

Uno sguardo a livello mo

Franco Pecchio



Ordo mondiale

Dossier Idrogeno



Franco Pecchio, Fondazione Eni Enrico Mattei, Relight

Le tre maggiori aree industrializzate del pianeta (Stati Uniti, Giappone ed Unione europea) hanno attivato importanti finanziamenti per azioni di ricerca e sviluppo (R&D) nel campo dell'idrogeno. Le garanzie di basse emissioni e alte efficienze sono di stimolo per una economia dell'idrogeno nel prossimo futuro. Tuttavia è difficile prevedere una penetrazione significativa nel medio-lungo periodo di questo vettore energetico a fianco del mix di combustibili ed elettricità attuale.



Giappone, Stati Uniti ed Unione europea, sotto la spinta sempre maggiore della diversificazione delle fonti energetiche, della ricerca di una maggiore autosufficienza energetica e infine di un minore impatto in termini di emissioni, hanno individuato nell'idrogeno una delle possibili soluzioni. Senza dover approfondire i vincoli ed i limiti che questa soluzione ha, si può tuttavia convenire che, in un futuro molto lontano, potrebbe essere la soluzione vincente, a patto che altre tecnologie non siano sopraggiunte e abbiano vinto la

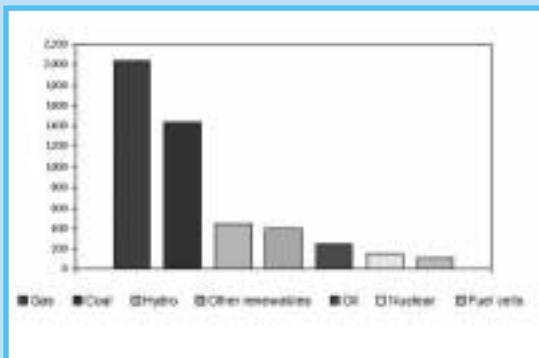
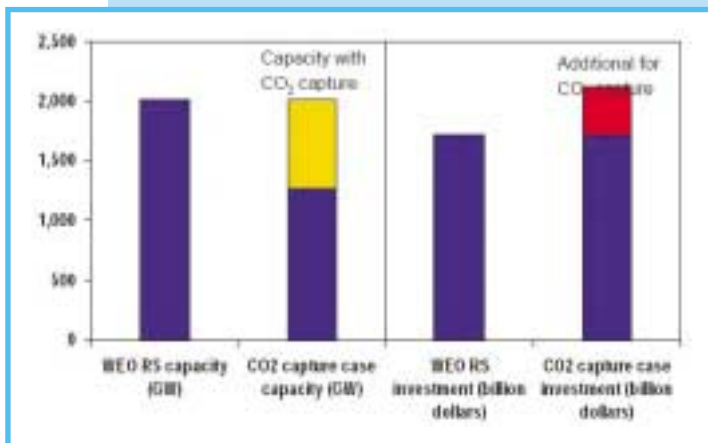
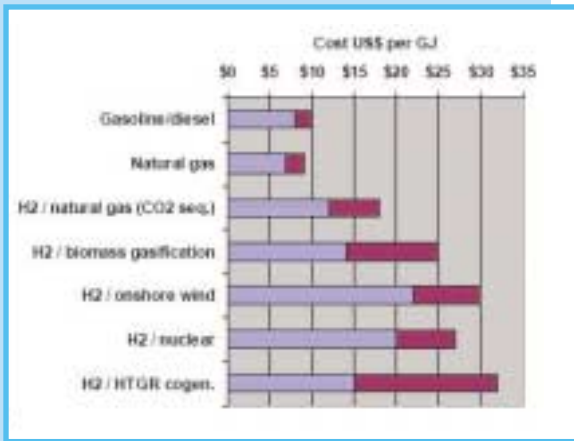


Figura 1 - Scenari di prezzo per la produzione di idrogeno da diverse fonti primarie [Fonte: World Energy Investment Outlook, Iea, 2003].

Figura 2 - Le tecnologie per la Carbon-capture sono in grado di rimuovere 3,4 GT di CO₂ nei paesi Ocde nel 2030 [Fonte: World Energy Investment Outlook, Iea, 2003].

Figura 3 - Le previsioni di nuova capacità di generazione mondiale (in GW) 2000 - 2030 [Fonte: World Energy Outlook, Iea, 2002].

sfiga energetica che potremmo così sintetizzare: tanta energia a basso costo per tutti, indipendente da riserve e depositi limitati geograficamente. In primis bisogna chiarire che l'idrogeno è un vettore energetico al pari dell'energia elettrica ma non è disponibile in natura ed è quindi necessario produrlo. Secondo la tecnologia utilizzata e il combustibile primario sfruttato si hanno prezzi differenti. L'idrogeno ha associata un'intera filiera che comprende oltre agli impianti e alle tecnologie di produzione, anche i processi di stoccaggio e trasporto, le tecnologie per il suo utilizzo (in chiave energetica si distinguono generalmente in installazioni fisse per la produzione elettrica, in installazioni mobili per l'uso nei trasporti ed in installazioni portatili miniaturizzate) ed infine la creazione di standard internazionali e normative *ad hoc* al momento solo in parte esistenti. Attualmente l'idrogeno è un gas industriale che viene utilizzato in molti processi ed ha un suo mercato mondiale. Nel 2001, la produzione mondiale di idrogeno è stata di circa 500 miliardi di Nm³. Il 70% di consumo di idrogeno è destinato all'industria chimica, di cui circa la metà per sintesi di ammoniaca; il resto è diviso tra i processi di idrogenazione per ottenere carburanti e processi di sintesi del metanolo. L'idrogeno prodotto viene trasportato e distribuito ai vari utilizzatori in forma gassosa, in contenitori delle più svariate dimensioni, a partire dalle minibombole (1 L, 18 bar) fino ai Trailer 7.000, batterie da 6.000 m³ (200 bar). In forma liquida, l'idrogeno è sia trasportato in speciali container da 1.000 L sia in autobotti, anche da 53.000 L (il peso del carico è di soli 3.370 kg!).

LA PRODUZIONE

I sistemi di produzione dell'idrogeno utilizzati sono legati storicamente all'impiego di idrogeno negli impianti petrolchimici e viene prodotto mediante l'utilizzo di vapore acqueo per la separazione dei gas di sintesi (syngas ovvero gas di origine idrocarburica desolforati). I metodi industriali noti ed applicati sono:

- steam reforming, dove viene utilizzato il metano (oppure un gas di sintesi) che reagisce con il vapore acqueo in un convertitore catalitico (generalmente di nichel) alla temperatura di 900 °C circa;
- ossidazione parziale, permette di ottenere idrogeno da idrocarburi pesanti come la nafta, è poco efficiente, inoltre richiede l'utilizzo di ossigeno puro per la creazione del syngas;
- pirolisi e gassificazione negli impianti a carbone che utilizzano questa tecnologia, in pratica le alte temperature trasformano parte del carbone in un gas ricco di idrogeno;
- idrolisi dell'acqua cioè la scissione della stessa nei suoi due elementi costitutivi mediante il passaggio di corrente tra due elettrodi di segno opposto.

Tuttavia la ricerca sta cercando di superare le attuali tecnologie per produrre l'idrogeno, fornendone di nuove che, sebbene assimilabili a quelle citate, differiscono da queste per economicità del processo e per efficienza. Ad esempio Eni sta studiando e sviluppando una tecnologia denominata "One-Step Hydrogen", in pratica è una tecnologia per produrre idrogeno da acqua e metano senza passare attraverso la produzione di syngas, sfruttando le proprietà RedOx di materiali ferrosi: il processo dovrebbe presentare una facile captazione della CO₂ per semplice condensazione dell'acqua, evitando la presenza di un costoso impianto di assorbimento. Le strade dell'elettrolisi e della sintesi dai combustibili fossili non sono le uniche praticabili. Ad esempio esiste la via biologica attraverso la pirolisi delle biomasse che comprende anche la frazione biodegradabile dei rifiuti e non solo combustibili di origine organica vegetale. Oppure la produzione direttamente da microrganismi. La ricerca in entrambi questi settori è molto attiva, sono allo studio metodi per la produzione attraverso l'acqua in condizioni supercritiche. In pratica quando l'acqua è in condizioni supercritiche (T>374 °C, p>22,1 MPa), le biomasse reagiscono direttamente con l'acqua e producono un gas ricco di idrogeno (al

Dossier
Idrogeno



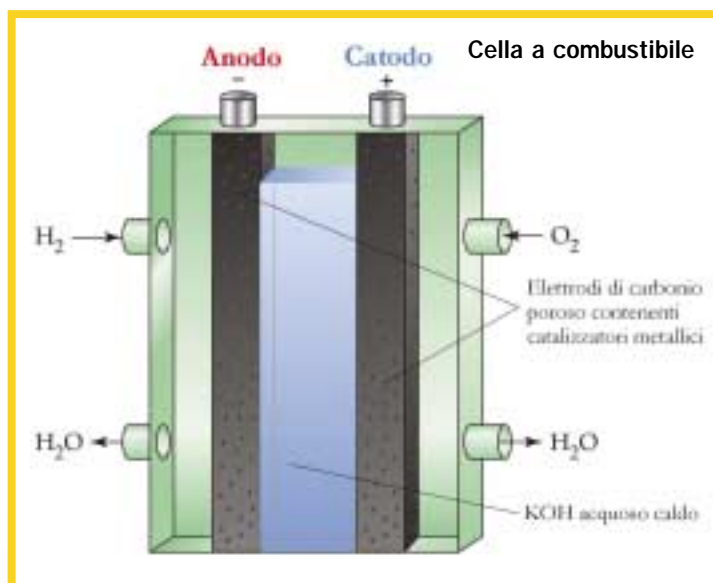
momento è stato realizzato un impianto pilota, con risultati incoraggianti in termini di efficienza termica). Oppure viene investigata la produzione di idrogeno attraverso stati critici della materia, come il plasma, per la produzione di syngas e da questo l'idrogeno. Una stima dei costi effettuata dall'Iea (International Energy Agency) vede al primo posto il reforming di gas che è una tecnologia matura e già applicata (Figura 1) con costi inferiori ai 10 \$ per GJ prodotto. Tutte le altre tecnologie superano questo limite fino a raddoppiarlo o triplicarlo secondo il tipo di impianto primario alla base del processo. Sul fronte della vera rivoluzione per la produzione di idrogeno, cioè sulla produzione interamente biologica (gli esperti indicano la seconda metà di questo secolo), ci sono diverse ricerche in atto che investigano e cercano di riprodurre in condizioni controllate delle coltivazioni di microrganismi che producono gas ricchi di idrogeno. In particolare sono allo studio le tecniche che sfruttano culture miste di microrganismi anaerobi per la produzione di metano. Si cerca di trovare un metodo per arrestare la metanogenesi proprio nel momento in cui viene prodotto idrogeno in modo da ottenere un gas puro privo di carbonio. Per arrestare il processo e massimizzare la produzione, si possono utilizzare inibitori chimici (costosi), effettuare un pretrattamento di shock termico o abbassare il pH (soluzione che ha dato i migliori risultati). In Giappone hanno annunciato a fine giugno la costruzione del primo impianto pilota di produzione di idrogeno da alghe. L'idrogeno di origine biologica supplisce al maggiore problema della produzione di idrogeno da combustibili tradizionali cioè alla separazione della CO₂ prodotta nel processo di sintesi. Se l'idrogeno biologico è il futuro per la seconda metà di questo secolo, allora

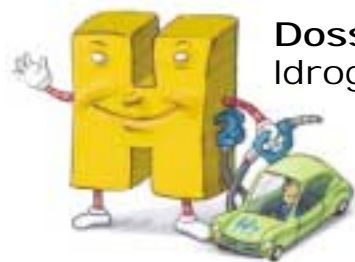
la *carbon sequestration* è la sfida per la produzione nel periodo di transizione. I costi sono elevati e aumentano direttamente anche quelli dell'idrogeno prodotto (Figura 2). Attualmente esistono già alcuni impianti (petrolchimici) che separano la CO₂ dai combustibili e la usano per "spingere" il petrolio o il gas in giacimenti a fine vita, con una tecnica detta di reiniezione che ha dato buoni risultati ma con costi elevati e limiti tecnologici ed ambientali.

IL TRASPORTO

Sul fronte del trasporto dell'idrogeno bisogna distinguere sullo stato fisico di confinamento: gassoso, liquido o compresso.

Nel caso di idrogeno gassoso il valore dell'energia associata all'unità di volume rende l'utilizzo delle





Dossier Idrogeno



Fonte di produzione dell' H_2	Percentuale sul totale mondiale
gas naturale	48%
carbone	30%
petrolio	18%
H_2O (idrolisi dell'acqua)	4%

bombole poco efficienti, mentre un utilizzo a rete, tipo idrogendotto, è possibile solo su piccola scala per i problemi intrinseci di pompaggio e di tenuta delle tubature rispetto ad una molecola molto piccola e volatile come quella dell'idrogeno; inoltre il trasporto in tubo è economico solo in grandi quantità per questo è presente solo in particolari realtà: l'industria petrolchimica e elettrochimica, distretti industriali con lavorazioni ad alto uso di idrogeno (distretti orafi).

Nel caso, invece, di idrogeno compresso si può parlare solo di bombole con pressioni elevate (al momento si arriva a 380 bar, sono allo studio contenitori per pressioni di 700 bar) oppure di liquefazione dell'idrogeno (a temperature vicino allo zero assoluto) con serbatoi molto costosi ma ampiamente sperimentati a livello tecnico.

L'accumulo in forma liquida è forse la tecnologia che oggi meglio soddisfa, da un punto di vista teorico, le esigenze specifiche dell'autotrazione, viene infatti utilizzato sull'unica auto alimentata direttamente a idrogeno (Bmw), tuttavia anch'esso 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 ed il rifornimento, e i relativi 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% ed il 7% per l'idrogeno compresso.

Infine ci sono i metodi di confinamento chimico-fisico che sono legati alla capacità delle molecole di idrogeno di inserirsi tra quelle dei metalli i cosiddetti idruri metallici, cioè leghe che consentono l'assorbimento dell'idrogeno nello spazio interatomico (idrogenazione) con un processo esotermico che richiede raffreddamento; mentre la sottrazione di idrogeno (deidrogenazione) dall'idruro è un processo endotermico che richiede calore. Quando la pressione dell'idrogeno viene inizialmente aumentata l'idrogeno si dissolve nel metallo e quindi comincia a legarsi con esso.

Altro metodo concettualmente simile per il confinamento dell'idrogeno è l'assorbimento dell'idrogeno su strutture molecolari di carbonio chiamate nanotubi. Difatti a temperature criogeniche (70-113 K) e pressioni moderate (42-54 Atm) il carbonio reso radioattivo, può assorbire, reversibilmente, 0,043-0,072 kg H_2 /kg di carbonio. Tuttavia siamo solo all'inizio della sperimentazione e della ricerca ed è prematuro fare delle previsioni sull'utilizzo dei nanotubi, dal momento che vengono solo creati in laboratorio e non è ancora stato trovato un metodo efficace di produzione su vasta scala.

UTILIZZO

Riguardo alle tecnologie di sfruttamento del vettore idrogeno occorre distinguere tra le tecnologie attualmente in uso che con opportune modifiche possono essere alimentate ad idrogeno (come il motore endotermico della Bmw oppure alcuni tipi di turbine a gas) e le tecnologie in avanzata fase di sviluppo come le celle a combustibile.

La ricerca si è concentrata proprio su queste ultime che sono state suddivise in categorie secondo l'elemento elettrolitico utilizzato oppure secondo i range di temperatura di utilizzo. Una cella a combustibile è un sistema elettrochimico capace di convertire l'energia chimica di un combustibile (in genere idrogeno) direttamente in energia elettrica, senza l'intervento intermedio di un ciclo termico e di organi meccanici in movimento, pertanto presenta rendimenti di conversione più elevati (intorno al 60% senza cogenerazione ma 48% se si aggiunge il reforming) rispetto a quelli delle macchine termiche convenzionali (30% per i motori endotermici a benzina, 49% per un moderno ciclo Diesel).

Una cella a combustibile (1) in pratica funziona esattamente co-

me una normale batteria con la sostanziale differenza che il reagente e l'ossidante sono l'idrogeno e l'aria (l'ossigeno contenuto nell'aria) e possono alimentare senza interruzioni la pila. Le celle a combustibile hanno l'inevitabile vantaggio di avere efficienze elevate, dal momento che non si basano sul ciclo di Carnot, e di avere emissioni praticamente nulle, tuttavia hanno inconvenienti non trascurabili cui la ricerca sta cercando di porre rimedio.

In particolare l'elevatissimo costo delle parti e delle tecnologie per la produzione delle medesime. Infatti le stime dell'Iea per la nuova capacità di generazione prevedono meno di 200 GW di nuova potenza da celle a combustibile (Figura 3) e specificano che il combustibile sarà gas naturale dal quale verrà prodotto l'idrogeno per le celle. Il dato è una stima di quanto la comunità scientifica sia scettica sull'impiego su grande scala nel breve periodo delle celle a combustibile ed in definitiva dell'idrogeno.

Sul fronte dei trasporti e delle applicazioni portatili le stime sono altrettanto caute e, ad esempio, per il solo mercato americano viene fornito un range di penetrazione dei veicoli alimentati da motore a celle a combustibile tra il 3% ed il 10% al 2030.

La possibilità di utilizzare l'idrogeno per produrre energia elettrica e viceversa è uno dei suoi punti di forza in quanto, se sarà economicamente fattibile, potrebbe diventare il sostituto delle attuali batterie e su questo modello si basano gli studi per l'applicazione e l'ingegnerizzazione su piccola scala per applicazioni portatili che, al momento, sembrano le più promettenti.

Ad esempio, quale sostituto delle batterie, l'idrogeno è stato utilizzato come sistema tampone per un impianto eolico. L'energia eolica è infatti una delle fonti rinnovabili di energia più efficienti, ma non permette di generare elettricità con continuità; in uno studio hanno simulato la possibilità di utilizzare la forza del vento per produrre idrogeno dall'acqua tramite elettrolisi, stoccare l'idrogeno in un contenitore formato da nanotubi e alimentare un cella a combustibile nei periodi di scarsa ventosità.

Il sistema è completamente pulito e la simulazione ha dato buoni risultati nel caso di un impianto da 40 kW in un contesto rurale formato da 10 abitazioni ed una fattoria. Questo è solo un esempio ma molti altri sono in fase di studio o di prototipo, si tratta di capire quale sarà la combinazione vincente.

Ma rimangono comunque molte soluzioni da cercare soprattutto nel settore dei trasporti che per mole di investimenti, qualità e numero di player coinvolti sembra essere quello più avanti nella ricerca: infatti la sostituzione degli attuali combustibili è una certezza.

Solo per citare alcuni problemi aperti, nel settore trasporti, le celle a combustibile, pur potendo fornire un carico elettrico moderatamente variabile, hanno lunghi tempi di accensione che al momento sono difficilmente proponibili al mercato; inoltre necessitano di essere alimentate da idrogeno compresso o liquido con i conseguenti problemi di stoccaggio e sicurezza, rimane ancora aperto il problema del rifornimento con la creazione ex novo di una adeguata struttura di distribuzione.

Ad esempio il Tüv tedesco ha ultimamente effettuato un'analisi dei rischi nel caso di un'automobile alimentata ad idrogeno. Il caso analizzato ha riguardato l'ipotesi di parcheggio in garage: il rischio associato all'incendio di un'auto a benzina è di $4,5 \times 10^7$ incidenti, mentre quello relativo ad un'auto ad idrogeno è di 2310³. Allo stato attuale, in parcheggio un'auto ad idrogeno risulta 4 ordini di grandezza più pericolosa di un'auto "tradizionale" cosa praticamente inaccettabile.

NORMAZIONE E STANDARD

Proprio dalle considerazioni di cui sopra occorre sviluppare a livello internazionale degli standard per l'idrogeno. A questo proposito è da tempo operativo il comitato ISO/TC 197 (2) "Hydrogen Technologies" che analizza e propone gli standard in campo internazionale sull'idrogeno.

CONCLUSIONE

La conclusione di questa rapida panoramica delle problematiche aperte è che un'economia basata sull'idrogeno è possibile ma è anche molto lontana nel tempo: occorre investire nello studio e nella ricerca in modo da superare le barriere tecnologiche attuali e prepararsi al meglio delle possibilità attuali per la costruzione di una società e un'economia basate sull'idrogeno.

(1) Per i diversi tipi di cella a combustibile si vedano gli articoli pubblicati in precedenza su questa rivista: "Generazione Distribuita: un panorama tecnologico (Prima parte)" in Inquinamento n. 27 (maggio 2001) e "Generazione Distribuita: un panorama tecnologico (Seconda Parte)" in Inquinamento n. 31 (ottobre 2001)

(2) Circa le attività normative, sono in fase di elaborazione dei regolamenti della Commissione Economica per l'Europa delle Nazioni Unite (Unece), che riguardano i serbatoi e gli impianti su veicolo, per idrogeno stoccato in forma gassosa e liquida. Il comitato di termoeconomica ambientale (Iso TC 197) si occupa di tutti gli aspetti tecnologici dell'idrogeno anche in relazione all'ambiente (serbatoi, modi di rifornimento, caratteristiche dell'idrogeno da impiegare nelle varie applicazioni).