

Verifica sperimentale di un sistema di celle a combustibile per l'autotrazione

Tesi svolta in collaborazione con il centro di
ricerca Enea "La Casaccia"



Obiettivi

Individuare un sistema di accumulo dell'idrogeno a bordo di un veicolo che rispetti i requisiti di sicurezza, affidabilità, economicità e capacità di accumulo.

Obiettivi della sperimentazione:

Determinare le prestazioni e le modalità operative di celle a combustibile ad elettrolita polimerico destinate alla trazione automobilistica.

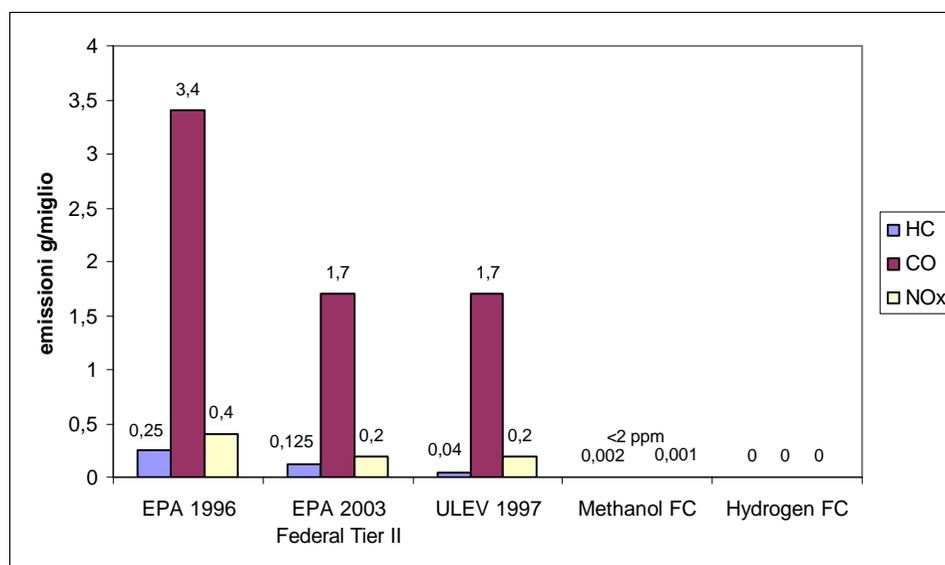
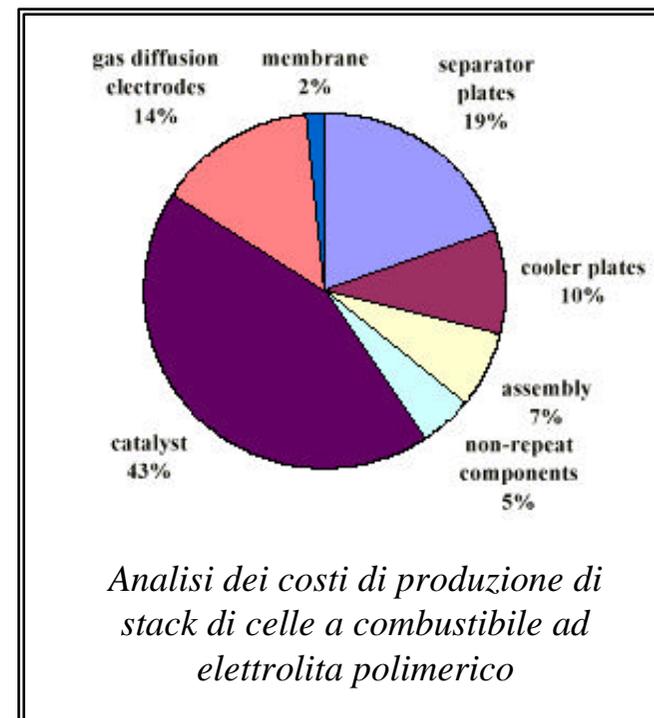
Obiettivi della progettazione:

Progettare un generatore di corrente a celle a combustibile da utilizzare per l'azionamento di un veicolo elettrico.

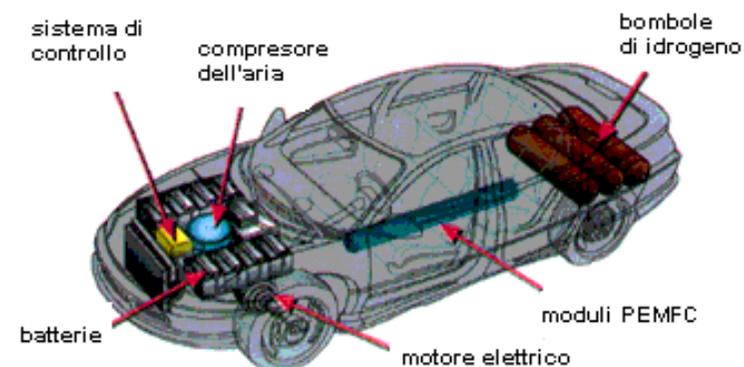
Celle a combustibile per l'autotrazione

Requisiti delle celle a combustibile per essere competitive con i motori a combustione interna

Caratteristiche	Sistema Celle	Trattamento combustibile
Efficienza	55%	80%
Densità di potenza	0,4 kW/l	0,5 kW/l
Potenza specifica	0,4 kW/kg	1 kW/kg
Costo	30 \$/kW	10 \$/kW
Tempo di avviamento	30 sec.	1 min.
Durata	5.000 ore e 100.000 miglia	5.000 ore e 100.000 miglia



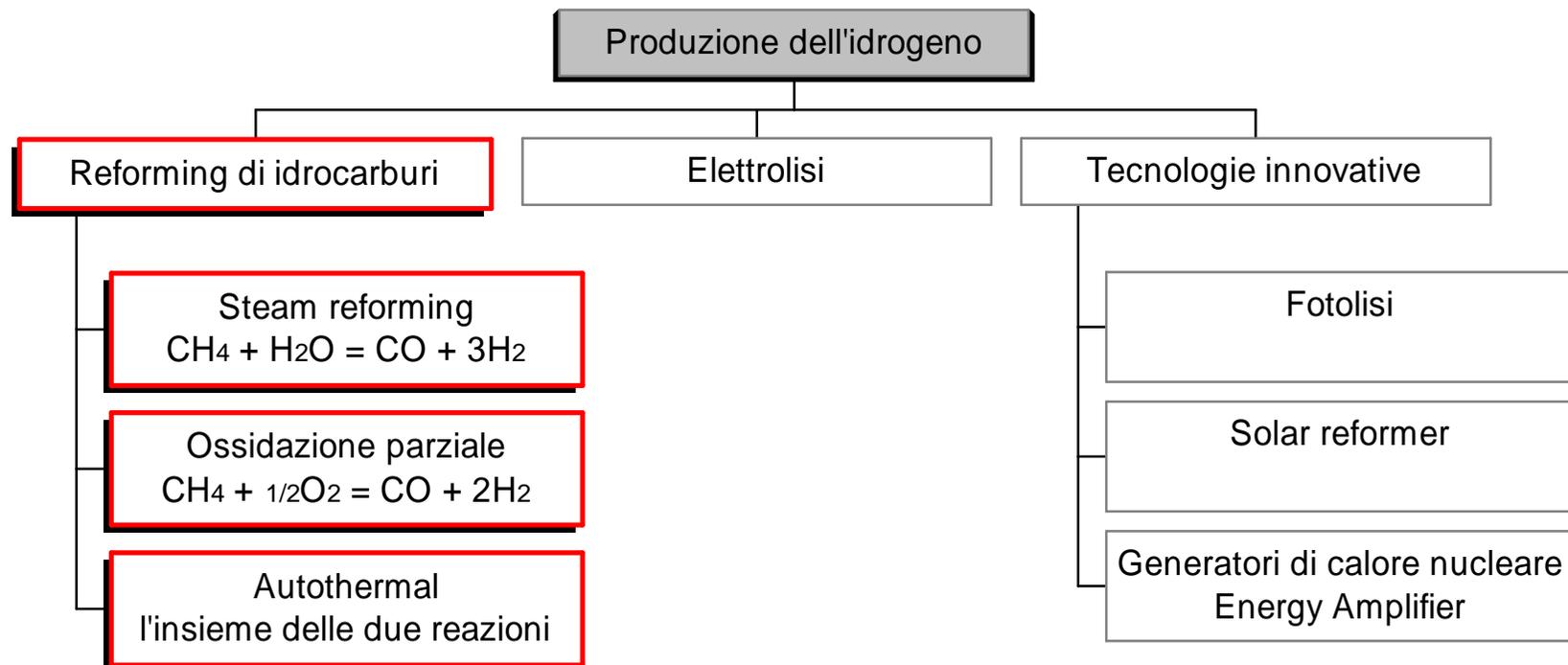
Confronto tra gli standard di emissioni dell'EPA



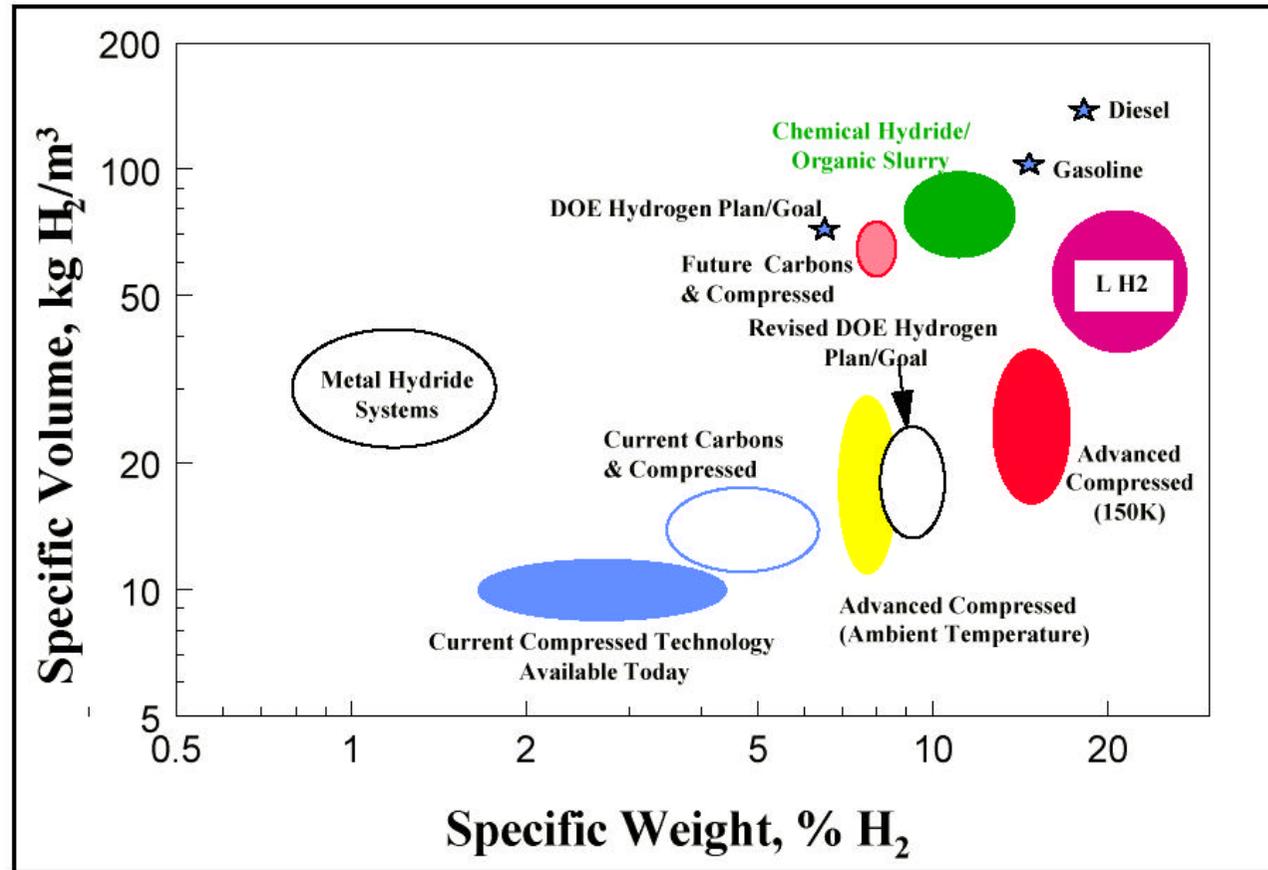
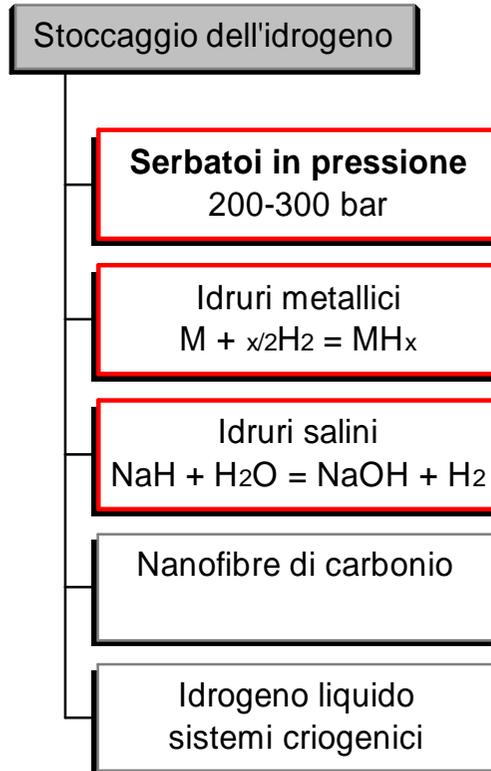
Criteria di scelta del combustibile

Mancando un'economia dell'idrogeno esiste una grande incertezza su quale sia la strategia da perseguire per la diffusione commerciale delle celle a combustibile; per il settore trasporti esistono sostanzialmente due possibilità:

- ✍ Produzione *Just in time* a bordo del veicolo tramite reforming di idrocarburi
- ✍ Stoccaggio a bordo di idrogeno puro



Sistemi di stoccaggio dell'idrogeno



Analisi dati sperimentali

Finalità della sperimentazione

- Determinazione delle condizioni operative:
 - Temperatura
 - Pressione
 - Portata fluidi
- Determinazione delle curve caratteristiche:
 - Curva di polarizzazione
 - Potenza prodotta
 - Curva del rendimento

Postazioni di prova:

- Postazione di prova CR Casaccia ENEA
- Laboratorio De Nora Fuel Cells



Stack 100 celle



Stack 20 Celle

Stack testati:

Stack da 100 celle di area effettiva di 256 cm², 5 kW

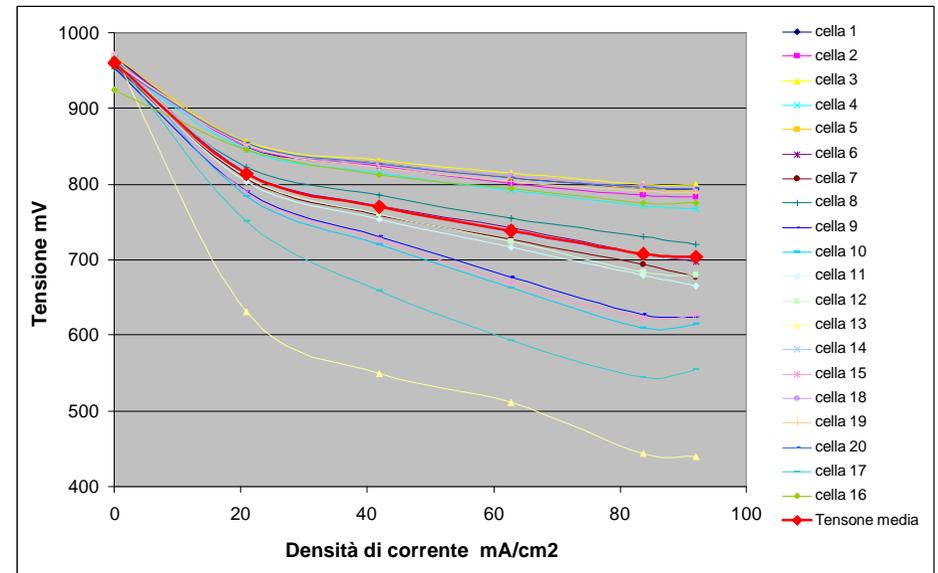
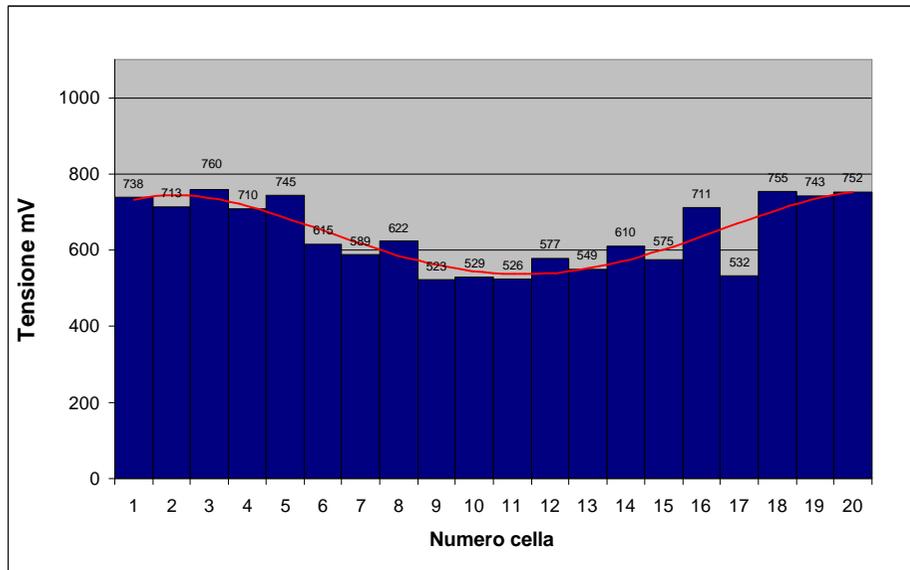
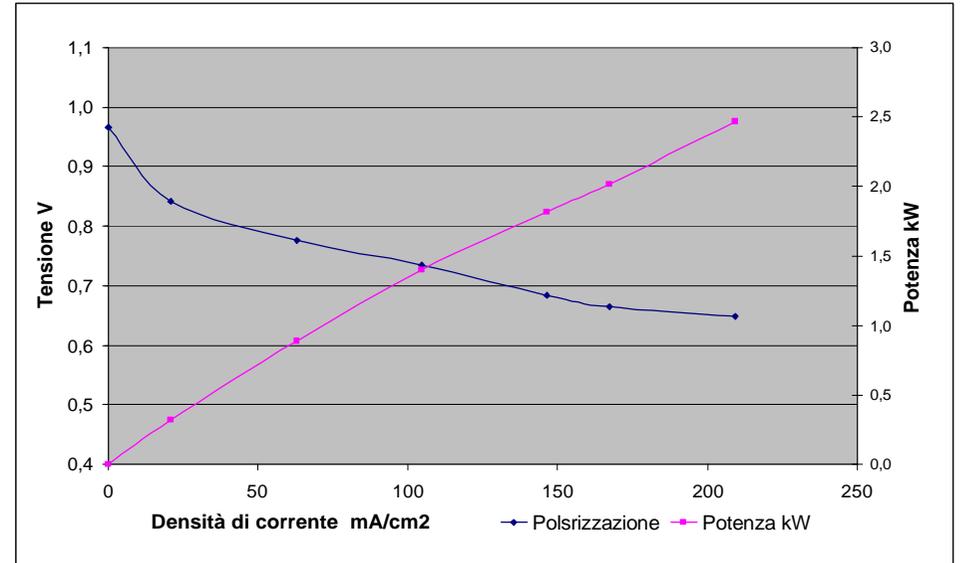
Stack da 20 celle di area effettiva di 956 cm², 5 kW

Stack da 100 celle *ottimizzato* di area effettiva di 256 cm², 5kW

Analisi dati sperimentali

Sia il primo che il secondo stack testati hanno manifestato delle notevoli discrepanze rispetto ai dati di targa, in particolar modo l'errato funzionamento di alcune celle ha impedito di generare la potenza elettrica ipotizzata in origine.

I grafici riportati raffigurano le caratteristiche rilevate in laboratorio per lo stack da 20 celle.

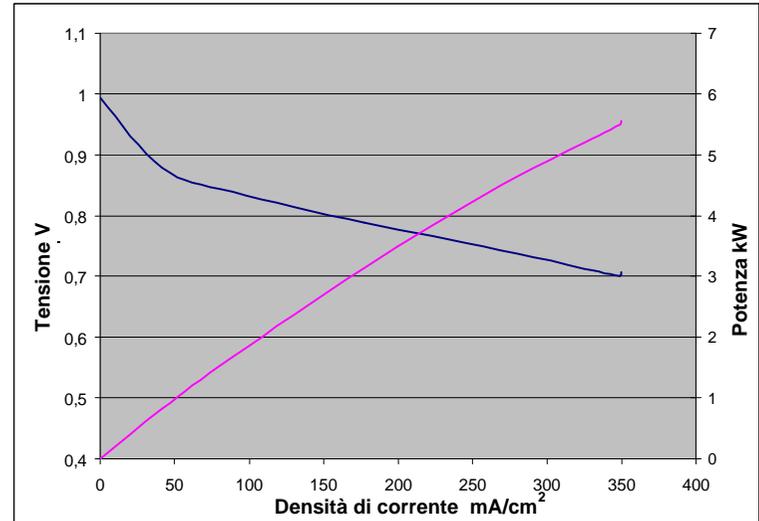


Analisi dati sperimentali

Lo stack con tecnologia *ottimizzata* ha dimostrato una notevole affidabilità generando una potenza di 5,5 kW ad una tensione di 0,707 V per cella.

E' stato inoltre determinato il rendimento e l'influenza del compressore aria sulle prestazioni generali.

In questi stack di nuova generazione **la pressione di alimentazione dell'aria è di 1,5 bar abs**; questo permette di sostituire il compressore con una soffiante e di avere un'efficienza complessiva superiore ai sistemi di precedente concezione operanti a 3-4 bar.



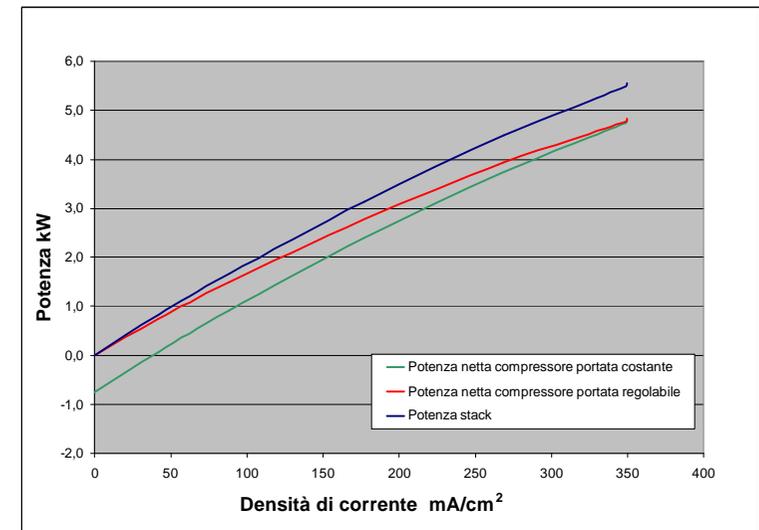
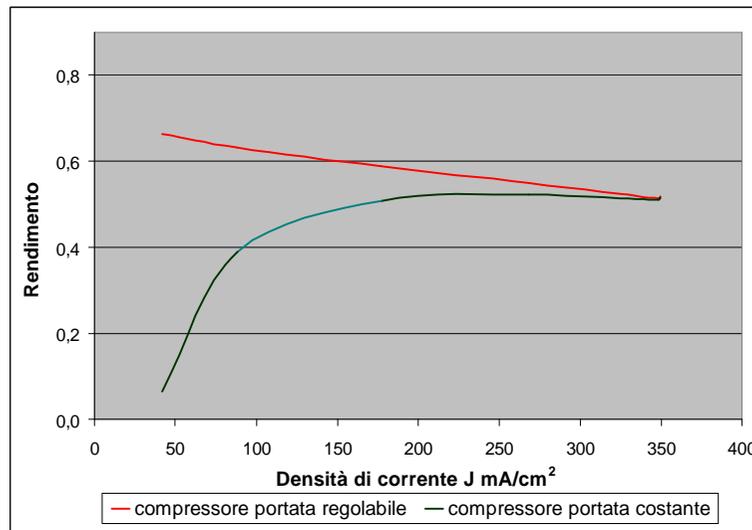
Condizioni operative

Temperatura aria in uscita 70 °C

Temperatura acqua di raffreddamento 45 °C

Pressione aria 1,5 bar abs

Pressione H₂ 1,9 bar abs

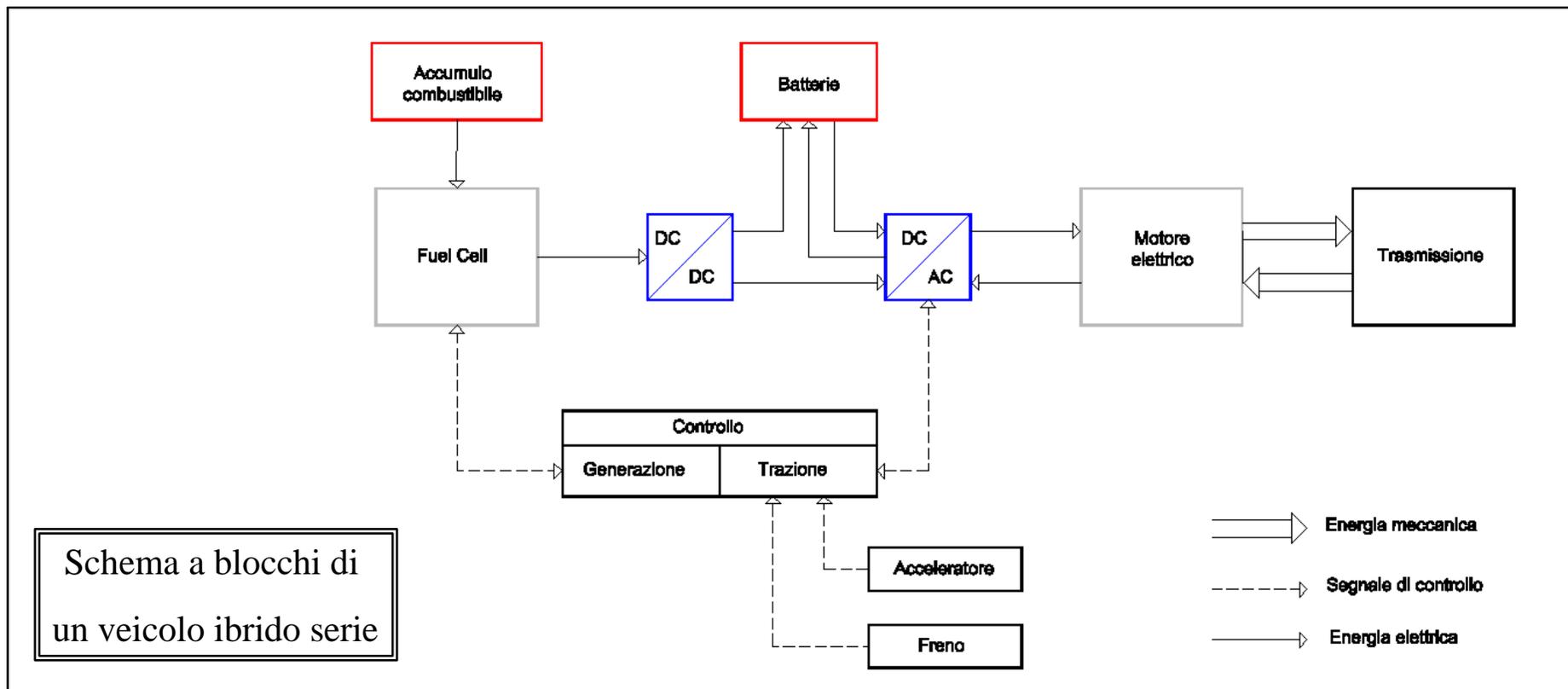


Progettazione del veicolo azionato da celle a combustibile

L'autovettura presa a riferimento per la progettazione è la **Fiat Cinquecento Elettra**.

La finalità del progetto consiste nel progettare un generatore elettrico a celle a combustibile in grado di erogare la potenza *media*, determinata secondo la modellistica dei veicoli ibridi, necessaria per compiere un ciclo urbano standardizzato ECE 15.

L'idrogeno necessario per alimentare le celle sarà immagazzinato in due serbatoi in materiale composito alla pressione di 200 bar.



Progettazione del veicolo azionato da celle a combustibile

Requisiti del generatore:

- Potenza netta necessaria per l'azionamento: 4 kW;
- consumo specifico di H₂ del sistema celle a combustibile: 0,8 Nm³/kWh;
- ingombro massimo generatore completo: 1x0,9x1,1 m;
- peso massimo generatore completo: 360 kg.

Risultati ottenuti:

- Potenza al netto degli ausiliari: 3,43 kW;
- consumo specifico di H₂ : 1,05 Nm³/kWh;
- autonomia 115 km;
- rendimento complessivo del generatore: 33%

Fasi della progettazione:

- Calcolo delle portate dei reagenti e dimensionamento delle condutture;
- determinazione degli organi di controllo delle pressioni e delle portate;
- progettazione di un sistema di umidificazione delle membrane;
- dimensionamento del circuito di raffreddamento;
- dimensionamento del compressore aria
- determinazione dei sensori e dei sistemi di allarme;
- identificazione dello schema dell'impianto;
- definizione della logica di controllo.

Progettazione del veicolo azionato da celle a combustibile

Problematiche incontrate:

• *Bilancio termodinamico:*

la quantità di calore da smaltire corrisponde a 14.400 kJ (4 kWh), nel caso si utilizzasse un radiatore di tipo automobilistico, essendo vincolati alla temperatura dell'acqua di raffreddamento, la dimensione dello scambiatore sarebbe incompatibile con lo spazio disponibile nel veicolo; per ovviare all'inconveniente è stata condotta un'attenta analisi dei flussi:

- L'aria entra a 25 °C ed esce a 70 °C

$$Q_{air} = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (kJ)$$

Dove:

m è la portata in massa di aria = 25,2 kg/h

C_p aria = 1 kJ/kg

$$\Rightarrow Q_{air} = 1134 \text{ kJ} = 0,315 \text{ kW}$$

- La quantità di acqua che evapora nello stack è pari a 2,67 kg/h

$$Q_{evap} = m \cdot H_{evap} \quad (kJ)$$

Dove:

H_{evap} è l'entalpia di vaporizzazione = 2256 kJ/kg

$$\Rightarrow Q_{evap} = 6023 \text{ kJ} = 1,67 \text{ kW}$$

La quantità di calore da smaltire tramite il radiatore è quindi: $Q_{cooling} = Q_{tot} = (Q_{air} + Q_{evap}) = 2,015 \text{ kW}$

Progettazione del veicolo azionato da celle a combustibile

Problematiche incontrate:

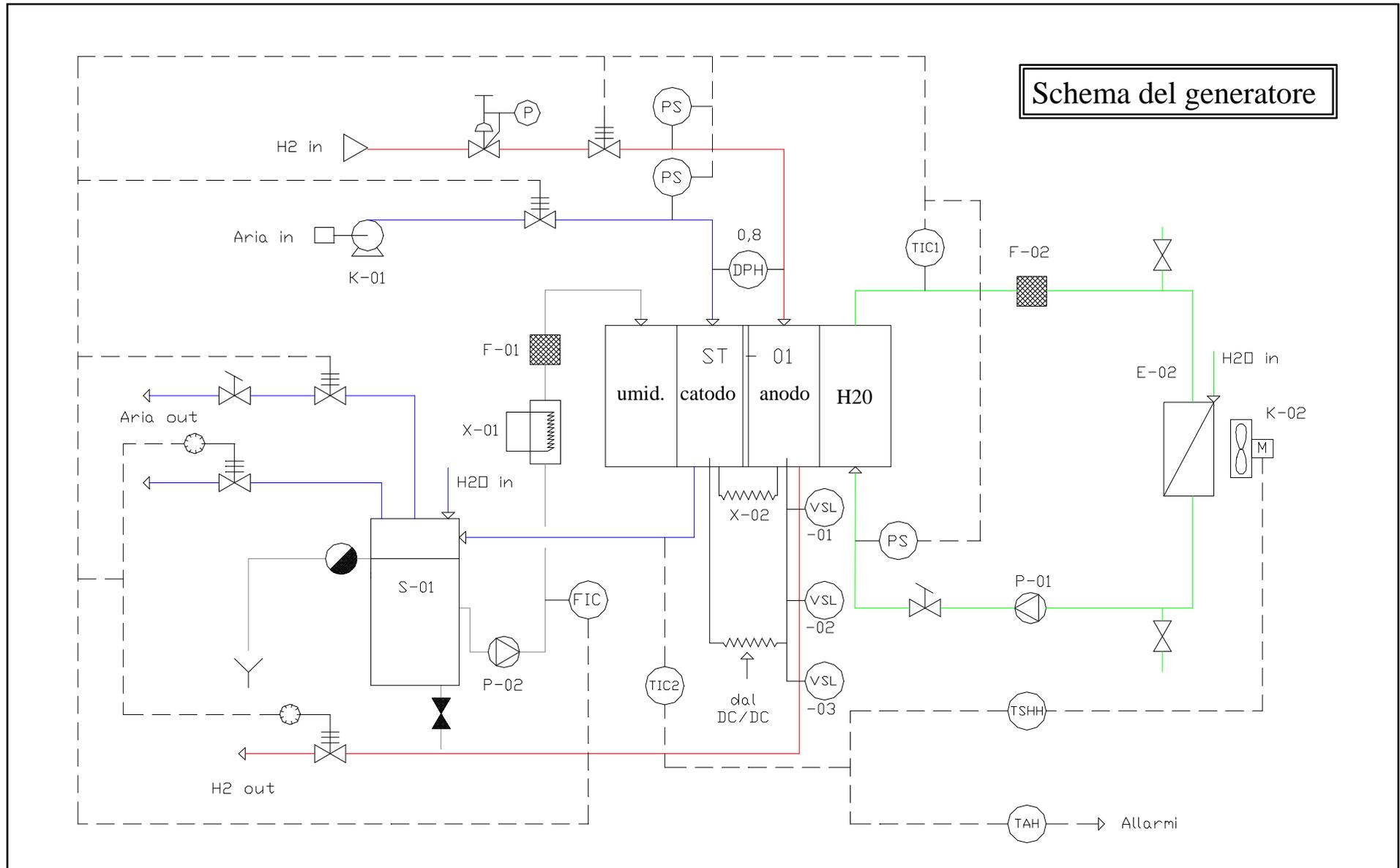
- *Water management:*

Tramite l'umidificazione diretta delle membrane è possibile iniettare all'interno dello stack una quantità di acqua tale da ottenere, per l'esausto catodico, un valore dell'umidità relativa pari a 100%. In tal caso il numero di moli di acqua che evaporano all'interno dello stack e che quindi vengono trasportate dal flusso dell'aria è pari a 148,3 moli/h.

Una corrente elettrica di 78,8 A, valore nominale dello stack, corrisponde ad un consumo di idrogeno di 147 moli/h e quindi alla formazione di 147 moli di acqua.

? Unicamente controllando la portata e la temperatura dell'aria, in relazione alla corrente prodotta, è possibile bilanciare di acqua prodotta e quella che viene persa tramite l'esausto catodico.

Progettazione del veicolo azionato da celle a combustibile



Conclusioni e prospettive di utilizzo

- I risultati ottenuti dalla sperimentazione mostrano un costante miglioramento nelle prestazioni degli stack prodotti dalla De Nora;
- è ora possibile realizzare un sistema a celle a combustibile particolarmente semplice in cui gli organi di regolazione e controllo sono ridotti al minimo indispensabile;
- la possibilità di esercire lo stack a bassa pressione permette di aumentare l'efficienza complessiva del dispositivo.

- A partire dal 2005 alcune industrie automobilistiche realizzeranno dei prototipi di veicoli a bassissimo impatto ambientale azionati da celle a combustibile ad elettrolita polimerico;
- molto probabilmente l'idrogeno necessario per l'alimentazione sarà ottenuto da un reformer per metanolo installato a bordo del veicolo;
- per la piena maturità tecnologica delle celle a combustibile sarà probabilmente necessario attendere fino al 2020.