

Università degli studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di laurea in Ingegneria dell’Energia

Relazione per la prova finale

**«Autotrazione ad Idrogeno: modalità, prospettive future, confronto tra  
Fuel Cells e motori a combustione interna ad idrogeno»**

Relatore: Prof.ssa Anna Stoppato

Laureando: Marco Bolla

Padova, 13/07/23

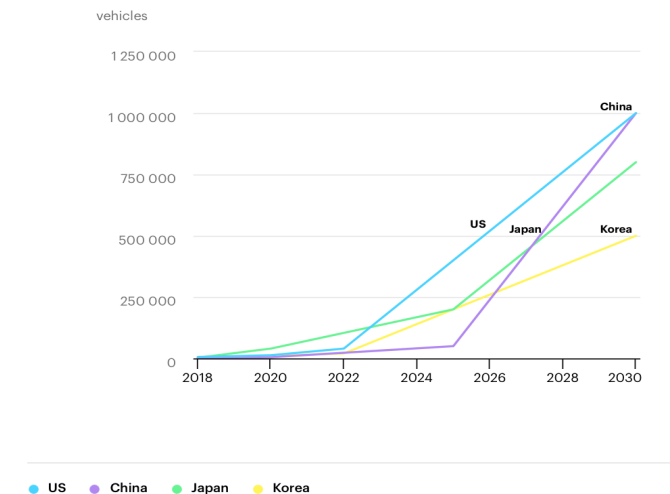
- L'idrogeno può svolgere un ruolo fondamentale nella transizione energetica , grazie alle sue qualità da vettore energetico.

Property	Value	Unit
Density (gaseous)	0.899	kg/Nm <sup>3</sup>
Density (liquid)	70.79	kg/m <sup>3</sup>
Melting temperature	14.1	K
Boiling temperature	21.15	K
Lower heating value	3.00	kWh/Nm <sup>3</sup> (volumetric)
	33.33	kWh/kg (gravimetric)
Gross calorific value	2.79 (liquefied)	kWh/l
	3.5	kWh/Nm <sup>3</sup>

- Possiede diverse opzioni, più o meno convenienti a seconda dell'utilizzo, per lo stoccaggio. Questo può avvenire in forma gassosa, liquida o di tipo chimico
- Necessita tuttavia di tecniche per la produzione in quanto non esiste, in forma pura, in natura.
  - Idrogeno verde: prodotto tramite elettrolisi dell'acqua, zero emissioni di CO<sub>2</sub>
  - Idrogeno grigio: prodotto tramite steam reforming del metano, emissioni non nulle durante il processo
  - Idrogeno blu: produzione a partire da combustibili fossili, ma con contemporanea cattura e sequestro di CO<sub>2</sub>
- L'ostacolo principale ad un utilizzo maggiore di questa tecnologia per ora consiste nel prezzo per la produzione di idrogeno verde

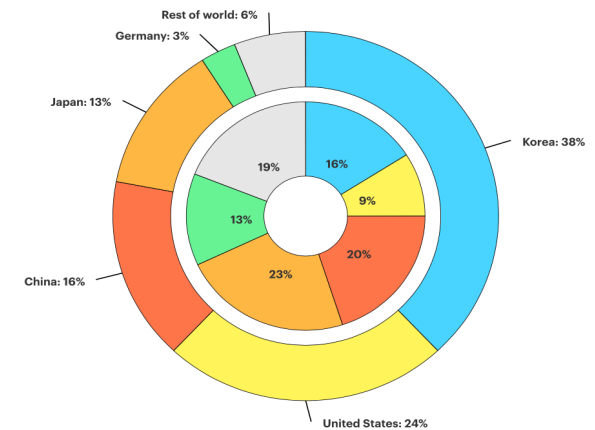
- L'idrogeno può diventare un fattore chiave nella decarbonizzazione del settore dei trasporti.
- Il settore dei trasporti è responsabile dell'emissione di quasi 8 Gt di CO<sub>2</sub> rappresentando il 20% totali di emissioni di gas ad effetto serra.
- Il trasporto su strada contribuisce al 70%, sulle emissioni totali provenienti dai trasporti.
- Lo scenario net zero, prevede un azzeramento al 2050 delle emissioni di CO<sub>2</sub> dovute al settore dei trasporti, scandito da diverse tappe, tra cui lo stop alla vendita di macchine con MCI nel 2035.
- In questo scenario saranno fondamentali:
  - Le autovetture elettriche, EVs
  - Le autovetture a celle a combustibile, FCEVs
- Sarà fondamentale anche l'aumento della produzione di idrogeno verde, tramite elettrolisi.
- Secondo la IEA la produzione di elettrolizzatori in Europa dovrebbe passare dai 3.5 GW/anno del 2021 ai 19.3 GW/anno del 2030

National and sub-national fuel cell electric vehicle targets for selected countries, 2018-2030

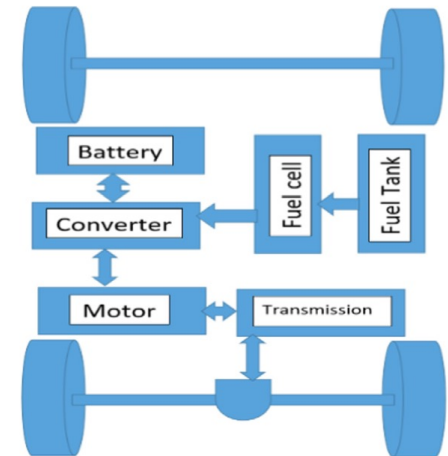


- La vendita di auto elettriche, EVs, è stata caratterizzata da una notevole crescita negli ultimi anni, passando da 0,7 milioni, globalmente, nel 2016 a 13,9 milioni nel 2023, con una spinta predominante proveniente dalla Cina.
- La vendita di FCEVs è invece molto minore, 51 600 nel 2021, rispetto alla vendita di EVs, in quest'ottica i migliori investimenti sono stati fatti:
  - Dalla Cina, per quanto riguarda i trasporti pesanti, come bus e treni.
  - Dalla Corea del Sud, dal Giappone e dagli Stati Uniti per quanto riguarda veicoli leggeri, come le autovetture.
- Fondamentale è anche lo sviluppo dei servizi associati all'utilizzo dell'H come le stazioni di rifornimento.
- Le stazioni di rifornimento sono passate da poche decine del 2007 a 730 totali nel 2021

Outer circle represents 51 600 worldwide fuel cell electric vehicles (FCEV), inner circle represents 730 worldwide hydrogen refuelling stations (HRS), in 2021

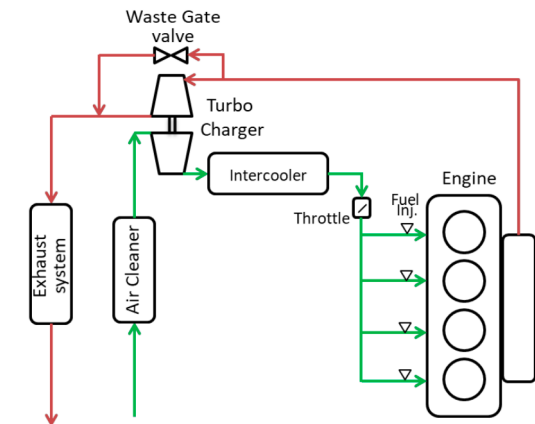


- I Fuel cell electric vehicles, FCEVs, sfruttano la tecnologia della cella a combustibile, utilizzando come combustibile l'idrogeno stesso
- La cella a combustibile, permette di generare, attraverso un processo elettrochimico, energia elettrica a partire da un combustibile
- Le parti principali di un veicolo con cella a combustibile sono:
  - il serbatoio,
  - la cella a combustibile
  - il motore elettrico
  - il pacco batteria
  - il converter
  - la trasmissione.
- Le celle a combustibile a idrogeno vengono spesso utilizzate, nei veicoli in accoppiamento ad un motore, FCHEVs, Fuel Cell Hybrid Electric Vehicles
- Queste tecnologie permettono la riduzione di emissioni per quanto riguarda:
  - Monossido di Carbonio, poiché non c'è combustione
  - COV, composti organici volatili
  - NOx
  - CO<sub>2</sub>
- I veicoli con celle a combustibili attualmente più diffusi sono quelli prodotti da: Hyundai, Toyota, Mercedes e BMW





- I MCI ad idrogeno sono analoghi ai tradizionali motori a combustione interna a gasolio o a benzina, con la differenza che in questo caso il combustibile è proprio l'idrogeno
- Le caratteristiche dell'idrogeno permettono di ottenere una combustione rapida, aumentando l'efficienza del processo
- Sotto certi aspetti il MCI alimentato ad idrogeno ha prestazioni migliori rispetto ai tradizionali MCI
- Tuttavia sono presenti alcune problematiche che ne limitano lo sviluppo, tra le quali:
  - Combustione anomala
  - Ritorno di fiamma
- Il ritorno di fiamma è il problema principale per i MCI ad idrogeno ed è causato principalmente da:
  - Timing non corretto di apertura/chiusura delle valvole
  - Timing non corretto di iniezione del carburante
- I metodi per prevenire il ritorno di fiamma possono essere
  - Motore a combustione magra
  - Ottimizzazione del timing di apertura e chiusura delle valvole, ottimizzazione del timing di iniezione del carburante



- I veicoli alimentati a Fuel Cell presentano un'efficienza maggiore, ma presentano anche un costo maggiore ed un'autonomia minore
- I veicoli alimentati con motore a combustione interna ad idrogeno hanno il vantaggio di utilizzare gli impianti di produzione attualmente utilizzati
- Il veicolo con MCI presenta diverse problematiche dal punto di vista tecnico
- Entrambi hanno il vantaggio, rispetto ai veicoli elettrici, EVs, da richiedere tempi minori per il rifornimento, comparabili con quelli delle tradizionali vetture a gasolio e a benzina
- I FCEVs risultano migliori rispetto ai MCI ad idrogeno per i seguenti motivi:
  - Maggiore efficienza, minore richiesta di idrogeno per percorrere la stessa distanza
  - Impatto ambientale nullo (sempre considerando idrogeno verde)
  - Potenziale futuro, si ritiene che la tecnologia con celle a combustibile abbia maggiori potenzialità di miglioramento
- Proprio in quest'ottica molte case automobilistiche come Honda e Stellantis stanno investendo molte risorse nello sviluppo di modelli alimentati ad idrogeno, in particolare puntando sulla tecnologia delle Fuel Cells

- Attualmente l'utilizzo dell'idrogeno in Italia è ancora molto limitato
- Nel 2020 il governo italiano ha rilasciato la »Strategia nazionale per l'Idrogeno«, con l'obiettivo di promuovere l'idrogeno come elemento chiave per la transizione energetica
- Si prevede una crescita dell'idrogeno nel mix energetico dal 2-3% attuale al 13% entro il 2050 con una capacità di elettrolisi di 500GW
- I settori su cui intende agire il governo italiano sono:
  - Camion a lungo raggio: si può prevedere una penetrazione fino al 2% di camion a celle a combustibile entro il 2030
  - Treni
  - Chimica e raffinazione
  - Miscelazione del gas naturale
- Per centrare questi obiettivi saranno necessari 10 miliardi di investimento tra il 2020-2030
- Questo processo si prevede possa avere anche un grande impatto economico:
  - Aumento del pil di circa 27 miliardi di euro
  - Oltre 200mila posti di lavoro temporanei
  - Circa 10mila posti di lavoro fissi

