



Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso triennale in Ingegneria Aerospaziale
Relazione per la prova finale

ANALISI E SISTEMI DI ACCUMULO PER L'UTILIZZO DELL' IDROGENO COME COMBUSTIBILE

Lisa Zotta 1192993

Relatrice: Roberta Bertani

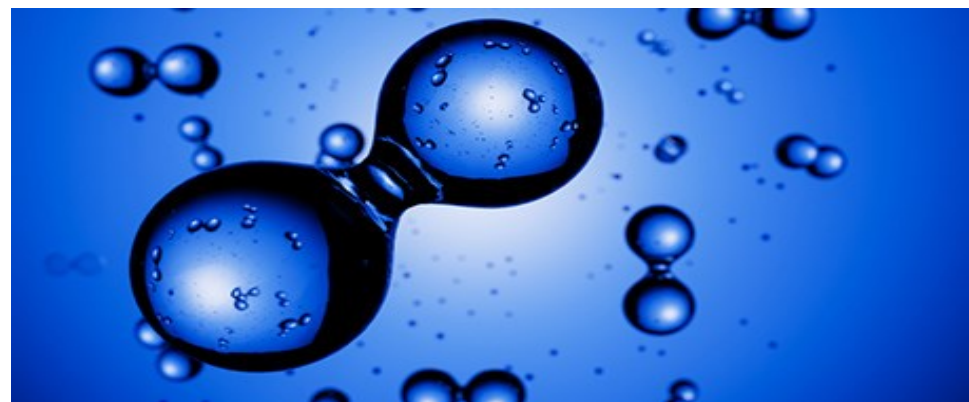
Anno accademico 2021-2022



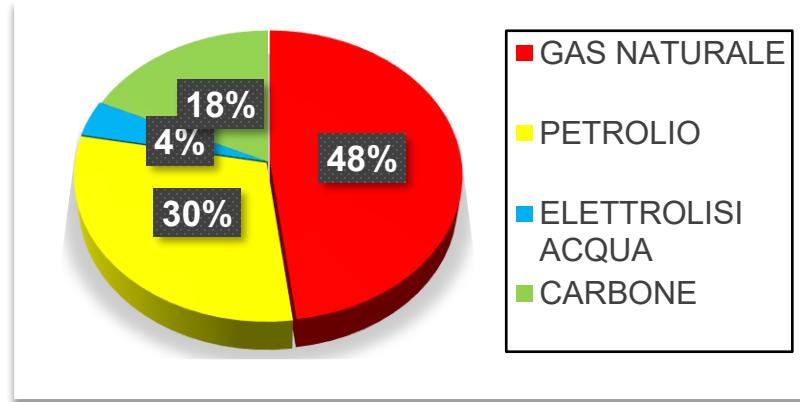
Caratteristiche fisico-chimiche dell'idrogeno a confronto con il metano

CARATTERISTICHE	IDROGENO	METANO
peso molecolare	2,016 g/mol	16,043 g/mol
densità come liquido	70,79 kg/m ³	320 kg/m ³
temperatura di fiamma	2318 K	2148 K
temperatura di autoinduzione	858 K	813 K
calore specifico	14,119 J/kgK	2,21 J/kgK
energia di attivazione	0,02 mJ	0,29 mJ

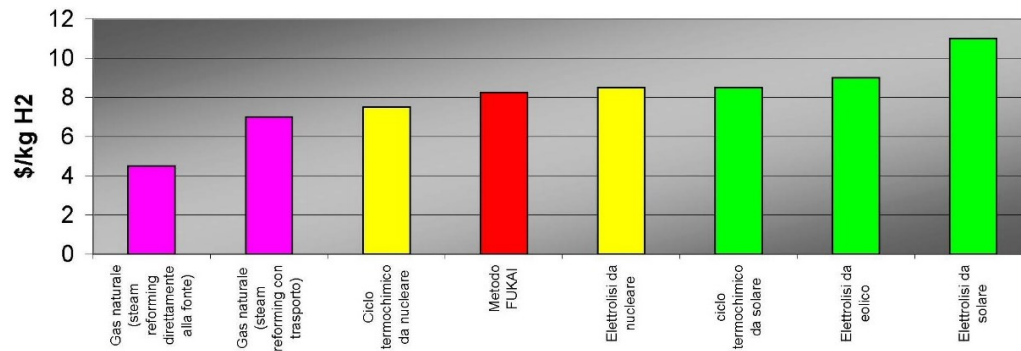
- Diffusione
- Energia di accensione
- Velocità di fiamma
- infiammabilità



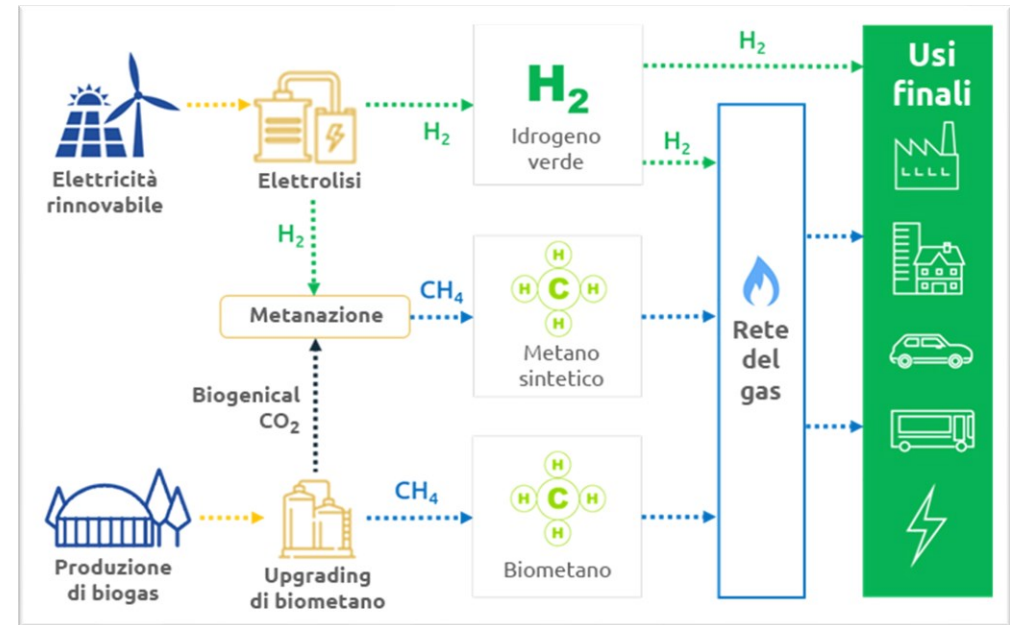
Provenienza totale dell'idrogeno riferita all'anno 2003

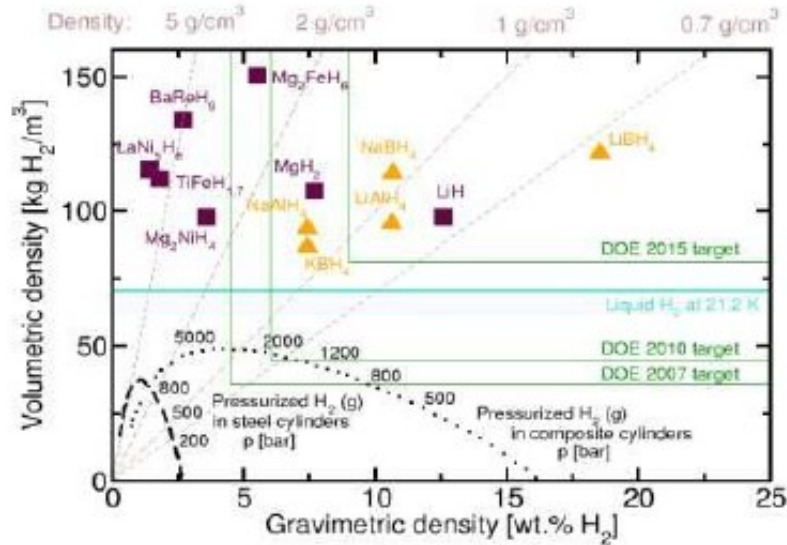


Costo in base al metodo di produzione



Schematizzazione sulla produzione dell'idrogeno





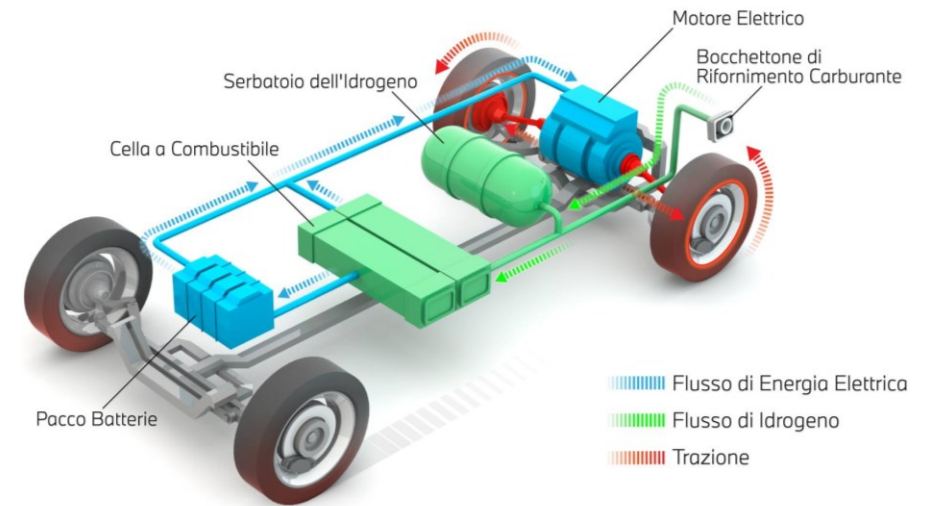
- Assorbire velocemente l'idrogeno durante il rifornimento
- Fornire idrogeno al combustibile in modo veloce

TEMPERATURA

- Corrispondenza tra temperatura operativa delle fuel cells
- $-40^{\circ}\text{C} < T < 85^{\circ}\text{C}$

PRESSIONE

- Continuità nello spostamento dell'idrogeno dall'accumulatore al sistema di generazione
- Regolazione della pressione di iniezione



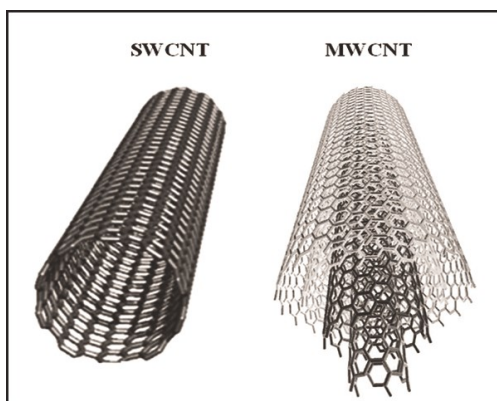
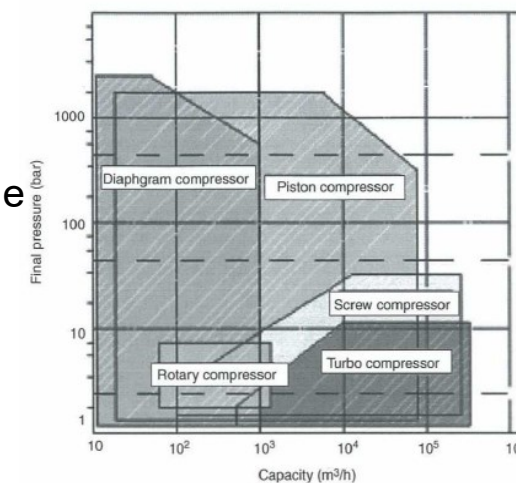


Idrogeno liquido

- Sfrutta il fatto che a $-259,2^{\circ}\text{C}$ è liquido
- Per la liquefazioni si utilizzano: compressori, motori ad espansione e valvole a farfalla

Idrogeno compresso

- Molto voluminoso 1 kg occupa 11 m^3 (3 volte metano, 10 benzina)
- Processo di compressione diversificato in base alla pressione finale
- Contenitori in acciaio comporta aumento del peso



Idruri metallici

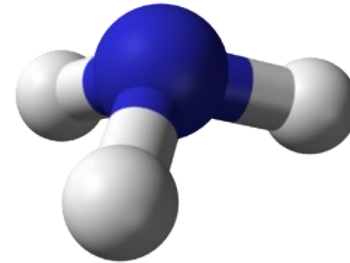
- Reazione reversibile che avviene in due fasi

Base di Carbonio

- Carbonio crea legami covalenti con altri 3,5,7 atomi di C in modo da creare facce pentagonali e eptagonali
- *Single Wall Carbon Nanotube* con diametro tra i 1-1,5 nm
- Utilizzo di scariche d'arco, deposizione chimica dalla fase di vapore

Ammoniaca e Ammine

- Reazione esotermica utilizzando come catalizzatore una base di ferro
- In quantità >5000 ppm risulta tossica
- Richiede processo di decomposizione



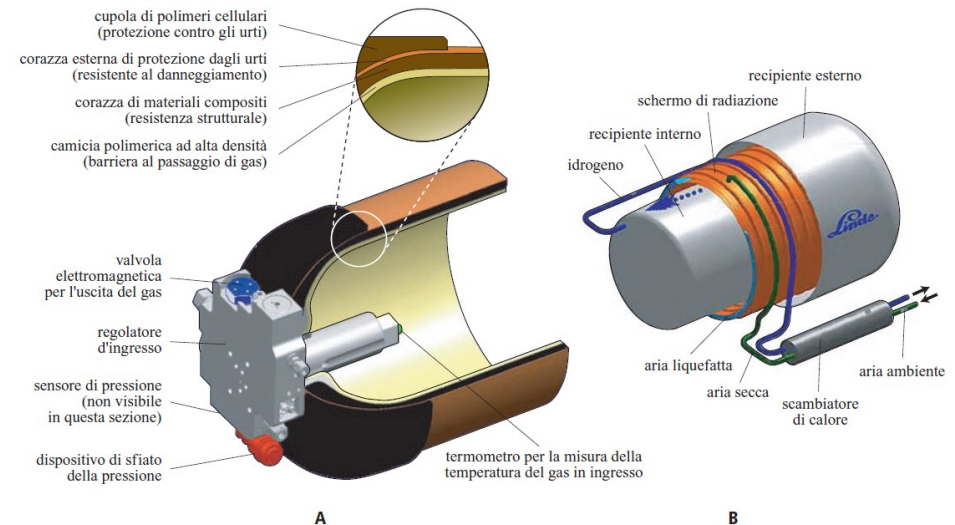
Metodi innovativi

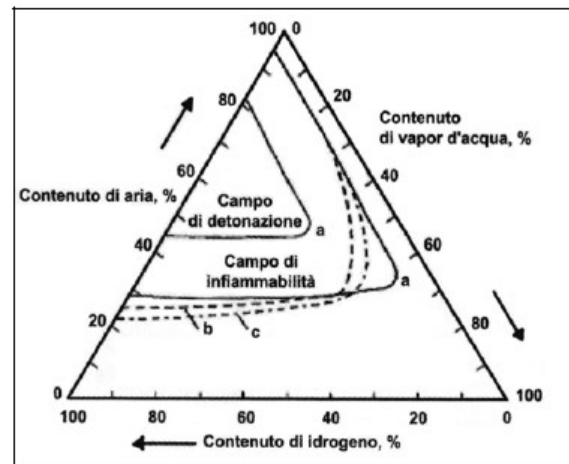
- Obiettivi per unità di massa imposti dal Department of Energy DOE
- Sviluppo nuove bombole

ANNO	ENERGIA PER UNITÀ DI MASSA (kWh/kg)	FRAZIONE DEL SERBATOIO (% peso)	DENSITÀ DI ENERGIA (kWh/l)
2005	1,5	4,5	1,2
2010	2,0	6,0	1,5
2015	3,0	9,0	2,7

Idruri organici

- Grandi capienze rispetto volume e peso
- Reversibilità
- Alta sicurezza che implica costi
- Richiede meno portata di energia se comparato all'idrogeno gassoso





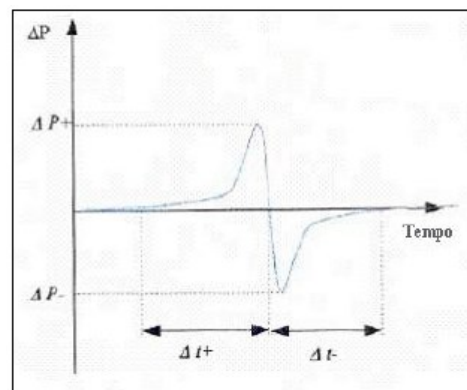
Limiti di infiammabilità e detonazione in tre diverse condizioni:

- a) 42 °C a 100 kPa
- b) 167 °C a 100 kPa
- c) 167 °C a 800 kPa

Evoluzione in funzione del tempo
dell'onda di sovrappressione per

DEFLAGRAZIONE

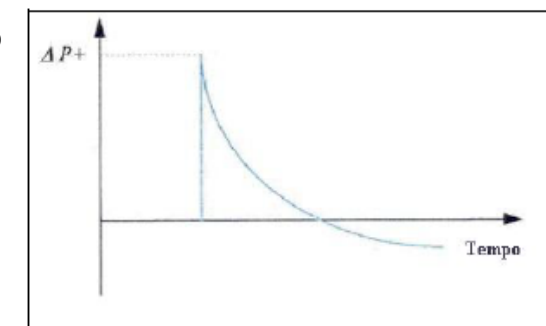
Concentrazioni dal 4-18% e dal
59-75%



Evoluzione in funzione del tempo
dell'onda di sovrappressione per

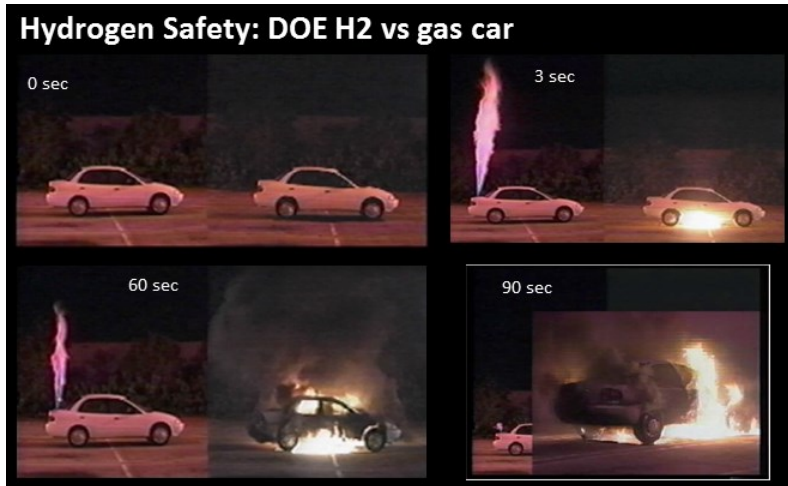
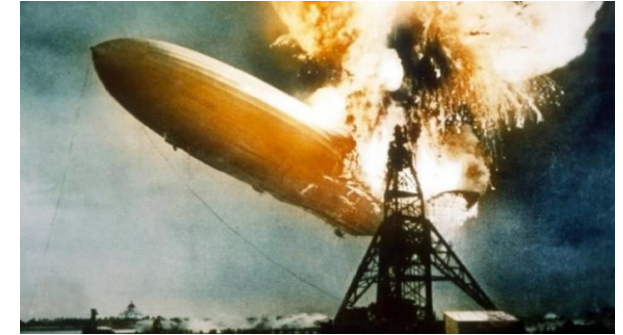
DETONAZIONE

Concentrazioni tra il 18-59%



Il disastro di **Hindenburg** e dello **Space shuttle Challenger** vengono spesso citati quando si parla di idrogeno come combustibile.

Ma l'idrogeno è davvero così pericoloso?



Amory B. Lovins del *Rocky Mountain Institute*:

- Infiammabile in un più ampio range di condizioni
- 585 °C a pressione ambiente prende fuoco senza inneschi
- Alta velocità di propagazione della fiamma

Hyundai Nexo, la prima auto ad idrogeno testata da IIHS premio **Safety Pick** all Insurance Institute for Highway Safety



	IDROGENO	ELETTRICO
€/Km	~0,13 cent	~4,5 cent (Supercharger)
Tempi di rifornimento	Rifornimento a H 5/6 volte più veloce rispetto elettrico	



Elettrolitica: Considerando un erogato medio annuo 1,3 milioni di litri (fonte *Assopetroli*) che corrisponde a circa 300 l/gg assumendo un apertura di un ipotetica stazione di rifornimento di 12 h richiede un **prelievo medio di 4 MW** costanti della rete elettrica da ciascuna stazione media del futuro.



Renderebbe necessario un **irrobustimento della rete elettrica** e qui una delle obiezioni che si potrebbe fare sarebbe quello di puntare direttamente a un maggior investimento sulle colonnine della ricarica fast per le auto elettriche.

Considerazioni energetiche simili nel caso di **Steam Reforming** considerando però l'impatto anche di altri fattori come:

- Rumore
- Temperatura
- Oneri di manutenzione
- Allacciamento al gas metano che genererebbero seppur non in quantità molto elevata emissioni di CO_2 per la liberazione dell'atomo di Carbonio dovuto alla scissione della molecola di Metano CH_4

15 autobus Mercedes-Benz Citaro Fuel Cells Hybrid

- Motori elettrici integrati nei mozzi delle ruote
- Autonomia di circa 250 km
- Fuel cells producendo solo vapore acqueo e recupero di energia in fase di frenata che viene immagazzinata nella batteria ad alto voltaggio (riduzione del consumo del 20% Stop and Go)



Nuovo progetto per la tratta Monaco-Modena lungo 650 km

- Stoccaggio dell'H in ambiente chiuso o aperto in base a come è fatto richiede diversi tipi di sicurezza.
- Il trasporto su strada è limitato a 200 bar, ma con i nuovi recipienti costituiti da materiali compositi si può arrivare a 500 bar e non è escluso che con l'ottimizzazione si possano raggiungere risultati migliori
- La distanza degli impianti da abitazioni è fissata a 300 m

Rete che si ramifica su tutto il territorio nazionale per 32000 km



Sperimentazioni

- *Aprile 2019 Contrusi Terme (Salerno)* primo mix di H al 5% in volume di gas naturale
- *Dicembre 2019* replica con mix aumentato al 10%
- *2020* Snam ha testato la prima turbina ibrida progettata da Baker Hughes per il trasporto di gas naturale installata successivamente dall'omonima azienda ad *Istrana (Treviso)*

Previsioni

- Immissioni in rete di 7 miliardi di m^3 , equivalente ai consumi annui di 3 milioni di famiglie con previsione di ridurre le emissioni di CO_2 attorno alle 5 milioni di tonnellate
- Compatibilità con le infrastrutture miscelando idrogeno con gas naturale, attualmente il 70% dei tubi risulta compatibile.



- [1] Sistemi di accumulo dell'idrogeno da <http://hstaperidrogeno.blogspot.com/2010/02/sistemi-di-accumulo-dellidrogeno.html>
- [2] Mario Conte conferenza Idrocomb Roma, 19 giugno 2003 ENEA Grande Progetto Idrogeno e celle a combustibile
- [3] Convegno nazionale valutazione e gestione del rischio negli insediamenti civili ed industriali stoccaggio dell'idrogeno ing. Vincenzo Giordano Cuneo
- [4] Bechis S. 2003 Reti per la distribuzione di idrogeno e lo stoccaggio dell'idrogeno gassoso, in: L'idrogeno è sicuro. Atti del convegno Idrogeno, il nostro futuro, Milano (Italia), 26-27 Novembre.
- [5] Celle a combustibile Stato di sviluppo e prospettive della tecnologia Marina Ronchetti ENEA Ente per le Nuove tecnologie e l'Energia e l'Ambiente gennaio 2008
- [6] Tecnologie e normativa per impianti e veicoli ad idrogeno A. Bassi
- [7] Enzo Rossi, 2006, Andare ad Idrogeno, MEDIA 3000, Italia
- [8] Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Idrogeno energia del futuro, 2000
- [9] Energy for Sustainable Future, (energy-21.blogspot.com), 6 Agosto 2012
- [10] R. A. Michelin – A. Munari, "Fondamenti di Chimica per Ingegneria", CEDAM Padova 1996
- [11] Snam https://www.snam.it/it/transizione_energetica/idrogeno/snam_e_idrogeno/