

DESCRIZIONE TECNICA

Le celle a combustibile (Fuel Cell, FC) sono sistemi di generazione di energia elettrica ad alta efficienza (tipicamente compresa nel campo 35-60% in funzione della tipologia di impianto) che possono impiegare sia combustibili tradizionali (GPL, gas naturale, benzina, gasolio etc.), sia combustibili alternativi compatibili con una produzione efficiente e a basse (o persino nulle) emissioni in ambiente. Sono sistemi elettrochimici composti essenzialmente da tre componenti: un anodo, un catodo e un elettrolita tra di essi. Le celle possono essere alimentate con combustibili sia gassosi (idrogeno o metano) sia liquidi (alcoli), e si differenziano principalmente per la tipologia di elettrolita impiegato.

	Bassa T (< 130 °C)				Media T (150 < 400 °C)	Alta T (> 600 °C)	
	AFC	PEMFC	AEMFC	BioFC	PAFC	MCFC	SOFC
Elettrolita	Soluzione KOH	Membrana polimerica	Membrana polimerica	Membrana polimerica	Soluzione di Acido Fosforico	Sali di carbonati fusi	Ossidi ceramici solidi
Temperatura	< 130 °C	< 130 °C	< 130 °C	< 70 °C	150 – 300 °C	600 – 650 °C	650 – 1000 °C
Combustibile	H ₂	H ₂ , Alcoli (diretto o indiretto)	H ₂ , Alcoli (diretto o indiretto)	H ₂ , Alcoli e zuccheri (diretto o indiretto)	H ₂ , Idrocarburi leggeri	H ₂ , Idrocarburi leggeri, Syngas	H ₂ , Idrocarburi leggeri, Syngas

Tra i combustibili alternativi di maggiore interesse vi sono l'idrogeno, inteso come vettore energetico abbinato alla produzione di energia da fonti rinnovabili, e i biocombustibili derivati da scarti agricoli (metanolo, etanolo, biogas, ecc.). Le tecnologie più sviluppate sono PEMFC e SOFC e MCFC, che presentano efficienze energetiche comprese tra il 40 e il 60%[1]. Questi sistemi rappresentano l'alternativa più efficiente per la produzione diretta di energia elettrica. E' possibile realizzare anche sistemi di recupero del calore (CHP) nei dispositivi che operano a più alta temperatura (MCFC e SOFC soprattutto), aumentando l'efficienza globale del dispositivo oltre l'80%.

Fondamentali caratteristiche di questi sistemi, oltre all'alta efficienza e le basse emissioni, sono la modularità e la scalabilità. Attraverso un semplice dimensionamento degli elementi costituenti (elettrodi ed elettrolita) o un loro collegamento in serie si progettano sistemi con caratteristiche diverse. È possibile passare da sistemi da pochi W a installazioni di parecchi MW. FC trovano applicazione in tutti i settori ove è necessaria o utile impiegare una alimentazione elettrica anche di media-grande potenza (fino a decine di MW, o più in impianti ibridi con turbine a gas): trasporti (su terra, aereo o marittimo, con potenza compresa nel campo 5-200 kW), generazione stazionaria (residenziale o industriale, 1kW -10 MW), applicazioni portatili (10-100 W), generazione ausiliaria (0,5-5 kW) e nei sistemi avanzati per applicazioni militari quali sommergibili, veicoli autonomi terrestri e marini, oltre che apparati per radio ed elettronica portatile. Possono essere impiegate, specialmente in connessione con sistemi di generazione da fonti rinnovabili (fotovoltaico, microeolico, ecc.), per l'alimentazione di utenze isolate.

Data la varietà di tecnologie e di possibili applicazioni, diversi sono gli stati di avanzamento: a sistemi ancora prototipali (AFC) si affiancano sistemi market-entry (SOFC) e altri in piena commercializzazione (PEM). Nel settore automobilistico, sono già commercialmente presenti sistemi su piccola serie (automobili e autobus). Piccoli generatori, ad es. trans-pallet in ambito movimentazione merci nei magazzini, già da tempo presentano una vasta diffusione della tecnologia, mentre altri settori in rapida espansione sono i veicoli autonomi di impiego militare, sia in configurazione aerea (AUV) di micro-taglia, che superano ampiamente le batterie in termini di autonomia e rapidità di rifornimento, sia marina (ROV), con diversi livelli di sviluppo in base alla richiesta del singolo Paese. FC sono impiegate con successo da numerosi anni come sistemi di propulsione elettrica nei sommergibili non-nucleari dove rappresentano il termine di paragone per autonomia di immersione e silenziosità. Sistemi a base SOFC (anche in versione CHP) sono parte attiva in progetti dimostrativi in Europa, Giappone e USA. Impianti di cogenerazione stazionaria con MCFC (che, come le SOFC, possono essere alimentate direttamente da gas naturale, biogas e altri idrocarburi leggeri), dalla potenza fino a 60 MW, sono diffusi in Corea del Sud e gli USA. Problemi connessi alla reperibilità e mancanza di infrastrutture per l'idrogeno hanno spinto verso l'utilizzo (in sistemi FC a bassa temperatura) di combustibili alternativi, in particolare alcoli derivati da biomasse (metanolo, etanolo, glicerolo, ecc.), acido formico e sodio boroidruro. Nonostante i risultati non siano ancora soddisfacenti, alcuni dispositivi dimostrativi capaci di generare pochi W sono già stati sviluppati. Per quanto concerne le celle ad alta temperatura, sono stati commercializzati i primi impianti alimentati a metano o GPL, con difficoltà originate dalla presenza di composti solforati che inducono fenomeni di degrado.

STATO DI AVANZAMENTO

Internazionale

Le celle a combustibile sono potenzialmente competitive in virtù della loro vasta gamma di applicazioni che vanno dall'impiego in dispositivi elettronici portatili (che richiedono poca energia) a grossi impianti di cogenerazione, passando per l'autotrazione. Le vendite di celle a combustibile sono aumentate del 250% nel periodo 2011-2015 e stanno diventando competitive nei settori delle reti di comunicazioni, movimentazioni materiali e negli aeroporti. Il mercato mondiale è destinato a raggiungere 20 miliardi di \$ entro il 2020 trainato principalmente da US, Giappone, Germania, Sud Corea e Canada [2]. La potenza installata è di 1,5 GW[1].

Le aziende che producono celle a combustibile nella misura del 11% del totale mondiale sono presenti in Germania, Regno Unito 8 %, Paesi del Nord 5% e resto d'Europa 9%. Nel 2015 sono state vendute 158.600 sistemi di celle a combustibile di cui: sistemi stazionari 60%; sistemi portatili 40% ; autotrazione 10%.

In ambito europeo, il trend di crescita è lento ma costante, legato alle politiche di innovazione nazionali. In linea generale e limitatamente all'ambito europeo, i dati riportano circa 10.000 unità installate in Europa, per una potenza complessiva di circa 25 MW, con una massiccia quota installata in Germania grazie a specifici programmi nazionali di investimento (Callux, etc.) [3].

TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

Si suddivide il TRL in base alle varie tecnologie, al combustibile utilizzato e al loro settore di utilizzo.

IDROGENO	TRL
PEMFC – autotrazione	7 - 9
PEMFC – stazionario	7 - 9
PEMFC – dispositivi portatili	7 - 9
PAFC – dispositivi stazionari	7 - 9
SOFC – dispositivi stazionari	7 - 9
SOFC – dispositivi mobili	6 - 8
ALCOLI DIRETTI	
DMFC – membrana a scambio acido	4 - 6
DMFC – membrana a scambio alcalino	4 - 5
DEFC – membrana a scambio acido	3 - 5
DEFC – membrana a scambio alcalino	3 - 5
ACIDO FORMICO	
DFAFC – membrana a scambio acido	3 - 5
DFAFC – membrana a scambio alcalino	3 - 5
SODIO BOROIDRURIO	
DBFC – membrana a scambio alcalino	3 - 5
METANO/GPL/Biogas	
MCFC – dispositivi stazionari	7 - 9
SOFC – dispositivi stazionari	7 - 9
CARBONIOSI SOLIDI	
DCFC – dispositivi stazionari	3 - 5

Nazionale

Malgrado negli anni '80-'90 lo stato di sviluppo della tecnologia fosse allineato a quello internazionale, nel corso del tempo la carenza di investimenti ha comportato una drastica riduzione della presenza di industrie in questo settore. Sono stati realizzati numerosi progetti dimostrativi finanziati con fondi comunitari e nazionali, con applicazioni al settore stazionario, ai trasporti e marino. Lo sviluppo di progetti risente delle forti limitazioni imposte dalla mancanza di una normativa specifica e dalle restrizioni della normativa esistente sull'impiego e la distribuzione dell'idrogeno come combustibile per il trasporto. Le infrastrutture di rete sono assenti, fatta eccezione per alcuni punti situati nel Nord Italia e alcuni progetti di integrazione con la rete europea. In Italia, ci sono 64 imprese che lavorano nel settore delle Celle a Combustibile e Idrogeno (FC e H₂). Il 69% (45) delle imprese sono concentrate al Nord Italia, il 19% (13) al Centro e 9% (7) al Sud mentre 2 hanno la sede all'estero[4]. I principali settori di attività sono[4]:

1. Realizzazione di autoveicoli dimostrativi N. 7 ;
2. Sviluppo celle/stack per applicazioni automotive N. 3
3. Sistemi di on-board storage N. 3;
4. Sistemi di produzione di elettricità per i servizi di bordo (APU) N. 6;
5. Stazioni di servizio N.11;
6. Componenti di sistema della stazione di servizio N. 9 ;
7. Metodologie di testing e certificazione qualità N.2 ;
8. Safety N.8;
9. Code&Standards N. 6;
10. Altro N. 5.
11. I brevetti delle aziende italiane FC e H₂ sono N. 33.

La tecnologia PEMFC è la più sviluppata e ormai prossima ad essere impiegata su larga scala per le celle a bassa temperatura. Gli altri sistemi a bassa temperatura hanno riscontrato interesse più recentemente, scontando perciò un gap di ricerca e sviluppo tecnologico. Per i sistemi SOFC, la tecnologia è in fase di dimostrazione sul campo con diversi installazioni sia in Europa che in Asia e US. Per la parte mobile SOFC in stato avanzato è l'applicazione in Auxiliary Power Units (APUs).

■ RELAZIONE CON LE FONTI ENERGETICHE

L'impiego dell'idrogeno (o altri combustibili) proveniente da elettrolisi come sistema per immagazzinare l'energia prodotta da fonti intermittenti e non controllabili, costituisce la soluzione tecnologica ideale per supportare la loro diffusione. In tal modo è possibile coniugare una produzione da fonti rinnovabili priva di emissioni alla possibilità di fornire energia alla rete sulla base delle esigenze della stessa, evitando instabilità e la necessità di un antieconomico sovradimensionamento degli impianti di produzione da fonti rinnovabili.

Le celle a combustibile sono dunque compatibili con tutte le fonti rinnovabili che producono vettori energetici moderni come l'idrogeno, etanolo, metanolo, syngas ($H_2 + CO$), acido formico e metalloidruri. Le fonti utilizzabili sono: 1) Idroelettrico; 2) Eolico; 3) Solare (fotovoltaico tradizionale, di nuova generazione e a concentrazione). Le suddette fonti sono finalizzate alla produzione di idrogeno mediante elettrolisi dell'acqua e fotocatalisi (fotosintesi artificiale) nel caso del solare; 4) Biomasse per la produzione di etanolo, metanolo e idrogeno, combustibili per le rispettive tipologie di celle; 5) Sistemi biologici; 6) Combustibili solari (fuels da CO_2 mediante energia solare).

■ VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

Oltre alla cogenerazione di energia elettrica, le FC possono impattare profondamente sul settore dei trasporti, ma anche su altri settori: comparto chimico (produzione di biocombustibili, polimeri, riciclo dei componenti/materiali), manifatturiero (produzione di componenti e sistemi per i trasporti, automobilistico, elettronica e di componenti per lo stazionario) e dei servizi (manutenzione, gestione e distribuzione dell'energia).

■ POTENZIALE DI DIFFUSIONE IN AMBITO NAZIONALE

Il territorio nazionale non influenza in principio la diffusione della tecnologia. Tuttavia, per quei sistemi che fanno dell'idrogeno il combustibile d'elezione la mancanza dello stesso è fattore limitante. Se questo viene prodotto tramite l'utilizzo di fonti rinnovabili, la presenza delle stesse influenza la possibilità di sviluppo di una rete di distribuzione efficiente e a basso costo. Ne consegue che la distribuzione di fonti rinnovabili può indirettamente influenzare lo sviluppo della tecnologia.

■ IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

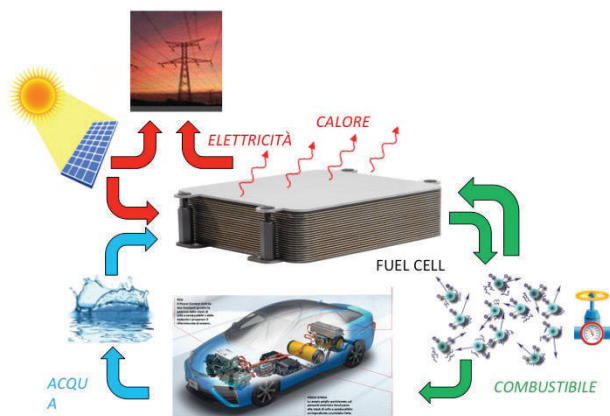
I soli prodotti derivanti da uno stack alimentato con idrogeno sono: acqua, calore e elettricità, mentre celle ad alta temperatura come le SOFC rilasciano anche una parte controllabile di NO_x (<5-40 mg/kWh, da confrontare con le emissioni da turbine a gas >500 mg/kWh e motori diesel >10.000 mg/kWh). Una cella a combustibile alimentata a idrogeno è quindi considerata virtualmente ad "emissioni zero". Per la stima dell'impatto ambientale per kWh elettrico è necessario valutare l'intero ciclo di produzione, trasporto (materie prime e rifiuti) e smaltimento (considerando la percentuale di riciclaggio dei materiali). L'impatto ambientale della produzione di tali sistemi (per kWh) è razionalizzato in base a: i) emissione di gas serra (CO_2); ii) emissione di gas acidi (SO_2); iii) eutrofizzazione (PO_4^{3-}); iv) altro (particolati emessi nell'atmosfera, ecc.). Una percentuale importante di tale impatto, in particolar modo per le celle a membrana scambio protonico (PEMFC) a bassa temperatura è da attribuire alla produzione delle materie prime (metalli del gruppo del platino) che determina emissione di gas serra e di SO_2 (derivante dal processo metallurgico) [9]. Il riciclo dei materiali costitutivi (% di riciclo), nonché la riduzione del loro contenuto (fino al target di 0.3mg Pt/cm²), permette di mitigare l'impatto ambientale della produzione dei sistemi. Un altro fattore importante per l'impatto ambientale è la fabbricazione e lavorazione, in particolar modo per le celle a ossidi solidi (SOFC) dove i costi energetici di formatura degli elettrodi sono il contributo dominante all'emissione di circa 184 kg CO_2 /kW [10]. Lo smaltimento a fine vita degli stack di celle a combustibile (riciclo) costituisce il terzo fattore in ordine di importanza e influenza l'impatto della produzione delle materie prime costitutive. Ad esempio, il riciclo al 75% dei materiali costitutivi permette l'abbattimento del 33% di gas serra e del 14% della SO_2 relativi alla parte energetica [9]. L'impatto ambientale della parte relativa ai costi energetici di produzione degli stack è fortemente dipendente dal tipo di fonte utilizzata (fossile o rinnovabile). Ad esempio, l'utilizzo di una fonte rinnovabile per la produzione di idrogeno (idroelettrico) riduce l'impatto di gas serra da 57 kg CO_2 /kWh a 38 kg CO_2 /kWh rispetto ad una fonte composita costituita da 60% fonti fossili, 35% nucleare e 5% rinnovabile [9], [11].

L'impatto ambientale della fase di fabbricazione degli stack è <10% di quello complessivo [24], comprendente la vita operativa del sistema a FC. Alimentato con combustibili equivalenti, l'alta efficienza e le basse emissioni durante l'operazione di un sistema a FC fanno sì che l'impatto complessivo sia minore delle tecnologie convenzionali a combustione. L'aumento della vita operativa dei sistemi FC può dunque accentuare questo beneficio.

Emissioni CO₂/MWh

Si considerano le emissioni dell'intero ciclo (produzione, trasporto e utilizzo) del combustibile (nel caso di utilizzo di H₂).

Per impianti di cogenerazione termica-elettrica stazionari (micro cogenerazione, scala domestica < 5 kW_{el}), le emissioni del ciclo di produzione-utilizzo dell'idrogeno ammontano a 320-340 kgCO₂/MWh_{el} e circa 100 gSO₂ / MWh_{el} (elettrici) per l'idrogeno proveniente da steam reforming del metano, circa 76 kgCO₂/MWh_{el} e 25 gSO₂/MWh_{el} per l'idrogeno prodotto mediante elettrolisi con fonti rinnovabili[12,13]. Per le fuel cell per autotrazione (le emissioni vengono espresse per km percorso), le emissioni di CO₂ e di SO₂ / km percorso ammontano a 100 gCO₂/km e 380 mg SO₂/km qualora il combustibile provenga da steam reforming di fonti fossili (gas naturale) e di circa 15 gCO₂/km e 35 mg SO₂/km qualora il combustibile derivi da elettrolisi con energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili[14]. Nel caso le FC vengano alimentate con combustibili convenzionali, una maggiore emissione di CO₂ in fase di esercizio viene prodotta. L'alta efficienza intrinseca di questi sistemi (soprattutto se in versione CHP) fa prevedere una diminuzione di emissioni dal 30 al 50% rispetto ai convenzionali sistemi di generazione elettrica.



Celle a combustibile reversibili (Fonte: ENEA)

Emissioni CO₂/MWh evitate

L'impiego efficace delle fuel cell come tecnologia di mitigazione delle emissioni di gas serra (CO₂) e gas acidi (SO₂) è altamente dipendente dalla provenienza del combustibile utilizzato nel dispositivo. A titolo di esempio l'utilizzo dell'idrogeno proveniente da fonti fossili (carbone, gas naturale) mediante water gas shift reaction porta a benefici limitati o assenti dal punto di vista della mitigazione delle emissioni rispetto all'utilizzo diretto delle materie prime tramite un ciclo termico; benefici derivanti unicamente dal maggiore rendimento termodinamico dei sistemi in questione. Qui di seguito è riportato un confronto delle casistiche con dati presenti in letteratura (si tiene conto dell'intero ciclo di produzione del combustibile)[14-16].

Automobilistico:[13,15]

- Benzina: 209 g/km CO₂, 200 mg/km SO₂
- Diesel: 154 g/km CO₂, 130 mg/km SO₂ (-26% rispetto a benzina)
- Idrogeno (da gas naturale) a combustione interna: 220 g/km CO₂, 30 mg/km SO₂ (+5% rispetto a benzina)
- FC a gas naturale (reformer on board): 83 g/km CO₂, 6.3 mg/km SO₂ (-60% rispetto a benzina)
- FC idrogeno reformer centralizzato: 87-100 g/km CO₂, 380 mg/km SO₂ (-55% rispetto a benzina)
- FC idrogeno da fonte rinnovabile: 15-20 g/km CO₂, 30 mg/km SO₂ (-90% rispetto a benzina).

Stazionario (cogenerazione commerciale):[13,16]

- Convenzionale: 270 kg/MWh_{tot} CO₂, 7 g/MWh_{tot} SO₂
- Motore diesel: 315 kg/MWh_{tot} CO₂, 680 g/MWh_{tot} SO₂. (+16%)
- Gas naturale: 218 kg/MWh_{tot} CO₂, 6 g/MWh_{tot} SO₂. (-19%)
- FC SOFC/PAFC (idrogeno da fonti fossili): 218 kg/MWh_{tot} CO₂, 6 g/MWh_{tot} SO₂. (-19%)
- FC SOFC/PAFC (elettrolisi rinnovabili, eolico solare, solare, idroelettrico, 20 gCO₂/kWh): 28 kg/MWh_{tot} CO₂ (-89%).

Di grande interesse è segnalare le emissioni evitate di NO_x, SO_x e particolato, sostanze particolarmente nocive alla qualità dell'aria e alla salute umana, e intrinsecamente legate ai processi di combustione, assenti nelle FC.

La tabella riporta le emissioni evitate secondo il Piano Nazionale di Sviluppo della Mobilità a Idrogeno in Italia (DIR. 2014/94/UE), che propone una strategia di implementazione di veicoli e stazioni di rifornimento a idrogeno.

Emissioni evitate secondo il Piano di roll-out di veicoli a FC					
Emissioni evitate	2020	2025	2030	2035	2040
SO ₂ (kg/a)	10	265	2847	15725	40267
NO _x (t/a)	49	627	3159	11886	27455
CO (t/a)	25	473	4033	20644	51986
PM (kg/a)	964	13543	82551	358016	864228

EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

Il rendimento e la durata di vita attuali dei sistemi basati su celle a combustibile si differenzia in base alla tipologia e all'impiego. Si distinguono due categorie di impiego: mobile e stazionario. Per quanto riguarda i sistemi mobili, sono costituiti da celle PEM e suddivisi in: 1) Autotrazione (80 kW_e): rendimento elettrico attuale intorno al 60%, tempo di vita circa 100.000 km (2500h equivalenti), con previsione di incremento a circa 5000h. 2) Portabile (micro <2 kW_e, mini 10-50 kW_e, medio 100-250 kW_e): rendimento elettrico intorno al 40%, tempo di vita circa 1500-2000h equivalenti, con previsione di incremento a 5000h. 3) Portabile large (1-10 kW_e): rendimento 25% (target 40%), tempo di vita 3000h equivalenti (target 20000h). Per quanto riguarda sistemi stazionari di produzione di energia in loco solitamente si tratta di sistemi SOFC o MCFC: 1) Cogenerazione elettrica scala residenziale (1-10 kW_e): rendimento elettrico 30-60% (target 45-65%), rendimento termico 80-90% (target > 90%), tempo di vita 12000h equivalenti (target 60000h). 2) Cogenerazione elettrica scala industriale (>0,1 MW_e): rendimento elettrico 42-47% (target > 50%), rendimento termico 70-90% (target > 90%), tempo di vita 40000-80000h equivalenti (target 80000h). Il rendimento complessivo del sistema supera già attualmente il 95%[1].

PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

Esistono numerosi studi sulla fattibilità economica dell'uso di celle a combustibile per scopi stazionari di generazione (taglie oltre i 250 kW) e microgenerazione distribuita (con taglie di potenza di massimo 10 kW per abitazioni), soprattutto in riferimento alle celle di tipo SOFC per la possibilità di recuperare calore per produrre acqua calda (o vapore per scopi industriali), mentre sono pochi gli esempi per le celle PEMFC. La valutazione economica dipende dal costo dell'energia, dal costo delle materie prime e dei carburanti, dall'efficienza presunta dei sistemi, dalla quantità di energia utilizzabile (sia sotto forma di elettricità sia come calore). Per sistemi residenziali, alcuni studi mostrano come sia possibile un payback superiore ai 3 anni in base alla presenza o meno di incentivi statali[17-19]. Le celle a combustibile, rispetto a sistemi più convenzionali, hanno un elevato costo di investimento, attualmente superiore a 150 €/kW per stack di taglia di circa 80 kW [20,21]. Per sistemi SOFC-CHP, viene comunemente considerato un CAPEX di 14000 €/kW per applicazioni residenziali e di 3000 €/kW per applicazioni industriali.

PRINCIPALI OSTACOLI ALLO SVILUPPO

Nonostante siano stati realizzati esempi di rilievo nel settore della dimostrazione tecnologica e della formazione scientifica per promuovere il livello di consapevolezza sociale e la creazione di nuove professionalità adeguate alle nuove tecnologie, l'impatto sia sul territorio e sia in ambito industriale è stato minimo per mancanza di una programmazione specifica in ambito energetico. La normativa tecnica per l'impiego di tecnologie innovative quali quelle dell'uso/distribuzione/produzione dell'idrogeno o la cogenerazione residenziale è limitata e spesso carente. Le celle a combustibile hanno costi elevati. Si stima che il costo per kW generato da celle a combustibile deve scendere di un fattore 10 affinché la tecnologia abbia una diffusione su larga scala ed entrare nel mercato. Gli alti costi sono dovuti in parte ai materiali e le tecniche di produzione utilizzati (terre rare e processi ceramici per SOFC, platino per PEM) e all'attuale basso effetto di scala. Indagini di mercato dimostrano che in un regime di produzione di oltre 100.000 sistemi l'anno, i costi di approvvigionamento di materiale vengono abbattuti oltre il 70% rispetto alla produzione di 100 pezzi l'anno.

Altri fattori che limitano la diffusione della tecnologia sono la mancanza di una reale infrastruttura di produzione e distribuzione (eventualmente di stoccaggio) dell'idrogeno; tempo di vita dei sistemi ancora non sufficiente (soprattutto in ambito SOFC); necessità di nuova e adeguata professionalità, sia nel campo della formazione universitaria e post-universitaria, ma anche nella filiera di installazione e manutenzione tecnica.

POTENZIALITÀ DI SVILUPPO TECNOLOGICO IN AMBITO NAZIONALE E IMPATTO SUL PIL

A livello mondiale, si prevede una potenza installata annuale di 1,6 GW dal 2016. L'incremento delle vendite di sistemi sarà quindi molto consistente anche in Italia.

L'Italia possiede centri di eccellenza nello sviluppo ed ottimizzazione della tecnologia, quali Enti Pubblici di Ricerca, Università ed aziende specializzate nel settore che potrebbero avere impatti positivi sul PIL nazionale. A titolo di esempio, si riporta come le imprese che operano nel settore abbiano manifestato di voler incrementare per il 2018 il personale totale portandolo da 232 dipendenti a 649. Considerando l'ammontare del 25% registrato nel triennio 2014-2016 di aziende interessate al settore FC, è possibile prevedere un forte impatto sul PIL e occupazionale in caso di sviluppo positivo e di superamento degli attuali ostacoli soprattutto normativi e infrastrutturali.

POTENZIALITÀ DI ESPORTAZIONE DELLA TECNOLOGIA

Le principali aziende italiane, o con una sede in Italia, che lavorano nel settore delle celle a combustibile già esportano i loro prodotti in tutto il mondo. Essendo il settore delle celle a combustibile altamente tecnologico e di importanza mondiale le aziende che operano in tale campo sono di per sé esportatrici di una tecnologia che per molte applicazioni non è ancora matura ma ha un grande impatto in termini di riduzione delle emissioni e di efficienza di conversione.

POSSIBILI RICADUTE PER IL SISTEMA INDUSTRIALE, DEI TRASPORTI, RESIDENZIALE E NEL TERZIARIO

Le celle a combustibile si presentano come una valida tecnologia “Low/ nearly-zero emissions” per molteplici settori: industriale, residenziale e terziario dove è possibile sfruttare anche la versione CHP con notevole risparmio energetico ed emissivo, e anche nei trasporti dove la mobilità tramite FC risulta essere una sempre più valida alternativa alla mobilità elettrica. E’ da notare come la sostituzione delle batterie con idrogeno sia sempre considerata una alternativa green di accumulo energetico.

MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

Utilizzo della tecnologia

Ad oggi in ambito nazionale gli attori di rilievo convenzionali nel settore dei trasporti o dell’infrastruttura energetica stazionaria non fanno effettivo uso della tecnologia, che si sviluppa grazie ad alcune piccole società, tuttavia in crescita. Tra i principali attori italiani potenzialmente interessati alla tecnologia si segnalano:

- aziende di telecomunicazioni (sistemi stazionari per l’alimentazione di antenne radio in luoghi isolati, sistemi stazionari di generazione ausiliaria in caso di blackout, ecc.)
- aziende di produzione di energia elettrica (sistemi stazionari accoppiati a moduli ad accumulo chimico per il bilanciamento della rete)
- aziende per la prototipazione di autoveicoli elettrici (sistemi PEMFC di taglia di circa 10-20 kW)
- aziende per la realizzazione e/o commercializzazione di biciclette a pedalata assistita (sistemi PEMFC di taglia di circa 100 – 200 W).

Sviluppo della tecnologia

Le aziende italiane che operano nel settore FC si differenziano per le tecnologie scelte per la loro attività: AFC 13%, PEMFC 35%, DMFC 10%, MCFC 10%, SOFC 25%, DCFC 3%, Altro 4%[4].

Il maggior numero di Imprese operano nella categoria Stationary Power Generation & Combined Heat and Power CHP e sono situate nel Nord Italia (17), 2 nel Centro Italia e solo 1 nel Sud e 1 all’estero[4]: CTS Energy, Dalmine S.p.A., EDISON S.p.A, Electro Power Systems S.p.A., Environment Park, H₂ Nitidor, Habitech - Distretto tecnologico Trentino, Linde Gas Italia Srl, Solardesign, SIAD S.p.A., Solidpower, NuovEnergie Teleriscaldamento Srl, Proeng Srl, Acta S.p.A., La Fabbrica del Sole, Studio Tecnico Dott.Ing. Mario Franceschetti, Hydro Energy, Minerva Srl.

Sono 42 le imprese che si interessano in applicazioni di FC Early market [4], mentre per il settore PEFC (Electro Power System) si segnalano attori attivi nella sintesi di membrane polimeriche per applicazioni in celle a combustibile, quali la Solvay Specialty Polymers di Bollate (MI), o nella preparativa di materiali per celle alcaline ad alcool diretto (ACTA in Toscana).

■ ECCELLENZE IN TERRITORIO NAZIONALE

Tra gli enti pubblici di ricerca, il CNR dove sono presenti Istituti di assoluta eccellenza nello sviluppo di celle sia PEM che SOFC e di catalizzatori e sistemi completi di generazione. Effettuano Test sull'utilizzo di combustibili alternativi come alcoli rinnovabili, acido formico e su materiali e celle in grado di operare a temperature intermedie (attorno a 500°). L'ENEA sviluppa FC ad alta temperatura (MCFC e SOFC) anche in applicazioni non convenzionali come lo stoccaggio di energia e la CCS (Carbon Capture and Sequestration), e ha il ruolo di principale interlocutore del MiSE per quanto riguarda la ricerca sul sistema elettrico. In molte Università italiane esistono gruppi di ricerca che lavorano nel settore delle celle a combustibile (Genova, Perugia, Roma, Udine, Trieste, Politecnici di Milano, Torino, ecc.).

Le attività di ricerca e sviluppo coinvolgono anche partner privati. Dolomitech Srl: newco nata nel 2010 con l'obiettivo di sviluppare e commercializzare sistemi di propulsione avanzati eco-compatibili con sistemi di propulsione a fuel cell; EDISON S.p.A: società del gruppo EDF, produce energia elettrica, nei propri laboratori studia e sviluppa sistemi a celle SOFC; Electro Power Systems S.p.A.: produce sistemi per l'integrazione delle fonti rinnovabili nella griglia di distribuzione attraverso l'uso di elettrolizzatori, celle a combustibile e batterie; Environment Park S.p.A.: Parco Scientifico e Tecnologico ad azionariato pubblico con la funzione di accelerare l'innovazione per tutte le imprese che puntano ad allargare il proprio mercato con soluzioni eco-efficienti; Genport Srl: combina la tecnologia delle celle a combustibile alimentate ad idrogeno e delle batterie Li-ion con motori elettrici ottimizzati allo scopo di fornire una costante e affidabile sorgente energetica, massimizzare la densità energetica e ridurre rumore e emissioni; Nuvera Fuel Cell: azienda multinazionale, con un laboratorio di qualificazione per celle a combustibile presso Bergamo, sviluppa sistemi di generazione di idrogeno basati su steam reforming del metano e stack di celle PEMFC con una tecnologia propria e innovativa; Proeng Srl: società di consulenza tecnologica che ha recentemente rivolto la propria attenzione nella componentistica delle celle a combustibile; Selmar Srl: azienda italiana Leader nella progettazione, realizzazione e installazione di sistemi meccanici per l'industria navale, studia la possibile integrazione di stack di celle a combustibile; SOLID power S.p.A: specializzata nella progettazione e produzione di micro-cogeneratori basati sulla tecnologia SOFC; SOL S.p.A: attiva nella produzione, ricerca applicata e vendita di gas tecnici, puri e medicali, nelle biotecnologie e nella produzione di energia idroelettrica, ha partecipato al progetto HBUS in collaborazione con CNR e STMicronics per la realizzazione di un bus elettrico alimentato con celle a combustibile.

■ BEST PRACTICES

Per le PEMFC impiegate nel settore autotrazione, un esempio molto attuale è l'immissione sul mercato della prima auto elettrica alimentata con celle a combustibile da parte della Toyota (Dicembre 2015 in Giappone, Settembre 2016 in Europa)[6]. Numerose case automobilistiche stanno sviluppando l'integrazione delle FC in vari prototipi, sia di autovetture che di bus[7]. Esistono già sul mercato biciclette a pedalata assistita alimentate con PEMFC con taglie di circa 100 – 200 W[7].

Per applicazioni nel settore stazionario, sono molti gli esempi di impianti pilota sparsi in tutto il mondo e installati dalle più grandi aziende del settore (Ballard, Vaillant, GM, ecc.) con varie taglie e tecnologie diverse, essenzialmente sia PEMFC sia SOFC [7]. Merita menzione la Bloom Energy, azienda US che commercializza sistemi SOFC e ha provveduto a installare diversi generatori in stabilimenti di aziende che vanno dalle utilities (Washington gas) all'entertainment (DreamWorks), passando (lista non esaustiva) da NASA, Google, Apple, Morgan and Stanley e IKEA.

Molto interesse sta avendo il settore dell'alimentazione di dispositivi di elettronica portatile, sia in ambito civile che militare. Molte case produttrici (Toshiba, Sony, ecc.) hanno presentato prototipi per la ricarica di notebook, palmari e smartphone basati su celle a combustibile sia di tipo PEMFC che DMFC[8]. La potenza richiesta in questo campo è di poche decine di Watt, rendendo così appetibili tecnologie non ancora ben sviluppate ma con un alto potenziale come le celle ad alcol diretto.

In ambito militare, aziende specializzate nel settore delle forniture logistiche per gli eserciti (SFC Energy, Protonex, NexTech, ecc.) promuovono l'uso di celle a combustibile sia come stazioni mobili di generazione elettrica (taglie da 1 MW), sia come generatori portatili e indossabili per soldati specializzati (taglie da 100 W). Gli eserciti moderni stanno dotando il proprio personale di numerosi dispositivi elettronici e la necessaria energia elettrica deve esser disponibile anche in situazioni estreme e con un'alta affidabilità[7].

Nel settore delle DMFC, le applicazioni più indicate e diffuse a livello internazionale riguardano sistemi di backup o generatori di potenza ausiliaria. Trovano applicazioni per l'alimentazione degli ausiliari dei CAMPER, per le stazioni meteo, per i sollevatori (forklift) e recentemente come range extender di piccoli veicoli elettrici. Società all'avanguardia in questo settore è la tedesca Sfc (Smart fuel cell); lo sviluppo dei prodotti è in una fase commerciale (prodotti EFOY) con una ampia gamma di soluzioni per l'elettronica portatile (notebook, fotocamere, ecc.) e l'alimentazione mobile (camper, imbarcazioni, ecc.). Un'altra società con buoni sviluppi, anche commerciali, è la LG Chem (Corea). Quasi tutte le aziende internazionali coinvolte nello sviluppo di telefonia mobile hanno sviluppato prototipi di cellulari alimentati da micro-DMFC.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] O.Z. Sharaf, M.F. Orhan, , *Renew. Sustain. Energy Rev.* 32 (2014) 810–853.
- [2] Tollefson J. US Congress revives hydrogen vehicle research. *Nature* 2009;460:442–3.
- [3] Fuel Cell and Hydrogen Annual Review 2015, (2015) 70. <http://www.4thenergywave.co.uk/wp-content/plugins/datavisualisation/data/FuelCell-and-Hydrogen-Annual-Review-2015.pdf>.
- [4] Piattaforma Italiana Celle a Combustibile e Idrogeno, www.h2it.org.
- [5] http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf
- [6] <https://www.toyota.it/mondo-toyota/news-eventi/mirai-caratteristiche.json>
- [7] S. Curtin and J. Gangi, Fuel Cell Technologies Market Report 2014, U.S. Department of Energy, October 2014. http://energy.gov/sites/prod/files/2015/10/f27/fcto_2014_market_report.pdf
- [8] J. Zhang, L. Zhang, H. Liu, A. Sun, R.-S. Liu, *Electrochemical Technologies for Energy Storage and Conversion*, 2011. <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-3527328696.html> (accessed 1 April 2016).
- [9] U. Lucia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 2014, 164-169
- [10] J.C. Ho, E.-C. Saw, L.Y.Y. Lu, J.S. Liu, *Technol. Forecast. Soc. Change.* 82 (2014) 66–79.
- [11] M. Pehnt, *International Journal of Hydrogen Energy*, 26, 1, 2001, 91-101
- [12] K. Kawajiri, T. Inoue, , *Journal of Cleaner Production*, 112, 5, 2016, 4065-4070
- [13] Gaines, LL, Elgowainy, A, Wang, MQ, Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems, Argonne National Laboratory, ANL/ESD/08-3, <https://anl.box.com/s/py6dkbbgo4y5mic5mu5l3wadawfoey32>
- [14] M. Pehnt, , *Environmental Science & Policy*, 11, 1, 2008, s 25-37
- [15] B. K. Sovacool, *Energy Policy*, 36, 8, 2008, 2950-2963
- [16] M. Pehnt, , *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8, 6, 2016, 365-378,
- [17] A. Bauen, D. Hart, , *Journal of Power Sources*, 86, 1–2, 2000, 482-494.
- [18] M. F. Torchio, *Energy Conversion and Management*, 92, 2015, 114-128
- [19] D.B. Nelson, M.H. Nehrir, C. Wang, *Renewable Energy*, 31, 10, t 2006, 1641-1656,
- [20] A. Atieh, S. Al Shariff, *Sustainable Cities and Society*, 17, 2015
- [21] Brian D. James, Andrew B. Spisak, Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation, Strategic Analysis Inc., https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/sa_fc_system_cost_analysis_2012.pdf
- [22] Fuel Cell cost analysis summary, International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy, <http://www.iphe.net/docs/Resources/IPHE%20Fuel%20Cell%20Cost%20Comparison%20Report.pdf>
- [23] Craig A. Grimes, Oomman K. Varghese, Sudhir Ranjan, Light, Water, Hydrogen The Solar Generation of Hydrogen by Water Photoelectrolysis, Springer Science+Business Media, LLC, 233 Spring Street, New York, N.Y. 10013, USA, 2008, ISBN 978-0-387-33198-0.
- [24] The Fuel Cell Industry Review 2015
- [25] A. Mehmeti, F. Santoni, M. Della Pietra, S.J. McPhail, Life cycle assessment of molten carbonate fuel cells: State of the art and strategies for the future, *Journal of Power Sources* , Volume 308 (2016)]