Laboratorio batterie RSE

Responsabile laboratorio: Enrica Micolano

Dipartimento: TGM

Operatori: D. Bombelli, S. Colnago, A. Gentile, R. Lazzari, S. Marchionna, I. Quinzeni, M. Radaelli, L. Romani, M. Soleimanzade, F. Vultaggio.

contatti: enrica.micolano@rse-web.it

Attività sperimentali

Il laboratorio batterie di RSE è attrezzato per eseguire attività sperimentali di misura delle prestazioni di sistemi di accumulo elettrico che potranno essere impiegati sia in applicazioni stazionarie di supporto al sistema elettrico, sia in applicazioni veicolari.

Si possono eseguire molte diverse tipologie di prove, tra cui prove di caratterizzazione elettrica e termica e di invecchiamento di celle e sistemi di accumulo completi, e prove di abuso su celle e piccoli moduli. Le attività sperimentali svolte nel laboratorio batterie sono finalizzate al conseguimento di molteplici obiettivi di ricerca:

- Caratterizzazione sperimentale delle prestazioni di sistemi di accumulo prototipali e innovativi, variando i profili di lavoro e in condizioni ambientali controllate. Nel corso degli anni sono state

condotte campagne di prove su tecnologie molto diverse: sodio/cloruro di nichel, varie tecnologie litio-ioni, batterie al piombo, batterie redox al vanadio, supercondensatori. I risultati delle prove sperimentali eseguite consentono di confrontare le prestazioni di tecnologie differenti e di formulare valutazioni circa i possibili campi di applicazione e di definire modalità di gestione ottimizzata per ciascuna tecnologia testata.

- Caratterizzazione elettrochimica e spettroscopia di impedenza dei sistemi di accumulo. I risultati permettono di sviluppare modelli elettrici dei sistemi di accumulo e stimatori dello stato di carica (State of Charge– SOC) e dello stato di energia (State of Energy– SOE).

- Sviluppo di modelli di invecchiamento dei sistemi di accumulo. Questa attività ha come obiettivo primario misurare la vita utile dell'accumulatore al variare delle condizioni operative, per permettere di dimensionarlo in modo ottimale in fase di progetto. Un obiettivo più avanzato è riuscire a fare una previsione on-line della vita utile residua del sistema di accumulo, al variare delle condizioni operative, per scegliere come utilizzarlo evitando di accelerarne l'invecchiamento con l'obiettivo di minimizzarne il costo/ciclo di vita.

- Sviluppo e sperimentazione di strumenti per la diagnostica e la previsione dei guasti

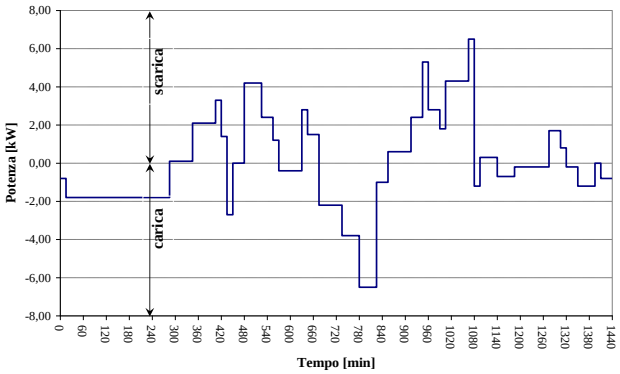
- Sviluppo e sperimentazione di soluzioni per ottimizzare la gestione e massimizzare le prestazioni dei sistemi di accumulo. Ad esempio, si sviluppano prototipi di Battery Management System di tipo attivo, che permettano di gestire celle con prestazioni disomogenee, anche per applicazioni second-life.

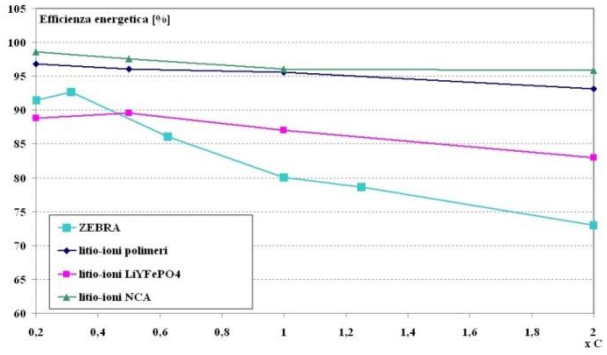
- Analisi di casi studio sull'impiego dei sistemi di accumulo in applicazioni a supporto del sistema elettrico.

Prove di caratterizzazione delle prestazioni dei sistemi di accumulo

Queste prove permettono di misurare le prestazioni dei sistemi di accumulo attraverso la misura di alcuni parametri prestazionali, ad esempio il rendimento energetico e coulombico, l'energia e capacità che il sistema di accumulo è in grado di fornire al variare delle condizioni operative e ambientali, la potenza di picco, l'impedenza di batteria, ecc. Le prestazioni sono ricavate utilizzando prove di base standard, per esempio prove di carica e scarica a corrente o potenza costante oppure prove per la potenza di picco. L'impedenza di batteria può essere valutata con il metodo della spettroscopia di impedenza. In altri casi il profilo di prova è costruito in modo da riprodurre in modo semplificato le condizioni operative caratteristiche del tipo di applicazione per cui sarà utilizzato, veicolare o stazionario, in modo da misurare le prestazioni del sistema di accumulo in condizioni simili a quelle reali. Le prove sono svolte generalmente in condizioni di temperatura controllata, ad esempio in camere climatiche, in modo da quantificare la variazione delle prestazioni dei sistemi con la temperatura.

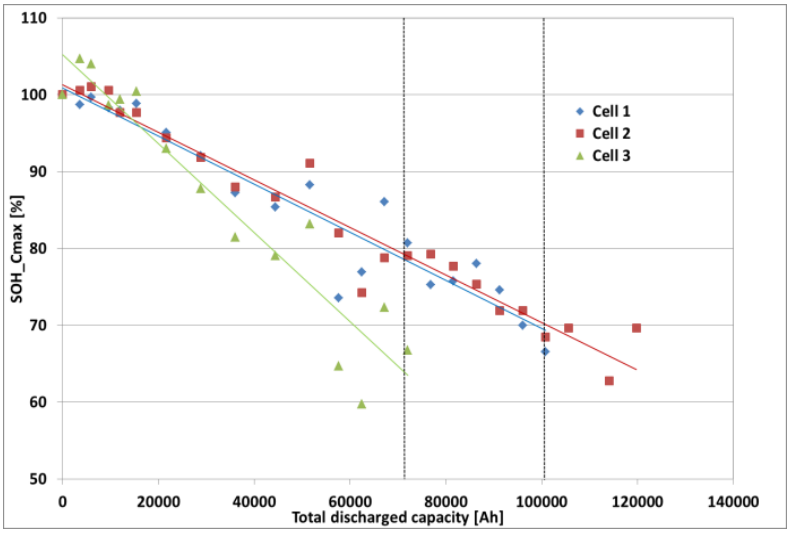
Le prove sono svolte in accordo a procedure di prova, sviluppate internamente a partire da normative e guide nazionali e internazionali. Tutte le procedure di prova utilizzate sono comunque sempre customizzabili in base alle esigenze del cliente e della particolare tecnologia in prova.





Prove di invecchiamento

L'analisi dei meccanismi di invecchiamento degli accumulatori elettrochimici è uno dei temi chiave dell'attività di ricerca in questo settore. Le prove di invecchiamento sono prove di lunga durata eseguite allo scopo di evidenziare l'evoluzione dello stato di salute (State of Health - SOH) dell'accumulatore al passare del tempo e con il ciclaggio, al variare delle condizioni operative cui è sottoposto. Queste prove sono eseguite allo scopo di identificare, determinare e monitorare la variazione nel corso della vita utile di parametri diagnostici, che sono specifici parametri prestazionali, misurabili generalmente con prove di tipo elettrico, il cui valore cambia in funzione dell'invecchiamento del sistema. Un accumulatore raggiunge le condizioni di fine vita quando il valore di uno dei parametri diagnostici monitorati supera una soglia minima o massima stabilita in fase di progetto. Conoscendo in anticipo l'evoluzione di uno o più parametri diagnostici in determinate condizioni di lavoro, è possibile stimare il SOH del sistema di accumulo, prevedere con una buona approssimazione la sua vita residua e verificare se è gestito in modo corretto (in caso contrario si stimerebbe una riduzione della vita residua). Per valutare l'effetto dei diversi fattori di stress sull'andamento del SOH, è possibile eseguire delle prove di invecchiamento, in cui diverse celle della stessa tipologia sono sottoposte a cicli di invecchiamento caratterizzati da diversi fattori di stress, allo scopo di invecchiarle in modo controllato. Le fasi di invecchiamento sono alternate da fase di verifica delle prestazioni attuali attraverso dei check-up parametrici standard, che consistono in una sequenza di test eseguiti allo scopo di monitorare la variazione nel tempo di alcuni parametri che sono identificativi dell'invecchiamento della batteria.

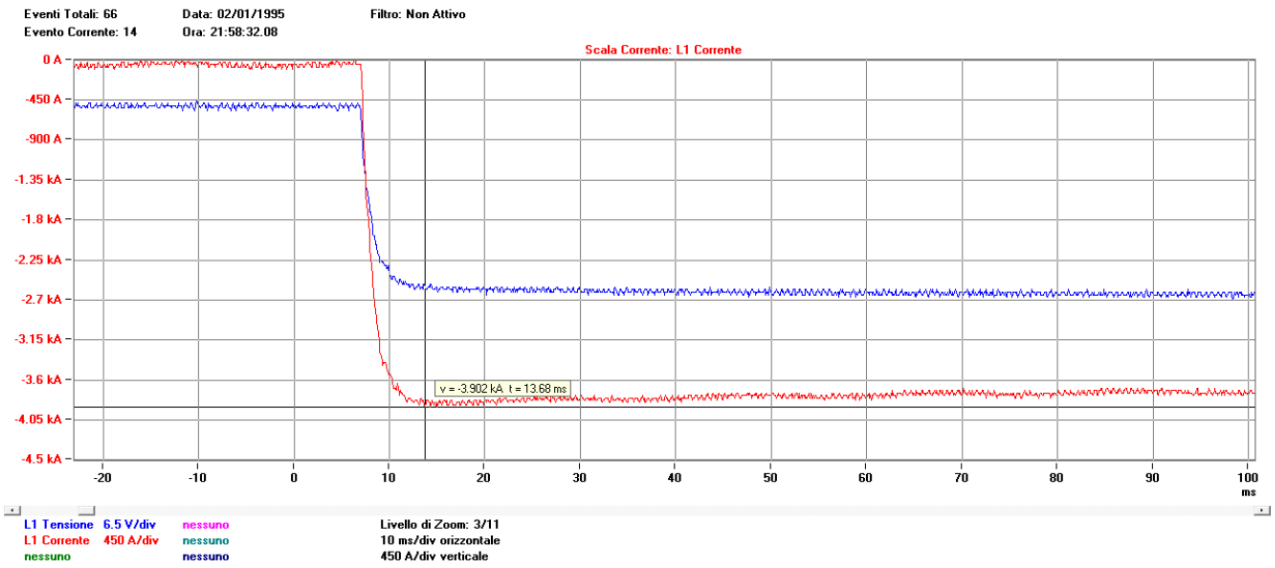


Prove di abuso

Il laboratorio è attrezzato per l'esecuzione di prove di abuso termico ed elettrico su celle singole e piccoli moduli. Le prove di abuso sono eseguite in condizioni operative fuori dall'intervallo di corretto funzionamento dichiarato dal costruttore, ad esempio in condizioni di sovratemperatura, sovrascarica o sovraccarica. Lo scopo di questa tipologia di prove è analizzare il comportamento dell'accumulatore in queste condizioni operative in modo da misurare il livello di sicurezza intrinseca della tecnologia in esame e verificare che, anche in presenza di eventi accidentali, non si inneschino situazioni di pericolo, come ad esempio incendi o esplosioni. In questo modo è possibile progettare contromisure per migliorare il livello di sicurezza effettivo del sistema di accumulo.

Analisi post-mortem dei materiali di celle elettrochimiche

Recentemente il laboratorio si è dotato di una serie di nuove attrezzature che permettono di eseguire prove di caratterizzazione elettrochimica di monocelle prototipali (generalmente tipo Swagelok e/o tipo coin) e di analisi post-mortem dei materiali delle celle invecchiate. Le monocelle possono essere realizzate tramite l'assemblaggio di materiali catodici, anodici ed elettroliti di tipo commerciale acquistati, recuperati da celle commerciali o realizzati con materiali innovativi in altri laboratori di RSE. L'assemblaggio della cella è effettuato nell'area di prova all'interno della glove-box, in atmosfera inerte. Le celle montate sono caratterizzate elettrochimicamente attraverso misure di voltammetria ciclica (CV), cicli di carica e scarica (GCPL), misure di spettroscopia d'impedenza (EIS), utilizzando strumentazione dedicata.



ATTREZZATURE

Il nostro laboratorio è dotato di varie postazioni adatte ad eseguire cicli di scarica e carica di accumulatori di varie taglie, partendo da celle singole fino a sistemi completi da 600 V di tensione massima.

Sono disponibili postazioni di tipo dissipativo, realizzate combinando un alimentatore, un carico programmabile, un sistema di acquisizione dati e dispositivi di controllo che permettono di gestire le prove in sicurezza anche in condizioni non presidiate. Sono inoltre presenti postazioni realizzate con ciclatori rigenerativi, che rigenerano verso rete la potenza erogata dalla batteria durante le fasi di scarica.

Tutte le postazioni sono controllabili da remoto attraverso PC, con software dedicato che consente l'esecuzione automatica in sequenza di una serie di profili di prova caratterizzati da fasi di carica e scarica di diversa intensità e durata.

Tra queste, per l'esecuzione di prove su pacchi batterie completi è presente una postazione di prova che consente di testare sistemi con tensione massima di 600 Vdc e di eseguire scariche a corrente, potenza o resistenza costante con corrente massima di 360 A e potenza limitata a 21 kW e cariche a corrente o potenza costante con corrente limitata a 48 A. A questa si aggiunge un ciclatore da 20 kW, 150 V-140 A.

Per l'esecuzione di prove su moduli di medie dimensioni sono disponibili due postazioni con tensione massima di 60 Vdc, che permettono scariche a corrente, potenza o resistenza costante con corrente massima di 450 A e potenza limitata a 4,8 kW e cariche a corrente o potenza costante con corrente limitata a 100 A.

Per il ciclaggio di singole celle o piccoli moduli di poche celle sono disponibili varie postazioni, tra cui

- Un ciclatore multicanale bidirezionale rigenerativo costituito da 24 canali programmabili in modo indipendente, ciascuno da 5 Vdc, ±100 A (in fase di raddoppio)
- una postazione composta da tre carichi bidirezionali programmabili ciascuno da 8 Vdc - ± 80 A
- una ciclatore multicanale dissipativo costituito da 3 canali programmabili in modo indipendente, ciascuno da 10 Vdc, ±10 A.

Queste postazioni sono utilizzate in particolare per eseguire in modo automatico prove continuative di invecchiamento in parallelo su gruppi di celle singole, eseguite allo scopo di sviluppare il modello di invecchiamento delle diverse tecnologie in esame.

Per la caratterizzazione elettrochimica delle celle è presente un potenziostato combinato ad un booster, che permette di testare batterie fino a 20 V con una corrente massima di 30 A. Il range di frequenze per la spettroscopia è 10 µHz-1 MHz.

L'area di prova è condizionata in modo da mantenere una temperatura ambiente in un intervallo tra 20-25 °C. Nel caso in cui sia necessario eseguire prove ad altre temperature sono disponibili quattro camere termiche. La camera termica più grande ha un volume utile di 26 m^3, permette di eseguire prove a temperatura controllata nell'intervallo tra -20 e 60 °C, in condizioni di bassa umidità e con ventilazione che può arrivare ad un massimo di 1000 m^3/h di ricambio (per prove su batterie che emettono idrogeno in fase di ricarica). La seconda camera climatica, con un volume utile di 225 L, permette di eseguire prove nell'intervallo di temperatura compreso tra -40 e 180 °C e all'interno di un range di umidità compreso tra il 10 e il 98%. Questa camera climatica è dotata di sistemi di sicurezza che permettono l'esecuzione anche di prove di abuso su moduli di piccola taglia litio-ioni, sodio/cloruro di nichel e piombo, in particolare:

- Ventilazione con portata adeguata per evitare l'accumulo di idrogeno durante le prove su batterie con elettrolita acquoso
- Sistema antincendio che si attiva in caso di superamento della soglia di temperatura massima e/o di presenza di fumo, estintore a CO_2.
- Sistema per limitare l'insorgere di sovrappressioni all'interno della camera (per evitare il rischio di esplosione).
- Possibilità di lavorare in flussaggio di azoto

Sono inoltre presenti due camere termiche da 60 L ciascuna, con range di temperatura da -25 a 70 °C.

L'assemblaggio delle monocelle prototipali è eseguito in una glove-box, inertizzata con Argon e dotata di sensori di controllo di ossigeno e umidità. Le monocelle sono sottoposte a test di caratterizzazione elettrochimica e cicli di lavoro in condizioni controllate per stressare e invecchiare i materiali di cella, utilizzando due ciclatori multicanale bidirezionali ciascuno da 8 canali, ciascuno da +/- 5 V, +/- 1 A in grado di gestire correnti minime dell'ordine del µA e successivamente sottoposti ad analisi chimico-fisiche con la collaborazione di altri laboratori di RSE, come ad esempio il laboratorio di Sintesi e Sinterizzazione materiali e il laboratorio di Microscopia.

Progetti RDS Progetto 1.2 RdS 2022-2024 Accumulo Elettrochimico e Termico, Progetto 1.2 RdS 2019-2021 Accumulo elettrico, P 2.6 RdS 2019-2021 Mobilità elettrica

Progetti Europei e Internazionali: Derlab, Dispower, EERA JP Smart Grids and JP Energy Storage, BatteRIes Europe ETIP, FREEMOBY

Clienti e collaborazioni: ALTRA-IVECO; Telecom Italia; SUMITOMO Electric Industries; SAFT; Power Innovation; Fiamm, TERNA, CESI, ENEL X, Regione Lombardia, Sensichips, Quattroruote, Enel Green Power

Collaborazioni con centri di ricerca: Politecnico di Milano, ENEA, Università di Pavia, Università di Pisa, CNR, Università di Perugia, Università di Cassino

Pubblicazioni

1. M. Ceraolo, D. Fioriti, G. Lutzemberger, C. Scarpelli and F. Bianchi, "Modelling lithium battery packs from single cell electro-thermal equivalent circuit model," *2023 AEIT International Conference on*

Electrical and Electronic Technologies for Automotive (AEIT AUTOMOTIVE), Modena, Italy, 2023, pp. 1-6.

2. D. Fioriti, c. Scarpelli, L. Pellegrino, G. Lutzemberger, E. Micolano, S.Salamone, "Battery lifetime of electric vehicles by novel rainflow-counting algorithm with temperature and C-rate dynamics: Effects of fast charging, user habits, vehicle-to-grid and climate zones", *Journal of Energy Storage*, vol 59, 2023.
3. F. Bianchi, E. Micolano, L. Pellegrino, A. La Bella, G. Coletta, D. M. Conenna, E. Virone, G. M. Giannuzzi, C. Pisani, "An innovative controller for optimal operation of Hybrid Energy Storage Systems," *2023 AEIT International Annual Conference (AEIT)*, Rome, Italy, 2023, pp. 1-6.
4. M. Mussi, L. Pellegrino, M. Restelli, F. Trovò, "An online state of health estimation method for lithium-ion batteries based on time partitioning and data-driven model identification", *Journal of Energy Storage*, vol. 55, 2022.
5. L. Pellegrino, R. Lazzari, D. Ronzio, G. Iannarelli, A. Cirocco, A. Ruffini, "Exploitation of Distributed Energy Resources for local services on power distribution network," 2022 AEIT International Annual Conference (AEIT), Rome, Italy, 2022, pp. 1-6.
6. D. Fioriti, L. Pellegrino, G. Lutzemberger, E. Micolano, D. Poli, "Optimal sizing of residential battery systems with multi-year dynamics and a novel rainflow-based model of storage degradation: An extensive Italian case study ", *Electric Power Systems Research*, vol. 203, 2022.
7. M. Mussi, L. Pellegrino, M. Restelli, F. Trovò, "A voltage dynamic-based state of charge estimation method for batteries storage systems", *Journal of Energy Storage*, vol.44, 2021.
8. G. Coletta, L. Pellegrino, "Optimal Design of Energy Communities in the Italian Regulatory Framework," *2021 AEIT International Annual Conference (AEIT),* Milan, Italy, 2021, pp. 1-6
9. E. Micolano, "Electrical Drives, Automation and Motion Energy storage battery aging: general methodology and examples of application", *2020 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, Sorrento, Italy, 2020, pp. 178-183
10. E. Micolano, L. Pellegrino "Aging test protocol for Lithium-ion cells" 2019 *AEIT International Annual Conference (AEIT) Firenze 2019*
11. S. Canevese, A. Gatti, E. Micolano, L. Pellegrino and M. Rapizza, "Battery Energy Storage Systems for frequency regulation: Simplified aging evaluation," *2017 6th International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Santa Margherita Ligure, 2017, pp. 291-297.
12. S. Canevese, D. Cirio, A. Gatti, M. Rapizza, E. Micolano and L. Pellegrino, "Simulation of enhanced frequency response by battery storage systems: The UK versus the continental europe system," *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, Milan, 2017, pp. 1-6.
13. L. Pellegrino and E. Micolano, "Enhance available battery energy by means of a new management system control strategy," *2016 AEIT International Annual Conference (AEIT)*, Capri, 2016, pp. 1-6.
14. E. Micolano, R. Lazzari and L. Pellegrino, "Influence of management and system configuration on performances and lifetime of lithium-ion batteries," *2015 AEIT International Annual Conference (AEIT)*, Naples, 2015, pp. 1-6.
15. M. De Nigris, I. M. Gianinoni, G. Mauri, E. Micolano, G. Riva, "Plug-in electric vehicles and their impact on the electrical network: the Italian R&D experience", *EVS25: The 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition*, Shenzhen (China), 5-9 Novembre 2010
16. R. Lazzari, E. Micolano, "Electrochemical Storage Systems for Renewable Energy Application", *6th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition,* Berlino, 28-30 Novembre 2011 (poster)

17. R. Lazzari, E. Micolano: “Characterization tests for the comparison of Energy storage systems for stationary and vehicular applications” *5th International Renewable Energy Storage Conference IRES 2010*, Berlino, 22-24 Novembre 2010 (poster)
18. E. Micolano, Claudio Bossi, Carmen Valli, Maurizio Verga: “Experimental Test on Storage Systems in a Distributed Generation Microgrid”, *CIGRE 2008 - International Council on Large Electric System,* Paris, session 42, 2008
19. C. L. Bossi, E. Micolano , A. Borghetti, M. Bosetti ,C.A. Nucci, M. Paolone, S. Massucco, A. Morini, F. Silvestro "An Energy Resource Scheduler Implemented in the Automatic Management System of a Microgrid Test Facility " , *International Conference on Clean Electrical Power*, Capri (NA), 2007
20. A. Buonarota, P. Magistris, A. Testa, F. Zagliani: “Traditional and Advanced Energy Storage Systems for New Strategies for the Development and the Exploitation of MV And LV Network” *CIRED 17Th International Conference on Electricity Distribution*, Barcelona, 12-15 May 2003