



## Sistemi avanzati di accumulo dell'energia

### SCENARIO DI RIFERIMENTO

La richiesta di sistemi di accumulo nelle reti elettriche cresce di pari passo con l'evoluzione tecnica ed economica del sistema di generazione, distribuzione e usi finali dell'energia elettrica. La necessità di garantire un maggiore controllo delle fasi di produzione, con l'introduzione massiva di fonti energetiche rinnovabili per loro natura intermittenti, e soddisfare la domanda di energia, anche nell'ottica di un mercato aperto e libero dell'energia elettrica, rendono le tecnologie dell'accumulo sempre più indispensabili per migliorare il rendimento, la gestione, la qualità e ridurre i costi dell'energia elettrica prodotta e utilizzata.

Meritano immediato interesse i sistemi di accumulo per applicazioni alla generazione distribuita e alle smart grid, con prevalenza per l'accumulo elettrochimico (con sistemi a base di litio ma anche con sistemi redox a flusso e ad alta temperatura che dovessero risultare più competitivi nelle varie applicazioni) e per quello dell'idrogeno, con l'obiettivo di accelerare l'individuazione di soluzioni più rapidamente applicabili e, in alcuni casi, particolarmente interessanti e competitive. È opportuno valutare anche la fattibilità tecnica ed economica di soluzioni completamente innovative come gli SMES (accumulo in magneti superconduttori) e i sistemi integrati per la generazione, l'accumulo e l'utilizzo dell'idrogeno. Inoltre è necessario promuovere a livello industriale le batterie al litio e valutare in condizioni di reale utilizzo le soluzioni più convenienti da un punto di vista tecnologico ed economico, sia per l'utente finale che per il settore industriale e il

gestore/fornitore del servizio, in linea con quanto previsto dal Piano Triennale della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale.

L'accumulo di energia è considerato da circa un secolo come uno dei principali sistemi in grado di aumentare la flessibilità e l'efficienza delle reti elettriche. I sistemi di accumulo presentano numerosi vantaggi in relazione alle molteplici funzioni che sono in grado di svolgere nell'intero sistema elettrico, giacché possono essere utilemente collocati a livello del sistema di generazione (impianti multiMW) e della rete di trasmissione

e distribuzione fino agli usi finali, con un posizionamento economicamente ed energeticamente conveniente da ambo i lati del "contatore". Nel caso specifico della crescente integrazione delle fonti rinnovabili nelle reti elettriche, l'uso dei sistemi di accumulo può significativamente migliorare le prestazioni tecniche ed economiche delle smart grids in cui tali sistemi sono inseriti. In tal caso, ci sono altre funzioni, aggiuntive a quelle già note (power quality, peak shaving, regolazioni di tensione o frequenza ecc.), che i sistemi di accumulo possono svolgere per rendere ancora più favorevole l'utilizzo delle fonti rinnovabili.

La forma più diffusa di accumulo dell'energia elettrica (non però per le reti elettriche), particolarmente indicata per applicazioni di alta potenza e di bassa energia, è certamente quella elettrochimica (batterie e supercondensatori). Diverse soluzioni sono state proposte e utilizzate, ma sono necessarie ulteriori attività di ricerca e di validazione sperimentale in ap-



plicazioni reali alle reti elettriche con fonti rinnovabili, in modo da coprire diverse taglie di applicazioni e differenti funzioni. Le batterie più interessanti sono attualmente, oltre a quelle ormai convenzionali al piombo e alcaline, quelle al litio, ad alta temperatura e a flusso.

Oltre a questi sistemi, nel corso del triennio si vuole studiare e possibilmente sviluppare altri metodi di accumulo innovativi che riguarderanno l'utilizzo dell'idrogeno, con l'analisi preliminare dell'intera filiera dalla produzione, all'accumulo fino al riutilizzo finale, ed eventualmente sistemi più avanzati, quali gli SMES.

Sono state avviate importanti attività di studio su sistemi di accumulo alternativi sia di tipo elettrochimico (batterie redox a flusso e metallo – aria) che basati sull'idrogeno e sui magneti superconduttori, per meglio sostenere i programmi di sviluppo della rete e dell'industria associata.

Infine si vogliono aumentare le attività di ricerca relative agli aspetti ambientali e di sicurezza, cercando di intervenire e di proporre soluzioni migliorative all'intera filiera dalla produzione alle fasi di utilizzazione e riciclaggio finale dei vari sistemi di accumulo. Nella fase di ricerca e produzione si sceglieranno sempre più materiali con ridotto o nullo impatto ambientale; inoltre si amplierà la verifica sperimentale della possibilità di garantire una "seconda vita applicativa nelle reti" alle batterie usate nei veicoli elettrici.

L'ENEA è da oltre 20 anni impegnata nella ricerca e nello sviluppo di batterie al litio e relative applicazioni ai veicoli elettrici. Nell'ultimo decennio l'ENEA ha coordinato e svolto due programmi na-

zionali, con il Ministero della Ricerca Scientifica, per la ricerca e lo sviluppo di batterie al litio per applicazioni mobili nei veicoli elettrici e nell'elettronica di consumo. Inoltre, l'ENEA è da anni impegnata in progetti europei (tra gli altri, ASTOR, SCOPE, LIBERAL, ILHYPOS, ILLIBATT, HELIOS, HCV) per la ricerca, lo sviluppo e la caratterizzazione di batterie al litio per applicazioni prevalentemente mobili. L'ENEA rappresenta l'Italia nell'alleanza europea EERA e partecipa a iniziative dell'IEA (Agenzia Internazionale dell'Energia).

## OBIETTIVI

L'obiettivo generale di questo progetto è la ricerca, la realizzazione e la verifica sperimentale, di sistemi di accumulo elettrico con prevalenza per quelli di tipo elettrochimico basati sul litio e quelli ad alta temperatura e redox a flusso. Particolare attenzione è data all'integrazione tra i sistemi di accumulo e le fonti rinnovabili. Il raggiungimento dell'obiettivo si basa su un approccio sistemico che consenta di sviluppare non solo le batterie al litio, ma anche le tecnologie di integrazione e interfaccia con la rete, nell'ottica di un notevole incremento delle fonti rinnovabili intermittenti e, eventualmente, dell'introduzione di una crescente flotta di veicoli a trazione elettrica.

Infine, la ricerca di nuovi materiali e sistemi per l'accumulo include un'attenta analisi, anche sperimentale, degli aspetti ambientali, cercando di intervenire e di proporre soluzioni migliorative all'intera filiera, dalla produzione delle batterie al litio alle fasi di utilizzazione e riciclaggio finale. Nella fase di ricerca e



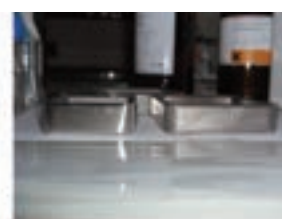
1. Miscelatore utilizzato nella miscelazione materiale attivo/carbone



2. Mulini utilizzati nella preparazione dello slurry



3. Giare in teflon utilizzate nella preparazione dello slurry



4. Ottavini a fessura calibrata utilizzati nelle stese dell'elettrodo



5. Stesa dell'elettrodo



6. Essiccamento sotto la cappa



7. Calandra



8. Elettrodi pronti per il montaggio in batteria

*Processo di preparazione degli elettrodi di celle al litio*

produzione si sceglieranno materiali con ridotto o nullo impatto ambientale, mentre durante e alla fine dell'uso delle batterie al litio si vuole valutare sperimentalmente la possibilità di garantire una "seconda vita applicativa nelle reti" alle batterie usate nei veicoli elettrici. Lo studio degli aspetti ambientali e di sicurezza potrà essere esteso a tutte le tipologie di accumulo potenzialmente promettenti per le reti elettriche.

## **RISULTATI**

### **Progettazione, realizzazione e caratterizzazione di celle al litio con materiali innovativi.**

L'attività ha riguardato la realizzazione e la caratterizzazione di celle complete al litio-ione, opportunamente progettate in scala da laboratorio e in taglia significativa (circa un centinaio di mAh), per la verifica delle prestazioni in condizioni operative prossime a quelle dell'uso finale dei nuovi materiali anodici e catodici più recenti e innovativi. In parallelo, è proseguita l'attività di ricerca, in collaborazione con le Università di Camerino e Bologna, su materiali anodici e catodici innovativi, a base di silicio, titanio, grafene, manganese in grado di migliorare le prestazioni e, soprattutto, di ridurre i costi di acquisto e operativi delle batterie al litio, senza peraltro dimenticare gli aspetti ambientali e di sicurezza nella scelta dei materiali e nelle condizioni operative



*Celle ENEA litio-ione da circa 75 Ah pronta per le prove*

di uso.

Per gli aspetti di sicurezza l'ENEA ha inoltre svolto un'analisi dei possibili composti chimici, detti "redox shuttle", in grado di garantire una protezione attiva delle batterie al litio indipendentemente dal sistema di gestione e controllo (BMS Battery Management System).

### **Sperimentazione e caratterizzazione di moduli e sistemi al litio**

Le attività sono state incentrate sulla verifica delle modalità di adattamento tecnologico e funzionale delle batterie al litio alle applicazioni nelle reti elettriche, tenendo anche conto dello stato della tecnologia, degli aspetti economici (costi attuali) e di sicurezza che ancora ne limitano l'uso diffuso in vari punti della rete elettrica.

Sono state inoltre completate le attività di studio e sperimentazione, in collaborazione con le Università di Palermo e Pisa, sulle logiche di gestione e interfaccia dei sistemi di accumulo in rete con impianti a fonti rinnovabili e sulle potenzialità applicative dell'accumulo in utenze particolari, quali la metropolitana leggera di Bergamo e un'utenza domestica con fonti rinnovabili.

### **Studio e sviluppo di metodi di accumulo alternativi a quelli al litio-ione**

Le attività di ricerca sono state estese ad altri sistemi di accumulo elettrichimico e chimico, alternativi a quelle litio-ione. In particolare sono state avviate attività di ricerca, in via esplorativa, su sistemi metallo-aria e su sistemi redox a flusso. La scelta è motivata dall'enorme crescita delle prestazioni che si prevede possano ottenersi con i sistemi metallo-aria, mentre le batterie redox a flusso sono già prossime alla commercializzazione, anche se necessitano ancora di miglioramenti nella scelta dei materiali e nell'ottimizzazione del funzionamento. Pertanto le attività hanno riguardato una prima valu-

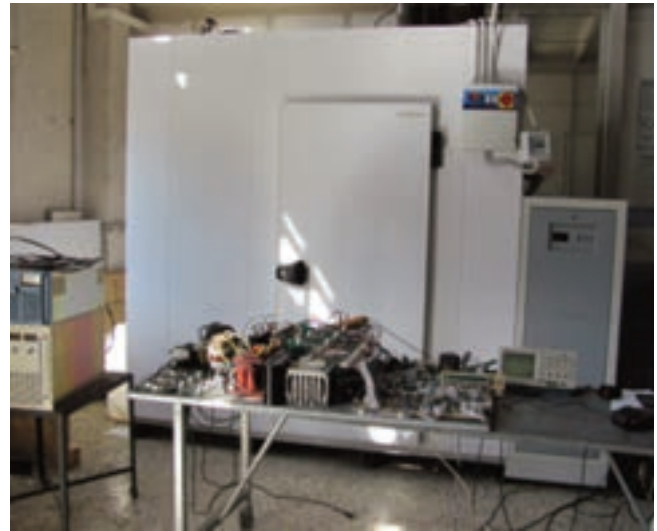
tazione dei materiali e dei sistemi più innovativi, con particolare attenzione alla membrana delle celle redox e all'elettrodo gassoso, e dei metalli più promettenti delle celle metallo-aria. Inoltre, riguardo all'uso dell'idrogeno come accumulo chimico dell'energia elettrica, l'attività si è concentrata nell'analisi di fattibilità comparativa di diversi metodi, con lo scopo di valutarne la convenienza sia tecnica che economica. Le conclusioni raggiunte anche sperimentalmente hanno fornito elementi utili per selezionare i sistemi più promettenti nel breve e medio termine.

#### **Studio di sistemi di accumulo avanzati basati su magneti superconduttori**

Le attività riguardanti i sistemi di accumulo in magneti superconduttori (SMES) sono state incentrate nell'individuazione e nell'acquisizione di due materiali superconduttori, e la loro successiva caratterizzazione sperimentale in termini di proprietà di trasporto alle basse temperature, per selezionare il materiale più adatto ad essere utilizzato in un prototipo dimostrativo. È stata inoltre fatta una progettazione di massima di un prototipo in  $MgB_2$  da 1 MJ.

#### **Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali**

Le attività hanno riguardato la partecipazione a diverse iniziative internazionali, fonte continua di scambio e di orientamento dei programmi e delle attività nazionali sui sistemi di accumulo in batterie per applicazioni mobili e stazionarie. È proseguita la partecipazione alle attività dell'International Energy Agency (IEA) su "Energy Conservation through Energy Storage" e "Hydrogen". Si è intensificata la partecipazione all'alleanza europea EERA, contribuendo principalmente al tema "Energy storage" e marginalmente a quello sulle "Smart Grid". Infine, si è partecipato alle collaborazioni scientifiche e tecnologiche sull'accumulo, promosse dal circuito COST (Cooperazione Scientifica e Tecnologica a livello europeo) con l'azione MP1004 "Hybrid-ES – Hybrid Energy Storage Devices and Systems for Mobile and Stationary Applications".



*Camera climatica di prova per la batteria al litio*



*Criostato equipaggiato con magneti superconduttore da 14 T*



*Contro criostato per misure in azoto liquido*

*Area di ricerca: Governo, Gestione e Sviluppo del Sistema elettrico nazionale*

*Progetto A.4: Sistemi avanzati di accumulo dell'energia*

*Referente: M. Conte, mario.conte@enea.it*