

PROGETTARE L'ARCHITETTURA DEGLI ELETTRODI POROSI PER MIGLIORARE LA DENSITÀ DI CORRENTE E L'EFFICIENZA ENERGETICA NELLE BATTERIE A FLUSSO REDOX

Andrea Trovò, Massimo Guarnieri

Dipartimento di Ingegneria Industriale – Università degli studi di Padova
Via Giovanni Gradenigo 6A, 35131 Padova

Si citano nella presente memoria le attività iniziate a valle dell'approvazione al finanziamento del progetto: SPACER “Shaping Porous Electrode Architecture to Improve Current Density and Energy Efficiency in Redox Flow Batteries”, CALL: MARIE SKŁODOWSKA-CURIE ACTIONS (DN) — HORIZON-MSCA-2024-DN-01-01, Numero: 101226997, Durata: 48 mesi a partire da Settembre 2025. Il progetto è stato ammesso al finanziamento nell'Aprile 2025 con un totale di 4.462.932,00 €. Il consorzio è formato da 21 membri, il finanziamento di 563.000 € è assegnato ad EESCoLab (UNIPD). All'interno del progetto saranno reclutati 17 studenti di dottorato con borsa Marie Skłodowska Curie, due dei quali per UNIPD, uno dei due sarà supervisionato Andrea Trovò. Il progetto riguarda la realizzazione, caratterizzazione e modeling di elettrodi porosi avanzati per applicazioni in batterie a flusso ad alta densità di corrente ed efficienza. SPACER mira a sviluppare nuove architetture per elettrodi porosi al fine di migliorare la densità di potenza e l'efficienza energetica delle batterie a flusso redox, consentendo uno stoccaggio energetico di lunga durata (LDES) accessibile e durevole.

Gli studi di mercato sulla transizione energetica in Europa prevedono un raddoppio della capacità e della potenza di accumulo energetico installate entro il 2030, e lo stoccaggio di lunga durata avrà un ruolo sempre più rilevante. Il rapporto McKinsey del LDES Council raccomanda l'installazione, entro il 2030, di 100-400 GW e 4-8 TWh di sistemi di accumulo energetico di lunga durata, per fornire la flessibilità necessaria a bilanciare la generazione energetica fluttuante proveniente da fonti rinnovabili. Oltre alle batterie agli ioni di litio, alle celle a combustibile e agli elettrolizzatori, le batterie a flusso redox rappresentano una delle tecnologie di accumulo stazionario più promettenti, in particolare per lo stoccaggio a medio e lungo termine.

Il problema generale delle batterie a flusso e di altri tipi di batterie è l'elevato costo livellato dello stoccaggio (LCOS). Gli sviluppatori di batterie puntano a ridurre l'LCOS avvicinandolo al costo livellato della generazione di energia (LCE), al fine di consentire modelli di business più sostenibili per gli operatori di sistemi di accumulo. Questi obiettivi di costo sono inoltre sanciti nei traguardi del SET-plan della Commissione Europea, che ha fissato un obiettivo di 0,05€/ciclo/kWh.

I principali fattori che incidono sui costi operativi dello stoccaggio energetico connesso alla rete sono le basse densità di potenza e le perdite energetiche dovute a inefficienze. A seconda del prezzo medio dell'elettricità, queste perdite accumulate possono superare i costi in conto capitale (CAPEX) di due o tre ordini di grandezza nell'arco di 20 anni di funzionamento. Migliorare l'efficienza e le prestazioni è quindi essenziale per aumentare l'adozione di sistemi LDES.

Per contribuire a risolvere questo problema, SPACER mira a migliorare l'efficienza energetica e la densità di potenza delle batterie a flusso redox (RFB). Un elemento chiave delle RFB sono gli elettrodi, che forniscono la superficie di reazione per la conversione energetica. Il design di questi elettrodi è fondamentale per ottenere alti tassi di conversione e, di conseguenza, un'elevata potenza in uscita e alte efficienze alla potenza nominale. Tuttavia, molti sistemi RFB commerciali utilizzano elettrodi in feltro di carbonio che non sono stati sviluppati specificamente per questa applicazione. SPACER intende quindi sviluppare elettrodi porosi ad alta potenza con architetture su misura. L'approccio consiste nell'utilizzare strutture gerarchiche, ovvero strati di materiali complessi che possono essere ottimizzati in base a specifiche chimiche e fenomeni di flusso, a partire dalla scala microscopica.

Il lavoro sarà composto principalmente di quattro fasi:

- 1- Modellazione multiscala per comprendere meglio il comportamento delle RFB e identificare la struttura ottimale dei pori e degli elettrodi a forma gerarchica, al fine di ottenere un flusso ottimale dell'elettrolita e della corrente elettrica.
- 2- Prototipazione delle strutture identificate tramite tecniche stereolitografiche (microscala), stampa 3D (mesoscala) e tecniche tessili come il tufting, il ricamo meccanizzato o la preformatura 3D non intrecciata (macroscala).
- 3- Caratterizzazione dei prototipi di materiale attraverso tecniche di imaging e caratterizzazione all'avanguardia, come l'imaging a risonanza elettronica di paramagnetismo (EPR), l'analisi della distribuzione dei tempi di diffusione (DDT) e la spettroscopia EPR a terahertz ultraveloce, per convalidare i modelli e le prestazioni degli elettrodi.
- 4- Validazione, valutazione e dimostrazione delle tecnologie sviluppate in semicelle e in batterie operative complete.

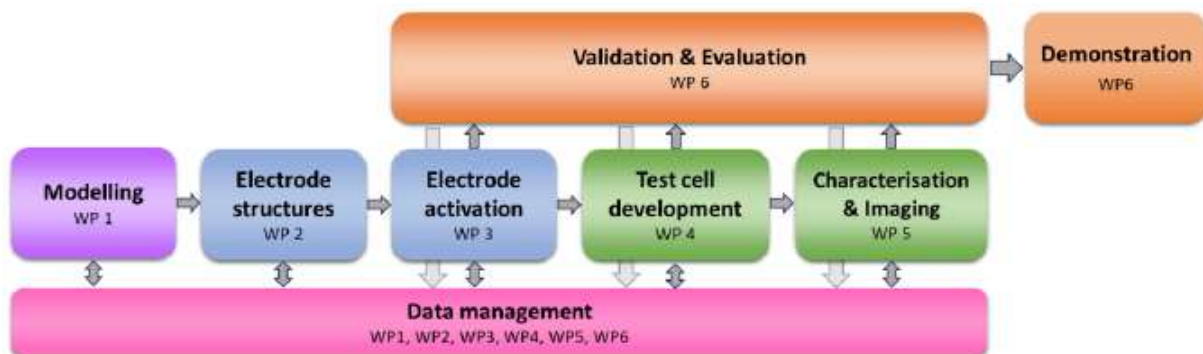


Fig.1. Overview del programma del progetto SPACER.