

# Tecnologie e sistemi per l'accumulo elettrochimico dell'energia

La decarbonizzazione del settore energetico è una delle sfide scientifiche, sociali ed economiche più rilevanti del XXI secolo che investe anche la transizione alla mobilità elettrica e la possibilità di sfruttare al meglio l'energia, in particolare quella da fonti rinnovabili. In questo contesto, il ricorso agli accumulatori elettrochimici può risultare determinante grazie alla loro flessibilità, modularità e semplicità di utilizzo. La ricerca ENEA è impegnata nello sviluppo di nuove tecnologie di accumulo per incrementare le prestazioni delle batterie, con l'obiettivo di accrescere l'efficienza energetica, le funzionalità e ridurre i costi, sia in ambito veicolare che stazionario.

DOI 10.12910/EAI2020-042

di **Pier Paolo Prosinì, Margherita Moreno, Francesco Vellucci**, Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili, ENEA (\*)

L'aumento della domanda di energia elettrica e le ricadute ambientali e sociopolitiche legate all'uso estensivo ed alla scarsità dei combustibili fossili stanno favorendo la produzione di energia da fonti rinnovabili. Le energie rinnovabili, purtroppo, non sono fonti costanti ed affidabili di energia ed il loro impiego impone sfide significative per la corretta gestione della rete elettrica. Per livellare l'intermittenza della produzione di energia rinnovabile e favorirne l'utilizzazione, risulta necessario accoppiarle con sistemi per lo stoccaggio di energia elettrica (Electrical Energy Storage Systems - EESS). **Lo sviluppo degli EESS è considerato un fattore chiave per la realizzazione ed il corretto funzionamento della rete elettrica del futuro (smart grid), che dovrà essere in grado di integrare una quantità sempre più significativa di energia da fonti rinnovabili.** Ad oggi, la maggior preoccupazione sull'uso diffuso degli EESS riguarda il loro costo, che risulta ancora elevato. Infatti, mentre alcuni EESS

potrebbero già essere competitivi per applicazioni di nicchia, **una sostanziale riduzione dei costi è necessaria affinché gli EESS trovino vasta applicazione nella rete elettrica.** Anche per lo sviluppo e la diffusione su larga scala dei veicoli elettrici, il sistema di accumulo dell'energia assume un ruolo fondamentale: sebbene siano già in commercio numerosi modelli di auto elettriche, rimangono ancora allo studio determinate tematiche come l'incremento della percorrenza, la rapidità di carica, la durata ed il costo.

## Richieste e requisiti prestazionali dei EESS

I requisiti prestazionali degli EESS in applicazioni stazionarie dipendono dai mercati applicativi che sono ampi e variano in potenza ed energia. Ad esempio, per regolare la frequenza non servono grandi capacità di accumulo - un tempo dell'ordine dei minuti potrebbe essere sufficiente - ma il sistema deve presentare una risposta rapida ed una lunga vita ciclica. Al contrario, per applicazioni

“energy intensive” occorrono capacità di stoccaggio elevate (dell'ordine delle decine o centinaia di MWh) e tempi di scarica variabili da 1 fino a 10 ore. La Figura 1 mostra le aree di utilizzo e la classificazione energetica di varie applicazioni. Inoltre, **gli EESS possono essere usati per migliorare l'efficienza economica dell'infrastruttura elettrica spostando il surplus di energia dai periodi di picco ai periodi in cui maggiore è la richiesta.** Come mostrato nella Figura 2, l'energia elettrica può essere accumulata nei momenti in cui c'è un eccesso di produzione e rilasciata nelle ore in cui è maggiore il fabbisogno. Nel settore *automotive*, il passaggio dalle motorizzazioni convenzionali a favore di quelle elettriche richiede sistemi di accumulo elettrochimico sempre più performanti per colmare il divario prestazionale che separa i veicoli a combustione interna da quelli elettrici: autonomia, tempi di rifornimento, vita e costo di acquisto. **Energia e potenza giocano un ruolo fondamentale: da un lato la necessità di aumentare l'autonomia dei veicoli**

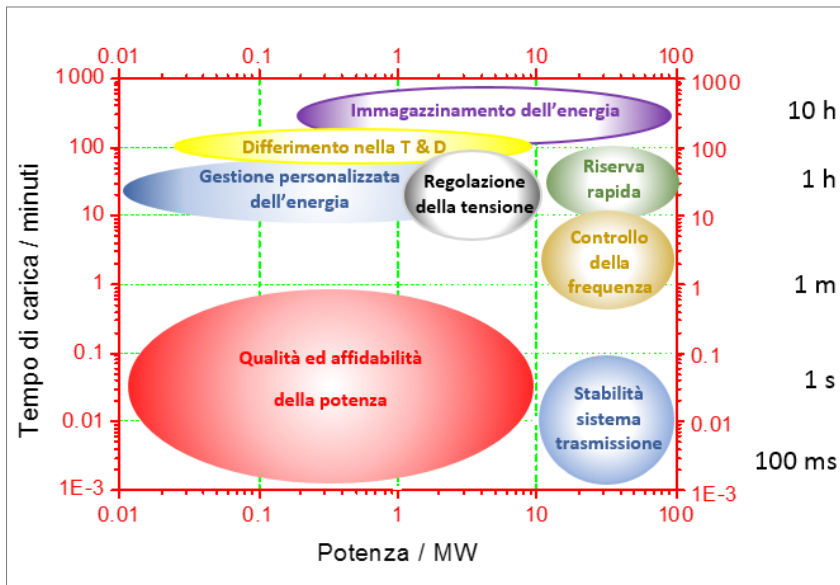


Fig. 1 Requisiti di durata e potenza di carica per varie applicazioni

elettrici richiede d'incrementare la capacità delle batterie (le auto elettriche che già oggi si trovano in commercio hanno a bordo sistemi d'accumulo da 40 a 120 kWh) dall'altro l'esigenza della carica rapida e l'opportunità del recupero energetico in frenata richiedono batterie in grado di accettare alte correnti di carica. La vita delle batterie nei reali profili d'uso, ove si alternano repentinamente fasi di carica e scarica, è un altro dei temi maggiormente all'attenzione. Infine, il costo delle batterie, seppur in continua discesa, è il principale fattore che ancora oggi rende i veicoli convenzionali sensibilmente più economici di quelli elettrici.

Tecnologie per l'accumulo stazionario e per applicazioni veicolari

Gli EESS possono essere classificati in due gruppi: nel primo l'energia elettrica è immagazzinata tal quale, mentre nel secondo gruppo sono compresi i sistemi che trasformano l'energia elettrica in un'altra forma di energia e poi nuovamente in elettrica (Figura 3). Per la loro versatilità, modularità e semplicità di utilizzo, le batterie

rappresentano uno degli EESS più utilizzati. Alcune batterie, sviluppate negli anni passati per usi differenti, si sono dimostrate adatte anche per applicazioni di rete. Ad esempio, le batterie al piombo-acido (Valve Regulated Lead Acid- VRLA) sono state utilizzate come EESS nella centrale eolica di Shiura, in Giappone, generando una potenza di picco di 4,5 MW con una capacità nominale di 10,5 MWh. Con la più recente tecnologia di batterie al piombo-acido (Advanced Lead Carbon - ALC) sono stati realizzati

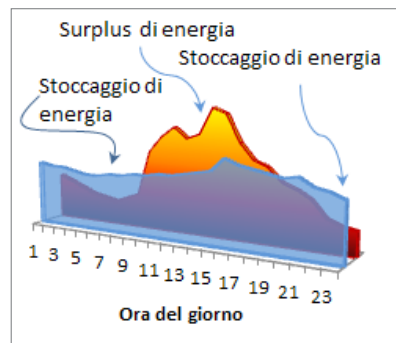


Fig. 2 Schema di bilanciamento della generazione elettrica solare (in arancio) e della domanda (in celeste) tramite spostamento del carico ottenuto tramite sistemi di accumulo

circa 35 siti di accumulo stazionario. Tra questi, il Notrees Wind Storage Demonstration Project (North Carolina) può fornire 36 MW di potenza di picco ed una capacità di stoccaggio di 24 MWh. Il sistema di stoccaggio di energia della Golden Valley Electric Association in Alaska utilizza batterie Ni-Cd. Il sistema può fornire 27 MW di potenza per 15 minuti.

Anche le batterie al litio sono state utilizzate come elemento attivo dei EESS. Esistono oltre 600 siti che utilizzano batterie litio-ione per lo stoccaggio dell'energia, di cui circa un 10% hanno potenza superiore ai 10 MW. Sono attivi circa una sessantina di siti che utilizzano batterie redox a flusso. Tra questi il Minami Hayakita presenta un sistema di batterie al vanadio da 15 MW. Infine, un ultimo gruppo di batterie sono le batterie sodio-zolfo (NaS). 108 MW di potenza basati su batterie NaS sono utilizzati ad Abu Dhabi per la gestione delle richieste della rete elettrica.

In Italia, Terna ha avviato due progetti di stoccaggio energetico. Il primo, pensato per alleviare la congestione di rete in Campania, presenta un impianto di batterie NaS da 35 MW di potenza. Il secondo ha lo scopo di incrementare la sicurezza del sistema elettrico delle isole maggiori tramite 40 MW di accumulo con caratteristiche "Power Intensive".

Anche Enel si è trovata ad affrontare il problema dell'accumulo. Infatti, in rete vi sono diversi impianti di produzione di piccola potenza distribuiti sul territorio (generazione diffusa) allacciati prevalentemente alla rete di bassa e media tensione. La soluzione escogitata per gestire questo nuovo contesto è l'adozione di una differente modalità nella distribuzione di energia elettrica implementando le cosiddette reti intelligenti o "smart grid".

Batterie al litio e nuove tecnologie

In ambito veicolare, le batterie al litio risultano ormai predominanti e lo ri-

marranno ancora per diversi anni in attesa che le ricerche possano fornire nuove soluzioni capaci di migliori prestazioni. Tuttavia si assiste ad un continuo avanzamento delle performance attraverso l'adozione di anodi e catodi avanzati, capaci di incrementare le densità di energia e/o potenza, ridurre i fenomeni di invecchiamento, garantire condizioni di sicurezza maggiori e sostenibilità dei processi produttivi. Ad esempio la tecnologia NMC (Nickel Manganese Cobalto), che rappresenta la chimica più utilizzata sulle batterie delle auto elettriche, sta lasciando il posto a materiali con una forte riduzione della quantità di cobalto a favore di una quota superiore di nickel. Questa riduzione nasce, oltre che dalla scarsa disponibilità del cobalto, anche da preoccupazioni di carattere etico, sollevate dalle condizioni di estrazione del minerale in cui spesso sono coinvolti minori. Il naturale competitor della chimica NCM è la tecnologia NCA (Nickel Cobalto Alluminio) che presenta caratteristiche simili alla NMC, ovvero alta energia specifica, buona potenza specifica e lunga vita ciclica. Dal lato anodico si ricercano materiali ad elevata capacità quali il silicio che presenta, infatti, una capacità di un ordine di grandezza superiore a quella della grafite, comunemente usata come anodo nelle attuali batterie litio-ione. Purtroppo, le tensioni meccaniche generate durante il processo di alligazione conducono alla frammentazione del materiale e al rapido declino delle prestazioni. Per superare questo inconveniente si stanno studiando materiali nanostrutturati o composti silicio/carbonio in grado di sopportare meglio gli stress meccanici. Infine, lo sviluppo di elettroliti solidi (polimerici, inorganici o ibridi) va nella direzione del miglioramento delle prestazioni delle batterie al litio, sia per quanto riguarda una maggiore sicurezza, sia per la possibilità di usare il litio metallico come anodo: il litio possiede una capacità paragonabile al silicio, ma il suo utilizzo è reso problematico dal-

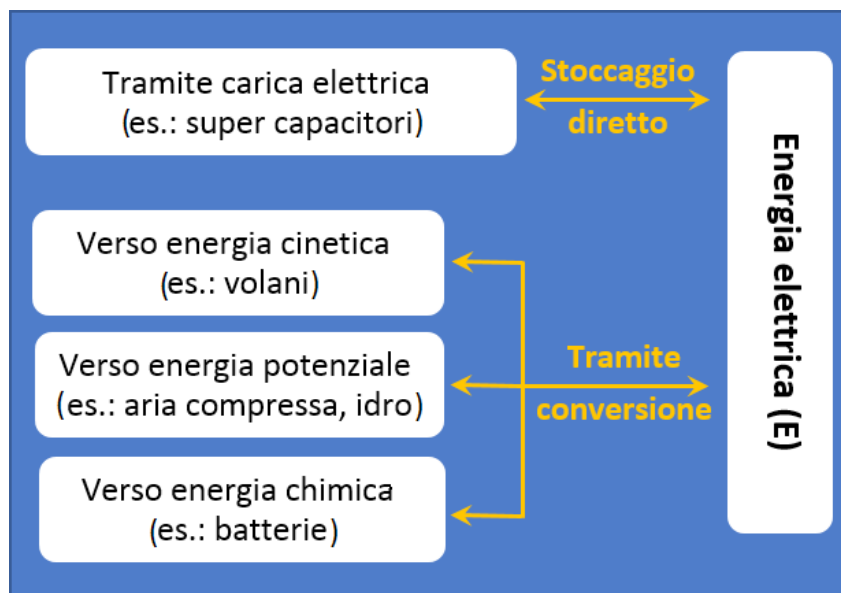


Fig. 3 Classificazione dei sistemi potenzialmente utilizzabili per accumulare energia elettrica per applicazioni stazionarie

la possibile formazione di dendriti in grado di innescare pericolosi cortocircuiti interni.

#### La Ricerca di Sistema Elettrico

La "Ricerca di Sistema Elettrico" rappresenta la principale fonte di finanziamento nazionale per rispondere alle esigenze della propulsione elettrica e della rete: tale programma prevede un insieme di attività di ricerca e sviluppo finalizzate a ridurre il costo dell'energia elettrica per gli utenti finali e migliorare l'affidabilità del sistema. Le attività di ricerca spaziano dalle celle fotovoltaiche innovative, alle reti intelligenti, dai sistemi di accumulo, alla gestione razionale della rete elettrica, dall'accumulo termico, alle tecnologie di stoccaggio elettrochimico. All'interno di questa attività di ricerca è previsto lo sviluppo di materiali e sistemi per batterie innovative ed attività sperimentali per riqualificare le batterie usate. Le attività di ricerca e sviluppo sui materiali vertono su quattro sistemi elettrochimici altamente innovativi: batterie litio-ione ad elevate prestazioni,

batterie litio-zolfo ad elevata capacità, batterie litio-aria ad elevata energia e batterie sodio-ione a basso costo. L'attività sperimentale si concentra anche sull'esecuzione di prove d'invecchiamento e la caratterizzazione di batterie per elettrotrazione esauste per dar loro una "seconda vita" (intesa come la possibilità di utilizzare queste batterie, dopo il loro utilizzo primario in ambito automotive, in applicazioni stazionarie). In ambito elettrotrazione, infatti, una batteria viene considerata esausta quando scende sotto l'80% della capacità iniziale, ma tale valore può essere ancora abbondantemente sfruttato per lo stoccaggio stazionario, prima di avviare la batteria al suo "fine vita" e al riciclo dei materiali.

#### Le iniziative internazionali

Le attività di R&I svolte a livello nazionale si aggiungono alle numerose iniziative internazionali messe in atto per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione del settore energetico. L'Italia, con l'ENEA specialmente, partecipa a vari

## Nasce l'Italian Battery Alliance, alleanza ricerca-industria per rafforzare la competitività

di **Laura Moretti**

Sviluppare progetti, iniziative e collaborazioni fra ricerca e industria per accelerare lo sviluppo tecnologico e potenziare la competitività dell'industria italiana nel settore delle batterie avanzate e di nuova generazione. È uno dei principali obiettivi della Italian Battery Alliance, piattaforma tecnologica nazionale promossa dal Ministero dello Sviluppo Economico per mettere insieme tutte le competenze presenti in questo campo e rafforzare la partecipazione alle iniziative europee e alle opportunità di finanziamento nel settore. La piattaforma riunisce imprese, associazioni, centri di ricerca, università e agenzie di finanziamento di ricerca e innovazione e sarà coordinata da ENEA già alla guida del gruppo di lavoro nazionale sulle batterie nell'ambito del SET Plan. L'Agenzia inoltre è attiva in diverse iniziative europee ed internazionali relative alla catena del valore delle batterie (celle, materiali, processi, tecnologie) quali IEA, ETIP Batteries Europe, European Energy Research Alliance JP-Energy Storage, Battery2030PLUS, e European Battery Alliance - EBA@250 che riunisce oltre 200 soggetti tra imprese, ricerca, investitori istituzionali.

Oltre a creare le condizioni per lo sviluppo di una indu-

stria competitiva delle batterie e accogliere le sollecitazioni degli stakeholder, l'Agenzia punta a definire una roadmap tecnologica nazionale in grado di soddisfare il fabbisogno della mobilità elettrica e di accumulo stazionario a supporto della rete elettrica, individuando le potenzialità di rafforzamento della value chain. Attraverso il coordinamento delle agende di ricerca e industria a livello nazionale e l'allineamento dei programmi di finanziamento pubblico, saranno inoltre definite le priorità nazionali di R&I di breve e lungo periodo.

Non solo. Nell'ambito dell'Accordo di Programma per la Ricerca di Sistema Elettrico finanziato dal MISE è stato avviato anche un network coordinato da ENEA, CNR e RSE sull'accumulo elettrochimico per uso stazionario e mobilità sostenibile, che riunisce università e centri di alto livello. Per quanto riguarda l'industria è invece attivo un gruppo nazionale con 28 industrie e 22 organizzazioni di ricerca, oltre ad associazioni di settore. La piattaforma italiana Italian Battery Alliance si inserisce nel più ampio quadro europeo che vede le iniziative anche di altri Stati membri, come la Germania che ha avviato vasti programmi di R&I per favorire il trasferimento all'industria e la nascita di cluster, infrastrutture di ricerca e centri di competenza, ma anche Francia e Slovacchia con iniziative similari (Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie, e Slovak Battery Alliance).

Programmi di Collaborazione Tecnologica dell'Agenzia Internazionale dell'Energia, in particolare quello sui Veicoli Elettrici ed Ibridi e quello sulla Conservazione e l'Accumulo dell'Energia, ed è altresì impegnata nelle diverse azioni avviate dall'Unione Europea per favorire lo sviluppo di una capacità produttiva di batterie nel nostro continente: SET-Plan, ETIP BatteriesEurope, European Energy Research Alliance JP-Energy Storage, Battery2030PLUS, European Battery Alliance. Collocandosi ai vari livelli di maturazione tecnologica, queste azioni intendono supportare tutto il processo di sviluppo delle batterie, dalla ricerca di base fino alla fabbricazione, e tutta la catena del valore, in nome dei concetti di so-

stenibilità e circolarità. Un risultato di queste azioni è rappresentato dai due Progetti di Comune Interesse Europeo (IPCEI), uno già approvato dalla Commissione Europea e l'altro nella fase terminale della procedura di approvazione, per lo sviluppo di batterie innovative: i Paesi membri coinvolti, tra cui l'Italia in prima linea, si sono impegnati a finanziare dei grandi progetti che coprono dalla ricerca fino alla realizzazione di impianti pilota e primo sviluppo industriale. Questi progetti sono a trazione prettamente industriale, ma alcuni centri di ricerca, come l'ENEA, sono coinvolti con attività che riguardano lo *scale-up* e la realizzazione di linee pilota, con lo scopo di supportare e coadiuvare l'industria.

## Conclusioni

**La modernizzazione del sistema elettrico è necessaria per poter rispondere alle sfide che derivano dalla crescente richiesta di energia elettrica e della sua gestione, ivi compresa la necessità di integrare una maggior quota di energia proveniente da fonti rinnovabili.** La rete elettrica del futuro dovrà senza dubbio soddisfare maggiori richieste di energia e flessibilità senza penalizzare le sue caratteristiche di affidabilità e resilienza. Le batterie impiegate nella propulsione elettrica dovranno altresì fornire livelli di prestazioni tali da consentire ai nuovi veicoli di raggiungere quei valori di autonomia, tempi di rifornimento, vita e costo che attualmente

li rendono meno attraenti rispetto a quelli convenzionali. A questo scopo, l'uso di nuovi sistemi di batterie potrà risultare determinante per soddisfare le ambizioni della trazione elettrica e migliorare le funzionalità della rete, riducendo i costi e garantendo un livello elevato di prestazioni ed affidabilità. Esistono numerose tecnologie potenzialmente utilizzabili per varie applicazioni veicolari e stazionarie e alcune sono già state dimostrate efficaci per determinate applicazioni. Ulteriori attività di ricerca, sviluppo e dimostrazione delle tecnologie esi-

stenti, e di quelle future, sono però necessarie per ottenere una migliore comprensione delle applicazioni dei sistemi batterie, per proporre nuove soluzioni e fornire conoscenze per l'ottimizzazione dei veicoli e della rete elettrica.

(\*) *Pier Paolo Prosini, Laboratorio Accumulo di Energia, Batterie e tecnologie per la produzione e l'uso dell'Idrogeno, Responsabile del WP1 - Accumulo Elettrochimico, progetto 1.2 - Sistemi di accumulo, compresi elettrochimico e power to gas, e*

*relative interfacce con le reti, Piano Triennale Ricerca di Sistema Elettrico 2019-2021; Margherita Moreno, Laboratorio Accumulo di Energia, Batterie e tecnologie per la produzione e l'uso dell'Idrogeno, vice coordinatore del Programma "Electrochemical Energy Storage" della European Energy Research Alliance, Francesco Vellucci, Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità Sostenibile, Referente nazionale per il settore Batterie nell'ambito del SET-Plan.*