

**MISSION
INNOVATION**

accelerating the clean energy revolution

POA MATERIALI AVANZATI PER L'ENERGIA**PROGETTO IEMAP - Piattaforma Italiana Accelerata per i Materiali per
l'Energia**

D3.14 - Validazione del prototipo realizzato in modalità rigenerativa con area attiva almeno di 25 cm² e costituito da 3 celle

Autori: N. Briguglio, G. Monforte, F. Giacobello,
M. Giorgianni, M. Bottari, A. S. Aricò



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



D3.14 - Validazione del prototipo realizzato in modalità rigenerativa con area attiva almeno di 25 cm² e costituito da 3 celle

N. Briguglio, G. Monforte, F. Giacobello, M. Giorgianni, M. Bottari, A. S. Aricò (CNR-ITAIE)

Dicembre 2024

Report MISSION INNOVATION - IEMAP

Ministero della Transizione Ecologica - ENEA
Mission Innovation 2021-2024 - III annualità

Progetto: Piattaforma Italiana Accelerata per i Materiali per l'Energia

Work package 3: Materiali per elettrolizzatori

Linea di attività 3.8: Scale up dei componenti attivi della cella per essere impiegati nel prototipo finale di elettrolizzatore rigenerativo

Responsabile del Progetto: Massimo Celino (ENEA)

Responsabile della LA: Nicola Briguglio (CNR-ITAIE)

Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	5
1 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
1.1 PROGETTAZIONE DEL PROTOTIPO DI SHORT STACK E SPECIFICHE TECNICHE.....	5
1.1.1 <i>Frame dello short stack</i>	7
1.1.2 <i>Testate dello short stack</i>	7
1.2 REALIZZAZIONE DEI COMPONENTI	8
1.3 CONDIZIONI OPERATIVE	9
1.4 RISULTATI ELETTROCHIMICI	10
1.5 INTERFACCIA PIATTAFORMA IEMAP	12
2 CONCLUSIONI.....	12
3 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	13

Sommario

Lo stack è stato realizzato con l'obiettivo di verificare le prestazioni elettrochimiche dei componenti sviluppati nelle LA 3.7 e 3.8 durante la fase di scale up. Il processo di scale-up è essenziale per passare dalla produzione in laboratorio o su piccola scala alla produzione industriale di idrogeno. Questo processo comporta numerose sfide tecniche e ingegneristiche, poiché richiede l'ottimizzazione di vari parametri per mantenere l'efficienza, la durabilità e la sicurezza operativa su larga scala.

Il design delle celle è stato ottimizzato per assicurare una distribuzione uniforme dei reagenti sulla superficie degli elettrodi al fine di garantire una distribuzione della corrente prodotta o applicata.

Le scelte progettuali inoltre permetteranno di evitare la formazione di hot spot durante i test elettrochimici e ridurre così la degradazione dei componenti come membrane e catalizzatori.

Al fine di ridurre i costi di produzione è stato deciso di utilizzare delle reti in titani realizzate con una struttura tridimensionale tale da permettere ai reagenti di venire a contatto con i siti di reazione in maniera opportuna e ridurre le perdite di pressione.

Distribuzione Uniforme della Corrente, perché con l'aumento delle dimensioni della cella diventa più complesso garantire una distribuzione uniforme della corrente.

Per lo stack sono stati scelti materiali come l'ertalyte, l'acciaio inox 316 L e titanio al fine di ridurre i costi di produzione e ridurre la degradazione nel tempo del dispositivo. L'Ertalyte è un materiale plastico ad alte prestazioni. La sua composizione principale è il polietilentereftalato (PET), un tipo di polimero che offre eccellenti proprietà meccaniche, chimiche e termiche.

Un altro importante obiettivo è stato quello di minimizzare la resistenza elettrica e l'efficienza energetica dello stack attraverso ottimizzazione del design. Lo spessore e le tolleranze di lavorazione sono stati definiti con lo scopo di ottenere un perfetto accoppiamento tra i vari componenti durante la fase di assemblaggio.

Tutti materiali sono stati scelti per offrire una maggiore resistenza alla corrosione e una lunga vita utile al dispositivo finale.

Introduzione

L'attività di ricerca tratta lo sviluppo elettrolizzatori di tipo rigenerativo cioè, delle celle elettrochimiche che possiedono la duplice funzione di poter essere utilizzate sia per la produzione di idrogeno (modalità elettrolisi) e sia per la produzione di corrente elettrica (modalità celle a combustibile). In dettaglio della realizzazione di uno short stack prototipale costituito da 3 celle con area attiva almeno di 25 cm² per la validazione dei componenti attivi sviluppati. Vengono dettagliati sia il design sia la realizzazione di componenti principali, come celle, collettori, piastre terminali e strutture di distribuzione dei flussi. Grande attenzione è stata posta nella riduzione dei costi tramite l'uso di materiali economici e spessori ottimizzati, includendo materiali polimerici ove possibile. Il design della cella è stato sviluppato utilizzando il software Solid Edge.

1 Descrizione delle attività svolte e risultati

1.1 *Progettazione del prototipo di short stack e specifiche tecniche*

La progettazione ha seguito una procedura che considera i principali parametri operativi richiesti:

- Area attiva e numero di celle;
- Efficienza;
- Densità di corrente;
- Tensione operativa;

Punto di funzionamento nominale.

L'obiettivo è stato trovare il miglior equilibrio tra prestazioni, durata e costi.

Architettura dello stack:

Lo stack è costituito da piastre bipolari connesse in serie e due piastre di serraggio terminali per garantire compressione e tenuta. Lo stack comprende circa 30 celle, ciascuna composta dai seguenti componenti principali:

- MEA (assemblato elettrodo-membrana);
- Tiranti;
- Piastre bipolari;
- Guarnizioni (tenuta dei reagenti e prodotti);
- Collettori di corrente.

Il numero di tiranti e la posizione è stata scelta per ottenere una distribuzione uniforme della forza di compressione. L'obiettivo è quello di avere una distribuzione omogenea della forza sull'area attiva.

In figura è mostrato un esploso del short stack con indicazione delle singole parti. I Tiranti sono distribuiti in maniera omogenea esternamente agli altri componenti. L'ingresso e l'uscita dei fluidi di processo avviene dallo stesso lato per favorire la parte di assemblaggio e connessione con la test bench.

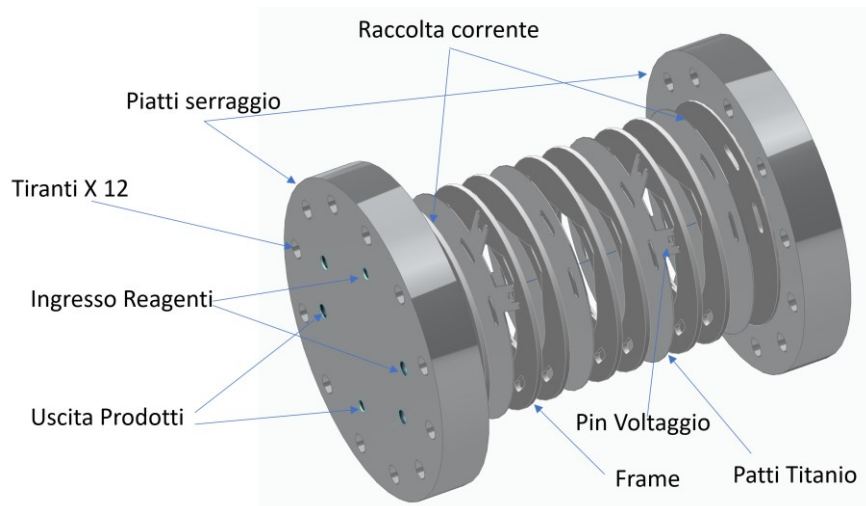


Figura 1. Esploso dello short stack.

La configurazione scelta per la distribuzione dei reagenti attraverso i manifold dello stack è quella mostrata nella seguente figura 2. I reagenti sono distribuiti mediante collettori situati su un unico lato dello stack, semplificando il montaggio e migliorando la flessibilità di installazione.

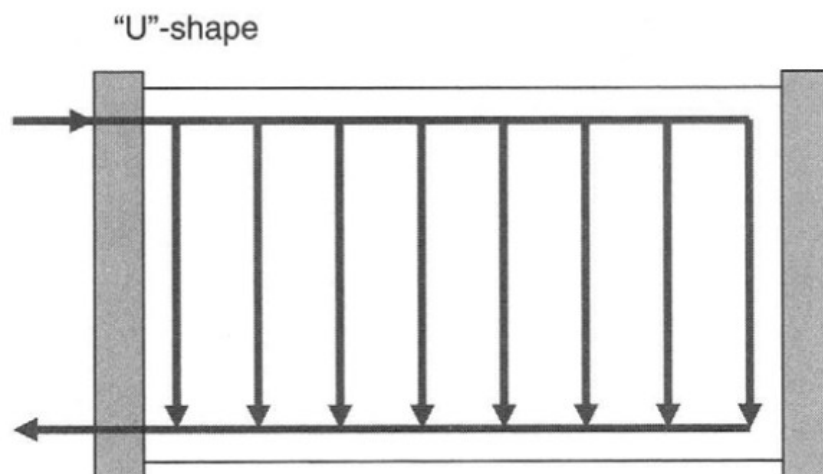


Figura 2. Schema del percorso del fluido di processo dentro lo stack. La figura si riferisce ad un solo compartimento essendo uguali per entrambi.

La temperatura operativa viene gestita diversamente a seconda della modalità:

- Elettrolisi: regolando la temperatura dell'acqua in ingresso;
- Fuel cell: mediante raffreddamento esterno ad aria. In questo caso, la potenza termica da dissipare è circa 3.75 W, calcolata considerando un'efficienza del 50% con una corrente di 0.5 A/cm².

$$P_t = (A \times C) \times (V \times N_{\text{celle}}) \times \eta = (25 \text{ cm}^2 \times 0,5 \text{ Acm}^2) \times (0,6 \text{ V} \times 3) \times 0,5 = 3,75 \text{ W}$$

Dove A = area attiva della cella; C = corrente [A cm⁻²]; V = tensione cella singola [V]; η = rendimento atteso.

Nella seguente tabella sono elencati i materiali utilizzati per la realizzazione dello short stack.

Tabella 1. Materiali utilizzati per la realizzazione dello short stack

COMPONENTE	MATERIALE	QUANTITA'
Piatti di serraggio	Acciao	2
Piatti raccolta corrente	Titanio	2
Piatti bipolari	Titanio	30
Frame della cella	Materiale Polimerico	60
Guarnizioni	PTFE	60
Diffusion Layer	Titanio Felt/Titanio Sinter	60
Canali cella	Titanio Grid	60
Isolatori	Materiale Polimerico	2

L'utilizzo del software COMSOL ha consentito di ottimizzare il posizionamento dei canali di flusso. Le simulazioni fluidodinamiche sono state condotte considerando fluidi incompressibili e condizioni operative nominali.

1.1.1 Frame dello short stack

I percorsi di ingresso e uscita dei fluidi operativi della cella sono stati progettati e ottimizzati sotto l'aspetto fluidodinamico utilizzando il software COMSOL Multiphysics. Per il dimensionamento della cella sono state prese in considerazione le condizioni operative nominali, riportate nella tabella. Le portate indicate sono approssimative e saranno regolate in base alla tipologia di diffusion layer utilizzato, che costituisce un elemento chiave per le prestazioni complessive della cella. La temperatura di esercizio è stata fissata a 80 °C. Le condizioni operative utilizzate per il dimensionamento sono riportate in tabella.

Tabella 2. Condizioni operative utilizzate per il dimensionamento dei frame dello stack

Modalità FC	O ₂ [sml m]	H ₂ [slm]	Modalità Elettrolisi	H ₂ O [ml/min]
0.5 A/cm ² stech. 2	260	500	2 ml/min/cm ²	150

1.1.2 Testate dello short stack

Le testate dello stack sono costituite da tre componenti principali:

- Piatto per la raccolta della corrente;
- Piatto di compressione;
- Isolatori.

Lo schema di montaggio è illustrato nella figura seguente. Gli isolatori svolgono il ruolo di isolare elettricamente i piatti di compressione dalle celle dello stack. Il piatto di compressione, realizzato in

acciaio AISI 316L ed ha uno spessore di 20 mm. Presenta quattro dedicati ai reagenti e sedici fori passanti destinati ai tiranti.

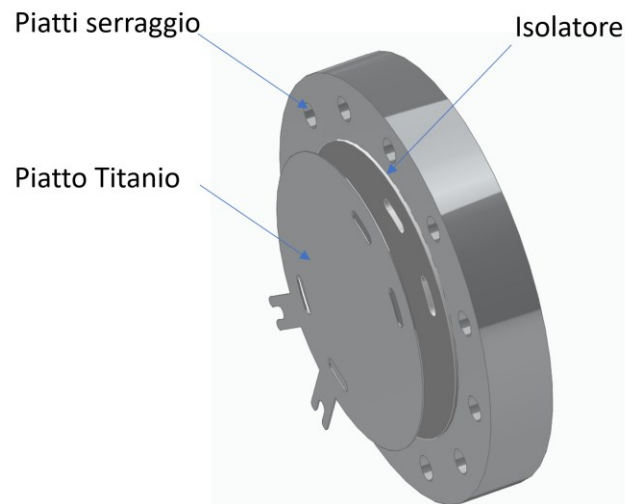


Figura 3. Testate dello short stack.

1.2 Realizzazione dei componenti

I componenti progettati sono stati realizzati da un'officina esterna. Alcuni componenti come il sinter poroso/ felt in titanio o la rete in titanio sono stati forniti da ditte esterne su nostre specifiche dimensionali e qualitative.

Nella seguente figura sono mostrati i singoli componenti dello stack.

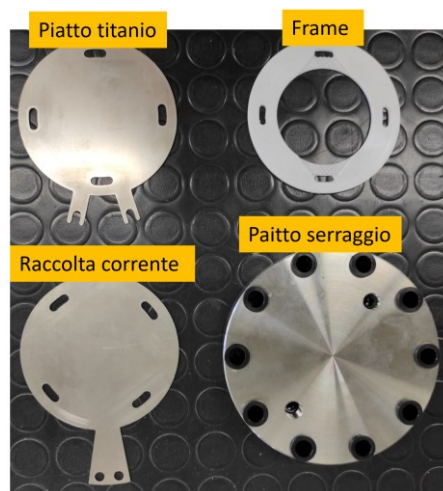


Figura 4. Componenti realizzati.

1.3 Condizioni operative

I MEA per lo short stack sono stati prodotti attraverso la preparazione di inchiostri specifici per la deposizione spray direttamente sulla membrana (CCM) utilizzando una tecnica manuale di spruzzatura. L'area attiva ricoperta è stata di 25 cm². La tabella seguente presenta la composizione di base del MEA realizzato. La composizione è stata selezionata sulla base dei risultati ottenuti nelle precedenti linea di attività LA 3.7 e LA 3.8.

Tabella 3. Composizione catalitica del MEA caratterizzato elettrochimicamente.

Cod. Cella	Membrana	Catalizzatore Anodo	Ionomero	Catalizzatore	Ionomero
			Anodo	Catodo	Catodo
MEA	Nafion 115	IrO ₂ (1mg cm ⁻²) + Pt black (1 mg/cm ²)	Nafion/20%	47% Pt/C (1mg/cm ²)	Nafion/20%

Il MEA preparato è stato testato in due stazioni differenti; una stazione per caratterizzare elettrolizzatori PEM e una per testare celle a combustibile PEM.

Nella seguente figura è mostrato lo short stack durante i test elettrochimici

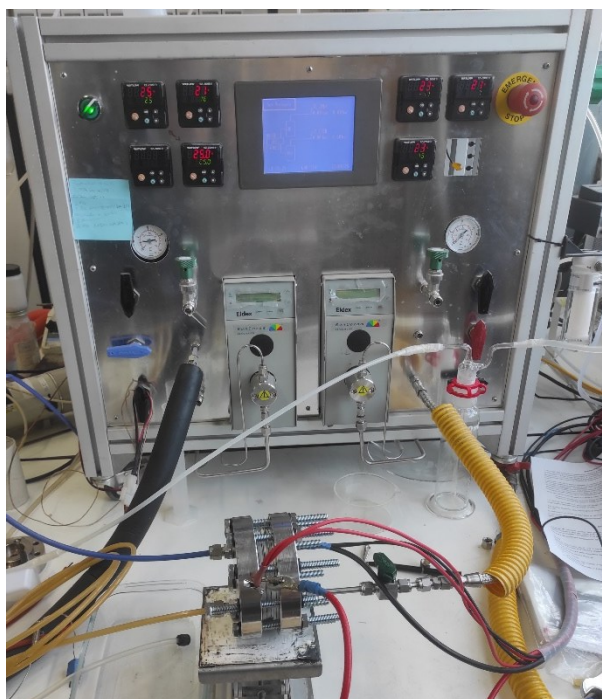


Fig. 4. Short stack durante i test elettrochimici rigenerativi.

In tabella 2 sono riportate le condizioni operative dei test per le due modalità di funzionamento della cella reversibile in modalità elettrolisi e cella a combustibile.

Tabella 4. Parametri operativi per i test elettrochimici.

	Reagente	Temperatura cella °C	Pressione kPa	Flusso	RH%
Elettrolisi	H ₂ O	80	Catodo 100; Anodo 100	2 ml/min- cm ²	/
Cella a combustibile	O ₂ /H ₂	80	Catodo 150; Anodo 150	2/1.5 stechiometria	50

I MEA preparati sono stati provati prima in modalità cella a combustibile e successivamente in modalità elettrolisi. I test sono stati condotti facendo lavorare l'elettrodo sempre con lo stesso gas per evitare miscele tra combustibile e ossidante. Nella seguente figura, è mostrato il principio di funzionamento applicato nei test. L'elettrodo ossida o riduce il reagente in funzione della modalità di lavoro richiesta (elettrolisi o cella a combustibile).

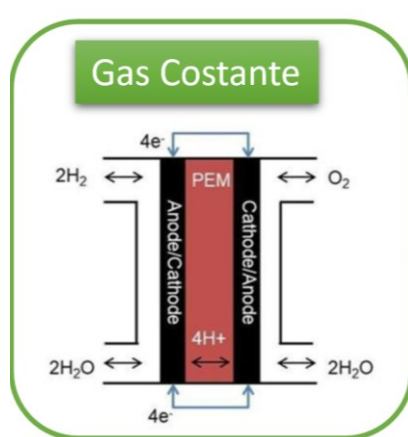


Figura 5. Funzionamento della cella a gas costante.

1.4 Risultati Elettrochimici

Lo short stack è stato inizialmente sottoposto a test in modalità elettrolisi. La figura 6 illustra un confronto tra le prestazioni elettrochimiche in modalità elettrolisi del MEA da 25 cm², prodotto durante una precedente attività di ricerca (LA 3.8), e dello short stack da 25 cm² sviluppato per lo scale-up.

Entrambi i MEA soddisfano gli obiettivi progettuali, ma il MEA da 25 cm² offre prestazioni superiori, come previsto. Le perdite registrate nello short stack risultano comunque inferiori rispetto a quelle osservate nel precedente scale-up da 8 a 25 cm². Tali perdite sono riconducibili principalmente alle resistenze di contatto, che sembrano essere la causa principale delle differenze prestazionali tra i due MEA. Alla densità di corrente di 1 A cm⁻², il MEA da 25 cm² raggiunge un'efficienza del 78%, mentre lo short stack si attesta al 74%.

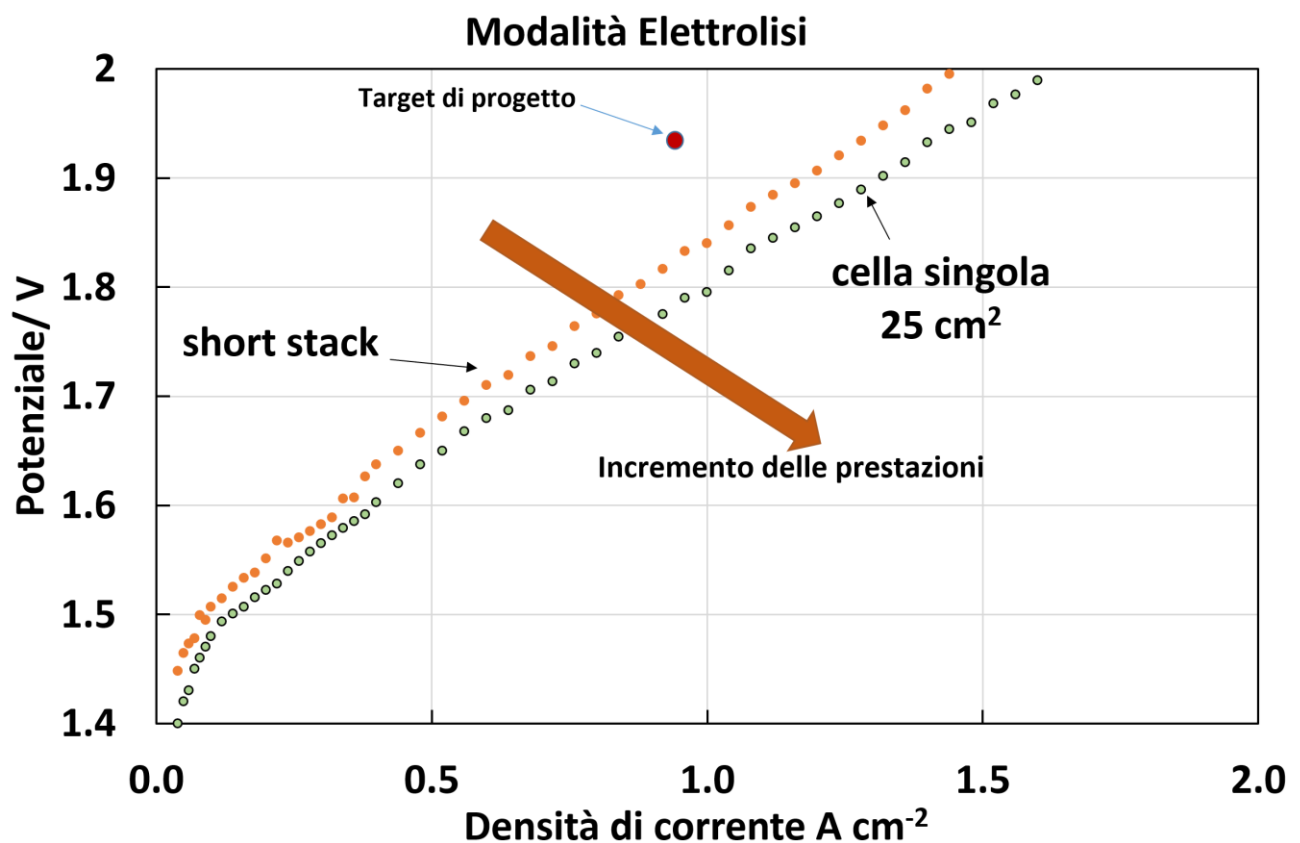


Figura 6. Confronto di prestazioni tra lo short stack e la cella singola da 25 cm² in modalità elettrolisi.

In figura 7 è mostrato il confronto dei MEA da 25 cm² in cella singola e lo short stack in modalità cella a combustibile. La caratterizzazione elettrochimica mostra un leggero peggioramento delle prestazioni dello short stack le cui prestazioni permettono comunque di raggiungere l'obiettivo progettuale.

Modalità cella a combustibile

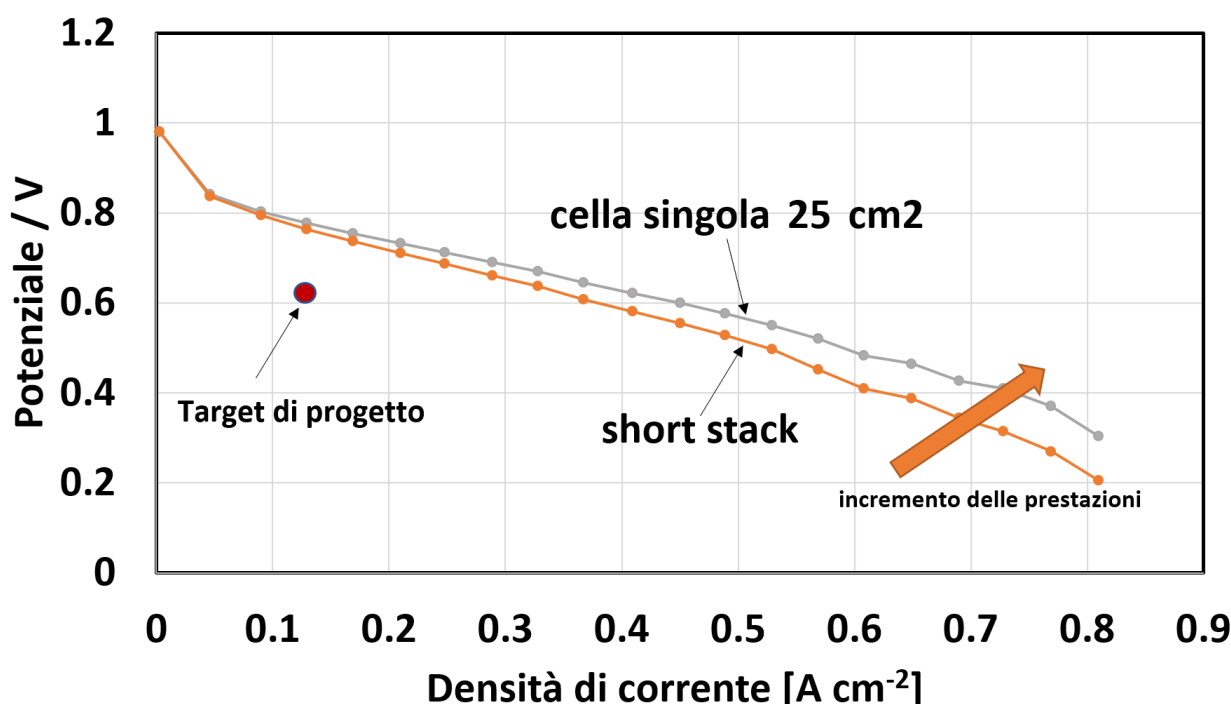


Figura 7. Confronto di prestazioni tra lo short stack e la cella singola da 25 cm² in modalità cella a combustibile.

1.5 Interfaccia piattaforma IEMAP

In questo periodo di attività sono stati seguiti dei webinar dove sono state spiegate le semplificazioni dell'interfaccia utente per caricamento dei dati sulla piattaforma IEMAP.

2 Conclusioni

L'attività di ricerca ha riguardato lo sviluppo di uno short stack composto da tre celle, con un'area attiva complessiva di 75 cm². I catalizzatori utilizzati per i MEA sono stati sviluppati nelle precedenti linee di attività LA 3.7 e 3.8. Lo short stack rappresenta dunque un ulteriore passo avanti nello scale-up dei componenti già progettati.

Lo short stack è stato caratterizzato elettrochimicamente sia in modalità fuel cell sia in modalità elettrolisi, e le sue prestazioni sono state confrontate con i risultati ottenuti da un singolo MEA da 25 cm² realizzato nella linea di attività LA 3.8. L'analisi ha evidenziato che, pur raggiungendo entrambi gli obiettivi progettuali, il MEA singolo offre prestazioni superiori rispetto allo short stack. La differenza di prestazioni è principalmente attribuibile alle resistenze di contatto tra i componenti, che risultano più numerose nello stack rispetto alla cella singola. Tuttavia, una progettazione accurata dello stack ha consentito di limitare tali perdite.

In modalità elettrolisi, lo short stack ha raggiunto un'efficienza del 74% alla densità di corrente di 1 A/cm², mentre la cella singola ha ottenuto un'efficienza del 78%. In modalità fuel cell, alla densità di corrente di

riferimento di 0.2 A/cm^2 , le prestazioni dei due dispositivi risultano simili, ma le differenze diventano più evidenti con l'aumentare della corrente.

I risultati ottenuti e le conoscenze acquisite possono essere utilizzati per migliorare la piattaforma IEMAP e affrontare efficacemente le problematiche legate allo scale-up dei dispositivi elettrochimici basati su questa tecnologia.

3 Abbreviazioni ed acronimi

MEA, Membrane Electrode Assembly

CCM, Catalyst-Coated Membrane

PTL, Porous Transport Layer