

GUIDA TECNICA ALLE BATTERIE IONI DI LITIO

voltimum

Paola Artuso

Advanced Lithium-Ion Modules Sales Engineer in EMEA Region

NEC Energy Solutions

Via Di Grotta Perfetta, 643, Roma, 00142, IT

+39 06 87203 924

www.neces.com

Sommario

Introduzione.....	4
Criticità e sfide tecnologiche.....	4
Discussione.....	4
Soluzione.....	5
Normativa per celle e batterie.....	5
Punti chiave per il design di un pacco batteria.....	6
Smart Design delle batterie orientata alla sicurezza.....	6
Trasporto di materiale pericoloso: Celle e pacchi batterie agli Ioni di Litio.....	7
Esempi – Design elettrico e meccanico non adeguato.....	7
Esempi di design elettrico non adeguato.....	7
Esempi di design meccanico non adeguato.....	8
Esempio di design elettrico e meccanico non adeguato.....	10
Esempio di design adeguato.....	10
Design Meccanico.....	11
Design del Modulo.....	11
Resistenza meccanica.....	12

Batterie Ioni di Litio

Progettazione dei moduli e sicurezza.

Introduzione

Le celle, i moduli e le batterie agli ioni di litio sono in uso da oltre 20 anni. Le dimensioni e il peso ridotti hanno fatto sì che fossero comunemente utilizzati in molti dispositivi elettronici e più recentemente in applicazioni industriali, automotive e militari. Gli ioni di litio offrono una serie di vantaggi rispetto alle altre chimiche utilizzate per la produzione di batterie e per questo si prospetta l'utilizzo in nuove applicazioni e tecnologie emergenti. Utilità e vantaggi delle batterie agli ioni di litio (Li-Ion) sono ben noti, ma meno conosciute sono le criticità associate a questa chimica.



Criticità e sfide tecnologiche

Le batterie Li-Ion hanno avuto molto successo negli ultimi anni. Il loro tasso di guasto in generale è molto basso rispetto al numero totale di batterie in uso in tutto il mondo. Tuttavia, negli ultimi anni si sono registrati degli episodi in cui le batterie sono state all'origine di incendi e incidenti pericolosi.

Le batterie agli ioni di litio sono sicure? Questa tecnologia offre da un lato una densità di energia elevata e allo stesso tempo gli ioni di litio possono reagire chimicamente molto velocemente, tanto che si possono generare condizioni di 'instabilità termica' quando le condizioni operative sono al di fuori dei range stabiliti.

Alcune delle condizioni che possono causare malfunzionamenti sono:

- Sovraccarica - può provocare la reazione dell'elettrodo positivo con l'elettrolita, con conseguente generazione di calore, innalzamento della pressione e conseguente incendio.
- Sovra scarica - può provocare danni al catodo della cella elettrolitica, formazione di placche e dendriti e conseguente cortocircuito interno per perforazione del diaframma.
- Surriscaldamento - può provocare la reazione dell'elettrodo negativo con l'elettrolita.
- Corto-circuito ('esterno', ai morsetti) - può causare surriscaldamento e innalzamento della pressione.
- Sollecitazione meccanica - può causare danni e deformazioni delle celle, tali da provocare possibili cortocircuiti interni e altri guasti.

Discussione

L'affidabilità e la sicurezza della cella agli Ioni di Litio dipendono innanzitutto dalla qualità di elettrodi, elettrolita, separatori e materiali utilizzati. Il processo di produzione delle celle è di fondamentale importanza per assicurare la qualità e l'affidabilità del prodotto finale. Oggi, sono disponibili vari grandi produttori di celle Li-Ion che forniscono prodotti di qualità con elevata affidabilità. Queste celle sono prodotte principalmente nelle seguenti configurazioni geometriche: cilindrica, prismatica o polimerica.



La maggior parte delle celle agli ioni di litio sono destinate ad essere assemblate in moduli o batterie, che in pratica sono l'insieme di più celle connesse in serie e/o in parallelo. Il numero di celle e la loro configurazione determina la tensione nominale e la capacità del modulo o della batteria. Le batterie sono disponibili in un'ampia varietà di prodotti che possono essere standard o personalizzati a seconda dell'applicazione finale, delle prestazioni richieste e del prezzo che si è disposti a pagare.

Una batteria può avere un malfunzionamento provocato da un collegamento errato ai capi degli elettrodi, per esempio un cortocircuito. Altri tipi di malfunzionamento possono essere provocati da temperature estreme, sovraccarica, sovra scarica, sollecitazioni meccaniche e sbilanciamenti dello stato di carica delle celle all'interno del pacco batteria.

A livello di sistema in cui due o più batterie sono connesse insieme, un malfunzionamento può verificarsi a causa di un collegamento errato tra le batterie, connessione difettosa del pacco batterie con il carico o con il caricabatterie, dal malfunzionamento di un singolo modulo.

Per mitigare ed evitare gli effetti dovuti all'uso improprio delle batterie, l'attenzione deve essere rivolta alla scelta della tecnologia, della configurazione del sistema e dei parametri che determinano la sicurezza del sistema.

Soluzione

Per ottenere un design sicuro e robusto, è cruciale identificare le caratteristiche e i requisiti dello storage di energia per un'applicazione specifica. L'ottimizzazione delle prestazioni e della sicurezza delle batterie Li-Ion si ottiene facendo particolare attenzione alle specifiche, alla progettazione elettrica e meccanica, agli standard normativi da applicare.

Normativa per celle e batterie.

La maggior parte dei Paesi seguono norme e regolamentazioni che richiedono di valutare i prodotti rispetto a una serie di criteri di sicurezza stabiliti in base alla loro destinazione d'uso.

Gli standard più comuni e largamente accettati sono basati sulla normativa proposta e pubblicata da 'International Electrotechnical Commission' (IEC), Underwriters Laboratories (UL), e Nazioni Unite (UN). L'elenco che segue descrive alcuni dei punti essenziali della normativa internazionale relativa a celle e moduli agli ioni di litio, in riferimento ad applicazioni portatili e stazionarie e 'Light Electric Rail' (LER).

Nota: parte della normativa per applicazioni non stazionarie, anche se importante per la progettazione e sicurezza del prodotto, non è menzionata in questo documento.

- **UL 1642** Batterie al litio - questa è una normativa di sicurezza che definisce requisiti intesi a ridurre il rischio di incendio o esplosione quando le batterie al litio (o le celle) sono usate in un prodotto.
- **IEC 62133** Celle e batterie secondarie contenenti elettroliti alcalini o non-acido di altro tipo - Requisiti di sicurezza per celle secondarie sigillate e batterie composte da esse, per utilizzo in applicazioni portatili.
- **UL 1973** batterie per l'uso in 'Light Electric Rail' (LER) e applicazioni stazionarie - Lo standard valuta la capacità del sistema di accumulo di energia elettrica di resistere a condizioni di stress simulate in sicurezza.

Dalla **UL 1973**, viene riportato un passaggio chiave:

*5.7.3 Circuiti elettronici e software di controllo, come protezione di sicurezza primaria, devono essere esaminati rispetto allo Standard che definisce i test dei sistemi di controllo per la sicurezza che impiegano dispositivi a stato solido, **UL 991**; alla normativa relativa a software di componenti programmabili (**UL 1998**); o alla normativa per la sicurezza funzionale dei dispositivi elettrici/elettronici/elettronici programmabili, serie **IEC 61508**, applicabile in base alla complessità dei sistemi di controllo.*

- **UL 991** – Standard per le prove di sicurezza che riguardano l'impiego di dispositivi allo stato solido
- **UN 38.3** "Raccomandazioni sul trasporto di merci pericolose. Manuale delle prove e dei requisiti". Vengono definiti i criteri che devono essere utilizzati per garantire la sicurezza delle batterie al litio durante il trasporto.

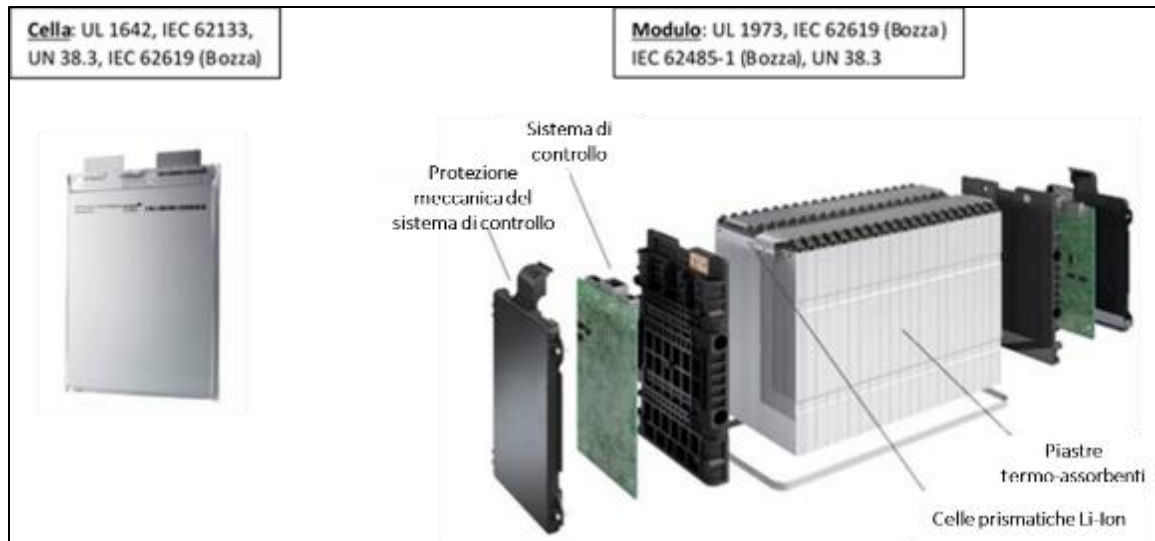


Figura 1. Normative per le celle e i moduli

Punti chiave per il design di un pacco batteria

Per la progettazione della batteria o del sistema di accumulo di energia, è l'applicazione finale a guidare la selezione delle celle, dei moduli e dei componenti. Alcuni dei requisiti principali sono tensione, energia, capacità, temperatura, umidità, frequenza dei cicli e durata del sistema. La vita delle batterie è determinata dagli effetti combinati della 'calendar life' (quando utilizzata con funzione di batteria tampone) e cicli di vita (cycle life). Gli effetti derivanti dai cicli eseguiti e dall'invecchiamento, in particolare quando la carica-scarica è periodica e frequente, possono avere un impatto sulla vita e la sicurezza della batteria. La selezione di una batteria o di un modulo Li-Ion è basata su tutti questi parametri fondamentali, insieme a costi, dimensioni, pesi. In genere, i sistemi di accumulo elettrochimico possono essere progettati per applicazioni di energia o di potenza. Infine, le caratteristiche meccaniche delle celle, dei componenti e dei cablaggi e in generale dell'assemblaggio costituiscono un aspetto importante che ha un impatto sulle prestazioni che si possono ottenere e sul livello di sicurezza del pacco batteria.

Smart Design delle batterie orientata alla sicurezza

A prescindere dalla chimica della cella utilizzata, la maggior parte delle batterie e dei sistemi di accumulo di energia utilizzano un sistema di gestione della batteria (BMS-Battery Management System), che è composto da circuiti elettrici per la gestione delle celle, la distribuzione equilibrata del carico e altre funzioni operative di monitoraggio e controllo. Nel settore industriale, il nome più comunemente utilizzato per le batterie con BMS integrato è "Smart Battery". Tuttavia, non tutte le batterie con BMS integrato o "Smart Battery" sono progettate con adeguate misure di sicurezza e di protezione per evitare malfunzionamenti a livello di cella, di batteria, oppure di sistema. Le cause che determinano il guasto delle celle e delle batterie possono essere molto varie e la sicurezza viene compromessa quando i componenti vengono danneggiati. Per evitare incidenti si fa riferimento a standard come la UL 1973, che definiscono dei test per garantire la sicurezza durante l'utilizzo. Ad esempio, vengono definite delle prove sull'intero prodotto in condizioni di sovraccarica, corto circuito, sovra scarica, e temperature estreme. Dato che i BMS utilizzano dispositivi allo stato solido (o semiconduttori) per implementare funzioni di sicurezza, questi devono essere progettati utilizzando la UL 1973 e le norme UL 991 e devono essere testati per verificare il funzionamento sicuro dopo che un guasto viene realizzato in un punto qualsiasi del sistema. Un design robusto del BMS dovrebbe includere sistemi di sicurezza ridondanti per assicurare un funzionamento in sicurezza anche in condizioni critiche.

La ridondanza nella progettazione della batteria è essenziale per assicurare un funzionamento sicuro e affidabile sia in condizioni normali che anomale. Pur avendo un design robusto, nelle condizioni reali i prodotti possono essere comunque soggetti a dei guasti. Anche se il

tasso di guasto atteso è basso, bisogna fare in modo che anche nel caso in cui un malfunzionamento possa verificarsi, questo non porti a conseguenze catastrofiche.

Per verificare i metodi di progettazione usati per garantire la sicurezza del prodotto, i singoli componenti devono essere sottoposti a dei test che implementano condizioni di guasto tali da verificare che la sicurezza sia garantita anche in condizioni critiche grazie a una progettazione efficace. Funzioni e componenti importanti per la sicurezza possono essere analizzati tramite la 'Failure Modes and Effects Analysis' (FMEA). L'analisi include sia componenti come gli interruttori di protezione, sia i circuiti di comando che li controllano. Dopo che il guasto è stato riprodotto, vengono eseguiti i test in condizioni di sovraccarica, sovracorrente e sovratemperatura. Ciò significa che un prodotto che porta il marchio UL 1973 sarà progettato e testato per tollerare il guasto in qualsiasi parte del sistema e mantenere il sistema stesso in condizioni di sicurezza.

Trasporto di materiale pericoloso: Celle e pacchi batterie agli Ioni di Litio

Le celle, le batterie e i sistemi agli ioni di litio sono considerati merce pericolosa e devono rispettare i requisiti nazionali e internazionali che si basano sulle raccomandazioni della UN per il trasporto di materiale pericoloso. La normativa è più dettagliata per trasporti aerei e marittimi, regolamentati rispettivamente dall'Organizzazione internazionale per l'aviazione civile (ICAO) e dall'Organizzazione marittima internazionale (IMO). ICAO lavora a stretto contatto con gli Stati membri e le organizzazioni dell'aviazione internazionale per sviluppare 'Standards and Recommended Practices' (SARP). ICAO collabora con l'International Air Transport Association (IATA) per raggiungere il medesimo risultato. Per il trasporto via mare l'IMO (International Maritime Organization) è l'agenzia delle Nazioni Unite che ha la responsabilità di garantire la sicurezza del trasporto marittimo e prevenire l'inquinamento marino. La normativa cui fa riferimento è denominata 'International Maritime Dangerous Goods code' (IMDG). Queste sono le normative principali riconosciute a livello internazionale per il trasporto delle merci pericolose.

Prima che il trasporto possa avvenire, celle, batterie, e sistemi di accumulo devono soddisfare i criteri contenuti nelle raccomandazioni della UN per il trasporto di merci pericolose - Manuale dei test e dei criteri di sicurezza, parte III, sezione 38.3. Il produttore delle celle o del pacco batteria Li-Ion, in quanto produttore di materiale ritenuto pericoloso, deve garantire che i propri manufatti rispondano ai criteri riportati nella UN 38.3, per trasportare legalmente il prodotto sia in fase di spedizione, sia in fase di reso.

La UN 38.3 indica anche dei test di corto circuito, sovraccarica dopo che il prodotto è stato sottoposto a una certa altitudine, a stress termici, e sollecitazioni meccaniche (vibrazioni e prove d'urto). È importante notare l'ordine dei test. Batterie che hanno una scarsa resistenza meccanica inizieranno a registrare problemi già quando sottoposte a vibrazioni e prove d'urto. Quando la sequenza di prova arriva alla fase di verifica delle caratteristiche elettriche, che include le funzioni del BMS, il dispositivo non passerà il test se la progettazione meccanica è stata fatta in modo inadeguato. Per esempio componenti elettrici su una scheda a circuito stampato (PCB) progettati senza supporto meccanico, con interconnessioni delle celle non appropriate, non passeranno i test indicati nella UN 38.3.

Chi produce storage di energia elettrochimico è bene che prima dell'acquisto richieda ai fornitori la documentazione che attesti la conformità dei prodotti alla UN 38.3. Le Figure dalla 2 alla 5 mostrano degli esempi di batterie commerciali attualmente disponibili che presentano un design e una realizzazione discutibili dal punto di vista della sicurezza e che difficilmente potranno essere conformi alla UN 38.3.

Esempi - Design elettrico e meccanico non adeguato

Esempi di design elettrico non adeguato

Sul mercato sono presenti batterie agli ioni di litio commerciali che non sono certificate UL 1973, IEC 62133, o UN 38.3. La figura 2 riporta un esempio di batteria Li-Ion commerciale con un BMS integrato per il bilanciamento delle celle, ma senza protezioni per prevenire sovratensioni. Non avrebbe passato la certificazione UL. Questo prodotto costituisce un rischio per l'utilizzatore finale. I fornitori che non certificano i loro prodotti in conformità alla UL 1973, propongono dei prodotti non sicuri. Progettisti e produttori di sistemi di stoccaggio elettrochimico di energia non dovrebbero sottovalutare aspetti relativi alla sicurezza, utilizzando prodotti agli ioni di litio non certificati.



Figura 2 Esempio di Batteria Li-Ion con BMS per bilanciamento delle celle, ma senza protezione contro sovratensioni

Esempi di design meccanico non adeguato

Ci sono vari fornitori di batterie agli ioni di litio che forniscono prodotti con un design meccanico discutibile dal punto di vista della resistenza alle sollecitazioni, come illustrato in alcuni esempi in figura 3, figura 4 e figura 5. Questi moduli commerciali presentano delle criticità che possono avere un impatto negativo sulla sicurezza del prodotto oltre che sulle prestazioni.

Esempio # 1, la figura 3 mostra una soluzione che potrebbe non essere adeguata, con saldatura che può essere soggetta a guasti meccanici quando sottoposta a stress. Inoltre, le saldature di bassa qualità potrebbero portare ad un surriscaldamento locale (hot-spot) e conseguente guasto della cella.

Esempio # 2, la figura 3 riporta un modulo in cui le celle al suo interno non sono tenute insieme da alcun elemento meccanico che attenui vibrazioni e altre sollecitazioni meccaniche. Per tenere insieme le celle, viene utilizzato solo un nastro adesivo, già di per se non molto efficace e che degradandosi col tempo perderà aderenza non garantendo più una solidità meccanica accettabile per mantenere le celle ben salde al loro posto. Questo tipo di assemblaggio espone le saldature a vibrazioni e possibili rotture e con ogni probabilità il prodotto non passerebbe i test rigorosi della UN 38.3 per quel che concerne la resistenza alle sollecitazioni meccaniche.

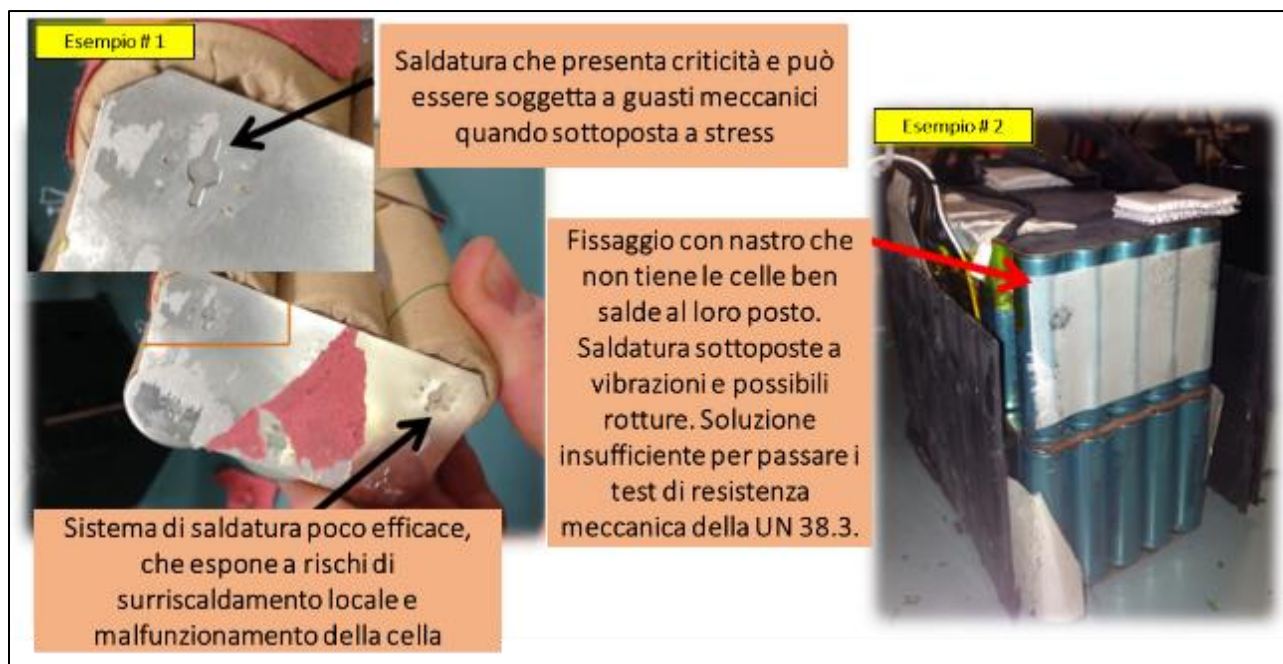


Figura 3 Esempio # 1 ed Esempio # 2 Design meccanico non adeguata

Esempio # 3, La Figura 4, mostra delle connessioni con materiale stratificato e non uniforme. Questo tipo di assemblaggio è realizzato con una saldatura tra nastro conduttore e cella che è soggetta a facili rotture quando sottoposta a sollecitazioni e urti. Questo prodotto presenta un altro problema per la sicurezza dell'utente. Le celle sono tenute meccanicamente insieme da nastro e colla a caldo. Questa soluzione non è adeguata a prevenire in modo efficace vibrazioni e conseguente rottura.

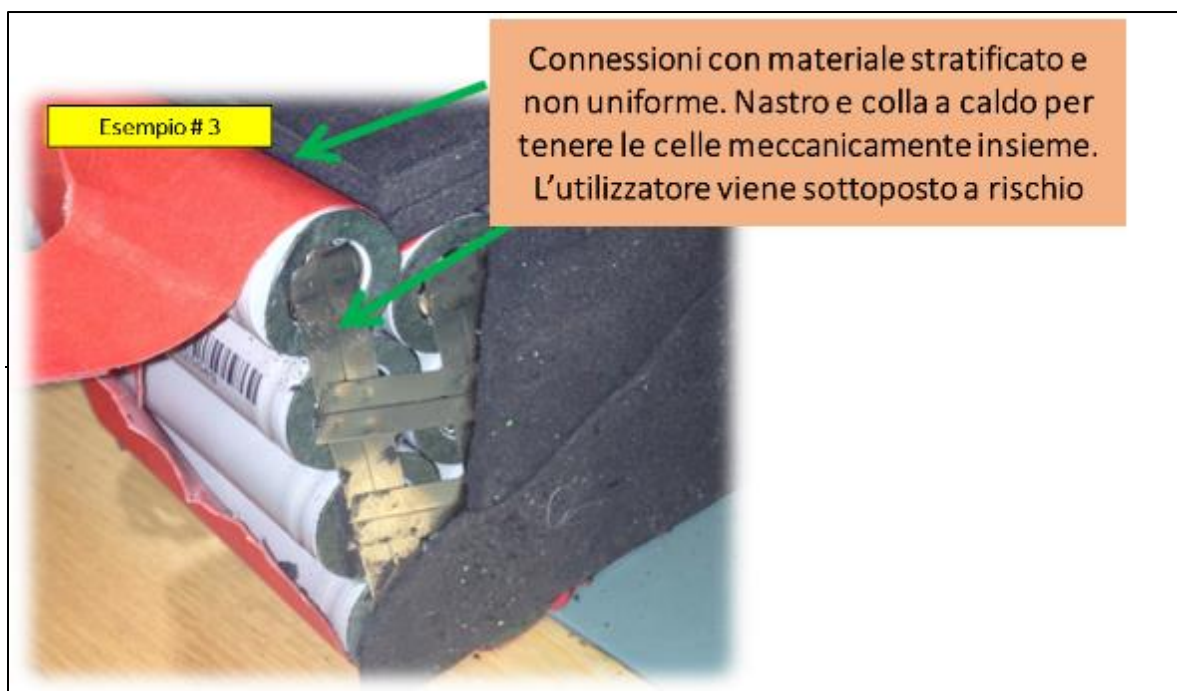


Figura 4 Esempio #3 Connessioni con materiale stratificato e non uniforme costituiscono un rischio per l'utilizzatore

Esempio di design elettrico e meccanico non adeguato

Esempio # 4 La figura 5 mostra un pacco batteria costituito da celle prismatiche. Questo assemblaggio presenta diverse criticità dal punto di vista elettrico e meccanico. La prima è che non sono presenti fusibili tra cella e cella. Questo determina il rischio che nel momento in cui una cella va in cortocircuito, il fenomeno si propaga sulle altre celle provocando inoltre un innalzamento incontrollato della temperatura. In aggiunta, la saldatura è eseguita in modo tale da non garantire una sufficiente resistenza meccanica a vibrazioni e urti e assicurare l'integrità della connessione elettrica. Questo risulta particolarmente critico considerato che le celle sono tenute insieme solo da un nastro adesivo (nero nella foto). E' improbabile che questo prodotto possa passare i test della UN 38.3. La combinazione di una cattiva progettazione della saldatura insieme a un assemblaggio meccanico scadente e poco efficace potrebbe essere la causa di cortocircuiti e condizioni pericolose dal punto di vista della sicurezza.

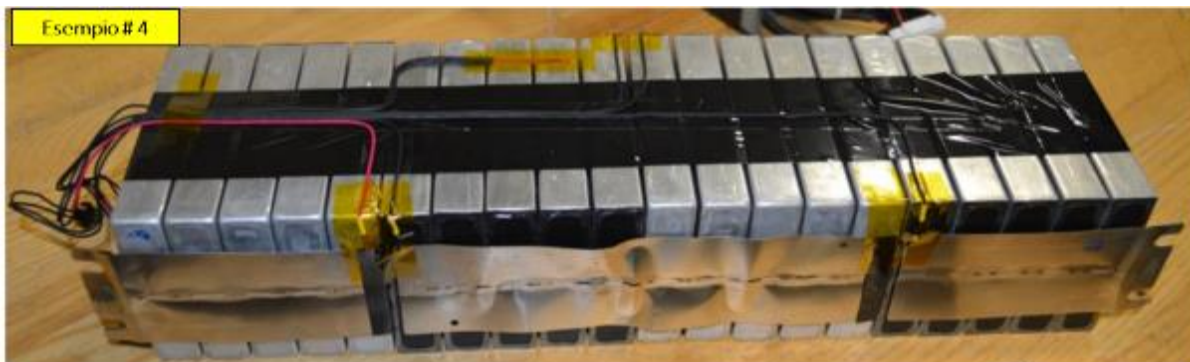


Figura 5 Esempio # 4 Celle prismatiche con criticità dal punto di vista elettrico e meccanico

I prodotti riportati in figura 2, figura 3, figura 4 e figura 5 sono solo alcuni esempi di batterie al litio in commercio che presentano delle criticità dal punto di vista della progettazione dell'integrazione meccanica ed elettrica. Quando si acquistano delle batterie o dei sistemi di stoccaggio elettrochimico Li-Ion, è molto importante avere evidenza della certificazione UN 38.3. Questo dovrebbe essere fatto non solo per essere conformi alle norme sul trasporto di materiali pericolosi, ma per garantire la sicurezza del prodotto stesso. Inoltre, utilizzare prodotti certificati (per esempio IEC 62133, UL 1973) è fondamentale per garantire buoni livelli di sicurezza, di durata del prodotto e di prestazioni durante l'applicazione finale.

Esempio di design adeguato

Si riportano quindi degli esempi di scelte progettuali che consentono di ottenere un prodotto di alta qualità atto a garantire elevati standard di sicurezza e di qualità del singolo modulo e dell'intero sistema di accumulo.

Un elemento cruciale è il BMS, che risulta di alta qualità se fornisce protezione ridondante da guasti interni o malfunzionamenti esterni. Inoltre, possono essere implementate delle funzioni aggiuntive che forniscono protezione a livello di sistema, protezione da funzionamenti anomali (al di fuori dei range indicati dal produttore) dell'apparato di alimentazione o del carico, regolazioni automatiche e ripristino delle normali condizioni operative quando il malfunzionamento scompare.

Il BMS può essere considerato di alta qualità quando il sistema viene monitorato sia a livello di cella con sensori di temperatura ridondanti e misure di tensione, sia a livello di modulo batteria con misurazione di tensione, corrente, e temperatura per aggiungere un ulteriore livello di sicurezza. Può essere implementata una funzione di controllo tale per cui quando viene rilevata una condizione di guasto, l'elettronica di potenza scollega il carico o l'alimentazione della batteria in modo da proteggerla. Possono essere previsti ulteriori livelli di protezione, utilizzando FET ridondanti integrati nel circuito elettrico interno (rif. Figura 6).

Funzioni aggiuntive che migliorano l'operatività della batteria e ne prolungano la vita prevenendo le conseguenze di un malfunzionamento del sistema interno o esterno al modulo, sono:

- Bilanciamento automatico delle batterie connesse in serie e in parallelo quando si trovano con stato di carica (SOC) diverso;
- Risposta veloce ai cortocircuiti tramite l'utilizzo di 'e-fuse', ossia dei fusibili elettronici che, a differenza di quelli tradizionali, non hanno bisogno di essere sostituiti in seguito all'attuazione;
- Ripristino delle condizioni normali di funzionamento, quando la situazione di guasto viene risolta (per esempio cortocircuiti e altre condizioni di protezione);
- Protezione da sovra-temperatura.

- Tensione presente ai terminali per scopi diagnostici, anche quando in modalità di protezione (utile quando si usano 'smart charger')
- Circuito di pre-carica che permette la ricarica quando si verificano eventi di protezione da sovra scarica (Under Voltage Protection), utile quando si usano 'smart charger'.

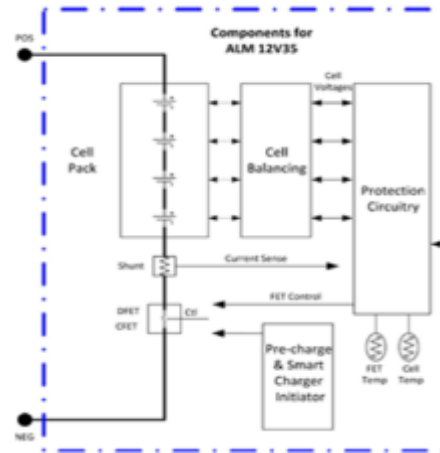


Figura 6 BMS e circuito di protezione di alta qualità

Inoltre, possono essere implementate funzioni di interfaccia di comunicazione in modo da consentire l'accesso alle informazioni del BMS e monitorare celle e batterie tramite protocolli di comunicazione standard utilizzati da dispositivi di monitoraggio e controllo esterni (per visualizzazione, logging dei dati, allarmi, report delle condizioni di 'fault').

Design Meccanico

Altrettanto importante quanto la progettazione elettrica, sono le interconnessioni meccaniche del pacco batteria. Per passare le prove d'urto e i test di vibrazione delineati dalle norme sulla sicurezza, come la UN 38.3, è necessario prevedere un design che garantisca robustezza meccanica. La progettazione meccanica coinvolge la definizione della traccia dei cavi, delle connessioni tra celle, dei supporti meccanici, e delle caratteristiche di telaio e involucro.

Design del Modulo

Il design di un modulo di qualità dovrebbe garantire un flusso di corrente bilanciato tra le celle per evitare surriscaldamento locale e allo stesso tempo assicurare un fissaggio meccanico robusto delle celle. Ciò è ottenuto da una geometria delle connessioni elettriche che facilita la saldatura e permette di farla in modo affidabile su ogni cella, garantendo buona resistenza meccanica e termica. La presenza di una protezione contro correnti 'inverse' tra celle collegate in parallelo è un altro elemento che contribuisce alla sicurezza del sistema. Questa protezione può essere realizzata con un fusibile integrato nella connessione tra celle. La figura 7 mostra un esempio.

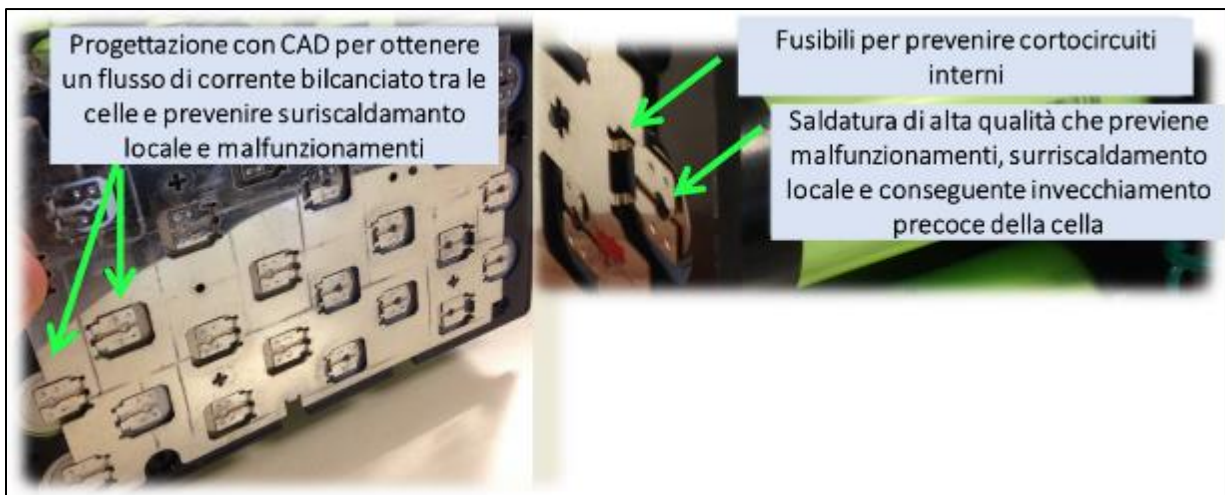


Figura 7 Sistemi di interconnessione delle celle di alta qualità

Resistenza meccanica

Il design del modulo batteria deve essere concepito per proteggere l'integrità meccanica delle celle, del cablaggio e degli altri componenti all'interno del pacco batteria. La figura 8 mostra una struttura interna (nera) utilizzata per tenere le celle al loro posto ed eliminare sollecitazioni meccaniche tra le celle e la parte metallica saldata. Ulteriore sforzo nella progettazione è stato volto all'uso di componenti per fissare l'insieme delle celle agli altri elementi e allo chassis della batteria.

All'interno di una batteria sono presenti cablaggi utilizzati per connettere celle e sensori. Una progettazione di elevato standard qualitativo dovrebbe prevedere che la struttura meccanica interna sia fatta in modo da avere delle guide per fissare i cavi (rif. Figura 9) e impedire che vengano schiacciati o danneggiati durante l'utilizzo e il trasporto.

Tutti questi accorgimenti, limitando sollecitazioni meccaniche ed evitando rotture o guasti durante la fabbricazione e l'uso, consentono di ottenere un prodotto robusto e di superare le impegnative prove meccaniche richieste dalla UN 38.3.



Figura 8 Integrazione meccanica di alta qualità



Figura 9 Integrazione meccanica di alta qualità e fissaggio del cablaggio

Per ulteriori informazioni contattare:

Paola Artuso

Advanced Lithium-Ion Modules Sales Engineer in EMEA Region

NEC Energy Solutions

Via Di Grotta Perfetta, 643, Roma, 00142, IT

+39 06 87203 924

www.neces.com

IMPORTANT: For informational purposes only, NEC Energy Solutions assumes no responsibility or liability with regard to the information contained herein. © 2017 NEC Energy Solutions, Inc. All rights reserved.

NEC Energy Solutions, NEC and the NEC logo are trademarks or registered trademarks of NEC Corporation that are registered in Japan and other jurisdictions.