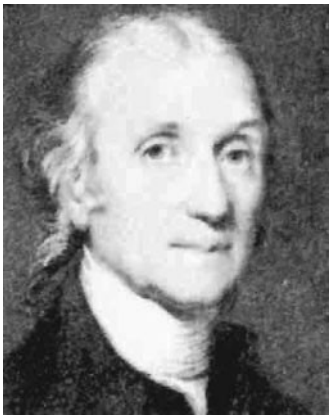
1. IDROGENO (HYDROGEN)

La tavola periodica e’ il cosiddetto ‘alfabeto della chimica’ e l idrogeno ne e’ il primo elemento. Il suo simbolo e’ H e il suo numero atomico 1. Il nome 'idrogeno' deriva dall'unione delle parole greche 'acqua' e 'generare'. L'acqua è, infatti, formata dall'unione di due atomi di idrogeno (simbolo chimico H) ed un atomo di ossigeno (simbolo chimico O). L'idrogeno è l'elemento più leggero e più abbondante di tutto l'universo ma, sfortunatamente, non si trova allo stato puro sulla Terra, bensì è presente allo stato combinato con altri elementi chimici (es. acqua, idrocarburi ecc). Allo stato elementare, sulla Terra l'idrogeno si presenta come un gas incolore, inodore e altamente infiammabile. Nelle stelle è, invece, presente nello stato di plasma.

2. Scoperta dell’ idrogeno

L idrogeno venne scoperto per la prima volta in forma biatomica (H_2) da Paracelso (T. Von Hohenheim) , tramite un esperimento nel quale mescolo’ acidi forti con metalli. . Paracelso pero’ non si rese conto che il gas infiammabile ottenuto in queste reazioni chimiche era costituito da un nuovo elemento chimico, chiamato in seguito idrogeno dallo scienziato lavuasier e laplace . Quest ultimo Nel 1766, lo scienziato inglese Henry Cavendish (1731-1810), noto per la sua scoperta dell’idrogeno o ciò che egli chiamava "aria infiammabile", ne descrisse gli effetti durante la combustione in un documento 1766 "On Airs fittizi". Tradizionalmente, si considera Cavendish come lo scopritore dell'idrogeno.

Fu il chimico francese Antoine Lavoisier che lo nominò successivamente "hydrogenium", vale a dire: "sostanza da cui si ottiene l'acqua"



Henry Cavendish

3. Caratteristiche dell idrogeno

Come molti elementi gassosi, l'idrogeno è biatomico (la molecola contiene due atomi), ma ad alte temperature si dissocia in atomi liberi. Ha punto di ebollizione e di fusione più bassi di ogni altra sostanza, fatta eccezione per l'elio: solidifica a -259,2 °C e diventa liquido a -252,77 °C. Alla temperatura di 0 °C e alla pressione di 1 atmosfera, si presenta allo stato gassoso con densità 0,089 g/litro. Il peso atomico è 1,007. L'idrogeno liquido, ottenuto per la prima volta dal chimico britannico James Dewar nel 1898, è incolore e ha densità relativa 0,070.

Il gas idrogeno è una miscela di due forme diverse, l'ortoidrogeno (con spin dei nuclei paralleli), che costituisce circa il 75% della miscela, e il paraidrogeno (con spin antiparalleli). Ai punti di fusione e di ebollizione la composizione è leggermente diversa.

Esistono tre isotopi dell'idrogeno: il nucleo dell'idrogeno ordinario è composto da un solo protone; il deuterio, presente nel normale idrogeno per lo 0,02%, ha nucleo costituito da un protone e un neutrone, e ha quindi massa atomica 2; il trizio, isotopo radioattivo e instabile, ha nucleo formato da un protone e due neutroni, e ha massa atomica 3.

4.Come viene prodotto l'idrogeno

Attualmente l'idrogeno può essere prodotto nei seguenti modi:

dagli idrocarburi, ossia dalle fonti di energia fossili come il petrolio, il carbone e gas naturale

dall'acqua tramite il processo di elettrolisi**.**

In entrambi i casi, è ottenuto separando gli atomi di idrogeno (H) dagli atomi di carbonio (C) nel caso degli idrocarburi o dagli atomi di ossigeno (O) nel caso dell'acqua. La produzione dell'idrogeno dagli idrocarburi è la più economica ma anche quella più inquinante. La produzione dell'idrogeno tramite elettrolisi è più pulita, in quanto può essere realizzata utilizzando l'elettricità delle fonti d'energia rinnovabili, ma anche quella più costosa.

4.1Produrre idrogeno dagli idrocarburi

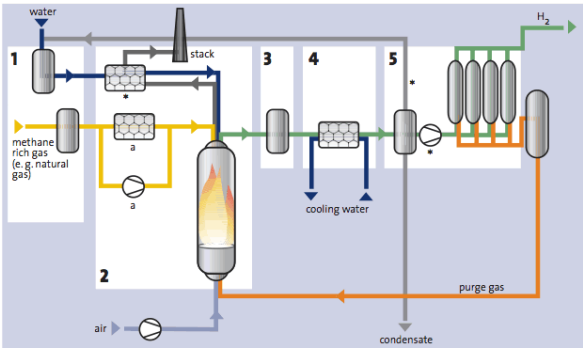
Sono 3 i principali metodi attraverso il quale si può ricavare idrogeno dagli idrocarburi:

- **Steam reforming:** Tra i tre questo, è il metodo piu usato. Tale processo consiste nel far reagire metano e vapore acqueo ad una temperatura intorno a 700–1100 °C, per

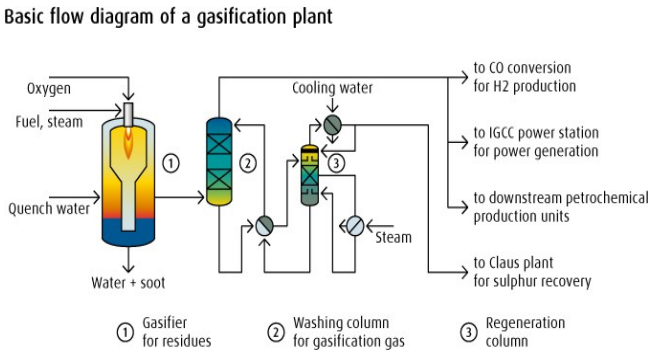
produrre syngas (una miscela costituita essenzialmente da monossido di carbonio e idrogeno)

- **Ossidazione parziale**: Consiste nell' ossidazione di idrocarburi pesanti, come la nafta, a temperature comprese tra i 1300e i 1500 gradi. Questo tipo di tecnologia può usare qualsiasi tipo di idrocarburo che sia comprimibile. I costi di questa tecnologia sono alti, a causa delle periodiche pulizie che vanno effettuate sugli impianti.
- **Reforming autotermico**: Il reagente di partenza è gas naturale che viene messo in un reattore dove subisce sia ossidazione parziale con ossigeno che reazione di reforming con vapore. Anche esso produce Syngas, da cui poi si può estrarre l idrogeno.
- **Bioreattori e produzione biologica**: In condizioni particolari i pigmenti di alcune alghe assorbono energia solare e agiscono da catalizzatore per separare ossigeno e idrogeno dall'acqua, agendo come una cella elettrolitica organica (bioreattore)

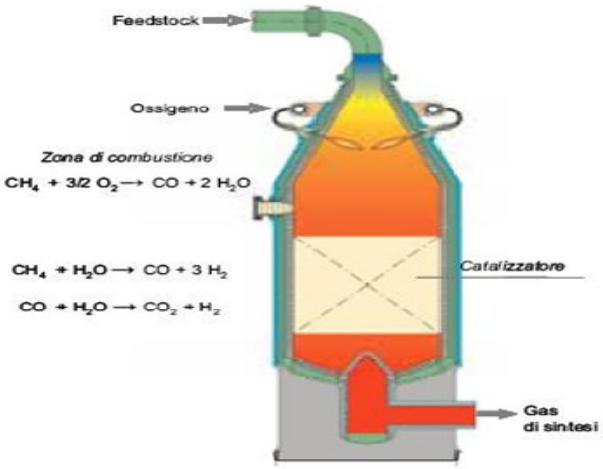
STEAM REFORMING



OSSIDAZIONE PARZIALE



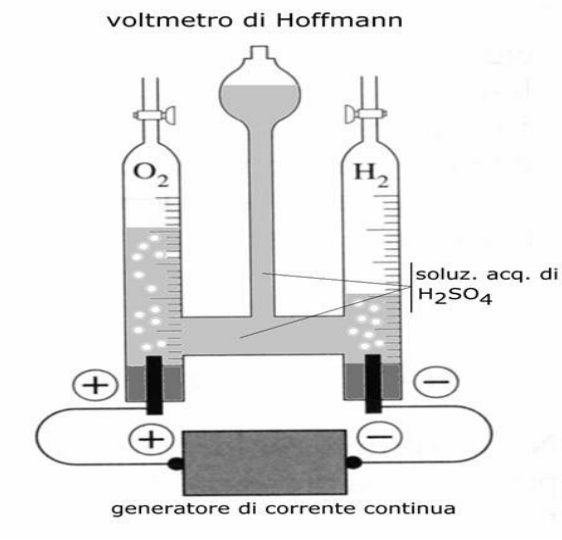
REFORMING AUTOTERMICO



- **Produrre Idrogeno dall' acqua: l' elettrolisi**

  Il termine elettrolisi deriva dal greco e significa "rompere con l'elettricità"; quindi sottoporre ad elettrolisi una sostanza significa scomporla nei suoi elementi costitutivi. L'elettrolisi è un processo che trasforma energia elettrica in energia chimica. In pratica si usa l'energia elettrica per provocare una reazione chimica che non avverrebbe spontaneamente.

L'elettrolisi richiede il passaggio di corrente elettrica attraverso l'acqua. La corrente entra nella cella elettrolitica tramite il catodo, un elettrodo caricato negativamente, attraversa l'acqua e va via attraverso l'anodo, un elettrodo caricato positivamente. L'idrogeno e l'ossigeno così separati confluiscono rispettivamente verso il catodo e verso l'anodo L'elettrolisi è il metodo più comune per la produzione di idrogeno anche se incontra notevoli ostacoli per la quantità limitata di idrogeno prodotta e per i costi, ancora troppo elevati, dovuti all'impiego di energia elettrica. Attualmente, solo il 4% della produzione mondiale di idrogeno avviene per elettrolisi dell'acqua e solo per soddisfare richieste limitate di idrogeno estremamente puro. Il vantaggio di questo processo e' pero' che non produce residui tossici, ed anche per questo molti scienziati stanno mettendo a punto quello che potrebbe essere il motore del futuro, il motore a idrogeno.



5.Principali utilizzazioni energetiche dell'idrogeno

La produzione mondiale dell'idrogeno è valutabile nell'ordine delle decine di milioni di tonnellate annue.

Attualmente, la quasi totalità di questa produzione viene assorbita dall'industria chimica.

I principali usi non-energetici dell'idrogeno includono la sintesi dell'ammoniaca, del metanolo e dell'acido cloridrico, l'idrogenazione di oli vegetali per la fabbricazione di grassi alimentari (margarina), l'idrogenazione catalitica di idrocarburi pesanti per ottenere combustibili liquidi (benzina), l'impiego come riducente per la produzione di metalli pregiati (tungsteno, vanadio etc.) a partire dai loro ossidi etc.

l'idrogeno, d'altra parte, presenta caratteristiche molto interessanti come combustibile: il suo potere calorifico è infatti di circa 33,3 kWh/kg (o 3 kWh/Nm3), e il prodotto finale della sua combustione con ossigeno puro è solo acqua.

Nella combustione in presenza di aria viene invece prodotto un certo quantitativo di ossidi di azoto, quantitativo che può essere però fortemente ridotto con un adeguato controllo della combustione stessa.

L'utilizzazione energetica dell'idrogeno può riguardare essenzialmente due diverse categorie di applicazioni: usi stazionari e mezzi di trasporto. Nel primo caso l'idrogeno può essere usato per la produzione di calore per usi industriali e/o domestici, in modo del tutto analogo a quanto avviene per il metano o il GPL, oppure per produrre energia elettrica.

Bruciatori alimentati con idrogeno vengono già oggi impiegati nell'industria chimica, mentre per gli usi domestici (cottura e riscaldamento) sono stati finora realizzati solo alcuni prototipi, in particolare di stufe catalitiche che eliminano gli ossidi di azoto formatisi nel corso della combustione e presentano quindi un impatto ambientale estremamente ridotto.

L'idrogeno può essere utilizzato per produrre elettricità con diverse tecnologie, fra le quali:

• L'alimentazione di una turbina a gas nell'ambito di un sistema a ciclo combinato, costituito dall'abbinamento di questa turbina con una o più turbine a vapore.
Questi sistemi, attualmente alimentati con gas naturale, presentano un'efficienza molto elevata (> 40% se si considera la sola produzione di energia elettrica) che potrebbe essere ulteriormente incrementata, fino a superare il 50% in termini di energia elettrica e l'80-85% nel caso di produzione contemporanea di calore ed elettricità, passando dal gas naturale all'idrogeno.
L'uso dell'idrogeno dovrebbe avere effetti positivi sulla durata di questi impianti, e le emissioni inquinanti consisterebbero nei soli ossidi di azoto, che potrebbero comunque essere drasticamente ridotti con l'impiego di adeguati dispositivi catalitici.

• La combustione con ossigeno e l'uso del vapore così prodotto per l'alimentazione di una turbina a vapore.
Questa tecnologia sembra essere particolarmente promettente per impianti di taglia medio-piccola, da utilizzare per rispondere ai picchi di richiesta di energia elettrica sulla rete, in quanto caratterizzata da costi di impianto relativamente contenuti e da un'elevata flessibilità di esercizio (rapidità di entrata in funzione, capacità di adeguare la produzione alle richieste della rete).
Nel breve-medio termine, l'idrogeno e l'ossigeno necessari potrebbero essere ottenuti per elettrolisi dell'acqua effettuata nelle ore notturne utilizzando l'elettricità prodotta come surplus dalle centrali convenzionali o nucleari operanti a ciclo continuo, dando vita a un vero e proprio sistema di accumulo di energia altrimenti inutilizzata.

• L'alimentazione, insieme con ossigeno, di celle a combustibile (Fuel Cells), dispositivi elettrochimici che producono acqua ed energia elettrica senza i vincoli termodinamici che limitano l'efficienza dei processi di combustione.
Esistono diversi tipi di celle a combustibile e ogni tipo ha temperatura di funzionamento, dimensioni, stato fisico (gas o liquido) e grado di purezza di H_2 e O_2 ottimali.
Numerosi impianti basati sulla tipologia delle celle cosiddette "ad acido fosforico" sono stati realizzati in diversi Paesi, Italia compresa, con potenze dell'ordine di qualche MW.
Questi impianti possono raggiungere rese di conversione in energia elettrica anche maggiori del 50%.
Altre tipologie di celle, che dovrebbero presentare efficienze di conversione ancora maggiori, sono attualmente oggetto di numerose attività di ricerca e sviluppo.
Le celle a combustibile sono silenziose e possono essere realizzate anche in taglie ridotte (< 50 kW) senza apprezzabili aumenti di costo, e rappresentano quindi un sistema estremamente promettente per una conversione diretta dell'idrogeno in elettricità in impianti sia centralizzati, sia diffusi sul territorio, con un impatto ambientale praticamente nullo.

Gli impieghi dell'idrogeno nel settore dei trasporti sono stati oggetto di numerose sperimentazioni, che hanno riguardato sia gli autoveicoli, sia gli aerei e, in qualche caso, i razzi e i velivoli aerospaziali (l'esempio significativo è la navetta americana shuttle, i cui motori a razzo sono alimentati da idrogeno e ossigeno liquidi).

Per quel che riguarda l'uso dell'idrogeno liquido nell'alimentazione dei jet commerciali (tecnologia che, in linea di principio, presenta il vantaggio di un livello di emissioni inquinanti decisamente ridotto rispetto al cherosene) non si è andati al di là della realizzazione di alcuni prototipi, e, rispetto a qualche anno fa, l'interesse per questo tipo di applicazione sembra essere notevolmente diminuito.

L'uso dell'idrogeno per l'alimentazione degli autoveicoli (autobus, autocarri e auto private) è ormai una realtà, soprattutto per quel che riguarda i veicoli alimentati con celle a combustibile.

Infatti, i veicoli a idrogeno possono essere senz'altro considerati del tipo a "emissioni quasi zero", se l'idrogeno viene utilizzato direttamente come combustibile nei motori a combustione interna (mezzi di trasporto pubblici alimentati con idrogeno gassoso compresso in bombole, di concezione analoga agli equivalenti autobus a metano) e a "emissioni zero", come le più tradizionali auto elettriche, se l'idrogeno viene usato per produrre elettricità - che costituisce poi la vera e propria forza motrice - con un sistema di celle a combustibile.

La probabile adozione di misure sempre più restrittive sui livelli di emissioni degli autoveicoli nei paesi maggiormente industrializzati, sull'esempio di quanto stabilito negli USA dallo Stato della California, aprirà nuovi e consistenti spazi di mercato per veicoli di nuova concezione ad emissioni ridottissime o nulle e, in quest'ambito, i veicoli a idrogeno sembrano essere quelli maggiormente favoriti.

Infatti, rispetto ad un tradizionale veicolo elettrico alimentato a batterie, l'idrogeno utilizzato per l'alimentazione di un veicolo a celle a combustibile presenta una densità di energia notevolmente maggiore, che si traduce in un migliore rapporto peso/potenza di questo sistema rispetto al primo. Inoltre, i tempi di ricarica delle batterie sono molto lunghi - dell'ordine delle ore - mentre quelli dei serbatoi di idrogeno sono di qualche decina di minuti per l'idrogeno gassoso e analoghi a quelli di un classico rifornimento di benzina per l'idrogeno liquido.

La tecnologia dei veicoli con sistemi di propulsione basati su celle a combustibile alimentate a idrogeno ha ormai superato la fase di sperimentazione e dimostrazione e si avvia a diventare pienamente commerciale diverse case automobilistiche (Mercedes, BMW,Toyota, Mazda, Hyundai etc.), che hanno già dato inizio alla produzione in serie di veicoli a idrogeno con caratteristiche di potenza, sicurezza, affidabilità ed endurance del tutto comparabili con quelle a motore convenzionale (vedi capitolo 8) .
In entrambi i casi le emissioni di scarto sono assolutamente non inquinanti. Dal punto di vista progettuale la principale criticità dell'utilizzo dell'idrogeno resta la sua elevata infiammabilità. I serbatoi devono pertanto consentire maggiori standard di sicurezza rispetto ai tradizionali serbatoi diesel o benzina. Nel caso dell'idrogeno liquido i serbatoi devono mantenere il carburante alla temperatura di -253°.

6. Il Motore ad Idrogeno: le Celle a combustibile (Fuel Cells)

Una "cella a combustibile" è un dispositivo elettrochimico in grado di combinare l'idrogeno e l'ossigeno producendo acqua ed energia elettrica. Il principio di funzionamento di questo dispositivo fu scoperto nel 1839 dal fisico inglese William Grove, che realizzò e mise in opera la prima cella a combustibile. Cento anni dopo, Francis Bacon in Gran Bretagna sviluppò ulteriormente l'invenzione di Grove, dedicando particolare attenzione alla morfologia degli elettrodi e al ruolo del catalizzatore nel promuovere i processi di cella. Ulteriori sviluppi si sono avuti in seguito ai programmi spaziali, poiché le pile a combustibile sono state scelte come sistemi di alimentazione elettrica e rifornimento di acqua per importanti missioni, quali i programmi Gemini e Apollo negli anni Sessanta e, successivamente, i viaggi degli Shuttle. Oltre alle applicazioni nel settore spaziale, le

celle a combustibile sono oggi utilizzate come impianti stazionari per la produzione in loco di elettricità per abitazioni o edifici pubblici e come fonti di energia nei veicoli elettrici o ibridi.

Principio di funzionamento

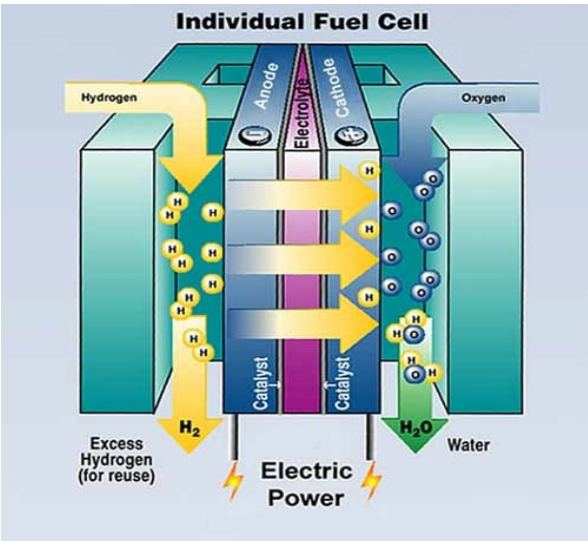
Il funzionamento di una cella a combustibile è basato sulla seguente reazione elettrochimica:

[1] $H_2(g)+1/2O_2(g)\rightarrow H_2O(l)$

vale a dire sulla reazione di combustione dell'idrogeno gassoso con l'ossigeno gassoso, che porta alla formazione di acqua. In questo processo l'idrogeno è il combustibile e l'ossigeno il comburente. L'ossigeno utilizzato normalmente proviene dall'aria, mentre l'idrogeno viene fornito sfruttando vari processi produttivi di cui al para 4. Tra tutti questi processi di sintesi, solamente l'elettrolisi dell'acqua è in grado di produrre idrogeno puro, mentre dagli altri si ottengono miscele in cui l'idrogeno è presente con altri componenti gassosi, indesiderati per il corretto funzionamento del dispositivo.

In linea di principio una cella a combustibile è simile a una batteria, perché, come quest'ultima, è capace di convertire direttamente l'energia chimica in energia elettrica, combinando un elettrodo negativo, o 'anodo' (qui l'idrogeno), con uno positivo o 'catodo' (qui l'ossigeno) a contatto con un opportuno mezzo a conduzione di ioni o 'elettrolita'. Vi è tuttavia una netta differenza tra i due sistemi di produzione di energia: una batteria è un sistema chiuso che funziona consumando i componenti attivi agli elettrodi, mentre una cella a combustibile lavora grazie a un flusso di reagenti gassosi riforniti dall'esterno. La batteria è quindi limitata nella sua durata dalla quantità di reagenti che ha in sé e necessita di un processo di carica per ripristinare le sue condizioni iniziali, mentre una cella a combustibile garantisce una vita di esercizio continua fino a quando viene rifornita dei reagenti.

Una cella a combustibile l'idrogeno combustibile viene fornito all'elettrodo negativo dove si ossida a ione idronio H^+ (protone) con cessione di elettroni. Gli elettroni fluiscono nel circuito esterno e producono lavoro elettrico, per poi giungere al catodo e ridurre a ione OH^- (ossidrile) l'ossigeno qui rifornito. Il circuito è chiuso dal trasporto di ioni da un elettrodo all'altro attraverso l'elettrolita, con la formazione finale di acqua.



A seconda della natura dell'elettrolita usato (acido o basico), le reazioni dei singoli elettrodi possono essere scritte in modo diverso. Nell'elettrolita acido:

[2] anodo: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
[3] catodo: $1/2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
[4] totale: $H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$.
nell'elettrolita basico:
[5] anodo: $H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$
[6] catodo: $1/2O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$
[7] totale: $H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$.
Nel caso dell'elettrolita acido, il circuito elettrico viene chiuso dal trasporto di protoni che attraversano la cella dall'anodo fino a raggiungere il catodo per completare la reazione , mentre nel caso dell'elettrolita basico sono gli ioni ossidrile che migrano dal catodo all'anodo . In entrambi i casi il processo elettrochimico globale porta alla formazione di acqua e genera una forza elettromotrice E (o 'potenziale a circuito aperto') pari a 1,23 V a 25 °C.

In sintesi, il principio di funzionamento si basa sulla combustione di un carburante per produrre lavoro elettrico. Una cella a combustibile, quindi, può essere definita come un motore elettrico capace di convertire l'energia libera della reazione in energia elettrica, allo stesso modo in cui avviene un processo di combustione in un motore termico. Tuttavia, il grande vantaggio di una pila a combustibile risiede nel fatto che essa, a differenza di quanto avviene in un motore termico, converte l'energia chimica in energia elettrica senza le limitazioni imposte dal ciclo di Carnot.

Affinché la cella a combustibile possa operare efficacemente è sempre necessario un catalizzatore, poiché i processi elettrodici, come l'ossidazione dell'idrogeno (reazioni [2] e [5]) e la riduzione dell'ossigeno (reazioni [3] e [6]), procedono attraverso fenomeni di adsorbimento-desorbimento su un substrato solido, su cui l'idrogeno o l'ossigeno rilasciano o ricevono elettroni. Nel caso dell'ossidazione dell'idrogeno, per esempio, si può assumere che il processo si svolga attraverso una sequenza di passaggi, che inizialmente comporta il trasporto di una molecola d'idrogeno dalla fase

gassosa al substrato solido e il suo adsorbimento sulla superficie; questo stadio è seguito dall'ossidazione elettrochimica dell'idrogeno adsorbito e infine dal rilascio nella fase elettrolitica delle specie che si sono formate. Il processo di riduzione dell'ossigeno è ancora più complesso, poichè implica un numero non ancora ben definito di passaggi paralleli e consecutivi, tra i quali la formazione di perossido di idrogeno come prodotto intermedio.

In virtù di questi meccanismi di reazione, si può comprendere come la velocità dei processi agli elettrodi sia influenzata dalla natura del substrato. Le cinetiche dei processi elettrodici, perciò, possono essere accelerate, e quindi le sovratensioni ridotte, scegliendo il substrato più opportuno. In altre parole il substrato agisce come un catalizzatore per le reazioni elettrodiche.

I più efficaci catalizzatori per il processo di ossidazione dell'idrogeno sono i metalli nobili, quali il platino, il palladio o il rutenio, mentre per la riduzione dell'ossigeno, oltre al platino e al palladio, possono essere usati il nichel oppure l'ossido di nichel nei regimi di alta temperatura. L'elevato costo di questi catalizzatori è il fattore che maggiormente influenza il costo globale di una cella a combustibile. L'uso di un substrato solido di platino non è ovviamente accettabile. Il buon funzionamento dei catalizzatori non dipende però soltanto dalla loro natura, cioè dalla loro struttura cristallografica ed elettronica, ma anche dalla loro morfologia: essi diventano via via più efficaci all'aumentare dell'area superficiale. Una maniera conveniente per raggiungere un efficace compromesso tra costo ed efficienza è perciò quella di progettare la struttura degli elettrodi in modo tale che il catalizzatore, per esempio il platino, risulti disperso come polvere sottile su un'ampia superficie di supporto, per esempio su un feltro di carbone.

Poiché i diversi tipi di celle a combustibile operano in un ampio intervallo di temperatura, che va da 100 °C fino a 1000 °C, la scelta del catalizzatore deve variare di conseguenza, passando dal platino per i regimi a bassa temperatura ai più convenienti composti di nichel per le celle ad alta temperatura.

Esistono due tipiche configurazioni di cella, quella monopolare e quella bipolare. La struttura monopolare viene scelta per la fabbricazione di moduli per elevate correnti. Qui i singoli elettrodi sono connessi in parallelo e forniti di connettori uniti l'uno con l'altro lungo i lati, per assicurare i contatti esterni. Poiché la raccolta efficiente di corrente richiede l'elevata conducibilità di tutto l'elettrodo, in questa configurazione vengono usati di preferenza elettrodi metallici porosi, che garantiscono tale caratteristica. La configurazione bipolare viene scelta per moduli a elevato potenziale. Gli elettrodi della singola cella sono connessi in serie e in questo caso i più adatti sono quelli a base di carbone poroso i quali, sebbene meno conduttivi, assicurano che la corrente che passa attraverso gli elettrodi venga raccolta da tutta la loro superficie.

Vi sono diverse tipologie di celle a combustibile, che differiscono per la temperatura d'esercizio e per il tipo di elettrolita usato. Una classificazione conveniente e comunemente accettata si basa sulla natura dell'elettrolita. Si possono quindi distinguere sei tipi differenti di celle a combustibile:

1. **le celle a combustibile alcaline (AFC, alkaline fuel cell)-** Moduli di AFC di differenti dimensioni sono stati utilizzati per fornire energia per diversi voli per la Luna, come per le missioni Skylab e Apollo-Soyuz (Kordesch e Simader 1996). In tempi più recenti moduli di celle AFC sono stati installati su Space Shuttle per rifornire di energia elettrica il veicolo, per produrre acqua per l'equipaggio e alimentare sistemi di raffreddamento. Seguendo il successo della NASA, i moduli AFC sono stati scelti anche dall'Agenzia spaziale europea (ESA) per le sue missioni (Kordesch e Simader 1996). Mentre le celle alcaline hanno avuto pieno successo nei programmi spaziali, dove l'elevato costo e il peso non rappresentano un fattore critico, esse hanno trovato invece limitate applicazioni in sistemi a terra, a causa di svantaggi intrinseci come la intolleranza all'aria.
2. **le celle a combustibile ad acido fosforico (PAFC, phosphoric acid fuel cell)**-sono le celle a combustibile che hanno raggiunto il più elevato livello di commercializzazione, specialmente per applicazioni stazionarie, come gli impianti di produzione di energia elettrica in loco per case o edifici pubblici
3. **le celle a combustibile a membrana elettrolitica polimerica (PEMFC, polymer plectrolyte membrane fuel cell)** - sono state inizialmente sviluppate per i programmi spaziali, dove hanno trovato applicazione agli inizi degli anni Sessanta nei voli Gemini della NASA, per essere poi sostituite dalle celle AFC nelle missioni Apollo e Space Shuttle. In virtù dell'evoluzione della loro struttura e delle loro prestazioni, le celle a membrana polimerica stanno assumendo un ruolo chiave nei programmi che ne prevedono applicazione su veicoli elettrici. Infatti, tra i diversi tipi di celle a combustibile, le PEMFC assicurano le caratteristiche maggiormente richieste per applicazioni nelle automobili, come la bassa temperatura di esercizio e l'uso di un elettrolita chimicamente inerte. Sono previsti allestimenti a bordo formati da celle multiconnesse o dirette o ibride, le prime accoppiate a un motore elettrico, le seconde accoppiate a un motore elettrico munito di batteria di riserva. Sulla base di questi concetti, diverse case costruttrici automobilistiche negli Stati Uniti, in Giappone e in Europa hanno realizzato veicoli elettrici dimostrativi alimentati da celle PEMFC .
4. **le celle a conversione diretta di metanolo (DMFC, direct methanol fuel cell)-** sono particolarmente promettenti per applicazioni nei veicoli elettrici, poiché lavorano a temperature medio-basse e, soprattutto, sono alimentate da metanolo, evitando la necessità di installare a bordo un sotto-sistema di trattamento del combustibile per ottenere idrogeno. Inoltre, il metanolo è un carburante con densità di energia gravimetrica e volumetrica di

circa la metà rispetto alla benzina. Quindi un veicolo alimentato con una DMFC può in linea di principio viaggiare con il doppio dell'efficienza rispetto a uno alimentato da un motore a combustione interna, con emissioni inquinanti praticamente nulle .

5. **le celle a carbonati fusi (MCFC, molten carbonate fuel cell)** Celle ad alto rendimento il cui funzionamento è influenzato dalla pressione e dalla temperatura. La durata di una cella a combustibile a carbonati fusi, specialmente nelle strutture a moduli, è un problema critico per i fenomeni di corrosione associati all'ambiente aggressivo generato dall'elettrolita a carbonati fusi.
6. **le celle a ossidi solidi (SOFC, solid oxide fuel cell)** - l'elevata temperatura operativa della SOFC consente di raggiungere una elevata efficienza di conversione anche con l'uso di catalizzatori e materiali elettrodici poco costosi. Tale applicazione è stata provata con successo attraverso la fabbricazione e il funzionamento di moduli in Giappone, negli Stati Uniti e in Europa. Gli obiettivi per la commercializzazione di celle SOFC rimangono la riduzione dei costi di fabbricazione e la conferma della vita d'esercizio sufficientemente lunga.

7. Il ruolo dell'idrogeno nello scenario del trasporto senza emissioni

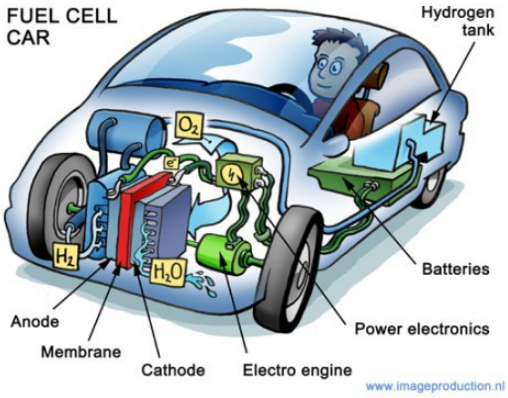
La crescente preoccupazione per il livello d'inquinamento atmosferico nelle grandi aree urbane esige interventi urgenti per il controllo delle emissioni di automobili e veicoli in circolazione. I veicoli a motore alimentati a benzina e gasolio sono la fonte primaria di emissioni di monossido di carbonio, idrocarburi volatili e ossidi di azoto, cioè di tutti quei composti chimici inquinanti che sono responsabili della formazione di smog e di ozono a livello del suolo. È ormai ampiamente accettato che i problemi d'inquinamento urbano potrebbero essere attenuati con la sostituzione di una frazione consistente di automobili alimentate da motori a combustione interna con veicoli a emissione zero, cioè veicoli elettrici. In effetti, nella fase iniziale di produzione di automobili per il trasporto di passeggeri, la scelta più ovvia fu quella di alimentare il veicolo con un motore elettrico. Questo tipo di motore è infatti ideale per il trasporto urbano poiché è silenzioso e garantisce una maggiore efficienza rispetto a un motore a combustione. In effetti la popolarità del veicolo elettrico crebbe rapidamente e all'inizio del Novecento ne erano in circolazione diverse centinaia di unità; tuttavia l'espansione fu interrotta nel corso degli anni Venti per l'avvento dei veicoli a combustione interna, più veloci, più economici e in grado di assicurare maggiori percorrenze (Scrosati 1998). Questa tipologia di veicolo dominò rapidamente il mercato e al momento attuale ne sono in circolazione nel mondo alcune centinaia di milioni di esemplari.

L'inquinamento atmosferico nei centri urbani ha ormai raggiunto livelli che confermano drammaticamente come le emissioni delle automobili alimentate a benzina rappresentino un rischio elevato per la salute della popolazione e pertanto il concetto di veicolo elettrico a emissione zero ha

riguadagnato interesse. In linea di principio il motore elettrico può essere alimentato da una batteria. Tuttavia, le batterie esistenti, come le piombo-acido, nichel-cadmio o anche nichel-idruro metallico, hanno un limitato contenuto in potenza ed energia, cosicché non sono in grado di assicurare regimi d'accelerazione e durata di percorrenza tali da rendere il veicolo elettrico interessante per il consumatore. Un ulteriore svantaggio risiede nel lungo tempo necessario per la ricarica della batteria. Infine, non va dimenticato che l'uso di un veicolo alimentato da una batteria non elimina completamente l'inquinamento poiché una fonte 'convenzionale' di energia elettrica (da petrolio o nucleare) è comunque necessaria per ricaricare la batteria; se tuttavia l'energia è prodotta in un impianto remoto, la sorgente d'inquinamento rimane confinata in un unico sito e quindi il suo impatto ambientale può essere accuratamente controllato.

Tenendo conto di tutte queste considerazioni, le celle a combustibile, e in particolare le PEMFC, appaiono ideali come fonti energetiche alternative per i veicoli elettrici. Il rifornimento di combustibile viene fatto direttamente 'a bordo' con serbatoi d'idrogeno (per PEMFC convenzionali) o con riserve di metanolo (per DMFC), eliminando in tal modo qualsiasi fonte di inquinamento e riducendo praticamente a zero il tempo necessario per la ricarica, vale a dire due dei principali inconvenienti associati all'uso di una batteria. L'energia e la potenza di una PEMFC, inoltre, possono risultare adeguate per assicurare prestazioni di guida che, se ancora non paragonabili totalmente a quelle dei veicoli a benzina, possono tuttavia rendere il veicolo elettrico appetibile per un'ampia fascia di utenti. Numerosi progetti governativi e privati mirati all'utilizzazione di celle a combustibile come sistemi di alimentazione per auto sono oggi in corso di attuazione, e alcune case automobilistiche negli Stati Uniti, in Giappone e in Europa stanno realizzando prototipi di veicoli elettrici alimentati da PEMFC. Il maggior problema che ancora limita la produzione su larga scala è legato ai costi. D'altro canto, gli sforzi attualmente diretti a minimizzare la quantità di catalizzatore nella struttura elettrodica e a caratterizzare nuove membrane, forniscono buoni indizi circa l'identificazione di strutture di cella alternative, che a loro volta possono favorire la riduzione dei costi delle celle a combustibile, specialmente se prodotte industrialmente. Tenendo conto di queste prospettive, la circolazione nelle nostre città di auto ecologiche alimentate da celle a combustibile non appare più un traguardo irraggiungibile; in altre parole l’idrogeno, specie se ricavato per elettrolisi dall’acqua, costituisce, in prospettiva, una valida alternativa ai combustibili fossili nel settore dell’autotrazione: sotto forma di gas, può essere trasportato e utilizzato in modo sostanzialmente analogo al gas naturale, e sono già disponibili tecnologie efficaci per il suo immagazzinamento, trasporto ed utilizzazione come combustibile liquido.

8. Un esempio realizzato



Hyundai ha completato lo sviluppo della ix35 FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle), la vettura alimenta ad idrogeno realizzata sulla base della ix35, e inserita nel nuovo programma "Blu-Drive" dedicato alle vetture ecosostenibili della Casa corena.

Nelle prossime settimane il SUV asiatico inizierà i test sulle strade più difficili e nelle condizioni climatiche più aspre, per mettere alla prova le proprie qualità ed evidenziare i limiti, in previsione del lancio commerciale previsto per il 2015

Erede della Tucson FCEV, la ix35 ad idrogeno è alimentata da un sistema a celle combustibili, con due serbatoi per lo stoccaggio dell'idrogeno, che eroga una potenza di ben 100 kilowatt (134 CV) in grado di spingere la vettura ad una velocità massima di 160 km/h. Il SUV può essere utilizzato anche a temperature molto rigide, nell'ordine di 25° Celsius sotto lo zero, e può contare sull'incredibile autonomia di 650 km, pari a quella di un modello a benzina e molto superiore rispetto ai 370 km registrati dalla precedente Tucson FCEV.

Colocci Nicola

Bibliografia

Web:

www.treccani.it/
didattica-online.polito.it

idrogeno.assogastecnici.federchimica.it

www.museoenergia.it

www.geni.org/globalenergy

www.hydrogencarnow.com

www.wikipedia.it

www.pianetachimica.it

www.ambientemigliore.it

www.quattroruote.it

www.enea.it

www.ecoage.it

Testi:

Nuovo corso di chimica (F. Tottola, A. Allegrezza, M. Righetti)

Esplorando la Chimica (Valitutti ,Tifi, Gentile)