

L'idrogeno: un nuovo combustibile per una nuova economia

Riccardo Galli

L'energia è uno degli argomenti attualmente più discussi nel mondo industriale, scientifico ed anche politico, a causa della crisi petrolifera negli Stati Uniti e per la prospettiva non ancora chiara sul futuro delle fonti energetiche alternative ai combustibili fossili (reattori nucleari, energia solare, energia geotermica). Inoltre l'energia e le tecnologie ad essa legate stanno dando luogo a notevoli preoccupazioni sulla breve e sulla lunga scadenza. Basti citare, tra i problemi di oggi, l'inquinamento prodotto dalle centrali termoelettriche e, nelle città, dalle automobili e, tra i problemi futuri, l'esaurimento delle riserve di gas naturale (previsto fra 30-40 anni) e, più in là nel tempo, di quelle di petrolio, l'inquinamento termico con la possibilità di alterazioni climatiche, la sicurezza degli impianti nucleari, la eliminazione delle scorie radioattive.

Per la complessità dei problemi da risolvere e per le interrelazioni tra il futuro dell'energia e altre esigenze della società, è molto difficile costruire oggi uno scenario del settore energia nel mondo di domani, con una prospettiva di 2-3 decenni. In particolare, non è ancora chiaro il peso relativo che avranno le varie forme di energia: elettricità (oggi soltanto il 15% dell'energia viene distribuito sotto questa forma); combustibili liquidi (benzina, nafta ecc.) e gassosi (metano o altri idrocarburi). Recentemente però, è andata emergendo la tendenza ad impostare il problema su due sistemi: uno di produzione primaria dell'energia (fissione, fusione, energia solare o energia geotermica) e uno secondario di distribuzione dell'energia stessa che può essere realizzata come oggi tramite l'elettricità o trasportando l'idrogeno prodotto altrove. Oggi questo elemento è usato prevalentemente per le sue proprietà chimiche, mentre l'uso come combustibile è assai limitato. La distribuzione degli impieghi dell'idrogeno è attualmente la seguente: 42% per la sintesi dell'ammoniaca, 38% per la raffina-

zione del petrolio, mentre il rimanente 20% è diviso fra le applicazioni minori (metallurgia, tecnologie alimentari ecc.).

Il concetto del « ciclo idrogeno » è estremamente semplice ed essenziale, e per questo affascinante, ed ha attratto l'interesse di numerosissimi scienziati e tecnici, raccogliendo fautori entusiasti fra le persone più sensibili ai problemi ecologici.

Il sistema si basa sulla produzione dell'idrogeno per dissociazione dell'acqua e sul suo uso come materia prima industriale e combustibile di impiego generale (industria, mezzi di trasporto, usi domestici ecc.), per mezzo di una rete capillare di gasdotti per la distribuzione agli utilizzatori (fig. 1).

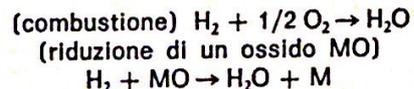
La possibilità di impiego dell'idrogeno sono vastissime, essendo un elemento estremamente flessibile.

Come combustibile, l'idrogeno può essere usato per la produzione di energia termoelettrica, in motori di ogni tipo (auto, camion, aerei ecc.), per il riscaldamento delle case e per altri usi domestici; come materia prima industriale, può venire utilizzato nella produzione di metalli per riduzione di ossidi minerali, nella gassificazione del carbone, nella sintesi dell'ammoniaca ($3H_2 + N_2 \rightarrow 2NH_3$), e in generale come gas riducente.

Uno dei maggiori dubbi avanzati contro l'uso dell'idrogeno riguarda la sicurezza: è ben noto, infatti, che le miscele idrogeno/ossigeno sono alta-

mente esplosive. La controargomentazione dei fautori dell'idrogeno è che anche le miscele metano/aria sono esplosive, ma ciò non ha impedito la diffusione del gas naturale. Per di più esistono già reti di idrogenodotti della lunghezza di centinaia di chilometri (in Germania, in Svizzera, nel Texas), a testimonianza della possibilità di eseguire senza pericoli il trasporto su larga scala dell'idrogeno.

Dopo l'impiego come combustibile o riducente, l'idrogeno viene trasformato in acqua (o meglio in vapore acqueo), secondo le semplicissime reazioni chimiche:



Anche bruciando l'idrogeno con aria nei motori a combustione interna convenzionali, è possibile limitare l'emissione di ossidi di azoto entro i limiti ammessi dalle legislazioni attuali. È questo un fondamentale vantaggio rispetto ai combustibili fossili, dalla cui combustione invece si formano una serie di ben noti prodotti inquinanti, come CO_2 , CO , SO_2 , polveri.

Il ciclo acqua \rightleftharpoons idrogeno si chiude, attraverso le precipitazioni atmosferiche, con il ritorno del vapore acqueo nelle acque dei fiumi, dei laghi, del mare.

Il ciclo:

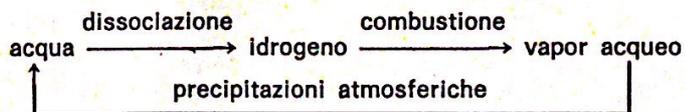
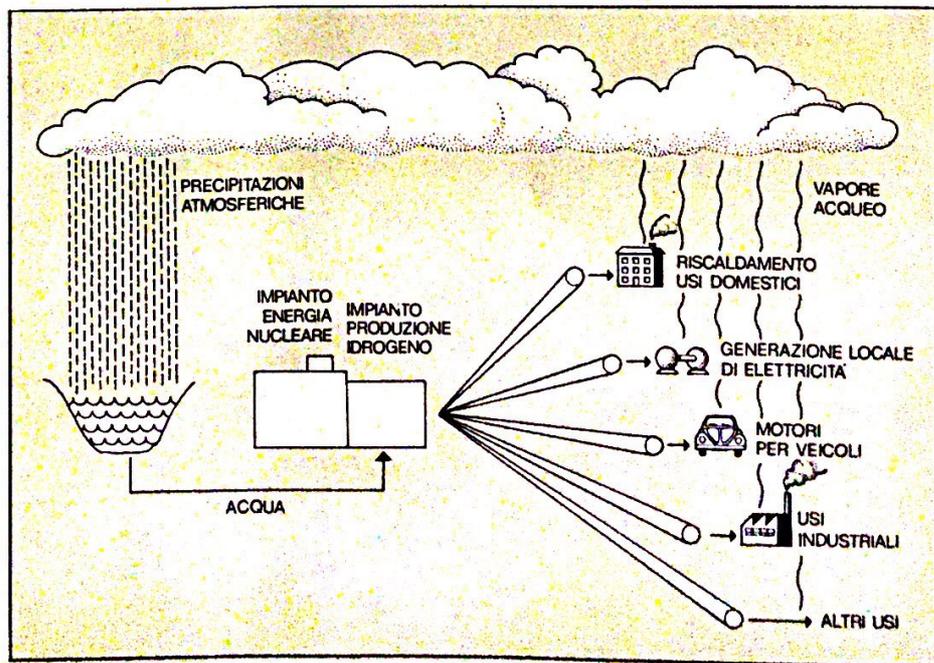


Fig. 1 Rappresentazione schematica di un sistema economico basato sull'idrogeno.



La produzione dell'idrogeno

Già oggi una parte dell'idrogeno viene prodotto per elettrolisi dell'acqua, resa conduttrice con aggiunte di acido solforico (fig. 2). Il processo è già consolidato, essendo noto da lungo tempo, ma non è molto avanzato tecnologicamente, a causa della relativamente scarsa importanza industriale avuta finora. La diffusione su vastissima scala dell'idrogeno richiederà però necessariamente lo sviluppo delle celle elettrolitiche tradizionali, con il trasferimento al processo di elettrolisi dell'acqua di tutte le moderne conoscenze di elettrocatalisi ed ingegneria elettrochimica acquisite ed utilizzate in processi affini (celle elettrolitiche soda/cloro, pile a combustibile). Una soluzione rivoluzionaria, poi, sarebbe l'elettrolisi dell'acqua ad alta temperatura (800-1000 °C) in celle ad elettrolita solido. Un processo di questo tipo è stato studiato dalla General Electric, ed è schematizzato in figura 3. Il vapor acqueo viene alimentato al catodo della cella ove viene ridotto a idrogeno e ioni O^{2-} : questi migrano verso l'anodo attraverso uno strato di elettrolita solido conduttore per ioni O^{2-} (zirconia ZrO_2 « drogata » con ossidi di calcio e di ittrio). All'anodo ha luogo la scarica dell'ossigeno.

Con l'avvento dei reattori nucleari autofertilizzanti, che dovrebbero diventare una realtà fra uno o due decenni, l'umanità verrebbe a disporre di quantità praticamente illimitate di energia elettrica per elettrolizzare l'acqua. Per la produzione dell'idrogeno nessuna alternativa all'elettrolisi è sinora andata al di là dello stadio sperimentale di laboratorio, se non dallo stadio d'idea.

D'altra parte, in linea di principio, il modo più razionale per attuare il passaggio dall'energia termica nucleare all'idrogeno non dovrebbe prevedere lo stadio intermedio di produzione dell'elettricità, con le perdite energetiche inerenti. Il metodo diretto ideale sarebbe la dissociazione termica (« cracking ») dell'acqua usando il calore nucleare. Considerazioni termodinamiche indicano tuttavia la necessità di operare oltre i 2500 °C per avere rese apprezzabili, temperatura questa che nessun reattore nucleare ha però sinora raggiunto. Guardando lontano nel futuro, si potrebbe pensare all'uso di radiazioni ultraviolette prodotte dal plasma di reattori a fusione nucleare (fig. 4). Iniettando elementi pesanti, (per esempio alluminio) in un plasma a idrogeno, si formano fotoni della lunghezza d'onda adatta per decomporre l'acqua, in modo analogo a quanto avviene naturalmente negli strati superiori dell'atmosfera.

Un'altra via in corso di studio è la dissociazione termica « indiretta » della

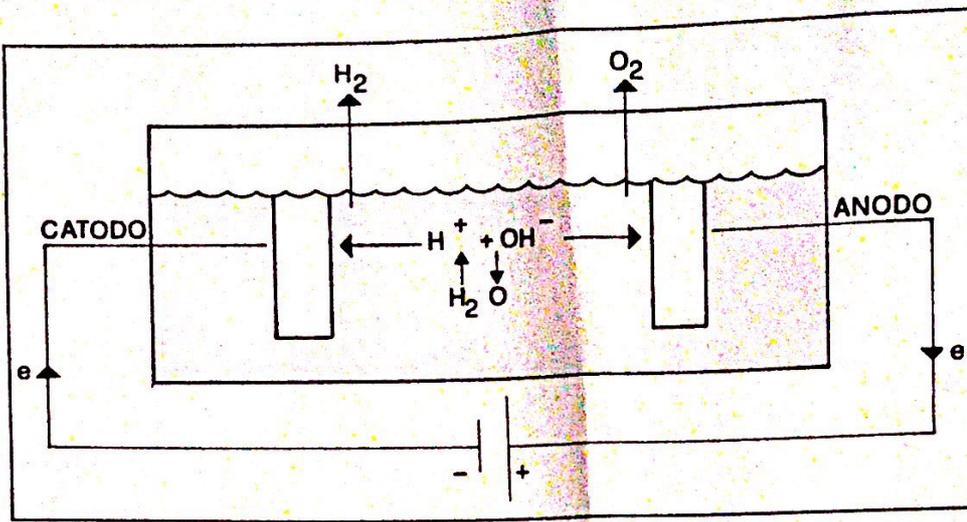
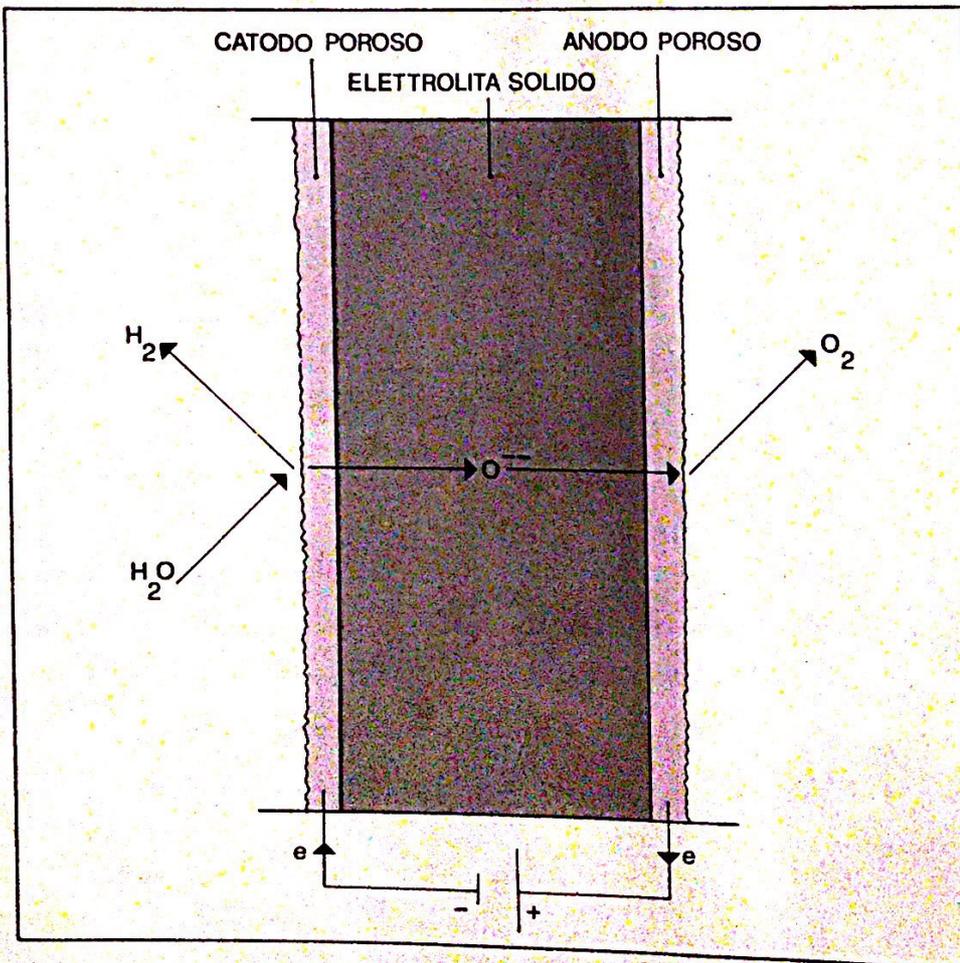


Fig. 2 Rappresentazione schematica del processo elettrolitico di produzione dell'idrogeno per decomposizione dell'acqua.

Fig. 3 Schema di un processo elettrochimico di produzione di idrogeno per decomposizione del vapore acqueo in celle a elettrolita solido ad alta temperatura.



si chiude molto rapidamente, con tempi dell'ordine dei giorni e delle settimane: l'idrogeno può così essere in certo qual senso considerato come una materia rinnovabile, e quindi con riserve praticamente inesauribili. In ciò troviamo un'altra differenza dai combustibili fossili, le cui risor-

se sono vaste ma non infinite. I tempi di rinnovamento di questi materiali sono infatti lunghissimi: la formazione del petrolio e del carbone attraverso processi naturali a partire dai prodotti di combustione (CO_2 e H_2O) può avvenire solo con tempi dell'ordine dei millenni.

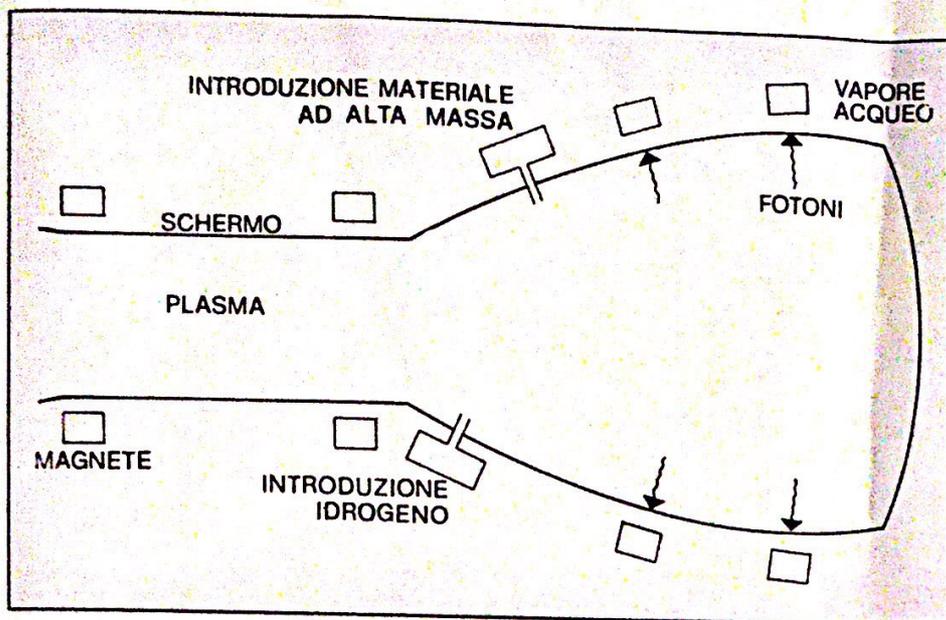
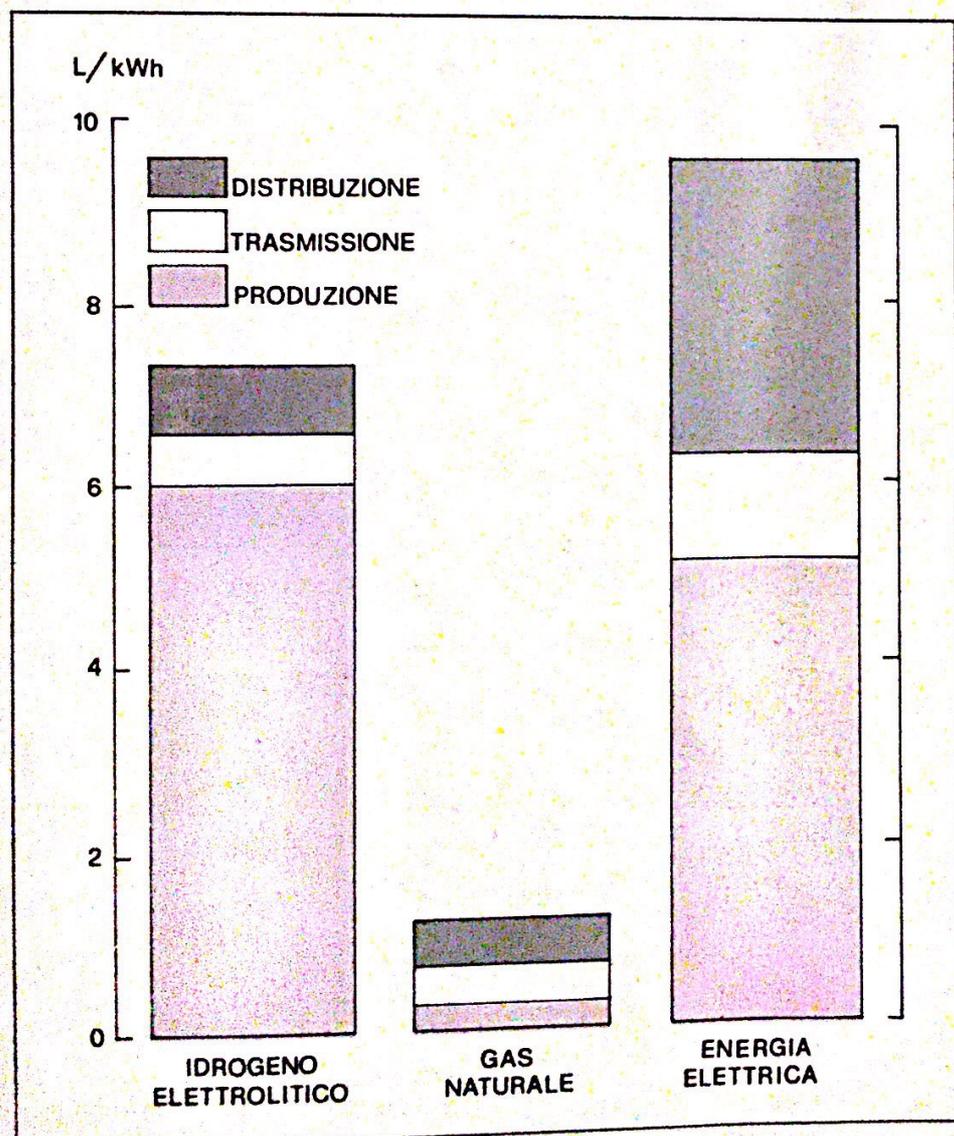
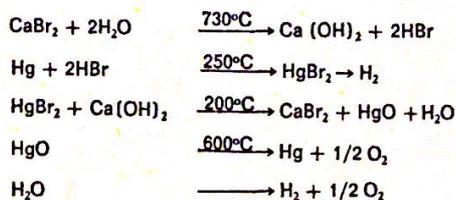


Fig. 4 Rappresentazione schematica di un processo di decomposizione dell'acqua tramite fotoni prodotti via plasma.

Fig. 5 Costi di diverse forme di energia.



acqua, attraverso cicli di reazioni chimiche, che consentono di operare a 800-1000 °C, temperature molto vicine a quelle ottenibili con i reattori nucleari a gas caldo. Per esempio, presso il Centro Euratom di Ispra è allo studio questa sequenza di reazioni:



Questo ed altri simili cicli sono oggi alquanto lontani dall'applicazione pratica, ma certamente avrebbero il vantaggio di non richiedere la conversione intermedia dell'energia termica primaria in energia elettrica.

Nella figura 5 sono confrontati i costi di distribuzione, trasmissione e produzione dell'energia (espressi in lire/kWh) per tre diversi sistemi: idrogeno, gas naturale, elettricità. Si vede come già con le tecnologie attuali lo idrogeno si trovi in posizione di vantaggio rispetto all'elettricità. In prospettiva, si ritiene possibile migliorare l'economia globale del processo di produzione dell'energia di un ordine di grandezza rispetto al livello attuale. Con tali miglioramenti, il prezzo dell'idrogeno si porterebbe ad un livello economicamente competitivo con quello del gas naturale.

Si deve poi tener conto che come sottoprodotto della dissociazione dell'acqua si forma l'ossigeno: è ovvio quindi che l'individuazione di nuove applicazioni industriali per questo gas costituisce un importante fattore nell'economia della produzione dell'idrogeno. Già si pensa a impieghi larghissimi, come la purificazione delle acque inquinate e di scarico, la produzione dell'acciaio ecc.

Il basso costo di trasporto è una proprietà molto importante dell'idrogeno. Nei gasdotti sotterranei convenzionali ad alta pressione per lunghe distanze il costo di trasporto (per unità di energia) dell'idrogeno è poco superiore a quello del gas naturale, e nettamente inferiore al costo di trasporto di una quantità equivalente di energia elettrica in linee aeree ad alta tensione. Le nuove idee sul « ciclo idrogeno » hanno già portato all'avvio di una serie di nuove interessanti linee di ricerca, ma la discussione sull'energia è ancora del tutto aperta.

Le scelte sulle fonti e sulle forme di energia su cui basare in futuro il sistema economico dipendono infatti non solo dalla soluzione di problemi scientifici e tecnologici, ma soprattutto da fattori economici e considerazioni di strategia politica, che alterano e rendono ancora più complesso il quadro.