



ORDINE DEI CHIMICI  
TRENTINO – ALTO ADIGE

**SOFCPOWER**  
SOLID OXIDE FUEL CELLS

# LE CELLE A COMBUSTIBILE

*Dario Montinaro*

SOFCpower SpA





# DI COSA PARLEREMO

- ☐ Vantaggi e possibili applicazioni delle celle a combustibile
- ☐ Tipologie di celle a combustibile
- ☐ Risorse energetiche e produzione di idrogeno
- ☐ Meccanismi chimici alla base delle celle a combustibile
- ☐ Celle a combustibile a membrana polimerica, per applicazioni a bassa temperatura
- ☐ Celle a combustibile ad ossidi solidi, per applicazioni ad alta temperatura
- ☐ Impatto ambientale
- ☐ Stoccaggio di Idrogeno

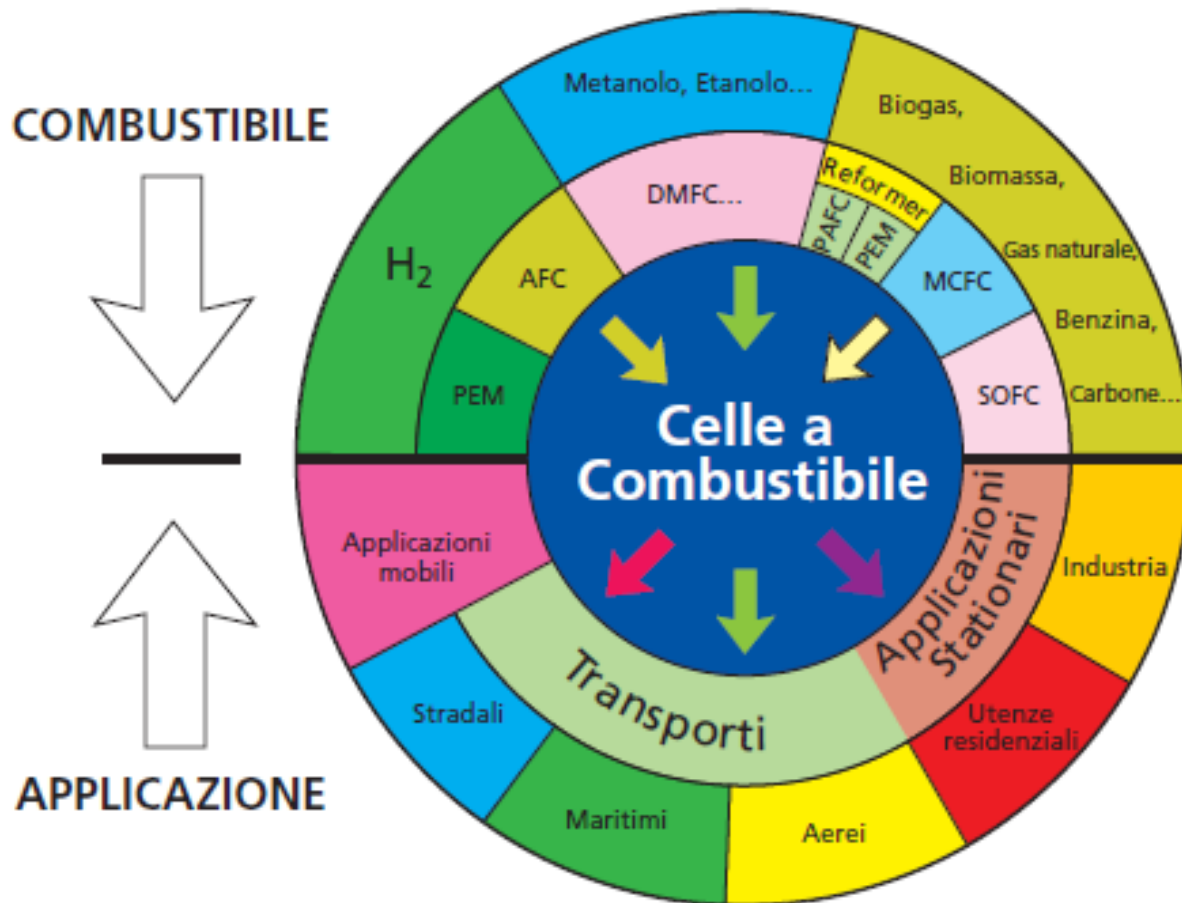


<http://www.imageproduction.nl>



# A COSA SERVONO LE CELLE A COMBUSTIBILE

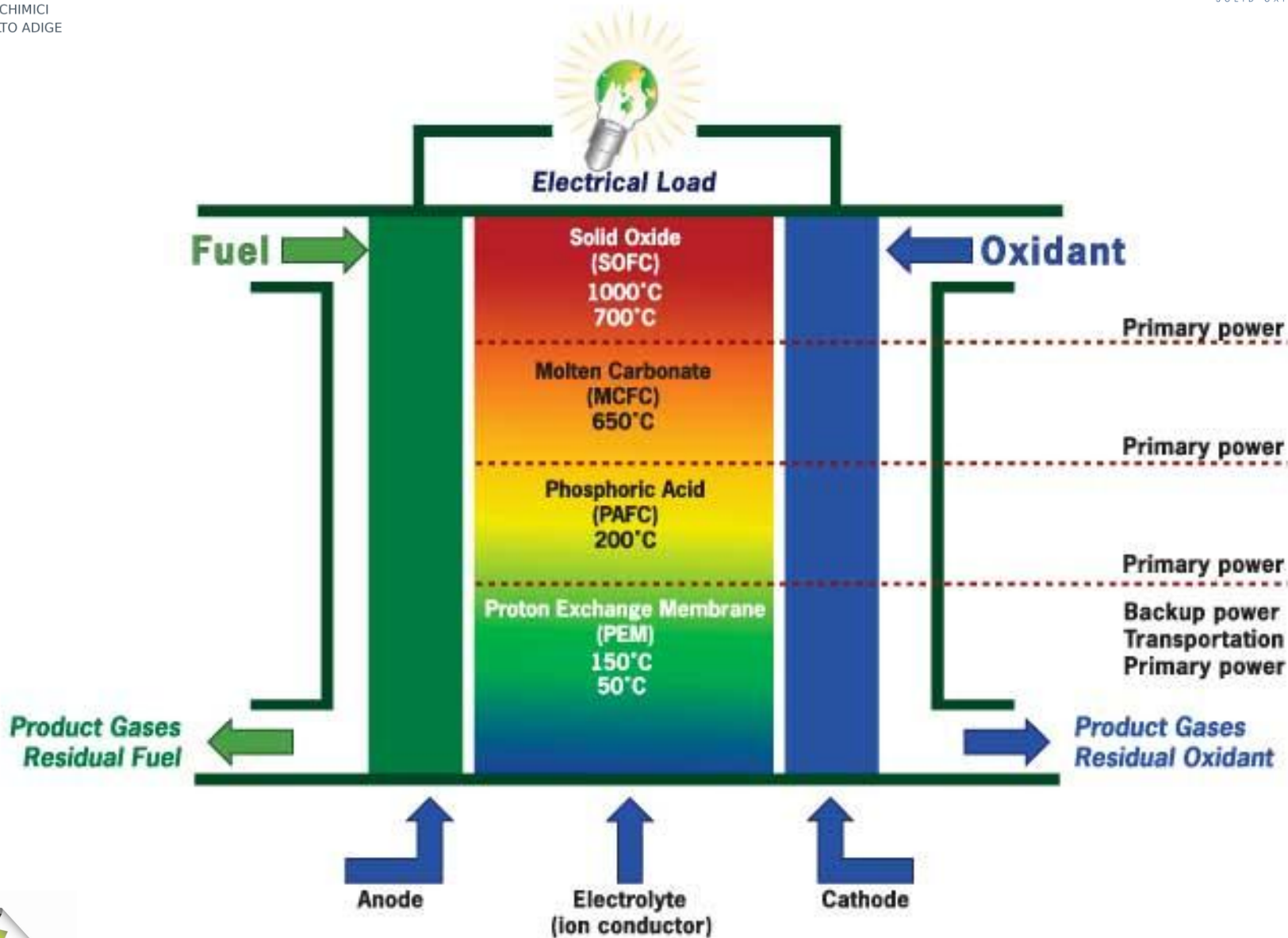


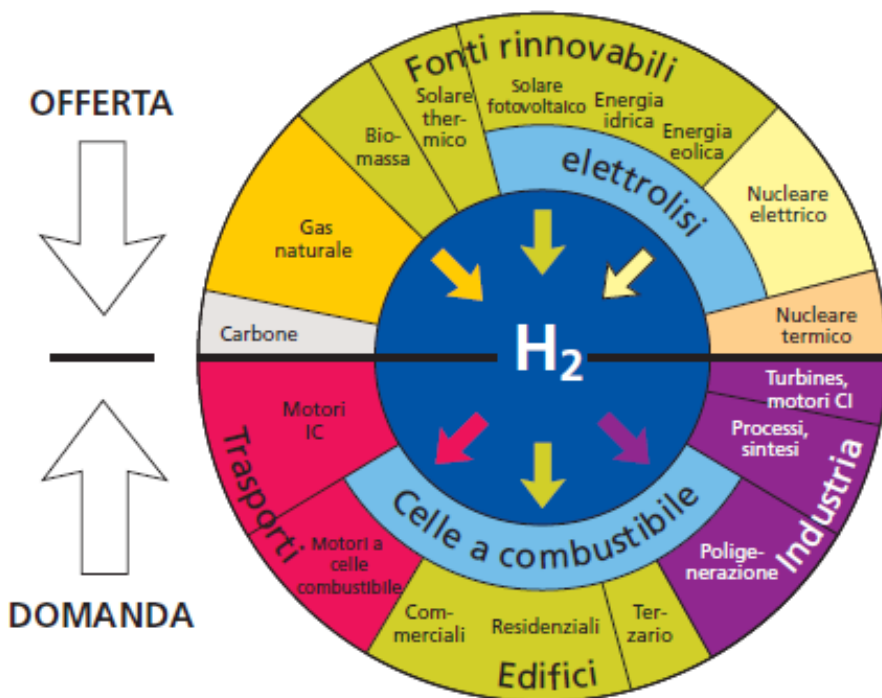


- Le celle a combustibile trasformano direttamente l'energia chimica del combustibile in energia elettrica e calore
- La trasformazione dell'energia avviene mediante una reazione elettrochimica



# TIPOLOGIE DI CELLE A COMBUSTIBILE





**ELETTROLISI:** Scomposizione dell'acqua ottenuta con la corrente elettrica

**REFORMING:** Scomposizione di idrocarburi con l'uso di calore e vapore

**GASSIFICAZIONE:** Scomposizione di idrocarburi pesanti e biomassa in idrogeno e gas adatti al reforming

**CICLI TERMOCHIMICI:** Sfruttano fonti di calore ad alta temperatura e a basso costo, come il nucleare o gli impianti di produzione di energia solare concentrata

**PRODUZIONE BIOLOGICA:** Alghe e batteri che producono idrogeno in determinate condizioni.





# ATOMI E MOLECOLE



**ATOMO DI  
OSSIGENO**



**MOLECOLA DI  
OSSIGENO**



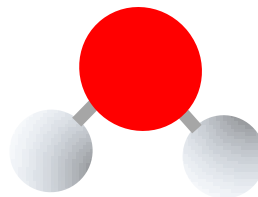
**ATOMO DI  
IDROGENO**



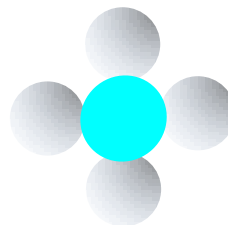
**MOLECOLA DI  
IDROGENO**



**ATOMO DI  
CARBONIO**



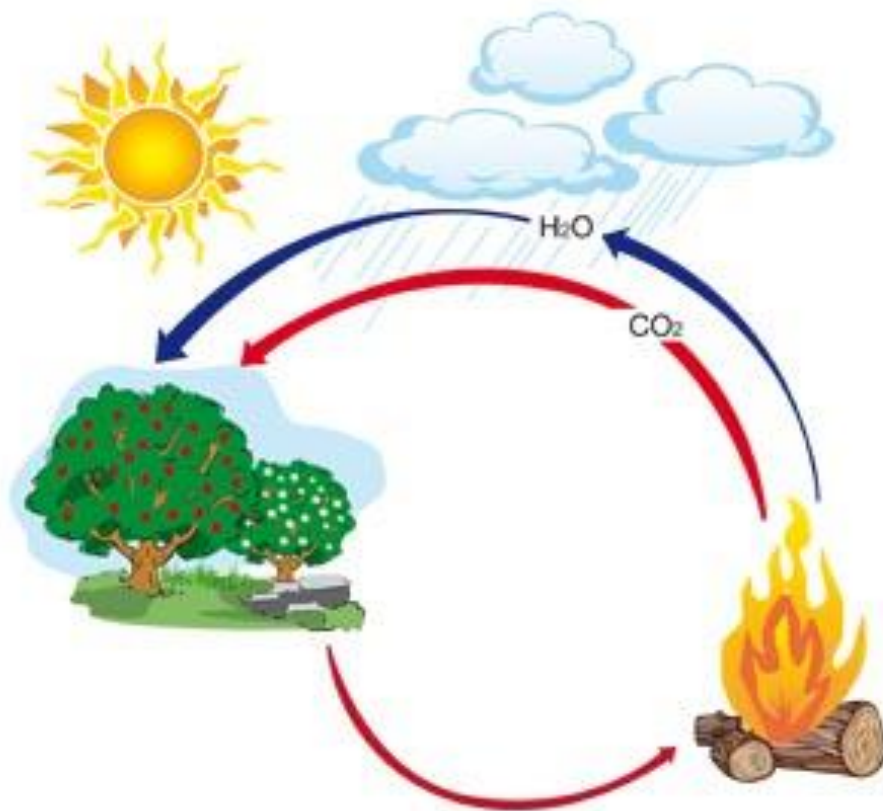
**ACQUA**



**MOLECOLA  
DI METANO**



**Elettroni**



La combustione è una reazione chimica (irreversibile) che genera energia

E' attualmente la più comune fonte di energia!





**METANO +**

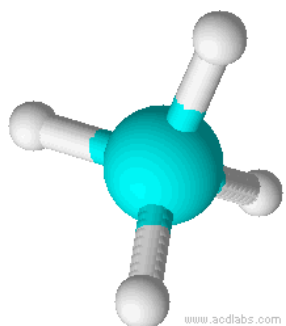
**OSSIGENO**

**=**

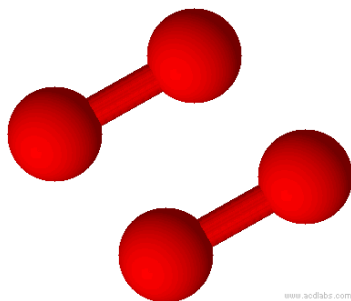
**BIOSSIDO  
CARBONIO**

**+**

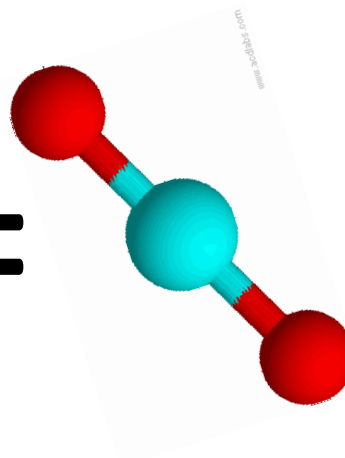
**ACQUA**



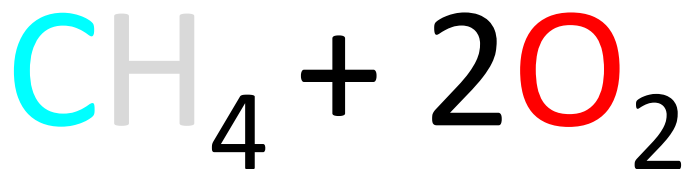
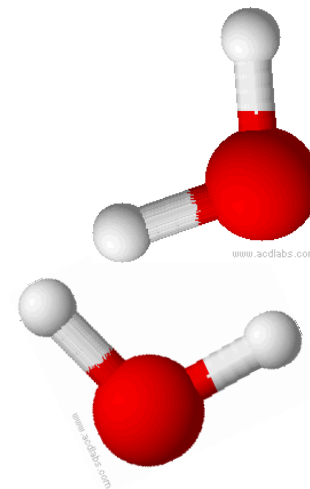
**+**



**=**



**+**



**=**





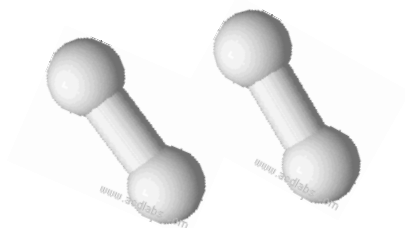
**IDROGENO**

+

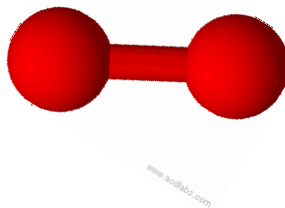
**OSSIGENO**

=

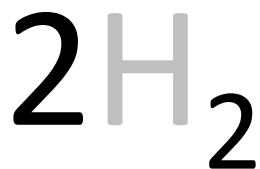
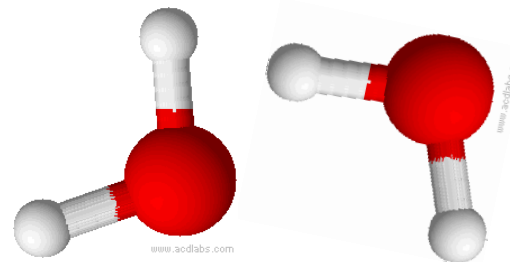
**ACQUA**



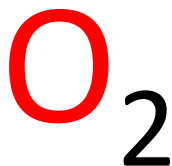
+



=



+



=





**Energia Eolica**



**Solare Fotovoltaico**



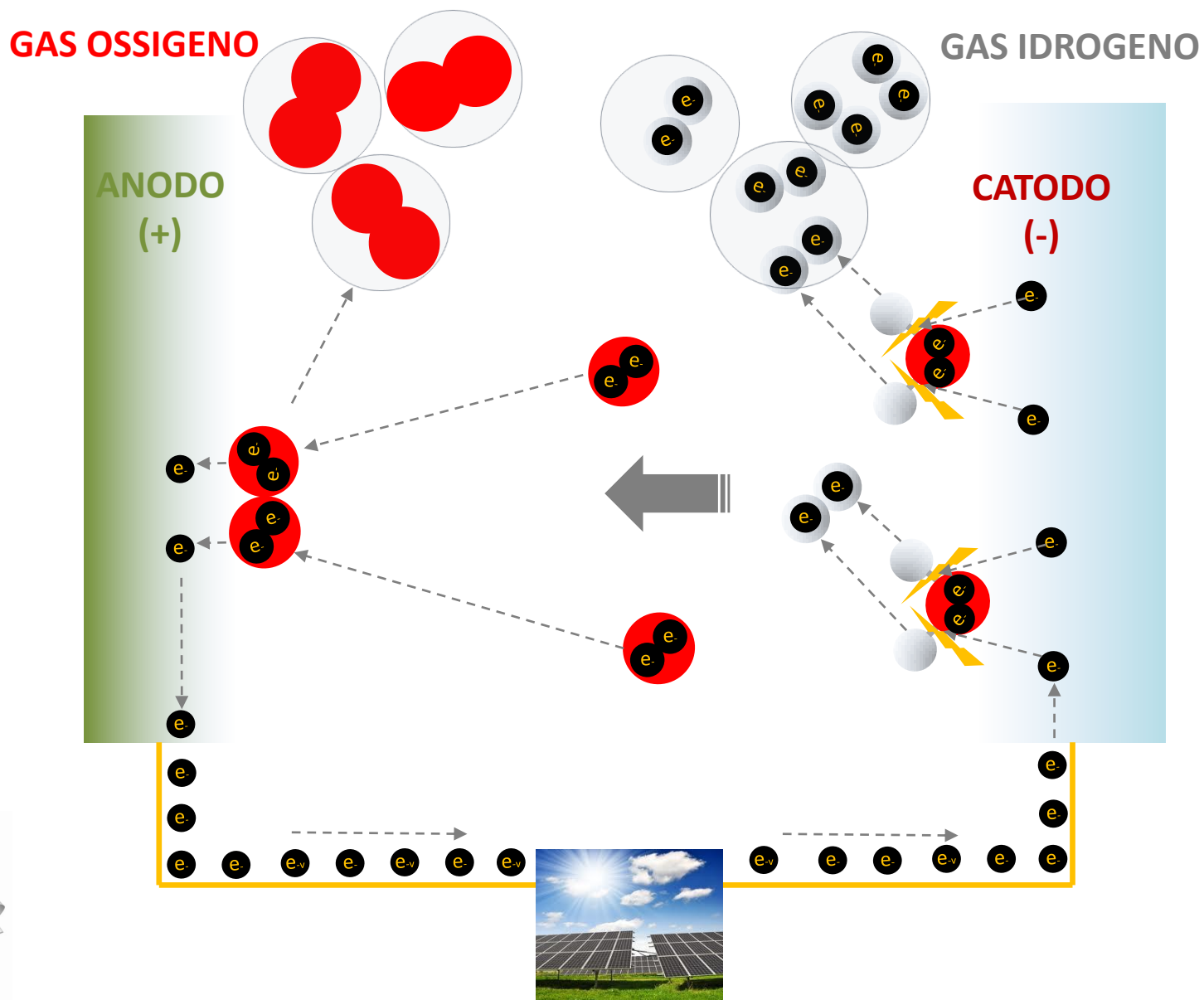
**Energia Geotermica**

Esistono fonti di energia alternative alla combustione. Queste fonti sono inesauribili, non inquinano e possono essere usate per produrre

**IDROGENO**

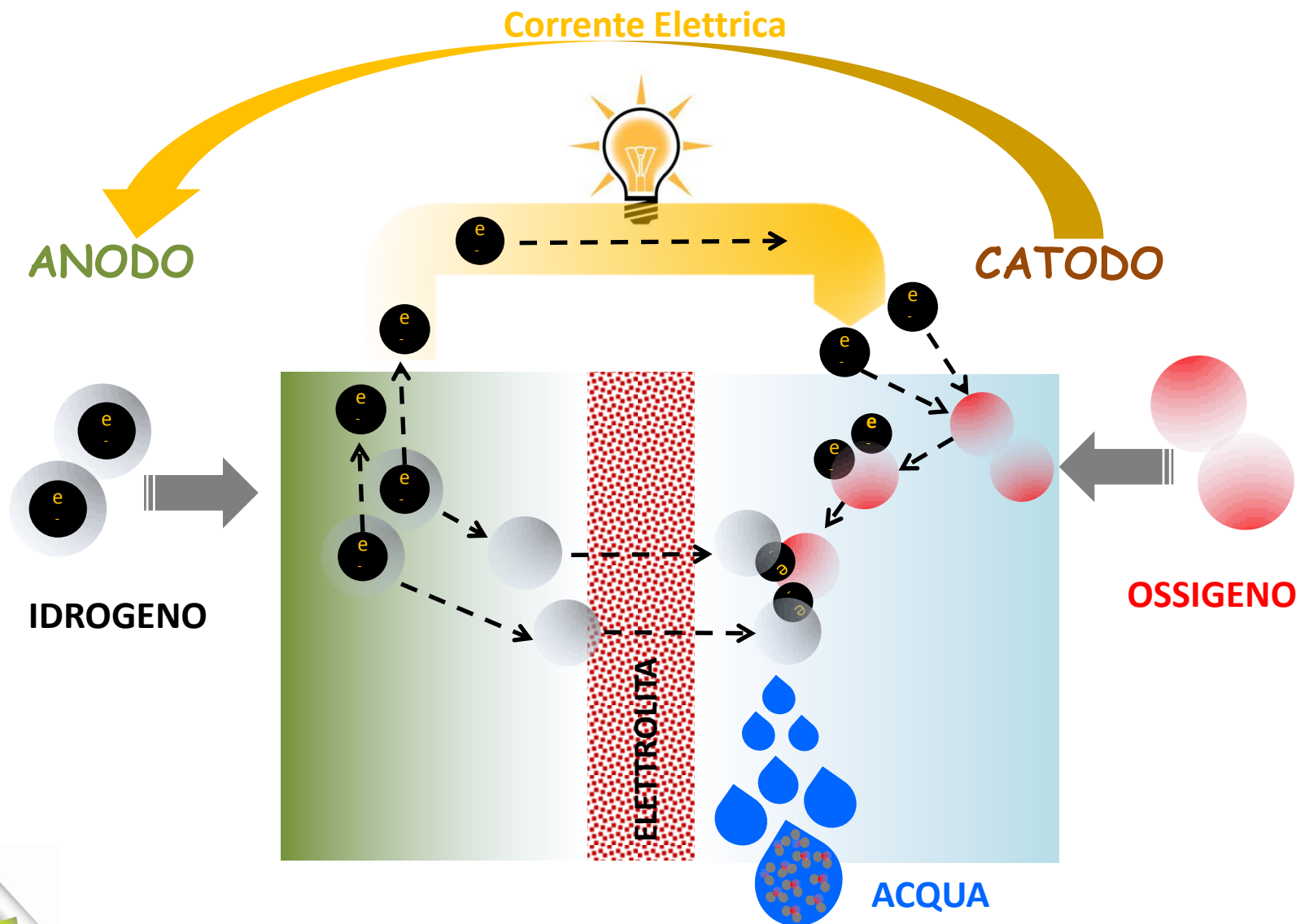


# ELETTROLISI



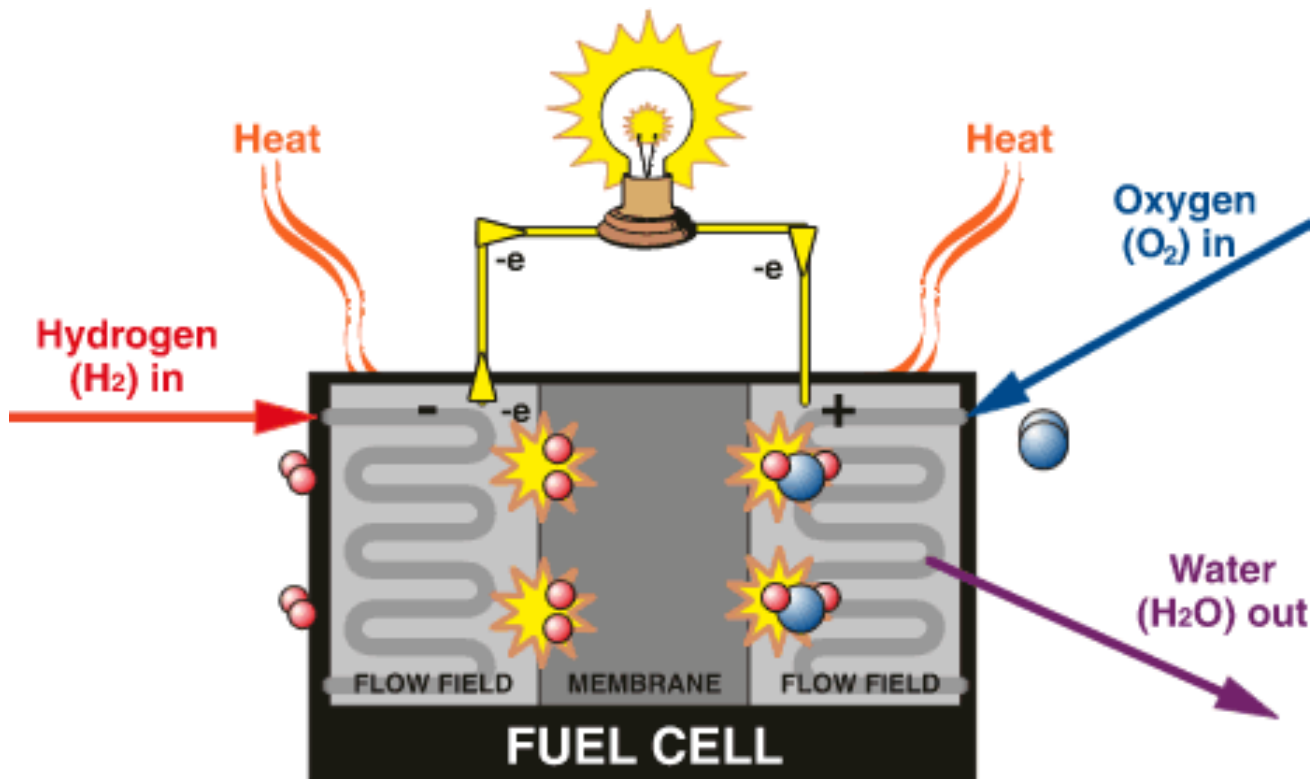


# COME FUNZIONA UNA CELLA A COMBUSTIBILE





# COME FUNZIONA UNA CELLA A COMBUSTIBILE



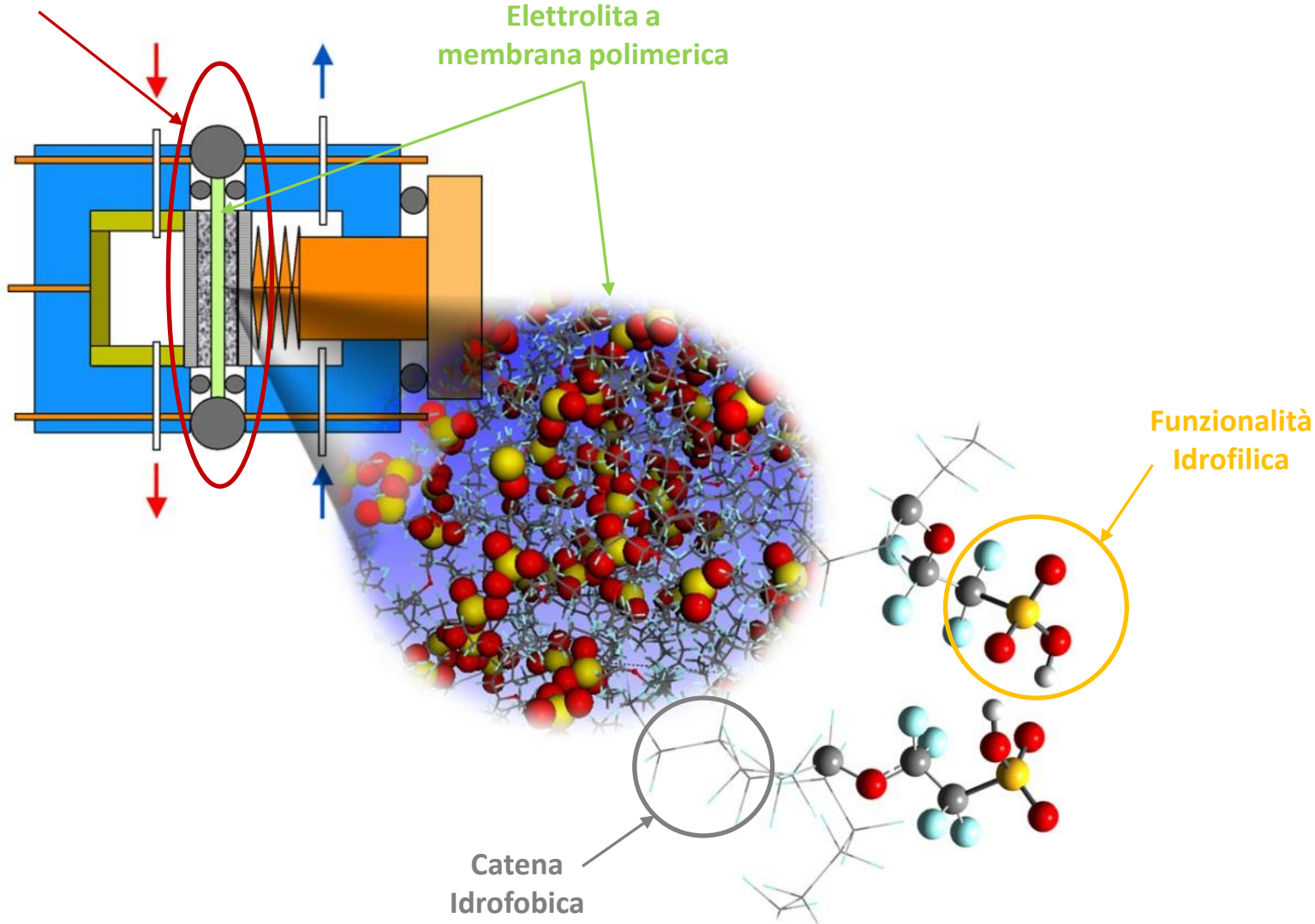




# COME FUNZIONA LA MEMBRANA?

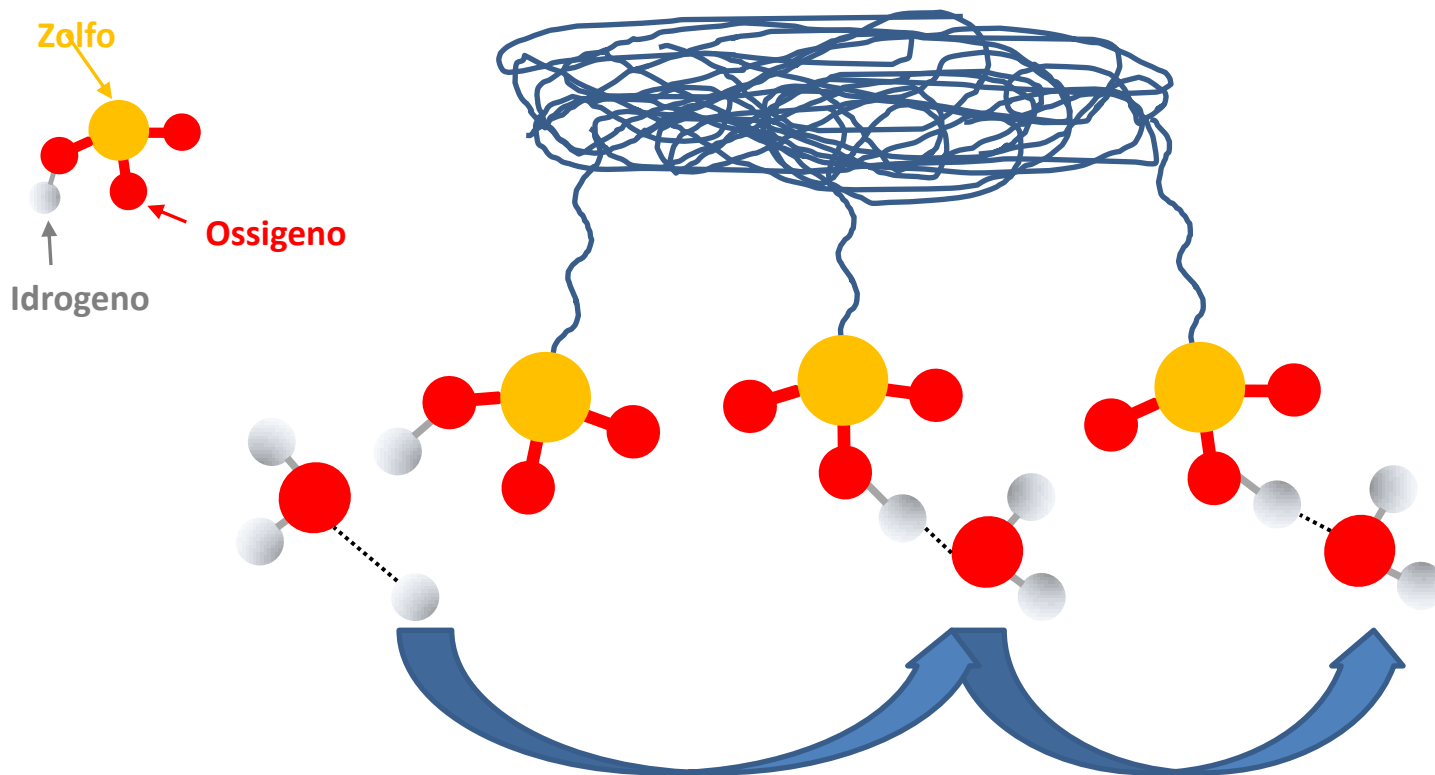
**Cella a combustibile**

**Elettrolita a  
membrana polimerica**





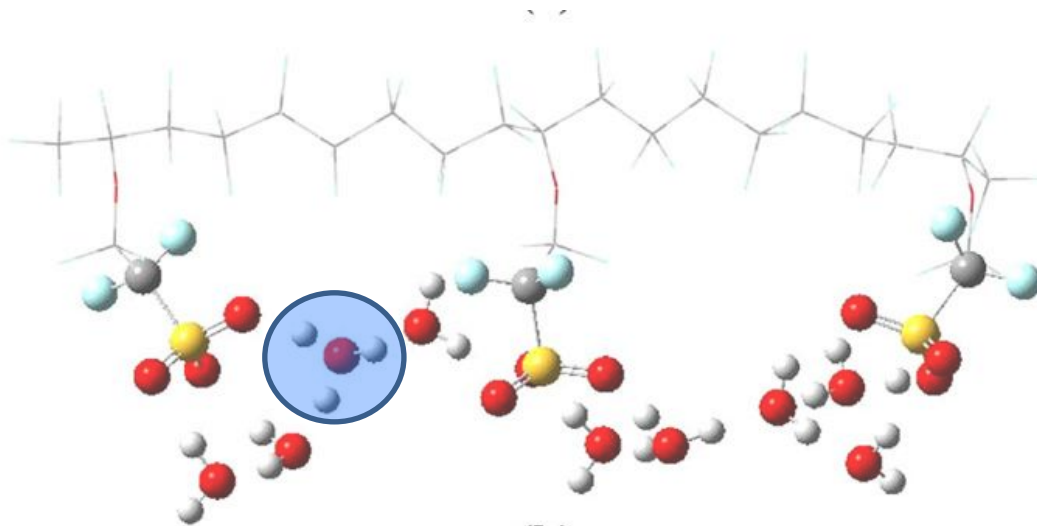
# COME FUNZIONA LA MEMBRANA





ANODO

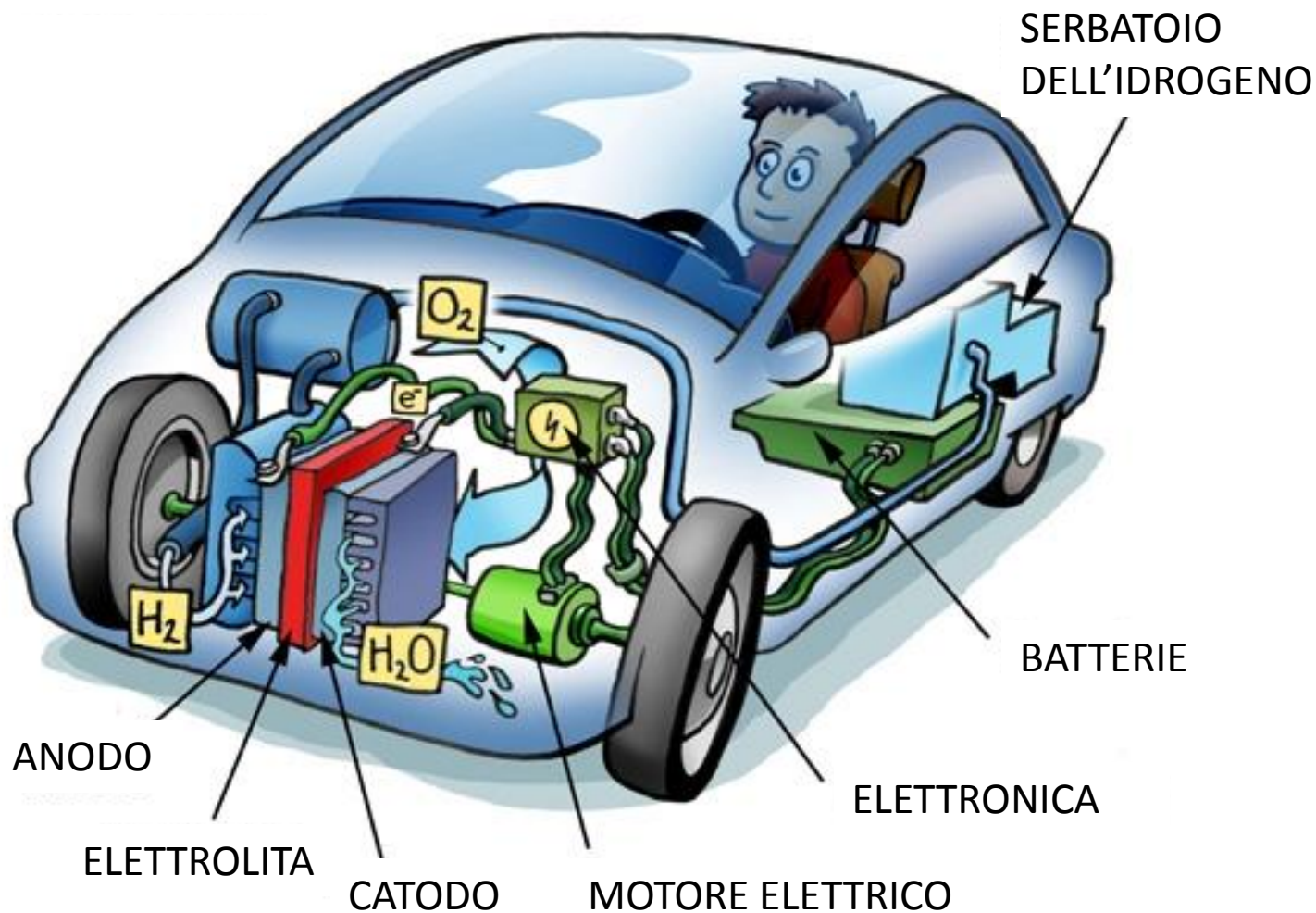
## ELETTROLITA



CATODO



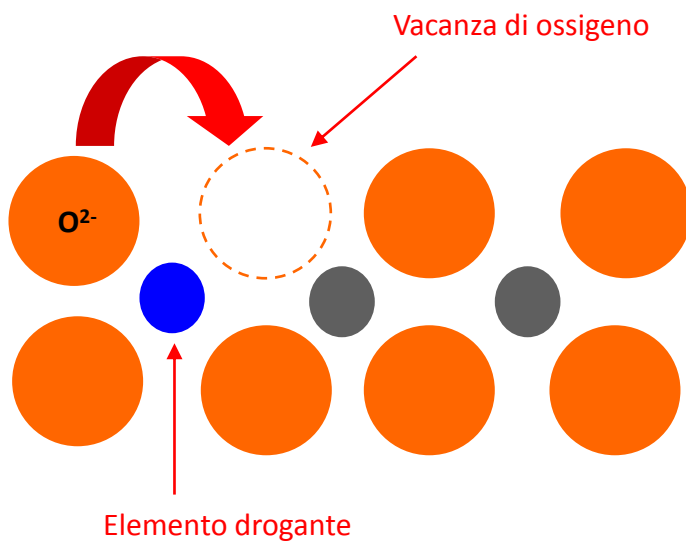
# COME FUNZIONA UN'AUTO A IDROGENO



# CELLE PER ALTE TEMPERATURE (Celle a combustibile ad Ossidi Solidi)

## ELETTROLITA:

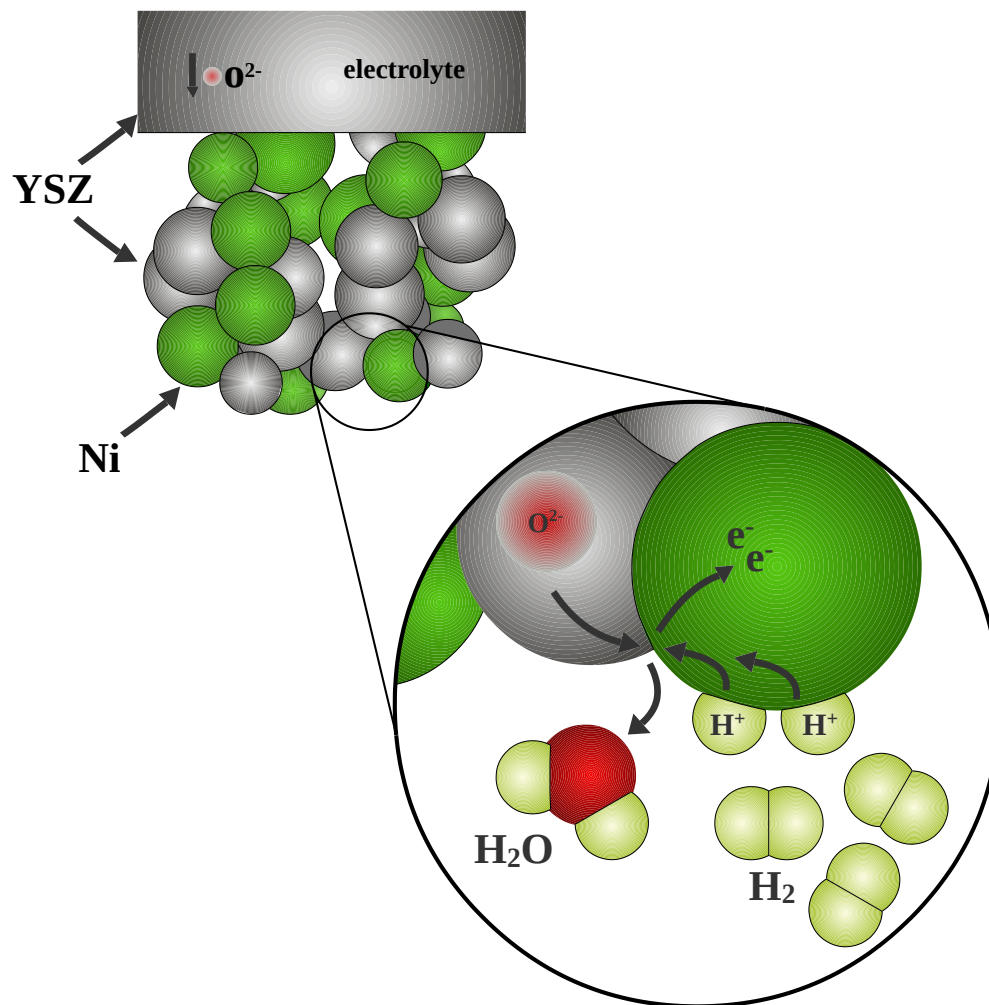
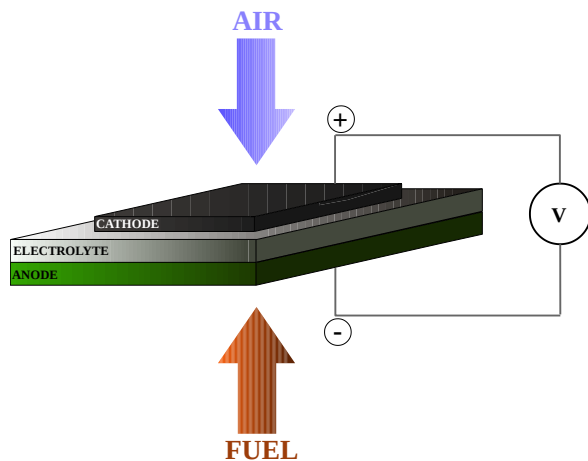
•  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$  (YSZ) 800-1000°C



- Possibilità di operare direttamente con idrocarburi
- Tolleranza al monossido di carbonio
- Minore sensibilità alle impurezze contenute nei gas
- Costo relativamente basso delle materie prime



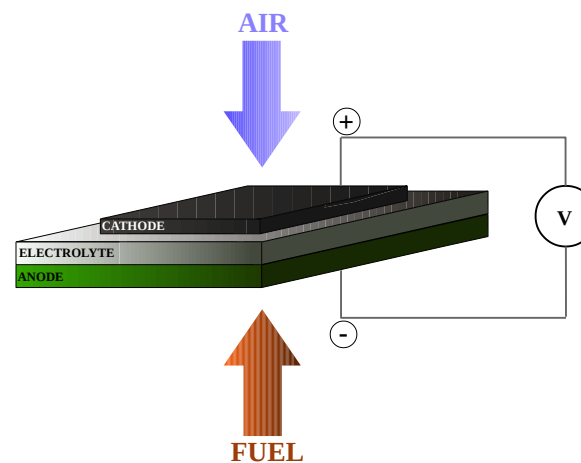
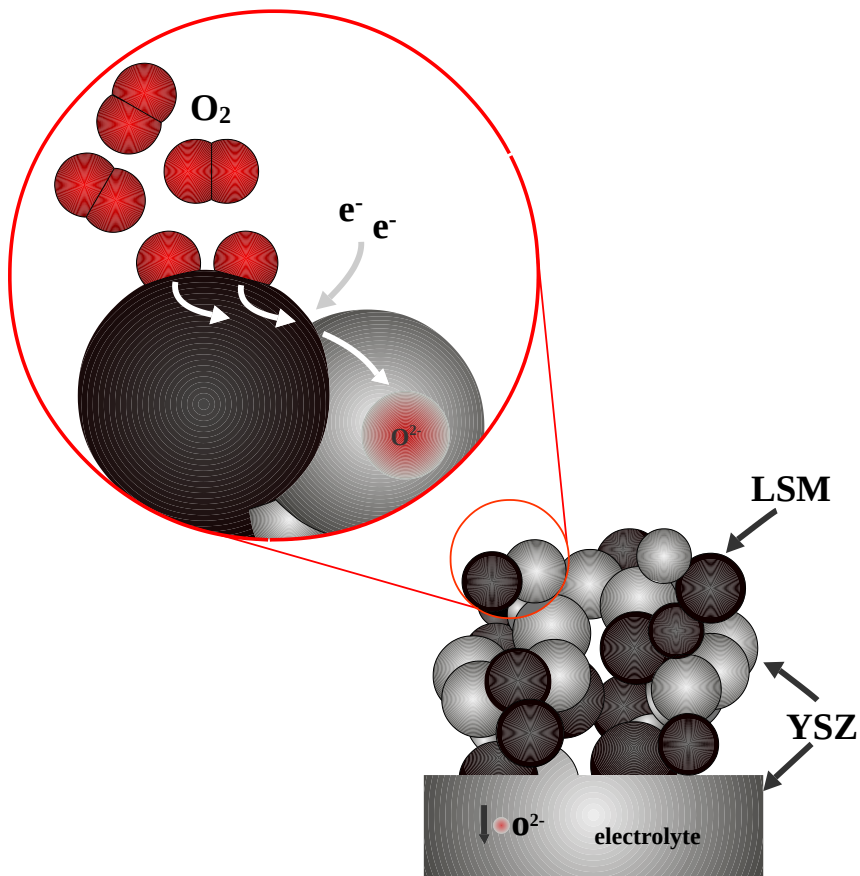
# CELLE PER ALTE TEMPERATURE (Celle a combustibile ad Ossidi Solidi)







# CELLE PER ALTE TEMPERATURE (Celle a combustibile ad Ossidi Solidi)





# CELLE A COMBUSTIBILE PER APPLICAZIONI STAZIONARIE

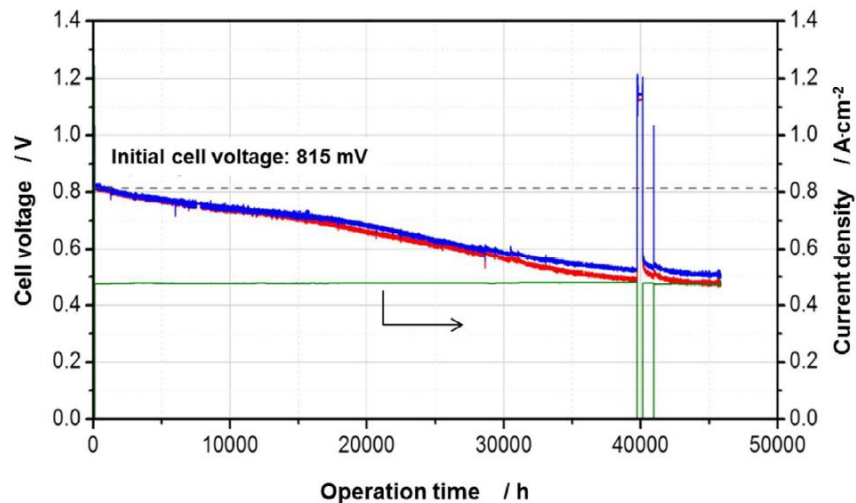


ENGEN®: Sistema di co-generazione per uso domestico

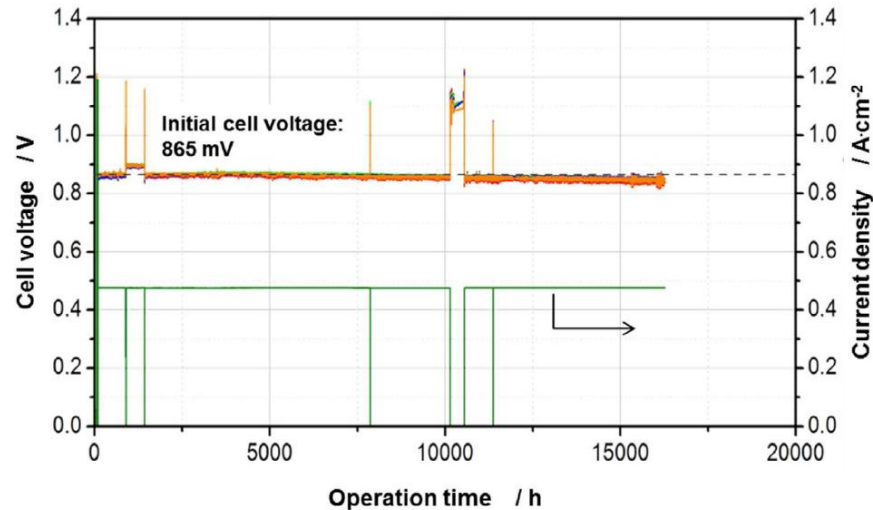
- Alimentazione con gas naturale
- Generazione di energia elettrica e riscaldamento



# DURABILITA' DELLE CELLE AD OSSIDI SOLIDI (Celle a combustibile ad Ossidi Solidi)



Degrado inferiore all'1%/1000h dimostrato fino a 45000 ore su tecnologie consolidate



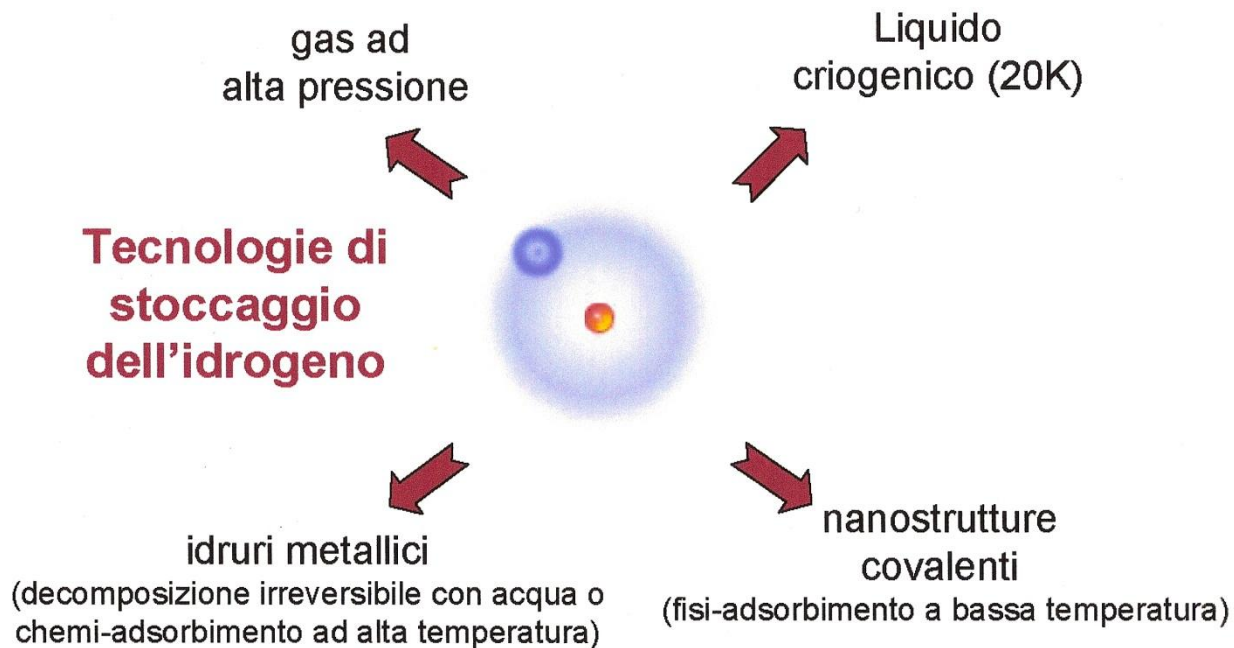
Degrado inferiore a 0.1%/1000h già dimostrato fino a 15000 ore con pile costituite da materiali innovativi



- Emissioni di gas serra ridotte del 62% rispetto ad un motore diesel se si utilizza idrogeno proveniente da idrocarburi
- Emissioni **ZERO** per idrogeno prodotto da fonti rinnovabili

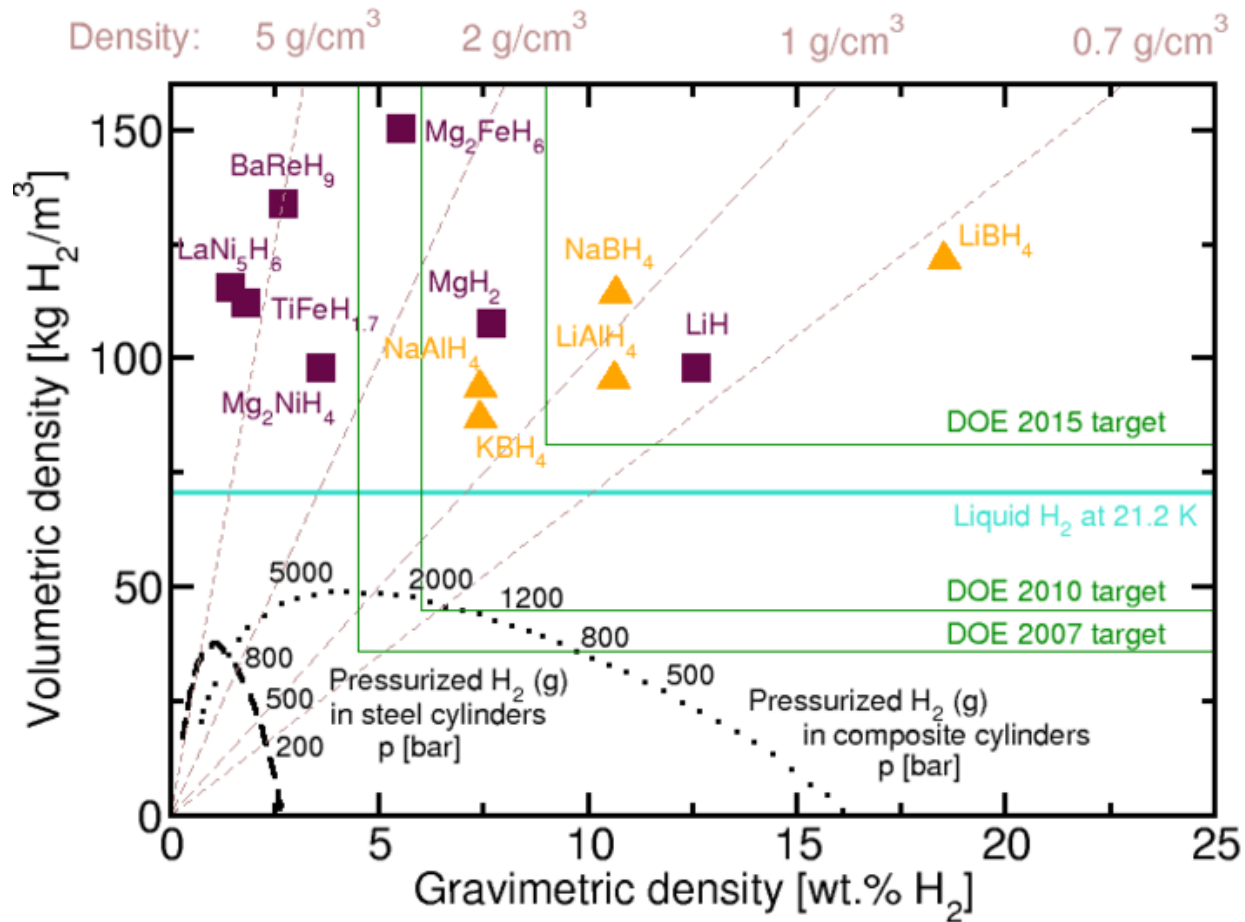


# STOCCAGGIO DELL'IDROGENO



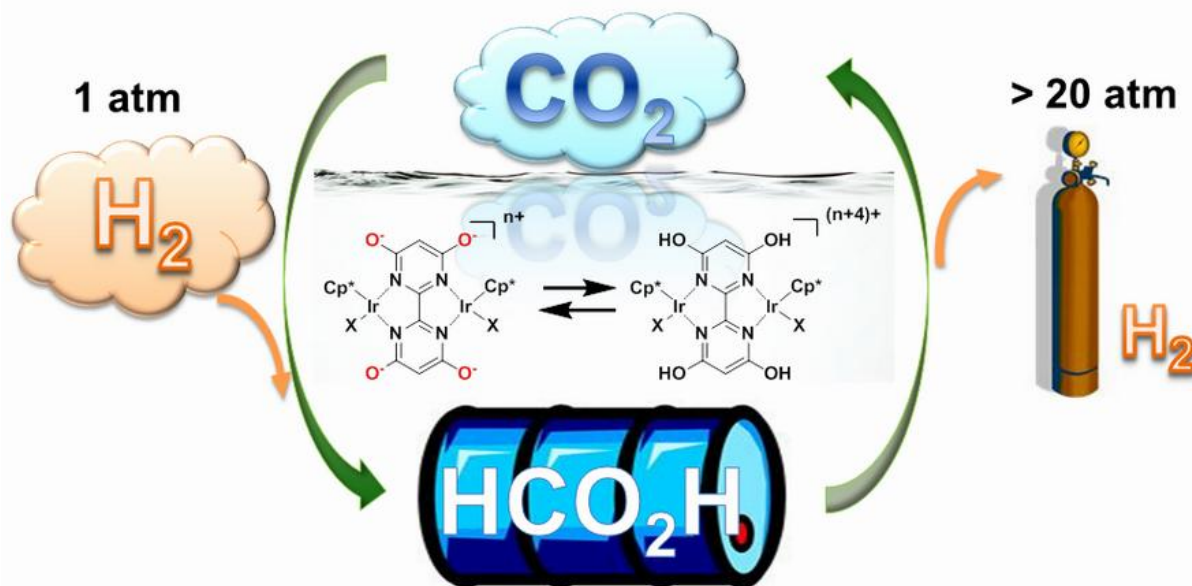


| Tecnologie di stoccaggio dell'idrogeno | Vantaggi                                                                                                                                                              | Inconvenienti                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Bombole di gas compresso:</i>       | Tecnologia ben nota fino a pressioni di 200 bar; ampia disponibilità; può avere costi ridotti                                                                         | Solo piccole quantità di H <sub>2</sub> possono essere stoccate a 200 bar; le capacità ad alta pressione (700 bar) garantiscono un'autonomia paragonabile a quella dell'idrogeno liquido, ma sempre inferiori a quella della benzina e del diesel; lo stoccaggio a pressioni più elevate è ancora in fase di sviluppo |
| <i>Idrogeno liquefatto:</i>            | Tecnologia ben nota; buona densità di accumulo possibile                                                                                                              | Le temperature estremamente basse richiedono un super-isolamento; costo a volte elevato; una parte dell'idrogeno si perde per evaporazione; produzione ad alta intensità di energia; la capacità dell'energia immagazzinata ancora non comparabile a quella dei combustibili fossili                                  |
| <i>Idruri metallici:</i>               | Tecnologia parzialmente a punto; stoccaggio allo stato solido, sotto diverse forme; gli effetti termici possono essere utilizzati nei sottosistemi; elevata sicurezza | Peso eccessivo, rischi di degradazione col tempo; attualmente tecnologia costosa; il rifornimento richiede circuiti di raffreddamento                                                                                                                                                                                 |
| <i>Idruri chimici:</i>                 | Reazioni della formazione di idruro reversibile ben note (ad es. NaBH <sub>4</sub> ); ingombro minimo                                                                 | Difficoltà legate al trattamento dei prodotti di rifiuto e ai requisiti dell'infrastruttura necessaria                                                                                                                                                                                                                |
| <i>Strutture al carbonio:</i>          | Densità di accumulo può essere elevata; leggere; costi possono essere ridotti                                                                                         | Tecnologia non ancora ben conosciuta; le promesse iniziali non ancora realizzate                                                                                                                                                                                                                                      |

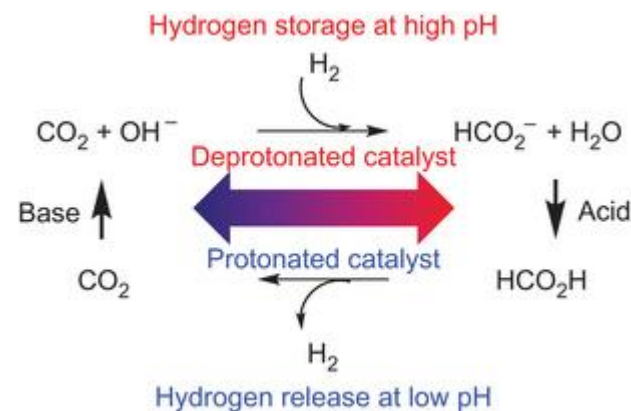


- Attuale autonomia con idrogeno compresso: ca. 200 km/pieno
- Target autonomia: ca. 500 km/pieno



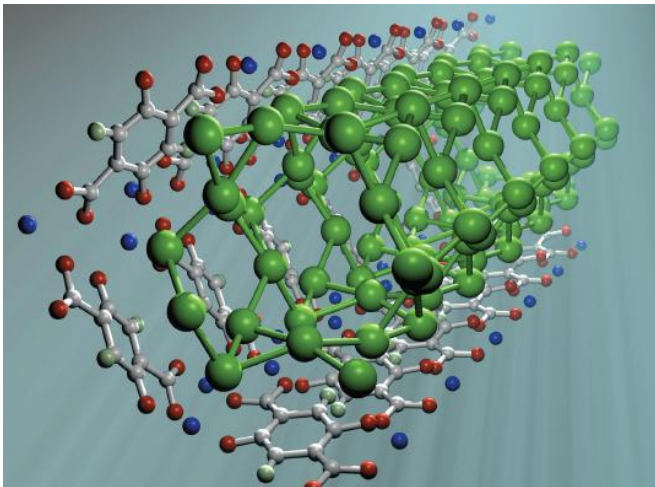


- Mediante un catalizzatore, l'idrogeno reagisce con il biossido di carbonio formando acido formico
- L'acido formico può essere trasportato come un liquido e riconvertito in Idrogeno quando necessario.

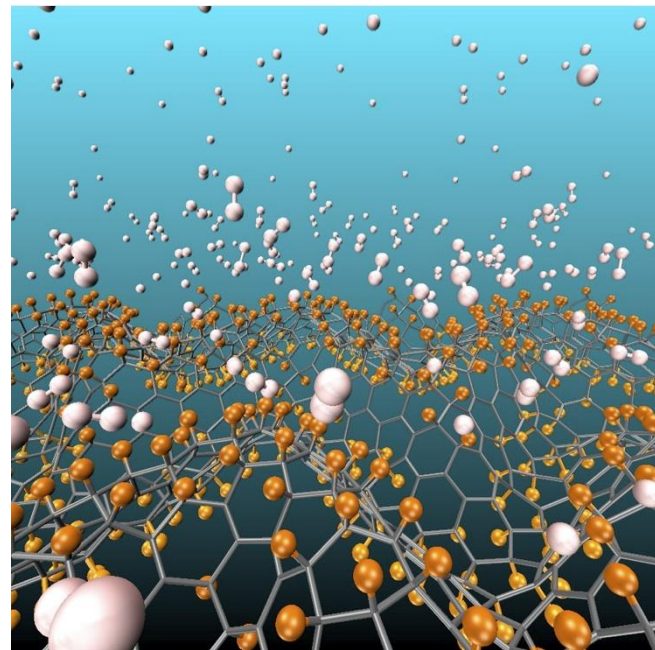


*Nature Chemistry*, March 18, 2012





**MOFs (Metal-Organic Frameworks)**



**Grafene**





# DA COSA SONO COMPOSTE LE CELLE A COMBUSTIBILE

Key:

element name  
atomic number  
**symbol**  
atomic weight (mean relative mass)

|                                |                                 |                                |                                  |                                     |                                 |                                  |                                 |                               |                                  |                                    |                                  |                                |                                    |                                |                                 |                               |                               |                                 |                               |                                 |                             |                                |                             |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| hydrogen<br>1<br>H<br>1.0079   |                                 |                                |                                  |                                     |                                 |                                  |                                 |                               |                                  |                                    |                                  |                                |                                    |                                |                                 |                               | helium<br>2<br>He<br>4.0026   |                                 |                               |                                 |                             |                                |                             |
| lithium<br>3<br>Li<br>6.941    | beryllium<br>4<br>Be<br>9.0122  |                                |                                  |                                     |                                 |                                  |                                 |                               |                                  |                                    |                                  |                                |                                    |                                |                                 |                               |                               | boron<br>5<br>B<br>10.811       | carbon<br>6<br>C<br>12.011    | nitrogen<br>7<br>N<br>14.007    | oxygen<br>8<br>O<br>15.999  | fluorine<br>9<br>F<br>18.998   | neon<br>10<br>Ne<br>20.180  |
| sodium<br>11<br>Na<br>22.990   | magnesium<br>12<br>Mg<br>24.305 |                                |                                  |                                     |                                 |                                  |                                 |                               |                                  |                                    |                                  |                                |                                    |                                |                                 |                               |                               | aluminium<br>13<br>Al<br>26.982 | silicon<br>14<br>Si<br>28.086 | phosphorus<br>15<br>P<br>30.974 | sulfur<br>16<br>S<br>32.065 | chlorine<br>17<br>Cl<br>35.453 | argon<br>18<br>Ar<br>39.948 |
| potassium<br>19<br>K<br>39.098 | calcium<br>20<br>Ca<br>40.078   | scandium<br>21<br>Sc<br>44.956 | titanium<br>22<br>Ti<br>47.867   | vanadium<br>23<br>V<br>50.942       | chromium<br>24<br>Cr<br>51.996  | manganese<br>25<br>Mn<br>54.938  | iron<br>26<br>Fe<br>55.845      | cobalt<br>27<br>Co<br>58.933  | nickel<br>28<br>Ni<br>58.693     | copper<br>29<br>Cu<br>63.546       | zinc<br>30<br>Zn<br>65.39        | gallium<br>31<br>Ga<br>69.723  | germanium<br>32<br>Ge<br>72.61     | arsenic<br>33<br>As<br>74.922  | selenium<br>34<br>Se<br>78.96   | bromine<br>35<br>Br<br>79.904 | krypton<br>36<br>Kr<br>83.80  |                                 |                               |                                 |                             |                                |                             |
| rubidium<br>37<br>Rb<br>85.468 | strontium<br>38<br>Sr<br>87.62  | yttrium<br>39<br>Y<br>88.906   | zirconium<br>40<br>Zr<br>91.224  | niobium<br>41<br>Nb<br>92.906       | molybdenum<br>42<br>Mo<br>95.94 | technetium<br>43<br>Tc<br>[98]   | ruthenium<br>44<br>Ru<br>101.07 | rhodium<br>45<br>Rh<br>102.91 | palladium<br>46<br>Pd<br>106.42  | silver<br>47<br>Ag<br>107.87       | cadmium<br>48<br>Cd<br>112.41    | indium<br>49<br>In<br>114.82   | tin<br>50<br>Sn<br>118.71          | antimony<br>51<br>Sb<br>121.76 | tellurium<br>52<br>Te<br>127.60 | iodine<br>53<br>I<br>126.90   | xenon<br>54<br>Xe<br>131.29   |                                 |                               |                                 |                             |                                |                             |
| caesium<br>55<br>Cs<br>132.91  | barium<br>56<br>Ba<br>137.33    | 57-70<br>*                     | lutetium<br>71<br>Lu<br>174.97   | hafnium<br>72<br>Hf<br>178.49       | tantalum<br>73<br>Ta<br>180.95  | tungsten<br>74<br>W<br>183.84    | rhenium<br>75<br>Re<br>186.21   | osmium<br>76<br>Os<br>190.23  | iridium<br>77<br>Ir<br>192.22    | platinum<br>78<br>Pt<br>195.08     | gold<br>79<br>Au<br>196.97       | mercury<br>80<br>Hg<br>200.59  | thallium<br>81<br>Tl<br>204.38     | lead<br>82<br>Pb<br>207.2      | bismuth<br>83<br>Bi<br>208.98   | polonium<br>84<br>Po<br>[209] | astatine<br>85<br>At<br>[210] | radon<br>86<br>Rn<br>[222]      |                               |                                 |                             |                                |                             |
| francium<br>87<br>Fr<br>[223]  | radium<br>88<br>Ra<br>[226]     | 89-102<br>**                   | lawrencium<br>103<br>Lr<br>[262] | rutherfordium<br>104<br>Rf<br>[261] | dubnium<br>105<br>Db<br>[262]   | seaborgium<br>106<br>Sg<br>[266] | bohrium<br>107<br>Bh<br>[264]   | hassium<br>108<br>Hs<br>[269] | meitnerium<br>109<br>Mt<br>[268] | ununnillium<br>110<br>Uun<br>[271] | unununium<br>111<br>Uuu<br>[272] | unubium<br>112<br>Uub<br>[277] | ununquadium<br>114<br>Uuq<br>[289] |                                |                                 |                               |                               |                                 |                               |                                 |                             |                                |                             |

Key:

element name

atomic number

symbol

atomic weight (mean relative mass)

|                                        |                                      |                                           |                                        |                                        |                                       |                                       |                                         |                                       |                                         |                                         |                                      |                                          |                                        |
|----------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|
| lanthanum<br>57<br><b>La</b><br>138.91 | cerium<br>58<br><b>Ce</b><br>140.12  | praseodymium<br>59<br><b>Pr</b><br>140.91 | neodymium<br>60<br><b>Nd</b><br>144.24 | promethium<br>61<br><b>Pm</b><br>[145] | samarium<br>62<br><b>Sm</b><br>150.36 | europium<br>63<br><b>Eu</b><br>151.96 | gadolinium<br>64<br><b>Gd</b><br>157.25 | terbium<br>65<br><b>Tb</b><br>158.93  | dysprosium<br>66<br><b>Dy</b><br>162.50 | holmium<br>67<br><b>Ho</b><br>164.93    | erbium<br>68<br><b>Er</b><br>167.26  | thulium<br>69<br><b>Tm</b><br>168.93     | ytterbium<br>70<br><b>Yb</b><br>173.04 |
| actinium<br>89<br><b>Ac</b><br>[227]   | thorium<br>90<br><b>Th</b><br>232.04 | protactinium<br>91<br><b>Pa</b><br>231.04 | uranium<br>92<br><b>U</b><br>238.03    | neptunium<br>93<br><b>Np</b><br>[237]  | plutonium<br>94<br><b>Pu</b><br>[244] | americium<br>95<br><b>Am</b><br>[243] | curium<br>96<br><b>Cm</b><br>[247]      | berkelium<br>97<br><b>Bk</b><br>[247] | californium<br>98<br><b>Cf</b><br>[251] | einsteinium<br>99<br><b>Es</b><br>[252] | fermium<br>100<br><b>Fm</b><br>[257] | mendelevium<br>101<br><b>Md</b><br>[258] | nobelium<br>102<br><b>No</b><br>[259]  |

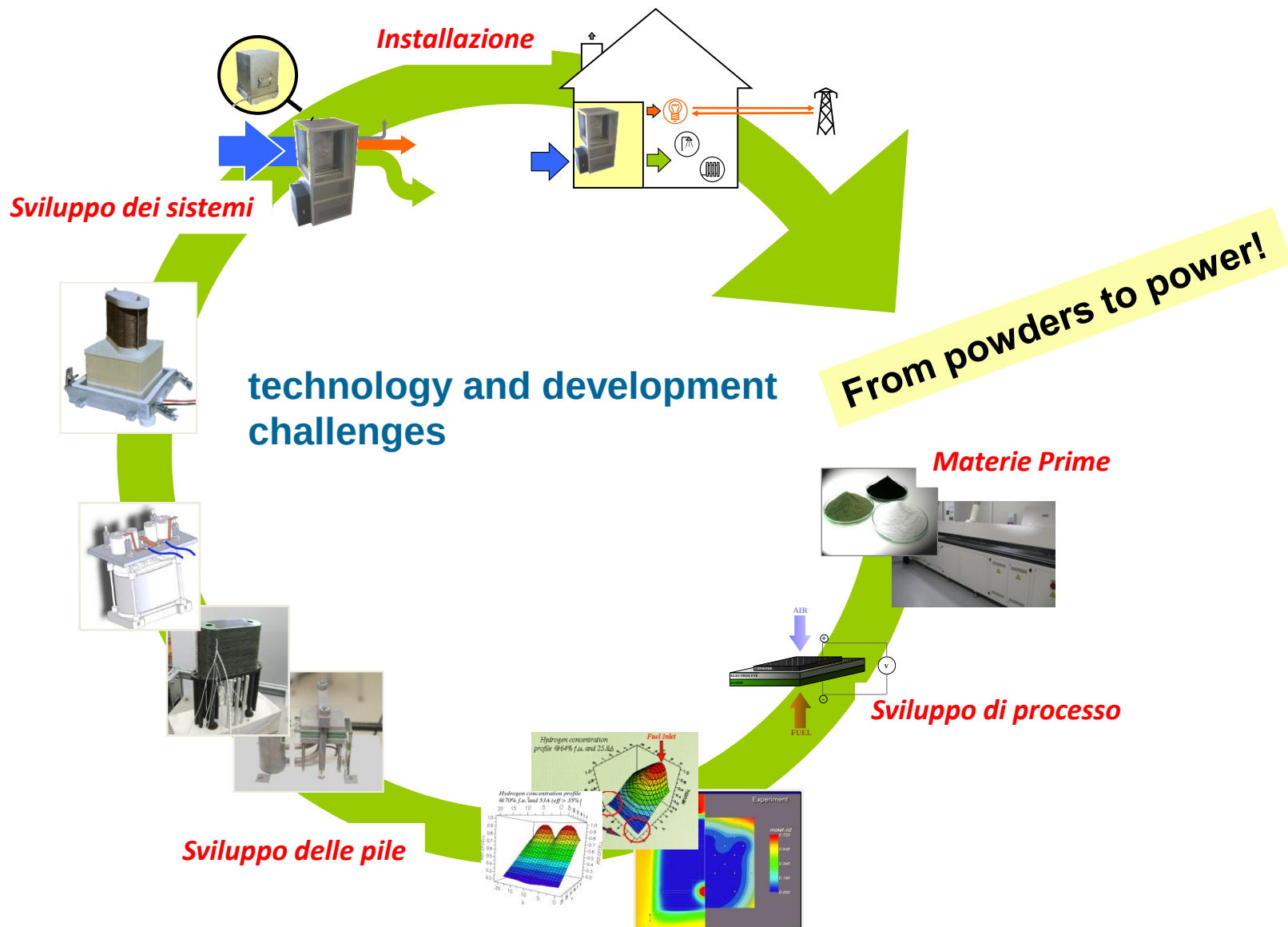
\*lanthanoids

\*\*actinoids



ORDINE DEI CHIMICI  
TRENTINO - ALTO ADIGE

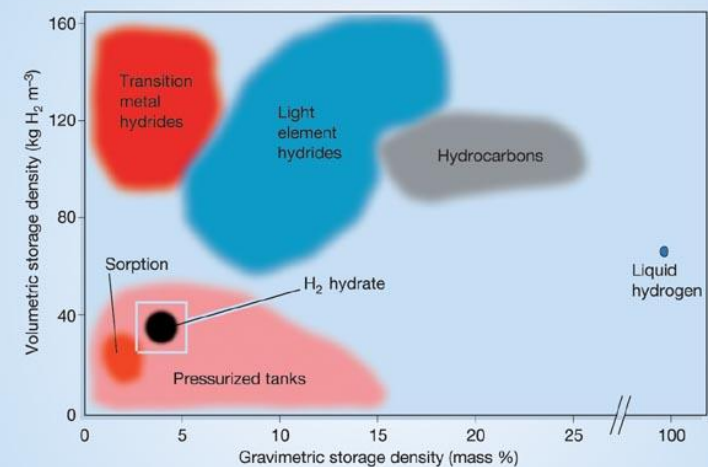
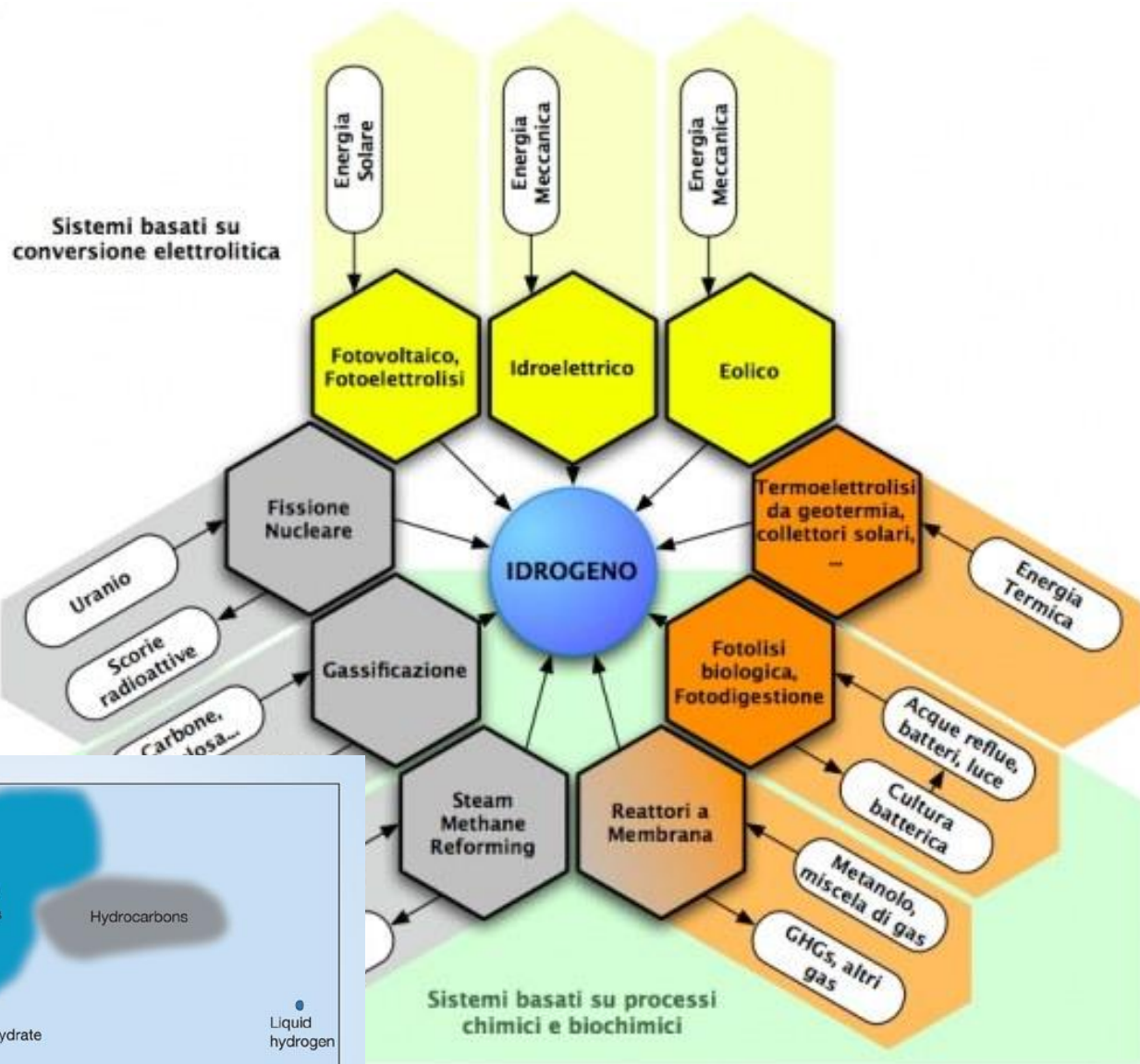
# COME SI SVILUPPA UN SISTEMA DI MICROCOGENERAZIONE



INNOVATION  
FESTIVAL  
BOLZANO-BOZEN  
26-28.09.2013

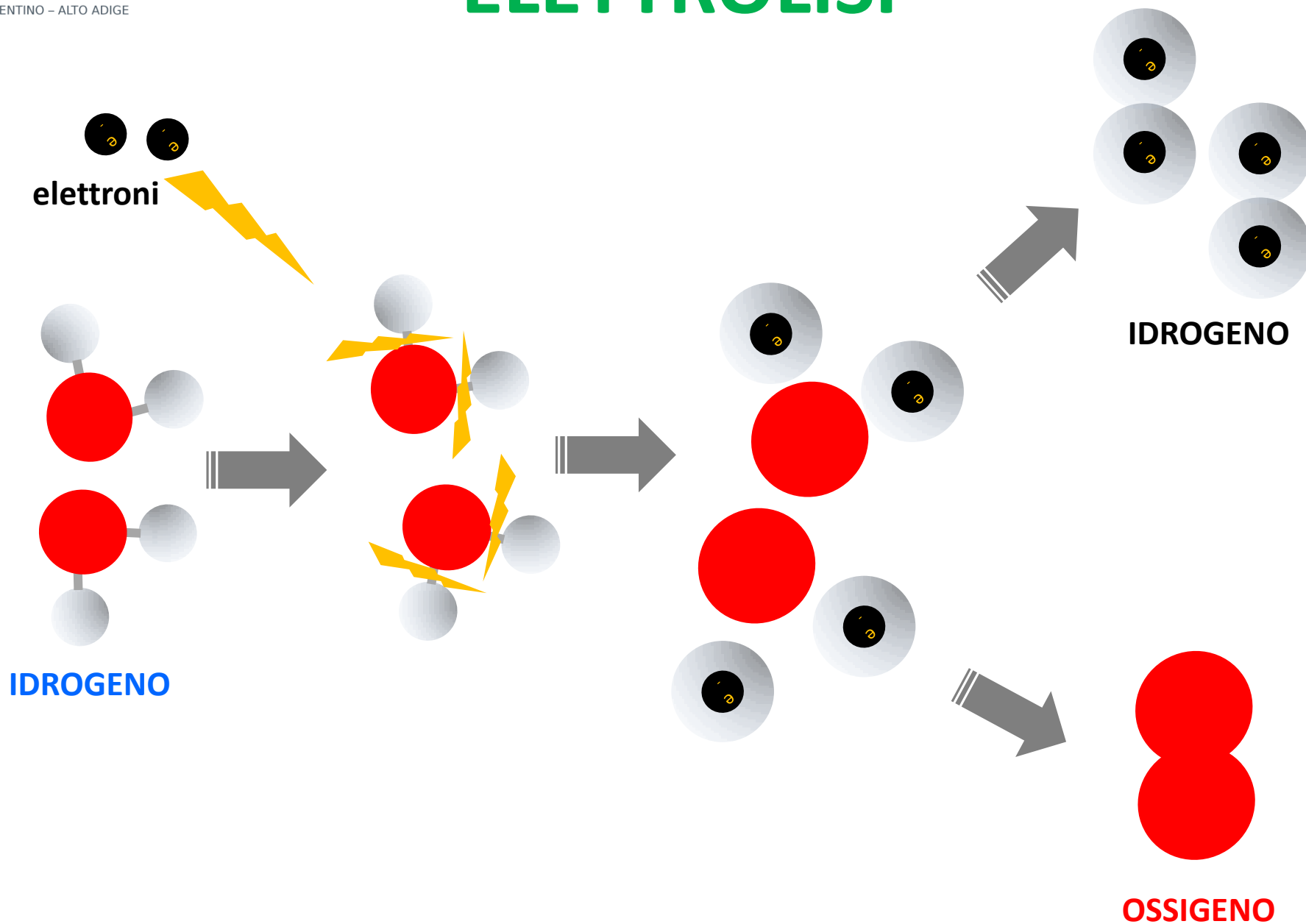


# GRAZIE PER L'ATTENZIONE



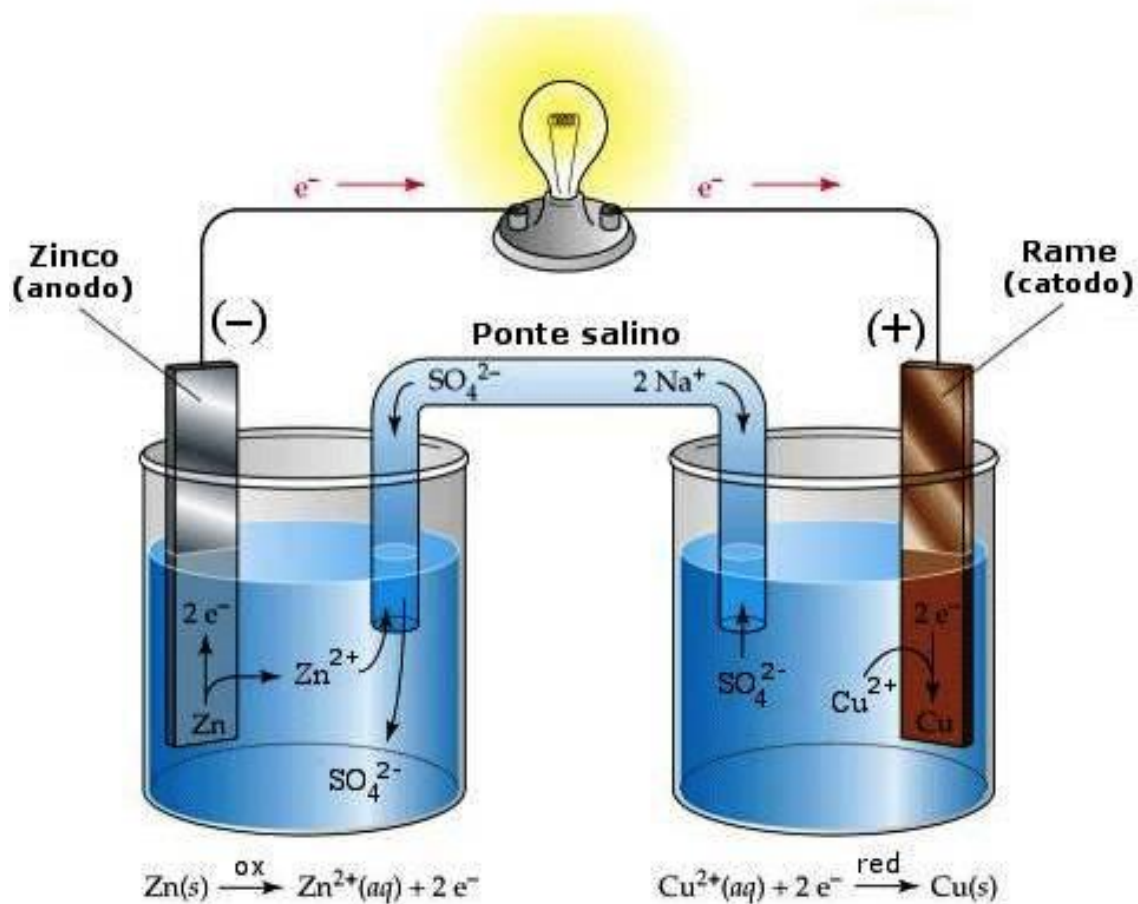


# ELETTROLISI

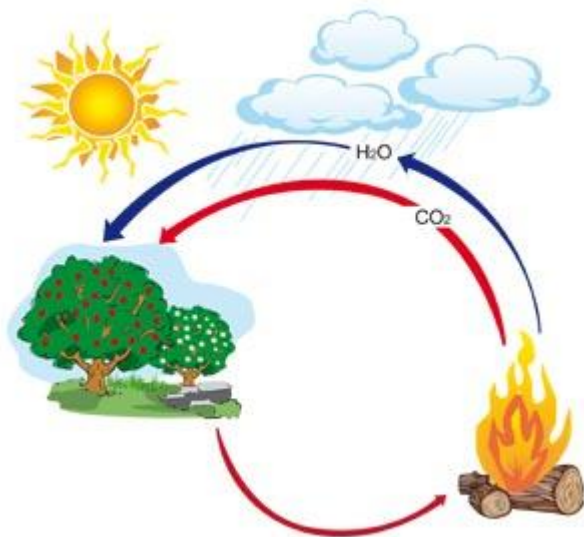




# COME FUNZIONA UNA PILA DANIEL?







IONE DI 1 KG DI IDROGENO  
PER ELETTROLISI



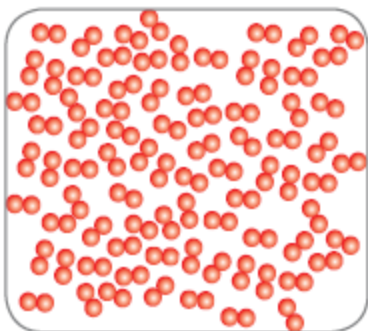
$H_2$   
 $12.136 \text{ m}^3 = 1 \text{ kg}$

$O_2$   
 $6.068 \text{ m}^3$

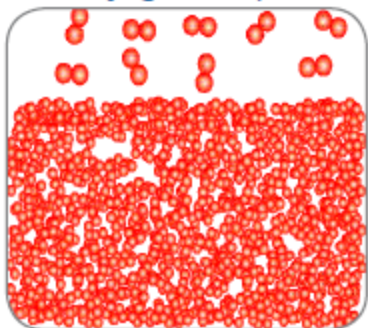
## Hydrogen can be stored in different forms

### In tanks...

#### Compressed Gas



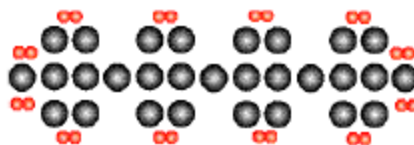
#### Cryogenic Liquid



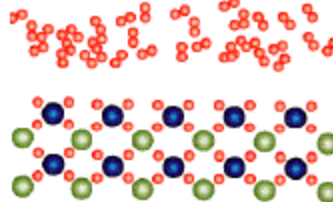
### And in materials...

Hydrogen can be stored on the surfaces of solids (by adsorption) or within solids (by absorption). In adsorption (A), hydrogen attaches to the surface of a material either as hydrogen molecules ( $H_2$ ) or hydrogen atoms (H). In absorption (B), hydrogen molecules dissociate into hydrogen atoms that are incorporated into the solid lattice framework – this method may make it possible to store larger quantities of hydrogen in smaller volumes at low pressure and at temperatures close to room temperature. Finally, hydrogen can be strongly bound within molecular structures, as chemical compounds containing hydrogen atoms (C, D). Density increases from A to D.

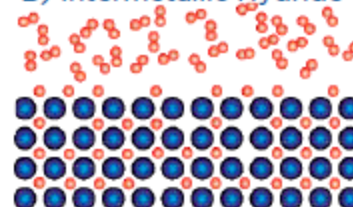
#### A) Surface Adsorption



#### C) Complex Hydride



#### B) Intermetallic Hydride



#### D) Chemical Hydride

