

# **Energia all'idrogeno**

**Classe 5St1  
Indirizzo Scientifico Tecnologico**

**Liceo Scientifico Ettore Majorana**



Anno scolastico 2006-2007

## **La Sfida Del 21° Secolo**

Attualmente, un terzo della popolazione mondiale non dispone di moderni servizi energetici. Questo problema interessa soprattutto le persone del terzo mondo che, vivendo nelle zone rurali e nelle campagne, si affidano alla combustione della legna da ardere sia per cucinare, riscaldare ed illuminare le loro abitazioni. Nei paesi sviluppati invece il 93% dei consumi energetici mondiali deriva da combustibili fossili; inoltre la continua crescita della popolazione e l'espansione dei paesi in via di sviluppo, accanto a quelli industrializzati, causano il continuo e maggiore bisogno di energia ed anche la grande immissione di gas tossici e gas serra nell'atmosfera fra cui l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>).

Il petrolio attualmente costituisce la fonte principale di energia perché è facilmente estraibile e può essere usato in tutti i campi industriali. Secondo le previsioni ci si aspetta che l'impiego di questa fonte non potrà mantenere la stessa posizione oltre al 2020. Il gas naturale invece è la fonte a crescita più rapida nei consumi energetici mondiali perché è la più conveniente dal punto di vista ambientale; infatti permette di garantire emissioni di composti solforati e di ossidi di carbonio molto inferiori al petrolio e al carbone, ma le scorte conosciute sono comunque limitate. Un'altra forma di energia è quella nucleare, che oggi è abbastanza utilizzata nei paesi sviluppati per la produzione di energia elettrica, nonostante si tenda a diminuire l'impiego a causa del difficile smaltimento delle scorie radioattive.

Ridurre l'inquinamento dei gas serra, che causano cambiamenti climatici improvvisi disastrosi per l'ambiente, rappresenta la sfida del 21° secolo.

Questa sfida che potrebbe essere vinta con l'espansione dell'impiego di fonti a basso o nullo contenuto di carbonio o con la separazione della CO<sub>2</sub> e lo sconfinamento della stessa. Tuttavia resta il problema dell'avvicinarsi dell'esaurimento delle scorte di carboni fossili.

Negli ultimi 20 anni si è compresa così l'esigenza di utilizzare maggiormente le energie rinnovabili pulite e non inquinanti tra quali l'energia solare, che viene utilizzata per il riscaldamento dell'acqua tramite pannelli solari, o per produrre energia elettrica grazie alle celle fotovoltaiche, l'energia eolica, che sfrutta la forza del vento, e quella idroelettrica, che trasforma l'energia cinetica dell'acqua dei bacini in energia elettrica. Queste sorgenti hanno però il difetto di non essere sempre disponibili, e richiedono quindi un qualche tipo di accumulo.

### **Perché l'idrogeno**

L'idrogeno è un vettore in grado di soddisfare i requisiti precedentemente indicati, infatti:

1. è un gas che brucia nell'aria secondo la formula: idrogeno più ossigeno uguale acqua e calore



2. può essere prodotto sia da fonti fossili, sia da fonti rinnovabili sia da fonti nucleari
3. può essere distribuito in rete abbastanza agevolmente compatibilmente con gli usi finali e con lo sviluppo delle tecnologie di trasporto e stoccaggio
4. può avere diverse applicazioni con un impatto locale nullo o estremamente ridotto

Sono indubbi i vantaggi energetici e soprattutto ambientali che conseguirebbero dall'uso esteso dell'idrogeno in particolari sistemi elettrochimici chiamati "celle a combustibile" che permettono la trasformazione dell'energia chimica contenuta nel gas in energia elettrica senza emissioni dannose.

Si può dire che l'idrogeno rappresenta in prospettiva un componente ideale di un futuro energetico sostenibile.

Lo sviluppo come vettore sostenibile richiede però la predisposizione di una vasta gamma di infrastrutture, per rendere l'impiego economico e affidabile a tutte le fasi di della catena tecnologica.

Tutto ciò costituisce una grossa sfida per i prossimi anni che tuttavia porterà grandi benefici in termini economici in quei paesi che adotteranno questa energia pulita.

## **L'idrogeno - Cos'è e come si produce**

### **L'Idrogeno: il vettore energetico del XXI secolo**

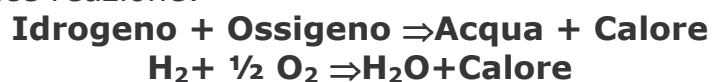
La vera natura dell'idrogeno, la cui esistenza è nota da secoli, si inizia a rivelare quando Paracelso (XVI secolo) descrive un gas infiammabile prodotto dalla reazione acido solforico-ferro.

Henry Cavendish, nel 1760, studia le proprietà e la preparazione dell'idrogeno dall'acqua e nel 1783 Lavoisier chiama questo gas "idrogeno", cioè "generatore d'acqua".

L'idrogeno è l'elemento più diffuso nell'universo, rappresentando il 75% di tutta la materia conosciuta. Sulla terra l'idrogeno è principalmente presente combinato con l'ossigeno per formare l'acqua. In altre forme è combinato con il carbonio, ossigeno e alcuni elementi nel mondo vegetale e animale ed in numerosissimi composti; infine è presente nell'aria.

L'atomo d'idrogeno è composto da un protone e da un elettrone; l'idrogeno gassoso, a temperatura ambiente, si trova in forma di molecola biatomica.

L'idrogeno, più leggero dell'aria e degli altri gas, ha la densità più bassa di ogni altra sostanza, un alto contenuto energetico in peso e la sua densità energetica (energia per unità di massa) è 3 volte quella del petrolio. L'idrogeno brucia secondo la semplice reazione:



La possibilità di affiancare all'elettricità, vettore energetico indiscusso la cui diffusione cresce inesorabilmente, l'idrogeno è dovuta ai seguenti motivi:

- Al contrario dell'elettricità, l'idrogeno è in grado di coprire tutti gli input energetici, fungendo anche da stoccaggio;
- È il migliore combustibile che si conosca, il più "energetico" (la sua combustione rende oltre 3 volte il calore sviluppato dal petrolio) ed il più "pulito" (il calore sviluppato è accompagnato solo dalla formazione di vapore acqueo);
- È l'elemento più diffuso;
- È il combustibile d'elezione per le celle a combustibile (ha la reazione di ossidoriduzione più semplice).

Questo gas, incolore, inodore e non velenoso, può rappresentare, pertanto, il vettore energetico del futuro, consentendo un'indispensabile distacco dalle risorse e dai vettori energetici fossili.

La produzione attuale di idrogeno nel mondo è di circa 44 milioni di tonnellate. Tale produzione viene assorbita per il 50% dalla fabbricazione dell'ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ), per il 20 % dalla formazione dell'alcool metilico ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), del cloruro di idrogeno, e dai processi di idrogenazione di oli vegetali per la fabbricazione di grassi alimentari, per il 25% per l'idrogenazione di prodotti petroliferi per ottenere benzine e per i restanti 5% come atmosfera riducente in trattamenti termici dei metalli.

Quindi si tratta di usi agricoli, alimentari ed industriali **non energetici**.

### **Metodi di Produzione**

Una prima distinzione generale dei metodi di produzione d'idrogeno si basa sul tipo di energia utilizzata ed il processo per rompere il legame che in natura lo vincola all'ossigeno (nell'acqua) o al carbonio (nelle sostanze organiche).

Principalmente possono essere considerate 3 classi di procedimenti:

#### **Processi di produzione per tipo di energia impiegata:**

- Termochimica: Consentono di estrarre idrogeno utilizzando energia termica
- Elettrochimici: Consentono di estrarre idrogeno utilizzando energia elettrica
- Biochimici: Consentono di estrarre idrogeno utilizzando organismi (alghe, microrganismi)

#### **Processi di produzione per fonte impiegata:**

- Fonti rinnovabili: Eolico, Idrico, Geotermico, Biomasse
- Fonti non rinnovabili: Gas naturale, Carbone

### **Produzione da fonti fossili**

Le tecnologie per produrre l'idrogeno a partire dai combustibili fossili sono ormai sperimentate e pienamente utilizzate. Circa 1/3 dell'idrogeno viene prodotto da combustibili fossili, gas naturale ed olio pesante, attraverso processi di **reforming** e ossidazioni parziali. Lo "**steam reforming**" è un processo, il più economico e il più comune, che prevede la reazione a caldo del metano (CH<sub>4</sub>) in modo da ossidare il carbonio e liberare l'idrogeno dalla molecola. Questa reazione avviene a temperature molto elevate, circa 800 °C. La miscela prodotta CO+H<sub>2</sub> (monossido di carbonio + idrogeno) contiene anche una percentuale di anidride carbonica.(CO<sub>2</sub>) che viene indicata nella trasformazione come gas d'acqua a cui viene aggiunto vapore acqueo alla temperatura di 400 °C. Questo metodo di produzione dell'idrogeno non è sostenibile dal punto di vista dell'ambiente poiché l'anidride carbonica prodotta durante la trasformazione viene immessa nell'atmosfera, come scarto, il che contribuisce ad aumentare la temperatura globale e perciò l'effetto serra. Una parziale soluzione a questo problema è la raccolta della CO<sub>2</sub> nei grossi impianti di produzione. Questa soluzione ha come vantaggio di evitare le emissioni di anidride carbonica e di altri inquinanti di una miriade di veicoli sparsi sul territorio concentrandole in impianti petrolchimici da dove potrebbero essere catturate, trasformate e immagazzinate nei giacimenti geologici profondi. Dal punto di vista tecnico questa proposta è già realizzabile, anche se comporta un innalzamento dei costi.

Resta il fatto che la produzione di idrogeno da combustibili fossili dovrebbe essere considerata solo come una sorta di collegamento verso la produzione da fonti rinnovabili, in quanto si deve arrivare a una produzione esclusivamente da fonti non solo "pulite", ma anche "rinnovabili".

È proprio in questa prospettiva che l'utilizzo dell'idrogeno come nuovo vettore energetico mostra tutto il suo interesse.

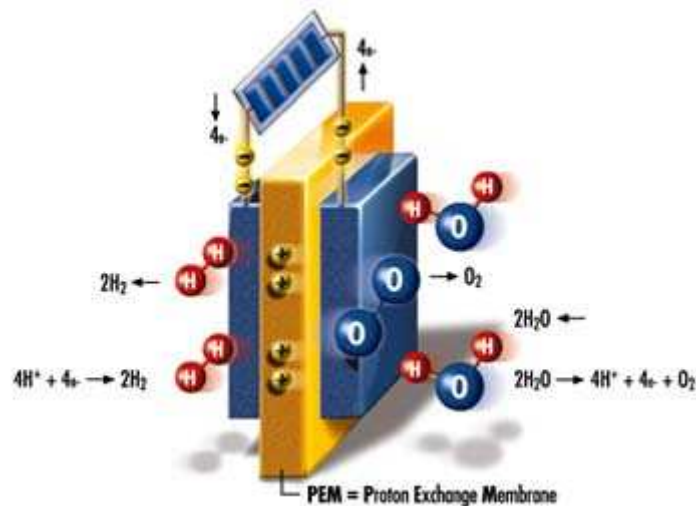
## **Produzione da fonti rinnovabili**

I processi per la produzione di idrogeno da fonti rinnovabili sono distinti in: produzione da biomasse e produzione dall'acqua. Ci sono anche altri metodi per produrre idrogeno ma richiedono tutti un impegno notevole di ricerca.

L'idrogeno può anche essere prodotto dall'acqua scindendo la stessa nei suoi componenti (idrogeno e ossigeno) attraverso diversi processi, uno dei quali è **l'elettrolisi**, rappresentata dalla seguente equazione:



La conversione elettrolitica produce idrogeno a partire da acqua + elettricità. Quando viene immessa corrente elettrica in acqua distillata, l'acqua si scompone in ossigeno che va all'anodo e l'idrogeno al catodo.



Gli elettrolizzatori consistono essenzialmente di un elettrodo negativo e uno positivo, insieme a un elettrolita. Gli elettrolizzatori PEM sono caratterizzati da una costruzione semplice e compatta. Il nome PEM deriva dall'elettrolita usato, che è una membrana di un polimero che conduce i protoni (Proton Exchange Membrane o Polymer Electrolyte Membrane). Entrambe le superfici della membrana sono rivestite con un sottile strato di materiale catalizzatore. L'intero processo di produzione e consumo è sostenibile per l'ambiente solo se l'energia elettrica necessaria per alimentare il processo di elettrolisi proviene anch'essa da fonti rinnovabili e pulite. In effetti il sole può essere considerato come sorgente di energia elettrica, se viene sfruttato grazie agli impianti di **conversione fotovoltaica**. Questa tecnica è affidabile ed adeguata, anche se non ancora competitiva. Con l'energia solare fotovoltaica si produce idrogeno e ossigeno i quali si possono fare ricombinare di nuovo nelle celle a combustibile per produrre l'energia elettrica necessaria. Lo scarto finale è acqua pura. Il ciclo si chiude senza emissioni inquinanti.

Il costo per produrre idrogeno puro con questo metodo è molto alto, ma potrebbe scendere notevolmente di pari passo con la diffusione degli impianti. Altri metodi per la dissociazione dell'acqua sono: uso di processi **termochimici** (calore ad alta temperatura 800-1000°C) e la **fotoconversione**, che scinde l'acqua usando **organismi biologici**.

#### Altri metodi di produzione - La gassificazione

La gassificazione è una reazione chimica di una sostanza che ha come obiettivo finale la produzione di un combustibile gassoso. Possono essere impiegati l'aria, l'ossigeno, il vapore acqueo o una miscela di questi. I prodotti di questa reazione sono idrogeno, monossido di carbonio, anidride carbonica e vapore d'acqua, metano ed idrocarburi allo stato di vapore o oli e ceneri. Se si considera il carbone come sostanza primaria, il contenuto di idrogeni e di ossigeno è minore.

L'idrogeno viene prodotto grazie alla reazione che si fa avvenire ad alta temperatura (1000°C) del carbonio con il vapore acqueo. Nella gassificazione del carbone questa reazione costituisce la prima fase del processo; in seguito, la miscela di monossido di carbonio e idrogeno prodotta, con l'aggiunta di

vapore acqueo, viene fatta passare su ferro e cobalto a 400 °C: si ha così la reazione detta di "conversione del gas d'acqua".

Il risultato di tutto il processo è: anidride carbonica e idrogeno. Per le biomasse, il sistema è costituito da 2 letti fluidi in cui far avvenire, separatamente, la combustione e la gassificazione per produrre un gas con azoto.

La gassificazione genera energia con grande efficacia fino a 50 MW, per un raggio di 20-50 Km per la raccolta delle biomasse e un costo dell'idrogeno prodotto che si aggira tra i 8 e i 10 € / GJ.

L'unico problema risulta essere quello dei costi, difatti, oltre i 100 km, i costi di trasporto rendono non conveniente l'uso del combustibile con bassa resa energetica e voluminoso come le biomasse.

#### Altri metodi di produzione - **La pirolisi (o distillazione secca)**

La pirolisi è un processo di decomposizione di materiali organici, ottenuto grazie al calore, a temperature comprese tra i 400 e i 800°C, in completa assenza, oppure, con una ridottissima quantità di ossigeno.

Le molecole organiche si spezzano in catene e i prodotti della pirolisi sono sia gassosi, sia liquidi, sia solidi, a seconda dei metodi di pirolisi.

Uno dei maggiori problemi, riguardanti la produzione dell'idrogeno, riguarda la qualità di prodotti perché, difatti, si produce anche "biolio" che necessita poi di uno stadio di reforming.

#### **Altri metodi di produzione - Termolisi**

Nel campo della termolisi si stanno studiando due possibilità: la prima sfrutta il calore prodotto nelle centrali termoelettriche o nucleari.

Questa è costituita da tre fasi:

- decomposizione termica dell'ioduro d'idrogeno in  $H_2$  e  $I_2$
- decomposizione termica dell'acido solforico in  $SO_2$  e  $O_2$
- reazione di  $I_2$  e  $SO_2$  in  $H_2O$  a temperatura ambiente da cui si genera HI e  $H_2SO_4$  che si ri-immettono nel ciclo.

La seconda metodologia si basa sul solare a concentrazione nel fuoco di uno specchio parabolico che riesce a raggiungere la temperatura di 2000°C. Queste elevate temperature possono essere impiegate per scatenare reazioni chimiche, non possibili con normali fonti di calore.

#### **Stoccaggio e distribuzione**

L'idrogeno può essere trasportato e accumulato in forma gassosa o liquida. Entrambe le forme presentano aspetti favorevoli e svantaggi e, se pur già utilizzate, richiedono significativi sforzi di ricerca e sviluppo per un impiego su larga scala affidabile e economicamente competitivo. Per il trasporto dell'idrogeno gassoso si può pensare a idrogenodotti ed esistono esperienze significative ma vanno migliorate per i materiali da impiegare e per la compressione del gas. Il trasporto in forma liquida in bombole, utilizzando autocarri, presenta problematiche ancora più complesse. I metodi di stoccaggio

dipendono dalle applicazioni considerate e sono critici soprattutto per l'impiego a bordo di veicoli perché richiedono una elevata densità di energia. Esistono diversi tipi di accumulo dell'idrogeno ma nessuna di questi è oggi pienamente soddisfacente; le possibili soluzioni prevedono la compressione del gas, la sua liquefazione e infine l'accumulo su idruri metallici.

## **Compressione**

Il modo più semplice ed economico per accumulare idrogeno è il suo utilizzo sotto forma di gas compresso a pressione di 200-250 bar.

La tecnologia risulta tuttavia non facilmente proponibile per l'uso a bordo di auto tradizionali, a causa del peso e dell'ingombro dei serbatoi attualmente utilizzati.

Di recente, notevoli progressi sono stati fatti con l'introduzione di serbatoi con struttura metallica o termoplastica rinforzata con fibre di carbonio.

Questi serbatoi sono in grado di operare a pressioni fino a 350 bar e consentono quindi di ottenere densità di accumulo di idrogeno adeguate all'uso a bordo di veicoli.

Le caratteristiche di sicurezza sono solitamente molto elevate.

## **Liquefazione**

L'idrogeno può essere immagazzinato anche in forma liquida ad una temperatura di  $-253\text{ °C}$ .

Per mantenere queste temperature sono stati messi a punto serbatoi criogenici a doppia parte, con un'intercapedine dove viene fatto il vuoto. Questa tecnologia è ormai consolidata in Germania.

L'accumulo in forma liquida è forse la tecnologia oggi più soddisfacente.

A sfavore dell'idrogeno liquido giocano la maggior complessità del sistema, non solo a bordo del veicolo ma anche a terra. Anche il costo energetico della liquefazione è considerevole, corrispondendo a circa il 30% del contenuto energetico del combustibile, contro un valore compreso tra il 4% e il 7% per l'idrogeno compresso.

## **Accumulo Chimico**

L'idrogeno può legarsi chimicamente con diversi metalli e leghe metalliche formando idruri, composti in grado di intrappolare idrogeno a pressioni relativamente basse. Il gas penetra all'interno del reticolo cristallino del metallo, andando ad occupare i siti interstiziali. Tale tecnologia permette di raggiungere densità energetiche potenzialmente maggiori dell'idrogeno compresso e paragonabili a quelle dell'idrogeno liquido. Il volume di stoccaggio si potrebbe ridurre di 3-4 volte, rendendone possibile l'uso nelle autovetture, mentre l'energia specifica dipende dal peso specifico del metallo di base. A fronte di tali caratteristiche positive, esistono ancora numerosi problemi da superare per la realizzazione di sistemi di accumulo veramente competitivi. Ad esempio, occorre lavorare ancora per migliorare la stabilità strutturale e termica del materiale. Comunque allo stato attuale i materiali disponibili

portano a sistemi di accumulo troppo pesanti: a parità di peso, il veicolo presenta un'autonomia tre volte inferiore a quella ottenibile con idrogeno liquido o compresso con serbatoi di tipo avanzato.

## **Distribuzione**

A seconda delle quantità interessate, l'idrogeno può essere trasportato per mezzo di autocisterne o con idrogenodotti. Fra le due opzioni, entrambe praticabili con le tecnologie attuali, esistono grosse differenze di costo e quindi solo specifiche analisi tecnico-economiche per le singole applicazioni possono determinare quale sia di volta in volta la soluzione migliore. D'altra parte è utile ricordare come anche in Italia, per più di 70 anni, si è distribuito nelle città senza problemi particolari il cosiddetto "gas di città". L'esperienza accumulata nel settore della distribuzione di gas può quindi essere utilizzata in maniera molto diretta anche per la realizzazione e l'esercizio di reti di distribuzione dell'idrogeno, grosso modo simili alle attuali reti per il gas naturale; le maggiori differenze potrebbero risiedere nei materiali utilizzati e nei criteri di progetto delle stazioni di pompaggio. Reti di distribuzione per idrogeno liquido, risultando particolarmente costose e di difficile gestione, sono finora state realizzate solo per applicazioni particolarmente specializzate come rifornimento.

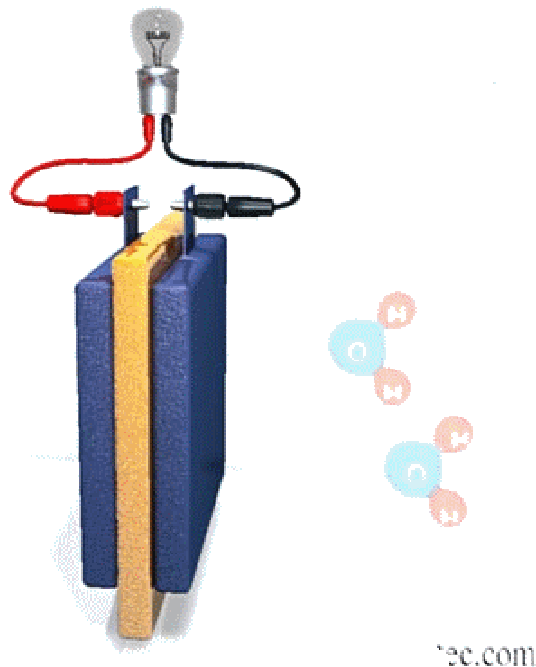
## **Utilizzo**

### **Le celle a combustibile**

Le celle a combustibile sono generatori elettrochimici capaci di convertire, direttamente ed in modo continuo, l'energia chimica di un combustibile in energia elettrica. Lo schema più elementare di una cella a combustibile è composto da un anodo (un elettrodo negativo), uno strato di elettrolita al centro ed un catodo (elettrodo positivo). L'ossidazione elettrochimica del combustibile e la riduzione dell'ossidante danno luogo alla produzione di energia elettrica, acqua e calore a temperature diverse a seconda della tipologia di **fuel cell** (FC).



In questa cella il catodo è alimentato direttamente con aria e l'anodo con l'idrogeno. L' $H_2$  inviato all'anodo, per effetto dell'azione del catalizzatore, si ossida formando  $H^+$  e cedendo elettroni  $e^-$ . La membrana elettrolitica permette la migrazione degli ioni  $H^+$  verso il catodo, mentre gli elettroni fluiscono attraverso un circuito esterno in forma di corrente elettrica.



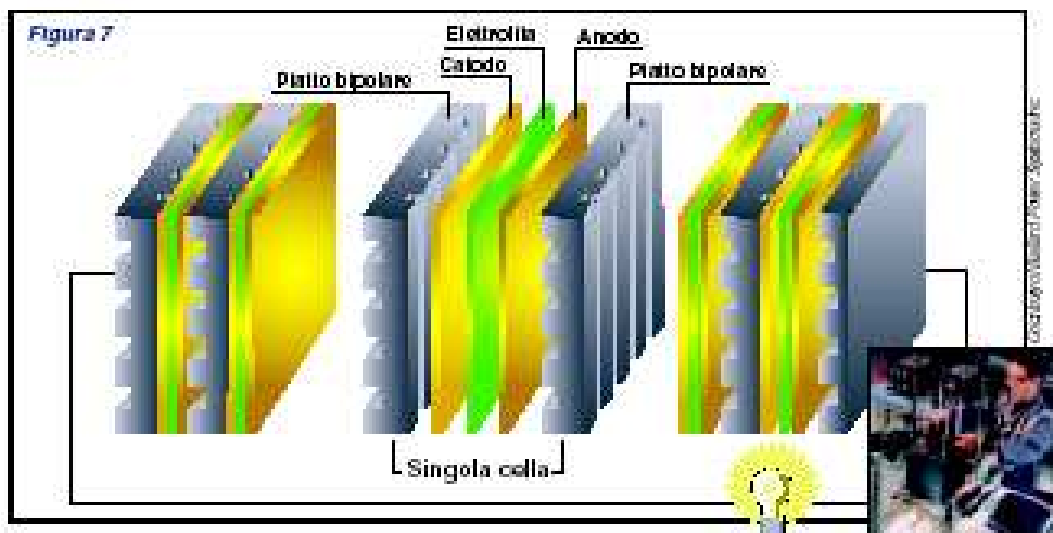
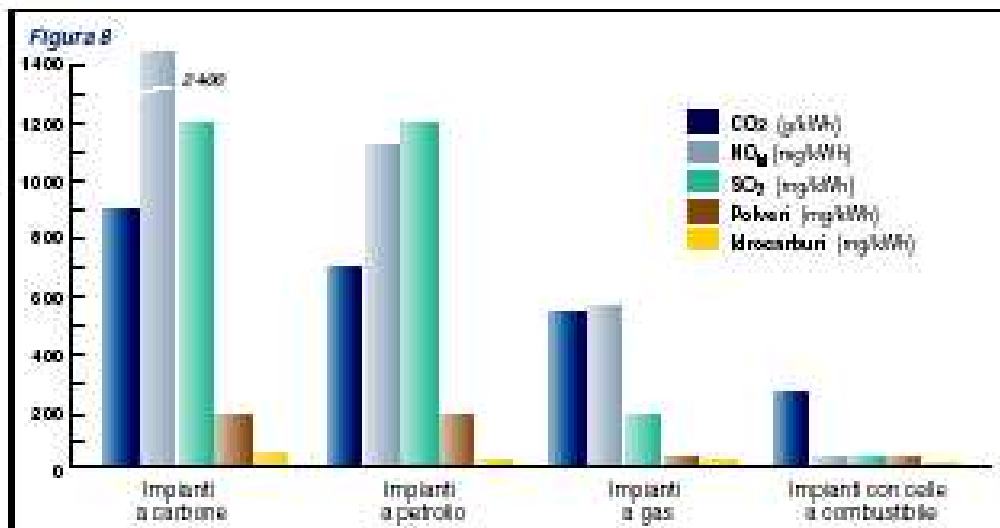
Il calore emesso nel corso delle reazioni elettrochimiche non è un prodotto di scarto; nelle celle che lavorano a media e alta temperatura, esso può essere recuperato e utilizzato. Le celle a combustibile sono convenzionalmente classificate in base al tipo di elettrolita presente al loro interno, che ne determina la temperatura di lavoro.

Un aspetto importante dell'alta

temperatura è la possibilità di produrre l' $H_2$  all'interno della stessa cella a partire da combustibili convenzionali, effettuando un reforming interno. Questa possibilità si traduce in una maggiore semplicità del sistema, eliminando la necessità di un processore esterno ed alimentando direttamente la cella con un combustibile convenzionale.

Per quanto riguarda le applicazioni nei trasporti e nel settore dei dispositivi portatili, l'energia termica ad alta temperatura costituisce un problema: per questa ragione vengono preferite le celle a bassa temperatura. Le attuali basse temperature di lavoro implicano inoltre l'utilizzo di catalizzatori costituiti da metalli nobili che si avvelenano facilmente quando l'idrogeno non è sufficientemente puro. Pertanto, nella sezione di trattamento del combustibile che precede la cella deve essere previsto lo stadio di eliminazione di impurezze, in particolare del CO. L'alimentazione del catodo, invece, avviene normalmente con aria.

Dopo le applicazioni spaziali, le celle a combustibile hanno trovato più recentemente anche un vasto impiego nella produzione di energia elettrica, in campo militare le celle a combustibile hanno trovato impiego nei sottomarini e nei mezzi terrestri, grazie alla loro bassa rumorosità e "traccia" termica che ne rende difficile la rilevazione all'infrarosso, mentre è già allo studio l'applicazione al settore navale che prevede la costruzione d'unità leggere per la sorveglianza delle coste. Inoltre stanno per essere immesse sul mercato celle a combustibile per l'alimentazione di dispositivi elettronici di fascia "consumer", quali i computer portatili, che garantiranno alte autonomie con un peso contenuto.



Esistono ancora molte perplessità per gli aspetti di sicurezza a causa della poca familiarità con questo settore. L'idrogeno è meno infiammabile della benzina, infatti la sua temperatura di autoaccensione è di circa 550°C, contro i 230-500°C della temperatura della benzina.

Inoltre è il più leggero degli elementi e perciò si diluisce molto rapidamente in spazi aperti.

Per individuare concentrazioni di idrogeno pericolose si utilizzano sensori che possono comandare sistemi di sicurezza. Quando brucia l'idrogeno si consuma molto rapidamente, sempre con fiamme rivolte verso l'alto.

Per contro materiali come la benzina, il gasolio, il GPL e il gas naturale sono più pesanti dell'aria e non disperdendosi rimangono una fonte di pericolo per tempi molto più lunghi. E' stato calcolato che un incendio causato da un veicolo a benzina dura dai 20 ai 30 minuti mentre per un veicolo ad idrogeno non dura più di 1 o 2 minuti. L'idrogeno al contrario dei combustibili fossili, non è tossico né corrosivo ed eventuali perdite dai serbatoi non causano problemi di inquinamento del terreno o di falde idriche sotterranee. Per la produzione di energia elettrica di potenza le celle a combustibile presentano pertanto

numerosi vantaggi nei confronti dei sistemi convenzionali, tra i quali essenzialmente:

- Maggiore flessibilità di uso, in quanto sono più adatte a fronteggiare le esigenze di un carico elettrico variabile, mentre la loro efficienza non è legata alle dimensioni dell'impianto;
- Maggiore efficienza elettrica che permette, a parità di energia elettrica prodotta, di risparmiare combustibile;
- Minore impatto ambientale, dato che i livelli di inquinamento chimico ed acustico sono molto bassi;
- Maggiore facilità di programmazione e costruzione: in rapporto alla struttura modulare, i tempi di costruzione possono essere fortemente ridotti e la potenza della centrale può essere incrementata nel tempo.

Nella generazione on-board, le FC presentano dei vantaggi rispetto sia ad un motore a combustione interna (ICE) sia ad un veicolo a trazione elettrica con accumulatori. Esse rappresentano, di fatto, uno "zero emission vehicle" (ZEV), se alimentate direttamente con  $H_2$ , o quantomeno un "near zero-emission vehicle" (NZEV), con l'uso di combustibili convenzionali, senza gli svantaggi ed i limiti né dei veicoli a trazione elettrica con accumulatori (elevato peso, bassa autonomia, lunghi tempi di ricarica, etc...) né dei veicoli con ICE (alto inquinamento, rumorosità, necessità di manutenzione).

Negli ultimi anni si sono registrati enormi progressi nelle apparecchiature elettroniche portatili; le batterie, pur con progressi limitati, sono attualmente l'unica opzione possibile per prodotti di consumo che richiedono una potenza fino a 100W.

Una FC operante a metanolo o ad idrogeno, potrebbe di contro fornire energia per tempi almeno trenta volte superiori alle attuali batterie NiCd.

## **Ricerca e sviluppo**

Da quanto detto finora si deduce che l'idrogeno può essere indicato senza dubbio come il combustibile del futuro, in grado di affiancarsi ai combustibili fossili nel corso dei prossimi decenni e di arrivare a proporsi come sostitutivo durante il secolo in corso. Il ciclo energetico dell'idrogeno, come illustrato all'inizio, è veramente "pulito" e totalmente compatibile con l'ambiente soltanto quando la sua produzione avviene grazie all'utilizzo di fonti rinnovabili. In questo scenario l'Italia può avere un ruolo di assoluta avanguardia in termini di:

- a. risorse energetiche primarie
- b. conoscenze scientifiche
- c. capacità tecnologiche.

Nel mondo, i principali Paesi industrializzati si stanno muovendo con programmi di ricerca e sviluppo volti al perfezionamento della tecnologia delle celle e allo sfruttamento dell'idrogeno. Gli Usa hanno lanciato l'iniziativa a largo spettro "Hydrogen Fuel" decollata nel 2003 con 2,3 miliardi di dollari. Il DoE, dipartimento statunitense per l'energia, ha innescato la nascita dell'International partnership for the Hydrogen Economy (Iphe), una sorta di consorzio cui hanno aderito 15 nazioni, Italia inclusa, e la Commissione

europea, per accelerare lo sviluppo dell'idrogeno e delle celle a combustibile. Obiettivo: poter acquistare nel 2020 a prezzi competitivi veicoli a idrogeno e poter contare sulle infrastrutture di rifornimento, gli idrogenodotti, e di distribuzione agli utenti.

## **Le potenzialità dell'idrogeno in Europa**

Nel 2002, a livello europeo, un gruppo di esperti si sono riuniti per definire un programma per lo sviluppo e la diffusione di questo vettore energetico. Nel 2003 a Bruxelles è stato presentato un documento, preparato grazie alla consulenza di Jeremy Rifkin, che prevede che intorno al 2050 l'idrogeno prodotto da fonti rinnovabili avrà il ruolo principale nella produzione di energia. Inoltre la Commissione europea ha avviato dal 2004 un programma "Piattaforma" su idrogeno e celle a combustibile per promuovere e accelerare lo sviluppo e la diffusione di tecnologie europee competitive, ma già dal 2003 con il "Quick-start programme" per investimenti nel settore in un arco di tempo fra il 2004 e il 2015 ha lanciato un paio di progetti mirati: la creazione di comunità a idrogeno autonome. Iniziative analoghe non mancano in Giappone, in Usa e in Germania.

Per l'Italia in particolare la produzione dell'idrogeno significherebbe fare un passo avanti verso l'indipendenza energetica, visto che il nostro paese è costretto a importare gas e petrolio dall'esterno. Inoltre, ciò contribuirebbe a diminuire la produzione di gas in serra, in linea con gli obiettivi previsti dal protocollo di Kyoto.

## **La catena dell'idrogeno**

L'idrogeno può essere il combustibile del futuro, ma tutti e tre gli anelli della "catena idrogeno" dovranno essere pronti: 1- produzione, 2- stoccaggio, trasporti e distribuzione, 3- utilizzi.

Esistono molti studi di approfondimento in atto per gli incrementi di efficienza dei diversi sistemi di produzione di idrogeno e relativi abbattimenti di costi. In particolare in Islanda è partito un progetto per la prima "**Hydrogen Society**". Lo sviluppo economico islandese, nel ventesimo secolo, si è basato fortemente sull'energia geotermica e idroelettrica. Sono tuttavia utilizzati i combustibili fossili per il trasporto e l'industria della pesca.

Allo scopo di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>, l'Islanda sta accingendosi a convertire l'intero settore dei trasporti e della pesca all'idrogeno, che potrebbe essere estratto dai gas geotermici.

Il programma di lavoro della Nuova Energia Islandese si divide in cinque fasi:

1. Il progetto ECTOS (Ecological City Transport System), che consiste nello studio di fattibilità del passaggio a idrogeno dell'intero sistema degli autobus di Reykjavik
2. Graduale sostituzione della flotta degli autobus della città di Reykjavik con autobus a fuel cell
3. Introduzione di auto a idrogeno per il trasporto privato

4. Studio di fattibilità del passaggio a idrogeno dell'intera flotta dei pescherecci islandesi
5. Graduale sostituzione della attuale flotta dei pescherecci con vascelli alimentati a fuel cell

Si prevede che l'intero programma potrebbe essere completato entro il 2030-2040. L'importanza di questo progetto d'avanguardia, a scala reale, consiste nella possibilità di riadattarne i risultati in altri paesi.

Un progetto analogo è in corso anche alle Hawaii. Questo stato, conta di diventare autosufficiente sfruttando l'energia geotermica e solare, di cui dispone in abbondanza, e convertendola in idrogeno.

In Giappone, come in Usa e in Germania sono state realizzati impianti dimostrativi di grande taglia che producono motori alimentati a celle a combustibile.

Per quest'ultime, in Italia, c'è l'Ansaldo Fuel Cells che ha varato a Terni uno stabilimento per la produzione di queste "batterie" e c'è anche l'Arcotronics Fuel Cells nella emiliana Sasso Marconi che sviluppa e commercializza sistemi integrati basati su celle a combustibile per applicazioni nei campi civile e spaziale dei trasporti. Non mancano inoltre progetti dimostrativi da parte di Province, Comuni e Regioni.

Per quanto riguarda la distribuzione il problema principale è quello del ritorno dell'investimento iniziale. Per questo si possono immaginare due fasi: nella prima, sperimentale, l'idrogeno sarà utilizzato prevalentemente da grosse organizzazioni governative che, una volta convertita la propria flotta di veicoli potrà poi predisporre una stazione di rifornimento di idrogeno dedicata. Nella seconda fase si potrà passare alla creazione di una rete di distribuzione su un intero territorio anche grazie ad una politica di incentivi pubblici.

Per quanto riguarda l'utilizzo dell'idrogeno nella autotrazione gli studi sono ormai avviati da tempo e i primi "nuovi" risultati sono già arrivati: tutte le principali case automobilistiche stanno realizzando, già da qualche anno, prototipi funzionanti, e si prevede ormai in tempi brevi la commercializzazione di autovetture a idrogeno.

Questo potenziale è stato messo in relazione con il possibile futuro mercato europeo di combustibile-idrogeno nel settore autotrasporti, valutando i seguenti scenari per i prossimi decenni:

- Scenario A: 20% dei veicoli europei sostituiti da veicoli a idrogeno
- Scenario B: 50% dei veicoli europei sostituiti da veicoli a idrogeno
- Scenario C: 100% dei veicoli europei sostituiti da veicoli a idrogeno

## **I veicoli a idrogeno**

### **L'utilizzo delle celle a combustione nella trazione**

L'uso delle celle a combustibile nella trazione (autoveicoli) presenta molti vantaggi, ma dovremmo abituarci alla visione di nuovi tipi di veicoli. La presenza di un motore elettrico e di un sistema di accumulo consente il recupero di energia in frenata e ciò può portare a notevoli risparmi di combustibile. L'autonomia del veicolo dipende dalla tecnologia utilizzata per lo

stoccaggio dell'idrogeno mentre la guidabilità è praticamente identica a quella dei veicoli elettrici con una forte accelerazione a bassa velocità.

L'impatto ambientale di un veicolo a celle alimentato ad idrogeno è nullo, con i gas di scarico che contengono solamente aria e vapore d'acqua. Dopo i primi prototipi realizzati, il tipo di cella su cui si sono concentrati tutti i costruttori di veicoli è quello ad elettrolita polimerico che comporta i seguenti vantaggi:

- Funzionamento a bassa temperatura
- Elevata densità di potenza dello stack
- Assenza di problemi di corrosione
- Relativa semplicità costruttiva
- Rapidità di partenza a freddo (circa un minuto)
- Il veicolo è a "zero emissioni"

Bisogna concentrare l'attenzione sulla riduzione dei costi. Attualmente il costo dei veicoli a idrogeno è di gran lunga superiore a quello dei tradizionali veicoli a benzina o diesel. Ciò è causato dall'assenza di una produzione di massa di veicoli a celle combustibile; è facile ipotizzare che tali costi potranno essere drasticamente ridotti con l'aumento della produzione di tali veicoli.

## **Quando arriverà l'era dei veicoli a idrogeno?**

Ci sono vari ostacoli che si oppongono alla produzione e commercializzazione del veicolo a idrogeno.

I principali sono:

- problemi tecnologici:

tra questi il sistema di accumulo dell'idrogeno a bordo è uno dei più critici, in quanto condiziona pesantemente l'autonomia del veicolo.

Inoltre il costo di una cella ad elettrolita polimerico in un sistema in scala industriale risulterà molto influenzato da metalli preziosi come il platino.

- Problemi strutturali:

comprendono la mancanza di una rete di stazioni di rifornimento.

Dovranno essere previste due fasi: una prima, sperimentale, durante la quale l'idrogeno potrà essere fornito da stazioni predisposte presso i gestori delle flotte, e una seconda accompagnata da incentivi pubblici per creare una rete di distribuzione sull'intero territorio.

- problema psicologico:

i cittadini tendono a utilizzare le tecnologie più familiari e devono riuscire a capire che i futuri mezzi non sono meno sicuri degli attuali.

Quindi si dovrà comprendere che l'idrogeno porterà solamente vantaggi come la diminuzione dell'inquinamento e una migliore vivibilità del pianeta.

## **Esempio di auto a idrogeno: Honda FCX a celle combustibili**

La **Honda FCX** del 2005 è dotata di celle a combustibili sviluppate autonomamente da Honda, in grado di avviarsi e funzionare anche a temperature molto basse (fino a  $-20^{\circ}\text{C}$ ). Questa ultima versione di FCX ha ricevuto significative evoluzioni tecniche ed è anche in grado di rimanere operativa alle alte temperature, sino a  $95^{\circ}\text{C}$ .

### **SCHEDA TECNICA:**

Numero di occupanti: 4 persone

Velocità massima: 150km/h

Motore, Potenza massima: 80kW  
(109CV)

Coppia massima: 272N.m(27.7kg.m)

Tipo: AC Motore elettrico sincronico  
(prodotto da Honda)

Celle combustibili, Tipo: Celle  
combustibili con membrana di  
scambio protonico (prodotto da  
Honda)

Potenza: 86kW



Combustibile, Tipo: **Gas idrogeno compresso**

Immagazzinamento: Serbatoio d'idrogeno ad alta

Immagazzinamento pressione (350 atmosfere)

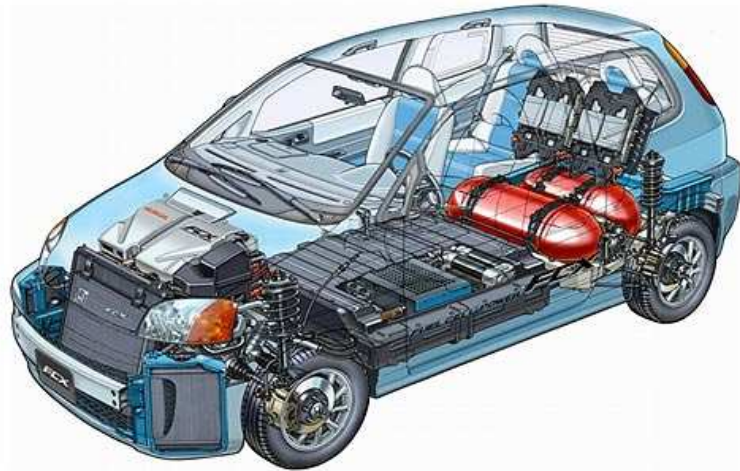
Capacità: 156.6 litri

Dimensioni (Lunghezza x Larghezza x Altezza, mm:

4165 x 1760 x 1645

Immagazzinamento dell'energia: Ultra condensatore  
(prodotto da Honda)

Autonomia del veicolo\*: 430km



**rifornimento**

## **Bibliografia**

**"Ecoenergie": Idrogeno il sistema energetico, le celle a combustibile,  
gli usi finali**

**di Gaetano Cacciola, Fabio Orecchini, Raffaele Vellone**

**stampa: La Buona Stampa**

**Ottobre 2003**

**Opuscolo Enea: Idrogeno energia del futuro**

**ottobre 2003**

**J. Rifkin: Economia all'Idrogeno**

**Autore: Jeremy Rifkin**

**Anno Edizione: 2002**

**Editore: Mondadori**

**Pagine: 352**

## **Sitografia**

**[www.dooyoo.it](http://www.dooyoo.it)**

**[web.ct.infn.it](http://web.ct.infn.it)**

**[www.honda.it](http://www.honda.it)**

**[www.enea.it](http://www.enea.it)**

**[www.h-tec.com](http://www.h-tec.com)**

**[www.energoclub.it](http://www.energoclub.it)**

**[www.diodati.org](http://www.diodati.org)**

## **Realizzato dalla 4ST1**

**Angelucci Nicola**

**Attioli Federico**

**Cherubini Sonia**

**Contenti Jessica**

**Franciaglia Elisa**

**Graziani Giulia**

**Magistrato Simone**

**Maiotti Simone**

**Pagnotta Massimiliano**

**Pauselli Maurizio**

**Pietrini Luca**

**Proietti Vincenzo**

**Santi Giacomo**

**Servoni Matteo**

**Settembre Jacopo**

**Squazzino Mirko**

**Volpi Cristiano**