

# Idrogeno e celle a combustibile: applicazioni attuali e prospettive future

DI MARCO BROCCO, FRANCESCO DI MARIO E MARINA RONCHETTI

**L**e tematiche dell'idrogeno e delle celle a combustibile hanno assunto negli ultimi anni un rilievo crescente, sia a livello internazionale che nazionale, in virtù del contributo che la diffusione delle relative tecnologie può dare allo sviluppo di un sistema energetico sostenibile (soprattutto riduzione delle emissioni, a livello sia locale che globale, ma anche diversificazione delle fonti) e delle opportunità industriali ad esse correlate. L'idrogeno, infatti, è un vettore energetico che, pur non essendo disponibile in natura, può essere prodotto a partire da fonti diverse, sia fossili che rinnovabili, ed essere utilizzato in numerose applicazioni, sia stazionarie che mobili, potenzialmente senza emissioni dannose per l'ambiente. Le celle a combustibile, a loro volta, sono la tecnologia d'elezione per l'impiego dell'idrogeno nella trazione e nella generazione distribuita, ma possono utilizzare anche altri combustibili (gas naturale, gas derivante da carbone, biomasse, rifiuti) con elevata efficienza e impatto ambientale molto limitato.

La diffusione sul mercato dell'idrogeno e delle celle a combustibile si pone in una prospettiva di medio-lungo termine e richiede, da un lato, che vengano sviluppate tecnologie affidabili e competitive con le potenziali soluzioni alternative, dall'altro che si crei, in generale, un contesto favorevole alla diffusione di vettori e sistemi più sostenibili, anche se più costosi, di quelli attuali.

Uno sforzo notevole, e di lungo periodo, è necessario per la ricerca, sviluppo e dimostrazione di soluzioni adeguate; impegnativi programmi in tal senso sono in corso nei principali paesi industrializzati, con il coinvolgimento di numerose aziende, strutture di ricerca e utenti.

## Le tecnologie

L'idrogeno è da tempo ampiamente utilizzato nell'industria (circa 50 milioni di tonnellate l'anno, corrispondenti a circa il 2% del consumo mondiale di energia), con tecnologie e processi ormai consolidati e adatti a settori di impiego che riguardano

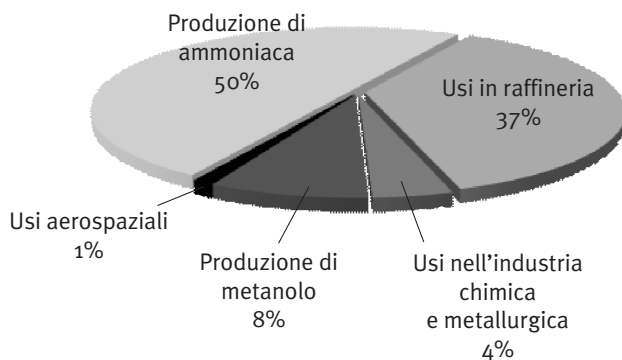
in prevalenza la petrolchimica e la chimica di base (figura 1). Il suo impiego come vettore energetico, in applicazioni sia mobili che stazionarie, pone problemi sostanzialmente diversi rispetto agli usi industriali, in termini di fonti utilizzate, impatto ambientale, costi, sicurezza, accettabilità per gli utenti; richiede quindi che le tecnologie attuali siano sensibilmente migliorate (maggiore efficienza, minori emissioni e costi) e che tecnologie completamente nuove vengano sviluppate, per cogliere al meglio le potenzialità che questo vettore presenta da un punto di vista energetico e ambientale.

Le barriere da superare riguardano essenzialmente la produzione sostenibile di idrogeno (da fonti rinnovabili o da fossili con separazione e confinamento della  $\text{CO}_2$ ), le infrastrutture di trasporto e distribuzione, l'accumulo a bordo dei veicoli, lo sviluppo di un quadro normativo adeguato.

Numerosi sono i processi e le fonti di energia utilizzabili per la produzione di idrogeno, a partire dai combustibili fossili, dalle biomasse, dall'acqua, con diverse potenzialità e diverso stato di sviluppo (figura 2).

La produzione da fonti fossili (gas naturale, carbone) è attualmente la più impiegata e potrà avere un ruolo importante anche in futuro, se accoppiata alla separazione e al confinamento dell'anidride carbonica prodotta insieme all'idrogeno. La produzione da fonti rinnovabili, e da nucleare, richiede ancora, generalmente, un notevole sforzo di ricerca, sviluppo e dimostrazione e la sua disponibilità per un impiego su larga scala può essere prevista nel medio-lungo termine. In funzione del processo utilizzato, la produzione può avvenire in piccoli impianti collocati in prossimità dell'utente, oppure in impianti centralizzati di grossa taglia; la produzione distribuita

**Figura 1**  
**Applicazioni industriali dell'idrogeno**



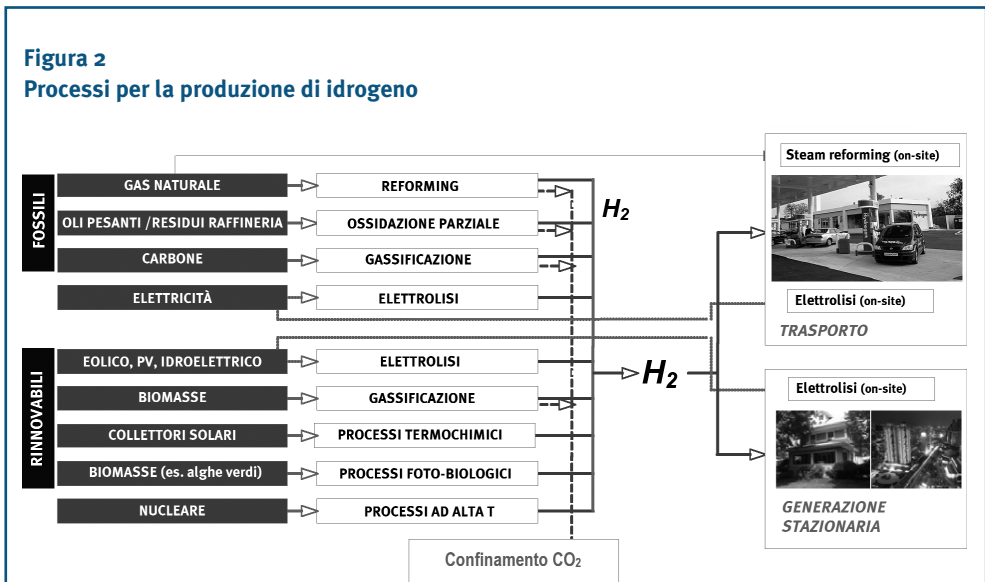
rappresenta l'opzione più interessante nel breve periodo, in quanto richiede minori investimenti e minori infrastrutture di trasporto e distribuzione, mentre la produzione centralizzata può garantire efficienze maggiori e minori costi.

L'idrogeno può essere distribuito in forma gassosa (gasdotti o carri bombolai) e in forma liquida, a seconda della quantità e delle distanze previste. Le diverse opzioni, pur se correntemente impiegate, sono tutte abbastanza costose e richiedono notevoli quantità di energia; vanno quindi ottimizzate per un loro impiego su larga scala. Inoltre, per rendere l'idrogeno disponibile in maniera capillare per le diverse applicazioni, è necessario realizzare infrastrutture di trasporto e distribuzione adeguate, con investimenti molto elevati, anche se distribuiti su alcune decadi.

L'accumulo dell'idrogeno, fattibile anche con metodi consolidati per applicazioni stazionarie, non trova ancora soluzioni soddisfacenti per l'impiego a bordo di veicoli. Le opzioni attuali (idrogeno gassoso a 350-700 bar e idrogeno liquido) non raggiungono ancora le prestazioni richieste in termini di densità di energia, efficienza e costo. Altre soluzioni, come l'accumulo in materiali solidi, sono potenzialmente molto promettenti, ma richiedono ancora uno sforzo notevole di ricerca e sviluppo.

Le celle a combustibile rappresentano, da un lato, la tecnologia d'elezione per l'impiego dell'idrogeno nelle diverse applicazioni, sia stazionarie che mobili, ma hanno, dall'altro lato, importanti prospettive di sviluppo come sistemi di generazione e cogenerazione a elevata efficienza e basso impatto ambientale per taglie che vanno dalle centinaia di watt ad alcuni MW, anche con combustibili diversi dall'idrogeno (metanolo, gas naturale, gas derivante da biomasse o rifiuti, ecc.). Il principio di funzionamento di una cella a combustibile è riportato nella figura 3 a pagina 8.

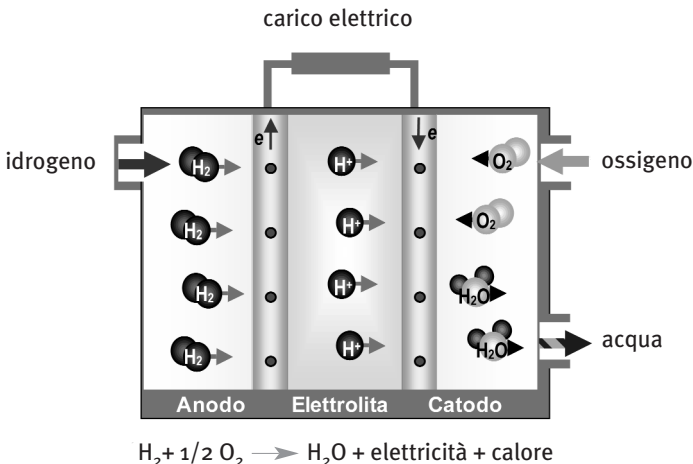
**Figura 2**  
**Processi per la produzione di idrogeno**



Esistono diverse tecnologie di cella (tabella 1), con diverse caratteristiche e diverso grado di sviluppo. Le celle a elettrolita polimerico (PEFC) funzionano a bassa temperatura, utilizzano idrogeno quasi puro e hanno efficienze del 35-40% a livello di sistema; sono impiegate per le applicazioni portatili, la generazione stazionaria di piccola taglia e per la trazione. Le celle ad acido fosforico, a carbonati fusi e ad ossidi solidi (PAFC, MCFC, SOFC) operano a temperature più elevate e possono essere alimentate, oltre che da idrogeno, da gas naturale e da gas derivati da biomasse o rifiuti o da gassificazione del carbone. Sono utilizzate per applicazioni di generazione-cogenerazione distribuita, con efficienze elettriche che variano, all'aumentare della temperatura di cella, dal 40% a oltre il 50% e con un utilizzo del combustibile superiore all'80% in cogenerazione. Le celle a metanolo diretto (DMFC) rappresentano l'opzione più promettente per sostituire le batterie nell'alimentazione di dispositivi portatili, con efficienze dell'ordine del 30%.

Le diverse tipologie di cella richiedono tutte, seppur in grado diverso, un miglioramento delle prestazioni e della durata, oltre a una sensibile riduzione dei costi; su tali aspetti si concentrano in questa fase le attività di ricerca e sviluppo. Per quanto riguarda, in particolare, la durata, per la trazione si dovrebbe passare dalle 2.000 ore attuali alle 5.000 ore e per le applicazioni stazionarie si dovrebbero raggiungere almeno le 40.000 ore (valore a cui sono prossime solo alcune tecnologie, come PAFC e MCFC). I costi dovrebbero scendere dai 2.000-3.000 euro/kW attuali a meno di 100 euro/kW per i veicoli e da 3.000-12.000 euro/kW (a seconda della tecnologia) a 1.000-1.500 euro/kW per lo stazionario.

**Figura 3**  
**Schema di funzionamento di una cella a combustibile (tecnologie PEFC e PAFC)**



**Tabella 1**  
**Caratteristiche delle diverse tipologie di cella**

| Tipo di cella                                 | Elettrolita                   | Temperatura operativa | Efficienza elettrica | Stato della tecnologia | Applicazioni  | Vantaggi  | Svantaggi   |
|---|-------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|---|---|---|
| <b>Cella alcalina (AFC)</b>                   | Idrossido di potassio         | 60-120°C              | 60 % *               | 5 -100 kW              | Applicazioni spaziali<br>Generazione portatile<br>Trasporto                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Elevata densità di energia</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nessuna resistenza a CO e scarsa a CO<sub>2</sub></li> <li>Alimentazione con gas molto puri</li> </ul>           |
| <b>Cella ad elettrolita polimerico (PEFC)</b> | Membrana polimerica           | 70-100 °C             | 35-60 % *            | ≤ 1 -250 kW            | Usi residenziali<br>Generazione portatile<br>Potenza di backup<br>Trasporto | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bassa temperatura operativa</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Uso di catalizzatori costosi</li> <li>Problemi di gestione dell'acqua</li> <li>Bassa tolleranza al CO</li> </ul> |
| <b>Cella a metanolo diretto (DMFC)</b>        | Membrana polimerica           | 70-100 °C             | 25-40 %              | ≤ 2 kW                 | Generazione portatile<br>Elettronica di consumo                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bassa temperatura operativa</li> <li>Uso diretto del combustibile</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bassa densità di potenza</li> <li>Problemi di crossover</li> </ul>   |
| <b>Cella ad acido fosforico (PAFC)</b>        | Acido fosforico               | 160-220 °C            | 40-50 %              | Impianti fino a 11 MW  | Cogenerazione commerciale<br>Potenza distribuita                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alta efficienza in cogenerazione</li> <li>Resistenza a CO<sub>2</sub></li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bassa tolleranza al CO</li> <li>Uso di catalizzatori costosi</li> <li>Alti costi di fabbricazione</li> </ul>     |
| <b>Cella a carbonati fusi (MCFC)</b>          | Carbonato di litio e potassio | 600-650 °C            | 45-55 %              | 50 kW - 3 MW           | Cogenerazione industriale<br>Potenza distribuita                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Disponibilità di calore ad alta temperatura per usi in cogenerazione e trigenerazione</li> <li>Possibilità di reforming interno</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Problemi di durata e stabilità dei materiali</li> <li>Elevati tempi di avviamento</li> </ul>                     |
| <b>Cella a ossidi solidi (SOFC)</b>           | Ossido di zirconio drogato    | 900-1000 °C           | 45-60 %              | 50 kW - 1 MW           | Cogenerazione<br>Potenza distribuita<br>Trasporto (APU)                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Possibilità di reforming interno</li> <li>Disponibilità di calore ad alta temperatura</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Problemi di durata e stabilità dei materiali</li> <li>Elevati tempi di avviamento</li> </ul>                     |

\* Per AFC e PEFC i valori di efficienza più elevati sono riferiti a sistemi alimentati con idrogeno puro

## I programmi di sviluppo

Impegnativi programmi nel settore dell'idrogeno e delle celle a combustibile sono in corso nei principali paesi industrializzati (quasi un miliardo di euro l'anno di soli finanziamenti pubblici), con il coinvolgimento di numerose aziende, strutture di ricerca e utenti. Obiettivo di tali programmi è il superamento delle principali barriere, tecniche e non tecniche, che ostacolano la messa a punto di tecnologie affidabili e competitive nel settore e la loro introduzione sul mercato nel medio termine. Lo sviluppo dell'idrogeno e delle celle a combustibile è inoltre oggetto di importanti collaborazioni internazionali, come la *International Partnership for Hydrogen Economy*, promossa dall'US DOE (Department of Energy), e gli *Implementing Agreement dell'International Energy Agency* su idrogeno, celle a combustibile e veicoli elettrici e ibridi.

Di particolare importanza, in tale quadro, i programmi della Commissione Europea, che, oltre a finanziare nell'ambito del VI Programma Quadro numerosi progetti nel settore dell'idrogeno e delle celle a combustibile (circa 300 milioni di euro nel periodo 2002-2006), ha promosso negli ultimi anni importanti iniziative per potenziare la capacità di intervento dell'Europa in questo campo.

Nel 2004 è stata costituita la *European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform*, che ha definito la strategia di intervento nel settore, delineando le principali azioni da intraprendere sia nel campo della ricerca e sviluppo che in quello della dimostrazione e introduzione nel mercato. Sulla base dei risultati della Piattaforma, la Commissione ha proposto che per la gestione dell'intervento in questo settore nell'ambito del VII Programma Quadro venisse adottato uno strumento di nuovo tipo, la *Joint Technology Initiative (JTI) "Fuel Cells and Hydrogen"*, una partnership pubblico-privata che è diventata operativa a metà del 2008, con finanziamenti della Commissione pari a 470 milioni di euro per il periodo 2008-2013 (per un costo complessivo del programma vicino al miliardo di euro). Alla JTI partecipano, oltre alla Commissione, le industrie e le strutture di ricerca interessate (associate, rispettivamente, nel Raggruppamento delle Industrie e in quello della Ricerca). Il primo bando è stato emesso ai primi di ottobre 2008.

Le principali linee di azione individuate per la JTI sono le seguenti:

- veicoli a idrogeno e stazioni di rifornimento;
- produzione sostenibile e distribuzione dell'idrogeno;
- celle a combustibile per cogenerazione e generazione elettrica;
- celle a combustibile per i primi mercati.

Tali linee d'azione dovrebbero consentire alle tecnologie considerate di acquisire, al 2020, significative quote di mercato nel campo dei generatori portatili e delle applicazioni stazionarie, con l'impiego sia dell'idrogeno che di altri combustibili (gas naturale, gas derivante da biomasse o rifiuti, ecc.), e di avviare a quella data la penetrazione nel settore della trazione.

## Applicazioni attuali e prospettive

Nella fase attuale la diffusione dell'idrogeno e delle celle a combustibile nel settore delle applicazioni energetiche è necessariamente limitata e riguarda generalmente programmi dimostrativi o di prima introduzione nel mercato, parzialmente sostenuti da finanziamenti pubblici, e mercati di nicchia in grado di accettare i costi attuali dei sistemi. Il loro ruolo nel sistema energetico potrà diventare importante in una prospettiva di medio-lungo termine, in funzione della capacità di rispondere alle esigenze energetiche e ambientali, che motivano il loro sviluppo, in maniera più efficace e conveniente delle possibili soluzioni alternative. In particolare l'idrogeno, oltre che nelle applicazioni industriali tradizionali, potrà essere utilizzato sia nella generazione di energia (cicli termici e celle a combustibile) che nel trasporto (motori a combustione interna e, soprattutto, celle a combustibile); le celle a combustibile, alimentate da combustibili diversi dall'idrogeno, potranno trovare impiego sia in applicazioni stazionarie che portatili.

### *Generazione di potenza*

Sistemi con celle a combustibile possono essere impiegati sia presso utenti (utenze industriali, del settore residenziale e terziario), con impianti di generazione da alcuni kW a qualche MW, che presso aziende elettriche, con taglie da qualche MW a qualche decina di MW. Ad oggi sono state installate e sperimentate, soprattutto in Giappone, diverse migliaia di sistemi residenziali di potenza inferiore a 10 kW, basati principalmente su celle a elettrolita polimerico e a ossidi solidi (efficienze del 30-40%, gas naturale e GPL come combustibili). Sono stati inoltre installati circa 900 impianti per generazione/cogenerazione distribuita con potenze comprese da 10 kW ad alcuni MW, con celle ad acido fosforico o celle ad alta temperatura (prevalentemente carbonati fusi), alimentate a gas naturale o gas derivante da biomasse o rifiuti di diversa origine, per una potenza totale installata di oltre 150 MW (di cui circa 30 solo nel 2007). In prospettiva la diffusione nel mercato di questi sistemi dipende dall'evoluzione dei prezzi del gas e dell'elettricità, da eventuali incentivi e dalla capacità di competere con tecnologie alternative, come motori a gas e turbine di piccola taglia. Al 2050 si prevede una capacità installata di 200-300 GW (circa il 5% della capacità totale).

L'impiego dell'idrogeno nei cicli termici in impianti centralizzati di grande potenza è parte della tematica più ampia dello sviluppo di sistemi di generazione da combustibili fossili a emissioni nulle o quasi nulle, con separazione e confinamento dell'anidride carbonica. Gli schemi impiantistici che prevedono la separazione della CO<sub>2</sub> prima della combustione (*pre-combustion*), particolarmente promettenti a partire da carbone (gassificazione), portano alla produzione di un gas di sintesi ricco di idrogeno e al suo utilizzo per la produzione di energia elettrica in un ciclo combinato (IGCC). Tali sistemi, dimostrata la fattibilità e l'accettabilità del sequestro della CO<sub>2</sub>, potranno avere un ruolo importante nella generazione elettrica.

*Generazione portatile e sistemi ausiliari e di emergenza*

Le celle (generalmente quelle a metanolo diretto) possono costituire una valida alternativa alle tradizionali batterie ricaricabili al litio per l'alimentazione di dispositivi elettronici portatili (quali telefoni cellulari, computer portatili, unità GPS, ecc.). Sistemi di piccola taglia (di solito celle a elettrolita polimerico a idrogeno) trovano applicazione come generatori di emergenza oppure per l'alimentazione di stazioni per telecomunicazioni o meteorologiche in località isolate. Infine, molto diffuse e importanti in questa fase di introduzione nel mercato sono le applicazioni di nicchia, come generatori ausiliari per camper, barche e veicoli speciali (celle a metanolo diretto e a elettrolita polimerico). Complessivamente questi settori costituiscono, nella fase attuale, più della metà del mercato dei 7.000-8000 sistemi a celle a combustibile prodotti ogni anno.

*Trasporto*

L'impiego dei sistemi con celle a combustibile alimentati a idrogeno rappresenta una delle soluzioni più promettenti nel medio-lungo termine per lo sviluppo di mezzi di trasporto efficienti e a basso impatto ambientale. La tipologia di cella a combustibile utilizzata è generalmente quella a elettrolita polimerico. Nell'ultimo decennio, i governi dei maggiori paesi industrializzati hanno avviato ampi programmi di sviluppo e dimostrazione in questo settore, investendo parecchi milioni di dollari, e quasi tutte le industrie automobilistiche hanno realizzato e stanno provando prototipi (autovetture, autobus), con investimenti anch'essi molto elevati. Circa un migliaio di autovetture sono state prodotte negli ultimi 10 anni (oltre 200 nel solo 2007) ed è previsto in questa fase (2008-2010) l'avvio della produzione in serie limitate da parte di alcune case automobilistiche (General Motors, Daimler, Honda). In parallelo è stata avviata la realizzazione delle infrastrutture, con la costruzione di più di 200 stazioni di rifornimento per i veicoli impiegati nei programmi dimostrativi.

Una diffusione significativa nel mercato delle autovetture private è prevedibile a partire dal 2015-2020, se verranno raggiunti gli obiettivi di costo per la produzione e distribuzione dell'idrogeno e per le tecnologie per il suo impiego a bordo (accumulo, celle a combustibile) e se verranno messe in atto politiche efficaci per la riduzione della CO<sub>2</sub>. In tali condizioni, i veicoli a idrogeno potrebbero coprire al 2050 il 25-30% del parco circolante, raggiungendo circa 700 milioni di veicoli.

Nella fase iniziale di introduzione sul mercato un ruolo significativo può essere svolto anche dai veicoli con motori a combustione interna, alimentati con idrogeno o miscele metano-idrogeno, veicoli che, con sviluppi tecnologici non troppo impegnativi e benefici ambientali minori delle celle a combustibile, possono comunque favorire una prima diffusione dell'idrogeno e delle infrastrutture di distribuzione dello stesso.

## La situazione italiana

La crescita dell'interesse per le tecnologie dell'idrogeno ha prodotto anche in Italia negli ultimi anni l'avvio di numerose iniziative da parte di aziende e pubblica amministrazione centrale e locale, oltre a un aumento della partecipazione delle strutture nazionali ai programmi europei nel settore.

Il più importante programma di ricerca è quello promosso congiuntamente dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca e dal Ministero dell'Ambiente con l'avvio, nel 2005, dei progetti FISR su idrogeno e celle a combustibile (8 progetti sull'idrogeno e 6 sulle celle a combustibile, di durata triennale, con un finanziamento complessivo di quasi 90 milioni di euro e un costo complessivo di circa 125 milioni di euro). Altri progetti sono stati promossi dal Ministero dell'Ambiente e dalle Regioni. Queste ultime, in particolare, hanno avviato attività, sia di sviluppo che dimostrative, con l'obiettivo di favorire l'inserimento delle aziende locali nel settore e l'introduzione nel mercato di queste tecnologie. Inoltre sono stati di recente avviati alcuni progetti inseriti nel programma finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico con il Fondo per le attività di ricerca e sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico nazionale. Infine altre opportunità di finanziamento a breve termine possono derivare dal Progetto "Efficienza energetica" del Ministero dello Sviluppo Economico.

I programmi in corso a livello nazionale ed europeo coinvolgono numerose strutture di ricerca (ENEA, Istituti del CNR, CESI Ricerca e molte università) su tematiche ampie e diversificate, che vanno dai processi di produzione dell'idrogeno, ai materiali e sistemi per accumulo, alle tematiche critiche della sicurezza, del trasporto e della distribuzione, allo studio dell'impiego nei cicli termici e nei motori a combustione interna, allo sviluppo di componenti e sistemi per celle a combustibile.

Numerose aziende italiane sono impegnate nel settore, con posizioni interessanti nei rispettivi campi di intervento:

- per le celle a combustibile, sviluppano *stack* e sistemi Exergy Fuel Cells (celle a elettrolita polimerico), Ansaldo Fuel Cells (celle a carbonati fusi) e SOFCPower (celle a ossidi solidi); altre aziende sviluppano componenti di cella (Industria De Nora, FN) o sistemi (Electro Power Systems, ICI Caldaie, MTS, TurboCare);

- il Gruppo Fiat, attraverso il CRF, ha sviluppato diversi prototipi di veicoli a idrogeno (autobus e vetture) e sta realizzando una flotta di Panda, che verrà provata nell'ambito di programmi promossi dalle Regioni; altre attività nel settore dei veicoli sono condotte da PIEL, Micro-Vett e Piaggio;

- nel settore della produzione e distribuzione dell'idrogeno lavorano aziende petrolifere, come ENI, e distributori di gas tecnici, come Sapiro, SOL e altri; aziende elettriche, come ENEL e, in misura minore, Edison, provano sistemi a celle e conducono attività di sviluppo nel settore della produzione di idrogeno da carbone e dell'impiego dell'idrogeno e di sue miscele nelle turbine.

Dal quadro sintetico riportato in precedenza emerge un impegno notevole nel settore (50-60 milioni di euro l'anno), da parte sia delle strutture industriali che di quelle di ricerca, impegno sostenuto prevalentemente da finanziamenti pubblici, sia nazionali che europei, con attività che rientrano solo in parte in un quadro nazionale organico e coordinato.

Per favorire il coordinamento delle molteplici iniziative in atto, e rafforzare il collegamento con i programmi europei, il MUR ha promosso a fine 2004 la creazione di una Piattaforma italiana su idrogeno e celle a combustibile. Sulla base delle indicazioni della Piattaforma, i ministeri maggiormente coinvolti e le regioni avrebbero dovuto definire un quadro di azione nazionale, che desse certezza per il medio termine agli operatori coinvolti e consentisse agli stessi di cogliere al meglio le opportunità derivanti dai programmi della Commissione Europea. Così finora non è stato, lasciando una situazione di incertezza e scarso coordinamento che rischia di compromettere la possibilità di giocare un ruolo importante come paese nello sviluppo delle tecnologie critiche per questo settore. ♦

#### RIFERIMENTI

- International Energy Agency, *Prospects for Hydrogen and Fuel Cells*, OECD/IEA dicembre 2005, <http://www.iea.org/Textbase/publications/index.asp>
- International Energy Agency, *Energy Technology Perspectives*, 2008
- FY 2008 Progress Report for the DOE Hydrogen Program, gennaio 2009  
[http://www.hydrogen.energy.gov/annual\\_progress08.html](http://www.hydrogen.energy.gov/annual_progress08.html)
- *Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program*, Multi-Year Research, Development and Demonstration Plan: Planned Program Activities for 2005-2015, ott. '07, <http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/mypp/index.html>
- European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform, Implementation Plan, marzo 2007, [https://www.hfpeurope.org/uploads/2097/HFP\\_IP06\\_FINAL\\_20APR2007.pdf](https://www.hfpeurope.org/uploads/2097/HFP_IP06_FINAL_20APR2007.pdf)
- *The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs*, National Research Council Report, 2004, <http://www.nap.edu/catalog/10922.htm>
- F. Mueller Langer, E. Tzimas, M. Kaltschmitt, S. Peteves, *Techno-economic assessment of hydrogen production processes for the hydrogen economy for the short and medium term*, Int. J. Hydrogen Energy 32 (2007) 3797
- 2008 Fuel Cell Today, Industry Review, <http://www.fuelcelltoday.com/events/industry-review>
- M. Ronchetti, *Celle a Combustibile. Stato di sviluppo e prospettive della tecnologia*, Rapporto ENEA gennaio 2008, [http://www.enea.it/produzione\\_scientifica/volumi/V2008\\_02\\_cellecomb.html](http://www.enea.it/produzione_scientifica/volumi/V2008_02_cellecomb.html)
- *World Energy Technology Outlook 2050: WETO-H2*, EU 22038, 2006
- Progetto HyWays, *The European Hydrogen Roadmap*, 2007, [http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn\\_pu/article\\_1078\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn_pu/article_1078_en.htm)
- *Snapshots of Hydrogen Uptake in the Future*, Progetto Road2HyCom, settembre 2007
- Piattaforma Nazionale Idrogeno e Celle a combustibile, *Indirizzi strategici per la Ricerca e Sviluppo*, settembre 2005