



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Strategie per la riduzione delle emissioni di idrogeno

Ruolo ENEA nel progetto NHyRA

H2Forum - Amici della terra 28/10/2025

Valerio Palmisano



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



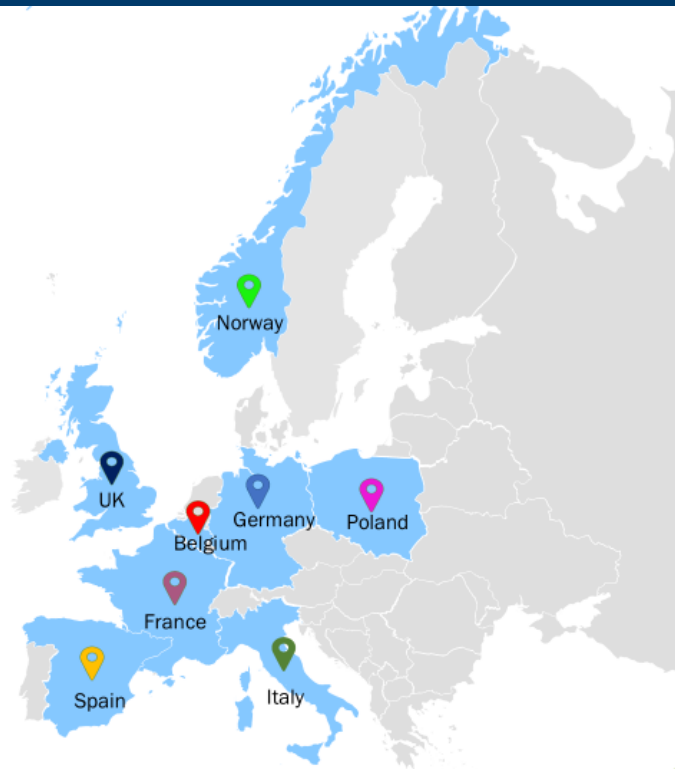
NHyRA project: pre-Normative research on Hydrogen Releases Assessment



Baker Hughes



INSTYTUT NAFTY I GAZU
- Państwowy Instytut Badawczy



NHyRA: Contesto (*mitigation-wise*) e Obiettivi

- Necessità di dati e procedure standardizzate riguardo le emissioni antropiche di H₂
- La maggior parte degli studi si basa su modelli teorici o analogie con il gas naturale
- Mancano misurazioni dirette e dati aggiornati
- Le perdite sono spesso sottostimate o sovrastimate per mancanza di standard

NHyRA: Contesto (*mitigation-wise*) e Obiettivi

- Necessità di dati e procedure standardizzate riguardo le emissioni antropiche di H₂
 - La maggior parte degli studi si basa su modelli teorici o analogie con il gas naturale
 - Mancano misurazioni dirette e dati aggiornati
 - Le perdite sono spesso sottostimate o sovrastimate per mancanza di standard
1. Inventario open access delle emissioni antropogeniche di H₂
 2. Stesura e convalida di test e protocolli per valutare le emissioni di H₂.
 3. Tool per quantificare le emissioni e definizione di scenari a medio e lungo termine
 4. Identificazione/classificazione dei principali elementi di emissione → **strategie di mitigazione.**
 5. Raccomandazioni per *Standards and Specifiche Tecniche*.

Revisione della letteratura + scenari comparativi ⁽¹⁾

Tecnologie critiche:

- 1) **Produzione:** Elettrolisi (crossover) vs. SMR.
- 2) **Stoccaggio:** Superficiale vs. caverne saline
- 3) **Trasporto:** Gas compresso vs. pipelines
- 4) **Uso finale:** HRS, Mobility, Riscaldamento domestico vs. applicazioni industriali (acciaierie, produzione di ammoniaca, raffinerie)

⁽¹⁾ Oxford Institute for Energy Studies, *Review of Hydrogen Leakage along the Supply Chain: Environmental Impact, Mitigation, and Recommendations for Sustainable Deployment*. Oxford: Oxford Institute for Energy Studies, 2023. [Online]. Available: <https://www.oxfordenergy.org/publications/review-of-hydrogen-leakage-along-the-supply-chain-environmental-impact-mitigation-and-recommendations-for-sustainable-deployment/>. [Accessed: Sep. 1, 2025].

Revisione della letteratura + scenari comparativi (2)

Raccolta sull'efficienza di 3 diverse catene dell'idrogeno:

- 1) Sistemi **gassosi**: pipeline + stoccaggio in serbatoi o caverne saline + HRS gassose
- 2) Sistemi **liquidi**: liquefazione + trasporto (camion/nave) + stoccaggio criogenico + HRS liquide.
- 3) Sistemi **misti**: pipeline + liquefazione a valle + distribuzione liquida + HRS liquide.

Sistema H ₂	Perdite stimate	Efficienza energetica	Note operative
Gassoso	4.4% – 4.6%	28% – 39%	Alta efficienza, perdite moderate. Ottimo per distanze medie.
Liquido	10.7% – 12.2%	19.8% – 27.7%	Alta densità energetica, ma perdite elevate. Adatto a trasporti lunghi.
Misto	6.8% – 9.4%	18.3% – 25.2%	Flessibile ma penalizzato da conversioni di fase.

(2) Laura Restrepo, Lewis M. Fulton, Assessing hydrogen supply chains: An integrated review of leakage and energy efficiency studies, International Journal of Hydrogen Energy 156, (2025), 150265

Esempio FBK: Elettrolizzatori

Sorgente di emissione	Azione di mitigazione
Emissioni fugitive	○ Stringere valvole e guarnizioni ○ Utilizzare guarnizioni laminate e giunzioni saldate ○ Evitare giunzioni flangiate e filettate ○ Garantire l'uso di materiali e valvole idonei, evitando l'<i>infragilimento</i> da H₂ ○ Isolare adeguatamente tubazioni e serbatoi di stoccaggio, riducendo al minimo il numero di segmenti/giunzioni delle tubazioni
Emissioni “ <i>da sfiato</i> ”	○ Recuperare l'idrogeno ventilato/da spurgo/residuo e utilizzarlo per produrre calore di processo/energia elettrica ○ Integrare la ricombinazione di idrogeno ventilato/da spurgo/residuo con O₂ per trasformarlo nuovamente in H₂O ○ Ridurre la pressione operativa e/o minimizzare i punti di pressurizzazione e depressurizzazione ○ Massimizzare l'efficienza di combustione se il flaring è necessario

Azioni di mitigazione delle emissioni - lit. review

1. **Materiali avanzati:** acciai inossidabili, rivestimenti polimerici e nano-coating (es. grafene) per ridurre l'infragilimento e la permeabilità. Nuove tecnologie di sigillatura. **Isolamento criogenico.**
2. **Sistemi di rilevamento:** sensori distribuiti, droni e monitoraggio satellitare. **Sensori** ad alta sensibilità (ppb): per intercettare micro-perdite in esercizio.
3. **Design ottimizzato:** produzione modulare vicina al punto di consumo per limitare le distanze di trasporto e il numero di giunti/punti di fuga.
4. **Formazione** e sensibilizzazione per operatori e pubblico.
5. **Supporto regolatorio e incentivi:** standard ISO/ASME*, sussidi, crediti fiscali e modelli di finanziamento pubblico-privato.

*ISO/TR 15916:2015 – linee guida generali sulla sicurezza per l'uso in forma gassosa, liquida e in idruri solidi.

AME B31.12 – requisiti tecnici per la progettazione, costruzione, ispezione e manutenzione di sistemi di tubazioni per idrogeno gassoso e liquido.

Sistemi liquidi - LH₂

LH₂: alta densità energetica e flessibilità ma perdite e costi energetici elevati.

- 1) Ottimizzazione della liquefazione** per ridurre il consumo energetico e le perdite durante il processo di conversione dell'idrogeno in forma liquida. Uso di interfacce, pre-cooling, subcooled LH₂ per ridurre sfiati e tempi.
- 2) Miglioramento dell'isolamento** per lo stoccaggio e per il trasporto: uso di materiali super-isolanti può ridurre l'evaporazione dell'idrogeno liquido.
- 3) Miglioramento delle attrezzature di rifornimento** per ridurre le perdite durante la fase di *dispensing*.

***Isolamento criogenico:** tecnologia che protegge componenti e tubazioni che trasportano gas liquefatti a temperature estremamente basse (es. LH₂ a -253 °C). **Tipi di isolamento:**

Multi-Layer Insulation (MLI): strati riflettenti separati da materiali a bassa conducibilità

Aerogel (es. Cryogel® Z): materiali ultraleggeri con altissima resistenza termica

Tubi superisolati sottovuoto: doppio tubo con vuoto intermedio e schermatura termica

Valerio Palmisano
Valerio.palmisano@enea.it



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000

