

# Interazioni tra la gestione delle ricariche e l'invecchiamento delle batterie

Come può un buon LMS prolungare in modo sostenibile la durata delle batterie

Philipp Sinhuber, Aquisgrana

Il sistema a batterie è il "cuore" di ogni autobus elettrico: non solo ne definisce le proprietà tecniche, ma ha anche un'influenza significativa sui costi. Il sistema a batterie è di gran lunga il componente più dispendioso di un autobus elettrico, in quanto rappresenta fino a un terzo dei costi di acquisto. Inoltre, la durata delle soluzioni attuali è ancora limitata, per cui le aziende di trasporto devono pianificare almeno una sostituzione delle batterie durante la vita utile di un autobus elettrico.

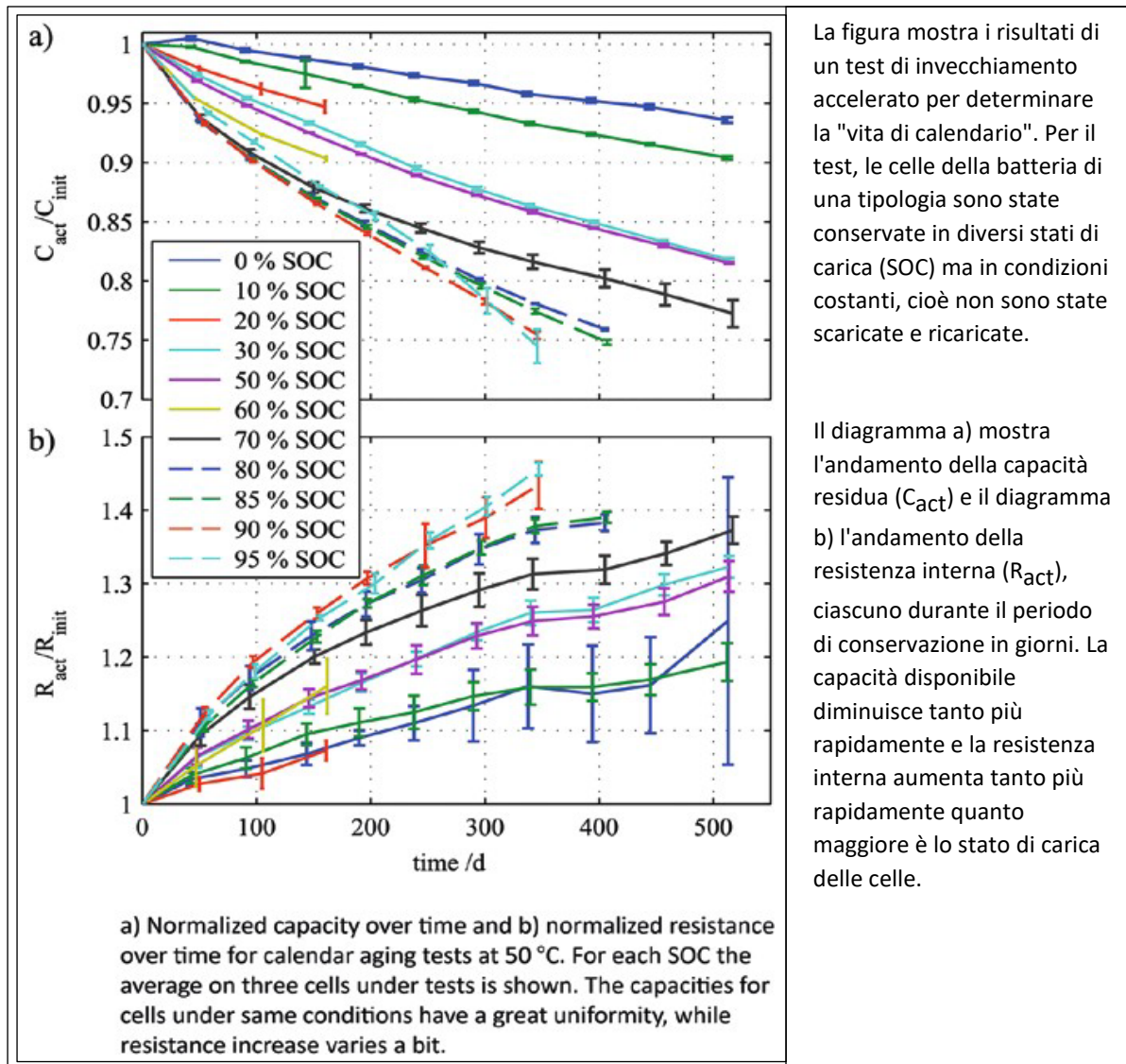
Pertanto, per le aziende di trasporto è fondamentale creare sempre condizioni ottimali sia durante la corsa che durante la ricarica e gestire i sistemi a batterie con quanta più cura possibile. La pianificazione e il controllo dei processi di ricarica spettano al sistema di gestione delle ricariche (LMS), che può influenzare in modo positivo la durata se le specifiche della batteria vengono prese in considerazione correttamente. Anche le interazioni dell'LMS con l'assegnazione dei veicoli come parte del sistema di gestione del deposito (BMS) sono di grande importanza. Per ottenere risultati ottimali, i tempi di ricarica devono sempre essere presi in considerazione quando si assegnano i veicoli ai turni macchina e alle stazioni di ricarica.

Nel seguente articolo verranno innanzitutto spiegati i processi di invecchiamento delle batterie e descritti sia i vantaggi che le funzioni di un LMS in relazione ad essi.

## Possibili cause dell'invecchiamento delle batterie degli autobus elettrici

Le batterie al litio sono utilizzate in quasi tutti gli autobus elettrici. L'invecchiamento delle batterie è influenzato da diversi fattori: le tensioni, dovute a stati di carica elevati, e le alte temperature di solito causano un invecchiamento più rapido rispetto alle tensioni medie o alle temperature moderate. La tensione e la temperatura sono grandezze fisiche che descrivono il contenuto energetico di un sistema. Più alto è il contenuto energetico, più veloci sono le reazioni parassite nel sistema. Questo può far sì che, ad esempio, i portatori di carica (ioni di litio) si leghino e non siano più disponibili per la reazione elettrochimica vera e propria; inoltre, possono formarsi degli strati solidi che ricoprono i materiali attivi. Di conseguenza, la capacità delle celle della batteria diminuisce mentre la loro resistenza interna aumenta, anche se la batteria non viene caricata o scaricata affatto. Si parla quindi di "vita di calendario", perché la durata stessa è limitata anche se la batteria non viene utilizzata in nessun modo.

Invece, se la batteria invecchia a causa della ricarica e scarica, si parla di "invecchiamento ciclico" o "vita ciclica". L'espansione dei materiali attivi cambia durante la ricarica e scarica, causando sollecitazioni meccaniche e, infine, l'usura dei materiali attivi. Si tratta di un processo paragonabile a quello di un pezzo di metallo che viene piegato spesso avanti e indietro: maggiore è la flessione, più velocemente il materiale mostra segni di fatica nel punto di flessione. A seconda della portata della ciclizzazione e della tecnologia delle celle, la capacità può essere scaricata e ricaricata da 800 a 5000 volte finché la batteria non raggiunge la fine della vita utile. In questo caso si utilizza l'espressione "cicli completi equivalenti". D'altra parte, il titanato di litio (LTO), un materiale attivo per gli elettrodi negativi, presenta un volume di lavoro molto più basso rispetto alla grafite, il materiale anodico "classico". Le celle corrispondenti possono quindi raggiungere un numero di cicli completi equivalenti da due a cinque volte superiore.



La figura mostra i risultati di un test di invecchiamento accelerato per determinare la "vita di calendario". Per il test, le celle della batteria di una tipologia sono state conservate in diversi stati di carica (SOC) ma in condizioni costanti, cioè non sono state scaricate e ricaricate.

Il diagramma a) mostra l'andamento della capacità residua ( $C_{act}$ ) e il diagramma b) l'andamento della resistenza interna ( $R_{act}$ ), ciascuno durante il periodo di conservazione in giorni. La capacità disponibile diminuisce tanto più rapidamente e la resistenza interna aumenta tanto più rapidamente quanto maggiore è lo stato di carica delle celle.

Fig. 1: risultati di un tipico test di invecchiamento per celle di batterie (tipologia di cella: Sanyo UR18650E, materiale del catodo: NMC, materiale dell'anodo: grafite), eseguito presso l'ISEA dell'Università RWTH di Aquisgrana.

## Agire sull'invecchiamento delle batterie

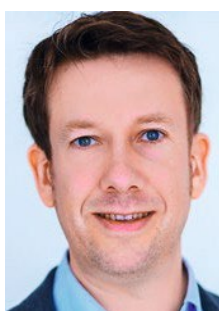
Per rallentare il più possibile l'invecchiamento delle batterie, si può innanzitutto cercare di mantenere i parametri sopra citati, ovvero temperatura, tensione, stato di carica e ciclizzazione, a valori minimi. Di conseguenza, una "conservazione in frigorifero" garantirebbe la massima durata. Tuttavia, poiché lo scopo della batteria è quello di assorbire e poi fornire energia all'unità di trazione e ai dispositivi ausiliari, e il funzionamento ha sempre la priorità, una tale "conservazione in frigorifero" non è possibile. Ciononostante, esistono dei livelli di libertà che possono essere utilizzati per far funzionare le batterie senza danneggiarle, soprattutto attraverso un adeguato sistema di gestione delle ricariche. Ad esempio, per ridurre al minimo l'invecchiamento di calendario, gli autobus possono essere ricaricati il più tardi possibile e solo fino al punto in cui hanno uno stato di carica sufficiente per il turno macchina successivo, che non richiede necessariamente una ricarica al 100%. In questo modo, le batterie rimarrebbero in uno stato di carica elevato solo per il minor tempo possibile.

La potenza di ricarica influisce sempre sull'invecchiamento delle batterie. Un regime di carica elevato, ad esempio, provoca il surriscaldamento della batteria. Se il sistema di raffreddamento non è progettato in modo appropriato e la temperatura non è distribuita in modo uniforme, i componenti del pacco batterie invecchiano in modo particolarmente rapido. La qualità del pacco batterie e del sistema di raffreddamento è quindi fondamentale. Sul mercato esistono diversi sistemi di raffreddamento e sistemi a batterie di diversa qualità.

Nei punti finali, la ricarica viene spesso effettuata ad alta potenza. I tempi di ricarica sono quindi di circa 5-15 minuti. Se la qualità del sistema a batterie è sufficiente, ridurre la potenza di ricarica ha un effetto minimo su tali processi. In questo caso, la priorità deve essere quella di garantire il funzionamento. Tuttavia, se la ricarica avviene durante la notte presso il deposito, spesso si ha a disposizione più tempo e quindi maggiore flessibilità e il regime di ricarica potrebbe essere ridotto di conseguenza.

La ciclizzazione della batteria e la portata dei cicli devono quindi dipendere dalle esigenze del funzionamento dell'autobus. Con una buona pianificazione e progettazione del sistema per autobus

elettrici, ovvero una progettazione della capacità della batteria in base al worst case, normalmente la ciclizzazione è moderata in ogni caso, poiché il worst case si verifica raramente. Rendere i turni macchina il più brevi possibile e quindi accettare una maggiore domanda di veicoli o altre inefficienze operative solo per rendere la ciclizzazione della batteria più piatta, di solito è privo di senso.



#### L'autore

**Philipp Sinhuber**, uno degli amministratori delegati di EBS ebus solutions GmbH e il suo team di ingegneri e sviluppatori di software sono responsabili degli algoritmi per la previsione del consumo di energia e la pianificazione delle fasi di ricarica in IVU.suite. Questi algoritmi assicurano che gli autobus elettrici vengano ricaricati con cura, in modo affidabile ed economico. Durante il periodo trascorso all'Università RWTH di Aquisgrana, ha dedicato più di sei anni alla ricerca nel campo della tecnica dei sistemi a batterie per autobus elettrici. Dal 2015 offre consulenza insieme a ebusplan GmbH alle aziende di trasporto per la conversione agli autobus elettrici.

## Requisiti di un LMS per autobus elettrici

Un LMS controlla innanzitutto gli alimentatori, per lo più in base all'Open Charge Point Protocol (OCPP), e fornisce loro dei limiti massimi di potenza entro i quali gli alimentatori gestiscono ed eseguono gli effettivi processi di ricarica del veicolo. In questo modo, l'LMS ripartisce la potenza per raggiungere vari obiettivi hard e soft. Ad esempio, ricaricare tutti gli autobus in tempo per l'utilizzo successivo e non sovraccaricare nessun componente o il collegamento alla rete elettrica sono obiettivi hard. Anche il rispetto di un intervallo di blocco durante il quale la ricarica non è consentita affatto o solo a bassa potenza è un obiettivo hard. Un obiettivo soft, invece, è quello di minimizzare la potenza di picco per ridurre gli oneri di rete a carico dell'azienda di trasporto.

Un buon LMS conosce i veicoli utilizzati, le loro batterie e l'infrastruttura di ricarica. È quindi in grado di prevedere i tempi di ricarica e di adattare in modo specifico le fasi di ricarica, aumentando così il potenziale di ottimizzazione. Le fasi di ricarica possono essere impostate in modo più ravvicinato e i buffer e le ridondanze possono essere pianificati più consapevolmente, nei punti in cui hanno senso.

Su questa base, un buon LMS offre alle aziende di trasporto la possibilità di regolare il controllo delle fasi di ricarica in modo specifico per il funzionamento degli autobus. La situazione è molto diversa da città a città e da distretto a distretto. Un'azienda di trasporto può avere bisogno di più buffer e riserve a causa delle procedure operative nel deposito rispetto ad un'altra, dove la riduzione dei picchi di carico gioca un ruolo molto più importante. Un buon LMS raggruppa quindi i diversi influssi e ottimizza i piani di ricarica in base alle condizioni marginali specifiche e locali che l'utente può impostare.

— In termini di efficienza dei costi, le connessioni alla rete elettrica nei depositi solitamente non hanno le dimensioni necessarie per la ricarica simultanea di tutti i veicoli. La risorsa della potenza di ricarica è quindi limitata e deve essere assegnata in modo prioritario. Per massimizzare la stabilità operativa, è necessario tenere conto della necessità di ricarica e dell'orario di partenza. L'LMS riceve dal sistema di gestione del deposito (BMS) gli orari di partenza degli autobus e gli stati di carica minimi richiesti da ciascuno, e quindi sa quanta energia deve essere ricaricata e quanto tempo richiederebbe la ricarica. L'LMS deve anche tenere conto degli autobus che sono ancora sulla tratta e deve ricevere dal BMS una previsione dello stato di carica previsto all'entrata nel deposito. Inoltre, il BMS deve sapere quanta energia consuma l'autobus e quanta energia può essere ricaricata nei punti finali ("ricarica occasionale"). Un buon LMS è quindi completamente integrato nell'ambiente di sistema e soprattutto è realizzato per applicazioni specifiche, ovvero è adattato al funzionamento degli autobus, che è molto diverso, per esempio, dal funzionamento di una stazione di servizio autostradale o da quello di un parcheggio.

## Funzionalità dell'LMS rilevanti per le batterie

Nel sistema completo descritto sopra, anche la batteria svolge un ruolo importante. Ad esempio, non solo l'abitacolo deve essere preconditionato prima della partenza, ma in parte anche la batteria stessa. Anche questo è controllato dall'LMS e può essere programmato dal gestore tramite il BMS. Inoltre, l'LMS deve anche fornire energia ad altri impianti ausiliari durante la ricarica così come per il "balancing". Questo bilanciamento delle tensioni delle diverse celle del sistema a batterie deve avvenire regolarmente per tutte le batterie al litio, al fine di mantenere la batteria in uno stato

efficiente ed evitare un inutile invecchiamento. A questo scopo, alcune batterie richiedono un'alimentazione tramite l'alimentatore.

Le seguenti figure 2 e 3 mostrano un esempio schematico per tre autobus. L'indicatore "AN" rappresenta gli arrivi alla rispettiva stazione di ricarica. L'indicatore "AB", invece, rappresenta la successiva uscita dal deposito. L'altezza delle barre colorate indica la potenza di ricarica assegnata al veicolo (dall'LMS), mentre la larghezza indica la durata di questa distribuzione di potenza. I blocchi simboleggiano una forma semplificata del "chargingSchedulePeriod" secondo l'OCPP e le curve nere indicano l'andamento previsto dello stato di carica.

La figura 2 mostra il caso di una ricarica non controllata. Tutti gli autobus iniziano la ricarica subito dopo l'arrivo alla stazione di ricarica. Di conseguenza, si può prevedere un'elevata potenza di picco nell'intervallo di tempo in cui i blocchi di carica blu e verde si sovrappongono. Le batterie dei due autobus superiori raggiungono una ricarica completa molto rapidamente (SOC 100 per cento) e rimangono a lungo nello stato di ricarica completa.

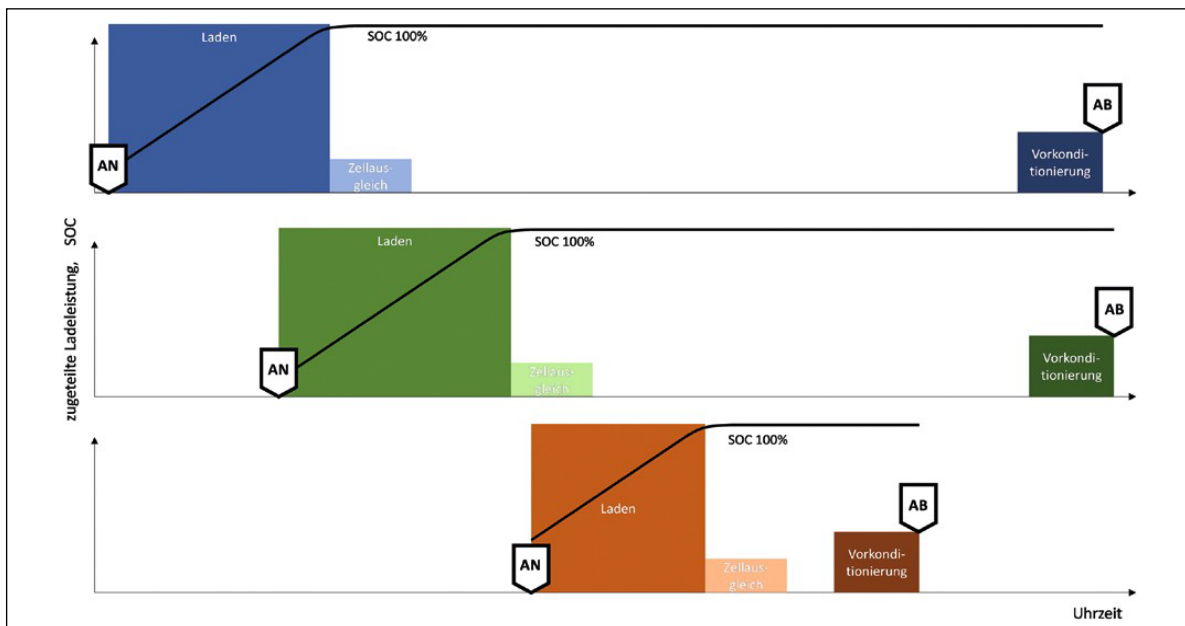


Fig. 2: ricarica non controllata

La figura 3 mostra ora il caso della pianificazione intelligente delle fasi di ricarica. In questo caso, non solo la simultaneità viene mantenuta bassa per evitare i picchi di carico e la potenza viene distribuita, ma viene anche stabilita una priorità nella distribuzione della potenza ai veicoli in base ai loro orari di partenza e alle loro necessità di ricarica. Grazie al migliore utilizzo dei tempi di sosta, la potenza di carica è inferiore. Ciò si può notare dai blocchi più piatti e dagli andamenti dello stato di carica che aumentano meno rapidamente. In questo modo si riducono leggermente le perdite dell'infrastruttura di ricarica, dato che aumentano in modo sproporzionato con l'aumento del carico, ad esempio nei trasformatori, nelle sub-distribuzioni e nelle linee di alimentazione. Ma ci sono anche effetti sulle batterie: ad esempio, ridurre la potenza di ricarica da 120 kW a 60 kW significa, secondo un calcolo approssimativo, dimezzare la corrente di ricarica. Tuttavia, per i pacchi batteria odierni, che di solito superano i 300 kWh per gli autobus rigidi, anche 120 kW sono una potenza di ricarica bassa. Una riduzione avrebbe poco effetto se la qualità del sistema a batterie è adeguata. Per quanto riguarda l'invecchiamento della batteria, invece, l'effetto che le batterie raggiungono lo stato di carica completa molto più tardi e quindi rimangono ad elevati stati di carica per un tempo più breve può essere un fattore più importante (Fig. 1).

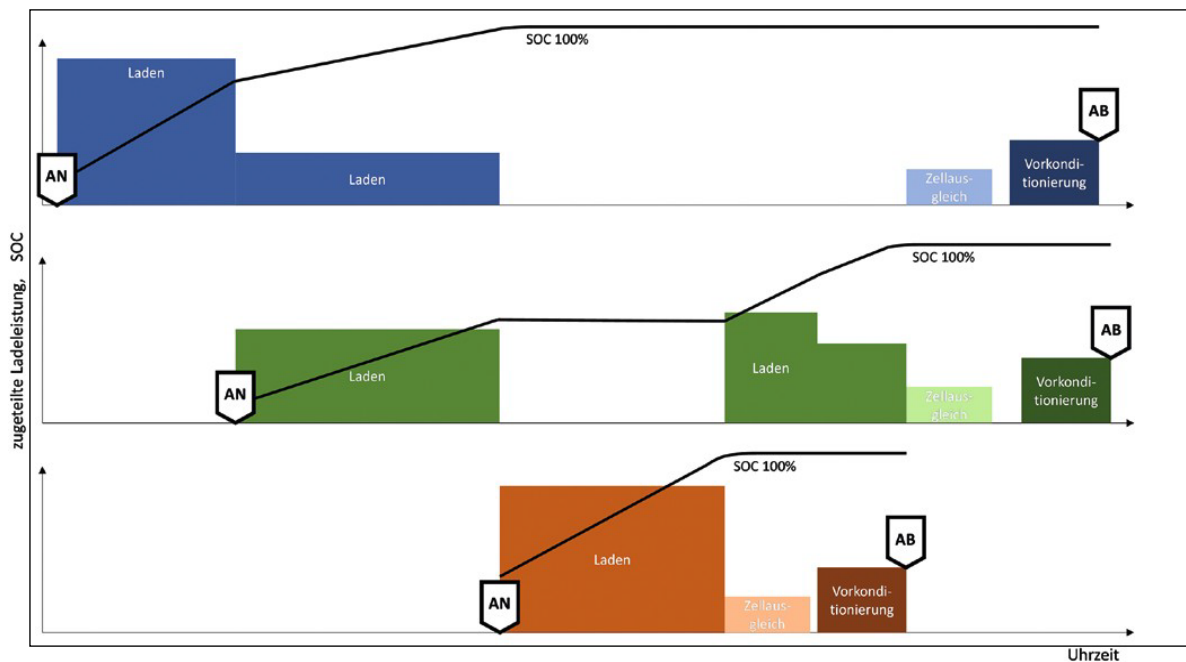


Fig. 3: ricarica con livellamento della ricarica, con cui anche le batterie vengono protette



Nelle figure 2 e 3 si ipotizza, per semplificare, che gli autobus vengano ricaricati in modo completo. Per proteggere ulteriormente le batterie, è possibile caricarle solo fino al livello di carica minimo richiesto per il turno macchina successivo.

## Prospettive

Con la conoscenza delle necessità di ricarica, del comportamento di ricarica e dei parametri del funzionamento per quanto riguarda i buffer necessari e gli obiettivi di ottimizzazione, un buon LMS è in grado anche tenere conto degli influssi dell'invecchiamento delle batterie sopra menzionati, caricare le batterie senza danneggiarle e monitorare l'avanzamento della ricarica.

Se si aggiungono ulteriori informazioni sulle condizioni del veicolo, come la temperatura della batteria, si possono implementare anche funzioni di sicurezza. Nel contesto dell'attuale dibattito di settore sulle cause e sulle strategie di prevenzione degli incendi negli autobus elettrici, l'LMS potrebbe rappresentare un ulteriore livello di sicurezza, poiché monitora la temperatura della batteria durante il processo di ricarica, oltre ai meccanismi di sicurezza del veicolo e del sistema di gestione della batteria. Se le temperature della batteria di tutti i veicoli venissero fornite all'LMS tramite l'interfaccia di ricarica, sarebbe addirittura possibile includere la temperatura della batteria nella pianificazione delle fasi di ricarica e ridistribuire la potenza di ricarica in anticipo. Con un'adeguata integrazione nel BMS, sarebbe persino possibile tenerne conto nelle decisioni di assegnazione.

### **Bibliografia:**

[1] J. Schmalstieg et al./*Journal of Power Sources* 257 (2014), 325 – 334.