



# L'aria

**documento**

**Nell'ultimo quinquennio si sono succedute, sui principali quotidiani e in generale attraverso i mezzi di comunicazione, notizie sul prossimo futuro energetico dominato da una risorsa pulita e molto efficiente: l'idrogeno. Centri di ricerca e grandi multinazionali dell'energia e dei trasporti annunciano sperimentazioni e prototipi di macchine che utilizzano l'idrogeno. Ma quanto idrogeno c'è davvero nel nostro futuro?**



# idrogeno

## TRA MITO E REALTÀ



## I dubbi sull'idrogeno

- Il costo di produzione dell'idrogeno è sempre maggiore a quello di qualsiasi combustibile fossile per la necessaria trasformazione che deve essere effettuata per la separazione del carbonio dalla molecola di idrogeno; sarà anche verosimilmente più costoso dell'energia elettrica pur avendo alcuni vantaggi competitivi con essa.
- I benefici ambientali di una economia basata sull'idrogeno sono tali nella misura in cui sarà possibile effettuare il sequestro e il confinamento del biossido di carbonio in modo sicuro ed efficace.
- La produzione di idrogeno per via elettrolitica dall'acqua è una via estremamente inefficiente e costosa soprattutto se l'elettricità proviene da fonti rinnovabili.
- L'idrogeno ha costi di trasporto dal luogo di produzione a quello di utilizzo maggiori di qualsiasi di altro idrocarburo a causa delle caratteristiche termodinamiche e per motivi tecnici di sicurezza.
- L'idrogeno ha una bassa densità energetica (quantità di energia per unità di volume) per cui il suo impiego nel settore trasporti incontra molte difficoltà rispetto a qualsiasi altro combustibile venga attualmente utilizzato.
- Non esistono le infrastrutture per produrlo, trasportarlo, distribuirlo in quantità rilevanti e la loro realizzazione richiederebbe investimenti enormi.
- L'idrogeno è un gas incolore, molto infiammabile, esplosivo che può formare miscele esplosive caratteristiche che hanno prodotto una normativa tecnica di sicurezza complessa e da completare ulteriormente nel caso in cui se ne vogliono estendere gli impieghi nei diversi campi.

L'idrogeno è un vettore energetico, cioè non esiste puro in natura ma è un prodotto di una trasformazione al pari dell'energia elettrica. Come l'elettricità è intrinsecamente "pulito" ma bisogna considerare il processo con cui viene prodotto "a monte". Proprio da questa sua peculiarità di poter essere utilizzato come vettore energetico vengono le opportunità di un suo utilizzo. Infatti è noto che

esiste un legame indissolubile tra la disponibilità di energia, il suo utilizzo e lo sviluppo della civiltà. Dalla fine del 1800 ai giorni nostri la società ha sempre incrementato l'uso di combustibili più ricchi di energia a parità di volume e più ricchi di idrogeno nella composizione chimica molecolare: si pensi al passaggio dalla biomassa legnosa al carbone e da questi al petrolio ed infine al gas naturale.

La società moderna si regge su un mix di combustibili fossili:

- carbone e gas naturale per la generazione elettrica;
- petrolio e suoi derivati per i trasporti;
- petrolio e gas naturale per usi stazionari civili, terziari e industriali.

Le previsioni degli istituti di ricerca riportano che i combustibili fossili saranno ancora il motore energetico dei prossimi decenni, ma confermano anche che con tutta probabilità non lo saranno nel prossimo secolo. Le preoccupazioni per la salvaguardia dell'ambiente e, soprattutto, la protezione dai cambiamenti climatici unite alla certezza che un modello di sviluppo basato sui combustibili fossili non è sostenibile nel lunghissimo periodo, portano a diverse conclusioni possibili, una di queste, quella tecnologicamente più affascinante, è il passaggio ad una società energeticamente basata sull'idrogeno.

L'idrogeno è visto, forse troppo prosaicamente, come la soluzione ai due maggiori problemi energetici e ambientali odierni: da un lato l'aumento del fabbisogno energetico mondiale e le problematiche connesse alle emissioni di biossido di carbonio e dall'altro l'inquinamento atmosferico dato dalla combustione dei combustibili fossili.

L'idrogeno è, potenzialmente, l'unico vettore in grado di soddisfare tutti i settori: infatti può essere utilizzato per la generazione elettrica, per i trasporti grazie alla tecnologia delle celle a combustibile che producono elettricità sfruttata da un motore elettrico e la medesima tecnologia può essere impiegata anche negli usi industriali e civili. Inoltre la possibilità di stoccaggio può essere la chiave per il successo delle fonti rinnovabili fornendo la soluzione ai problemi di intermittenza propri delle risorse naturali (vento, sole, onde) che non sono in grado di



seguire una domanda elettrica ma sono legate alle caratteristiche della risorsa sfruttata.

Ma tanto entusiasmo non è certo privo di dubbi (vedi riquadro): elevati costi di produzione e di trasporto, la richiesta di importanti investimenti per la creazione di infrastrutture per la produzione e il trasporto, la necessità di una normativa più completa per garantire la sicurezza di un gas infiammabile ed esplosivo.

### Come viene prodotto

Tutti gli idrocarburi contengono idrogeno in maggiore o minore misura, si va in ordine crescente dal carbone al gas naturale, ma le molecole sono legate a quelle di carbonio. Proprio da questo legame carbonio idrogeno nascono le opportunità e i problemi. L'idrogeno per essere utilizzato puro deve essere separato dal carbonio. Il processo è noto e in parte già utilizzato seppure non in maniera estesa in quanto ha costi elevati. Si parla, nel caso degli idrocarburi, di reforming cioè di investire la molecola di carbonio e idrogeno con una di acqua (in realtà il processo avviene sotto opportune condizioni di temperatura e di pressione per cui avremo vapore acqueo che investe un gas, si parla quindi di steam reforming). In determinate condizioni le molecole di ossigeno contenute nell'acqua si legano con quelle di carbonio lasciando libero l'idrogeno. Al termine della reazione si ottengono idrogeno e biossido di carbonio ( $H_2$  e  $CO_2$ ).

Risulta quindi chiaro che, figurativamente, per tenere in una mano una tanica di idrogeno da utilizzare come combustibile dovremo parimenti avere nell'altra una tanica di biossido di carbonio. Ovviamente il passaggio non è così semplice. Da una parte entrano in gioco efficienze di conversione e utilizzi di energia per la produzione del combustibile, dall'altro si ha un sottoprodotto, la  $CO_2$  che è di difficile gestione soprattutto in previsione delle grandi quantità che ne verrebbero prodotte.

Ovviamente questa non è l'unica via per ottenere dell'idrogeno, come noto da secoli (1839, esperimento di W. Grove) è anche possibile ottenerlo attraverso il processo di elettrolisi, cioè facendo passare una corrente elettrica tra due poli (anodo e catodo) immersi in acqua. L'elettricità separa i legami tra molecole di idrogeno e di ossigeno, i gas si concentrano intorno ai poli: l'idrogeno intorno al catodo (polo negativo) e l'ossigeno all'anodo (polo positivo).

L'elettrolisi è il metodo più comune per la produzione di idrogeno per piccole quantità con elevato grado di purezza, ma a livello industriale il processo incontra notevoli ostacoli per i costi, ancora troppo elevati, dovuti all'impiego di energia elettrica. Attualmente, solo il 4% della produzione mondiale di idrogeno avviene per elettrolisi dell'acqua e solo per soddisfare richieste limitate di idrogeno estremamente puro. Il vantaggio del processo è la completa assenza di un sottoprodotto dannoso come il biossido di carbonio. Sono allo studio reattori elettrolitici ad alta temperatura che sembrano competitivi con la tecnologia dello steam reforming.

Ma questi complessi e costosi metodi di conversione di risorse naturali in idrogeno presentano due vantaggi innegabili:

- la purezza intrinseca del vettore energetico prodotto avendolo separato dalla componente dannosa (il biossido di carbonio);
- la produzione di semplice acqua come "refluo" del processo di conversione in energia termica o elettrica del vettore.

Proprio grazie a questa sua apparente compatibilità ambientale l'idrogeno è stato portato come esempio di una economia energetica pulita nel futuro prossimo. Tuttavia si rischia di fornire un messaggio errato in quanto nel caso dello steam reforming esiste un enorme problema di smaltimento della  $CO_2$  (si parla, tecnicamente, di carbon sequestration), nel caso dell'elettrolisi invece l'energia elettrica fornita per la reazione dovrebbe comunque essere prodotta con le tecnologie tradizionali a idrocarburi e solo una piccola parte di questa potrebbe venire da impianti "puliti" a fonti rinnovabili.

Andando per ordine, i problemi da affrontare sono di natura tecnica ed economica. Tecnicamente la produzione, lo stoccaggio, il trasporto



## METODI DI PRODUZIONE DELL'IDROGENO

## Reforming del metano



## Elettrolisi dell'acqua



e lo sfruttamento finale dell'idrogeno sono problematiche ancora allo studio e applicati solo in casi specifici e su piccola scala per i costi delle tecnologie. In termini economici, invece, si pone un problema di finanziamento della ricerca e di politica industriale: l'idrogeno può contribuire alla diversificazione delle fonti secondarie (per un certo periodo sarebbe parallelo agli altri vettori energetici tradizionali come i raffinati petroliferi, il gas naturale e l'elettricità) e alle politiche di contenimento delle emissioni.

I problemi tecnici sono enormi. Da un lato la produzione di idrogeno da combustibili fossili non genera direttamente un vantaggio in termini ambientali: la  $\text{CO}_2$  deve comunque essere gestita con costi aggiuntivi sul processo. Tuttavia il processo di produzione ha efficienze massime, intorno al 75-80%, nel caso di produzione da gas ricchi di idrogeno (metano  $\text{CH}_4$  oppure metanolo  $\text{CH}_3\text{OH}$ ) ed è anche vero che il biossido di carbonio prodotto è più facilmente gestibile rispetto a quello prodotto in combustione. Ma se si vuole passare alla conversione del carbone, elemento molto più comune e a buon mercato, le efficienze di conversione si abbassano drasticamente al 65% in ragione dei processi di purificazione cui deve essere sottoposta la miscela gassosa prodotta dal carbone (tecnicamente si parla di massificazione del carbone e di gas di sintesi o syngas).

## Come si immagazzina

Per quanto concerne l'impiego dell'idrogeno nei trasporti, invece, i problemi sono ancora maggiori, in quanto occorre avere una intensità energetica (capacità energetica per unità di volume) paragonabile agli altri combustibili e vettori energetici, cosa non semplice viste le caratteristiche peculiari del gas che liquefa a  $-253\text{ }^\circ\text{C}$  oppure possiede caratteristiche energetiche simili al gas naturale a temperatura ambiente solo se compresso a 800 bar. Da un confronto sul potere calorifico per unità di volume tra idrogeno e metano a temperatura ambiente risulta che il metano liquido a 250 bar è energeticamente equivalente all'idrogeno a 800 bar; tuttavia il potere energetico è in tali condizioni almeno 3 volte inferiore a quello dei carburanti liquidi come le benzine e gli altri prodotti raffinati.

La compressione dell'idrogeno è un processo che richiede maggior energia rispetto a quello di compressione del gas naturale a parità di contenuto energetico. Per comprimere a 800 bar l'idrogeno occorre utilizzare ancora un 10% del contenuto energetico dello stesso, per liquefarlo invece occorre un 30%: si capisce come la soluzione al problema dei costi energetici e delle efficienze di stoccaggio dell'idrogeno siano una delle chiavi di successo.

L'energia elettrica, cioè l'altro vettore energetico più "pulito" e diffuso, attualmente non ha reali possibilità di essere immagazzinato in grandi quantità, perciò la sua produzione e il suo consumo devono continuamente essere sincronizzati grazie ad una diffusa e capillare rete di trasporto e di distribuzione; al contrario l'idrogeno è privo di una rete di trasporto ma può essere stoccato e immagazzinato con i vincoli descritti. Una rete di distribuzione dell'idrogeno è difficilmente immaginabile. Infatti una rete di "idrogenodotti" non può chiaramente essere costruita ex novo a causa del costo che comporterebbe e inoltre il trasporto di un gas così leggero prevede un dispendio di energia molto maggiore di quanta non ne occorra per il trasporto del metano (tecnicamente bisogna parlare di frazione del potere calorifico del gas utilizzata nel trasporto).

## Quanto idrogeno c'è nel nostro futuro?

Sintetizzando è difficilmente proponibile un'economia basata sull'idrogeno nei prossimi decenni, ma è pensabile che l'idrogeno sarà una alternativa energetica di nicchia (e di lusso). Ad esempio per le fonti rinnovabili prive di stoccaggio (cioè tutte ad esclusione dell'idroelettrico a bacino) l'idrogeno potrebbe essere una valida alternativa in caso di mancanza di domanda. Anche per la produzione da fonti fossili l'idrogeno potrebbe essere il percorso che porta allo





studio delle migliori tecniche di carbon sequestration. Infine per gli usi nei trasporti l'idrogeno è una delle spinte all'innovazione nel campo delle celle a combustibile seppure non la principale: le celle a combustibile, infatti, si sono sviluppate fino ad oggi e continueranno a svilupparsi anche in assenza di una offerta di idrogeno puro concentrandosi sui problemi tecnici di affidabilità e di costo che finora ne hanno afflitto la maturità tecnologica per il mercato.

Abbiamo visto che i problemi tecnici continueranno a dominare ancora per molto tempo il tema dell'idrogeno e per farvi fronte i governi dei Paesi più industrializzati hanno stanziato diversi miliardi di euro in previsione di una vera e propria "economia dell'idrogeno". Ciascuna economia industrializzata si è dotata di strumenti di valutazione e di governo delle politiche energetiche per lo studio di una economia basata sull'idrogeno, seppure le giustificazioni possano essere a volte differenti. Per gli Stati Uniti, ad esempio, il National Hydrogen Energy Roadmap del 2002 pone come priorità: la sicurezza nazionale e la necessità di ridurre le importazioni di petrolio; i cambiamenti climatici dovuti alle emissioni di gas con effetto serra; la crescita del Pil e della popolazione e la conseguente crescita della domanda energetica. Il piano statunitense ha un vasto programma che affronta sistematicamente tutti i temi (produzione, trasporto, stoccaggio, utilizzo) con tanto di tempistica ed obiettivi da raggiungere in termini di efficienza e affidabilità delle soluzioni.

Il Giappone invece ha obiettivi diversi: il miglioramento dell'efficienza complessiva del sistema; la diversificazione delle fonti primarie ottenendo idrogeno da tutte le fonti possibili; la riduzione dell'impatto delle emissioni da combustibili tradizionali; lo sviluppo di un nuovo settore industriale e, nel futuro, della generazione distribuita.

Infine l'Unione europea che promuove la ricerca sull'idrogeno attraverso il sesto programma d'azione ne individua il ruolo chiave per il cammino da percorrere nella transizione dai combustibili fossili ad una produzione virtualmente carbon-free; l'impiego delle celle a combustibile per la trasformazione inversa dell'idrogeno in energia elettrica è parte integrante del piano. L'idrogeno è, nella visione dell'Unione, la chiave per incrementare la penetrazione delle fonti rinnovabili e di qualsiasi tecnologia in grado di operare una captazione del carbonio. In altre parole l'Unione Europea ha un programma differente da quello





statunitense e si è maggiormente concentrata sulla promozione della ricerca nelle celle a combustibile ritenendole il punto chiave per una vera diffusione del vettore idrogeno ed ha parallelamente incentivato la ricerca nella produzione e nello stoccaggio.

Alcune difficoltà connesse con l'utilizzo dell'idrogeno (sicurezza, trasporto, stoccaggio ecc.) sono spesso sopravvalutate e di pari passo viene sottovalutato lo sforzo tecnico-economico necessario per una transizione verso una struttura energetica basata sull'idrogeno con la conseguenza di avere previsioni troppo ottimiste. I tempi (si parla di lunghissimo periodo, oltre la metà di questo secolo) di una economia dell'idrogeno saranno dettati principalmente da due fattori: la dinamica dell'effetto serra e l'esaurimento delle fonti fossili. Il passaggio, se avverrà, sarà accelerato solo dalla presa di coscienza da parte dell'opinione pubblica e dei decisori dei due problemi e nella creazione di quella spinta propulsiva ad una costosa e impegnativa rivoluzione industriale.

Tale rivoluzione potrà essere portata avanti solo attraverso un accorto e concertato processo di innovazione tecnologica. In passato l'economia industriale forniva due diversi punti di vista nell'interpretare il processo di innovazione: il primo sottolinea l'importanza della ricerca e della tecnologia come fattori di spinta del cambiamento (technology push), come ad esempio lo sforzo dell'Unione Europea nella ricerca nel campo delle celle a combustibile; il secondo esalta la rilevanza della domanda come componente essenziale che orienta il cambiamento tecnologico "tirandolo" verso specifici obiettivi di mercato (demand pull), come è il caso degli Stati Uniti che cercano di portare l'idrogeno a costi competitivi con gli altri combustibili. Tuttavia i due approcci non sono necessariamente opposti come per anni è stato insegnato, esistono modelli integrati che uniscono i pregi di entrambi in modo da rendere maggiormente efficace il processo di innovazione tecnologica.

In pratica l'innovazione si sviluppa e si afferma grazie a un processo integrato tra imprese, domanda e istituzioni attraverso un continuo scambio di conoscenza, risorse ed esperienza.

Le sfide poste da una transizione della società basata sul gas e sul petrolio ad una basata sull'idrogeno possono essere raccolte da un processo di innovazione che sia ben guidato e che si avvalga di tutti i processi possibili all'ottenimento degli obiettivi. Infatti agli scettici bisogna ricordare che esistono almeno due tipologie di processi: innovazioni incrementali, cioè di tipo continuativo, che permettono miglioramenti graduali nelle prestazioni della tecnologia (è il caso della legge di Moore nel campo dell'informatica, miglioramenti continui e graduali delle prestazioni) e innovazioni radicali, che determinano fenomeni di discontinuità nel progresso con "salti" su nuove traiettorie tecnologiche (è il caso della ricerca sui nuovi materiali in cui fenomeni casuali di laboratorio hanno portato alla scoperta di nuove caratteristiche implementabili). Solo un processo integrato che coinvolga tutti gli attori e metta a profitto queste modalità di sviluppo dell'innovazione tecnologica nei diversi campi in cui convergono famiglie di innovazioni radicali e di processi incrementali sarà in grado di produrre quella rivoluzione energetica trasversale a tutti i settori in grado di impattare il tessuto sociale, istituzionale ed economico attuale. Tale trasformazione per la complessità intrinseca e l'intensità del cambiamento sarà un processo lento in cui le nuove famiglie di tecnologie coesistono e competono per lunghi periodi con le soluzioni dominanti, occupando inizialmente specifiche nicchie di mercato prima di trovare diffusione rompendo schemi e modelli di comportamento consolidati.

## Per approfondire

[www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells](http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells)  
[www.europa.eu.int/comm/research/press/2004/pr1803-2en.cfm](http://www.europa.eu.int/comm/research/press/2004/pr1803-2en.cfm)  
[www.fe.doe.gov/programs/fuels/](http://www.fe.doe.gov/programs/fuels/)  
[www.fuelcells.org](http://www.fuelcells.org)  
[www.fuelcelltoday.com](http://www.fuelcelltoday.com)  
[www.hfcletter.com/](http://www.hfcletter.com/)  
[www.HFPEurope.org](http://www.HFPEurope.org)  
[www.hydrogensafety.info](http://www.hydrogensafety.info)  
[www.rmi.org](http://www.rmi.org)