



Ricerca di Sistema elettrico

Progettazione di un contenitore per celle al litio destinate ad un utilizzo di second life

Stefano Constà, Francesco Vellucci, Manlio Pasquali

PROGETTAZIONE DI UN CONTENITORE PER CELLE AL LITIO DESTINATE AD UN UTILIZZO DI SECOND LIFE

Stefano Constà, Francesco Vellucci, Manlio Pasquali (ENEA)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

Area: Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica

Progetto: Sistemi di accumulo di energia per il sistema elettrico

Obiettivo: Studio dei fenomeni di invecchiamento, sicurezza e second life

Responsabile del Progetto: Pier Paolo Prosini, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
2.1 I CONTENITORI DELLE CELLE, REQUISITI GENERALI	6
2.2 ESEMPI DI CONTENITORI DI BATTERIE E LORO CARATTERISTICHE.....	7
2.2.1 <i>Contenitori commerciali</i>	7
2.2.2 <i>La gestione termica</i>	9
2.2.3 <i>Applicazioni stazionarie su grandi taglie</i>	12
2.2.4 <i>Problemi di sicurezza delle celle</i>	13
2.3 ATTIVITÀ ENEA NELLO SVILUPPO DI CONTENITORI DI BATTERIE	17
2.3.1 <i>Moduli equivalenti a batterie al piombo ed applicazioni di autotrazione</i>	17
2.3.2 <i>Applicazione stazionaria</i>	20
2.4 CONTENITORE PER TEST DI RICERCA SU CELLE IN SECOND LIFE.....	27
2.5 ALCUNE CONSIDERAZIONI SULLO SVILUPPO DI CONTENITORI PER APPLICAZIONI SECOND LIFE	31
2.5.1 <i>Caratteristiche dei contenitori in funzione del rate di scarica</i>	31
2.5.2 <i>Disposizione dei moduli e dei pacchi batterie</i>	33
3 CONCLUSIONI.....	36
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	37

Sommario

Il documento approfondisce il tema dello sviluppo e dell'assemblaggio di contenitori per i moduli ed i pacchi di batterie al litio, in particolare di quelli pensati per le esigenze della Second Life.

Viene fornita una panoramica delle soluzioni presenti sul mercato, si illustrano i principali requisiti ed esigenze che il contenitore deve soddisfare e le problematiche relative alla gestione termica ed alla sicurezza sia delle celle che dell'intero pacco batterie.

Vengono presentati i moduli realizzati da Enea nell'ambito delle attività di ricerca sull'accumulo e descritto in dettaglio quello realizzato per i primi test di celle in Second Life, vengono infine introdotte alcune linee guida per la realizzazione di moduli più complessi destinati sempre ad un utilizzo in Second Life, ma in applicazioni stazionarie che richiedano sistemi di accumulo di grandi dimensioni/capacità.

1 Introduzione

Gli studi sulle batterie di nuova generazione, come ad esempio quelle al Litio, in genere trattano delle caratteristiche delle singole celle elementari e ne descrivono le prestazioni oppure si occupano dei sistemi di gestione di interi moduli/pacchi quali il BMS (Battery Management System), più raramente affrontano il problema di definire le caratteristiche del contenitore delle batterie, il case, che è invece un elemento fondamentale del sistema di accumulo.

Il case è uno dei componenti che permettono la gestione in sicurezza delle batterie ed è parte integrante del 'sistema batterie': esso deve garantire la possibilità di una gestione termica delle singole celle che compongono il pacco, la sicurezza elettrica, limitare l'ingresso della polvere e di sostanze potenzialmente nocive per le celle, inoltre deve presentare delle caratteristiche geometriche ed essere costruito con materiali che permettano di contenere i danni in caso di incendio tanto di una singola cella quanto di un intero modulo.

L'Enea si è occupata dello sviluppo di contenitori di celle al Litio adatti alla trazione elettrica ed all'utilizzo stazionario [1-2], i contenitori sono stati pensati di volta in volta in funzione della tipologia di batterie che dovevano ospitare, della elettronica di gestione e controllo ad esse associata e delle applicazioni previste: si è anche pensato di sviluppare contenitori in grado di replicare le dimensioni standard di batterie al piombo da 12 V allo scopo di sostituirle con quelle al Litio.

L'attività di studio sulla Second Life condotta dall'Enea stessa nell'ambito della ricerca di sistema [3-4-5], è stata finora svolta ponendo l'attenzione sulla singola cella da testare: questo ha permesso di approfondire le tematiche riguardanti la fattibilità dell'idea, la sicurezza delle batterie, lo studio di parametri in grado di indicare lo stato di degrado delle prestazioni delle singole celle, quello di metodi adatti a segnalare la presenza di eventuali problemi che possono portare ad un pericolo, come ad es. un cortocircuito interno, ma non ha ancora permesso di approfondire i problemi connessi alla realizzazione di un modulo di batterie e alla loro gestione. La necessità di studiare il comportamento di moduli e pacchi batterie porta a quella di disporre di un contenitore adatto ad ospitare celle degradate e quindi a definirne le caratteristiche e realizzarlo.

Il presente lavoro si propone di fare una panoramica sulle soluzioni adottate in passato da Enea per la realizzazione dei contenitori, di presentarne uno studiato per condurre i primi test su un modulo di celle Second Life e di introdurre i concetti che si vogliono seguire per svilupparne nel prossimo triennio uno più evoluto.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 I contenitori delle celle, requisiti generali

I sistemi di accumulo elettrochimici sono costituiti da insiemi di singole celle che vengono raccolte in moduli, a loro volta collegati in modo da formare un pacco batterie.

Il contenitore che permette di raccogliere le celle in moduli deve permettere un numero minimo di operazioni su di esse.

- 1) Deve essere adatto al montaggio delle celle
- 2) Deve permettere di rendere accessibile ogni cella ad un sistema di misura della sua tensione e temperatura
- 3) Deve permettere l'eventuale passaggio dei collegamenti elettrici con i sensori se questi sono esterni al contenitore, in ogni caso deve essere compatibile con il sistema di gestione delle batterie
- 4) Deve permettere la gestione termica delle celle
- 5) Deve garantire la sicurezza elettrica del sistema
- 6) Deve essere trasportabile¹
- 7) Deve rispettare le normative di sicurezza vigenti

In aggiunta a queste caratteristiche esso dovrebbe presentarne altre

- 8) Poter contenere l'ingresso di sostanze che possono danneggiare le batterie
- 9) Poter garantire una sicurezza passiva in caso di venting, esplosione o incendio di una cella, ovvero permettere alle sostanze di fuoriuscire senza problemi in caso di venting e costituire una prima barriera di contenimento dell'esplosione o dell'incendio
- 10) L'insieme contenitore/elettronica di controllo e sistemi di gestione termica (esempio, ventole) dovrebbe essere ottimizzato in modo da facilitarne il montaggio e l'interfacciamento
- 11) La costruzione del pacco dovrebbe essere ottimizzata anche come assemblaggio dei singoli moduli
- 12) Si dovrebbe cercare una soluzione standardizzabile per la stessa geometria di cella, ma con caratteristiche dimensionali e chimiche diverse.

¹ Soprattutto in caso di contenitori per sistemi di accumulo stazionari

2.2 Esempi di contenitori di batterie e loro caratteristiche

2.2.1 Contenitori commerciali

La figura 1 mostra un pacco di batterie della Microvett, che è stato concepito per equipaggiare un veicolo elettrico: esso è formato da cinque moduli ognuno dei quali ospita 48 celle elementari, montate in parallelo due a due per poi essere messe in serie, per un totale di 24 gruppi posti in serie tra di loro, le celle sono delle EIG da 20 Ah, 3.6 V e la tensione totale risultante è di 86.4 V [2].

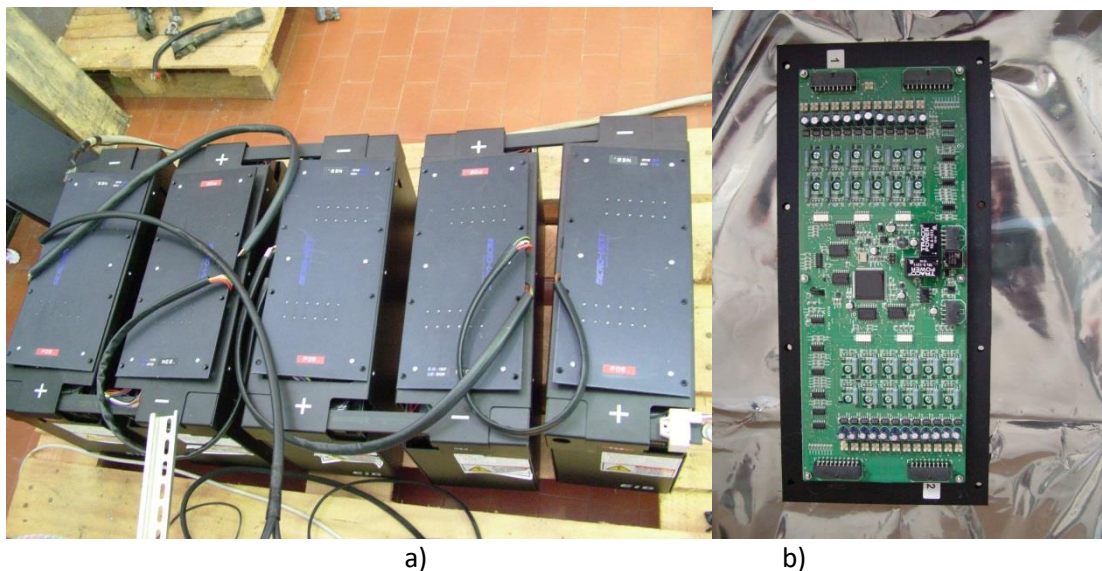


Figura 1. Moduli Microvett a) Vista di insieme b) Particolare del Mux di controllo

I contenitori sono chiusi ed ognuno di essi ospita un componente elettronico, denominato Mux, che esegue le misure di tensione e temperatura sulle singole celle, in questa soluzione si è adottata l'alternativa di misurare la temperatura su gruppi di celle rappresentativi anche delle altre presenti nel modulo. Lo scambio di informazioni tra i mux ed il BMS, ovvero l'unità centrale che esegue la gestione dell'intero gruppo di celle, avviene tramite una rete Can, in figura 1a) si vedono i conduttori di collegamento.

La figura 2 mostra le celle impilate all'interno del modulo.



Figura 2. Moduli Microvett a) Celle impilate nel modulo b) Terminale dei collegamenti elettrici

E' importante notare come la zona dei terminali sia protetta da intrusioni accidentali

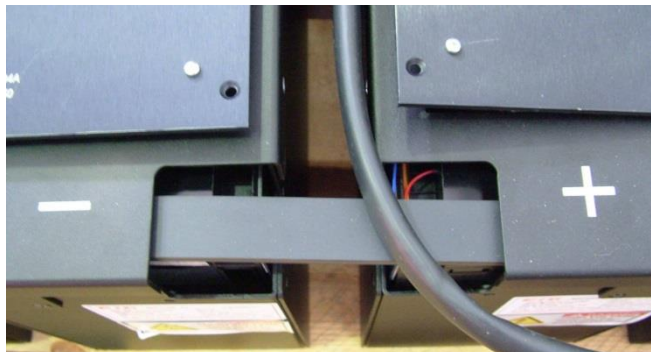


Figura 3. Collegamento dei terminali

Il sistema mostrato è stato pensato per essere assemblato, in modo modulare, su diversi veicoli elettrici, permette quindi di realizzare sistemi di accumulo di diversa capacità.

Per la costruzione del contenitore non basta considerare le applicazioni specifiche, ma occorre anche conoscere la tipologia di celle che esso deve ospitare e la loro geometria.

In figura 4 sono mostrate le tre principali geometrie delle celle al litio disponibili in commercio, da quelle prismatiche (parallelepipedo retto) alle cilindriche fino a giungere a quelle a bustina.

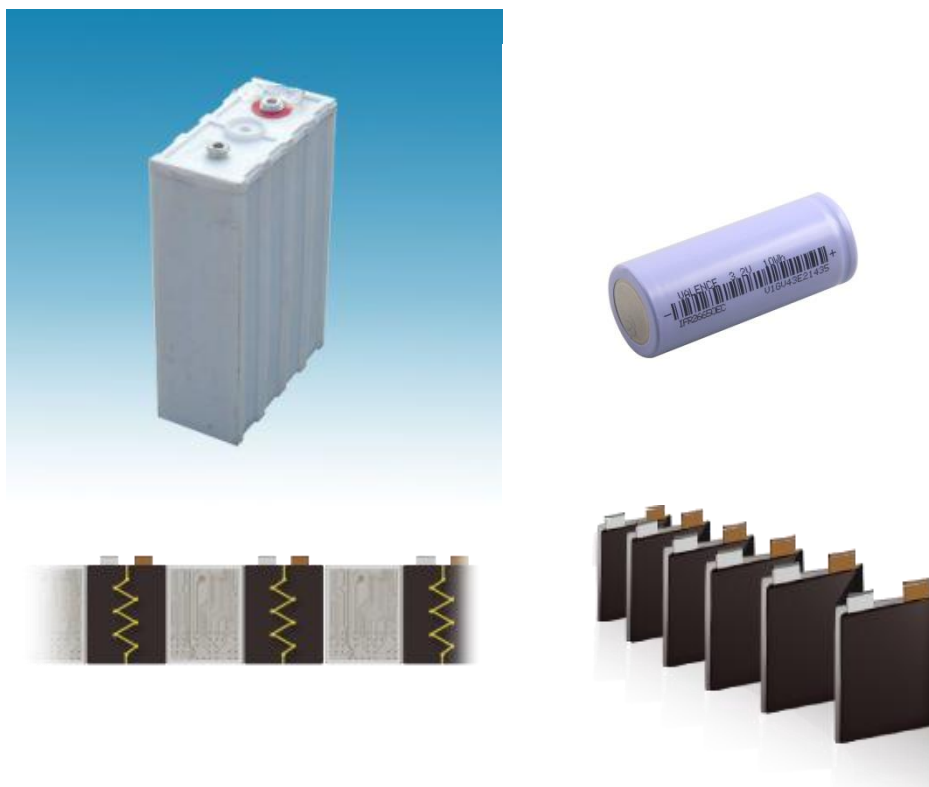


Figura 4. Tipologie di celle elementari

Come già detto le celle vengono assemblate in moduli, la Valence sta seguendo l'idea di proporre dei moduli standard compatibili con quelli delle batterie al Piombo, per poterle così sostituire nelle applicazioni in cui sono utilizzate (anche Enea ha approfondito questo tema[1]). La figura 5 mostra un esempio di modulo Valence (dal sito Internet della società).



Figura 5. Assemblaggio in moduli della Valence

2.2.2 La gestione termica

Le batterie al Litio possono essere destinate ad applicazioni veicolari o stazionarie ed essere dimensionate sia per lavorare in 'potenza' che in 'energia', le diverse esigenze implicano una diversa possibile impostazione della gestione termica dei contenitori.

Per esempio, se si pone l'attenzione sul caso di un veicolo elettrico, esso normalmente sarà equipaggiato con un pacco batterie che presenterà una capacità di accumulo energetico in grado di assicurargli una autonomia di centinaia di chilometri, di conseguenza, stante il rapporto potenza/energia delle celle al Litio, la potenza nominale e di picco erogabile dal pacco sarà in genere molto superiore a quella richiesta dal sistema di propulsione del veicolo, ne consegue che le correnti massima e continuativa richieste da questa applicazione, espresse in funzione del rate di capacità delle celle, saranno molto basse.

Nel caso della Nissan Leaf essa è venduta con diverse soluzioni per la capacità del sistema di accumulo, che variano in funzione dell'autonomia desiderata e del costo del veicolo: quella più utilizzata è costituita da un accumulo al Litio da 40 kWh di storage che lavora alla tensione nominale di 400 V, per una capacità di 100 Ah circa. Nella Leaf il motore di trazione assorbe una potenza massima di 80 kW, che a tensione nominale corrisponde per le batterie a 200 A di corrente erogata, ovvero un rate di corrente 2C mentre a velocità costante la macchina assorbirà con continuità una potenza compresa tra i 5 ed 15 kW: alla potenza di 15 kW corrispondono 37 A erogati dalle batterie per un rate di scarica inferiore a C/2, si deduce che in queste condizioni la generazione di calore all'interno del pacco è molto limitata.

In una auto elettrica è importante limitare il volume occupato dal pacco batterie e di conseguenza le celle ed i moduli che lo compongono vengono generalmente assemblate in modo molto compatto, un esempio è il pacco della MicroVett mostrato nelle figure 1 e 2, la figura seguente mostra lo stesso pacco visto da due angolazioni diverse.



Figura 6. Pacco batterie MicroVett

Tutto l'insieme risulta essere molto compatto (vedi anche figura 2a)), non sono presenti fessure o altri sistemi per favorire il passaggio di aria per lo scambio termico: come nel caso della Leaf il dimensionamento del veicolo è stato fatto in modo che le correnti che circolano nel pacco siano molto basse se paragonate alla sua capacità nominale e di conseguenza non vi sia necessità di disperdere calore.

Quello mostrato è un caso particolare, l'estremo opposto è quello di voler mantenere una occupazione di volume limitata ma dover erogare una grande potenza (sempre relativamente alle caratteristiche delle batterie) ed avere quindi la necessità di scambiare calore con l'esterno, ad esempio utilizzando un liquido di raffreddamento.

Un esempio di applicazione che utilizza un liquido di raffreddamento è quello di celle al litio destinate ad un veicolo ibrido, nel quale a differenza di quello elettrico, il dimensionamento richieda alle batterie di lavorare con alte correnti specifiche e nel contempo di non occupare troppo volume, la figura seguente mostra una soluzione Kokam (dal sito Internet della società)

Liquid Cooled MODULE

- The Every Module is cooled with a water-glycol fluid mix. The production of modules with integrated liquid cooling was previously considered to be very complex.
- Kokam Module is one of the world's most powerful battery solutions for vehicles with hybrid or electric drives.
- Application: Defense, Electric Vehicle, Aviation, Marine



Figura 7. Gestione termica del pacco Kokam

La figura è molto interessante anche da un punto di vista didattico, perché mostra la struttura completa del pacco batterie e nel contempo la procedura per la sua costruzione: si parte dalla singola cella (1) per raccogliere i moduli (2) che vengono assemblati in stringhe (3), viene poi collegato il sistema di condizionamento termico che prevede la circolazione del liquido di raffreddamento (4-5-6), nella immagine si evidenziano poi le connessioni del circuito elettrico (7-8-9) e quelle del BMS e dell'elettronica di controllo (10-11).

Se l'applicazione è stazionaria i problemi relativi al peso ed al volume del pacco sono meno sentiti, ed è spesso possibile raffreddare le celle utilizzando la circolazione di aria, naturale o forzata, con vantaggi anche da un punto di vista economico.

In figura 8 è possibile vedere una soluzione sviluppata da Enea per produrre moduli di celle che siano compatibili con le caratteristiche delle batterie al piombo e possano quindi sostituirle nelle applicazioni in cui sono utilizzate [1].



Figura 8. Moduli di celle prodotti da Enea a) vista d'insieme b) Spazi interni e connessioni di potenza

Le celle elementari utilizzate per costruire i moduli sono di tipo prismatico, il singolo modulo ne ospita 4 ed al suo interno è ospitata anche l'elettronica di gestione e controllo, il raffreddamento avviene tramite lo scambio di aria naturale con l'ambiente esterno e, in caso di bisogno, con delle ventole di circolazione.

In figura 8 b) si vede come le celle siano distanziate tra di loro, anche la scheda elettronica di controllo non è in contatto con le celle.

In generale nella realizzazione di un contenitore per batterie deve essere considerato il problema dello smaltimento del calore, in casi particolari si tende ad accumularlo in quanto l'ambiente esterno è caratterizzato dalla presenza di bassa temperatura, in altri ci si limita a mettere in contatto le celle con un contenitore costituito da materiali a bassa capacità termica e a volte provvisti di alette o altri sistemi di dissipazione, fino a giungere alle soluzioni più sofisticate come il raffreddamento che utilizza un liquido di scambio con l'esterno.

2.2.3 Applicazioni stazionarie su grandi taglie

Le applicazioni stazionarie permettono, rispetto a quelle veicolari, di avere un numero inferiore di vincoli sul peso ed il volume del pacco batterie, per contro possono richiedere anche accumuli da MWh di energia, di conseguenza diviene importante poter assicurare in caso di guasto la continuità del servizio e la semplicità della manutenzione del sistema.

Una possibile soluzione al problema è di realizzare il sistema di accumulo con più sezioni messe in parallelo tra di loro e di montare i contenitori delle celle all'interno di appositi armadi: in caso di guasto di una cella sarà possibile escludere la sezione, cambiare il contenitore con uno diverso e successivamente riavviare tutto.

Nella figura 9 è mostrata la soluzione prodotta dalla Cobra (dal sito Internet della società)



Figura 9. Sistema di accumulo modulare Cobra

In questo caso il problema della gestione termica va visto anche in funzione dell'ambiente esterno agli armadi, che potrebbe per esempio essere un container oppure una sala climatizzata.

La figura 10 presenta la disposizione degli armadi di un sistema di Storage ad alta energia prodotto dalla SES Battery (dal sito Internet della società).



Figura 10. Sistema di storage SES Battery (sito SES)

2.2.4 Problemi di sicurezza delle celle

Come detto precedentemente il contenitore deve poter minimizzare l'effetto di eventuali problemi alle celle che costituiscono il modulo batterie [6-7]: da una parte il BMS e lo stesso contenitore con i suoi accessori (ventole ed interruttori per es.) devono poter anticipare i problemi ed evitare ad esempio il surriscaldamento della cella o il cortocircuito esterno, dall'altra, nel momento in cui ci siano dei fenomeni irreversibili in atto essi devono cercare di contenerli. In generale non è detto che le celle siano la causa prima del problema, per esempio ci potrebbe essere un incendio nella zona dove è posto il modulo e quindi non esiste la possibilità di prevenirlo tramite il BMS e le protezioni del dispositivo.

Il surriscaldamento delle celle o la loro usura può portare a fenomeni quali la deformazione geometrica, il venting o l'incendio, in particolare pensando ad un utilizzo in second life la probabilità di innesco di fenomeni irreversibili o generalmente di malfunzionamento del sistema è più elevata che nel caso di celle vergini.

Nella figura seguente è riportato un esempio di deformazione di una cella prismatica, sottoposta volutamente a cicli di lavoro che hanno portato ad una considerevole riduzione della capacità effettiva [3-4]



Figura 11. Deformazione di una cella prismatica a) Comparata con una di riferimento b) Evidenziata con riferimenti geometrici

La cella si è gonfiata, e questo è un sintomo di danneggiamento e potenziale pericolo, la figura seguente mostra il fenomeno analogo per una cella in bustina.

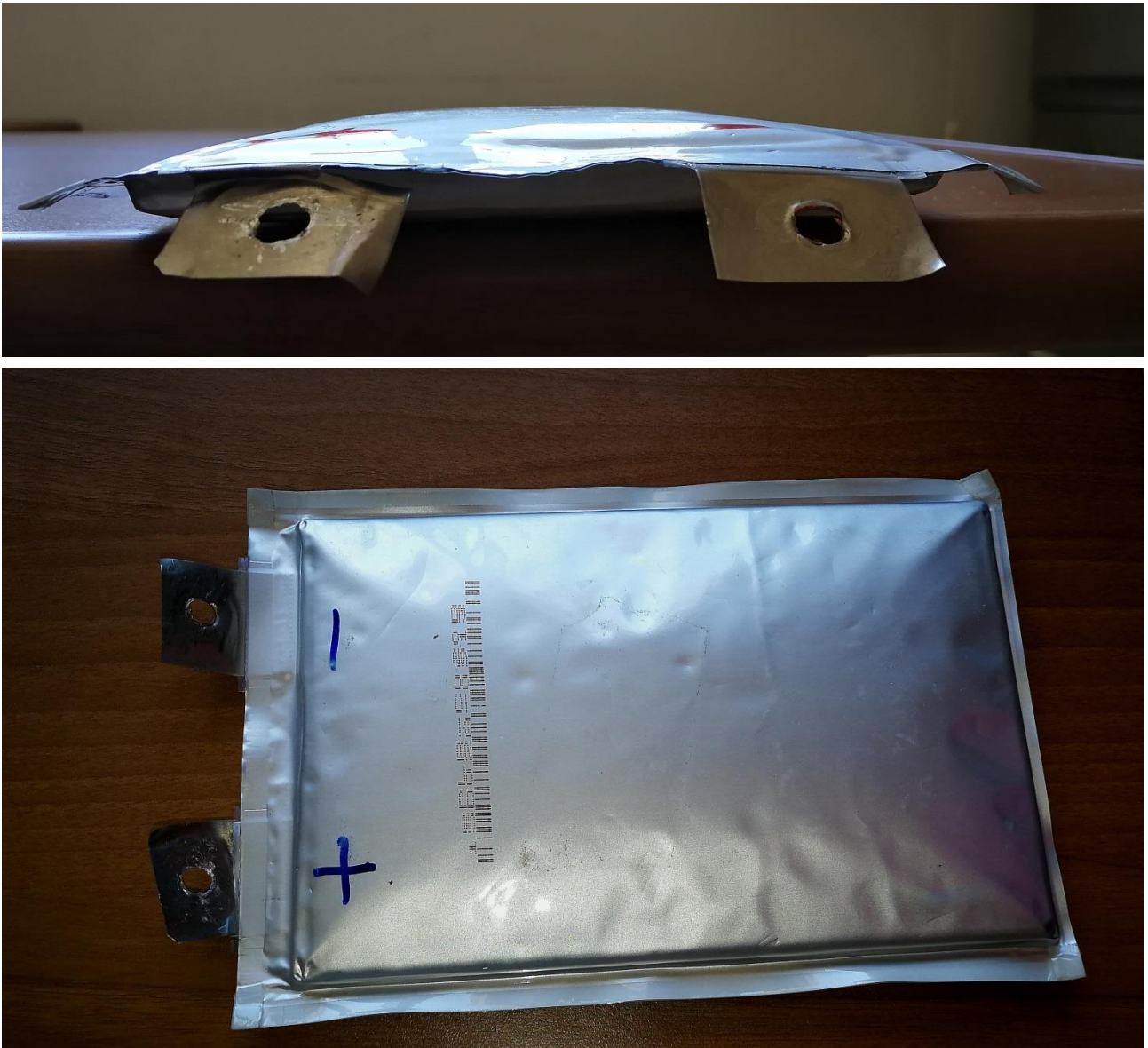


Figura 12. Deformazione di una cella in bustina

Il proseguimento del processo avrebbe potuto portare alla liberazione, per alta pressione, dei gas che si formano all'interno, o peggio ancora ad una esplosione della cella: per questo motivo molte celle sono dotate di una valvola di sfogo, in questo caso si potrebbe avere un fenomeno di 'venting', come quello mostrato in figura 13 [6-7].



Figura 13. Venting di una cella

Con il Venting si potrebbe interrompere il processo di distruzione della cella, in altri casi l'evento finale potrebbe essere l'incendio della cella, che all'interno di un modulo batterie avrà una alta probabilità di propagarsi a quelle limitrofe [6-7-8].



Figura 14. Incendio di un modulo

Da quanto visto si evince che nella costruzione di un modulo di celle occorre avere ben presente i problemi di gestione in sicurezza del sistema, e questo è ancor più vero per la Second Life.

2.3 Attività Enea nello sviluppo di contenitori di batterie

L'Enea si è occupata della costruzione di contenitori per la realizzazione di moduli ed anche pacchi batterie da destinarsi a diverse applicazioni, tra cui l'autotrazione e la ricarica veloce.

Di seguito si vogliono brevemente illustrare le soluzioni adottate, per l'approfondimento si rimanda alla bibliografia [1-2].

2.3.1 Moduli equivalenti a batterie al piombo ed applicazioni di autotrazione

Per quanto concerne l'autotrazione e la costruzione di batterie equivalenti a quelle al piombo sono state utilizzate le celle prismatiche mostrate in figura 4 e realizzati i moduli mostrati in figura 8, utilizzando diverse taglie per le celle e diverse configurazioni di alloggiamento dell'elettronica.

In figura 15 è rappresentato uno spaccato di un modulo da 60 Ah e 12.8 V con tutti i suoi componenti

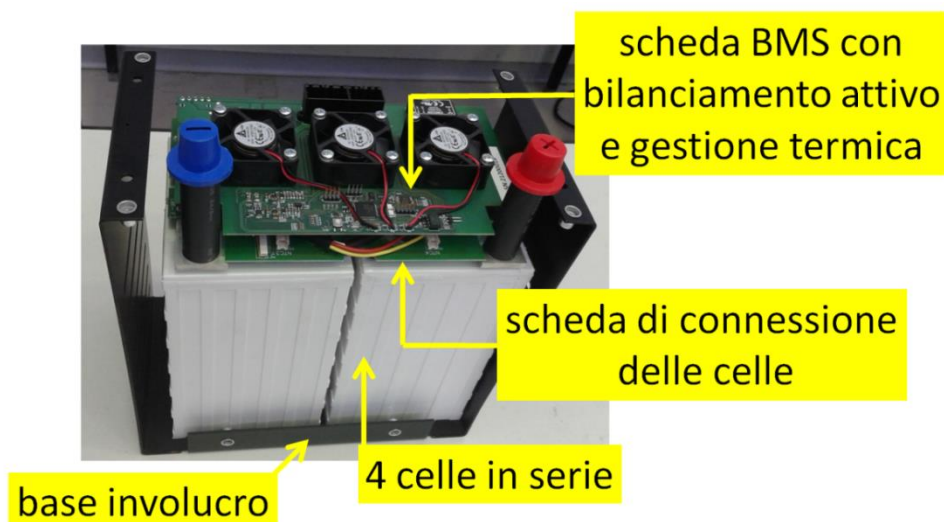


Figura 15. Modulo batterie litio-ioni LFP 12.8 V – 60 Ah

Le ventole vengono attivate su richiesta del BMS, tra le celle sono previsti spazi per il passaggio dell'aria, la geometria per il raffreddamento è stata studiata in base a test sperimentali e modelli termici.

La scheda elettronica che si vede nella foto può operare come BMS per la gestione del modulo oppure asservirsi ad un BMS esterno a cui invia i dati di funzionamento che misura.

In figura 8 sono visibili le feritoie per il passaggio dell'aria di raffreddamento e le maniglie per il trasporto.

In figura 16 è riportato il disegno dettagliato del modulo da 100 Ah.

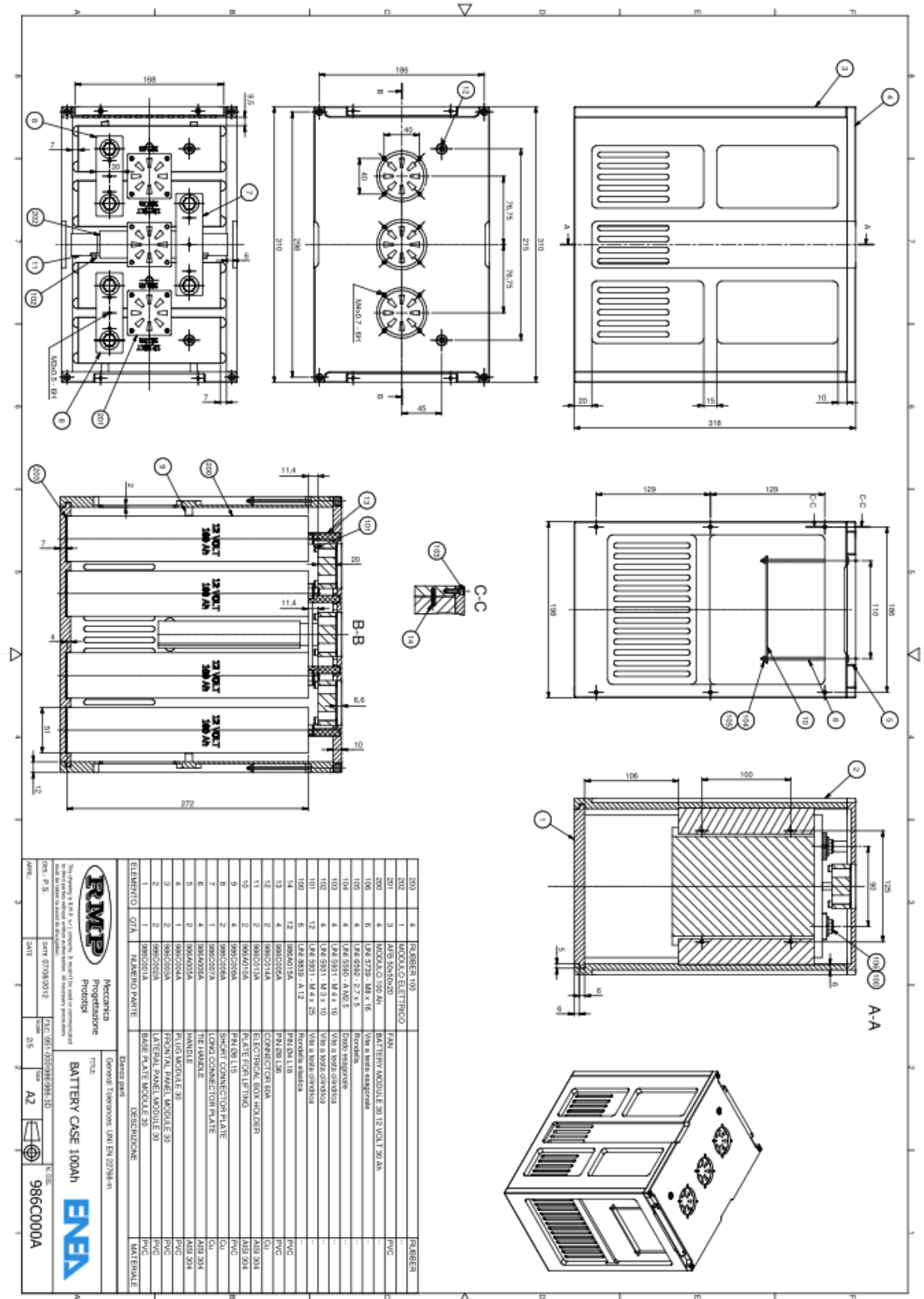


Figura 16. Modulo Enea per batterie litio-ioni LFP 12.8 V – 100 Ah

Per realizzare il pacco batterie finale i moduli sono stati assemblati in due vani che sono stati montati a loro volta in un bus elettrico, la figura 17 ne mostra uno.



Figura 17. Vano porta batteria completo di moduli

Il vano è costruito in modo di favorire il passaggio di aria e di essere trasportabile.

2.3.2 Applicazione stazionaria

Il contenitore che si vuole sviluppare in questo studio dovrà ospitare le celle EIG da 20 Ah testate da Enea per delle prove vita [9], le caratteristiche delle celle sono le seguenti:



ePLB C High Energy Product



Technology
 Lithium Ion Polymer Battery
 Li(NiCoMn)O₂-based Cathode
 Graphite-based Anode
 High Energy Density
 Optimized for PHEV, EV

Product General Specification

Mechanical Characteristics

Model	CC20
Length	217.0 ± 1 mm (excluding terminal)
Width	129.0 ± 1 mm
Thickness	7.2 ± 0.2 mm
Weight	approx. 428g

Electrical Characteristics

Nominal Voltage	3.66 V
Nominal Capacity	20 Ah
AC Impedance (1 kHz)	< 3 mΩ
Specific Energy	174 Wh/Kg
Energy Density	370 Wh/L
Specific Power(DOD50%, 10sec)	2300 W/Kg
Power Density(DOD50%, 10sec)	4600 W/L

Operating Conditions

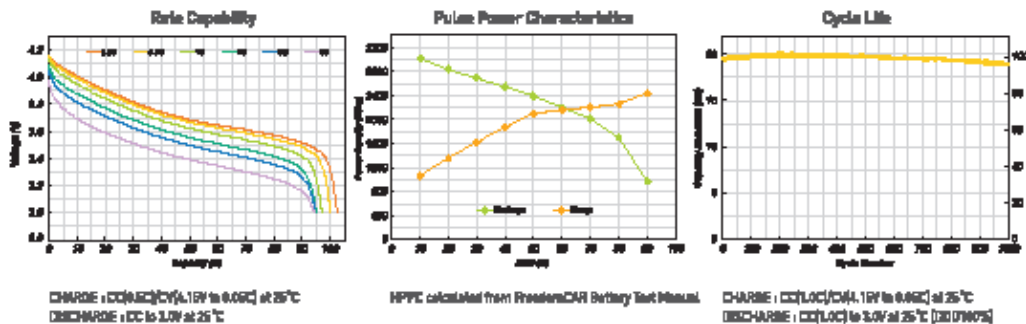
Charge Conditions :	
Recommended Charge Method	CC/CV
Maximum Charge Voltage	4.15V
Recommended Charge Current	0.5 C Current

Discharge Conditions :	
Recommended Voltage Limit for Discharge	3.0V
Lower Voltage Limit for Discharge	2.5V
Maximum Discharge Current (Continuous)	up to 1i C Current
Maximum Discharge Current (Peak < 10 sec)	10 C Current

Operating Temperature :	-30°C / + 55°C
Recommended Charge Temperature	0°C / + 40°C
Storage Temperature	-30°C / + 55°C

Cycle Life at 25°C : (1 C Charge / 1 C Discharge, DOD100%)	1000 Cycles to 80% Nominal Capacity
--	-------------------------------------

ePLB C020 Performance



All specifications are subject to change without notice. For your system requirements, please contact info@eigbattery.com

Figura 18. Caratteristiche delle celle EIG 20 Ah

le stesse celle sono state utilizzate per realizzare un pacco batterie per la funicolare di Bergamo [2], si tratta di un utilizzo stazionario dove le batterie potevano sia operare integrando la rete elettrica e compensando la variazione di potenza richiesta/fornita dalla funicolare (profilo gestionale) che sostituirla completamente, in caso di mancanza di corrente.

I moduli realizzati per Bergamo, integrati con le soluzioni sviluppate successivamente per il caso dell'automotive, costituiscono la base di lavoro per lo studio di realizzazione del nuovo contenitore.

Per descrivere i moduli vengono di seguito presentati i disegni per l'assemblaggio.

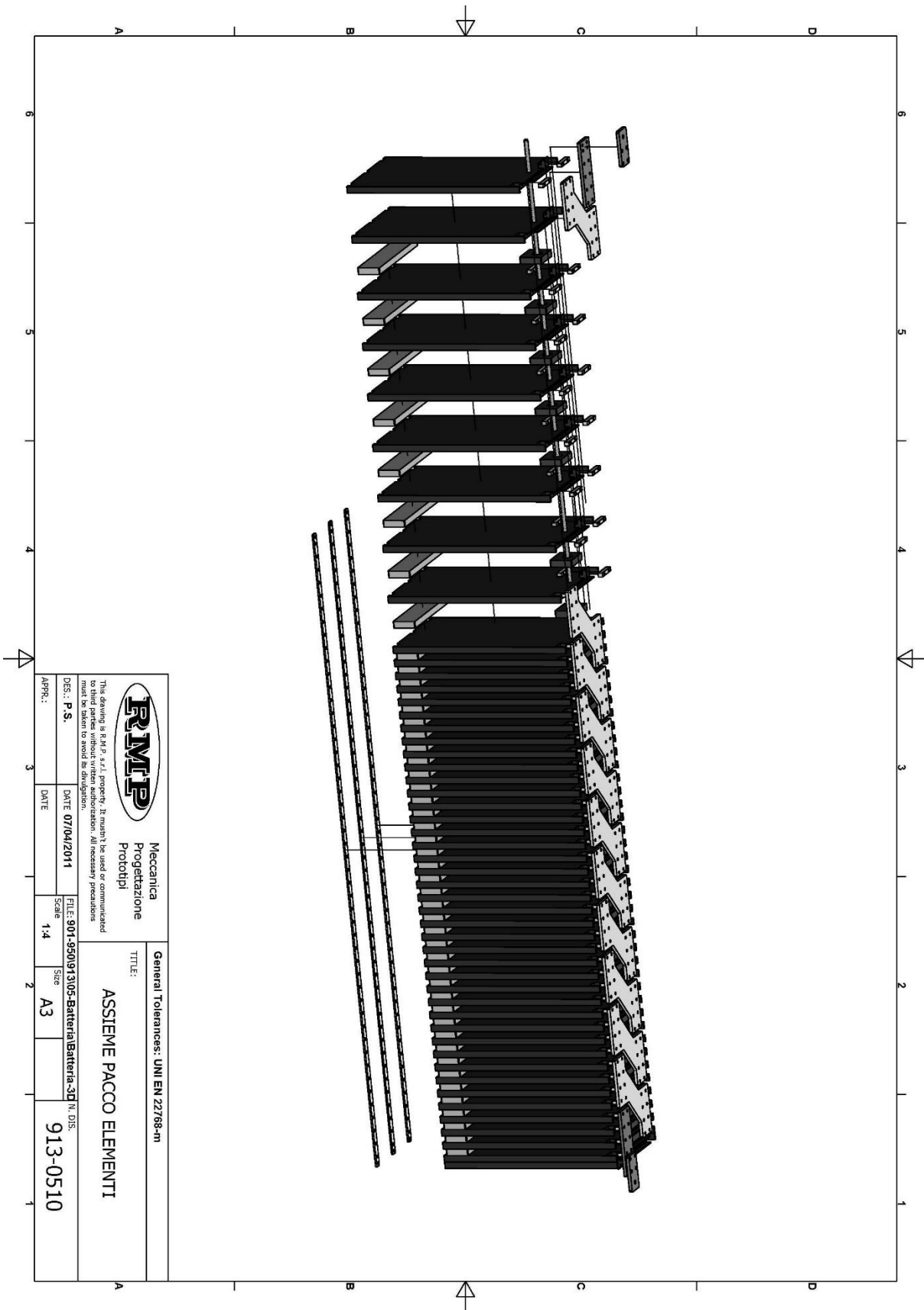


Figura 19. Disegni di assemblaggio del modulo di Bergamo – parte interna

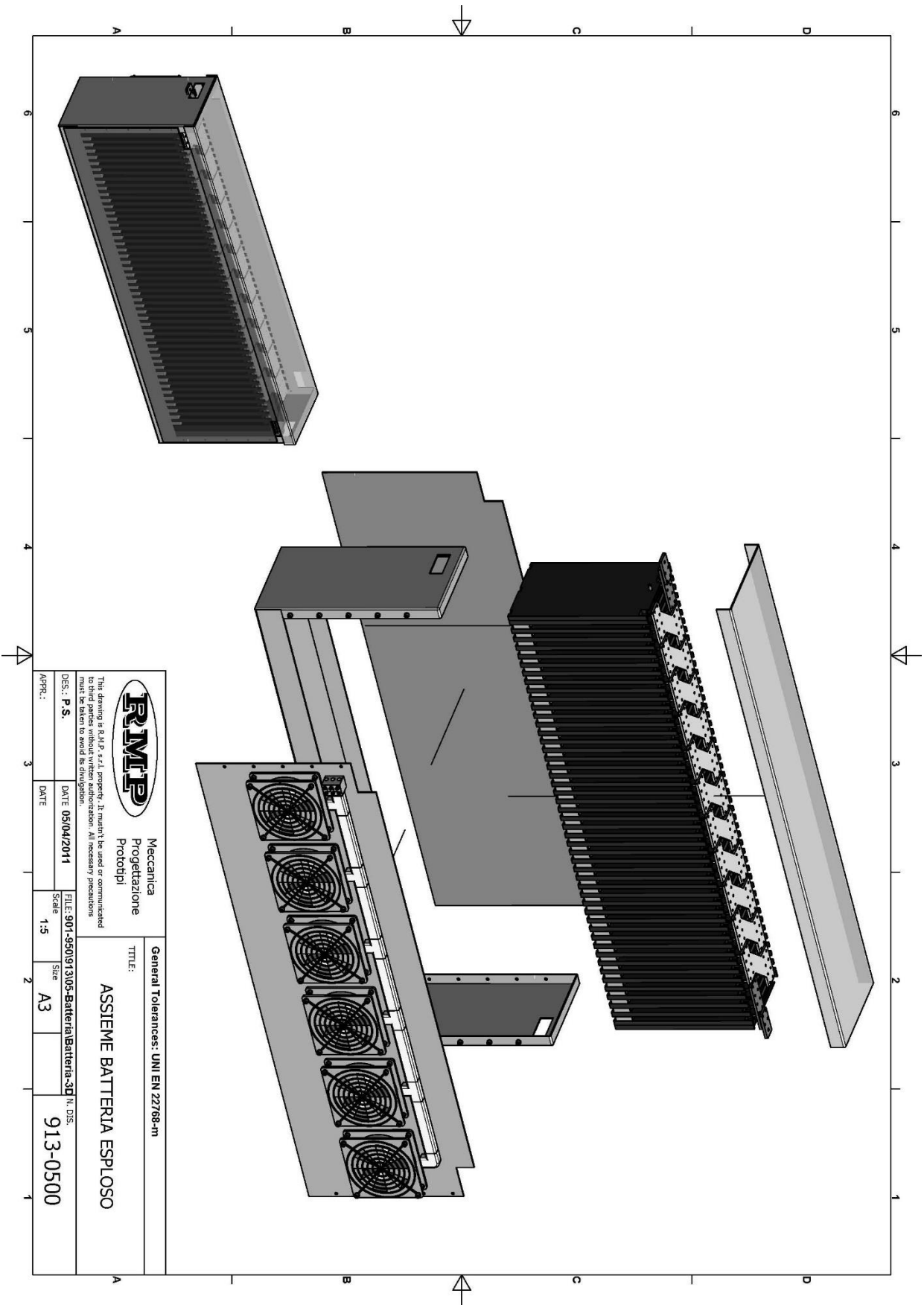


Figura 20. Disegni di assemblaggio del modulo di Bergamo – parte esterna

La prima particolarità da segnalare è lo spazio lasciato tra le celle per permettere il passaggio dell'aria.



Figura 21. Spazio tra le celle

Nel caso di Bergamo lo scopo primario dello spazio inserito tra le celle era quello di permettere il passaggio di aria per la refrigerazione naturale, esso però permetteva alle celle anche di deformarsi/gonfiarsi minimizzando le conseguenze verso quelle limitrofe: per una applicazione Second Life questa seconda motivazione assume una importanza ancora più rilevante che nel caso di celle alla prima applicazione, laddove si rilevi un rigonfiamento di una cella questa dovrà essere sostituita in ogni caso, perché è in una condizione di pericolo.

Per evitare contatti con il terreno era previsto un sistema di sospensione di tutto l'insieme, tra le celle ed il fondo del pacco era poi prevista la presenza di materiale morbido ed elettricamente isolante, inoltre per garantire la sicurezza elettrica ogni componente conduttiva del contenitore era messa a terra.



Figura 22. a) Sospensione dal terreno b) Isolamento elettrico e messa a terra

La figura 23 a) mostra le piastre di collegamento che realizzano il parallelo di quattro celle, la 23 b) le connessioni di potenza con l'esterno (che a contenitore finito sono protette da contatti accidentali all'interno della scatola stessa), la figura 23 c) mostra invece le connessioni elettriche di segnale che andranno ai sistemi di controllo.



Figura 23. a) Piastre per la messa in parallelo b) Connessioni di potenza c) veduta dall'alto delle connessioni di potenza e dei conduttori di segnale

Una delle superfici laterali del case ospita i ventilatori mentre l'altra e la copertura sono state completamente forate per favorire la circolazione dell'aria, inoltre la forma del coperchio permette di limitare l'ingresso di polvere esterna.

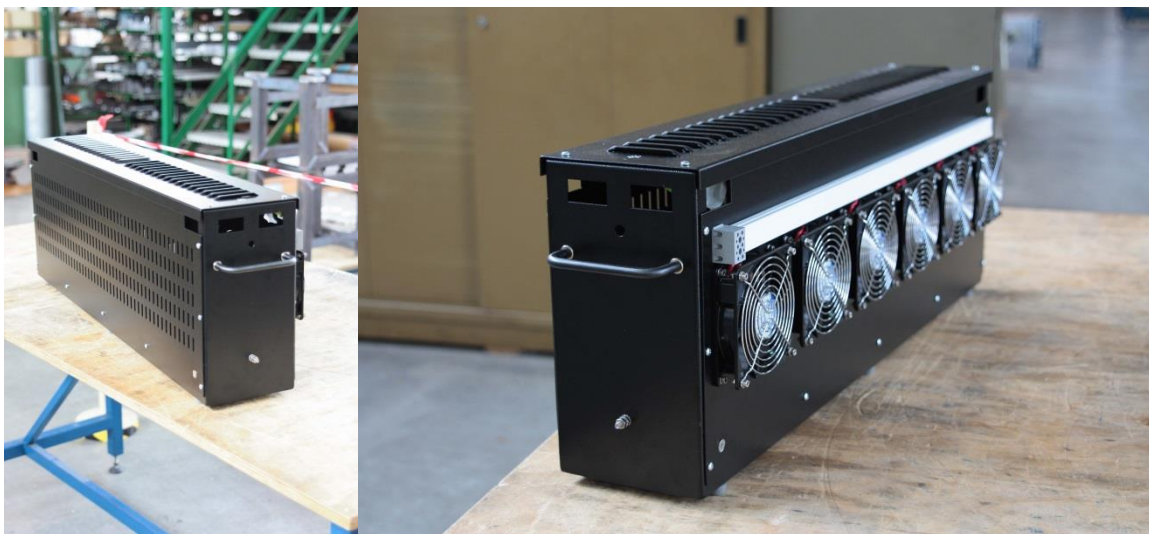


Figura 24. Vista di insieme del case a) lato forato b) lato con i ventilatori

Nella figura 24 si vedono anche le maniglie per il trasporto e i passaggi per le connessioni interne di potenza.

Il sistema completo assemblato e montato nella stazione della funicolare è mostrato in figura 25.



Figura 25. a) Assemblaggio batterie nel locale di Bergamo b) Disposizione finale

2.4 *Contenitore per test di ricerca su celle in Second Life*

L'idea che si vuole seguire nello studio è quella di realizzare un contenitore che permetta di effettuare i primi test sperimentali su un modulo di celle Second Life e nel contempo sviluppare nel successivo triennio di lavoro una versione più evoluta del case per testare un pacco batterie su applicazioni stazionarie di energia, ovvero a bassa corrente relativa rispetto alla capacità effettiva delle celle.

Il primo contenitore non va inteso solo come oggetto 'di passaggio' necessario esclusivamente per effettuare l'attività sperimentale preliminare richiesta dal lavoro ma anche come base di partenza per evolvere a quello successivo.

L'idea che si vuole seguire nella costruzione del contenitore è quella di mettere insieme le soluzioni trovate nelle attività precedenti con le esigenze della applicazione attuale.

Essendo una applicazione in Second Life come prima cosa si vuole limitare il numero di gruppi di celle in parallelo, questo perché in un gruppo di celle in parallelo, a meno di soluzioni molto particolari, si perde l'informazione del valore di corrente che scorre nella singola cella e quindi quella di eventuali squilibri interni tra di esse con un conseguente pericolo potenziale: si pensi per esempio al caso estremo in cui una cella si apre e l'altra fa il doppio del lavoro previsto. Nel case di Bergamo le celle in parallelo erano quattro, nella situazione attuale si decide in via precauzionale di non introdurle affatto: il modulo quindi sarà formato da sole quattro celle EIG poste in serie tra di loro, per un totale di 14.4 V nominali, Nel caso in cui una applicazione richieda un eventuale raddoppio della capacità del pacco batterie questa sarà ottenuta mettendo in parallelo i moduli e non le celle, al limite frazionando una elettronica tra di essi se questo si dovesse rendere necessario per compensare eventuali squilibri di funzionamento.

Le celle verranno montate ad una distanza di 2 cm l'una dall'altra, utilizzando il sistema di maschere e tiranti fornito dalla stessa EIG ed i separatori sviluppati per l'applicazione di Bergamo, mentre per i collegamenti elettrici si utilizzerà una soluzione semplice che prevede l'utilizzo di piastre di rame.

Come detto, nel caso della Second Life la distanza inserita tra le celle non risponde solo all'esigenza di permettere il raffreddamento delle stesse con una convezione naturale ma anche a quella di accettare delle deformazioni/rigonfiamenti di una senza che si riportino sulle altre e di contenere ed 'indirizzare' una eventuale fiamma in verticale verso l'alto: rimane stabilito che una cella deformata, anche se ancora performante, dovrà comunque essere sostituita per motivi di sicurezza.

Delle feritoie orizzontali alle pareti garantiranno il ricambio di aria mentre il coperchio sarà forato e potrà ospitare una eventuale ventola (da montarsi solo se le prove sperimentali ne evidenzieranno la necessità), il modulo sarà sollevato ed isolato dal terreno e l'elettronica sarà completamente esterna ad esso salvo il passaggio dei collegamenti di segnale.

In figura 26 è rappresentato il disegno costruttivo del contenitore.

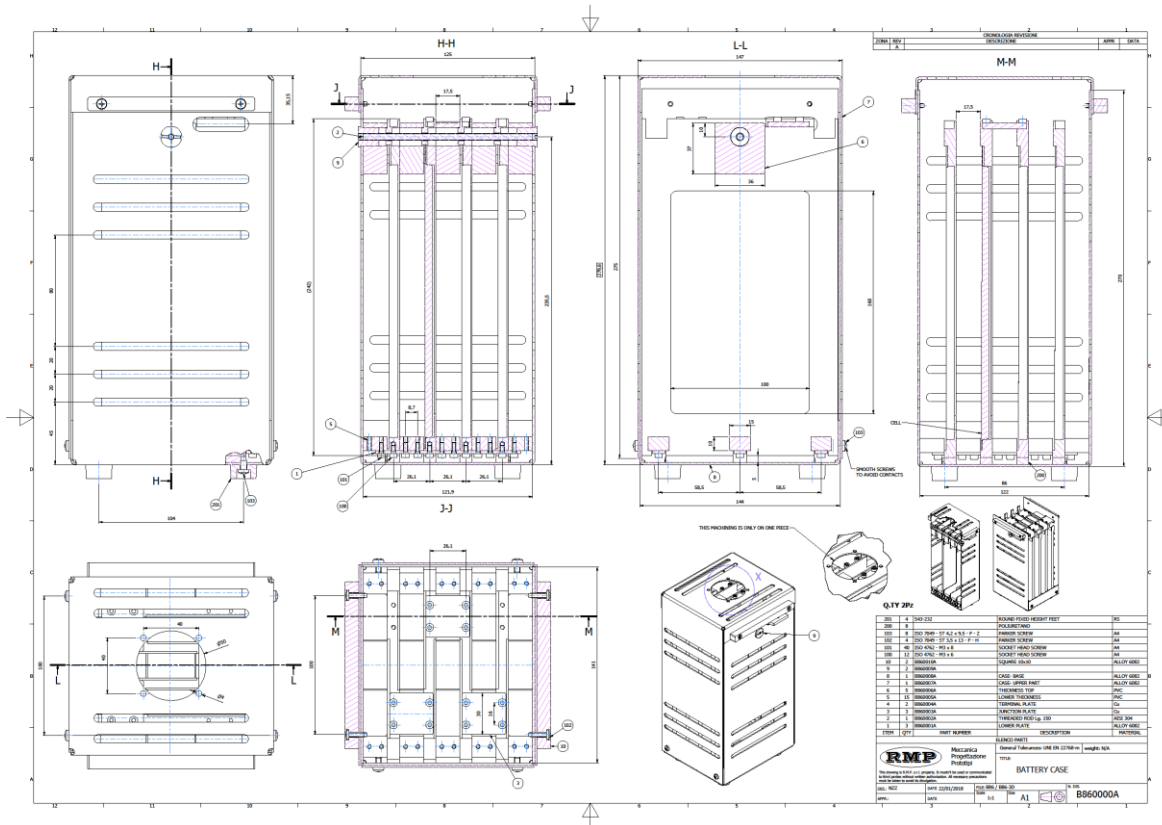


Figura 26. Disegno costruttivo del modulo

In figura 27 viene mostrata una parte dei componenti utilizzati per l'assemblaggio

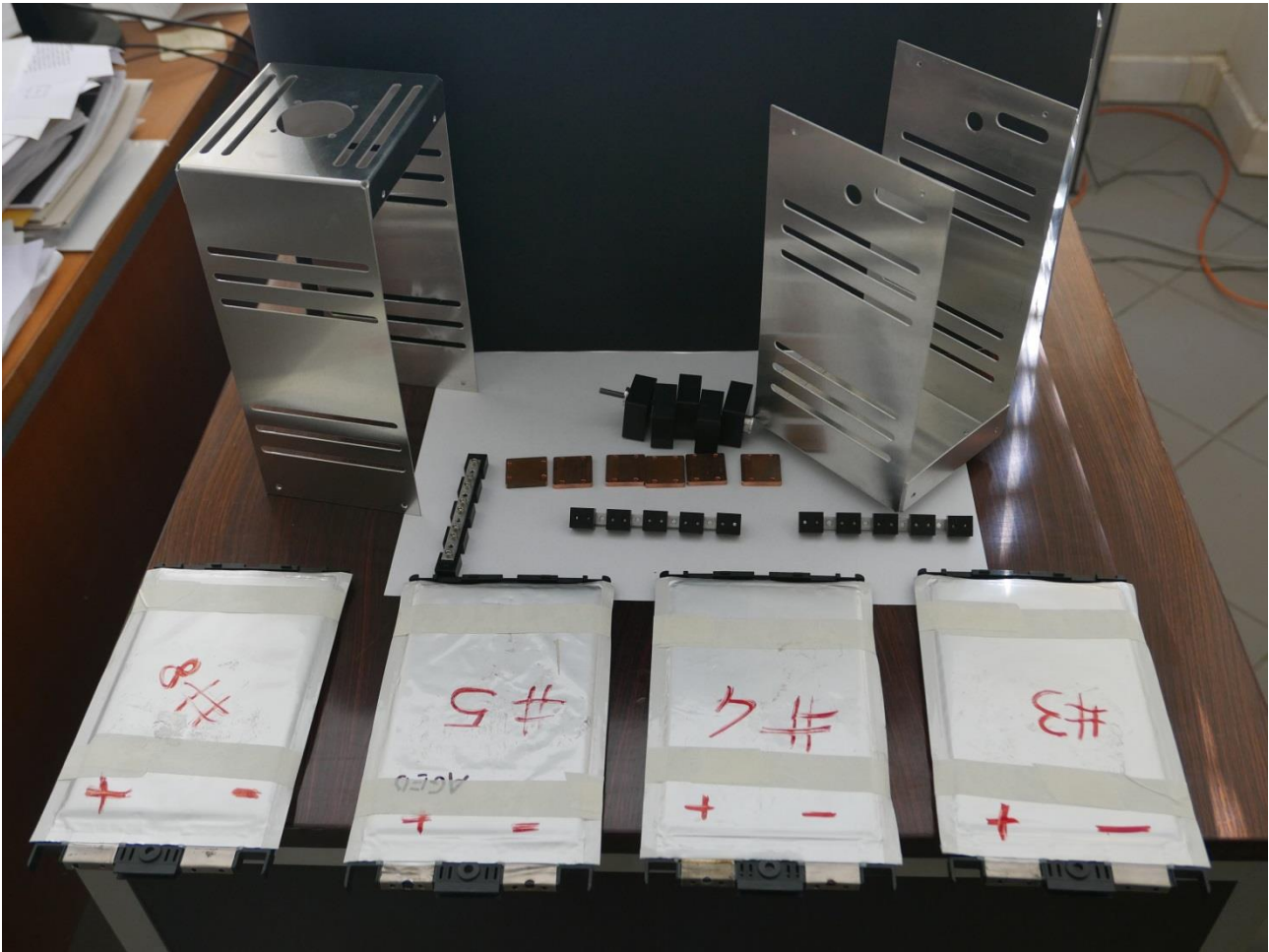


Figura 27. Componenti per l'assemblaggio del contenitore

Il sistema di supporto e fissaggio per il montaggio delle celle è lo stesso utilizzato nel caso del contenitore di Bergamo e si basa su una mascherina in plastica fornita dalla EIG visibile in figura 23 a) e b): in figura 19 è descritto il modo di impilare le celle utilizzato sia per Bergamo che per questo caso, la distanza tra le celle è di 2 cm. Il risultato di questo assemblaggio è un insieme compatto ma elastico, come esempio della capacità di assorbimento di urti esterni si consideri che nel caso di Bergamo uno dei moduli ha protetto le 48 celle che ospitava da una caduta accidentale da una altezza di circa 40 centimetri.

In figura 28 viene mostrato il montaggio effettuato tramite il supporto EIG ed un sistema di distanziali realizzato per questa attività ed i collegamenti elettrici che mettono in serie le quattro batterie, inoltre vengono mostrati anche i piedini che isolano il contenitore dal terreno.

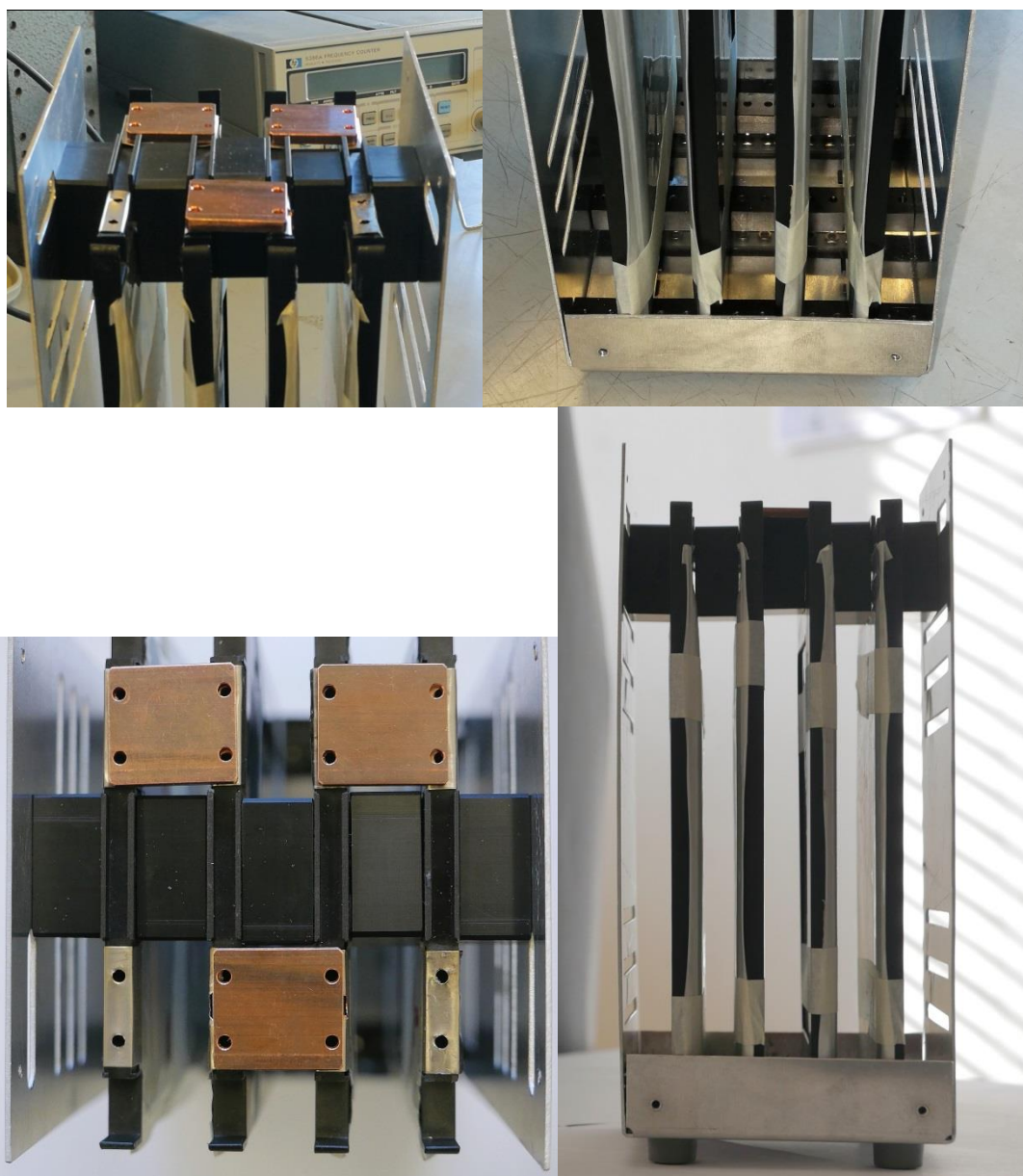


Figura 28. Montaggio meccanico ed elettrico delle celle elementari

Una volta chiuso tutto l'insieme il contenitore si presenta come in figura 29.



Figura 29. Contenitore assemblato

2.5 Alcune considerazioni sullo sviluppo di contenitori per applicazioni Second Life

2.5.1 Caratteristiche dei contenitori in funzione del rate di scarica

Il contenitore presentato nel lavoro sarà utilizzato per i test di ricerca sulla Second Life ma non è adatto ad una applicazione commerciale: come conclusione del lavoro si vogliono fare alcune considerazioni riguardo lo sviluppo di contenitori per applicazioni in Second Life commerciali.

L'idea della Second Life nasce da quella del risparmio: si accetta di utilizzare batterie non più adeguate al loro scopo iniziale per evitare di comprarne di nuove, questo però implica anche di accettare limitazioni nell'uso di queste batterie imposte da motivazioni legate alla sicurezza e al contenimento della velocità di invecchiamento. Le limitazioni economiche impongono anche che se si vuole che una applicazione in Second Life sia fattibile occorre che il processo che porta le celle che compongono le batterie dalla vecchia alla nuova applicazione non sia troppo oneroso nei costi e nei tempi di realizzazione.

Le due possibilità estreme nella realizzazione di una applicazione Second Life sono lo smontaggio di un pacco batterie dall'automobile ed il suo utilizzo tal quale in un'altra applicazione e lo smontaggio di una

singola cella che va poi montata in un modulo/pacco nuovo diverso anche geometricamente dal primo: la possibilità intermedia è lo smontaggio parziale di interi moduli dal veicolo che verranno ricomposti in un nuovo pacco, geometricamente diverso dal primo ma compatibile con le caratteristiche dei moduli.

Si consideri che un pacco di batterie è costituito da un insieme di moduli, anche mantenendo i moduli originali si possono creare dei pacchi batterie diversi da quelli di base modificando per esempio le distanze tra di essi o facendo circolare un liquido di raffreddamento negli spazi intermedi.

Di seguito vengono considerate applicazioni Second Life di tipo energetico: in questa ottica si potrebbe pensare a definire le applicazioni stesse e le caratteristiche del contenitore del pacco batterie in funzione del rate atteso di corrente continuativa e massima richiesto dal carico in funzione della capacità residua effettiva delle celle e alle conseguenti perdite Joule da smaltire come calore prodotto dalle stesse.

Se si considerano le batterie della Leaf introdotte in 2.2.2 le cui caratteristiche sono di presentare una tensione nominale $V=400$ V ed una capacità nominale di 100 Ah e si immagina di ritirarle integralmente dal veicolo quando la loro capacità si sia ridotta dell'ottanta per cento per poi utilizzarle in una applicazione domestica con una potenza media attesa di circa 1200 W ed una di picco di 3000 W, si osserva che la corrente continuativa circolante nel pacco risulta essere di 3 A e la massima di 7.5 A, pari rispettivamente al 3.75 % ed al 9.4 % della capacità effettiva delle batterie. Con rate di corrente di questa entità è lecito pensare di poter smontare tutto il pacco dall'auto ed installarlo in sicurezza nell'abitazione senza operare su di esso alcuna modifica sostanziale.

Se il rate di scarica è maggiore, per esempio 1-2 C e nel pacco originale del veicolo non è previsto alcun sistema di raffreddamento allora potrebbe essere necessario prevedere lo smaltimento del calore prodotto dalle celle, se non si volessero però operare modifiche sostanziali sul sistema a disposizione si potrebbe, per esempio, inserire una piastra con un liquido di raffreddamento come quella mostrata in figura 30.

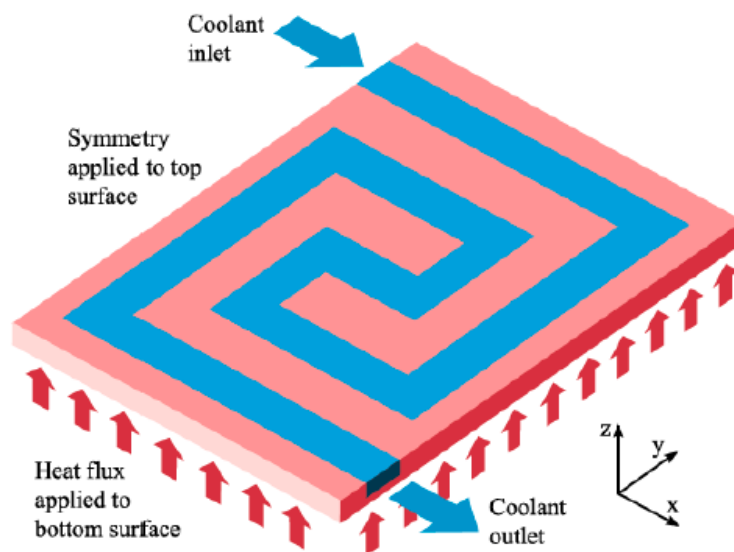


Figura 30. Piastra con liquido di raffreddamento

Con il sistema di raffreddamento appena descritto è possibile sia pensare di incrementare la corrente di funzionamento del pacco batterie (va valutato caso per caso) che considerare una seconda opzione di montaggio: per esempio in figura 31 è rappresentato un modulo del pacco batterie di una Nissan Leaf.

モジュール : High energy module

Compact shape that enhances mounting efficiency on the vehicle

The EV module is 8 metal cells connected and housed in a metal case. The case plays a role of protecting the cell from vibrations and the like, and its simple and compact shape increases the flexibility of pack design.



General specifications

Number of cells	8	
Construction	2 parallel 2 straight × 2 units	
External dimensions	length	300 mm (excluding terminal part or protrusion part)
	width	222 mm
	height	68 mm
mass	8.7 kg	

Figura 31. Modulo base della Nissan Leaf

Per applicazioni che prevedono una corrente continuativa di 0.5 C ed una massima impulsiva di 1-2 C si potrebbe considerare di assemblare i singoli moduli prelevati dal veicolo o prevedendo spazi per la circolazione di aria all'interno del pacco o introducendo la stessa soluzione della piastra mostrata in figura 30, o ancora una soluzione mista tra le due. In ogni caso le scelte vanno valutate in funzione dei risultati di una analisi termica ma non possono prescindere dalla necessità che il processo di assemblaggio rispetti i vincoli di economicità relativi alla applicazione considerata.

Laddove l'applicazione sia di grande taglia, come quella richiesta da accumuli stazionari di MWh, le soluzioni possono essere più sofisticate e si potrebbe anche scegliere di operare cella per cella e costruire moduli nuovi, in questo caso sarebbe bene prevedere dei sistemi automatici di montaggio delle singole celle, per esempio delle slitte di inserimento con i contatti a scatto, che permettano di rendere economico e veloce il processo di costruzione e manutenzione dei moduli.

2.5.2 Disposizione dei moduli e dei pacchi batterie

Nelle figure 13 e 14 è stato mostrato come il venting e l'incendio generino delle emissioni e delle fiamme che si propagano principalmente verso l'alto ed il basso, nella figure 9 e 10 sono mostrati dei Rack che

ospitano moduli di celle montati in verticale, ne consegue che in caso di incendio di un modulo è molto probabile che vengano coinvolti quelli montati sopra di esso.

I rack e gli armadi mostrati nelle figure sono ospitati in ambienti adatti, climatizzati e previsti di protezione contro gli incendi, un esempio è il sistema in second life realizzato dalla Nissan per lo stadio di Amsterdam (immagine da futurecar.com)

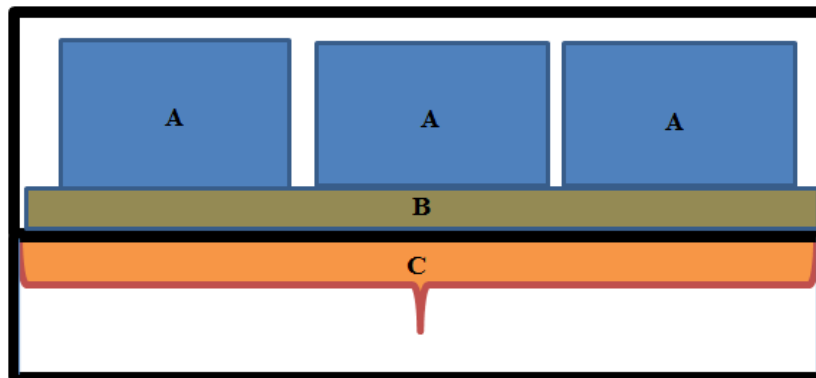


Figura 32. Sistema Second Life Nissan

Se è possibile è però preferibile montare i moduli evitando di sovrapporli e tenendo libero uno spazio di aria sia da terra che dal soffitto, è anche auspicabile di poterli tenere separati e distanti tra di loro, magari interponendo, per applicazioni di grande taglia, degli elementi tagliafuoco.

Per quanto concerne l'edificio o container che li ospita, occorrerebbe che esso sia distaccato da edifici abitati e che sia possibile gestirne la ventilazione: si consideri che un modo per interrompere un incendio è quello di non fornire aria all'ambiente dove sta avvenendo.

Una proposta per realizzare pacchi batterie con contenitori di moduli a loro volta modulari potrebbe essere la seguente:



A= Modulo

B= Materiale isolante elettricamente, termicamente, meccanicamente

C= Materiale resistente alla fiamma

Figura 33. Proposta per contenitore modulare per pacco batterie

In figura è mostrata la sezione di un possibile contenitore di moduli, le linee in nero costituiscono il contenitore, che ospita un certo numero di moduli, lascia spazio al passaggio dell'aria ma non permette quello di una fiamma proveniente dal basso, un sistema come questo potrebbe essere assemblato nel modo seguente:

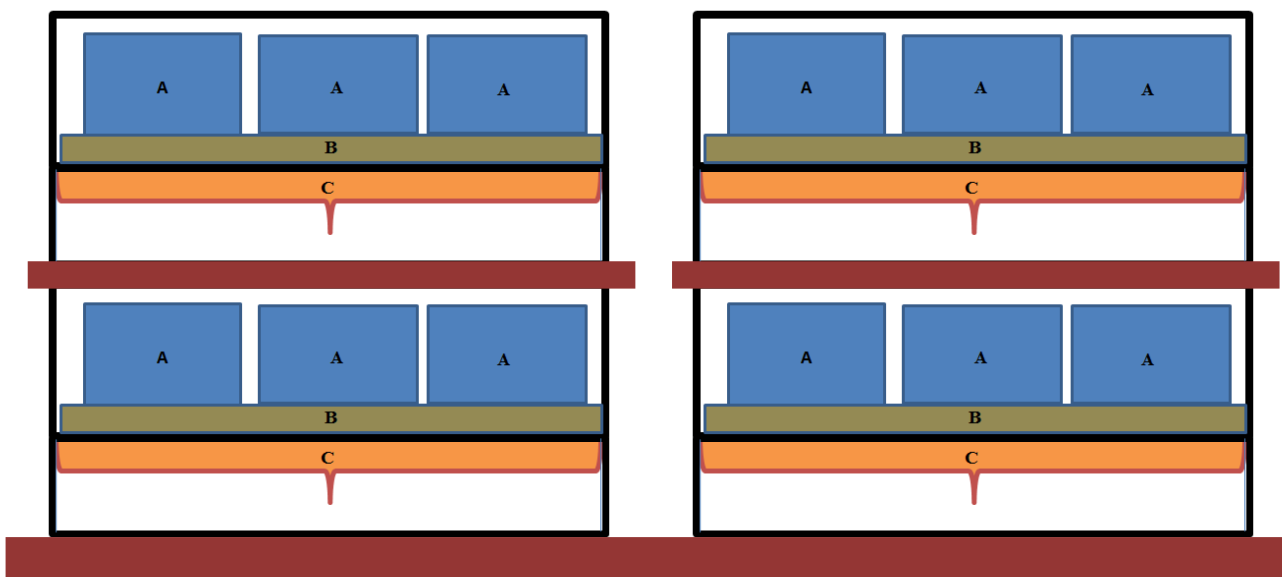


Figura 34. Assemblaggio del sistema proposto

Questa soluzione non è ideale in presenza di vincoli di spazio, ma è molto economica e sicura, potrebbe essere adatta alla realizzazione di sistemi di media taglia.

3 Conclusioni

Il presente lavoro ha descritto le caratteristiche di un modulo di batterie sviluppato da Enea per dei test sulla Second Life: lo scopo primario dello studio è stato però quello di introdurre le problematiche che vanno affrontate nello sviluppo dei contenitori delle batterie, in particolar modo ma non solo, di quelli destinati alla Second Life, e mostrare le soluzioni presenti sul mercato e sviluppate da Enea nel corso della ricerca di sistema.

Il lavoro fornisce anche degli spunti per l'impostazione di uno studio di un sistema di storage completo in Second Life, dal modulo che raccoglie le celle all'edificio che ospita l'insieme dei moduli.

4 Riferimenti bibliografici

1. F. Vellucci, G. Pede, " Sviluppo di moduli batterie litio-ioni per avviamento e trazione non automotive", Report Ricerca di Sistema 2011/27
2. "Applicazione di un sistema di accumulo costituito da batterie al Litio ad un impianto funicolare: risoluzione dei problemi termici e gestione delle potenze" Manlio Pasquali, Francesco Vellucci Report RdS/2011
3. Manlio Pasquali, Francesco Vellucci "Analisi sperimentali per la second life di celle litio-ione" Report RdS/PAR2013
4. Manlio Pasquali, Francesco Vellucci "Prosecuzione delle prove di "second life" su celle litio-ione: approfondimento ad una applicazione stazionaria" Report RdS/PAR2014
5. Manlio Pasquali, Francesco Vellucci "Second Life, definizione dei criteri di ritiro delle celle dalla prima applicazione" Report RdS/PAR2015/195
6. C. Di Bari, E. Rossi, S. Constà, F. Sacco "Definizione di procedure di prova di overvoltage e cortocircuito su sistemi di accumulo litio-ione" Report RdS/PAR2016/170
7. C. Di Bari, E. Rossi, I. Morriello, M. Mazzaro e F. Sacco, S. Constà "Esposizione a fiamma e a calore di celle litio-ione soft-pouch: messa a punto delle prove e sperimentazione di diversi agenti estinguenti" Report RdS/PAR2017/169
8. C. Di Bari, S. Constà, G. Marconi, P. Russo, P. Papillo "Norme tecniche applicabili ai sistemi di accumulo stazionario realizzati con celle litio-ione e sodio: analisi critica e valutazione della rispondenza alle necessità di indagine ai fini della sicurezza." Report RdS/PAR2016/168
9. N. Andrenacci, V. Sglavo, F. Vellucci "Modelli di invecchiamento applicati alle celle litio-ione" Report RdS/PAR2016
10. Roberto Bubbico , Francesco D'Annibale , Barbara Mazzarotta , Carla Menale "Air Cooling of Li-ion Batteries: an Experimental Analysis", CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 57, 2017