

## L'idrogeno

### Introduzione

L'idrogeno che serve per produrre energia è l'idrogeno molecolare, gassoso con formula  $H_2$ . E' una molecola nota da più di 200 anni e quando brucia libera energia producendo soltanto acqua. Però sulla Terra non esistono giacimenti di idrogeno molecolare, così come invece accade per i combustibili fossili: è una molecola abbondante in natura ma solo combinata con altri atomi a formare, ad esempio, acqua o metano. Per il semplice fatto che sulla Terra non c'è, l'idrogeno non è una fonte primaria di energia e se lo si vuole usare è necessario produrlo, consumando energia. In ogni caso, solo quando sarà prodotto in modo sufficientemente economico potrà essere utilizzato come vettore energetico e solo dopo aver risolto i problemi legati al fatto che è un gas difficile da trasportare, immagazzinare e usare.

### Conoscere l'idrogeno

#### Che cos'è

L'idrogeno naturale è un gas incolore, inodore e non è velenoso. E' molto leggero, addirittura 14,4 volte più leggero dell'aria. Per questo motivo, l'idrogeno allo stato elementare non si trova sulla Terra, perché si disperde nello spazio, mentre è l'elemento più abbondante nell'Universo. Si stima che nella crosta terrestre rappresenti solo lo 0,9% rispetto all'insieme di tutti i componenti. Allo stato elementare si trova, per esempio, nelle emanazioni vulcaniche, nelle fumarole, nelle sorgenti petrolifere. L'idrogeno è presente, combinato con altri elementi, in molti composti come l'acqua, le sostanze minerali, gli idrocarburi e le molecole biologiche. Pertanto, se si vuole avere l'idrogeno naturale, è necessario estrarlo dalle sostanze che lo contengono, consumando molta energia. L'idrogeno non è, per tale ragione, una fonte primaria di energia, ma un "**vettore energetico**", ovvero una forma di energia che non si trova direttamente in natura (come accade, invece, per il gas naturale, il petrolio o il carbone).

Allo stato gassoso è un buon combustibile: quando viene bruciato produce una quantità di calore, espressa in Joule al chilogrammo, che è 2,6 volte superiore rispetto a quella prodotta bruciando il metano.

Quando viene a contatto con la maggior parte dei metalli elementari forma **idruri**, ossia dei composti solidi, rendendoli così più fragili.

Se lo si raffredda alla temperatura di  $-253$  gradi centigradi, l'idrogeno diventa liquido e, in questo stato, non reagisce più in modo chimico con i metalli. Per questo motivo, mentre allo stato gassoso è difficoltoso utilizzare tubature metalliche per trasportarlo, è più facile se lo si trasforma in liquido.

#### Produzione da fonti fossili

Le tecnologie di produzione dell'idrogeno a partire dai combustibili fossili sono mature e ampiamente utilizzate, anche se vanno ottimizzate da un punto di vista economico, energetico e di impatto ambientale.

Tali processi prevedono la produzione del gas idrogeno attraverso successivi stadi di raffinazione e di frazionamento delle molecole degli idrocarburi fino alla completa eliminazione del carbonio. Con questa linea oggi viene prodotta una grandissima quantità di idrogeno, tutta quella consumata sul mercato della chimica dei fertilizzanti di sintesi e nella metallurgia dell'acciaio.

##### **Dal petrolio e dal metano**

Per estrarre l'idrogeno dal petrolio o dal metano si utilizza il vapore d'acqua alla temperatura di 800 gradi centigradi in presenza di un materiale che rende più veloce il procedimento (**catalizzatore**): si ossida il carbonio e si libera idrogeno dalla molecola con emissione di anidride carbonica ( $CO_2$ ). Compiendo questa operazione, che viene detta **reforming**, si ottiene idrogeno impuro, cioè miscelato con un altro gas, il monossido di carbonio. Per ottenere idrogeno puro è, quindi, necessario eliminare anche questo gas. Questo procedimento è tecnicamente molto ben sperimentato e viene realizzato industrialmente con reattori di grosse capacità, dell'ordine di 100.000 metri cubi all'ora.

Un altro sistema per produrre idrogeno è il **cracking** che consiste nella rottura della molecola del metano mediante sistemi termici; esso produce carbone e non monossido di carbonio e non è tra i sistemi più efficienti.

#### **Dal carbone**

Per ottenere idrogeno dal carbone si deve effettuare un procedimento detto di **gassificazione**: il carbone viene fatto reagire con vapore d'acqua a 900 gradi centigradi e poi a 500 gradi centigradi con un altro composto catalizzatore. Il gas risultante, formato da idrogeno e monossido di carbonio, era un tempo utilizzato come gas di città. Negli Stati Uniti, da diversi anni, si sta cercando di effettuare questa operazione direttamente in miniera, dove le scorie potrebbero restare confinate, evitando, così, l'inquinamento di altre zone.

### **Produzioni da biomasse**

Nella produzione di idrogeno da biomasse nessuno dei processi proposti ha ancora raggiunto la maturità industriale. Una delle tecniche utilizzate per ottenere idrogeno dalle biomasse è quella della **pirolisi**, un processo che per mezzo della decomposizione termica, spezza le molecole complesse delle sostanze organiche in elementi semplici, separati. Essa consiste nel riscaldare la sostanza a 900–1000 gradi centigradi, in assenza di aria, in opportuni impianti, con ottenimento di sostanze volatili e di un residuo solido.

In natura esistono anche dei piccoli organismi, detti **microrganismi fotosintetici**, che producono idrogeno con l'aiuto dell'energia solare. Molti ricercatori stanno studiando la possibilità di ottenere discrete quantità di idrogeno proprio da questi sistemi. Si parla di tecniche fotobiologiche consistenti nell' utilizzo di energia solare abbinata a sistemi biologici come alghe, microrganismi, rifiuti organici. In particolare, gli studi sono rivolti all'ingegneria genetica per ottimizzare la produzione di idrogeno da parte di microrganismi fotosintetici.

Alcuni ricercatori stanno sperimentando la produzione di idrogeno dai "rifiuti umidi" o da acque di scarico di processi alimentari tramite **bioreattori anaerobici** in cui si sfruttano i fenomeni di fermentazione; in questo caso si parla di tecniche biochimiche. E' una tecnologia promettente, anche se allo stato sperimentale, e ricercatori impegnati in vari progetti ritengono di poter arrivare a sistemi commerciali in tempi medio-brevi.

Le diverse alternative richiedono tutte un impegno notevole di ricerca, sviluppo e dimostrazione, anche se a livelli diversi. Le premesse sono comunque buone, tenuto conto anche dei diversi materiali utilizzabili.

### **Produzione dall'acqua**

L'idrogeno può essere prodotto dall'acqua scindendo la molecola della stessa nei suoi componenti (idrogeno e ossigeno) attraverso diversi processi, tra i quali quello più consolidato è l'elettrolisi.

L'**elettrolisi** consiste nella scissione dell'acqua mediante l'utilizzo di energia elettrica secondo la reazione: acqua più energia elettrica uguale idrogeno più ossigeno.

L'energia elettrica potrebbe essere prodotta da impianti che sfruttano le fonti rinnovabili. Per ottenere un metro cubo di idrogeno in forma gassosa sono necessari 4-5 chilowattora di energia elettrica.

Il problema attualmente è ancora il costo. Con l'elettrolisi dell'acqua, infatti, è vero che si può ottenere idrogeno praticamente puro, ma solo a un prezzo che potrà diventare economicamente accettabile allorquando le innovazioni tecnologiche potranno consentire un costo estremamente basso per l'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili.

Un sistema sperimentale per effettuare la dissociazione dell'acqua è quello della **termoelettrolisi**: applicando l'elettrolisi su vapore ad alta temperatura (900/1000 gradi centigradi) si ottiene idrogeno con circa 2,4 chilowatt per metro cubo.

Comunque si ha una maggiore efficienza elettrolitica in rapporto direttamente proporzionale alla temperatura: a 15-20 gradi centigradi per scindere l'acqua l' 83% dell'energia di reazione deve essere energia elettrica, mentre a 1000 gradi centigradi tale quota scende al 65%. Il vapore ad alta temperatura potrebbe essere ricavato, ad esempio, da soffioni geotermici o da centrali termosolari a concentrazione.

Altri processi, ancora allo stato di laboratorio, sono:

- **fotoconversione** che scinde l'acqua usando organismi biologici o materiali sintetici;

- **tecniche fotoelettrochimiche** che consistono nel generare una corrente elettrica;
- utilizzando **sistemi catalizzatori** o **semiconduttori** che, associati alla luce solare, sarebbero in grado di scindere la molecola d'acqua;
- **termolisi** che consiste nel dissociare le molecole d'acqua tramite il solo apporto di calore, ma richiede temperature molto elevate, circa 3000 gradi centigradi (i problemi per la gestione di temperature tanto elevate sono però notevoli).

## Un po' di storia

L'utilizzo dell'idrogeno come combustibile era già conosciuto nella metà del secolo scorso. Infatti, fino agli anni Cinquanta, nelle grandi città italiane e, ancora oggi in alcune città europee, viene distribuito il cosiddetto "gas di città" per il riscaldamento delle case. Questo gas è costituito da una miscela di idrogeno (circa il 50%) e ossido di carbonio, ottenuto facendo reagire il carbone con vapore d'acqua.

Per molti l'idrogeno è ancora legato ai ricordi dei primi dirigibili tedeschi, i mitici Zeppelin, divenuti memorabili per le crociere transoceaniche che compievano. Tra questi ricordi, purtroppo, ve ne sono alcuni anche tragici.

Infatti, per sottolineare la pericolosità dell'idrogeno, molto spesso si ricorda la tragedia del **dirigibile Hindenburg**, che si incendiò e precipitò al suolo nel 1937. Ad un'analisi più accurata si notò che, in realtà, la presenza dell'idrogeno non era stata la causa principale dell'accaduto. Infatti, recenti studi tendono ad attribuire la responsabilità dell'incendio al rivestimento del dirigibile, estremamente infiammabile.

Nel corso degli anni, il settore in cui si è concentrata la maggior parte delle ricerche è stato quello dei trasporti. Da decenni, ad esempio, si propone di utilizzare nel trasporto aereo l'idrogeno al posto del combustibile attualmente utilizzato, soprattutto perché il peso dell'idrogeno risulta essere inferiore. Le prime esperienze in tale campo risalgono al 1957, quando negli Stati Uniti fu costruito un bombardiere B-57 alimentato ad idrogeno.

Nel settore del trasporto su gomma, già nei primi anni Settanta, un ingegnere torinese, *Massimiliano Longo*, aveva sviluppato un sistema per utilizzare l'idrogeno nelle automobili. Questa possibilità ha poi assunto un'importanza strategica con lo sviluppo delle celle a combustibile. In realtà, già nel 1839 il fisico britannico *William R. Grove* dimostrò che la combinazione elettrochimica di idrogeno e ossigeno genera elettricità; egli riportò i risultati di un esperimento nel corso del quale era riuscito a generare energia elettrica in una cella contenente acido solforico, dove erano stati immersi due elettrodi, costituiti da sottili fogli di platino, sui quali arrivavano rispettivamente idrogeno ed ossigeno. Tuttavia, le celle a combustibile, basate su questo concetto, restarono poco più che curiosità di laboratorio per oltre un secolo, ovvero fino agli anni Sessanta, quando la NASA iniziò a realizzarne versioni leggere (e costose) per alimentare i veicoli spaziali. Oltre che per fini pacifici, nel secolo scorso l'idrogeno venne utilizzato anche nel settore militare. Infatti, all'inizio degli anni Cinquanta, gli Americani finanziarono le ricerche per un nuovo tipo di ordigno dalle potenzialità distruttive ancora maggiori della bomba atomica. Il progetto, affidato ad un gruppo di scienziati diretto da *Edward Teller*, portò alla realizzazione di una nuova generazione di bombe, dette "H" o "**all'idrogeno**", la cui potenza distruttiva era eccezionale, come dimostrò la prima esplosione sperimentale, fatta il 1 novembre 1952 nell'isoletta di Eniwetok nell'arcipelago delle Marshall (Pacifico settentrionale). L'ordigno, che pesava 65 tonnellate, scavò un cratere largo 3 chilometri e profondo 800 metri, cancellando praticamente l'isola. Tali bombe non sono mai state usate in guerra, ma sono stati effettuati vari test sperimentali con molti effetti indesiderabili. In particolare, la pioggia radioattiva a cui è associata l'esplosione può contaminare i cibi e causare gravi malattie, come il cancro. In parte, fu proprio per ridurre questi pericoli che nell'agosto del 1963 gli Stati Uniti, l'Unione Sovietica e la Gran Bretagna firmarono un trattato che bandiva gli esperimenti con qualsiasi tipo di arma nucleare nell'atmosfera (compresa la bomba all'idrogeno), nello spazio o sott'acqua. Da allora, molte altre nazioni hanno firmato questo trattato. Ma alcuni Paesi non hanno ancora firmato e compiono tuttora esperimenti nell'atmosfera.

## Accumulo e trasporto

### Come si trasporta

Oltre a dover essere prodotto, l'idrogeno deve essere trasportato e conservato nei luoghi di consumo. Queste attività si rivelano particolarmente difficoltose, a causa delle caratteristiche di questo gas. Esso, infatti, è infiammabile, poco denso e si disperde nell'aria con molta facilità.

La conservazione e il trasporto sono quindi aspetti che rendono ancora difficile l'utilizzo dell'idrogeno su vasta scala. Negli ultimi anni sono stati studiati e messi a punto diversi sistemi di stoccaggio sempre più efficienti e adatti a tutte le applicazioni.

L'idrogeno può essere accumulato e trasportato in forma gassosa, liquida oppure adsorbito su materiali speciali; ogni forma presenta aspetti favorevoli e svantaggi e tutte, se pur in gran parte già utilizzate, richiedono significativi sforzi di ricerca e sviluppo per un impiego su larga scala affidabile e economicamente competitivo (quindi, per esempio, per costruire una rete adeguata per il rifornimento degli autoveicoli).

### L'accumulo di idrogeno compresso

Il modo più semplice ed economico per accumulare idrogeno è di utilizzarlo sotto forma di gas compresso a pressione di 200-250 bar (e oltre).

Le bombole con gas compresso rappresentano il sistema di trasporto più semplice ma limitato dal fatto che l'idrogeno necessita di contenitori molto voluminosi, fino a tre volte più grandi rispetto a quelli utilizzati per il metano e dieci volte rispetto a quelli per la benzina.

Quindi tale tecnologia risulta non facilmente proponibile per l'uso a bordo di auto tradizionali, a causa del peso ed ingombro dei serbatoi attualmente utilizzati, che rappresentano un limite all'autonomia e alla capacità di carico del veicolo.

Di recente notevoli progressi sono stati fatti con l'introduzione di serbatoi con struttura metallica o termoplastica rinforzata con fibre di carbonio, di vetro e altri materiali, che presentano un peso 3-4 volte inferiore a quello dei comuni serbatoi e che consentono di superare in gran parte gli inconvenienti dell'uso delle bombole tradizionali. Questi serbatoi sono in grado di operare a pressioni fino a 350 bar (potenzialmente fino a 700 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 grazie alla robustezza dei serbatoi e all'introduzione di fusibili antiscoppio in caso di incendio, e di valvole di interruzione del circuito in caso di urto.

### L'accumulo di idrogeno liquido

Per ovviare alla necessità di utilizzare grandi contenitori si può ricorrere all'idrogeno liquido, dato che in questo stato occupa un volume minore rispetto al metano. Ma anche questo metodo presenta delle difficoltà: l'idrogeno diventa liquido a -253 gradi centigradi e per mantenerlo in questo stato occorrono serbatoi speciali e un grande dispendio di energia. Esistono però ancora diversi problemi legati alla sicurezza (perdite durante il rifornimento o in caso di incidente, per esempio). Per questo motivo i più moderni serbatoi per autoveicoli sono costituiti da due strati di acciaio molto resistente tra i quali viene creato il vuoto.

L'accumulo in forma liquida è forse la tecnologia che oggi meglio soddisfa, da un punto di vista teorico, le esigenze specifiche dell'autotrazione; tuttavia anch'essa presenta dei limiti. A sfavore dell'idrogeno liquido giocano la maggiore complessità del sistema, non solo a bordo del veicolo, ma anche a terra, per la distribuzione e il rifornimento, ed i maggiori costi ad esso associati. 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.

## L'accumulo chimico

Altre tecnologie sfruttano la capacità dell'idrogeno di legarsi a composti chimici o a metalli per facilitarne l'accumulo e il trasporto. 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) e di rilasciarlo ad alte temperature. Tale tecnologia permette di raggiungere densità energetiche potenzialmente maggiori dell'idrogeno compresso e paragonabili con quelle dell'idrogeno liquido. Il volume di stoccaggio si potrebbe ridurre di 3-4 volte, rendendo possibile l'uso nelle autovetture, mentre l'energia specifica dipende dal peso specifico del metallo di base. Le percentuali in peso dell'idrogeno sul peso del metallo variano dall'1% al 12,7% (idruri di litio), mentre per le comuni bombole tale percentuale è di poco superiore all'1%. A fronte di queste caratteristiche positive esistono ancora numerosi problemi da superare per la realizzazione di sistemi di accumulo veramente competitivi. Per esempio, occorre lavorare ancora per migliorare la stabilità strutturale e termica del materiale, per rendere compatibili pressioni e temperature con le applicazioni previste, ecc.

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. Sono invece indubbi i vantaggi in termini di convenienza, compattezza, sicurezza.

In alternativa si possono trasportare molecole ricche di idrogeno dalle quali estrarre il gas solo dove e quando serve mediante un apparecchio detto reformer (ma in questo modo si ottiene anche una certa quantità di sostanze di scarto). Esistono diverse molecole che potrebbero essere impiegate a questo scopo, come il metano ( $\text{CH}_4$ ) e il metanolo ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ). L'uso di questi sistemi chimici è vantaggioso perché si potrebbero utilizzare strutture di trasporto e di immagazzinamento già esistenti. Benché promettenti, anche queste tecnologie presentano aspetti negativi: il metanolo, per esempio, è tossico. Ultimamente è allo studio un composto chimico, il sodio boroidruro, capace di legare molto idrogeno. Una soluzione acquosa, composta per metà da sodio boroidruro e metà da acqua, fornisce idrogeno con un rapporto energetico simile, in volume, a quello della benzina. Il sodio boroidruro privato dell'idrogeno si trasforma in borace, una sostanza presente nei comuni detersivi che può essere nuovamente utilizzata.

## Accumulo in nanostrutture

Una tecnologia recentissima e ancora sperimentale per l'accumulo dell'idrogeno riguarda l'utilizzo di nanostrutture di carbonio (nanotubi e nanofibre di carbonio), strutture microscopiche di fibre di carbonio che permettono di immagazzinare al loro interno una certa quantità di idrogeno. Scoperte all'inizio degli anni Novanta, stanno dimostrando buone capacità di adsorbimento dell'idrogeno, con risultati in alcuni casi sorprendenti. Su questi materiali sono in corso ricerche da parte di numerosi gruppi di lavoro, ma i risultati ottenuti, spesso in contrasto fra loro, sono per il momento difficilmente confrontabili in quanto le esperienze sono state effettuate su campioni di materiale di diverso tipo, provati in condizioni di pressione e temperatura molto diverse tra loro.

## La distribuzione

A seconda delle quantità interessate, l'idrogeno può essere trasportato per mezzo di autocisterne o con idrogenodotti. Fra le due possibilità, entrambe praticabili con le tecnologie attuali, esistono grosse differenze di costo e quindi solo analisi tecnico-economiche per le singole applicazioni possono determinare quale sia di volta in volta la soluzione migliore. L'esperienza accumulata nel settore della distribuzione del gas può 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 (alcuni acciai hanno migliore compatibilità con l'idrogeno) e nei criteri di progetto delle stazioni di pompaggio. Infatti, l'idrogeno richiede una pressione di pompaggio tre volte superiore rispetto al metano, a causa della minore densità. Inoltre, se il diametro ideale dei gasdotti è di 1,4 metri, quello degli idrogenodotti è di 2 metri. Comunque, sebbene abbia una densità energetica in volume minore di quella del gas naturale, l'idrogeno è meno viscoso, per cui, con un'adatta progettazione, l'energia necessaria per il suo pompaggio diventa paragonabile a quella richiesta per la stessa quantità di gas naturale. Idrogenodotti di dimensioni significative

sono attualmente presenti in diverse nazioni. Esiste una rete di circa 170 chilometri nella Francia del Nord, per un totale nell'intera Europa di più di 1500 chilometri. Il Nord America, poi, possiede più di 700 chilometri di condutture per il trasporto dell'idrogeno.

Reti di distribuzione per l'idrogeno liquido, invece, risultando particolarmente costose e di difficile gestione, sono state realizzate solo per applicazioni particolarmente specializzate, come il rifornimento di veicoli spaziali.

## Utilizzi

### Utilizzare l'idrogeno

La produzione mondiale annua di idrogeno è di 500 miliardi di metri cubi, equivalenti a 44 milioni di tonnellate, ottenuti per il 90% dal processo chimico di reforming degli idrocarburi leggeri (principalmente il metano) o dal cracking di idrocarburi più pesanti (petrolio) e per il 7% dalla gassificazione del carbone. Solo il 3% proviene dalla elettrolisi. L'idrogeno può essere utilizzato per produrre altri composti o come combustibile per produrre energia.

In particolare, l'idrogeno prodotto è impiegato nell'industria chimica, per produrre ammoniaca, alcool metilico (metanolo), concimi per l'agricoltura e prodotti petroliferi, e nell'industria metallurgica per il trattamento dei metalli.

L'idrogeno è poi un ottimo combustibile che può essere utilizzato per produrre energia in due modi. Il primo metodo consiste nel bruciare l'idrogeno da solo, oppure aggiunto ad altri combustibili. Il secondo metodo consiste nel far reagire l'idrogeno in modo chimico con l'ossigeno (non bruciandolo), ottenendo direttamente energia elettrica attraverso un dispositivo chiamato cella a combustibile.

#### ***Direttamente come combustibile***

La combustione dell'idrogeno non presenta particolari problemi e dà luogo ad emissioni molto meno inquinanti rispetto ad altri combustibili. I prodotti della combustione con aria sono acqua, idrogeno incombusto e tracce di ammoniaca.

Quindi, se i motori delle automobili o le caldaie di casa venissero alimentate con questo gas, si potrebbe produrre energia evitando le emissioni di sostanze nocive. Inoltre, qualsiasi altro combustibile miscelato con l'idrogeno migliora la combustione e il suo rendimento. Per questo motivo negli Stati Uniti è stato sperimentato l'utilizzo di metano con l'aggiunta del 15% in peso di idrogeno, definito commercialmente Hythane.

#### ***Le celle a combustibile***

L'idrogeno può essere utilizzato per alimentare le automobili che funzionano con le celle a combustibile. L'idrogeno liquido è usato anche come combustibile per alimentare i dispositivi che forniscono energia elettrica all'equipaggio a bordo di navi spaziali. L'acqua ottenuta come sottoprodotto da celle a combustibile può essere bevuta dall'equipaggio. Così come nei trasporti, le celle a combustibile possono essere utilizzate negli edifici.

Infine, l'idrogeno potrebbe presto fornire energia a molti dispositivi elettronici, come telefoni cellulari, computer portatili, giocattoli, che oggi richiedono batterie pesanti e costose. Una cella a combustibile è leggera, poco costosa e dura più di una batteria normale. I telefoni cellulari, per esempio, potrebbero essere alimentati costantemente per mesi, e sarebbe sufficiente per acquistare periodicamente un piccolo tubo di combustibile ricco di idrogeno (come metano o metanolo) da inserire nel dispositivo, in modo da alimentare la piccola cella a combustibile.

### La cella a combustibile

L'idrogeno può essere utilizzato per alimentare i veicoli provvisti di motore con **celle a combustibile**. L'idrogeno liquido è anche utilizzato a bordo delle navicelle spaziali per alimentare le celle a combustibile che forniscono l'elettricità necessaria per il funzionamento della strumentazione di bordo. L'acqua ottenuta come sottoprodotto da tali celle a combustibile può essere bevuta dall'equipaggio.

L'idrogeno potrebbe alimentare molti apparecchi elettronici di comune utilizzo, come computer portatili, telefoni cellulari e giocattoli, che oggi necessitano di batterie pesanti e costose. Una cella a combustibile miniaturizzata è leggera, economica e di durata superiore a quella di una comune batteria. I telefoni cellulari, ad esempio, potrebbero funzionare continuamente per mesi e basterebbe comprare periodicamente una fiala di un combustibile ricco di idrogeno (come metano o metanolo), da inserire nell'apparecchio, per alimentare la piccola cella a combustibile.



Le apparecchiature che utilizzano l'idrogeno per produrre direttamente energia elettrica vengono dette "celle a combustibile". La cella a combustibile ad idrogeno è un generatore elettrochimico in cui l'energia elettrica è prodotta dalla reazione tra un combustibile (l'idrogeno) e un composto gassoso ossidante (l'ossigeno o l'aria). Insieme all'elettricità, vengono prodotti anche calore e acqua.

Una cella a combustibile è costituita da due elettrodi in materiale poroso, il catodo (polo negativo) e l'anodo (polo positivo). Gli elettrodi fungono da siti catalitici per le reazioni di cella che consumano fondamentalmente idrogeno ed ossigeno, con produzione di acqua e passaggio di corrente elettrica nel circuito esterno. Tra i due poli è posto l'elettrolita, che ha la funzione di condurre gli ioni prodotti da una reazione (quella che avviene all'anodo) e consumati dall'altra (quella che avviene al catodo), chiudendo il circuito elettrico all'interno della cella. La trasformazione elettrochimica è accompagnata da produzione di calore, che è necessario estrarre per mantenere costante la temperatura di funzionamento della cella. Questa struttura è del tutto simile a quella delle comuni batterie elettriche ma, a differenza di queste ultime, le celle combustibile a idrogeno consumano sostanze che provengono dall'esterno e quindi sono in grado di funzionare senza interruzioni finché vengono fornite di combustibile e di ossidante.

La cella ha una struttura piatta a tre strati: quello centrale, compreso fra il catodo e l'anodo, costituisce o contiene l'elettrolita. Le singole celle vengono sovrapposte l'una all'altra e collegate in serie in modo da ricavare una tensione di corrente del valore desiderato. Più celle impilate prendono il nome di stack (o "pila").

Generalmente, un impianto a celle a combustibile è costituito, oltre che dalla sezione elettrochimica, anche da un convertitore di corrente e da un trasformatore che convertono la corrente continua generata dalla pila in corrente alternata. Le celle a combustibile si differenziano a seconda della natura chimica dell'elettrolita e della temperatura alla quale funzionano. Le celle che liberano temperature comprese tra 60 e 200 gradi centigradi sono dette a bassa-media temperatura, mentre si definiscono ad alta temperatura quelle che sviluppano calore fino alla temperatura di 1000 gradi centigradi. Queste ultime sono spesso utilizzate per applicazioni che necessitano sia di elettricità sia di calore.

Le celle a combustibile a bassa e media temperatura presentano minori problemi tecnologici di quelle ad alta, ma hanno rendimenti inferiori.

La tecnologia che sfrutta l'idrogeno come fonte di energia è in rapido sviluppo sia per applicazioni stazionarie (non in movimento, come industrie, abitazioni) sia per sistemi mobili (trasporti).

Le celle a combustibile rivestono un notevole interesse al fine della produzione di energia elettrica, in quanto presentano caratteristiche energetiche ed ambientali tali da renderne potenzialmente vantaggiosa l'adozione:

- rendimento elettrico elevato, con valori che vanno dal 40-48% (riferito al potere calorico inferiore del combustibile) per gli impianti con celle a bassa temperatura, fino a raggiungere oltre il 60% per quelli con celle ad alta temperatura;
- ridottissimo impatto ambientale, sia dal punto di vista delle emissioni gassose che di quelle acustiche, il che consente di collocare gli impianti anche in aree residenziali, rendendo il sistema particolarmente adatto alla produzione di energia elettrica distribuita;
- possibilità di cogenerazione (produzione associata di energia elettrica e calore): il calore cogenerato può essere disponibile a diversa temperatura, in forma di vapore o acqua calda, ed impiegato per usi sanitari, condizionamento di ambienti, ecc.

Una delle centrali elettriche a "celle a combustibile" più grandi del mondo è quella che si trova presso il polo tecnologico della Bicocca a Milano (da 1,3 megawatt di potenza).

## I veicoli a idrogeno

L'intervento in questo settore è orientato allo sviluppo sia di motori a combustione interna, sia di motori a celle a combustibile, questi ultimi essenziali per un sistema di trasporto a minimo impatto ambientale.

Nel primo caso si tratta di un motore con cilindri e pistoni, che brucia idrogeno invece di benzina o gasolio e non

costringe a ripensare la tecnologia dei motori a scoppio. Nel secondo caso si tratta di una tecnologia in cui le celle a combustibile producono corrente e alimentano dei motori elettrici.

Uno dei vantaggi dell'uso di celle a combustibile per la trazione di veicoli è il loro rendimento energetico; infatti, la percentuale che risulta effettivamente utilizzabile per il movimento del veicolo è di oltre il 50% dell'energia prodotta dal carburante mentre, nei motori a benzina, si raggiunge al massimo il 40%. Inoltre, nel traffico urbano il rendimento energetico dei veicoli ad idrogeno risulta circa il doppio di quello delle auto classiche. Infine il materiale di scarico è costituito da solo vapore acqueo, quindi con un impatto ambientale pressoché nullo.

L'idrogeno può essere fornito alle celle di un veicolo da un serbatoio dove è conservato allo stato liquido, oppure gassoso. In alternativa può essere estratto da idrocarburi, come metano o metanolo direttamente a bordo mediante un reformer. Attualmente è allo studio la possibilità di sfruttare il boridato di sodio e l'olio di girasole.

Le caratteristiche delle celle a combustibile permettono inoltre la realizzazione di veicoli con taglie anche molto diverse (dalle bici all'auto, all'autobus, alle motrici ferroviarie) con la stessa tecnologia e con caratteristiche di prestazioni, consumi ed impatto ambientale equivalenti.

Attualmente molte case automobilistiche stanno realizzando modelli sperimentali di automobili e di autobus a idrogeno. Alcuni prototipi già circolano in diverse città italiane ed estere.

Il problema per lo sviluppo dei veicoli a idrogeno, oltre a quello della produzione di tale combustibile, è che manca una rete di distribuzione e di stazioni di rifornimento per questo gas. Oggi i distributori di idrogeno sono una rarità come i due solitari di Berlino, di Monaco e quello che si sta realizzando a Milano e che sorgerà vicino alla centrale a "celle a combustibile" della Bicocca.

Tra i problemi tecnologici, uno dei più critici è il sistema di accumulo dell'idrogeno a bordo, che condiziona pesantemente l'autonomia del veicolo a causa dell'eccessivo peso e ingombro dei serbatoi attuali.

## Trasporti sostenibili

L'idrogeno può rappresentare una soluzione al problema delle emissioni (comprese quelle dei gas serra) generate dal settore dei trasporti. I veicoli ibridi con motore a combustione interna a carburante di origine fossile e a celle a combustibile potrebbero ridurre le emissioni di anidride carbonica di circa il 25% rispetto ai veicoli con motore a combustione interna più avanzati. Tuttavia riduzioni significative delle emissioni possono essere ottenute solo con l'introduzione di combustibili totalmente rinnovabili.

Diversi combustibili derivati da biomassa offrono alternative interessanti nel breve-medio termine: il biodiesel ricavato da semi oleaginosi, il bioetanolo ricavato da piante ricche di zucchero e amido, l'etanolo, ecc. Sembra, tuttavia, che l'idrogeno abbia il più elevato potenziale a lungo termine come combustibile da trasporto rinnovabile grazie alla diversità di risorse da cui può essere ottenuto, al suo efficiente utilizzo nei veicoli a celle a combustibile e al suo potenziale di emissione praticamente nullo dal "pozzo alla ruota".

## Perché l'idrogeno

L'idrogeno è un gas che brucia nell'aria secondo la semplice reazione: idrogeno più ossigeno uguale acqua e calore, dando quindi come unico prodotto di reazione acqua pura. Inoltre, può essere prodotto sia da fonti fossili, sia da fonti rinnovabili, sia da fonte nucleare; può essere distribuito in rete abbastanza agevolmente, compatibilmente con gli usi finali e con lo sviluppo delle tecnologie di trasporto e di stoccaggio; infine, può essere impiegato in diverse applicazioni (produzione di energia elettrica centralizzata o distribuita, generazione di calore, trazione) con un impatto locale nullo o estremamente ridotto.

Si può dire, quindi, che l'idrogeno rappresenta in prospettiva un componente ideale di un futuro sistema energetico sostenibile, costituendo un incentivo verso l'impiego diffuso delle fonti rinnovabili, ma già nel breve-medio termine può rendere i combustibili fossili compatibili con le esigenze ambientali.

Le caratteristiche dell'idrogeno fanno sì che il suo ruolo possa essere complementare a quello dell'elettricità (che è un altro vettore energetico), con la differenza che il primo può essere accumulato e in seguito trasportato. L'idrogeno può



quindi aprire la strada a fonti energetiche rinnovabili distribuite in tutto il mondo, dando ai Paesi del terzo Mondo l'opportunità di esportare energia e consentendo loro una maggiore indipendenza dagli stati esportatori di combustibili fossili.

## La questione sicurezza

Esistono ancora molte perplessità per gli aspetti di sicurezza a causa della poca familiarità con questo vettore energetico. Tuttavia un'analisi più attenta ridimensiona il concetto di pericolosità dell'idrogeno. Questo gas è meno infiammabile della benzina (ha una temperatura di autoaccensione maggiore). L'idrogeno è il più leggero degli elementi e perciò si diluisce e si disperde molto rapidamente in spazi aperti. E' praticamente impossibile farlo detonare, se non in spazi confinati (per individuare concentrazioni potenzialmente pericolose si utilizzano sensori che possono facilmente comandare adeguati sistemi di sicurezza). Inoltre, quando brucia, l'idrogeno si consuma molto rapidamente, sempre con fiamme dirette verso l'alto. Per contro materiali come la benzina, il gasolio, il GPL o 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 l'incendio di un veicolo a benzina dura 20 – 30 minuti, mentre per un veicolo a idrogeno non dura più di 1–2 minuti. Inoltre, nel caso di fiamme da idrogeno, vi sono poche possibilità che materiali vicini possano essere a loro volta incendiati, riducendo così, oltre alla durata dell'incendio, anche il pericolo di emissioni tossiche. 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 acquifere sotterranee.

## L'idrogeno pulito

L'idrogeno è un combustibile a bassissimo livello di inquinamento. La sua combustione produce acqua e piccole quantità di ossidi di azoto. L'idrogeno può essere estratto da una varietà di composti ed è questo uno degli aspetti che lo rende attraente come combustibile del futuro. Per produrre l'idrogeno, però, è necessario consumare energia, operazione che ha un certo costo. Se valutiamo gli aspetti ambientali, quando si estrae l'idrogeno dai combustibili fossili, si produce anche una grande quantità di anidride carbonica, che è uno dei gas responsabili del riscaldamento del pianeta (effetto serra). Si è pensato comunque di creare grandi impianti di produzione di idrogeno dai combustibili fossili e di raccogliere l'anidride carbonica prodotta, evitando quindi che si disperda nell'atmosfera.

Quando si estrae l'idrogeno dall'acqua con l'operazione di elettrolisi non si produce anidride carbonica. Si deve, però, utilizzare energia elettrica. Se tale energia viene prodotta dalle centrali termoelettriche, come avviene generalmente, dobbiamo considerare l'inquinamento che esse generano.

Pertanto, la produzione di idrogeno da fonti rinnovabili deve essere considerata la soluzione migliore rispetto a quella da combustibili fossili perché, né in fase di produzione né in fase di consumo, si ha la formazione di composti inquinanti (in questo modo viene limitato anche il danno ambientale associato all'estrazione dei combustibili fossili dai giacimenti; infatti la trivellazione del petrolio, il trasporto, la raffinazione e i prodotti di scarto contribuiscono notevolmente all'inquinamento del pianeta). In effetti, con l'elettrolisi l'intero processo di produzione e consumo dell'idrogeno è ambientalmente sostenibile purché sia disponibile una corrispondente quantità di energia elettrica pulita in grado di alimentare il processo di elettrolisi. Come sorgente di questa energia si può pensare al sole, sfruttabile attraverso l'utilizzo di impianti di conversione fotovoltaica, la cui tecnologia già oggi si può considerare tecnicamente affidabile e adeguata, anche se non ancora competitiva. Infatti, mediante l'uso di energia solare fotovoltaica si può produrre idrogeno elettrolitico e ossigeno che poi possono essere fatti reagire nelle celle a combustibile per produrre l'energia elettrica di cui abbiamo bisogno. Come prodotto finale di scarto si genera una quantità di acqua pura pressappoco uguale a quella di partenza, chiudendo in tal modo il ciclo senza emissioni inquinanti. Infine, è evidente che le grandi distese oceaniche altro non sono che enormi riserve di idrogeno: ogni chilogrammi di acqua pura contiene 111 grammi di idrogeno che, una volta bruciato, potrebbe produrre 3.200 chilocalorie di energia termica. Pertanto dall'acqua, in linea di principio, sarebbe possibile estrarre tutto l'idrogeno necessario a soddisfare in modo pulito le esigenze energetiche dell'umanità.