

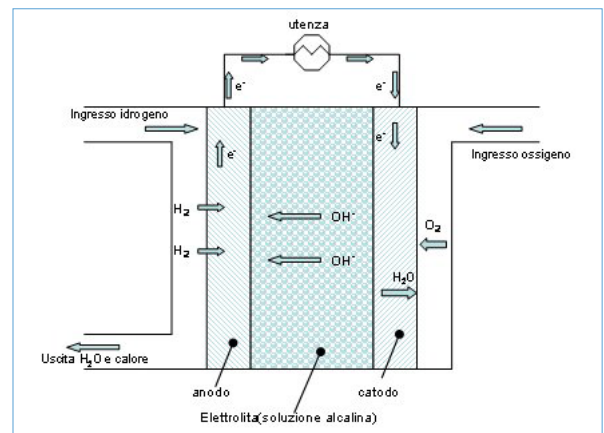
Tipologie di celle a combustibile

AFC

AFC sta per Alkaline Fuel Cell, cella a combustibile alcalina (FIGURA 1).

Escludendo i prototipi di Grove, è il tipo più antico di cella combustibile, e trova ancora oggi impiego nella tecnologia spaziale e nei motori di sottomarini. I due elettrodi sono separati da una soluzione alcalina (idrossido di potassio KOH).

Questo tipo di cella richiede l'utilizzo di idrogeno e ossigeno puri, perché la più piccola impurità può distruggere la cella, quindi non è adatta per un uso normale; se per esempio la soluzione venisse in contatto col biossido di carbonio (CO_2) presente nell'aria, si formerebbe carbonato di potassio K_2CO_3 , l'elettrolita sarebbe «avvelenato» e la cella danneggiata irreparabilmente; la necessaria purezza dei gas rende il sistema molto costoso.



1 AFC

Funzionamento

- All'anodo ogni molecola di idrogeno, grazie al catalizzatore, si decompone in due atomi H^+ (protoni), cedendo due elettroni; considerando due molecole: $2 \cdot \text{H}_2 = 4 \cdot \text{H}^+ + 4 \cdot e^-$.
- Gli elettroni prodotti attraversano un circuito di utilizzo esterno, vanno al catodo, e riducono l'ossigeno lì presente secondo la reazione: $\text{O}_2 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 4 \cdot e^- \Rightarrow 4 \cdot \text{OH}^-$, producendo ioni di idrossido.
- Gli ioni di idrossido attraversano l'elettrolita e migrano verso l'anodo, dove si combinano con gli atomi H^+ : $4 \cdot \text{H}^+ + 4 \cdot \text{OH}^- \Rightarrow 4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Una parte dell'acqua ritorna al catodo dove è disponibile per la successiva reazione.

Applicazioni

Senza le celle a combustibile alcaline, i viaggi spaziali con equipaggio umano non sarebbero stati possibili. Sia nella missione Apollo e nel programma Apollo-Soyuz, sia nello Skylab e negli Space shuttle sono stati, e sono ancora in uso, celle a combustibile alcaline.

Attualmente sono in fase di sviluppo delle AFC per applicazioni in automobili, ma il dover essere alimentate con ossigeno puro e non con l'aria è uno svantaggio quasi incolmabile. Volendo usare l'aria si deve infatti prima eliminare il biossido di carbonio (CO_2) che, come si è detto sopra, «avvelena» l'elettrolita e questa eliminazione richiede dispositivi tecnici supplementari.

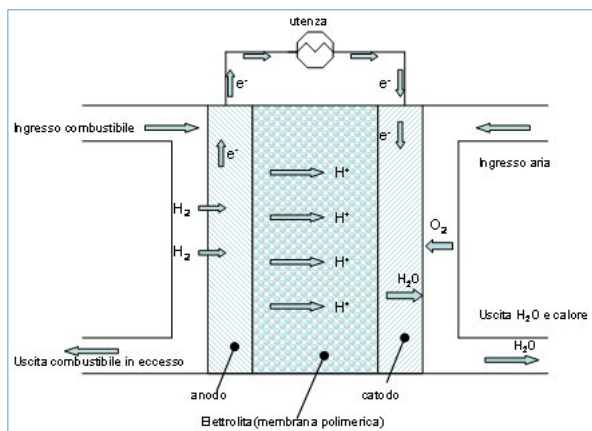
PEMFC

PEMFC sta per Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (cella combustibile con elettrolita a membrana polimerica); la cella è rappresentata in FIGURA 2.

Quando l'anodo è immerso nell'idrogeno (H_2) e il catodo nell'ossigeno (O_2) si svolge il seguente processo: una molecola d'idrogeno si decompone in due atomi d'idrogeno con la liberazione di elettroni (e^-): $2 \cdot H_2 \Rightarrow 4 \cdot H^+ + 4 \cdot e^-$.

Gli ioni di idrogeno formati migrano attraverso l'elettrolita al catodo, si combinano con l'ossigeno e formano acqua: $4 \cdot H^+ + 4 \cdot e^- + O_2 \Rightarrow 2 \cdot H_2O$ **1**.

Per formare l'acqua naturalmente occorrono gli elettroni che prima sono stati ceduti all'anodo. L'elettrolita però è un isolatore che non consente agli elettroni di attraversarlo. Collegando i due elettrodi (catodo e anodo) con un conduttore elettrico, gli elettroni lo attraversano e partendo dall'anodo raggiungono il catodo: quindi si genera una corrente elettrica sfruttabile. Questo processo si svolge senza interruzione finché è disponibile una quantità sufficiente di idrogeno e di ossigeno.



2 PEMFC

1 L'acronimo è spesso spiegato anche come «proton exchange membrane fuel cells»; infatti gli ioni H^+ che migrano attraverso la membrana altro non sono che protoni.

Applicazioni

Le celle a combustibile PEM consentono molte applicazioni che vanno dalla telefonia mobile alla cogenerazione, fino ai motori per veicoli. Queste celle vengono oggi sperimentate con successo in molti veicoli speciali: automobili, minibus e bus. Sicuramente in futuro saranno impiegate anche in furgoni e in altri veicoli da piccolo trasporto. Le celle a combustibile PEM si prestano anche per veicoli su rotaie, per esempio tram e treni regionali che, in questo caso, non necessitano delle linee elettriche aeree.

Le celle PEM si prestano soprattutto per l'impiego in impianti di cogenerazione. Sono in fase di sviluppo dei modelli per piccoli edifici residenziali e grandi edifici come, per esempio, ospedali.

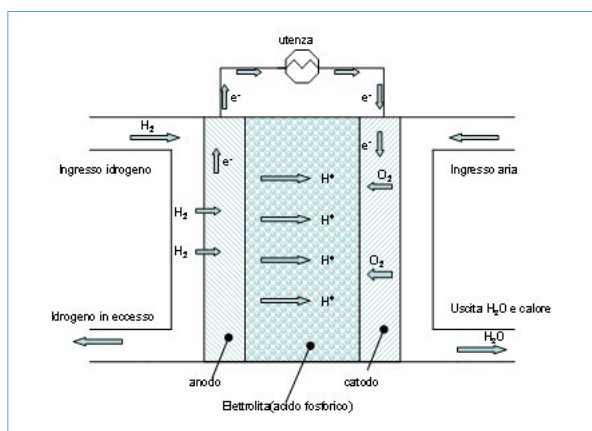
La commercializzazione di queste celle dovrebbe iniziare nei prossimi anni. In questi sistemi l'idrogeno è prodotto, tramite reforming, con l'uso di gas naturale o GPL.

Un altro campo di applicazione delle celle PEM sono gli apparecchi portatili elettrici, per esempio gli elettrodomestici usati in campeggio e utensili elettrici come trapani e tosaerba. Sono stati sviluppati anche i primi sistemi per cellulari e laptop.

PAFC

PAFC sta per Phosphoric Acid Fuel Cell, cella combustibile ad acido fosforico (FIGURA 3).

È il tipo di cella che ha raggiunto la maggiore maturità tecnologica ed economica. Grazie alla sua alta temperatura d'esercizio, essa è ideale per l'applicazione in centrali di cogenerazione. L'elettrolita della cella è l'acido fosforico, altamente concentrato, incorporato in una matrice di gel. I gas reattivi sono l'ossigeno dell'aria e l'idrogeno. Uno svantaggio è che, a temperature sotto i $42^\circ C$, l'acido fosforico cristallizza e questo processo irreversibile rende la cella inutilizzabile. Quindi il funzionamento della cella deve essere continuo, e le temperature operative devono essere alte.



3 PAFC

Funzionamento

- I due gas ossigeno e idrogeno, arrivano separati dal serbatoio ai rispettivi catalizzatori.
- Le molecole d'idrogeno (H_2) vengono decomposte, dal catalizzatore, in due atomi H^+ (protoni) e, in questo processo, ciascuno degli atomi d'idrogeno cede il suo elettrone.
- I protoni attraversano l'elettrolita (acido fosforico ad alta concentrazione) e raggiungono la zona del catodo.
- Gli elettroni migrano dall'anodo al catodo, generando una corrente elettrica sfruttabile da una utenza.
- A contatto con il catodo, si ricombinano sempre quattro elettroni con una molecola di ossigeno.
- Gli ioni che si sono formati hanno una carica negativa e migrano verso i protoni con carica positiva
- Gli ioni di ossigeno cedono le loro due cariche negative a due protoni e reagendo con questi si forma acqua.
- Per una temperatura operativa di 150-200 °C l'acqua che si forma è vapore, eventualmente utilizzabile per riscaldamento

Applicazioni

La cella PAFC, la prima a essere stata commercialmente disponibile, viene usata esclusivamente in impianti di cogenerazione.

È prodotta dalla società americana UTC Power in gruppi con una potenza elettrica di 200 kW e una potenza termica di 220 kW. Nel 2005 erano già installati, in tutto il mondo, circa 300 impianti PAFC. Impianti simili sono in corso di costruzione anche da parte di altre Società [per es. la International Fuel Cells Corporation (USA) e la Fuji Electric Corporation, la Toshiba Corporation, e la Mitsubishi Electric Corporation (Giappone)].

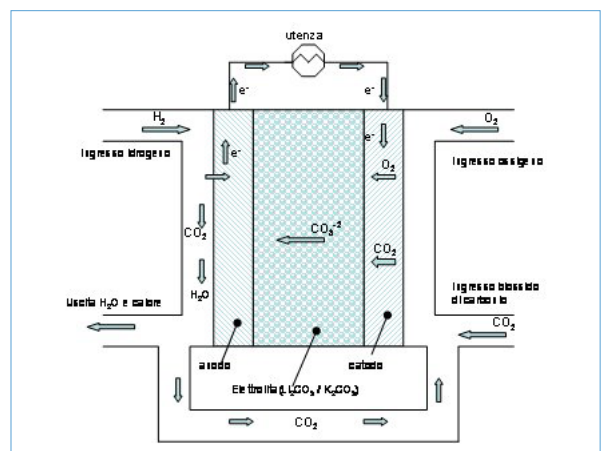
MCFC

MCFC sta per Molten Carbonate Fuel Cell, cella combustibile a carbonati fusi (FIGURA 4).

Lavorano ad alte temperature, tra 580 e 660 °C. Queste celle hanno il vantaggio di non richiedere la preventiva produzione di idrogeno; si possono utilizzare direttamente, grazie alle alte temperature operative, gas naturale, gas di città, biogas e GPL, che vengono convertiti in idrogeno direttamente all'interno della cella, con un processo chiamato reforming interno. Sono inoltre insensibili agli ossidi (monossido e biossido) di carbonio; anzi il biossido CO_2 è parte integrante del processo. Come elettrolita è usata una fusione di carbonati alcalini (Li_2CO_3 / K_2CO_3).

Funzionamento

- I due gas (ossigeno e biossido di carbonio da parte del catodo e idrogeno da parte dell'anodo) vanno al rispettivo catalizzatore (che grazie alle alte temperature in gioco non deve essere necessariamente un metallo prezioso come il platino).
- Le molecole di idrogeno (H_2) vengono decomposte dal catalizzatore in due atomi H^+ (protoni) e, in questo processo, ciascuno degli atomi di idrogeno cede il suo elettrone.
- Gli elettroni migrano dall'anodo al catodo e generano una corrente elettrica che alimenta una utenza.



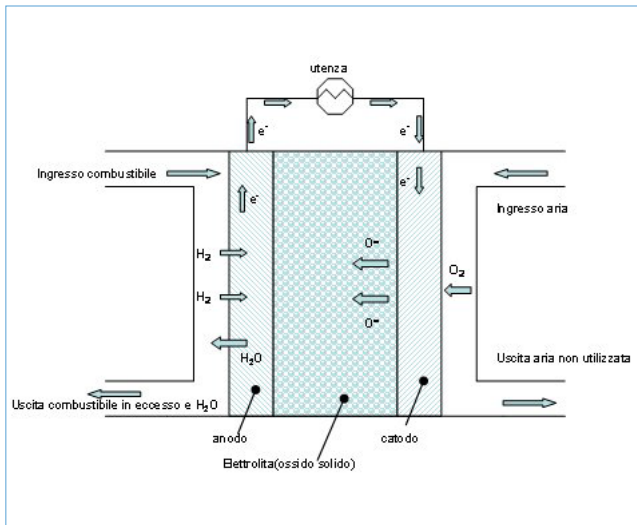
4 MCFC

- A contatto con il catodo, sempre quattro elettroni si ricombinano con una molecola di ossigeno.
- Gli ioni di ossigeno che si sono formati hanno una carica negativa e reagiscono con il biossido di carbonio formando ioni di carbonato.
- Gli ioni di carbonato con carica negativa attraversano l'elettrolita (carbonati fusi) e raggiungono i protoni con carica positiva sul lato dell'anodo.
- Gli ioni di carbonato cedono le loro due cariche negative a due protoni e reagendo con questi si forma acqua. Con la scissione degli ioni di ossigeno si forma nuovamente biossido di carbonio.

Applicazioni

Le celle a carbonati fusi vengono sviluppate per applicazioni fisse e, poiché la loro temperatura d'esercizio è circa di 650 °C, si prestano soprattutto per impianti di cogenerazione in stabilimenti industriali dove i processi richiedono alte temperature. I normali impianti sviluppati hanno una potenza di 300 kW, ma sono possibili anche potenze di alcuni Megawatt.

Oltre a queste applicazioni fisse, sono in sviluppo anche celle MCFC per motori navali. Il principale svantaggio della tecnologia MCFC è la durata; infatti le alte temperature a cui opera la cella e l'elettrolita usato (corrosivo) diminuiscono la vita della cella.



5 SOFC

SOFC

SOFC sta per Solid Oxide Fuel Cell, celle a combustibile a ossidi solidi (FIGURA 5).

Lavorano con l'ossigeno dell'aria e l'idrogeno. La temperatura d'esercizio è compresa tra 800 e 1000 °C. L'alta temperatura consente, all'interno della cella, un parziale reforming di gas naturale in idrogeno. Così si riduce notevolmente il dispendio della produzione di idrogeno.

La SOFC viene prodotta non solo in piastre, ma anche in forma tubolare. Il catodo, l'elettrolita e l'anodo sono disposti sulla superficie interna del tubo di ceramica. Il gas comburente attraversa l'interno del tubo, mentre l'ossigeno dell'aria passa all'esterno. L'ambito di applicazione è la produzione di energia decentralizzata con potenze a partire da 100 kW.

Funzionamento

- I due gas ossigeno e idrogeno, tenuti in due circuiti separati, migrano dal serbatoio al catalizzatore.
- Le molecole d'idrogeno (H_2) vengono decomposte dal catalizzatore in due atomi H^+ (protoni) e, in questo processo, ciascuno degli atomi d'idrogeno cede il suo elettrone.
- Gli elettroni migrano dall'anodo al catodo e generano una corrente elettrica che alimenta un'utenza.
- A contatto con il catodo, sempre quattro elettroni si ricombinano con una molecola di ossigeno.
- Gli ioni di ossigeno appena formati attraversano l'elettrolita (biossido di zirconio dotato di ittrio) e raggiungono il lato dell'anodo.
- Gli ioni di ossigeno cedono le loro due cariche negative a due protoni e reagendo con questi si forma acqua.

Applicazioni

Le celle a combustibile a ossidi solidi si prestano sia ad applicazioni fisse che mobili. Impianti fissi vengono sviluppati sia per il settore residenziale che per applicazioni industriali. È possibile prelevare il calore ad alta temperatura e usarlo in processi industriali. Sono in via di sviluppo anche SOFC per grandi centrali in cui il calore viene usato per produrre energia elettrica mediante turbine a gas. Si prevede che queste centrali possano raggiungere un rendimento del 70%.

Le SOFC destinate ad applicazioni mobili non riguardano la costruzione di motori, bensì la sostituzione delle convenzionali batterie di automobili. Il motivo è il crescente numero di apparecchi elettrici nelle automobili, ma anche quello di avere a disposizione, per tempi prolungati, corrente elettrica anche quando il motore è spento. Il carburante è in questo caso la benzina che, prima dell'introduzione nella cella a combustibile, deve subire un reforming e una desolfurazione.

DMFC

DMFC sta per Direct Methanol Fuel Cell (FIGURA 6). Come indica chiaramente il nome questa cella è l'unica che non utilizza l'idrogeno, ma il metanolo. Non ha bisogno di un reformer perché la cella stessa trasforma il metanolo in protoni di idrogeno, elettroni liberi e CO_2 . L'assenza di un reformer rende questa cella molto adatta per applicazioni in veicoli anche perché si avvicina all'obiettivo di avere a disposizione la più semplice sorgente energetica. Come elettrolita viene usata una membrana polimerica in grado di condurre i protoni.

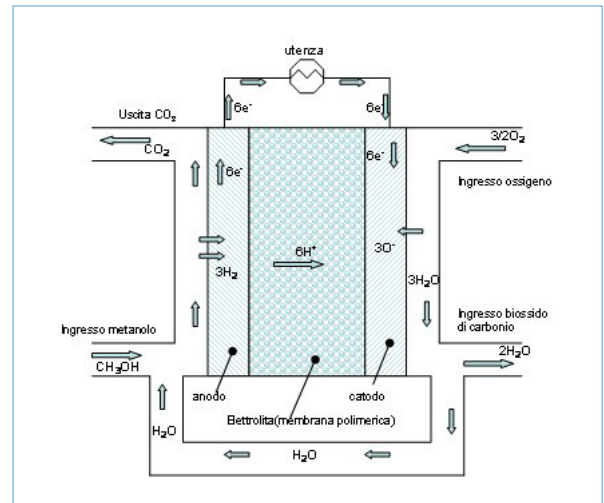
Questo tipo di celle ha un'efficienza molto bassa, per cui esse restano dedicate ad applicazioni portatili, dove la densità di energia e potenza è più importante dell'efficienza.

Funzionamento

- I due gas ossigeno e metanolo, tenuti in due circuiti separati – l'ossigeno dalla parte del catodo, il metanolo dalla parte dell'anodo – passano dal serbatoio al catalizzatore.
- Il metanolo (CH_3OH) reagisce con l'acqua formando biossido di carbonio e idrogeno. Dal catalizzatore, l'idrogeno viene decomposto in atomi H^+ (protoni) e, in questo processo ogni atomo di idrogeno cede un suo elettrone; la reazione all'anodo è quindi: $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- + \text{CO}_2$
- I protoni attraversano l'elettrolita (membrana polimerica in grado di condurre i protoni) e si spostano al catodo.
- Gli elettroni migrano dall'anodo al catodo e generano una corrente elettrica che alimenta una utenza.
- A contatto con il catodo gli elettroni si ricombinano con l'ossigeno.
- Gli ioni di ossigeno appena formati hanno cariche negative e reagendo con i protoni (ioni idrogeno) si forma acqua, in parte espulsa e in parte rimessa in circolo.

Applicazioni

Le celle a combustibile DMFC vengono attualmente sviluppate per l'uso in piccole applicazioni portatili e in veicoli, anche perché il metanolo liquido è più facilmente immagazzinabile rispetto all'idrogeno. Problemi si pongono però a causa della tossicità del metanolo e della sua solubilità in acqua. Se il metanolo dovesse essere



6 DMFC

usato come carburante nei veicoli, la DMFC semplificherebbe il sistema propulsivo rispetto a un sistema con reformer e cella PEM.

Allo stato attuale, la tecnologia delle DMFC ha un ritardo di alcuni anni rispetto a quella delle celle PEM, ma le DMFC si prestano anche per applicazioni mobili come cellulari e laptop, perché offrono il vantaggio di un più facile immagazzinamento dell'energia.