

gli argomenti umani

[home](#) [◀ indice](#)

 [Fai clic per stampare questa pagina](#)

IN PROGRESS

Tecnologie

Un'alternativa al petrolio: le celle a combustibile

di Paolo Bullo



Prefazione politica

In un momento di gravi tensioni sui prezzi del greggio, abbiamo ritenuto di fornire lo stato dell'arte su tecnologie fino a ieri dimenticate e che pure appaiono estremamente promettenti al fine di un riproporzionamento dell'impiego del petrolio nei Paesi consumatori industrializzati.

E si tratta di sistemi di generazione che sono compatibili non solamente con le esigenze delle politiche ambientali, ma soprattutto con le enormi richieste di consumo energetico di gran parte dell'umanità, oggi esclusa dall'uso rilevante dell'energia. La generazione diffusa mediante le celle a combustibile rappresenterà in tal senso una vera e propria discontinuità tecnologica col passato, una sorta di democrazia economico-energetica e un asservimento possibile da usi strumentali e politici della fonte primaria (oggi il petrolio e domani il metano).

È necessario che le varie imprese transnazionali, a vari titoli coinvolte in queste tematiche di innovazione, aprano, creando lavoro e benessere su scala sempre più ampia, il loro patrimonio conoscitivo-tecnologico anche al di fuori dei Paesi Ocse e si dia una spinta sui prezzi dei sistemi e dispositivi, ancora poco competitivi con le generazioni elettriche convenzionali.

PROSPETTIVE A BREVE TERMINE DELLE CELLE

A COMBUSTIBILE

Introduzione

Fino al 1960 le celle a combustibile erano una mera curiosità scientifica, ovvero da quando, dal lontano 1839, William R. Grove dimostrò che l'unione di idrogeno e ossigeno poteva generare una corrente elettrica.

Oggi la situazione è radicalmente mutata: si intravede la loro applicazione a breve termine per scopi di trazione elettrica, alimentazione di reti elettriche locali (case, condomini), ma anche per applicazioni come sorgenti di energia per telefoni cellulari e laptop computer.

Naturalmente ci sono ancora parecchi ostacoli, primo fra tutti quello del combustibile di alimentazione e delle quantità di catalizzatori, al fine di abbattere i costi dei sistemi. Ma nel mondo ormai sono numerosi i gruppi di lavoro che, per niente intimiditi dalle difficoltà, stanno con molta determinazione portando le tecnologie verso la soglia della praticabilità, se non della loro commerciabilità. Ad esempio, il quantitativo di platino è stato ridotto di 30 volte negli ultimi quindici anni.

Nel seguito parlerò delle F.C. per le tre grandi aree di impiego:

- trazione per veicoli
- impieghi stazionari
- F.C. miniaturizzate per impieghi portatili

Il motore elettrochimico per la trazione terrestre

La necessità di un'alternativa al motore a combustione interna nasce da considerazioni di instabilità geopolitica dell'approvvigionamento delle fonti di combustibili fossili e da impellenti istanze ambientali.

Soprattutto nei mercati asiatici si constata negli ultimi anni una rapida crescita del numero totale di veicoli. Nel 1996 i veicoli circolanti erano 634 milioni, con un incremento del 30% sul numero del decennio precedente e globalmente essi emettevano qualcosa come 3,7 miliardi di t di CO₂, secondo le stime dell'International Energy Agency.

Oggi vi sono gruppi come la Daimler Chrysler e la General Motors che garantiscono l'avvento del mercato di massa dei motori alimentati da F.C. per il 2004 ed assicurano emissioni nulle con l'impiego dell'idrogeno puro, ed efficienze del 45-60%. Queste ultime vanno raffrontate con il rendimento del 35% degli odierni motori a combustione interna in condizioni ideali; in termini di efficienze medie si raggiunge inoltre la soglia del 15%.

Le perdite significative di rendimento nelle F.C. rispetto ai limiti teorici vanno ricercate nella resistenza elettrica dell'elettrolita e nelle variazioni della sua concentrazione da un sito microscopico all'altro di quest'ultimo. Tali perdite sono rese minime qualora si impieghino elettroliti fortemente acidi o alcalini. Un trattore dell'Allis-Chalmers, ad esempio, venne alimentato già nel 1959 con F.C. alcaline esercite con idrogeno e ossigeno compressi; ma poiché molti progetti per autoveicoli prevedono la generazione di idrogeno a bordo dell'automezzo attraverso l'uso di altri combustibili - processo che produce anidride carbonica in piccole quantità -, le F.C. alcaline sono state abbandonate, salvo l'aver esse una grande prospettiva in quelle applicazioni dove è disponibile idrogeno di purezza industriale.

Nel corso degli anni Ottanta gli ingegneri hanno prodotto catodi insensibili ai carbonati e di basso costo; l'impiego di platino è assai inferiore a quello necessario per le F.C. ad elettrolita acido. Queste ultime sono insensibili alla CO₂, ma possiedono delle limitazioni derivanti dalla necessità di acqua allo stato liquido per il trasporto degli idrogenioni; questo a sua volta comporta l'adozione di temperature di esercizio sotto il punto di ebollizione dell'acqua. I rendimenti sono così penalizzati; l'unica eccezione è rappresentata dalle F.C. che usano acido fosforico concentrato e possono lavorare ad una temperatura di 200°C. Applicazioni si sono avute in ospedali e alberghi e in autobus urbani, ma i lunghi tempi di preriscaldamento ne rendono improbabile l'uso per la trazione commerciale.

È dagli anni Sessanta che si stanno sperimentando membrane a scambio protonico, contenenti gruppi acidi sulfonici, quali il Nafion della Du Pont's ed oggi questa tecnologia è considerata la più promettente. Le temperature di lavoro sono intorno agli 80°C e si ricorre al platino, ridotto in particelle di circa 10 atomi di diametro, depositate sulla superficie di particelle finissime di carbonio. Risultato: nel 1986 il quantitativo di catalizzatore necessario era di circa 16 g/kW di potenza (equivalenti a 180\$ ai prezzi attuali, valori proibitivi per uno sviluppo di un mercato di massa, se si pensa che un'automobile richiede 50 kW in fase di accelerazione, che possono scendere a soli 15 in versione ibrida, con batteria di accumulatori di soccorso durante i periodi di picco della richiesta). Ora i quantitativi sono ridotti di 30 volte (6-8 \$/kW) e si può prevedere un'ulteriore riduzione di un fattore 2, a meno di imprevedibili breakthrough; d'altra parte i ricercatori non hanno ancora trovato un sostituto valido del platino per entrambi gli elettrodi.

L'insieme membrana-elettrodi è spesso circa 2,5 mm; nel 1989 la Ballard Power systems di

Vancouver ha sviluppato uno stack di 45 kg in un volume di 30 litri che produceva 5 kW di potenza da idrogeno in bombole e aria compressa. Ma il quantitativo di platino era ancora proibitivo, pari a circa 80 \$/kW. Nel 1995 la Ballard ha annunciato una versione assai migliorata di stack, che, a parità di dimensioni con quello precedente, produce 32,3 kW e consegue un rendimento del 54%. Varie versioni di questo prototipo sono installate a bordo di autobus a Vancouver e Chicago, come pure di diversi veicoli sperimentali DaimlerChrysler.

Per far sì che un motore "elettrochimico" possa essere competitivo con un motore a combustione interna, il costo del platino dovrebbe incidere per un valore inferiore ai 50 \$/kW. Ora, per conseguire tale obiettivo esistono due strade:

1) abbinare a una F.C. di potenza più ridotta un banco di batterie booster, caricate dalla frenatura rigenerativa in modo che quando il mezzo rallenta, i motori agiscono da freni e ricaricano le batterie convenzionali;

2) perseguire lo sviluppo di F.C. senza batterie e senza frenatura rigenerativa, potendo così, a detta della Ballard convinta della funzionalità di questa strategia, raggiungere efficienze del 50% con carichi medi.

Quest'ultima soluzione però, oltre ad essere la più dispendiosa, richiederebbe quantitativi di proibitivi se commisurati con le riserve mondiali: 2 milioni di auto da 50 kW dotati di motori elettrochimici (pari al 5% dell'attuale produzione mondiale di veicoli) richiederebbero 50 tm di platino corrispondenti a circa 1/3 della produzione globale corrente del metallo. Questa è la ragione per cui la Zevco di Londra sta battendo un'altra strada: veicoli ibridi composti di F.C. alcaline (che richiedono un quinto di platino agli elettrodi rispetto a quelle a membrane polimeriche) di taglia più piccola e assistite da batterie.

I tentativi di migliorare i rendimenti e i costi

Nella convinzione che non basta avere motori a emissioni trascurabili per avviare un mercato autosostenentesi, i responsabili dello sviluppo dei progetti hanno sperimentato celle che lavorano alla pressione di qualche atmosfera, circostanza che aumenta la velocità alla quale idrogeno e ossigeno diffondono e reagiscono. Ma permangono tuttora forti dubbi sulla validità della pressurizzazione: la Ballard si dimostra favorevole, soprattutto perché le alte pressioni favoriscono l'espulsione di acqua che tenderebbe ad occludere i canali di adduzione del gas al catodo; per contro la IFC di South Windsor, Conn., una joint venture di United Technologies e Toshiba ha dimostrato che senza pressurizzazione la F.C. risulta essere più leggera ed efficiente.

Il problema dell'acqua a temperature basse (-40°C) è stato risolto con successo e, per ridurre i costi, i fabbricanti pensano a composti grafite polimero stampati e schiume metalliche resistenti alla corrosione nelle piastre che collegano gli elettrodi. Tali membrane costano 95\$/kW: secondo la Dupont, per poter vendere almeno 250.000 autovetture all'anno, i prezzi dovrebbero scendere di 10 volte. Procedimenti chimici alternativi per l'elettrolita non hanno ancora dato a tutt'oggi i loro frutti.

I mezzi per accumulare l'idrogeno a bordo

Un cenno infine merita il sistema di stoccaggio dell'idrogeno a bordo. L'idrogeno prodotto dal gas naturale può costare 1,20-1,50 \$ con un contenuto di energia equivalente a un gallone (1 litro = 0,264 gal) di benzina; stante le efficienze più che doppie rispetto al motore a benzina, con tre kg di H₂ a bordo si possono percorrere 500 km. Ma 3 kg di idrogeno a pressione atmosferica sono 36000 l, pari al volume di parecchi veicoli.

Anche ricorrendo a H₂ compresso si impegnerebbe un volume proibitivo di 180 l; ragion per cui la Ford ha proposto l'impiego di materiali composti il cui peso potrebbe essere di soli 25 kg. Un'alternativa è quella di sviluppare una rete di distribuzione di idrogeno liquido: un serbatoio criogenico che accumula 3 kg di H₂ potrebbe pesare 45 kg e occupare 100 l, più di un serbatoio di benzina, ma comunque gestibile.

Va tuttavia sottolineato che la liquefazione consuma il 30% dell'energia del combustibile e, in virtù dell'alto tasso di ebollizione dell'idrogeno, dopo una settimana si può avere la volatilizzazione dell'intero contenuto di H₂; per giunta accumuli di gas creano miscele tonanti, con gravi rischi di esplosioni.

Queste sono le ragioni per cui si continua ad esplorare delle opzioni alternative, quali lo stoccaggio in idruri metallici che potrebbero immagazzinare i richiesti 3 kg in un volume ragionevole di 50 litri. Va aggiunto che l'anno scorso la Northeastern University ha annunciato un metodo di stoccaggio reversibile in nanofibre di carbonio a temperatura ambiente attraverso cui si potrebbe arrivare all'immagazzinaggio di 3 kg in 35 l di volume; tuttavia questo risultato straordinario richiede ancora conferme.

Il reforming a bordo dei veicoli

Si possono anche concepire veicoli che producono a bordo l'idrogeno necessario, partendo da forme chimiche quali metanolo o benzina; essi sono dotati di un apposito stadio di reforming; ma va subito detto che veicoli di questo tipo più che a emissione zero si dovrebbero chiamare a emissione

ultrabassa. Il metanolo si presta bene per il reforming con vapore acqueo a 280°C in presenza di un catalizzatore, e la F.C. con elettrolita ad acido ortofosforico funziona egregiamente sia per le elevate temperature di esercizio, sia per essere relativamente immune dall'avvelenamento di piccoli quantitativi di CO residui del reforming. Autobus con celle di questo tipo sono stati sperimentati ed esercitati con successo nei primi anni Novanta dall'H Power di Belville, N.J.; le emissioni sono state di appena l'1,5% per il CO e 0,25% per i NOx rispetto ai valori consentiti dalle leggi federali statunitensi.

Invece le F.C. a membrana presentano vari inconvenienti quando si vogliono far funzionare con metanolo: necessitano di una conversione catalitica per ridurre il tasso di CO nel prodotto, l'anodo richiede un catalizzatore al platino-rutenio per prevenire avvelenamenti e, ancora, si deve bruciare un certo quantitativo di idrogeno per produrre il vapore necessario al reformer. Un sistema di questo tipo costruito dalla Toyota ha conseguito un rendimento di appena il 37%.

L'Argonne National Laboratory ha realizzato invece un sistema che converte la benzina della normale pompa in idrogeno con un'efficienza del 78%; tuttavia il veicolo azionato da F.C. darebbe alla fine un deludente 33%, con problemi di avviamento, anche se attenuati da una batteria per la somministrazione di energia di spunto temporanea.

Problema serio è rappresentato dall'avvelenamento da zolfo, in quanto la benzina non può essere desolforata in maniera economica a bordo del veicolo. Si possono sviluppare varie soluzioni, ma come per la soluzione Toyota si sollevano diversi interrogativi circa le infrastrutture necessarie e il loro costo. In questo altalenio di scetticismi, la BMW ha annunciato nel 1998 che si muoverà verso la soluzione di un motore classico ad idrogeno con gas naturale liquefatto come combustibile intermedio. Il motore a combustione interna è più inquinante di quello a F.C. (produzione di NOx) e meno efficiente; per giunta, fintantoché l'H₂ non viene prodotto da fonti rinnovabili, ad esempio l'energia solare, l'idrogeno non potrà mai essere competitivo con il gas naturale.

In definitiva sembra di poter dire che un sistema di distribuzione dell'idrogeno verrà realizzato non appena sarà tecnicamente fattibile, affrontabile e necessario, ma ciò avverrà sicuramente ancora avanti negli anni.

Ma è del 18 agosto la notizia che la maggiore fabbrica di componenti, la Delphi Automotive Systems, insieme alla tedesca BMW, sostiene di avere la supremazia nella tecnologia delle SOFC (Solid Oxide F.C.) e che presenterà dei modelli all'Expo 2000 Clean Energy Project dell'anno prossimo. Le SOFC sono assai meno sensibili alle impurità durante il processo di reforming e non richiedono elettrodi costruiti con metalli preziosi; e, cosa ancor più vantaggiosa, gli automobilisti non dovranno attendere la messa in opera delle infrastrutture per la fornitura di idrogeno.

Impianti di generazione per usi domestici

A mano a mano che si assiste a una progressiva deregolazione nell'industria elettrica e alla dissoluzione dei monopoli, nascono figure come quelle dei brokers, ovvero degli intermediari tra chi vende e compra energia elettrica anche se la rivoluzione più grande sarà quella cui assisteremo verosimilmente entro una decade o due. Per quell'epoca infatti alcuni utenti, pardon clienti, vivranno in abitazioni la cui alimentazione elettrica non proverrà da una remota centrale di produzione, spesso distante centinaia di km, bensì da una centralina grande come un frigorifero, sistemata in cantina o in soffitta. In realtà negozi, empori, supermercati, condomini interi e non ultime fabbriche potranno essere alimentati da F.C. della taglia di 500 kW di potenza.

La United Technologies ha venduto a tutt'oggi circa 170 unità da 200 kW caratterizzate dalla cogenerazione di elettricità e calore per impianti industriali. Dette unità sovente sono alimentatori di soccorso o, in casi particolari, vanno intesi come vetrina di tecnologie avanzate e progetti mirati a recare il minimo danno ambientale. Si tratta di applicazioni spesso sussidiate generosamente dai governi, dato che si parla di costi di 3000-4000 \$/kW contro i 500-1000 \$ /kW dei turbogas comunemente usati dalle utilities. Oltre ai costi si aggiunge come ostacolo la vita di questi impianti: a tutt'oggi nessuna F.C. può vantare una durata in esercizio di più di dieci anni; per contro le turbine a gas sono caratterizzate da una vita utile di almeno vent'anni. Gli esperti assicurano che le principali milestones per lo sfondamento delle F.C. nei mercati sono 1500 \$/kW e 20000 ore di vita utile.

Per raggiungere questi traguardi, visti i grandi pregi delle F.C. come unità di generazione diffusa e la loro spinta ad andare verso una società ed economia a idrogeno, che si affranchi dalla servitù del metano-petrolio, si sono mobilitati in tanti. L'Hydrogen Burner Technology, di Long Beach, California, sta progettando una F.C. a ossidi solidi, che lavora a 800 °C e che sfrutta fino al 90% dell'energia chimica del combustibile; l'impiantino potrà essere immesso sul mercato verso il 2003.

Va osservato che la policombustibilità, in presenza di reformer, è assicurata per ammoniaca, gas naturale, distillati del petrolio, propano liquido e carbone gassificato, come pure etanolo, metanolo, biogas. Per di più l'idrogeno può venire prodotto da impianti solari, eolici o geotermici, da impianti di trattamento delle acque e da metano da discariche. I reformers inquinano un po', ma decisamente meno (1/10-1/1000) rispetto ai turbogas. Come rendimenti, detratte le perdite generate dalla presenza del reformer e dell'inverter siamo intorno al 40%, valore raffrontabile con quello delle ultime centrali a turbogas. Se però si fa uso del concetto total energy, si ha un vantaggio superiore anche ai cicli combinati. Attualmente si pensa di abbandonare le soluzioni della taglia dei MW (l'unico esempio favorevole è stato l'impianto di Tokyo da 11 MW che è stato in esercizio per circa 23000 ore) per quelle più piccole per impieghi più decentralizzati. Il mercato di celle per usi domestici della taglia 50 kW è valutato in 50 miliardi di US\$ verso il 2030. Wishful thinking? A tutt'oggi non c'è nessuna

abitazione unifamiliare che possieda installata un'unità di generazione del genere, salvo ad Albany, N.Y., casa di mattoni stile ranch, in cui un impianto dimostrativo è entrato in servizio un anno fa. Per carichi più consistenti, ad uso di ospedali, industrie, grattacieli, almeno una compagnia spera di introdurre la taglia dei 500 kW nei prossimi anni. L'edificio 4Times Square a New York City ha installate due unità da 200 kW che, oltre a fornire acqua calda per usi sanitari e illuminare la facciata, serve come alimentatore di emergenza. Questo edificio è denominato Green Building in quanto la Durst Organization che l'ha progettato e realizzato ha inteso applicare a scopo dimostrativo tutte quelle tecnologie ritenute corrette da un punto di vista ambientale. Si annoverano oltre a questa altre limitate applicazioni in cui il costo unitario del kWh erogato è compensato da altri benefici quali, ad esempio, l'evitato scavo in Central Park per la stazione della polizia o la First National Bank di Omaha, Nebraska, che ha installato lo scorso mese di febbraio una F.C. da 200 kW nel suo Technology Centre per il processamento delle transazioni tramite carte di credito. In questa applicazione l'unità è l'alimentazione principale assistita da gruppi elettrogeni e dalla rete come soccorso, al fine di evitare anche le più piccole interruzioni di potenza.

I cinque tipi di F.C.

Per impieghi stazionari si annoverano cinque tipi di celle a combustibile a seconda del tipo di elettrolita adottato:

- 1) ad acido fosforico;
- 2) a carbonati fusi;
- 3) a ossidi solidi;
- 4) a membrane a scambio protonico;
- 5) alcaline.

Le prime (PAFC) fanno parte della tecnologia più matura: ben 12 organizzazioni nel mondo fin dal 1980 stanno esercendo impianti della taglia superiore ai 100 kW. La sola ONSI, sussidiaria della United Technologies, ha installato 170 unità, quasi tutte alimentate da gas naturale ed alcune di esse sono state in funzione per varie decine di migliaia di ore. Negli Stati Uniti ci sono il DOE o il Department of Defense che danno 1000 \$ di sovvenzione al kW, un terzo del totale costo del progetto; sono stati distribuiti più di 18 milioni di \$ per un totale di 90 impianti dimostrativi. Aziende giapponesi hanno acquistato circa 120 PAFCs, le cui taglie di potenza vanno dai 50 ai 500 kW e

parecchie di queste unità hanno totalizzato più di 40000 ore di funzionamento.

Va segnalato l'impiego di F.C. sempre più frequente in prossimità di impianti di discarica, di trattamento acque, di processi agroalimentari, in cui il metano di alimentazione ha costo nullo in quanto ricavato dai reflui biologici.

Il costo delle PAFC si situa intorno ai 4000 \$/kW, tre volte il valore ritenuto la soglia di competitività, per cui la maggior parte delle società che sviluppano F.C. si è spinta a metter fine a questa filiera per passare a quella dei carbonati fusi, degli ossidi solidi e delle membrane a scambio protonico.

Le prime due hanno in comune il fatto che funzionano a temperature superiori ai 650 °C; le F.C. a carbonati fusi iniziano a funzionare quando l'elettrolita è fuso, mentre quelle a ossidi solidi si basano sulle alte temperature per riformare internamente i combustibili e ionizzare l'idrogeno, senza che si debba ricorrere a catalizzatori costosi. Il calore dissipato può essere poi impegnato per riscaldamento degli ambienti e dell'acqua per impieghi domestici.

La M-C Power ha sperimentato in via dimostrativa un'unità MCFC da 250 kW in S. Diego nel 1997, ma ha prodotto soli 160000 kWh (il che equivale ad appena 640 ore equivalenti a piena potenza) prima di essere riparata; la ERC da Danbury, Conn. è partita con un 2 MW a carbonati fusi che però ha lavorato solo per 3000 h a poco più di 1 MW, ragion per cui si sono poi focalizzati su unità da 250 kW. Ci sono circa 10 industrie giapponesi che stanno lavorando sulle MCFC. Invece il campo del SOFC è sviluppato nel mondo da un totale di 40 aziende, la più importante delle quali è la Siemens assieme alla Westinghouse, acquisita nel 1998.

La tecnologia delle celle PEM sembra quella più vicina alla commercializzazione, anche per impieghi stazionari, soprattutto dopo le recenti notizie di drastiche riduzioni di costo nella produzione delle membrane a scambio protonico e dell'uso di catalizzatori più resistenti al degrado indotto dall'ossido di carbonio proveniente dai reformer. Infatti sono attive ben 85 organizzazioni nel mondo, di cui 48 nei soli USA. La Ballard spera di immettere sul mercato un'unità da 250 kW già nel 2001, ma la General Electric Power Systems in joint venture con la Plug Power ha già installato e fatto assistenza su impiantini da 35 kW; inoltre è stato installato un impianto da 7 kW per usi domestici in un'abitazione di Latham, N.Y. in cui due ingegneri della Plug Power trascorrono i fine settimana. Anche l'H Power Co. di Belleville, N.J. offre piccole unità di taglia compresa tra i 35 e 500 kW e promuove tutta una serie di iniziative nel campo dei generatori UPS, nelle telecomunicazioni e nei trasporti. Per contro i Giapponesi sembrano focalizzarsi sulle taglie di 1,5-3 kW (ad es., la Matsushita e la Sanyo che ha sviluppato un apparecchio da 1 kW che lavora con idrogeno compresso e che sta approntando un'unità da 2 kW che funziona a gas naturale o metanolo).

Stanno ancora fuori dalla corrente principale delle applicazioni le FC a elettrolita alcalino, nonostante il loro allettante rendimento del 70 % (sono usate nelle space shuttle), per via dei loro costi proibitivi e di altri inconvenienti; tuttavia qualche società è al lavoro nel tentativo di renderle competitive con altre filiere e con altre tecnologie di generazione.

Sembra di concludere che tutte e cinque le tecnologie non potranno decollare nel breve termine senza l'ausilio di incentivazioni dei governi locali o regionali; ma da qui a una o due decadi esse si imporranno sotto la spinta delle istanze ambientali. Ad esempio, Robert H. Williams del Centro per l'Energia e Studi Ambientali di Princeton in una memoria presentata l'anno scorso ha proposto che l'uso dell F.C. possano giocare un ruolo nell'elettrificazione della Cina, in cui 1,2 miliardi di persone hanno uno dei consumi di energia elettrica procapite più bassi del mondo. Sottrarre all'atmosfera i gas serra prodotti dalla combustione del carbone cinese è una delle sfide più grandi delle prossime decadi. In definitiva l'auspicio è che le F.C. possano spingere verso quell'economia ad idrogeno il cui avvento non sarà mai troppo prematuro.

F.C. miniaturizzate per impieghi portatili

Per giocattoli, telefonini, lap top computer, camcorder ed altri prodotti di elettronica di consumo si fa uso di batterie, pesanti e costose, si esauriscono senza avvertire, richiedono la sostituzione o la ricarica.

L'alternativa è rappresentata da una F.C. miniaturizzata, che potrebbe avere una durata fino a 20 volte superiore a quella di una batteria Ni-Cd e non necessita di ricarica, in quanto basterebbe rimpiazzare il combustibile.

In questa parte si accennerà ai problemi posti dalla tecnologia delle F.C. della potenza di alcune decine di W.

La Manhattan Scientifics ha in mente di produrre, entro la fine dell'anno, un dispositivo alimentato da metanolo realizzato in molti strati con tecnica simile a quelle delle chip; il volume occupato dal prototipo è comparabile a quello occupato attualmente dalla batteria ricaricabile.

Confronto con la batteria ricaricabile

Quando si raffrontano le F.C. con le batterie ricaricabili, il fattore principale non è rappresentato dall'efficienza, in quanto entrambi i dispositivi sono mezzi eccellenti a estrarre energia elettrica da forme chimiche. Ma con le batterie compatte al litio che si adottano negli apparecchi elettronici

portatili le tensioni non superano 3-4 V; le F.C. generano tensioni non superiori a 1 V, ma occupando un volume inferiore e pesando anche meno devono di necessità possedere un'energia specifica più elevata. Per un dato peso l'idrogeno liquido contiene 800 volte l'energia elettrochimica del Ni-Cd. Ma il problema è ovviamente quello di mantenere l'H₂ ad una temperatura di -250°C, il che rende i dispositivi impraticabili per prodotti di consumo.

Ma anche altre forme chimiche contenenti idrogeno hanno impressionanti valori di energie specifiche: ad es., un l di metanolo può fornire 5000 Wh, sufficiente per alimentare un laptop in modo continuativo per più di una settimana. Un volume comparabile di ioni litio, la batteria ricaricabile a più alta densità, possiede meno di un decimo di quell'energia.

Una F.C. avrebbe il pregio di non necessitare di ricarica ma della sola rapida sostituzione del combustibile tramite inserimento di un'ampollina di metanolo o di una cartuccia di idruro solido. Invece le batterie ricaricabili che hanno l'energia accumulata negli elettrodi o si buttano (con problemi ambientali) o si ricaricano in tempi spesso non brevi. Un altro vantaggio potenziale delle F.C. nel settore della consumer electronics è dato dai costi. Bastano poche cifre per far capire perché.

Una batteria Ni-Cd da 20 W possiede una massa di 0,5 kg, dura un'ora e costa 20\$. Una batteria a ioni di litio fornisce la stessa potenza per circa tre ore, ma costa almeno quattro volte di più. Per contro una F.C. alimentata a metanolo potrebbe durare 30 ore e costare appena 2-5 \$.

Ma produrre una F.C. che possa essere prodotta in massa a costi contenuti rappresenta a tutt'oggi un'impresa a dir poco formidabile. Le sfide ingegneristiche sono infatti enormi e sono necessari notevoli sforzi d'innovazione.

Cenni alla complessità dei problemi

Intanto c'è da tener conto dei collegamenti in serie di molte celle elementari, soprattutto se si tiene conto dei sottosistemi necessari per immagazzinare e controllare l'alimentazione di combustibile e ossigeno.

Il collegamento in serie necessita poi di un sottosistema di raffreddamento e tutti questi dispositivi al contorno aggiungono volume e peso allo stack.

La scelta del tipo di combustibile è poi cruciale per tutto lo sviluppo del progetto. L'idrogeno puro, sia allo stato di gas che in forma criogenica, non può essere impiegato; in alternativa si può ricorrere a idruri metallici (vanno bene il palladio, ma anche leghe più economiche di lantanio-nichel o ferro-

titano) che hanno la proprietà di assorbire idrogeno gassoso in circa 30' a 0°C. Per la fornitura di idrogeno in futuro si può pensare a elettrolizzatori domestici dell'acqua. Idruri chimici come quelli contenenti litio, alluminio, sodio o boro sono una fonte conveniente di idrogeno e più leggera della controparte dei metallici, ma sono costosi e non ricaricabili e lasciano un residuo caustico.

Assai più economici sono gli idruri organici liquidi, quali la decalina e metilcicloesano. Essi richiedono però un catalizzatore e temperature superiori ai 200 °C per l'estrazione dell'idrogeno. Dopo molte ricerche si è assodato che il metanolo è la forma chimica migliore; un cellulare potrebbe essere ricaricato con una semplice sostituzione di una fialedda che si potrebbe acquistare al supermercato o dal tabaccaio, come adesso si fa con gli accendini. Tuttavia il metanolo presenta l'inconveniente di richiedere il reformer che genera un certo quantitativo di monossido di carbonio, che si lega con il platino, avvelenandone l'azione catalitica. Quindi ci vuole un secondo stadio per la rimozione del CO; per quanto siano stati realizzati piccoli reformers con stadio primario e secondario, questi dispositivi aggiungono complessità e costo al sistema generale. Catalizzatori speciali consentono il consumo diretto di metanolo a temperature sotto i 100 °C, ma problemi quali lo scadimento di potenza e le dispersioni di metanolo al catodo suggeriscono l'impiego di metanolo diluito, pratica che tuttavia va contro il vantaggio di avere una forma chimica ad alta densità di energia. Gli esperti pertanto sono alla ricerca di membrane totalmente impervie alla sostanza combustibile.

Verso membrane sempre più sottili

Finora le F.C. sviluppate in versione mignon, ad esempio quelle della Ballard e della H Power della gamma 20-100 W, non hanno fornito prestazioni superiori alle batterie a ioni litio. Occorre andare verso soluzioni del tipo di quella adottata dal Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems di Friburgo che consiste in 5 F.C. in serie alimentate da idruro metallico della potenza di 20 W e che richiede tuttora dei perfezionamenti progettuali. Un approccio totalmente differente è quello della Manhattan Scientifics di N.Y. City, in cui vengono usate tecniche simili a quelle per produrre chip, sia per fare l'elettrolita (film plastico poroso di soli 25?), sia per realizzare gli elettrodi. Il dispositivo funziona con metanolo diluito ma ha bisogno di una piccola batteria booster per l'avviamento e per far fronte a eventuali picchi della richiesta; promette tuttavia bassi costi di fabbricazione.

Si sottacciano altri prototipi realizzati per conto del Governo americano, sempre alimentati direttamente da metanolo, da 10, 40, 150 W con elettrolita polimerico e speciale catalizzatore anodico: essi hanno funzionato continuativamente per più di otto giorni a 90°C. Sfortunatamente queste celle non tollerano un contenuto di metanolo superiore al 2% in acqua, pena scadimento del loro rendimento; per fortuna si può impiegare l'acqua prodotta al catodo per conferirla in un piccolo serbatoio vicino all'anodo dove serve a diluire il metanolo puro. 30 W/l sono una densità di potenza

rispettabile e si intravede la possibilità di triplicare questo valore alla fine del 1999.

Infine si segnala una F.C. che lavora da un miscuglio di idrogeno e ossigeno fatti diffondere attraverso una membrana elettrolitica permeabile ai gas assai sottile (inferiore a 1 m di spessore). Nel dispositivo l'idrogeno si ossida (ovvero perde elettroni) più rapidamente all'elettrodo direttamente esposto (anodo) rispetto all'elettrodo non direttamente esposto alla miscela gassosa (catodo). Gli ioni idrogeno si combinano con l'ossigeno che è diffuso attraverso la membrana porosa; questa reazione chimica, denominata riduzione, produce acqua e si traduce in una tensione di circa 1 V tra gli elettrodi. Il meccanismo è possibile in virtù della prossimità spinta degli elettrodi, altrimenti gli ioni idrogeno non sarebbero in grado di raggiungere il catodo dall'anodo.

Per fornire un'idea delle potenziali caratteristiche di compattezza e densità di questa tecnologia basta osservare che uno stack di 6 celle con 16 cm² di superficie e spessore complessivo di 1 cm può generare 3 V con una corrente di 1,7 A; siamo nel campo di 1000 Wh/l da idruro solido o 1400 Wh/kg da metanolo, con performances decisamente superiori alle batterie a ioni di litio.

Nessuno di questi prototipi ha tuttavia dimostrato le possibilità di una loro fabbricazione di massa a costi più favorevoli rispetto a quelle delle batterie convenzionali; tuttavia recentemente è stata annunciata la enorme densità di energia (16000 Wh/kg) accumulabile in nanofibre di grafite (sono fullereni sferici tirati a cilindri); 1 l di questa sostanza potrebbe alimentare un computer da 20 W continuamente per un mese e se la scoperta trovasse conferme darebbe sicuramente forti stimoli alla miniaturizzazione delle F.C.

Conclusioni

Da quanto esposto sembra di poter affermare che nei prossimi anni assisteremo verosimilmente una vera e propria commercializzazione delle F.C. ad iniziare dai Paesi sviluppati. Ma è ancora difficile prevedere i comportamenti dei governi in tema di controllo delle emissioni nocive e delle volontà di tassare i consumi petroliferi – il rifiuto dei governanti degli USA in tal senso non presagisce nulla di buono -; inoltre è difficile dire qualcosa di definitivo sull'andamento dell'attuale rincaro del petrolio, se si sia in presenza o no di un terzo shock petrolifero. Quasi certamente assisteremo in un prossimo futuro ad un'intensificazione di regole ed azioni atte a limitare i consumi dei combustibili fossili, ma è probabile che le regole capaci di forzare il passo del cambiamento tecnologico non siano sufficienti. •

