

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale
«Analisi del ruolo dell'idrogeno nel
decarbonizzare i settori harder to
abate »***

Tutor universitario: Prof. Lazzaretto

Andrea

Laureando: *Gahima Alain Nepo*

Padova, 21/09/2023

- L'abbattimento delle emissioni di gas ad effetto serra, per evitare un eccessivo riscaldamento globale, è una se non la sfida più importante di questo secolo.
- Il settore dell'aviazione e dei trasporti rappresentano rispettivamente il 1.9% e il 2.9% delle emissioni globali di gas ad effetto serra.
- L'idrogeno rappresenta una opzione per ridurre sensibilmente le emissioni di questi settori.
- L'obiettivo di questo lavoro è, grazie alla consultazione bibliografica nei siti ScienceDirect e Google scholar, capire il ruolo che può ricoprire l'idrogeno nel decarbonizzare i due settori sopracitati, considerandone l'intera filiera e le alternative.

- L'idrogeno possiede varie proprietà che rendono la combustione della miscela H₂/aria flessibile ed efficiente. D'altra parte le caratteristiche dell'idrogeno rendono il suo trasporto e immagazzinamento complessi.
- L'idrogeno attualmente viene impiegato principalmente per la:
 1. Riduzione di ossidi
 2. Produzione di ammoniaca
 3. Propulsione
 4. Idrogenazione di CO ed altri composti

- Prende il nome di idrogeno grigio l'idrogeno prodotto a partire da gas naturale tramite un processo di conversione composto da tre passaggi:
 1. Desolforazione
 2. Reforming (SMR,ATR,POX)
 3. Water Gas Shift e rimozione del monossido di carbonio
- Il costo dell'idrogeno così prodotto è all'incirca di 45\$/MWh. Con questa modalità si hanno ingenti emissioni di anidride carbonica, per limitarle si possono impiegare sistemi per la Carbon Capture. L'idrogeno così ottenuto viene denominato idrogeno blu.

- Per idrogeno verde in questa trattazione si intende l'idrogeno ottenuto tramite elettrolisi, utilizzando elettricità da fonti rinnovabili, o ottenuto partendo dalla biomassa.
- Si può ricavare idrogeno dalla biomassa tramite i processi di gassificazione o pirolisi.
- Il costo dell'idrogeno verde si assesta tra i 36 ai 454 \$/MWh, in particolare il costo di produzione utilizzando il solare è difficilmente inferiore ai 300 \$/MWh. Rispetto all'idrogeno grigio mediamente l'idrogeno verde è più costoso.

- Esistono principalmente quattro metodi per immagazzinare l'idrogeno:

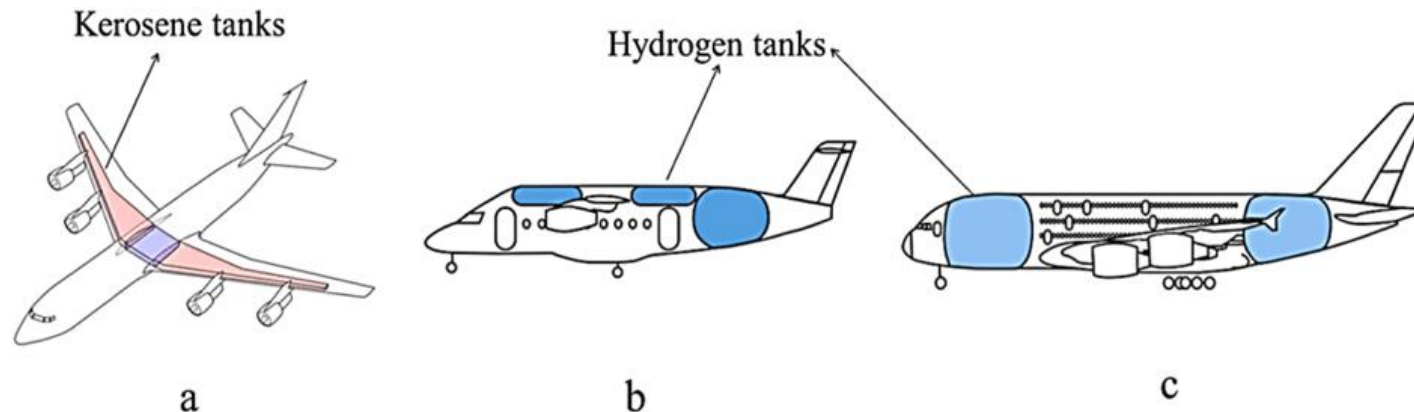
| | | |
|--|-------------------------------|-------------|
| 1. Idrogeno Compresso | 0.14-0.33 \$/kgH ₂ | 1.4-2 kWh/L |
| 2. Idrogeno Liquefatto | 0.94 \$/kgH ₂ | 2.4 kWh/L |
| 3. Stoccaggio allo stato solido | 0.7 \$/kgH ₂ | 4 kWh/L |
| 4. Stoccaggio tramite liquidi organici | 2.25 \$/kgH ₂ | 4-5 kWh/L |
- Anche per il trasporto ci possono essere varie opzioni, si possono trasportare i serbatoi di idrogeno compresso o liquido, si possono realizzare gasdotti appositi, o si possono trasportare i liquidi organici sia tramite gasdotti che in serbatoi.
- Per applicazioni stazionarie il sistema più conveniente comprende lo stoccaggio dell'idrogeno compresso e il trasporto tramite idrogeno dotti. Con un costo del trasporto compreso tra i 0.68 e i 2 \$/kgH₂ e delle emissioni pari a 1.7-5.6 KgCO₂eq/KgH₂

- Se si impiega l'idrogeno per decarbonizzare il trasporto marittimo le modalità di immagazzinamento sono due: in forma gassosa e in forma liquida.
- I rischi principali con questi tipi di stoccaggio sono legati alle possibilità di incendi e esplosioni dovute alle proprietà dell'idrogeno.
- Il costo dell'idrogeno e dello stoccaggio sono rispettivamente 164 \$/MWh e 1.6 \$/KWh.
- L'idrogeno si può impiegare all'interno di motori a combustione interna o a celle a combustibile.

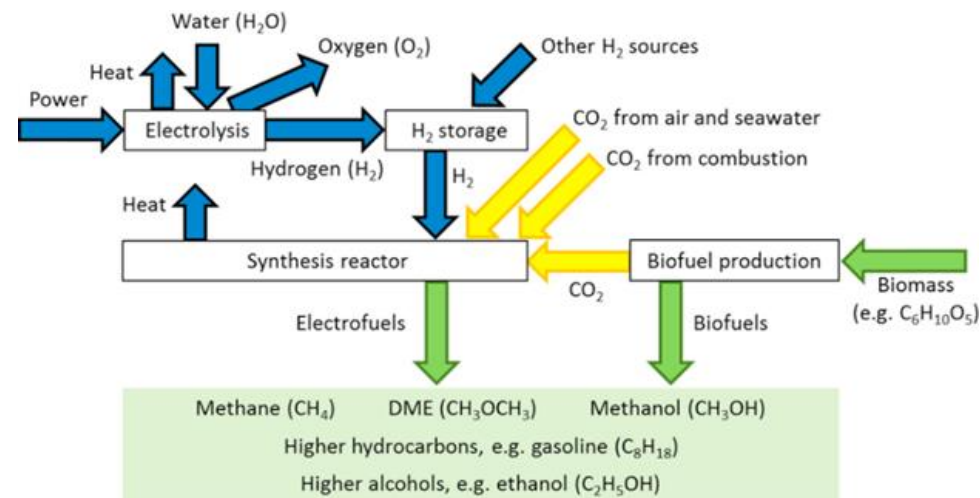
- L'ammoniaca verde può essere prodotta con tre processi diversi:
 1. Elettrolisi ed in seguito processo di Haber-Bosch
 2. Elettrochimica
 3. Fotochimica
- L'ammoniaca si può immagazzinare allo stato liquido con costi operativi di stoccaggio di circa 0.24-0.31 \$/kWh
- Anche l'ammoniaca si può impiegare sia nei motori a combustione interna sia nelle celle a combustibile. Il costo dell'ammoniaca come combustibile è di 120 \$/MWh.

- Si produce il metanolo verde partendo da idrogeno verde e CO₂ catturata da vari processi industriali. Il costo del metanolo così ottenuto è di 96-122 \$/MWh.
- Il metanolo a temperatura ambiente è liquido e dunque il suo stoccaggio è particolarmente semplice. Il costo dello stoccaggio a bordo è di 0.15 \$/kWh.
- Anche il metanolo si può utilizzare direttamente in motori a combustione interna oppure in celle a combustibile apposite.

- Per stoccare l'idrogeno negli aerei si ricorre all'utilizzo della compressione o la liquefazione, il volume occupato dall'idrogeno richiede delle modifiche nel posizionamento dei serbatoi.
- L'idrogeno può essere utilizzato in turbina, con delle appropriate modifiche, e in celle a combustibile.
- Il costo dell'idrogeno verde per questo impiego è di circa 163 \$/MWh.



- Gli electrofuels sono dei combustibili sintetici ottenuti dalla combinazione di CO₂ acqua ed elettricità.
- Il metano si può ottenere con il processo di metanazione. Il suo costo è compreso tra i 100-600 \$/MWh.
- Vari idrocarburi, come il gasolio, il diesel e il cherosene si possono ottenere grazie al processo di Fischer-Tropsch. Il costo di questi idrocarburi si aggira intorno ai 150-700 \$/MWh.
- Questi combustibili possono essere impiegati all'interno dei motori tradizionali dei velivoli senza la necessità di particolari modifiche.



- I biofuels sono combustibili ottenuti dalla biomassa.
- Bioalcol, sono combustibili difficili da impiegare nei motori tradizionali. Il loro costo è tra i 140-180 \$/MWh.
- HRJT, è un combustibile ottenuto da oli o grassi. Il suo costo è di 150-200 \$/MWh.
- Biodiesel, si ottiene dalla transesterificazione di grassi o oli. Il costo del combustibile è compreso tra i 100 e i 640 \$/MWh.
- Le batterie non rappresentano una opzione implementabile per la decarbonizzazione del settore dell'aviazione a causa della loro bassa densità gravimetrica, (0.4 kWh/kg).

- L'ammoniaca risulta la opzione migliore per la decarbonizzazione dei trasporti marittimi per i seguenti motivi.
 1. I costi sono minori di quelli dell'idrogeno.
 2. Si ha un minore rischio di esplosioni e incendi.
 3. È meno difficile da scalare rispetto al metanolo.

- Gli electrofuels risultano la soluzione migliore per gli aerei perché:
 1. Costano meno dell'idrogeno
 2. Hanno minori problemi di scalabilità rispetto ai biofuels.

- I principali ostacoli alla decarbonizzazione di questi settori sono:
 1. La disponibilità di elettricità da FER.
 2. Il costo maggiore di queste soluzioni 'pulite'.