

nibili e al basso impatto ambientale, requisiti che rispondono perfettamente alle specifiche richieste per garantire uno sviluppo sostenibile del pianeta.

○ ○ ○

I risultati della ricerca ed il livello tecnologico raggiunto dalle FC, negli ultimi anni, ha accresciuto ulteriormente l'interesse delle industrie e delle società di produzione e distribuzione dell'energia, stimulate dai vantaggi che questa tecnologia può offrire. Infatti, contemporaneamente alla generazione di energia elettrica, le FC possono fornire energia termica utile (Fig. 2), sono prive di parti in movimento e ciò rende, l'affidabilità di questi sistemi intrinsecamente molto più alta rispetto ai sistemi tradizionali, oltre a ridurre notevolmente la manutenzione e la rumorosità. L'assenza di organi in movimento, che esclude la necessità di fluidi di difficile smaltimento (oli lubrificanti), e i materiali utilizzati nelle FC, in maggior parte riciclabili, riducono ulteriormente l'impatto ambientale. Per quanto riguarda la resa energetica la modularità dei sistemi consente di ottenere elevati rendimenti indipendentemente dalla potenza installata dell'impianto di produzione ed a qualunque livello di potenza erogata. Infine, i sistemi a FC possono utilizzare vari combustibili, dagli idrocarburi disponibili in commercio, all'idrogeno, ricavabile anche elettroliticamente dall'acqua utilizzando fonti rinnovabili (solare, eolico, ecc.). Pertanto, le FC possono trovare applicazione in numerosi settori che variano dalla produzione di energia elettrica in grandi e piccole centrali di potenza, alla produzione combinata di elettricità e calore per specifiche utenze, quali quartieri residenziali, ospedali, uffici pubblici, industrie, sino alle più recenti applicazioni nei settori dell'autotrazione elettrica e dell'alimentazione di piccole unità elettroniche, in sostituzione delle batterie.

○ ○ ○

CENNI STORICI

L'invenzione della cella a combustibile (o Fuel Cell, FC), nei suoi principi di base, risale a più di 150 anni fa, quando fu scoperta nel 1839 dal fisico inglese Sir William Grove. Nonostante le grandi prospettive offerte, l'idea di generare corrente elettrica dalla reazione

mental impact characteristics which suitably match with the requirements of sustainable development in the world.

○ ○ ○

The technology level achieved in fuel cell systems in the last years has significantly increased the interest of various manufacturing industries engaged in energy production and distribution even under the perspectives that this technology could provide. Today, the fuel cells can supply both electrical and thermal energy without using moving parts and with a high level of affordability with respect to the conventional systems (Fig. 2). As a consequence, fuel cells allow significant reduction of noisy level and maintenance. Moreover, the absence of fluids which cannot be easily subjected to digestion processes further reduces the environmental impact for such devices. All components in the fuel cell are based on materials which can be recycled and or reused. The modular characteristics of such systems allow high efficiencies which are independent of the power level of the fuel cell and variable load conditions. Finally, fuel cell systems can utilise every kind of fuel such as hydrocarbons, hydrogen available from the water through renewable sources (wind, solar energy), alcohol etc. Thus, fuel cells may find application in many field ranging from energy production in large or small plants to the cogeneration systems for specific needs such as for residential applications, hospitals, industries, electric vehicles and portable power sources.

○ ○ ○

HISTORICAL BACKGROUND

The invention of fuel cells was made more than 150 years ago in 1839 by the British physicist Sir William Grove. In spite of the enormous perspectives, the idea to generate electricity from the reaction between hydrogen and oxygen was obscured by the significant technology changes which occurred in that period. Successively Becquerel (1855) realised the use of molten salts as electrolytes for fuel cells; Bacon (1932) utilised an

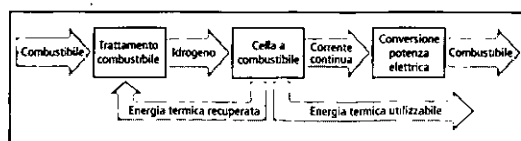


Fig. 2 — Schema generale di un impianto con cella a combustibile.
Fig. 2 — Fuel cell system.

ne tra ossigeno ed idrogeno fu messa in ombra dai grandi mutamenti tecnologici dell'epoca. In epoche successive vennero realizzate celle a sali fusi (Becquerel, 1855) e, più recentemente, con elettrolita alcalino (Bacon, 1932) e con elettrolita solido costituito da miscele di ossidi (Baur e Preis, 1937). Fu solo grazie alla necessità, nel settore militare ed aerospaziale, di una fonte energetica di semplice funzionamento, affidabile e non inquinante che la ricerca riprese ad interessarsi delle celle a combustibile. L'applicazione, a causa dei costi proibitivi, rimase tuttavia confinata a tali settori fino agli anni '70. In particolare, nelle prime applicazioni delle FC nei veicoli spaziali, le celle sono state utilizzate per la fornitura dell'energia elettrica richiesta per i vari usi: sistemi di guida, sistemi di comunicazione, illuminazione, nonché per la produzione di acqua potabile.

* * *

Nel programma Gemini (1962-1965) furono utilizzate celle ad elettrolita polimerico, costituito da una membrana cationica (a base di polistirene sulfonato) a conduzione di ioni H^+ che si potrebbe considerare la progenitrice delle moderne membrane perfluorosulfoniche attualmente utilizzate per sistemi a bassa temperatura. La navicella spaziale aveva 2 moduli (stack) da 1 kW, ognuno costituito da 32 celle, funzionanti a bassa temperatura (circa 20°C) alimentate da idrogeno ed ossigeno (immagazzinati allo stato criogenico) e con elevati contenuti di platino negli elettrodi.

Le celle del programma Apollo erano, invece, ad elettrolita alcalino (KOH), con una potenza pari 1.5 kW, ma funzionanti a temperature molto più elevate, di circa 260°C, permettendo così l'utilizzo di un catalizzatore a base di Ni. Ironia della sorte, giornali e televisione si occuparono diffusamente delle celle a combustibile, solo in occasione del fallimento della missione Apollo 13, quando, erroneamente, si disse che il malfunzionamento di uno stack aveva messo in pericolo la vita degli astronauti; in realtà, fu un guasto al sistema di alimentazione dell'ossigeno, e non del modulo elettrochimico, a causare il ritorno anticipato della navicella. Ancora oggi, le FC continuano a mantenere un ruolo predomi-

alkaline electrolyte, whereas Baur and Preis (1937) developed a fuel cell based on mixed oxides electrolyte. But, it was only due to the vital needs to develop simple, affordable and non-polluting power sources for applications by the military and in space-aircraft that research on fuel cells was stimulated to date, the applications of such system have been confined to the fields of space aircraft and military silent power sources. In particular, in the first FC applications in space-aircraft, these devices were utilized to supply electrical energy for various kinds of apparatus, such as guide systems, communication systems, lighting and for production of portable water.

* * *

In the Gemini program (1962-1965) solid polymer electrolyte fuel cells were used. The electrolyte was based on a cation exchange membrane (sulfonated polystyrene) having proton conduction. It may be considered as the precursor of the modern perfluorosulfonic membranes currently used for low temperature fuel cell systems. The space-aircraft had two stack of 1 kW. Each stack was made of 32 cells, working at low temperature (20°C) fed with hydrogen and oxygen (stored under cryogenic conditions) with high Pt (catalyst) loading in the electrodes.

The fuel cells (a 1.5 kW generator) employed in the Apollo program were based on an alkaline electrolyte (KOH) allowing the use of a Ni catalyst and operating at higher temperatures about 260°C. Curiously, the mass-media dealt with fuel cells only when the Apollo 13 mission failed since it was stated erroneously that the bad-operation of a stack was the cause of such failure. On the contrary, it was a damage to the oxygen-feed system and not to the electrochemical device that caused the problem. Until today, fuel cells still maintain a prevailing role in the energy production for space missions.

* * *

nante nella produzione di energia nelle imprese spaziali.

Negli anni '70 la crisi petrolifera portò in primo piano il problema della disponibilità delle risorse energetiche, mettendo a nudo la strettissima dipendenza dei paesi importatori di petrolio da quelli produttori. Proprio grazie a questi avvenimenti, la ricerca scientifica s'interessò maggiormente alle fonti energetiche rinnovabili, ed alle tecnologie energetiche che più efficacemente potessero sfruttare le fonti tradizionali. A questa importante esigenza si è più recentemente affiancata quella relativa alla riduzione dell'impatto ambientale ed in questo quadro di riferimento, la ricerca e sviluppo della tecnologia delle FC ha avuto un nuovo e definitivo slancio in avanti.

PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DI UNA CELLA A COMBUSTIBILE

Le celle a combustibile sono generatori elettrochimici capaci di convertire, direttamente ed in modo continuo, l'energia chimica di un combustibile in energia elettrica.

Una cella a combustibile è composta da un anodo (un elettrodo negativo), uno strato di elettrolita al centro ed un catodo (elettrodo positivo). La cella è alimentata dall'esterno da un gas riducente (combustibile) ed un ossidante (ossigeno o aria) che vengono convogliati continuamente rispettivamente all'anodo ed al catodo.

L'ossidazione elettrochimica del combustibile e la riduzione dell'ossidante danno luogo alla produzione di energia elettrica, acqua e calore a temperature diverse a secondo della tipologia di FC.

Il passaggio delle cariche negative attraverso il circuito esterno fino al catodo fa reagire gli ioni H^+ con l'ossigeno presente al catodo, formando acqua e producendo calore (la reazione è esotermica).

La natura degli elettrodi è imposta dal ruolo che essi devono avere all'interno di una cella, cioè permettere il passaggio delle fasi gassose o liquide dei reagenti e lo smaltimento dell'acqua formata nella reazione. Essi sono generalmente costituiti da un elemento a struttura porosa.

In the sixties, the energy crisis, connected with oil supply, made evident the problem of energy resources and the strict dependency of the economy of industrialised nations on the oil-producing countries. It was mainly due to a such world situation that an increasing scientific interest was addressed to the renewable power sources and the energy technologies capable of higher efficiencies with respect to conventional systems. Besides, it was recently emphasised the need of a reduction of the environmental impact. Under this framework, the R&D in the fuel cell field has gained momentum in the last few years achieved significant progress.

PRINCIPLES OF OPERATION OF A FUEL CELL

Fuel cells are electrochemical generators which convert directly and continuously the chemical energy of a fuel into electrical energy.

A simple fuel cell system is composed of an anode (negative electrode), an electrolyte (in between) and a cathode (positive electrode).

The cell is fed externally by a reducing gas (fuel) and an oxidant gas (oxygen or air) which are simultaneously supplied to the anode and cathode, respectively.

Both the fuel and oxidant reach the electrode-electrolyte interface without coming into contact. The fuel is oxidized and the oxidant is reduced with the simultaneous production of water and heat; the device can operate at different temperature depending on the kind of fuel cell.

In a solid polymer electrolyte fuel cell, air is supplied to the cathode and hydrogen to the anode. The hydrogen is oxidized to H^+ on the electrode releasing electrons. A transport of protons occurs through the membrane towards the cathode where they participate in the reduction reaction of oxygen molecules along electrons that have reached the cathode through the external circuit. The overall reaction (exothermic) produces water, heat and electrical energy. The behaviour of the electrodes is determined by the cell characteristics. Their role is to allow a fast transport of reactants (gas or liquid), and removal of the reaction products (water). They have a porous design. The heat produced during the electrochemical reaction in the high temperature fuel

Il calore emesso nel corso delle reazioni elettrochimiche non è un prodotto di scarto; nelle celle che lavorano a media e alta temperatura, esso può essere recuperato ed utilizzato direttamente o, nei casi estremi di produzione a temperature prossime ai 1.000°C , sfruttato per un ciclo in cascata, in combinazione con turbine a gas per produrre energia elettrica. Il combustibile più indicato è l'idrogeno, per la sua alta reattività e perché facilmente ottenibile da idrocarburi e da fonti energetiche rinnovabili (biogas, solare fotovoltaico ed eolico mediante elettrolisi dell'acqua). L'ossidante più usato è l'ossigeno, contenuto nell'aria. L'efficienza di una cella a combustibile è vincolata solamente dalla capacità di conversione dei reagenti ed il suo massimo teorico è superiore all'80%. Le perdite sono imputabili, in genere, a problemi di natura ohmica, di trasporto di massa ed alla lenta cinetica di reazione. Le celle a combustibile sono convenzionalmente classificate in base al tipo di elettrolita presente al loro interno, che ne determina la temperatura di lavoro:

- *Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC*
- *Alkaline Fuel Cell, AFC*
- *Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC*
- *Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC*
- *Solid Oxide Fuel Cell, SOFC*
- *Direct Methanol Fuel Cell, DMFC*

Il campo d'impiego di un tipo di FC è determinato dalle sue caratteristiche di funzionamento, ed in particolare dalla temperatura di lavoro e dal tipo di combustibile utilizzato.

La temperatura di funzionamento della cella influenza la cinetica di reazione, che aumenta con la temperatura. Quando essa è particolarmente alta, il calore generato può essere vantaggiosamente utilizzato, migliorando l'efficienza generale del sistema di produzione, ma può presentare una serie di inconvenienti: le dilatazioni termiche rendono difficile l'assemblaggio dei componenti, gli stress termici richiedono materiali in grado di sopportare condizioni di lavoro particolarmente severe, la durata di vita della cella è ampiamente influenzata dai cicli di funzionamento, ed è infine richiesto un tempo di avvio piuttosto lungo.

cells (600°C - 1.000°C) can be used for thermal management or directly utilized in cogeneration systems; the latter combine fuel cells with gas-turbine in a cascade design. The ideal fuel is pure hydrogen mainly due to its high electrochemical activity; it is easily produced from hydrocarbons and from renewable power sources (biogas, photovoltaics, wind through water electrolysis). The oxidant mostly used is air. The efficiency of a fuel cell is only determined by its capability to convert chemical to electrical energy to a theoretical upper limit of about 80%. Efficiency losses are due to ohmic constraints, mass transport limitations) and the energy necessary to electrochemically activate the reaction. Fuel cells are generally classified depending on the kind of electrolyte in the cell. The electrolyte determines the level of operation temperature:

- *Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC*
- *Alkaline Fuel Cell, AFC*
- *Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC*
- *Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC*
- *Solid Oxide Fuel Cell, SOFC*
- *Direct Methanol Fuel Cell, DMFC*

The application of a FC is determined by its operation characteristics, especially by the working temperature and by the fuel utilized.

The working temperature of the cell influences the reaction kinetics which significantly increase with temperature. If the cell temperature is sufficiently high, the heat generated can be used in a cogeneration system allowing to increase the efficiency. Yet, an increase of operation temperature has a series of drawbacks: thermal expansions make difficult the assembly of various components, high thermal stresses need of advanced materials; the cell life-time is influenced significantly by the operation cycles; and, generally, a long start-up is needed.

Un altro aspetto importante dell'alta temperatura è la possibilità di produrre l' H_2 all'interno della stessa cella a partire da combustibili convenzionali, effettuando un reforming interno. Questa possibilità si traduce in una maggiore semplicità del sistema, eliminando la necessità di un processore esterno ed alimentando direttamente la cella con un combustibile convenzionale.

Le celle a combustibile ad alta temperatura (MCFC e SOFC) si prestano quindi ad applicazioni legate alla produzione di energia elettrica per usi stazionari ed alla cogenerazione elettricità-calore.

LE CELLE A COMBUSTIBILE A BASSA TEMPERATURA

Per quanto riguarda le applicazioni nei trasporti e nel settore dei dispositivi portatili, l'energia termica ad alta temperatura costituisce un problema. Per questa ragione vengono preferite le celle a bassa temperatura, nelle due varianti ad elettrolita polimerico (PEFC) ed a metanolo diretto (DMFC). Questa scelta è principalmente dovuta, oltre che alla temperatura di lavoro relativamente bassa, alla alta efficienza ed alla facilità di costruzione. Inoltre, le DMFC, grazie alla possibilità di utilizzare direttamente metanolo, consentono un facile accumulo a bordo del combustibile in forma liquida.

POLYMER ELECTROLYTE FUEL CELL (PEFC).

In questo tipo di celle a combustibile l'elettrolita è costituito da una membrana polimerica conduttrice protonica.

La temperatura di lavoro è attualmente limitata a circa 70-90°C dall'uso delle membrane polimeriche, pertanto la cinetica di reazione richiede la presenza di catalizzatori (prevalentemente platino). Tuttavia, sono in corso attività di sviluppo di nuove membrane, in grado di lavorare a temperature più elevate per favorire così sia la cinetica di reazione che il possibile sfruttamento dell'energia termica prodotta dalla cella, soprattutto nelle applicazioni stazionarie.

Gli elettrodi, a struttura porosa, sono ottenuti depositando il catalizzatore (platino), finemente disperso, su un substrato conduttore. Quest'ultimo consiste in uno strato di polve-

An advantage of high temperature operation is that conventional fuels can be converted to H_2 inside the cell by an internal reforming reaction. Such possibility allows the simplification of the system since there is no need of using an external fuel processor by feeding the fuel cell with a conventional fuel. High temperature fuel cells (MCFC and SOFC) show interesting perspectives regarding the electrical energy production for stationary applications and for cogeneration of heat and electricity.

LOW TEMPERATURE FUEL CELLS

For the application of FCs in the field of transportation and portable systems, the thermal energy produced under high temperature operation cannot easily be dissipated. For this reason, low-temperature polymer electrolyte fuel cells, are preferred; both direct methanol and hydrogen-fed cells are being intensively investigated even though some studies are focused on alternative types of fuel cells. This choice is mainly due to the relatively low temperature, high efficiency, ease of fabrication and selection of low cost materials. DMFCs, allow a direct use of methanol with an easy storage on board of the liquid fuel. Due to the significant advances achieved in the field of low temperature fuel cells, these systems are described in detail in the following paragraphs.

POLYMER ELECTROLYTE FUEL CELLS (PEFC).

The electrolyte in these systems is a proton conducting polymer membrane. The working temperature is limited to about 70-90°C by the polymer electrolyte. Thus, the reaction kinetics need very active noble metals such as Pt for high rates.

New membranes have recently been developed allowing operation at higher temperatures which favour the reaction rates and the possible use of thermal energy produced by the cell. Electrodes with porous structure are obtained by deposition of finely dispersed Pt particles on a conductive support. The latter consists of a carbon black powder mixed with a polymer acting as binder agent. The catalyst layer is deposited on a carbon cloth or carbon paper support. Accordingly, the fuel processor must contain a section devoted to the abatement of the species, e.g. CO; which can act as poisons Pt. Air is gen-

re di carbone, legata con un polimero, su di un supporto poroso in tessuto di carbone.

Le attuali basse temperature di lavoro implicano inoltre l'utilizzo di idrogeno puro per evitare l'avvelenamento del catalizzatore. Pertanto, nella sezione di trattamento del combustibile che precede la cella deve essere previsto lo stadio di eliminazione di impurezze, in particolare del CO. L'alimentazione del catodo, invece, avviene normalmente con aria.

Le PEFC hanno raggiunto ormai uno sviluppo che le rende quasi pronte alla diretta applicazione ai trasporti. Per tale tecnologia il passo successivo è costituito dalla riduzione dei costi, mediante l'industrializzazione dei processi di fabbricazione, l'impiego di materiali più economici per la realizzazione dei piatti bipolari e la diminuzione delle quantità di catalizzatore (platino). A tale scopo l'impiego di nuovi catalizzatori o di materiali innovativi che permettano sia una maggiore economia che un aumento dell'efficienza della cella, potrebbero costituire un fattore decisivo.

L'attuale sviluppo ha portato ad ottenere per le PEFC elevate potenze specifiche (1kW/l, corrispondenti a circa 50 litri occupati in un'auto di media potenza), e sono stati fissati per la commercializzazione i seguenti obiettivi di costi e durata: 100 Euro/kW e 5.000 ore di funzionamento. Tale durata corrisponde, nel caso il sistema sia montato su una vettura, a circa 100.000 Km di percorrenza. Per gli impianti di potenza per applicazioni stazionarie gli obiettivi sono un costo non superiore a 1.000 Euro/kW ed una durata superiore alle 40.000 ore.

erally fed to the cathode. PEFCs have achieved a high level of development; thus, they are mature for the application in electro-traction. The next steps for a further development of the technology are the reduction of costs through development of large-scale fabrication procedures, use of less expensive materials for bipolar plates and reduction of Pt loading. Accordingly, the development of new catalysts or innovative materials is needed to reduce costs and increase efficiency which are essential for the diffusion of such technology.

The recent research and development activities have led to high specific powers (1 kW/l; which corresponds to a stack volume of 50 l. in a medium size car) and the following targets in terms of costs and life-time have been established for the commercialisation of fuel cells: 100 Euro/kW and 5000 hours of operation which correspond to 1000.000 km made by a conventional vehicle. For powerplants the goals are a cost lower than 1000 Euro/kW and lifetime higher than 40.000 hours.

• • •

Una cella a combustibile polimerica può essere alimentata direttamente con idrogeno puro contenuto in bombole oppure prodotto da un dispositivo, chiamato «Fuel Processor» (FP) che trasforma il combustibile «primario», conservato nel serbatoio del veicolo, in un gas ricco in H_2 che alimenta il sistema PEFC. Il gas ottenuto all'uscita del FP è una miscela contenente CO, che è particolarmente dannoso per il funzionamento e la durata delle PEFC. Infatti la presenza del CO nella miscela di alimentazione dell'anodo disattiva il catalizzatore, diminuendo, fino ad annullare, le prestazioni della FC.

Per arrivare a concentrazioni di CO inferiori a 10 ppm il FP è composto da tre stadi; il primo (autotermico o ad ossidazione parziale) compie una trasformazione del combustibile in idrogeno con contenuti di CO in uscita che possono arrivare sino a 6-18%; un secondo stadio effettua un'ulteriore conversione (shift) del CO residuo in CO_2 , fino a concentrazioni di circa lo 0.8-1%, con ulteriore produzione di H_2 ; ed infine un terzo stadio, mediante un processo di ossidazione selettiva (PROX), riduce la concentrazione di CO fino a qualche ppm trasformandola in CO_2 . Un FP, per alimentare un sistema di FC su un autoveicolo, oltre a produrre con alto rendimento l'idrogeno con bassi valori di CO, deve soddisfare alcuni importanti requisiti: una rapida risposta alle variazioni di carico della cella e quindi una capacità di alimentare la FC rapidamente; un breve tempo di avvio del sistema a freddo ed, infine, deve avere bassi livelli di ingombro e peso.

DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC). Le celle a combustibile a metanolo diretto costituiscono l'ultima generazione delle FC e possono considerarsi derivate dalle PEFC, in quanto entrambe usano una membrana polimerica come elettrolita. Tuttavia le DMFC si distinguono per il combustibile utilizzabile, infatti possono essere alimentate direttamente con metanolo poiché sono in grado di ossidarlo elettrochimicamente, grazie all'utilizzo di una nuova classe di catalizzatori.

A fuel cell can be fed with pure hydrogen or hydrogen produced on board by a fuel processor. This system converts the primary fuel stored in a tank to a hydrogen rich gas which is fed to the cell. The gas produced by the fuel processor contains carbon monoxide; CO molecules contained in the hydrogen stream cause catalyst poisoning and a significant decrease of the fuel cell performance. In order to decrease the CO content to less than 10 ppm, the fuel processor is composed of three sections; the first is an autothermal process involving a partial oxidation which produces a hydrogen rich stream with CO contents ranging from 6 to 18%. In a second step, a further conversion (shift) of residual CO to CO_2 reduces the CO concentration to 0.8-1% with a consequent decrease of CO content. In the third section, a selective oxidation process (PROX) reduces the CO concentration to a few ppm. The prerequisites of a fuel processor for applications in electric vehicles are: i) high efficiency for H_2 production with low CO contents in the stream, ii) rapid response to cell load variations (rapid flow of H_2 to cell), iii) fast start-up response to the system and low weight and volume.

DIRECT METHANOL FUEL CELL (DMFC). Direct methanol fuel cells represent the last innovation in the field of fuel cells and they conceptually derive from PEFCs since both employ a polymeric membrane. DMFCs are directly fed by methanol, which is oxidized by the anodic catalyst to CO_2 .

La possibilità di utilizzare il metanolo liquido direttamente in cella rende le DMFC particolarmente adatte all'impiego nel settore automobilistico, grazie alla notevole semplificazione del sistema e alla riduzione del suo ingombro, anche a scapito di un minore rendimento totale.

L'efficienza teorica è circa del 35-40 % operando a temperature tra i 70 e 100°C, efficienze superiori si potranno ottenere a temperature più elevate.

Al grande interesse verso questo tipo di tecnologia, si affianca la necessità della risoluzione di problematiche tecniche ancora aperte e che limitano la loro immediata applicazione. Le DMFC infatti hanno un decadimento nel tempo ancora molto rapido, una bassa efficienza, presentano problemi di "cross-over" (parte del metanolo che alimenta l'anodo attraversa la membrana elettrolitica ed arriva al catodo disattivando il catalizzatore) del combustibile ed inoltre la quantità di catalizzatore necessario è elevata, se paragonata a quella delle PEMFC.

CAMPI DI APPLICAZIONE DELLE FC

Dopo le applicazioni spaziali, alle quali si è già accennato, le celle a combustibile hanno trovato più recentemente anche un vasto impiego nel campo della produzione d'energia elettrica, sia nelle grandi centrali di potenza, sia per la produzione "on site". Centrali di potenza sono state installate in numerose località, in Giappone, in Europa e negli USA, dove si è passati dalla fase di prototipo alla fase di valutazione tecnico-economica.

In campo militare, le celle a combustibile hanno trovato impiego nei sottomarini e nei mezzi terrestri, grazie alla loro bassa rumorosità e "traccia" termica che ne rende difficile la rilevazione all'infrarosso, mentre è già allo studio l'applicazione al settore navale che prevede la costruzione d'unità leggere per la sorveglianza delle coste.

Tuttavia, le applicazioni più interessanti al fine di uno sviluppo su larga scala della tecnologia delle FC, rimangono la generazione elettrica di potenza per usi stazionari, il settore dei veicoli e quello dell'elettronica portatile.

These systems are particularly suited for applications in the field of electro-traction even though the overall efficiency is slightly lower than a PEMFC, about 35-40% vs. 45 to 50% at temperatures ranging from 70 to 100°C; a higher efficiency is expected during operation at higher temperatures. Although there is a large interest in this technology, there is a series of drawbacks which still limit their application. In fact, DMFC show a performance decay with time, a low efficiency and methanol cross-over which affects the fuel utilization. Moreover the catalyst loading is still high.

* * *

APPLICATION FIELDS OF FUEL CELLS

The first application of these systems, based on a polymeric acid electrolyte, was together with storage batteries in the space-mission Gemini. Successively, in the Apollo program alkaline cells were employed for a combined generation of heat and water in the space Shuttle. No storage batteries were utilized. The alkaline fuel cells still remains as the major power source in the space shuttles, which use photovoltaic panels. Recently, fuel cells have been selected for specific applications such as energy supply for electric vehicles employed for transportation over planets in space missions.

Fuel cells have recently found a wide application in the distributed production of electrical energy both in powerplants and in remote sites. Powerplants have been installed in various countries including Japan and EU nations and USA where a transition from the prototypal phase to technological evaluation was actuated.

Fuel cell have been employed in military applications in sub-marines and for land-transportation for low noise level and for low temperature operation which overcome detection by infrared systems. An application of fuel cells in small ships acting as coast-guards is currently under study. Yet, the most interesting perspectives of large-scale fuel cell application rely in the development of power generators for stationary applications, electric vehicles and portable power sources.

* * *

STAZIONARIO

Generazione di potenza. La maggior parte di energia elettrica è oggi generata da alternatori mossi da turbine a vapore con rendimenti teorici massimi di circa il 66%; in pratica, a causa delle perdite inevitabili nei diversi passaggi, con gli impianti più moderni e di maggiori dimensioni si riesce a raggiungere circa il 40%. La cella a combustibile, che trasforma direttamente l'energia chimica di un combustibile in energia elettrica, si differenzia perciò nettamente dai generatori elettrici convenzionali per la maggiore resa elettrica. Inoltre, il rendimento delle celle è indipendente dalla potenza installata, mentre per gli impianti convenzionali il rendimento decade rapidamente al diminuire della taglia dei generatori. Per la produzione di energia elettrica di potenza le celle a combustibile presentano pertanto numerosi vantaggi nei confronti dei sistemi convenzionali, tra i quali essenzialmente:

- maggiore flessibilità di uso, in quanto sono più adatte a fronteggiare le esigenze di un carico elettrico variabile, mentre la loro efficienza non è legata alle dimensioni dell'impianto;
- maggiore efficienza elettrica, poiché consentono, a parità di energia elettrica prodotta, di risparmiare combustibile;
- minore impatto ambientale, dato che i livelli di inquinamento chimico ed acustico sono molto bassi;
- maggiore facilità di programmazione e costruzione: in rapporto alla struttura modulare, i tempi di costruzione possono essere fortemente ridotti e la potenza della centrale può essere incrementata nel tempo.

□ □ □

Generazione on site. I generatori On-Site sono apparecchiature di cogenerazione in grado di fornire sia energia elettrica che calore, collocate direttamente nel punto di utilizzo. Sia la cogenerazione che la generazione distribuita rispondono però ad esigenze di tipo sia ambientale (emissioni, riduzioni della CO₂) che socio-politico (gestione e controllo a livello locale, competitività, qualità e flessibilità dei servizi) che assumeranno importanza sempre maggiore nel medio-lungo termine. Quindi è prevedibile uno spazio crescente per

STATIONARY APPLICATIONS

Power generation. The largest part of electrical energy is today produced by gas-turbines. According to the Carnot cycle, the maximum theoretical efficiency is 66%; yet, due to some practical limitations modern plants of large dimensions have efficiencies of about 36%. A fuel cell which converts chemical energy directly to electric energy has a advantage over the conventional electric generators, because of not being Carnot limited and having a higher efficiency. Furthermore, the efficiency level does not significantly depend on the size of the power plant, unlike that conventional generators. For the production of electrical energy in power-plants, fuel cells possess various advantages with to the conventional systems consisting in:

- higher flexibility, efficiency non-dependent on size, rapid response to load variations;
- high electrical efficiency and lower fuel consumption;
- lower environmental impact with extremely low noisy and chemical pollution;
- high modularity and easy fabrication with lower realization times. The size of the power plant may be increased without significant modification in its structure.

On-site generation. On-site generators are cogenerators which supply both electrical and heat energy. These devices are directly located on the place where the electrical power is needed. Both cogeneration and distributed generation match suitably with environmental needs (low emission, lower CO₂ release) and social as well as political needs (local control, competitively, quality of the service) which will assume great importance with time. Thus, it may be hypothesized an increasing interest for energy production technologies of small-medium size with high efficiency and low environmental impact such as fuel cells. It may be affirmed that in the short to mid term, depending on the different working characteristics (operation temperature, size etc.) the various kinds of fuel cells may be utilized for:

- distributed (electricity) generation and cogeneration for civil uses and for small-size industries by polymer electrolyte fuel cells with a variable power from a few kW to some hundreds of kW and by phosphoric acid

tecnologie di generazione di piccola-media taglia, ad elevata efficienza e limitato impatto ambientale, come le celle a combustibile. Si può affermare che nel breve-medio termine, in funzione delle loro differenti caratteristiche operative (temperatura di funzionamento, efficienza, taglia, ecc.), i vari tipi di celle potranno essere utilizzati per:

- la generazione distribuita e la cogenerazione per usi civili e per industrie leggere con celle ad elettrolita polimerico, con potenze variabili da qualche kW ad alcune centinaia di kW e con celle ad acido fosforico per potenze da qualche centinaio di kW ad alcuni MW;
- la generazione distribuita e la cogenerazione per usi sia civili che industriali, anche ad alta temperatura, con le celle a carbonati fusi (con potenze variabili da qualche centinaio di kW a qualche decina di MW) e ad ossidi solidi (da qualche kW a qualche decina di MW).

TRASPORTI. Nella generazione on-board, le FC presentano dei vantaggi rispetto sia ad un motore a combustione interna (ICE) sia ad un veicolo a trazione elettrica con accumulatori. Esse rappresentano, di fatto, uno «Zero Emission Vehicle» (ZEV), se alimentate direttamente con H_2 , o quanto meno un «Near Zero-Emission Vehicle» (NZEV), con l'uso di combustibili convenzionali, senza gli svantaggi ed i limiti dei veicoli a trazione elettrica con accumulatori (elevato peso, bassa autonomia, lunghi tempi di ricarica, ecc.) né dei veicoli con ICE (alto inquinamento, rumorosità, necessità di manutenzione).

fuel cells with powers ranging from some hundreds of kW to a few MW;

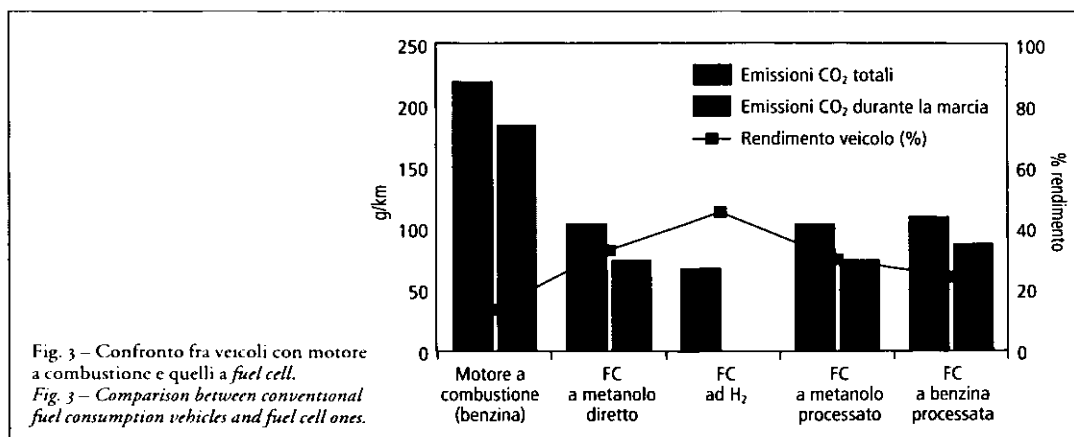
- *distributed (electricity) generation and cogeneration for civil as well as industrial uses by high temperature fuel cells such as molten carbonates based cells (from a few hundreds of kW to some tens of MW) and solid oxide fuel cells (from some kW to a few tens of MW).*

* * *

TRANSPORTATION. *For on-board electrical power generation, FCs show advantages over storage batteries for transportation. Fuel cells represent, in practice, a «zero emission vehicle» (ZEV), if they are fed directly by H_2 or at least a «near zero-emission vehicle» (NZEV) if they are fed by conventional fuels which are transformed to H_2 via a reformer. In this latter case, they are not affected by the disadvantages and limits of the electrical vehicles based on storage batteries (large weight, low energy density, long-times of recharge) or the problems affecting ICE vehicles (high level of pollution, noisy operation, needs of maintenance).*

Fuel cells produce significantly lower amounts of greenhouse gases-gas and of polluting gases (NO_x , CO, HC, etc., except CO_2), with respect to an ICE on a fuel consumption basis (Fig. 3). They combine the advantages of an electric and ICE vehicle in terms of performance, fuel utilization and refilling.

The main aspects which can address the car manufacturers towards the development of ICE than fuel cell vehicles are the significant amount of investments made on this field (ICE), the state of advances in ICE technologies, the need to create a new fuel-distribution infrastructure for



Le FC hanno una bassissima produzione di gas serra e di sostanze inquinanti (NO_x , CO, HC, ecc., CO_2 esclusa), rispetto ad un ICE, a parità di consumo di combustibile (Fig. 3). Esse riuniscono i vantaggi di un veicolo a trazione elettrica a quelli di un ICE in termini di prestazioni, consumi e possibilità di rifornimento.

Altri aspetti che possono invece far orientare l'industria verso un miglioramento delle caratteristiche di un ICE piuttosto che nello sviluppo di FC per i trasporti, risiedono principalmente nei grandi investimenti e nella grande base industriale su cui può contare tale tecnologia, la necessità di creare ex novo una rete di distribuzione del combustibile, ad es. H_2 , comporterebbe degli investimenti a carico delle società distributrici che potrebbero rallentare l'introduzione di questa tecnologia. Si prevedono, allo stato attuale, ulteriori sviluppi nel campo dei diesel con un notevole abbattimento delle emissioni ed un aumento dell'efficienza, fattori che porterebbero a competere vantaggiosamente con le FC, almeno nel breve termine.

H_2 stoccato a bordo del veicolo. Questa configurazione è la più semplice rispetto al sistema di alimentazione e trasformazione energetica, ma va incontro a problemi di distribuzione dell' H_2 , per impieghi massivi ed a problemi di sicurezza. Per lo stoccaggio "on board" le principali direttive di ricerca sono indirizzate verso: idrogeno compresso a 200 bar, con capacità di stoccaggio compresa fra 0.5 - 2 kWh/kg, ma con evidenti problemi di sicurezza; idrogeno liquido (6 kWh/kg) estremamente costoso; idruri (0.66 kWh/kg) con autonomia limitata dall'eccessivo peso; carboni attivi (1 kWh/kg) e nanostrutture ancora a livello di laboratorio e le cui prospettive sono ancora da verificare (Fig. 4).

In ogni caso la previsione di utilizzo su larga scala può essere fatta solo sul lungo termine, a valle di significative rimodulazioni dei sistemi di produzione e di distribuzione di idrogeno.

H_2 prodotto a bordo del veicolo. Questa configurazione prevede un sistema di trattamento del combustibile per l'ottenimento di miscele

fuel cells which require significant investments. All those aspects cause a delay for the diffusion of FC technology into the transportation sector. At present, further developments are planned in the field of diesel engines with further reduction of emissions and increase of efficiency. These features increase the level of competition between FC and ICE vehicles.

Other countries in which significant advances have been achieved in the field of FC as USA, Japan and EU have brought a new interest from car manufacturers allowing to foresee a large-scale diffusion of FC vehicles in the next decade. Among the various types of fuel cells, those based on a polymer electrolyte represent the last compromise between operation temperature, power, weight and volume for mobile applications. The main FCEVs (fuel cell electric vehicles) are based on:

- *on-board stored hydrogen FC system;*
- *on-board produced hydrogen FC system;*
- *direct methanol FC system.*

On-board stored hydrogen FC system. This configuration is the most simple in terms of fuel supply to the cell and energy conversion; but, there are still a few problems to be solved mainly connected with hydrogen distribution and safety (Fig. 4). For the storage "on board" the main perspectives are represented by use of:

- *compressed hydrogen (200 bar) with storage capacity of 0.5-2 kWh/kg but with significant safety problems;*
- *liquid hydrogen (6 kWh/kg), extremely expensive;*

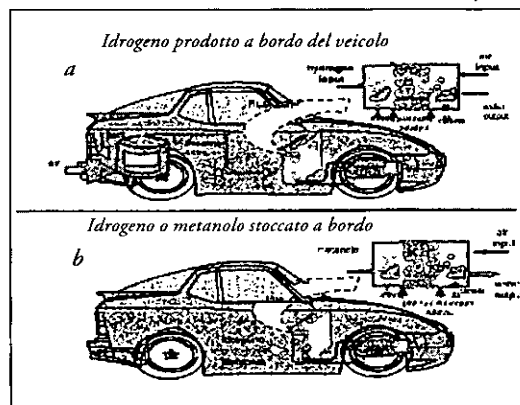


Fig. 4 — Confronto fra veicoli a FC alimentati con sistema a) indiretto e b) diretto.

Fig. 4 — a) on-board produced hydrogen FC system; b) on-board stored hydrogen FC system.

le di gas ricche di idrogeno tramite opportuni processi di ossidazione parziale o di reforming a bordo del veicolo. Da un punto di vista tecnico, per la scelta del combustibile bisogna tener conto di alcuni importanti fattori, come l'elevata densità di energia, la larga disponibilità, i costi accettabili, ipotesi concrete di produzione, stoccaggio e distribuzione, tossicità e pericolosità paragonabile a quella dei combustibili tradizionali. Ovviamente, altre considerazioni di natura socio-politica ed economica giocano un ruolo determinante nella ipotesi di selezione del combustibile. In base a queste valutazioni le attività sono principalmente concentrate sull'utilizzo del metanolo e della benzina riformulata. La maggiore complessità del sistema di alimentazione del veicolo modifica di riflesso il quadro generale dei rendimenti energetici e degli impatti ambientali.

Metanolo diretto. La possibilità di utilizzare il combustibile direttamente in cella rende le celle a combustibile polimeriche a metanolo diretto (DMFC) particolarmente adatte per la generazione di potenza a bordo dei veicoli. In questo caso è infatti possibile realizzare sistemi semplici e compatti in quanto viene eliminato lo stadio del trattamento del combustibile e lo stoccaggio e la distribuzione del metanolo presentano minor complessità rispetto a quelle dell'idrogeno. Tuttavia tale tecnologia non ha raggiunto la maturità necessaria all'applicazione su vasta scala e quindi, allo stato attuale, necessita ancora di massiccia attività di ricerca e sviluppo.

APPLICAZIONI PORTATILI. Una FC operante a metanolo o ad idrogeno, potrebbe di contro fornire energia per tempi almeno 30 volte superiori alle attuali batterie NiCd. Inoltre, a parità di peso, combustibili ricchi in idrogeno contengono energia elettrochimica due unità di grandezza più elevata rispetto a qualunque tipologia di batteria.

Queste considerazioni hanno accelerato le attività sperimentali per l'utilizzo di FC per piccole unità elettroniche che necessitano di alimentazione elettrica di alta qualità.

Le principali problematiche ancora da risolvere sono legate alla complessità del disegno

- *hydrides (0.66 kWh/kg) with low energy density and range due to the excessive weight;*
- *active carbons and nanofibers; these are investigated, presently, at a lab. level and their characteristics need of a validation on a large scale.*

A large-scale diffusion of such systems may be hypothesised only after significant modifications of the hydrogen production and distribution plants.

On-board produced hydrogen. For such a configuration, the fuel is processed on-board to obtain a hydrogen through various processes of partial-oxidation and reforming. From a technical point of view, some important aspects must be taken into account for the selection of the fuel; these are energy density, large availability, acceptable costs, perspectives of development, suitable production and storage processes as well as easy distribution. Finally, toxicity and safety levels must be comparable to or lower than the present fuels. Of course, other social and political considerations play a significant role for the final choice of the fuel. On the basis of such evaluations, the research activity is mainly focused on the use of methanol, gasoline and methane. The larger complexity of the fuel feed system in a vehicle, by consequence, changes the general picture of energy efficiencies and environmental impacts.

Direct methanol. The perspective of using a direct fuel feed in the cell makes these systems (DMFCs) particularly suited for on board power generation. In this regard, it is possible to realise simple and compact systems mainly due to the absence of a cumbersome fuel processor and the storage and distribution of methanol show lesser limitations than those for hydrogen. However, such technology has still not reached a mature level to be utilized on a large scale and, thus, at present, it needs of significant efforts in terms of research and development.

PORTABLE APPLICATION. *In the last few years, significant progress has been made in the development of portable electronic devices. Batteries, which have made advances in technologies represent, at present, the only option possible for*

interno del dispositivo, in particolare rispetto ai sottosistemi di immagazzinamento e di controllo del combustibile ed ossidante, nonché del sistema di raffreddamento. La miniaturizzazione comporta pertanto un equilibrio delicato di diversi fattori, quali potenza, dimensioni, praticità e costi.

STATO DELLA RICERCA E IL CNR

Negli Stati Uniti sin dai primi anni '90 il DOE ha promosso il «Fuel Cells for Transportation Program» che ha stimolato un grande interesse nel mondo per lo sviluppo delle Fuel Cells destinate ad applicazioni mobili, stazionarie e sistemi portatili. L'obiettivo del DOE non è quello di realizzare auto a FC ma di promuovere lo sviluppo tecnologico in modo da sostenere le industrie produttrici di celle, quelle automobilistiche ed i laboratori di ricerca nello sforzo necessario al raggiungimento degli obiettivi previsti dal PNVG (Partnership for a New Generation of Vehicles). Le maggiori compagnie attualmente coinvolte nello sviluppo delle PEFC sono la Ballard (Canada), Energy Partners, MTI, IFC, H Power (USA), Sanyo, Mitsubishi, Fuji, Toshiba (Giappone), Siemens (Germania) e De Nora (Italia). Accanto a queste un nutrito gruppo di compagnie si occupano della produzione di singoli componenti e numerose case automobilistiche finanziano programmi di sviluppo di veicoli elettrici alimentati con PEFC ed utilizzanti direttamente idrogeno come combustibile oppure metanolo o benzine riformate "on-board". È questo il caso della Daimler-Benz che ha dato il via, nel '93, ad un'attività di collaborazione con la Ballard per lo sviluppo di sistemi per l'autostrazione. Nell'ambito di questa collaborazione sono stati realizzati bus alimentati ad idrogeno e veicoli «classe A» alimentati a metanolo con processore di idrogeno. In Europa, anche Ford, Volkswagen, Volvo, PSA Peugeot-Citroën, Renault, Opel e Fiat hanno avviato programmi di ricerca e sviluppo nel settore. Ovviamente allargando il panorama a Stati Uniti e Giappone bisogna menzionare le tre grandi case americane (General Motors, Ford e Chrysler) e le giapponesi Toyota, Nissan, Honda e Mazda. In definitiva tutto il settore dell'automobile è in fer-

devices requiring electrical powers up to 100 W. However, the main limitations of batteries for applications such as cellular phones and laptop computers, are the large weight and volume as well as the small energy density that limits the operation period before recharging. Replacement of batteries also have problems of recyclability, since the base materials cannot be easily re-used. On the other hand, a methanol or hydrogen fuel cell, may provide an energy density 30 times higher than the present Ni/Cd. Furthermore, hydrogen rich fuels have an electrochemical energy density two orders of magnitude higher than a battery on a weight basis. Such considerations have stimulated a number of experimental activities for the use of FCs in small electronic devices that need high technology electrical energy supply. The main problems to be solved are related to the complex design of the device, in particular regarding the distribution of fuel well as the thermal management. The micro-engineering of these systems requires a delicate compromise between various features involving power density levels, dimensions, costs, etc.

STATE OF THE RESEARCH AND CNR

In the United States, in the last decade, the «Department of Energy» promoted the «Fuel Cells for Transportation Program» which has stimulated a large interest in the world towards the development of fuel cells for stationary, mobile and portable applications. The aim of DOE is not to realise a FC based electrical vehicle but to promote the technological development in this field and to support the work of FC manufacturers, auto-makers and research laboratories in the common effort to achieve the goals of the «Partnership for a New Generation of Vehicles» (PNVG). The major companies presently involved in the development of PEFCs are Ballard (Canada), Energy Partners, MTI, IFC, H Power (USA), Sanyo, Mitsubishi, Fuji, Toshiba (Japan), Siemens (Germany), and De Nora (Italy). Besides these companies, new ones are involved in the manufacturing of the system components and various car-makers have supported development programs for electric vehicles fed by PEFCs and utilizing directly hydrogen as a fuel or methanol or gasoline reformed "on board". In this regard, Daimler-Benz started in 1993 a collaboration with Ballard for the devel-

mento con l'obiettivo di produrre in serie fin dal 2004 auto elettriche alimentate a celle a combustibile.

Lo sviluppo delle DMFC è basato essenzialmente sulla risoluzione di problematiche ancora allo stadio di laboratorio, ed è fortemente supportato dal DOE e dalla UE. Un gran numero d'organizzazioni in Danimarca, Francia, Irlanda, UK, Italia, Germania e Spagna sono impegnate nello sviluppo di componentistica innovativa finalizzata al miglioramento della cinetica di ossidazione del metanolo alla diminuzione dei fenomeni di "cross over" del combustibile attraverso la membrana elettrolitica ed alla riduzione dei costi di alcuni componenti. Recentemente è stato avviato un progetto all'interno del JOULE III, avente come obiettivo lo sviluppo di uno stack da 1 kW. A questo programma partecipano, tra gli, altri Peugeot, Thomson-CSF, De Nora ed il CNR-ITAE.

In Italia le attività svolte nell'ambito dello sviluppo delle PEFC hanno riguardato tutti gli aspetti di R&S, dal trattamento del combustibile, allo sviluppo di componentistica innovativa, alla tecnologia di stack. Tali attività, avviate nel 1989, sono state condotte in collaborazione tra De Nora Fuel Cells (stack), ENEA e CNR-ITAE (componenti e «fuel processor»). Gli stack prodotti da De Nora forniscono attualmente una densità di potenza pari a 0.25 kW/kg per unità da 30 kW, ed uti-

opment of electro-traction systems. Within this collaboration buses fed with hydrogen and «Class A» vehicles fed with methanol have been realised. In Europe, Ford, Volkswagen, Volvo, PSA Peugeot-Citroën, Renault, Opel and Fiat have started R&D programs in this field. In the USA and Japan industries such as General Motors, Ford, Chrysler, Toyota, Nissan, Honda and Mazda are actively involved in developing FC powered electric vehicles. In general, in the field of automobiles, strong efforts are being made to develop FC powered electric cars for a large-scale production beginning in 2004. The development of DMFCs is essentially based on the solution at a lab. level of some problems that still limit the performance. The development of these systems is strongly supported by DOE and EU. A significant number of organisations in Denmark, France, Ireland, UK, Germany, Italy and Spain are involved in the development of advanced components finalised to the enhancement of methanol oxidation kinetics, reduction of fuel "cross-over" through the electrolyte and decrease of the costs of components. Recently, a project was started in the JOULE III program, with a goal for development of a 1 kW stack. The organisations involved in this program are Peugeot, Thomson-CSF, De Nora and CNR-ITAE. In Italy, the activities developed in the field of PEFC, have regarded all aspects of research and development, from fuel processing to the development of innovative components and stack

Le migliori istituzioni nel settore delle celle a combustibile (su un totale di 783)

The best institutions on fuel cells (total institutions: 783)

	Istituzioni Institutions	Totale articoli Total articles	Longevità Age of institution (Years)
1	NASA, Cleveland, OH, USA	64	8
2	Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, USA	58	11
3	Texas A&M Univ, College Station, TX, USA	48	11
4	Westinghouse Electric Corp, Pittsburgh, PA, USA	42	10
5	Energy Research Corp, Danbury, CT, USA	40	10
6	Argonne National Laboratory, Argonne, IL, USA	36	10
7	CNR - ITAE, Messina, Italy	36	10
8	Mitsubishi Electric Corp, Amagasaki, Jpn	32	11
9	Case Western Reseve Univ Cleveland OH, USA	32	8
10	Illinois Inst. Of Technology, Chicago, IL, USA	28	8
11	U.S. Dep of Energy, Washington, DC, USA	28	9

Fonte / Source: Innovation Forecast of Fuel Cells - Georgia Tech Technology Policy & Assessment Center - April 1998

lizzano materiali a basso costo e tecnologie di fabbricazione adatte alla produzione in serie. In parallelo le attività svolte da ENEA e CNR hanno permesso l'ottenimento di elettrodi a basso contenuto di Pt, con una elevata tolleranza al CO e catodi in grado di operare a bassa pressione di aria.

Il ruolo del CNR nell'ambito della tecnologia delle celle a combustibile è stato quello di promuovere in Italia il passaggio dal processo alla tecnologia, individuando le problematiche scientifiche e tecnologiche che ne limitavano lo sviluppo e impostando lo studio di specifiche attività finalizzate alla riduzione dei costi di materiali e componenti, e all'aumento della potenza specifica e dell'efficienza globale del sistema. Tali attività sono state avviate e condotte in collaborazione con Enti, Società di ricerca nazionali ed internazionali, consentendo di raggiungere obiettivi concreti di assoluta rilevanza scientifica per lo sviluppo di tale tecnologia.

Nel settore delle celle a combustibile a bassa temperatura, il CNR possiede un'ampia competenza sulla tecnologia sviluppata nel corso degli anni a partire dalla realizzazione ed ottimizzazione di un impianto pilota da 1 kW ad acido fosforico (PAFC), nell'ambito del Progetto Nazionale «Volta» coordinato dall'ENEA. Successivamente, nel settore delle celle polimeriche (PEFC) alimentate ad idrogeno puro o ad idrogeno processato, e celle a metanolo diretto (DMFC), destinate al mercato dei trasporti e dei dispositivi portatili, le attività di ricerca sono state indirizzate principalmente allo sviluppo di materiali e componenti dell'intero sistema: elettrocatalizzatori, supporti conduttori, materiali elettrolitici, messa a punto di tecnologie di "assembly" (elettrodi/membrana) ed alla realizzazione di sistemi completi con caratteristiche di elevata potenza specifica. Sono inoltre in corso attività di progettazione e realizzazione di prototipi di celle PEFC di potenza inferiore al kW per applicazioni stazionarie e mobili.

○ ○ ○

La sezione di trasformazione dei diversi combustibili primari in idrogeno (FP) assume particolare importanza per lo sviluppo delle diverse tipologie di celle a combustibile desti-

technology. Such activities, which started in 1989, have been conducted in collaboration among the organizations De Nora Fuel Cells (stack), ENEA and CNR (components and fuel processor). De Nora stacks deliver at present a power density of 0.25 kW/kg per unit of 30 kW and utilise low cost materials and fabrication technologies suitable for large-scale production. The activities developed by ENEA and CNR have allowed, in parallel, to obtain electrodes with low Pt content and high CO tolerance, the structure of the cathode was improved allowing operation with low air pressure.

The CNR has promoted the progress in the field of fuel cells from lab. processes to large scale technologies by focusing the attention on the aspects which still hinder the development of such systems. In particular, the research activity it focused on the reduction of costs of materials and components and the increase of specific power and global system efficiencies. Such activities have been carried out in collaboration with industries, National and international labs. Allowing to achieve results of absolute scientific relevance for the development of such technology. In the field of low temperature fuel cells, CNR-ITAE has reached the mature state in respect to wide competence in this technology in the course of years starting from the realisation of a pilot plant of 1 kW phosphoric acid fuel cell (PAFC) in the field of the National Project «Volta» coordinated by ENEA.

The present research activity in the field of PEFCs and DMFCs for the transportation application and portable devices concern the development of technologies, materials and components for the entire system: electrocatalysts, conducting supports, electrolytes, manufacturing technologies for the electrodes-electrolyte assemblies and the attainment of fuel cells with high power densities. Furthermore, some activities have been devoted to the design and realisation of PEFC fuel cell prototypes with rated power lower than 1 kW for stationary and mobile applications.

○ ○ ○

A great interest is now attracted by the conversion processes of primary fuels into hydrogen. The research activity in this field has been carried out in collaboration with ENEA and it

nate ad applicazioni differenti, pertanto anche in questo settore sono stati promossi e sviluppati programmi di ricerca in collaborazione tra CNR ed ENEA, destinati allo sviluppo di catalizzatori e tecnologie di processo per la produzione di idrogeno a partire da gas naturale, metanolo, virgin nafta, benzine sintetiche e biomasse vegetali, nonché alla progettazione e realizzazione di generatori di idrogeno in scala di laboratorio.

Tra gli organi del CNR che hanno promosso e partecipato alle attività sopra descritte, insieme all'ITAE, riferimento nazionale ed internazionale nel settore è da segnalare anche l'Istituto Motori di Napoli, che ha varato progetti di ricerca sull'impiego dell'idrogeno prodotto a bordo di veicoli, che prevedono fra l'altro, prove su banco a rulli di sistemi completi per veicoli di media potenza.

Infine anche il Progetto Finalizzato Materiali Speciali ha finanziato tra i programmi in corso, lo sviluppo di membrane innovative per celle a combustibile a bassa temperatura.

regards the development of catalysts and processes for hydrogen production starting from natural gas, methanol, virgin naphtha, gasoline, biomass. Reactions for hydrogen generation have been designed and realised on a lab. scale.

Among the various Institutions which have promoted and participated in the activities above described together with CNR-ITAE, national and international leaders in the FC field, one deserving particular mention merits is the Istituto Motori of Naples which is strongly involved in research projects concerning the used hydrogen produced on board in a vehicle. These activities further regard the laboratory testing of complete systems for application in medium size automobiles.

Finally, the Targeted Project «Materiali Speciali» has supported various programs for the development of innovative membranes for low temperature fuel cells.

~ * ~