

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale***  
***«Materiali in un Regenerative Fuel Cell System»***

Tutor universitario: Prof. Roberta Bertani

Laureando: *Stefano Polese*

Padova, 25/11/2022

Next 10y...

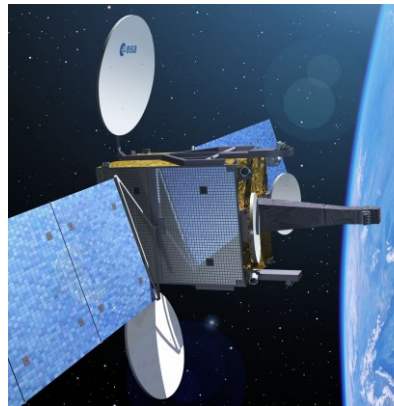
programmi di ricerca TRP e ARTES 5



partners



## GEO Satellites



Power >50kW

Eclipse 72min

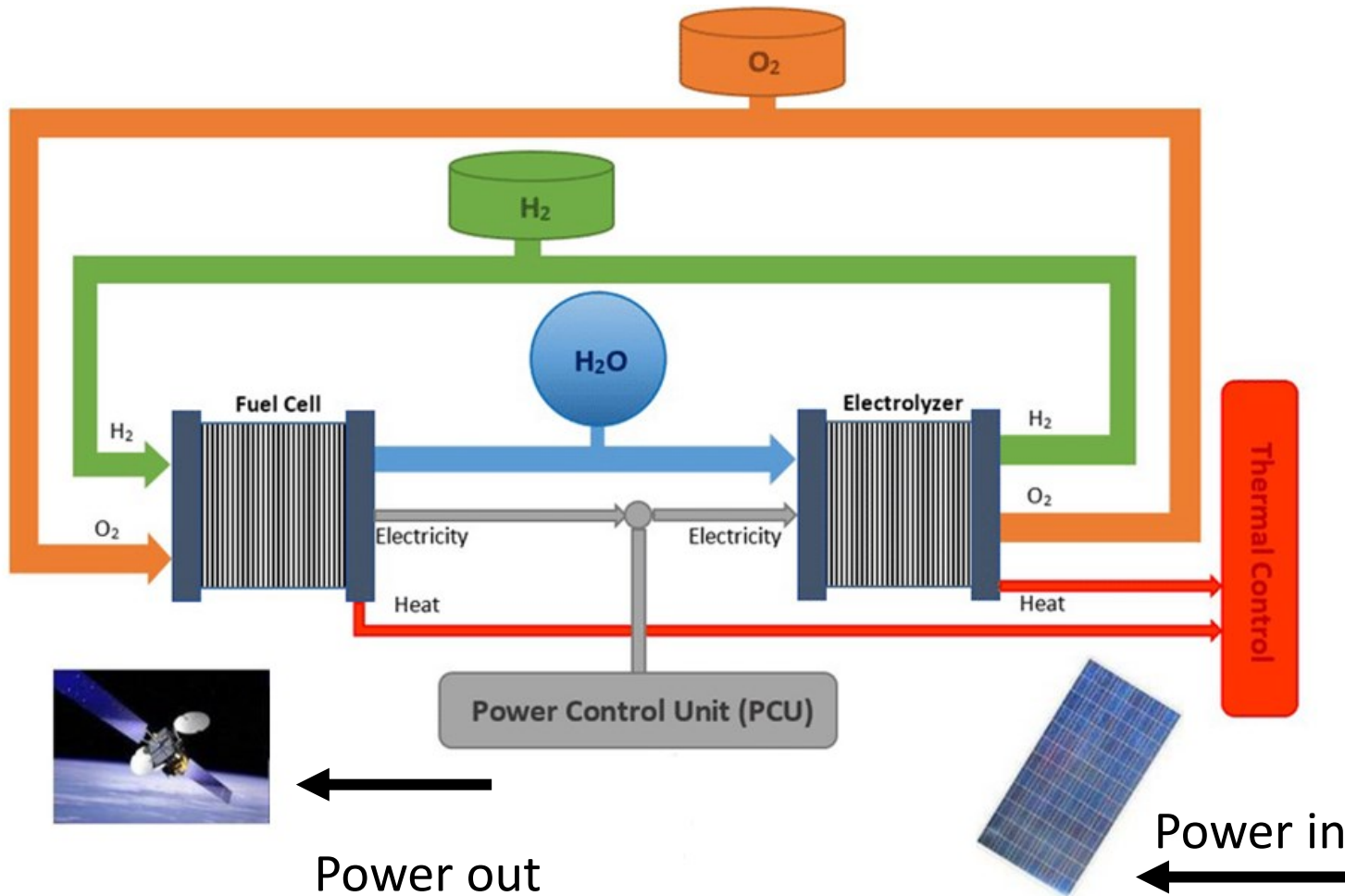
## High Altitude Pseudo Satellite



Power >50kW

Eclipse 14h

→ celle a comustibile migliore alternativa alle batterie al Litio

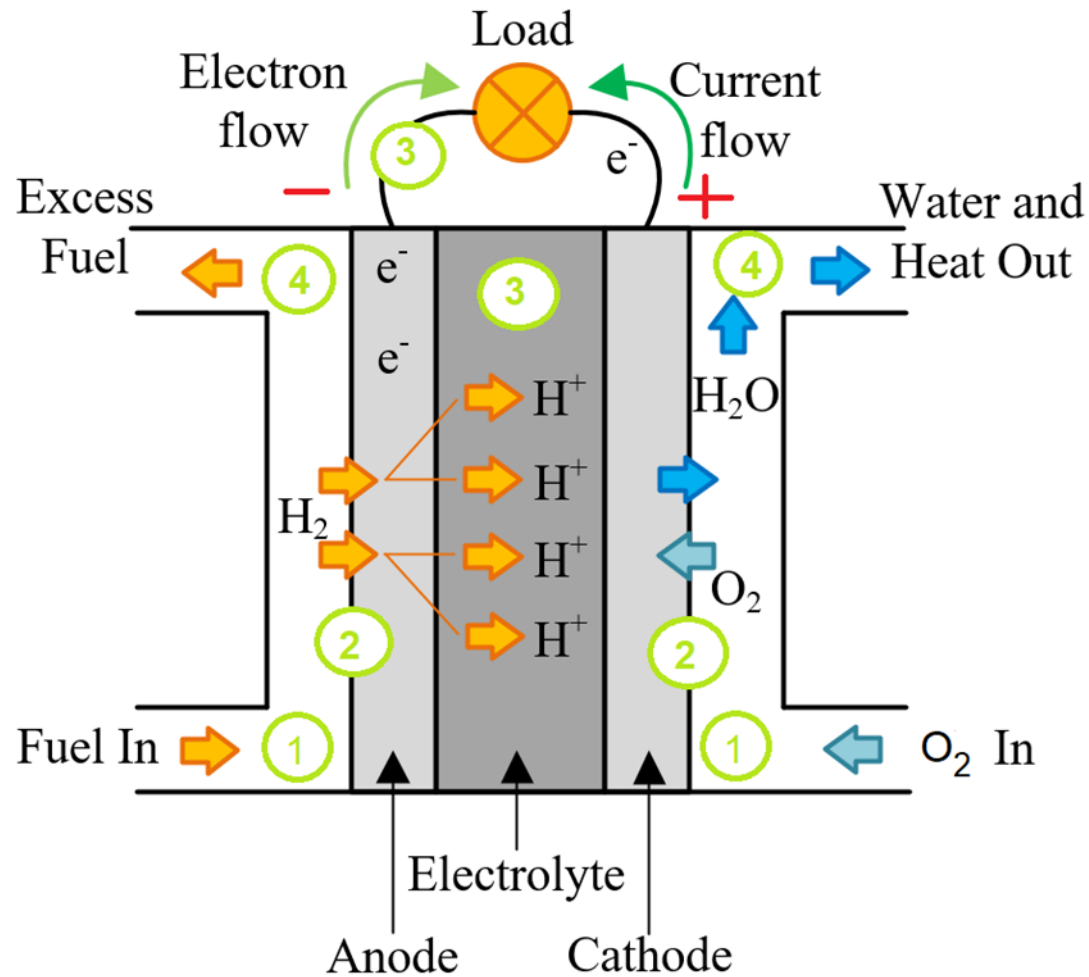


sistema chiuso  
scambi: energia elettrica e termica

serbatoi:  $H_2$  ;  $O_2$  ;  $H_2O$   
Thermal Control Unit  
rimozione acqua

fonte energia esterna disponibile  $\rightarrow$   
elettrolizzatore  
fonte energia esterna non  
disponibile  $\rightarrow$  fuel cell

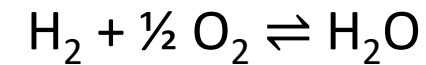
obiettivo  $\rightarrow$  1kW/kg



energia chimica → energia elettrica

reazione: ossidoriduzione

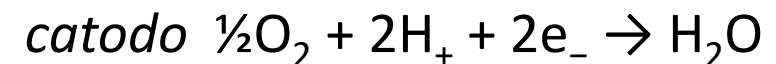
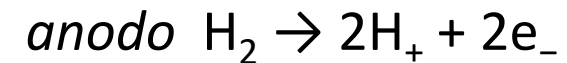
H<sub>2</sub> ossida - O<sub>2</sub> riduce

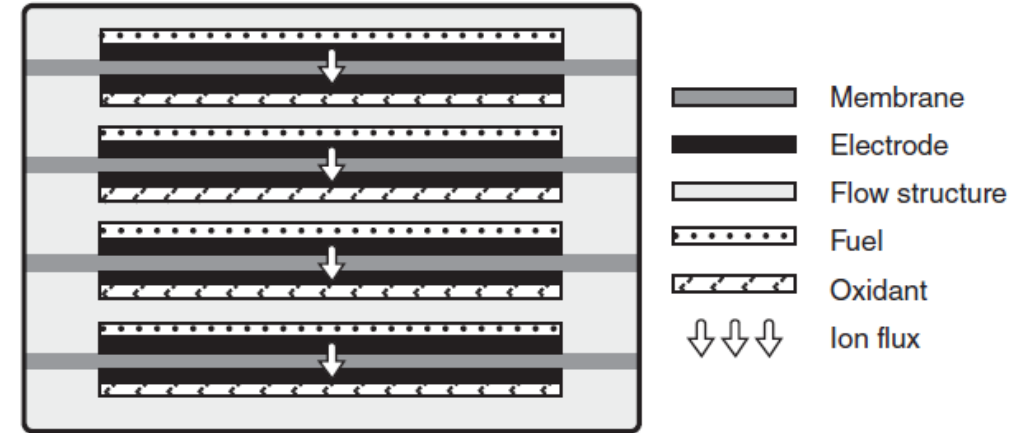
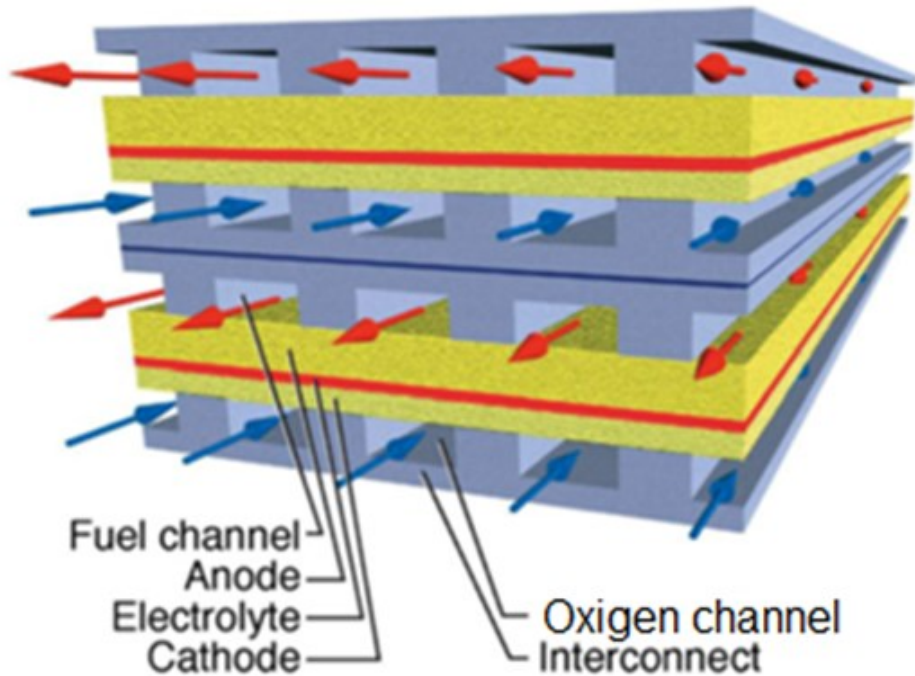


reazione esotermica

prodotti: acqua + calore

separa gli ioni dagli elettroni





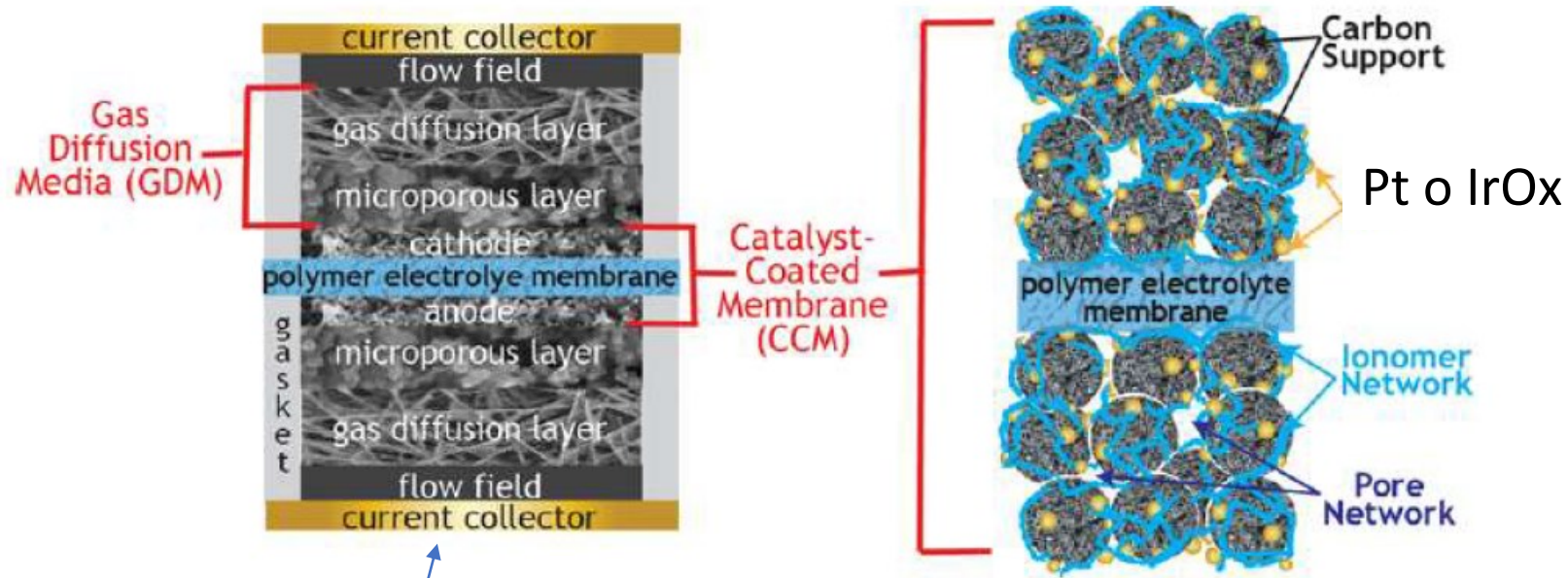
corrente proporzionale alla superficie → superfici planari e sottili

elettrodi: porosi → superficie reagente, afflusso gas  
corrente proporzionale alla quantità di combustibile

flow field plates + elettrodi: distribuzione reagenti

corrente proporzionale alla velocità della reazione → catalizzatori

H<sub>2</sub>O e calore da rimuovere



treated titanium or carbon sheet

caratterizza fuel cell  
 impone: temperatura, corrente,  
 tensione  
 va massimizzato il TPB =  
 elettrolita + gas + catalizzatore  
 (elettrodo)

portare/estrarre elettroni  
 e  
 portare/estrarre reagenti/prodotti

PEM: elemento di maggior  
 resistenza

## specifiche / obiettivi

- 1kW/kg potenza nominale
- 0,8V/cella
- 0,33 A/cm<sup>2</sup>
- efficienza stack 65% @ BoL

## soluzioni

- H<sub>2</sub> O<sub>2</sub> puri
- 10 bar
- raffreddamento a liquido → migliore distribuzione di T°
- T° funzionamento > 200°C

vapore acqueo → facilita gestione  
acqua

niente idratazione membrana → niente  
sistema gestione acqua

piccolo TCS per satelliti  $\leq f(T^4)$

riciclo calore → rilascio H<sub>2</sub> → aumenta  $\eta$   
del sistema

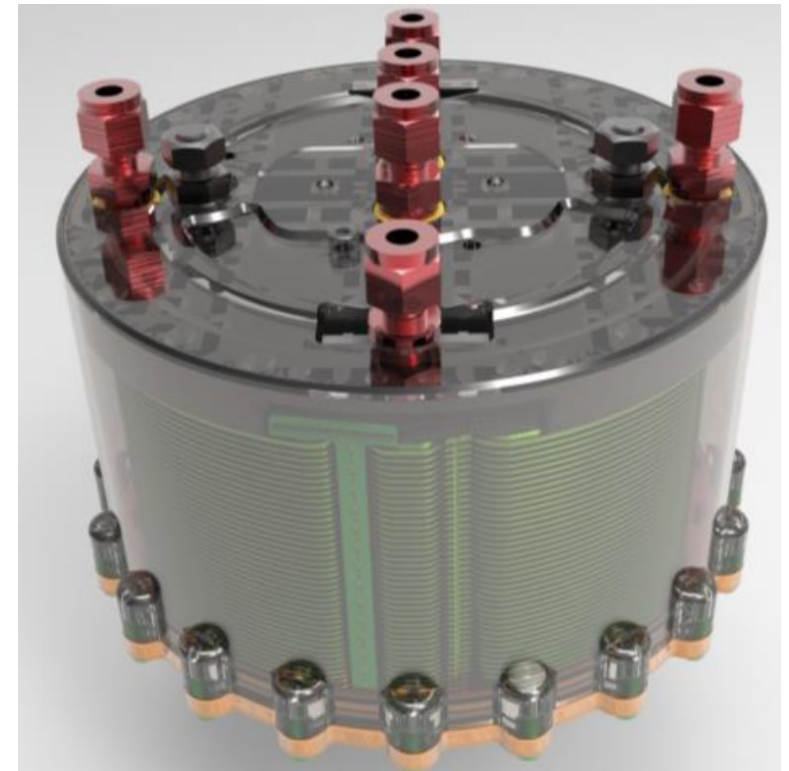
cinetica elettrodi ↑

tolleranza impurità (CO) ↑

High  
Temperature

High Pressure → V/cell ↑

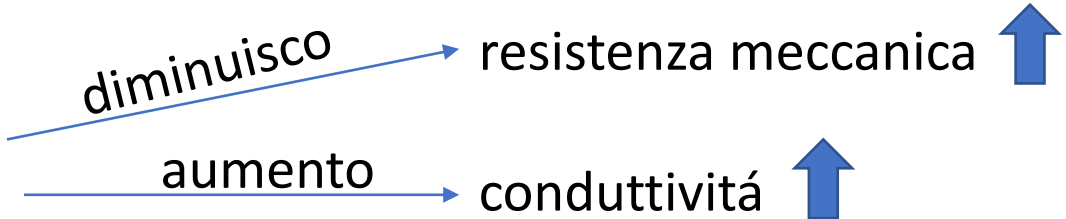
⇒ necessario impiego membrana adatta



## caratteristiche di un polimero

cariche fisse: mantengono bilancio di carica complessivo del polimero intatto

vuoti: permettono il passaggio degli ioni



$$\text{conduttività} = f(T^2)$$

$$T = f(\text{materiale})$$



**Aromatic Polyether**  
High Thermal Stability  
High Chemical Stability

+

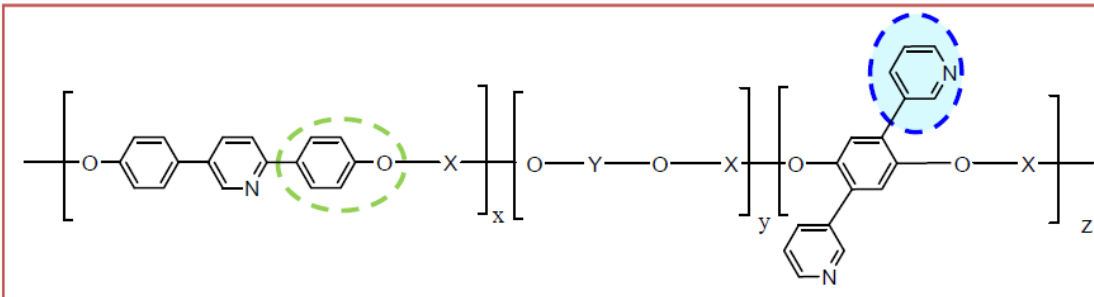
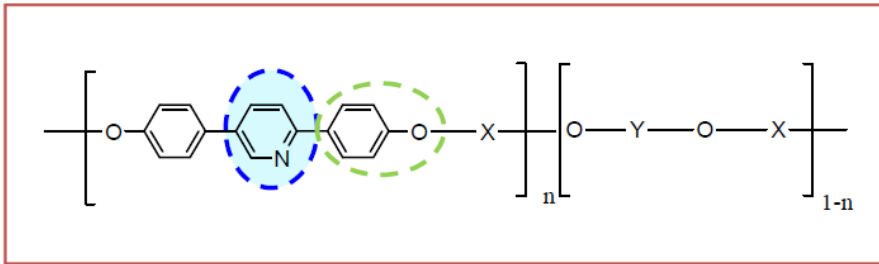
**Pyridine Polar Group**  
H<sup>+</sup> Acceptor site  
Hydrogen Bond site

=



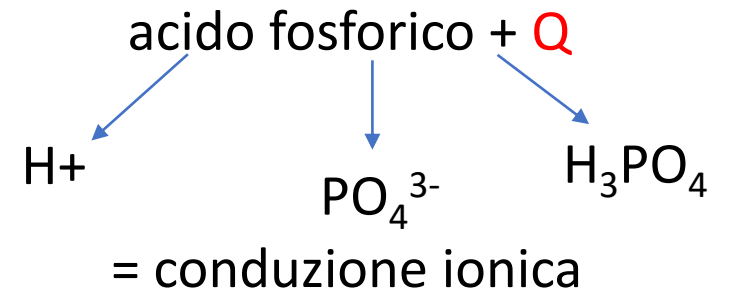
120°-200°C  
a base di **piridina**: aromatico eterociclico.  
Disponibilità coppia di e<sup>-</sup> sull'azoto =>  
basico, nucleofilo

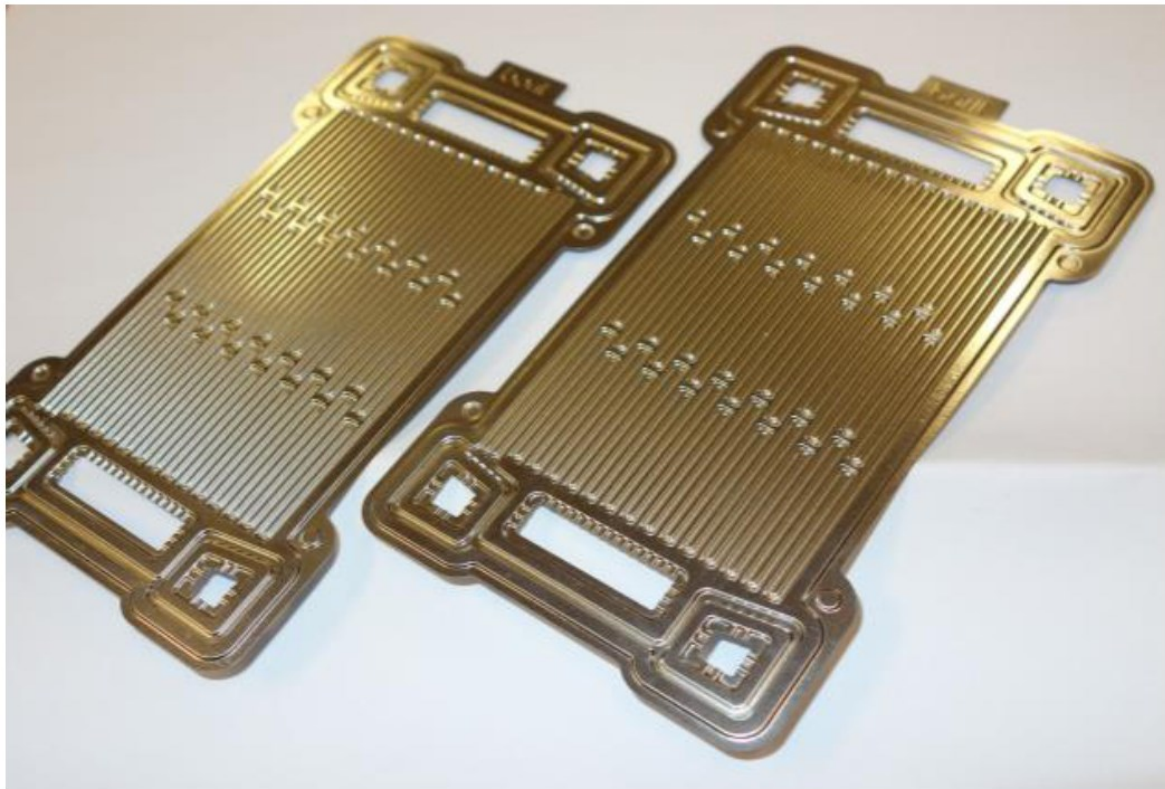
imbevuta di **H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**: acido, trattenuto dal  
polimero



Membrane, then  
infuse with acid

idratazione non necessaria: polimero  
+ acido = materiale conduttivo





titanio placcato in tantalio

soluzione: 2 sottili lamine metalliche (0,1-0,2mm), raffreddamento a liquido integrato, collettore O<sub>2</sub> esterno

design influisce => P,  $\Delta p$  reagenti e

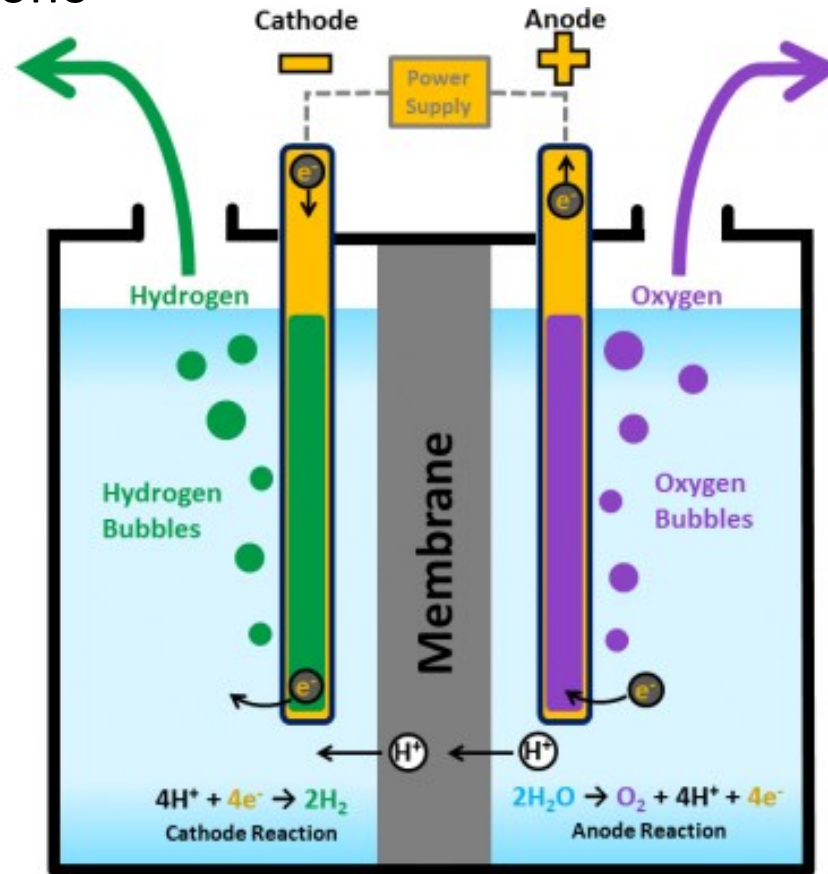
distribuzione reagenti, gradiente T piastra  
materiale piastre → conduttività elettrica,  
resistenza meccanica e corrosione, densità

rivestimento contro corrosione → adesione  
metallo, stabilità all'interno della FC, buone  
proprietà elettriche

anodo e catodo si invertono  
polarità inalterata

rispetto alla FC

più piccolo ( $I \approx 1/6$  FC)  
minore tasso di degrado  
(10x durata in GEO)



requisiti

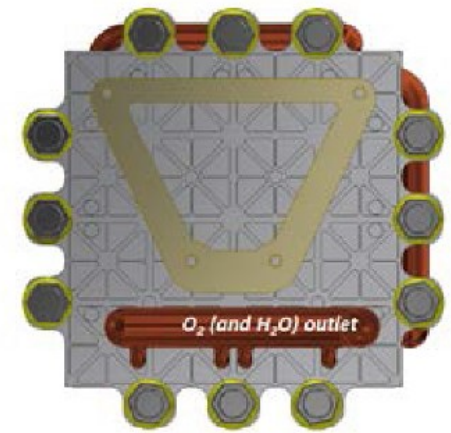
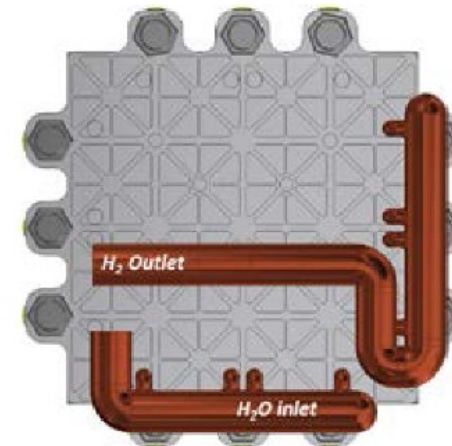
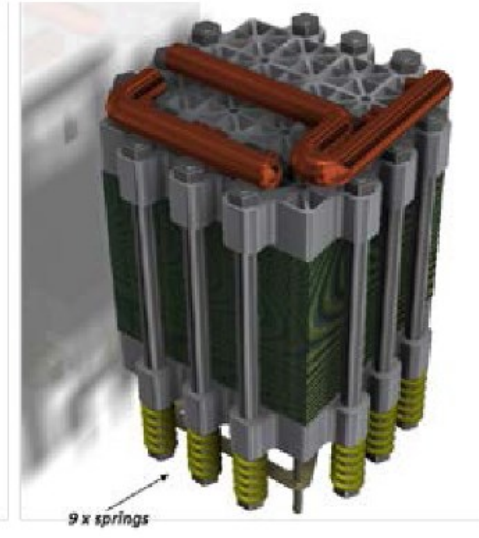
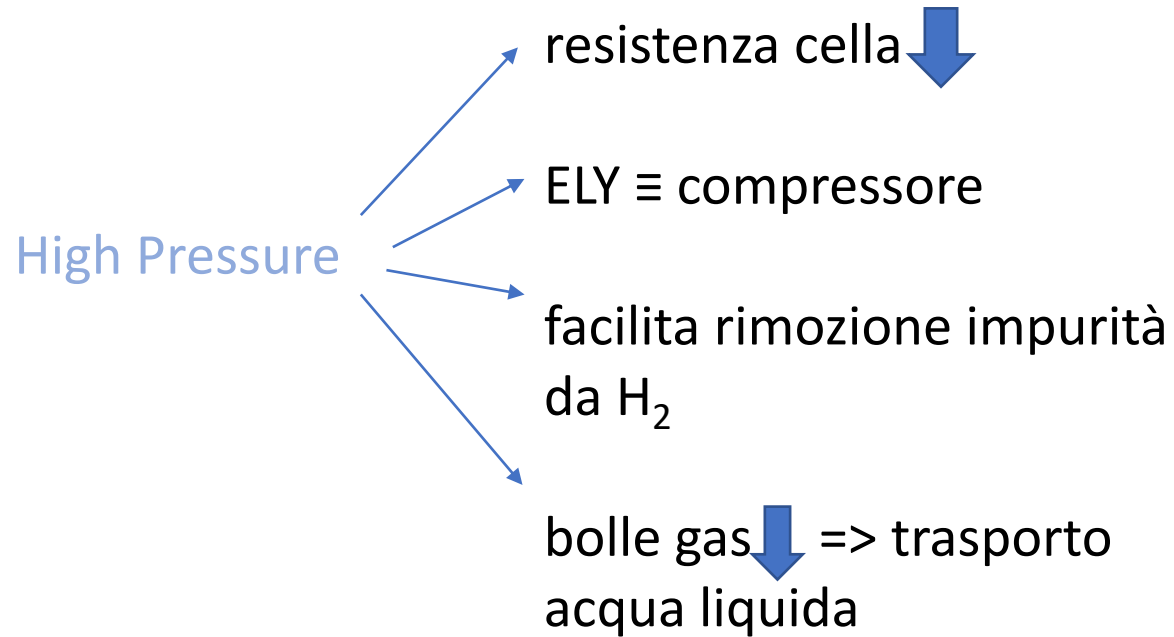
1kW/kg potenza  
nominale  
Efficienza 90% @BoL  
1,75V / cell  
1A/cm<sup>2</sup>

soluzioni

1Nm<sup>3</sup>/h idrogeno

T limitata ~60°C → minimizza  
evaporazione acqua dentro H<sub>2</sub>

100-200bar equivalente  
all'anodo e catodo

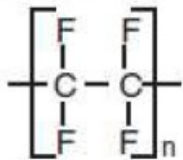


Nafion simile al PTFE, rinforzata, adatta alle alte pressioni, niente idratazione

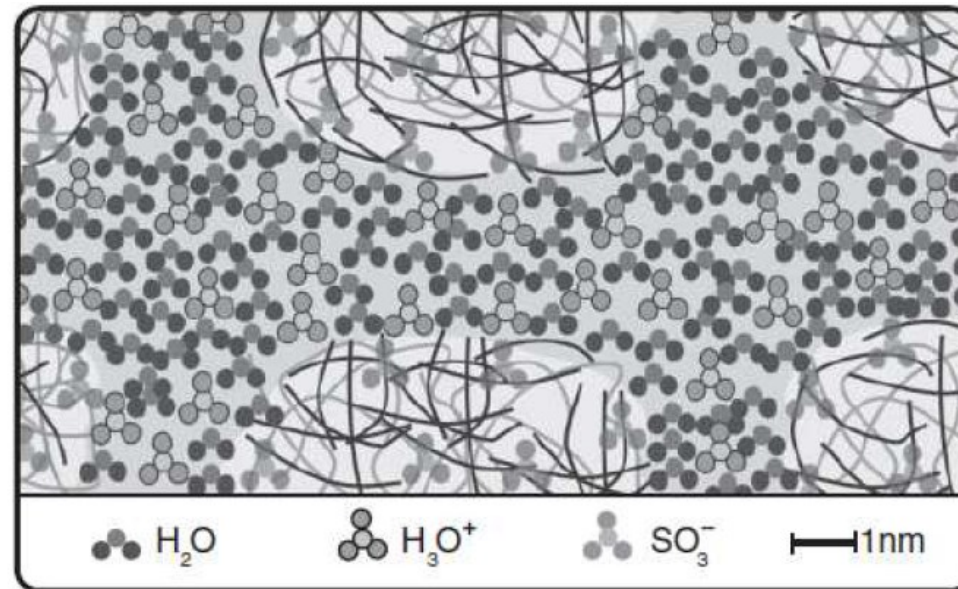
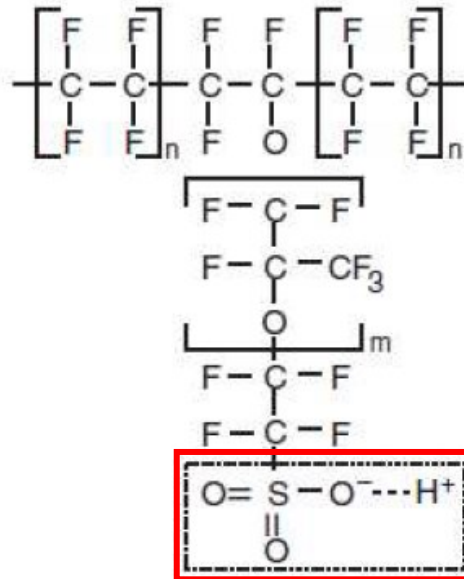
nafion ≈ teflon (resistenza meccanica)  
+ acido solforico (vuoti per il trasporto)

1. vuoti si aggregano, pareti foderate da gruppi di acido
2.  $H^+ + H_2O = H_3O^+$
3. distacco da catena acida

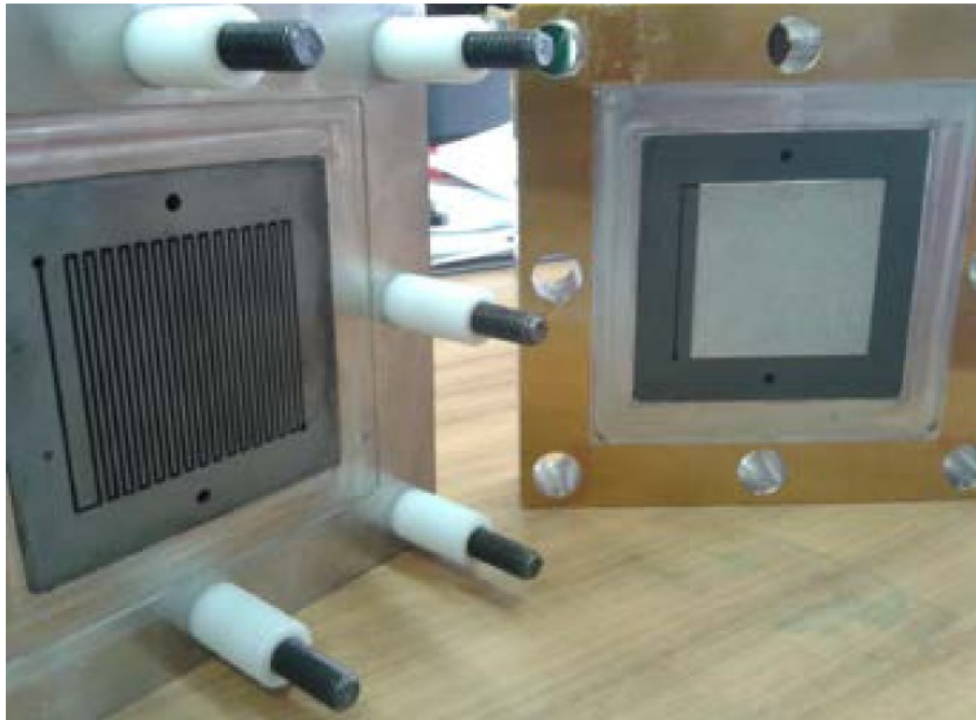
Polytetrafluoroethylene (PTFE)



Nafion



vuoti  
interconnessi  
+  
acqua  
=  
movimento  
 $H_3O^+$



sigillante: combinazione di PTFE, FKM200

anodo ( $H_2O$ )

elettrodo: catalizzatore IrOx

collettore corrente: piastra in titanio

opportunamente trattata

interfaccia: piastra di carbonio

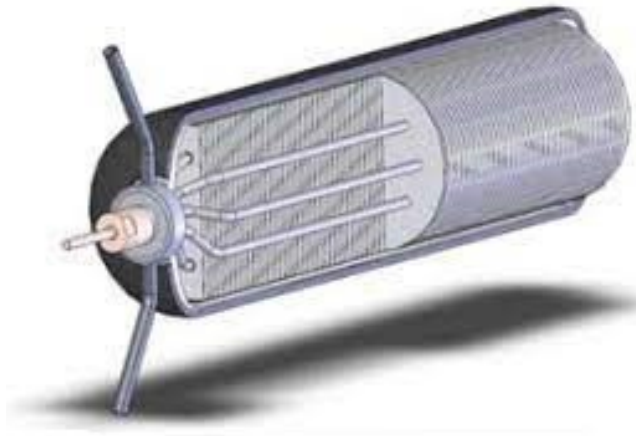
catodo ( $H_2$ )

elettrodo: catalizzatore basato sul Pt

collettore corrente: GDL in fogli di carbonio

interfaccia: piastra in titanio opportunamente

trattata



serbatoio = contenitore pressurizzato + idruro metallico polverizzato +  
scambiatore di calore

## funzionamento

scarica: calore => rilascio  $H_2$  = riciclo calore FC

ricarica: immagazzina  $H_2$  → dissociazione in atomi

## sfide tecnologiche

1. aumentare conducibilità termica della polvere ← polverizzazione ultra-fine + catalizzatori + canali di scambio nel contenitore
2. limitare ossidazione MH ← sovradimensionamento serbatoio + asciugatore/separatore @ uscita ELY

## scelta materiale

1. alta entalpia di decomposizione  $\Delta H_d$
2. la temperatura di desorbimento compatibile
3. alta densità gravimetrica → 10% in massa  $H_2$  (sodio alanato per i test)

- [1] CMR Prototech, A. Strand, and H. Weydahl, “Regenerative Fuel Cell Systems for Satellites,” 2013.
- [2] CMR Prototech and J. Farnes, “Regenerative fuel cell system for HAPS – Stratobus paves the way for RFCS for HAPS and space,” 2017.
- [3] J. Farnes *et al.*, “Optimized High Temperature PEM Fuel Cell & High Pressure PEM Electrolyser for Regenerative Fuel Cell Systems in GEO Telecommunication Satellites,” *E3S Web Conf.*, May 2017.
- [4] CMR Prototech *et al.*, “RECENT DEVELOPMENTS OF REGENERATIVE FUEL CELL SYSTEMS FOR SATELLITES,” no. May, 2014.
- [5] R. O’Hayre, S.-W. Cha, W. G. Colella, and F. B. Prinz, *Fuel cell fundamentals*. 2016.
- [6] FORTH/ICE-HT *et al.*, “High Temperature PEM Fuel Cell Stacks with Advent TPS Meas,” *E3S Web Conf.*, vol. 16, 2017.
- [7] FORTH *et al.*, “Investigation of Advanced Components in a High Pressure Single-Cell Electrolyser for the Development of a HP-PEM-ELY Stack as Part of a Regenerative Fuel Cell System,” *E3S Web Conf.*, vol. 16, 2017.
- [8] Advent Technologies, “Advent TPS<sup>®</sup> HT MEA,” *Int. J. Hydrogen Energy*, 2017.
- [9] N. T. Advent Technologies, E. S. De Castro, N. Gourdoupi, “High Temperature Membrane Electrode Assemblies,” 2014.
- [10] FOTEC *et al.*, “Development of a Hydrogen and Heat Storage System for Satellite Applications,” vol. 2014, no. April, 2014.
- [11] Prototech CMR and FOTEC, “Metal Hydride and Heat Storage System Study,” 2019. <https://artes.esa.int/projects/metal-hydride-and-heat-storage-system-study>.
- [12] CMR Prototech, “Prototech to develop energy system for Moon mission,” 2019. <https://www.prototech.no/news/2019/11/24/prototech-to-develop-energy-system-for-moon-mission/>.
- [13] Thales Alenia, “THALES ALENIA SPACE AND THALES SIGN CONCEPT STUDY CONTRACT WITH FRENCH DEFENSE PROCUREMENT AGENCY FOR A STRATOBUS TYPE PLATFORM,” 2020. <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/press-release/thales-alenia-space-and-thales-sign-concept-study-contract-french>.