasporto di idrogeno puro liquefatto è la soluzione più praticabile, dal momento che l'idrogeno liquefatto ha una densità energetica significativamente superiore all'idrogeno gassoso, il che lo rende più efficiente da trasportare. Tuttavia, il processo di liquefazione è costoso e richiede molta energia: essa implica il raffreddamento del gas a livelli criogenici inferiori a -253°C , richiede circa il 25-30% dell'energia contenuta nell'idrogeno stesso. Nel lungo termine, invece, i vettori di idrogeno organici liquidi (Liquid organic hydrogen carriers- LOHC) potrebbero rappresentare una soluzione più efficiente dal punto di vista energetico. I LOHC sono sostanze chimiche che possono legare l'idrogeno in modo reversibile. Il processo di idrogenazione e deidrogenazione dei LOHC è meno costoso e richiede meno energia rispetto alla liquefazione dell'idrogeno.

2.2 Le rotte commerciali dell'idrogeno a livello globale

La maggiore criticità che limita lo sviluppo di un'economia dell'idrogeno matura è l'elevato costo del trasporto di questo specifico vettore energetico. Attualmente, infatti, le principali modalità di trasporto dell'idrogeno prevedono il suo utilizzo allo stato gassoso o, in alternativa, allo stato liquido, entrambe opzioni che rendono il processo particolarmente dispendioso. Ciò nonostante, l'estremo interesse per la ricerca di nuove fonti di produzione e trasporto di energia decarbonizzata ha incrementato esponenzialmente l'attenzione globale per l'idrogeno, anche al fine di risolvere la criticità legata ai suoi costi di trasporto.

La sostenibilità economica del settore dell'idrogeno è legata alla sua capacità di essere utilizzato in diversi settori come l'industria, il trasporto e i servizi pubblici. Questo richiede la capacità di immagazzinare l'idrogeno in grandi quantità per periodi prolungati, nonché di consegnare l'idrogeno su distanze estremamente lunghe, comprese quelle di na-

tura transoceanica. Tuttavia, al momento il commercio dell'idrogeno è limitato principalmente ai mercati regionali.

Attualmente, in Europa, è presente un piano strutturale sull'ampliamento della diffusione di idrogeno, il quale prevede entro il 2040 l'ampliamento e la costruzione di nuovi idrogenodotti (Figura 2). In particolare, il progetto chiamato European Hydrogen Backbone prevede la realizzazione della dorsale europea della rete di trasporto dell'idrogeno con il coinvolgimento dei principali operatori dei sistemi di trasporto e stoccaggio di gas (nel caso dell'Italia, sarà SNAM S.p.a a occuparsene).

Questo progetto si estenderà a tutta l'Europa per un totale di oltre 20.000 km e comprenderà sia la riconversione degli attuali gasdotti per trasporto di idrogeno sia la costruzione ex novo di nuovi idrogenodotti. L'obiettivo è quello di ridurre al minimo il costo legato al trasporto (dell'ordine di 10 centesimi per kg ogni 1000 km) e, quindi, il costo finale per l'utente.



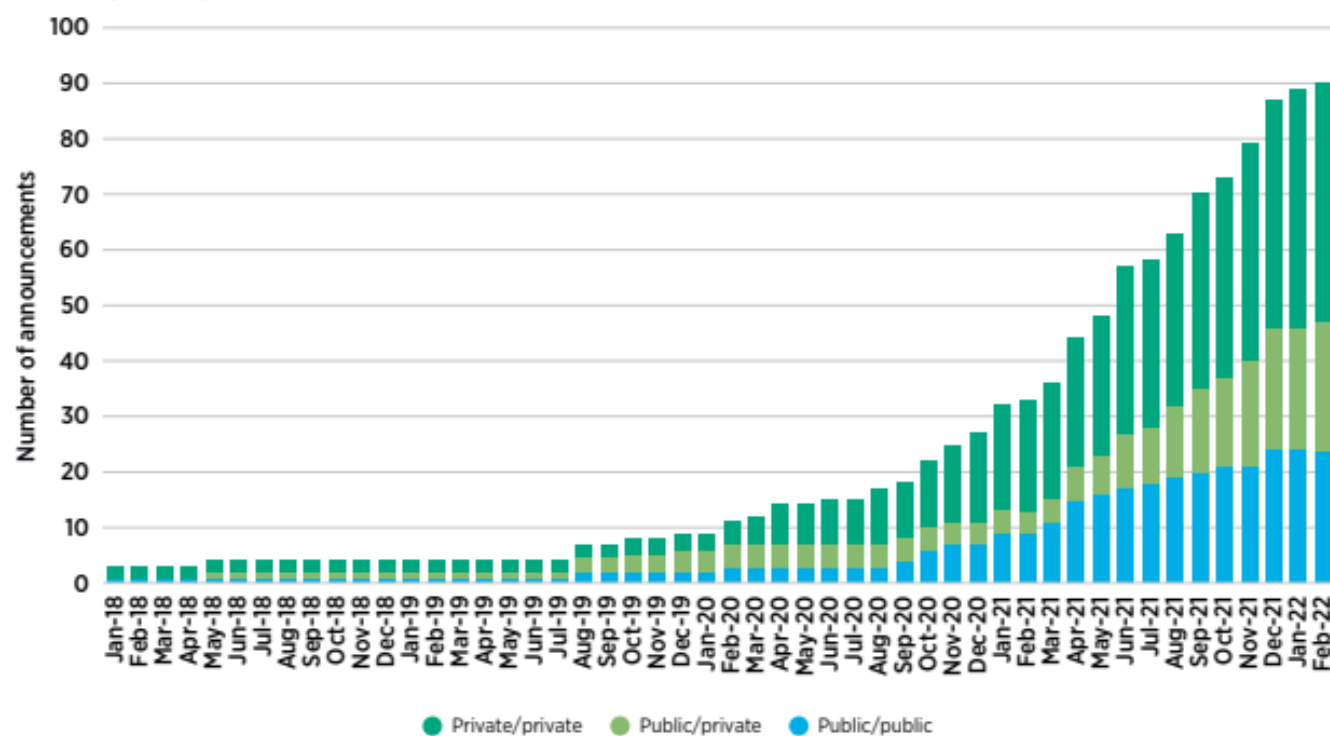
Figura 2: European Hydrogen Backbone

(Fonte: <https://ehb.eu/page/european-hydrogen-backbone-maps>)

Tra il 2019 e il 2022, 15 Paesi e la Commissione Europea hanno pubblicato strategie sull'idrogeno. Una delle dimensioni più comuni è stata la collaborazione internazionale, sia per lo scambio di conoscenze che per il potenziale commercio futuro. Molte di queste strategie sono state implementate attraverso accordi, studi di fattibilità e memorandum di cooperazione. Gli annunci di strategie pubblicati si possono suddividere in due macrocategorie: collaborazioni tecniche per scambi di conoscenze specialistiche settoriali e

progetti pilota o studi specifici per il commercio dell'idrogeno tra diversi Stati. Il grafico di seguito (Figure 3) riporta l'andamento della seconda tipologia di annunci sopracitati, delineando un costante aumento dal 2018. Sebbene ci siano stati sviluppi limitati fino alla metà del 2020, i numeri si quadruplicano nel giro di 13 mesi (passando da 12 a maggio 2020 a 49 nel giugno 2021) e nuovamente si raddoppiano, raggiungendo la cifra di 90, nei successivi 9 mesi.

FIGURE 1.5. Cumulative number of announcements of agreements for hydrogen trade since the beginning of 2018



Note: This count excludes agreements that were for hydrogen technologies in general and did not mention trade explicitly.

⁷ Methanol could also be reconverted, but since it is a carbon-containing carrier there would be some CO₂ release upon reversion and the round-trip efficiency might be in the order of one-third.

*Figura 3: Annunci di accordi per il commercio dell'idrogeno dall'inizio del 2028
(Fonte: IRENA 2022)*

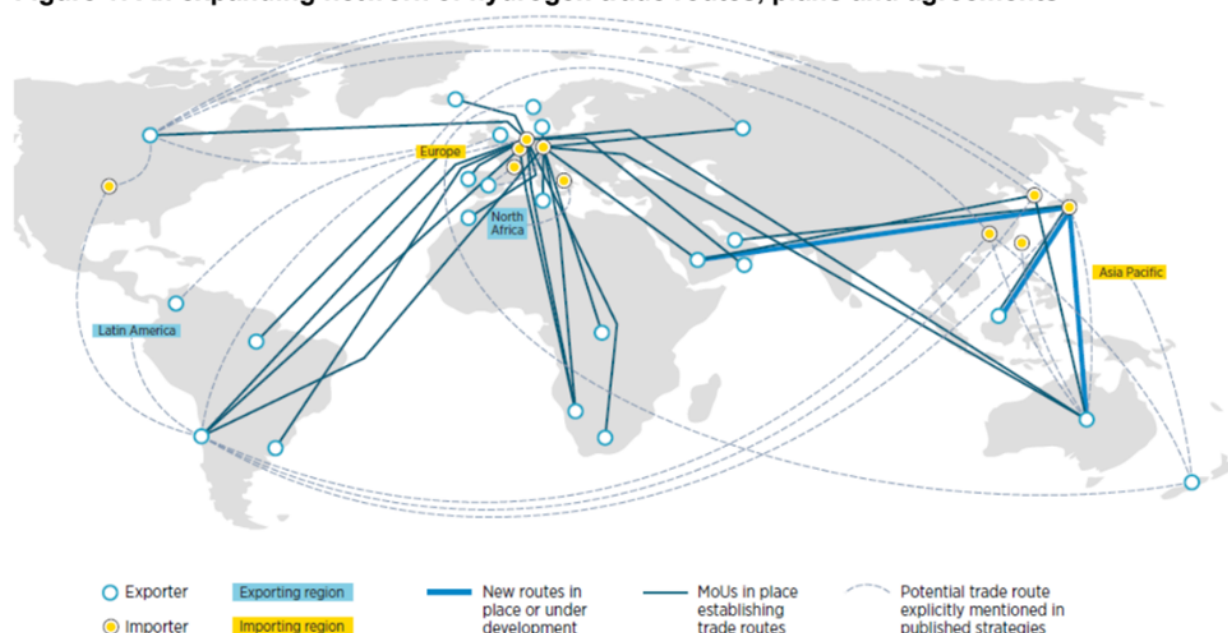
I Paesi dove si è registrato una maggior quantità di annunci, per quanto riguarda l'importazione di idrogeno, sono la Germania, il Giappone e i Paesi Bassi.

Una combinazione di potenziale interno di produzione limitato e restrizioni sulle scelte tecnologiche di generazione (ad esempio nucleare, CCS - carbon capture and storage) hanno portato questi Stati ad esplorare nuove prospettive promettenti per l'importazione di idrogeno, nonostante i costi aggiuntivi di trasporto. Allo stesso tempo, la necessità di sicurezza energetica e l'incertezza associata al futuro sviluppo tecnologico dell'idrogeno hanno spinto questi Paesi a strutturare il proprio approccio focalizzandosi su due aspetti complementari: in primis, stabilire rapporti con più Paesi nel caso ci siano eventi imprevedibili che impediscono lo sviluppo locale dell'industria dell'idrogeno (es: la Germania ha firmato accordi di cooperazione con diversi paesi, tra cui l'Australia, l'Olanda e il Qatar; il Giappone sta collaborando con diversi paesi per lo sviluppo di nuove tecnologie di produzione di idrogeno, tra cui l'Australia, gli Stati Uniti e la Cina; i Paesi Bassi stanno investendo in progetti di produzione di idrogeno verde in diversi paesi, tra cui la Germania, l'Australia

e il Marocco); in secundis, testare differenti vettori di idrogeno, in quanto è ancora in discussione quale sia l'alternativa più efficiente.

Di seguito alcuni esempi pratici di come in questi Stati l'interesse in materia di importazione sia esponenzialmente cresciuto. La Germania ha stanziato 2 miliardi di euro dal pacchetto di ripresa dal Covid-19 ai partenariati internazionali, di cui 900 milioni di euro destinati a sostenere l'importazione di idrogeno attraverso l'iniziativa H2Global. I Paesi Bassi stanno progettando l'importazione dell'idrogeno attraverso il porto di Rotterdam, il porto più grande d'Europa (e il più grande del mondo al di fuori della Cina), e stanno attuando progetti considerevoli riguardo l'utilizzo dell'idrogeno nel Paese. Di fatto i Paesi Bassi stanno investendo sia nell'infrastruttura per il rifornimento di idrogeno per navi, sia in studi relativi all' utilizzo dell'idrogeno come alternativa ai combustibili fossili tradizionali nell'industria chimica e come sostitutivo del gas naturale nel riscaldamento urbano. Singapore, nell'ultimo periodo, sta valutando il suo ruolo come hub commerciale di importazione per l'intera Asia. La Cina, al contrario, si sta concentrando molto sullo sviluppo del settore dei trasporti stradali e sulla leadership tecnologica, e non ha ancora annunciato alcun piano strategico di commercio dell'idrogeno.

Figure 1: An expanding network of hydrogen trade routes, plans and agreements¹



Source: IRENA (2022a)

*Figura 4: una rete in espansione di rotte, piani e accordi commerciali per l'idrogeno
(Fonte: IRENA 2022)*

La figura 4 rappresenta le nuove e future rotte dell'idrogeno, evidenziando i paesi esportatori dalle aree di importazione. Possiamo riassumere in tre tipologie i possibili (se non già attivi) paesi esportatori:

- Per primi i paesi che ad oggi importano energia ma, allo stesso tempo, possiedono abbondanti risorse rinnovabili, che potrebbero permettergli di diventare grandi esportatori di energia - tra questi abbiamo Cile, Marocco, Portogallo e Spagna;
- Per secondi, i paesi che ad oggi sono esportatori di energia, possiedono abbondanti risorse rinnovabili e che puntano a passare da economie basate sull'esportazioni di combu-

stibili fossili a un'economia di esportazione con una bassa impronta carbonica - tra questi Australia, Canada e paesi del Medio Oriente;

- Per ultimo, i paesi che mostrano già una quota elevata di energia rinnovabile nel loro mix energetico e che stanno già puntando a esportare idrogeno rinnovabile - tra questi Australia, Nuova Zelanda, Norvegia, Uruguay e alcune province del Canada.

Questa moltitudine di paesi interessati al trasporto globale dell'idrogeno è ottimale per testare diverse configurazioni e condizioni di trasporto. È importante sottolineare, però, che la maggior parte degli annunci dell'ultimo biennio (Figura 3) si riferiscono a scelte preliminari, il che implica l'incertezza della concretizzazione effettiva di questi progetti.

Il progetto più grande di produzione (ancora in via di sviluppo) è il Western Green Energy Hub nel sud-est dell'Australia Occidentale, che include 50 GW di generazione rinnovabile (30 GW di energia eolica onshore e 20 GW di fotovoltaico), con un costo totale di circa 100 miliardi di dollari australiani (circa USD 72,3 miliardi) per produrre 3,5 MtH₂/anno o 20 Mt di ammoniaca all'anno. L'obiettivo è di iniziare la produzione nel 2030.

Come esempio reale di trasporto transoceanico, si può citare il primo trasporto commerciale di idrogeno liquido al mondo da parte dell'Australia al Giappone, nel febbraio 2022, con l'ausilio di una nave appositamente costruita per il trasporto dell'idrogeno liquido. Nei primi mesi del 2023, l'Arabia Saudita ha consegnato al Giappone con successo il suo primo carico di ammoniaca a basse emissioni di carbonio, che prevede di utilizzare per la co-combustione con combustibili fossili per ridurre l'impronta carbonica del paese. Anche il Brunei ha spedito per la prima volta MCH (metilcicloesano) al Giappone, dove è stato poi separato in idrogeno e toluene. Le spedizioni di metanolo sono state condotte da tempo su distanze significative, con gli Stati Uniti che importavano circa 5 milioni di tonnellate di questo carburante ogni anno da Trinidad e Tobago e dal Venezuela circa un decennio fa.

Gli esempi sopracitati di trasporto dell'idrogeno a lungo raggio dimostrano come diverse sono le modalità che si stanno testando per trovare le procedure e le tecnologie più efficienti. Il trasporto regionale, infatti, prevede l'utilizzo di tecnologie non sempre adottabili per il trasporto a lungo raggio. Ad esempio, su terraferma, oltre ai condotti (pipeline) dell'idrogeno (che difficilmente sono applicabili per le rotte di trasporto transoceanico), spesso vengono utilizzati rimorchi a tubi per il trasporto dell'H₂ in forma compressa a 250-500 bar.

La capacità di questi rimorchi, tuttavia, è limitata nella maggior parte dei paesi a 280-1000 kg di H₂ a causa di specifiche regolamentazioni in merito all'altezza, alla larghezza e al peso imposte dalle autorità locali dei trasporti. Anche se il formato dell'idrogeno compresso potrebbe potenzialmente essere applicato a navi che trasportano H₂ gassoso oltremare, il trasporto dell'idrogeno in forma liquida comporterebbe il trasporto di un volume significativamente maggiore di questo carburante al punto finale, dovuto principalmente alla densità estremamente bassa dell'idrogeno. Inoltre, la liquefazione dell'idrogeno richiede il raffreddamento del carburante a una temperatura estrema di -252,87 °C, molto vicina allo zero assoluto di -273,15 °C (Amos, 1999). Di conseguenza, il mantenimento di questa bassa temperatura per un qualsiasi periodo di tempo a scopo di trasporto o stoccaggio comporterebbe delle perdite energetiche aggiuntive e costi correlati. Infine, si può definire la liquefazione dell'idrogeno un processo estremamente energivoro - è stimato che il raffreddamento dell'idrogeno gassoso dalla temperatura ambiente al suo punto di ebollizione richiede tipicamente l'uso del 30-36% dell'energia contenuta nell'idrogeno stesso.

Date queste circostanze e nel tentativo di ridurre drasticamente i costi legati al consumo di energia, alle perdite termodinamiche e alle altre sfide del trasporto dell'idrogeno liqui-

do, l'attenzione si è rivolta a opzioni di trasporto alternative che potrebbero essere meno problematiche e potenzialmente più economiche. Nello specifico, l'ammoniaca, il toluene/metilcicloesano (MCH), il metanolo e in generale i vettori organici liquidi dell'idrogeno (LOHCs), sono stati considerati come alternative promettenti all'idrogeno liquido, definendosi come vettori di idrogeno potenziali.

2.3 Criticità, sfide e opportunità

La diffusione globale dell'idrogeno come vettore di energia rappresenta una prospettiva promettente, ma è accompagnata da numerose criticità e sfide. Una delle principali riguarda proprio il trasporto dell'idrogeno su distanze estremamente lunghe, comprese quelle transoceaniche. Al momento, il commercio dell'idrogeno è principalmente limitato ai mercati regionali e le soluzioni tecnologiche esistenti consentono di trasportare grandi volumi di questo carburante solo in forma gassosa o liquida. Mentre il trasporto a livello regionale può contare su soluzioni consolidate come i condotti, i rimorchi a tubi o il trasporto di idrogeno compresso, il trasporto transoceanico richiede un approccio diverso a causa delle distanze estremamente lunghe e delle condizioni ambientali complesse.

Mentre diversi paesi stanno attivamente elaborando piani strategici per lo sviluppo dell'idrogeno, l'UE ha compiuto un passo avanti significativo sviluppando la propria Strategia dell'Idrogeno nel luglio 2020, il cui argomento centrale è lo sviluppo di infrastrutture per il trasporto e lo stoccaggio dell'idrogeno sia mediante l'ammodernamento degli attuali gasdotti e la creazione di reti dedicate sia tramite meccanismi di trasporto alternativi. Nel panorama attuale europeo, l'utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico è emerso come un tema di fondamentale importanza soprattutto dopo la pubblicazione della medesima Strategia, con un finanziamento di 470 miliardi di euro destinati a progetti di ricerca e di produzione di idrogeno verde. Tuttavia, la crescita di un mercato dell'idrogeno a basse emissioni comporta diversi ostacoli tecnici e notevoli sfide sia a livello tecnologico che economico. Anche se gli obiettivi per il breve termine non sono, in realtà, troppo diversi dalle idee già incluse in alcuni piani nazionali di settore di alcuni paesi membri dell'UE, l'identificazione di una traiettoria ambiziosa per l'espansione dell'idrogeno a basse emissioni per il medio e lungo termine come asse prioritario del Green Deal europeo e del pacchetto Next Generation EU hanno evocato lo scenario di un cambiamento radicale su scala comunitaria.

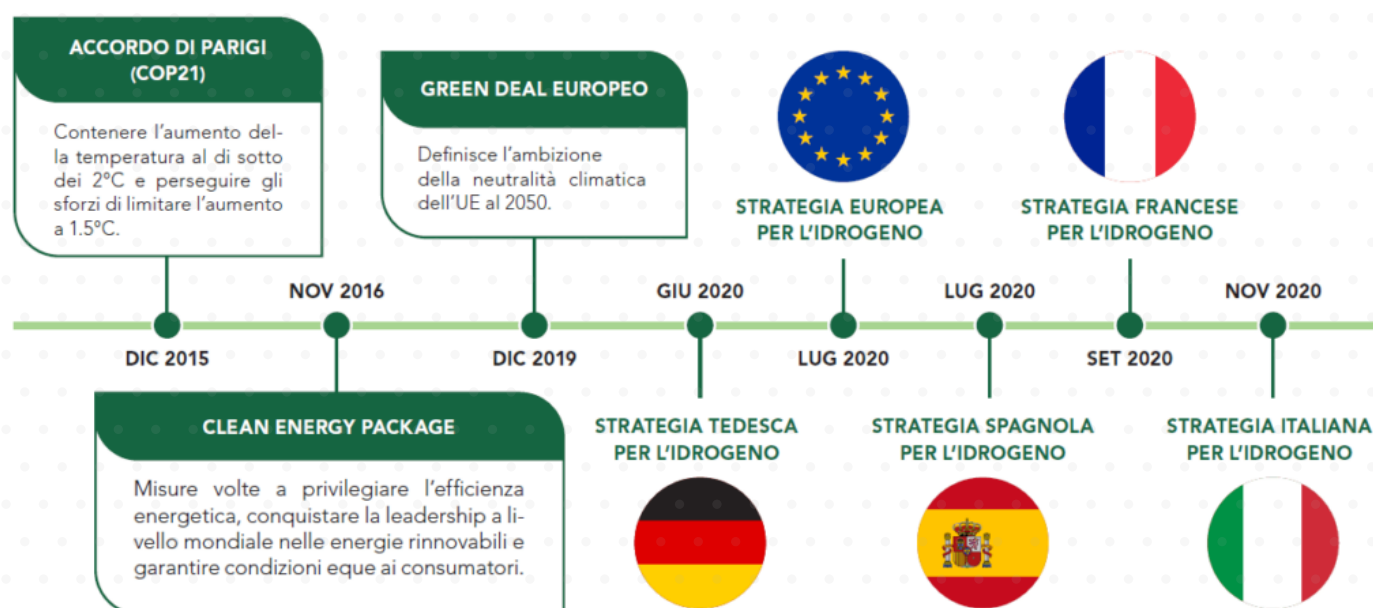


Figura 5 - Evoluzione strategie per l'idrogeno (Fonte: Hydrogen Innovation Report 2021)

Questa prospettiva di un cambiamento profondo nell'orizzonte energetico sta sollevando numerose domande sia in termini di evoluzione delle tecnologie per la produzione, il

trasporto e il consumo dell'idrogeno, sia in termini di finanziamento delle infrastrutture e della regolamentazione di questo nuovo settore, delle opportunità di mercato e delle conseguenze sui settori affini, in particolare quello del gas naturale.

A seguire un breve schema delle principali criticità della produzione e del trasporto dell'idrogeno:

Categoria	Criticità e sfide
Ostacoli Tecnici	• Produzione sostenibile di idrogeno • Conservazione e distribuzione dell'idrogeno
Incertezza nel trasporto	• Selezione del mezzo di trasporto (conduttore, camion, navi, ecc.) • Distanze e volumi
Sviluppo di infrastrutture e Investimenti necessari	• Attuali costi elevati di produzione; • Sviluppo di infrastrutture; • Necessità di economie di scala; • Soluzioni per il trasporto su lunghe distanze; • Disponibilità di impianti di produzione strategici;

a) Ostacoli tecnici: ruolo dell'idrogeno e sfida ambientale

L'elevata domanda di idrogeno che la transizione energetica potrebbe richiedere pone la necessità di sviluppare un approccio attento e responsabile nelle fasi di produzione e trasporto. Attualmente, la produzione di idrogeno avviene in gran parte attraverso fonti non rinnovabili e inquinanti e, come abbiamo discusso nel capitolo precedente, ciò è determinato sia dal metodo di produzione che dall'impatto ambientale associato. Assicurare che l'energia utilizzata per produrre e trasportare l'idrogeno sia il più possibile pulita è una delle sfide principali.

La conservazione e la distribuzione dell'idrogeno sono due delle principali sfide nel campo del trasporto. A causa della sua bassa densità, l'idrogeno deve essere compresso o liquefatto per occupare meno spazio e consentire un trasporto efficiente. La liquefazione dell'idrogeno è una delle opzioni considerate soprattutto per il trasporto a lunga distanza. Questo processo prevede il raffreddamento dell'idrogeno gassoso a temperature estremamente basse, approssimativamente vicine allo zero assoluto di -253°C , per convertirlo in forma liquida. Tuttavia, la liquefazione dell'idrogeno è un processo che richiede una notevole quantità di energia. Con la tecnologia attuale esistente, la liquefazione consuma più del 30% dell'energia contenuta nell'idrogeno stesso. Inoltre, il mantenimento del livello di raffreddamento richiesto per un periodo prolungato comporta notevoli perdite di energia e costi correlati. Ciò rende la liquefazione dell'idrogeno una soluzione costosa e complessa per il trasporto su lunghe distanze.

In risposta a ciò, si stanno esplorando alternative promettenti al trasporto dell'idrogeno

liquido. Una di queste alternative è l'uso dell'ammoniaca, che può essere utilizzata come vettore di idrogeno. L'ammoniaca è più stabile a temperatura ambiente e meno complessa da manipolare rispetto all'idrogeno liquido. Sono in corso progetti che esplorano il trasporto di ammoniaca e la sua successiva conversione in idrogeno nel punto di destinazione. Altre alternative sono il toluene/metilcicloesano (MCH) e il metanolo. Questi composti possono agire come serbatoi di idrogeno e possono essere trasportati più facilmente dell'idrogeno in forma gassosa o liquida. La conversione dell'idrogeno da questi vettori può avvenire in loco o all'arrivo, a seconda delle necessità.

Di seguito una tabella riassuntiva dei vantaggi e delle sfide da affrontare nel caso della loro applicazione pratica:

TIPOLOGIA	VANTAGGI	SFIDE
Idrogeno (liquido)	• Molto puro • Carbon-free • Nessuna necessità di deidrogenazione e purificazione • Nessuna/minima perdita di energia nella rigassificazione • Commercializzato allo stato liquido	• Altamente infiammabile • Necessità di temperature estremamente basse per la liquefazione • Elevati requisiti energetici per il raffreddamento e la liquefazione • Difficoltà nella conservazione a lungo termine • Richiede il controllo delle perdite per evaporazione (0,2-0,3% al giorno in cisterne ben isolate e fino al 3% al giorno in veicoli) • Rischio di perdite • Necessità di ulteriore sviluppo e scalabilità dell'infrastruttura dell'idrogeno
Ammoniaca	• Possibilità di utilizzo diretto • Elevata densità energetica ed elevato contenuto di idrogeno • Non altamente infiammabile • Carbon-free • Possibilità di utilizzare le già esistenti infrastrutture del propano/infrastrutture dell'ammoniaca • Basse perdite nel trasporto	• Tossica e corrosiva • Reattività inferiore rispetto agli idrocarburi • Richiede trattamento e gestione da parte di ingegneri certificati • Elevato consumo di energia per la deidrogenazione • Necessità di purificazione dell'idrogeno • Possibilità di emissioni di NOx (ossidi di azoto) quando utilizzata come combustibile

	Regolamentazioni parzialmente esistenti	Navale e non completamente bruciata
MHC toluene/ metilcicloesano- lo	• Possibilità di riutilizzare il toluene dopo la deidrogenazione • Conservazione liquida senza raffreddamento • Infrastruttura di stoccaggio esistente • Possibilità di utilizzare l'infrastruttura esistente per la benzina • Regolamentazioni esistenti	• Tossico e corrosivo • Altamente infiammabile • Contiene carbonio • Il toluene è prodotto principalmente come sottoprodotto della raffinazione del petrolio • Costosi catalizzatori (al platino) utilizzati per la deidrogenazione • Richiede alte temperature e grandi volumi di energia per la deidrogenazione • Necessità di ulteriore purificazione dell'idrogeno • Costi aggiuntivi per il "ritorno" del toluene al sito di idrogenazione
Metanolo	• Può essere conservato allo stato liquido a certe condizioni ambientali • Non è necessario apportare ampie modifiche all'infrastruttura sia per lo stoccaggio che per il trasporto (gran parte è già esistente)	• Tossico e corrosivo • Altamente infiammabile • Contiene carbonio • Tecnologia immatura per la produzione di metanolo rinnovabile • Rilascio di carbonio (CO e CO₂) durante la decomposizione (steam reforming) • Necessità di ulteriore purificazione dell'idrogeno • La combustione/incenerimento incompleto crea formaldeide

b) Incertezza nel trasporto: modalità, volumi e distanze

L'incertezza nel trasporto dell'idrogeno riguarda principalmente il modo in cui questo vettore energetico si sposterà in tutto il mondo e le variazioni dei costi lungo la catena di approvvigionamento. Questa incertezza è dovuta al fatto che ci sono diverse modalità di trasporto, ciascuna con i suoi vantaggi e sfide: l'idrogeno può essere trasportato tramite condutture, camion o navi, e ciascun mezzo ha implicazioni specifiche.

Il trasporto su strada tramite carri bombolai o su rotaia rappresenta un'opzione flessibile per coprire tratte di breve distanza o in presenza di volumi limitati. Tuttavia, va notato che questa modalità può risultare poco efficiente dal punto di vista energetico.

Per il trasporto su distanze maggiori e con volumi più consistenti è giustificata l'adozione di infrastrutture dedicate come le pipeline o le navi. Le pipeline, in particolare, offrono efficienza significativa in presenza di una domanda costante, in quanto possono sfruttare l'opportunità di riconvertire l'attuale rete del gas esistente. Questo riduce notevolmente le spese e garantisce una maggiore efficienza complessiva.

Come è emerso in precedenza, l'idrogeno può essere compresso, liquefatto o trasformato avendo così una maggiore densità energetica e capacità di trasporto. Questo rende il trasporto su lunghe distanze più economicamente conveniente, in quanto può collegare regioni con abbondante energia rinnovabile a regioni con una minore disponibilità di risorse rinnovabili o costi più elevati per l'utilizzo di energia rinnovabile.

Per quanto riguarda il trasporto su lunghe distanze, come i percorsi intercontinentali, il mezzo più conveniente è spesso il trasporto via nave, utilizzando vettori come l'ammoniaca che ha una densità energetica circa otto volte superiore a quella delle batterie al litio. L'alta densità energetica dell'ammoniaca la rende particolarmente adatta a coprire distanze estese con costi competitivi. Per queste ragioni, i derivati dell'idrogeno diventeranno un importante catalizzatore per il commercio globale di energia rinnovabile.

Tuttavia, è importante notare che il trasporto di idrogeno gassoso via nave è limitato dalla sua bassa densità energetica, mentre il trasporto di idrogeno liquido comporta costi energetici relativi alla liquefazione, rendendo questa opzione più adatta per applicazioni di lungo raggio.

In sintesi, il trasporto dell'idrogeno su brevi distanze offre efficienza e flessibilità per utilizzi locali. Al contrario, il trasporto su lunghe distanze attraverso gasdotti o mezzo marittimo è indispensabile per coprire tratti estesi, pur richiedendo investimenti specifici in infrastrutture. È opportuno notare che il trasporto marittimo, sebbene fondamentale per distanze considerevoli, presenta una leggera riduzione dell'efficienza energetica associata alla fase di liquefazione. La scelta tra queste modalità dipende dalle esigenze specifiche e dalle condizioni geografiche. In conclusione, il trasporto dell'idrogeno rinnovabile richiede una pianificazione oculata, prendendo in considerazione una serie di fattori, tra cui la distanza, l'infrastruttura esistente e l'efficienza energetica.

A seguire una breve sintesi sul trasporto dei diversi vettori a breve, medio e lungo raggio e a seconda del mezzo utilizzato:

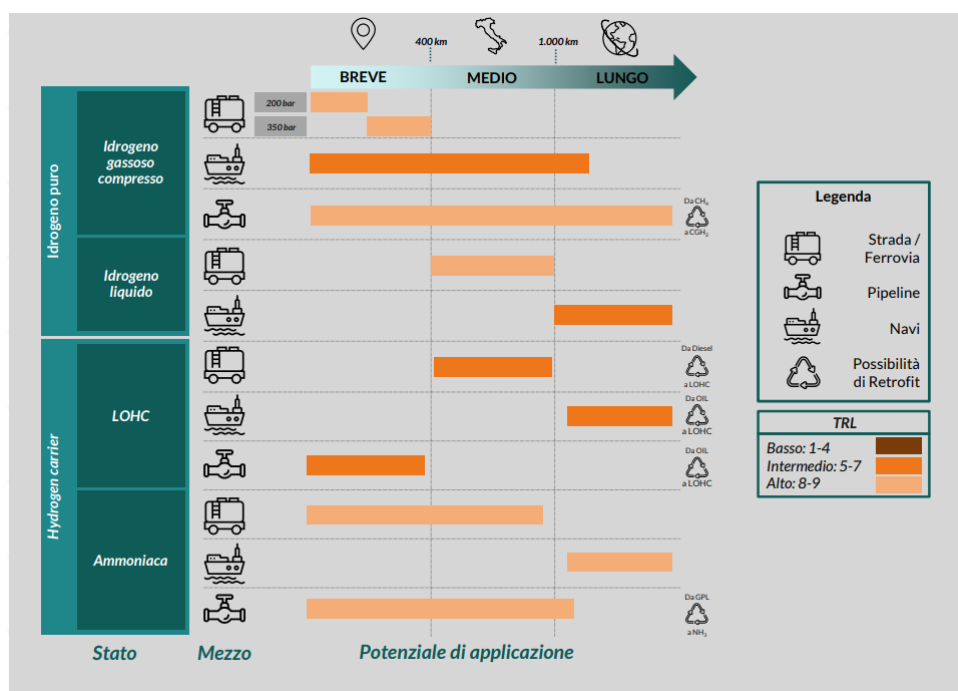


Figura 6 - Le soluzioni di trasporto di idrogeno puro e hydrogen carrier analizzate (Fonte: Hydrogen Innovation Report 2023)

c) Sviluppo di infrastrutture e investimenti necessari nel settore

Alla luce di quanto esaminato, la transizione all'uso diffuso dell'idrogeno verde richiede investimenti significativi in nuove infrastrutture e tecnologie. Questo include la costruzione di impianti di produzione di idrogeno verde, sistemi di stoccaggio e trasporto, nonché lo sviluppo di tecnologie per l'impiego dell'idrogeno in diversi settori.

Una delle sfide principali riguarda le infrastrutture necessarie per sostenere l'uso diffuso dell'idrogeno le quali, al momento, non sono sufficienti o non sono dedicate esclusivamente al trasporto dell'idrogeno. L'attuale mancanza di infrastrutture di trasporto idonee e dedicate rappresenta una sfida chiave nell'adozione su larga scala dell'idrogeno verde. Le reti di gas esistenti variano notevolmente tra i paesi UE a causa delle diverse caratteristiche, per cui affrontare questa disomogeneità richiede investimenti significativi in nuove infrastrutture e tecnologie per garantire il trasporto sicuro e affidabile dell'idrogeno su lunghe distanze. Per ovviare a questa criticità, inizialmente l'idrogeno potrebbe essere mescolato (blending) in piccole quantità al gas naturale nelle reti esistenti. Si tratterebbe, però, di un metodo non esente da ostacoli, in primis quelli legati ai limiti di miscelazione. In una fase successiva, la conversione delle reti gas e delle destinazioni d'uso finale in idrogeno puro sarà però necessaria.

La costruzione di infrastrutture dedicate per la produzione, il trasporto e lo stoccaggio comporta costi significativi. La produzione di idrogeno verde richiede impianti elettrolizzatori, mentre il trasporto richiede la costruzione di tubature o la conversione di infrastrutture esistenti. Lo stoccaggio richiede contenitori ad alta pressione o sistemi di stoccaggio criogenico. Questi investimenti iniziali possono essere un ostacolo per l'adozione su larga scala dell'idrogeno verde.

Attualmente, il costo dell'idrogeno verde prodotto da elettrolizzatori alimentati da energia rinnovabile è di circa 5,5-7,5 euro al chilogrammo. Questo costo è determinato principalmente dal costo degli elettrolizzatori, che è ancora relativamente elevato. Tuttavia, si prevede che il costo degli elettrolizzatori continuerà a diminuire, grazie ai progressi tecnologici in corso e agli investimenti nazionali e internazionali in questa tecnologia.

In particolare, si stima che il costo degli elettrolizzatori possa scendere a circa 2,5-3,5 euro al chilogrammo entro il 2030. Questo costo è paragonabile al costo del gas naturale e del carbone, che sono attualmente le principali fonti di energia per la produzione di calore ed elettricità.

Inoltre, la crescente disponibilità di energia rinnovabile a basso costo contribuirà a ridurre i costi dell'idrogeno verde. L'energia solare ed eolica, in particolare, sono fonti di energia rinnovabile a basso costo e sono in grado di fornire un'alimentazione stabile e affidabile per gli elettrolizzatori. Di conseguenza, si può stimare che l'idrogeno verde sarà competitivo con le altre fonti di energia entro il 2030.

Tuttavia, è importante notare che gli investimenti nazionali previsti dal PNRR, pari a 3,6 miliardi di euro, potrebbero non essere sufficienti per affrontare le necessità del settore. In particolare, gli investimenti per lo sviluppo della filiera degli elettrolizzatori, pari a 100 milioni di euro, rappresentano un passo importante, ma potrebbero non essere sufficienti per sostenere la crescita di questo settore in Italia.

Per questo motivo, è probabile che il governo italiano vada oltre gli investimenti previsti dal PNRR, anche attraverso il ricorso a fonti di finanziamento private. Ad esempio, il go-

verno ha recentemente annunciato l'intenzione di creare un fondo per l'idrogeno, che potrebbe contribuire a mobilitare investimenti privati in questo settore.

In conclusione, si può affermare che l'idrogeno verde ha il potenziale per diventare una fonte di energia competitiva nel prossimo futuro. Tuttavia, è necessario un impegno significativo da parte del governo e del settore privato per sostenere lo sviluppo di questa tecnologia.

In questo paragrafo è stata fornita una panoramica sulle principali sfide e opportunità collegate al trasporto dell'idrogeno. Come è emerso, lo sviluppo di un mercato dell'idrogeno rappresenta un'opportunità di innovazione sia a livello tecnologico che di business. Tuttavia, l'aspetto più impegnativo dello sviluppo di un'economia verde dell'idrogeno rimane il trasporto oceanico su lunghe distanze.

Infatti, nonostante gli ostacoli tecnici e le numerose sfide economiche e infrastrutturali, il trasporto dell'idrogeno presenta una serie di opportunità che lo rendono una scelta promettente come alternativa ai combustibili fossili tradizionali. Per superare le sfide dell'idrogeno e costruire un settore dell'idrogeno decarbonizzato, è importante considerare questi passaggi:

- Decarbonizzare la produzione di idrogeno;
- Identificare i settori con il maggior bisogno e potenziale di idrogeno. Ad esempio, i trasporti sono già identificati come sottosettori chiave, particolarmente difficili da decarbonizzare, come l'aviazione e il trasporto marittimo;
- Decidere quale sia la tipologia di trasporto migliore a seconda di distanze e utilizzo;
- Aumentare gli investimenti;
- Ridurre i costi;
- Garantire la costante evoluzione del sistema di supporto e incentivazione per rimanere allineato con il progresso tecnologico, lungo tutta la catena del valore, dalla produzione fino all'utilizzo finale.

La liquefazione dell'idrogeno è un'alternativa al trasporto ma la sua bassa densità energetica volumetrica e il costo e il consumo di energia per la liquefazione rimangono attualmente elevati, creando una barriera importante per le catene di approvvigionamento.

Di conseguenza, uno dei fattori chiave per lo sviluppo di un mercato dell'idrogeno è la riduzione dei costi di produzione del vettore, diversificando il mix di fonti rinnovabili che ne alimenta il processo di produzione.

In conclusione, sebbene ci siano ancora delle criticità legate al trasporto dell'idrogeno, esso rappresenta un'opportunità cruciale per la transizione verso un sistema energetico sostenibile. Affinché l'idrogeno giochi un ruolo significativo in questo contesto, è fondamentale considerare il concetto più ampio di sistema energetico. Ciò è inteso come un approccio olistico che non si limita alla mera disponibilità delle tecnologie legate all'idrogeno, bensì si fa riferimento all'intera catena del valore energetico, inclusi i processi di produzione, distribuzione e consumo. Pertanto, la transizione verso un sistema energetico sostenibile non riguarda solo l'idrogeno come singolo elemento, ma la sua integrazione sinergica in un contesto più ampio. Questo approccio richiede non solo avanzamenti tecnologici, ma anche scelte politiche e investimenti mirati.

Questo approccio integrato si riflette nell'analisi complessiva di come l'idrogeno si inserisce nel panorama energetico europeo, tenendo conto degli aspetti tecnologici, politici

ed economici. In questo modo, il passaggio a un sistema energetico sostenibile diventa un obiettivo raggiungibile mediante un approccio integrato e strategico. Alla luce delle attuali dinamiche che caratterizzano il settore e che abbiamo descritto in precedenza, riteniamo che l'Italia possa giocare un ruolo centrale sia come potenziale paese produttore e centro di stoccaggio, sia come vettore tra Mediterraneo e Europa. Questo scenario possibile sarà approfondito nel prossimo capitolo.

CAPITOLO 3

3.1 Il ruolo dell'Italia

Nel futuro, l'Italia potrebbe assumere un ruolo di primo piano nell'economia dell'idrogeno europea. Questo grazie allo sviluppo di progetti che sfruttano un'expertise altamente funzionale, non solo dal punto di vista delle competenze umane, ma anche in termini di posizione geografica del paese. In questo contesto, diventano particolarmente importanti i progetti congiunti per lo sviluppo dell'idrogeno con i paesi confinanti o situati al di là del Mediterraneo e dell'Adriatico.

In Italia, la ricerca e lo sviluppo sull'idrogeno verde e la sua applicazione nel settore energetico stanno guadagnando slancio, con il governo e le imprese che si sforzano di delineare una strategia per sfruttare appieno il potenziale di questa fonte di energia pulita. L'Italia, come molte altre nazioni, affronta la doppia sfida del cambiamento climatico e della dipendenza dalle fonti di energia fossile. Sebbene il paese abbia compiuto progressi significativi nella produzione di energia rinnovabile, come l'energia idroelettrica, solare ed eolica, l'idrogeno potrebbe offrire una soluzione complementare per affrontare le sfide energetiche future.

Nel dicembre 2019, il Governo italiano ha ufficialmente presentato il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) 2030 al fine di attuare il Regolamento UE n. 1999/2018, che stabilisce obiettivi vincolanti in materia di efficienza energetica, fonti rinnovabili e riduzione delle emissioni di CO₂ da raggiungere entro il 2030.

Nel luglio di quest'anno il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ha ufficialmente inviato alla Commissione europea la proposta di aggiornamento del PNIEC. La proposta di Piano è attualmente in fase di valutazione da parte degli organismi comunitari e sarà oggetto di confronto con il Parlamento e le Regioni nei prossimi mesi. Inoltre, sarà sottoposta al procedimento di Valutazione Ambientale Strategica. Si prevede che l'approvazione del testo definitivo avverrà entro giugno 2024.

Nel novembre 2020, l'allora Ministro dello Sviluppo Economico ha pubblicato le Linee Guida Preliminari sulla Strategia Nazionale dell'Idrogeno, le cui finalità entro il 2030 comprendono lo sviluppo di un ecosistema nazionale dell'idrogeno e la graduale competitività dell'idrogeno in settori selezionati, coprendo circa il 2% della domanda energetica italiana entro il 2030. A lungo termine, entro il 2050, l'obiettivo delle Linee Guida sull'Idrogeno è che l'idrogeno supporti gli sforzi di decarbonizzazione insieme ad altre tecnologie a basse emissioni di carbonio, in particolare nei settori difficili da decarbonizzare (ad esempio, produzione di acciaio, industria chimica). Quindi, si prevede che l'idrogeno possa coprire fino al 20% della domanda energetica italiana entro il 2050.

Il Piano di Ripresa e Resilienza italiano sostiene lo sviluppo di un'economia dell'idrogeno

nel contesto della Missione 2, denominata “Rivoluzione Verde e Transizione Ecologica”. All’interno della Componente 2 - Misura 3, l’obiettivo principale è incentivare la produzione, la distribuzione e gli utilizzi finali dell’idrogeno, con particolare attenzione all’energia rinnovabile, all’idrogeno e ai trasporti sostenibili. Un finanziamento complessivo di 23,78 miliardi di euro è stato allocato per questa iniziativa, di cui 3,19 miliardi di euro sono specificamente destinati a promuovere la produzione e la distribuzione di idrogeno, contribuendo così al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.

Questo obiettivo dovrebbe essere raggiunto attraverso cinque linee di riforme e investimenti, indicate anche dalle Linee Guida sull’Idrogeno, per le quali saranno necessari investimenti fino a 10 miliardi di euro tra il 2020 e il 2030. Tali linee di intervento sono qui sinteticamente presentate:

1. Creazione delle cosiddette “Hydrogen valleys” in aree industriali dismesse già collegate alla rete elettrica. Le “Hydrogen valleys” saranno in posizioni strategiche per costruire una rete di produzione e distribuzione dell’idrogeno più granulare per le imprese vicine tramite camion o tramite gasdotti esistenti dedicati miscelati con il metano.
2. Promozione della decarbonizzazione dei settori difficili da decarbonizzare, che sono particolarmente energy intensive e mancano di opzioni di elettrificazione, come i settori chimico, raffinazione del petrolio, acciaio, cemento, vetro e carta. L’idrogeno è principalmente prodotto in loco nella sua forma “grigia”, quindi dal gas naturale e senza l’utilizzo di sistemi di cattura della CO₂, e di conseguenza è responsabile per la produzione di emissioni: un significativo sviluppo dell’idrogeno verde aumenterebbe la riduzione delle emissioni di circa il 90%.
3. Aumento dell’uso di camion alimentati da idrogeno fino al 5-7% del mercato dei mezzi pesanti entro il 2030, creando circa 40 stazioni di rifornimento per l’idrogeno.
4. Prevedere la conversione in idrogeno di circa 9 stazioni di rifornimento su 6 linee ferroviarie non elettrificate. Nel prossimo decennio, i treni a idrogeno a celle a combustibile potrebbero diventare competitivi a livello di costo rispetto ai treni alimentati a diesel, diventando una delle aree più promettenti per lo sviluppo di un mercato nazionale dell’idrogeno. Questo progetto include la produzione di idrogeno verde vicino alle stazioni di rifornimento, attraverso lo sviluppo dell’intero sistema rilevante per la produzione, lo stoccaggio e l’uso.
5. Prevedere la ricerca e lo sviluppo su:
 - a. la produzione di idrogeno verde;
 - b. lo sviluppo di tecnologie per lo stoccaggio e il trasporto di idrogeno e per la trasformazione in altri derivati e carburanti verdi;
 - c. lo sviluppo di celle a combustibile; e
 - d. il miglioramento della resilienza delle infrastrutture attuali in caso di maggiore diffusione dell’idrogeno.

Un ulteriore investimento dedicato all’idrogeno nel contesto del Piano di Ripresa e Resilienza italiano è l’Investimento 5.2. Con un finanziamento di 450 milioni di euro, esso mira a potenziare la catena del valore dell’idrogeno in Italia. L’obiettivo è costruire almeno uno stabilimento industriale per elettrolizzatori con una capacità di 1 GW/anno. Il Ministro dell’Ambiente ha destinato l’intero importo a tre linee progettuali, con almeno il 40% delle risorse per progetti nelle Regioni del Mezzogiorno. Attraverso un Protocollo d’intesa, sono stati stipulati accordi con De Nora Italy Hydrogen Technologies e Ansaldo Energia. La Commissione europea ha autorizzato formalmente l’iniziativa “H2 Technology” il 15 luglio 2022, consentendo ai progetti di ricevere gli aiuti di Stato IPCEI (Important Project of Common European Interest).

Nel marzo 2023, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ha annunciato l'avvio del processo di selezione dei progetti industriali per la sostituzione dei combustibili fossili con l'idrogeno a basse emissioni di carbonio, concedendo un finanziamento di circa 1 miliardo di euro.

Inoltre, le Linee Guida sull'Idrogeno accennate in precedenza affermano che l'iniezione e la miscelazione di idrogeno a bassi livelli nella rete del gas possono rappresentare un metodo efficace per contribuire agli obiettivi di decarbonizzazione e stimolare il mercato dell'idrogeno, investendo nello sviluppo della catena di approvvigionamento e della distribuzione. Per quanto riguarda l'idrogeno verde, l'energia in eccesso dalle fonti rinnovabili può essere sfruttata per produrre idrogeno a un costo inferiore. Inoltre, la scelta dei siti per l'immissione di idrogeno può anche avere un impatto sociale, ad esempio, l'uso di aree industriali dismesse stimolerebbe l'economia locale creando nuove opportunità per le imprese. Recentemente sono state adottate modifiche normative mirate ad accelerare le procedure di valutazione dell'impatto ambientale per lo sviluppo di impianti di produzione di idrogeno verde.

A conferma dell'impegno dell'Italia verso questa tecnologia strategica, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ha annunciato il 31 ottobre 2023 un investimento sostanziale di 100 milioni di euro per sostenere lo sviluppo della filiera delle componenti necessarie alla produzione di idrogeno rinnovabile. Questa iniziativa si inquadra nell'ambito più ampio del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) e mira a fornire le risorse necessarie per potenziare l'ecosistema dell'idrogeno in Italia. Le imprese interessate hanno l'opportunità di presentare proposte progettuali per questo ambizioso programma la cui amministrazione è stata affidata a Invitalia. Il Ministro Gilberto Pichetto Fratin ha enfatizzato l'importanza di questo investimento, affermando che rappresenta "un ulteriore passo avanti per lo sviluppo e il potenziamento della filiera italiana dell'idrogeno rinnovabile". Questo settore è cruciale per la decarbonizzazione di industrie ad elevato impatto ambientale e per l'adozione dell'idrogeno nei trasporti a lunga distanza.

I progetti finanziabili comprenderanno la creazione o l'ampliamento di unità produttive per componenti chiave come gli elettrolizzatori, dispositivi per la compressione e lo stoccaggio dell'idrogeno, nonché sistemi di interfaccia con impianti di produzione di energia rinnovabile. Inoltre, il finanziamento supporterà la ricerca industriale e la formazione di personale necessarie per sostenere questi progetti.

Questo annuncio rappresenta un passo significativo verso la creazione di una solida infrastruttura e competenza nell'ambito dell'idrogeno rinnovabile in Italia. Contribuirà in modo sostanziale alla realizzazione degli obiettivi di decarbonizzazione e all'adozione di energie pulite nel paese, aprendo nuove opportunità per la crescita economica sostenibile.

Alcuni progetti particolarmente rilevanti sono descritti nella Tabella seguente la quale offre uno sguardo rapido alle iniziative cruciali di alcune aziende nel panorama energetico italiano, focalizzandosi sulle proposte legate all'idrogeno. Le aziende come SNAM, A2A, e Italgas stanno giocando un ruolo significativo nella promozione di progetti innovativi per l'integrazione dell'idrogeno nella transizione verso un sistema energetico più sostenibile. Dai successi della sperimentazione di SNAM con l'idrogeno alle ambiziose collaborazioni tra A2A e la Regione Friuli Venezia Giulia, passando per la realizzazione dell'hub europeo dell'idrogeno da parte di Italgas in Sardegna.

² [Idrogeno rinnovabile: MASE, 100 milioni per gli investimenti sulla filiera delle componenti](#)

AZIENDE	TIPOLOGIE DI PROGETTO	DESCRIZIONE DEL PROGETTO
SNAM	Utilizzo della rete per il trasporto dell'idrogeno	Nel 2018, SNAM S.p.A ("SNAM") ha lanciato un progetto chiamato "SNAMTEC" - Tomorrow's Energy Company, volto ad aumentare l'efficienza energetica e operativa, ridurre le emissioni di gas inquinanti e promuovere l'innovazione nel settore energetico. Tra le iniziative incluse nel progetto SNAMTEC, c'era una prova per introdurre una quota del 5% di idrogeno nel mix energetico relativo a due impianti industriali nella regione Campania per un periodo di un mese. La prova ha dimostrato che l'introduzione di anche una piccola parte di idrogeno nel mix energetico permetterebbe una riduzione sostanziale delle emissioni di anidride carbonica (circa 2,5 milioni di tonnellate all'anno).
A2A e Regione Friuli Venezia Giulia	Accordo per la dismissione della centrale a carbone di Monfalcone e la sua conversione a gas	Il governo regionale del Friuli Venezia Giulia ha firmato un accordo con A2A Energiefuture per la dismissione della centrale a carbone di Monfalcone e la sua conversione a gas. A2a ha firmato un memorandum d'intesa con Snam per la cooperazione tecnologica per lo sviluppo di progetti di idrogeno verde nel contesto della decarbonizzazione in Italia e della strategia europea sull'idrogeno. In questa prospettiva, il nuovo impianto sarà attrezzato per utilizzare l'idrogeno verde.
Italgas	Realizzazione del primo hub europeo dell'idrogeno in Sardegna	Nel maggio 2021, l'azienda ha annunciato l'allocazione di 15 miliardi di euro per la realizzazione del primo hub europeo dell'idrogeno in Sardegna. Il progetto prevede l'installazione di un elettrolizzatore alimentato da energia rinnovabile; l'idrogeno verde sarà utilizzato per testare l'intera catena dell'idrogeno: dallo stoccaggio in loco alla consegna di idrogeno liquido per camion ai clienti industriali, fino alla distribuzione a veicoli stradali alimentati ad idrogeno utilizzati per il trasporto pubblico locale tramite una stazione di servizio e l'immissione nella rete del gas, miscelato con metano, per fornire le famiglie.

Tabella 3 - Progetti chiave legati all' idrogeno

L'investimento dell'Italia nell'idrogeno rinnovabile è un esempio del suo impegno verso un futuro energetico più pulito e sostenibile. Questo passo avanti si inserisce in un contesto più ampio di collaborazione internazionale, in cui l'Italia e altri paesi stanno esplorando insieme le potenzialità delle energie rinnovabili. Questi sforzi congiunti potrebbero portare a importanti progressi nel campo dell'energia pulita, contribuendo a ridurre l'impatto ambientale globale e a promuovere la crescita economica sostenibile.

L'Italia, in seguito a recenti incontri strategici con altri paesi, sta esaminando con attenzione diversi ambiti legati all'energia e alle fonti rinnovabili. Tra i temi di interesse emergenti, rientrano:

- **Infrastrutture offshore:** l'Italia sta considerando l'opportunità di collaborare con altri paesi per lo sviluppo di infrastrutture energetiche offshore nel Mar Adriatico, con un potenziale per interessi comuni in questa iniziativa. Questa cooperazione potrebbe portare a sinergie significative nella produzione di energia pulita.
- **Sviluppo sostenibile delle forniture energetiche nelle isole minori:** un altro obiettivo chiave è lo scambio di buone pratiche per promuovere forniture energetiche sostenibili nelle isole minori. Considerando la posizione geografica dell'Italia, caratterizzata da numerose isole, questo aspetto riveste notevole importanza.
- **Impiego dell'idrogeno:** nel settore dei trasporti su strada, l'Italia riconosce la necessità di investire in ricerca e sviluppo, nonché nell'infrastruttura di rifornimento per favorire l'utilizzo dell'idrogeno verde. Inoltre, l'idrogeno viene considerato una valida alternativa per il settore ferroviario, in particolare nelle situazioni in cui l'elettrificazione non è una soluzione pratica.
- **La miscelazione dell'idrogeno:** attualmente, l'Italia dispone di una vasta rete di trasporto e distribuzione di gas naturale con significative emissioni di CO₂. L'aggiunta di idrogeno a basse emissioni di carbonio in questa rete rappresenta un metodo efficace per contribuire agli obiettivi di decarbonizzazione e stimolare il mercato dell'idrogeno verde. Allo stesso tempo, si stanno considerando diverse possibilità di miscelazione dell'idrogeno con il gas naturale, con l'obiettivo di raggiungere una sostituzione fino al 2% entro il 2030.

L'Italia si sta posizionando in modo strategico per affrontare sfide e opportunità legate all'energia e alle fonti rinnovabili, promuovendo soluzioni innovative per il futuro energetico del paese, anche grazie alla sua posizione geografica e la sua rete di gas naturale ben sviluppata, ed emergendo così come un importante hub per l'idrogeno nel contesto euro-mediterraneo. Questo ruolo è ulteriormente rafforzato dalla sua collaborazione con altri paesi del Mediterraneo per lo sviluppo dell'idrogeno. Queste iniziative transnazionali non solo rafforzano la posizione dell'Italia nel panorama energetico globale, ma contribuiscono anche alla realizzazione degli obiettivi di decarbonizzazione e alla promozione di un futuro energetico più pulito e sostenibile, tali aspetti verranno ulteriormente discussi nella Sezione 2 di questo Capitolo.

Infine, è importante menzionare la recente revisione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) effettuata dal governo. In generale, le Missioni del Piano sono aumentate da 6 a 7 con l'introduzione del nuovo capitolo REPowerEU. Le riforme, che costituiscono una parte essenziale del PNRR e del percorso di modernizzazione del Paese, sono passate da 59 a 66. Di particolare rilevanza per l'idrogeno, le principali misure di investimento riguardano il supporto al sistema produttivo per la Transizione Ecologica, le Tecnologie Net Zero e la competitività e resilienza delle filiere produttive strategiche. Un totale di 2,5 miliardi di euro sarà destinato a sostenere lo sviluppo delle filiere strategiche per la transizione verso un'economia a zero emissioni. Ciò includerà l'efficienza energetica dei processi produttivi e la promozione della sostenibilità. L'investimento, dotato di 2,5 miliardi di euro,

supporterà attraverso i Contratti di Sviluppo e il Fondo per la Trasformazione Industriale lo sviluppo di filiere strategiche, tra cui elettrolizzatori.

a) Produzione, importazione ed esportazione di idrogeno verde

L'Italia è al centro di un'importante iniziativa per potenziare la sicurezza e la flessibilità nell'approvvigionamento energetico. Attualmente, il paese sta esplorando attivamente una maggiore integrazione tra le infrastrutture delle reti elettriche e del gas. Un'attenzione particolare è rivolta alle soluzioni tecnologiche "power to gas", riconoscendone il potenziale a lungo termine nel bilanciare le fluttuazioni nella produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Questo approccio è cruciale, soprattutto in un contesto con una crescente penetrazione di fonti energetiche non programmabili, come l'energia fotovoltaica. L'idrogeno svolge un ruolo centrale in questa strategia, offrendo soluzioni per soddisfare le esigenze energetiche al di fuori del settore elettrico. La priorità è quella di sostenere la crescente produzione di energia da fonti rinnovabili, anche quando la produzione è non programmabile, garantendo una copertura adeguata della domanda di energia, specialmente durante i momenti di picco del carico e bassa produzione di energie rinnovabili. Nel settore del gas, l'Italia si pone l'obiettivo principale di costruire un sistema complessivamente più sicuro, flessibile e resistente. Questa sfida è fondamentale in un mercato sempre più incerto e volatile.

Per raggiungere questi obiettivi, l'Italia sta adottando una strategia articolata in cui si sta massimizzando l'utilizzo delle infrastrutture esistenti e promuovendo lo sviluppo del mercato del GNL. In parallelo, viene valutata l'introduzione graduale di gas rinnovabile, come il biometano, il metano sintetico e si prospetta di includere l'idrogeno verde. Inoltre, si punta a incrementare la flessibilità del sistema energetico nazionale concentrandosi sull'espansione delle fonti energetiche interne, sulla gestione intelligente della domanda e sulla capacità di stoccaggio. Gli obiettivi relativi alle fonti rinnovabili sono perseguiti principalmente attraverso lo sviluppo delle risorse interne, ma vengono riconosciute anche l'importanza della cooperazione internazionale. In conformità con le normative europee, l'Italia sta esplorando modalità efficaci per attirare investimenti privati, non solo nella generazione di energia, ma anche nello sviluppo di sistemi di accumulo. In questo contesto, si stanno considerando soluzioni di stoccaggio che coinvolgono l'uso di vettori energetici alternativi, tra cui l'idrogeno.

Secondo le analisi condotte da RSE, ci si aspetta che entro il 2050, gran parte del consumo energetico sia decarbonizzato attraverso l'elettrificazione, grazie all'ampio utilizzo di energia elettrica da fonti rinnovabili. Tuttavia, l'elettricità da sola non sarà in grado di sostituire completamente i combustibili fossili, e qui entra in gioco l'idrogeno. Questo elemento ha il potenziale per colmare una parte significativa di questo divario, poiché può fungere da vettore per l'accumulo e l'utilizzo di energia elettrica rinnovabile. Inoltre, può contribuire in modo significativo alla decarbonizzazione dei settori che non dipendono dall'elettricità, sia utilizzato direttamente che convertito in carburanti alternativi a zero emissioni, in combinazione con il carbonio derivante da fonti biologiche considerate a emissioni nulle. All'interno della cornice degli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra del nuovo Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), che mira a una riduzione del 38% rispetto ai livelli del 1990, l'idrogeno gioca un ruolo chiave. Affinché questo vettore energetico possa diffondersi da impianti pilota e applicazioni sperimentali a un utilizzo più ampio, è necessario definire obiettivi di riduzione delle emissioni di almeno il 60% rispetto al 1990.

Un aspetto da considerare è la modalità di produzione dell'idrogeno. La produzione in

loco offre il vantaggio dell'assenza di trasporto sia per l'idrogeno che per l'energia elettrica, ma potrebbe incontrare vincoli di spazio che rendono difficile soddisfare la domanda. Al contrario, una produzione centralizzata potrebbe sfruttare economie di scala grazie a elettrolizzatori più grandi e beneficiare di condizioni ottimali di produzione nelle regioni ricche di risorse rinnovabili, come il Sud Italia.

Per coprire una domanda di idrogeno pari al 2% entro il 2030, che equivale a circa 0,7 milioni di tonnellate all'anno, è essenziale identificare le condizioni più favorevoli per garantire la fattibilità della produzione e un costo contenuto della materia prima. Tre modelli teorici di produzione/trasporto possono essere considerati:

- **Produzione totalmente in loco:** l'energia elettrica rinnovabile viene generata in prossimità del punto di consumo, minimizzando i costi di trasporto.
- **Produzione in loco con trasporto di energia elettrica:** l'energia elettrica rinnovabile è generata in regioni con elevate risorse naturali ed è quindi trasportata tramite la rete elettrica al punto di consumo, dove viene convertita in idrogeno attraverso l'elettrolisi.
- **Produzione centralizzata con trasporto di idrogeno:** la generazione di energia elettrica rinnovabile e l'elettrolisi avvengono in zone con abbondanti risorse naturali, ad esempio vento o luce solare, sfruttando load factors più elevati. L'idrogeno prodotto viene quindi trasportato al punto di consumo attraverso una struttura dedicata, che potrebbe sfruttare l'infrastruttura esistente del gas o altri metodi di trasporto, come i camion.

I tre modelli sono rappresentati graficamente nella figura 7.

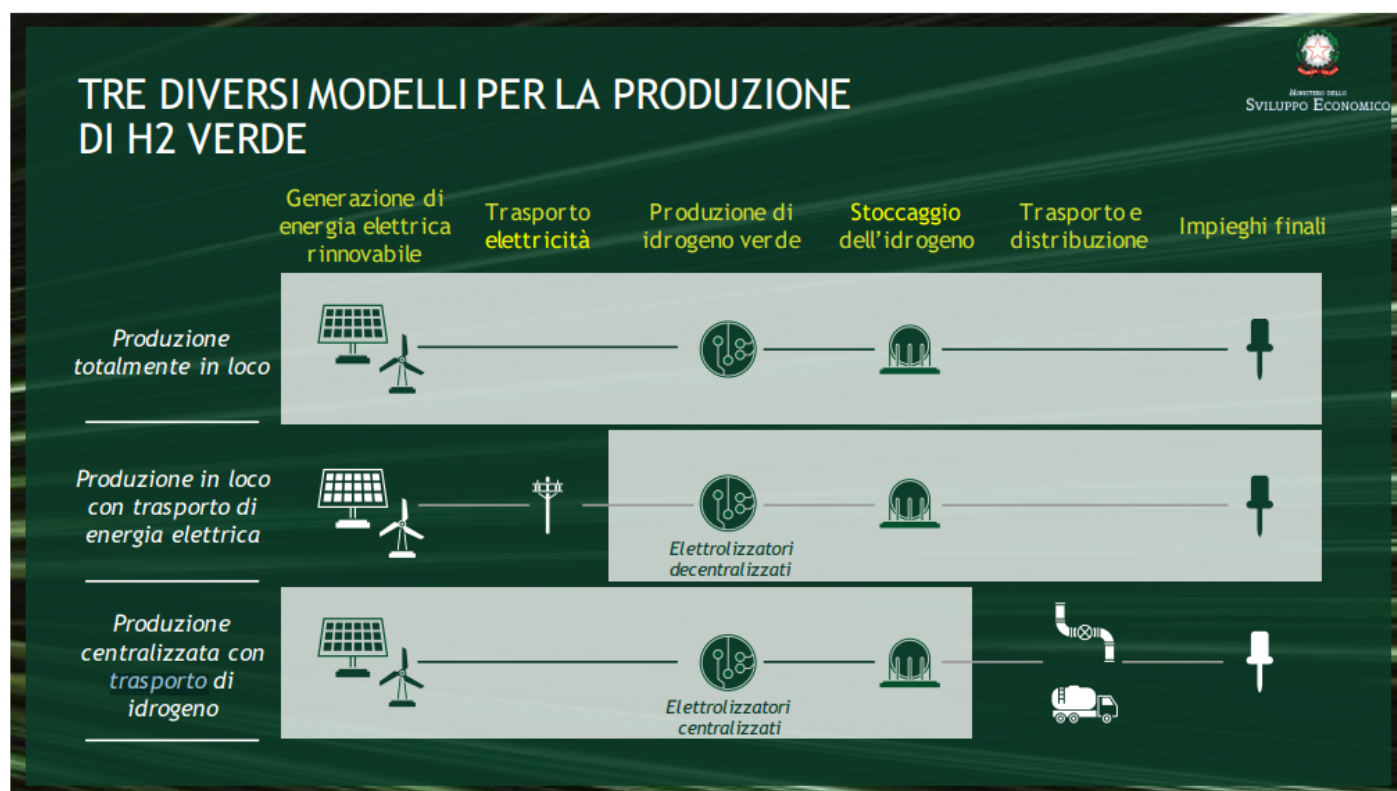


Figura 7 - Tre diversi modelli per la produzione di H2 verde (Fonte: Ministero dello Sviluppo Economico, 2020)

Secondo uno studio condotto dal World Economic Council (WEC) Europe intitolato Decarbonised hydrogen imports into the European Union: challenges and opportunities, l'Italia è previsto che importerà fino al 75% dell'idrogeno consumato entro il 2050. Questa previsione fa parte di uno scenario più ampio che coinvolge l'intera Europa, poiché si sti-

ma che il continente dovrà importare oltre il 50% dell'idrogeno necessario per soddisfare la crescente domanda interna prevista entro il 2050.

Il rapporto, realizzato dai Comitati europei del WEC in collaborazione con paesi potenzialmente esportatori e con l'Observatoire Méditerranéen de l'Énergie (OME), esplora scenari futuri legati alla produzione e al consumo di idrogeno decarbonizzato nell'Unione Europea. Tale studio stima una domanda globale di circa 60 milioni di tonnellate annue di idrogeno e derivati entro il 2050. Tuttavia, l'Europa non sarà in grado di produrre internamente l'intera quantità richiesta, rappresentando una sfida importante per raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra.

In particolare, l'Italia si troverà in una situazione più accentuata, con la domanda nazionale di idrogeno stimata in 700.000 tonnellate annue entro il 2030. Nonostante la produzione interna raggiunga le 200.000 tonnellate all'anno grazie a 5 GW di capacità di elettrolisi installata, si prevede che l'Italia dovrà importare circa 500.000 tonnellate di idrogeno l'anno. Questo modello si ripeterà anche entro il 2050, con una domanda italiana stimata tra 6 e 8 milioni di tonnellate annue e una produzione interna di 2,2-2,6 milioni di tonnellate. Di conseguenza, l'importazione di idrogeno dovrebbe variare tra 3,8 e 5,4 milioni di tonnellate l'anno.

Tuttavia, questa crescente necessità di importazione di idrogeno offre all'Italia un'opportunità unica, grazie alla sua posizione geografica e alla sua rete di gasdotti ben sviluppata. Il paese potrebbe diventare un hub logistico per l'idrogeno, a condizione che converta parte della rete di pipeline per il trasporto di idrogeno e rafforzi le connessioni con le aree di produzione al di fuori dell'Europa.

D'altro canto, per consentire l'importazione di 30 milioni di tonnellate di idrogeno all'UE entro il 2050, i Paesi produttori dovranno investire significativamente in infrastrutture di produzione e trasporto. Si prevede che saranno necessari circa 900 miliardi di dollari nei prossimi 30 anni, di cui 500 miliardi saranno destinati agli impianti di produzione e tecnologie correlate, come l'elettrolisi e la cattura e stoccaggio del carbonio, oltre a infrastrutture logistiche come pipeline, terminal portuali e navi specializzate.

b) Fattori abilitanti per il ruolo dell'Italia come hub europea

L'Italia sta emergendo come un paese cruciale nella strategia europea per lo sviluppo dell'idrogeno verde. In un recente sviluppo, i ministri dell'Energia di vari paesi hanno firmato una lettera di supporto politico per la costruzione del "SouthH2 Corridor", con l'Italia che agisce come il collegamento fondamentale per il trasporto di idrogeno verde dall'Africa settentrionale all'Europa centrale. Questo passo è di grande importanza per l'Italia, che mira a diventare un ponte per l'energia verde da sud a nord, favorendo così la transizione verso un'Unione Europea più sostenibile dal punto di vista energetico.

Il "SouthH2 Corridor" è un sistema di condotte dedicate che si estenderà per circa 3.300 chilometri dalla costa dell'Africa settentrionale in Tunisia. Attraverserà l'infrastruttura del gas italiana, proseguirà in Austria e si concluderà in Baviera, la regione industrialmente avanzata del sud della Germania. L'obiettivo è consentire l'approvvigionamento di idrogeno a prezzi competitivi, prodotto sfruttando l'abbondante disponibilità di energia rinnovabile nel Mediterraneo meridionale, per soddisfare le esigenze dei principali cluster europei.

Un aspetto chiave di questa iniziativa è l'uso dell'infrastruttura di trasporto di gas esistente, con l'aggiunta di alcune nuove infrastrutture dedicate dove necessario. Si prevede che oltre il 70% di queste infrastrutture utilizzerà condotte precedentemente utilizzate per il gas naturale. La capacità stimata è di oltre quattro milioni di tonnellate all'anno, il che significa che il corridoio potrebbe contribuire fino al 40% al target di RePowerEU, secondo quanto dichiarato dalle aziende partecipanti.

La piena operatività del “South H2 Corridor” è prevista già entro il 2030. Questo sviluppo è in linea con quello che il governo italiano definisce il “Piano Mattei”, una strategia basata sulla politica estera, sull’infrastruttura di trasporto e sugli investimenti locali per promuovere la crescita condivisa tra l’Italia e le nazioni africane. Questo piano, intitolato in onore del leggendario imprenditore italiano Enrico Mattei, mira anche a guidare gli investimenti europei nel continente africano attraverso il progetto Global Gateway, che rappresenta la risposta dell’Unione Europea agli investimenti delle grandi potenze nella regione.

L’obiettivo del “Piano Mattei” è promuovere la crescita e lo sviluppo in Africa, contribuendo così a ridurre la migrazione di massa. L’Italia sta lavorando per rafforzare l’infrastruttura energetica, incluso l’aggiornamento di terminali LNG e nuove linee elettriche, per supportare questa iniziativa. La lunga storia di relazioni con i paesi del Nord Africa e della regione sub-sahariana, insieme alla presenza di Eni come principale produttore internazionale di gas, conferisce all’Italia una posizione privilegiata per aumentare ulteriormente i flussi energetici e le esportazioni.

Questo sviluppo apre nuove opportunità per l’Italia, inclusa la possibilità di fornire gas ed idrogeno alla Baviera, nonché di vendere energia all’Austria e all’Ungheria. Il governo italiano ha presentato piani ambiziosi per diventare un gateway energetico tra l’Europa e l’Africa, capitalizzando sulla crescente domanda dei paesi vicini di ridurre la loro dipendenza dal gas russo. Questa iniziativa offre la prospettiva di una maggiore sicurezza energetica ed è in linea con la transizione verde dell’Unione Europea.

Tuttavia, l’Italia sta lavorando per superare gli attuali ostacoli legati alla capacità dell’infrastruttura di trasporto e sta cercando finanziamenti dall’Unione Europea per sostenere questi sforzi. L’obiettivo è quello di creare un sistema energetico più sostenibile e aprire nuove opportunità per lo sviluppo e la cooperazione tra l’Italia e l’Africa. Questa iniziativa rappresenta un importante passo verso un futuro energetico più verde ed equo.

Un’analisi condotta dalla società di consulenza The European House-Ambrosetti in collaborazione con il gruppo energetico Snam indica che l’Italia è strategicamente posizionata per sfruttare questa opportunità. Grazie alla sua posizione geografica e alla rete infrastrutturale del gas già esistente, l’Italia potrebbe diventare un hub per l’energia pulita in Europa, importando idrogeno verde prodotto nel Nord Africa a un costo inferiore del 10-15% rispetto alla produzione locale.

In Italia esistono già oltre 34.000 chilometri di gasdotti per il trasporto e oltre 250.000 chilometri di gasdotti per la distribuzione. Questa infrastruttura può facilitare l’importazione e il trasporto di idrogeno non solo all’interno del Paese ma anche verso altre nazioni europee. L’idrogeno può costituire una soluzione ideale per immagazzinare l’energia in modo efficiente, con costi fino a dieci volte inferiori rispetto alle tradizionali batterie.

L’Italia può svolgere un ruolo centrale nel supportare la transizione verso un’energia più pulita in Europa, offrendo una soluzione innovativa ed efficiente per l’energia rinnovabile.

Per prepararsi a un futuro in cui l’idrogeno svolgerà un ruolo cruciale, è necessario gettare le basi per l’integrazione di questa risorsa nelle infrastrutture energetiche esistenti. L’idrogeno, specialmente quello prodotto utilizzando energia elettrica da fonti rinnovabili, può essere ottenuto mediante tecnologie attualmente disponibili sul mercato. Ciò consente di sviluppare soluzioni innovative di accumulo, come il “power to gas”.

Nel corso dei prossimi anni, la ricerca dovrà concentrarsi sull'ottimizzazione delle prestazioni e dei costi degli elettrolizzatori, nonché sull'iniezione controllata di quantità crescenti di idrogeno nelle reti gas. Si stanno esaminando anche soluzioni che prevedono due infrastrutture separate: una dedicata al 100% all'idrogeno e un'altra che gestisce una miscela in base al grado di maturità dei mercati. Potrebbe essere considerata la possibilità di creare tratti di rete dedicati all'idrogeno, che servirebbero poli industriali specifici o depositi per il settore dei trasporti.

Chiaramente, queste infrastrutture richiederanno una trasformazione e un ammodernamento significativi, con una particolare enfasi sull'interconnessione sinergica tra i settori elettrico e del gas.

Allo stato attuale, possono venire considerati alcuni futuri scenari:

1. Utilizzo della rete elettrica: collocare la produzione di idrogeno vicino ai centri di consumo rappresenta una soluzione attraente, soprattutto considerando la modularità degli impianti di elettrolisi, che consente di servire utenze di varie dimensioni. Questa soluzione appare idonea fintanto che la rete elettrica esistente può soddisfare le esigenze senza richiedere significativi potenziamenti, a meno che questi ultimi non siano giustificati dal funzionamento efficiente del sistema elettrico in sé.

2. Utilizzo della rete gas esistente con miscelazione: l'opzione di miscelare idrogeno con il gas naturale risulta efficace quando è necessario gestire l'eccesso a lungo termine della produzione elettrica da fonti energetiche rinnovabili. Questo può accadere quando la crescita delle fonti energetiche rinnovabili elettriche supera la capacità di adattamento dei settori industriali e dei trasporti all'uso di idrogeno puro.

3. Riutilizzo della rete gas con idrogeno puro a lungo termine: questa opzione presenta sfide legate alla compatibilità dei materiali e alla necessità di mantenere in servizio la rete di gas naturale per il trasporto di biometano e metano di sintesi. Si potrebbe ipotizzare il riutilizzo di porzioni limitate della rete per l'idrogeno puro, ma solo dopo un'attenta valutazione dell'efficienza rispetto alla costruzione di nuovi tratti dedicati.

4. Creazione di nuove infrastrutture dedicate: nel lungo termine potrebbe diventare opportuno sviluppare nuove infrastrutture specificamente progettate per l'idrogeno. Questa scelta potrebbe diventare necessaria quando si verifica una produzione eccessiva di energia elettrica da fonti rinnovabili, associata a una domanda crescente di idrogeno da settori impegnati nella decarbonizzazione. Questa situazione si discosta da quella delineata nel punto 2, in cui lo sviluppo dei settori industriali che utilizzano l'idrogeno nelle fasi di produzione non è particolarmente allineato con un aumento significativo della produzione e dell'utilizzo di idrogeno.

In sintesi, l'Italia si posiziona come protagonista chiave nella transizione verso un'economia dell'idrogeno, sfruttando la sua posizione geografica strategica, competenze tecniche e infrastrutture avanzate. I progetti nazionali, come quelli delineati nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 e nel Piano di Ripresa e Resilienza, testimoniano l'impegno del governo nell'adozione dell'idrogeno verde per affrontare sfide climatiche e ridurre la dipendenza dalle fonti fossili.

L'investimento significativo nel settore dell'idrogeno rinnovabile, inclusi progetti come gli Hydrogen Valleys e l'introduzione di soluzioni a idrogeno nei trasporti, riflette la de-

terminazione dell'Italia nel promuovere la decarbonizzazione e lo sviluppo dell'economia verde. La collaborazione internazionale, evidenziata da iniziative come il progetto "SouthH2 Corridor", rafforza ulteriormente la posizione dell'Italia come hub cruciale per il trasporto di idrogeno verde, contribuendo alla sicurezza energetica europea e promuovendo una crescita condivisa tra continenti. In conclusione, l'Italia si configura come un attore chiave nella costruzione di un futuro energetico sostenibile attraverso l'uso strategico dell'idrogeno verde.

3.2 L'idrogeno verde come elemento chiave nei rapporti con altri paesi del Mediterraneo

L'Italia e, più in generale l'Europa, sta vivendo un'importante trasformazione della propria combinazione di fonti di energia, con un interesse crescente sull'energia verde e l'uso dell'idrogeno.

Negli ultimi due decenni, l'UE ha affrontato una significativa trasformazione del suo mix energetico, con notevoli cambiamenti nel settore e nella composizione delle fonti. Questa evoluzione è stata guidata da una serie di fattori quali la crescente preoccupazione per la sicurezza energetica, la sostenibilità ambientale e la diversificazione delle fonti. In particolare, il petrolio, sebbene ancora dominante, ha visto una riduzione del suo contributo energetico, mentre le fonti di energia rinnovabile e i biocarburanti hanno guadagnato terreno. Anche l'invasione dell'Ucraina da parte della Russia nel febbraio 2022 ha inflitto un duro colpo alla stabilità del sistema di approvvigionamento energetico del continente, portando a una riduzione del consumo di gas e una conseguente diversificazione delle fonti. La sospensione delle forniture di gas da parte della Russia, infatti, ha messo a dura prova l'UE, che ha risposto prontamente con l'attuazione del piano REPowerEU nel maggio 2022.

In questo contesto, l'importanza strategica di stabilire rapporti con altri paesi è emersa come una risposta fondamentale a questa crisi, con un crescente focus sullo sviluppo di fonti sostenibili, inclusi i biocombustibili e l'idrogeno verde. In particolare, sembrerebbe che una soluzione utile a garantire la sicurezza energetica presente e futura dell'UE potrebbe arrivare dalla cooperazione con i Paesi del Mediterraneo meridionale.

Da una parte, questi paesi vantano un enorme potenziale ancora inesplorato nelle energie rinnovabili, con un particolare focus sull'idrogeno verde come strumento centrale per decarbonizzare settori hard to abate. Dall'altra parte, la regione ospita materie prime critiche indispensabili per la transizione energetica, fornendo una solida base per la diversificazione delle risorse.

In questo scenario, l'idrogeno verde sta emergendo come un componente importante dei piani di decarbonizzazione dell'UE, aggiungendo anche un nuovo elemento alla politica energetica esterna europea, dato che una parte sostanziale dei futuri requisiti di idrogeno dovrà essere soddisfatta con importazioni. La regione del Mediterraneo si qualifica come potenziale buon mercato di idrogeno a bassa emissione di carbonio grazie alla sua vicinanza e alla natura rinnovabile della risorsa. All'interno di questo quadro, l'Italia rivestirebbe un ruolo di rilevanza particolarmente strategica e potrebbe porsi come importante ponte tra diverse regioni ricche di risorse rinnovabili quali vento e sole.

Negli ultimi anni, la cooperazione energetica nella regione del Mediterraneo allargata si è principalmente concentrata sullo sviluppo del gas naturale, ma sinergie potrebbero essere possibili se questa interconnessione si estendesse allo sviluppo dell'idrogeno, sia

per le esportazioni che per la decarbonizzazione della regione stessa. L'intersezione tra gli obiettivi e i requisiti europei per raggiungere la neutralità climatica entro il 2050 e l'attuale sottoutilizzazione del potenziale di questi paesi conferisce a questa regione un ruolo promettente nello sviluppo di un mercato incentrato sull'idrogeno.

Nel 2021 la Commissione europea ha adottato la Nuova Agenda per il Mediterraneo che rappresenta un quadro aggiornato per la gestione delle relazioni con i Paesi del Vicinato meridionale. L'Agenda riconosce la centralità della lotta ai cambiamenti climatici, incoraggiando iniziative chiave nel piano economico e di investimenti per il vicinato meridionale. Particolare attenzione è rivolta al dialogo e alla cooperazione regionale per la gestione sostenibile delle risorse idriche e al sostegno agli investimenti nelle energie rinnovabili, inclusi l'energia eolica, solare e l'idrogeno verde. Nella transizione energetica, si sottolinea l'urgenza di rafforzare le interconnessioni tra l'UE e i paesi del Mediterraneo, considerando specificamente gasdotti, infrastrutture portuali e tecnologie preparate per l'idrogeno verde.

Come anticipato nella prima sezione di questo capitolo ed evidenziato nel rapporto "Med & Italian Energy" realizzato da SRM (Intesa Sanpaolo) e il Politecnico di Torino, l'Italia emerge come un attore di primaria importanza nei legami energetici con i paesi del Mediterraneo. Nel rapporto si sottolinea l'enorme potenziale di sviluppo rappresentato dall'idrogeno, non solo per l'Italia ma per l'intera regione mediterranea. Concentrandosi sulla transizione energetica, il rapporto mette in luce un'opportunità significativa per la decarbonizzazione attraverso gli investimenti nell'idrogeno. Paesi come il Marocco e gli Emirati Arabi Uniti hanno già sviluppato roadmap e sottoscritto un memorandum d'intesa sull'idrogeno verde. Tuttavia, si sottolinea che l'energia elettrica da sola non può garantire una completa decarbonizzazione dei sistemi energetici, a causa della presenza di utilizzi finali hard-to-abate come la produzione di calore ad alta temperatura nell'industria e i trasporti a lunga distanza.

In questo contesto, emerge un ruolo cruciale per i combustibili alternativi, inclusi biocombustibili e combustibili sintetici ottenuti dalla combinazione di idrogeno e CO₂. La regione del Mediterraneo è attualmente sede di diverse politiche a sostegno dello sviluppo dei combustibili alternativi, con la sponda Nord che assume un ruolo di leadership nel settore.

Il Mediterraneo emerge non solo come una potenziale fonte diretta di produzione, ma anche come una regione di transito strategica per il trasporto di idrogeno proveniente da regioni più remote. Si prospettano piani significativi per l'importazione di decine di milioni di tonnellate di idrogeno rinnovabile nel corso dei prossimi anni anche all'interno del REPowerEU, utilizzando sia il trasporto navale che gasdotti. In particolare, si prevede che una considerevole quantità di idrogeno importato raggiungerà i paesi europei dall'Africa subsahariana e dal Medio Oriente tramite gasdotti, con aziende che già siglano accordi con i governi locali. L'UE, attraverso l'iniziativa Global Gateway, sta destinando fino a 300 miliardi di euro di finanziamenti per sostenere tali progetti.

La vicinanza geografica tra l'Italia e questi paesi offre l'opportunità di sviluppare partnership energetiche solide ed efficienti, favorendo la creazione di una rete integrata per il trasporto di idrogeno verde e l'interscambio di energia tra i paesi coinvolti. Le opzioni di esportazione includono gasdotti, liquefazione e rigassificazione e trasporto sotto forma di ammoniaca. Mentre attualmente mancano reti di gasdotti dedicate e navi adatte al trasporto dell'idrogeno, la conversione in ammoniaca sembra essere più accessibile, sfruttando le tecnologie e le infrastrutture esistenti.

A seguire una figura che mostra la posizione centrale della regione del Mediterraneo con evidenziati i principali corridoi di trasmissione dell'idrogeno rinnovabile.



Figura 8: Corridoi di trasmissione dell'idrogeno rinnovabile previsti dalla Commissione Europea nel 2022 (Fonte: REPowerEU Plan)

Nel quadro della transizione energetica nel vicinato meridionale, la presenza di strategie ambiziose per l'energia pulita in alcuni Stati coesiste con il ritardo di altri, influenzati dai recenti benefici derivanti dai crescenti prezzi del gas, che potrebbero disincentivarli dallo sviluppo accelerato di infrastrutture per l'energia pulita.

Le previsioni indicano che il Mediterraneo, che sta assumendo sempre più un ruolo centrale per la sicurezza energetica, vedrà un aumento delle capacità di energia rinnovabile nei prossimi anni. Diversi paesi della regione orientale, tra cui Marocco, Egitto, Algeria, Israele, Giordania, Libano e Turchia, in misura variabile, hanno cominciato a prendere nota delle opportunità potenziali dell'idrogeno.

Nel contesto specifico dell'idrogeno verde, il Marocco e l'Egitto emergono come Paesi di spicco nella produzione e nell'esportazione verso l'Europa. Infatti, entrambi i paesi si trovano in una posizione geografica strategica, affacciandosi sul Mar Mediterraneo, e vantano abbondanti risorse di energia rinnovabile, in particolare solare ed eolica, che li pongono al centro della corsa per sfruttarne il pieno potenziale.

Contemporaneamente, paesi come gli Emirati Arabi Uniti, il Qatar e l'Arabia Saudita stanno compiendo progressi significativi nell'espansione delle loro capacità rinnovabili, aprendo opportunità per la produzione di idrogeno verde e altri combustibili alternativi. Un passo significativo è rappresentato dagli accordi firmati tra l'Arabia Saudita e l'Egitto nel giugno 2022, concentrati sullo sviluppo di infrastrutture, energia pulita e, in particolare, idrogeno

verde. Questi accordi indicano un impegno a lungo termine oltre le questioni immediate e suggeriscono che l'Arabia Saudita stia giocando un ruolo chiave nella definizione del futuro energetico dell'Egitto. Parallelamente, gli Emirati Arabi Uniti stanno intensificando il loro coinvolgimento nel settore dell'energia pulita, collaborando con il Marocco su progetti congiunti e investendo in infrastrutture sostenibili. Allo stesso tempo, il Qatar, oltre a consolidare i legami economici con l'Algeria, ha proposto un accordo di libero scambio con il Marocco, evidenziando il suo interesse crescente nella regione. Questi sviluppi indicano che gli Stati del Golfo, oltre a focalizzarsi sugli investimenti, stanno attivamente partecipando allo sviluppo dell'idrogeno verde nella regione, aprendo prospettive di collaborazione strategica che potrebbero essere di valore strategico anche per l'UE.

In particolare, l'interesse regionale è guidato da tre fattori chiave:

1. La politica energetica estera dell'UE pone l'accento sull'importazione di idrogeno dal suo vicinato meridionale e orientale, suggerendo che i finanziamenti e il sostegno politico europeo potrebbero sostenere lo sviluppo di idrogeno a basse emissioni di carbonio nel Mediterraneo orientale;
2. Molti Paesi del Mediterraneo orientale hanno un notevole potenziale per la produzione di idrogeno a basse emissioni di carbonio grazie alle loro risorse di energia rinnovabile e gas naturale;
3. Il piano dell'UE per l'introduzione di un meccanismo di aggiustamento dei limiti di carbonio implica che i produttori regionali di beni ad alta intensità energetica destinati all'Europa dovranno rispondere alla quota di carbonio generata nel tempo, incentivando così l'adozione dell'idrogeno a basse emissioni di carbonio nei loro processi produttivi.

Sebbene l'industria verde dell'idrogeno non sia ancora una realtà consolidata e un mercato mediterraneo dell'idrogeno sia realizzabile solo tra qualche decennio, è essenziale esaminare lo stato attuale di questa opportunità e come l'idrogeno verde si configura come una leva strategica per la crescita economica di questa regione.

Ad oggi, in particolare, un ruolo chiave si riscontra nell'Algeria, nel Marocco e nell'Egitto che stanno emergendo come leader nella transizione energetica. A differenza di altri Paesi della regione (i quali, nonostante il forte interesse a investire nel mercato dell'idrogeno, devono affrontare notevoli ritardi nella definizione di una strategia energetica), qui la possibilità di esportare idrogeno verde in Europa potrebbe diventare una realtà, considerando le politiche avanzate di questi Paesi.

a) Algeria come paese emergente

L'Algeria si trova ad una svolta cruciale nel settore energetico, passando da un ruolo di fornitore chiave di idrocarburi per l'Europa a una possibile potenza emergente nel campo delle energie rinnovabili. Nonostante la sua posizione privilegiata nel mercato energetico europeo, il Paese si trova ora di fronte a una crescente pressione per diversificare la sua economia e abbracciare fonti di energia più sostenibili.

Il Paese possiede un enorme potenziale nelle energie rinnovabili, con vasti territori adatti per impianti solari e eolici. La sua posizione geografica favorisce anche la possibilità di esportare energia rinnovabile verso l'Europa a costi relativamente bassi. Tuttavia, ambizioni di questo genere sono state ostacolate da considerazioni politiche interne, con una diffidenza persistente verso gli investimenti stranieri e il desiderio di preservare la sovranità del Paese.

Il governo algerino si trova attualmente a un bivio. Da un lato, il recente aumento dei prezzi del petrolio e del gas ha rinforzato la dipendenza dell'Algeria dagli idrocarburi, rinviando i piani di transizione verso fonti più sostenibili. Dall'altro lato, la crescente domanda interna di energia mette in discussione la sostenibilità del modello attuale.

L'Algeria, con la decima riserva mondiale di gas naturale, ha delineato una strategia ambiziosa per la produzione di idrogeno, prevedendo la realizzazione sia di idrogeno blu che di idrogeno verde. Attualmente, l'Algeria invia gas in Italia e Spagna tramite gasdotto, con piani per trasportare idrogeno tramite la stessa infrastruttura utilizzata per il gas naturale. La roadmap nazionale dell'Algeria per l'idrogeno mira a produrre ed esportare 30-40 TWh di idrogeno entro il 2040, con obiettivi di transizione energetica, riduzione dell'impronta di carbonio e sviluppo di un'economia dell'idrogeno.

Recentemente, il Ministro dell'Energia algerino ha discusso con il Ministero federale tedesco degli Affari economici per la conversione e l'espansione delle reti di trasporto del gas per esportare idrogeno rinnovabile anche alla Germania meridionale attraverso la Tunisia, l'Italia e l'Austria, tramite il progetto SouthH2. Il progetto SouthH2 Corridor rappresenta una collaborazione chiave tra l'Algeria e l'Italia, sottolineando il ruolo centrale di entrambi i paesi nel collegare il Mediterraneo ad Austria e Germania attraverso un idrogenodotto. Ciò comporterebbe la conversione dei gasdotti esistenti, con studi di fattibilità attualmente in corso da parte degli operatori dei sistemi di trasporto del gas in Italia, Austria e Germania.

La roadmap per l'idrogeno rinnovabile presentata dall'Algeria nel marzo 2023 dovrebbe arrivare a fornire il 10% del fabbisogno europeo di idrogeno rinnovabile entro il 2040. Il Paese, infatti, si sta preparando a produrre 40 terawattora di idrogeno, pari al 10% della domanda europea, sfruttando il suo potenziale nei settori delle infrastrutture e delle energie rinnovabili. Con una rete elettrica avanzata e un notevole potenziale solare, l'Algeria si posiziona come potenziale leader dell'industria dell'idrogeno nella regione, con l'obiettivo di esportare la sua produzione, soprattutto nei mercati europei.

Il paese, quindi, si presenterebbe come un partner chiave soprattutto per l'Europa, disponendo di potenzialità vaste e a basso costo per la generazione di elettricità tramite fotovoltaico e eolico. Inoltre, l'infrastruttura esistente dei gasdotti naturali diretti verso Italia e Spagna offre una base solida per il trasporto di idrogeno. Tuttavia, pur avendo aziende con competenze nel settore del gas e progetti di idrogeno in fase di pianificazione, le scarse condizioni in termini di investimenti, carenza d'acqua e prestazioni ambientali inferiori alla media potrebbero influire negativamente sui costi di approvvigionamento dell'idrogeno.

Il dialogo tra l'UE e i funzionari algerini offre un'opportunità unica per ridefinire la partnership energetica, ponendo le basi per una transizione verso le energie rinnovabili. È imperativo che l'UE incoraggi l'Algeria a investire nella produzione di energia rinnovabile, fornendo il necessario supporto tecnico e finanziario per superare le sfide legate alla sua storica dipendenza dai combustibili fossili.

La riduzione della dipendenza interna algerina dagli idrocarburi non solo avvantaggerebbe la sostenibilità ambientale, ma anche la sicurezza economica a lungo termine del paese, consolidando la sua posizione come affidabile fornitore energetico per l'Europa. La cooperazione tra le due parti è cruciale per affrontare le sfide energetiche comuni e per contribuire alla lotta globale contro il cambiamento climatico.

Tuttavia, la riluttanza del governo algerino ad abbracciare le energie rinnovabili rappresenta una sfida significativa. Nel contesto dell'attuale aumento dei prezzi dell'energia, l'UE ha intensificato il proprio impegno nella transizione energetica, inizialmente attraverso l'applicazione del Fit for 55 e successivamente con l'implementazione del REPowerEU. L'Algeria, con il suo vasto potenziale di energia rinnovabile, è vista come un partner chiave in questo sforzo, ma il governo esita a rinunciare ai suoi preziosi idrocarburi.

In sintesi, la complessità della situazione energetica dell'Algeria richiede un approccio equilibrato e cooperativo. È essenziale che gli europei dimostrino comprensione delle preoccupazioni algerine, collaborando per trovare soluzioni condivise e offrendo un sostegno sostanziale per agevolare una transizione energetica sostenibile e vantaggiosa per entrambe le parti. Mentre una transizione energetica solida in Algeria potrebbe non risolvere completamente le sfide del paese, una cooperazione efficace in questo settore potrebbe contribuire a ristabilire la fiducia reciproca, aprendo nuove opportunità di collaborazione tra Europa e Algeria in vari altri ambiti.

b) Egitto come possibile hub regionale

L'Egitto è un Paese produttore di gas naturale e proprio con il gas, le rinnovabili e l'idrogeno punta ad accrescere le esportazioni e ad emergere come hub energetico regionale. Risulta rilevante sottolineare che l'Egitto si è posizionato tra i primi paesi nella regione MENA nell'adozione dell'idrogeno verde. Già negli anni '60, il gruppo KIMA produceva ammoniaca ecologica utilizzando idrogeno generato attraverso il processo di elettrolisi alimentato dall'energia idroelettrica proveniente dalla diga di Assuan.

Nel 2022, la Commissione europea ha annunciato che l'UE e l'Egitto collaboreranno per istituire un Mediterranean Green Hydrogen Partnership per facilitare il futuro commercio di idrogeno rinnovabile tra le due sponde del Mediterraneo. Questa collaborazione, definita come un elemento chiave per accelerare la transizione verso economie a emissioni zero, si concentrerà sulla produzione di energia rinnovabile e idrogeno verde, nonché sulla gestione sostenibile delle risorse naturali, in linea con le strategie ambientali dell'Egitto e con il Green Deal europeo. Tale cooperazione tra UE e Egitto riflette l'impegno nel promuovere gli investimenti per incentivare la produzione, lo stoccaggio, la distribuzione e il trasporto dell'idrogeno rinnovabile e dei suoi derivati. In particolare, la cooperazione si focalizza sull'implementazione di quadri politici e normativi concordati, sulla valutazione del mercato, sulla ricerca e sull'innovazione per facilitare lo sviluppo di un'economia dell'idrogeno.

Le parti hanno concordato sulla necessità di rafforzare la cooperazione nella fornitura di gas naturale liquefatto e idrogeno verde, delineando l'ambizioso obiettivo di creare un partenariato mediterraneo per l'idrogeno verde che comprenda il commercio di idrogeno tra Europa, Africa e Golfo.

L'Egitto presenta ampie potenzialità per la generazione di elettricità a basso costo attraverso impianti fotovoltaici e eolici, soprattutto lungo il corso del fiume Nilo. Con 6,2 GW, il Paese è il primo in Nord Africa in termini di capacità rinnovabile installata (solare, eolico e idroelettrico) e ambisce a raggiungere 61 GW entro il 2035.

La crescita economica del paese, insieme a programmi di sostegno alle energie rinnovabili e una serie di progetti in fase di sviluppo, indicano un ambiente favorevole agli investimenti in energie pulite. Inoltre, la posizione strategica lungo le rotte commerciali attraverso il Canale di Suez offre opportunità per lo sviluppo di infrastrutture di trasporto dell'idrogeno.

Il Paese ha avviato progetti ambiziosi nel settore dell'energia solare, come il parco solare di Benban, uno dei più grandi al mondo. L'Egitto si trova in una posizione geografica favorevole, beneficiando di abbondanti risorse solari nel deserto del Sahara e di venti costieri ideali per la produzione di energia eolica. Per quanto riguarda l'acqua, il fiume Nilo può offrire risorse idriche per rendere attrattive le aree interne per la produzione di idrogeno. Tuttavia, il paese affronta crescenti problemi di approvvigionamento di acqua dolce e conflitti lungo il corso del fiume.

Per questi motivi l'UE ha firmato accordi di cooperazione sull'idrogeno verde con l'Egitto, aprendo la strada a nuovi partenariati energetici. L'Egitto è già un esportatore significativo di ammoniaca e beneficia di infrastrutture portuali esistenti che facilitano la sua esportazione. L'ammoniaca potrebbe anche essere convertita nuovamente in idrogeno presso il porto europeo di ricezione o utilizzata direttamente come combustibile per la generazione di energia.

Tuttavia, nonostante queste potenzialità, la quota di energia rinnovabile nella produzione elettrica attuale è bassa, e la mancanza di una connessione tramite gasdotti con i centri di domanda europei costituisce un limite per le esportazioni di idrogeno.

La sfida principale rimane la trasmissione dell'idrogeno verde verso l'Europa. In questo contesto, gli sforzi sono concentrati su progetti di interconnessione sottomarina che attraversano il Mediterraneo, rendendo la regione una piattaforma chiave per la trasmissione di questa risorsa energetica pulita. L'analisi del FSR Energy Union Law dell'European University Institute sottolinea l'importanza di queste connessioni nell'accelerare la transizione energetica europea.

In conclusione, l'Egitto si erge come potenziale leader nel fornire soluzioni sostenibili alla crescente domanda europea di idrogeno verde. Tuttavia, il successo di questa impresa non è solo una questione di capacità tecnologica, ma anche di come questi paesi gestiranno le dinamiche geopolitiche connesse a questa rivoluzione energetica.

c) Marocco come partner chiave per l'UE

Il Marocco, storicamente dipendente dalle importazioni di energia con il 90% del suo fabbisogno energetico proveniente da fonti esterne, ha intrapreso una delle transizioni energetiche più ambiziose della regione. Con una strategia di diversificazione energetica avviata nel 2009, il Marocco ha sfruttato con successo le risorse solari ed eoliche, raggiungendo già una quota significativa di rinnovabili nel suo mix energetico. L'obiettivo ambizioso di raggiungere più del 50% della capacità elettrica installata da fonti rinnovabili entro il 2030 è un passo fondamentale verso l'autosufficienza e la riduzione della dipendenza dalle importazioni. Questa iniziativa, al di là del suo impatto nazionale, si proietta nel futuro dell'idrogeno verde.

Il Marocco, infatti, emerge come uno dei potenziali leader mondiali nello sviluppo di un mercato dell'idrogeno. La sua ambizione di coprire il 4% della domanda globale di idrogeno verde entro il 2030 delinea un potenziale di trasformazione che non solo posizionerebbe il Paese come esportatore chiave di idrogeno verde, ma avrebbe anche un impatto significativo sugli equilibri geopolitici regionali, ridefinendo il proprio ruolo nel panorama energetico globale.

Nel 2019 il Ministero dell'Energia, delle Miniere e dello Sviluppo Sostenibile marocchino ha creato una commissione sull'idrogeno e, successivamente, nel 2021 è stata presentata

una roadmap sull'idrogeno verde in tre fasi, che si estende dal 2020 al 2050. Partendo dallo sviluppo di progetti pilota finanziati dallo Stato e da istituzioni internazionali prefigura una progressiva accelerazione nell'utilizzo dell'idrogeno verde sul piano sia domestico che internazionale.

Le strategie chiave che si possono trovare all'interno della roadmap includono la garanzia di una riduzione dei costi lungo l'intera catena del valore del settore; sviluppare l'integrazione industriale locale del settore; sviluppare un cluster industriale nazionale dedicato all'innovazione del settore; nonché lo sviluppo di un piano nazionale di stoccaggio.

Nel 2021, il Marocco ha firmato un accordo di partenariato con l'Agenzia internazionale per le energie rinnovabili per trasformare l'economia dell'idrogeno verde del paese nordafricano. Insieme a queste iniziative e agli accordi di partenariato internazionale, tra cui il recente partenariato verde UE-Marocco del 2022, l'interesse crescente del Marocco nel posizionarsi come esportatore chiave di idrogeno verde è evidente.

Questa trasformazione, trainata da iniziative innovative come il Green H2A e la conversione dell'ammoniaca a idrogeno verde, sta attirando l'attenzione globale, con progetti in attesa di approvazione e collaborazioni bilaterali strategiche con diversi paesi europei. Gli stretti legami tra il Marocco e l'UE sono fondamentali per consolidare questa transizione. La collaborazione attraverso il Global Gateway rappresenta un'opportunità per finanziare non solo impianti di energia verde, ma anche programmi congiunti di ricerca e sviluppo, creando intere catene di valore nell'ambito dell'energia pulita. Con gli sforzi concentrati sulla decarbonizzazione e il ruolo centrale dell'idrogeno verde nell'agenda energetica globale, la partnership UE-Marocco può contribuire significativamente alla realizzazione degli obiettivi comuni di sostenibilità e alla trasformazione del Marocco da importatore a esportatore di energia, modellando gli equilibri geopolitici regionali.

Quanto descritto dimostra come il Marocco abbia successo nella leadership e nello sviluppo sostenibile, rafforzando la credibilità e la capacità del Paese di diventare un importante produttore ed esportatore di idrogeno verde.

I recenti sviluppi delineano un quadro in cui i Paesi del Mediterraneo emergono come attori chiave nella sicurezza energetica presente e futura dell'UE e dell'Italia, considerando che tale cooperazione, o la sua mancata realizzazione, potrebbe determinare il successo del Green Deal europeo. Come dimostrano i casi analizzati di Algeria ed Egitto, la ricchezza di gas può contribuire in modo significativo a soddisfare la domanda energetica dell'UE nel breve e medio termine. La posizione strategica dell'Egitto come principale corridoio energetico del Mediterraneo gli conferisce un ruolo cruciale nella fornitura di energia verde all'Europa. Inoltre, la potenziale espansione delle energie rinnovabili, in particolare per la produzione di idrogeno verde, è un aspetto chiave della futura decarbonizzazione. La regione non solo detiene materie prime critiche essenziali per la transizione, ma le infrastrutture energetiche esistenti, come i gasdotti e le reti elettriche consolidate, potrebbero fungere da pilastri per garantire un approvvigionamento energetico stabile nel breve termine e svolgere un ruolo chiave nel trasporto economicamente efficiente dell'idrogeno verde per i vari corridoi europei, dove l'Italia potrebbe fungere da punto chiave.

Nonostante ciò, si evidenziano anche sfide significative, come la necessità di superare problemi tecnici, instabilità politica, e il costo dell'infrastruttura di trasporto. Il successo di queste strategie potrebbe non solo trasformare l'approvvigionamento energetico europeo ma anche generare opportunità economiche e occupazionali nelle regioni coinvolte. Tuttavia, la strada verso un'economia dell'idrogeno verde nel Mediterraneo è complessa e richiede sforzi congiunti e soluzioni innovative per superare le sfide presenti.

CONCLUSIONI

Lo studio offre inizialmente uno sguardo sulla situazione italiana, sottolineando la sua tradizionale dipendenza da risorse esterne e la conseguente vulnerabilità. Tuttavia, emerge un cambiamento prospettico con l'incremento delle fonti energetiche rinnovabili, e in questo panorama, l'idrogeno si configura come un elemento cruciale.

L'attenzione globale e dell'Unione Europea sull'idrogeno rinnovabile si riflette nelle strategie e iniziative specifiche, delineando il suo ruolo fondamentale nella transizione energetica a livello globale, europeo e italiano. Il trasporto dell'idrogeno, tema centrale dello studio, viene esaminato in dettaglio, evidenziando le sfide e le alternative emergenti, con un focus particolare sulle infrastrutture per garantire collegamenti efficienti tra le regioni produttrici e le aree di consumo.

Viene approfondito il trasporto dell'idrogeno, evidenziando le sfide legate al trasporto su lunghe distanze e le alternative come l'ammoniaca, i trasportatori organici liquidi di idrogeno e il metanolo. La questione della metodologia di trasporto più economica rimane aperta, con diverse opzioni ancora in fase di studio e sperimentazione.

Il testo sintetizza i punti cruciali, fornendo una visione complessiva dei possibili scenari futuri relativi al trasporto dell'idrogeno e sottolineando il ruolo chiave che l'Italia potrebbe giocare in questo contesto. L'analisi approfondita lungo tutto il capitolo evidenzia la complessità e le opportunità connesse all'integrazione dell'idrogeno nel settore del trasporto, contribuendo così alla transizione energetica.

Il trasporto dell'idrogeno è una sfida chiave per lo sviluppo di un'economia dell'idrogeno sostenibile. Si può definire una sfida complessa, caratterizzata da diversi ostacoli, tra cui la bassa densità del gas, la necessità di raffreddarlo a basse temperature e le implicazioni di sicurezza legate alla sua natura altamente infiammabile. La ricerca di soluzioni innovative è in corso, ma non esiste ancora una risposta definitiva.

Diversi sono gli Stati che stanno investendo in progetti di produzione e trasporto di idrogeno, sia a livello regionale che internazionale. I Paesi che stanno investendo maggiormente nell'importazione di idrogeno sono quelli che hanno un potenziale interno di produzione limitato o che puntano a ridurre la loro dipendenza dai combustibili fossili.

L'Europa sta investendo nella costruzione di una rete di idrogenodotti per ridurre i costi di trasporto, ma questa soluzione è limitata a distanze relativamente brevi.

L'importazione di idrogeno da Paesi con abbondanti risorse rinnovabili è un'altra possibile soluzione, ma richiede lo sviluppo di tecnologie efficienti per il trasporto transoceanico.

Negli ultimi anni, c'è stato un crescente interesse per lo sviluppo di vettori di idrogeno alternativi, come ammoniaca, metanolo e vettori organici liquidi dell'idrogeno (LOHCs). I vettori di idrogeno potrebbero rappresentare una soluzione intermedia, più efficiente del trasporto di idrogeno liquido ma meno costosa della costruzione di idrogenodotti. Questi vettori hanno il potenziale di ridurre i costi e l'inefficienza del trasporto dell'idrogeno.

Tuttavia, la ricerca e lo sviluppo dei vettori di idrogeno alternativi sono ancora in una fase iniziale. Ci sono ancora molte sfide da affrontare, come l'efficienza delle tecnologie di produzione e separazione, la sicurezza e la regolamentazione.

Nonostante le sfide, il trasporto dell'idrogeno si configura come un'opportunità cruciale per l'innovazione tecnologica nel settore energetico. Le molteplici opportunità derivanti

dall'uso dell'idrogeno come alternativa ai combustibili fossili ne fanno una scelta promettente, anche se il trasporto oceanico su lunghe distanze rappresenta una sfida significativa. Affrontare le sfide richiede passi chiave, tra cui la decarbonizzazione della produzione, l'identificazione dei settori prioritari, la selezione di modalità di trasporto appropriate, l'aumento degli investimenti, la riduzione dei costi e l'evoluzione continua del supporto tecnologico. Nonostante le criticità legate alla liquefazione dell'idrogeno, la riduzione dei costi di produzione e la diversificazione delle fonti rinnovabili emergono come fattori chiave per sviluppare con successo il mercato dell'idrogeno. In conclusione, per integrare l'idrogeno in un sistema energetico sostenibile, è essenziale adottare un approccio olistico che consideri l'intera catena del valore energetico e coinvolga progressi tecnologici, scelte politiche e investimenti mirati. Questo approccio integrato, quando applicato all'analisi del panorama energetico europeo, rende realizzabile il passaggio a un sistema energetico sostenibile. In questo contesto, l'Italia emerge come potenziale protagonista, possedendo la capacità di svolgere un ruolo centrale nella produzione, stoccaggio e trasporto dell'idrogeno tra il Mediterraneo e l'Europa.

L'Italia si posiziona come attore chiave nella crescita dell'economia dell'idrogeno europea, sfruttando la sua posizione geografica strategica e l'expertise funzionale nel settore. Il paese si impegna attivamente nella ricerca e nello sviluppo dell'idrogeno verde, inserendo questa fonte energetica come elemento fondamentale nella sua strategia di transizione verso un futuro energetico più sostenibile.

Il governo italiano ha presentato piani ambiziosi, delineati nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 e nelle Linee Guida Preliminari sulla Strategia Nazionale dell'Idrogeno, con l'obiettivo di promuovere l'uso dell'idrogeno verde e di coprire una percentuale significativa della domanda energetica italiana entro il 2050. Progetti come la creazione di "Hydrogen valleys" in aree industriali dismesse, la decarbonizzazione di settori difficili, e lo sviluppo di infrastrutture per il trasporto dell'idrogeno contribuiranno in modo tangibile a questo impegno.

L'Italia si posiziona come hub europeo per l'idrogeno, puntando anche sulla collaborazione internazionale, come evidenziato dal "SouthH2 Corridor" che la collega all'Africa settentrionale. Questa iniziativa non solo rafforza la sua posizione nel panorama energetico globale ma contribuisce anche agli sforzi europei per la riduzione delle emissioni di gas serra. Infine, l'Italia, consapevole della necessità di importare una parte significativa dell'idrogeno necessario, mira a trasformare la sua rete di gasdotti in un hub logistico, capitalizzando sulla sua infrastruttura già esistente. L'obiettivo è diventare un punto chiave per l'importazione di idrogeno verde, favorendo la transizione verso una fonte energetica più sostenibile non solo nel paese ma anche nell'Unione Europea.

Per definire il futuro ruolo dell'Italia nel mercato internazionale dell'idrogeno, è fondamentale presumere sviluppi di partnership internazionali. La posizione strategica dell'Italia potrebbe fungere da ponte tra il Mediterraneo e l'Europa, commerciando idrogeno gassoso tramite gasdotti e fornendo prodotti liquidi a base di idrogeno come ammoniaca, LOHC tramite trasporto marittimo.

La regione del Mediterraneo allargato potrebbe essere vista come un futuro partner naturale dell'Italia per l'idrogeno. Con i costi di dispiegamento di energie rinnovabili più bassi, abbondanza di riserve di gas naturale in paesi come l'Algeria e l'Egitto, connettività infrastrutturale all'Italia attraverso gasdotti e relazioni commerciali ed energetiche esistenti accompagnate da una grande presenza di attori economici italiani, la regione presenta opportunità uniche per produrre idrogeno a basso costo e sostenere la decarbonizzazio-

ne dell'Italia e dell'UE. Opportunità di cooperazione nelle tecnologie dell'idrogeno possono essere trovate nei paesi del Golfo. In particolare, gli Emirati Arabi Uniti hanno lanciato una Roadmap di leadership sull'idrogeno con l'obiettivo di rendere il paese un grande esportatore.

Mentre si attende di capire il ruolo dell'Italia in questo settore, il Paese mostra sicuramente punti di forza dal punto di vista delle infrastrutture e della connettività internazionale, che potrebbero aiutarlo a svolgere il ruolo di transito regionale tra la produzione a basso costo nella regione del Mediterraneo allargato e la grande domanda europea.

Sarà necessario allinearsi agli interessi di questi paesi e lavorare con gli ecosistemi e le specificità locali. L'adozione di piani d'azione bilaterali e multilaterali, che comprendano sia la distribuzione di energie rinnovabili che le tecnologie dell'idrogeno, potrebbe fornire linee guida per coordinare gli investimenti al fine di preparare il terreno per future sinergie dell'idrogeno tra le due sponde.

A livello internazionale, l'idrogeno manca di iniziative di sostegno dedicate, necessarie per abbassare i costi, condividere informazioni e best practice e per l'emergere di una comunità internazionale per l'idrogeno verde. Tale istituzione agirebbe al fine di sviluppare una "cultura dell'idrogeno", consentendo la diffusione dei progressi sia in termini di tecnologia che della definizione di politiche mirate.

PROPOSTE DI POLICY

Al momento, l'Italia non ha adottato una legislazione completa e armonizzata che regoli il trasporto dell'idrogeno. Essenzialmente, dal punto di vista normativo, l'idrogeno è ancora considerato come un gas utilizzato a scopi industriali. Tuttavia, secondo il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima, il governo italiano ha adottato diverse misure normative volte allo sviluppo dell'industria dell'idrogeno per attirare nuovi investimenti, tra cui:

1. Nuovi standard tecnici di sicurezza applicabili alla produzione, al trasporto, alla conservazione e all'uso dell'idrogeno.
2. Semplificazione della procedura di autorizzazione per la costruzione di impianti di produzione di idrogeno verde.
3. Regolamentazione dell'accesso e della connessione degli impianti di produzione di idrogeno ai servizi di rete emessa dall'Autorità di Regolazione per le Reti Energetiche e l'Ambiente (ARERA).
4. Introduzione di un sistema di garanzie di origine per l'idrogeno rinnovabile emesso da ARERA e dal Gestore dei Servizi Energetici (Gestore dei Servizi Energetici S.p.A.).
5. Misure per agevolare la costruzione di stazioni di rifornimento di idrogeno in aree di servizio, magazzini logistici e porti.

Inoltre, il Piano di Ripresa italiano fa riferimento a ulteriori sforzi normativi in termini di impatto climatico, ad esempio la regolamentazione specifica sugli OEM (Original Equipment Manufacturers) con l'obiettivo di ridurre le emissioni del 15% e del 30% per le nuove vendite entro il 2025 e il 2030, rispettivamente.

Per quanto riguarda la produzione di idrogeno, il quadro normativo attuale include le attività di produzione di idrogeno (sia attraverso la riformazione che l'elettrolisi) nell'elenco delle attività soggette al rilascio dell'autorizzazione IPPC (Autorizzazione Integrata Ambientale). Più precisamente, la produzione di idrogeno è elencata tra le attività incluse nell'ambito dell'"industria chimica" secondo l'Allegato VIII alla Parte 2 del Decreto Legislativo italiano n. 152/2006, comunemente noto come "Codice Ambientale". Di conseguenza, un impianto di produzione e stoccaggio di idrogeno è classificato come "impianto industriale" e può essere installato solo in aree industriali in conformità con le pertinenti normative di pianificazione urbana. Dato il carattere infiammabile dell'idrogeno, la produzione e la gestione dell'idrogeno sono soggette all'autorizzazione del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco per garantire il rispetto degli standard di sicurezza e prevenzione incendi.

In linea con il Piano di Ripresa italiano e le Linee Guida sull'Idrogeno, sono state introdotte misure di semplificazione per snellire la procedura di autorizzazione per la costruzione di impianti di produzione di idrogeno.

L'Italia sta affrontando una transizione senza precedenti verso fonti di energia sostenibili e l'idrogeno verde emerge come elemento chiave in questo scenario. L'idrogeno verde è un vettore di energia pulito e rinnovabile che può essere prodotto da fonti rinnovabili come l'energia solare ed eolica. L'idrogeno può essere utilizzato in una vasta gamma di applicazioni, tra cui i trasporti, l'industria e la generazione di energia.

Le proposte di AWARE

AWARE ritiene che un quadro regolatorio abilitante per il trasporto di idrogeno in Italia dovrebbe includere i seguenti elementi:

- **Obiettivi ambiziosi di sostituzione:** AWARE propone di accelerare il processo di sostituzione del gas naturale con l'idrogeno, permettendo l'iniezione in rete di idrogeno "puro" senza modifiche alle attuali apparecchiature. Questa transizione graduale, con blend di idrogeno non superiori al 15%-20%, permetterebbe un'inclusione più rapida e agevole dell'idrogeno nella rete di trasporto del gas naturale.
- **Incentivazione della Ricerca e Sviluppo:** la promozione di tecnologie innovative è fondamentale per lo sviluppo dell'industria dell'idrogeno verde. AWARE propone l'implementazione di politiche dirette a supportare progetti sperimentali e attività di ricerca e sviluppo orientate all'innovazione nella produzione e nel trasporto dell'idrogeno. Incentivare progetti R&D per la creazione di sistemi di misura e adattamento della filiera del gas con blending di idrogeno è cruciale per garantire un'integrazione sicura ed efficiente.
- **Quadro normativo chiaro e flessibile:** la creazione di un quadro normativo chiaro è essenziale per favorire l'iniezione di idrogeno nelle attuali infrastrutture del gas. AWARE propone di definire regolamenti che agevolino l'idrogeno come vettore energetico miscelato con il gas naturale, implementando sistemi di separazione selettivi dell'idrogeno, come le membrane. Questo approccio consentirebbe una transizione fluida e fornirebbe un chiaro segnale agli investitori e agli attori del settore.
- **Approfondimento delle implicazioni:** un'attenzione particolare deve essere posta sullo studio delle implicazioni dell'immissione dell'idrogeno nel sistema di stoccaggio e negli usi finali. Questo include un'analisi dettagliata delle conseguenze sulla sicurezza, la funzionalità, il rendimento e le emissioni. La ricerca dovrebbe estendersi anche allo studio del syngas e del sector coupling per ottimizzare l'integrazione tra elettricità e gas.
- **Coinvolgimento delle Parti Interessate:** il tavolo sull'idrogeno attivato dal Ministero dello Sviluppo Economico è un passo importante, ma AWARE propone un coinvolgimento

più ampio delle parti interessate. Questo dovrebbe includere rappresentanti della società civile, organizzazioni ambientaliste e altre voci della comunità. Un dialogo inclusivo garantirà che le politiche adottate riflettano le necessità e le aspettative di tutti gli attori coinvolti.

AWARE ritiene che le proposte sopra descritte siano essenziali per accelerare la transizione verso un'economia basata sull'idrogeno verde in Italia. La creazione di un quadro normativo e regolatorio abilitante contribuirà a creare un ambiente favorevole all'innovazione, alla sostenibilità e alla sicurezza, portando l'Italia a guidare la transizione energetica globale.

In sintesi, AWARE raccomanda al governo italiano di attuare le seguenti misure:

- Istituire un quadro normativo che consenta l'iniezione di idrogeno nella rete di trasporto del gas naturale senza modifiche alle apparecchiature esistenti, con blend che non superino il 15%-20%.
- Implementare politiche di supporto per attività R&D che promuovano l'innovazione nella produzione e nel trasporto dell'idrogeno.
- Investire nella ricerca e sviluppo di tecnologie per la separazione selettiva dell'idrogeno, come le membrane.

Coinvolgere le parti interessate in un processo decisionale inclusivo che rifletta le esigenze e le aspettative.

BIBLIOGRAFIA

Watson Farley & Williams. (2021). The Italian Hydrogen Strategy.
<https://www.wfw.com/articles/the-italian-hydrogen-strategy/?l=it>

European Commission. (2023). Energy Systems Integration: Hydrogen.
https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en

International Renewable Energy Agency. (2023). Hydrogen.
<https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>

McPhail. (2020). Hydrogen energy: State of the art and perspectives.
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-817384-8.00001-7>

International Energy Agency. (2023). The Future of Hydrogen.
<https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

International Energy Agency. (2023). Low Emission Fuels: Hydrogen.
<https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>

Faraday Institution. (2023). Market and Technology Assessment.
https://www.faraday.ac.uk/wp-content/uploads/2023/04/L2C231476-UKLON-R-01-F_Market-and-Technology-Assessment_FaradayInst_24Apr2023.pdf

European Commission. (2020). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>

SiemensEnergy. (2021) Power-to-X: The crucial business on the way to a carbon-free world.
https://p3.aprimocdn.net/siemensenergy/091fb3ef-3dca-41a3-9bc5-b03700b-351df/20211012-Power-to-X-white-paper-pdf_Original%20file.pdf

Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2019). PIANO NAZIONALE INTEGRATO PER L'ENERGIA E IL CLIMA finale.
https://www.mimit.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf

Confindustria. (2020). Position Paper Piano d'azione per l'idrogeno. https://www.confindustria.it/wcm/connect/552759de-3bb8-472f-a20b-07ab2aa5f21f/Position+Paper_Piano+d%E2%80%99azione+per+l%E2%80%99idrogeno_ott+2020_Confindustria.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-552759de-3bb8-472f-a20b-07ab2aa5f21f-nuhfm09

Assolombarda. (2022). Presentazione Maurizio Delfanti Il vettore idrogeno: potenzialità, ambiti di applicazione e sfide. <https://www.assolombarda.it/servizi/energia/documenti/presentazione-maurizio-delfanti-il-vettore-idrogeno-potenzialita-ambiti-di-applicazione-e-sfide>

- Interreg Alpine Space. (2023). Territorial perspectives and development potentials Italy. <https://www.alpine-space.eu/project-news/territorial-perspectives-and-development-potentials-italy/>
- Ministero dello Sviluppo Economico. (2020). Strategia Nazionale Idrogeno Linee guida preliminari. https://www.mimit.gov.it/images/stories/documenti/Strategia_Nazionale_Idrogeno_Linee_guida_preliminari_nov20.pdf
- Ricerca sul Sistema Energetico - RSE S.p.A. (2021). Idrogeno Un vettore energetico per la decarbonizzazione. https://www.rse-web.it/wp-content/uploads/2021/03/RSEview_-_Idrogeno-1.pdf
- Linklaters. (2023). Getting Hy? Italy. <https://www.linklaters.com/en/insights/thought-leadership/energy/hydrogen/italy>
- Decode39. (9 Maggio 2023). Austria, Germany and Italy agree on developing joint hydrogen corridor. <https://decode39.com/6673/south2-hydrogen-corridor-eu-italy-austria-germany/>
- Reuters. (2023). Italy in talks with Bavaria on gas and hydrogen exports, eyes eastern Europe. <https://www.reuters.com/markets/emerging/italy-talks-with-bavaria-gas-hydrogen-exports-eyes-eastern-europe-2023-09-27/>
- Agenda Digitale. (29 Aprile 2021). Idrogeno verde, Italia hub di energia pulita per l'Europa? Urge una strategia. <https://www.agendadigitale.eu/smart-city/idrogeno-verde-italia-hub-di-energia-pulita-per-leuropa-urge-una-strategia/>
- Hydro News. (4 Novembre 2021). L'Italia nel 2050 importerà il 75% dell'idrogeno consumato: lo studio di WEC Europe. <https://hydronews.it/litalia-nel-2050-importera-il-75-dellidrogeno-consumato-lo-studio-di-wec-europe/>
- Affari Internazionali. (2023). Unione Europea Idrogeno Africa. <https://www.affarinternazionali.it/unione-europea-idrogeno-africa/>
- WEC France. (2021). Decarbonised hydrogen imports into the European Union: challenges and opportunities. https://www.wec-france.org/wp-content/uploads/2021/10/WEC_Europe_Hydrogen_Study-1.pdf
- House-Ambrosetti, T. E., & Snam. (2020). H2 ITALY 2050, Una filiera nazionale dell'idrogeno per la crescita e la decarbonizzazione dell'Italia.
- H. Barthelemy, M. Weber, F. Barbier. (2017) Hydrogen storage: Recent improvements and industrial perspectives, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 42, Issue 11.
- Wang, M., Wang, G., Sun, Z., Zhang, Y., & Xu, D. (2019) Review of renewable energy-based hydrogen production processes for sustainable energy innovation, Global Energy Interconnection, Volume 2, Issue 5.
- Papadimas, D. D., Peng, J.-K., & Ahluwalia, R. K. (2021) Hydrogen carriers: Production, tran-

mission, decomposition, and storage, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 46, Issue 47.

European Commission. (2020) EU Hydrogen Strategy.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>

Ref Ricerche. (2021) The European Hydrogen Strategy: Pathways and Challenges.

<https://laboratorioref.it/the-european-hydrogen-strategy-pathways-and-challenges/>

International Energy Agency. (2021) Net Zero by 2050.

<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

Energy Efficiency & Renewable Energy. Liquid Hydrogen Delivery”.

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

Istituto per gli Studi di Politica Internazionale. (2021) L'utilizzo dell'idrogeno su vasta scala: la sfida delle infrastrutture. <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/lutilizzo-dellidrogeno-su-vasta-scala-la-sfida-delle-infrastrutture-31526>

Energy & Strategy, Politecnico di Milano. (2023) Hydrogen Innovation Report 2023. Hydrogen Innovation - Energy Strategy

Innovation Post. (2023) L'Italia dell'Idrogeno tra eccellenze e criticità: l'analisi di Ambrosetti. <https://www.innovationpost.it/tecnologie/energia-efficienza/litalia-dellidrogeno-tra-eccellenze-e-criticita-lanalisi-di-ambrosetti/>

Nuova Energia. (2023) Idrogeno per la transizione: stato dell'arte e potenzialità. Nuova-Energia-1-2023.indb (rse-web.it)

Gabriele Turco. (2021) Idrogeno: sfide e opportunità per l'economia del futuro.

<https://www.iusinitinere.it/idrogeno-sfide-e-opportunita-per-leconomia-del-futuro-38749>

Western Green Energy Hub

<https://wgeh.com.au/>

Reuters. (2023) “Japan receives first low-carbon ammonia cargo from Saudi Arabia”

<https://www.reuters.com/business/sustainable-business/japan-receives-first-low-carbon-ammonia-cargo-saudi-arabia-2023-04-21/>

Europea Blog. (2022). L'unione Europea e la nuova agenda per il Mediterraneo.

<https://www.europea.blog/2022/11/01/lunione-europea-e-lunione-per-il-mediterraneo/>

European Commission. (2022). Global Gateway nel Mediterraneo: Perché l'UE deve puntare sul vicinato meridionale. <https://ecfr.eu/rome/publication/global-gateway-nel-mediterraneo-perche-lue-deve-puntare-sul-vicinato-meridionale-versione-completa/>

European Commission. (2022). REPowerEU.

<https://www.consilium.europa.eu/it/policies/eu-recovery-plan/repowereu/>

European Commission. (2022) Joint Statement on the EU-Egypt Renewable Hydrogen Partnership. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/statement_22_6646

European Council on Foreign Relations (2022) Against the flow: Europe's role in kickstarting Algeria's green transition. <https://ecfr.eu/publication/against-the-flow-europes-role-in-kickstarting-algerias-green-transition/#algerias-existing-transition-plans-and-activities>

European Institute of the Mediterranean. (2022). Green Hydrogen Partnerships. <https://www.iemed.org/publication/green-hydrogen-partnerships/>

European University Institute. (2022). The Mediterranean as a Leader in the Clean Hydrogen Economy: Production, Transmission, End-Use. <https://fsr.eui.eu/the-mediterranean-as-a-leader-in-the-clean-hydrogen-economy-production-transmission-end-use/>

Energy News. (2023). Green Hydrogen H2 News: Algeria aims to export green hydrogen to Europe by 2040. https://energynews.biz/algeria-aims-to-export-green-hydrogen-to-europe-by-2040/#google_vignette

Hydrogen Insight. (2023). Algeria aims to supply Europe with 10% of its clean hydrogen needs by 2040 in new national H2 roadmap. <https://www.hydrogeninsight.com/policy/algeria-aims-to-supply-europe-with-10-of-its-clean-hydrogen-needs-by-2040-in-new-national-h2-roadmap/2-1-1426265>

HydroNews. (2022). Egitto e UE al lavoro per creare una 'Mediterranean Green Hydrogen Partnership'. <https://hydronews.it/egitto-e-ue-al-lavoro-per-creare-una-mediterranean-green-hydrogen-partnership/>

HydroNews. (2023). Snam soddisfatta: SouthH2 Corridor e Callisto Mediterranean CO2 Network nella lista europea dei PCI. <https://hydronews.it/snam-soddisfatta-south2-corridor-e-callisto-mediterranean-co2-network-nella-lista-europea-dei-pci/>

ISPI. (2022). Idrogeno verde Mediterraneo. <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/idrogeno-verde-mediterraneo-36218>

Intesa San Paolo e Energy Center del Politecnico di Torino (2022). Med & Italian Energy Report. <https://group.intesasanpaolo.com/it/sala-stampa/news/il-mondo-di-intesa-san-paolo/2021/mediterranean-and-italian-energy-report>

IRENA. (2022). Renewable capacity statistics 2022. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2022.pdf

Marocco World News. (2021). Green Hydrogen, 'Keystone' for Morocco's Green Transition. <https://www.moroccoworldnews.com/2021/08/344033/green-hydrogen-keystone-for-morocco-s-green-transition>

Marocco World News. (2021). Morocco, IRENA Sign New Hydrogen Development Partnership. <https://www.moroccoworldnews.com/2021/06/342920/irena-and-moroccos-hydrogen-development-partnership>

Oeko-Institut (2022). Hydrogen Fact Sheet – North African Countries. <https://www.oeko.de/en/publications/hydrogen-fact-sheet-north-african-countries>

AWARE

www.awarethinktank.it

info@awarethinktank.it

