

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale
***«IDROGENO PER L'AUTOTRAZIONE: STATO
DELL'ARTE E PROSPETTIVE FUTURE»***

Tutor universitario: Prof. Anna Stoppato

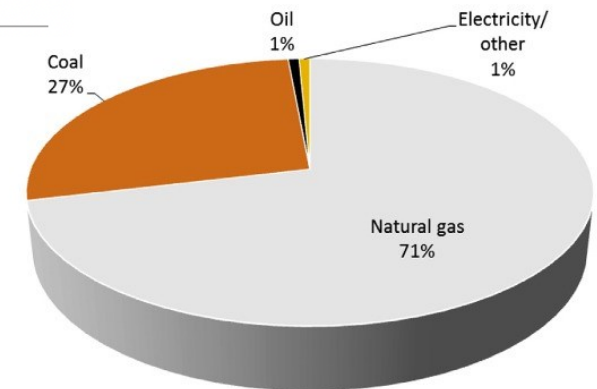
Laureando: *Davide Giulio*

Padova, 19/07/2022

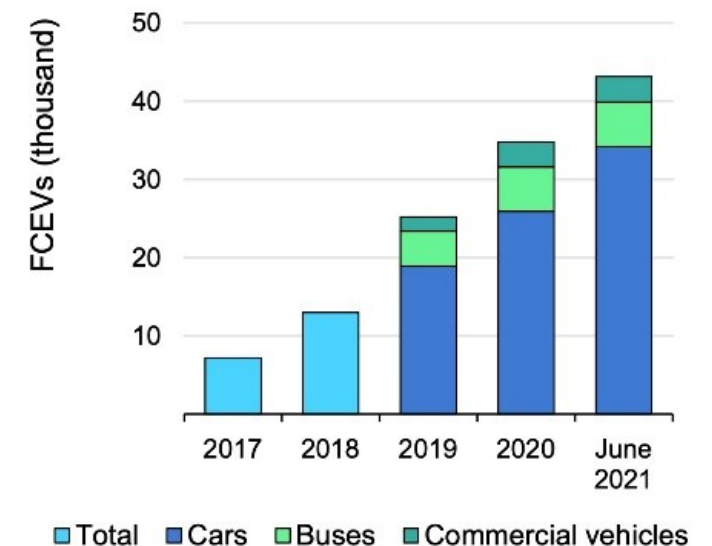
- L'idrogeno va inteso non come una forma di energia vera e propria ma come un vettore energetico.

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

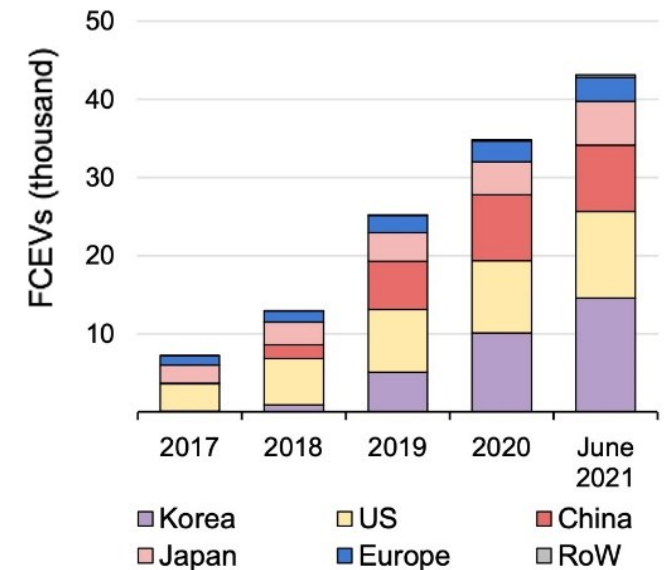
- Può essere prodotto da diverse sorgenti;
- Può essere classificato sulla base delle tecnologie di produzione;
- Valida si fa sempre di più la possibilità di sfruttamento delle eccedenze date dalla produzione intermittente rete con un sempre maggior contributo delle rinnovabili (P2H)
- A valle della produzione, lo stoccaggio dell'idrogeno può essere:
 - In forma liquida;
 - In forma gassosa;
 - Di tipo chimico cioè legato a metalli formando idruri, o inserito in nanostrutture di carbonio.
- Per quanto riguarda il trasporto può avvenire attraverso una rete di gasdotti oppure su strada all'interno di bombole.



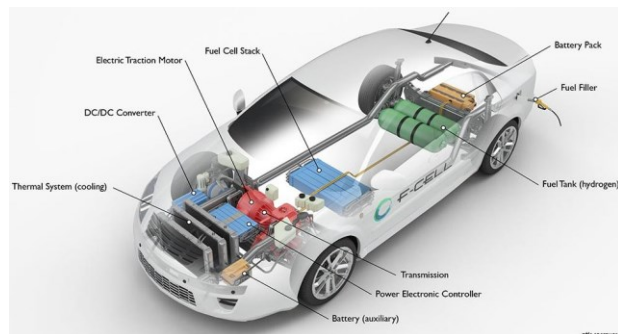
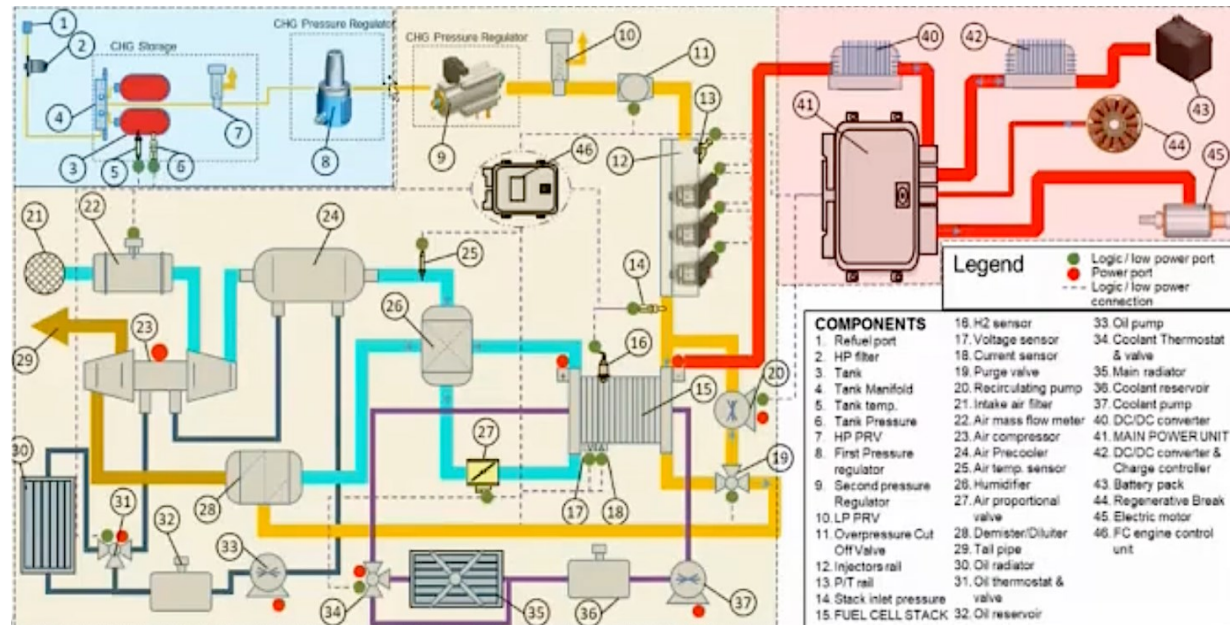
- In Europa il settore dei trasporti è responsabile di circa un quarto del consumo di energia e di circa il 20% delle emissioni totali di gas serra;
- Ad oggi, in questo settore, l'idrogeno rappresenta solo lo 0.01% dell'energia totale consumata, e solo l'1% di questo viene prodotto da fonti rinnovabili.
- Per fronteggiare le problematiche legate a efficienza ed emissioni delle auto tradizionali c'è dunque stata una spinta ai veicoli elettrici (EV):
 - Veicoli elettrici a batteria - BEV
 - Veicoli a celle a combustibile - (FCEV)
- L'implementazione di FCEV ha avuto focus soprattutto sui veicoli commerciali e in particolare sui cosiddetti *light-duty* coprendo il 74% dei suddetti;
- Gli autobus sono state le prime autovetture sulle quali si è introdotta la tecnologia ad idrogeno, ciononostante rappresentano solo il 16% della totale flotta di FCEV in circolazione



- Nel giugno 2021 erano in circolazione a livello globale più di 40.000 FCEV;
- Dal 2017 al 2020 le scorte sono cresciute del 70% e nel 2020 si è verificato un calo delle immatricolazioni a causa del Covid-19, con una capacità di produzione raddoppiata, ma un calo dell'implementazione di FCEV del 20% in meno rispetto al 2019.
- Osservando l'approccio dei vari stati alla tecnologia si nota che:
 - La Korea ha preso il comando con più di 10000 auto e più di 50 autobus;
 - Gli Stati Uniti hanno la seconda flotta più grande con 9200 FCEV, soprattutto in California;
 - Al terzo posto si trova la Cina che si è concentrata su camion e autobus;
 - Il Giappone arriva a 4100 auto e 100 autobus a celle a combustibile;
 - In Europa circolavano 2600 FCEV dei quali il 90% sono veicoli leggeri e circa 130 sono autobus.
- Per quanto riguarda le stazioni di servizio attualmente ne sono presenti 381 in tutto il mondo.



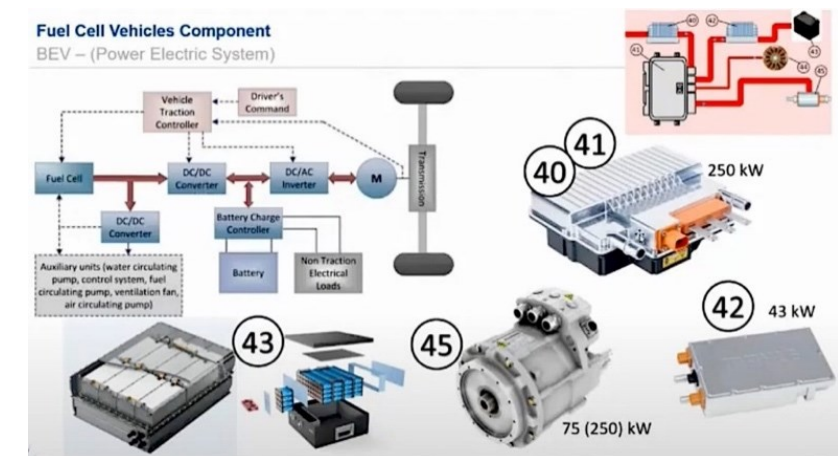
- Un veicolo ad idrogeno non utilizza un MCI, ma è sostanzialmente un veicolo elettrico;
- Attualmente le autonomie sono di circa 500-700km con tempi di rifornimento minori di 5min.;



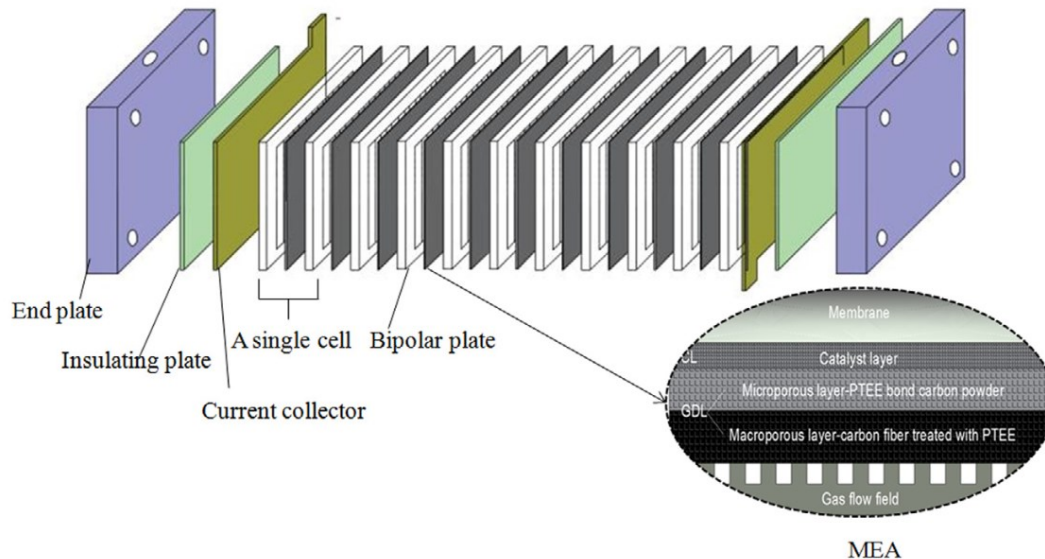
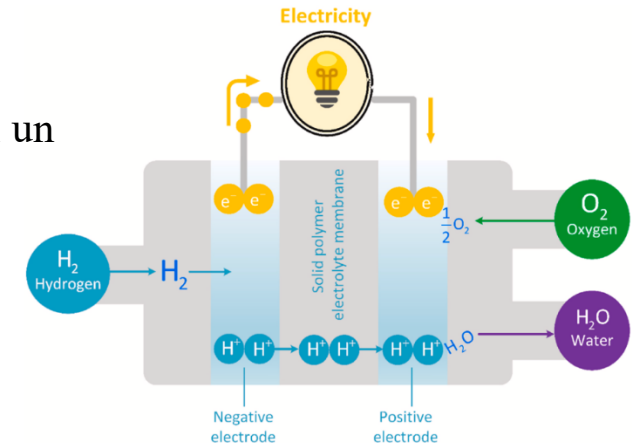
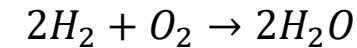
- BEV → motore elettrico; inverter, batteria; controllore di carica e convertitore DC/DC

- Si possono distinguere 3 zone:

- ZONA DI ALTA PRESSIONE → Bombole; presa di carica; filtri e regolatore di pressione
- FUEL CELL ENGINE → regolatore di bassa pressione; valvola di intercettazione; *mettering system*, FCCU; ventilatore (*Fan*)



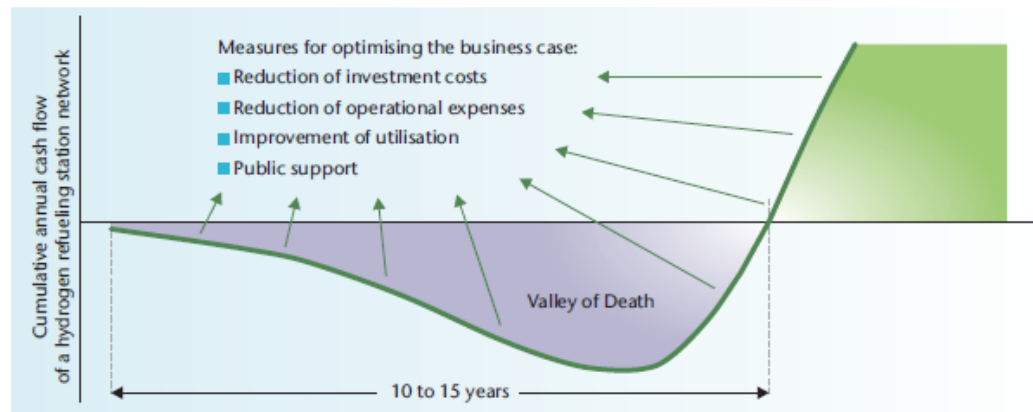
- Il componente chiave di queste autovetture è la cella a combustibile;
- Una qualsiasi cella si compone di un anodo (ossidazione idrogeno), di un elettrolita (mezzo) e di un catodo (riduzione ossigeno);
- La reazione di ossidoriduzione complessiva risulta dunque:
- Una cella può produrre una tensione fino a 0.9V



- Le celle elette per l'autotrazione sono le PEMFC composte da:
 - Piastre terminali;
 - Piastre isolanti;
 - Collettori elettrici;
 - Piastre bipolari
 - Gruppi di elettrodi a membrana (MEAs)
 - PEM;
 - GDL;
 - CL;

- Sono state sviluppate tre diverse tecnologie di MEA per mitigarne il contenuto di platino e quindi ridurre il costo mantenendo una bassa resistenza elettrica, tra questi gli elettrodi più convenienti risultano i MEA orientati (7-15 \$/kW e 0,147mg/cm² di platino);
- E' necessario l'utilizzo di una batteria per scaldare lo stack in caso di avviamento a freddo e prevenire il congelamento dell'acqua;

- Le stazioni di rifornimento possono essere esclusivamente per idrogeno oppure essere *multi-fuel*,
- Le caratteristiche progettuali di una stazione dipendono da: domanda giornaliera di idrogeno, modalità di accumulo, tecnologia di stoccaggio a bordo;
- Gli elementi di cui si compone un'HFS sono:
 - Compressore;
 - Riserva di idrogeno;
 - Unità di refrigerazione (all'erogazione, l' H_2 espande e si scalda danneggiando i serbatoi a bordo);
 - Distributori
- Le capacità delle attuali stazioni sono di circa 50 kg/giorno (utili nelle fasi iniziali), ma in condizioni di mercato maturo dovranno essere di almeno 500 kg/giorno, con una riduzione del 75% del prezzo dell'idrogeno;

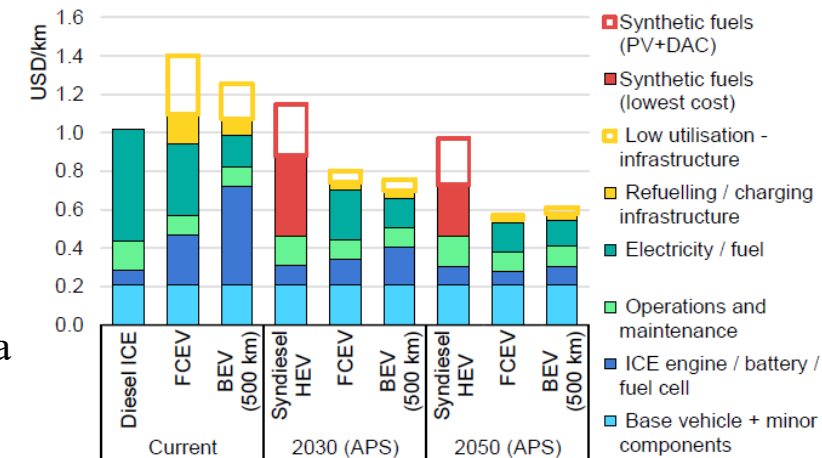


- Rischi finanziari dovuti all'elevato investimento di capitale, dai costi operativi e il sottoutilizzo durante la fase di sviluppo di FCEV;
- In Italia esiste una HFS a Bolzano, questa stazione vende idrogeno verde a circa 13 €/kg (con 80 € si riescono a percorrere circa 500km).

- Nel 2019 l'*Hydrogen Energy Ministerial* ha pubblicato il «*Global Action Agenda*» mirando a oltre 10 milioni di sistemi alimentati a idrogeno entro il 2030;
- In Italia la base programmatica e politica del sistema energetico è data dal SEN che però include l'idrogeno solo in modo marginale; il ruolo dell'idrogeno viene però messo in evidenza nel PNIEC che punta a una riduzione delle emissioni di CO₂ al 2030 del 103,13% rispetto al 1990;
- L'IEA ha pubblicato lo scorso ottobre il WEO che si compone di 3 scenari:
 - *Stated Policies Scenario*;
 - *Announced Pledges Scenario*;
 - *Net-zero by 2050 Scenario*;
- Lo stock di FCEV totale supera al 2030 i 6 milioni nello scenario degli impegni annunciati e i 15 milioni nel Net-Zero;
- Le vendite totali di FCEV nel 2030 raggiungono l'1% nello scenario degli impegni annunciati e il 3% nel Net-Zero;
- Per supportare la diffusione di FCEV nel 2030 sarebbero necessario 27000 HFS nello Scenario degli Impegni Annunciati contro le circa 18000 nel Net-Zero (che però presentano capacità di 50kg/giorno contro i 20kg/giorno dell'altro)
- Per quanto riguarda la navigazione, i porti con strutture per lo stoccaggio di idrogeno rimarranno limitati ancora al 2030.
- Nella rete ferroviaria l'idrogeno costituirà dal 0,7% al 2% andando a sostituire linee costose da elettrificare a causa del ridotto utilizzo;
- Per la tecnologia ad idrogeno sugli aerei, questa non dovrebbe essere disponibile in commercio fino a oltre metà del 2030.

- Il costo delle celle a combustibile dal 2008 ad oggi è sceso di circa il 70% e il contenuto di platino è sceso di circa il 30%;
- Il passaggio da una capacità di produzione da circa 1000 sistemi l'anno attuali a 100000 ridurrebbe i costi di un'ulteriore 70%, gli annunci delle capacità di produzione al 2030 ammontano a 1,3 milioni di unità/anno; con un potenziale installato di 90GW;
- Secondo uno studio del Dipartimento dell'energia degli Stati Uniti un'ulteriore riduzione del costo di idrogeno del 30% potrà derivare dall'aumento delle dimensioni delle HFS fino ai 1000kg/giorno;
- Per un'analisi completa e rendere possibili paragoni con altre tecnologie è necessario analizzare:
 - Il consumo di energia della tecnologia;
 - L'indice di emissione;
 - La fattibilità commerciale (TCO) → costi di acquisto e costi operativi;
- Molti studi associano al 2028 il punto di rottura, ossia con una diminuzione del TCO dei FCEV di oltre il 50%, questi surclasserebbero i veicoli a metano e diesel;
- Il ciclo di vita delle celle a combustibile fa sì che questa incida, oltre che sui costi di acquisto iniziale, anche su quelli operativi. Si prevede che grazie ad un aumento della vita delle celle, nei prossimi 10 anni ci sia un calo di oltre il 60% dei costi di manutenzione;
- Attualmente il TCO per i veicoli pesanti a celle a combustibile è del 10-45% superiore a quelli con MCI.

Current and future total cost of ownership of fuel/powertrain alternatives for heavy-duty trucks.



IEA. All rights reserved.

Notes: APS = Announced Pledges Scenario. ICE = internal combustion engine. FCEV = fuel cell electric vehicle. BEV = battery electric vehicle. HEV = hybrid electric vehicle. PV = photovoltaic (solar electricity for synthetic fuel production). DAC = direct air capture. Techno-economic assumptions available in the Annex.

Source: Based on input from McKinsey & Company and the Hydrogen Council.

Non è possibile ignorare l'emergenza climatica del momento, è essenziale un cambio e una presa di posizione da parte di governi e privati.

Il futuro non è più così futuro ed è in mano a questo tipo di tecnologie, che per quanto possano sembrare lontane e per quanto la loro penetrazione possa sembrare difficile, sono la via verso la decarbonizzazione, perlomeno fino all'arrivo di una tecnologia che cancelli ogni dubbio.