

Cenni storici

La tecnologia delle celle a combustibile nasce nel 1839, quando l'avvocato e fisico gallese Sir William Robert Grove (1811-1896) costruì il primo prototipo funzionante composto da due elettrodi di platino, ciascuno racchiuso in un cilindro di vetro; nel primo cilindro era contenuto idrogeno e nel secondo ossigeno. Ambedue gli elettrodi erano immersi in acido solforico diluito, che fungeva da elettrolita e stabiliva un contatto elettrico.

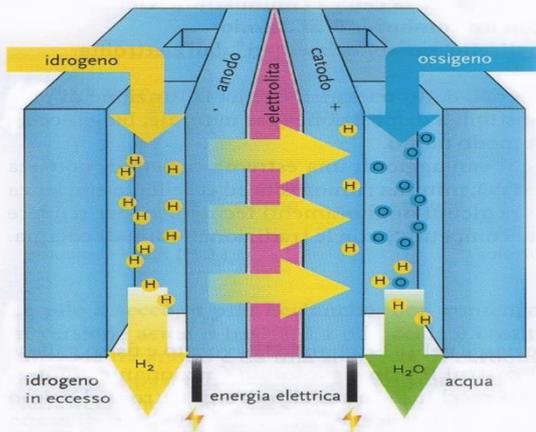
Ogni coppia di elettrodi forniva una tensione molto esigua, e Grove ne combinò alcune in serie per ottenerne una maggiore.

La scoperta non fu comunque considerata degna di nota, e venne ripresa solo negli anni cinquanta del ventesimo secolo, quando la tecnica spaziale e militare impose la necessità di usare fonti energetiche compatte ed efficienti: sia i veicoli spaziali sia i sottomarini, infatti, necessitano di energia elettrica ma non consentono l'uso di motori a combustione interna per la generazione di energia. Inoltre, essendo le classiche batterie troppo pesanti per le applicazioni spaziali, la NASA scelse di utilizzare le celle a combustibile per la trasformazione dell'energia chimica in energia elettrica.

Funzionamento

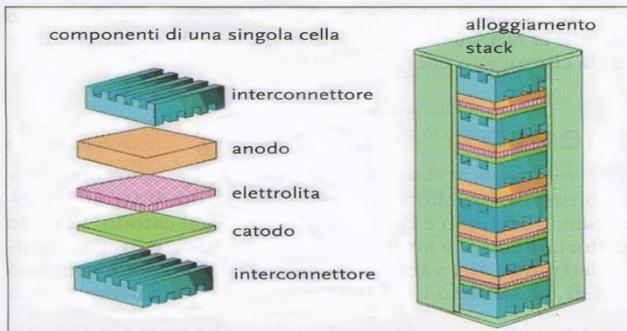
La struttura di una cella a combustibile è molto semplice: è composta di tre strati sovrapposti. Il primo strato è l'anodo, il secondo è l'elettrolita e il terzo il catodo. L'anodo e il catodo servono da catalizzatori, mentre lo strato intermedio consiste in una struttura di supporto che assorbe l'elettrolita. Nei vari tipi di celle a combustibile vengono usati differenti elettroliti: alcuni di questi sono liquidi, altri solidi e altri ancora hanno struttura membranosa.

Figura 11.3 – Schema di funzionamento di una cella a combustibile.



Come già detto, la singola cella genera una tensione ai suoi capi molto bassa, e quindi, per ottenere tensioni maggiori, si rende necessario un collegamento in serie di più celle. Una pila di questo genere è chiamata "stack".

Figura 11.4 – I componenti di una cella e stack.



Il processo all'interno della cella

Il processo che si svolge in una cella a combustibile è l'inverso di quello dell'elettrolisi: nell'elettrolisi l'acqua, con l'impiego di energia elettrica, viene decomposta nei suoi componenti gassosi, idrogeno (H_2) e ossigeno (O).

Nella cella a combustibile questo processo avviene in modo inverso: i due componenti si uniscono producendo acqua ed energia elettrica.

La quantità di energia elettrica generata è, in teoria, identica a quella che verrebbe impiegata per il processo di elettrolisi. Nella pratica ciò non è vero perché parte dell'energia viene dispersa in altri processi chimico-fisici di minore rilevanza che avvengono contemporaneamente. Ne deriva che l'energia elettrica generata è inferiore a quella stimabile teoricamente.

Si può dire, quindi, che è come se nell'idrogeno fosse immagazzinata energia elettrica o, in altre parole, che l'idrogeno è un gas che consente l'accumulo di energia elettrica che può essere liberata con l'uso di una cella a combustibile.

Nel processo di ricomposizione dell'acqua si usa normalmente l'aria e non l'ossigeno puro che, pertanto, non deve essere immagazzinato.

Per descrivere meglio il funzionamento, prendiamo come esempio uno dei vari tipi di celle esistenti. Verrà presa in considerazione la cella a combustibile PEM (Polymer-Electrolyte-Membrane – membrana elettrolitica polimerica).

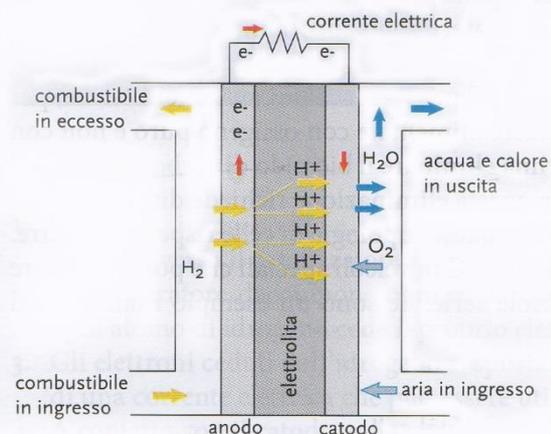
Le celle a combustibile a membrana elettrolitica polimerica PEM

Riprendiamo l'esempio fatto in precedenza per fornire ulteriori dettagli sulle celle a elettrolita polimerico. Si tratta di fuel cell che operano a bassa temperatura ($80^{\circ}\text{-}100^{\circ}\text{C}$), con elettrolita allo stato solido; collegando le celle in stack, si possono raggiungere i 250 kW di potenza, con rendimenti tra il 60% e l'80%.

Il materiale che compone la membrana elettrolitica è il Nafion, un polimero derivato dal Teflon: ha una struttura porosa, ma a bassa conduttività, perciò permette il passaggio dei protoni ma non degli elettroni, creando un isolamento elettrico. La membrana, per funzionare correttamente, deve essere impregnata di una precisa quantità d'acqua: durante il funzionamento della cella è necessario controllare attentamente l'apporto di liquido, umidificando sia l'idrogeno sia l'aria introdotti ed evitando di immettere troppa acqua onde evitare di "annegare" la membrana.

Il catalizzatore utilizzato è il Platino, che viene depositato tra gli elettrodi porosi, o, in alternativa, sulla faccia esterna della membrana.

Figura 11.8 – Schema di funzionamento della fuel cell PEM.

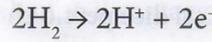


Funzionamento

1. I due gas, ossigeno e idrogeno, tenuti separati in due circuiti, migrano dal serbatoio al catalizzatore.
2. Le molecole d'idrogeno (H_2) vengono scomposte dal catalizzatore in protoni H^+ : ogni atomo cede perciò un elettrone – due elettroni per ogni molecola di idrogeno (vedi reazione all'anodo).
3. La membrana di Nafion permette il passaggio dei protoni, che raggiungono il catodo.
4. Gli elettroni, entrando nell'anodo, generano corrente elettrica.
5. Gli elettroni passano al catodo tramite il circuito elettrico e si ricombinano con una molecola di ossigeno, formando degli ioni con carica negativa. Tali ioni negativi mi-

grano verso i protoni (cariche positive) e, cedendo le cariche negative ai protoni stessi, reagiscono formando acqua (vedi reazione al catodo).

Le reazioni all'anodo sono:



Al catodo, invece:

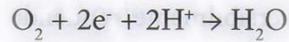
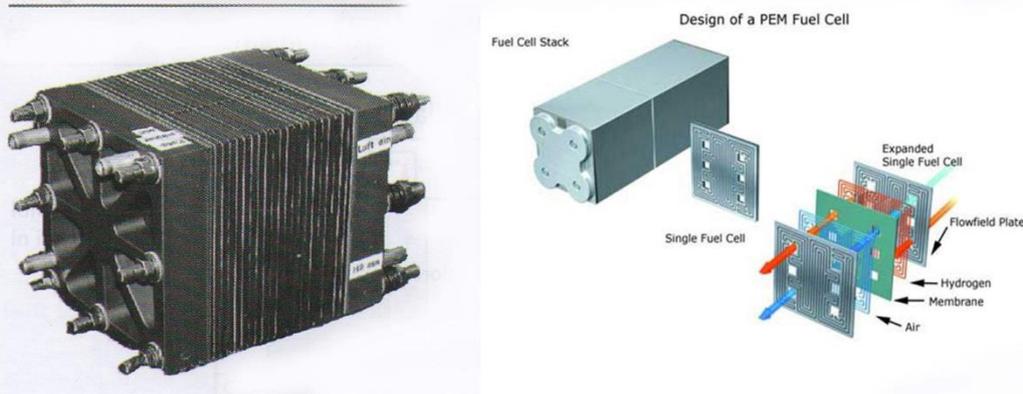


Figura 11.9 – Stack di celle PEM.



La cella PEM è di applicazione sicuramente più facile rispetto al tipo alcalino: è più leggera e per funzionare può utilizzare l'ossigeno contenuto nell'aria (che viene usata quindi come comburente) e l'idrogeno che può essere ottenuto tramite reforming. Va prestata attenzione al monossido di carbonio, che può bloccare la catalizzazione sull'anodo riducendo le prestazioni, che generalmente sono buone e facilmente regolabili, tanto da rendere la cella PEM adatta ad applicazioni mobili.

Figura 11.10 – Schema della Classe A Mercedes alimentata con celle a combustibile.

