



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

Trasporti ad idrogeno per una migliore qualità dell'aria

– La transizione energetica in Pianura
Padana: una infrastruttura condivisa per
l'idrogeno

Spilamberto 29/11/2018

La tecnologia delle Fuel Cell.

Stato dell'arte

Marcello Romagnoli

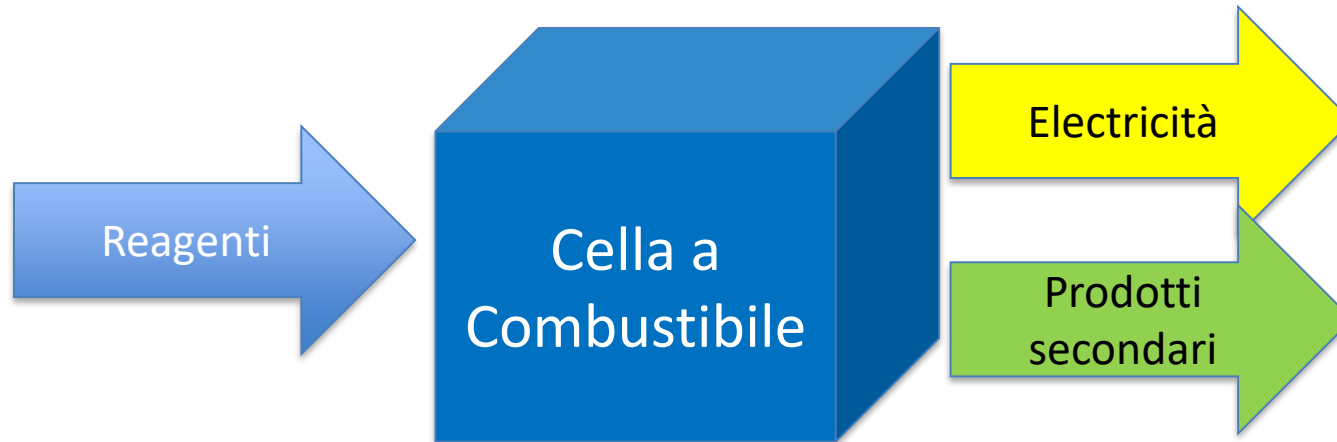
Coord. Laboratorio Interdipartimentale Fuel Cells

<http://www.lifc.unimore.it/site/home.html>

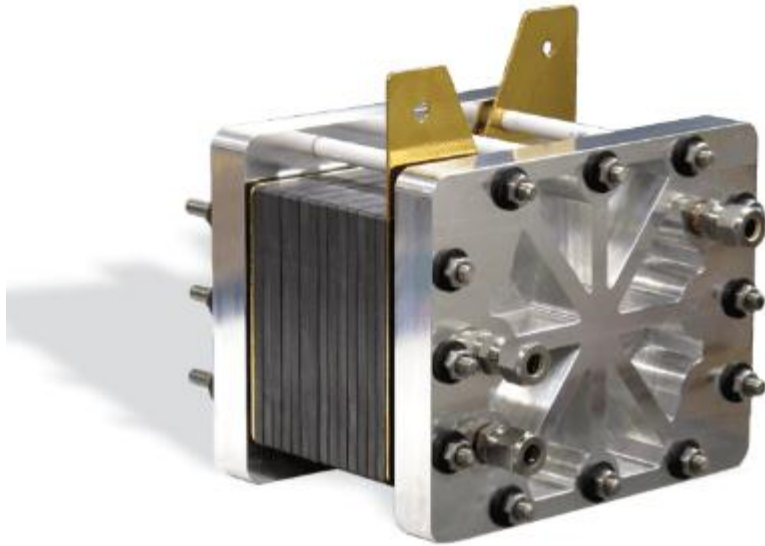
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia - Dip. di Ingegneria "Enzo Ferrari"

Cos'è una cella a combustibile (Fuel cell)?

E' un reattore chimico che può **produrre anche continuamente energia elettrica** fino a quando viene rifornito di carburante e comburente.



Cos'è una cella a combustibile (Fuel cell)?



<https://www.fuelcellstore.com/image/data/Products/Testing/fuel-cell-membrane-test-stack.gif>

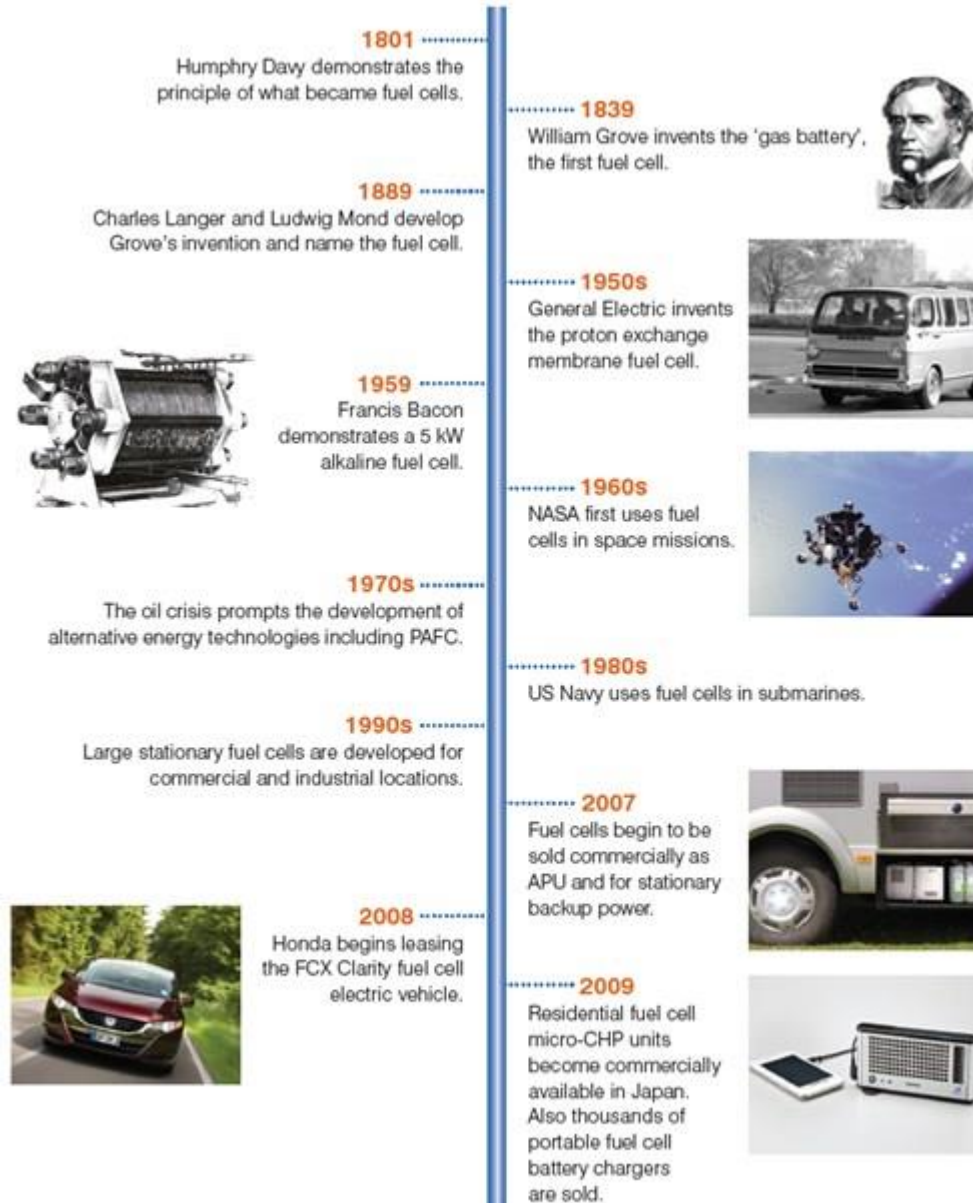
≈



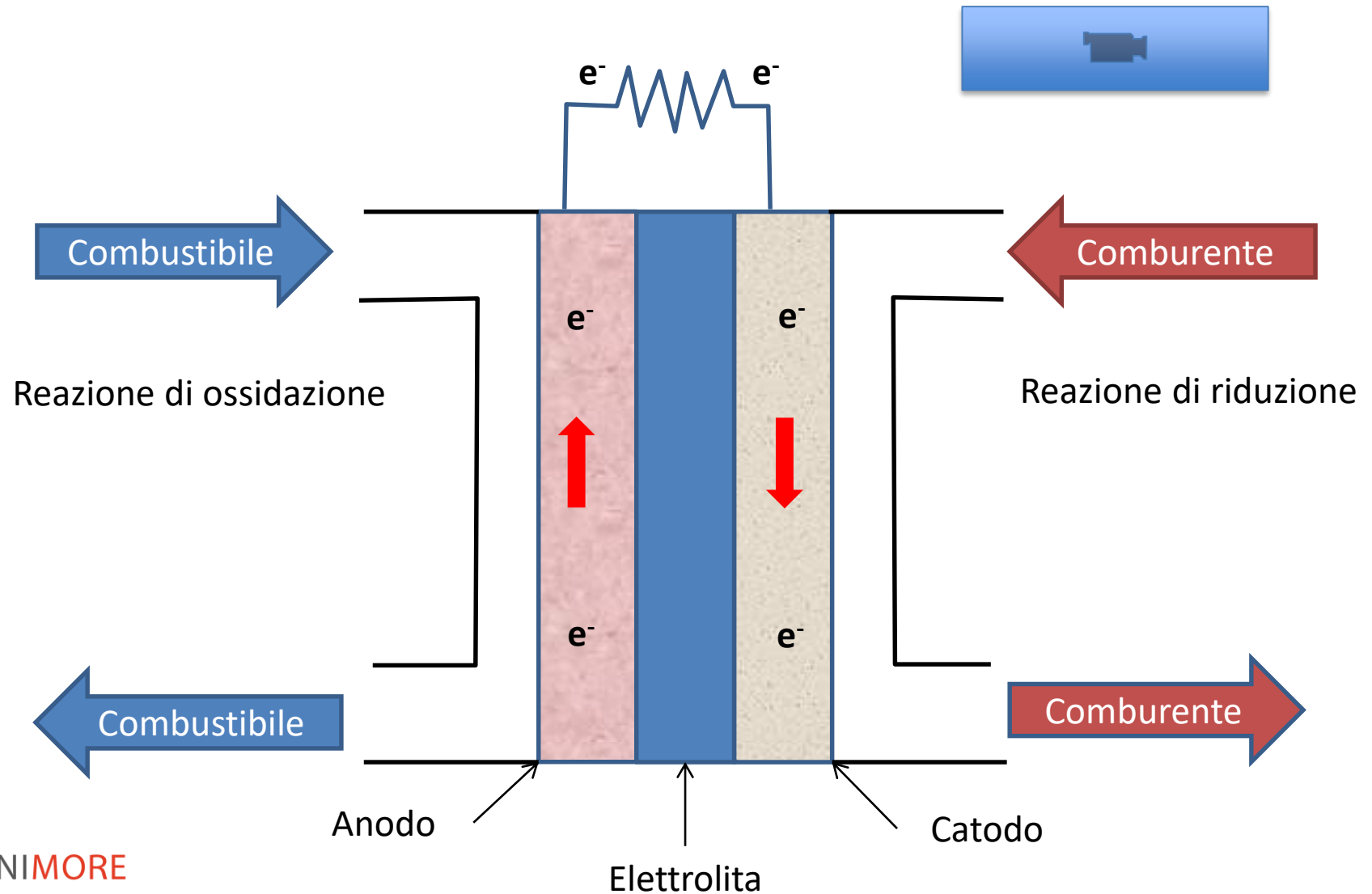
<http://riparazioniarcade.altervista.org/blog/wp-content/uploads/2014/09/pila.jpg>

Non si “scarica” fino a che viene rifornita dei reagenti necessari

Una storia che parte da lontano



Come funzionano le celle a combustibile

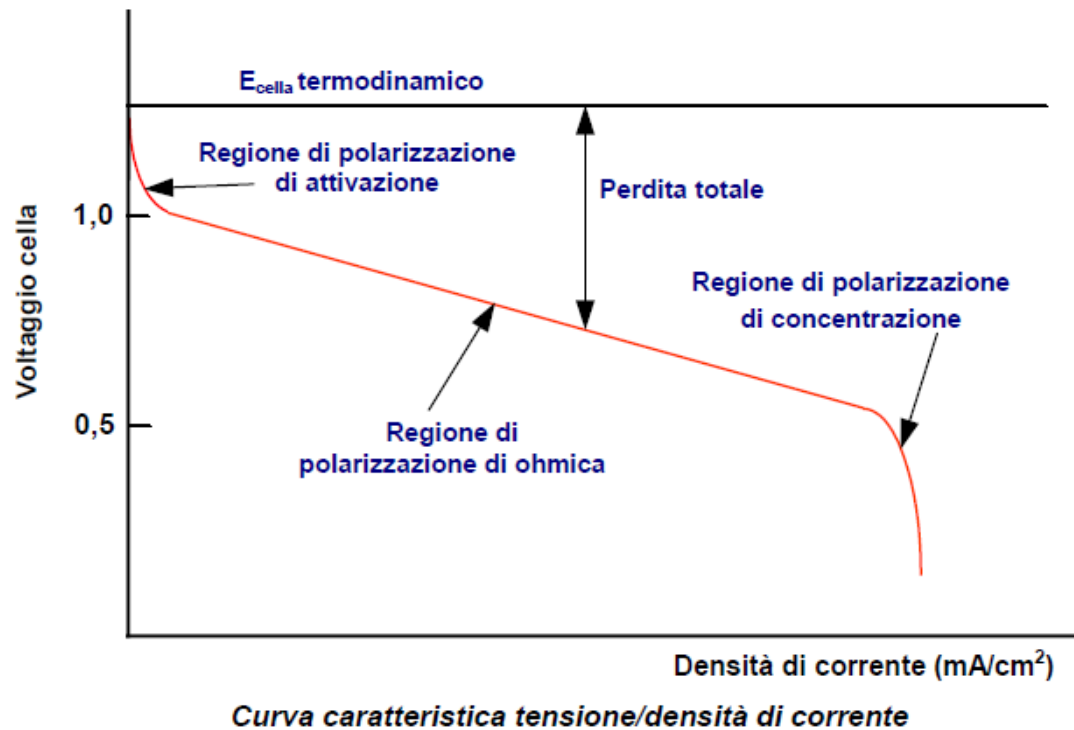


Come funzionano le celle a combustibile



https://www.youtube.com/watch?v=imV_uflzxPY

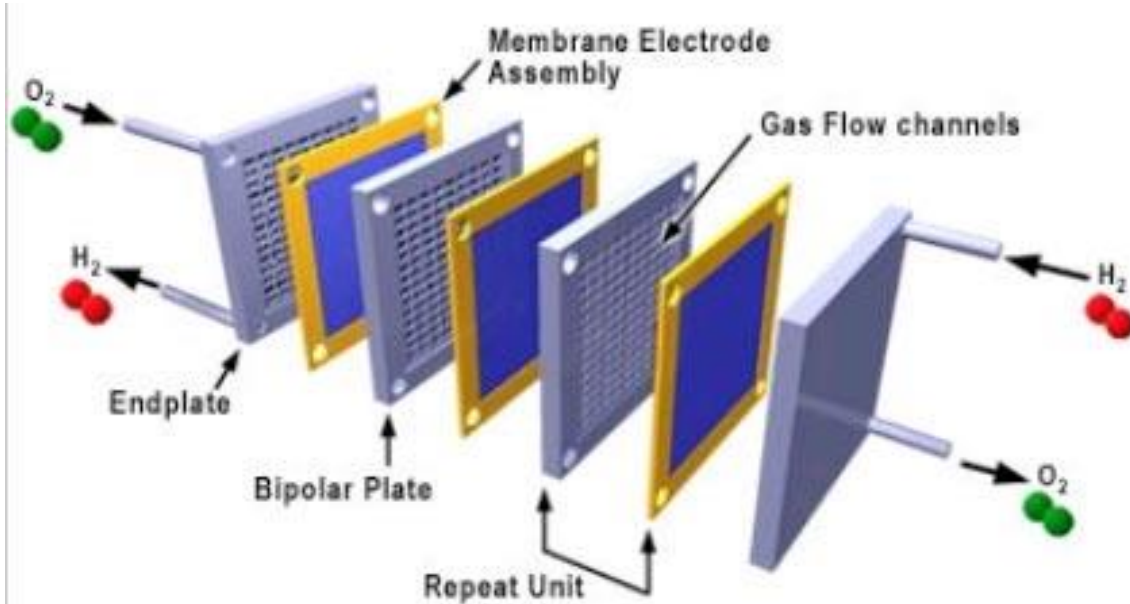
Come funzionano le celle a combustibile



Voltaggio : $\sim 0,6$ V
Potenza 300-900 mW/cm^2

Marina Ronchetti, Agostino Iacobazzi, CELLE A COMBUSTIBILE, Febbraio 2002, ENEA

Dalle celle agli stacks



<https://nanocat-project.eu/IMG/jpg/scema2.jpg>



<https://fuelcellstore.com/image/data/pem-stack.jpg>

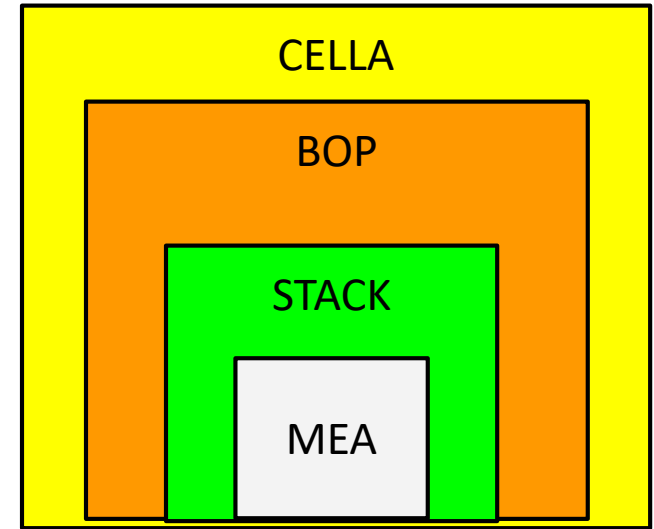
Una singola cella
non fornisce
abbastanza
energia e
voltaggio

Si uniscono più
celle per dare
luogo a uno stack

Sistema completo

Un sistema è composto generalmente da qualche decina di celle a formare quello che viene chiamato “stack”.

A sua volta lo stack prende posto nel BoP (Balance of Plant) che costituisce il completamento del sistema “Cella a combustibile”.



Quante celle a combustibile

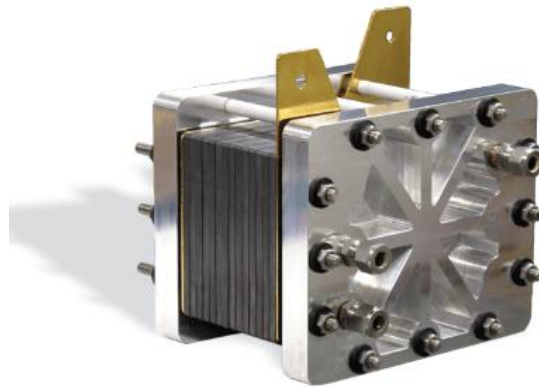
H₂

Metano

Alcooli

Idruri

Ammoniaca

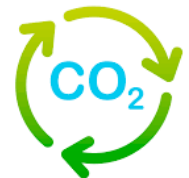
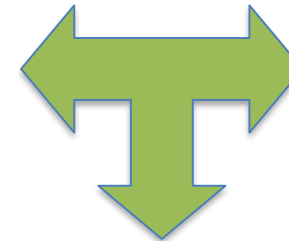


<https://www.fuelcellstore.com/image/data/Products/Testing/fuel-cell-membrane-test-stack.gif>

Sottoprodotti



Di Dori - Opera propria, CC BY-SA 3.0 us,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4178850>



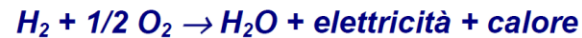
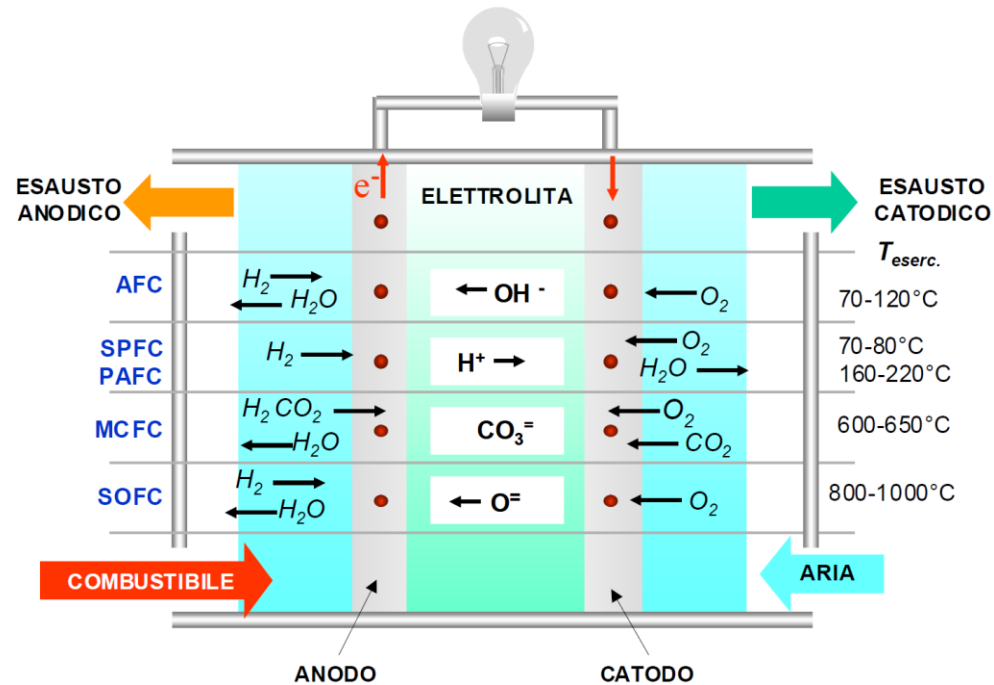
<http://www.iciq.org/wp-content/uploads/2014/05/co2-800px-notxt-nobg-768x768.png>

Quante celle a combustibile

Fuel Cell Type	Common Electrolyte	Operating Temperature	Typical Stack Size	Efficiency	Applications	Advantages	Challenges
Polymer Electrolyte Membrane (PEM)*	Perfluoro sulfonic acid	50-100°C 122-212°F typically 80°C	1 kW-100 kW	60% transportation 35% stationary	- Backup power - Portable power - Distributed generation - Transportation - Specialty vehicles	- Solid electrolyte reduces corrosion & electrolyte management problems - Low temperature - Quick start-up	- Expensive catalysts - Sensitive to fuel impurities - Low temperature waste heat
Alkaline (AFC)	Aqueous solution of potassium hydroxide soaked in a matrix	90-100°C 194-212°F	10-100 kW	60%	- Military - Space	- Cathode reaction faster in alkaline electrolyte, leads to high performance - Low cost components	- Sensitive to CO₂ in fuel and air - Electrolyte management
Phosphoric Acid (PAFC)	Phosphoric acid soaked in a matrix	150-200°C 302-392°F	400 kW 100 kW module	40%	Distributed generation	- Higher temperature enables CHP - Increased tolerance to fuel impurities	- Pt catalyst - Long start up time - Low current and power
Molten Carbonate (MCFC)	Solution of lithium, sodium, and/or potassium carbonates, soaked in a matrix	600-700°C 1112-1292°F	300 kW-3 MW 300 kW module	45-50%	- Electric utility - Distributed generation	- High efficiency - Fuel flexibility - Can use a variety of catalysts - Suitable for CHP	- High temperature corrosion and breakdown of cell components - Long start up time - Low power density
Solid Oxide (SOFC)	Yttria stabilized zirconia	700-1000°C 1202-1832°F	1 kW-2 MW	60%	- Auxiliary power - Electric utility - Distributed generation	- High efficiency - Fuel flexibility - Can use a variety of catalysts - Solid electrolyte - Suitable for CHP & CHHP - Hybrid/GT cycle	- High temperature corrosion and breakdown of cell components - High temperature operation requires long start up time and limits

*Direct Methanol Fuel Cells (DMFC) are a subset of PEM typically used for small portable power applications with a size range of about a subwatt to 250 W and operating at 60-90°C.

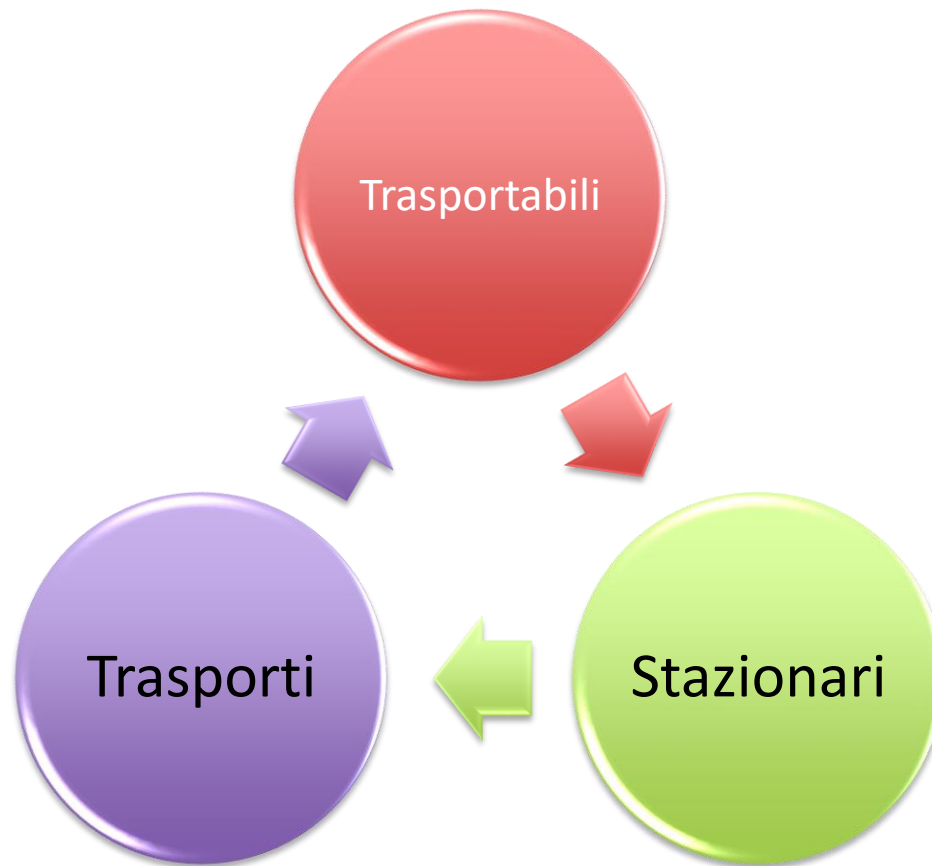
Quante celle a combustibile



Schema di funzionamento dei vari tipi di celle

Marina Ronchetti, Agostino Iacobazzi, CELLE A COMBUSTIBILE, Febbraio 2002, ENEA

Applicazioni



Applicazioni

Trasportabili

Unità che sono incorporate o o servono per ricaricare prodotti che sono progettati per essere spostati
Unità di alimentazione ausiliaria (auxiliary power units - APU)



Sistema di illuminazione



Sistema di ricarica

<http://www.garrygolden.com/wp-content/uploads/2014/04/b-300x161.png>

Applicazioni

Trasporti

Unità che forniscono energia a un propulsore o range extender



https://fuelcellworks.com/content/uploads/20160314_01_02.jpg

UNIMORE



<https://hydrogeneurope.eu/sites/default/files/inline-images/flug.png>



<https://hydrogeneurope.eu/sites/default/files/inline-images/Alstom.png>



<https://hydrogeneurope.eu/sites/default/files/inline-images/Mirai.png>



https://www.wired.com/images_blogs/photos/uncategorized/2007/10/16/fuel_cell_bike.jpg



<https://www.rampini.it/upload/copertina-prodotti-small-102.jpg>



<https://www.youtube.com/watch?v=A8aDmISA9Xg>



<https://media.treehugger.com/assets/images/2011/10/Blau.jpg>

Applicazioni

Stazionario

Unità che forniscono energia elettrica e calore, ma che non sono disegnate per essere spostate.



<https://www.enapter.com/>



ReliOn fuel cell powering cell site

https://www.altenergymag.com/images/upload/images/ReliOn_Hagerman_sm.jpg

UNIMORE

Spilamberto 29/11/2018



Bloom fuel cells at Apple Maiden, NC data center

<https://gigaom.com/wp-content/uploads/sites/1/2010/06/cha-energy-server4-1500x1000.jpg>

Quali vantaggi?

- **Basse o nulle emissioni** di gas con effetto serra
- Nessuna emissione di **gas tossici** (NOx-SOx)
- **Alta efficienza** energetica
- **Bassi tempi ricarica** (paragonabili al rifornimento di un' auto con combustibile tradizionale)
- **Rapida risposta** alla richiesta di carichi*
- **Riduzione dalla dipendenza** dai combustibili fossili
- Possono essere usate in **cogenerazione**

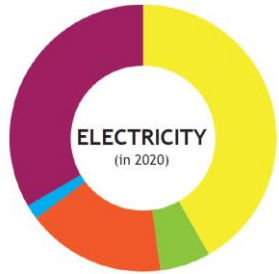


https://pixabay.com/p-1411313/?no_redirect

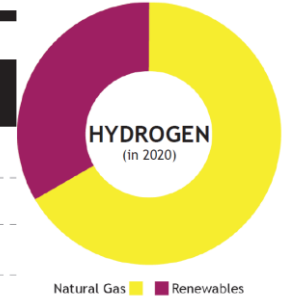
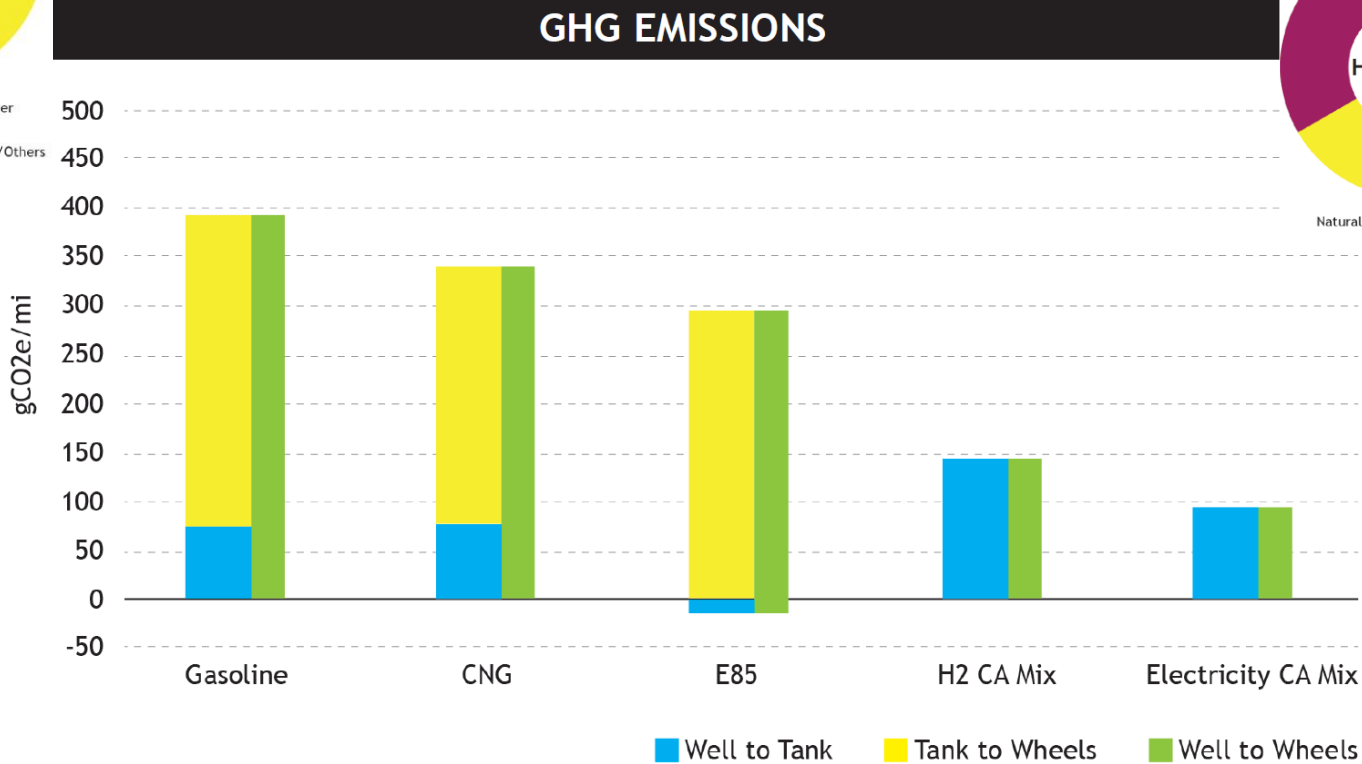


https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/future-transport/hydrogen/_jcr_content/par/textimage/image.img.800.jpeg/1493387549839/man-filling-petrol-inside-car.jpeg

Emissioni comparate



Residual Oil Nuclear Power
Natural Gas Biomass
Coal Renewables/Others



Gasoline = Benzina CNG = Metano compresso E85 = Miscela etanolo-Benzina
H2 CA Mix = Produzione H2 California Elettricità CA Mix = Produzione elett. Calif.

Quali vantaggi

- **Basse o nulle emissioni** di gas con effetto serra
- Nessuna emissione di **gas tossici** (NOx-SOx)
- **Alta efficienza** energetica
- **Bassi tempi ricarica** (paragonabili al rifornimento di un' auto con combustibile tradizionale)
- **Rapida risposta** alla richiesta di carichi*
- **Riduzione dalla dipendenza** dai combustibili fossili
- Possono essere usate in **cogenerazione**

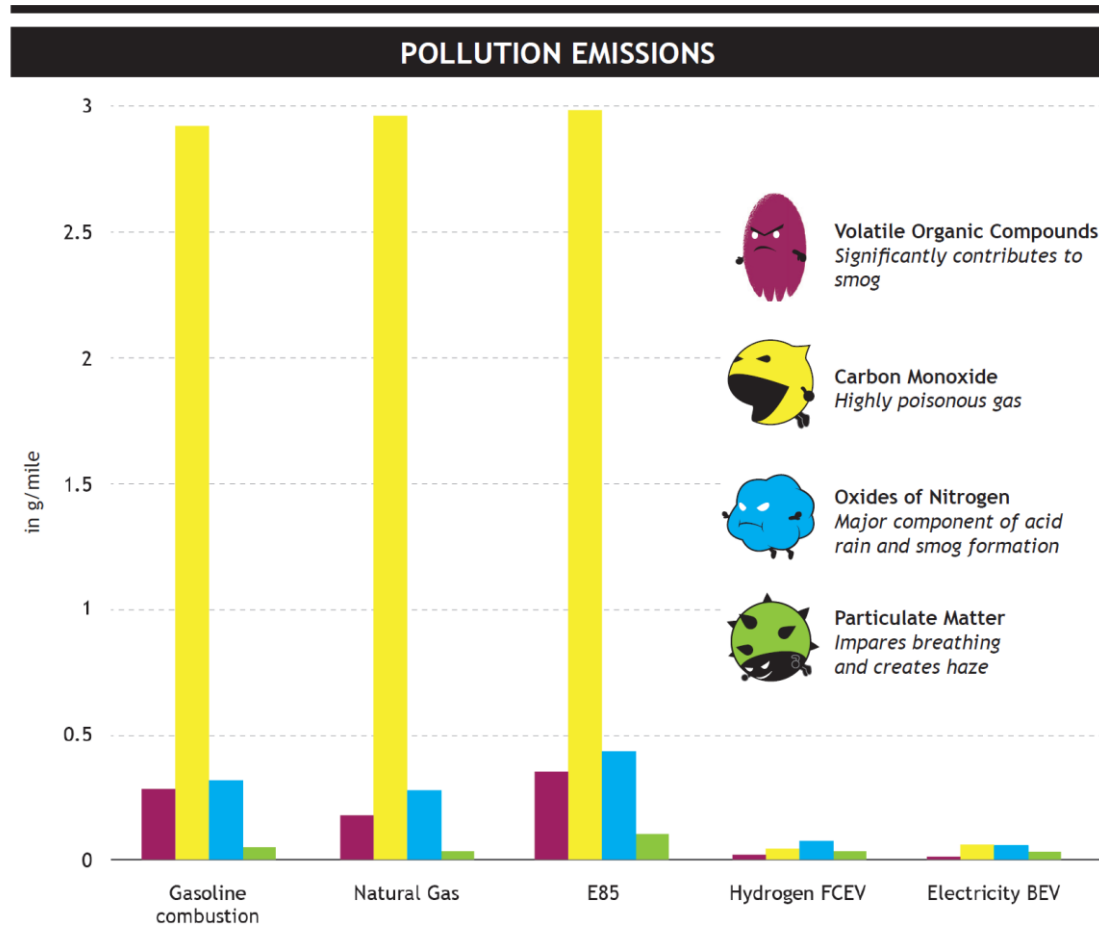


https://pixabay.com/p-1411313/?no_redirect



https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/future-transport/hydrogen/_jcr_content/par/textimage/image.img.800.jpeg/1493387549839/man-filling-petrol-inside-car.jpeg

Emissioni comparate



Gasoline = Benzina Natural gas = Gas naturale E85 = Miscela etanolo-Benzina
Hydrogen FCEV= Auto FC Elettricità BEV = Auto elettrica

Quali vantaggi

- **Basse o nulle emissioni** di gas con effetto serra
- Nessuna emissione di **gas tossici** (NOx-SOx)
- **Alta efficienza** energetica
- **Bassi tempi ricarica** (paragonabili al rifornimento di un' auto con combustibile tradizionale)
- **Rapida risposta** alla richiesta di carichi*
- **Riduzione dalla dipendenza** dai combustibili fossile
- Possono essere usate in **cogenerazione**

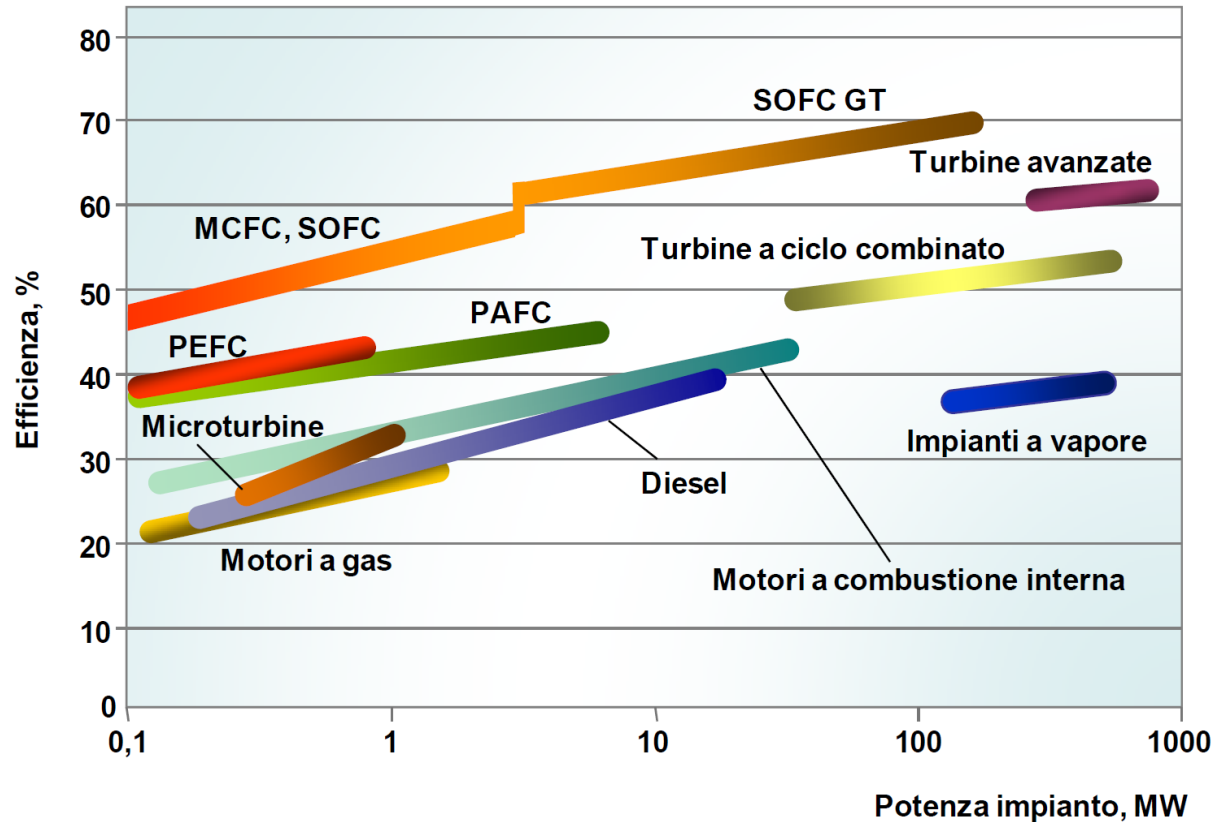


https://pixabay.com/p-1411313/?no_redirect



https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/future-transport/hydrogen/_jcr_content/par/textimage/image.img.800.jpeg/1493387549839/man-filling-petrol-inside-car.jpeg

Quali vantaggi



Confronto delle efficienze di differenti impianti (celle a combustibile e generatori convenzionali) in relazione alla potenza

Marina Ronchetti, Celle a Combustibile - Stato di sviluppo e prospettive della tecnologia, ENEA, 2008

Quali vantaggi

- **Basse o nulle emissioni** di gas con effetto serra
- Nessuna emissione di **gas tossici** (NOx-SOx)
- **Alta efficienza** energetica
- **Bassi tempi ricarica** (paragonabili al rifornimento di un' auto con combustibile tradizionale)
- **Rapida risposta** alla richiesta di carichi*
- **Riduzione dalla dipendenza** dai combustibili fossili
- Possono essere usate in **cogenerazione**



https://pixabay.com/p-1411313/?no_redirect



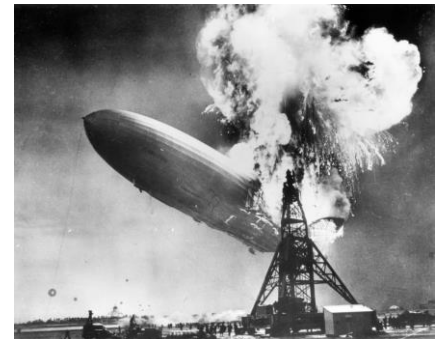
https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/future-transport/hydrogen/_jcr_content/par/textimage/image.img.800.jpeg/1493387549839/man-filling-petrol-inside-car.jpeg

Quali punti su cui occorre ancora lavorare

- **Alto costo** delle celle a combustibile
- **Costi ambientali ed economici** della produzione dell'Idrogeno
- **Mancanza di infrastrutture** diffuse nel territorio
- Insufficiente conoscenza della tecnologia (**paura dell'Idrogeno**)
- La cella richiede un complesso sistema al suo servizio (**Balance Of Plan**)



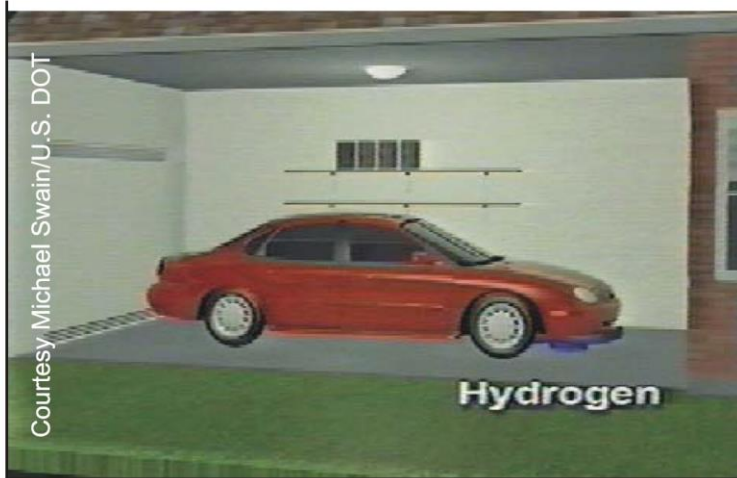
https://cleanenergypartnership.de/fileadmin/Media/Bilder/Alben/3_CEP%20Tankstellen/DSC_8362.jpg



Sam Shere/Getty Images

Quali punti su cui occorre ancora lavorare

- Insufficiente conoscenza della tecnologia (paura dell'Idrogeno)



Liquid Hydrogen Leak

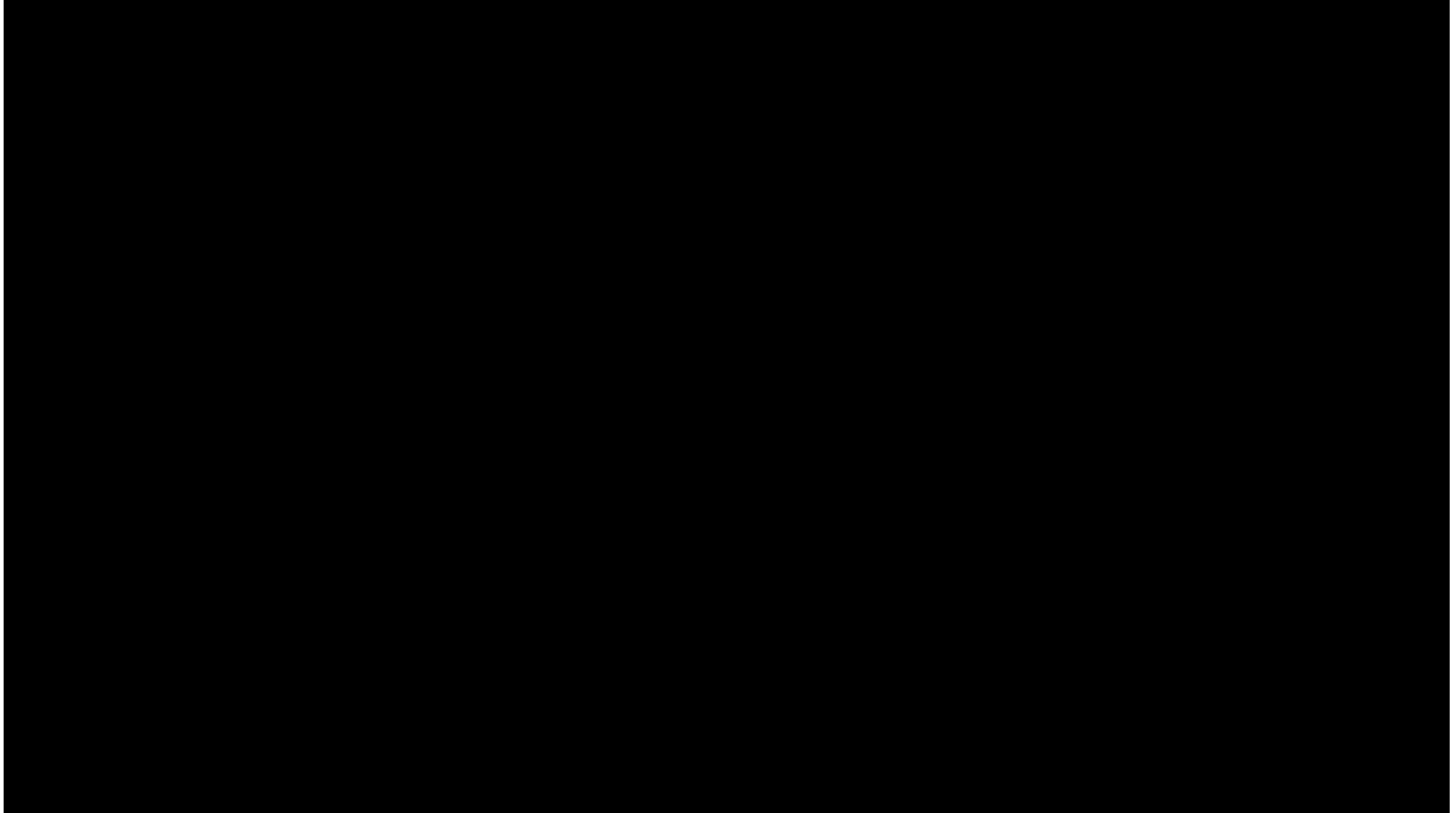


Liquid Propane Leak



Gasoline Leak

Quali punti su cui occorre ancora lavorare



Conclusioni

- Le celle a combustibile sono un valido sistema per:
 - **Ridurre l'inquinamento ambientale** se il combustibile è ottenuto da fonti pulite, meglio se rinnovabili
 - **Ridurre la dipendenza dall'estero** per quanto riguarda l'energia
 - **Produrre posti di lavoro** qualificati
- Occorrono miglioramenti per quanto riguarda la **produzione e la distribuzione dell'idrogeno**
- Occorre una **maggiore informazione** sulla pericolosità dell'idrogeno
- Occorre un **intervento dello stato** per lanciare la tecnologia



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

**Trasporti ad idrogeno per
una migliore qualità dell'aria**

– La transizione energetica in Pianura
Padana: una infrastruttura condivisa per
l'idrogeno

La tecnologia delle Fuel Cell.

Stato dell'arte

Marcello Romagnoli

Coord. Laboratorio Interdipartimentale Fuel Cells

Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia - Dip. di Ingegneria "Enzo Ferrari"

What Is a Fuel Cell?

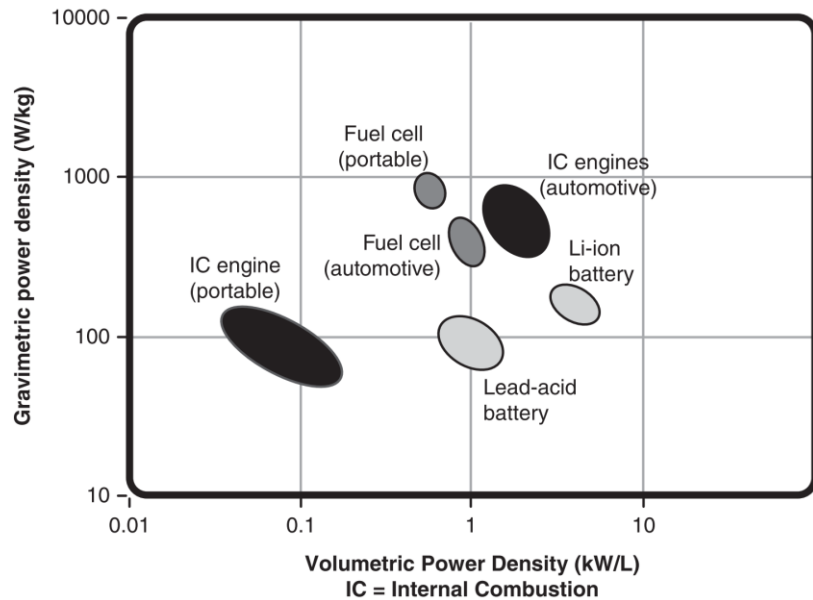


Figure 1.7. Power density comparison of selected technologies (approximate ranges).

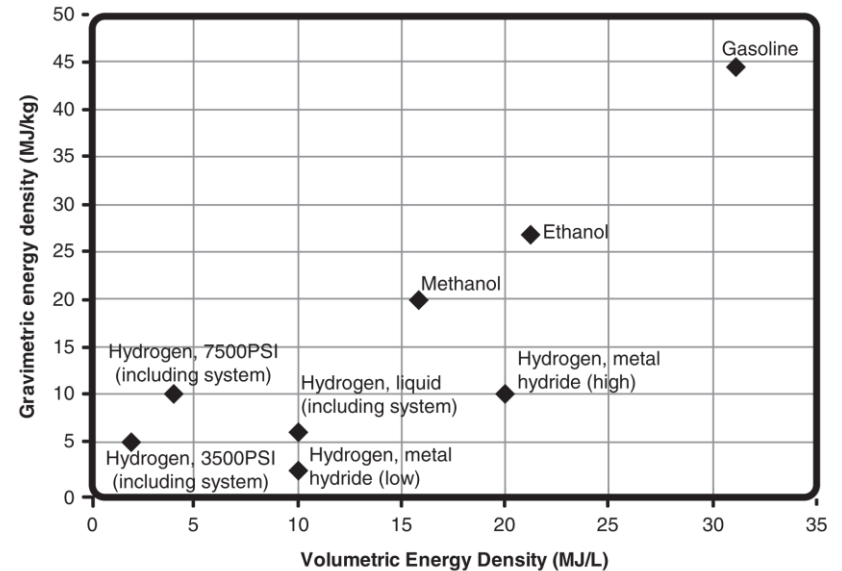


Figure 1.8. Energy density comparison of selected fuels (lower heating value).

RYAN O'HAYRE, SUK-WON CHA, WHITNEY G. COLELLA, FRITZ B. PRINZ, FUEL CELL FUNDAMENTALS - Third Edition, 2016 by John Wiley & Sons

Applicazioni

Segmenti di mercato delle diverse tecnologie di cella

	POTENZA	TIPO DI CELLA
Applicazioni isolate	0,5-10 kW	PEFC, SOFC
Potenza residenziale	1-10 kW	PEFC, SOFC
Cogenerazione commerciale e residenziale	50-250 kW	PEFC, PAFC
Cogenerazione industriale	200 kW-2 MW	MCFC, SOFC
Potenza distribuita	2-20 MW	PAFC, MCFC, SOFC
Generazione centralizzata	< 50 MW	MCFC, SOFC
Trasporto	5-200 kW	PEFC, SOFC

Marina Ronchetti, Agostino Iacobazzi, CELLE A COMBUSTIBILE, Febbraio 2002, ENEA