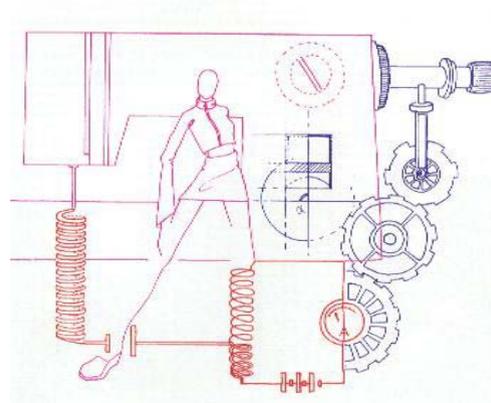


IPIA C.A. DALLA CHIESA – OMEGNA
PROGETTO ALTERNANZA SCUOLA – LAVORO
classi 4° e 5° TIEL – TIM a.s. 2011/2012



PRODUZIONE DI ENERGIA DA
FONTI RINNOVABILI

RISPARMIO ENERGETICO

prof. Massimo M. Bonini

TECNOLOGIE ALL'IDROGENO



Tecnologie all'idrogeno

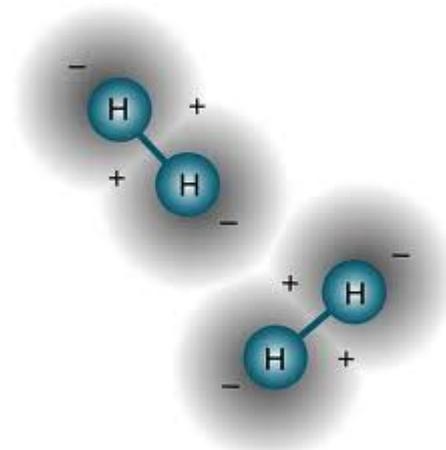
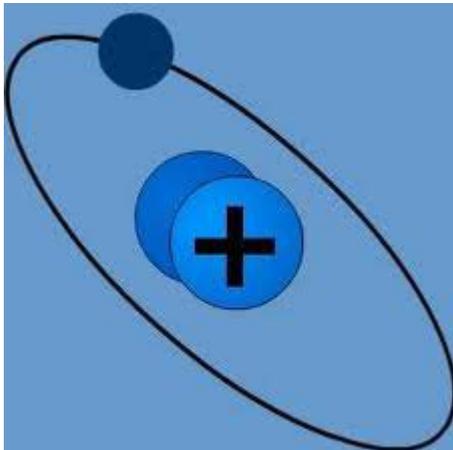
- **richiami di elettrochimica**
- **produzione d'idrogeno**
- **impiantistica di settore e relativi componenti**
- **lo stato dell'arte in Italia**

IDROGENO

L'idrogeno è il più semplice degli elementi chimici, il primo nella classificazione periodica di Mendeleev.

Allo stato naturale l'atomo d'idrogeno si presenta costituito con un protone nel nucleo e un elettrone nella nube, sul primo orbitale.

Tali atomi risultano di per sé particolarmente instabili, per cui tendono, in prima istanza, ad unirsi due a due formando la molecola H_2 , tenuta insieme da un legame covalente.

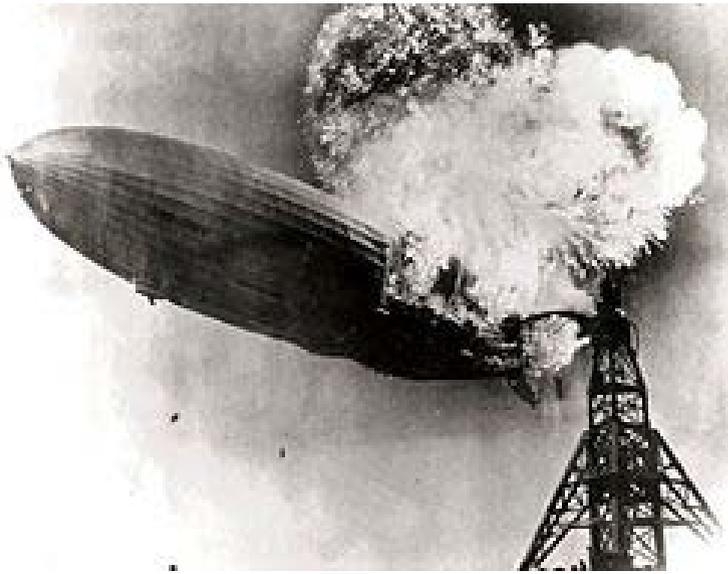


A pressione atmosferica e a temperatura ambiente (20 °C) l'idrogeno è un gas incolore, inodore e altamente infiammabile (quindi pericoloso!)

L'idrogeno è l'elemento più leggero e più abbondante di tutto l'universo. È presente in alcuni minerali, nell'acqua (11,19%), in tutti i composti organici e negli organismi viventi.

L'idrogeno forma composti con la maggior parte degli elementi, spesso anche per sintesi diretta.

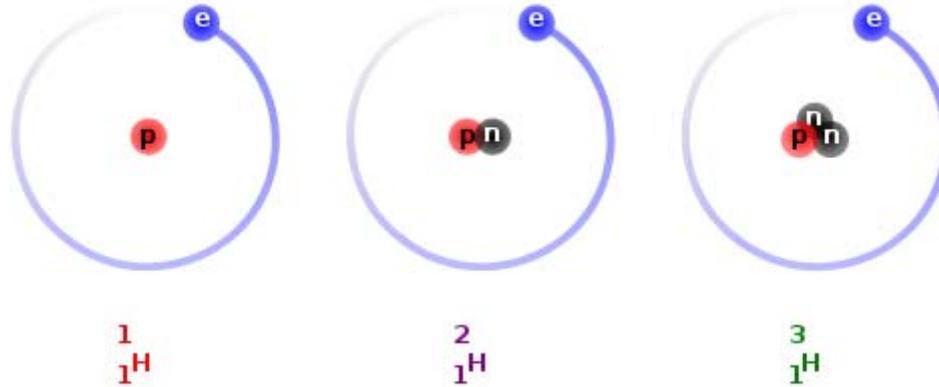
Le stelle sono principalmente composte di idrogeno, di cui rappresenta il combustibile delle reazioni termonucleari, mentre sulla Terra è scarsamente presente allo stato libero e molecolare e deve quindi essere prodotto per i suoi vari usi. In particolare questo elemento è usato nella produzione di ammoniaca, nell'idrogenazione degli oli vegetali, in aeronautica (in passato nei dirigibili), come combustibile alternativo e, di recente, come riserva di energia per le pile a combustibile.



Il disastro del dirigibile da trasporto Hindenburg (6 maggio 1937), dovuto all'elevatissima infiammabilità dell'idrogeno.

Le caratteristiche di solubilità e adsorbimento dell'idrogeno con vari metalli sono molto importanti nella metallurgia (alcuni metalli possono essere indeboliti dall'idrogeno) e nello sviluppo di forme sicure di immagazzinamento per un utilizzo come combustibile.

Isotopi dell'idrogeno



In chimica si definisce isotopo un elemento il cui atomo presenta nel nucleo un numero diverso di neutroni.

Il più comune isotopo dell'idrogeno (prozio) non ha neutroni, ne esistono però altri due: il deuterio con un neutrone, e il trizio (radioattivo) con due. I due isotopi stabili sono il prozio (${}^1\text{H}$) e il deuterio (${}^2\text{H}$, D). L'idrogeno è l'unico elemento a cui si attribuiscono nomi differenti per alcuni dei suoi isotopi.

Il deuterio, combinandosi con l'ossigeno, forma la molecola della cosiddetta acqua pesante, composto di grande importanza in fisica nucleare, ma tossico per gli animali, uomo compreso.

Combustione dell'idrogeno

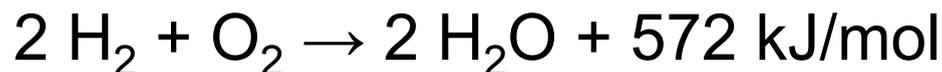
L'idrogeno gassoso è altamente infiammabile e brucia in aria a concentrazioni dal 4 al 75% (parti di idrogeno su 100 parti d'aria) e in atmosfera di cloro dal 5 al 95%.

Le miscele di idrogeno detonano molto facilmente a seguito di semplici scintille o, se in alta concentrazione di reagenti, anche solo per mezzo della luce solare in quanto il gas reagisce violentemente e spontaneamente con qualsiasi sostanza ossidante.

La temperatura di autoignizione (accensione spontanea) dell'idrogeno in aria (21% di ossigeno) è di 500 °C circa.

L'entalpia (energia assorbita) della combustione dell'idrogeno è -286 kJ/mol (1 mole di idrogeno è pari a circa 2 grammi) pari a $12,7$ MJ/nm³ (per il metano $35,1$ MJ/nm³)

La reazione di combustione in aria è la seguente:



Da questo deriva che la combustione dell'idrogeno gassoso produce una buona quantità di energia e dà, come residuo, acqua allo stato puro.

Quindi il processo risulta particolarmente apprezzabile dal punto di vista ambientale, in quanto non produce né inquinanti né gas serra.



Si parla molto dell'idrogeno come possibile fonte di energia per l'autotrazione e per la climatizzazione degli ambienti.

Prototipo di veicolo alimentato ad idrogeno

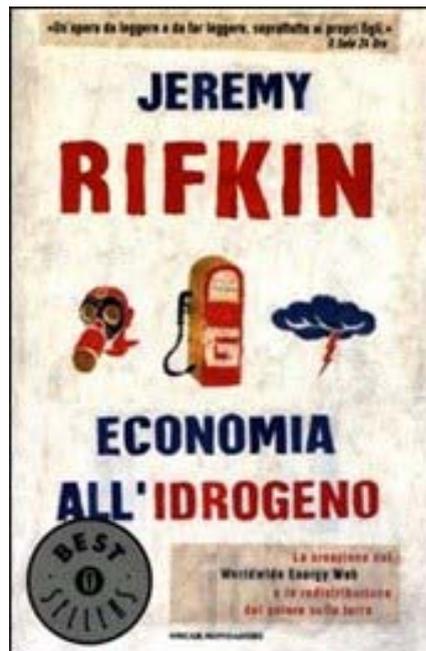
L'impiego dell'idrogeno avrebbe il vantaggio di utilizzare le fonti fossili per ottenere direttamente il gas (a partire dal metano, per esempio). L'idrogeno usato poi come combustibile nei mezzi di trasporto, reagendo con l'ossigeno, darebbe come unico prodotto di scarto l'acqua (vapore), eliminando completamente le emissioni di anidride carbonica (gas serra) e riducendo quindi i problemi climatico-ambientali ad esse associate.

Utilizzato come combustibile presenta diversi vantaggi. Brucia all'aria quando la sua concentrazione è compresa tra il 4 ed il 75% del suo volume, mentre il gas naturale brucia a concentrazioni comprese tra il 5,4 ed il 15%. La temperatura di combustione spontanea è di 585 °C, mentre quella del gas naturale è di 540 °C. Il gas naturale esplose a concentrazioni comprese tra il 6.3 ed il 14%, mentre l'idrogeno richiede concentrazioni dal 13 al 64%.

L'unico svantaggio sarebbe nella densità di energia dell'idrogeno liquido o gassoso (a pressione utilizzabile) che è significativamente inferiore rispetto ai tradizionali combustibili e quindi necessita di essere compresso a pressioni più elevate in fase di stoccaggio.

Stante l'attuale sviluppo tecnologico, l'idrogeno può essere effettivamente utilizzato a fini energetici come combustibile nei motori a combustione interna utilizzati su alcuni prototipi di auto.

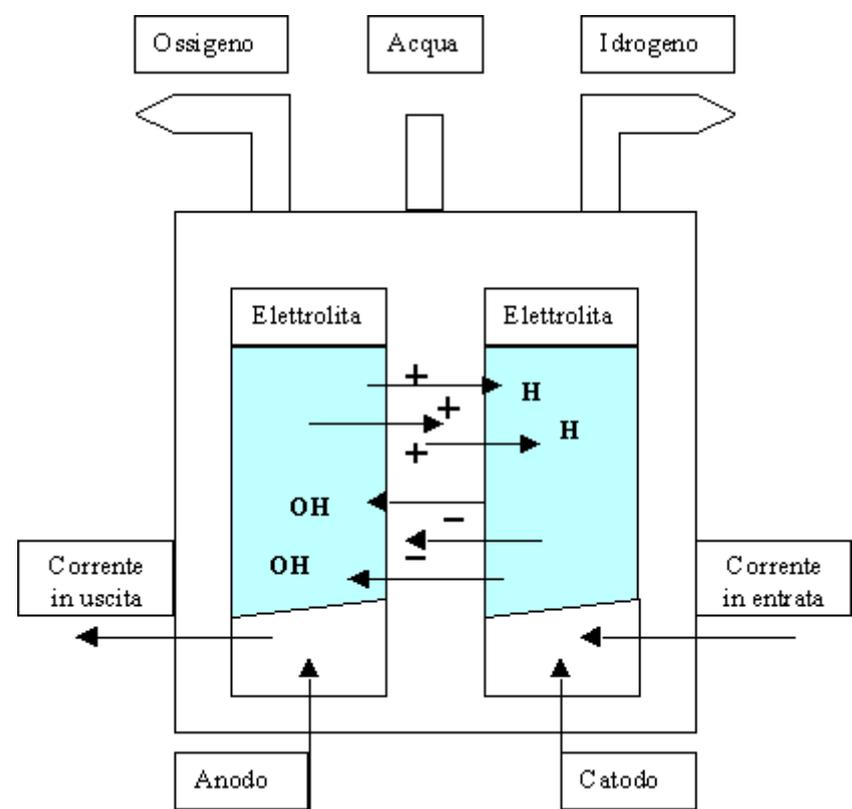
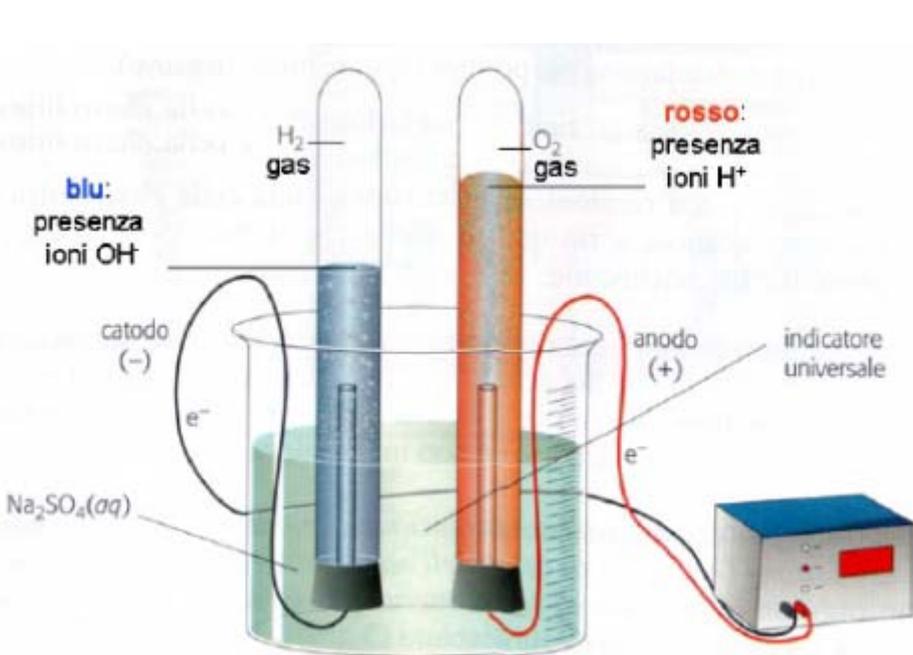
Le pile a combustibile, attualmente in via di sviluppo, sono poi un modo alternativo per ottenere energia sotto forma di elettricità dall'ossidazione dell'idrogeno senza passare dalla combustione diretta ottenendo una maggiore efficienza in un futuro in cui la produzione di idrogeno potrebbe avvenire da fonti rinnovabili e non più combustibili fossili.



Secondo i sostenitori della cosiddetta *economia all'idrogeno* queste due tecnologie ad idrogeno, oltre a risolvere il problema energetico, sarebbero quindi anche in grado di offrire un'alternativa pulita agli attuali motori a combustione interna alimentati da fonti fossili.

Il problema è però a monte: l'idrogeno atomico e molecolare è assai scarso in natura, e soprattutto si trova combinato con altri elementi a formare vari composti; dunque non è una fonte primaria di energia come lo sono gas naturale, petrolio e carbone, ma deve essere prodotto artificialmente, spendendo energia, a partire da fonti energetiche primarie, ad esempio scomponendo l'acqua per azione di correnti elettriche. Sarebbe quindi impiegabile unicamente come vettore energetico cioè come mezzo per immagazzinare e trasportare l'energia disponibile ove occorra, mentre il ciclo di produzione/utilizzo sarebbe comunque inefficiente dal punto di vista termodinamico poiché la sua produzione richiederebbe in genere un'energia maggiore di quella che poi si renderebbe disponibile attraverso la sua 'combustione'.

La molecola d'acqua è infatti più stabile e quindi meno energetica dell'ossigeno e dell'idrogeno separati e segue la legge secondo la quale i processi "naturali" portano un sistema da un'energia più alta ad una più bassa tramite una trasformazione. Per le leggi della termodinamica l'estrazione di idrogeno dall'acqua non può avvenire dunque come reazione inversa a costo zero, cioè senza spendere lavoro.



Processo di elettrolisi dell'acqua

L'ossigeno, prodotto secondario, può avere molti impieghi industriali o medici

Qualsiasi metodo di estrazione comporta quindi un costo che è pari all'energia liberata successivamente dalla combustione dell'idrogeno se a tal fine si utilizza l'esatto processo inverso, ed in realtà in tal caso anche maggiore perché non esiste alcuna macchina con rendimento pari al 100% durante il processo di estrazione.

In altri termini la produzione di idrogeno attraverso il metodo più semplice, ovvero l'elettrolisi dell'acqua, e il successivo utilizzo dell'idrogeno nella reazione inversa con l'ossigeno nelle pile a combustibile non solo non porta ad alcun guadagno energetico, ma anzi, per quanto detto sopra, il guadagno netto energetico sarebbe negativo cioè ci sarebbe una perdita dovuta alle dissipazioni in calore.

La tecnologia diviene però interessante se l'elettricità necessaria all'elettrolisi viene ricavata da fonti rinnovabili quali fotovoltaico o geotermico. In questo caso la produzione di idrogeno diventa un buon metodo per immagazzinare l'energia e utilizzarla nei periodi di minor disponibilità della fonte rinnovabile.

Quindi, ancora una volta, si può dire che la 'carta vincente' è costituita dall'integrazione tra le diverse fonti disponibili.

UTILIZZAZIONE DELL'IDROGENO

Attualmente, ricapitolando, esistono quattro forme di utilizzazione dell'idrogeno per la produzione di energia:

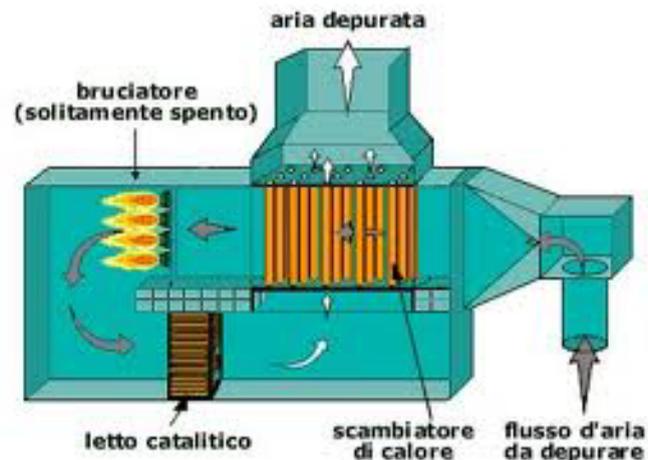
- Combinandolo chimicamente con l'ossigeno dell'aria attraverso bruciatori convenzionali e con processi catalitici, come avviene nei motori a combustione interna ad idrogeno, permettendo anche un'ampia applicazione nell'ambito domestico.
- Combinandolo elettrochimicamente con l'ossigeno senza la generazione di fiamme per produrre direttamente elettricità in un reattore conosciuto con il nome di cella (o pila) a combustibile.
- Unendo i suoi nuclei in un reattore denominato *Tokamak*, durante il processo conosciuto con il nome di fusione nucleare.
- Combinandolo chimicamente con l'ossigeno in un mezzo acquoso in una caldaia non convenzionale per produrre vapore motrice, nel ciclo conosciuto come *Chan K'iin*.

Combustione catalitica

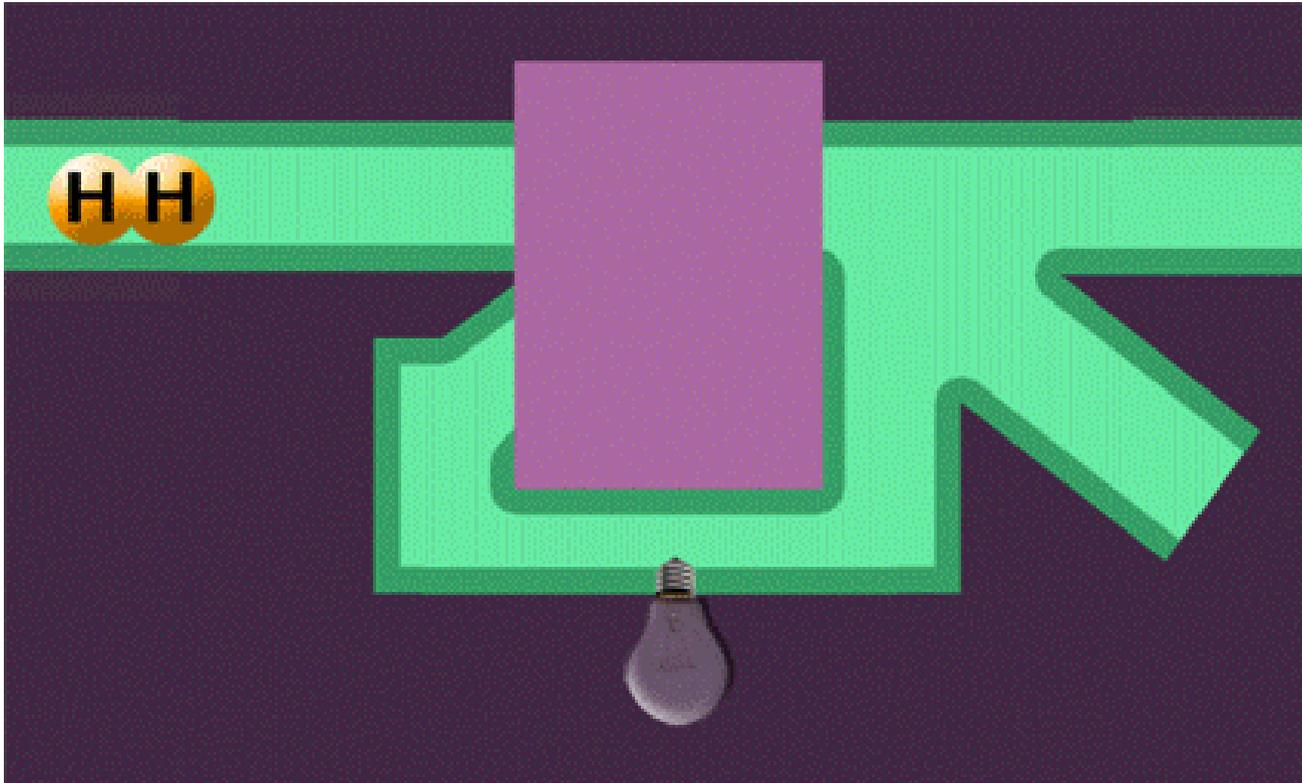
I bruciatori radianti hanno il vantaggio di emettere radiazioni infrarosse senza l'impiego della fiamma mediante trasformazione del calore prodotto della combustione catalitica di combustibili gassosi.

I catalizzatori sono sostanze chimiche che provocano o accelerano una reazione senza consumarsi nel processo. Nel pannello catalitico industriale i gas filtrando attraverso una serie di catalizzatori altamente selettivi, si combinano con l'ossigeno dell'atmosfera e generano calore sotto forma di raggi infrarossi.

L'assenza di fiamma li rende particolarmente sicuri anche in ambienti detonanti; la combustione catalitica sfrutta praticamente al 100% il potere calorifico del combustibile gassoso adoperato con enorme economia d'esercizio.



Celle a combustibile



Una pila a combustibile (detta anche cella a combustibile dal nome inglese fuel cell) è un dispositivo elettrochimico che permette di ottenere elettricità direttamente da certe sostanze, tipicamente da idrogeno ed ossigeno, senza che avvenga alcun processo di combustione termica.

L'applicazione che tutti ricordano delle pile a combustibile è l'auto a idrogeno. Però le pile a combustibile hanno molte più applicazioni, e spaziano su un ampio intervallo di potenza: dai cellulari alle centrali elettriche. I costi e la competizione di tecnologie mature come il motore a combustione interna, le batterie al litio e le turbine a gas hanno finora impedito la commercializzazione su ampia scala delle pile a combustibile.



LO STATO DELL'ARTE

Assago: inaugurato impianto ad idrogeno metano

Firmato un protocollo di intesa tra Regione Lombardia e Eni, in occasione dell'inaugurazione del primo impianto di erogazione della miscela metano-idrogeno in Italia, ad Assago, sulla tangenziale ovest di Milano.

Saranno realizzati 30 nuovi impianti per l'erogazione di metano per automobili su strade e autostrade lombarde entro il 2012 (un impianto ogni 45 mila abitanti per la rete ordinaria; un impianto ogni 30 km rete autostradale).

Il progetto è finanziato con bando regionale che prevede la realizzazione di un'altra stazione di servizio a Monza, e la produzione di 20 auto Panda, funzionanti a metanobenzina, progettate perché possano viaggiare anche alimentate a metano-idrogeno.



A Roma un impianto a idro-metano

A Tor di Quinto, presso la sede del centro sportivo dell'Università Sapienza di Roma, è stato installato un impianto sperimentale di cogenerazione e di distribuzione di carburante per autoveicoli. Primo nel suo genere in Italia, il sistema è alimentato da una miscela idrogeno-metano, prodotta da elettrolisi dell'acqua ottenuta grazie all'energia proveniente da pannelli fotovoltaici.

L'impianto è frutto della collaborazione tra La Sapienza e il Comune di Roma e si inserisce nel programma di Energy Management dell'Ateneo romano, di cui è responsabile il professor Livio de Santoli.

La miscela di metano e idrogeno potrà essere utilizzata come carburante per automobili oppure, passando nel cogeneratore, potrà produrre l'energia elettrica necessaria al riscaldamento della piscina. Un impianto al 100% rinnovabile, quindi, che riduce l'emissione di CO₂ del 30% per l'uso dell'auto e del 20% per il riscaldamento della piscina.



L'energia dall'idrogeno: a Venezia il primo impianto a zero emissioni

Doppio traguardo per la centrale a idrogeno realizzata da Enel a Venezia. A distanza di pochi giorni dall'entrata in servizio della nuova condotta di trasporto dell'idrogeno fornito da Polimeri Europa (Eni), infatti, è stato avviato con successo il funzionamento 100% a idrogeno dell'impianto. I cittadini del veneziano sono stati i primi al mondo a ricevere energia prodotta dal più grande impianto a "zero emissioni" di taglia industriale: la centrale Enel di Fusina, alimentata interamente ad idrogeno. Dopo l'inaugurazione del cantiere, avvenuta nell'aprile 2008, i lavori infrastrutturali e tecnologici sono proceduti secondo i programmi: già nella primavera di quest'anno sono stati effettuati i primi test di funzionamento della turbina utilizzando gas metano, per arrivare all'alimentazione integrale ad idrogeno, oggi disponibile grazie al completamento della apposita condotta.



La prima immissione in rete dell'energia prodotta e il corretto funzionamento dell'impianto rappresenta un ottimo risultato tecnologico, se si considera che mai era stato testato un impianto di questo tipo e che anche il combustore utilizzato è un modello esclusivo, sviluppato specificatamente per questo progetto dalla Ricerca di Enel in collaborazione con General Electric Oil & Gas - Nuovo Pignone.

La centrale a idrogeno di Fusina ha una potenza di 12 MW ai quali se ne aggiungono altri 4 MW generati dall'uso, nell'impianto a carbone esistente, dei gas caldi prodotti dalla turbina alimentata a idrogeno. L'energia prodotta, pari a circa 60 milioni di chilowattora l'anno, sarà in grado di soddisfare il fabbisogno di 20.000 famiglie, evitando l'emissione in atmosfera di oltre 17.000 tonnellate di anidride carbonica (CO₂). L'idrogeno che alimenta la centrale Enel è prodotto dal cracker di Polimeri Europa (Eni), che lo utilizza per alimentare i propri impianti, in base a un contratto siglato nel 2008.

Il primo impianto al mondo di questo tipo è stato localizzato nell'area della centrale Enel "Andrea Palladio" di Fusina, vista la disponibilità nell'area di idrogeno, generato come by-product di alcuni cicli produttivi presenti nell'adiacente Petrolchimico di Porto Marghera (Venezia).

PRODUZIONE DI IDROGENO CON LE BIOTECNOLOGIE



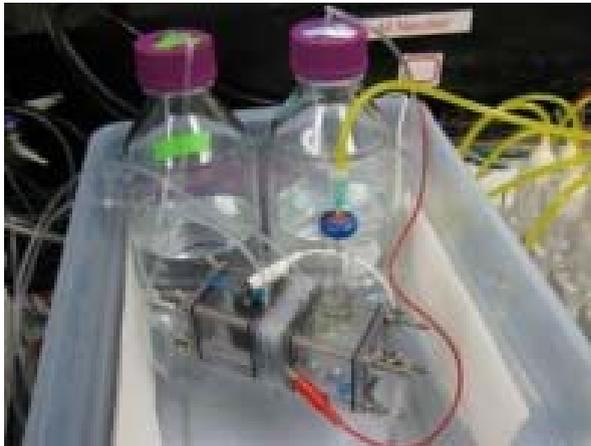
L'idrogeno può essere prodotto dalle acque reflue grazie ai batteri e a una sorta di batteria ad acqua.

Gli scienziati hanno impiegato un processo simile all'elettrolisi, con la differenza sostanziale che, in questo caso, sono coinvolti anche i batteri e non occorre corrente elettrica: l'energia viene generata da una sorta di batteria ad acqua che funziona grazie all'interazione tra acqua salata e acqua dolce in una serie di camere, all'interno delle quali vengono pompate acqua di mare e acqua di fiume.

Le membrane che separano ciascuna sezione funzionano come i poli positivo e negativo di una batteria e lo scambio di ioni fra i poli produce energia.

Le nuove celle per elettrolisi microbica hanno un'efficienza compresa fra il 58% e il 64% e producono una quantità di idrogeno compresa fra 0,8 a 1,6 metri cubi per ogni metro cubo di liquido.

I ricercatori hanno stimato che soltanto l'1% dell'energia prodotta dalle celle è risultata necessaria per alimentare il pompaggio dell'acqua attraverso le celle stesse.



La foglia artificiale che produce energia



Daniel Nocera, professore del MIT (Massachusetts Institute of Technology) di Boston, da quattro anni sta studiando la fotocatalisi dell'acqua per la produzione di idrogeno.

L'obiettivo è la creazione di un dispositivo che sia in grado di convertire in modo diretto la luce del sole in un combustibile chimico ad alta energia, da immagazzinare e utilizzare al bisogno.

Il risultato è la cosiddetta "foglia artificiale", la prima cella solare in grado di scindere direttamente le molecole d'acqua in idrogeno e ossigeno.

In pratica, la “foglia artificiale” è una cella solare in silicio con diversi materiali catalitici fissati su due lati della struttura che, per funzionare non necessita di cavi o circuiti di controllo esterno. Collocato in un contenitore di acqua ed esposto alla luce del sole, il dispositivo comincia a generare flussi di bolle di ossigeno da una parte e bolle di idrogeno dall'altra. Se il contenitore è dotato di una barriera per separare le parti, i due flussi di bolle possono essere raccolti e conservati, e utilizzata in seguito per fornire energia, ad esempio collegandovi una cella a combustibile.

Il dispositivo di Nocera ha il grande vantaggio di essere costruito impiegando materiali poco costosi, sicuri e abbondanti in natura, come silicio, cobalto e nickel.

La foglia artificiale è costituita da un foglio sottile di silicio semiconduttore legato da un lato a uno strato di un catalizzatore a base di cobalto che rilascia l'ossigeno. L'altro lato è rivestito da uno strato di nichel-molibdeno – lega di zinco che libera idrogeno.

Al momento il dispositivo non è ancora pronto per la produzione commerciale dal momento che i correlati sistemi di raccolta e stoccaggio dei gas devono ancora essere sviluppati.

Produrre idrogeno dalle ali di farfalle

Un team di ricerca della Shanghai Jiao Tong University, coordinato da Tongxiang Fan, ha elaborato una tecnica per aumentare la raccolta di idrogeno partendo da acqua e luce solare, “ispirandosi” a una proprietà contenuta nelle ali delle farfalle.



Essendo il nero il colore che assorbe la maggior quantità di luce, le ali nere di alcune particolari di farfalle funzionerebbero come “collettore naturale”, sarebbero cioè in grado di raccogliere e immagazzinare l'idrogeno partendo dalla luce del sole.

Le scaglie contenute sulle ali assorbono la luce e riscaldano le farfalle quando il loro metabolismo non produce calore sufficiente a resistere al freddo. Osservandone il funzionamento, i ricercatori hanno elaborato dei dispositivi in biossido di titanio e nanoparticelle di platino in grado di funzionare sia come connettori solari sia come fotocatalizzatori, per scindere, grazie alla luce del sole, le molecole d'acqua in idrogeno ed ossigeno e raddoppiando la produzione di idrogeno attingendo da acqua e luce solare.