Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Micro-cogenerazione a celle a combustibile: la tecnologia in dettaglio

WEBINAR PACE: ridurre emissioni e costi energetici negli edifici utilizzando le celle a combustibile

31 Maggio, 2021

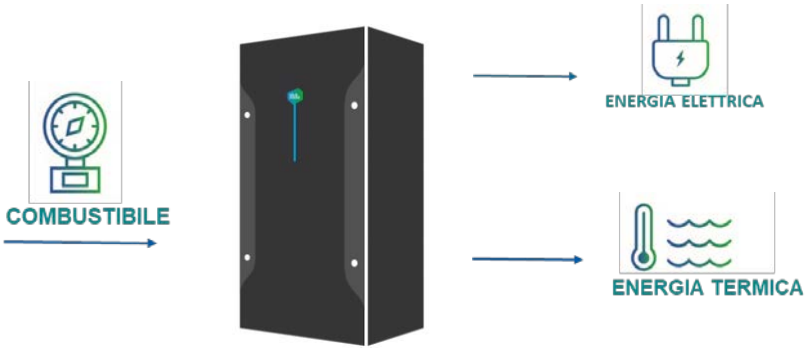
Viviana Cigolotti, TERIN-PSU-ABI, ENEA

Contenuti

- La cogenerazione
- Celle a combustibile: principi di funzionamento
- Caratteristiche ed applicazioni
- Quadro normativo

La cogenerazione

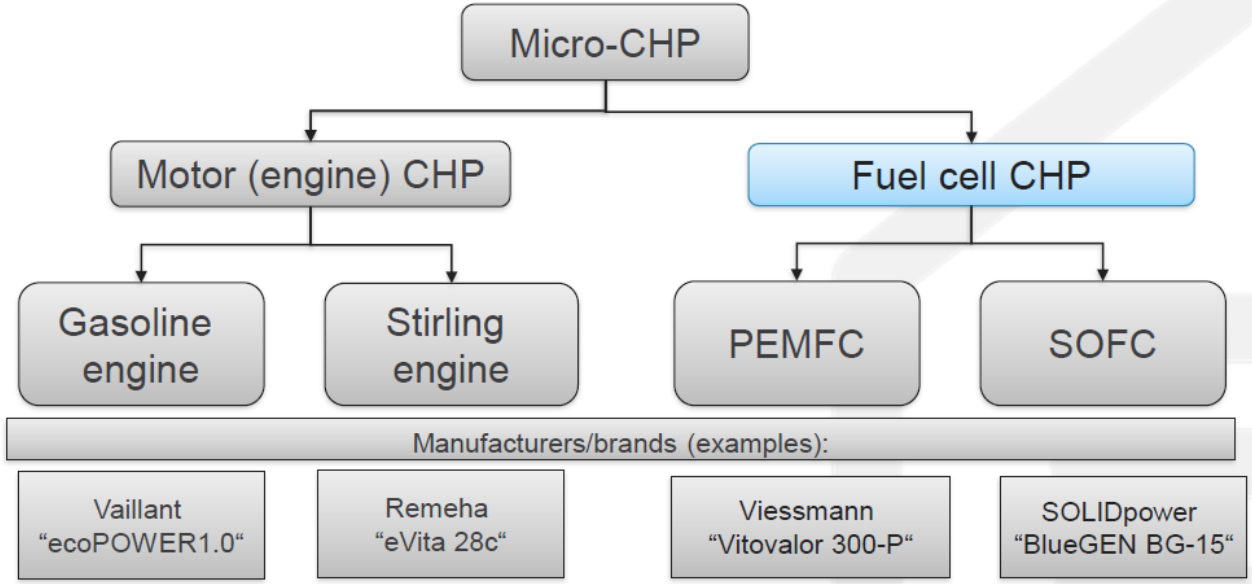
La cogenerazione è la produzione combinata, in un unico processo, di energia elettrica e calore



Il Dlgs 20/2007 recepisce quanto previsto dalla direttiva europea 2004/8/CE sulla promozione della cogenerazione e definisce **“unità di micro-cogenerazione“** come unità di capacità di generazione fino a 50 kW elettrici

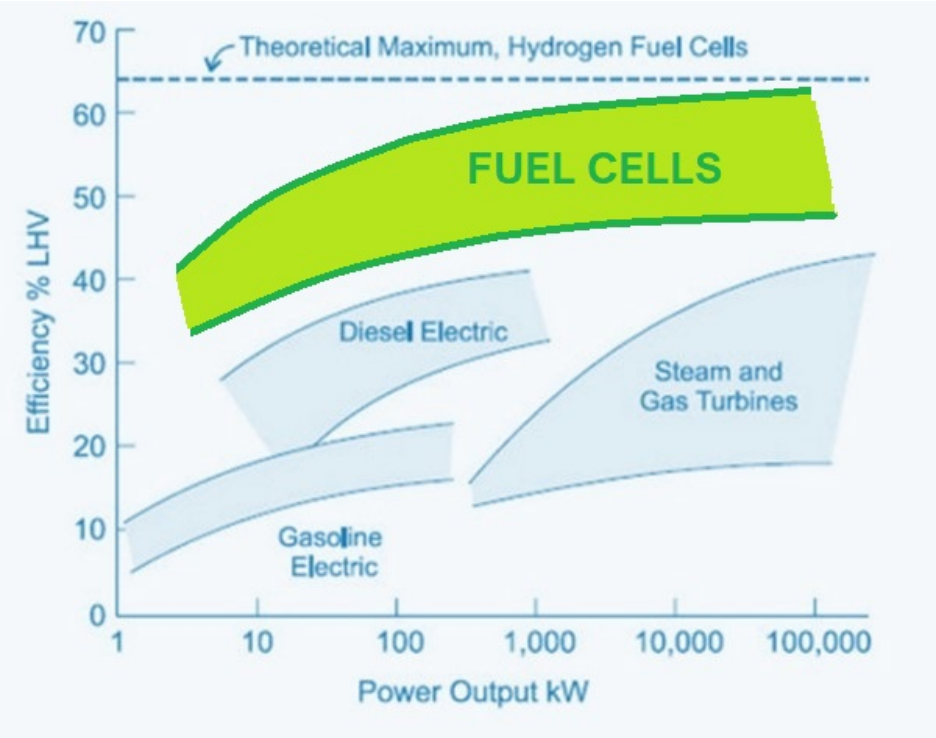
Tipologie di cogeneratori

Product types Micro-CHP (output < 2 kWel):



Fuel Cells vs. generazione tradizionale

Le celle a combustibile offrono un ampio spettro di potenze (in base alla tecnologia) in combinazione ad un efficienza elettrica molto elevata



- Fuel cell tipicamente alimentate a gas, forniscono elettricità e calore per utenze residenziali, commerciali ed industriali
- Range di Potenza: da Micro-CHP alle grandi installazione
- FC ad alta temperature possono essere alimentate anche da gas da digestione anaerobica o da gasificazione
- Caratteristiche: alta efficienza, flessibilità, riduzione delle emissioni inquinanti

Fuel Cells vs. generazione tradizionale

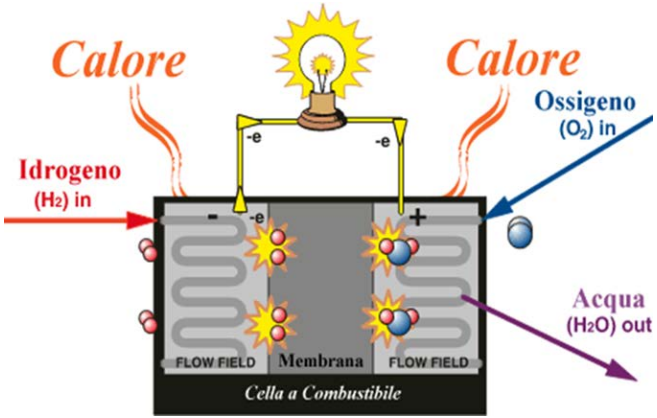
Le celle a combustibile offrono un ampio spettro di potenze (in base alla tecnologia) in combinazione ad un efficienza elettrica molto elevata

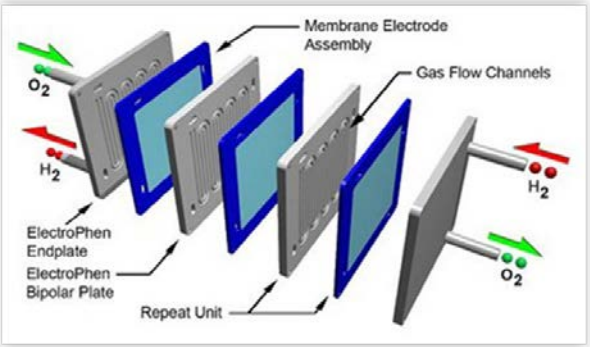
Properties Micro-CHP (power < 5 kW_{el}):

	Engine (combustion)	Stirling (engine)	PEMFC*	SOFC**
Electrical Output	from 1 kW	from 1 kW	from 0.3 kW	from 0.7 kW
Thermal Output	from 2.5 kW	from 3 kW	from 0.7 kW	from 0.6 kW
Sensitivity to maintenance	many moving parts	fewer moving parts, external combustion	only fans, pumps contain moving parts	only fans, pumps contain moving parts
Electrical Efficiency	ca. 20 - 30 %	ca. 10 - 15%	37 %	33 – 63 %
Modulation Capability	good	good, but slower	good	design dependent

Celle a combustibile: introduzione

Una cella a combustibile è un generatore elettrochimico che converte l'energia chimica di un combustibile (contenente idrogeno) e di un ossidante (contenente ossigeno) in energia elettrica:



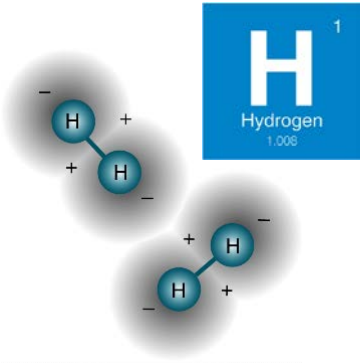


Anodo: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

Catodo: $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

Reazione Globale : $H_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O$ + calore

Celle a combustibile: introduzione



Perché utilizzare le celle a combustibile

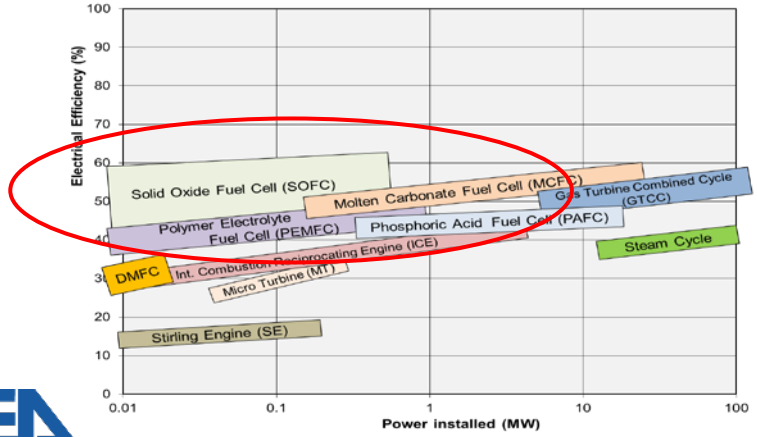
- Vettore di energia sicura, privo di carbonio (molecola H_2).
- Non emette gas dannosi per l'ambiente e per la salute umana.
- **Non esiste in natura come molecola H_2**, ma <u>può essere prodotto</u> da molteplici risorse, anche rinnovabili

Reforming idrocarburi leggeri (metano)

$$CH_4 + H_2O \rightleftarrows 3\,H_2 + CO$$

Elettrolisi dell'acqua (rinnovabili)

$$H_2O + \text{elettricità} \rightarrow H_2 + \tfrac{1}{2}\,O_2$$



- ✓ Sono (co)-generatori molto performanti con picchi di efficienze elettriche del 60%
- ✓ Nessuna combustione → **H_2O** unico prodotto di reazione
- ✓ Hanno un basso impatto ambientale non emettendo NO_x e SO_x
- ✓ Possono operare in modalità reversibile (elettrolisi da fonti rinnovabili)
- ✓ Modulari
- ✓ Silenziose

Celle a combustibile: tipologie

Celle a combustibile: Bassa Temperatura

Celle alcaline, AFC

- Temperatura: 60-120 °C
- Stato tecnologia: 5-150 kW
- Mercati: Usi speciali (militari, spaziali)
  Trasporto

Celle ad elettrolita polimerico, PEFC

- Temperatura: 70-100 °C
- Stato tecnologia: 1-250 kW
- Applicazioni: Trasporto
  Residenziale
  Premium power
  Generazione remota

Celle ad acido fosforico, PAFC

- Temperatura: 160-220 °C
- Stato della tecnologia: 50 kW - 1 MW
  Impianti fino a 11 MW
- Applicazioni: Cogenerazione commerciale
  Generazione distribuita

Celle a combustibile: Alta Temperatura

Celle a carbonati fusi, MCFC

- Temperatura: 600-650 °C
- Stato della tecnologia: 100 kW - 3 MW
- Applicazioni: Cogenerazione commerciale
  Generazione distribuita
  (impianti fino a 20 MW)

Celle ad ossidi solidi, SOFC

- Temperatura: 700-900°C
- Stato della tec W- 1 MW
- Applicazioni: Cogenerazione commerciale
  Generazione distribuita
  (impianti fino a 20 MW)
  Trasporto (APU)

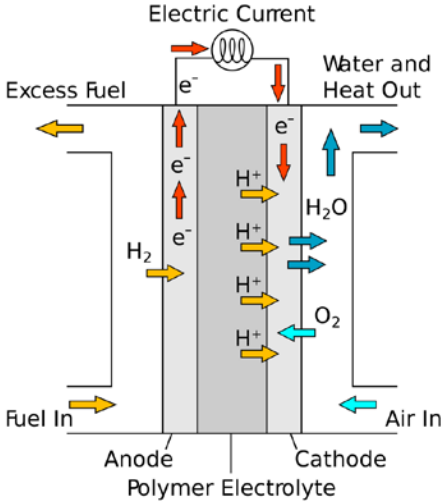
Celle metanolo diretto, DMFC

- Temperatura: 70-100 °C
- Stato tecnologia: < 2 kW
- Applicazioni: Generazione portatile
  Elettronica di consumo

Celle a combustibile: principi di funzionamento

Celle ad elettrolita polimerico, PEFC

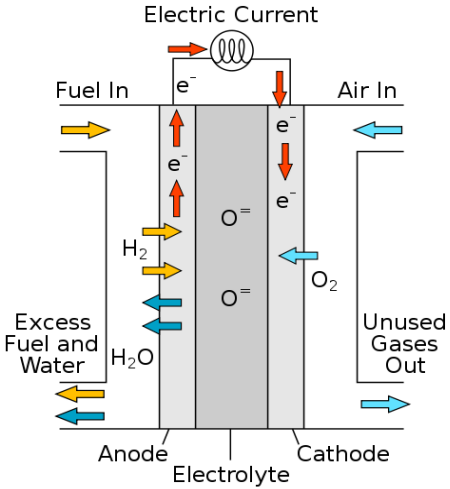
- Temperatura: 70-100 °C
- Stato tecnologia: 1-250 kW
- Applicazioni: Trasporto
  Residenziale
  Premium power
  Generazione remota



Anodo $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
Catodo
$1/2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

Celle ad ossidi solidi, SOFC

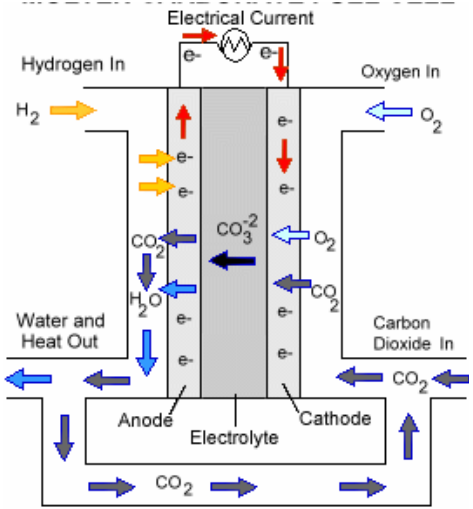
- Temperatura: 700-900°C
- Stato della tec V- 1 MW
- Applicazioni: Cogenerazione commerciale
  Generazione distribuita
  (impianti fino a 20 MW)
  Trasporto (APU)



Anodo $H_2 + O^2 \rightarrow H_2O + 2e^-$
Catodo $1/2O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$

Celle a carbonati fusi, MCFC

- Temperatura: 600-650 °C
- Stato della tecnologia: 100 kW - 3 MW
- Applicazioni: Cogenerazione commerciale
  Generazione distribuita
  (impianti fino a 20 MW)



Anodo $H_2O + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$
Catodo $1/2O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$

Celle a combustibile a bassa temperatura

Caratteristiche

o **Polymer Electrolyte Membrane / Proton Exchanging FC**

- Altissime densità di corrente e potenza (fino a 10 kW/m^2)
- Buone caratteristiche cicliche (*start-stop* veloci)
- Bassa temperatura facilita applicazioni portatili
- Elettrolita flessibile semi-solido

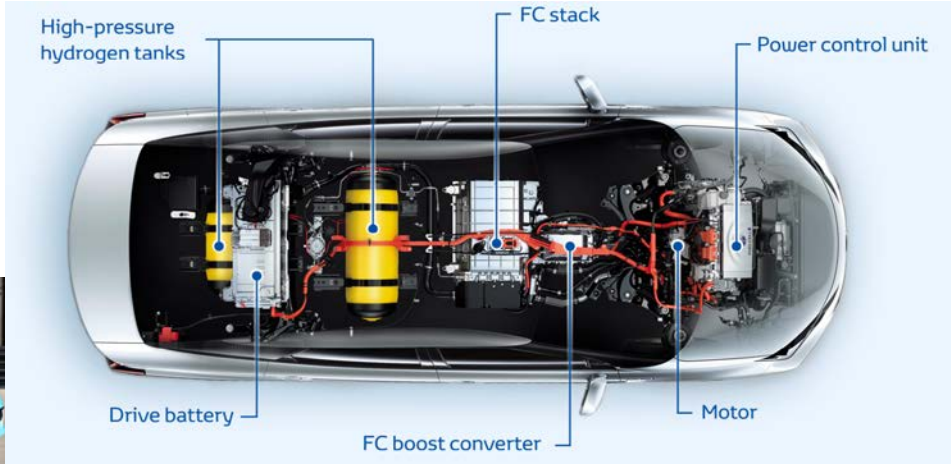
- Necessita di catalizzatori di Pt
- Alto costo
- Necessita di accurata gestione dell'acqua
- Bassissima tolleranza a CO e composti di S

Automobili a FC:
MIRAI TOYOTA,
CLARITY HONDA,
ix35 HYUNDAI

TEMPI DI RIFORNIMENTO
3 minuti

AUTONOMIA
400-500 km

TECNOLOGIA già testata su:
automobili, bus, microcar, cicli, droni, imbarcazioni, veicoli per lo spostamento di materiali



Celle a combustibile ad alta temperatura

Caratteristiche

Molten Carbonate FC (600 < T < 650° C)

- Sfrutta composti di C
- Non necessita di catalizzatori nobili
- Produce calore ad alta temperatura
- Tecnologia robusta

Solid Oxide FC (700 < T < 900° C)

- Sfrutta composti di C
- Non necessita di catalizzatori nobili
- Produce calore ad alta temperatura
- Alta densità di corrente
- Elettrolita solido

Molten Carbonate FC (600 < T < 650° C)

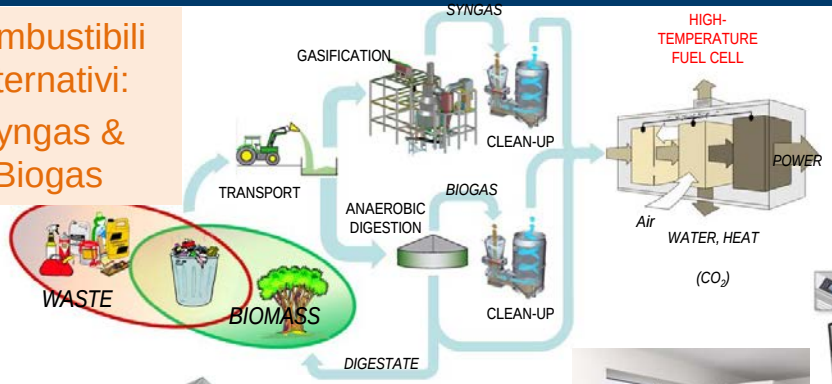
- Elettrolita corrosivo e volatile
- Degrado dei componenti
- Alto costo dei componenti e della fabbricazione

Solid Oxide FC (700 < T < 900° C)

- Corrosione all'alta temperatura operativa
- Fragilità meccanica
- Alto costo dei componenti e della fabbricazione

Combustibili alternativi:

Syngas & Biogas



Residenziale: µ - CHP

Stazionario: CHP (Combined Heat & Power)

FC per applicazioni stazionarie

Back-up power e gen-sets - Fuel cell tipicamente alimentate da H2 o metanolo.

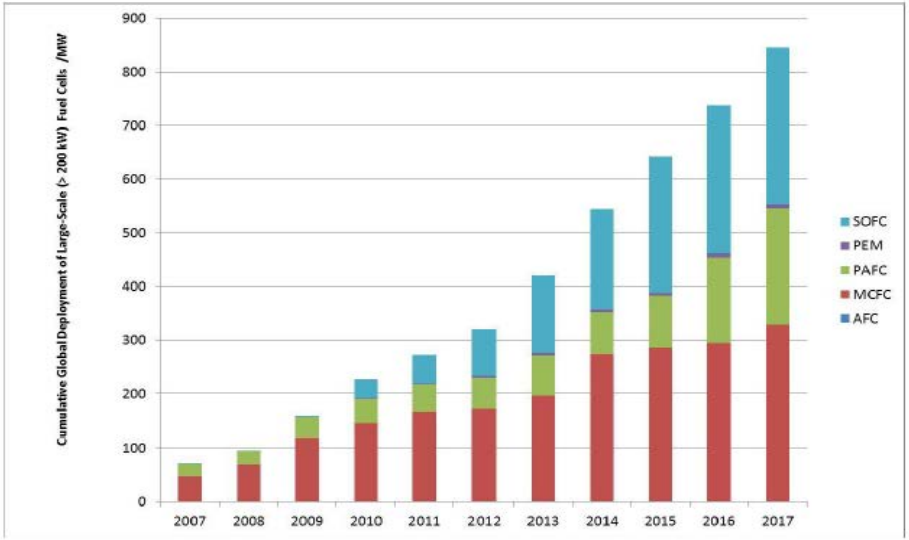
- Mercati di riferimento: telecom towers e data centres, e sopratutto dove è preminate l'utilizzo di tecnologie a basso impatto ambientale
- PEMFC vs Diesel IC generator e batterie

	Fuel Cell	Diesel	Battery
Reliability	+	–	+
Capital cost ($/kW)	–	+	++
Extended run time	++	++	– –
Emissions	++	–	++
Noise	+	–	++
Weight	+[a]	+	+
Efficiency	+	–	++
Annual fuel cost	– [b]	–	+[c]
Annual maintenance cost	+	–	++
Maintenance frequency	++	–	~
Refurbishment	+	+	– –
Remote conditioning and check	+	–	~
Operation lifetime	+	++	– –
Ambient conditions	+	+	–

[a] Fuel cell system only without the weight of hydrogen storage.
[b] Current cost of hydrogen (2016) is still high.
[c] Cost can be worse if batteries were added for air conditioning.

FC per applicazioni stazionarie

Large Prime Power - Fuel cell tipicamente alimentate a gas o H2, utilizzate come generatori di potenza. In Europa l'applicazione è limitata, mentre è molto comune in US e Asia, per i data center o grandi campus, e per l'utilizzo di H2 di scarto da processi industriali (ad es impianti petrolchimici).



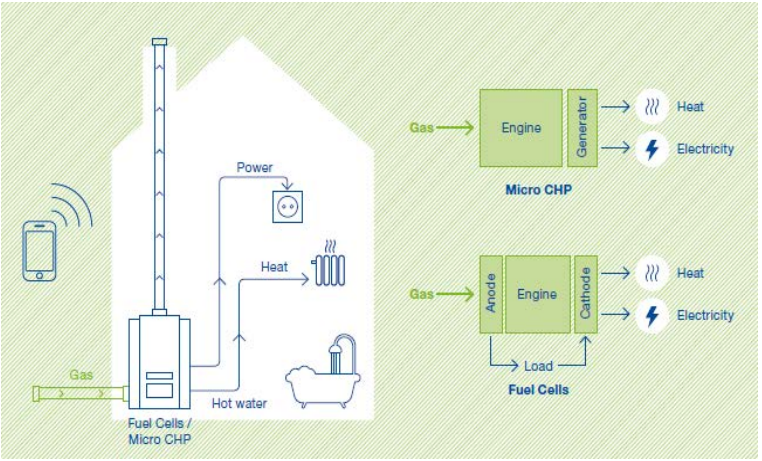
59-MW *Gyeonggi Green Energy fuel cell park in South Korea's Hwasung City*

14.9 Megawatt *Bridgeport Fuel Cell Park*

FC per applicazioni stazionarie

La micro-cogenerazione:

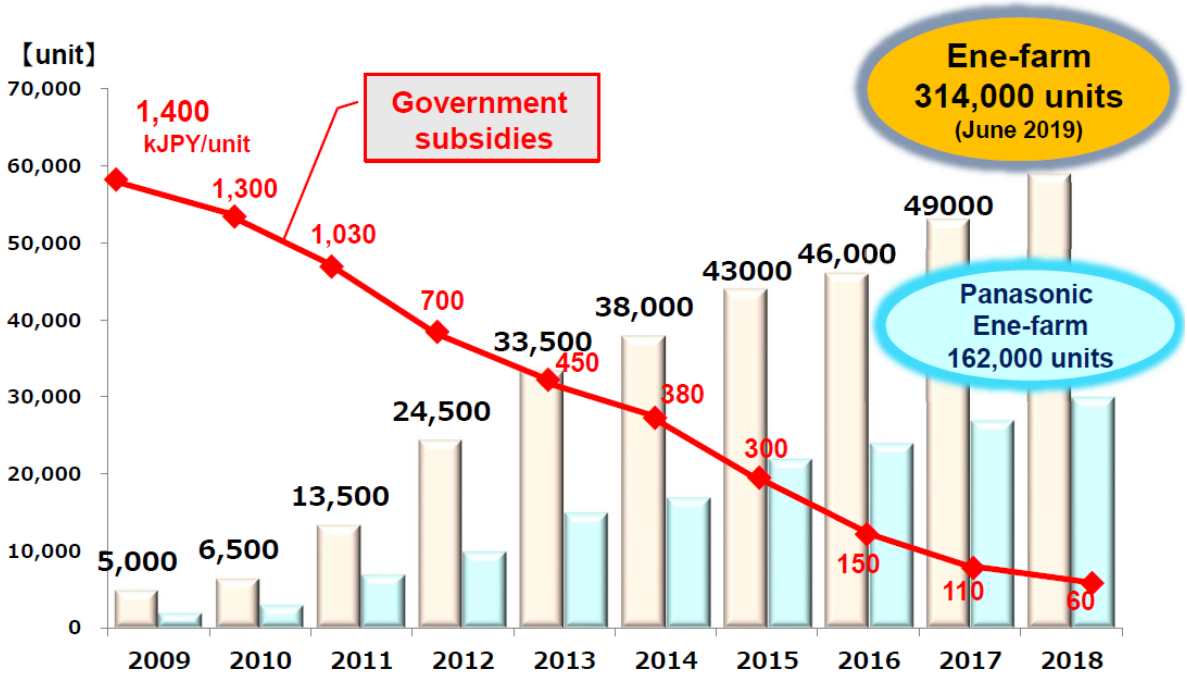
- Per quel che concerne il settore della micro-cogenerazione, il Giappone e l'Europa sono leader sia nel mercato che per le attività di ricerca e sviluppo;
- Il **Giappone** è leader negli impianti di micro cogenerazione (programma ENEFARM) con oltre **360.000** fuel cell installate. Il prezzo di vendita è stato ridotto a 7.000 USD/unità (PEMFC) e 8.800 USD/unità (SOFC);
- L'**Europa** segue con **4100** unità mcro CHP installate, grazie a tre azioni principali (Callux, PACE ed ene.field);
- Per le applicazioni stazionarie di grande taglia, gli Stati Uniti hanno una capacità installata di 500 MW; la Corea mantiene la leadership per i sistemi PAFC nel 2020, 210 MW in funzione e altri 223 MW in costruzione.



Tecnologie utilizzate: SOFC e PEMFC

Micro-CHP in Giappone

Giappone è leader negli impianti di micro cogenerazione (programma ENEFARM), con oltre **360.000** sistemi FC installati



Micro-CHP in Europa

ene.field
Fuel Cells x Combined Heat and Power

ENE.FIELD (2012-2017)
1046 micro-CHP in 10 stati europei

callux (nip
Praxistest Brennstoffzelle fürs Eigenheim

Callux (2008-2015)
800 micro-CHP fuel cells in Germania

- ene.field is the **largest European demonstration** of the latest home energy solution for private homes, fuel cell micro-CHP.
- Project duration of **5 years** (2012-2017).
- **1,046 Fuel Cell micro-CHP systems have been deployed** across 10 key European countries.
- More than **5.5 million hours of operation** & **2.5 GWh of power produced**
- Outputs of the project include: Detailed performance data, lifecycle cost and environmental assessments, market analysis, commercialisation strategy.

Progetti in Europa

ene.field
Fuel Cells x Combined Heat and Power

PACE

BALLARD
BAXI INNOTECH fuel cell heating
BOSCH Invented for life
British Gas Looking after your world
CeresPower
COGEN EUROPE
DBI GTI Gastechnologisches Institut
Development Centre for Hydrgen Technologies
Dolomiti energia
DONG energy
DTU
EIFER
elcore
elementenergy
energy saving trust
ENGIE
ENVIRONMENT PARK
gwi Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.
HEXIS
HYER
Imperial College London
POLITECNICO DI TORINO
RBZ
SENERTEC
SOLID POWER
Vaillant
VIESSMANN

ENEA

FCH FUEL CELLS AND HYDROGEN JOINT UNDERTAKING

Progetti in Europa

Installation in

ene.field
Fuel Cells x Combined Heat and Power

PACE

Dachs InnoGen	Cerapower FC10 Logapower FC10	PEMmCHP G5	Elcore 2400	Galileo 1000 N	Inhouse 5000+	ENGEN 2500	BLUEGEN	Vaillant G5+	Vitovalor
LT PEM	SOFC	LT PEM	HT PEM	SOFC	LT PEM	SOFC	SOFC	SOFC	PEM
700W	700W	2kW	300W	1kW	5kW	2.5kW	2kW	1kW	700W
Natural Gas	Natural Gas, Gas	Natural Gas + Biogas	Natural Gas	Natural gas+ Biogas	Natural gas + Biogas + H2	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas	Natural Gas
Floor	Floor	Floor	Wall	Floor	Floor	Floor	Floor	Wall	Floor
SenerTec	Bosch Thermotechnik	Dantherm Power	Elcore	Hexis	RBZ	Solid power	Solid power	Vaillant	Viessmann

ENEA

Generazione stazionaria

Nel **Decreto del MiSE 16/03/2017** si introduce l'utilizzo dei modelli unici per l'installazione, la connessione e l'esercizio di impianti di cogenerazione ad alto rendimento (All. 1) e microcogenerazione alimentata da fonti rinnovabili (All. 2), con l'intento di semplificare l'iter burocratico per la loro realizzazione.

Lo scopo del decreto è di minimizzare l'onere a carico dei produttori e razionalizzare lo scambio di informazioni tra Comuni, gestori di rete e GSE nell'ambito delle attività che comprendono la realizzazione, la connessione e l'esercizio di questa particolare tipologia di impianto.

https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2017/03/28/73/sg/pdf

Generazione stazionaria – Certificati Bianchi

Certificati bianchi o certificati di efficienza energetica TEE sono uno degli strumenti più importanti per promuovere l'efficienza energetica in Italia: si tratta di un meccanismo efficace, basato principalmente su risparmi energetici misurati; agisce sia come schema di obblighi di efficienza energetica, sia come incentivo dovuto all'esistenza di un mercato di negoziazione dei certificati.

I risparmi energetici possono essere ottenuti attraverso azioni di efficienza energetica tra gli utenti finali e valutati utilizzando come unità di misura le tonnellate equivalenti petrolio (tep).

Prezzo medio TEE, gennaio 2021: 260€/tep

https://www.gse.it/servizi-per-te/efficienza-energetica/certificati-bianchi

Generazione stazionaria - Incentivi

SUPERBONUS 110%
Acquisto e posa in opera di micro-cogeneratori in sostituzione funzionale (=il generatore termico rimane installato), aventi un PES pari almeno al 20% (PES FC M-CHP >38%), in abbinata ad altri interventi per il miglioramento di 2 classi di efficienza della struttura

ECOBONUS – detrazione fiscale 65% micro-cogeneratori
Acquisto e posa in opera di micro-cogeneratori in sostituzione funzionale (=il generatore termico rimane installato), aventi un PES pari almeno al 20% (PES FC M-CHP >38%)

ECOBONUS – detrazione fiscale 65% riqualificazione globale
“Interventi di riqualificazione energetica” comprendente qualsiasi intervento o insieme sistematico di interventi che incida sulla prestazione energetica dell’edificio, tra cui anche la cogenerazione

RISTRUTTURAZIONI – detrazione fiscale 50%
Spese riconducibili a lavori di ristrutturazione in immobili residenziali

CREDITO DI IMPOSTA 6% per beni strumentali
Con la Legge di Bilancio 2020 (Legge 27 dicembre 2019, n. 160) è stato introdotto al posto del vecchio super-ammortamento 130% un credito di imposta. 6% in 5 quote annuali

Legge di Bilancio 2018, 2019, 2020

Grazie per la cortese attenzione!

www.enea.it

Viviana Cigolotti

viviana.cigolotti@enea.it