

# MEGLIO L'ELETTRICITÀ DELL'IDROGENO

Gian Paolo Beretta\*, Ernesto Pedrocchi°

\*Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Brescia, beretta@unibs.it

°Dipartimento di Energetica, Politecnico di Milano, ernesto.pedrocchi@polimi.it

## SOMMARIO

Sempre più frequentemente l'idrogeno viene presentato come la soluzione integrale a tutti i problemi energetici ambientali. La pubblica opinione è frastornata da messaggi scientificamente non chiari e spesso equivoci. Si confondono le potenzialità dell'idrogeno con quelle delle celle a combustibile e con il sequestro e il confinamento della CO<sub>2</sub>, alternativa praticabile anche con la produzione di energia elettrica. Purtroppo anche rappresentanti del mondo scientifico, con o senza dolo, avallano questa moda. Si rischia così di far crescere un consenso sociale, prevalentemente emotivo e di dirottare ingenti finanziamenti sul tema dell'idrogeno a scapito di altre ricerche più promettenti, tra le altre lo sviluppo dei veicoli elettrici e di quelli a propulsione ibrida, capaci di ridurre significativamente l'impatto ambientale degli autotrasporti urbani senza i costi energetici e ambientali legati allo sviluppo dei veicoli a idrogeno.

In questo contesto si propone un'analisi critica sul ruolo che l'idrogeno potrà avere nel futuro dei problemi energetico-ambientali, ancorata a basi sperimentali e scientifiche e con riferimento alle caratteristiche chimico-fisiche dell'idrogeno e alle tecnologie mature e non futuribili per la sua produzione. Si analizza criticamente il possibile uso dell'idrogeno come combustibile pulito per le aree fortemente inquinate comparandolo con il trend di riduzione dell'inquinamento già in atto a seguito delle più recenti innovazioni tecnologiche e con le potenzialità dell'autotrazione elettrica e analizzando il maggior dispendio di energia primaria e la conseguente maggior emissione di CO<sub>2</sub> se la produzione di idrogeno avviene con combustibili fossili. Si esamina la prospettiva dell'utilizzo dell'idrogeno come accumulatore di energia per la valorizzazione di fonti energetiche rinnovabili soggette ad aleatorietà ed intermittenza comparandolo in particolare con la produzione di energia elettrica.

Tenuto conto di tutta la catena di processi (ciclo di vita dell'energia) fra la fonte primaria e l'uso finale, e considerate le necessità di sviluppo di infrastrutture di rifornimento per entrambe le tecnologie, l'autotrazione a idrogeno risulta allo stato attuale delle conoscenze non competitiva con l'autotrazione elettrica, sia dal punto di vista della resa energetica sia dal punto di vista dell'impatto ambientale globale, sia probabilmente anche dal punto di vista economico.

## 1. PREMESSA

In questi tempi si sente frequentemente parlare dell'idrogeno come "la soluzione" ai problemi energetici ambientali: la panacea di tutti i mali. Si arriva a parlare di "civiltà dell'idrogeno" contrapposta a quella del petrolio e prospettata da certi futurologi come la soluzione definitiva per il futuro dell'energia. La pubblica opinione è frastornata da messaggi demagogici, fuorvianti e scientificamente non chiari. I fautori dell'idrogeno si citano a vicenda in un carosello acritico, i mass media, che per vocazione non sono mai su posizioni prudenti, amplificano ed alimentano le speranze sull'idrogeno "salva mondo" (ebbe eco la copertina di un famoso settimanale col titolo "Ci salverà l'idrogeno") [1,2,3,4]. Si confondono, più o meno volontariamente, le potenzialità dell'idrogeno con quelle delle celle a combustibile e del sequestro e confinamento della CO<sub>2</sub> (la cui realizzazione sicura è tecnicamente ancora molto incerta). Si rischia così di far crescere un consenso sociale, prevalentemente emotivo, difficilmente riconducibile entro un'impostazione scientificamente corretta, con il risultato di convincere i politici ad apportare gravi tagli ai fondi per la ricerca e l'innovazione su altri temi promettenti, per dirottare ingenti finanziamenti sul tema dell'idrogeno.

La prospettiva dell'idrogeno fa comodo a molti. I politici sia

a livello locale che centrale sono propensi, salvo rarissime eccezioni, ad elargire finanziamenti alle ricerche sull'idrogeno; è questa una scelta comoda proiettata in un futuro lontano pertanto poco impegnativa, ma pagante nell'immediato in termini di consenso. Gli ambientalisti, che puntano sempre al futuribile utopico, vedono di buon occhio l'idrogeno, l'ennesima chimera che garantisce immobilità e mancanza di concretezza e non analizzano criticamente se è davvero positiva per l'ambiente. Non pochi ricercatori, pur con posizioni sfumate e differenti, vedono nelle ricerche sull'idrogeno l'occasione buona per acquisire facili finanziamenti e ne fruiscono alimentando però la disinformazione e fornendo un avallo scientifico non sempre meritato. Al contrario, chi assume nei confronti dell'idrogeno una posizione critica o comunque scettica è additato spesso come "negazionista", oscurantista e osteggiatore del progresso e vincolato al mantenimento dello status quo da non ben definiti interessi economici. Ma gli scettici sono tanti specialmente nel mondo scientifico.

In questo contesto ci pare opportuna un'analisi critica semplice, ma ancorata a basi sperimentali e scientifiche, sul ruolo che l'idrogeno potrà avere nel futuro dei problemi energetico-ambientali e sulle opzioni alternative.

## 2. I POSSIBILI RUOLI DELL'IDROGENO

L'idrogeno è un ottimo combustibile, produce alte temperature di fiamma ed è leggero, ideale per la propulsione di razzi. La combustione con aria dell'idrogeno produce quasi solo vapore acqueo: non produce né monossido di carbonio, né incombusti, né ossidi di zolfo, né polveri sottili, ma solo un po' di ossidi di azoto in quantitativi comparabili o leggermente superiori a quanto prodotto dalla combustione del metano. L'idrogeno può essere in via teorica usato per la trazione, per il riscaldamento, per gli usi domestici e per la generazione elettrica. L'idrogeno è anche il combustibile per eccellenza, ma non l'unico, per le celle a combustibile dove il suo utilizzo non produce (direttamente) alcun inquinante. Ma è fondamentale evitare di confondere le 'chances' dell'idrogeno con quelle delle celle a combustibile, due opportunità distinte e con prospettive di sviluppo indipendenti e molto differenti.

L'idrogeno libero in natura non c'è, lo si deve produrre e questo processo richiede energia. L'idrogeno si ottiene:

1. decomponendo l'acqua (si tratta del processo inverso della combustione essendo l'acqua il prodotto fisiologico della sua ossidazione);
2. ricavandolo dagli idrocarburi fossili staccandolo dal carbonio con processi termochimici di steam reforming o di ossidazione parziale.

Nel primo caso è necessario fornire energia, in genere pregiata, in quantità superiore, al minimo del 20%, a quella che l'idrogeno saprà poi restituire come suo potere calorifico; nel secondo caso il potere calorifico che si ritrova nell'idrogeno prodotto è nettamente inferiore a quello del combustibile di partenza, indicativamente si va da un 80% partendo da gas naturale al 60% usando il carbone. Quindi la sua produzione penalizza molto l'efficienza della catena dei processi di trasformazione energetica dalla fonte primaria all'uso finale [5]. Bisogna inoltre ricordare che l'idrogeno a causa delle sue intrinseche proprietà (a pari pressione e temperatura è il gas più leggero) presenta gravi difficoltà sia per il trasporto che per l'immagazzinamento; anche compresso a 800 bar o liquefatto a -250°C, entrambe condizioni di severa sollecitazione per i materiali di contenimento, l'idrogeno ha un contenuto energetico a pari volume circa 3 volte inferiore a quello di benzina e gasolio. L'accumulo dell'idrogeno è inoltre problematico per la difficoltà a contenerlo in serbatoi a pressione, poichè la sua molecola piccola tende a scappare facilmente.

Un problema cruciale per la diffusione dell'idrogeno è quello della sicurezza [6]. Il confronto più significativo è con il gas naturale (assimilato per semplicità al metano) e con la benzina che vengono comunemente accettati come carburanti abbastanza sicuri. Studi affidabili e completi di confronto tra questi tre possibili carburanti ai fini della sicurezza non ci sono e sono oggettivamente molto difficili da realizzare, tenuto conto della complessità dei fenomeni e dei tanti aspetti da considerare. L'idrogeno ha limiti di infiammabilità più ampi ma con il limite inferiore circa eguale a quello del metano ed energia di ignizione molto più bassa, esso ha però il vantaggio di diffondersi molto più velocemente e, data la sua leggerezza, tende a galleggiare nell'aria non permettendo, salvo in spazi chiusi, di raggiungere le concentrazioni di infiammabilità. I sostenitori dell'idrogeno affermano che può essere maneggiato con sicurezza a condizione di rispettare tutta una serie di precauzioni dovute alla sua natura, che sono però certamente più restrittive e meno conosciute di quelle applicate al metano, alla benzina e al gasolio.

Produrre idrogeno, accumularlo, trasportarlo e consumarlo

nell'uso finale (ad esempio la propulsione di un veicolo), comporta una catena di processi che dissipa molta dell'energia primaria utilizzata (le leggi della termodinamica sono inviolabili) e richiede una serie di infrastrutture molto sofisticate e costose. Il vettore elettricità è meno energivoro e le infrastrutture (la rete elettrica) sono sicure e ben sperimentate. Avendo, a pari energia resa, costi energetici ed economici maggiori (in taluni scenari molto maggiori) rispetto all'elettricità, l'idrogeno sarebbe proponibile come vettore energetico solo se potesse alleviare in modo molto più significativo i problemi ambientali. Si vedrà che non è vero. Verranno analizzati i problemi relativi ai settori di utilizzo e produzione dell'idrogeno, ossia i ruoli che potrebbe avere e che sono riconducibili, in pura via teorica, alle seguenti opzioni:

1. Utilizzarlo come combustibile nelle aree cittadine fortemente inquinate per ridurre il carico di inquinanti locali e migliorare la qualità dell'aria.
2. Produrlo con fonti energetiche rinnovabili specialmente quelle soggette ad aleatorietà ed intermittenza (solare ed eolica) rivalorizzando queste fonti altrimenti difficilmente utilizzabili. Il passaggio attraverso l'idrogeno disaccoppia la fase di produzione, possibile solo quando la fonte è disponibile, da quella d'utilizzo dell'energia superando il vincolo della non contemporaneità.
3. Produrlo con l'energia nucleare e/o con il carbone in impianti con sequestro e confinamento della CO<sub>2</sub> ed utilizzarlo per la trazione permettendo così di ridurre la produzione globale di gas serra e calmierare i problemi geopolitici e strategici di approvvigionamento e di dipendenza dalle importazioni di petrolio e gas naturale.

Le ultime due opzioni permetterebbero anche di far penetrare l'uso di alcune fonti rinnovabili, del carbone e del nucleare in settori dai quali sono attualmente quasi preclusi (in particolare i trasporti).

Questi ruoli possono ovviamente coesistere, ma è più razionale analizzarne le opportunità distintamente, è poi facile la sovrapposizione degli effetti. L'analisi che presentiamo è basata sullo studio di documentazione di esperti internazionali di vari settori, la cui voce "fuori dal coro" purtroppo viene troppo spesso ignorata [7,8,9,10,11]. Vedremo che, tenuto conto delle tecnologie già disponibili e delle più mature innovazioni in corso di sviluppo, per nessuna delle opzioni sopra citate l'uso dell'idrogeno come vettore energetico risulta essere migliore rispetto all'uso dell'elettricità. Non sussiste pertanto alcuna ragione tecnico-scientifica per prediligere e concentrare ricerca e relativi incentivi a sostegno dell'idrogeno come vettore energetico, come invece è stato fatto e si continua a fare.

### 2.1 Utilizzo come combustibile a basso inquinamento locale

Il possibile utilizzo dell'idrogeno nelle città riguarda in primis gli autoveicoli, poi gli impianti di riscaldamento e gli usi domestici. Da quando il contenuto di zolfo nei combustibili è stato fortemente ridotto il settore che dà il maggior contributo al carico inquinante nei centri urbani è quello degli autoveicoli come risulta da tante rilevazioni [12,13], inoltre esso è anche quello in cui la sostituzione della fonte energetica è di più difficile realizzazione. Si svilupperà quindi la seguente analisi con riferimento a tale settore, ma le considerazioni generali svolte sono valide anche per gli altri due settori.

Dai dati rilevati nella città di Milano si evidenzia che dal 1990 al 2000 le emissioni di quasi tutti gli inquinanti del parco autoveicoli sono all'incirca dimezzate (solo gli NO<sub>x</sub> sono

diminuiti un po' meno) [12]. Questo è avvenuto a seguito del normale ricambio con motori più efficienti e meno inquinanti nonostante l'aumento del numero di veicoli. La qualità dell'aria è significativamente migliorata, salvo per alcuni inquinanti non direttamente legati alle emissioni (ozono e polveri sottili PM10) per i quali il contributo dovuto alle emissioni dagli autoveicoli non è il fattore principale. Considerato che per le polveri sottili la componente principale non deriva dalle emissioni degli autoveicoli, nel complesso si può rilevare che il contenimento dell'inquinamento locale dovuto alle emissioni dai veicoli è già abbastanza ben controllato con le tecnologie ora applicate e in ulteriore fase di miglioramento con l'introduzione di veicoli sempre meno inquinanti. In particolare l'introduzione e l'ulteriore sviluppo dei veicoli ibridi, che affiancano al motore a combustione interna un motore/generatore elettrico collegato a batterie elettriche e che consentono una limitata autonomia di "solo elettrico" nei centri urbani, costituiscono la tecnologia di transizione più promettente, con immediati vantaggi energetici e ambientali. Le auto ibride, ormai comunemente in circolazione nelle nostre città in particolare in Giappone e negli USA, usano i tradizionali carburanti e costano poco più delle auto tradizionali da cui derivano.

Nei centri urbani fortemente inquinati l'uso dell'idrogeno per alimentare i motori a combustione interna non comporta un grande guadagno sul fronte dell'inquinamento locale perché non elimina gli inquinanti difficili da contenere, gli NO<sub>x</sub>. Va peraltro detto che l'uso delle celle a combustibile a bassa temperatura, per ora non disponibili, forse porterebbe un significativo vantaggio, peraltro identico a quello ottenibile con l'auto elettrica, ma limitatamente all'uso in aree fortemente inquinate. In ogni caso rispetto al problema dei cambiamenti climatici entrambe le soluzioni ad idrogeno comportano un aggravio di consumo di combustibili fossili e maggiori emissioni di CO<sub>2</sub>. Inoltre bisogna prevedere infrastrutture complesse, difficili e costose necessarie per rifornire i veicoli a idrogeno. L'uso della trazione ad idrogeno potrebbe quindi riguardare solo casi di nicchia in cui ragioni locali molto particolari giustificano i maggiori oneri economici, energetici ed ambientali rispetto all'uso della trazione elettrica.

Lo sviluppo di batterie di accumulo di elettricità per applicazioni elettroniche, ad esempio a ioni di litio, più leggere delle tradizionali batterie al piombo, consente di realizzare già oggi veicoli elettrici con rapporto autonomia/peso del 40% maggiore di un veicolo a celle a combustibile e bombole di idrogeno compresso a pari prestazioni [14,15,16]. Oltretutto, secondo una stima riportata a fine paragrafo, la catena di processi che alimenta il veicolo a celle a combustibile, comporta consumi di fonti fossili almeno del 20% maggiori rispetto al veicolo elettrico di pari prestazioni [16], che risulta anche più leggero e meno costoso [14]. Il confronto peggiora a sfavore del veicolo a celle a combustibile anche volendo ipotizzare l'improbabile e futuribile scenario "tutto rinnovabile" che viene talvolta evocato come contesto ideale dello sviluppo dell'idrogeno come vettore energetico. In tale caso, il veicolo a celle a combustibile comporterebbe a pari prestazioni consumi complessivi più che doppi rispetto al veicolo elettrico [14]. La ricerca sulle batterie elettriche leggere potrebbe essere un tema promettente, e in ogni caso il loro costo dovrebbe diminuire con la maggiore diffusione di questi veicoli.

Certo, anche lo sviluppo dei veicoli elettrici richiede investimenti per il potenziamento della rete di distribuzione dell'elettricità e lo sviluppo di infrastrutture di ricarica e di

sostituzione delle batterie esaurite, ma una buona parte della catena tecnologica è ben nota e consolidata, inoltre basandosi sulla rete elettrica già esistente la diffusione di questi veicoli per percorrenze limitate nei centri urbani dove i benefici ambientali giustificano i maggiori costi, può avvenire da subito e in modo graduale. La ricarica delle batterie potrebbe avvenire prevalentemente nelle ore "vuote" con conseguente positivo spianamento del diagramma di carico. Secondo questa prospettiva è certamente opportuno prevedere una graduale maggiore penetrazione dell'energia elettrica nel sistema energetico.

L'aumento dei prezzi dei carburanti tradizionali derivati dal petrolio con la progressiva internalizzazione dei costi ambientali, sociali e geopolitici dovuti al loro approvvigionamento potrebbe ulteriormente avvantaggiare le auto alimentate con energia elettrica prodotta non da idrocarburi.

A fine paragrafo si riporta, considerando la resa energetica di tutta la catena di processi (ciclo di vita) dalla fonte primaria all'uso finale, un confronto, già commentato, tra auto elettrica e auto ad idrogeno, tratto da recenti studi pubblicati nella letteratura internazionale da esperti di settore [13,14,15,16,17,18,19,20,21,22].

Si presentano due casi.

1-Il primo ipotizza come fonte primaria il gas naturale (le cose non cambiano molto se si parte da altre fonti fossili o anche dal nucleare, purchè la produzione di idrogeno non sia per elettrolisi ma per via termochimica).

Nel caso dell'auto a idrogeno la catena di processi è la seguente:

- produzione di metano, produzione di idrogeno, sistema di distribuzione dell'idrogeno, accumulo dello stesso a bordo del veicolo: resa energetica 50%;
  - conversione elettrochimica in celle a combustibile, conversione elettromeccanica: resa energetica 50%;
- da cui risulta una resa globale del 25%.

Nel caso dell'auto elettrica gli stadi sono i seguenti:

- produzione dell'energia elettrica, distribuzione: resa energetica 45%;
  - accumulo nelle batterie a bordo del veicolo, conversione elettromeccanica: resa energetica 70%;
- da cui risulta una resa globale del 31% (superiore alla resa dell'auto a idrogeno del 24%).

2-Il secondo ipotizza una fonte rinnovabile da cui si produca direttamente energia elettrica, come un centrale eolica o fotovoltaica.

Nel caso dell'auto a idrogeno i processi sono i seguenti:

- produzione per elettrolisi dell'idrogeno, sistema di distribuzione dell'idrogeno, accumulo dello stesso a bordo del veicolo: resa energetica 50%;
  - conversione elettrochimica in celle a combustibile, conversione elettromeccanica: resa energetica 50%;
- da cui risulta una resa globale del 25%.

Nel caso dell'auto elettrica gli stadi sono i seguenti:

- distribuzione dell'energia elettrica: resa energetica 90%;
  - accumulo nelle batterie a bordo del veicolo, conversione elettromeccanica: resa energetica 70%;
- da cui risulta una resa globale del 63% (due volte e mezzo superiore alla resa dell'auto a idrogeno).

## 2.2 Utilizzo per il recupero di energia da fonti rinnovabili

Viene detto che l'utilizzo dell'idrogeno può, in via teorica, permettere di valorizzare alcune forme di energie rinnovabili soggette ad aleatorietà ed intermittenza e difficilmente accumulabili, come l'energia solare, l'eolica e, solo in parte, l'idrica ad acqua fluente. L'uso di queste fonti per la produzione di idrogeno permetterebbe di disaccoppiare il momento della disponibilità da quello dell'utilizzo. Si riuscirebbe così a sfruttare maggiormente la potenzialità di queste fonti rinnovabili che incontrano non poche difficoltà a penetrare nel mercato. L'unica modalità concreta per questo utilizzo è, in siti non raggiungibili dalla rete elettrica, la produzione di energia elettrica e con questa la produzione in sito di idrogeno per via elettrolitica. La catena da utilizzare sarebbe la seguente: fonte rinnovabile, energia elettrica, idrogeno. E' vero che ci sarebbero due vantaggi nella strategia energetica generale:

- si ridurrebbero i consumi di fonti fossili, e quindi le importazioni se il paese non ne dispone,
  - si ridurrebbero le emissioni di CO<sub>2</sub>,
- ma la resa energetica di questa catena di conversione sarebbe molto bassa e i costi elevati. E' però da notare che la potenzialità di questo tipo di fonti rinnovabili, pur migliorando, rimarrebbe sempre bassa e marginale specialmente per i paesi sviluppati.

Gli stessi vantaggi sono però conseguibili anche con il vettore elettrico con resa energetica decisamente migliore (lo abbiamo appena visto) ove sia disponibile una rete elettrica con sistemi di accumulo. I sistemi di pompaggio utilizzati e collaudati da più di trent'anni con rendimenti superiori all'80% sono comuni sulle reti elettriche dei paesi sviluppati e permettono l'accumulo di grosse quantità di energia. L'elettrotermia (l'uso dell'energia elettrica per finalità termiche) è molto diffusa nei paesi ad elevata penetrazione elettrica (Giappone, Francia e Svezia). Essa, malgrado l'apparente incongruenza termodinamica, permette, a causa della facilità di controllo temporale e spaziale della fornitura di energia termica, di ottenere un buon rendimento complessivo (ad esempio anche nel riscaldamento ambientale) e, nelle applicazioni industriali, permette di ottenere prodotti di migliore qualità. L'uso dell'auto elettrica permetterebbe (molto meglio dell'uso dell'idrogeno) di far penetrare le fonti energetiche rinnovabili anche nel settore trasporti.

Qualche ricercatore ha ipotizzato la produzione di idrogeno con l'energia solare nel Sahara e il suo trasporto in Europa per l'utilizzo. Ciò richiederebbe un'infrastruttura dedicata e la sola potenza di pompaggio si mangerebbe tra il 30 e il 40% dell'idrogeno trasportato. Molto meno energivoro sarebbe il trasporto diretto dell'energia elettrica prodotta, che oltretutto potrebbe fruire (se il quantitativo non fosse elevato) della rete elettrica esistente.

Dunque, salvo rari casi particolari in cui la rete elettrica risulti inaccessibile o antieconomica o non dotata di sistemi di accumulo, l'elettricità (non l'idrogeno) costituisce il vettore ideale anche per valorizzare le energie rinnovabili soggette ad aleatorietà ed intermittenza, come l'energia solare e l'eolica.

## 2.3 Produzione di idrogeno con l'energia nucleare o con il carbone con sequestro e confinamento dell'anidride carbonica prodotta.

Si può certamente produrre idrogeno con l'energia nucleare, sia mediante la nota elettrolisi fatta con l'energia elettrica

prodotta in centrali a fissione di tipo tradizionale sia mediante processi, finora poco sperimentati, di termosolissione in reattori particolari ad alta temperatura.

Si può produrre idrogeno anche con impianti a carbone mediante vari processi termochimici di shift, gassificazione e ossidazione parziale. Il sequestro e confinamento della CO<sub>2</sub> prodotta in tali impianti potrebbe contenere la produzione di gas ad effetto serra.

L'uso del nucleare e del carbone potrebbe calmierare i problemi geopolitici e strategici di approvvigionamento e di dipendenza dalle importazioni di petrolio e gas naturale.

Ma tutti questi vantaggi permangono se invece di produrre idrogeno col nucleare e col carbone si produce energia elettrica. Anzi, come già visto, l'uso dell'energia elettrica anche nel settore trasporti comporta importanti riduzioni di consumi.

E' dunque fuorviante creare confusione tra le chances dell'idrogeno e quelle del nucleare e del carbone con sequestro e confinamento della CO<sub>2</sub>.

Nel caso della fonte nucleare in un mercato in cui essa copre meno del 20% del fabbisogno elettrico quindi con forti possibilità di espansione su questo fronte, non pare ragionevole aggiungere a tutte le difficoltà di accettazione sociale che il nucleare già incontra in molte parti del mondo anche le perplessità e le difficoltà legate alla produzione di idrogeno.

## 3. CONCLUSIONI

L'idrogeno, usato sia nei motori a combustione interna che nelle celle a combustibile, a fronte di grandi difficoltà per le infrastrutture, darebbe solo un modesto miglioramento per ridurre la produzione di inquinanti e l'impatto locale, rispetto a quanto già si può ottenere con le innovazioni in corso sui propulsori tradizionali. Inoltre per i veicoli a minimo impatto per usi di nicchia (centri urbani inquinati) risulta certamente molto più facile da realizzare l'auto ibrida o l'auto elettrica. Le auto ibride sono già in commercio, alimentate con i normali carburanti, sicure e nettamente meno costose delle auto ad idrogeno. Le auto elettriche sono commercialmente già esistenti, alimentabili direttamente dalla rete con resa energetica complessiva decisamente migliore e probabilmente meno costose.

L'uso dell'idrogeno prodotto con elettrolisi per rivalorizzare alcune fonti energetiche rinnovabili o per recuperare energia da fonte nucleare o da carbone per il settore trasporti si prospetta molto costoso; risultati più affidabili e migliori si possono ottenere con la sola produzione di energia elettrica direttamente immessa nella rete che è quasi sempre dotata di sistemi di accumulo.

E' fuorviante far credere che uso dell'idrogeno come vettore energetico e sviluppo delle celle a combustibile siano sinonimi. Lo sviluppo delle celle a combustibile non dipende dall'esistenza di una infrastruttura di distribuzione dell'idrogeno. Anche nel campo dell'autotrazione le celle a combustibile, combinate ad un reformer a bordo del veicolo, costituiscono una possibile tecnologia di conversione energetica a partire dal gas naturale o da combustibili liquidi sintetici, come il metanolo, derivati da carbone o idrocarburi pesanti. L'idrogeno necessario alla cella a combustibile è prodotto dal reformer solo quando serve ed è quindi presente a bordo veicolo in quantità minime. L'auto a cella a combustibile con reformer a bordo è, dopo l'auto ibrida e quella elettrica a batteria e dopo l'auto a combustibile

tradizionale, solo una delle nuove tecnologie allo studio nel settore trasporti, ma dal punto di vista della resa energetica complessiva (ciclo di vita completo, dalla fonte primaria all'uso finale) non è la più efficiente.

L'uso delle celle a combustibile alimentate a idrogeno compresso in bombole, può forse avere applicazione in rare situazioni particolari in cui l'elevato costo dell'infrastruttura di distribuzione e la bassa resa energetica complessiva siano fattori secondari, ma su larga scala non ha prospettive di sviluppo a causa della resa energetica complessiva inferiore a quella delle altre alternative, in particolare dell'auto elettrica di pari prestazioni, che è ugualmente non inquinante a livello locale, ma produce indirettamente molto meno gas serra e risulta essere più leggera e meno costosa.

Il sequestro e il confinamento della CO<sub>2</sub> in impianti di sfruttamento energetico dei combustibili fossili è strettamente legato al problema per ora molto incerto dei cambiamenti climatici. La percorribilità tecnica ancora molto incerta di tale opzione non sarebbe in alcun modo avvantaggiata dall'uso dell'idrogeno come vettore energetico, rispetto all'uso dell'energia elettrica. E' fuorviante associare l'uso dell'idrogeno al sequestro e confinamento della CO<sub>2</sub>: è solo un modo per attirare sull'idrogeno i facili consensi derivanti dall'emotività diffusa circa la discussa responsabilità delle attività antropiche sui cambiamenti climatici. E' peraltro evidente che la produzione di idrogeno dai combustibili fossili non associata al sequestro e confinamento della CO<sub>2</sub> è sotto il profilo ambientale improponibile.

Concentrare tutte le ricerche del settore energia solo sui problemi dell'idrogeno pare insensato, e rischia di alimentare una continua corsa a prospettare soluzioni sempre più avveniristiche, senza base tecnico-sperimentale. L'energia è usata molto spesso malamente e ci sono tante opportunità per migliorarne la gestione. L'innovazione delle macchine e degli impianti esistenti a livello di produzione e di utilizzo, il miglioramento dei sistemi di pompaggio per l'accumulo indiretto dell'energia elettrica e lo studio della produzione di biocarburanti e di carburanti sintetici liquidi da carbone e idrocarburi pesanti sono argomenti di grande interesse. Nel settore dei trasporti a inquinamento locale minimo lo sviluppo dell'auto elettrica e dell'auto ibrida con miglioramento delle prestazioni delle batterie elettriche e dei sistemi di recupero dell'energia di frenata sono argomenti da sostenere e incentivare.

L'economia dell'idrogeno è un miraggio, un favola da futurologi che ha ammaliato politici e opinione pubblica in un vortice di disinformazione e strumentalizzazione propagandata in innumerevoli convegni di promozione, un lusso che non possiamo permetterci che rischia di dissipare le preziose e scarse risorse economiche per la ricerca nel settore energetico [23,24,25]. Una falsa promessa, senza basi scientifiche, che però frutta facili consensi politici.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. J.M. Ogden, "Prospects for building a hydrogen energy infrastructure", Princeton University, 1999.

2. R.H. Williams, "Toward zero emission for transportation using fossil fuel", Princeton University, 2001.

3. E. Macchi "Dall'economia del petrolio a quella dell'idrogeno", Rapporto 2003.

4. J. Gretz, "Non ci sono più dubbi: l'idrogeno è il simbolo della speranza", Il Giornale dell'Ingegnere, novembre 2002; "Idrogeno: lo stoccaggio, il trasporto e la sicurezza", Il Giornale dell'Ingegnere, febbraio 2003.

5. M.L. Neelis, H.J. van der Kooi, J.J.C. Geerlings, "Exergetic life-cycle analysis of hydrogen production and storage for automotive applications", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.29, 537 (2004).

6. NASA Glenn Safety Manual, Chapter 6 "Hydrogen", 2003.

7. J.A. Turner, "Sustainable hydrogen production", *Science*, vol.305, 972 (2004).

8. P. Georgia, "The False Promise of Hydrogen", *National Review*, January 2003.

9. B. Eliasson, U. Bossel, G. Taylor, "The future of hydrogen economy: brighter or bleak?", Final Report, *EV World*, January 2003.

10. "Moving to a hydrogen economy: dreams and realities", International Energy Agency, SLT Report, 2003.

11. R.F. Service, "The hydrogen backlash", *Science*, vol.305, 958 (2004).

12. "Report on the State of the Environment in Milan", Comune di Milano, 2003.

13. N. Demirdoven, J. Deutch, "Hybrid cars now, fuel cell cars later", *Science*, vol.305, 974, August 2004.

14. S. Eaves, J. Eaves, "A cost comparison of fuel-cell and battery electric vehicles", *Journal of Power Sources*, vol.130, 208 (2004).

15. A.M. Douaud, "Potential of alternative fuel options", Surface Transport Technologies for Sustainable Development, Valencia, 2002.

16. M.A. Weiss, J.B. Heywood, A. Scafer, V.K. Natarajan "Comparative assessment of fuel cell cars", MIT Report LFEE 001 RP, 2003.

17. R. Shinnar, "The hydrogen economy, fuel cells and electric cars", *Technology in Society*, vol.25, 455 (2003).

18. F. Kreith, R.E. West, "Gauging efficiency, well to wheel", *Mechanical Engineering, Power*, June 2003; *Transportation Quarterly*, Vol.56, 51 (2002).

19. M.A. Weiss, J.B. Heywood, E. M. Drake, A. Scafer, F. AuYeung "On the road in 2020. A life cycle analysis of the new automobile technologies", MIT Report EL 00-003, 2000.

20. "GM well-to-wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicles systems - A European study", [www.lbst.de/gm-wtw](http://www.lbst.de/gm-wtw), 2002.

21. H.L. MacLean, L.B. Lave, "Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol.29, 1 (2003).

22. D.W. Keith, A.E. Farrell, "Rethinking hydrogen cars", *Science*, vol.301, 315 (2003).

23. U. Bossel, "The hydrogen 'illusion': why electrons are a better energy carrier", *Cogeneration and On-Site Power Production*, p.55, March-April 2004.

24. P.M. Grant, "Hydrogen lifts off — with a heavy load", *Nature*, vol.474, 129 (2003).

25. T.K. Tromp, R.L. Shia, M. Allen, J.M. Eiler, Y.L. Yung, "Potential environmental impact of a hydrogen economy on the stratosphere", *Science*, vol.300, 1740 (2003).