



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



# RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

## INTRODUZIONE

Michele Mazzaro  
Dirigente Superiore CNVVF

e

Cinzia Di Bari  
Primo ricercatore ENEA



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



Con Decreto del Capo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, ing. Dattilo, numero 34 del 29 gennaio 2019 è stato istituito il **Gruppo di lavoro “Valutazione dei rischi connessi con lo stoccaggio di sistemi di accumulo innovativi (batterie agli ioni di litio, polimeri di litio, litio metallico, ecc.) e predisposizione di specifiche misure di prevenzione, protezione e gestionali per il contrasto del rischio di incendio ed esplosione che può interessare il medesimo stoccaggio”**. L’attività del GDL è finalizzata alla redazione di linee guida per la gestione in sicurezza degli stoccaggi di batterie al Litio, soggetti alle norme di prevenzione incendi.

Il GDL, coordinato dall’ing. Michele Mazzaro (Dirigente del CNVVF), è costituito da: dott.sa Cinzia Di Bari e ing. Manlio Pasquali per ENEA, prof.ssa Paola Russo per l’Università “Sapienza”, ing. Luigi De Rocchi per COBAT di Roma e, per il CNVVF, da: ing. Massimo Bonfatti, ing. Piergiacomo Cancelliere e ing. Vincenzo Puccia. Il gruppo è stato coadiuvato, nel corso delle proprie attività, da dott. Marco Ottaviani e ing. Paolo Lupotto quali consulenti del COBAT e dalla ing. Maria Luisa Mele quale collaboratrice della prof.ssa Paola Russo.

Questo documento è il frutto delle attività svolte dal GDL e costituisce uno studio di base sulle problematiche di sicurezza dello stoccaggio dei sistemi di accumulo realizzati con tecnologie al litio, laddove con il termine “stoccaggio” si è deciso di individuare: le attività connesse alla logistica (stoccaggio passivo) nelle quali lo stato di carica degli accumulatori è al massimo pari al 30% del SOC (state of charge) oppure è pari al 100% nel caso di pile al litio e le batterie non sono sottoposte a cicli di carica e scarica; le attività nelle quali, per i soli accumulatori, le batterie sono soggette a cicli di carica e scarica (stoccaggio attivo). A titolo non esaustivo, sono stati identificati i seguenti ambiti:

### **1. Stoccaggio passivo**

- a. *Operazioni di deposito temporaneo presso: produttori di pile al litio celle litio-ione; assemblatori di batterie; importatori di celle, batterie ed elettronica di consumo; rivenditori; interporti e catena logistica; gestori della filiera dei rifiuti di pile, batterie e rifiuti elettronici (RAEE);*
- b. *manutenzione di dispositivi elettronici e di veicoli;*
- c. *produzione e vendita di veicoli elettrici*

### **2. Stoccaggio Attivo**

- a. *Sistemi di stoccaggio dell’energia elettrica (ESS) ad uso industriale e domestico*
- b. *Locali di ricarica di veicoli elettrici*
- c. *Autorimesse e box nei quali vengono custoditi veicoli elettrici*

Lo studio è suddiviso in sette capitoli nei quali vengono descritte le tecnologie al litio, incluse le norme applicabili, l’individuazione delle sostanze chimiche che le costituiscono, la loro classificazione ed etichettatura ai sensi del regolamento REACH, le dinamiche di guasto e le evoluzioni incidentali. Un capitolo è dedicato alla ampia casistica incidentale disponibile a livello internazionale, alla esposizione della struttura di un data base incidentale e la predisposizione di una bozza in formato elettronico, alle pratiche di prevenzione e protezione adottate a livello internazionale, sia a livello di politiche degli enti pubblici che a livello delle organizzazioni degli esperti di gestione incendi. Il secondo capitolo è dedicato alla caratterizzazione dello scenario del *runaway* dei sistemi litio ione, considerato come il caso di incidente in quanto, in tali condizioni, vengono rilasciate la massima quantità di energia e di materia disponibili. Nel capitolo cinque, vengono esaminati gli aspetti normativi relativi allo stoccaggio passivo e al trasporto delle batterie al litio, e vengono esaminati gli aspetti di rischio connessi alla gestione della filiera dei rifiuti. Nel

capitolo sei si tratta la materia della prevenzione e protezione dei rischi, valutando il contributo dei dispositivi esistenti a livello di batteria/dispositivi utilizzatori (quali il BMS) che le tecniche di protezione passiva e di protezione attiva attuabili all'interno degli stoccaggi. Lo studio si conclude con un capitolo dedicato alla modellazione su container e sperimentazione su scala reale, frutto delle attività svolte dall'Università "Sapienza" in collaborazione con il corpo Nazionale dei vigili del fuoco.

Tutta la bibliografia consultata, è allegata in formato digitale oppure è reperibile agli indirizzi web indicati.

Lo studio raccoglie i contributi dei membri del gruppo di lavoro e, essendo necessario rispondere con urgenza alle richieste del Capo del CNVVF, non è stato sottoposto a revisione e, quindi, può contenere ripetizioni e informazioni incongruenti. Il pregio fondamentale è comunque quello di aver inquadrato a 360 gradi la problematica oggetto del gruppo di lavoro e di essere il primo studio completo disponibile in Italia. La stretta collaborazione tra CNVVF ed ENEA, resa ufficiale dall'Accordo di Collaborazione del 21 giugno 2017, sottoscritto dal Capo del CNVVF e dal Presidente dell'ENEA, ha reso possibile questo ottimo risultato.

### **Generalità sugli stoccaggi**

Come precisato nei capitoli 1 e 5 B, le batterie al litio, pile e accumulatori, e gli apparecchi utilizzatori che le contengono, a livello internazionale sono definite "merci pericolose" e, pertanto, sono sottoposte alle norme internazionali applicabili al trasporto di merci pericolose lungo il loro intero ciclo di vita. Vale a dire: dal sito di produzione fino al conferimento dei rifiuti e alla loro gestione come tali, fino agli impianti di riciclo.

Lo stoccaggio di merci pericolose è sottoposto, in relazione alle quantità e alle tipologie di merce, alle norme giuridiche di tutela ambientale (TU Ambiente), di tutela dei lavoratori addetti (D.Lgs. 81/08 e smi), di prevenzione del rischio incendio (Attività soggette) e di prevenzione dei rischi di incidente rilevante (Direttiva Seveso III). In tutti questi casi, la prevenzione dei rischi è affidata alla individuazione sistematica dei pericoli e alla loro gestione, tra cui le misure necessarie per la prevenzione delle incompatibilità chimico-fisiche con sostanze, miscele o articoli, che possono portare ad aggravamenti del rischio.

Lo studio condotto sullo stoccaggio di batterie al litio ha consentito di individuare i pericoli di questa tecnologia, ma necessita ulteriori approfondimenti sulle incompatibilità di natura chimica.

Per le pile al litio metallico, sebbene siano sigillate, la presenza di tale elemento impone la prevenzione del contatto con l'acqua o la gestione in ambienti troppo umidi o che sottopongano a stress meccanico o chimico le sigillature, questione questa da risolvere attraverso la scienza dei materiali.

Per gli accumulatori al litio, lungo tutto il ciclo di vita, vanno individuate le cause esterne di natura chimica e fisica che possono portare alla perdita di sigillatura ovvero alla perdita dell'integrità dei contenitori di celle e batterie, e le condizioni di incompatibilità chimica.

Considerando la composizione chimica di questi sistemi, l'abuso termico è ciò che va evitato per primo: vanno quindi gestite correttamente sia la prossimità con materiali che possono incendiarsi (sostanze infiammabili o combustibili) o provocare incendi (agenti ossidanti), che l'esposizione ad alta temperatura o a condizioni di irraggiamento termico ambientale che producono accumulo di calore all'interno o sulle superfici dei sistemi litio-ione.

La differenza tra stoccaggio passivo e stoccaggio attivo consente di individuare un aggravamento del rischio collegato ai cicli di carica e scarica, alla maggiore quantità di energia elettrica immagazzinata come energia chimica e al cambiamento della composizione chimica in funzione di parametri elettrici, quali, ad esempio, stato di carica, e velocità di carica/scarica, come pure del normale processo di invecchiamento e di impurezze eventualmente presenti “ab origine” che, nel tempo, possono condurre a invecchiamento precoce o innescare reazioni non desiderate portando il sistema di accumulo nel campo della instabilità chimico-fisica.

### **Litio metallico si o no?**

Nello studio è stato evidenziato che, negli accumulatori al litio, il litio metallico è presente in due condizioni: nella normale condizione di “dispositivo carico” dove lo ione litio si intercala nella grafite (anodo) e gli elettroni del carbonio presenti negli orbitali “p” sono condivisi con lo ione e, formalmente, ne fanno assumere numero di ossidazione 0 (litio metallico); durante l’invecchiamento ovvero l’uso o fenomeni di abuso anche temporaneo, si può avere la formazione di depositi di litio metallico all’anodo, con tipica struttura dendritica, che sottrae ioni litio dal sistema con conseguente diminuzione della capacità elettrica e predisposizione del sistema al corto circuito interno.

### **....e la questione dell’acido fluoridrico**

Nel Capitolo 4, paragrafo 3.3, viene proposto il confronto tra le conseguenze di un incendio di un veicolo elettrico e quello di un veicolo con motore a combustione interna. Uno dei problemi sollevati, anche a livello di Commissione Europea, è la quantificazione delle emissioni di acido fluoridrico nel corso dell’incendio di un veicolo elettrico: la questione è applicabile a tutti gli incendi che possono coinvolgere sistemi litio ione. Il fluoro presente all’interno delle batterie proviene dall’elettrolita generalmente utilizzato, il LiPF<sub>6</sub>, ma anche dal PVDF, il polimero utilizzato come legante dei materiali elettrodi. Se si potesse conoscere l’esatta composizione chimica delle celle utilizzate in una specifica batteria, semplici calcoli stechiometrici potrebbero consentire di determinare la quantità massima di fluoro disponibile e, di conseguenza, la quantità massima di HF che può svilupparsi, nella ipotesi che si sviluppi in un unico istante. Un buon dato di partenza, se non fosse che: la concentrazione in aria di HF muta nel tempo e nella posizione rispetto al punto di localizzazione dell’incendio e il fluoro forma anche composti ossigenati, con pericoli per la salute superiori all’HF. La questione è allo studio sia a livello europeo che americano, con buoni sforzi da parte dei ricercatori e con risposte strettamente vincolate alla tipologia di esperimenti e alle modalità di conduzione degli stessi.

Molte altre sostanze sono presenti nei fumi di combustione degli accumulatori litio ione, tra cui particolato di dimensione respirabile, complessi carbonilici dei metalli pesanti e nanomateriali impiegati nella fabbricazione degli accumulatori. L’individuazione degli agenti chimici che possono essere presenti nei fumi di combustione richiede dati ed esperimenti che necessitano il pieno coinvolgimento dei produttori e l’impiego di tecniche analitiche standardizzate. Punto di partenza? L’esatta composizione chimica.

In mancanza di informazioni certe, i soccorritori devono essere dotati dell’equipaggiamento appropriato. DPI di terza categoria: protezione delle mani e del corpo da HF per più di 20 minuti; protezione delle vie respiratorie con filtri adatti anche al particolato respirabile e ai nanomateriali.

## Indice del documento

- Capitolo 1** Caratterizzazione della tipologia di batteria, marcatura, aspetti chimici e di identificazione delle sostanze (Regolamento REACH)
- Capitolo 2** Caratterizzazione delle modalità di innesco e delle curve di Heat Release Rate e Mass Loss Rate, caratterizzazione dei composti chimici rilasciati in fase aeriforme nelle prove per misura HRR e MLR
- Capitolo 3** Caratterizzazione delle dinamiche di guasto elementari con evoluzione incidentale ed incendio/esplosione
- Capitolo 4** Analisi incidentali e best practices
- Capitolo 5** Aspetti normativi relativi allo stoccaggio e trasporto delle batterie, eventuale comparazione alla panoramica internazionale
  - A. Caratterizzazione degli Stoccaggi al chiuso e all'aperto (COBAT)
  - B. Modalità di trasporto delle batterie al litio (norma ADR) e caratteristiche dei contenitori per batterie al litio
  - C. Aspetti di rischio connessi al ciclo di vita ed allo smaltimento
- Capitolo 6** Prevenzione e protezione dei rischi
  - A. Prevenzione rischi: Assemblaggio pacco batterie, BMS
  - B. Valutazione delle tecniche di rilevazione precoce anomalie
  - C. Protezione passiva
  - D. Valutazione su efficacia impianti di protezione attiva
- Capitolo 7** Studio modellazione su container e sperimentazione su scala reale



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



# RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

## Capitolo 1

Caratterizzazione della tipologia di batteria, marcatura, aspetti chimici e di identificazione delle sostanze (Regolamento REACH)

Cinzia Di Bari



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile





# Indice

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1       | TECNOLOGIE AL LITIO PER L'ACCUMULO DI ENERGIA ELETTRICA .....   | 8  |
| 1.1     | PROPRIETÀ CHIMICO FISICHE DEL LITIO .....   | 8  |
| 1.2     | ALCUNE DEFINIZIONI DI BASE .....  | 8  |
| 2       | TECNOLOGIE AL LITIO METALLICO .....   | 12 |
| 2.1     | BATTERIE PRIMARIE AL LITIO (PILE) .....   | 12 |
| 2.2     | BATTERIE SECONDARIE AL LITIO METALLICO.....   | 16 |
| 3       | TECNOLOGIE AGLI IONI LITIO .....  | 17 |
| 3.1     | BATTERIE LITIO-POLIMERO (LIPO) E LORO TIPOLOGIE .....   | 21 |
| 3.1.1   | <i>Elettrolita solido (dry SPE)</i> .....   | 22 |
| 3.1.2   | <i>Elettrolita gel (gelled SPE) – LiPo ibride</i> .....   | 23 |
| 3.1.3   | <i>Elettrolita poroso (porous SPE)</i> .....  | 23 |
| 3.2     | ACCUMULATORI LITIO-IONE: APPROFONDIMENTI SULLA COMPOSIZIONE CHIMICA.....                                | 24 |
| 3.2.1   | <i>Materiali catodici</i> .....   | 25 |
| 3.2.2   | <i>Materiali anodici e SEI (Solid Electrolyte interface)</i> .....                                      | 27 |
| 3.2.3   | <i>Elettrolita</i> .....  | 29 |
| 3.2.3.1 | Sali di Litio.....  | 29 |
| 3.2.3.2 | Solventi .....  | 29 |
| 3.2.3.3 | Additivi.....   | 32 |
| 3.2.4   | <i>Separatore</i> .....   | 34 |
| 3.2.4.1 | Separatori con effetto shut-down .....  | 34 |
| 4       | SUPERCONDENSATORI AL LITIO .....  | 35 |
| 4.1     | COMPOSIZIONE CHIMICA DEI SUPERCONDENSATORI .....  | 36 |
| 4.2     | FUNZIONAMENTO DEI SUPERCONDENSATORI .....   | 38 |
| 4.3     | SUPERCONDENSATORI AGLI IONI LITIO .....   | 39 |
| 5       | CLASSIFICAZIONE ED ETICHETTATURA AI SENSI DEL REGOLAMENTO REACH .....                                   | 41 |
| 6       | MARCATURA CE ED ETICHETTATURA DI PILE ED ACCUMULATORI.....  | 57 |
| 6.1     | DIRETTIVA 2006/66/CE (DIRETTIVA BATTERIE) E REGOLAMENTO (UE) N. 1103/2010 .....                         | 58 |
| 6.2     | CERTIFICAZIONI DI PRODOTTO ED ETICHETTATURE PILE AL LITIO .....   | 60 |
| 6.3     | CERTIFICAZIONI DI PRODOTTO ED ETICHETTATURA DI ACCUMULATORI LITIO-IONE .....                            | 61 |
| 6.3.1   | <i>Applicazioni portatili: IEC 61960-3</i> .....  | 61 |
| 6.3.1.1 | Designazione.....   | 62 |
| 6.3.1.2 | Marcatura .....   | 64 |
| 6.3.1.3 | Esempio pratico .....   | 65 |
| 6.3.2   | <i>Applicazioni per lo stoccaggio di energia prodotte da fonti rinnovabili off-grid e on-grid</i> ..... | 66 |
| 6.3.3   | <i>Applicazioni industriali</i> .....   | 67 |
| 6.3.3.1 | Designazione (Designation) delle celle e delle batterie .....   | 68 |
| 6.3.3.2 | Marcatura .....   | 72 |
| 7       | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E COLLEGAMENTI IPERTESTUALI .....   | 74 |
| 8       | APPENDICE 1A. ACRONIMI, DEFINIZIONI E CARATTERISTICHE ELETTRICHE DI BATTERIE AL LITIO.....              | 77 |
|         | DEFINIZIONI E GRANDEZZE ELETTRICHE.....   | 79 |
| 9       | APPENDICE 1B. TIPOLOGIA PILE AL LITIO SAFT [51].....  | 88 |

# 1 Tecnologie al litio per l'accumulo di energia elettrica

Le particolari proprietà chimico-fisiche del litio hanno consentito lo sviluppo di tecnologie per l'accumulo di energia elettrica sotto forma di energia chimica: il litio metallico viene utilizzato per la realizzazione di pile e accumulatori, mentre lo ione litio ( $\text{Li}^+$ ) ha consentito la produzione di accumulatori e supercondensatori ibridi.

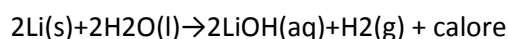
## 1.1 Proprietà chimico fisiche del litio

Il litio è il terzo elemento della Tavola Periodica degli Elementi, dopo l'idrogeno e l'elio. È il primo elemento del Primo Gruppo (Metalli alcalini), ha numero atomico  $Z=3$  e configurazione elettronica  $1s^2 2s$ ; peso atomico 6,941 UMA, raggio atomico pari a 0,152 nm e raggio ionico pari a 0,07 nm. Il suo valore di

elettronegatività è pari ad 1 e il potenziale standard di riduzione (in ambiente acquoso) è  $E_{\text{Li}^+/\text{Li}}^0 = -3,04 \text{ V}$ . È dunque un metallo altamente riducente che tende a cedere il suo elettrone per raggiungere la configurazione  $1s^2$  dell'elio, di massima stabilità.

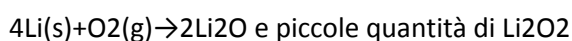
Si tratta di un elemento altamente reattivo che non si trova puro in natura.

A contatto con l'acqua, il litio metallico reagisce con formazione di idrogeno, idrossido di litio e calore:



Se confrontata con quelle del sodio e del potassio, questa reazione è meno violenta. L'idrogeno prodotto porta alla formazione di una fiamma aranciata<sup>1</sup>.

Il litio reagisce con ossigeno (combustione con formazione di fiamma rossa), idrogeno e con azoto, per dare, rispettivamente, ossido di litio/perossido di litio (usato nell'industria aerospaziale e sottomarina, in quanto intrappola  $\text{CO}_2$ , con formazione del carbonato e sviluppo di ossigeno), idruro di litio (tra i  $250^\circ\text{C}$  e i  $350^\circ\text{C}$ ), azoturo di litio ( $\text{Li}_3\text{N}$ — instabile e tossico) e nitruro di litio ( $\text{Li}_3\text{N}$ , l'unico nitruro stabile di metalli alcalini):



Reagisce, infine, anche con l'anidride carbonica, con formazione del carbonato  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ .

Maggiori informazioni sulle proprietà chimico-fisiche del Li, si possono trovare in [1], [2], [3].

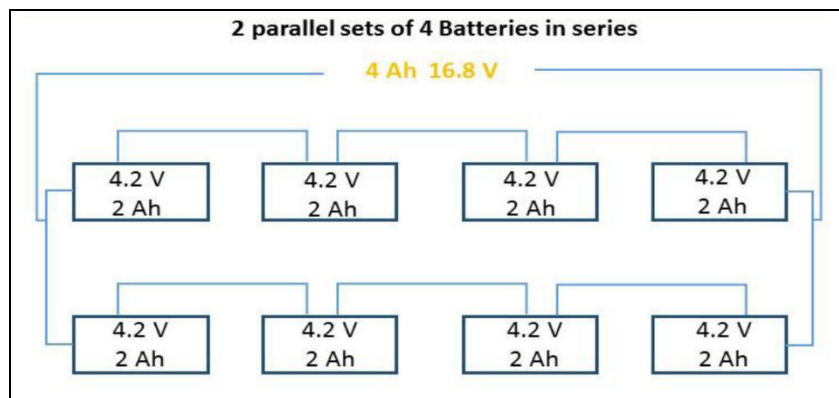
## 1.2 Alcune definizioni di base

Una **batteria** è un dispositivo in grado di convertire energia chimica in energia elettrica, tramite una reazione chimica di ossido-riduzione (reazione Redox), che implica trasferimento di elettroni. I principali elementi costitutivi sono l'anodo, il catodo, l'elettrolita e il ponte salino.

Più propriamente, una **batteria** è un insieme di più **celle** (o elementi) collegate tra loro in serie o in parallelo (o in entrambi i modi) a seconda della tensione e della capacità che si desiderano ottenere. In Figura 1 si presenta, a titolo di esempio, la configurazione *2p4s* di una batteria di capacità pari a 4Ah e tensione nominale pari a 16,8V, realizzata con 8 celle da 2Ah e 4,2V.

---

<sup>1</sup> Video della reazione del litio metallico con l'acqua: <https://youtu.be/8ypUVpwgcAA>



**Figura 1. . Esempio configurazione 2p4s di una batteria**

Le batterie possono essere di due tipi: non ricaricabili (pile) o ricaricabili (accumulatori). Nel primo caso la reazione elettrochimica è non reversibile ed il dispositivo è utile per l'erogazione di corrente; nel secondo caso, la reazione elettrochimica reversibile, consente sia l'erogazione che l'accumulo di corrente proveniente da fonti esterne.

Nel linguaggio internazionale che deriva dalla normativa tecnica, le batterie non ricaricabili sono denominate "**batterie primarie**" e quelle ricaricabili, "**batterie secondarie**".

Nel caso di sistemi che utilizzano il litio (Figura 2), il litio metallico (Li) viene impiegato sia per la realizzazione di batterie primarie che secondarie. Allo ione litio ( $\text{Li}^+$ ) è riservato il dominio degli accumulatori o batterie Litio-ione (LIB- *Lithium Ion Battery*) e quello dei supercondensatori. In generale si ha:

- **Batterie al litio primarie** (non ricaricabili): sono costituite da una o più celle monouso che contengono un anodo in litio metallico. A livello commerciale sono denominate "batterie o pile al litio", "batterie o pile al Litio metallico".
- **Batterie al litio secondarie** (ricaricabili): sono costituite da una o più celle (unità elementare commerciale) ricaricabili, contenenti un anodo costituito da un ossido metallico litiato e un catodo generalmente in grafite, tra i cui piani cristallini si intercala lo ione litio nei processi di carica e scarica. A livello commerciale sono denominate come "batterie Litio - ione" o "batterie agli ioni di litio".

All'aumentare della richiesta di energia del dispositivo utilizzatore, aumenta la dimensione della batteria: dal punto di vista elettrico, aumenta la quantità di energia in grado di essere immagazzinata, con riflessi sui valori di capacità e di tensione; mentre dal punto di vista chimico, aumenta la quantità di materia messa in gioco. In Tabella 1 si presentano i fattori di scala di accumulatori al litio, connessi a diverse applicazioni.

Numerose sono le **grandezze elettriche** che definiscono le caratteristiche delle batterie al litio: nella Appendice 1 A ne viene presentato un elenco non esaustivo. Numerose le tipologie di composizione chimica, delle quali parleremo nei capitoli successivi.

La composizione chimica, le caratteristiche elettriche e la forma /ingegneria di realizzazione sono alla base della scelta consapevole del sistema più adatto ad un determinato uso finale.

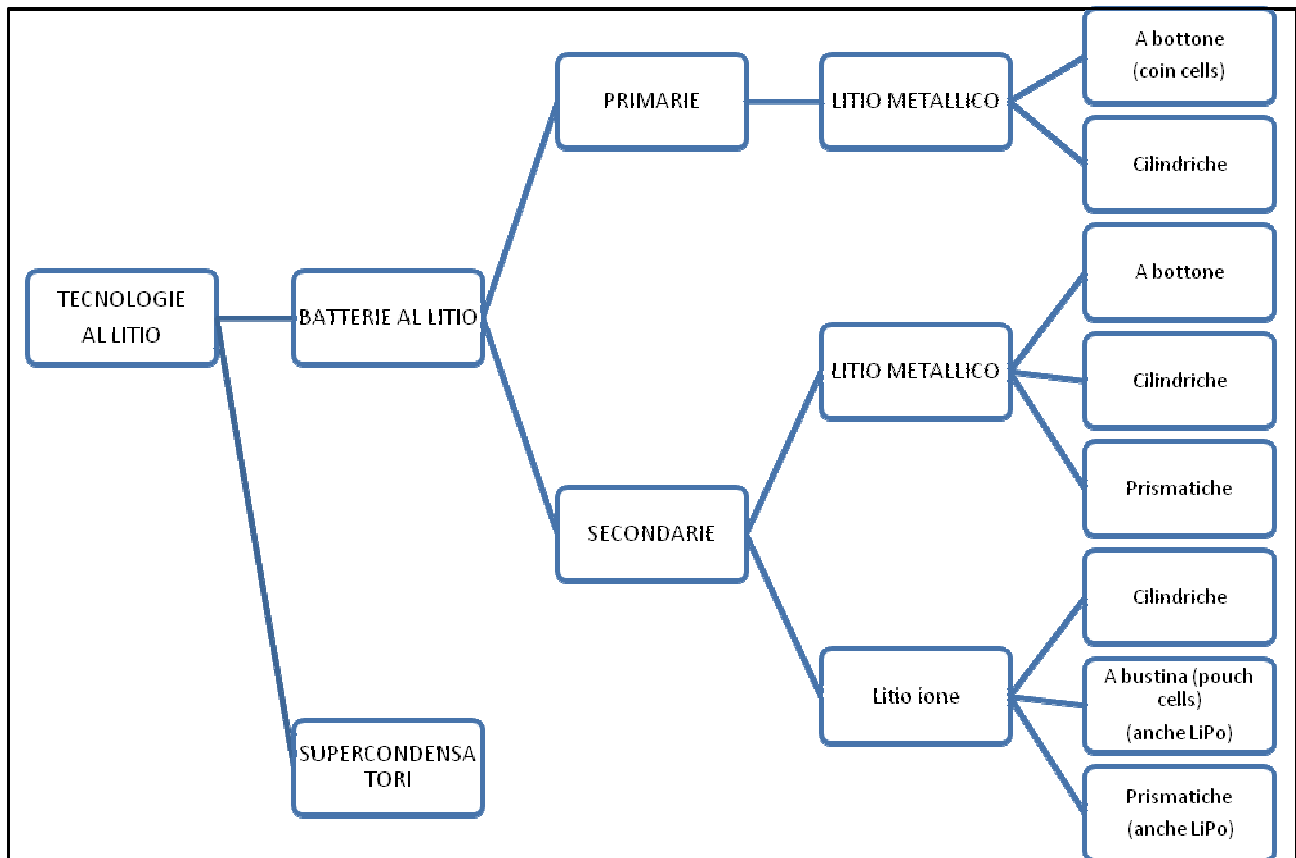


Figura 2. Tecnologie di accumulo basate sul litio

Tabella 1. Fattori di scala negli utilizzi di batterie Litio-ione

| Tipologia di impiego  | Capacità della batteria |                                    | Peso delle batterie  | Esempi  |  |
|---|-------------------------|------------------------------------|--|---|--|
|   | Bassa                   | Fino a 100 Wh                      |  |   |  |
| Dispositivi portatili                                       | Bassa                   | Fino a 100 Wh                      | Fino ad 2 kg   | Tablet e book-reader, sigarette elettroniche, telefonia cellulare   | Sigarette elettroniche: <b>3.7 V, 2.2-3.2 Ah</b> (8.14-11.84 Wh)<br>Cellulari: <b>3.82 V, 2.5-3.2 Ah</b> (9.55-10.24 Wh)<br>Camere fotografiche professionali: <b>7.2 V, 2-3 Ah</b> (14.4-21.6 Wh) |
| Veicoli elettrici di piccole dimensioni e altri dispositivi | Media                   | > 100 Wh                           | Inferiore o uguale a 12 kg                                       | Bicicletta pedalata assistita, motorini elettrici, veicoli elettrici di piccole dimensioni; celle per batterie ad alta capacità | Bici elettriche, apparati di locomozione (monopattini elettrici, <i>hoverboard</i> ): <b>73 V, 5 Ah</b> (365 Wh)   |
| Veicoli elettrici e accumulatori stazionari                 | Alta                    | > 100 Wh fino a 10 <sup>7</sup> Wh | Superiore a 12 kg  | Veicoli elettrici   | Auto elettriche: <b>400 V, 60-100 Ah</b> (24-40 kWh) (per le auto il range di variazione è molto alto, si può arrivare ad accumuli di valore superiore ad 80 kWh)                                  |
|   |                         |                                    | Da 12 kg fino a sistemi di accumulo dell'ordine della tonnellata | Accumulatori stazionari   | ESS – <i>Energy storage systems</i> : <b>450-1000 V, 4000-8000 Ah</b> (4-8 MWh)  |

Se per le pile al litio, la durata è strettamente connessa all'energia erogata e alla quantità di materia, per una batteria secondaria, le sue prestazioni in termini di carica/scarica, cambiano nel tempo e vanno introdotti i concetti di **invecchiamento** e di **tempo di vita**.

L' **invecchiamento** di una batteria secondaria [4] si manifesta come una diminuzione della sua capacità e l'aumento della sua resistenza interna. Quanti quando questi parametri assumono certi livelli, la batteria non può più assolvere le funzioni per le quali era stata concepita. Si dice che essa è al termine della sua vita (*end of life – EOL*), anche se mantiene una capacità residua. Si parla anche di “**tempo di vita**” o *lifetime*.

L'invecchiamento risulta più significativo quando la batteria secondaria è utilizzata in condizioni estreme o di abuso, per esempio al di fuori del campo di operatività.

Una batteria secondaria può perciò essere vista come una riserva di energia, la cui capacità (la massima energia accumulabile - *maximum storable energy*) diminuisce con l'invecchiamento, mentre aumenta la sua resistenza interna. Determinare la capacità effettiva consente di individuare l' *EOL* : nelle applicazioni stazionarie e nei veicoli elettrici la batteria è considerata **giunta a fine vita** quando la sua capacità misurata è inferiore all'80% della sua capacità nominale (trattasi di una soglia commerciale o contrattuale).

Non c'è nessun sistema per prevenire l'utilizzo di una batteria secondaria al di sotto della sua capacità: dato il significativo costo della sostituzione (nei cellulari o nei computer portatili) gli utilizzatori tengono le loro batterie più a lungo possibile, finché ancora funzionano.

Occorre tenere presente comunque, che quando la capacità è ridotta, lo stress relativo è più intenso (a causa dell'aumento della resistenza interna) con tendenza ad accelerare la perdita di prestazione e ad aumentare la suscettibilità all'abuso, dunque la pericolosità.

Le batterie secondarie sono suscettibili di degradazione anche se non vengono utilizzate: questo fenomeno è denominato invecchiamento calendarizzato (*calendar aging*). La temperatura esterna e lo stato di carica (SOC) medio, esercitano la più grande influenza su questo tipo di degradazione.

## 2 Tecnologie al litio metallico

Come introdotto al capitolo precedente, il litio metallico ( $\text{Li}^0$ ) viene utilizzato per la realizzazione sia di batterie primarie – di ampio e crescente utilizzo - che secondarie, ovvero ricaricabili. In questo capitolo presenteremo separatamente le due tecnologie.

### 2.1 Batterie primarie al Litio (pile)

Le batterie primarie al Litio non sono ricaricabili e, benchè abbiano costi molto elevati, hanno un vasto impiego sia in sostituzione delle pile alcaline, naturalmente facendo attenzione alle compatibilità delle tensioni, che (soprattutto) in apparecchiature che devono essere alimentate elettricamente per un lungo tempo e/o di interesse molto particolare, quali: dispositivi medici (pacemaker e altri dispositivi medici impiantabili), che utilizzano pile Litio-Ioduri; attrezzature portatili (orologi e telecamere o macchine fotografiche) e giochi; strumenti di misura e apparecchiature oceanografiche; contatori domestici e industriali di utenze gas, acqua, energia elettrica.

Sono caratterizzate da: capacità elevata, bassa velocità di autoscarica; a seconda della composizione chimica, possono essere utilizzate tra  $-55^\circ\text{C}$  e  $+125^\circ\text{C}$ ; la presenza dei liquidi organici utilizzati per l'elettrolita comporta una elevata impedenza interna e, dunque, valori massimi di corrente sorprendentemente molto bassi [5]. Le celle cilindriche di tipo DD possono avere capacità fino a circa 40 Ah, con una densità di energia elevatissima (Appendice 1B).

Hanno forma prismatica, cilindrica e a bottone (Figura 3) con dimensioni tipiche già note per le chimiche alcaline (Tabella 2). Le pile prismatiche sono costituite da più celle collegate elettricamente, mentre le pile a bottone e quelle cilindriche sono celle unitarie. La struttura interna di una cella cilindrica è a strati (Figura 4) che possono essere avvolti in forma di bobina (**LS**) o di spirale (**LSH**) [6] (Appendice 1B Figura 5) ma anche altre sono le modalità costruttive. Giacchè a queste pile sono associati rischi di incendio ed esplosione (vedi Capitolo 3), in testa alle celle cilindriche e prismatiche, sono collocati un **dispositivo PTC** (*Positive Thermal Coefficient*) resettabile, per la protezione da corto circuito esterno e un **dispositivo di venting** per la protezione da sovrappressione interna dovuta ad evaporazione dei solventi, decomposizione dei materiali catodici, reazioni di *runaway*. Le celle a bottone hanno una struttura molto più semplice (Figura 6).

Il litio metallico costituisce l'anodo<sup>2</sup> e, durante il funzionamento, il  $\text{Li}^{(0)}$  si ossida a  $\text{Li}^{(+1)}$  perdendo 1 elettrone. I materiali catodici sono materiali elettro-attivi con "vacanze" cristallografiche che consentono di accogliere lo ione Litio durante la fase di scarica: il più comune è  $\text{MnO}_2$ .

L'elettrolita è costituito da un sale di Litio disciolto in un solvente organico o in una miscela di essi, tipicamente: Carbonato di Propilene e dimetossietano. I materiali attivi sono, quindi, i seguenti:

- ANODO: Litio metallico
- CATODO:  $\text{MnO}_2$ ;  $\text{SOCl}_2$ , ecc.
- ELETTROLITA: sale di litio disciolto in una miscela di solventi organici ossigenati
- ADDITIVI: mescolati con il materiale catodico e/o l'elettrolita

La quantità di litio metallico presente è compresa tra 0,15 kg/kWh e 0,3 kg/kWh.

Giacchè il Litio metallico è un metallo alcalino, che decompone l'acqua con produzione di Idrogeno molecolare  $\text{H}_2$ , le pile al Litio sono molto sensibili all'umidità.

Le pile al Litio possono essere classificate in base al materiale catodico ( e nelle conseguenti categorie di tensione nominale) e in base allo stato fisico dello stesso [7]. Un elenco non esaustivo di tipologie di pile al Litio è quello fornito in Tabella 3.

---

<sup>2</sup> Si veda il filmato relativo al recupero di litio metallico da una pila Energizer:

<https://www.youtube.com/watch?v=BliWUHSOaIU>



Figura 3. Fonte: [8]

Tabella 2. Formati tipici pile al Litio

| Pila a bottone   | Cell Sizes      | Cell Dimensions (mm)        |
|------------------|-----------------|-----------------------------|
|                  | CR2025          | 20(d) x 2.5(h)              |
| CR2032           | 20(d) x 3.2(h)  |                             |
| CR2450           | 24.5(d) x 5(h)  |                             |
| CR2              | 15.6(d) x 27(h) |                             |
| CR123a           | 17(d) x 34.5(h) |                             |
| Pila cilindriche | AAA             | 10.5(d) x 44.5(h)           |
|                  | AA              | 14.5(d) x 50.5(h)           |
|                  | ½ AA            | 14.5(d) x 24(h)             |
|                  | A               | 17(d) x 50(h)               |
|                  | C               | 26.2(d) x 50(h)             |
|                  | D               | 34.2(d) x 61.5(h)           |
|                  | DD              | 32.9(d) x 124.5(h)          |
| 18650            | 18(d) x 65(h)   |                             |
| Pila prismatica  | 9-volt          | 26.5(l) x 17.5(w) x 48.5(h) |

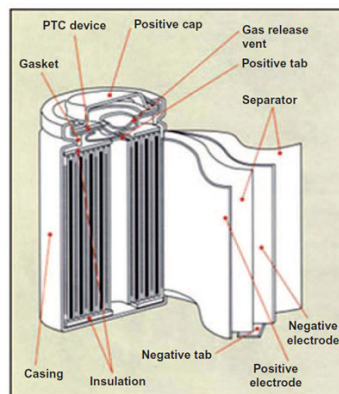


Figura 4. Fonte [7]

Tabella 3. Fonte [8]:

|                            | OCV (OPEN CURRENT VOLTAGE) [V] | COMPOSIZIONE CHIMICA CATODO  |
|----------------------------|--------------------------------|--|
| A. Materiale catodico      | 1,5 ÷ 1,8                      | FeS <sub>2</sub> , FeS, CuS, CuO   |
|                            | 2,7 ÷ 3,5                      | MnO <sub>2</sub> , CF <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , I <sub>2</sub> , Ag <sub>2</sub> V <sub>4</sub> O <sub>11</sub> , Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>                                 |
|                            | Altri valori di OCV            | SOCl <sub>2</sub> (3.6V), SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (3.9V), Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2.1V)  |
|                            | STATO FISICO                   | COMPOSIZIONE CHIMICA CATODO  |
| B. Stato fisico del catodo | Solido (la maggior parte)      | FeS <sub>2</sub> , FeS, CuS, CuO, MnO <sub>2</sub> , CF <sub>x</sub> , V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , I <sub>2</sub> , Ag <sub>2</sub> V <sub>4</sub> O <sub>11</sub> , Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> , Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|                            | Liquido                        | SOCl <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>  |
|                            | Gassoso                        | O <sub>2</sub>   |



Figura 5. Pila al Litio CR2032: schema di funzionamento e vista interna. Fonte [8]

Tabella 4. Fonte [8]:

| Chemistry   | Cathode  | Electrolyte  | Nominal voltage | Open-circuit voltage | Wh/kg      | Wh/L |
|---|--|--|-----------------|----------------------|------------|------|
| <b>Li-MnO<sub>2</sub></b><br>(IEC code: C), "CR"  | Heat-treated <u>manganese dioxide</u>  | <u>Lithium perchlorate</u> in an organic solvent ( <u>propylene carbonate</u> and <u>dimethoxyethane</u> in many common <sup>[2][3]</sup> but not all <sup>[4]</sup> products) | 3 V             | 3.3 V                | 280        | 580  |
|   | <i>"Li-Mn". The most common consumer-grade lithium battery, about 80% of the lithium battery market. Uses inexpensive materials. Suitable for low-drain, long-life, low-cost applications. High energy density per both mass and volume. Operational temperature ranges from -30 °C to 60 °C. Can deliver high pulse currents.<sup>[5]</sup> With discharge, the internal impedance rises and the terminal voltage decreases. High self-discharge at high temperatures. <u>1,2 dimethoxyethane</u> is a REACH candidate <u>substance of very high concern</u>.</i>   |  |                 |                      |            |      |
| <b>Li-(CF)<sub>x</sub></b><br>(IEC code: B), "BR" | <u>Carbon monofluoride</u>   | <u>Lithium tetrafluoroborate</u> in <u>propylene carbonate</u> , <u>dimethoxyethane</u> , or <u>gamma-butyrolactone</u>  | 3 V             | 3.1 V                | 360–500    | 1000 |
|   | <i>Cathode material formed by high-temperature <u>intercalation</u> of <u>fluorine</u> gas into <u>graphite</u> powder. Compared to manganese dioxide (CR), which has the same nominal voltage, it provides more reliability.<sup>[5]</sup> Used for low to moderate current applications in memory and clock backup batteries. Used in aerospace applications, qualified for space since 1976, military applications both terrestrial and marine, in missiles, and in <u>artificial cardiac pacemakers</u>.<sup>[6]</sup> Operates up to around 80 °C. Very low self-discharge (&lt;0.5%/year at 60 °C, &lt;1%/yr at 85 °C). Developed in the 1970s by <u>Matsushita</u>.<sup>[7]</sup></i>   |  |                 |                      |            |      |
| <b>Li-FeS<sub>2</sub></b><br>(IEC code: F), "FR"  | <u>Iron disulfide</u>  | <u>Propylene carbonate</u> , <u>dioxolane</u> , <u>dimethoxyethane</u>   | 1.4–1.6 V       | 1.8 V                | <u>297</u> |      |
|   | <i>"Lithium-iron", "Li/Fe". Called "voltage-compatible" lithium, because it can work as a replacement for alkaline batteries with its 1.5 V nominal voltage. As such, Energizer lithium cells of AA<sup>[8]</sup> and AAA size employ this chemistry. 2.5 times higher lifetime for high current discharge regime than alkaline batteries, better storage life due to lower self-discharge, 10–20 years storage time. FeS<sub>2</sub> is cheap. Cathode often designed as a paste of iron sulfide powder mixed with powdered graphite. Variant is Li-CuFeS<sub>2</sub>.</i>  |  |                 |                      |            |      |
| <b>Li-SOCl<sub>2</sub></b><br>(IEC code: E)       | <u>Thionyl chloride</u>  | <u>Lithium tetrachloroaluminate</u> in <u>thionyl chloride</u>   | 3.5 V           | 3.65 V               | 500–700    | 1200 |
|   | <i>Liquid cathode. For low temperature applications. Can operate down to -55 °C, where it retains over 50% of its rated capacity. Negligible amount of gas generated in nominal use, limited amount under abuse. Has relatively high internal impedance and limited short-circuit current. High energy density, about 500 Wh/kg. Toxic. Electrolyte reacts with water. Low-current cells used for portable electronics and memory backup. High-current cells used in military applications. In long storage, forms <u>passivation layer</u> on anode, which may lead to temporary voltage delay when put into service. High cost and safety concerns limit use in civilian applications. Can explode when shorted. <u>Underwriters Laboratories</u> require trained technician for replacement of these batteries. Hazardous waste, Class 9 Hazmat shipment.<sup>[9]</sup> Not used for consumer or general-purpose batteries.</i> |  |                 |                      |            |      |



| Chemistry   | Cathode  | Electrolyte  | Nominal voltage | Open-circuit voltage  | Wh/kg | Wh/L |
|---|--|--|-----------------|---|-------|------|
| Li-SOCl <sub>2</sub> , BrCl, Li-BCX<br>(IEC code: E)                | <u>Thionyl chloride</u> with <u>bromine chloride</u>   | <u>Lithium tetrachloroaluminate</u> in thionyl chloride  | 3.7–3.8 V       | 3.9 V   | 350   | 770  |
|   | Liquid cathode. A variant of the thionyl chloride battery, with 300 mV higher voltage. The higher voltage drops back to 3.5 V soon as the bromine chloride gets consumed during the first 10–20% of discharge. The cells with added bromine chloride are thought to be safer when abused.  |  |                 |   |       |      |
| Li-SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>                                  | <u>Sulfuryl chloride</u>   |  | 3.7 V           | 3.95 V  | 330   | 720  |
|   | Liquid cathode. Similar to thionyl chloride. Discharge does not result in build-up of elemental sulfur, which is thought to be involved in some hazardous reactions, therefore sulfuryl chloride batteries may be safer. Commercial deployment hindered by tendency of the electrolyte to corrode the lithium anodes, reducing the shelf life. <u>Chlorine</u> is added to some cells to make them more resistant to abuse. Sulfuryl chloride cells give less maximum current than thionyl chloride ones, due to polarization of the carbon cathode. Sulfuryl chloride reacts violently with water, releasing hydrogen chloride and sulfuric acid. <sup>[10]</sup> |  |                 |   |       |      |
| Li-SO <sub>2</sub>  | <u>Sulfur dioxide</u> on <u>teflon-bonded carbon</u>   | <u>Lithium bromide</u> in sulfur dioxide with small amount of <u>acetonitrile</u>  | 2.85 V          | 3.0 V   | 250   | 400  |
|   | Liquid cathode. Can operate down to –55 °C and up to +70 °C. Contains liquid SO <sub>2</sub> at high pressure. Requires safety vent, can explode in some conditions. High energy density. High cost. At low temperatures and high currents, performs better than Li-MnO <sub>2</sub> . Toxic. Acetonitrile forms <u>lithium cyanide</u> , and can form <u>hydrogen cyanide</u> in high temperatures. <sup>[11]</sup> Used in military applications.<br><br>Addition of <u>bromine monochloride</u> can boost the voltage to 3.9 V and increase energy density. <sup>[12]</sup>   |  |                 |   |       |      |
| Li-I <sub>2</sub>   | <u>Iodine</u> that has been mixed and heated with <u>poly-2-vinylpyridine</u> (P2VP) to form a solid organic charge transfer complex.  | A solid monomolecular layer of crystalline <u>Lithium iodide</u> that conducts lithium ions from the anode to the cathode but does not conduct iodine. <sup>[13]</sup> | 2.8 V           | 3.1 V   |       |      |
|   | Solid electrolyte. Very high reliability and low self discharge rate. Used in medical applications that need a long life, e.g. pacemakers. Does not generate gas even under short circuit. Solid-state chemistry, limited short-circuit current, suitable only for low-current applications. Terminal voltage decreases with degree of discharge due to precipitation of <u>lithium iodide</u> .   |  |                 |   |       |      |
| Li-Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>                                 | <u>Silver chromate</u>   | <u>Lithium perchlorate</u> solution  | 3.1/2.6 V       | 3.45 V  |       |      |
|   | Very high reliability. Has a 2.6 V plateau after reaching certain percentage of discharge, provides early warning of impending discharge. Developed specifically for medical applications, for example, implanted pacemakers.  |  |                 |   |       |      |
| Li-Ag <sub>2</sub> V <sub>4</sub> O <sub>11</sub> , Li-SVO, Li-CSVO | <u>Silver oxide+vanadium pentoxide</u> (SVO)   | <u>lithium hexafluorophosphate</u> or <u>lithium hexafluoroarsenate</u> in <u>propylene carbonate</u> with <u>dimethoxyethane</u>                                      |                 |   |       |      |
|   | Used in medical applications, like implantable defibrillators, neurostimulators, and drug infusion systems. Also projected for use in other electronics, such as <u>emergency locator transmitters</u> . High energy density. Long shelf life. Capable of continuous operation at nominal temperature of 37 °C. <sup>[14]</sup> Two-stage discharge with a plateau. Output voltage decreasing proportionally to the degree of discharge. Resistant to abuse.   |  |                 |   |       |      |
| Li-CuO<br>(IEC code: G), "GR"                                       | <u>Copper(II) oxide</u>  | Lithium perchlorate dissolved in dioxolane   | 1.5 V           | 2.4 V   |       |      |
|   | Current use limited. Can operate up to 150 °C. Developed as a replacement of <u>zinc-carbon</u> and <u>alkaline</u> batteries. "Voltage up" problem, high difference between open-circuit and <u>nominal</u> voltage. Produced until the mid-1990s, replaced by lithium-iron sulfide.  |  |                 |   |       |      |
| Li-Cu <sub>4</sub> O(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>                 | <u>Copper oxyphosphate</u>   |  |                 |   |       |      |
|   | See Li-CuO   |  |                 |   |       |      |
| Li-CuS  | <u>Copper sulfide</u>  | Lithium metal  | 1.5 V           | <u>lithium salt</u> or a salt such as <u>tetralkylammonium chloride</u> dissolved in LiClO <sub>4</sub> in an organic solvent that is a |       |      |

| Chemistry   | Cathode                                | Electrolyte  | Nominal voltage | Open-circuit voltage   | Wh/kg | Wh/L |
|---|--|--|-----------------|--|-------|------|
|   |  |  |                 | mixture of 1,2-dimethoxy ethane, 1,3-dioxolane and 2,5-dimethyloxazole as a stabilizer <sup>[15]</sup> |       |      |
| Li-PbCuS  | <u>Lead sulfide and copper sulfide</u> |  | 1.5 V           | 2.2 V  |       |      |
| Li-FeS  | <u>Iron sulfide</u>                    | <u>Propylene carbonate, dioxolane, dimethoxyethane</u> | 1.5–1.2 V       |  |       |      |
| "Lithium-iron", "Li/Fe". used as a replacement for <u>alkaline batteries</u> . See lithium-iron disulfide.  |  |  |                 |  |       |      |
| Li-Bi <sub>2</sub> Pb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   | <u>Lead bismuthate</u>                 |  | 1.5 V           | 1.8 V  |       |      |
| Replacement of <u>silver-oxide batteries</u> , with higher energy density, lower tendency to leak, and better performance at higher temperatures. |  |  |                 |  |       |      |
| Li-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | <u>Bismuth trioxide</u>                |  | 1.5 V           | 2.04 V   |       |      |

## 2.2 Batterie secondarie al litio metallico

Si tratta di batterie ricaricabili (accumulatori) realizzate con Litio metallico quale materiale anodico (Tabella 5). Tra gli esempi riportati, le Litio-aria non sono state ancora commercializzate.

Tabella 5. Esempi di accumulatori al Litio metallico. Fonte: [8]

| Chemistry  | Cathode                   | Electrolyte  | Nominal voltage | Open-circuit voltage   | Wh/kg                    | Wh/L                     |
|--|---------------------------|--|-----------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Li-V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   | <u>Vanadium pentoxide</u> |  |                 | 3.3/2.4 V   3.4 V      | 120/260                  | 300/660                  |
| Two discharge plateaus. Low-pressure. Rechargeable. Used in <u>reserve batteries</u> .   |                           |  |                 |                        |                          |                          |
| Li-CuCl <sub>2</sub>   | <u>Copper chloride</u>    | <u>LiAlCl<sub>4</sub> or LiGaCl<sub>4</sub> in SO<sub>2</sub>, a liquid, inorganic, non-aqueous electrolyte.</u> |                 |                        |                          |                          |
| Rechargeable. This cell has three voltage plateaus as it discharges (3.3 V, 2.9 V and 2.5 V). <sup>[16]</sup> Discharging below the first plateau reduces the life of the cell. <sup>[16]</sup> The complex salt dissolved in SO <sub>2</sub> has a lower <u>vapor pressure</u> at room temperature than pure sulfur dioxide, <sup>[17]</sup> making the construction simpler and safer than Li-SO <sub>2</sub> batteries.   |                           |  |                 |                        |                          |                          |
| Li/Al-MnO <sub>2</sub> , "ML"  | <u>Manganese dioxide</u>  |  |                 | 3 V <sup>[18]</sup>    |                          |                          |
| Rechargeable. Anode is a Lithium-Aluminum alloy. <sup>[19][18]</sup> Mainly marketed by <u>Maxell</u> .  |                           |  |                 |                        |                          |                          |
| Li/Al-V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , "VL"   | <u>Vanadium pentoxide</u> |  |                 | 3 V <sup>[20]</sup>    |                          |                          |
| Rechargeable. Anode is a Li-Al alloy. <sup>[21]</sup>  |                           |  |                 |                        |                          |                          |
| Li-Se  | <u>Selenium</u>           | <u>non-aqueous carbonate electrolytes</u>  |                 | 1.9 V. <sup>[22]</sup> |                          |                          |
| Li-air (Lithium-air battery)   | <u>Porous carbon</u>      | <u>Organic, aqueous, glass-ceramic (polymer-ceramic composites)</u>  |                 |                        | 1800–660 <sup>[23]</sup> | 1600–600 <sup>[23]</sup> |
| Rechargeable. No commercial implementation is available as of 2012 due to difficulties in achieving multiple discharge cycles without losing capacity. <sup>[23]</sup> There are multiple possible implementations, each having different energy capacities, advantages and disadvantages. In November 2015, a team of <u>University of Cambridge</u> researchers furthered work on lithium-air batteries by developing a charging process capable of prolonging the battery life and battery efficiency. Their work resulted in a battery that delivered high energy densities, more than 90% efficiency, and could be recharged for up to 2,000 times. The lithium-air batteries are described as the "ultimate" batteries because they propose a high theoretical energy density of up to ten times the energy offered by regular lithium-ion batteries. They were first developed in a research environment by Abraham & Jiang in 1996. <sup>[24]</sup> The technology, however, as of November 2015, will not be immediately available in any industry and it could take up to 10 years for lithium-air batteries to equip devices. <sup>[25]</sup> The immediate challenge facing scientists involved in its invention is that the battery needs a special porous graphene electrode, among other chemical components, and a narrow voltage gap between charge and discharge to significantly increase efficiency. |                           |  |                 |                        |                          |                          |

### 3 Tecnologie agli ioni litio

La prima cella immessa in commercio è stata prodotta dalla Sony: era l'anno 1991 ed iniziò così la rivoluzione tecnologica della telefonia mobile e del Personal Computer, con tutte le sue declinazioni.

La tecnologia Litio-ione è nata con l'intento di sfruttare le potenzialità del Litio e di andare oltre le caratteristiche di elevata reattività del Litio metallico, realizzando dispositivi di accumulo elettrico più sicuri. Protagonista di questa tecnologia è lo ione Litio ( $\text{Li}^+$ ) e la semireazione (Equazione 1) vista a pagina 4. Gli ioni Litio sono intercalati al catodo dell'accumulatore nello stato di scarica; nel corso della carica, migrano all'anodo attraverso l'elettrolita, dove trovano posizione all'interno della struttura cristallografica del materiale anodico (generalmente Carbonio nello stato allotropico di grafite) (Figura 6): l'origine della tensione di cella (OCV) è la differenza di energia libera tra gli ioni litio presenti all'interno della struttura cristallina dei materiali elettrodi.

Le celle Litio-ione non hanno effetto memoria, hanno una lunga durata (numero di cicli di carica e scarica) e eccellenti prestazioni in scarica: la dotazione di un sistema elettronico di gestione (BMS, *Battery Management System*) ne consente l'adeguamento ai profili di utilizzo energetico di infiniti dispositivi.

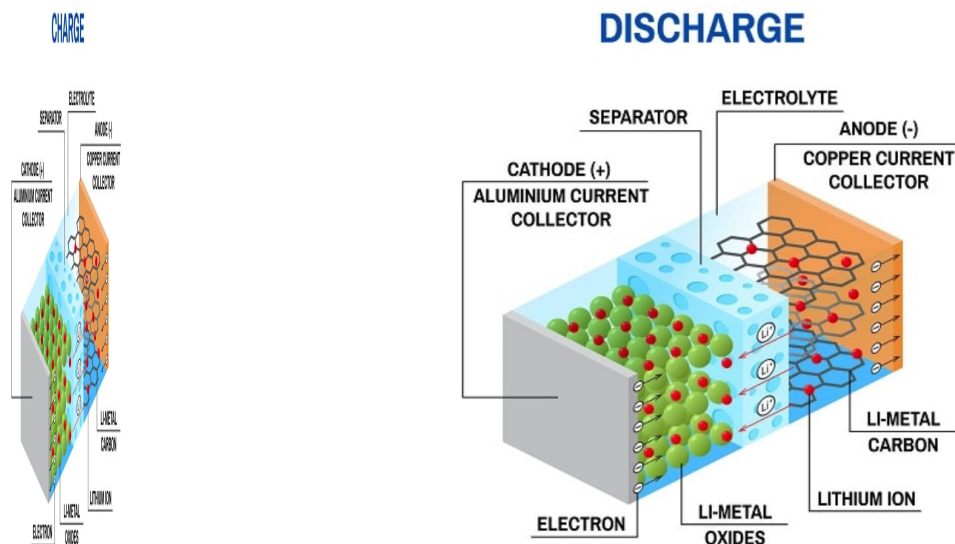


Figura 6. Fonte [9]

Non esistono celle litio-ione standard e perfino le celle che nominalmente appaiono essere le stesse (ad esempio celle con elettrodi di  $\text{LiCoO}_2$  e grafite) possono avere comportamenti significativamente differenti sia in termini di prestazioni elettriche che di sicurezza [10]. La ricerca scientifica e lo sviluppo tecnologico sono, a dir poco, fervidi. E le celle in commercio oggi, nell'arco di sei mesi vengono modificate o sostituite. Qualunque sia la forma esterna (Figura 7), una batteria (o modulo) è riconducibile alla forma planare o cilindrica della cella con collettori metallici e fogli di materiale polimerico realizzati in lunghe strisce o foglietti che si sovrappongono, sui quali sono spalmati i componenti costitutivi (Figura 8): avvolti a spirale (celle cilindriche con contenitore esterno metallico); avvolte a spirale piatta (celle prismatiche con contenitore esterno metallico o in plastica); strati sovrapposti a realizzare una struttura a sandwich (EIG C020) (*pouch cells*, celle con contenitore esterno morbido, tipo *coffee bag*).



Figura 7

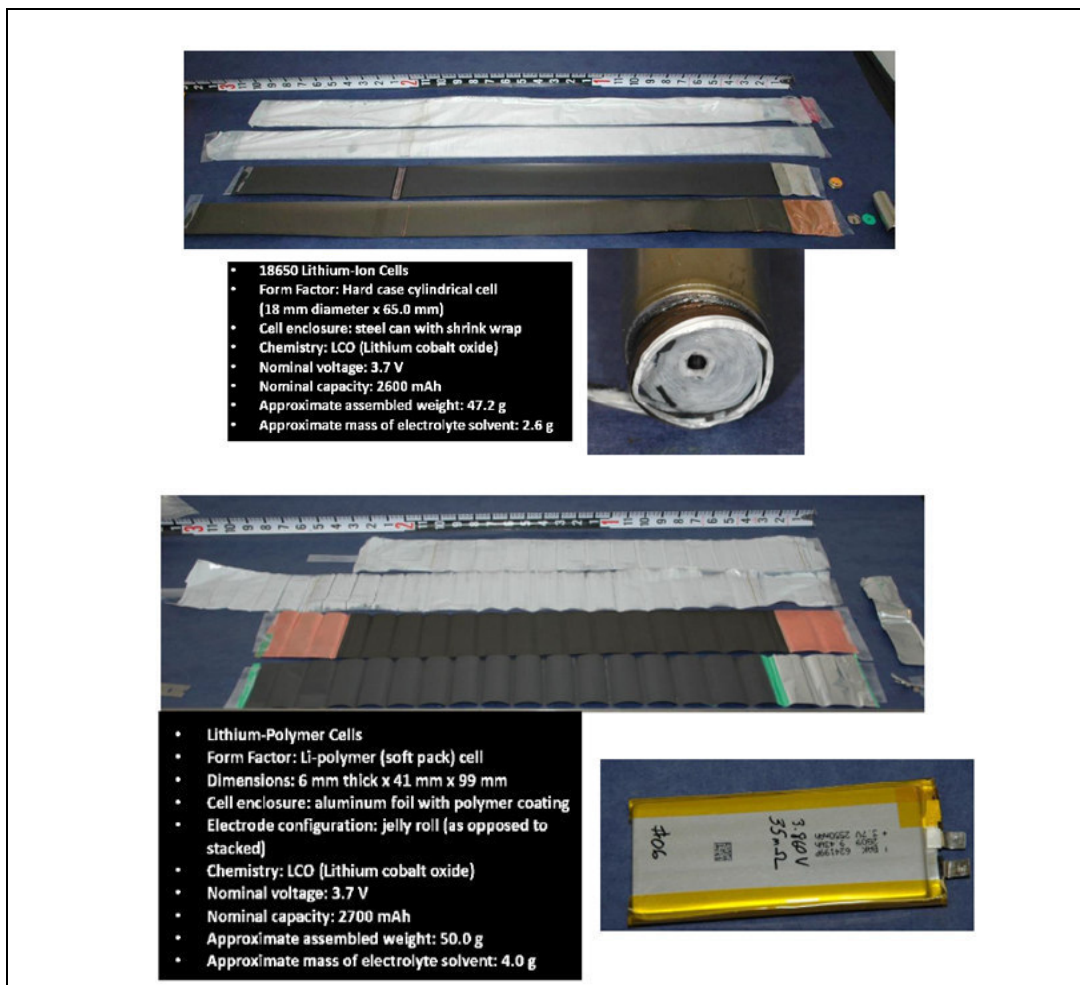


Figura 8. [10]

Dal punto di vista dei componenti principali e dei materiali attivi che li costituiscono [11], una cella Litio-ione è formata da:

- ANODO: elettrodo negativo che, in fase di scarica, eroga elettroni. Generalmente costituito da carbonio/grafite depositato un collettore di corrente in rame
- CATODO: elettrodo positivo che, in fase di scarica, accetta elettroni. Costituito da un ossido di metallo litiato (esempio:  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) depositato su un collettore di corrente di alluminio.

Tipicamente:

- SEPARATORE: un materiale solido polimerico interposto tra anodo e catodo. Esso ha le funzioni di: inibire il flusso diretto degli elettroni tra i due elettrodi prevenendo il corto circuito interno tra anodo e catodo; consentire la conduzione ionica nell'elettrolita liquido grazie alla sua struttura porosa. Esistono separatori dotati di effetto *shut-down* che, all'aumentare della temperatura interna, chiudono i pori inibendo anche la conduzione ionica e quindi sospendendo il funzionamento della cella.
- ELETTROLITA: consente il trasferimento degli ioni litio tra anodo e catodo e viceversa. E' costituito da un sale di litio disciolto in un solvente organico o in una loro miscela.
- DISPOSITIVI DI SICUREZZA.

Per quanto riguarda i dispositivi di sicurezza "a bordo cella", le norme internazionali per il trasporto delle merci pericolose impongono almeno il PTC e il *dispositivo di venting*, come pure il superamento dei test di sicurezza UN 38.3<sup>3</sup>. La normativa tecnica, sebbene adottata su base volontaria, richiede il superamento di prove di abuso specifiche per determinati usi finali. Esercitano queste funzioni, le seguenti soluzioni progettuali (Figura 9 e Figura 10):

- Scelta dei Materiali
- Disco di rottura o valvola di sfiato: oltre determinati valori di pressione, i gas vengono fatti sfiare verso l'esterno attraverso appositi dispositivi, evitando la rottura catastrofica della cella. In alcuni casi (ad es. per celle cilindriche) l'alta pressione interna può portare all'espulsione dei componenti interni della cella con ulteriori danni meccanici da impatto possibili.
- SEI (*solid-electrolyte interphase*): uno strato di protezione/attivazione dell'anodo che si forma durante la prima carica subita dalle celle, generalmente effettuata dal produttore
- PTC (Positive Temperature Coefficient expansion device)
- CID (Current Interruption Devices)
- Separatore con effetto *shut-down*

Nel caso di batterie (o moduli), oltre alla presenza del BMS (*Battery Management System*) necessario per il corretto funzionamento del sistema in termini prestazionali ma, sempre di più, realizzati anche per la prevenzione dei rischi, si associa la corretta progettazione del sistema di gestione del calore (forma della batteria, uso di fluidi refrigeranti (aria o liquidi), uso di PCM (*Phase Changing Materials*) e l'utilizzo di sensori.

Ogni specifica combinazione di chimica catodica, chimica anodica, composizione dell'elettrolita e degli additivi, tipo di separatore dà luogo ad un sistema caratterizzato da determinati valori di: densità di potenza, regimi di carica, capacità, tecniche di gestione della carica, problematiche di sicurezza (stabilità termica) (Tabella 6).

---

<sup>3</sup> Per approfondimenti, si veda il capitolo 6

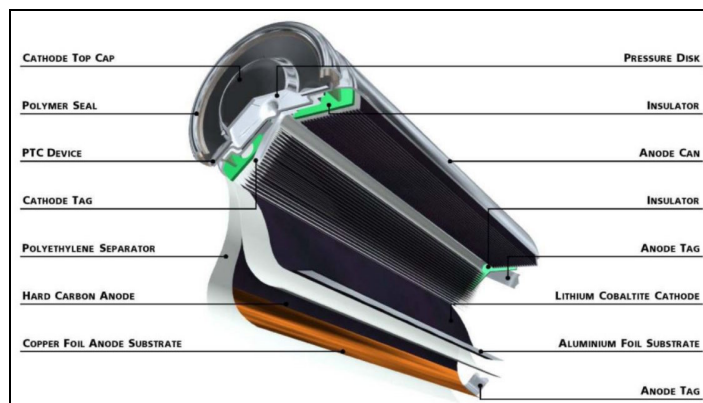


Figura 9. Morfologia di una cella Litio-ione cilindrica. Fonte: TBC Consulting

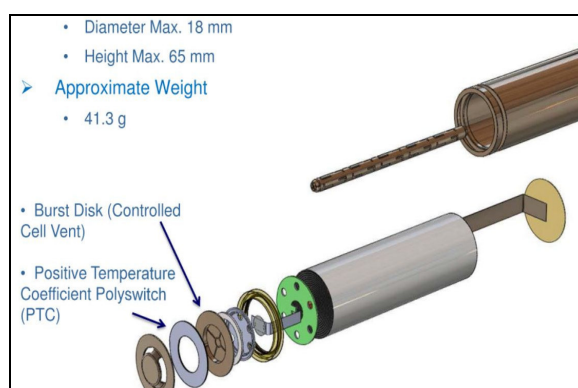


Figura 10. Assemblaggio di una cella Litio-ione cilindrica (18650, 41,3 g circa). Fonte: TBC Consulting

Tabella 6. Confronto tra prestazioni di diversi materiali catodici, anodo in carbonio e anodo LTO [12]

| Cathode Material                       | Typical Voltage (V) | Energy Density      |                   | Thermal Stability |
|--|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
|  |                     | Gravimetric (Wh/Kg) | Volumetric (Wh/L) |                   |
| LiCoO <sub>2</sub> -Cobalt Oxide (LCO) | 3.7                 | 195                 | 560               | Poor              |
| Manganese Oxide (Spinel) (LMO)         | 3.9                 | 150                 | 420               | Good              |
| Nickel Cobalt Manganese Oxide (NCM)    | 3.6                 | 205                 | 580               | Fair              |
| Nickel Cobalt Aluminum Oxide (NCA)     | 3.6                 | 220                 | 600               | Fair              |
| Iron Phosphate (LFP)                   | 3.2                 | 90-130              | 333               | Very Good         |
| <b>LTO batteries</b>                   | 2,2 – 2,3 V         | 60–110              | 177               | Very Good         |

La tecnologia **Litio-cobalto (LCO)** è caratterizzata dall'uso di LiCoO<sub>2</sub> come materiale catodico. Si tratta di una tecnologia matura, collaudata e standardizzata dal punto di vista della produzione industriale. La scarsità del Cobalto, i suoi costi elevati e i pericoli che presenta per l'ambiente e la sua tossicità, ne stanno imponendo la sostituzione. La tensione nominale associata a questo materiale è di 3,7 V.

La tecnologia **Litio-Manganese (LMN)** è caratterizzata dall'uso di LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> quale materiale catodico, cui è associato il range di tensioni nominali 3,8 ÷ 4 V. La densità di energia è inferiore del 20% rispetto alle Litio-cobalto, ma ha costi inferiori e un più ampio range di temperatura di funzionamento. Il materiale catodico è più stabile rispetto alle Litio-cobalto e, quindi, consente di realizzare batterie più sicure. Il Manganese è un elemento chimico più abbondante, meno costoso e meno pericoloso rispetto al Cobalto.

Le batterie **Litio Nichel Cobalto Manganese (NCM)** utilizzano un catodo di  $\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$ , con tensione nominale di circa 3,6V e densità di energia paragonabile alle LCO. Hanno costi inferiori e i produttori utilizzano diverse proporzioni dei tre metalli di transizione, con conseguenze sulla identificazione precisa del materiale catodico (numero CAS) (Figura 11)

La tecnologia **Litio Nichel Cobalto Alluminio (NCA)** utilizza un catodo  $\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$  ed ha proprietà e caratteristiche simili alle precedenti, comprese le problematiche di identificazione della composizione chimica precisa, con rischi specifici inferiori alle LCO.

La tecnologia **Litio Ferro Fosfato (LFP)** è una tecnologia commerciale più giovane delle precedenti, utilizza un catodo  $\text{LiFePO}_4$  e una densità di energia inferiore del 14% rispetto alle LCO. In compenso, ha migliori prestazioni in termini di sicurezza dovute alla maggiore stabilità termica e chimica del materiale catodico, con conseguente maggiore tolleranza all'abuso elettrico (sovraccarica e cortocircuito esterno), termico e meccanico: ciononostante, considerata la presenza di ossigeno e la formulazione dell'elettrolita sostanzialmente identica alle tecnologie sopra esposte, non sono esenti da potenziali reazioni di *runaway*, anche se con temperature di inizio (temperatura di *onset*) più elevate [13]. Le peculiarità di questa tecnologia, le rende adatte per la realizzazione di grandi batterie o sistemi di accumulo stazionario (ESS) con interventi di ingegneria della sicurezza meno pesanti. A fine vita, potenzialmente, il fosforo può essere recuperato per la produzione di fertilizzanti.

Tutte le tecnologie appena elencate, hanno elettrolita e anodo simili. Recentemente lo spinello  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  è stato introdotto come materiale anodico alternativo alla grafite o al carbon coke e viene utilizzato nelle batterie **Litio titanato (LTO)** [14, 15, 16]. Questa tipologia di anodo non deve essere stabilizzato con la formazione del SEI, consente di realizzare celle ad elevata potenza e più stabili, ha una migliore tolleranza alle basse e alle alte temperature, è una tecnologia di pubblico dominio. Dal punto di vista delle prestazioni elettriche, le celle hanno una impedenza più bassa rispetto a quelle realizzate con anodo di carbonio e hanno una vita media di circa 10000 cicli; gli svantaggi sono una tensione nominale di circa 2,5V nel caso di utilizzo di un catodo spinello, ed una densità di energia di circa il 20% inferiore per catodo spinello/anodo LTO. Adatte alla ricarica rapida [16].

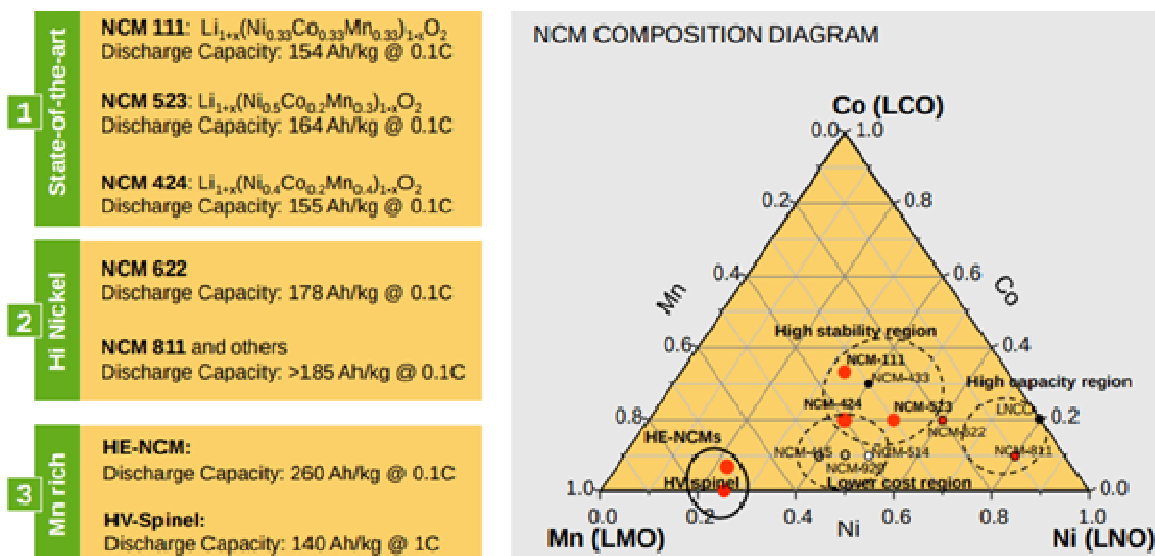


Figura 11. Diverse tipologie di catodo NCM e proprietà [17]

### 3.1 Batterie Litio-polimero (LiPo) e loro tipologie

Una batteria ai polimeri di litio [18] (*lithium polymer battery* o, più correttamente, *lithium-ion polymer battery*), il cui nome può essere abbreviato con le seguenti sigle e denominazioni: **LiPo**, **LIP**, **Li-poly**, **lithium-poly**, è una batteria litio-ione ricaricabile che utilizza un elettrolita polimerico invece di un elettrolita liquido.

Generalmente piatte e di forma rettangolare, hanno un contenitore esterno flessibile. Ma, utilizzando la struttura a sandwich, possono essere realizzate nelle forme più bizzarre (Figura 12). Usate di frequente

nella telefonia cellulare, nei tablet e in altri dispositivi portatili. Rispetto alle celle Litio-ione con elettrolita liquido (nelle quali l'elettrolita è costituito da sale di Litio disciolto in solventi organici ossigenati e assorbito su un film microporoso, di materiale polimerico (polietilene (PE) o polipropilene (PP)), le LiPo hanno migliore tolleranza all'abuso dovuta, *in primis*, all'assenza di solventi organici liquidi (migliore tolleranza ad abuso termico).

Le LiPo contengono, oltre al separatore, **un elettrolita solido polimerico** (*solid polymer electrolyte*, **SPE**) come il *poly(ethylene oxide)* (PEO), oppure *poly(acrylonitrile)* (PAN), *poly(methyl methacrylate)* (PMMA) o *poly(vinylidene fluoride)* (PVdF), che può essere cristallizzato o gelificato mediante reazione con il sale di Litio (LiPF<sub>6</sub> e altri) conduttivo.

L' elettrolita solido (SPE) può essere tipicamente classificato in tre tipologie: **solido, gel e poroso**, dando luogo a due classi di LiPo [19]:

- A. LiPo ibride, nelle quali l'elettrolita è costituito da un sale di litio disciolto in solventi organici che formano un gel con il separatore polimerico
- B. LiPo allo stato solido, nelle quali l'elettrolita è formato da un sale di litio+ un polimero di litio

Spesso, in modo non appropriato, con la locuzione "batteria Litio-polimero" (LiPo) (*lithium polymer cells*) sono individuate tutte le celle a bustina (*Lithium-pouch cells*) [20], incluse quelle con elettrolita liquido (soluzione sale di litio in solventi organici solidi/liquidi) [21].

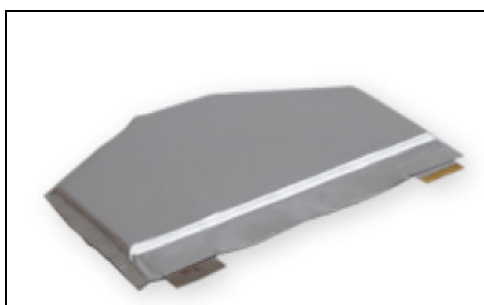


Figura 12. Una cella LiPo a 6 lati [18]

### 3.1.1 Elettrolita solido (dry SPE)

Utilizzato, intorno al 1978, nei prototipi realizzati da Michel Armand, Domain University e, nel 1985, da ANVAR e Elf Aquitaine of France, e dalla Hydro Quebec in Canada.

Le celle LiPo realizzate con questo elettrolita sono anche denominate *All-solid-state (ASS) lithium-ion battery (ASSB)*.

*A solid polymer electrolyte (SPE) is a solvent-free salt solution in a polymer medium. It may be, for example, a compound of lithium bis(fluorosulfonyl)imide (LiFSI) and high molecular weight poly(ethylene oxide) (PEO) [22], or a high molecular weight poly(trimethylene carbonate) (PTMC) [23]. All-solid-state (ASS) lithium-ion battery [24] (ASSB) has attracted great attention due to its high safety and increased energy density. One of key components in the ASS battery (ASSB) is solid electrolyte that determines performance of the ASSB. Many types of solid electrolytes have been investigated in great detail in the past years, including NASICON-type, garnet-type, perovskite-type, LISICON-type, LiPON-type, Li<sub>3</sub>N-type, sulfide-type, argyrodite-type, anti-perovskite-type and many more. This paper aims to provide comprehensive reviews on some typical types of key solid electrolytes and some ASSBs, and on gaps that should be resolved.*

**Solid electrolytes (ceramic and polymeric)** [25] can lead to improved safety because they eliminate the possibility of flammable liquid electrolyte solvent leaking from an unsealed cell. Solid electrolytes generally have the disadvantage of having lower ionic conductivity than liquid electrolytes, which results in lower power output. A number of different solid electrolytes have been investigated.



### 3.1.2 Elettrolita gel (gelled SPE) – LiPo ibride

Dal 1990, molte organizzazioni hanno realizzato batterie con tecnologia gel, come Mead and Valence (USA) e GS Yuasa (Giappone). Le celle EiGC020 [26] sono sistemi ibridi.

*The simplest approach is to use a polymer matrix, such as polyvinylidene fluoride (PVdF) or poly(acrylonitrile) (PAN), **gelled** with conventional salts and solvents, such as LiPF<sub>6</sub> in EC/DMC/DEC. Nishi mentions that Sony started research on lithium-ion cells with gelled polymer electrolytes (GPE) in 1988, before the commercialization of the liquid-electrolyte lithium-ion cell in 1991 [27].*

*[...] Scrosati [28] argues that, in the strictest sense, gelled membranes cannot be classified as "true" polymer electrolytes, but rather as **hybrid systems** where the liquid phases are contained within the polymer matrix. Although these polymer electrolytes may be dry to the touch, they can still contain 30% to 50% liquid solvent. In this regard, how to really define what a "polymer battery" is remains an open question. Other terms used in the literature for this system include hybrid polymer electrolyte (HPE), where "hybrid" denotes the combination of the polymer matrix, the liquid solvent and the salt [29].*

***Gelled polymers** [25] that have shown the highest conductivities include **Li<sub>1+x</sub>Al<sub>x</sub>Ge<sub>2-x</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (LAGP)** and **poly(vinylidene fluoride)-hexafluoropropylene (PVdF-HFP)**. However, these have some disadvantages over other potential solid electrolytes, such as lower mechanical strength or reduced electrode compatibility. **Poly(ethylene oxide) hosting a lithium salt** is one example of the many polymer-based electrolytes that have been investigated (Scrosati & Garche, 2010). A practical problem in using this solid electrolyte is that its ionic conductivity is high only at temperatures above 70°C.*

*It has been reported that **LiPON (lithium phosphorus oxinitride)** is a solid electrolyte that is already in use in Li-ion micro batteries (Knauth, 2009). Overall, conductivity using this type of electrolyte may be too low for use in automotive applications.*

### 3.1.3 Elettrolita poroso (porous SPE)

Nel 1996 la Bellcore (USA) ha annunciato la realizzazione di una cella Litio-ione con SPE poroso [30].



Figura 13. Cella LiPo ibrida EiG C020

### 3.2 Accumulatori Litio-ione: approfondimenti sulla composizione chimica

Gli accumulatori Litio-ione, sono sostanzialmente “batterie a concentrazione” nelle quali il potenziale redox è funzione della concentrazione degli ioni litio all’anodo e al catodo. **Il processo di intercalazione e de-intercalazione** dello ione litio all’interno dei materiali che costituiscono l’anodo e il catodo (materiali attivi), è alla base del funzionamento delle batterie Litio-ione (LIB).

Le reazioni elettrochimiche di litiazione/de-litiazione dipendono dalla composizione chimica e dalla struttura cristallina e particellare dei materiali attivi.

In accordo con lo IUPAC [31] (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) l’ente che, a livello internazionale, stabilisce le regole per la nomenclatura dei composti chimici, si definisce “Reazione di intercalazione”, una reazione generalmente reversibile che coinvolge l’introduzione di una specie chimica all’interno di una struttura ospite senza che ne consegua una rilevante modifica di tale struttura, sia in termini di dimensioni spaziali che di natura chimica. L’intercalazione può avvenire all’interno di una struttura monodimensionale, bidimensionale (ad esempio, i piani di grafite che costituiscono il materiale anodico) o tridimensionale (Figura 14). All’interno della struttura ospite, la specie intercalata occupa posizioni specifiche. I materiali elettrodici corrispondenti a queste definizioni, sono elencati in Tabella 7.

La capacità specifica di questi materiali, in termini di numero di ioni in grado di ospitare per unità di volume o massa, è vincolata al numero di siti disponibili. Modifiche volumetriche molto piccole del reticolo cristallino (una differenza del 5-10% di alterazione del reticolo cristallino tra lo stato delitiato e lo stato litiato del materiale ospite) implicano una lunga vita del materiale, in termini di cicli di carica e scarica.

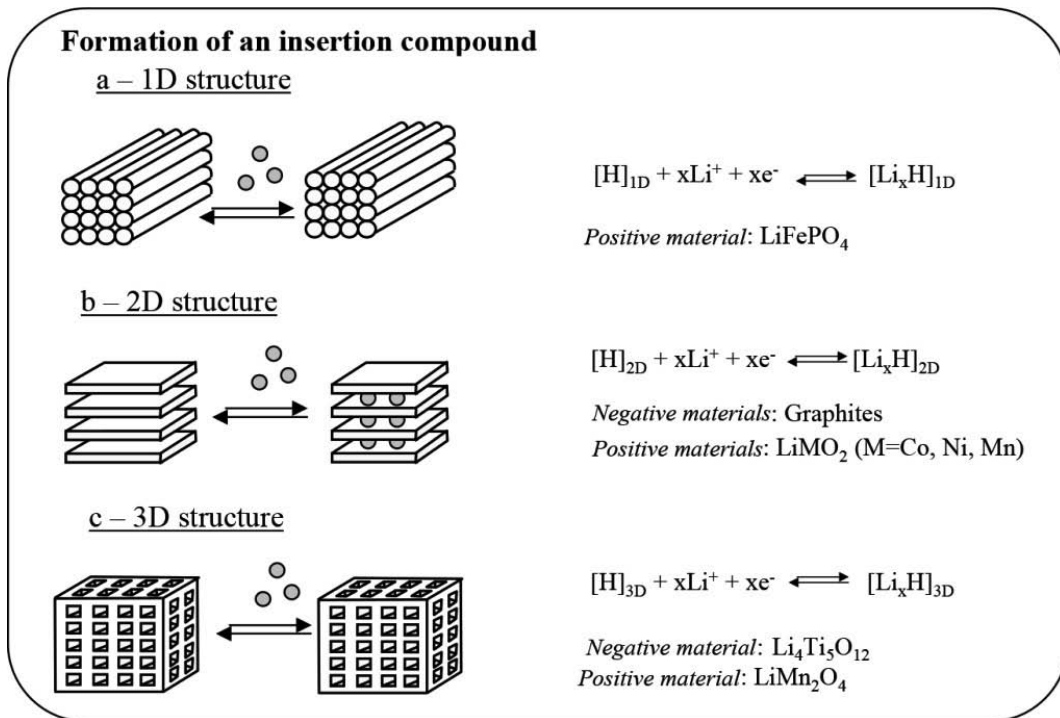


Figura 14

Tabella 7.

|                     |  |   |
|---------------------|--|---|
| <b>Struttura 1D</b> | ANODO: grafite lamellare<br><br>CATODO: ossidi binari del tipo LiMO <sub>2</sub> (dove: M = Co, Ni, Mn); ossidi ternari LiNiCoAlO <sub>2</sub> | La reazione di litiazione/de-litiazione avviene per inserimento del Litio tra piani cristallini o strati di materiale |
| <b>Struttura 2D</b> | ANODO: Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub><br><br>CATODO: LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ; NMC, NMO                              | La struttura cristallina di questi composti contiene delle vacanze (cavità) in grado di ospitare lo ione litio.       |
| <b>Struttura 3D</b> | CATODO: fosfati litiati quali il LiFePO <sub>4</sub> o il LiFeyM(1-y)PO <sub>4</sub> (dove M = Mn, Co, etc.),                                  |   |

### 3.2.1 Materiali catodici

Il catodo di una LIB è costituito da una miscela di 3 materiali, depositata su collettore di Alluminio : **materiale attivo** (ossido metallico litiato o fosfato misto di litio); **legante polimerico** (*polymer binder*) (PVDF, poliviliden fluoruro, carbossimetilcellulosa, gomma Stirene/butadiene da soli o in miscela); **riempitivo conduttivo**, come il *carbon black*.

I materiali attivi aderiscono al collettore metallico, ma talvolta viene effettuato un *coating* degli elettrodi per diminuire la probabilità di corto circuito interno.

Questi materiali sono realizzati mediante processi industriali standard dell'industria inorganica. Nella maggior parte dei casi, gli assemblatori di celle non coincidono con i produttori delle sostanze chimiche utilizzate nelle celle.

I materiali catodici di uso commerciale, appartengono a tre principali strutture molecolari, che corrispondono alle tre tipologie di composti interstiziali trattati al paragrafo precedente (Figura 15):

- struttura ordinata o a strati tipo cloruro di sodio<sup>4</sup> (1D)
- struttura tipo spinello (Cristallo ottaedrico) [32] (2D)
- Struttura tipo olivina (La struttura dell'olivina è quella caratteristica della silice cristallina, costituita da tetraedri isolati di  $\text{SiO}_4$  collegati da cationi interstiziali in coordinazione ottaedrica) [33] (3D)

La Tabella 8 fornisce alcuni interessanti dettagli sui principali materiali catodici. Mentre la Tabella 9 fornisce info sulle caratteristiche elettriche e prestazionali di questi materiali.

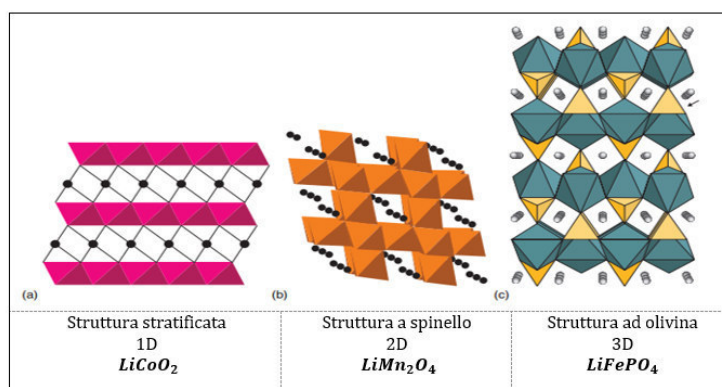


Figura 15.

<sup>4</sup> Rock salt also known as NaCl is an ionic compound. It occurs naturally as white cubic crystals. The structure of NaCl is formed by repeating the unit cell. It has an organized structure and has a 1:1 ratio of Na:Cl.

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic\\_Chemistry/Map%3A\\_Inorganic\\_Chemistry\\_\(Housecroft\)/06%3A\\_Structures\\_and\\_energetics\\_of\\_metallic\\_and\\_ionic\\_solids/6.11%3A\\_Ionic\\_Lattices/6.11A%3A\\_Structure\\_-\\_Rock\\_Salt\\_\(%5C\(NaCl%5C\)\)](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Map%3A_Inorganic_Chemistry_(Housecroft)/06%3A_Structures_and_energetics_of_metallic_and_ionic_solids/6.11%3A_Ionic_Lattices/6.11A%3A_Structure_-_Rock_Salt_(%5C(NaCl%5C)))

Tabella 8. Panoramica delle tipologie di materiale catodico [25]

| Structure | Cathode Type                                 | Chemistry                                    | Details  |
|-----------|--|--|--|
| Layered   | Li-Cobalt LCO<br>(Lithium Cobalate)          | $\text{LiCoO}_2$                             | The majority of portable chemistries use this cathode material, along with a graphite carbon anode. This combination provides for high energy density and a long run time. However, the chemistry provides a relatively low discharge current. It has been reported that, after 24 to 36 months of cycling, the pack often becomes unserviceable due to a large voltage drop under load that is caused by high internal resistance (Battery World, 2012).  |
|           | Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide<br>NCA  | $\text{LiNiCoAlO}_2$                         | Reports suggest that NCA is somewhat safer than $\text{LiCoO}_2$ , largely by virtue of the fact that it has a slightly lower voltage at full charge and therefore a larger margin to accept overcharge. It has been further suggested that NCA also has far superior life characteristics, both on float and in cycling, and is therefore the positive material of choice for many automobile manufacturers for the next generation of hybrid electric vehicles (McDowall, 2008).   |
| Spinel    | Li-Manganese LMO<br>(Lithium Manganate)      | $\text{LiMn}_2\text{O}_4$                    | The manganese possesses a three-dimensional spinel structure that improves the ion flow between the electrodes. High ion flow lowers the internal resistance and increases loading capability. The resistance stays low with cycling; however, the battery does age and the overall service life is similar to that of cobalt. It has been reported that Spinel has an inherently high thermal stability and needs less safety circuitry than a cobalt system (Battery World, 2012). Low internal cell resistance is the key to high rate capability. One of the shortcomings of this system is the lower capacity compared to the cobalt-based system. Spinel provides a capacity that is about half that of the cobalt equivalent. But, spinel still provides an energy density that is about 50% higher than that of a nickel-based equivalent. |
|           | Lithium Nickel Manganese Cobalt<br>NMC       | $\text{LiNiMnCoO}_2$                         | Tends to be more stable, and therefore more resistant to overcharging, than LCO. Rapidly loses capacity through cycling.   |
|           | Lithium Nickel Manganese Oxide               | $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ | Its primary advantage is that it can reach an operating voltage of 5V, which leads to a significant increase in energy density. An obstacle to its practical use is that organic carbonate electrolytes typically used in Li-ion batteries are not compatible with voltages approaching 5V (Scrosati & Garche, 2010).  |
| Olivine   | Li-Phosphate LFP<br>(Lithium Iron Phosphate) | $\text{LiFePO}_4$                            | Exception to the rule that a cathode material must have high ionic and electronic mobility. This material achieves adequate lithium transport by using electrode materials with nano-sized particles. For a significant improvement in safety in a positive electrode material, it has been suggested to move away from oxide materials to ones based on phosphates. Phosphate bonds are much stronger than those in oxides, with the result that when abusively overcharged, $\text{LiFePO}_4$ cells release very little energy. Cells using $\text{LiFePO}_4$ have reasonable calendar life and excellent cycling characteristics as long as they are operated at moderate temperatures. It has been further suggested, however, that there is a tradeoff between the added safety and lower energy density (McDowall, 2008).                    |

**Tabella 9. Panoramica dei materiali catodici per le LIB: proprietà elettriche, resistenza all'abuso, costi, produttori, produttori batterie e uso previsto [7]**

|   |                     | LiCoO <sub>2</sub><br>(LCO)   | LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub><br>spinel<br>(LMO)                                | LiNi <sub>0.8</sub><br>Co <sub>0.15</sub><br>Al <sub>0.05</sub> O <sub>2</sub><br>(NCA) | LiNi <sub>0.33</sub><br>Mn <sub>0.33</sub><br>Co <sub>0.33</sub> O <sub>2</sub><br>(NMC, MNC) | LiNiO <sub>2</sub><br>(LNO)  | LiFePO <sub>4</sub><br>(LFP)   | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Li <sub>2</sub> S <sub>8</sub> |
|---|---------------------|---|--|---|---|--|--|-------------------------------|--------------------------------|
| Cell voltage  | V                   | 3.7   | 3.8  | 3.7   | 3.7   | 3.2–4.2  | ~3.5   | ~3<br>(LiAl)                  | 2.1                            |
| Potential vs. Li/Li <sup>+</sup>                            | V                   | 3.0–4.4   | 3.0–4.5  | –   | –   | –  | –  | 1.9–3.4                       | 2.23                           |
| Theoretical capacity  | Ah kg <sup>-1</sup> | 274   | 296  | –   | –   | 192  | 168  | 442                           | 1675<br>(sulfur)               |
| Practical capacity  | Ah L <sup>-1</sup>  | 706   | 634  | –   | –   | 919  | –  | 495                           | –                              |
| Specific energy:  | Ah kg <sup>-1</sup> | ~140  | ~120   | ~190  | ~160  | –  | –  | –                             | ~1300                          |
| Energy density:   | Wh kg <sup>-1</sup> | 90–180  | 160  | 140   | <180  | High   | 80–120   | <125                          | ~150                           |
| Specific power:   | Wh L <sup>-1</sup>  | 220–350   | 270  | –   | –   | –  | –  | –                             | <400                           |
| Stability (cycle life)                                      | W kg <sup>-1</sup>  | 760   | 1800   | High  | Fair  | Fair   | High   | –                             | –                              |
| Safety  |                     | ~1000   | >1000  | Fair  | Fair  | Fair   | >4000  | >100                          | –                              |
| Cost  |                     | Fair  | Good   | Fair  | Fair  | Fair   | Safe   | –                             | –                              |
| Material specialists<br>(sorted by market<br>share in 2011) |                     | High  | Low  | High  | High  | Fair   | Fair   | –                             | –                              |
| Battery producers<br>(sorted by produced<br>mass in 2011)   |                     | Nichia,<br>Umicore<br>Korea, and<br>60% others  | JGC, Nippon<br>denko, Nichia,<br>Shenzhen<br>Yuan Yuan,<br>BYD, and 34<br>% others | Sumi-tomo,<br>Nihon<br>Kagaku<br>Sangyo, Toda<br>Kogyo,<br>Ecopro, and 1<br>% others    | Umicore Korea,<br>Nichia, Sony,<br>3 M, Panasonic,<br>and 17 % others                         | –  | ALEES,<br>TATUNG,<br>BYD, A123,<br>Formosa,<br>Johnson<br>Matthey, Sony,<br>and 37 %<br>others | –                             | –                              |
| Applications small<br>mobile devices                        |                     | Sanyo, SDI,<br>LG Chem,<br>BAK,<br>Panasonic,<br>Sony, Lishen,<br>Maxell, ATL,<br>BYD | LG Chem,<br>Sanyo, Sony,<br>Lishen, BYS,<br>SDI, NEC,<br>Maxell                    | Panasonic,<br>Sony, SDI,<br>Sanyo, SAFT   | SDI, Sanyo,<br>LGC, Sony,<br>Lishen,<br>Panasonic,<br>Kokam, NEC                              | Saft,<br>Johnson<br>Control,<br>Panasonic,<br>American<br>Lithium,<br>Samsung<br>SDI | BYD, A123,<br>Lishen, Sony,<br>SDI, LGC, and<br>others   | –                             | –                              |
| Electric vehicles   |                     | X   | –  | –   | –   | –  | –  | –                             | –                              |
|   |                     | –   | X  | X   | X   | –  | X  | –                             | –                              |

1 Ah kg<sup>-1</sup> = 1 mAh g<sup>-1</sup>; 1 Wh kg<sup>-1</sup> = 3.6 J g<sup>-1</sup>. E(Li/Li<sup>+</sup>) ≈ -3 V SHE.

### 3.2.2 Materiali anodici e SEI (Solid Electrolyte interface)

I materiali anodici [34] possono essere suddivisi in tre gruppi:

- 1) materiali da intercalazione/de-intercalazione (materiali basati sul carbonio e Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)
- 2) materiali *alloy/de-alloy* (per esempio: Si, Ge, Bi, Sn)
- 3) materiali di conversione (NiO e CuO)

Normalmente, l'anodo di celle litio ione è costituito da materiali a base di carbonio depositati su collettore di Rame: grafene, grafite e carbon black. Inizialmente è stato impiegato coke (capacità di 180 mAh/g); solo successivamente l'interesse si è spostato verso la **grafite** per la sua grande capacità (372 mAh/g). In Tabella 10 si presentano le proprietà dei principali materiali anodici.

La struttura di questi materiali può essere orientata in modo planare (grafite), in forma cristallina o sferoidale. La grafite è uno dei materiali anodici più comunemente utilizzati: esso accumula il litio molto bene all'interno della sua struttura e si mantiene stabile a lungo.

In alcuni casi, viene utilizzato il litio titanato (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>). Esso ha un potenziale meno negativo rispetto alla grafite e questo consente agli ioni di litio di essere trattiene in modo più stabile e rendere meno probabile la reazione con l'elettrolita. Nel caso di questo tipo di materiale, non è necessario produrre il SEI e la cella è più stabile a tensioni più elevate.

Durante il primo ciclo nelle batterie litio ione, sul catodo e sull'anodo viene formato uno strato di protezione semi permanente denominato SEI (*solid electrolyte interface*), che ha un'importanza rilevante per le prestazioni della tecnologia. Questo è perché l'elettrodo di grafite ha un potenziale così negativo che gli ioni litio che si trovano tra gli strati di carbonio possono reagire immediatamente con il solvente dell'elettrolita: tale reattività può essere tenuta sotto controllo dalla formazione del SEI (Figura 16). Il SEI è

permeabile agli ioni di litio ma non all'elettrolita, e, dunque, la sua stabilità è un requisito importante per la lunghezza della vita operativa. La reazione di formazione di questo strato di passivazione, viene condotta a temperatura ambiente sul luogo di produzione delle celle, mediante un primo ciclo di carica.

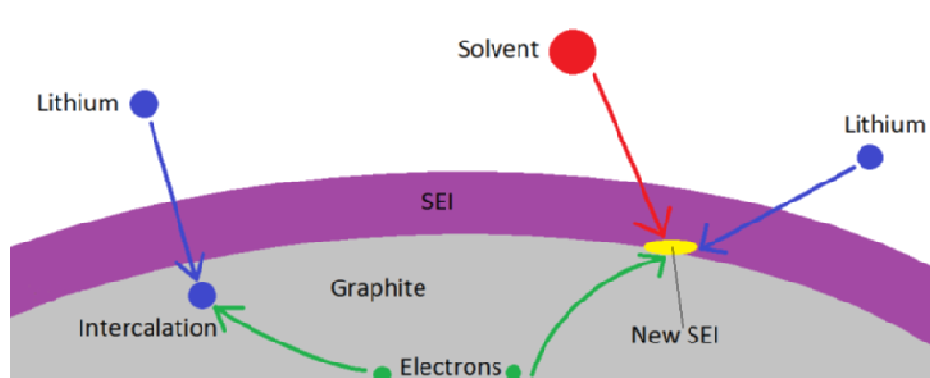
La reazione è esotermica e ha come co-prodotti la formazione di sostanze a basso peso molecolare contenenti C, H e O, derivanti dalla decomposizione dell'elettrolita, alcuni dei quali sono infiammabili: idrocarburi a catena corta, ossido di carbonio, eccetera.

Per favorire la cinetica di formazione del SEI e la sua omogeneità, nonché impedire che la reazione diverga, questo processo deve essere eseguito in condizioni controllate e in tempi lunghi.

Fenomeni di invecchiamento, presenza di impurezze, abusi meccanici, ecc, ovvero tutte le cause che possono portare alla degradazione del SEI o a sue fessurazioni (vedi formazioni di dendriti), costituiscono la ragione di molti degli incidenti e dei problemi di sicurezza delle LIB e delle LiPo con elettrolita liquido. In particolare, a particolari valori della tensione di cella [10], le miscele di carbone litiato (o il litio metallico che è formalmente presente tra i piani di grafite a causa della condivisione degli elettroni p del Carbonio) e l'elettrolita organico sono termodinamicamente instabili e, nel caso di fessurazioni o disomogeneità, entrano in contatto e reagiscono tra loro, provocando la decomposizione autocatalitica dell'elettrolita, ovvero il *Thermal Runaway* di cui, questo fenomeno, ne costituisce una delle cause iniziatrici.

**Tabella 10. Principali materiali anodici e loro proprietà [11]**

| Anode Type            | Chemistry               | Details  |
|-----------------------|-------------------------|--|
| Carbon                | $C \rightarrow C_xLi_x$ | The most common form of anode, carbon electrodes provide a stable surface morphology that stores lithium well within its structure and maintains stability over a long cycle life. A wide variety of carbons are used as negative electrodes today. Common forms include graphene, graphite, and carbon black. These forms can be oriented as planar, whiskers, or spherules.  |
| Lithium Titanate LTO  | $Li_4Ti_5O_{12}$        | Lithium titanate negative material operates at a higher (less negative) voltage, at which Li-ions are stable with respect to the electrolyte. The higher negative electrode voltage leads to lower cell voltage, so energy and power density suffer accordingly. An SEI does not form and the overheating problem (for the anode) is eliminated, allowing cells to be charged at a much higher rate, sometimes in as little as 5 minutes. (McDowall, 2008) |
| Sn-Co-C ternary alloy |                         | Scrosati and Garche (2010) suggest that this material is already in use as an anode material in a commercial battery.  |
| Silicon               | Si                      | Silicon achieves a 20 to 30% increase in specific energy at the cost of lower load currents and reduced cycle life due to the large volume change upon lithiation (Munao, van Erven, Valvo, Garcia-Tamayo, & Kelder, 2011; Oumellal et al., 2011).   |



**Figura 16. Meccanismo di funzionamento del SEI [34]**

### 3.2.3 Elettrolita

L'elettrolita è il mezzo attraverso il quale avviene il trasporto degli ioni Litio da un elettrodo all'altro durante la carica e la scarica di una batteria. Nelle LIB è costituito da: un **sale di Litio**; un **solvente organico** costituito da una sostanza o da una miscela di sostanze chimiche; **additivi** aggiunti per migliorare la performance e la durata della batteria, e per migliorarne la sicurezza (resistenza alla sovra-carica, ritardanti di fiamma, ecc.).

Generalmente è allo stato liquido, mentre negli accumulatori LiPo può essere gelificato (LiPo ibride, tipo celle EIG C020) o solido (vedi paragrafo 3.1).

#### 3.2.3.1 Sali di Litio

Sono molti i Sali che sono stati studiati per l'utilizzo nelle LIB [35] (Tabella 11): molti di questi composti sono corrosivi, irritanti o tossici.

Generalmente viene utilizzato l'esafluorofosfato di Litio LiPF<sub>6</sub>, che ha scarsa stabilità ed è reattivo con l'acqua: a contatto con l'umidità ambientale o con tracce di acqua che possono essere presenti nell'elettrolita, il LiPF<sub>6</sub> si idrolizza con formazione di acido fluoridrico (HF), estremamente velenoso e corrosivo sia in soluzione acquosa che nello stato gassoso. Inoltre [11], la miscela di LiPF<sub>6</sub> e EC/DMC consente alle LIB di operare con sicurezza fino a 50°C: a temperature più elevate, la soluzione diventa instabile e la reazione tra sale di Litio e solventi porta alla formazione di prodotti gassosi anche infiammabili e aumento della pressione interna [36].

Tabella 11. Sali di litio e principali caratteristiche di pericolo [35]

| Salt   | Formula  | Hazard             |
|--|--|--------------------|
| Lithium Hexafluorophosphate                  | LiPF <sub>6</sub>  | Corrosive, Toxic   |
| Lithium Tetrafluoroborate                    | LiBF <sub>4</sub>  | Corrosive, Harmful |
| Lithium Hexafluoroarsenate                   | LiAsF <sub>6</sub>   | Toxic              |
| Lithium Iodide                               | LiI  | ----               |
| Lithium Trifluoromethane Sulfonate           | LiCF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub>  | Irritant           |
| Lithium Bis (Trifluoromethanesulfonyl) Imide | LiN(CF <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>                             | Corrosive, Toxic   |
| Lithium Perchlorate                          | LiClO <sub>4</sub>   | Oxidizer, Irritant |
| Lithium Bis(Oxalato)Borate                   | LiB(C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>                               | Irritant           |
| Tetraethyl-Ammonium Tetrafluoroborate        | (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> NBF <sub>4</sub>                 | Irritant, Harmful  |
| Triethyl-Methyl-Ammonium Tetrafluoroborate   | (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> NBF <sub>4</sub> | Corrosive, Harmful |

#### 3.2.3.2 Solventi

La composizione chimica percentuale della miscela solvente [10] influenza le caratteristiche applicative della cella, come, ad esempio, per applicazioni a temperature molto basse sarà preferibile utilizzare celle con solventi a viscosità più bassa rispetto a quelle ottimizzate per l'impiego a temperatura ambiente.

In Tabella 12 si presentano i solventi più utilizzati, mentre nella Tabella 13 si presenta una lista non esaustiva di composti con i dati relativi alle temperature di infiammabilità e di auto-accensione. In Figura 17 sono raccolte le formule di struttura di alcuni dei solventi elencati in Tabella 13.

I solventi tipicamente impiegati sono *ethylene carbonate* (EC) e *diethyl carbonate* (DEC) in miscela. Ma anche [11] EC con *dimethyl carbonate*. EC permette una efficiente formazione del SEI sull'anodo in carbonio e ha una elevata costante dielettrica che gli consente di portare in soluzione numerose tipologie di Sali di Litio.

EC ha una temperatura di fusione, pari a circa 36°C, più elevata del DMC ed è perciò solido a temperatura ambiente. Il DMC, e gli altri carbonati a catena lineare (Figura 3), sono liquidi a temperatura ambiente, ed hanno una bassa viscosità cui corrisponde una elevata conducibilità ionica.

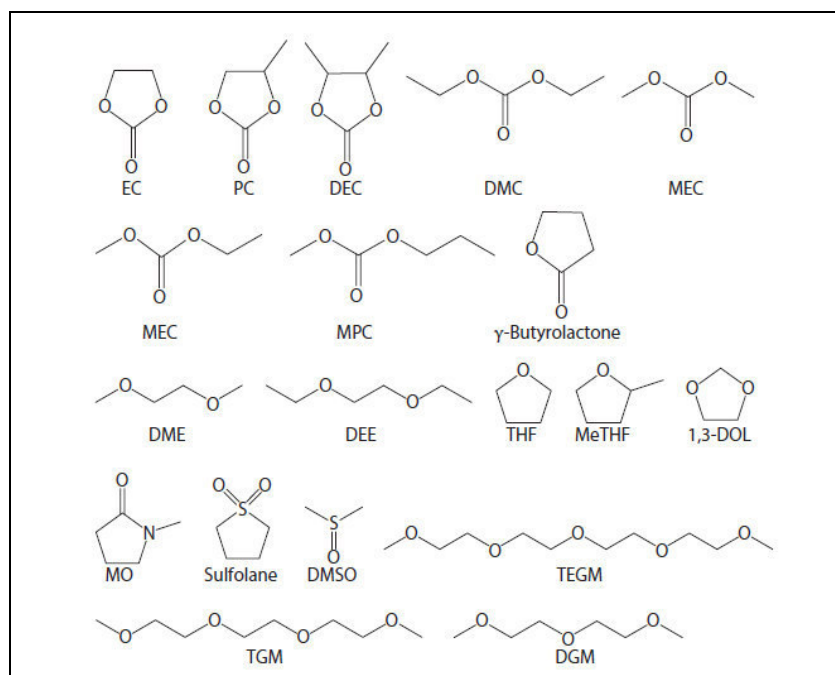
Il DMC mescolato con l'EC ne comporta l'abbassamento del punto di fusione al di sotto della temperatura ambiente, consentendo di ottenere un elettrolita liquido.

La miscela solvente EC/DMC liquida assume tutte le caratteristiche desiderate dei due componenti: formazione efficiente del SEI e alta solubilità dei sali di Litio (EC); bassa viscosità e elevata conducibilità ionica (DMC).

L'EC può essere sostituito, tutto o in parte, con il *propylene carbonate* (PC). Il PC ha una elevata costante dielettrica, consente la formazione del SEI ma in modo meno spiccato dell'EC, diminuendo l'efficienza delle operazioni di carica e scarica.

**Tabella 12. Solventi elettrolitici maggiormente impiegati [35]**

| Solvent                                 | Hazard              | Boiling Point (°C) | Vapor Pressure (mm Hg) |
|---|---------------------|--------------------|------------------------|
| Dimethyl carbonate (DMC)                | Flammable           | 90-91              | 40-42                  |
| Ethyl methyl carbonate (EMC)            | Flammable, Irritant | 107-110            | 8-18                   |
| Diethyl carbonate (DEC)                 | Flammable           | 125-129            | 8.1-8.3                |
| Propylene carbonate (PC)                | Irritant            | 242                | 0.03                   |
| Ethylene carbonate (EC)                 | Irritant            | 247-249            | 0.01                   |
| Dimethoxymethane (DMM)                  | Flammable, Irritant | 41-42              | 300-330                |
| 1,2-Dimethoxyethane (DME)               | Flammable, Toxic    | 84-85              | 44-58.4                |
| 1,2-Diethoxyethane (DEE)                | Flammable, Toxic    | 121-122            | 25.9                   |
| Tetrahydrofuran (THF)                   | Flammable           | 64-66              | 127.5-130              |
| 1,3-Dioxolane                           | Flammable           | 74-78              | 67.5-85.5              |
| $\gamma$ -Butyrolactone ( $\gamma$ -BL) | Harmful             | 204-205            | 0.3                    |



**Figura 17. Struttura molecolare di alcuni solventi organici utilizzati nelle LiB [11]**



**Figura 18. Alcune proprietà chimico fisiche di alcuni solventi organici utilizzati nelle batterie al Litio (Test effettuati a 25°C, salvo diverse indicazioni) [11]**

| Solvent             | m.p. (°C) | b.p. (°C) | Dielectric Constant   | Viscosity (cP)    | Dipole Moment (debye) | D.N. | A.N. | Density (20°C) (g/cm <sup>3</sup> ) | f.p. (°C) |
|---------------------|-----------|-----------|-----------------------|-------------------|-----------------------|------|------|-------------------------------------|-----------|
| AC                  | -44.7     | 81.8      | 38                    | 0.345             | 3.94                  | 14.1 | 18.9 | 0.78                                | 2         |
| EC                  | 39        | 248       | 89.6 <sup>a</sup>     | 1.86 <sup>b</sup> | 4.80                  | 16.4 |      | 1.41                                | 150       |
| PC                  | -49.2     | 241.7     | 64.4                  | 2.530             | 4.21                  | 14.1 | 18.3 | 1.21                                | 135       |
| BC                  | -53       | 240       | 53                    | 3.2               |                       |      |      |                                     |           |
| 1,2-BC              | -53       | 240       | 55.9                  |                   |                       |      |      | 1.15                                | 80        |
| BEC                 |           | 167       |                       | 1.3               |                       | 7.7  | 2.3  | 0.94                                |           |
| BMC                 |           | 151       |                       | 1.1               |                       | 8.4  | 2.5  | 0.96                                |           |
| DBC                 |           | 207       |                       | 2.0               |                       |      | 3.8  | 0.92                                |           |
| DEC                 | -43       | 127       | 2.8                   | 0.75              |                       |      |      | 0.97                                | 33        |
| DMC                 | 3         | 90        | 3.1                   | 0.59              |                       |      |      | 1.07                                | 15        |
| CIEC                |           | 121       |                       | 8.81              |                       |      |      |                                     | >110      |
| CF <sub>3</sub> -EC | -3        | 101       |                       | 5.01              |                       |      |      |                                     | 134       |
| DPC                 |           | 168       |                       | 1.4               |                       | 7.0  |      | 0.94                                |           |
| DIPC                |           | 146       |                       | 1.3               |                       | 7.6  | 2.1  | 0.91                                |           |
| EMC                 | -55       | 108       | 2.9                   | 0.65              |                       |      |      | 1.0                                 | 23        |
| EPC                 |           | 145       |                       | 1.1               |                       | 6.4  | 2.4  | 0.95                                |           |
| EIPC                |           | 90        |                       | 1.0               |                       | 8.2  | 4.8  | 0.93                                |           |
| MPC                 | -43       | 130       | 2.8                   | 0.78              |                       |      |      | 0.98                                | 36        |
| MIPC                | -55       | 118       | 2.9                   | 0.7               |                       | 7.4  | 5.3  | 1.01                                |           |
| γ-Butyrolactone     | -42       | 206       | 39.1                  | 1.751             | 4.12                  | 18.0 | 18.2 | 1.13                                | 104       |
| Methylformate       | -99       | 32        | 8.5                   | 0.33              |                       |      |      | 0.97                                | -32       |
| Ethyl formate       | -80       | 54        | 9.1                   |                   |                       |      |      | 0.92                                | 34        |
| Methyl acetate      | -98       | 58        | 6.7                   | 0.37              |                       | 16.5 |      |                                     |           |
| Ethyl acetate       | -83       | 77        | 6.0                   |                   |                       |      | 0.90 | -4                                  |           |
| Methyl propionate   | -88       | 80        | 6.2                   |                   |                       |      | 0.91 | 6.2                                 |           |
| Ethyl propionate    | -74       | 99        |                       |                   |                       |      | 0.89 | 5                                   |           |
| Methyl butyrate     | -84       | 103       | 5.5                   |                   |                       |      | 0.90 | 14                                  |           |
| Ethyl butanoate     | -93       | 121       | 5.2                   |                   |                       |      | 0.88 | 25                                  |           |
| DME                 | -58       | 84.7      | 4.2 (7)               | 0.455             | 1.07                  | 24   | 10.2 | 0.87                                | -6        |
| DEE                 |           | 124       |                       |                   |                       |      |      |                                     |           |
| THF                 | -108.5    | 65        | 4.25 <sup>a</sup> (8) | 0.46 <sup>a</sup> | 1.71                  | 20   | 8    | 0.89                                | -21       |
| MeTHF               |           | 80        | 6.24                  | 0.457             |                       |      |      |                                     |           |
| DGM                 |           | 162       | 4.40                  | 0.975             |                       | 19.5 | 9.9  |                                     |           |
| TGM                 |           | 216       | 4.53                  | 1.89              |                       | 14.2 | 10.5 |                                     |           |
| TEGM                |           |           | 4.71                  | 3.25              |                       | 16.7 | 11.7 |                                     |           |
| 1,3-DOL             | -95       | 78        | 6.79 <sup>a</sup>     | 0.58              |                       | 18.0 |      | 1.07                                | -4        |
| 4-Methyl-1,3-DOL    | -125      | 85        | 6.8                   | 0.6               |                       |      |      |                                     |           |
| DMSO                | 28.9      | 284.3     | 42.5 <sup>a</sup>     | 9.87 <sup>a</sup> | 4.7                   | 14.8 | 19.3 | 1.26                                |           |
|                     | 18.4      | 189       | 46.5                  | 1.991             | 3.96                  | 29.8 | 19.3 | 1.1                                 |           |

Note: 1,2-BC: 1,2-dimethylethylene carbonate; 1,3-DOL: 1,3-dioxolane; AC: acetonitrile; A.N.: acceptor number; BC: butylene carbonate; BEC: butyl ethyl carbonate; BMC: butyl methyl carbonate; CF<sub>3</sub>-EC: trifluoromethyl ethylene carbonate; CIEC: chloroethylene carbonate; DBC: dibutyl carbonate; DEC: diethyl carbonate; DEE: 1,2-diethoxyethane; DGM: diethyleneglycol dimethyl ether; DIPC: di-isopropyl carbonate; DMC: dimethyl carbonate; DME: 1,2-dimethoxyethane; DMSO: dimethyl sulfoxide; D.N.: donor number; DPC: di-*n*-propyl carbonate; EC: ethylene carbonate; EIPC: ethyl isopropyl carbonate; EMC: ethyl methyl carbonate; EPC: ethyl propyl carbonate; MeTHF: 2-methyl tetrahydrofuran; MIPC: methyl isopropyl carbonate; MPC: methyl propyl carbonate; PC: propylene carbonate; TEGM: tetraethylene glycol dimethyl ether; TGM: triethylene glycol dimethyl ether; THF: tetrahydrofuran.

<sup>a</sup> 30°C.  
<sup>b</sup> 40°C.

### 3.2.3.3 Additivi

Nelle moderne LIB vengono aggiunti, con sempre maggiore frequenza, numerosi additivi il cui meccanismo di funzionamento, spesso, non è noto [37].

In base alla loro funzione [7], gli additivi – presenti all'interno dell'elettrolita - possono essere suddivisi nelle seguenti categorie:

- 1) *SEI forming improver*
- 2) *positive electrode protection agent*
- 3) *lithium hexafluorophosphate salt stabilizer*
- 4) *safety protection agent*
- 5) *lithium deposition improver*
- 6) *other agents such as solvation enhancer, aluminum corrosion inhibitor, and wetting agent.*

Un poco più nel dettaglio:

- 1) SEI forming improver or Surface-film-forming additives. *Vinylene carbonate and vinylene carbonate passivate the anode by forming polyvinylidene carbonate, which embeds the inorganic components.*
- 2) Positive electrode (cathode) protection agents *scavenge water and acidic impurities and prevent carbonate-based solvents from irreversible oxidation and CO<sub>2</sub> gassing. Tributylamine, silicones, and dimethyl acetamide were proposed as scavengers for protic impurities. Ethers such as 12-crown-4 which solvate lithium ions preferentially, prevent PC from co-intercalation into graphite.*
- 3) Lithium hexafluorophosphate salt stabilizer *retard the thermal decomposition of the conductive salt,  $\text{LiPF}_6 \rightarrow \text{PF}_5 + \text{LiF}$ , and weaken the reactivity of phosphorous pentafluoride ( $\text{PF}_5$ ) with organic solvents.*
- 4) Safety protection agents:
  - a. Overcharge protectors *should work as highly reversible internal dischargers with an oxidation potential slightly below the electrolyte decomposition potential and above the end-of-charge voltage of the cathode, but mostly show adverse impacts on the cell performance. Anisole derivatives, for example, 2,5-di-tert-butyl-1,4-dimethoxybenzene (oxidation 3.9 V vs. Li/Li<sup>+</sup>) and 1,4-difluoro-2,5-dimethoxybenzene (4.2 V), work as redox shuttle molecules, but suffer from poor long-term stability.*
  - b. Shutdown additives, *such as biphenyl or cyclohexylbenzene, insulate the positive electrode by forming a polymer layer, growing at unacceptably high voltages, while hydrogen is released at the negative electrode.*
  - c. Fire-retardant additives *generate insulating char layers or terminate radical reactions necessary for the combustion reaction.*
- 5) Lithium deposition improvers *prevent the undesirable growth of the electrode/electrolyte interface by lithium plating on the graphite negative electrode, especially the formation of needle-like dendrites and sponge-like lithium. Fluoroethylene carbonate, which decomposes to vinylene carbonate and hydrogen fluoride, seems to be a promising additive for efficient lithium deposition. However, excess vinyl carbonate results in low cycling efficiency and a high self-discharge rate. LiBOB is a conducting salt in itself but seems to find use as a promising additive for a multifunctional improvement of lithium-ion batteries when used together with lithium hexafluorophosphate, as it stabilizes the electrode/electrolyte interface, prevents dissolution of the electrode material, provides overcharge tolerance, and retards aluminum corrosion.*

La Tabella 13 fornisce un elenco più dettagliato delle sostanze che possono essere impiegate come additivi all'interno delle LIB e le loro funzioni.

**Tabella 13. Additivi presenti nelle LIB [7]**

| FUNZIONE ADDITIVO                      | ESEMPI DI SOSTANZE IMPIEGATE  | PROPRIETA'   |
|--|---|--|
| 1. SEI improver                        |   |  |
| a. Reduction-type additive             | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vinyl ethylene carbonate, vinyl containing siloxanes, vinyl acetate, divinyl adipate, 2-vinyl pyridine, maleic anhydride, methyl cinnamate, acrylic acid nitrile, 2-cyanofurane, phosphonate</li> <li>2. Sulfur-based compounds (SO<sub>2</sub>, CS<sub>2</sub>, polysulfide, alkyl and aryl sulfites).</li> <li>3. Nitrogen containing and halogenated compounds (N<sub>2</sub>O, alkylnitrates and nitrites, α-bromo-γ-butyrolactone, methylchloroformate, fluoroethylene carbonate)</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prior to the alkylene carbonate solvent, polymerizable additives are reduced and form insoluble organic films on the graphite surface</li> <li>2. Poisoning effect on the graphite surface</li> <li>3. Work as or bind polymerizable precursors</li> </ol>   |
| b. Reaction-type additive              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. CO<sub>2</sub> providers: dialkyl pyrocarbonate, Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, phenyl esters, aromatic esters, anhydrides; maleic anhydride, succinimide</li> <li>2. Aromatic isocyanates</li> <li>3. Boron-based compounds: B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, organic borates, trialkyl- or trialkoxyboroxines, lithium bis(oxalato)borate (LiBOB), lithium oxalylidifluoroborate ( LiODFB)</li> <li>4. Halogenated compounds, polydimethylsiloxane, silanes</li> </ol>                                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Scavenge radical anions (necessary for solvent reduction) or stabilize decomposition products.</li> <li>2. Scavenge water, HF, PF<sub>5</sub></li> <li>3. Incorporation to the electrode surface chemistry</li> <li>4. Adsorb on the graphite surface to suppress electrolyte reduction</li> </ol> |
| c. SEI-morphology modifiers            | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anion receptors: tris(pentafluorophenyl) borane.</li> <li>2. Alkali metal salts (NaClO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) and crown ethers</li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dissolve LIF crystals in carbonate electrolytes.</li> <li>2. Weaken the solvation of Li<sup>+</sup> by carbonate electrolyte molecules (necessary for solvent reduction)</li> </ol>  |
| 2. Positive electrode protection agent | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bases: Butylamine, N,N-dicyclohexylcarbodiimide, N-alkylamino silanes</li> <li>2. LiBOB</li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Scavenge water, acids (HF), and PF<sub>5</sub> to protect, e.g., LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.</li> <li>2. Scavenges Mn<sup>2+</sup> in a surface layer</li> </ol>  |
| 3. LiPF <sub>6</sub> salt stabilizer   | LiF, tris(2,2,2-trifluorethyl) phosphite, 1-methyl-2-pyrrolidone, fluorinated carbamate, hexamethyl-phosphoramide   | Scavenge PF <sub>5</sub> (from LiPF <sub>6</sub> )   |
| 4. Overcharge protector                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Derivates of anisol and <i>p</i>-dimethoxybenzene, phenothiazine; lithium fluorodecaborate</li> <li>2. Xylene, cyclohexylbenzene, biphenyl, fluorinated diphenyl alkanes, thiophene derivatives, LiBOB</li> </ol>   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Oxidation of shuttle molecules and recovery at the negative electrode</li> <li>2. Shutdown additives isolate the positive electrode by a polymer layer or release gas</li> </ol>   |
| 5. Fire-retardant additive             | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Organic phosphorus compounds, e.g., tris (2,2,2-trifluorethyl) phosphate or phosphite, cyclophosphazenes.</li> <li>2. Methyl nonafluorobutyl ether, fluorinated propylene carbonate</li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Scavenge radicals (necessary for combustion)</li> <li>2. "No flash point" solvents</li> </ol>  |
| 6. Lithium deposition improver         | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2-Methyltetrahydrofuran, 2-methylthiophene, nitromethane; SO<sub>2</sub>, polysulfide; fluoroethylene carbonate</li> <li>2. Cetyltrimethylammonium chloride, salts of perfluorooctanesulfonate, perfluoropolyethers; cellulose derivatives</li> <li>3. AlI<sub>3</sub>, SnI<sub>2</sub></li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Suppress lithium dendrites</li> <li>2. surfactants</li> <li>3. Formation of lithium metal alloy</li> </ol>   |
| 7. Ionic salvation enhancer            | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 12-crown-4</li> <li>2. Azaethers, alkyl borates, tris (pentafluorophenyl) borane, borole derivatives</li> </ol>   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Increase Li salt solubility</li> <li>2. Anion receptors</li> </ol>   |
| 8. Al corrosion inhibitor              | LiBOB, LiODFB   | Passivation of aluminum<br>Improved SEI on carbon anode  |
| 9. Wetting agent                       | Cyclohexane, trialkyl phosphate, methyl decanoate, dodecyl acetate  | Surfactants wet polyolefin separators  |
| 0. Viscosity diluter                   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   | Reduce viscosity of LiPF <sub>5</sub> electrolytes   |

### 3.2.4 Separatore

Il separatore [11] è un materiale polimerico, un isolante dal punto di vista elettrico, che è posto tra l'anodo e il catodo. Esso ha due funzioni principali: la prevenzione del cortocircuito tra anodo e catodo; fornire un percorso per il trasporto degli ioni.

Esistono due classi principali di separatori: film microporoso; sistema complesso separatore/elettrolita polimerico o gelificato (utilizzato nelle LiPo ibride).

Oltre al primario effetto di isolamento elettrico degli elettrodi, il separatore deve essere in grado di lavorare alle temperature di normale funzionamento, a quelle di stoccaggio e resistere alle condizioni iniziali di abuso. Questo significa che, oltre ad avere una temperatura di fusione compatibile con queste esigenze, non deve neanche accartocciarsi lungo i bordi (si tratta di film di forma rettangolare) in modo da prevenire il contatto tra gli elettrodi:

*DuPont is developing Energain Separators for high-performance Li-ion batteries and capacitors that are claimed to have low ionic resistance and high temperature stability. Energain is a polyimide based nanofiber product stable in Li-ion battery electrolytes. The product is a web of continuous filaments with diameters between 200 and 1,000 nanometers. This new separator technology is touted as having improved abuse tolerance, which would lead to improved safety.*

#### 3.2.4.1 Separatori con effetto shut-down

Alcuni separatori mostrano il cosiddetto "effetto shut-down". Si tratta di un effetto innescato dall'innalzamento della temperatura e che sembra migliorare la sicurezza delle LIB: al raggiungimento di temperature superiori ai limiti della finestra operativa, il materiale polimerico può perdere la sua caratteristica porosità (dovuta al grado di cristallinità del materiale), trasformandosi in un film a struttura continua (tipicamente amorfa o in altro stato allotropico). Una volta che i pori sono chiusi, termina la conduzione degli ioni e la cella non funziona più, con possibile prevenzione di reazioni chimiche successive che possono portare al *thermal runaway*.

C'è, però, un potenziale pericolo in questa tipologia di separatori: quando i pori sono chiusi e la cella non funziona più, non esiste alcun modo di scaricarla in sicurezza: l'anodo litiato, in una cella completamente carica, a causa della formale presenze di Litio metallico, se esposto all'umidità dell'aria, può prendere fuoco immediatamente (*n.d.r.*: il Litio decompone l'acqua con formazione di idrogeno).

## 4 Supercondensatori al Litio

I supercondensatori elettrochimici (*electrochemical supercapacitors*, ES) [38]. Noti anche come *ultracapacitors* o *electrochemical double-layer capacitor (EDLC)*, possono accumulare densità di energie relativamente più elevate dei condensatori convenzionali<sup>5</sup>. Lo sviluppo dell'elettronica portatile e dei veicoli ibridi, ha portato la ricerca scientifica allo sviluppo di due varianti degli ES: gli pseudocondensatori (*pseudocapacitors*) e i supercondensatori asimmetrici (*asymmetric Supercapacitors*) o supercondensatori ibridi.

Per approfondimenti, si veda [39]

Sebbene abbiano costi di produzione elevati, le loro caratteristiche tecnologiche li rendono interessanti sostituti delle batterie Litio-ione o ottimi elementi di accoppiamento, in numerose applicazioni quali: elettronica di consumo, veicoli elettrici e ibridi (tra cui bus elettrici a ricarica rapida [40]), accumulo di energia da fotovoltaico, industria aeronautica. In particolare, si rivelano molto interessanti per le applicazioni di potenza.

Possono essere realizzati in forma cilindrica (foggiati in forma di spirale) o prismatica/planare (configurazione a sandwich) grazie alla struttura costruttiva a strati (Figura 19). Sono costituiti da: elettrodi (positivo e negativo), elettrolita, separatore, collettori di corrente, materiale sigillante, **dispositivi di venting** per le versioni che utilizzano elettroliti liquidi (inorganici o organici).

Per quanto riguarda le caratteristiche elettriche, i supercondensatori hanno le seguenti proprietà: ricarica veloce; lunga vita utile in termini di cicli di carica e scarica, maggiore degli accumulatori al litio dovuta alla maggiore stabilità chimico-fisica dei loro elettrodi durante i cicli di carica/scarica; densità di potenza più elevata rispetto alle celle a combustibile e alle batterie Litio-ione, potendo raggiungere densità di potenza fino a due ordini di grandezza più elevate delle batterie Litio-ione (diagramma di Ragone - Figura 20) ; densità di energia più elevata rispetto ai condensatori normali, ma inferiore alle batterie Litio-ione.

---

<sup>5</sup> A conventional capacitor, also known as a condenser or an electrostatic capacitor, is an energy storing device consisting of two electrically conductive plates (sometimes called electrodes), which are separated by a dielectric layer. The dielectric materials are insulators such as ceramic, glass, paper plastic, and aluminum oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). The charging process of capacitors is simple. When the two conductive plates are connected to an external power source, which induces a potential difference between the two plates, positive charges accumulate on one plate and negative charges build up on the other plate. The charges remain on their corresponding plates even after the removal of the external power source; this is the charged state of a capacitor. During discharge, the capacitor releases the positive/negative charges to a connected resistive load to deliver its stored energy. Capacitance (C) is measured in farad (F) and can be calculated by

$$C = \frac{A * \epsilon}{d}$$

Where: **A** is the surface area of the plates, **ε** is the permittivity of the dielectric material, which measures the resistance of the material during the formation electric fields, and **d** is the distance between the plates. Commercial capacitors can store energy in the range between pico- and microfarads

#### 4.1 Composizione chimica dei supercondensatori

I materiali “attivi” presenti all’interno dei supercondensatori, sono quelli con cui vengono realizzati gli elettrodi (positivo e negativo), l’ elettrolita, il separatore, i collettori di corrente e il materiale sigillante, più una moltitudine di additivi/droganti (Figura 21). I materiali sono molto sofisticati con ampia utilizzazione di nanomateriali.

In Tabella 14 sono stati riepilogati alcuni dati sulla composizione chimica di questi particolari dispositivi: l’ utilizzo di elettroliti liquidi, inorganici o organici - acrilonitrile (tossico, infiammabile e con stabilità termica limitata) – rende questi sistemi vulnerabili sia alle alte temperature che alla contaminazione da umidità, con ripercussioni sulle prestazioni e sulla sicurezza.

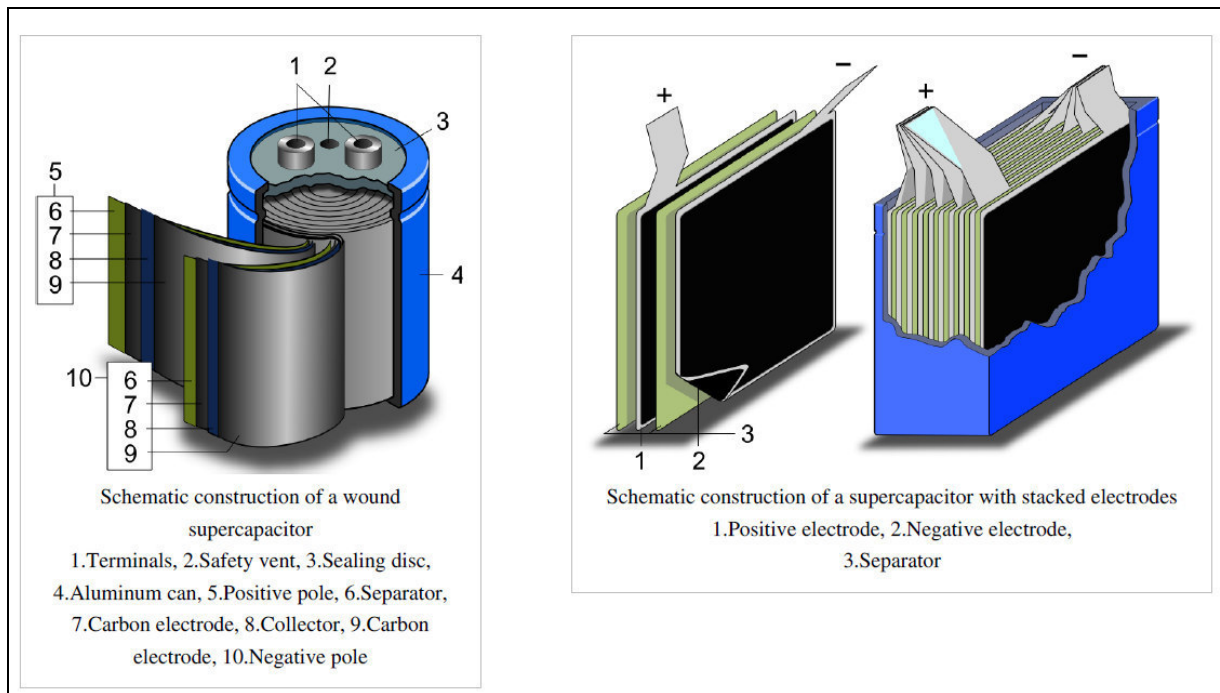


Figura 19. [38]

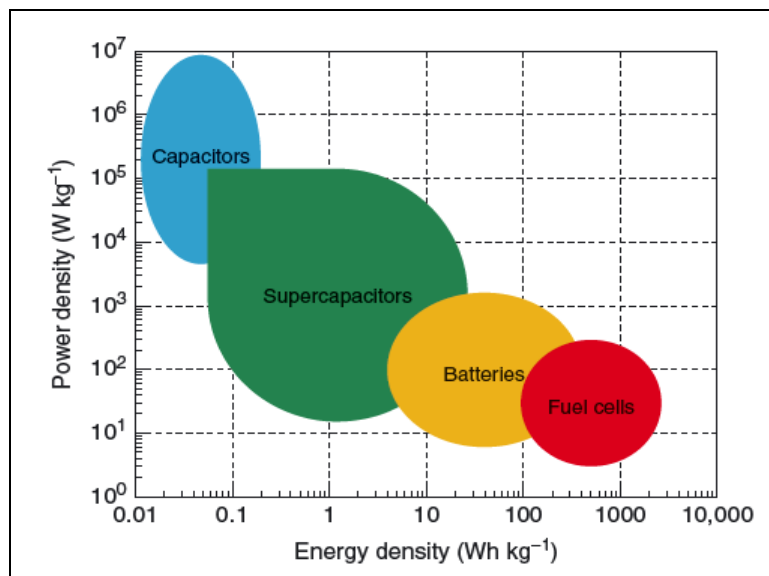


Figura 20. [38]

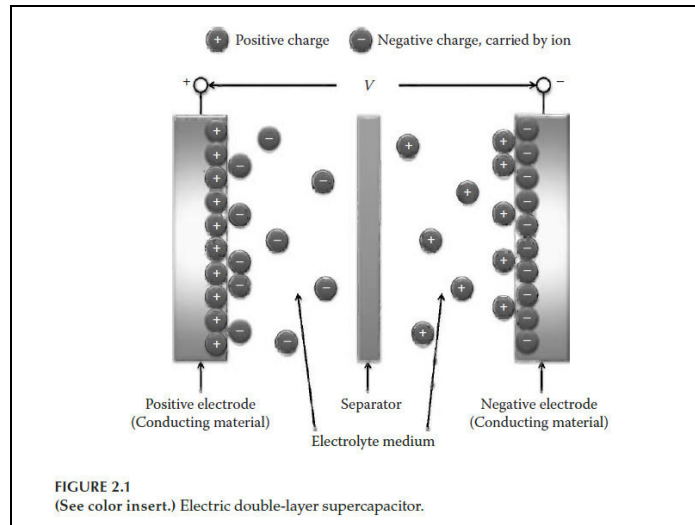


Figura 21. [39]

Tabella 14. Tipologie di supercondensatori e componenti principali

|   |  |  |                |                        |              |
|---|--|--|----------------|------------------------|--------------|
| <b>ELECTRODE MATERIALS</b>  | <b>Electrochemical double-layer capacitor</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Activated carbon (AC).</li> <li>Carbon nanotubes (CNTs).</li> <li>Graphene.</li> </ul>  |                |                        |              |
|   | <b>Pseudocapacitor or Pseudocapacitive supercapacitors</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Transition metal oxides (RuO<sub>2</sub>, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, MnO<sub>2</sub>, NiO, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</li> <li>Conducting polymer (1)</li> </ul> |                |                        |              |
|   | <b>Lithium supercapacitors</b>                             | <table border="1"> <tr> <td><b>Cathode</b></td> <td>Activated carbon (AC).</td> </tr> <tr> <td><b>Anode</b></td> <td>Carbon material pre-doped with Lithium ions</td> </tr> </table>                       | <b>Cathode</b> | Activated carbon (AC). | <b>Anode</b> |
| <b>Cathode</b>  | Activated carbon (AC).                                     |  |                |                        |              |
| <b>Anode</b>  | Carbon material pre-doped with Lithium ions                |  |                |                        |              |
| <b>ELECTROLYTE</b><br>(ha tendenza alla decomposizione termica) [41]  | <b>Aqueous electrolyte</b>                                 | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , KOH, and potassium chloride (KCl) are the common aqueous electrolytes bearing the merits of easy handling in an open environment and low ionic resistivity.               |                |                        |              |
|   | <b>Organic electrolyte</b>                                 | Acetonitrile (2)   |                |                        |              |
|   | <b>Ionic liquids (ILs)</b>                                 | ILs are composed of solvent-free molten salts in liquid form at room temperature, which is due to their low melting temperatures.  |                |                        |              |
| <b>SEPARATORS</b>   | <b>Fibrous structure</b>                                   |  |                |                        |              |
|   | <b>Monolithic network with defined pores</b>               |  |                |                        |              |
| <b>CURRENT COLLECTORS</b>   | <b>Aluminum, steel, and iron</b>                           |  |                |                        |              |
| <b>SEALANTS</b>   | <b>Polymer materials (3)</b>                               |  |                |                        |              |
| <p>(1) During the charging and discharging periods, conducting polymers switch between two doping states (p-doping/n-doping) where electrolyte ions are inserted/extracted from the polymers' backbones.</p> <p>(2) Acetonitrile is more favorable than pc because it only bears one third of pc's ionic resistivity. However, acetonitrile's toxicity and flammability are an issue for safety. Overall, aging (i.e., degradation) of carbon electrodes are observed when exposed to organic electrolytes. The decomposition of organic electrolyte blocks the pores of the electrodes, reducing the capacitive performance and cyclic stability.</p> <p>(3) Proper sealing in cell assembly is vital to avoid performance loss of supercapacitors. A sealants' function is to prevent foreign contaminants (i.e., water and air) from entering the cell. The impurities can provoke electrolyte degradation and surface oxidation on electrodes, resulting in loss of life cycles. Fire and explosion</p> |  |  |                |                        |              |

## 4.2 Funzionamento dei supercondensatori

Gli elettrodi dei supercondensatori elettrochimici sono normalmente composti da materiali porosi con elevata superficie di scambio, generalmente Carbonio; il separatore può essere solido o liquido e va a costituire l'interfaccia elettrodo/elettrolita, denominata "doppio strato elettrico" (electric double layer). Il Doppio strato elettrico, in questo modo, si sviluppa su una superficie molto più grande dei condensatori dielettrici, potendo così immagazzinare una maggiore quantità di carica elettrica.

I supercondensatori, possono utilizzare due meccanismi di accumulo dell'energia: negli EDLC, la carica si deposita staticamente nel doppio strato elettrico che è stato prodotto all'interno dei pori del materiale elettrodico carbonioso (Figura 22; nei supercondensatori pseudocapacitivi (*Pseudocapacitive supercapacitors*) in cui gli elettrodi sono composti da ossidi/nitruri di metalli di transizione e da polimeri conduttivi, l'energia viene accumulata nel doppio strato elettrico, attraverso reazioni chimiche di ossidoriduzione (Redox) veloci e reversibili (Figura 23).

L'accumulo di energia (elettroni) sulla superficie dei materiali elettrodici [42], è un meccanismo di accumulo superficiale, molto più semplice dei fenomeni di inserzione/deinserzione degli ioni Litio all'interno dei materiali elettrodici, connessi all'accumulo/erogazione di energia da parte delle batterie Litio-ione. Per questo i supercondensatori si pongono sempre più come una valida alternativa alle batterie Litio-ione in applicazioni di potenza e di ricarica rapida.

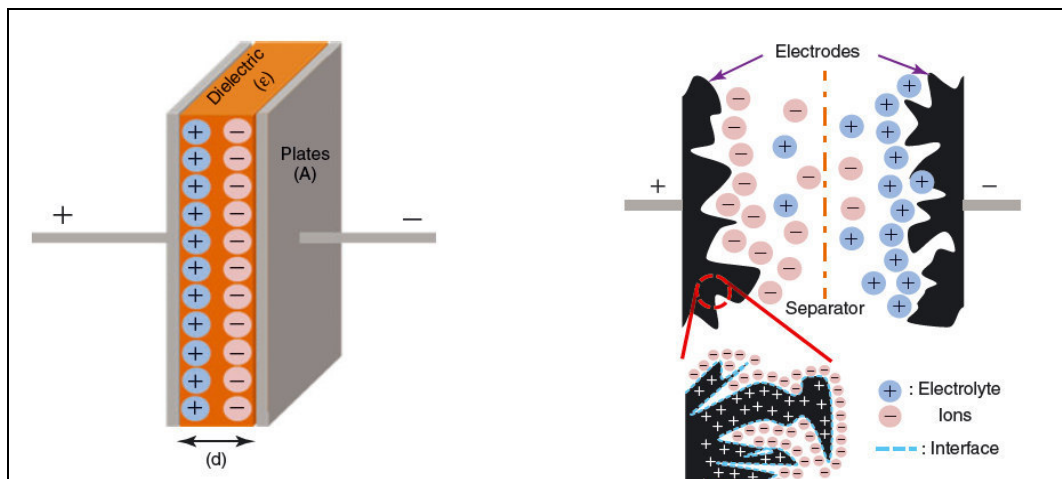


Figura 22. Confronto tra il meccanismo di accumulo di carica elettrica di un condensatore convenzionale (sinistra) e un supercondensatore EDLC (destra). [38]

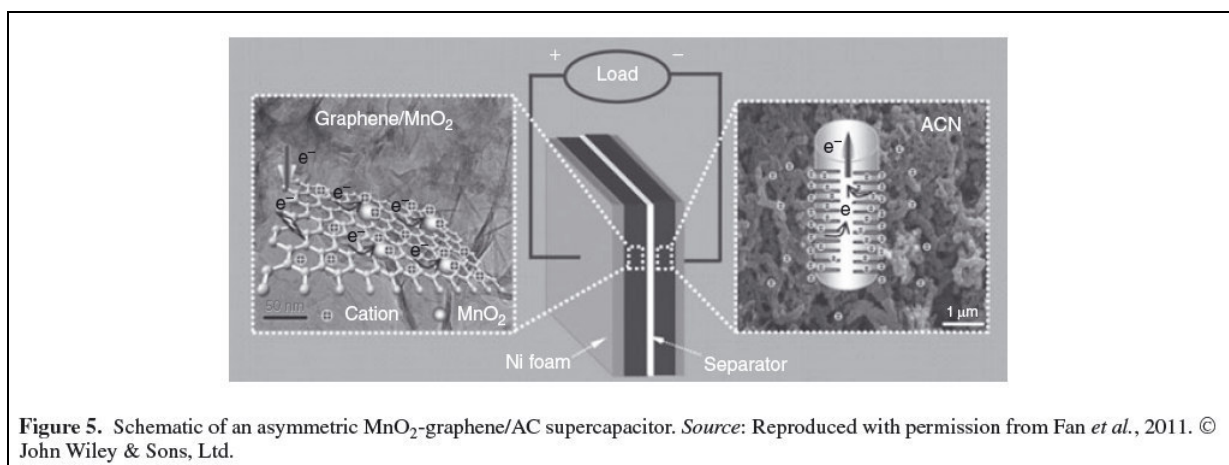


Figure 5. Schematic of an asymmetric  $\text{MnO}_2$ -graphene/AC supercapacitor. Source: Reproduced with permission from Fan *et al.*, 2011. © John Wiley & Sons, Ltd.

Figura 23. Fonte [38]



### 4.3 Supercondensatori agli ioni litio

Sul mercato<sup>6</sup> esistono altri dispositivi che uniscono le migliori caratteristiche supercondensatori elettrochimici (EDLC) con quelle degli accumulatori Litio-ione (LiB) [43]. Si tratta dei condensatori agli ioni Litio (LIC) o supercondensatori ibridi [44] (Figura 24), nei quali viene utilizzato un elettrodo “elettrostatico” ed un elettrodo “elettrochimico”: ne risulta un dispositivo con una densità di energia maggiore degli EDLC ma senza la tendenza all’autoscarica, maggiore durata – in termini di cicli di carica e scarica - rispetto alle LiB. I LIC sono utili per applicazioni che richiedono alte densità di energia, alte densità di potenza e durata eccellente. Poiché combinano valori elevati di densità di energia e densità di potenza, in molte applicazioni possono sostituire interamente gli accumulatori elettrochimici [44]. Gli impieghi potenziali sono nell’ambito dell’accumulo stazionario (accumulo di energia dall’eolico e dal fotovoltaico, sistemi UPS), stabilizzazione della rete elettrica, recupero di energia nella produzione industriale, applicazioni automotive.

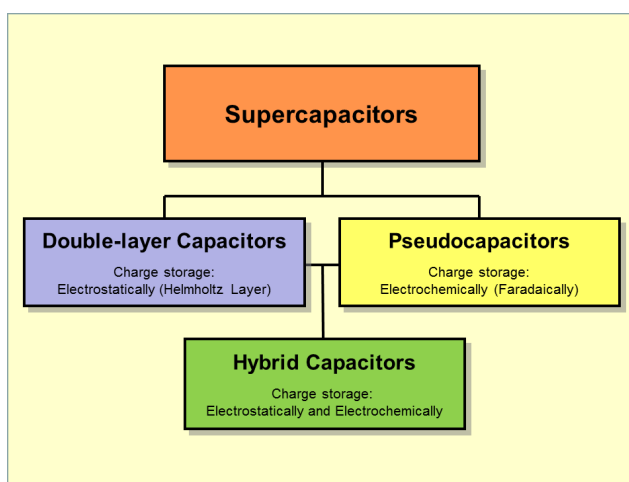


Figura 24. [44]

Dal punto di vista delle caratteristiche chimico-fisiche, un supercondensatore agli ioni Litio è costituito da (Figura 25): un elettrodo positivo costituito da carbone attivato, un elettrodo negativo costituito da un materiale a base di carbonio drogato con ioni Litio (ma sul mercato si trovano anche dispositivi realizzati con Titanato di Litio [44]), un elettrolita liquido (sale di Litio disciolto in una miscela di solventi organici ossigenati, come nelle LiB<sup>7</sup>), un separator che previene il contatto diretto tra l’elettrodo negativo e l’elettrolita.

Mentre nelle LiB gli ioni Litio vengono intercalati/deintercalati all’interno dei reticoli o piani cristallini che costituiscono i materiali elettrodici, gli ioni Litio del supercondensatore sono semplicemente adsorbiti/desorbiti sulla superficie (porosa) dell’elettrodo negativo: ne consegue una minore tendenza alla modifica morfologia, nel tempo, degli elettrodi e, quindi, un maggior numero di cicli di carica/scarica.

Il drogaggio (*pre-doping*) dell’elettrodo negativo con gli ioni Litio, consente di ottenere i seguenti vantaggi:

- riduzione del potenziale elettrodico senza la necessità di raggiungere potenziali elevati all’elettrodo positivo, ma solo valori intorno ai 3,8V;

<sup>6</sup> Si veda, ad esempio: <https://www.mouser.it/new/taiyo-yuden/taiyo-yuden-lithium-ion-capacitors/>

<sup>7</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_capacitor](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_capacitor): “The electrolyte used in an LIC is a lithium-ion salt solution that can be combined with other organic components and is generally identical to that used in lithium-ion batteries.”

- poiché la densità di energia è proporzionale al quadrato della tensione, i supercondensatori al Litio hanno una densità di energia molto più alta degli EDLC, a parità di densità di potenza. Ciò contribuisce alla diminuzione delle dimensioni dei dispositivi.
- Aiuta a stabilizzare il potenziale elettrodo, diminuendo notevolmente l'autoscarica (Figura 26).

Nello stesso tempo, rappresenta una criticità in quanto può influenzare la qualità del SEI (*Solid electrolyte interface layer*) e, dunque, la stabilità chimico-fisica dell'elettrodo.

La densità di energia [44] di un LIC è di circa 20 Wh/kg, circa 4 volte quella di un EDLC e 5 volte meno di una batteria Litio-ione (LIB). La densità di potenza è paragonabile ad un EDLC e la scarica completa può avvenire in alcuni secondi. La tensione nominale può raggiungere i 3,8 – 4 V, ma si preferisce operare nelle condizioni di tensione minima, pari a 1,8 – 2,2 V.

L'ossigeno è assente nei materiali elettrodici (nelle LIB, O<sub>2</sub> è presente negli ossidi dei materiali catodici), ma continua ad essere presente all'interno dell'elettrolita: questo comporta una diminuzione della tendenza a reazioni di *runaway* (**n.d.r.**: c'è da aspettarsi pericolo di *swelling* e di *venting*; il *runaway* non è da escludere; la densità di potenza è particolarmente elevata, c'è da aspettarsi un importante aumento della temperatura interna durante la scarica; gli elettrodi sono comunque realizzati in carbonio, combustibile).

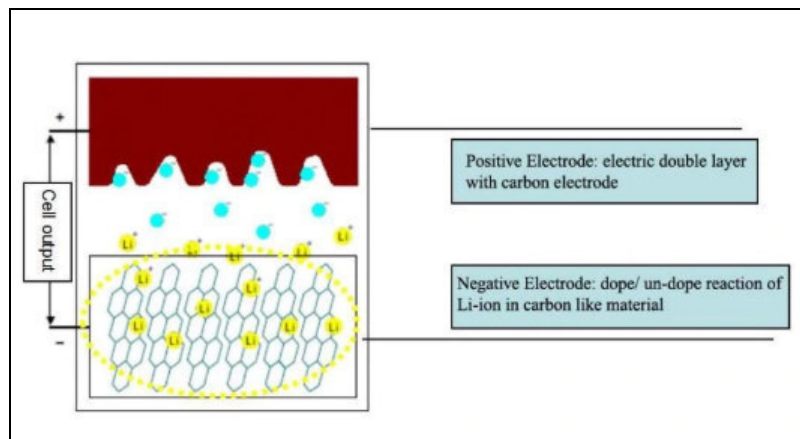


Figura 25. [43]

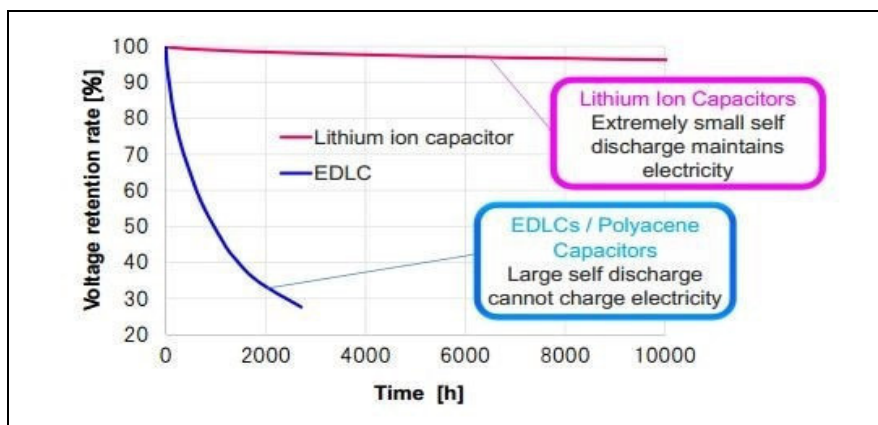


Figura 26. [43]

## 5 Classificazione ed etichettatura ai sensi del Regolamento REACH

Pile e accumulatori, ai sensi del REACH, sono da considerarsi come Articoli<sup>8</sup> le cui sostanze chimiche costituenti NON sono destinate ad essere rilasciate nelle condizioni di normale funzionamento. Sebbene sussista il rischio di rilascio di sostanze chimiche pericolose durante l'intera vita dell'articolo, fino al suo termine, ovvero quando è da considerarsi "rifiuto". Il REACH non prevede obbligo di scheda di sicurezza (SDS o MSDS) ma prevede che il fabbricante e/o importatore debba presentare una notifica all'Agenzia ECHA per ogni sostanza contenuta negli articoli se valgono tutte le seguenti condizioni (Figura 27):

- la sostanza è soggetta ad autorizzazione (allegato XIV);
- la sostanza è contenuta in tali articoli in quantitativi complessivamente superiori ad 1 tonnellata all'anno per produttore o importatore;
- la sostanza è contenuta in tali articoli in concentrazione superiore allo 0,1 % in peso/peso.

| Obligation   | Registration of substances in articles           | Notification of substances in articles   | Communication of information on substances in articles                                     |
|--|--|--|--|
| legal basis in REACH Regulation                            | Article 7(1)                                     | Article 7(2)   | Article 33   |
| actors concerned   | article producers and article importers          | article producers and article importers  | article suppliers  |
| substances concerned                                       | substances intended to be released from articles | substances included in Candidate List of Substances of Very High Concern for authorisation | substances included in Candidate List of Substances of Very High Concern for authorisation |
| tonnage threshold  | 1 tonne per year                                 | 1 tonne per year   | -  |
| concentration in article threshold                         | -  | 0.1% (w/w)   | 0.1% (w/w)   |
| <b>exemption from obligation possible on the basis of:</b> |  |  |  |
| substance already registered for that use (Art. 7(6))      | yes  | yes  | no   |
| exposure can be excluded (Art. 7(3))                       | no   | yes  | no   |

Figura 27. Obblighi derivanti dalla applicazione del REACH per le sostanze contenute negli Articoli [45].

In base all'articolo 33 del REACH, recante: *Obbligo di comunicare informazioni sulle sostanze presenti negli articoli* [46] (Figura 28), in tutti i casi, si ha che:

<sup>8</sup> REGOLAMENTO (CE) N. 1907/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 18 dicembre 2006 – versione consolidata pubblicata sulla GUCE 02006R1907 – IT – 09.05.2018 – 038.001 – 1. <https://echa.europa.eu/it/regulations/reach/legislation>

Definizione di

**Articolo (articolo 3, comma 3):** un oggetto a cui sono dati durante la produzione una forma, una superficie o un disegno particolari che ne determinano la funzione in misura maggiore della sua composizione chimica.

**Produttore di un articolo (articolo 3, comma 4):** ogni persona fisica o giuridica che fabbrica o assembla un articolo all'interno della Comunità.

1. Il fornitore di un articolo contenente una sostanza che risponde ai criteri di cui all'articolo 57 ed è stata identificata a norma dell'articolo 59, paragrafo 1, in concentrazioni superiori allo 0,1% in peso/peso fornisce al destinatario dell'articolo informazioni, in possesso del fornitore, sufficienti a consentire la sicurezza d'uso dell'articolo e comprendenti, quanto meno, il nome della sostanza.

2. Su richiesta di un consumatore, il fornitore di un articolo contenente una sostanza che risponde ai criteri di cui all'articolo 57 ed è stata identificata a norma dell'articolo 59, paragrafo 1, in concentrazioni superiori allo 0,1% in peso/peso fornisce al consumatore informazioni, in possesso del fornitore, sufficienti a consentire la sicurezza d'uso dell'articolo e comprendenti, quanto meno, il nome della sostanza. Le informazioni in questione sono comunicate gratuitamente entro 45 giorni dal ricevimento della richiesta.

L'articolo 57 del REACH identifica le sostanze SVHC (Substances of Very High Concern) che vengono aggiunte periodicamente alla *Candidate List for authorisation*. Queste sostanze appartengono a tre categorie:

- *substances meeting the criteria for classification as carcinogenic, mutagenic or reprotoxic (CMR) category 1A or 1B*
- *persistent, bioaccumulative and toxic (PBT) substances or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) substances*
- *substances identified on a case-by-case basis for which there is scientific evidence of probable serious effects to human health or the environment which give rise to an equivalent level of concern, e.g. endocrine disruptors*

Accedendo alla pagina web di EUROBAT<sup>9</sup>, l'Associazione europea dei produttori di batterie, si trova conferma all'applicazione della norma di cui sopra:

#### Chemicals Policy

*REACH is the European Regulation on the registration, evaluation, authorisation and restriction of chemical substances.*

*EUROBAT members have participated in the registration of the most important substances used in batteries, namely nickel, lithium, lead and lead compounds and sulphuric acid. Battery industry suppliers are responsible for registration in respect to the majority of substances used in batteries. [...]*

Le informazioni presentate nei paragrafi successivi, sono state reperite consultando il sito web dell'ECHA (INFOCARD) e dalle Schede di Sicurezza (SDS) prelevate essenzialmente dal sito della Sigma Aldrich, produttore e distributore di reagenti chimici. Tali SDS sono destinate ad utilizzatori di laboratorio o professionali e, considerando la normativa vigente in materia di gestione delle sostanze chimiche pericolose, esse sono indirizzate in modo specifico a tali utilizzatori.

Le informazioni complete sulla natura dei pericoli associati a tali sostanze e alla loro classificazione ed etichettatura, possono essere trovate nel sito della Autorità Europea per la sicurezza dei prodotti chimici, l'ECHA (*European Chemicals Agency*) [47], inserendo il Numero CAS o il nome in inglese delle sostanze chimiche, si accede alla loro INFOCARD [48] da cui si accede al *Brief Profile* (per esempio: Ossido di rame<sup>10</sup>), suddiviso in due schede:

---

<sup>9</sup> <https://www.eurobat.org/environment-health-safety/reach>

<sup>10</sup> Per Ossido di Rame (II): <https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.013.882>

- I. DESCRIZIONE DELLA SOSTANZA: *Substance identity, Hazard classification & labeling, Properties of concern, Regulatory activities, About this substance, Registrants/supplier, Other names*
- II. PROPRIETÀ SCIENTIFICHE: *Physical and chemical properties* (tra cui: autoinfiammabilità, infiammabilità, esplosività, potere ossidante); *Environmental fate and pathways; Ecotoxicological information; Toxicological information.*

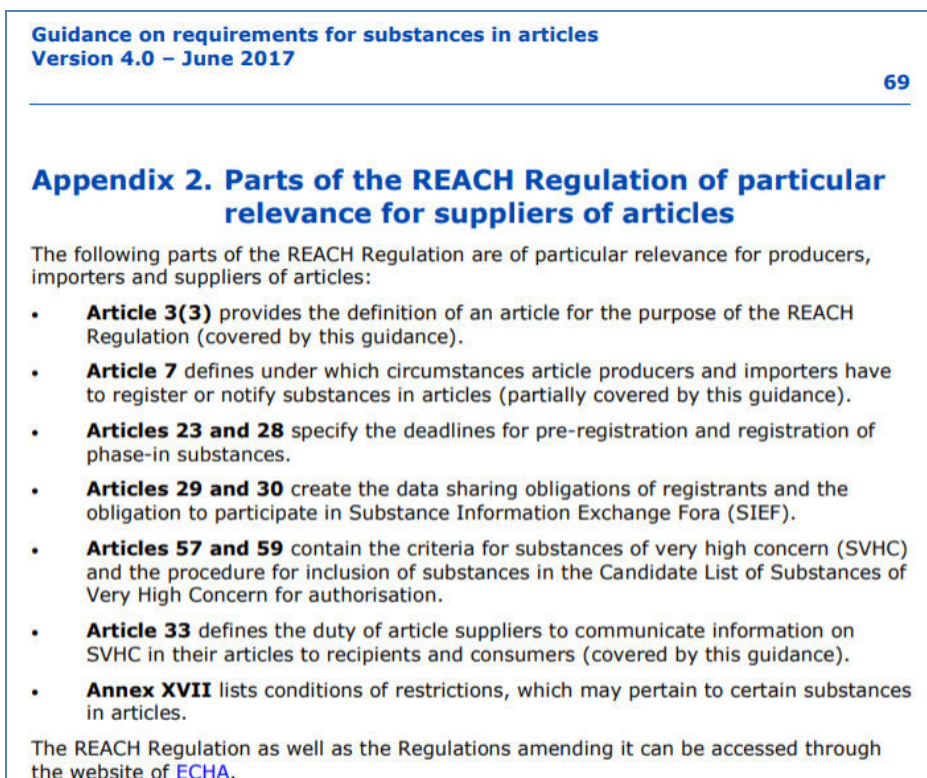


Figura 28. Riferimenti normativi in ambito REACH di particolare rilievo per i produttori di articoli [46]

Nel *Brief profile* e nella pagina di accesso alla sostanza, è possibile trovare un simbolo cerchiato (Figura 29) che mette in evidenza le proprietà che la inseriscono nella Lista delle sostanze prioritarie come SVHC

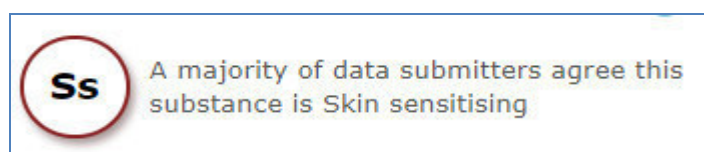


Figura 29

Per quanto riguarda la classificazione ai fini del REACH, le caratteristiche di pericolo acquisite dai produttori nel corso della procedura di notifica, vengono riassunte in un istogramma (Figura 30). Le fonti delle informazioni sono i dati relativi alla Notifica ai fini del CLP e quelli provenienti dai Dossier inviati dai produttori all'ECHA nell'ambito della procedura di registrazione della sostanza.

Nel caso del *Vinylene carbonate*<sup>11</sup> (Figura 31), la pagina di accesso contiene i pittogrammi, una informativa sulla pericolosità (in corsivo nella Tabella 40), il simbolo tonodo di SVHC, l'accesso al *Brief Profile* (BP, in alto a destra).

In Tabella 15, per alcune tipologie di **pile al Litio** selezionate in Tabella 3 (Paragrafo 2), sono fornite informazioni sulla classificazione di pericolo ed etichettatura CLP (Regolamento REACH), delle sostanze attive presenti. In particolare si tratta delle pile: Li-MnO<sub>2</sub>, Li-(CF)<sub>x</sub>, Li-SOCl<sub>2</sub>, , Li-SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, Li-I<sub>2</sub>, Li-CuO.

In Tabella 16 per gli **accumulatori Litio-ione**, si propongono gli esiti della ricerca fatta sui principali materiali catodici e per alcuni componenti della soluzione elettrolitica.

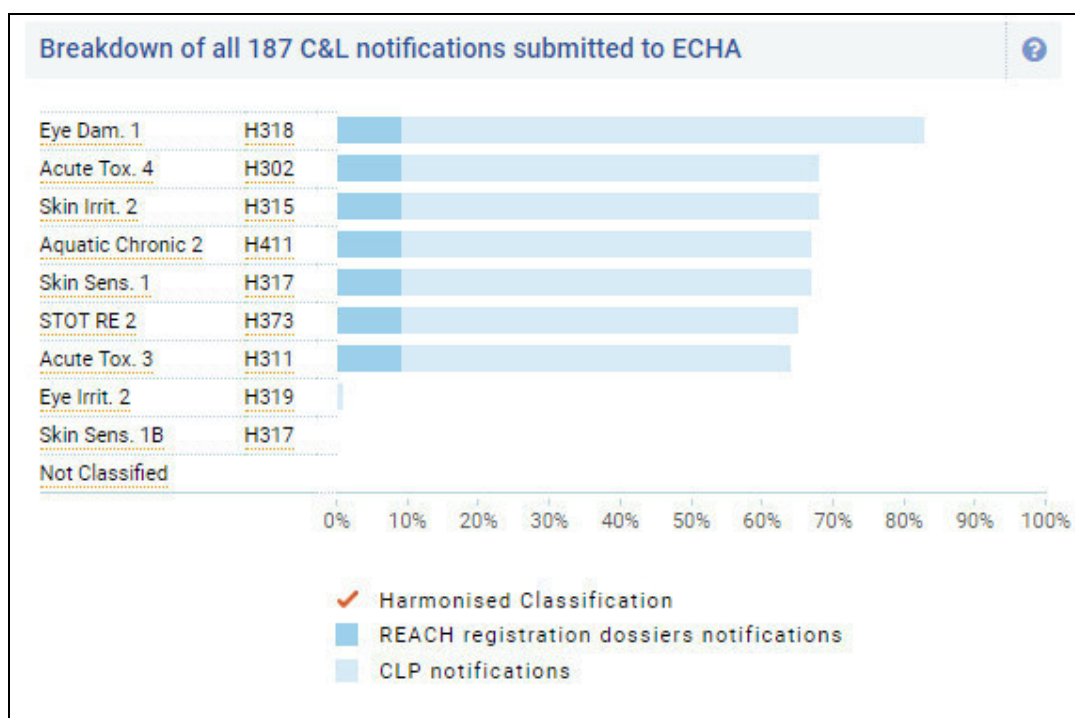


Figura 30. Istogramma delle proprietà di pericolo per il carbonato di vinile (*Vinylene carbonate*)<sup>12</sup>. Dati provenienti da un totale di 187 notifiche (Notifiche CLP e Notifiche per la procedure di registrazione REACH)

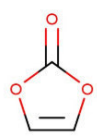

<sup>11</sup>

[https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.011.659?\\_disssubinfo\\_WAR\\_disssubinfoportlet\\_backURL=https%3A%2F%2Fecha.europa.eu%2F%2Fhome%3Fp\\_p\\_id%3Ddisssimplesearchhomepage\\_WAR\\_dissearchportlet%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-1%26p\\_p\\_col\\_count%3D2%26\\_disssimplesearchhomepage\\_WAR\\_dissearchportlet\\_sessionCriteriaId%3D](https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.011.659?_disssubinfo_WAR_disssubinfoportlet_backURL=https%3A%2F%2Fecha.europa.eu%2F%2Fhome%3Fp_p_id%3Ddisssimplesearchhomepage_WAR_dissearchportlet%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D2%26_disssimplesearchhomepage_WAR_dissearchportlet_sessionCriteriaId%3D)

<sup>12</sup> <https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.011.659>












**Vinylene carbonate**

Regulatory process names 1 CAS names 1 IUPAC names 3 Trade names 1 Other identifiers 1 BP









|   |  |   |
|---|--|---|
| <p><b>Substance Identity</b></p> <p><b>EC / List no.:</b> 212-825-5</p> <p><b>CAS no.:</b> 872-36-6</p> <p><b>Mol. formula:</b> C<sub>3</sub>H<sub>2</sub>O<sub>3</sub></p>  | <p><b>Hazard classification &amp; labelling</b></p>  <p><b>Danger!</b> According to the classification provided by companies to ECHA in <b>REACH registrations</b> this substance is toxic in contact with skin, is toxic to aquatic life with long lasting effects, is harmful if swallowed, causes serious eye damage, may cause damage to organs through prolonged or repeated exposure, causes skin irritation and may cause an allergic skin reaction.</p> | <p><b>Properties of concern</b></p> <p><b>Ss</b> A majority of data submitters agree this substance is Skin sensitising</p> <p><b>How to use it safely</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Precautionary measures suggested by manufacturers and importers of this substance.</li> <li>Guidance on the safe use of the substance provided by manufacturers and Importers of this substance.</li> </ul> |
| <p><b>About this substance</b></p> <p>This substance is manufactured and/or imported in the European Economic Area in 100 - 1 000 tonnes per year.</p> <p>This substance is used in articles, in formulation or re-packing and at industrial sites.</p>       |  |   |

**Figura 31. Prima parte dell'pagina di accesso alle informazioni REACH su *Vinylene carbonate***

Tabella 15. Batterie al Litio. Classificazione ed etichettatura di sostanze attive

| Pila al litio        | Composti chimici                           | Formula Molecolare                            | Numero CAS        | Stato fisico 20°C e 1013 hPa     | Classificazione  | Pittogrammi   |   |   |   | Riferimento ECHA  |
|----------------------|--|---|-------------------|----------------------------------|--|---|---|---|---|---|
| Li-MnO <sub>2</sub>  | Biossido di Manganese                      | MnO <sub>2</sub>                              | 1313-13-9         | Solido                           | Tossicità acuta, Orale (Categoria 4), H302<br>Tossicità acuta, Inalazione (Categoria 4), H332<br>Tossicità specifica per organi bersaglio - esposizione ripetuta, Inalazione (Categoria 2), Cervello, H373                                     |    |    | -   | - | <a href="https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.013.821">https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.013.821</a>   |
|                      | Perclorato di Litio                        | CLiO <sub>4</sub>                             | 7791-03-9         | Solido                           | Solidi comburenti (Categoria 2), H272<br>Irritazione cutanea (Categoria 2), H315<br>Irritazione oculare (Categoria 2), H319<br>Tossicità specifica per organi bersaglio - esposizione singola (Categoria 3): STOT SE 3 H335 (vie respiratorie) |    |    | -   | - | <a href="https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.029.307">https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.029.307</a>   |
|                      | Carbonato di Propilene                     | 4-Methyl-1,3-dioxolan-2-one                   | 108-32-7          | Liquido<br>Odore fruttato        | Irritazione oculare (Categoria 2), H319  |    | -   | -   | - | <a href="https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.003.248">https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.003.248</a>   |
|                      | Dimetossietano                             | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub> | 110-71-4          | Liquido<br>Odore simile al'etere | H225 Liquido e vapori facilmente infiammabili.<br>H332 Nocivo se inalato.<br>H360FD Può nuocere alla fertilità. Sospettato di nuocere al feto.<br>EUH019 Può formare perossidi esplosivi.  |    |    |  | - | <a href="https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.003.451">https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.003.451</a><br><br>Inclusa nell'elenco delle sostanze candidate estremamente preoccupanti (SVHC) secondo il Regolamento (CE) n. 1907/2006 (REACH) |
| Li-(CF) <sub>x</sub> | Fluoruro di Carbonio o Fluoruro di grafite | CF <sub>x</sub>                               | <b>51311-17-2</b> | Solido                           | H315 Causes skin irritation. H319 Causes serious eye irritation.<br>H335 May cause respiratory irritation.   |  | -   | -   | - | <a href="https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.051.920">https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.051.920</a><br><br>In pre-registrazione   |
|                      | <u>Lithium tetrafluoroborate</u>           | BF <sub>4</sub> Li                            | 14283-07-9        | Solido                           | Tossicità acuta, Orale (Categoria 4), H302: Nocivo se ingerito<br><br>Corrosione cutanea (Categoria 1B), H314: Provoca gravi ustioni cutanee e gravi lesioni oculari   |  |  | -   | - | <a href="https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.034.692">https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.034.692</a><br><br>Sviluppa acido fluoridrico   |



| Pila al litio        | Composti chimici           | Formula Molecolare   | Numero CAS | Stato fisico 20°C e 1013 hPa | Classificazione   | Pittogrammi   |   |   |   | Riferimento ECHA   |
|----------------------|----------------------------|----------------------|------------|------------------------------|---|---|---|---|---|--|
|                      | gamma-butyrolacton         | C4H6O2               | 96-48-0    | Liquido                      | Liquidi infiammabili (Categoria 2)<br>Tossicità acuta, Orale (Categoria 4)<br>Tossicità acuta, Inalazione (Categoria 4)<br>Irritazione oculare (Categoria 2)<br><br>H225 Liquido e vapori facilmente infiammabili. H302 + H332 Nocivo se ingerito o inalato<br>H319 Provoca grave irritazione oculare.  |    |    | -   | -   | <a href="https://echa.europa.eu/brief-profile/-/briefprofile/100.002.282">https://echa.europa.eu/brief-profile/-/briefprofile/100.002.282</a><br><br>Persistente, bioaccumulabile e tossico  |
| Li-SOCl <sub>2</sub> | Cloruro di tionile         | Cl2OS                | 7719-09-7  | Liquido                      | Acute Tox. 4; Acute Tox. 3; Skin Corr. 1A;<br><br>EUH014 Reagisce violentemente con l'acqua. EUH029<br>A contatto con l'acqua libera un gas tossico. H302 Nocivo se ingerito.<br>H314 Provoca gravi ustioni cutanee e gravi lesioni oculari. H331 Tossico se inalato.<br>H335 Può irritare le vie respiratorie:<br>Limiti di concentrazione: >= 1 %: STOT SE 3, H335; |    |    |  |  | <a href="https://echa.europa.eu/brief-profile/-/briefprofile/100.028.863">https://echa.europa.eu/brief-profile/-/briefprofile/100.028.863</a><br><br><b>Additionally</b> , the classification provided by companies to ECHA in <b>REACH registrations</b> identifies that this substance is toxic if inhaled, causes serious eye damage and may cause respiratory irritation.<br><b>Additionally</b> , the classification provided by companies to ECHA in <b>CLP notifications</b> identifies that this substance is fatal if swallowed, is fatal if inhaled and may cause damage to organs through prolonged or repeated exposure. |
|                      | Litio tetracloroalluminato | AlCl <sub>4</sub> Li | 14024-11-4 | Solido                       | H302 + H312 + H332 Harmful if swallowed, in contact with skin or if inhaled<br>H314 Causes severe skin burns and eye damage.<br>Acute toxicity, Oral (Category 4) Acute toxicity, Inhalation (Category 4) Acute toxicity, Dermal (Category 4) Skin corrosion (Category 1B)<br>Supplemental Hazard information (EU) EUH014 Reacts violently with water.                |  |  | -   | -   | <a href="https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.034.396">https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.034.396</a>  |



















| Pila al litio                      | Composti chimici             | Formula Molecolare                           | Numero CAS | Stato fisico 20°C e 1013 hPa             | Classificazione  | Pittogrammi   |   |   |   | Riferimento ECHA   |
|------------------------------------|------------------------------|--|------------|--|--|---|---|---|---|--|
| Li-SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> | Cloruro solforile            | diCl <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S           | 7791-25-5  | Liquido<br>Odore pungente<br>Lacrimogeno | Skin Corr. 1B; STOT SE 3; H314, H335, EUH014<br><br>EUH014 Reagisce violentemente con l'acqua. H314 Provoca gravi ustioni cutanee e gravi lesioni oculari. H335 Può irritare le vie respiratorie. Skin Corr. Corrosione cutanea STOT SE 3 Tossicità specifica per organi bersaglio - esposizione singola |    |    | -   | -   | <a href="https://echa.europa.eu/brief-profile/-/briefprofile/100.029.314">https://echa.europa.eu/brief-profile/-/briefprofile/100.029.314</a>  |
| Li-I <sub>2</sub>                  | Iodio                        |  |            | Solido                                   |  |   |   |   |   | <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Iodine">https://en.wikipedia.org/wiki/Iodine</a>  |
|                                    | Poli-2-vinil piridina (P2VP) |  | 25014-15-7 | Solido                                   | Irritazione cutanea (Categoria 2)<br>Irritazione oculare (Categoria 2)<br>Tossicità specifica per organi bersaglio - esposizione singola (Categoria 3)<br><br>H315 Provoca irritazione cutanea.<br>H319 Provoca grave irritazione oculare.<br>H335 Può irritare le vie respiratorie.                     |    | -   | -   | -   | <a href="https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.154.714">https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.154.714</a>                                    |
| Li-CuO                             | Ossido di rame (II)          | CuO  | 1317-38-0  | Solido                                   | Sensibilizzante della pelle E delle vie respiratorie<br><br>Tossicità acuta, Categoria 4, Orale, H302<br>Tossicità acuto per l'ambiente acquatico, Categoria 1, H400<br>Tossicità cronica per l'ambiente acquatico, Categoria 1, H410  |    |    | -   | -   |  |
|                                    | 1,3-diossolano               | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> | 646-06-0   | Liquido                                  | Tossico per la riproduzione;<br>Flam. Liq. 2; Eye Irrit. 2; Repr. 1B; H225, H319, H360<br><br>H225 Liquido e vapori facilmente infiammabili.<br>H319 Provoca grave irritazione oculare.<br>H360 Può nuocere alla fertilità o al feto.  |  |  |  |  | <a href="https://echa.europa.eu/brief-profile/-/briefprofile/100.010.422">https://echa.europa.eu/brief-profile/-/briefprofile/100.010.422</a><br><br>Uso ristretto agli utilizzatori professionali |

Tabella 16. Accumulatori al Litio. Classificazione ed etichettatura di sostanze attive



| Materiale attivo | Composto chimico e formula molecolare  | Numero CAS       | Stato fisico 20°C e 1013 hPa | Classificazione  | Pittogrammi | Riferimento ECHA   |
|------------------|--|------------------|------------------------------|--|-------------|--|
| Catodo           | Cobalt lithium dioxide<br>LiCoO <sub>2</sub>   | 12190-79-3       | Solido                       | <i>Danger! According to the classification provided by companies to ECHA in CLP notifications this substance may cause cancer, is harmful if swallowed and may cause an allergic skin reaction.</i>  |             | <a href="https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.032.135">https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.032.135</a><br><br><a href="https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.032.135">https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.032.135</a> |
|                  | Cobalt lithium manganese nickel oxide<br>LiNi <sub>1/3</sub> Mn <sub>1/3</sub> Co <sub>1/3</sub> O <sub>2</sub>  | 346417-97-8      | Solido                       | -  |             | <a href="https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.128.051">https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.128.051</a><br><br>A majority of data submitters agree this substance is Skin sensitising  |
|                  | Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide<br>AlCoLiNiO <sub>4</sub><br>LiNi <sub>0.8</sub> Co <sub>0.15</sub> Al <sub>0.05</sub> O <sub>2</sub><br>La proporzione Ni/Co/Al cambia a seconda della formulazione | EC No. 700-042-6 | Solido                       | <i>Danger! According to the classification provided by companies to ECHA in REACH registrations this substance causes severe skin burns and eye damage, causes serious eye damage, may cause damage to organs through prolonged or repeated exposure and is harmful to aquatic life with long lasting effects.</i> |             | <a href="https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.128.376">https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.128.376</a><br><br><a href="https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.128.376">https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.128.376</a> |
|                  | Lithium Manganese (III,IV) oxide<br>LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>   | 12057-17-9       | Solido                       | <i>Warning! According to the classification provided by companies to ECHA in CLP notifications this substance is harmful if swallowed, is harmful if inhaled and may cause long lasting harmful effects to aquatic life.</i>   |             | <a href="https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.126.994">https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.126.994</a>  |


| Materiale attivo            | Composto chimico e formula molecolare                               | Numero CAS                                | Stato fisico 20°C e 1013 hPa | Classificazione  | Pittogrammi   |   |   |   | Riferimento ECHA  |
|-----------------------------|---|---|------------------------------|--|---|---|---|---|---|
|                             | lambda2-iron(2+) lithium(1+) phosphate<br><br>LiFePO4 <sup>13</sup> | 15365-14-7<br>EC / List no.:<br>476-700-9 | Solido                       | Non classificato   |   |   |   |   | <a href="https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.105.146">https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.105.146</a> |
| Elettrolita - Sale di Litio | Lithium Hexafluorophosphate<br><br>LiPF6                            | 21324-40-3                                | Solido                       | <p><i>Acute Tox. 3, H301<br/>Eye Dam. 1, H318<br/>STOT RE 1, H372<br/>Skin Corr. 1A, Skin corrosion - H314</i></p> <p><i>Danger! According to the classification provided by companies to ECHA in <b>CLP notifications</b> this substance is toxic if swallowed, causes severe skin burns and eye damage, causes damage to organs through prolonged or repeated exposure, is toxic in contact with skin and causes serious eye damage.</i></p> |  |  |  |  | <a href="https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.040.289">https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.040.289</a> |











<sup>13</sup> Sulla stabilità delle Litio ferro fosfato <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/ra/c7ra06027k#!divAbstract>

| Materiale attivo | Composto chimico e formula molecolare                | Numero CAS | Stato fisico 20°C e 1013 hPa | Classificazione   | Pittogrammi   |   |  | Riferimento ECHA |  |
|------------------|--|------------|------------------------------|---|---|---|--|------------------|--|
|                  | Lithium Tetrafluoroborate<br><br>LiBF <sub>4</sub>   | 238-178-9  | Solido                       | Acute Tox. 4, H302<br>Skin Corr. 1B, H314<br>Eye Dam. 1, H318<br>Acute Tox. 4, H332 (Harmful if inhaled)<br>Acute Tox. 4, H312 (Harmful for skin)<br><br><i>Danger! According to the classification provided by companies to ECHA in CLP notifications this substance causes severe skin burns and eye damage, is harmful if swallowed, causes serious eye damage, is harmful if inhaled and is harmful in contact with skin.</i> |  |  |  |                  | <a href="https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.034.692">https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.034.692</a><br><br> R<br>Toxic for reproduction |
|                  | Lithium Hexafluoroarsenate<br><br>LiAsF <sub>6</sub> | 29935-35-1 | Solido                       | Tossicità acuta, Inalazione (Categoria 3) <sup>14</sup><br>Tossicità acuta, Orale (Categoria 3)<br>Tossicità acuta per l'ambiente acquatico (Categoria 1)<br>Tossicità cronica per l'ambiente acquatico (Categoria 1)<br><br>H301 Tossico se ingerito. H331 Tossico se inalato. H410 Molto tossico per gli organismi acquatici con effetti di lunga durata.   |  |  |  |                  | <a href="https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.045.406">https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.045.406</a><br><br><i>Some uses of this substance are restricted under Annex XVII of REACH.</i>                  |







<sup>14</sup> In Italiano, le Informazioni da SDS Sigma Aldrich








| Materiale attivo | Composto chimico e formula molecolare              | Numero CAS | Stato fisico 20°C e 1013 hPa | Classificazione  | Pittogrammi   |  |  | Riferimento ECHA   |
|------------------|--|------------|------------------------------|--|---|--|--|--|
|                  | Lithium Iodide<br><br>LiI                          | 10377-51-2 | Solido                       | <p><i>Warning!</i><br/>According to the classification provided by companies to ECHA in <b>CLP notifications</b> this substance causes serious eye irritation, is harmful if swallowed, causes skin irritation and may cause respiratory irritation.</p> <p><a href="https://echa.europa.eu/it/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/details/43643">https://echa.europa.eu/it/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/details/43643</a></p>  |  |  |  | <p><a href="https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.030.735?disssubinfo_WAR_disssubinfoportlet_backURL=https%3A%2F%2Fecha.europa.eu%2Fit%2Fsearch-for-chemicals%3Fp_id%3Ddisssimplesearch_WAR_dissearchportlet%26p_lifecycle%3D0%26p_state%3Dnormal%26p_mode%3Dview%26p_col_id%3Dcolumn-1%26p_col_count%3D1%26disssimplesearch_WAR_dissearchportlet_sessionCriteriaId%3DdisSimpleSearchSessionParam101401564910053820">https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.030.735?disssubinfo_WAR_disssubinfoportlet_backURL=https%3A%2F%2Fecha.europa.eu%2Fit%2Fsearch-for-chemicals%3Fp_id%3Ddisssimplesearch_WAR_dissearchportlet%26p_lifecycle%3D0%26p_state%3Dnormal%26p_mode%3Dview%26p_col_id%3Dcolumn-1%26p_col_count%3D1%26disssimplesearch_WAR_dissearchportlet_sessionCriteriaId%3DdisSimpleSearchSessionParam101401564910053820</a></p> |
|                  | Lithium Trifluoromethane Sulfonate<br><br>LiCF3SO3 | 33454-82-9 | Solido                       | <p><i>Warning!</i> According to the classification provided by companies to ECHA in <b>CLP notifications</b> this substance is harmful if swallowed, causes serious eye irritation, causes skin irritation and may cause respiratory irritation.</p> <p>Irritazione cutanea (Categoria 2)<br/>Irritazione oculare (Categoria 2)<br/>Tossicità specifica per organi bersaglio - esposizione singola (Categoria 3)</p> <p>H315 Provoca irritazione cutanea.<br/>H319 Provoca grave irritazione oculare.<br/>H335 Può irritare le vie respiratorie.</p> |   |  |  |   |

| Materiale attivo | Composto chimico e formula molecolare  | Numero CAS | Stato fisico 20°C e 1013 hPa | Classificazione  | Pittogrammi   | Riferimento ECHA  |
|------------------|--|------------|------------------------------|--|---|---|
|                  | Lithium Bis(Trifluoromethanesulfonyl)Imide<br><br>LiN(CF <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> | 90076-65-6 | Solido                       | <p><i>Danger! According to the classification provided by companies to ECHA in <b>CLP notifications</b> this substance is fatal in contact with skin, causes severe skin burns and eye damage, is toxic if swallowed, causes damage to organs through prolonged or repeated exposure, is harmful to aquatic life with long lasting effects and causes serious eye damage.</i></p> <p>Tossicità acuta, Orale (Categoria 3), H301 Tossicità acuta, Dermico (Categoria 3), H311 Corrosione cutanea (Categoria 1B), H314 Tossicità specifica per organi bersaglio - esposizione ripetuta (Categoria 2), H373 Tossicità cronica per l'ambiente acquatico (Categoria 3), H412</p> <p>H301 + H311 Tossico se ingerito o a contatto con la pelle<br/>H314 Provoca gravi ustioni cutanee e gravi lesioni oculari.<br/>H373 Può provocare danni agli organi in caso di esposizione prolungata o ripetuta.<br/>H412 Nocivo per gli organismi acquatici con effetti di lunga durata.</p> |  | <a href="https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.133.766">https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.133.766</a> |

| Materiale attivo      | Composto chimico e formula molecolare  | Numero CAS | Stato fisico 20°C e 1013 hPa | Classificazione  | Pittogrammi  |   |   |   | Riferimento ECHA   |
|-----------------------|--|------------|------------------------------|--|--|---|---|---|--|
| Elettrolita- Solventi | Lithium Perchlorate<br>LiClO4          | 7791-03-9  | Solido                       | Solidi comburenti (Categoria 2), H272<br>Irritazione cutanea (Categoria 2), H315<br>Irritazione oculare (Categoria 2), H319<br>Tossicità specifica per organi bersaglio - esposizione singola (Categoria 3), Sistema respiratorio, H335<br><br>H272 Può aggravare un incendio; comburente.<br>H315 Provoca irritazione cutanea.<br>H319 Provoca grave irritazione oculare.<br>H335 Può irritare le vie respiratorie. |   |  |   |   | <a href="https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.029.307">https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.029.307</a><br><br><a href="https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.029.307">https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.029.307</a> |
|                       | Vinylene carbonate<br>C3H2O3           | 872-36-6   | Liquido                      | <i>Danger!</i> According to the classification provided by companies to ECHA in <b>REACH registrations</b> this substance is toxic in contact with skin, is toxic to aquatic life with long lasting effects, is harmful if swallowed, causes serious eye damage, may cause damage to organs through prolonged or repeated exposure, causes skin irritation and may cause an allergic skin reaction.                  | <br> |  |  |  | <a href="https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.011.659">https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.011.659</a><br>   |
|                       | Dimethyl carbonate (DMC)<br>C3H6O3     | 616-38-6   | Liquido                      | <i>Danger!</i> According to the <b>harmonised classification and labelling</b> (CLP00) approved by the European Union, this substance is a highly flammable liquid and vapour.   |   |   |   |   | <a href="https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.009.527">https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.009.527</a>  |
|                       | Ethyl methyl carbonate (EMC)<br>C4H8O3 | 623-53-0   | Liquido                      | H225<br><i>Danger!</i> According to the classification provided by companies to ECHA in <b>REACH registrations</b> this substance is a highly flammable liquid and vapour.   |   |   |   |   | <a href="https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.103.173">https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.103.173</a>  |



| Materiale attivo | Composto chimico e formula molecolare | Numero CAS | Stato fisico 20°C e 1013 hPa | Classificazione   | Pittogrammi   |   |   | Riferimento ECHA   |
|------------------|---------------------------------------|------------|------------------------------|---|---|---|---|--|
|                  | Diethyl carbonate (DEC)<br>C5H10O3    | 105-58-8   | Liquido                      | <p><i>Warning!</i> According to the classification provided by companies to ECHA in <b>REACH registrations</b> this substance is a flammable liquid and vapour.</p> <p><b>Additionally</b>, the classification provided by companies to ECHA in <b>CLP notifications</b> identifies that this substance causes serious eye irritation, causes skin irritation and may cause respiratory irritation.</p>   |  |  |   | <a href="https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.003.011">https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.003.011</a>  |
|                  | Propylene carbonate (PC)<br>C4H6O3    | 108-32-7   | Liquido                      |   |  |   |   | <a href="https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.003.248">https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.003.248</a>  |
|                  | Ethylene carbonate (EC)<br>C3H4O3     | 96-49-1    | Solido                       | <p><i>Warning!</i> According to the classification provided by companies to ECHA in <b>REACH registrations</b> this substance is harmful if swallowed, causes serious eye irritation and may cause damage to organs through prolonged or repeated exposure.</p> <p><b>Additionally</b>, the classification provided by companies to ECHA in <b>CLP notifications</b> identifies that this substance causes serious eye damage, may cause respiratory irritation and causes skin irritation.</p> |  |  |  | <a href="https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.002.283">https://echa.europa.eu/it/brief-profile/-/briefprofile/100.002.283</a><br><br>Vedi il Dossier di registrazione REACH: <a href="https://echa.europa.eu/it/registration-dossier/-/registered-dossier/14909/1">https://echa.europa.eu/it/registration-dossier/-/registered-dossier/14909/1</a><br><br>First published: 02-Mar-2011<br>Last modified: 06-Aug-2019 |

| Materiale attivo | Composto chimico e formula molecolare                   | Numero CAS | Stato fisico 20°C e 1013 hPa | Classificazione   | Pittogrammi   |   |   | Riferimento ECHA   |
|------------------|---|------------|------------------------------|---|---|---|---|--|
|                  | Dimethoxymethane (DMM) - dimethoxymethane<br><br>C3H8O2 | 109-87-5   | Liquido                      | <p><i>Danger!</i> According to the classification provided by companies to ECHA in <b>REACH registrations</b> this substance is a highly flammable liquid and vapour, is harmful if swallowed and may cause damage to organs.</p> <p><b>Additionally</b>, the classification provided by companies to ECHA in <b>CLP notifications</b> identifies that this substance is fatal in contact with skin, causes serious eye irritation, causes skin irritation and may cause respiratory irritation.</p>  |  |  |  | <a href="https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.003.378">https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.003.378</a>  |
|                  | 1,2-Dimethoxyethane (DME)<br><br>C4H10O2                | 110-71-4   | Liquido                      | <p><i>Danger!</i> According to the <b>harmonised classification and labelling (CLP00)</b> approved by the European Union, this substance may damage fertility and may damage the unborn child, is a highly flammable liquid and vapour and is harmful if inhaled.</p> <p><b>Additionally</b>, the classification provided by companies to ECHA in <b>REACH registrations</b> identifies that this substance may damage fertility or the unborn child, is suspected of causing cancer and causes skin irritation. At least one company has indicated that the substance classification is affected by impurities or additives.</p> |  |  |  | <a href="https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.003.451">https://echa.europa.eu/it/substance-information/-/substanceinfo/100.003.451</a><br><br> |

## 6 Marcatura CE ed etichettatura di pile ed accumulatori

Obiettivo di questo paragrafo è quello di verificare quali informazioni sulla composizione chimica sono rese disponibili ai cosiddetti “utilizzatori finali” e “utilizzatori intermedi”, ovvero: imprese che costruiscono batterie a partire da celle di pile o accumulatori al Litio; imprese che le manipolano durante il loro ciclo di vita; imprese che le utilizzano per la realizzazione di dispositivi portatili, impieghi industriali e realizzazione di veicoli elettrici.

Le informazioni sulla composizione chimica, almeno dei materiali attivi, consente di effettuare, la valutazione del rischio chimico, cancerogeno ed incendio/esplosione e la conseguente prevenzione dei rischi per l'uso e le attività connesse [49].

L'immissione sul mercato di *pila o accumulatori industriali*, e il trattamento, riciclo e smaltimento degli stessi come *rifiuto*, sono disciplinati dal D.Lgs. 188/20081, come modificato dal D.Lgs. 21/2011. In particolare l'articolo 22, Comma 1, lettera a) stabilisce quali informazioni devono essere messe a disposizione degli utilizzatori finali, ovvero:

*I produttori di pile e di accumulatori o i terzi che agiscono in loro nome provvedono ad effettuare, mediante il Centro di coordinamento, campagne di informazione per informare gli utilizzatori finali circa:*

*a) i potenziali effetti sull'ambiente e sulla salute umana delle sostanze utilizzate nelle pile e negli accumulatori; [...]*

**Le etichette o le stampigliature** che possono essere presenti su una cella o su una batteria (Figura 34), contengono dati previsti dalle certificazioni di prodotto inclusi i dati previsti dalle norme giuridiche vigenti.



Figura 32. Esempio di etichettatura di una LIB. Fonte: internet

Sulla etichettatura delle celle e batterie si sofferma la Direttiva 2006/66/CE prevalentemente interessata alla gestione della filiera dei rifiuti di batteria e il REGOLAMENTO (UE) N. 1103/2010 DELLA COMMISSIONE del 29 novembre 2010 che, andando nello specifico della Direttiva citata, stabilisce norme relative all'etichettatura indicante **la capacità (elettrica)** di pile e accumulatori portatili secondari (ricaricabili) e per autoveicoli (batterie al piombo).

La certificazione di batterie al Litio è essenziale per la immissione in commercio di batterie e di apparecchiature utilizzatrici e rappresenta uno strumento di garanzia di qualità e una conferma che la batteria è conforme alle aspettative tecniche ovvero conforme alla norme tecniche e giuridiche applicabili.

In Europa, quattro sono i principali ambiti di certificazione:

1. Norme relative alla Marcatura CE, di conformità alle seguenti direttive [50] (Obbligatorie per legge):
  - a. Direttiva ATEX

- b. Direttiva Compatibilità elettromagnetica
  - c. Direttiva bassa tensione
  - d. Direttiva RoHS (batterie automotive con sistemi refrigeranti???)
2. Direttiva “batterie”: Direttiva 2006/66/CE (vedi paragrafo 6.1 di questo capitolo)
  3. Rispondenza alle norme UN 38.3 (Autorizzazione al trasporto) (Vedi Capitolo 6)
  4. Norme tecniche internazionali di sicurezza e di prestazione (Volontarie)

Dal punto di vista della normativa tecnica, la *Cell and Battery designation and marking*, che qui traduciamo con i termini **individuazione/designazione** e **marcatatura**, vengono trattate nelle seguenti norme tecniche:

- Pile al Litio: IEC 60086-1, Edizione 12.0 - 2015-07
- Applicazioni portatili: IEC 61960-3
- Applicazioni industriali: IEC 62620
- Applicazioni per lo stoccaggio di energia prodotte da fonti rinnovabili
  - applicazioni fotovoltaiche off-grid: IEC 61427-1<sup>15</sup>, che richiama la IEC 61960-3
  - on-grid: IEC 61427-2<sup>16</sup>
- Applicazioni automotive: nel corpo di norme IEC 62660<sup>17</sup> non si fa alcun riferimento alla *Battery designation and marking*

Indipendentemente dalle specifiche di cui sopra, altre **designazioni** possono essere utilizzate secondo l'accordo tra produttore e utente.

Le definizioni impiegate nelle norme IEC sopra individuate, sono raccolte nella norma IEC 60050-482:2004, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 482: Primary and secondary cells and batteries* e accessibili all'indirizzo web:

<http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/index?openform&part=482>.

### 6.1 Direttiva 2006/66/CE (Direttiva Batterie) e REGOLAMENTO (UE) N. 1103/2010

Il REGOLAMENTO (UE) N. 1103/2010 DELLA COMMISSIONE del 29 novembre 2010<sup>18</sup> (Regolamento) stabilisce norme relative all'etichettatura indicante la **capacità di** pile e accumulatori portatili secondari (ricaricabili) e per autoveicoli.

Tra gli obiettivi del Regolamento vi è quello di consentire la scelta delle pile adatte per un'apparecchiatura, al fine di utilizzare batterie con vita media più lunga e, di conseguenza, ridurre la quantità di rifiuti di pile e accumulatori.

#### Considerata:

<sup>15</sup> IEC 61427-1, Edition 1.0 2013-04: “Secondary cells and batteries for renewable energy storage – General requirements and methods of test – Part 1: Photovoltaic off-grid application”

<sup>16</sup> IEC 61427-2, Edition 1.0 2015-08: “Secondary cells and batteries for renewable energy storage – General requirements and methods of test – Part 2: On-grid applications”

<sup>17</sup> IEC 62660-1, Edition 2.0 2018-12: “Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles – Part 1: Performance testing”;

IEC 62660-2 [2] specifies the reliability and abuse testing for lithium-ion cells for electric vehicle application.

IEC 62660-3 [3] specifies the safety requirements of lithium-ion cells for electric vehicle application.

<sup>18</sup> REGOLAMENTO (UE) N. 1103/2010 DELLA COMMISSIONE del 29 novembre 2010 che stabilisce, ai sensi della direttiva 2006/66/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, norme relative all'etichettatura indicante la capacità di pile e accumulatori portatili secondari (ricaricabili) e per autoveicoli.

(1) Aumentando la durata di vita media delle pile secondarie (ricaricabili) si può ridurre la quantità di rifiuti.

(2) Al fine di assicurare ai produttori una concorrenza leale e valori di qualità coerenti, è fondamentale che le informazioni riguardanti la capacità contenute nelle etichette siano il risultato di metodi armonizzati, controllabili e ripetibili.

(3) La direttiva 2006/66/CE prescrive che tutte le pile e gli accumulatori portatili e per autoveicoli rechino un'etichetta indicante la capacità, che fornisca informazioni utili, facilmente comprensibili e confrontabili agli utilizzatori finali quando acquistano pile e accumulatori portatili e per autoveicoli.

(4) A norma dell'articolo 21, paragrafo 7, della direttiva 2006/66/CE possono essere concesse deroghe all'obbligo di etichettatura indicante la capacità.

(5) È opportuno concedere tali deroghe alle pile e agli accumulatori che sono venduti incorporati in apparecchiature e che non sono destinati ad essere rimossi dagli utilizzatori finali per motivi di sicurezza, prestazione, protezione medica o integrità dei dati e continuità dell'alimentazione. Queste pile e accumulatori non sono accessibili agli utilizzatori finali che non possono pertanto scegliere il loro acquisto

L'ambito di applicazione specificato nell'Articolo 1, è il seguente:

comma 1: Il regolamento si applica a pile e accumulatori portatili secondari (ricaricabili) e per autoveicoli immessi sul mercato per la prima volta diciotto mesi dopo la data di pubblicazione sulla GUCE, cioè il 30.11.2010;

comma 2 non si applica alle pile e agli accumulatori portatili secondari (ricaricabili) elencati nell'allegato I, ovvero alle pile e agli accumulatori portatili secondari (ricaricabili), incorporati o progettati per essere incorporati in apparecchiature prima della fornitura all'utilizzatore finale e non destinati a essere rimossi a norma dell'articolo 11 della direttiva 2006/66/CE.

In ALLEGATO II, vengono forniti i principi per la "Misurazione della capacità di pile e accumulatori portatili secondari (ricaricabili) e per autoveicoli (al piombo)". Nella Parte A, comma 3) si legge: "La capacità nominale delle pile e degli accumulatori portatili secondari al litio è determinata in base alla norma CEI/EN 61960."

In ALLEGATO III sono specificate le "Informazioni contenute nell'etichetta indicante la capacità". Per le batterie al Litio, si applica la Parte A , comma 1), che stabilisce che l' etichetta indicante la capacità, deve riportare le seguenti informazioni per le pile e gli accumulatori portatili secondari (al nichel-cadmio (NiCd), al nichel idruro metallico (Ni-MH) e) al litio, la capacità nominale secondo quanto indicato rispettivamente nelle norme CEI/EN 61951-1, CEI/EN 60622, CEI/EN 61951-2 e **CEI/EN 61960**:

a) come numero intero quando la capacità è espressa in mAh, eccetto per le pile e gli accumulatori portatili secondari (ricaricabili) destinati a utensili elettrici;

b) come numero decimale a una cifra se la capacità è espressa in Ah e come numero intero se è espressa in mAh, per tutte le pile e gli accumulatori portatili secondari (ricaricabili) destinati a utensili elettrici;

c) con un grado di precisione richiesto dalle norme CEI/EN 61951-1, CEI/EN 61951-2, CEI/EN 60622 e CEI/EN 61960 rispettivamente;

In ALLEGATO IV, si tratta della "Dimensione minima e disposizione delle etichette indicanti la capacità"

*Parte A. Pile e accumulatori portatili secondari (ricaricabili)*

*L'etichetta indicante la capacità delle pile e degli accumulatori portatili secondari (ricaricabili) deve soddisfare i seguenti requisiti:*

*1) per pile e accumulatori singoli, eccetto le pile a bottone e le pile di riserva per la memoria:*

*a) sulla pila e accumulatore: l'etichetta misura almeno 1,0 × 5,0 mm (A × L) (1);*

- b) sull'imballaggio (parte anteriore) delle pile e degli accumulatori: l'etichetta misura almeno  $5,0 \times 12,0$  mm (A × L);
- c) l'etichetta deve essere collocata sull'imballaggio (parte anteriore) e sulle pile e gli accumulatori al suo interno;
- d) per le pile e gli accumulatori venduti senza imballaggio: l'etichetta deve essere collocata sulla pila o sull'accumulatore stesso;
- 2) per pacchi batterie:
- a) per pacchi batterie in cui la superficie del lato più grande è inferiore a 70 cm<sup>2</sup>, l'etichetta misura almeno  $1,0 \times 5,0$  mm (A × L);
- b) per pacchi batterie in cui la superficie del lato più grande è uguale o superiore a 70 cm<sup>2</sup>, l'etichetta misura almeno  $2,0 \times 5,0$  mm (A × L);
- c) l'etichetta va collocata solamente sull'involucro esterno dell'insieme di elementi e non su ognuno di essi;
- 3) qualora la dimensione della pila, dell'accumulatore o del pacco batterie non consenta di apporre un'etichetta della dimensione minima richiesta, la capacità deve essere indicata sull'imballaggio con un'etichetta che misura almeno  $5,0 \times 12,0$  mm (A × L). In questo caso, e qualora la pila, l'accumulatore o il pacco batterie non siano forniti con un proprio imballaggio, la capacità deve essere indicata sull'imballaggio dell'apparecchiatura con la quale sono venduti le pile, gli accumulatori o i pacchi batterie;
- 4) **per pile a bottone e batterie di riserva per la memoria:**
- a) sull'imballaggio (parte anteriore): l'etichetta misura almeno  $5,0 \times 12,0$  mm (A × L);
- b) l'etichetta va collocata sulla parte anteriore dell'imballaggio.

## 6.2 Certificazioni di prodotto ed etichettature pile al Litio

L'argomento viene affrontato nella norma IEC 60086-1:2015 RLV (Redline version): "Primary batteries - Part 1: General", Edizione 12.0 - 2015-07<sup>19</sup>:

*IEC 60086-1:2015 RLV contains both the official IEC International Standard and its Redline version. The Redline version is not an official document, it is available in English only and provides you with a quick and easy way to compare all the changes between the official IEC Standard and its previous edition.*

**IEC 60086-1:2015 is intended to standardize primary batteries with respect to dimensions, nomenclature, terminal configurations, markings, test methods, typical performance, safety and environmental aspects.** As a primary battery classification tool, electrochemical systems are also standardized with respect to system letter, electrodes, electrolyte, nominal and maximum open circuit voltage. The object of this part of IEC 60086 is to benefit primary battery users, device designers and battery manufacturers by ensuring that batteries from different manufacturers are interchangeable according to standard form, fit and function. Furthermore, to ensure compliance with the above, this part specifies standard test methods for testing primary cells and batteries. This twelfth edition cancels and replaces the eleventh edition (2011) and constitutes a technical revision. The major technical changes with respect to the previous edition are:

- the order of the Annexes was changed to the order in which they appear in the document and a caption was added to indicate where the Annex information first appears in the document;
- the humidity conditions for non P-system batteries in Table 3 was modified;

<sup>19</sup> <https://webstore.iec.ch/publication/22991>

- the standard discharge voltage for the Y and W chemistries was determined to be at 3,5 V and 2,8 V respectively;
- details on capacity measurement were moved from Annex E to Subclause 5.1.
- the coin/button cell and battery definition was clarified in order to better address issues with the swallowing of coin cells.

La norma **IEC 60086-4:2019** “Primary batteries - Part 4: Safety of lithium batteries”, tratta invece delle problematiche di sicurezza delle pile al Litio.

Nella Tabella seguente (Tabella 17) si riporta l’elenco delle principali tipologie di pile al Litio ed il Codice sostanza (prima colonna) attribuito in base alla norma **IEC 60086-1:2015** attualmente in revisione (come risulta dalla esistenza di una *Red Lined Version*). Alla composizione chimica corrispondono determinati valori di Tensione Nominale e di Tensione Massima a Circuito Aperto.

**Tabella 17.**

| Letter code | Negative electrode | Electrolyte                       | Positive electrode         | Nominal voltage (V) | Maximum open circuit voltage (V) |
|-------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------------|
| B           | <u>Lithium</u>     | Organic electrolyte               | <u>Carbon monofluoride</u> | 3.0                 | 3.7                              |
| C           | Lithium            | Organic electrolyte               | <u>Manganese dioxide</u>   | 3.0                 | 3.7                              |
| E           | Lithium            | Non-aqueous inorganic electrolyte | <u>Thionyl chloride</u>    | 3.6                 | 3.9                              |
| F           | Lithium            | Organic electrolyte               | <u>Iron disulfide</u>      | 1.5                 | 1.83                             |
| G           | Lithium            | Organic electrolyte               | <u>Copper(II) oxide</u>    | 1.5                 | 2.3                              |

### 6.3 Certificazioni di prodotto ed etichettatura di accumulatori Litio-ione

#### 6.3.1 Applicazioni portatili: IEC 61960-3

La norma tecnica IEC 61960-3, Edizione: 1.0 del 2017<sup>20</sup>, è suddivisa in 7 articoli e 2 Allegati: 1\_Scopo, 2\_Riferimenti normativi, 3\_Termini e definizioni, 4\_Tolleranza nella misurazione dei parametri, 5\_*Cell designation and marking*, 6\_Esempi di celle, 7\_Test elettrici; Allegato A: Dimensioni delle celle con contenitore realizzato in materiale laminato (*pouch cells*); Allegato B: Capacità dopo lo stoccaggio.

<sup>20</sup> IEC 61960-3:2017: “Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Secondary lithium cells and batteries for portable applications – Part 3: Prismatic and cylindrical lithium secondary cells, and batteries made from them”.

Le c.d. Applicazioni Portatili, comprendono:

- apparecchiature da tenere in mano (*hand-held equipment*): smartphone, tablet, lettori audio/video, ecc.
- apparecchiature trasportabili (*transportable equipment*): notebook, lettori CD, ecc.
- apparecchiature movimentabili (*movable equipment*): attrezzature di peso massimo pari a 18 kg non installate in modo fisso, oppure provviste di ruote, rotelle o altri mezzi per facilitarne il movimento da parte del personale utilizzatore come richiesto dall'uso particolare; , or other means to facilitate movement by an ordinary person as required to perform its intended use; utensili elettrici, cicli servoassistiti, telecamere professionali, ecc.

Sono **escluse**, da questa classe:

- tutte le applicazioni che utilizzano batterie con tensione nominale uguale o maggiore alla soglia di pericolo di 60 V DC
- EESS (Electrical Energy Storage Systems) e UPS con capacità superiore a 500 Wh
- Veicoli elettrici *Self-propelled*

L'obiettivo della norma è quello di fornire agli acquirenti e agli utenti di batterie al Litio destinate alle applicazioni portatili, una serie di criteri con cui poter confrontare le prestazioni delle batterie offerte da vari produttori:

*This document defines a minimum required level of performance and a standardized methodology by which testing is performed and the results of this testing reported to the user. Hence, users will be able to establish the viability of commercially available cells and batteries via the declared specification and thus be able to select the cell or battery best suited for their intended application. The end user can handle only batteries which have completely fulfilled all the requirements of this document and others concerning safety such as IEC 62133-2. This document covers secondary lithium cells and batteries with a range of chemistries. Each electrochemical couple has a characteristic voltage range over which it releases its electrical capacity, a characteristic nominal voltage and a characteristic final voltage during discharge. Users of secondary lithium cells and batteries are requested to consult the manufacturer for advice.*

La Norma richiama le seguenti:



- ✓ IEC 60050-482:2004, International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 482: Primary and secondary cells and batteries;
- ✓ IEC 61000-4-2, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test
- ✓ IEC 62133-2:2017, Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Safety requirements for portable sealed secondary cells and for batteries made from them, for use in portable applications – Part 2: Lithium systems

### 6.3.1.1 Designazione

Le celle e le batterie Litio ione, devono essere designate con una stringa di numeri e lettere disposti nelle seguenti successioni (Tabella 18), il cui significato è dato in Tabella 19. La Tabella 20 illustra alcuni esempi di utilizzo delle sequenze alfanumeriche, tratti dalla IEC 61960-3.



**Tabella 18. Designazione di accumulatori LIB per applicazioni portatili**

|  | Celle                 | Batterie                      |  |
|---|-----------------------|-------------------------------|---|
|   | A1 A2 A3 N2 / N3 / N4 | N1 A1 A2 A3 N2 / N3 / N4 – N5 |   |

**Tabella 19. Significato dei simboli della sequenza di designazione di celle e batterie. Il testo è quello originale della norma e si lasciano inalterati i rimandi a paragrafi specifici**

|   |  |
|---|--|
| <b>N1</b>   | <i>is the number of series connected cells in the battery;</i>   |
| <b>N2</b>   | <i>is the maximum diameter (if R) or the maximum thickness (if P) in millimetres rounded up to the next whole number;</i>  |
| <b>N3</b>   | <i>is the maximum width (if P) in millimetres rounded up to the next whole number (N3 not shown if R);</i>   |
| <b>N4</b>   | <i>is the maximum overall height in millimetres rounded up to the next whole number;</i>   |
| <b>N5</b>   | <i>is the number of parallel connected cells if two or more (not shown if value is 1).</i>   |
| <b>NOTE 1.</b> <i>If any dimension is less than 1 mm, the units used are tenths of millimetres and the single number is written tN.</i> |  |
| <b>A1</b>   | <i>designates the <b>negative electrode</b> basis in which:</i><br><i>I is carbon;</i><br><i>L is lithium metal or lithium alloy;</i><br><i>T is titanium;</i><br><i>X is others;</i>  |
| <b>A2</b>   | <i>designates the <b>positive electrode</b> basis in which:</i><br><i>C is cobalt;</i><br><i>F is iron;</i><br><i>Fp is iron phosphate;</i><br><i>N is nickel;</i><br><i>M is manganese;</i><br><i>Mp is manganese phosphate;</i><br><i>T is titanium;</i><br><i>V is vanadium;</i><br><i>X is others;</i> |
| <b>A3</b>   | <i>designates the <b>shape</b> of the cell in which</i><br><i>R is cylindrical;</i><br><i>P is prismatic;</i>  |

**Tabella 20. Esempi di utilizzo delle sequenze alfanumeriche**

**EXAMPLE 1** ICR19/66 designates a cylindrical Li-ion secondary cell, with a cobalt-based positive electrode, a maximum diameter which is greater than 18 mm and less than or equal to 19 mm, a maximum overall height which is greater than 65 mm and less than or equal to 66 mm.

**EXAMPLE 2** ICP9/35/150 designates a prismatic Li-ion secondary lithium cell, with a cobalt-based positive electrode, a maximum thickness which is greater than 8 mm and less than or equal to 9 mm, a maximum width which is greater than 34 mm and less than or equal to 35 mm, and a maximum overall height which is greater than 149 mm and less than or equal to 150 mm.

**EXAMPLE 3** ICPt9/35/48 designates a prismatic Li-ion secondary lithium cell, with a cobalt-based positive electrode, a maximum thickness which is greater than 0,8 mm and less than or equal to 0,9 mm, a maximum width which is greater than 34 mm and less than or equal to 35 mm, and a maximum overall height which is greater than 47 mm and less than or equal to 48 mm.

**EXAMPLE 4** 1ICR20/70 designates a cylindrical Li-ion secondary battery with one single cell, a cobalt-based positive electrode, a maximum diameter which is greater than 19 mm and less than or equal to 20 mm, and a maximum overall height which is greater than 69 mm and less than or equal to 70 mm.

**EXAMPLE 5** 2ICP20/34/70 designates a prismatic Li-ion secondary battery with two series connected cells, a cobalt-based positive electrode, a maximum thickness which is greater than 19 mm and less than or equal to 20 mm, a maximum width which is greater than 33 mm and less than or equal to 34 mm, and a maximum overall height which is greater than 69 mm and less than or equal to 70 mm.

**EXAMPLE 6** 1ICP20/68/70-2 designates a prismatic Li-ion secondary battery with two parallel connected cells, a cobalt-based positive electrode, a maximum thickness which is greater than 19 mm and less than or equal to 20 mm, a maximum width which is greater than 67 mm and less than or equal to 68 mm, and a maximum overall height which is greater than 69 mm and less than or equal to 70 mm.

**EXAMPLE 7** When the batteries which have different designation such as ICR19/66 and ICP9/35/150 are parallel connected into single case, the marking to the case is taken as (ICR19/66)(ICP9/35/150).

### 6.3.1.2 Marcatura

Specifiche tecniche oppure manuale di istruzioni o altri documenti simili, devono essere forniti dal produttore: questa documentazione sostituisce la stampigliatura nel caso di celle troppo piccole. In generale, la marcatura (*Marking*) o **stampigliatura** di celle e batterie seguirà i seguenti criteri:

- ❖ batteria destinata ad un utente finale, le seguenti informazioni devono essere stampigliate sul prodotto:
  - batteria secondaria al Litio o Litio-ione
  - individuazione della cella o batteria con la stringa di cui al paragrafo precedente
  - polarità (qualora confondibile)
  - data di produzione (che può essere scritta anche come codice)
  - nome o identificazione del produttore o del fornitore
  - capacità stimata
  - tensione nominale
- ❖ Se una cella può essere ingerita (ad esempio gli accumulatori a bottone o di altre dimensioni simili) occorre stampigliare sulla cella o sul package, la seguente dicitura:
  - pericolo ingestione (importante per le pile al Litio, a questo argomento è dedicato un capitolo nella norma IEC 60086-4 del 2019<sup>21</sup>)

---

<sup>21</sup> IEC 60086-4:2019: "Primary batteries - Part 4: Safety of lithium batteries".

[https://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec60086-4%7Bed5.0%7Db.pdf](https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60086-4%7Bed5.0%7Db.pdf)

- ❖ batteria destinata all'impiego in apparecchiatura e con essa viene venduta:
  - invece della identificazione con stringa (paragrafo 5.1 della norma) si può utilizzare il Codice prodotto o solo il Nome della batteria. Nel caso in cui la batteria non debba essere rimossa, non è necessaria la stampigliatura della stringa identificativa.
- ❖ celle che devono essere vendute ad un assemblatore di batterie
  - l'accordo di fornitura prevede che le celle non vengano stampigliate con la stringa identificativa (paragrafo 5.1 della norma).

Il paragrafo 5.3 della IEC 61960-3 stabilisce, infine

*“In order to ensure the safe use of lithium-ion secondary batteries, cell manufacturers shall provide equipment manufacturers who design and produce lithium-ion secondary batteries with the requirements specified in IEC 62133-2:2017, Annex A<sup>22</sup>.”*

### 6.3.1.3 Esempio pratico



**Figura 33. Batteria litio-ione JETECH**

**Prima riga:** Batteria JETECH con polarità specificate

**Seconda riga:** Batteria litio-ione

**Marchi:** Conformità alla ISO 9001; Marcatura CE di conformità (*forse*) alla direttiva RoHS

**Attre diciture sotto i marchi:** Riferimento alla norma IEC62133<sup>23, 24</sup>; UN 38.3 (n.d.r: si presume che abbia superato i test previsti per l'autorizzazione al trasporto di merci pericolose); MSDS ( n.d.r: conforme alla

<sup>22</sup> IEC 62133-2:2017, Annex A. Annex A (normative) Charging and discharging range of secondary lithium ion cells for safe use

<sup>23</sup> IEC 62133-1 Ed. 1.0 b:2017: “Secondary Cells And Batteries Containing Alkaline Or Other Non-Acid Electrolytes - Safety Requirements For Portable Sealed Secondary Cells, And For Batteries Made From Them, For Use In Portable Applications - Part 1: Nickel Systems”;

<sup>24</sup> IEC 62133-2 Ed. 1.0 b:2017: “Secondary Cells And Batteries Containing Alkaline Or Other Non-Acid Electrolytes - Safety Requirements For Portable Sealed Secondary Lithium Cells, And For Batteries Made From Them, For Use In Portable Applications - Part 2: Lithium Systems”

UN38.3? ma la norma non la prevede...; esiste una Material Safety Data Sheet? se si, in internet non si trova...e andrebbe chiesta al produttore o a al venditore)

**Elenco specifiche tecniche:**

- Modello JT-BC200-07<sup>25</sup> (venduta per Hoverboard)
- Tensione: 36 V DC
- Celle (con cui è realizzata la batteria): Samsung
- Capacità: 4,3 Ah
- Potenza: 154,8 Wh
- Data (di produzione): 2016.10

**Stringa: 10ICR19/65-2:** la batteria è costituita da 10 celle Samsung poste in serie, con: anodo in Carbonio (I), Catodo contenente cobalto (C) ed è, in base alla Tabella 19, LCO; di forma cilindrica (R); le celle hanno diametro massimo di 19 mm e altezza massima di 65 mm; 2 celle sono collegate in parallelo.

Nel sito web consultato, verifico che la configurazione è: 10S2P /OEM/ODM (dunque dovrebbe essere costituita da 20 celle LCO di formato 18650) e che la batteria contiene sia il PCM (Protection Circuit Module) che il BMS. La batteria pesa 1 kg e misura cm 15x10x7.

**6.3.2 Applicazioni per lo stoccaggio di energia prodotte da fonti rinnovabili off-grid e on-grid**

Per le Applicazioni fotovoltaiche *off-grid*<sup>26</sup>, la **norma IEC 61427-1**, Edition 1.0 2013-04 (in vigore fino al 2021<sup>27</sup>) dedica il paragrafo 5.4 alla marcatura delle celle e delle batterie monoblocco affermando che devono essere applicate le norme di cui al paragrafo 7.2 nel quale, per le tecnologie Litio-ione si rimanda alla *IEC 61960 for portable lithium batteries*, annotando che *The IEC 62620 for lithium batteries for use in industrial applications is under development.*

| Properties                    | Unit |
|-------------------------------|------|
| Declared FSB capability       | kW   |
| Battery chemistry             | n/a  |
| Brand or model name           | n/a  |
| Type designation              | n/a  |
| Manufacturer                  | n/a  |
| Hardware and software version | n/a  |
| Any other useful information  | n/a  |

**Figura 34**

Per le Applicazioni *on-grid*<sup>28</sup>, la **norma IEC 61427-2**, il produttore deve accompagnare il prodotto con una “Dichiarazione delle caratteristiche del sistema” (Paragrafo 7.1):

*The key features of the full-sized battery (FSB) and test object battery (TOB) of 6.2 through 6.5, as available from the manufacturer or determined experimentally, shall be reported in Tables 1, 2, 3 and 4 with appropriate accuracy.*

dove la Tabella 2 raccoglie le dimensioni della batteria intera (Full Sized Battery) incluso il BMS e il BSS e la Tabella 3 la dichiarazione delle proprietà indicate in Figura 34. Per l’individuazione (quarta voce di Figura 34) si rimanda alla norma IEC 62620.

<sup>25</sup> [https://www.alibaba.com/product-detail/Blue-PVC-pack-36v-4Ah-hoverboard\\_60837030311.html?spm=a2700.icbuShop.61684.2.56dd614eYeFEu2](https://www.alibaba.com/product-detail/Blue-PVC-pack-36v-4Ah-hoverboard_60837030311.html?spm=a2700.icbuShop.61684.2.56dd614eYeFEu2)

<sup>26</sup> *IEC 61427-1:2013 is part of a series which gives general information relating to the requirements for the secondary batteries used in photovoltaic energy systems (PVES) and to the typical methods of test used for the verification of battery performances. This part deals with cells and batteries used in photovoltaic off-grid applications. This standard is applicable to all types of secondary batteries.*

<sup>27</sup> <https://webstore.iec.ch/publication/5449>

<sup>28</sup> *On-grid applications are characterized by the fact that batteries are connected, via power conversion devices, to a regional or nation- or continent-wide electricity grid and act as instantaneous energy sources and sinks to stabilize the grids performance when randomly major amounts of electrical energy from renewable energy sources are fed into it. Related power conversion and interface equipment is not covered by this part of IEC 61427.*

### 6.3.3 Applicazioni industriali

La **Norma IEC 62620**, Edizione 1.0 2014-11<sup>29</sup> è strutturata in 7 capitoli e 1 allegato: 1. Scopo, 2. Riferimenti normativi, 3. termini e definizioni, 4. Marcatura e individuazione, 5. test elettrici, 6. Condizioni di test, Allegato A, informazioni sulla struttura di batterie (con 9 esempi di configurazione ).

Per Applicazioni Industriali, si intendono (a titolo di esempio):

- Applicazioni stazionarie, quali: telecomunicazioni; UPS; ESS o EESS (electrical energy storage system); generatori di emergenza, ecc.)
- Applicazioni mobili: carrelli elevatori; veicoli per il golf; AGV (*automated guided vehicle*), veicoli ferroviari e marini.

Sono esclusi dalla applicazione di questa norma: le batterie per veicoli elettrici destinati alla circolazione stradale, alle quali si applica la IEC 62660.

La Norma IEC 62620 richiama, ai fini delle definizioni, le norme:

- IEC 60050-482:2004, International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 482: Primary and secondary cells and batteries
- ISO/IEC Guide 51, Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards

Tra le definizioni impiegate, si richiamano quelle (Tabella 21) che individuano le Unità cui si applica la Norma.

**Tabella 21. Termini e definizioni ex IEC 62620**



| Termine ex IEC 62620                 | Traduzione                                   | Definizione ex IEC 62620  |
|--------------------------------------|--|---|
| <b>Secondary lithium cell (cell)</b> | Cella secondaria al Litio (cella o elemento) | <i>secondary cell where electrical energy is derived from the insertion/extraction reactions of lithium ions or oxidation/reduction reaction of lithium between the negative electrode and the positive electrode</i><br><b>Note 1 to entry:</b> <i>The cell typically has an electrolyte that consists of a lithium salt and organic solvent compound in liquid, gel or solid form and has a metal or a laminate film casing. It is not ready for use in an application because it is not yet fitted with its final housing, terminal arrangement and electronic control device.</i> |
| <b>Cell block</b>                    | Blocco (o gruppo) di celle                   | <i>group of cells connected together in parallel configuration with or without protective devices (e.g. fuse or PTC) and monitoring circuitry</i><br><b>Note 1 to entry:</b> <i>It is not ready for use in an application because it is not yet fitted with its final housing, terminal arrangement and electronic control device.</i>  |
| <b>Module</b>                        | Modulo                                       | <i>group of cells connected together either in a series and/or parallel configuration with or without protective devices (e.g. fuse or PTC) and monitoring circuitry</i>  |
| <b>Battery pack</b>                  | Pacco batteria                               | <i>energy storage device, which is comprised of one or more cells or modules electrically connected</i><br><b>Note 1 to entry:</b> <i>It may incorporate a protective housing and be provided with terminals or other interconnection arrangement. It may include protective devices and control and monitoring, which provides information (e.g. cell voltage) to a battery system.</i>  |
| <b>Battery system</b>                | Batteria                                     | <i>Battery system which incorporates one or more cells, modules or battery packs; it has a battery management system</i><br><b>Note 1 to entry:</b> <i>It may have cooling or heating units.</i>  |

<sup>29</sup> IEC 62620. Edition 1.0 2014-11: “Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Secondary lithium cells and batteries for use in industrial applications”. Valida fino al 2020.

### 6.3.3.1 Designazione (Designation) delle celle e delle batterie

Celle e batterie devono essere individuate mediante una **sequenza alfanumerica** costituita da lettere (A) e numeri (N) (Tabella 22). Il significato e le attribuzioni delle lettere e dei numeri, è Presentato in Tabella 23. In Tabella 24 sono raccolti gli esempi di utilizzo delle sequenze, tratti dalla norma stessa, per celle e batterie. Nella Tabella 25 sono raccolte le regole per la formulazione della struttura di una batteria e, in Tabella 26, gli esempi grafici di applicazione a sistemi via via più complessi.

**Tabella 22. Codici alfanumerici per la designazione di LIB per uso industriale. Riferimento: norma IEC 62620**

|  | Celle  | Batterie   |  |
|---|--|--|---|
|   | <p style="text-align: center;"><b>A1A2A3/N2/N3/N4/A4/TL</b><br/><b>TH/NC</b></p> | <p style="text-align: center;"><b>A1A2A3/N2/N3/N4/[S1]A4/TLT</b><br/><b>H/NC</b></p> |   |

**Tabella 23. Significato dei simboli della sequenza di designazione di celle e batterie. Il testo è quello originale della norma e si lasciano inalterati i rimandi a paragrafi specifici**

|        |  |
|--------|--|
| A1     | designates the negative electrode basis in which:<br>I is carbon;<br>T is titanium;<br>X is other material.  |
| A2     | designates the positive electrode basis in which:<br>C is cobalt;<br>F is iron;<br>Fp is iron phosphate;<br>N is nickel;<br>M is manganese;<br>Mp is manganese phosphate;<br>V is vanadium;<br>X is other material.                              |
| A3     | designates the shape of the cell in which:<br>R is cylindrical;<br>P is prismatic (including cell with laminate film case).  |
| A4     | designates the rate capability of the cell in which:<br>S is very low rate long-time discharge type<br>E is low rate long-time discharge type;<br>M is medium rate discharge type;<br>H is high rate discharge type                              |
| NOTE 1 | These types of cells are typically but not exclusively used for the following discharge rates at + 25 °C:<br>• S up to 0,125 It A<br>• E up to 0,5 It A,<br>• M up to 3,5 It A,<br>• H up to and above 7,0 It A.                                 |
| NOTE 2 | These currents are expressed as multiples of It A, where It A = C5 Ah/1 h (IEC 61434).   |
| TL     | is the low temperature grade defined in 6.3.2. The information shall be indicated by the sign + or – followed by the temperature value in °C (e.g. -30, 0, +10);   |
| TH     | is the high temperature grade defined in 6.6.2. The information shall be indicated by the sign + or – followed by the temperature value in °C (e.g. +40, +50). If a cell is designed only for cycle application, TH should be mentioned as “NA”; |
| NC     | is the percentage (rounded down to every 5 % step) obtained by the ratio of capacity at 500 cycles by the rated capacity. Refer to 6.6.1 and 6.3.1. If a cell is designed only for stand-by application, NC should be mentioned as “NA”;         |
| N2     | is the maximum diameter (if R) or the maximum thickness (if P) in mm rounded up to the next whole  |

|        |   |
|--------|---|
|        | number;   |
| N3     | is the maximum width (if P) in mm rounded up to the next whole number (N3 not shown if R);  |
| N4     | is the maximum overall height in mm rounded up to the next whole number.  |
| NOTE 3 | If any dimension is less than 1 mm, the units used are tenths of millimetres and the single number is written tN such as "t1" for 0,1 mm. |
| S1     | Is the battery structure formulation shown in 5.3.2 (Tabella 4)   |

**Tabella 24. Esempi di utilizzo delle sequenze alfanumeriche**

| <b>Celle</b>     |   |
|------------------|---|
| <b>EXAMPLE 1</b> | ----INR54/222/H/-20+50/70 would designate a cylindrical Li-ion secondary cell, with a nickel-based positive electrode. Its maximum diameter is between 53 mm and 54 mm, and its overall height is between 221 mm and 222 mm. It is designed for high discharge rate. Its low temperature grade is -20 °C. Its high temperature grade is 50 °C. It applies for both cycle and stand-by application. Its capacity retention after 500 cycles to rated capacity is between 70 % and 74 %.  |
| <b>EXAMPLE 2</b> | ---ICP25/150/150/E/0+60/60 would designate a prismatic Li-ion secondary cell, with a cobalt-based positive electrode. Its maximum thickness is between 24 mm and 25 mm, its maximum width is between 149 mm and 150 mm, and its overall height is between 149 mm and 150 mm. It is designed for low discharge rate over a long period. Its low temperature grade is 0 °C. Its high temperature grade is 60 °C. It applies for both cycle and stand-by application. Its capacity after 500 cycles to rated capacity is between 60 % and 64 %.    |
| <b>EXAMPLE 3</b> | ---INR50/150/M/-30NA/75 would designate a cylindrical Li-ion secondary cell, with a nickel-based positive electrode. Its maximum diameter is between 49 mm and 50 mm, and its overall height is between 149 mm and 150 mm. It is designed for medium discharge rate. Its low temperature grade is -30 °C. Its high temperature grade is NA. It applies for cycle application only. Its capacity retention after 500 cycles to rated capacity is between 75 % and 79 %.  |
| <b>EXAMPLE 4</b> | ---IMP50/240/150/M/-30+10/NA would designate a prismatic Li-ion secondary cell, with a manganese-based positive electrode. Its maximum thickness is between 49 mm and 50 mm, its maximum width is between 239 mm and 240 mm, and its overall height is between 149 mm and 150 mm. It is designed for a medium discharge rate. Its low temperature grade is -30 °C. Its high temperature grade is 10 °C. It applies for stand-by application only.   |
| <b>Batterie</b>  |   |
| <b>EXAMPLE 1</b> | ---ICP200/150/150/[7S]E/0+50/75 would designate a battery composed of 7S connected prismatic Li-ion secondary cells, with a cobalt-based positive electrode. Its cell maximum thickness is between 199 mm and 200 mm, its cell maximum width is between 149 mm and 150 mm, and its cell overall height is between 149 mm and 150 mm. It is designed for low discharge rate over long period. Its low temperature grade is 0 °C. Its high temperature grade is +50 °C. Its capacity after 500 cycles to rated capacity is between 75 % and 79 %. |
| <b>EXAMPLE 2</b> | ----INR54/222[4P3S]H/-20+50/80 would designate a battery composed of 4P-3S connected cylindrical Li-ion secondary cells, with a nickel-based positive electrode. Its cell maximum diameter is between 53 mm and 54 mm, and its cell overall height is between 221 mm and 222 mm. It is designed for high discharge rate. Its low temperature grade is -20 °C. Its high temperature grade is +50 °C. Its capacity after 500 cycles to rated capacity is between 80 % and 84 %.   |

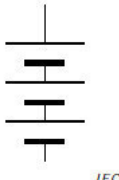
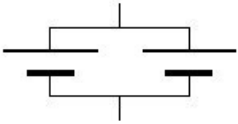
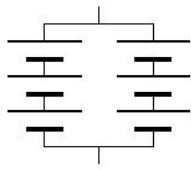
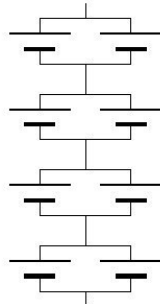
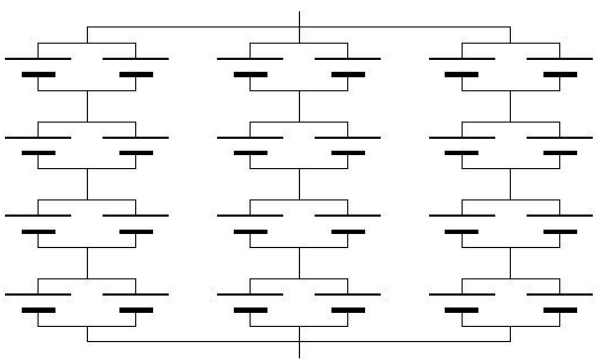
**Tabella 25. Formulazione della struttura delle batterie (Riferimento: § 5.3.2 della Norma)**

|   |   |
|---|---|
| The battery designation should include the breakdown structure of the battery. The descriptive path followed to formulate the battery is from the smallest entity to the largest one. |   |
| a)  | It describes the number of cells in the minimum constitutive entity and on the right side of the number describes their connection mode in series (S) or in parallel (P).<br><br><i>See Figures A.1 and A.2.</i>  |
| b)  | In case that the minimum constitutive entities are connected in series or in parallel, it describes the number of the minimum constitutive entities, and on the right side of the number describes their connection mode in series (S) or in parallel (P).<br><br><i>See Figures A.3 and A.4.</i> |
| c)  | In case of the larger constitutive entities, it describes the symbols on the right side in the same way as mentioned above.   |

When some constitutive entities can be divided for ease of handling or transportation, these entities can be distinguished from other entities by bracketing.

Some examples are shown in Figure A.5 through Figure A.9.

**Tabella 26. Esempi di formulazione della struttura di batterie**

|   |  |
|---|--|
|  <p style="text-align: center;">IEC</p> <p style="text-align: center;">Figure A.1 – Structure 3S</p>   |  <p style="text-align: center;">IEC</p> <p style="text-align: center;">Figure A.2 – Structure 2P</p>     |
|  <p style="text-align: center;">IEC</p> <p style="text-align: center;">Figure A.3 – Structure 3S2P</p>  |  <p style="text-align: center;">IEC</p> <p style="text-align: center;">Figure A.4 – Structure 2P4S</p> |
| <p>Figure A.5 shows two cells connected in parallel, with three similar parallel strings connected in series to form the group 2P4S, which is then connected in parallel with two similar groups to form the final structure 2P4S3P.</p>  <p style="text-align: center;">IEC</p> <p style="text-align: center;">Figure A.5 – Structure 2P4S3P</p> |  |



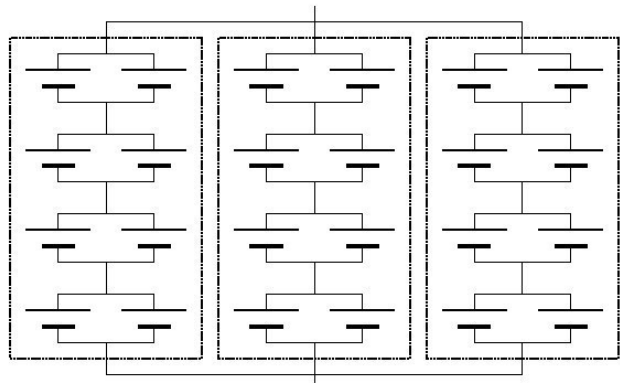


Figure A.6 – Structure (2P4S)3P

IEC

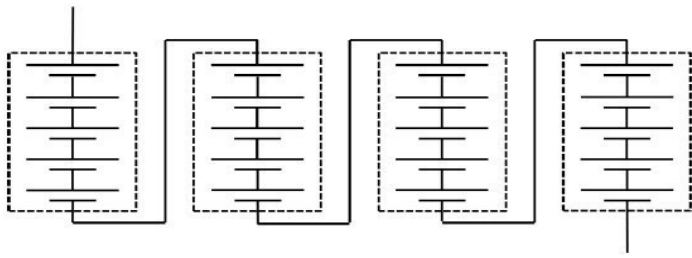


Figure A.8 – Structure (5S)4S

IEC

Figure A.9 shows a group of three cells connected in series, with a similar series string connected in parallel to form a group 3S2P, which is then connected with two similar groups to form a new group (3S2P)3P. This group is in turn connected in series with a similar group to form the final structure ((3S2P)3P)2S. The structure ((3S2P)3P)2S can be divided into (3S2P)3P strings for ease of handling or transportation. And also the (3S2P)3P string units can be divided into 3S2P strings for ease of handling or transportation.

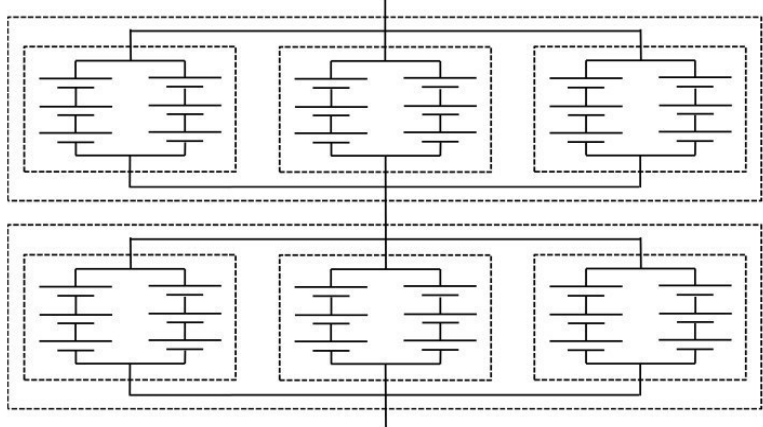


Figure A.9 – Structure ((3S2P)3P)2S

IEC

### 6.3.3.2 Marcatura

Le voci indicate nella tabella 1 della IEC 62620 (Figura 35) devono essere stampigliate sulla cella, sulla batteria o riportate nel **manuale di istruzioni**. Quando stampigliate sulla cella o batteria, la stampigliatura deve essere durevole.

La Norma consente le seguenti opzioni:

- se, sulla batteria, è presente la stringa alfanumerica di designazione, la marcatura non è necessaria sul pacco batteria, sui moduli e sulle celle (*vale l'involucro più esterno*)
- se, sul pacco batteria, è presente la stringa alfanumerica di designazione, la marcatura non è necessaria sui moduli e sulle celle
- se, sul modulo, è presente la stringa alfanumerica di designazione, la marcatura non è necessaria sulle celle

Comunque, per una unità che deve essere trasportata (trasporto merci pericolose), è necessario che le informazioni relative alla marcatura, siano fornite sulla unità trasportabile principale o nei manuali di istruzioni. Accordi specifici possono essere presi tra produttore e cliente.

Le informazioni e/o diciture di marcatura che devono accompagnare ogni cella o batteria, sono le seguenti:

- Possono essere stampigliate sull'imballo più piccolo o accompagnare le celle o le batterie
  - *secondary (rechargeable) Li or Li-ion;*
  - *polarity (can be deleted if there is an agreement between cell and pack manufacturer);*
  - *date of manufacture (which may be in code);*
  - *name or identification of manufacturer or supplier ;*
  - *rated capacity;*
  - *nominal voltage;*
  - *appropriate caution statement.*
- Devono essere stampigliate su tutte le unità:
  - *Model name*
  - *Manufacturing traceability*
- Devono essere stampigliate su tutte le unità oppure fornite con esse
  - *disposal instructions*
  - *recommended charge instructions*
- Devono essere stampigliate su tutte le unità oppure, in assenza di spazio, devono essere fornite con il Manuale di Istruzioni
  - *cell designation as specified in 5.2*

| Table 1 – Marking   |      |   |                |
|---|------|---|----------------|
| Marking information   | Cell | Cell block<br>Module or<br>Battery pack | Battery system |
| Secondary (rechargeable) Li or Li-ion                                 | R    | R                                       | R              |
| Polarity (see NOTE 1)   | R    | R                                       | R              |
| Date of manufacture (which may be in code)* (see NOTE 2)              | R    | R                                       | R              |
| Name or identification of manufacturer or supplier                    | R    | R                                       | R <sup>a</sup> |
| Rated capacity  | R    | R                                       | R <sup>b</sup> |
| Calculated rated capacity* <sup>c</sup>                               | --   | --                                      | R              |
| Method for calculating rated capacity* <sup>c</sup>                   | --   | --                                      | R              |
| Nominal voltage   | R    | R                                       | R              |
| Watt-hour* (see NOTE 3)   | V    | V                                       | V              |
| Appropriate caution statement (Including disposal instructions )      | R    | R                                       | R              |
| Cell designation as specified in 5.2                                  | R    | --                                      | --             |
| Battery designation as specified in 5.4                               | -    | R                                       | R              |
| Recommended charge instructions                                       | R    | R                                       | R              |
| "R" = required; "V" = voluntary, "--" = unnecessary or not applicable |      |   |                |

|   |
|---|
| <p>a It is necessary to mark designations on the main battery system.</p> <p>b Tested by main battery system; shall be indicated on the main battery system.</p> <p>c If evaluated by testing the split unit of a battery system; it shall be indicated as the rated capacity and shall be the amount calculated by a reasonable method.</p> <p>For example:<br/> Measured rated capacity of module: 10 Ah<br/> Number of modules connected in parallel: 5<br/> Calculated rated capacity (Ah) = 10 Ah × 5 = 50 Ah</p> <p>NOTE 1 There is an exception, see 5.1.</p> <p>NOTE 2 The date can be in the form of a code.</p> <p>NOTE 3 Watt-hour (Wh) designation on cell, module, battery pack or battery system is the rated capacity (Ah) or calculated rated capacity (Ah) as defined in table footnote <sup>c</sup> multiplied by the nominal voltage of the cell, module, battery pack or battery system according to the following formula:</p> <p>Watt-hour (Wh) = Rated capacity (Ah) or Calculated rated capacity (Ah) × Nominal voltage ( V )</p> |
|---|

Figura 35.

## 7 Riferimenti bibliografici e collegamenti ipertestuali

1. <http://www.rsc.org/periodic-table/element/3/lithiumg>
2. <https://www.britannica.com/science/lithium-chemical-element>
3. [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic\\_Chemistry/Supplemental\\_Modules\\_\(Inorganic\\_Chemistry\)/Descriptive\\_Chemistry/Elements\\_Organized\\_by\\_Block/1\\_s-Block\\_Elements/Group\\_1%3A\\_The\\_Alkali\\_Metals/Z%3D003\\_Chemistry\\_of\\_Lithium\\_\(Z%3D3\)](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Inorganic_Chemistry)/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/1_s-Block_Elements/Group_1%3A_The_Alkali_Metals/Z%3D003_Chemistry_of_Lithium_(Z%3D3))
4. Christian Glaize, Sylvie Geniès: "Lithium Batteries and Other Electrochemical Storage Systems". Series Editor Bernard Multon. 2013 . ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-1-84821-496-5
5. <https://www.powerstream.com/Pli.htm>
6. [https://www.saftbatteries.com/download\\_file/6X7JMGAAnv3Fm6HdmtEv%252B2gtlbZ1bRRVHkjS11M6md92GD2EF7vU%252F3Oybbz3WOIG%252BxR8srpA5iCdJ%252FV3IQzTVHQyiTucngZKEg9KkYCLkAwAgaG1hurnG%252FVQqRZRyqYChh%252BVA6BqoHy8y5ATkAMdzb9U%252FPZxeG7KaSYU3CPRsayF7vz3ug%253D%253D/Selector%2Bguide\\_54083-2-0218-BD.pdf](https://www.saftbatteries.com/download_file/6X7JMGAAnv3Fm6HdmtEv%252B2gtlbZ1bRRVHkjS11M6md92GD2EF7vU%252F3Oybbz3WOIG%252BxR8srpA5iCdJ%252FV3IQzTVHQyiTucngZKEg9KkYCLkAwAgaG1hurnG%252FVQqRZRyqYChh%252BVA6BqoHy8y5ATkAMdzb9U%252FPZxeG7KaSYU3CPRsayF7vz3ug%253D%253D/Selector%2Bguide_54083-2-0218-BD.pdf)
7. J. Garche, K. Brandt; Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications - Li-Battery Safety; Elsevier 2019
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_battery)
9. <https://cleantechnica.com/2018/03/04/lithium-battery-clues-mystery/>
10. Celina Mikolajczak, Michael Kahn, Kevin White, Richard Thomas Long (Exponent Failure Analysis Associates, Inc.): *Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment*. Final Report. July 2011 Fire Protection Research Foundation
11. Stephens, D., & altri: "Lithium-ion battery safety issues for electric and plug-in hybrid vehicles". Report No. DOT HS 812 418 - Ottobre 2017  
[https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/12848-lithiumionsafetyhybrids\\_101217-v3-tag.pdf](https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/12848-lithiumionsafetyhybrids_101217-v3-tag.pdf)
12. <https://www.mpoweruk.com/lithiumS.htm>
13. C. Di Bari, V. Sglavo, "Batterie Litio-ione: sulla catena degli eventi termici che può condurre a esplosione ed incendio (Li-ion batteries: on the thermal event chain that lead to fire and explosion)", RdS/PAR2015/200. Dicembre 2016. (DOI: 10.13140/RG.2.2.34963.89121).
14. Xiangcheng Sun, Pavle V. Radovanovich and Bo Cui: "Advances in spinel Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> anode materials for lithium-ion batteries". New Journal of Chemistry. New Journal of Chemistry 39(1) · October 2014. DOI: 10.1039/C4NJ01390E.
15. B.Vikram Babu & altri: "Structural and electrical properties of Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> anode material for lithium-ion batteries". Results in Physics, Volume 9, giugno 2018, pgg. 284-289. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.02.050>
16. [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-titanate\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-titanate_battery)
17. Davide Pelliccioni: "Sistemi di accumulo Litio-ione e sicurezza: problematiche chimico-analitiche connesse alla esecuzione di prove di abuso". Tesi di Laurea in Chimica Industriale. UniRoma 1. AA 2018-2019
17. [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium\\_polymer\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery)

18. Yuping Wu: "LITHIUM-ION BATTERIES. Fundamentals and Applications". CRC Press, 2015. International Standard Book Number-13: 978-1-4665-5734-5 (eBook - PDF)
20. <https://www.tested.com/tech/502351-rc-battery-guide-basics-lithium-polymer-batteries/>  
(TERRY DUNN, "RC Battery Guide: The Basics of Lithium-Polymer Batteries". 5 marzo 2015.)
21. Sun, Bing; Mindemark, Jonas; Edström, Kristina; Brandell, Daniel:"Polycarbonate-based solid polymer electrolytes for Li-ion batteries". *Solid State Ionics*. **262**: 738–742, 1 September 2014.
22. [doi:10.1016/j.ssi.2013.08.014](https://doi.org/10.1016/j.ssi.2013.08.014)
23. Zhai, Wei; Zhu, Hua-jun; Wang, Long (1 July 2014). "Study of PVDF-HFP/PMMA blended micro-porous gel polymer electrolyte incorporating ionic liquid [BMIM]BF<sub>4</sub> for Lithium ion batteries". *Electrochimica Acta*. **133**: 623–630. [doi:10.1016/j.electacta.2014.04.076](https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.04.076)
24. Andrew Ulvestad: "A Brief Review of Current Lithium Ion Battery Technology and Potential Solid State Battery Technologies". 2018, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1803/1803.04317.pdf>
25. Vedi [11]
26. C. Di Bari: "Sicurezza degli accumulatori litio ione ed elettromobilità: indice commentato degli studi effettuati nel triennio 2015-2017". Report RdS/PAR2018/131. Dicembre 2018.
27. Nishi, Yoshio: "Chapter 7: Lithium-Ion Secondary batteries with gelled polymer electrolytes". van Schalkwijk, Walter A.; Scrosati, Bruno (eds.) "Advances in Lithium-ion batteries". Kluwer Academic Publishers, 2002. ISBN 0-306-47356-9. Disponibile per la visione on-line: <https://documents.pub/document/advances-in-lithium-ion-batteries-2002-schalkwijk-scrosati.html>
28. van Schalkwijk, Walter A.; Scrosati, Bruno (eds.) "Advances in Lithium-ion batteries". Kluwer Academic Publishers, 2002. ISBN 0-306-47356-9. Disponibile per la visione on-line: <https://documents.pub/document/advances-in-lithium-ion-batteries-2002-schalkwijk-scrosati.html>
29. Tarascon, J.-M.; Gozdz, A. S.; Schmutz, C.; Shokoohi, F.; Warren, P. C. (July 1996). "Performance of Bellcore's plastic rechargeable Li-ion batteries". *Solid State Ionics*. Elsevier. 86-88 (Part 1): 49–54. [doi:10.1016/0167-2738\(96\)00330-X](https://doi.org/10.1016/0167-2738(96)00330-X)
30. Murata, Kazuo; Izuchi, Shuichi; Yoshihisa, Youetsu (3 January 2000). "An overview of the research and development of solid polymer electrolyte batteries". *Electrochimica Acta*. 45 (8–9): 1501–1508. [doi:10.1016/S0013-4686\(99\)00365-5](https://doi.org/10.1016/S0013-4686(99)00365-5)
31. Vedi [4]
32. <https://www.adichemistry.com/inorganic/cochem/spinels/spinel-structures.html>
33. <https://en.wikipedia.org/wiki/Olivine>
34. Nowak, M. Winter: "Elemental analysis of lithium ion batteries". *J. Anal. At. Spectrom.* 2017, 32, 1833
35. Concordia EHS University: «LITHIUM BATTERIES». EHS-DOC-147 v.2. March 2017
36. Xu, K. : "Nonaqueous liquid electrolytes for lithium-based rechargeable batteries". *Chemical Reviews* 2004. 104(10): 4303-4417. <https://www.cpp.edu/~lllee/chemrvw104p4303.pdf>
37. Haregewoin, Atetegeb Meazah & Sorsa, Aselefech & Hwang, Bing Joe. (2016). Electrolyte Additives for Lithium Ion Battery Electrodes: Progress and Perspectives. *Energy Environ. Sci.* 9. 10.1039/C6EE00123H.  
[https://www.researchgate.net/publication/302062124\\_Electrolyte\\_Additives\\_for\\_Lithium\\_Ion\\_Battery\\_Electrodes\\_Progress\\_and\\_Perspectives](https://www.researchgate.net/publication/302062124_Electrolyte_Additives_for_Lithium_Ion_Battery_Electrodes_Progress_and_Perspectives)

38. Brian Kihun Kim, Serubbable Sy, Aiping Yu, and Jinjun Zhang: "Electrochemical Supercapacitors for Energy Storage and Conversion". This article was published in the Handbook of Clean Energy Systems in 2015 by John Wiley & Sons, Ltd. DOI: 10.1002/9781118991978.hces112
39. Aiping Yu, Victor Chabot, and Jiujuun Zhang "ELECTROCHEMICAL SUPERCAPACITORS FOR ENERGY STORAGE AND DELIVERY FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS". 2013 by Taylor & Francis Group, CCRC Press. International Standard Book Number-13: 978-1-4398-6990-1 (eBook - PDF)
40. Yonggang Wang, Yanfang Song and Yongyao Xia: "Electrochemical capacitors: mechanism, materials, systems, characterization and applications". Chem. Soc. Rev., 2016, 45, 5925. DOI: 10.1039/c5cs00580a
41. Shuai Ban, Jiujuun Zhang, Lei Zhang, Ken Tsay, Datong Song, Xinfu Zou: "Charging and discharging electrochemical supercapacitors in the presence of both parallel leakage process and electrochemical decomposition of solvent". Electrochimica Acta 90 (2013) 542– 549
42. Vedi [40]
43. <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/resources/engineers-insight/article/hybrid-capacitors-combine-supercacitor-and-li-on-technology/>
44. [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_capacitor](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_capacitor)
45. European Chemicals Agency (ECHA): "GUIDANCE IN A NUTSHELL. Requirements for substances in articles". Version 3.0 December 2017
46. European Chemicals Agency, "Guidance on requirements for substances in articles". [https://echa.europa.eu/documents/10162/23036412/articles\\_en.pdf](https://echa.europa.eu/documents/10162/23036412/articles_en.pdf) versione 2017
47. <https://echa.europa.eu/it/home>
48. [https://echa.europa.eu/documents/10162/22177693/what\\_is\\_an\\_infocard\\_en.pdf](https://echa.europa.eu/documents/10162/22177693/what_is_an_infocard_en.pdf)
49. "Product Certifications. Lithium cell and battery certifications through industrial and international standards". International Distribution Seminar, April 9, 2014; <http://www.enix-power-solutions.co.uk/battery-certification/>
50. "Product Certifications. Lithium cell and battery certifications through industrial and international standards". SAFT, International Distribution Seminar April 9, 2014. [https://www.master-instruments.com.au/files/knowledge-centre/education-and-learning/manufacture/articles/saft\\_product\\_certifications.pdf](https://www.master-instruments.com.au/files/knowledge-centre/education-and-learning/manufacture/articles/saft_product_certifications.pdf)
51. SAFT Selector guide for Lithium batteries. [https://www.acmesystems.it/www/long\\_lasting\\_battery\\_solution/Selector-guide\\_2016-54083-2-0516\\_BD.pdf](https://www.acmesystems.it/www/long_lasting_battery_solution/Selector-guide_2016-54083-2-0516_BD.pdf) consultato 16 agosto 2019

## 8 Appendice 1A. Acronimi, Definizioni e Caratteristiche elettriche di batterie al Litio

Gli acronimi e i simboli più utilizzati nel definire le prestazioni elettriche delle batterie al Litio sono vari e vasti, e corrispondono a grandezze elettriche di definizione complessa. La normativa tecnica applicabile propone metodi e modalità specifiche di misura e non si esclude che proponga ulteriori grandezze rispetto a quelle qui riportate in ordine alfabetico, a seguito della consultazione del testo di Glaize & Geniès<sup>30</sup>. La Tabella 24 raccoglie i simboli e gli acronimi, le unità di misura e la terminologia originale in inglese nell'ordine proposto dal testo consultato. Si aggiunge una traduzione in italiano di tali termini.

Per le definizioni fornite dagli enti normatori IEC e ISO, si possono consultare i seguenti siti:

<http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/index?openform&part=482> e <http://www.iso.org/obp>.

Nei casi in cui compare il riferimento *IEV (IEV ref 482-01-01)* significa che la definizione è quella trovata nel DB IEC.

---

<sup>30</sup> Christian Glaize, Sylvie Geniès: "Lithium Batteries and Other Electrochemical Storage Systems". Series Editor Bernard Multon. First published 2013 in Great Britain and the United States by ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-1-84821-496-5

Tabella 27

| <b>Simbolo/Acronimo</b>         | <b>Unità di misura</b>                 | <b>Inglese</b>                               | <b>Italiano</b>                            |
|---------------------------------|--|--|--|
|                                 | -                                      | <b>AC internal resistance</b>                | Resistenza interna in corrente alternata   |
| $Q_{\text{already discharged}}$ | Ah                                     | <b>Amount of electricity discharged</b>      | Quantità di elettricità scaricata          |
| $Q_{\text{still available}}$    | Ah                                     | <b>Amount of electricity still available</b> | Quantità di elettricità ancora disponibile |
| $C_{rt}$                        | Ah                                     | <b>Assigned capacity</b>                     | Capacità assegnata                         |
|                                 |  | <b>Calendar aging</b>                        | Invecchiamento calendarizzato              |
| $C$                             | Coulomb o Ah                           | <b>Capacity</b>                              | Capacità                                   |
|                                 | Wh                                     | <b>Deliverable energy</b>                    | Energia disponibile                        |
| <b>DOD</b>                      |  | <b>Depth of discharge</b>                    | Profondità di scarica                      |
| $R_{int}$                       | Ohm                                    | <b>Direct-current internal resistance</b>    | Resistenza interna in corrente continua    |
| $C_{eff}$                       | Ah                                     | <b>Effective capacity</b>                    | Capacità effettiva                         |
| <b>EOL</b>                      | -                                      | <b>End of life</b>                           | Fine vita                                  |
| -                               | -                                      | <b>Faradaic efficiency</b>                   | Efficienza faradica                        |
|                                 | Wh/kg                                  | <b>Gravimetric energy density</b>            | Densità di energia ponderale               |
|                                 | W/kg                                   | <b>Gravimetric power</b>                     | Potenza ponderale                          |
| $C_n$                           | Ah                                     | <b>Nominal capacity</b>                      | Capacità nominale                          |
| $V_n$                           | Volt                                   | <b>Nominal voltage</b>                       | Tensione nominale                          |
|                                 | Ah/kg                                  | <b>Practical gravimetric capacity</b>        | Capacità gravimetrica pratica              |
|                                 |  | <b>Residual capacity</b>                     | Capacità residua                           |
| -                               | -                                      | <b>Self-discharge</b>                        | Autoscarica                                |
| -                               | -                                      | <b>Service Life</b>                          | <b>Durata in servizio</b>                  |
| $I_{sc}$                        | A                                      | <b>Short-circuit current</b>                 | Corrente di corto circuito                 |
|                                 | -                                      | <b>Specific capacity</b>                     | Capacità specifica                         |
|                                 | Wh/kg oppure Wh/m <sup>3</sup>         | <b>Specific energy</b>                       | Energia specifica                          |
| <b>SOE</b>                      | -                                      | <b>State of energy</b>                       | Stato di energia                           |
| <b>SOF</b>                      | -                                      | <b>State of function</b>                     | Stato di funzione                          |
| <b>SOH</b>                      | -                                      | <b>State of health</b>                       | Stato di salute                            |
|                                 |  | <b>Stored energy</b>                         | Energia accumulata                         |
| $C_{th}$                        | Ah                                     | <b>Theoretical capacity</b>                  | Capacità teorica                           |
|                                 | Ah/kg                                  | <b>Theoretical gravimetric capacity</b>      | Capacità gravimetrica teorica              |
| $V$                             | Volt                                   | <b>Voltage</b>                               | Tensione                                   |
| $U$                             | Volt                                   | <b>Voltage under current</b>                 | Tensione sotto corrente                    |
|                                 | Ah/m <sup>3</sup> o Ah/dm <sup>3</sup> | <b>Volumetric capacity</b>                   | Capacità volumetrica                       |
|                                 | Wh/m <sup>3</sup>                      | <b>Volumetric energy density</b>             | Densità di energia volumetrica             |
|                                 | W/m <sup>3</sup>                       | <b>Volumetric power</b>                      | Potenza volumetrica                        |



## Definizioni e grandezze elettriche

|  |  |                |               |                |                           |       |        |                           |        |       |
|--|--|----------------|---------------|----------------|---------------------------|-------|--------|---------------------------|--------|-------|
| <b>Accumulatore</b>                    | Dispositivo che accumula energia, convertendo l'energia elettrica in energia chimica, in grado di erogarla in ogni momento, su richiesta.  |                |               |                |                           |       |        |                           |        |       |
| <b>Anodo e catodo</b>                  | <p>Anodo è l'elettrodo dove avviene la reazione di ossidazione; Catodo, è l'elettrodo dove avviene la reazione di riduzione.</p> <p>In <b>fase di carica</b>, l'elettrodo positivo è l'Anodo e quello negativo è il Catodo; in fase di scarica, la denominazione si inverte.</p> <table border="1" data-bbox="705 539 1182 680"> <tr> <td></td> <td><b>Carica</b></td> <td><b>Scarica</b></td> </tr> <tr> <td><b>Elettrodo positivo</b></td> <td>Anodo</td> <td>Catodo</td> </tr> <tr> <td><b>Elettrodo negativo</b></td> <td>Catodo</td> <td>Anodo</td> </tr> </table>  |                | <b>Carica</b> | <b>Scarica</b> | <b>Elettrodo positivo</b> | Anodo | Catodo | <b>Elettrodo negativo</b> | Catodo | Anodo |
|  | <b>Carica</b>  | <b>Scarica</b> |               |                |                           |       |        |                           |        |       |
| <b>Elettrodo positivo</b>              | Anodo  | Catodo         |               |                |                           |       |        |                           |        |       |
| <b>Elettrodo negativo</b>              | Catodo   | Anodo          |               |                |                           |       |        |                           |        |       |
| <b>Autoscarica</b>                     | <p>Dopo una carica, anche se la batteria secondaria non è soggetta a una scarica forzata, non è mai raggiunto lo stato di carica totale.</p> <p>Infatti, le batterie secondarie si auto-scaricano.</p> <p>Indipendentemente, ad ogni elettrodo, questi fenomeni di auto-scarica sono associati con reazioni di ossido riduzione (reazioni parassite), che sono indotte dalle reazioni di scarica a ciascuno degli elettrodi. Poiché si tratta di reazioni chimiche, maggiore è la temperatura, maggiore è il rateo di auto-scarica.</p> <p>L'alimentazione elettrica di un BMS, e quindi il suo funzionamento, contribuisce alla scarica della batteria. Un osservatore esterno potrà percepire questo consumo di energia come un fenomeno di auto-scarica: in realtà, il BMS è un apparecchio utilizzatore, cioè un carico su cui viene rilasciata energia elettrica.</p> |                |               |                |                           |       |        |                           |        |       |
| <b>Batteria (IEV ref 482-01-04)</b>    | Una o più celle completate con i dispositivi necessari per l'uso, ad esempio il case (scatola), i terminali, la marcatura e i dispositivi di protezione.   |                |               |                |                           |       |        |                           |        |       |
| <b>Batteria di accumulatori</b>        | Una <b>batteria di accumulatori</b> è costituita da più celle connesse tra loro in serie e/o parallelo. Per definire la struttura di un pacco batteria si utilizzano notazioni del tipo "4s2p", che indica un sistema costituito da due paralleli, ognuno dei quali è formato da quattro celle in serie.   |                |               |                |                           |       |        |                           |        |       |
| <b>Battery management system - bms</b> | Dispositivo elettronico di cui è fornito un pacco batteria con funzioni di regolazione, comando, controllo (stato di salute, bilanciamento della tensione degli elementi, temperatura, eccetera).  |                |               |                |                           |       |        |                           |        |       |

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Capacità (Coulomb o Ah)</b></p>       | <p>La quantità di elettricità che può essere rilasciata da una batteria secondaria carica e denominata "capacità". Il termine può essere applicato sia ai materiali attivi che ad un elettrodo, o ad una batteria (cella, modulo o batteria di accumulatori).</p> <p>È una grandezza derivata che non deve essere confusa con la capacità C di un condensatore, espresse in <i>Farad</i>. L'unità di misura utilizzata nel SI, è il <i>Coulomb</i>. Generalmente la capacità viene espressa come il prodotto della intensità di corrente (<i>Ampere</i> o <i>mAmpere</i>) per il numero di ore: si parla perciò di <i>Ampere-ora</i> (Ah) o, per le celle, di <i>milliAmpere-ora</i> (mAh):</p> <p><b>1 Ah = 1000 mAh = 3600 A * s = 3600 C</b></p> <p>Più nello specifico, la capacità è determinata dall'integrale della corrente (sia essa costante che variabile) sulla durata della scarica:</p> $C = \int_0^t i(t) dt$ <p>A seconda delle condizioni in cui avviene la scarica (intensità di corrente, temperatura, criteri per determinare la fine della scarica, eccetera) e la storia operativa della batteria secondaria (le condizioni precedenti di carica e scarica), questa capacità può essere variabile o modificarsi rispetto al suo valore iniziale.</p> <p><u>Ci sono varie definizioni della capacità di un accumulatore</u>, tra cui: capacità teorica capacità effettiva, capacità nominale capacità assegnata, capacità residua, quantità di elettricità ancora disponibile, invecchiamento...ecc.</p> |
| <p><b>Capacità assegnata</b></p>            | <p>Invece della capacità nominale, gli standard europei utilizzano la capacità assegnata, <math>C_{rt}</math>. Essa corrisponde alla minima quantità di elettricità, dichiarata dal produttore, che una batteria è in grado di erogare in condizioni specifiche dopo una ricarica completa: questo valore è indicato sulla batteria.</p> <p>Comunque, in pratica, le specifiche tecniche o i manuali utilizzano il termine di capacità nominale.</p> <p>È degno di nota che la capacità iniziale e la capacità nominale delle batterie al litio, sono generalmente molto vicine (nelle condizioni nominali specificate dal produttore). La capacità iniziale è generalmente più grande, anche solo di poco, della capacità nominale al fine di conformarsi allo standard sulla capacità.</p>  |
| <p><b>Capacità effettiva</b></p>            | <p>Capacità effettiva (nota anche come capacità reale o capacità pratica o capacità utilizzabile o capacità disponibile o capacità rilasciata o capacità misurata) <math>C_{eff}</math> è la quantità di elettricità rilasciata da una batteria completamente carica durante una scarica completa, a una data corrente di scarica, tensione finale e temperatura.</p> <p>Questa quantità di elettricità corrisponde all'integrale della corrente sulla durata della scarica. Se la velocità di scarica viene effettuata corrente costante, il valore della capacità effettiva è data semplicemente dal prodotto della corrente per la durata della scarica.</p> <p>Per esempio, una batteria che sviluppa 2 A per cinque ore, ha una capacità effettiva di 10 Ah.</p> <p>La capacità effettiva dipende essenzialmente dalle condizioni di scarica.</p>  |
| <p><b>Capacità gravimetrica pratica</b></p> | <p>La capacità gravimetrica pratica è il rapporto tra la quantità di elettricità generabile con una data corrente, rispetto alla massa totale della batteria secondaria.</p> <p>È necessario specificare la corrente di scarica alla quale la batteria secondaria è scaricata. Questa grandezza è particolarmente utile per il dimensionamento di una batteria nei sistemi <i>onboard</i>.</p> <p>Essa è anche utile per confrontare differenti dispositivi di accumulo ad un valore dato della corrente di scarica e per un data tensione operativa.</p>   |
| <p><b>Capacità nominale</b></p>             | <p>La capacità nominale, <math>C_n</math>, presente nelle specifiche tecniche e sulle etichette delle batterie primarie e secondarie, è data per un tempo di scarica fissato dagli standard internazionali, in funzione delle tipologie di applicazioni. L'indice "n" rappresenta questo intervallo di</p>  |

|   |   |
|---|---|
|   | <p>tempo espresso in ore.</p> <p>Nel caso di una batteria secondaria per cellulari, il paragrafo 3.5 della norma EN 61960 (2004), definisce una scarica in cinque ore.<br/>Per un veicolo elettrico, la capacità nominale è definita per una scarica di tre ore.<br/>Generalmente “n” assume valori di: cinque ore, tre ore, 0,5 ore.</p> <p>Quando la scarica, a seconda della tecnologia, la capacità può rimanere costante o diminuire.</p> <p>Una batteria con capacità nominale C20 di 15 Ah in una corrente C20/20 è in grado di fornire una corrente <math>15 \text{ Ah}/20 \text{ h} = 0.75 \text{ A}</math> per 20 ore, fino a raggiungere il valore di tensione finale fissato come soglia (<i>stop voltage Threshold</i>).</p> <p>La corrente di carica o scarica di una batteria è spesso espresso in riferimento la sua capacità.<br/>Per esempio si può parlare di scarica a C/5 , e corrisponde ad una corrente <math>I = C/5</math> (ovvero C/5 h, ma il simbolo delle Ore è generalmente omissso e la capacità C corrisponde a un valore nominale).<br/>Per una batteria la cui capacità <math>C = C_{10} = 15 \text{ Ah}</math>, che denota una corrente di <math>C_{10}/5 = 15 \text{ Ah} / 5 \text{ h} = 3 \text{ A}</math>.<br/>Per una scarica rapida si può parlare di una scarica a 2C: per una corrente tenuta costante, pari a 2C. Nel caso dell'esempio precedente (<math>C = 15 \text{ Ah}</math>), si ottiene una corrente di scarica pari a 30 A.</p> |
| <b>Capacità specifica</b>   | <p>Il termine capacità specifica (<i>related capacity</i>) è usata indifferentemente per indicare la capacità di metri o quella volumetrica.<br/>La densità dei materiali non è uguale per tutte le tecnologie o per tutti gli elettrodi, così le due quantità non sono realmente correlate. In base alle applicazioni, uno di questi due valori può essere più rappresentativo. L'ambiguità può essere risolta facendo riferimento all'unità associata con il valore dato. Questo termine può essere facilmente evitato utilizzando un termine specifico.<br/>I concetti di capacità gravi metri, capacità volumetrica, e capacità specifica possono essere applicati a un singolo elettrodo, ad una cella, o all'intera batteria.<br/>Capacità gravi metri a di un elettrodo è un valore importante quando devono essere scelti i componenti per realizzare un accumulatore litio.</p>  |
| <b>Capacità teorica</b>   | <p>La capacità teorica di una batteria secondaria <math>C_{th}</math> è la quantità di carica che può essere ottenuta dalla batteria, carica fino alla sua capacità totale, durante una scarica completa che consuma tutto il materiale attivo. La capacità teorica dipende, perciò, non dalle condizioni di scarica ma soltanto dalla quantità di materiale attivo.</p>  |
| <b>Capacità teorica gravimetrica</b>                                  | <p>La capacità teorica gravimetrica (o ponderale?) Il rapporto tra la quantità di elettricità che può essere teoricamente rilasciata dall'utilizzo di tutto il materiale attivo di un elettrodo o di una batteria secondaria, rispetto alla quantità in peso di questo materiale. Essa è espressa in Ah/kg.</p> <p>Questo valore deve essere calcolato per questa ragione, qualche volta si riscontrano valori estremamente elevati che non hanno niente a che vedere con la situazione reale, come è talvolta nel caso delle batterie secondarie litio-aria.</p>   |
| <b>Capacità residua</b><br>(IEV ref 482-03-16)<br>(residual capacity) | <p>Capacità restante in una cella o in una batteria a seguito della scarica, il funzionamento o lo stoccaggio determinata in specifiche condizioni di prova</p>   |
| <b>Capacità volumetrica</b>   | <p>La capacità volumetrica è il rapporto tra il valore nominale della elettricità disponibile ad una data corrente o la massima energia accumulata, rispetto al volume della batteria secondaria.<br/>Questa grandezza è espressa in Ah/m<sup>3</sup> or Ah/dm<sup>3</sup>.</p>   |

|   |  |
|---|--|
|   | <p>Le dimensioni utilizzate nel calcolare il volume sono quelle totali che, ad esempio includono i terminali, le connessioni, eventuali viti o dispositivi per la manipolazione, eccetera. Questa grandezza è utile per dimensionare una batteria stazionaria perché, in queste applicazioni, il volume è spesso un criterio più importante della massa. È utile anche per confrontare diversi dispositivi di stoccaggio ad una data corrente di scarica e per una tensione operativa data.</p>  |
| <b>Cella</b>  | <p>La cella (o elemento) è l'unità elementare di accumulo (il cui utilizzo come tale è riservato ai telefoni cellulari e a piccole fotocamere digitali, funzionanti generalmente a 3,7 V). La connessione in serie di più celle consente di ottenere valori di tensione operativa superiori alla <math>V_{pc}</math>. La connessione in parallelo, consente di ottenere valori di capacità più elevati, rispetto a quella di una cella.</p>  |
| <b>Cella</b><br>(IEV ref 482-01-01)                             | <p>Unità funzionale di base, che consiste in un assemblaggio di elettrodi, elettrolita, contenitore, terminali, separatore, che è una sorgente di energia elettrica ottenuta per conversione diretta della energia chimica.</p>  |
| <b>Cella elementare o elemento galvanico</b>                    | <p>Dal punto di vista il elettrochimico, una cella elementare è costituita da due <b>semielementi</b> galvanici connessi da un ponte salino. Più semplicemente, una cella elementare comprende due <b>elettrodi</b> immersi in un elettrolita. Per esempio nel caso degli accumulatori litio-ione, questi due elettrodi sono costituiti da un ossido metallico litiato e da carbonio.</p>  |
| <b>Cella primaria (pila)</b><br>(IEV Ref 482-01-02)             | <p>Cella che non è progettata per essere ricaricata</p>  |
| <b>Cella secondaria (accumulatore)</b><br>(IEV Ref 482-01-03)   | <p>Cella che è progettata per essere ricaricata elettricamente.<br/>NOTA: La ricarica è ottenuta per mezzo di una reazione chimica reversibile.</p>  |
| <b>Densità di energia ponderale o gravimetrica</b>              | <p>La densità di energia gravi metri a è il rapporto tra l'energia disponibile a una data corrente e la massa della batteria. È espressa in Wh/kg.</p> <p>È <b>necessario specificare la corrente di scarica</b> alla quale la batteria è scaricata. Nell'ipotesi di tensione costante, la densità ponderale di energia è il prodotto della tensione ai terminali della batteria secondaria per la sua capacità gravimetrica o ponderale.</p> <p>Questa grandezza è particolarmente utile per il dimensionamento di una batteria su sistemi home board dove la massa è un criterio cruciale di progettazione. Questo valore può essere anche utilizzato per confrontare tra loro diverse tecnologie di accumulo.</p> |
| <b>Densità di energia volumetrica</b>                           | <p>La densità di energia volumetrica è il rapporto dell'energia ottenibile ad una data corrente rispetto al volume della batteria secondaria.</p> <p>La densità di energia volumetrica è espressa in Wh/m<sup>3</sup> o Wh/dm<sup>3</sup>. Anche in questo caso è <b>necessario specificare la corrente di scarica</b> alla quale essa è determinata.</p> <p>Questa informazione utile per il dimensionamento di batterie stazionarie, perché in questa applicazione il volume è spesso il grigio il criterio progettuale più importante rispetto alla massa. Esso può essere utilizzato per confrontare differenti tecnologie di stoccaggio ad una data corrente di scarica</p>                                     |
| <b>Durata in servizio (Service Life)</b><br>(IEV Ref 482-03-46) | <p>Periodo totale della vita utile di una cella o di una batteria in funzione<br/>NOTA1 – Per le batterie primarie, la durata in servizio è correlata al tempo di scarica totale o capacità in condizioni specifiche<br/>NOTA 2 – Per le celle o batterie secondarie, la durata in servizio può essere espressa in unità di tempo, numero di cicli di carica/scarica, o capacità in Ah</p>   |
| <b>Efficienza faradica o coulombica</b>                         | <p>L'efficienza faradica, talvolta denominata efficienza coulombiana o efficienza coulombica, è il rapporto tra il numero di elettroni ottenuti (o la quanta di elettricità prodotta) e il numero di elettroni (o quantità di elettricità) immessi nella batteria secondaria, in un ciclo di carica/scarica.</p> <p>Dal punto di vista dell'utilizzatore, l'efficienza faradica è il prodotto dell'efficienza in scarica per l'efficienza in carica.</p>   |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>L'efficienza faradica deve essere considerata nel ciclo di carica e scarica. Se, a causa di una scarica rapida, viene estratta meno elettricità che in una scarica lenta, durante la ricarica successiva è necessario immettere una quantità inferiore di elettricità.</p> <p>Quando il valore dell'efficienza faradica è inferiore a uno, questo può essere un segno di un consumo di corrente irreversibile. Molte reazioni possono essere coinvolte, che sono causate da uno sbilanciamento tra le capacità dei due elettrodi in termini di invecchiamento. Per esempio, alla fine della carica, se l'elettrodo negativo presenta una diminuzione della capacità, la conseguente diminuzione del potenziale elettrodo negativo può raggiungere un valore al quale risulta possibile il deposito di litio metallico. Questo deposito di litio metallico può non esser ossidato durante la scarica successiva (in quanto il deposito molto disperso, con una perdita di contatto elettrico tra i grani di metallo).</p> <p>D'altro canto, alla fine della scarica, la tensione dell'elettrodo negativo può raggiungere potenziali ai quali si ottiene la dissoluzione del SEI e parte della corrente di ricarica sarà utilizzata per ricostituire il SEI.</p> <p>(n.d.r: sia il deposito di litio metallico all'anodo che l'indebolimento del SEI possono essere cause prime di incidenti).</p> |
| <b>Elettrodo</b>   | I due elettrodi sono rispettivamente denominati <i>positivo</i> e <i>negativo</i> , mentre la denominazione di <i>anodo</i> e <i>catodo</i> è correlato allo stato di carica o scarica dell'accumulatore.   |
| <b>Energia accumulata e Energia disponibile</b>                | <p>L'energia teorica accumulata è il valore che è determinato solo sulla base del materiale attivo. Essa così non dipende dall'ampiezza della corrente di scarica. Dato che non tutto il materiale attivo è completamente "delitabile" o elettricamente accessibile (la scarsa conducibilità di alcuni materiali come ad esempio il litio ferro fosfato LFP), questo valore non è pienamente calcolabile</p> <p>Dal punto di vista di un utilizzatore, il valore che si considera dell'energia accumulata è quello che è ottenuto da una batteria durante una scarica completa. Esso dipende dalle condizioni di scarica sia in termini di capacità che di dissipazioni associati con la scarica. Esso è definito come energia disponibile o energia accumulata pratica, o più semplicemente energia accumulata. Essa è data da:</p> $W_{\text{deliverable}} = \int_{\text{(total duration of discharge)}} u * i dt$ <p>Sebbene l'unità di energia nel sistema internazionale sia il Joule (J), gli elettrotecnici e gli elettrochimici preferiscono utilizzare il Wh o kWh in quanto essi lavorano in W o kW durante la scarica che è usualmente espressa in ore.</p>  |
| <b>Energia specifica</b>                                       | <p>Il termine "energia specifica" è utilizzato indiscriminatamente sia per la densità di energia gravimetri che per quella volumetrica.</p> <p>Come nel caso della capacità specifica, la densità dei materiali non è identica per tutte le batterie le tipologie di batterie, così Le due quantità non sono realmente connesse. In funzione delle applicazioni occorre considerare quale delle due grandezze sia più significativa. Questa ambiguità può essere superata guardando alle unità di misura associate ai valori dati e utilizzando la grandezza specifica.</p>   |
| <b>Fine vita (end of life – EOL)</b>                           | Quando l'invecchiamento delle cella o della batteria è tale da non consentirle di assolvere le funzioni per le quali era stata selezionata, si dice che essa è giunta al termine della sua vita ( <i>end of life – EOL</i> ), anche se mantiene una capacità residua.   |
| <b>Impedenza, impedenzometria e spettroscopia di impedenza</b> | È possibile misurare l'impedenza complessa di una batteria o di un elettrodo in relazione ad un elettrodo di riferimento (comprendendo sia la parte reale che la parte immaginaria) in funzione della frequenza. Questo può essere effettuato utilizzando la tecnica della spettroscopia di impedenza elettrochimica <i>electrochemical impedance spectroscopy (EIS)</i> che consiste nell'applicare disturbo sinusoidale intorno ad un punto di operazione, per esempio ad un dato SOC.  |
| <b>Invecchiamento</b>  | L' invecchiamento di una batteria secondaria si manifesta come una diminuzione della sua capacità e l'aumento della sua resistenza interna.   |

|   |   |
|---|---|
| <b>Invecchiamento calendarizzato</b> ( <i>calendar aging</i> )                          | Le batterie secondarie sono suscettibili di degradazione anche se non vengono utilizzate: questo fenomeno è denominato invecchiamento calendarizzato ( <i>calendar aging</i> ).   |
| <b>Materiali attivi</b>   | sono le sostanze chimiche coinvolte nelle reazioni di carica e scarica. Nel caso delle batterie secondarie al litio, i materiali attivi sono quelli contenuti negli elettrodi. Generalmente si parla di: Anodo, costituito da carbonio; catodo, costituito da un ossido metallico litiato. Tutti gli altri materiali, non coinvolti nella reazione di ossido riduzione, sono considerati materiali non attivi: il contenitore esterno, le connessioni elettriche, gli isolanti, il separatore, l'elettrolita.   |
| <b>Modulo</b>   | Un <b>modulo</b> , è costituito da più accumulatori posti nello stesso contenitore.   |
| <b>Potenza gravimetrica o ponderale e potenza volumetrica</b>                           | <p>E' la potenza per unità di massa o volume che può essere fornita da una batteria secondaria <b>in date condizioni</b>. La potenza gravimetrica è espressa in W/kg, mentre la potenza volumetrica è espressa in W/m<sup>3</sup> o W/dm<sup>3</sup>.</p> <p>Ad esempio, può trattarsi della <b>potenza massima</b> (per esempio quella ottenuta nelle batterie utilizzate come <i>starter</i>, per una durata limitata) o la <b>potenza massima accettabile</b> per una certa durata a causa del calore associato.</p> <p>Dietro a queste definizioni l'idea base è quella di determinare la abilità del dispositivo a resistere per una durata predefinita, quando soggetta alla corrente indicata dalle specifiche dichiarate dal produttore. La <b>potenza massima ponderale o volumetrica</b> è perciò correlata alla resistenza interna.</p> <p>In base alle applicazioni specifiche, le condizioni alle quali vengono valutati questi parametri possono essere molto diverse.</p> <p>Per esempio, è possibile specificare l'ampiezza della corrente e la durata, per esempio la capacità percentuale (o il rateo di scarica) alla quale questo valore è ottenuto.</p> <p>È possibile anche definire una <b>potenza ponderale o volumetrica ad impulsi</b> di 2 o 30 secondi: in questi test è anche necessario specificare il SOC iniziale e quello rilevato dopo una carica o una scarica, eccetera.</p> <p>È possibile anche essere interessati al valore di potenza gravimetrica o volumetrica in una scarica completa: questi valori saranno etichettati come "valore medio" perché la potenza varia nel corso della scarica.</p> <p>È possibile anche specificare una tensione minima di scarica o una percentuale della tensione senza carico (<i>no-load voltage</i>). Questo valore della potenza massima è fortemente dipendente dalle condizioni di misura e non è una grandezza caratteristica della tecnologia specifica (cioè della chimica di cella) come nel caso della capacità.</p> |
| <b>Profondità di scarica</b> ( <i>Depth of Discharge: - DOD or dod</i> )                | <p>La profondità di scarica (<i>Depth of Discharge - DOD or DoD</i>) indicazione della quantità di elettricità già estratta dalla batteria in relazione alla sua capacità. È pari al rapporto tra l'integrale della corrente di scarica <math>i_{disch}</math>, sia essa costante o variabile, e la capacità.</p> <p>Si tratta di una grandezza adimensionale, generalmente espressa come percentuale. Per esempio, una DOD del 90%, corrisponde a una profondità di scarica rispetto al massimo teorico posto pari al 100%.</p> $C = \int_0^t i(t) dt$ $DOD = \frac{\int_0^t i_{disch}(t) dt}{Capacity}$   |
| <b>Quantità di elettricità ancora disponibile</b> ( <i>Amount of charge remaining</i> ) | <p>La quantità di elettricità ancora disponibile non è una variabile di stato. A seconda del tipo di batteria secondaria, essa può dipendere da numerosi parametri.</p> <p>Per le tecnologie che utilizzano materiali di inserzione, la capacità e conseguentemente la quantità di elettricità ancora disponibile non sono pesantemente influenzati dalle correnti di scarica.</p>  |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>Se gli elettrodi negativi sono costituiti da leghe metalliche, questa grandezza è influenzata dalla corrente di scarica.</p> <p>La relazione tra la quantità di elettricità ancora disponibile e la quantità di elettricità già fornita è espressa dalla relazione:</p> $Q_{\text{still available}} = C_{\text{effective}} - Q_{\text{already discharged}}$ <p>La quantità di elettricità ancora disponibile è complementare alla quantità di elettricità già scaricata rispetto alla capacità effettiva.</p>   |
| <b>Quantità di elettricità scaricata</b>                                   | Il numero di Ah scaricati o la quantità di elettricità scaricata (o rilasciata o consumata o fornita) e ottenuta dall'integrale della corrente fornita in funzione del tempo.  |
| <b>Reazione di ossido-riduzione</b>  | <p>è anche denominata "reazione redox". È rappresentata come segue</p> $a \text{ Ox} + n e^- \rightleftharpoons b \text{ Rid}$ <p>Dove:<br/> Ox = ossidante<br/> Rid = riducente<br/> <math>n e^-</math> = numero di elettroni scambiati<br/> a, b = coefficienti stechiometrici</p> <p>Inoltre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <u>Ossidazione</u>: è una reazione chimica in cui un atomo o uno ione perdono uno o più elettroni. Tale specie chimica è un "donatore di elettroni", denominato "riducente".</li> <li>✓ <u>Riduzione</u>: è una reazione chimica in cui un atomo o uno ione acquistano uno o più elettroni. Tale specie chimica è un "accettore di elettroni", denominato "ossidante".</li> </ul>  |
| <b>Resistenza interna in corrente alternata</b>                            | <p>È possibile misurare la resistenza interna in corrente alternata per una data frequenza. Per le batterie secondarie utilizzati per dispositivi portatili, la norma EN 61960 [2004] propone di determinare la resistenza in corrente alternata applicando una tensione sinusoidale di frequenza pari a 1 kHz, minore di 20 mV del valore di picco per uno-cinque secondi e misurando la corrente.</p> <p>Di conseguenza la resistenza è rapporto tra questo valore di tensione effettiva e la corrente effettiva misurata. Così, in realtà, essa è una misura dell'impedenza del modulo.</p>   |
| <b>Resistenza interna in corrente continua e corrente di cortocircuito</b> | <p>Il termine resistenza interna in corrente continua è utilizzato per indicare la somma delle resistenze dei connettori, elettrodi, elettrolita, eccetera e le resistenze connesse ai siti di reazione. Nelle sezioni seguenti, questo valore sarà esteso alla nozione di impedenza (in corrente alternata).</p> <p>Naturalmente, in una batteria, la resistenza interna è proporzionale al numero di elementi identici posti in serie. Dato che la resistenza interna di una batteria secondaria ad alta potenza è molto bassa, è praticamente impossibile misurare direttamente la corrente di cortocircuito, eccetto forse effettuando misure in corrente impulsiva, ma il dispositivo di corto dice di cortocircuito in se stesso necessita di avere una resistenza più bassa di quella della batteria secondaria in questione.</p> <p>Può essere comunque vantaggioso scoprire l'ampiezza della corrente che potrebbe essere raggiunta nel caso di un corto circuito accidentale direttamente ai terminali della batteria secondaria.</p> <p>In una batteria per dispositivi portatili, la norma EN 61960 [2004] suggerisce di determinare la resistenza in corrente continua sulla base di due punti di misura. Nel primo punto la tensione viene misurata dopo 10 secondi di scarica a 0,2 volte la corrente di scarica C5/1h (V1, I1). Questa scarica è immediatamente seguita da un'altra scarica di un secondo a C5/1h, dopo di che è misurata la tensione (V2, I2). Questi due punti, consentono di tracciare una retta tensione/corrente dalla quale si può dedurre semplicemente la resistenza interna</p> |

|   |   |
|---|---|
|   | <p><math>R_{int}</math> e il valore della corrente di cortocircuito <math>I_{sc}</math>, utilizzando le seguenti equazioni, (La cosiddetta corrente di cortocircuito è, in questo caso, un valore estrapolato: se, infatti, si misura il valore vero della corrente di cortocircuito<sup>31</sup>, si può notare che essa varia nel tempo, anche se solo per ragioni termiche:</p> $R_{int} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}$ $I_{sc} = \frac{U_1 I_2 - U_2 I_1}{U_1 - U_2}$   |
| <p><b>Stato di carica (State of Charge - SOC)</b></p> | <p>Lo stato di carica (<i>State of Charge - SOC</i>) è un'indicazione della quantità di elettricità ancora disponibile in relazione alla capacità dell'accumulatore in date condizioni di scarica passate e future (ampiezza della corrente di scarica):</p> $SOC = \frac{\text{Amount of charge remaining}}{\text{Practical capacity of the accumulator}} = \frac{\text{Capacity} - \int_0^t i_{disch}(t) dt}{\text{Capacity}}$ <p>Essendo:<br/> <math>SOC = 1 - DOD</math><br/> Ne segue che:<br/> <math>DOD = 1 - SOC</math></p> <p>Il SOC è associato con l'energia chimica: perciò esso può essere utilizzato per valutare la restante energia. È un valore adimensionale espresso generalmente in termini percentuali.</p>  |
| <p><b>Stato di energia</b></p>                        | <p>È possibile sostituire il concetto di "quantità di elettricità" con il concetto di energia. Così, si definisce lo stato di energia <i>State of Energy (SOE)</i>, dato dal rapporto tra la quantità di energia ancora disponibile con la quantità di energia totale accumulata.</p>   |
| <p><b>Stato di funzione</b></p>                       | <p>Il SOC e il SOH possono non essere sempre i criteri più pertinente da utilizzare per gli scopi specifici degli accumulatori. Per questa ragione recentemente è stato introdotto lo stato di funzione <i>State of Function (SOF)</i>. Questa grandezza esprime l'abilità della batteria secondaria a soddisfare le funzioni alle quali essa è destinata. Questo stato certo necessita di essere definito in base all'applicazione. In relazione all'applicazione la definizione può essere "binaria" o "analogica".</p>   |
| <p><b>Stato di salute</b></p>                         | <p>Lo stato di salute, <i>State of Health (SOH)</i> è una grandezza che indica lo stato di invecchiamento o di guasto di una batteria secondaria. Può essere valutato come la quantità di elettricità misurata durante una scarica completa rispetto alla capacità nominale o alla massima capacità ottenuta o iniziale (determinata in termini di ampiezza di corrente coerente con le correnti alle quali la batteria sarà utilizzata) durante il suo tempo di vita. Così, questo parametro caratterizza la degradazione dell'accumulatore durante il suo utilizzo. Essa è espresso generalmente in termini percentuali ed è un parametro che indica il valore contrattuale di <i>EOL</i> (fine vita). Una delle funzioni del di BMS è di identificare il SOH:</p> $SOH = Q_{discharge} / C_{nominale}$ |
| <p><b>Tempo di vita (lifetime)</b></p>                | <p>Durata della vita media di un accumulatore, espressa in termini di numero di cicli di carica e</p>   |

<sup>31</sup> Remember that when a true short-circuit occurs, there is no energy delivered to the outside of the secondary battery, and all the energy dissipates inside the cell. In reality, the shortcircuit resistance itself, and the resistance of the contacts, are non-null. The very intense current circulating in the cell may lead to the melting of the current collectors and/or the connecting devices, possibly with the spraying of molten metal droplets. It is for this reason that the wearing of protective eye goggles and the use of insulated tools (in conformity with IEC/EN 60 900) are obligatory when handling batteries.



|   |   |
|---|---|
|   | scarica.  |
| <b>Tensione (V - volt)</b>                      | il valore di tensione associato ad una cella ( $V_{pc}$ o V/cella) dipende dalla corrente di carica e di scarica. Nelle condizioni di corrente normale, la cosiddetta <b>tensione nominale</b> di una cella litio ione assume il valore compreso tra 3,2 V e 3,8 V.   |
| <b>Tensione nominale (<math>V_n</math>)</b>     | è un valore indicativo della tensione operativa, determinata generalmente durante la scarica effettuata con una corrente di valore medio, per una durata di circa qualche ora. Esso rappresenta il valore della tensione media rilevato dal profilo di tensione al valore di corrente di scarica selezionato (ci si trova fuori della zona di variazioni significative in tensione che si trova all'inizio e alla fine della scarica). Generalmente la tensione nominale è inferiore alla forza elettromotrice <b>emf</b> ( <i>Electromotive force</i> ).                     |
| <b>Tensione sotto corrente (<math>U</math>)</b> | Durante il passaggio di corrente, la tensione misurata e denominata "tensione sotto corrente" ( $U$ ): essa corrisponde alla somma di vari contributi quali la forza elettromotrice $\Delta E$ , le sovratensioni degli elettrodi ( $\eta_+$ e $\eta_-$ ) e la caduta di tensione ohmica $RI$ , dove $R$ è il valore della resistenza elettrica della cella e $I$ il valore della corrente passante:<br><br>$U = \Delta E + \eta_+ + \eta_- + R * I$ <p>In genere la forza elettromotrice e la resistenza elettrica è funzione del tempo e perciò dello stato di scarica.</p> |

## 9 Appendice 1B. Tipologia pile al Litio Saft [51]

|                             | ENERGY      |             |             |             |             |             | POWER        |             |             |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|                             | LS 14250    | LS 14500    | LS 17330    | LS 17500    | LS 26500    | LS 33600    | LSH 14 Light | LSH 14      | LSH 20      |
| Cell size                   | 1/2 AA      | AA          | 2/3 A       | A           | C           | D           | C            | C           | D           |
| Cell construction           | Bobbin      | Bobbin      | Bobbin      | Bobbin      | Bobbin      | Bobbin      | Spiral       | Spiral      | Spiral      |
| Nominal voltage             | 3.6 V       | 3.6 V       | 3.6 V       | 3.6 V       | 3.6 V       | 3.6 V       | 3.6 V        | 3.6 V       | 3.6 V       |
| Nominal capacity            | 1.2 Ah      | 2.6 Ah      | 2.1 Ah      | 3.6 Ah      | 7.7 Ah      | 17.0 Ah     | 3.6 Ah       | 5.8 Ah      | 13.0 Ah     |
| Max. continuous current     | 35 mA       | 50 mA       | 25 mA       | 100 mA      | 150 mA      | 250 mA      | 1.3 A        | 1.3 A       | 1.8 A       |
| Max. pulse discharge rate   | 0.1 A       | 0.25 A      | 0.12 A      | 0.25 A      | 0.3 A       | 0.4 A       | 2.0 A        | 2.0 A       | 4.0 A       |
| Max. outside diameter       | 14.55 mm    | 14.55 mm    | 16.5 mm     | 17.13 mm    | 26.0 mm     | 33.4 mm     | 26.0 mm      | 26.0 mm     | 33.4 mm     |
| Max. height                 | 25.15 mm    | 50.3 mm     | 33.4 mm     | 50.9 mm     | 50.4 mm     | 61.6 mm     | 50.4 mm      | 50.4 mm     | 61.6 mm     |
| Typical weight              | 8.9 g       | 16.7 g      | 14.4 g      | 21.9 g      | 48 g        | 90 g        | 51 g         | 51 g        | 100 g       |
| Operating temperature range | -60 / +85°C | -60 / +85°C | -60 / +85°C | -60 / +85°C | -60 / +85°C | -60 / +85°C | -60 / +85°C  | -60 / +85°C | -60 / +85°C |

Typical values relative to cells stored for one year or less at +30°C max ; Performances vary according to discharge characteristics (current, duration, frequency), temperature conditions, storage conditions prior to usage and applications acceptable minimum voltage.



|                             | HIGH TEMPERATURE |              | HIGH PULSE  |             |
|-----------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|
|                             | LSH 20-HTS       | LSH 20-150   | LSP 26500   | LSP 33600   |
| Cell size                   | D                | D            | C           | D           |
| Cell construction           | Spiral           | Spiral       | Hybrid      | Hybrid      |
| Nominal voltage             | 3.6 V            | 3.6 V        | 3.6 V       | 3.6 V       |
| Nominal capacity            | 11.0 Ah          | 14.0 Ah      | 7.7 Ah      | 17.0 Ah     |
| Max. continuous current     | 1.0 A            | 300 mA       | 150 mA      | 250 mA      |
| Max. pulse discharge rate   | 3.0 A            | 0.5 A        | 2 A for 1 s | 2 A for 1 s |
| Max. outside diameter       | 33.4 mm          | 32.05 mm     | 26.5 mm     | 33.5 mm     |
| Max. height                 | 61.6 mm          | 61.7 mm      | 52 mm       | 62.5 mm     |
| Typical weight              | 100 g            | 104.5 g      | 51 g        | 93 g        |
| Operating temperature range | -60 / +85°C      | -40 / +150°C | -30 / +60°C | -30 / +60°C |

Typical values relative to cells stored for one year or less at +30°C max ; Performances vary according to discharge characteristics (current, duration, frequency), temperature conditions, storage conditions prior to usage and applications acceptable minimum voltage.



High Temperature cells series are designed for operating in extreme conditions with temperature as high as +150°C for LSH 20-150.

Hybrid LSP range consists in a LS bobbin cell assembled in parallel with an EDLC-type component, selected to sustain high amplitude / long duration pulses. Please, consult Saft.

Unrivalled performances in long-life applications (LS, LSH series)

Safe and reliable operations up to +150°C (high temperature series)

Hybrid solutions with best-in-class selected pulse sustaining components (New LSP series)

Figura 36

|                             | ENERGY    |           |           |           |           |           | POWER        |           |           |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|
|                             | LS 14250  | LS 14500  | LS 17330  | LS 17500  | LS 26500  | LS 33600  | LSH 14 Light | LSH 14    | LSH 20    |
| Cell size                   | 1/2 AA    | AA        | 2/3 A     | A         | C         | D         | C            | C         | D         |
| Cell construction           | Bobbin    | Bobbin    | Bobbin    | Bobbin    | Bobbin    | Bobbin    | Spiral       | Spiral    | Spiral    |
| Nominal voltage             | 3.6 V     | 3.6 V     | 3.6 V     | 3.6 V     | 3.6 V     | 3.6 V     | 3.6 V        | 3.6 V     | 3.6 V     |
| Nominal capacity            | 1.2 Ah    | 2.6 Ah    | 2.1 Ah    | 3.6 Ah    | 7.7 Ah    | 17.0 Ah   | 3.6 Ah       | 5.8 Ah    | 13.0 Ah   |
| Max. continuous current     | 35 mA     | 50 mA     | 25 mA     | 100 mA    | 150 mA    | 250 mA    | 1.3 A        | 1.3 A     | 1.8 A     |
| Max. pulse discharge rate   | 0.1 A     | 0.25 A    | 0.12 A    | 0.25 A    | 0.3 A     | 0.4 A     | 2.0 A        | 2.0 A     | 4.0 A     |
| Max. outside diameter       | 14.55 mm  | 14.55 mm  | 16.5 mm   | 17.13 mm  | 26.0 mm   | 33.4 mm   | 26.0 mm      | 26.0 mm   | 33.4 mm   |
| Max. height                 | 25.15 mm  | 50.3 mm   | 33.4 mm   | 50.9 mm   | 50.4 mm   | 61.6 mm   | 50.4 mm      | 50.4 mm   | 61.6 mm   |
| Typical weight              | 8.9 g     | 16.7 g    | 14.4 g    | 21.9 g    | 48 g      | 90 g      | 51 g         | 51 g      | 100 g     |
| Operating temperature range | -60/+85°C | -60/+85°C | -60/+85°C | -60/+85°C | -60/+85°C | -60/+85°C | -60/+85°C    | -60/+85°C | -60/+85°C |

Typical values relative to cells stored for one year or less at +30°C max; Performances vary according to discharge characteristics (current, duration, frequency), temperature conditions, storage conditions prior to usage and applications acceptable minimum voltage.



|                             | HIGH TEMPERATURE |            | HIGH PULSE  |             |
|-----------------------------|------------------|------------|-------------|-------------|
|                             | LSH 20-HTS       | LSH 20-150 | LSP 26500   | LSP 33600   |
| Cell size                   | D                | D          | C           | D           |
| Cell construction           | Spiral           | Spiral     | Hybrid      | Hybrid      |
| Nominal voltage             | 3.6 V            | 3.6 V      | 3.6 V       | 3.6 V       |
| Nominal capacity            | 11.0 Ah          | 14.0 Ah    | 7.7 Ah      | 17.0 Ah     |
| Max. continuous current     | 1.0 A            | 300 mA     | 150 mA      | 250 mA      |
| Max. pulse discharge rate   | 3.0 A            | 0.5 A      | 2 A for 1 s | 2 A for 1 s |
| Max. outside diameter       | 33.4 mm          | 32.05 mm   | 26.5 mm     | 33.5 mm     |
| Max. height                 | 61.6 mm          | 61.7 mm    | 52 mm       | 62.5 mm     |
| Typical weight              | 100 g            | 104.5 g    | 51 g        | 93 g        |
| Operating temperature range | -60/+85°C        | -40/+150°C | -30/+60°C   | -30/+60°C   |

Typical values relative to cells stored for one year or less at +30°C max; Performances vary according to discharge characteristics (current, duration, frequency), temperature conditions, storage conditions prior to usage and applications acceptable minimum voltage.



High Temperature cells series are designed for operating in extreme conditions with temperature as high as +150°C for LSH 20-150.

Hybrid LSP range consists in a LS bobbin cell assembled in parallel with an EDLC-type component, selected to sustain high amplitude / long duration pulses. Please, consult Saft.

Unrivalled performances in long-life applications (LS, LSH series)

Safe and reliable operations up to +150°C (high temperature series)

Hybrid solutions with best-in-class selected pulse sustaining components (New LSP series)

Figura 37

|                             | POWER       |             |             |             |             |             | HIGH POWER  |             |             |             |             |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                             | LO 34 SX    | LO 35 SX    | LO 40 SX    | LO 26 SX    | LO 26 SXC   | LO 25 SX    | LO 29 SHX   | LO 43 SHX   | LO 30 SHX   | LO 26 SHX   | LO 39 SHX   |
| Cell size                   | 1/3 C       | 2/3 C       | 2/3 thin D  | D           | D           | Fat D       | C           | 5/4 C       | Thin D      | D           | F           |
| Cell construction           | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      |
| Nominal voltage             | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       |
| Nominal capacity            | 1.0 Ah      | 2.2 Ah      | 3.5 Ah      | 7.75 Ah     | 9.2 Ah      | 8.0 Ah      | 3.75 Ah     | 5.0 Ah      | 5.75 Ah     | 7.5 Ah      | 11.5 Ah     |
| Max. continuous current     | 0.5 A       | 2.0 A       | 2.0 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 3.0 A       | 4.0 A       | 3.0 A       |
| Max. pulse discharge rate   | 1.0 A       | 5.0 A       | 5.0 A       | 5.0 A       | 10.0 A      | 10.0 A      | 6.0 A       | 10.0 A      | 10.0 A      | 15.0 A      | 60.0 A      |
| Max. outside diameter       | 25.6 mm     | 25.9 mm     | 28.95 mm    | 34.2 mm     | 34.2 mm     | 39.5 mm     | 25.6 mm     | 26.0 mm     | 29.1 mm     | 34.2 mm     | 31.9 mm     |
| Max. height                 | 20.45mm     | 35.9 mm     | 42.29 mm    | 59.3 mm     | 59.3 mm     | 50.3 mm     | 50.4 mm     | 59.2 mm     | 62.5 mm     | 59.3 mm     | 100.3 mm    |
| Typical weight              | 16 g        | 30 g        | 40 g        | 85 g        | 85 g        | 96 g        | 40 g        | 53 g        | 63 g        | 85 g        | 125 g       |
| Operating temperature range | -40 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C |

Typical values relative to cells stored for one year or less at +30°C max. Performances vary according to discharge characteristics (current, duration, frequency), temperature conditions, storage conditions prior to usage and applications acceptable minimum voltage.



|                             | POWER       |             |             |             |             |             |             |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                             | G 06/2      | G 36/2      | G 52/3      | G 54/3      | G 26        | G 22/6      | G 62/1      |
| Cell size                   | AA          | Long A      | C           | 5/4 C       | D           | DD          | Long fat DD |
| Cell construction           | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      |
| Nominal voltage             | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       |
| Nominal capacity            | 0.95 Ah     | 1.7 Ah      | 3.2 Ah      | 5.0 Ah      | 7.75 Ah     | 16.5 Ah     | 34.0 Ah     |
| Max. continuous current     | 0.5 A       | 1.5 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 3.0 A       | 8.0 A       |
| Max. pulse discharge rate   | 0.8 A       | 2.5 A       | 5.0 A       | 5.0 A       | 5.0 A       | 10.0 A      | 12.0 A      |
| Max. outside diameter       | 14.2 mm     | 16.3 mm     | 25.6 mm     | 25.6 mm     | 34.5 mm     | 33.3 mm     | 41.7 mm     |
| Max. height                 | 50.3 mm     | 57.7 mm     | 49.5 mm     | 60.2 mm     | 59.8 mm     | 120.6 mm    | 141.0 mm    |
| Typical weight              | 15 g        | 18 g        | 47 g        | 58 g        | 85 g        | 175 g       | 300 g       |
| Operating temperature range | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C |

Typical values relative to cells stored for one year or less at +30°C max. Performances vary according to discharge characteristics (current, duration, frequency), temperature conditions, storage conditions prior to usage and applications acceptable minimum voltage.



Figura 38

|                             | POWER       |             |             |             |             |             | HIGH POWER  |             |             |             |             |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                             | LO 34 SX    | LO 35 SX    | LO 40 SX    | LO 26 SX    | LO 26 SXC   | LO 25 SX    | LO 29 SHX   | LO 43 SHX   | LO 30 SHX   | LO 26 SHX   | LO 39 SHX   |
| Cell size                   | 1/3 C       | 2/3 C       | 2/3 thin D  | D           | D           | Fat D       | C           | 5/4 C       | Thin D      | D           | F           |
| Cell construction           | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      |
| Nominal voltage             | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       |
| Nominal capacity            | 1.0 Ah      | 2.2 Ah      | 3.5 Ah      | 7.75 Ah     | 9.2 Ah      | 8.0 Ah      | 3.75 Ah     | 5.0 Ah      | 5.75 Ah     | 7.5 Ah      | 11.5 Ah     |
| Max. continuous current     | 0.5 A       | 2.0 A       | 2.0 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 3.0 A       | 4.0 A       | 3.0 A       |
| Max. pulse discharge rate   | 1.0 A       | 5.0 A       | 5.0 A       | 5.0 A       | 10.0 A      | 10.0 A      | 6.0 A       | 10.0 A      | 10.0 A      | 15.0 A      | 60.0 A      |
| Max. outside diameter       | 25.6 mm     | 25.9 mm     | 28.95 mm    | 34.2 mm     | 34.2 mm     | 39.5 mm     | 25.6 mm     | 26.0 mm     | 29.1 mm     | 34.2 mm     | 31.9 mm     |
| Max. height                 | 20.45mm     | 35.9 mm     | 42.29 mm    | 59.3 mm     | 59.3 mm     | 50.3 mm     | 50.4 mm     | 59.2 mm     | 62.5 mm     | 59.3 mm     | 100.3 mm    |
| Typical weight              | 16 g        | 30 g        | 40 g        | 85 g        | 85 g        | 96 g        | 40 g        | 53 g        | 63 g        | 85 g        | 125 g       |
| Operating temperature range | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C |

Typical values relative to cells stored for one year or less at +30°C max. Performances vary according to discharge characteristics (current, duration, frequency), temperature conditions, storage conditions prior to usage and applications acceptable minimum voltage.



|                             | POWER       |             |             |             |             |             |             |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                             | G 06/2      | G 36/2      | G 52/3      | G 54/3      | G 26        | G 22/6      | G 62/1      |
| Cell size                   | AA          | Long A      | C           | 5/4 C       | D           | DD          | Long fat DD |
| Cell construction           | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      | Spiral      |
| Nominal voltage             | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       | 2.8 V       |
| Nominal capacity            | 0.95 Ah     | 1.7 Ah      | 3.2 Ah      | 5.0 Ah      | 7.75 Ah     | 16.5 Ah     | 34.0 Ah     |
| Max. continuous current     | 0.5 A       | 1.5 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 2.5 A       | 3.0 A       | 8.0 A       |
| Max. pulse discharge rate   | 0.8 A       | 2.5 A       | 5.0 A       | 5.0 A       | 5.0 A       | 10.0 A      | 12.0 A      |
| Max. outside diameter       | 14.2 mm     | 16.3 mm     | 25.6 mm     | 25.6 mm     | 34.5 mm     | 33.3 mm     | 41.7 mm     |
| Max. height                 | 50.3 mm     | 57.7 mm     | 49.5 mm     | 60.2 mm     | 59.8 mm     | 120.6 mm    | 141.0 mm    |
| Typical weight              | 15 g        | 18 g        | 47 g        | 58 g        | 85 g        | 175 g       | 300 g       |
| Operating temperature range | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C | -60 / +70°C |

Typical values relative to cells stored for one year or less at +30°C max. Performances vary according to discharge characteristics (current, duration, frequency), temperature conditions, storage conditions prior to usage and applications acceptable minimum voltage.



Figura 39



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



## RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

### Capitolo 2

Caratterizzazione delle modalità di innesco e delle curve di Heat Release Rate e Mass Loss Rate, caratterizzazione dei composti chimici rilasciati in fase aeriforme nelle prove per misura HRR e MLR.

Russo P., Mele M.L.



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA



## Indice

|  |            |
|--|------------|
| <b>INDICE .....</b>  | <b>93</b>  |
| <b>SOMMARIO .....</b>  | <b>94</b>  |
| <b>1 INTRODUZIONE .....</b>                                  | <b>95</b>  |
| 1.1 THERMAL RUNAWAY .....                                    | 95         |
| 1.2 HEAT RELEASE RATE .....                                  | 96         |
| <b>2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....</b> | <b>98</b>  |
| 2.1 MATERIALI E METODI .....                                 | 98         |
| 2.1.1 <i>Calorimetro a cono</i> .....                        | 98         |
| 2.1.2 <i>Procedura sperimentale</i> .....                    | 99         |
| 2.2 EFFETTO DELLA POTENZA IRRAGGIATA .....                   | 101        |
| 2.3 EFFETTO DELLO STATO DI CARICA (SOC) .....                | 103        |
| <b>3 LITERATURE REVIEW .....</b>                             | <b>105</b> |
| 3.1 HRR DI CELLE SINGOLE .....                               | 105        |
| 3.1.1 <i>Effetto dello stato di carica (SOC)</i> .....       | 105        |
| 3.1.2 <i>Effetto della potenza irraggiata</i> .....          | 107        |
| 3.1.3 <i>Gas emessi</i> .....                                | 108        |
| 3.1.4 <i>Effetto dell' "over discharging"</i> .....          | 110        |
| 3.2 HRR DI PACCHI DI CELLE .....                             | 112        |
| 3.2.1 <i>Effetto dello stato di carica</i> .....             | 112        |
| 3.3 PERDITA DI PESO.....                                     | 117        |
| 3.3.1 <i>Celle singole</i> .....                             | 117        |
| 3.3.2 <i>Pacchi di celle</i> .....                           | 118        |
| 3.4 EMISSIONI DI HF E POF <sub>3</sub> .....                 | 119        |
| 3.4.1 <i>Celle singole e pacchi di celle</i> .....           | 119        |
| 3.4.2 <i>Effetto dell'umidità</i> .....                      | 123        |
| 3.4.3 <i>Incendio su scala reale</i> .....                   | 124        |
| 3.5 LMB – CELLE AL LITIO METALLICO .....                     | 129        |
| <b>4 CONCLUSIONI.....</b>                                    | <b>133</b> |
| <b>5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....</b>                     | <b>134</b> |



## Sommario

Le caratteristiche principali delle batterie agli ioni di litio (Li-ione) sono l'elevata energia e la densità di potenza, che rendono questa tecnologia di stoccaggio dell'energia adatta per elettronica portatile, utensili elettrici e veicoli ibridi o elettrici. In condizioni di non ordinario funzionamento della batteria, le celle possono andare incontro ad un processo incontrollato detto "thermal runaway". Il thermal runaway implica un rapido aumento della temperatura delle celle della batteria, accompagnata dal rilascio di gas infiammabili, i quali potrebbero essere facilmente innescati dall'alta temperatura raggiunta dalla batteria, causando un incendio. Inoltre, la combustione di questi gas rilasciati pone un altro problema di sicurezza: l'accumulo e la potenziale esplosione dei gas stessi. Il thermal runaway può anche essere responsabile di effetti meccanici come la proiezione di frammenti e il rilascio di gas e vapori tossici.

In questo capitolo sono riportate le prove sperimentali per la misura dell'HRR (heat release rate) condotte su celle NCR18650 della Panasonic effettuate presso i laboratori della Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica di Roma. Inoltre, per confronto, sono mostrati i principali risultati disponibili in letteratura su celle Li-ione di diversa chimica e geometria.

## 1 Introduzione

Le batterie agli ioni di litio (LIBs) hanno avuto un grande sviluppo negli ultimi anni, infatti offrono una serie di vantaggi rispetto a quelle caratterizzate da una chimica diversa. Rispetto a queste ultime, infatti, le celle litio-ione presentano un più elevato contenuto energetico, una più elevata densità di potenza e hanno una durata maggiore. Utilità e vantaggi delle batterie agli ioni di litio sono ben noti, ma meno note sono le criticità associate a questa chimica.

La sicurezza è un aspetto fondamentale da considerare quando si progetta un sistema che contiene energia chimica immagazzinata, pertanto, è di fondamentale importanza investigare pienamente i rischi che un guasto può presentare e comprendere le condizioni che possono portare all'insorgere di questi guasti.

Una cella agli ioni di litio si basa su un complesso insieme di meccanismi interconnessi e alterare il comportamento di questi meccanismi (dal punto di vista meccanico, termico o elettrico) può sconvolgere il delicato equilibrio del sistema elettrochimico e portare a una varietà di guasti imprevedibili e potenzialmente pericolosi e nel peggiore dei casi all'insorgere di un thermal runaway. [1].

### 1.1 Thermal runaway

Il thermal runaway (Fig.1) è una reazione a catena incontrollabile durante la quale si verificano una serie di reazioni esotermiche; il calore prodotto è maggiore di quello rilasciato, c'è perciò un aumento incontrollato di pressione e temperatura che porta al rilascio improvviso dell'energia immagazzinata e alla conseguente rottura catastrofica della cella con il conseguente rilascio di vapori tossici e infiammabili. I frammenti vengono scagliati come proiettili nell'ambiente circostante e si generano incendi difficilmente estinguibili con mezzi convenzionali [2].

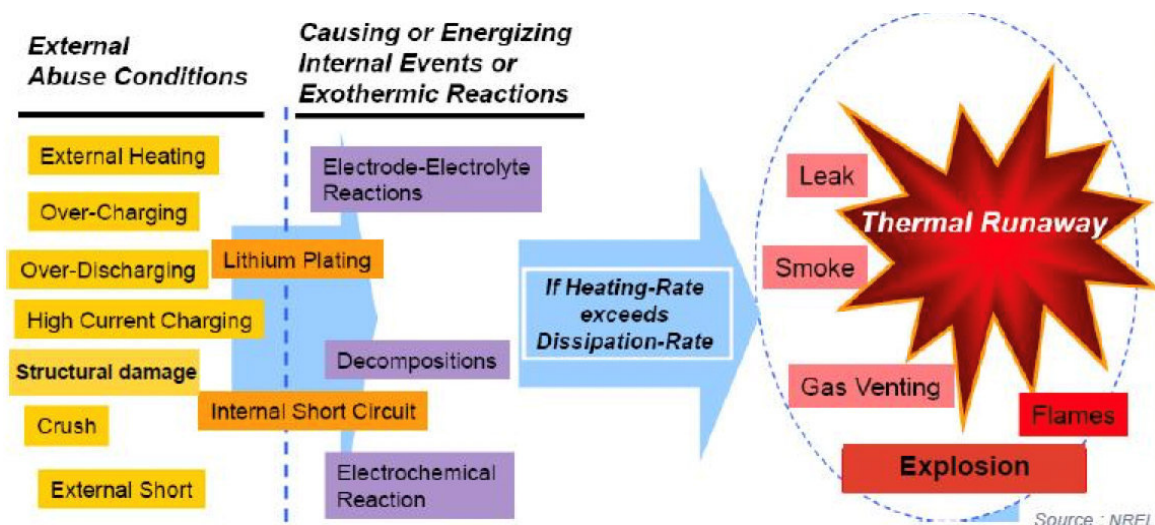


Fig. 1 – Thermal Runaway.

## 1.2 Heat Release Rate

Uno dei parametri fondamentali per la caratterizzazione di un incendio è rappresentato dalla potenza termica indicata come Heat Release Rate (HRR) con la quale viene misurata la velocità di rilascio del calore durante la combustione del materiale. L'HRR, infatti, è un parametro essenziale soprattutto per la caratterizzazione del comportamento di un materiale in un incendio [3], infatti la sua misurazione viene utilizzata per quantificare la capacità del materiale di incendiarsi e contribuire allo sviluppo del calore prodotto durante l'incendio [4].

Esistono una serie di metodologie sviluppate per valutare l'HRR, come il metodo del consumo di ossigeno, la perdita di massa o l'aumento della temperatura [5-7]. Il metodo del consumo di ossigeno è basato sul principio di Thornton [8] ed è il criterio più frequentemente utilizzato. Per un gran numero di solidi o liquidi organici o gassosi, Thornton ha scoperto che la quantità di energia rilasciata dalla combustione completa di un materiale è proporzionale alla quantità di  $O_2$  consumata durante le reazioni di combustione. Il vantaggio fondamentale associato a questo metodo è che le misurazioni possono essere eseguite conoscendo solo la variazione nel tempo della massa di ossigeno (Fig.2), senza sapere l'esatta composizione chimica del materiale; è quindi possibile eseguire i test anche su materiali non omogenei come le celle e batterie agli ioni di litio.

L'HRR può essere determinato utilizzando l'equazione (1).

$$\dot{q} = E(\dot{m}_a Y_{O_2}^a - \dot{m}_e Y_{O_2}^e) \quad (1)$$

Dove:

$E$  = quantità di calore sviluppata per unità di massa di ossigeno consumato ( $\approx 13,1$  kJ/g)

$Y_{O_2}^a$  = frazione in massa di ossigeno nell'aria di combustione (0,232 g/g in aria secca)

$Y_{O_2}^e$  = frazione in massa di ossigeno nei prodotti di combustione (g/g)

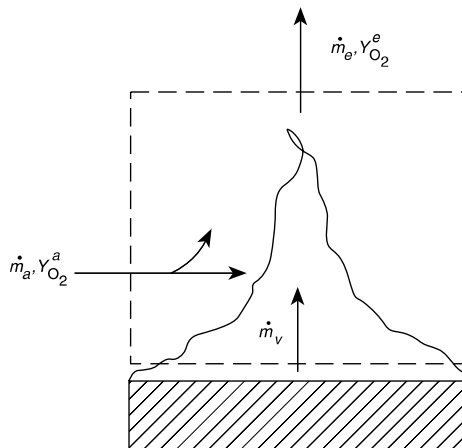
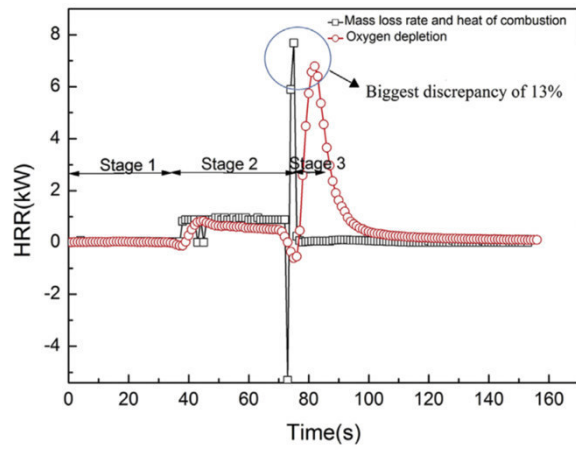


Fig. 2 - Bilancio di ossigeno durante la combustione del materiale.

Fu et al. [9] hanno notato che anche se durante la combustione viene prodotta una piccola quantità di ossigeno, questa ha un effetto trascurabile sul processo di combustione e sulla misura dell'HRR. Infatti, il confronto tra i valori di HRR misurati e quelli calcolati mostra che la discrepanza maggiore è di circa il 13%, come mostrato in Fig.3. Si stima, pertanto, che l'energia dovuta al consumo dell'ossigeno prodotto dalle reazioni interne di riduzione rappresenta meno del 13% dell'energia complessiva rilasciata da una cella Li-ione completamente carica. Ciò conferma l'attendibilità delle misure effettuate attraverso l'uso del calorimetro a cono per la determinazione dell'HRR.



**Fig. 3** - Profili HRR di celle Li-ione completamente cariche con un flusso di calore incidente di  $50 \text{ kW/m}^2$  [8].

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Di seguito sono riportate le prove sperimentali per la misura dell'HRR condotte su celle NCR18650 della Panasonic effettuate presso i laboratori Centro Studi ed Esperienze della Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica di Roma con il contributo del NIA, Nucleo Investigativo Antincendi . I risultati di tali tests sono stati presentati al 9<sup>th</sup> International Seminar on Fire and Explosion Hazards, San Pietroburgo, 21-26 aprile 2019, e al Convegno Electrimacs 2019, Salerno, 21-23 maggio 2019 [10,11]. Quindi, per confronto sono mostrati i principali risultati disponibili in letteratura su celle Li-ione di diversa chimica e geometria.

### 2.1 Materiali e metodi

#### 2.1.1 Calorimetro a cono

Il calorimetro a cono è il principale strumento usato per la valutazione del comportamento alla fiamma di un materiale. Una vista schematica è mostrata in Fig. 4.

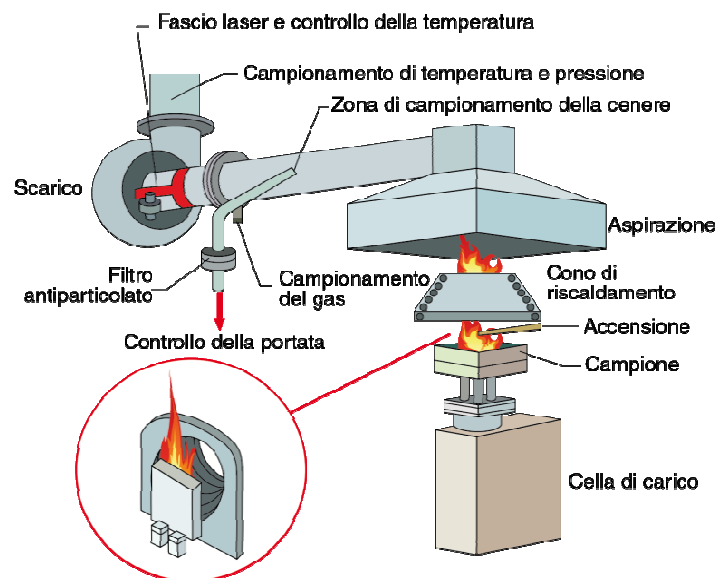


Fig. 4 - Cono calorimetrico.

Il campione da testare è posto sopra una cella di carico al di sotto di un cono radiante e la potenza del flusso irradiato può variare in un intervallo compreso tra 10 e 100 kW/m<sup>2</sup>.

Uno scintillatore elettrico innesca gli eventuali vapori infiammabili rilasciati e, durante tutta la durata del test, il fumo e i gas esausti (O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>) sono convogliati all'interno di un tubo strumentato e vengono esaminati da analizzatori specifici [5].

Le prove condotte, in collaborazione con il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, sono state effettuate su celle Li-ione della Panasonic: NCR 18650 BM, di cui in Tabella 1 sono riassunte le specifiche tecniche. L'elettrodo positivo è costituito da ossidi misti di litio-nichel-cobalto (LiNiCoO<sub>2</sub>) mentre l'elettrodo negativo è costituito da grafite.

## 2.1.2 Procedura sperimentale

Prima di essere sottoposte alle prove, le celle esaminate sono state caricate utilizzando un alimentatore della serie PS 8000 2U della Elektro-Automatik (EA) con una corrente costante pari a 12 A, imponendo, per alcune celle una tensione limite massima pari a 4,2 V, valore corrispondente ad uno stato di carica della cella (SOC) pari al 100%; mentre per altre celle si è imposta una tensione limite massima pari a 3,7 V corrispondente ad un SOC pari al 50%. In Figura 5 sono mostrati i campioni durante la fase di carica.

I test sono stati eseguiti in un calorimetro a cono variando lo stato di carica delle celle (0%, 50% e 100% SOC) e la potenza irradiata (15-50 kW/m<sup>2</sup>).

Durante le prove sono stati monitorati i valori di concentrazione di ossigeno da cui è stata ricavato il valore dell'HRR e la temperatura superficiale, con termocoppie posizionate in aderenza alla superficie delle celle. Mediante l'utilizzo di un rilevatore portatile (PID - Photoionization Detector) è stata monitorata l'emissione di composti organici volatili (VOC). I VOC emessi sono misurati come concentrazione di etil metil carbonato (EMC) in ppm. Ogni campione è stato pesato prima e dopo ogni test per determinare la perdita totale di peso. Ogni prova è stata registrata con una videocamera.

In Tabella 2 sono riassunte le condizioni sperimentali di prova e i parametri misurati.

**Tab.1** – Specifiche tecniche delle celle NCR 18650 Panasonic.

### Battery Classification and Product Code

|     |                        |                     |
|-----|------------------------|---------------------|
| 4.1 | Battery Classification | Lithium Ion Battery |
| 4.2 | Product Code           |                     |
| 4.3 | Model Name             | NCR18650B           |
| 4.4 | Cell Type              | NCR18650BM          |

### Nominal Specifications

| Item   | Specifications     | Notes                                    |
|--|--------------------|--|
| 5.1 Rated Capacity                                     | 2980mAh            | 0.596A discharge at 20°C                 |
| 5.2 Capacity (Minimum)                                 | 3030mAh            | 0.606A discharge at 25°C                 |
| 5.3 Capacity (Typical)                                 | 3180mAh            | Reference only                           |
| 5.4 Nominal Voltage                                    | 3.6V               | 0.606A discharge                         |
| 5.5 Discharging End Voltage                            | 2.5V               |  |
| 5.6 Charging Current (Std.)                            | 0.909A             |  |
| 5.7 Charging Voltage                                   | 4.20 ± 0.03V       |  |
| 5.8 Charging Time (Std.)                               | 5.0 hours          |  |
| 5.9 Continuous Discharge Current (Max.) * <sup>1</sup> | 3.636A             | 0 ~ +40°C                                |
| 5.10 Internal Resistance                               | less than 100mΩ    | AC impedance 1 kHz                       |
| 5.11 Weight  | less than 49.5g    |  |
| 5.12 Operating Temperature                             | Charge             | +10 ~ +45°C                              |
|  | Discharge          | -20 ~ +60°C                              |
| 5.13 Storage Conditions (Shipping Charge State)        | less than 1 month  | -20 ~ +50°C                              |
|  | less than 3 months | -20 ~ +40°C                              |
|  | less than 1 year   | -20 ~ +20°C                              |
|  |                    | Recoverable Capacity: 80% * <sup>2</sup> |

\*<sup>1</sup> The maximum discharge current for a single cell use. However after the battery pack assembly, maximum discharge current will be limited by a protection circuit or device.

\*<sup>2</sup> Recoverable Capacity =  $\frac{\text{Discharge Time after Storage}}{\text{Initial Discharge Time}} * 100$

The discharge time is measured by fully charging the battery at 25°C and then discharging it at a current of 0.606A to 2.5V per cell in series.

**Tab. 2** - Condizioni sperimentali di prova e i parametri misurati.

| Test Id | SoC (%) | Radiant power (kW/m <sup>2</sup> ) | HRR max (kW/cell) | T max (°C) | Gas venting time (s) | Explosion time (s) | Mass loss (g) | Total Energy (kJ/cell) |
|---------|---------|------------------------------------|-------------------|------------|----------------------|--------------------|---------------|------------------------|
| 1       | 100     | 15                                 | 0.9               | 367        | 580                  | 810                | 28.08         | 184                    |
| 2       | 100     | 25                                 | 1.3               | 703        | 300                  | 385                | 24.27         | 132                    |
| 3       | 100     | 35                                 | 1.1               | 328        | 274                  | 315                | 34.14         | 65                     |
| 4       | 100     | 50                                 | 0.8               | 497        | 171                  | 226                | 20.89         | 28                     |
| 5       | 100     | 35                                 | 1.1               | 735        | 236                  | 294                | 43.53         | 72                     |
| 6       | 100     | 50                                 | 11 (0.9)          | 440        | 240                  | 272                | 20.24         | 304                    |
| 7       | 50      | 25                                 | 0.1               | 726        | 470                  | 580                | 10.73         | 15                     |
| 8       | 50      | 35                                 | 1.2               | 367        | 246                  | 324                | 17.33         | 62                     |
| 9       | 50      | 50                                 | 1.0               | 643        | 204                  | 230                | 43.97         | 40                     |
| 10      | 0       | 50                                 | 1.3               | 487        | 138                  | 196                | 8.31          | 33                     |

Tra i parametri misurati è stato definito il tempo di venting (Gas venting time) individuato da un suono chiaramente udibile in corrispondenza dell'apertura della valvola di sicurezza, immediatamente seguito da getti di aerosol che fuoriescono dalla valvola della cella e il tempo di esplosione (Explosion time) definito come il tempo in cui avviene la rottura catastrofica della cella.



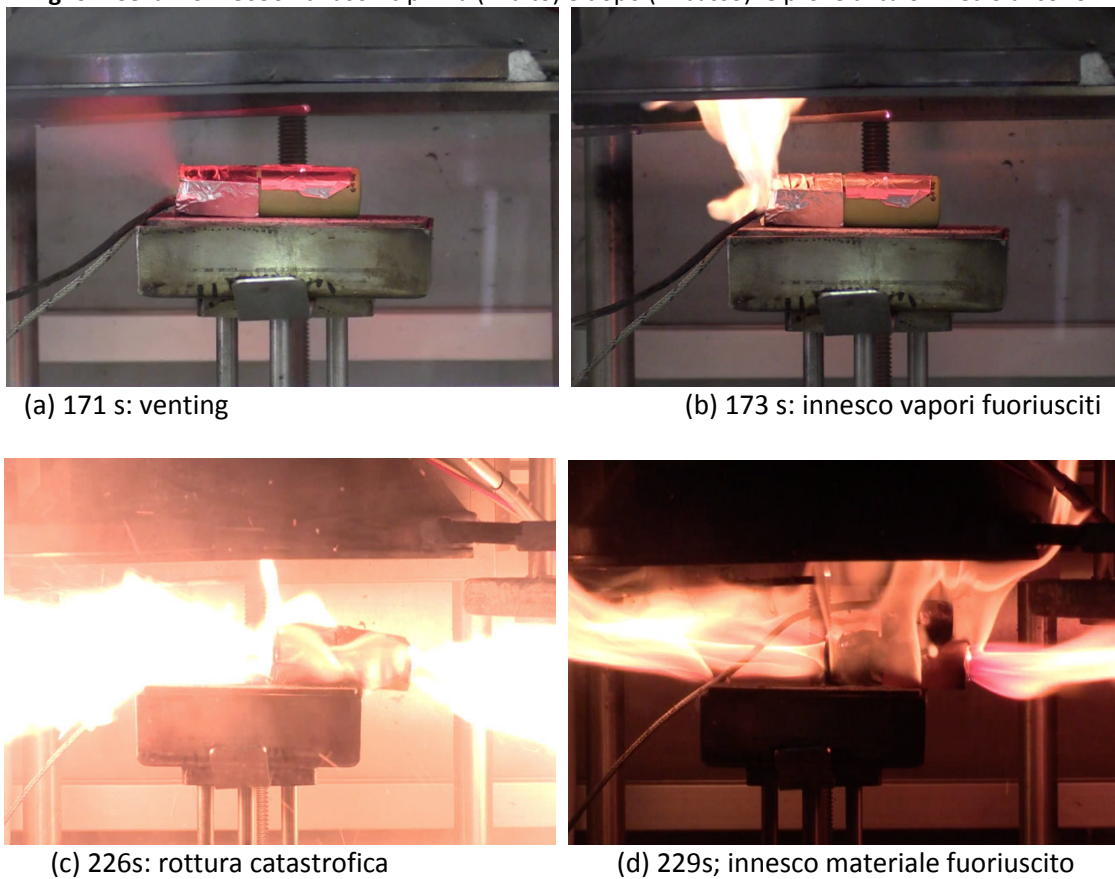
**Fig. 5** – Celle durante la fase di carica.

In Figura 6 sono riportate le immagini di una cella prima e dopo un test al calorimetro a cono. In sintesi, le prove sperimentali hanno evidenziato che il comportamento al fuoco delle celle può essere distinto in tre fasi principali: i) l'innesco delle reazioni di thermal runaway; ii) l'apertura del dispositivo di sicurezza con il conseguente sfiato dei gas e l'aumento della velocità di riscaldamento, con presenza di fiamme e/o fumo; iii) la rottura catastrofica della cella con eventuale fuoriuscita di fiamme dalle estremità della cella.

In Figura 7 le varie fasi su descritte sono mostrate nel caso della prova condotta su una cella caricata al 100% e sottoposta ad una potenza irradiata pari a 50 kW/m<sup>2</sup>.



**Fig. 6** – Cella NCR18650 Panasonic prima (in alto) e dopo (in basso) le prove al calorimetro al cono.



**Fig. 7** – Fasi di un test con  $50 \text{ kW/m}^2$  su una cella NCR18650 Panasonic carica al 100%.

## 2.2 Effetto della potenza irradiata

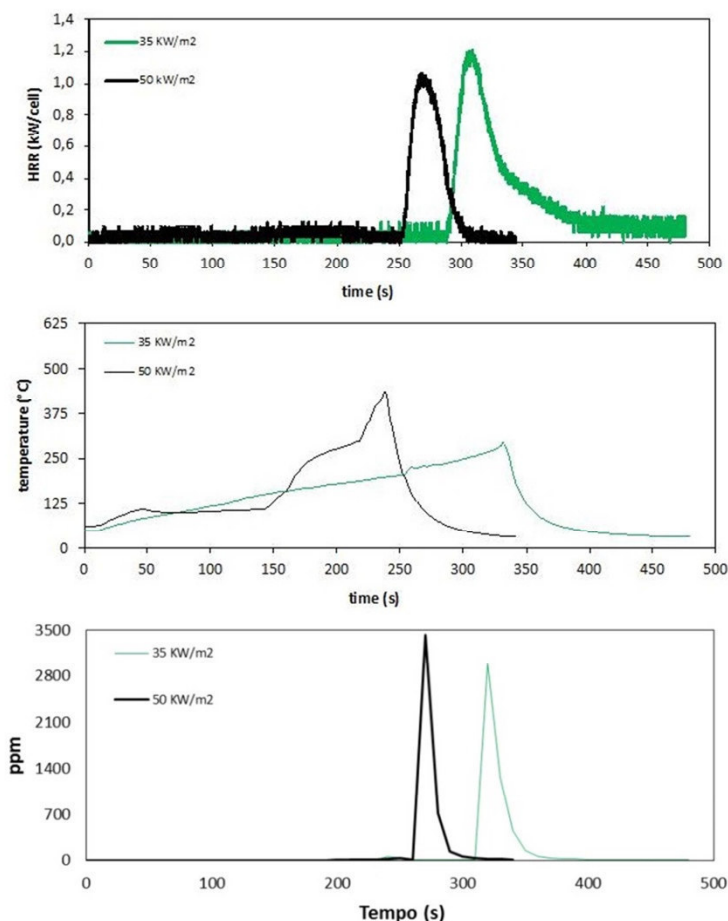


In Figura 8 sono confrontati i risultati ottenuti da test relativi a celle aventi lo stesso SoC (50%) ma esposte a diversi valori di irraggiamento (35 e 50 kW/m<sup>2</sup>). Si nota che una maggiore potenza irraggiata determina un aumento più veloce della temperatura superficiale, ciò comporta che le reazioni di thermal runaway si innescano in un tempo più breve e quindi anche la velocità di rilascio del calore (HRR) è più veloce. Inoltre, si nota che una maggiore potenza irraggiata determina un maggiore rilascio di VOC (Fig. 8).

Integrando il profilo dell'HRR nel tempo è possibile stimare il valore del calore totale di combustione rilasciato da una cella. I valori calcolati sono riportati in Tabella 2 in termini di contenuto energetico di una cella (total energy, kJ/cell).

È evidente che al diminuire del SOC dal 100% al 50% si ha una elevata diminuzione dell'energia totale di una cella, infatti se per una cella carica si è misurato un valore massimo di energia totale di circa 300 kJ/cella, per una cella caricata al 50 % si sono misurati valori di circa 60 kJ/cella.

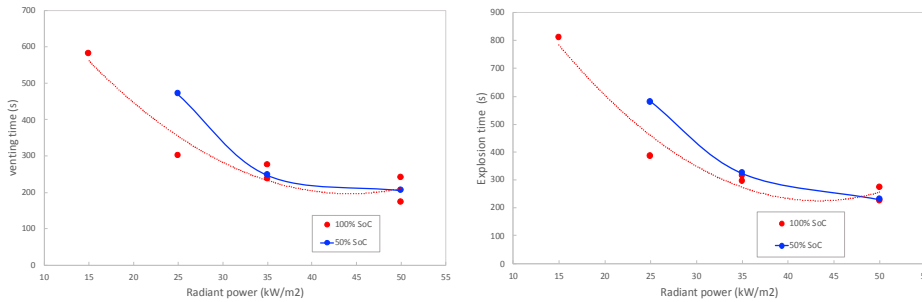
L'effettivo calore di combustione della cella viene calcolato dividendo il valore dell'energia totale per la perdita di peso. I valori variano da 1 a 15 kJ/g. Il comportamento osservato in funzione del SoC indica che l'insorgere del thermal runaway è correlato al contenuto energetico della cella che fornisce l'energia di attivazione necessaria per avviare il thermal runaway o per innescare la combustione dell'elettrolita.



**Fig. 8** - HRR, surface temperature and VOC concentration (ppm) during tests at 50% SoC.

Dal confronto con la letteratura, i valori misurati sono in accordo con quelli riportati in letteratura per celle secondarie di diverse chimiche e geometrie. I valori riportati dell'energia totale di combustione sono dell'ordine di 1-4 kJ/g della batteria originale e quelli del calore effettivo della combustione dell'ordine di circa 2-25 kJ / g [12].

In Figura 9 sono riportati gli andamenti del tempo di venting e del tempo di esplosione in funzione della potenza irraggiata. L'analisi mostra che i tempi diminuiscono quando la potenza irraggiata radiante aumenta fino a 35 kW/m<sup>2</sup>; superato tale valore, i valori dei tempi rimangono pressoché costanti e dell'ordine di 200 s per entrambi i casi.



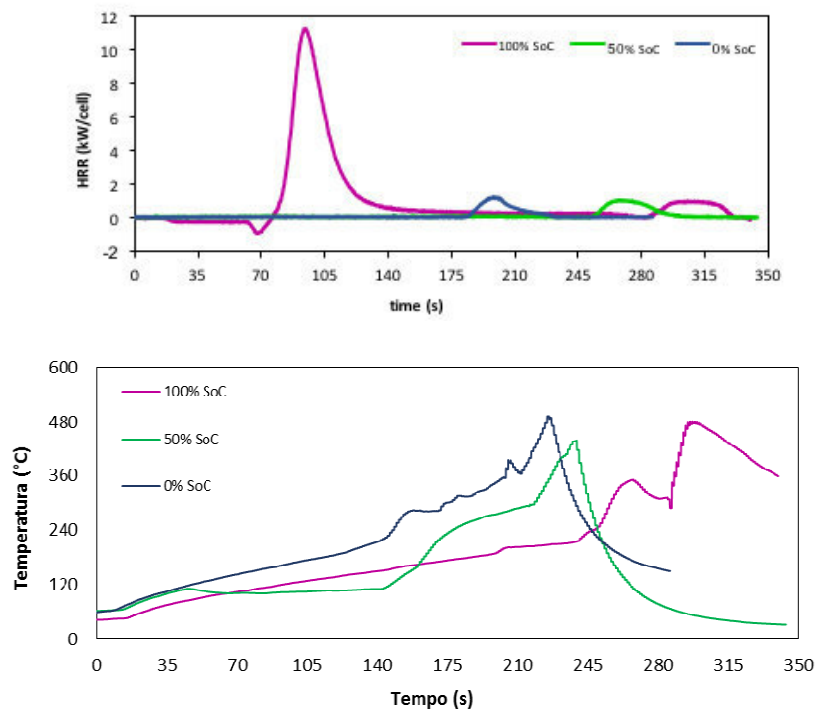
**Fig. 9** – Tempo di sfiato e tempo di esplosione in funzione della potenza irraggiata.

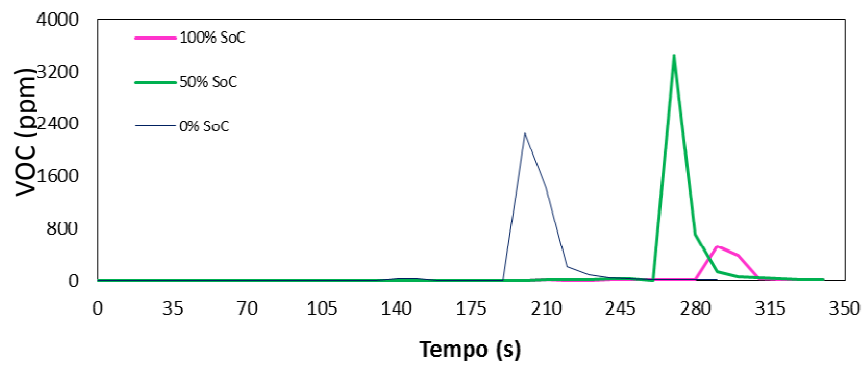
### 2.3 Effetto dello stato di carica (SoC)

I dati di HRR per singole celle esposte a una potenza di 50 kW/m<sup>2</sup> in funzione del SoC sono mostrati in Fig. 10. La dipendenza dell'inizio del rilascio di calore dal SoC è evidente. La cella al 100% di carica mostra un primo picco dell'HRR molto rapido a 80 secondi e un picco secondario quando si verifica la rottura catastrofica della cella (280 s).

Questo primo picco (11 kW) è stato osservato in corrispondenza dello sfiato dei gas e della loro successiva accensione, il secondo quando si verifica la rottura della cella (0,9 kW). Al contrario, i campioni con SoC pari a 50 e 0% hanno un comportamento simile tra loro, con un aumento dell'HRR più lento e un periodo prolungato di evoluzione del calore.

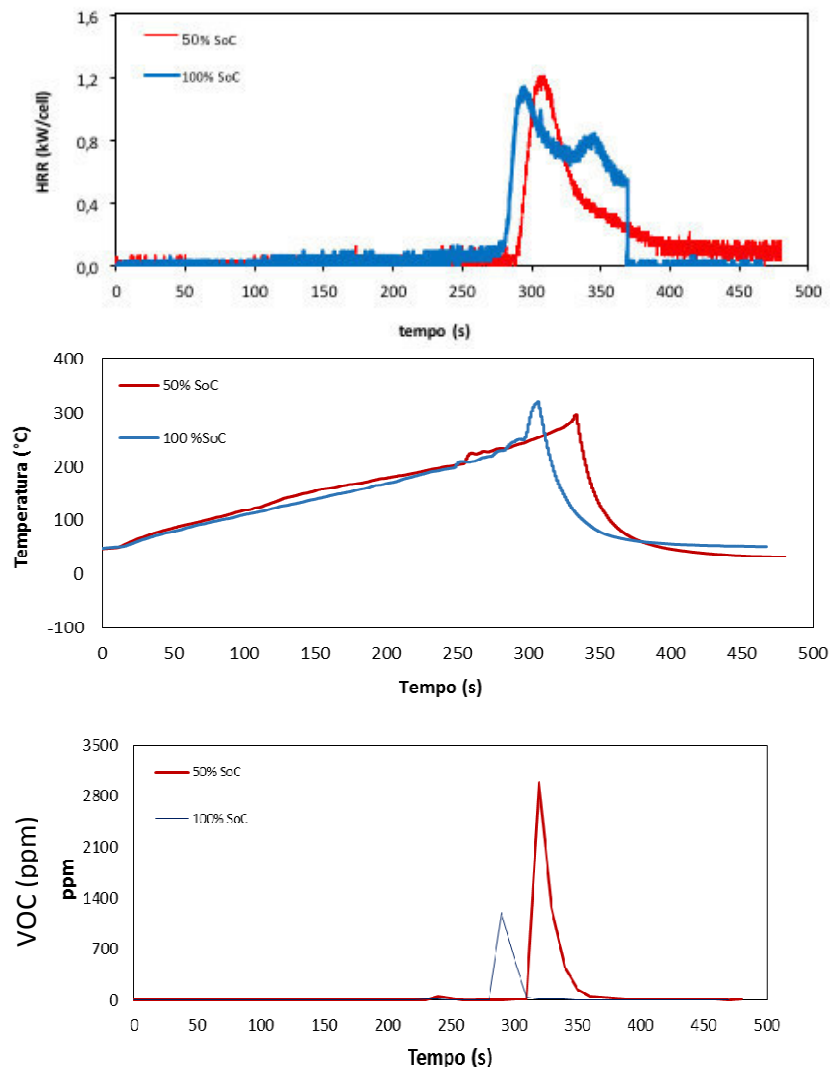
In corrispondenza del valore massimo di HRR dovuto alla rottura catastrofica della cella, si osserva un picco della concentrazione di VOC, che diminuisce all'aumentare dello stato di carica. Il rilascio di VOC è un'indicazione della combustione incompleta dei materiali, che è maggiore al diminuire del contenuto energetico della cella.





**Fig.10** – HRR, temperatura superficiale e concentrazione di VOC vs tempo (SoC = 0, 50, 100%) in test con potenza irradiata di 50 kW/m<sup>2</sup>.

Infine, in Fig. 11 sono riportati i risultati relativi ai test a 35 kW/m<sup>2</sup>. In questo caso si osserva un picco singolo di HRR per la cella con SoC pari al 50% e due picchi per quella con carica completa. Si nota che il primo picco della cella con SoC al 100% si verifica prima del picco della cella con SoC del 50% ed è accompagnato da una minore quantità di VOC rilasciati.



**Fig.11** – HRR, temperatura superficiale e concentrazione di VOC vs tempo (SoC = 50, 100%) in test con potenza irradiata di 35 kW/m<sup>2</sup>.

### 3 Literature review

#### 3.1 HRR di celle singole

##### 3.1.1 Effetto dello stato di carica (SOC)

Fu et al. [9] hanno utilizzato celle Li-ione 18650 della Sanyo composte da un catodo in ossido di cobalto e di litio e l'anodo di grafite. hanno in particolare, investigato l'effetto dello stato di carica della cella sul comportamento alla combustione, sottoponendo 5 celle con diversi stati di carica ad una potenza irradiata di 50 kW/m<sup>2</sup> in un calorimetro a cono e due celle completamente cariche ad una potenza irradiata di 30 e 60 kW/m<sup>2</sup> (Tabella 3).

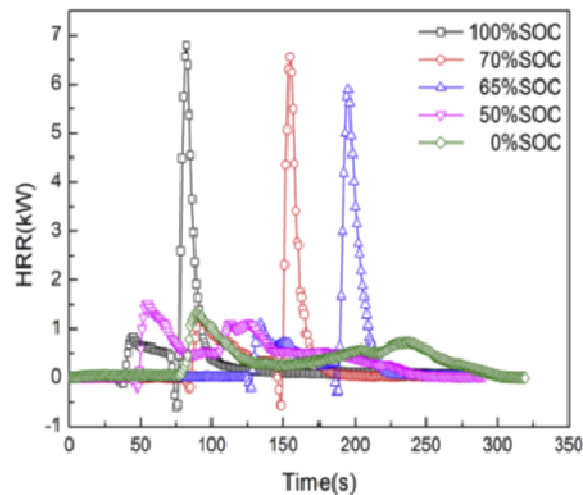
**Tab.3** - Tempo di ignizione ed esplosione delle batterie analizzate da Fu et al. [9]

| Incident heat flux (kW m <sup>-2</sup> ) | SOC (%) | Time to ignition (s) | Time to explosion (s) |
|--|---------|----------------------|-----------------------|
| 50                                       | 100     | 40                   | 81                    |
| 50                                       | 70      | 83                   | 156                   |
| 50                                       | 65      | 131                  | 200                   |
| 50                                       | 50      | 49                   | Not explode           |
| 50                                       | 0       | 72                   | Not explode           |
| 30                                       | 100     | 157                  | 182                   |
| 60                                       | 100     | 17                   | 55                    |

Lo stato di carica di una cella Li-ione è uno dei fattori critici per le reazioni chimiche e dovrebbe essere inferiore al 50% per ridurre al minimo il degrado e l'invecchiamento durante il trasporto. I risultati sperimentali mostrano che il picco HRR e la concentrazione di gas tossici aumentano all'aumentare dello stato di carica, mentre il tempo di accensione e il tempo di esplosione diminuiscono.

La figura 12 mostra i profili HRR di celle con SOC da 0 a 100%, in presenza di una potenza irradiata di 50 kW/m<sup>2</sup>. Si osserva per ciascuna cella la presenza di due picchi di HRR: il primo è da attribuirsi alla combustione dei prodotti gassosi che fuoriescono dal disco di rottura a seguito dell'aumento della pressione interna della cella, il secondo alla combustione dell'intero contenuto della cella a seguito della rottura della cella. Dal confronto tra celle a diverso stato di carica, i profili di HRR di celle con 0 e 50% SOC presentano valori massimi di HRR dell'ordine di 1 kW che crescono al crescere del SOC al di sopra del 50% raggiungendo i 7 kW per SOC del 100%. Inoltre, i risultati mostrano che la cella completamente carica presenta una temperatura superficiale più alta (797 °C), il valore massimo del picco di HRR di 6,8 kW, il tempo più breve all'accensione di 40 s, il minor tempo di esplosione di 81 s e le più alte rese di CO e CO<sub>2</sub>. Da ciò ne consegue, che le celle Li-ione completamente cariche sono più pericolose rispetto a quelle a più basso stato di carica. Si può, quindi, concludere che i rischi di incendio della cella Li-ione aumentano con l'aumentare del SOC.

Dall'integrazione delle curve HRR vs il tempo si ottengono i valori di energia rilasciata dalla singola cella. Si è osservato che la cella completamente carica a cui corrisponde il più alto valore del picco di HRR, rilascia la minima energia. Questo comportamento può essere attribuito a due aspetti: (1) l'improvvisa esplosione limita il consumo di ossigeno, portando a combustione incompleta, (2) l'ossigeno internamente rilasciato è coinvolto nella combustione in un processo di combustione relativamente breve.



**Fig.12** - Profili HRR di celle a diversi stati di carica con potenza irraggiata di  $50 \text{ kW/m}^2$  [9].

Anche Quintiere et al. [13] hanno studiato il comportamento al fuoco di celle esposte a riscaldamento mediante l'utilizzo di un calorimetro a cono ed è stata misurata l'energia rilasciata dalla combustione utilizzando il metodo del consumo di ossigeno.

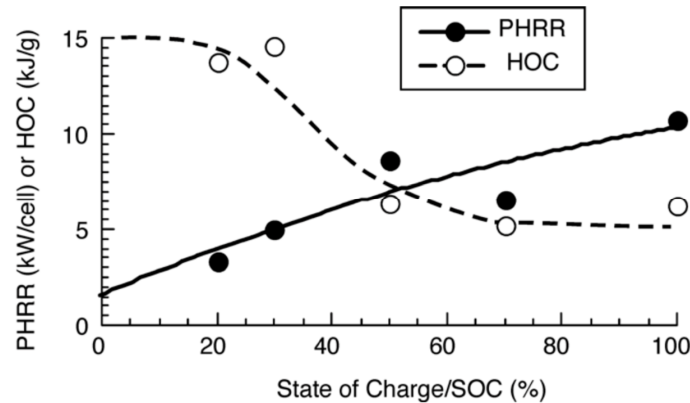
I diversi tipi di celle con diverse composizioni chimiche studiati sono mostrati in Tabella 4.

**Tab. 4** – Composizione chimica delle celle sottoposte a test da Quintiere et al. [13]

| MFG | Cell Chemistry                                  | Rechargeable | Package (D*L*10) | Cell Mass (g) | Nominal Cell Potential, $\epsilon$ (Volts) | Nominal Charge Capacity, C (mAh) | Nominal Free Energy $\Delta G_{nom}$ (kJ/cell) |
|-----|---|--------------|------------------|---------------|--|----------------------------------|--|
| A   | Lithium ion (LiCoO <sub>2</sub> )               | Yes          | 18650            | 44            | 3.7  | 2600                             | 35   |
| B   | Lithium ion (LiCoO <sub>2</sub> )               | Yes          | 18650            | 44            | 3.7  | 2600                             | 35   |
| C1  | Lithium ion                                     | Yes          | Pouch            | 23            | 3.7  | 1050                             | 14   |
| C2  | Lithium ion                                     | Yes          | Pouch            | 23            | 3.7  | 1900                             | 25   |
| D   | Nickel Metal Hydride (NiMH)                     | Yes          | AA               | 26            | 1.2  | 2600                             | 11   |
| E   | Nickel Cadmium (NiCd)                           | Yes          | AA               | 21            | 1.2  | 1000                             | 4  |
| F   | Lithium Iron Disulfide (LiFeS <sub>2</sub> )    | No           | AA               | 15            | 1.5  | 3000                             | 16   |
| G   | Lithium Manganese Dioxide (LiMnO <sub>2</sub> ) | No           | 17350            | 11            | 3.0  | 1500                             | 16   |
| H   | Lithium Manganese Dioxide (LiMnO <sub>2</sub> ) | No           | 16270            | 16            | 3.0  | 750                              | 8  |
| J   | Zinc Manganese Dioxide (ZnMnO <sub>2</sub> )    | No           | 11300            | 24            | 1.6  | 825                              | 5  |

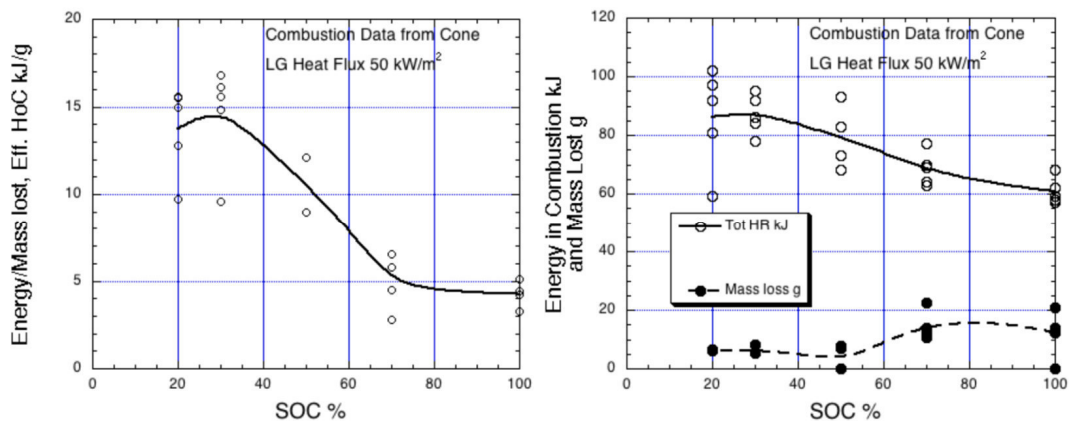
Le misurazioni sono state effettuate variando lo stato di carica (SOC) e la potenza irradiata (10 – 75 kW/m<sup>2</sup>). I parametri misurati durante i test includono il picco dell'HRR (PHRR) e il calore effettivo di combustione (HOC) basato sulla perdita in peso misurata (THR/Δm).

La Figura 13 mostra il PHRR e l'HOC della cella in funzione del SOC quando è esposta a una potenza di 50 kW/m<sup>2</sup>. È possibile notare che il PHRR aumenta monotonamente con lo stato di carica, mentre l'HOC diminuisce da circa 15 a 5 kJ/g nello stesso intervallo. In particolare, il calore effettivo di combustione (HOC) diminuisce linearmente con SOC per le celle Li-ione 18650 a causa della presenza di componenti non volatili incombusti e della combustione incompleta di componenti volatili.



**Fig. 13** - HOC e PHRR vs. SOC per un cella Li-ione 18650 con potenza di 50 kW / m<sup>2</sup> [13].

Una presentazione più completa dell'effetto del SOC sull'energia di combustione e sulla perdita di massa è mostrata in figura 14.



**Fig. 14** – Energia di combustione (THR), perdita di massa (Δm) e HOC effettivo in funzione del SOC per una cella esposta a una potenza di 50 kW / m<sup>2</sup> [13].

### 3.1.2 Effetto della potenza irradiata

L'effetto della potenza irradiata sull'HRR è stato studiato da Fu et al. [9], i cui risultati su celle completamente cariche mostrano che il picco di HRR aumenta da 6,2 a 9,1 kW e la temperatura massima superficiale della cella aumenta da 662 a 934°C, quando la potenza irradiata aumenta da 30 a 60 kW/m<sup>2</sup> (Figura 15).

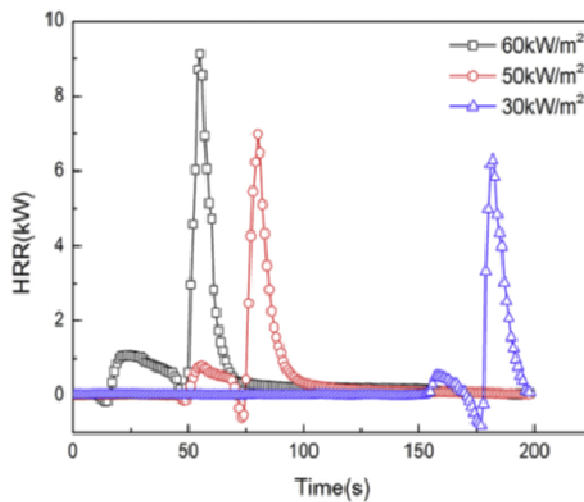


Fig.15 - HRR di celle completamente cariche a diverse potenze irraggiate: 30, 50, 60 kW/m<sup>2</sup> [9].

Per cui esporre le celle a elevati flussi di calore sarebbe molto pericoloso, dal momento che l'accumulo di calore sulla superficie potrebbe causare decomposizioni termiche e reazioni di instabilità termica. Il controllo della temperatura è quindi fondamentale per prevenire il verificarsi tali fenomeni.

Quintiere et al. [13] riportano che l'HOC effettivo della cella aumenta con l'aumentare della potenza irraggiata, come mostrato in figura 16, così come cresce l'energia totale di combustione, mentre la perdita in peso associata rimane pressoché costante.

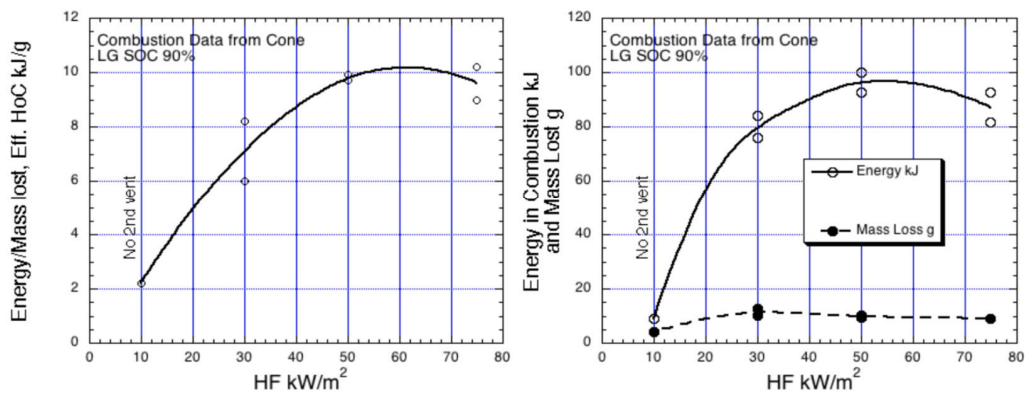
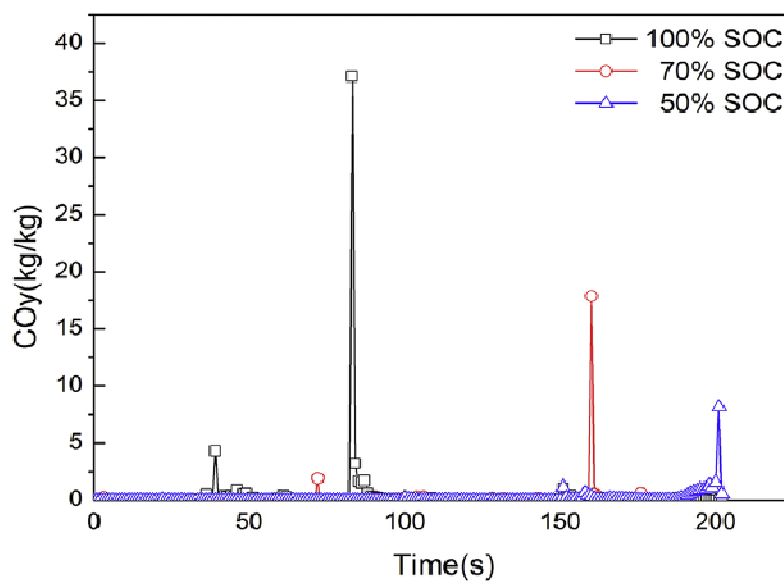


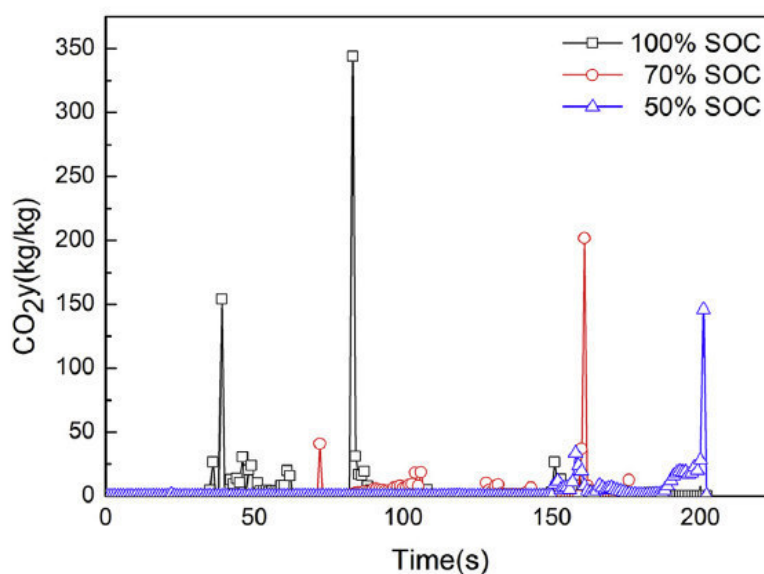
Fig. 16 - Energia di combustione (THR), perdita di massa ( $\Delta m$ ) e HOC effettivo in funzione della potenza irraggiata [13].

### 3.1.3 Gas emessi

Un altro fattore fondamentale da investigare per la sicurezza delle batterie Li-ione sono i gas tossici rilasciati durante la combustione. Nelle Figure 17 e 18 sono mostrati i profili di produzione di CO<sub>2</sub> e CO per celle a diverso SOC e sottoposte a potenze di 50 kW/m<sup>2</sup> [9].

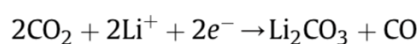
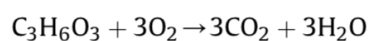


**Fig. 17** - Profili di produzione di CO per celle esposte a una potenza irradiata di 50 kW/m<sup>2</sup> a diversi stati di carica [9].



**Fig. 18** - Profili di produzione di CO<sub>2</sub> per celle esposte a un flusso di calore incidente di 50 kW/m<sup>2</sup> a diversi stati di carica [9].

Dai risultati è stato riscontrato che SOC più alti portano a una maggiore quantità di O<sub>2</sub>. La crescente concentrazione di ossigeno porta di conseguenza a una maggior produzione di CO<sub>2</sub> e CO in base alle seguenti equazioni.



Al momento dell'innesco aumentano sia il CO che la CO<sub>2</sub> emessi dalla cella, infatti si è notato un aumento di CO e CO<sub>2</sub> quando appare la fiamma. La velocità di generazione di CO e CO<sub>2</sub> presenta un aumento



significativo in corrispondenza delle condizioni in cui si innescano le reazioni di thermal runaway nella cella; quindi continua a aumentare fino all'esplosione e poi diminuisce rapidamente.

Anche Quintiere et al. [13] hanno monitorato l'emissione dei gas tossici rilasciati durante la combustione. La figura 19 mostra il rapporto tra la resa di anidride carbonica e quella di monossido di carbonio in funzione del SOC.

La diminuzione monotona del rapporto  $\text{CO}_2/\text{CO}$  (in massa) durante l'espulsione dei componenti suggerisce che i metalli di transizione o alogeni espulsi ad alto SOC possono inibire la combustione, come evidenziato dalla minore ossidazione di CO in  $\text{CO}_2$  nella fiamma.

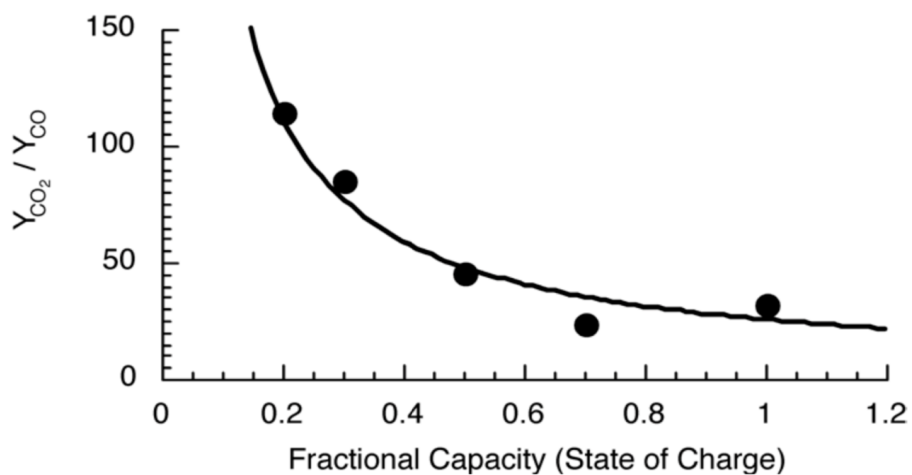
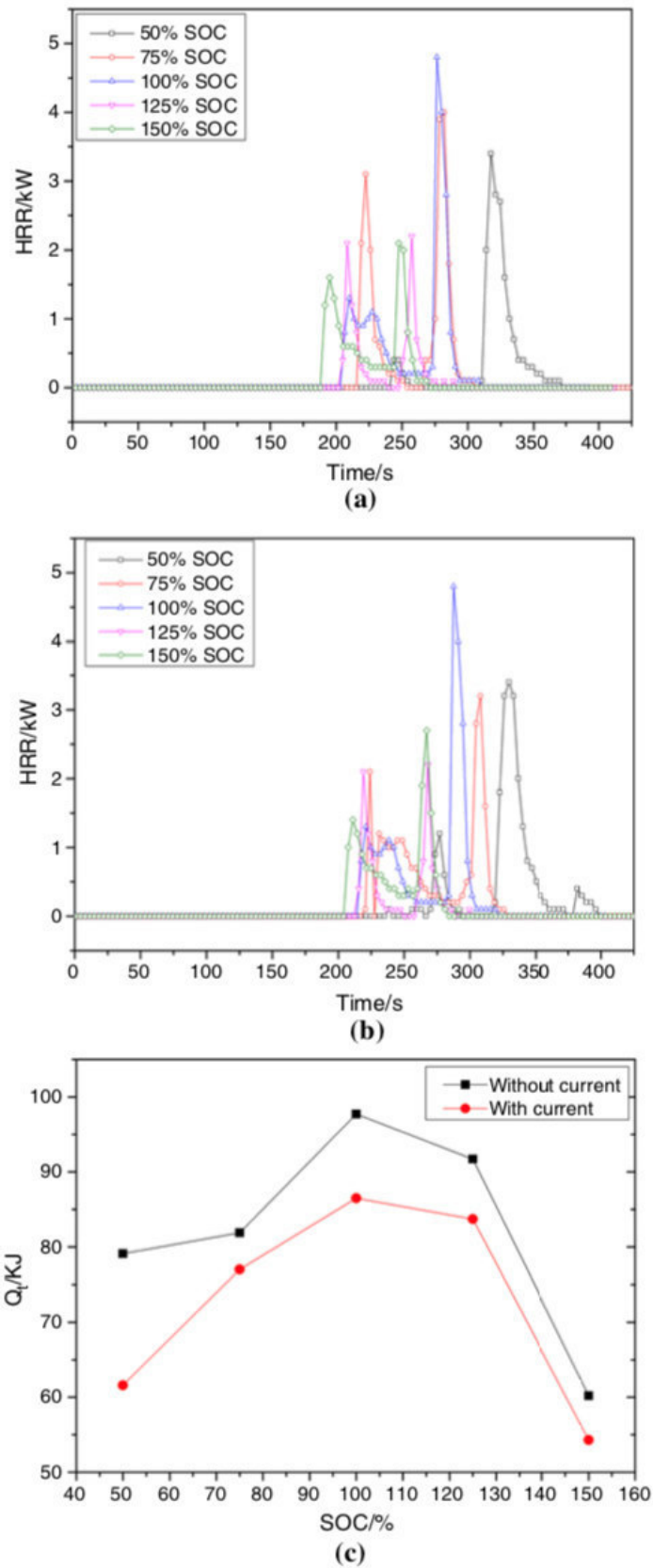


Fig. 19 – Rapporto tra resa di  $\text{CO}_2$  e resa in CO rispetto al SoC per una cella esposta a una potenza di  $50 \text{ kW/m}^2$  [13].

### 3.1.4 Effetto dell' "over discharging"

I risultati dei test condotti da Ouyang et al. [14] mostrano che non solo un elevato SOC ma anche un "over discharging" ha effetti significativi sul comportamento delle celle. In particolare, sono state analizzate celle cilindriche della SONY 18650 - LFP - con capacità nominale pari a 1300 mAh.

Prima dei test, le celle sono state scaricate con una corrente costante (CC) pari a 1300 mA fino allo 0% di SOC, quindi le batterie sono state caricate utilizzando lo stesso valore di corrente costante fino a raggiungere nuovamente gli SOC prefissati.



**Fig. 20** - HRR vs SOC: a) con trattamento con CC; b) senza trattamento con CC e c) calore rilasciato vs SOC [14].  
 Le batterie che hanno subito un “over discharging” presentano una maggiore velocità di riscaldamento che fa raggiungere le condizioni nelle quali si innesca il thermal runaway in tempi più brevi. Allo stesso tempo le

temperature massime raggiunte sono più alte, mentre il calore rilasciato è minore. Quindi, una scarica profonda rende le celle agli ioni di litio più rischiose e più difficili da controllare.

### 3.2 HRR di pacchi di celle

#### 3.2.1 Effetto dello stato di carica

Larsson et al. [15] hanno indagato i problemi di sicurezza relativi all'uso di pacchi batterie agli ioni litio in veicoli elettrici mediante test di abuso su celle dotate di dispositivi di sicurezza. Oltre ad abuso elettrico (sovraccarico, corto circuito), le celle sono state sottoposte a test di abuso termico mediante esposizione alla fiamma diretta di un bruciatore di propano, nell'apparato sperimentale riportato in figura 21 o mediante riscaldamento in un forno.

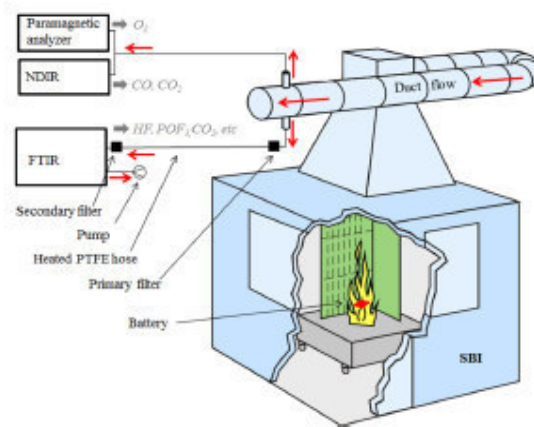


Fig.21 - Apparato sperimentale per i test di abuso termico [15].

Le celle analizzate differiscono per composizione chimica e geometria (celle cilindriche, prismatiche e a bustina) come mostrato in Figura 22 e in Tabella 5 dove accanto alle caratteristiche delle celle riportati i test di abuso a cui sono state sottoposte.

Tab. 5 – Tipi di celle analizzate da Larsson et al. [15]

| Cell                 | Nominal Cell Capacity (Ah) | Nominal Cell Voltage (V) | Cathode/Anode       | Cell Packaging | Test Type Presented in This Paper | Initial SOC (%) |
|----------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------|
| EiG ePLB-F007A       | 7                          | 3.2                      | LFP/carbon          | Pouch          | Propane fire, overcharge          | 0-100           |
| Lifetech X-1P        | 8                          | 3.3                      | LFP/carbon          | Cylindrical    | Propane fire                      | 100             |
| European Battery     | 45                         | 3.2                      | LFP/carbon          | Pouch          | Short circuit, overcharge         | 100             |
| Samsung ICR18650-24F | 2.4                        | 3.6                      | Cobalt based/carbon | Cylindrical    | External heating (oven)           | 100             |
| EVE F7568270         | 10                         | 3.2                      | LFP/carbon          | Pouch          | Overcharge                        | 100             |
| GBS LFMP40Ah         | 40                         | 3.2                      | LFMP/carbon         | Prismatic      | Overcharge                        | 100             |



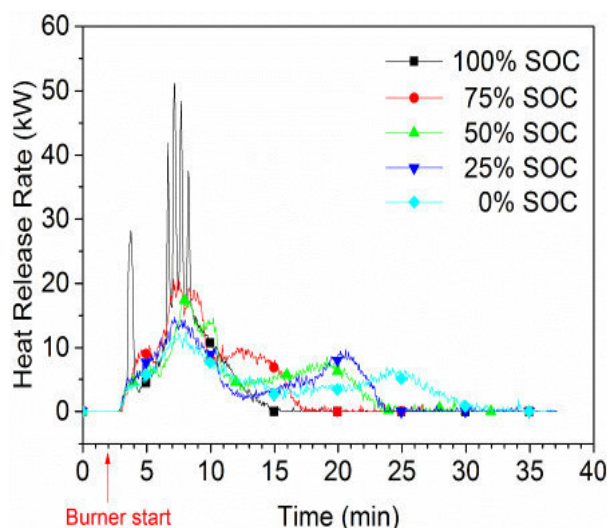
**Fig.22** - Foto delle celle analizzate da Larsson et al. [15].

Le celle non sono state usate prima dei test, ma presentavano un diverso tempo di vita. Le celle EiG e Lifetech avevano circa due o tre anni di vita, le European battery avevano meno di sei mesi mentre le celle Samsung, EVE e GBS avevano circa un anno.

In figura 23 sono riportati gli andamenti di HRR in funzione del tempo misurati nell'apparato sperimentale con bruciatore di propano su blocchi di celle (composti da 5 celle EiG ognuno) a vari stati di carica.

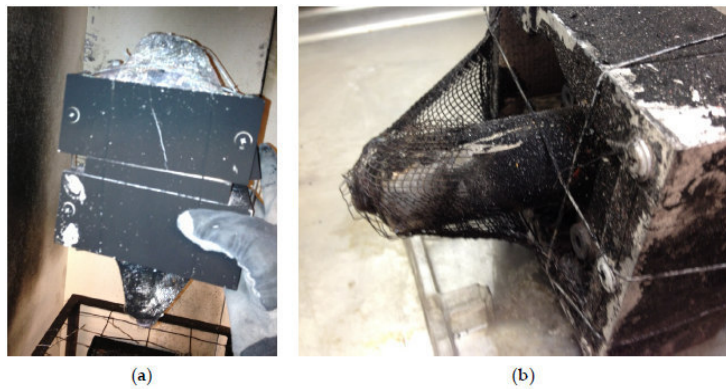
L'HRR risulta direttamente proporzionale al SOC: per SOC del 100%, sono stati osservati rapidi rilasci di calore ed esplosioni, uno per cella, mentre per stati di carica inferiori tali esplosioni non sono state riscontrate. Il rilascio totale di calore (THR) invece non ha una forte dipendenza dal SOC. Il valore THR è approssimativamente pari a 8 MJ per un blocco di cinque celle, corrispondente a un calore di combustione di 6,5 MJ/kg, per una massa totale delle celle di circa 1300 g.

Tenendo conto che il contenuto energetico nominale di cinque celle è di 112 Wh e che i veicoli elettrici in genere hanno 10-30 kWh di batterie, l'estrapolazione dei valori dell'energia rilasciata ad una batteria di questa dimensione dà un THR di 700-2100 MJ, che corrisponde a un incendio di circa 20-50 L di benzina.



**Fig.23** - HRR ottenuto da prove su 5 celle EiG usando un bruciatore di propano [15]

In uno dei test condotto sulle celle cilindriche Lifetech si sono avute evidenze che le celle possono anche causare la formazione di "proiettili". Anche se le celle analizzate erano dotate di una valvola di sicurezza, questo non ha impedito l'esplosione di una delle cinque celle cilindriche Lifetech come mostrato nella Figura 24.



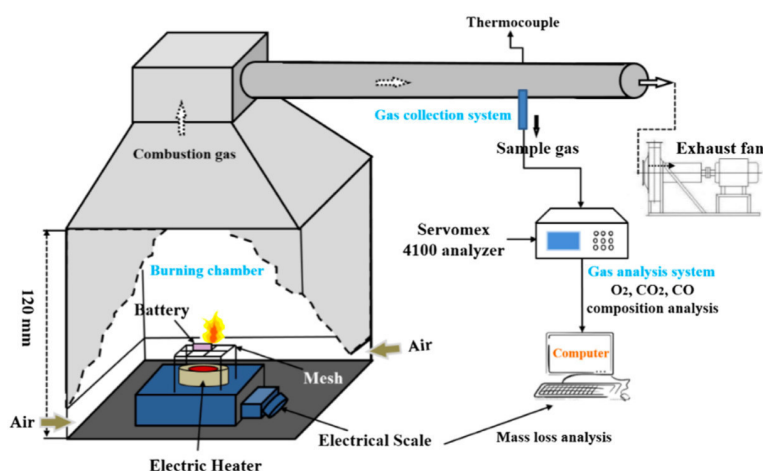
**Fig.24** - Cella Lifetech esplosa nella scatola di protezione dopo la prova di incendio con bruciatore di propano con SOC=100%: a) visto dal lato della scatola; e (b) primo piano del fondo della scatola [15].

Il materiale dall'interno della cella è stato espulso mentre la cella ha effettuato un movimento all'indietro accompagnato da uno scoppio e un'onda di pressione, che ha formato un cratere nel letto di pietre del bruciatore di propano. Non è stato rilevato nessun difetto visivo delle cinque celle Lifetech prima del test. La cella è stata poi aperta, ma non è stata trovata alcuna indicazione che giustifichi l'esplosione. Si è osservato che:

- Il foglio di alluminio del collettore positivo si è sciolto completamente.
- Il foglio di rame era ancora presente.
- Il separatore non esisteva più a causa delle alte temperature dell'incendio.
- La perdita di peso della cella è stata del 27%.

Chen et al. [16] hanno condotto uno studio sperimentale per valutare i rischi di incendio delle batterie agli ioni di litio a diverse pressioni atmosferiche in due città a diverse altezze sul livello del mare Hefei (100,8 kPa, 24 m) e Lhasa (64,3 kPa, 3650 m).

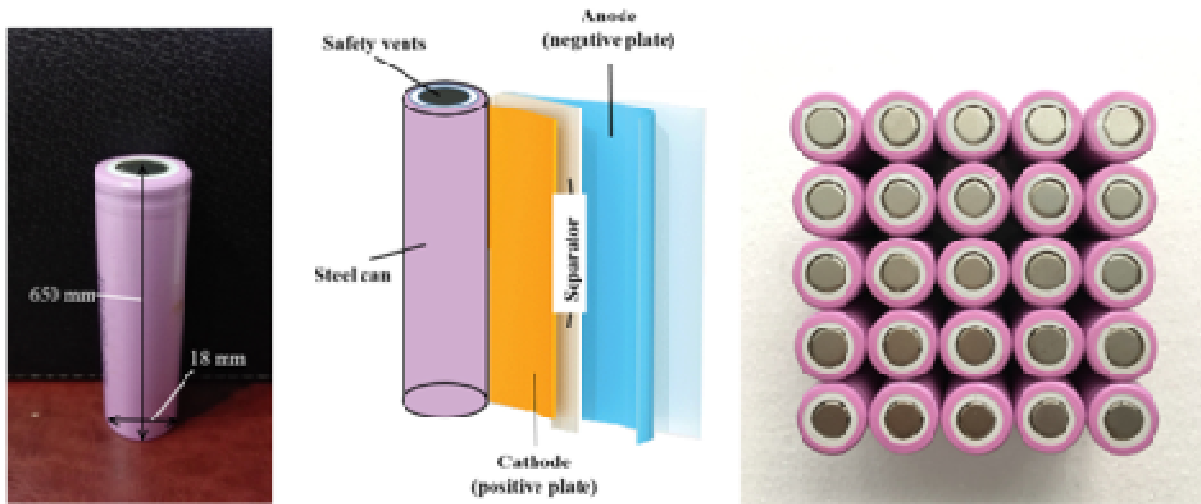
I test sono stati condotti in un calorimetro in-situ che consiste in una camera di combustione, un sistema di raccolta del gas, un sistema di analisi dei gas (Figura 25).



**Fig.25** - Diagramma schematico del calorimetro in-situ [16]

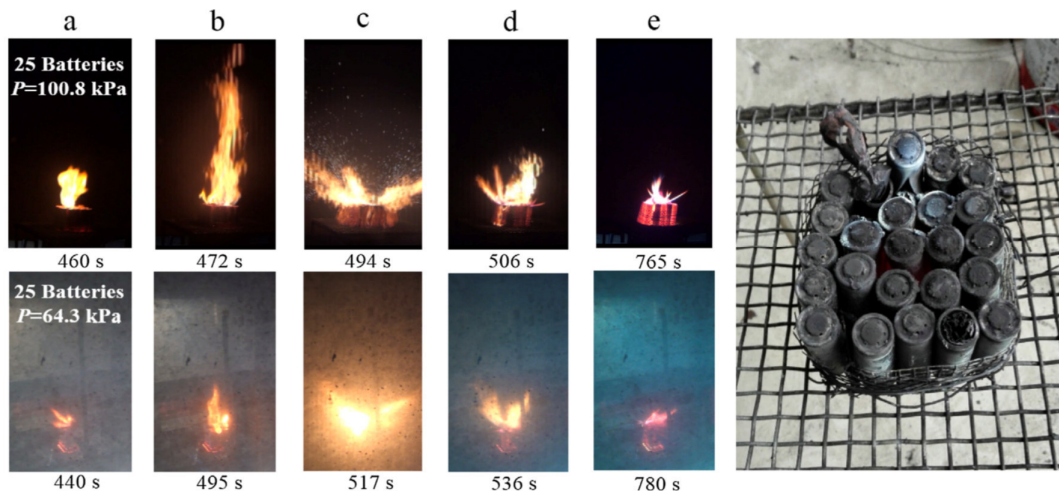
Sono stati progettati due gruppi di esperimenti per studiare gli scenari di incendio ed esaminare gli effetti del SOC, della pressione ambientale e del numero di celle sul comportamento al fuoco delle batterie agli ioni di litio:

Le celle utilizzate nei test sono celle 18650 fornite da Samsung aventi elettrodi composti da  $\text{LiCoO}_2$  e grafite, con capacità nominale pari a 2,6 A. I test sono stati condotti su celle singole e pacchi di celle di 4, 9, 16 e 25 a diversi SoC (0, 50% e 100%) e alle due diverse pressioni atmosferiche (Figura 26).



**Fig.26** - Diagramma schematico della cella 18650  $\text{LiCoO}_2$  e configurazione di un pacco di 25 celle [16].

I pacchi di celle agli ioni di litio presentano un comportamento alla combustione simile alla singola cella a entrambe le pressioni. Il crescente numero di celle ha ovviamente portato a un incendio di dimensioni significativamente maggiori. Le celle si sono innescate in modo asincrono e, per la maggior parte dei test, quelle centrali sono quelle innescate per prime, il che ha poi innescato o accelerato l'accensione delle celle circostanti a causa del trasferimento di calore tra celle adiacenti (Figura 27).



**Fig.27** - Processo di combustione di 25 celle aventi un SOC pari al 100% e a due pressioni atmosferiche [16]

Dai risultati, il tempo di accensione della singola cella diminuisce con l'aumento dello stato di carica (SOC), mentre la perdita di massa e l'energia rilasciata aumentano con l'aumentare del SoC. L'aumento di altitudine fa sì che la batteria si accenda più velocemente, mentre la perdita di massa, la velocità di rilascio di calore e il rilascio totale di calore sia per le celle singole che per il pacco di celle diminuiscono a bassa pressione (Figura 28).

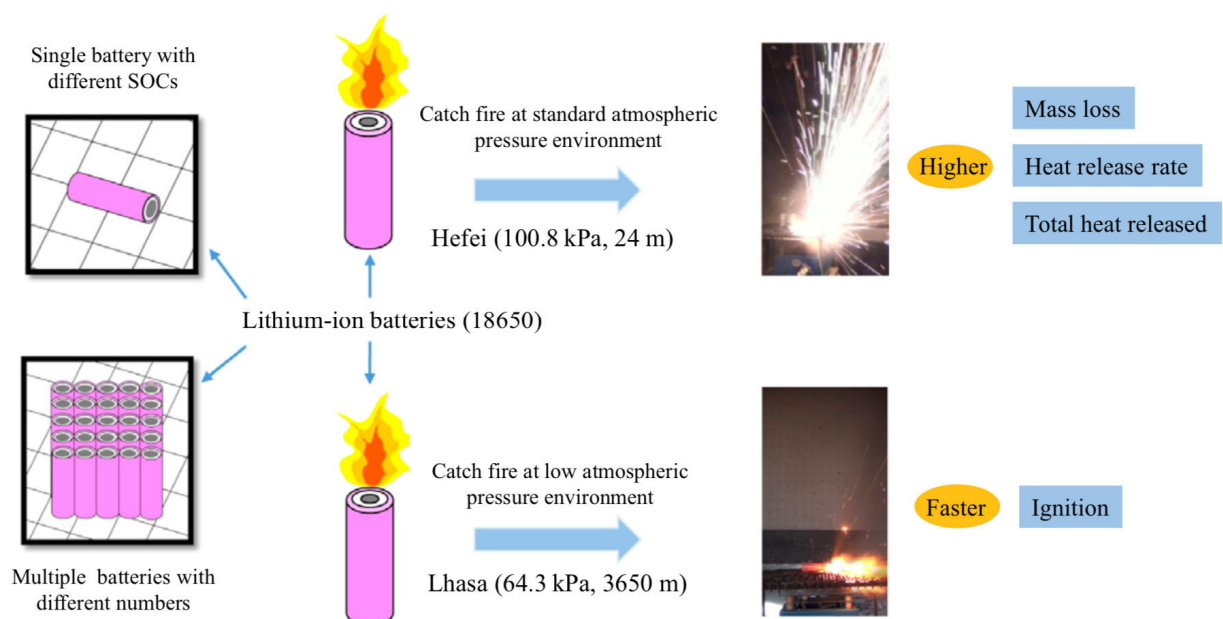


Fig.28 – Confronto tra test su celle singole e pacco di celle a diverse pressioni atmosferiche [16].

Nel caso del pacco di celle, il calore rilasciato all'interno del pacco non viene disperso nell'ambiente circostante, ma resta intrappolato all'interno del pacco, accelerando e promuovendo le reazioni di thermal runaway. Di conseguenza, la composizione dei materiali emessi potrebbe contenere più gas combustibili, il che potrebbe giustificare il valore più alto del calore sviluppato misurato dal calorimetro. Infatti, la quantità totale di calore rilasciato dal pacco di celle aumenta con il numero di celle presenti in maniera esponenziale (Figura 29), mentre la velocità di combustione varia linearmente con il numero di celle (Figura 30).

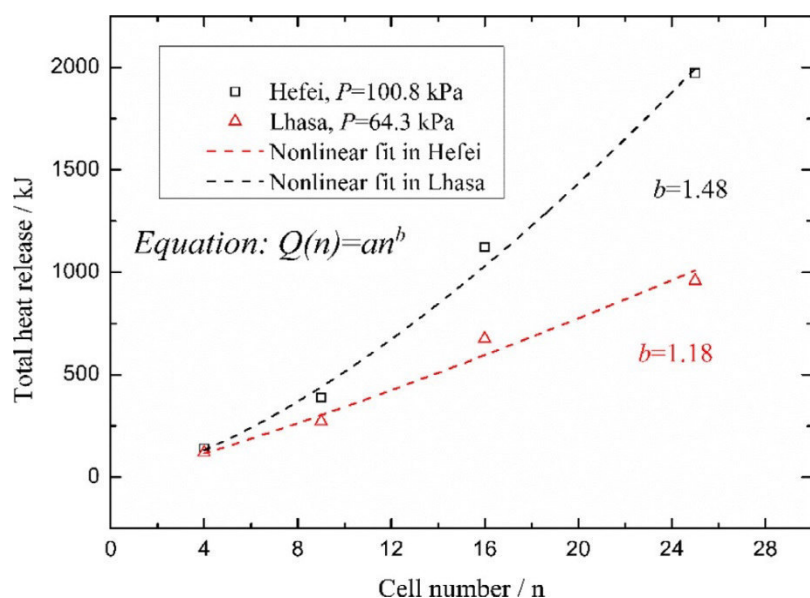
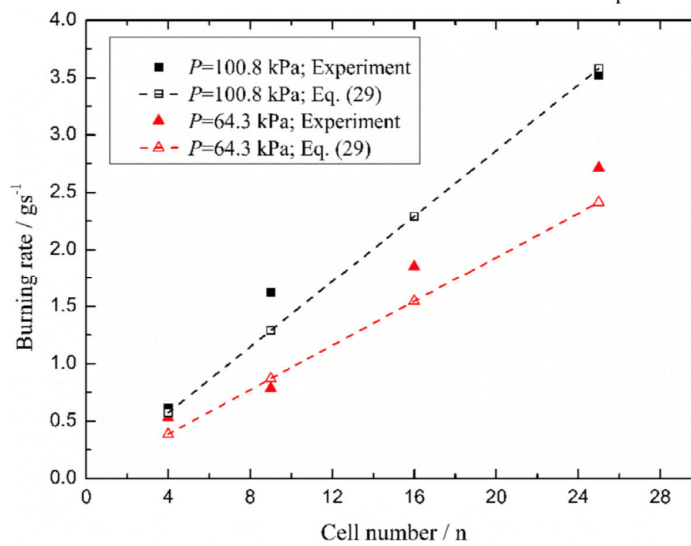


Fig.29 - Calore rilasciato vs il numero di celle [16].



**Fig.30** - Velocità media di combustione vs il numero di celle [16].

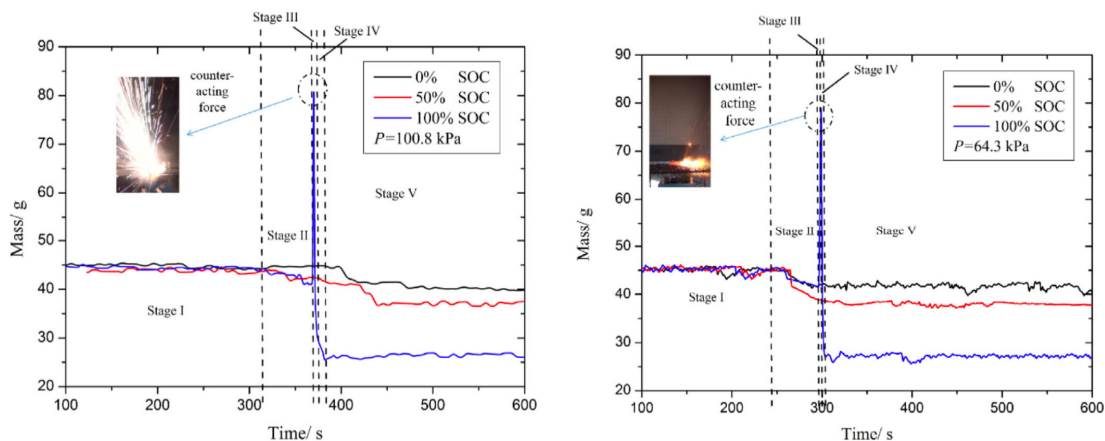
### 3.3 Perdita di Peso

#### 3.3.1 Celle singole

Chen et al. [16] hanno monitorato la perdita in peso sia durante i test con celle singole sia durante i test su pacchi di celle. In figura 31 è riportata la perdita in peso di cella singole a diverso SOC.

Durante i primi minuti non si registra quasi nessuna perdita di peso per ogni stato di carica analizzato. In effetti, durante le reazioni di thermal runaway, le caratteristiche dei materiali cambiano, ma la massa complessiva non presenta cambiamenti evidenti. Quindi si può ritenere che la perdita in peso sia totalmente concentrata nel momento dell'esplosione. Il peso della cella diminuisce lentamente e costantemente quando la fiamma si innesca. Dopo un breve processo di combustione costante, i materiali vengono espulsi violentemente dalla batteria nel caso di SOC al 100%. In questo momento è stato registrato un forte aumento del peso della cella a causa del contraccolpo dovuto all'onda d'urto dell'esplosione.

La perdita di peso durante questa fase rappresenta la maggior parte della perdita totale di peso a. Quando l'esplosione della batteria è avvenuta, la curva della perdita di peso diventa pressochè costante con una leggera diminuzione.

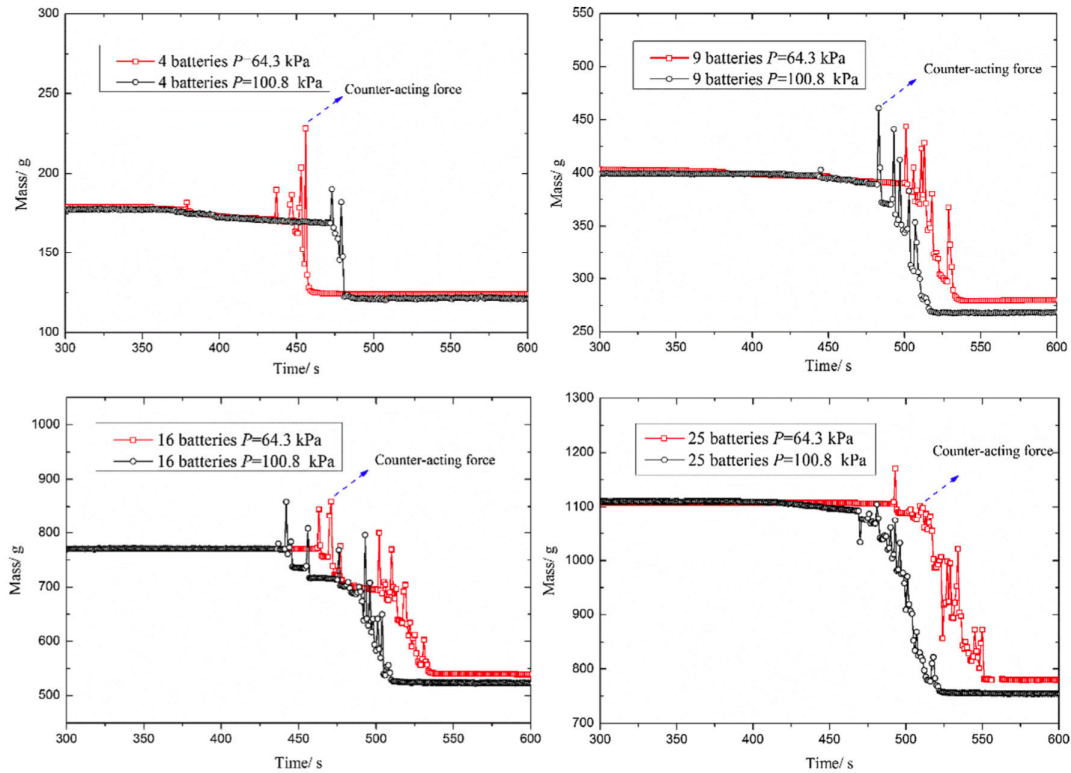


**Fig.31** - Perdita di peso di celle singole a diversi SOC registrata a due pressioni atmosferiche [16].



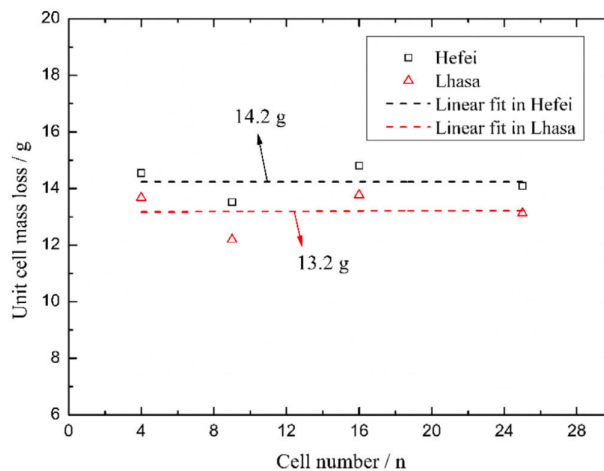
### 3.3.2 Pacchi di celle

La figura 32 mostra le curve di perdita di peso di pacchi di 4, 9, 16 e 25 celle al 100% SOC. I molteplici picchi presenti rappresentano la rottura sequenziale delle singole celle presenti nel pacco. La perdita di peso è quasi costante prima di registrare l'esplosione della prima cella.



**Fig.32** - Curve della perdita di peso di pacchi di 4, 9, 16 e 25 celle al 100% SOC [16]

La Fig. 33 riporta la perdita di peso per singola cella in funzione del numero di celle, mostrano che la perdita di peso per singola cella è praticamente indipendente dal numero di celle. L'unica differenza è che le celle testate ad alta pressione hanno una maggiore perdita in peso delle celle a bassa pressione. Ciò significa che la quantità in massa persa da più celle ad alta pressione è superiore a quella consumata a bassa pressione, il che è coerente con i risultati degli esperimenti condotti su singole celle.



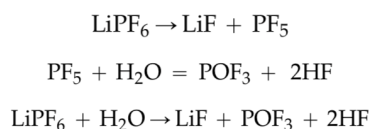
**Fig.33** - Perdita di peso per singole celle di pacchi di celle a due pressioni atmosferiche [16].

### 3.4 Emissioni di HF e POF<sub>3</sub>

#### 3.4.1 Celle singole e pacchi di celle

Durante gli incendi che coinvolgono le celle agli ioni di litio è molto importante monitorare le emissioni di gas tossici. Tra i vari prodotti, le emissioni di composti del fluoro sono le più preoccupanti. L'acido fluoridrico (HF) è uno di questi, ma ce ne sono anche altri come ad esempio l'ossifluoruro di fosforo (POF<sub>3</sub>). Questi composti sono formati dal fluoro contenuto all'interno dei componenti della cella agli ioni di litio, come ad esempio il legante (PVDF) o il sale di litio maggiormente utilizzato nell'elettrolita (LiPF<sub>6</sub>).

Le possibili reazioni che avvengono sono di decomposizione del sale, favorite dalla presenza di acqua umidità, come di seguito riportato [17]:



L'HF ha una tossicità relativamente ben nota [18], mentre quella del POF<sub>3</sub> è sconosciuta, tuttavia, potrebbe essere più tossico dell'HF come nel caso dell'analogo del cloro POCl<sub>3</sub> / HCl [19].

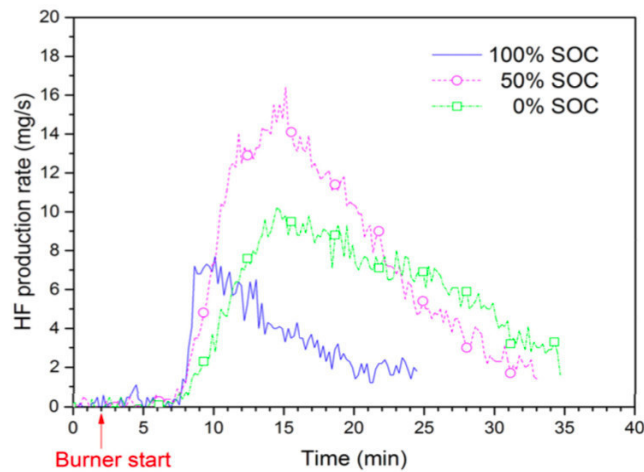
L'acido fluoridrico è estremamente tossico sia per inalazione della forma gassosa (IDLH = 30 ppm) che per contatto con la soluzione acquosa; l'affinità dello ione fluoruro con gli ioni calcio e magnesio danneggia il tessuto osseo e le vie nervose. L'ingestione è spesso mortale.

Larsson et al. [15] hanno monitorato le emissioni dei suddetti composti durante il riscaldamento di celle Li-ione EIG; il POF<sub>3</sub> non è stato osservato nei test effettuati, ciò non significa che non venga prodotto, ma probabilmente la concentrazione potrebbe essere inferiore al limite rilevabile (6 ppm).

La Figura 34 mostra la velocità di produzione di HF per celle EIG con diversi SOC durante le prove condotte al calorimetro a cono. La velocità di produzione più elevata corrisponde al 50% di SOC, mentre per celle con 100% di SOC si registra valore più basso. La quantità totale di HF sia da FTIR che dal filtro di campionamento è riportata in Tabella 6, dove i valori sono compresi tra 5,6 g e 14 g di HF per un pacco composto da cinque celle. In tabella è inoltre riportato il confronto con i risultati ottenuti da Ribière et al. [20], che mostrano che la produzione più alta di HF si ha per le celle completamente cariche in contrasto con i risultati trovati da Larsson et al. [15].

**Tab.6** – Emissioni di HF per celle a diverso SoC da Larsson et al. [15].

| SOC (%) | Max Rate of HF Production (mg/s) | Total Amounts of HF (g) | Total Amount of HF (mg/Wh) |                                    |
|---------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------------|
|         |                                  |                         | Our Measurements           | Calculated from Ribière et al. [5] |
| 100     | 8.3                              | 5.6                     | 50                         | 37                                 |
| 50      | 16                               | 14                      | 120                        | 39                                 |
| 0       | 10                               | 11                      | 100                        | 69                                 |

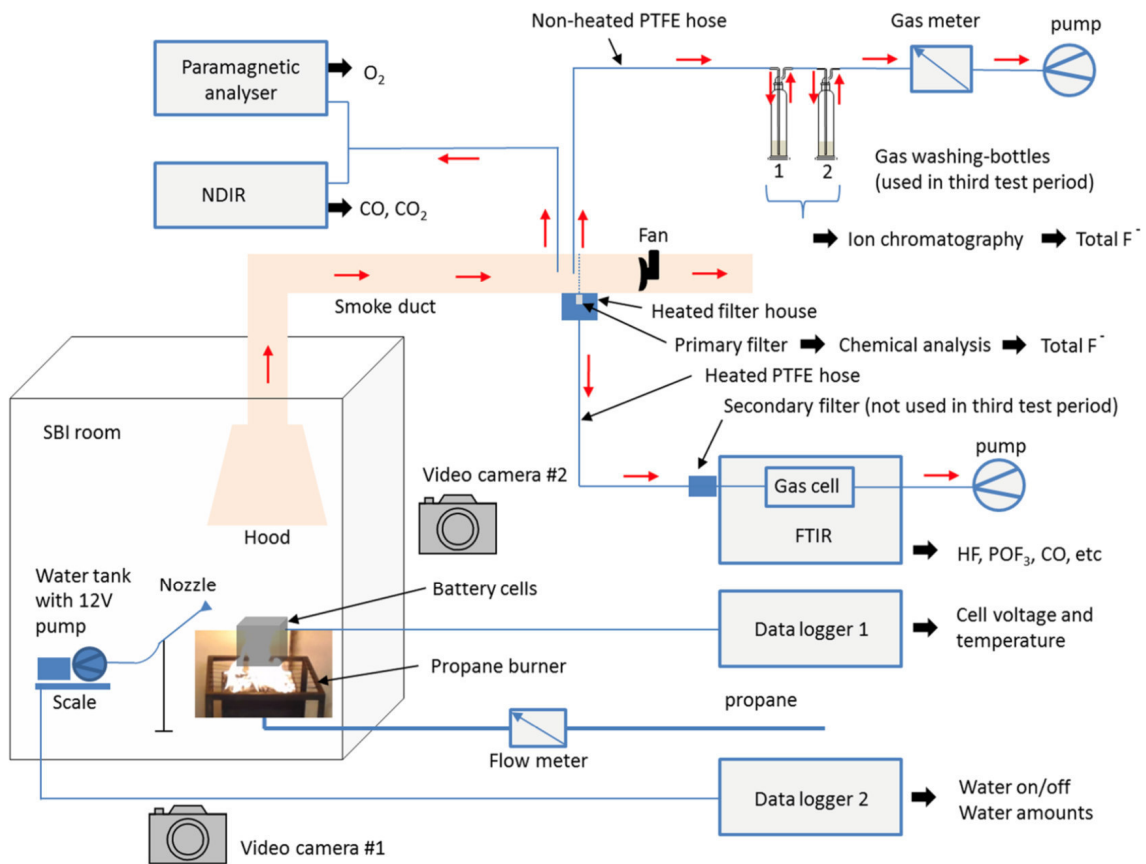


**Fig.34** – Velocità di produzione di acido fluoridrico (HF) per un pacco di 5 celle EIG al 100%, 50% e 0% SoC [15].

Successivamente Larsson et al. [21] hanno studiato le emissioni di HF e del  $\text{POF}_3$  in maniera più approfondita. Gli esperimenti sono stati eseguiti utilizzando un bruciatore di propano (figura 35). Sono stati analizzati sette diversi tipi di celle, tipo A-G, di sette produttori e con capacità, tipo di imballaggio, design e chimica delle celle diversi, come specificato nella Tabella 7.

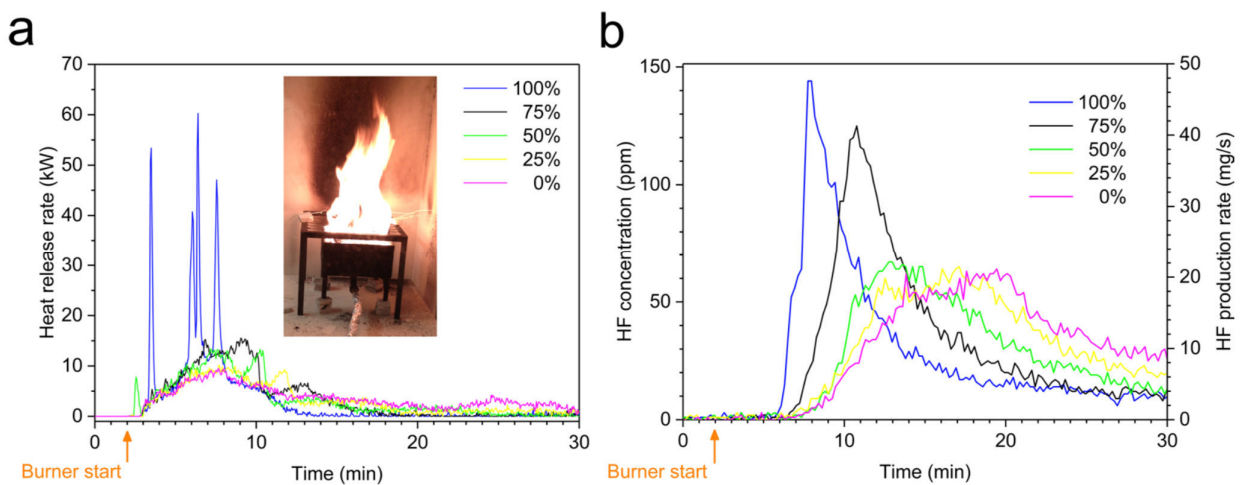
**Tab.7** – Dettagli delle celle testate da Larsson et al. [21]

| Battery | Numbers of batteries per test | Type  | Nominal capacity per battery (Ah) | Nominal voltage per battery (V) | Cell packaging        |
|---------|-------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| A       | 5-10                          | LCO ( $\text{LiCoO}_2$ )                            | 6.8                               | 3.75                            | Prismatic hard Al-can |
| B       | 2                             | LFP ( $\text{LiFePO}_4$ )                           | 20                                | 3.2                             | Pouch                 |
| C       | 5                             | LFP ( $\text{LiFePO}_4$ )                           | 7                                 | 3.2                             | Pouch                 |
| D       | 9                             | LFP ( $\text{LiFePO}_4$ )                           | 3.2                               | 3.2                             | Cylindrical           |
| E       | 5                             | LFP ( $\text{LiFePO}_4$ )                           | 8                                 | 3.3                             | Cylindrical           |
| F       | 2                             | NCA-LATP ( $\text{LiNiCoAlO}_2\text{-LiAlTiPO}_4$ ) | 30                                | 2.3                             | Pouch                 |
| G       | 2                             | Laptop pack*  | 5.6                               | 11.1                            | Cylindrical           |



**Fig.35** - Illustrazione schematica della configurazione sperimentale di [21]

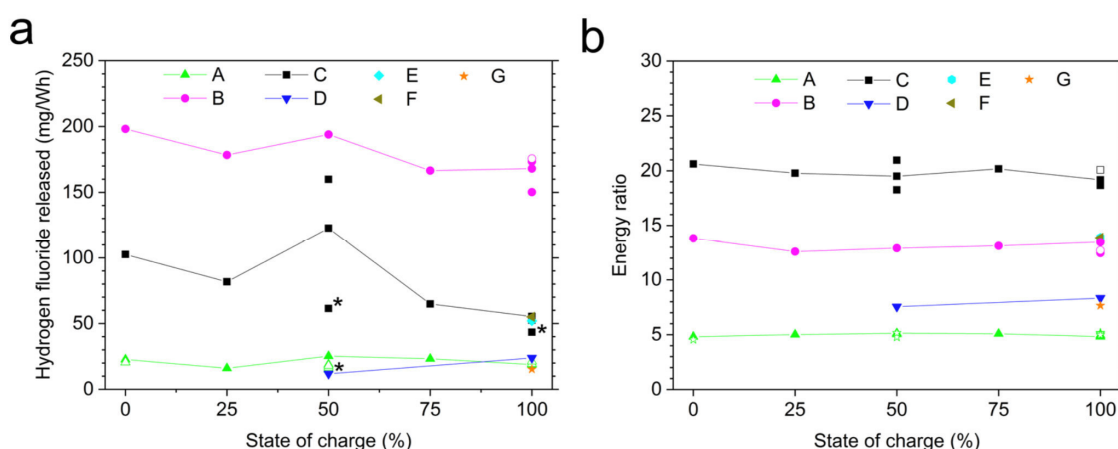
Le misurazioni delle emissioni di gas durante le prove di incendio mostrano che la produzione di HF è correlata all'aumento di HRR anche se a tempi leggermente più lunghi. Dalla Fig. 36 b è evidente che a valori di SOC più alto corrispondono i valori più alti di rilascio di HF.



**Fig.36** – HRR (a) e concentrazione di HF (b) per celle di tipo B (LFP), SOC 0-100 [21].

La quantità totale di HF varia considerevolmente per i diversi tipi di celle (Fig. 37 a). La quantità di HF prodotta, espressa in mg/Wh, dove Wh è la capacità energetica nominale della batteria, è circa 10 volte più alta per la cella con i valori più alti rispetto alle celle con i valori più bassi. La semplice spiegazione di questa variazione può essere la diversa quantità relativa di elettrolita e di materiali di riempimento nelle celle, ma informazioni su tali quantità per batterie commerciali sono difficilmente reperibili. L'andamento in Fig. 37 a mostra valori di HF più alti per lo 0% di SOC rispetto al 100%, con picchi in corrispondenza del 50% di SOC. Sebbene questi risultati siano riproducibili, non trovano una facile spiegazione.

La figura 37 b mostra il rapporto di energia, ovvero la quantità di energia prodotta dalla cella durante la combustione rispetto alla capacità nominale di energia elettrica che una batteria completamente carica può fornire a un circuito esterno. Il rapporto energetico è quindi un confronto tra la chimica e l'energia elettrica della cella. Il rapporto energetico varia considerevolmente per i diversi tipi di celle esaminate, ma è approssimativamente costante per ogni cella, indipendentemente dal livello di carica.

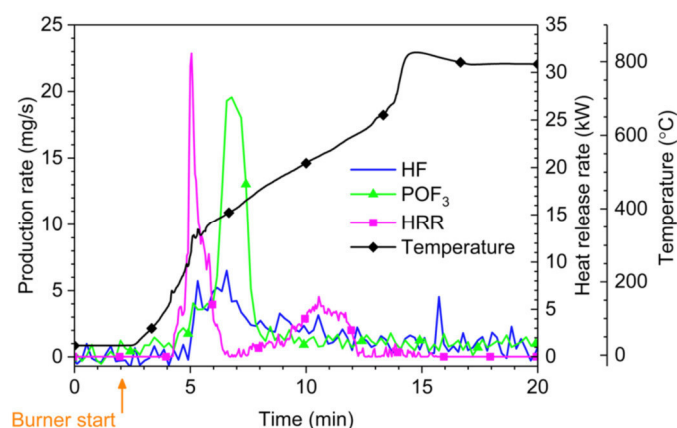


**Fig.37** – Quantità totale di HF misurata mediante FTIR, normalizzata alla capacità nominale di energia elettrica (a) e rapporto di energia (b), per sette tipi di celle agli ioni di litio con vari livelli di carica [21].

Sono state riscontrate alcune somiglianze fra la Fig. 37 a e la 37 b per le celle tipo B e C (entrambe LFP). Queste danno i valori più alti in entrambi i casi sia di HF rilasciato che di rapporto di energia, ma in ordine inverso. Ciò potrebbe indicare un contenuto maggiore di materiali combustibili in queste celle rispetto alle altre, come ad esempio l'elettrolita. È anche interessante vedere che il rapporto energetico varia significativamente tra le celle testate, che varia tra 5 e 21.

Per quanto riguarda la misura del  $\text{POF}_3$ , le misurazioni hanno confermato la sua presenza solo per celle di tipo A (LCO) e solo per lo 0% di SOC.  $\text{POF}_3$  non è stato rilevato in nessuno degli altri test. Essendo un composto intermedio, le condizioni di combustione in ogni test influenzano le quantità di  $\text{POF}_3$  generate; questo dimostra l'importanza di effettuare i test in diverse condizioni operative per il monitoraggio dei gas emessi.

In Fig. 38 l'HRR, la temperatura superficiale media delle cinque celle e le velocità di produzione di HF e  $\text{POF}_3$  sono mostrate per le celle di tipo A allo 0% di SOC. La curva  $\text{POF}_3$  è meno rumorosa della curva HF a causa dei diversi rapporti segnale / rumore della strumentazione FTIR sui diversi numeri d'onda. Nell'andamento dell'HRR si nota un picco secondario circa 5 minuti dopo l'evento principale, questo picco non corrisponde a nessun picco né di HF né di  $\text{POF}_3$ , per cui è probabilmente correlato alla combustione di composti non fluorurati. La curva della temperatura mostra un rapido aumento a circa  $660^\circ\text{C}$ . A queste temperature l'allumina fonde formando una pozzanghera sul letto del bruciatore al di sotto delle celle. Le condizioni termiche all'interno e attorno alle termocoppie e ai resti delle batterie sono evidentemente cambiate notevolmente a circa 15 minuti di prova causando l'aumento apparente della temperatura.



**Fig.38** – HRR, Temperatura, velocità di produzione di HF e POF<sub>3</sub> in un test con 5 celle di tipo A allo 0% SOC [21].

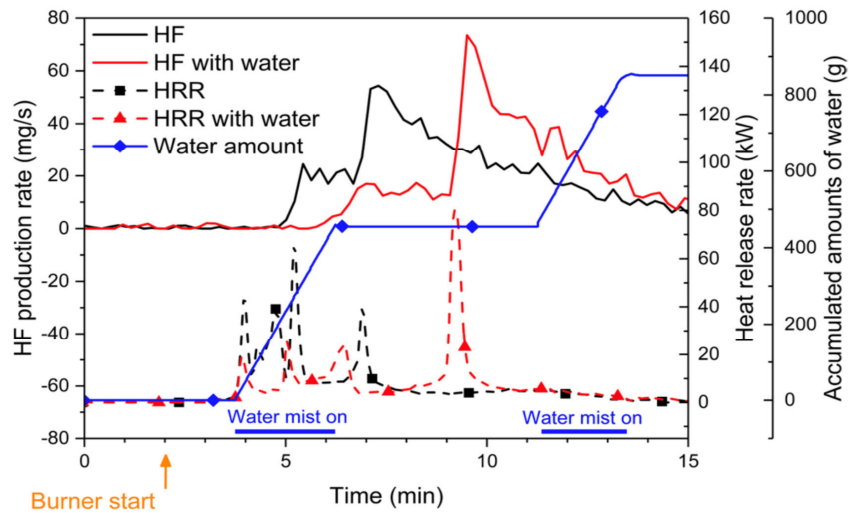
La quantità totale di POF<sub>3</sub> misurata mediante FTIR per celle di tipo A allo 0% di SOC è di 2,8 g (per 5 celle) e di 3,9 g (per 10 celle). Quindi, la produzione normalizzata totale di POF<sub>3</sub> è di 15-22 mg/Wh di capacità energetica nominale della batteria.

### 3.4.2 Effetto dell'umidità

Al fine di studiare gli effetti dell'acqua sulle emissioni di gas, Larsson et al. [21] hanno eseguito anche prove dove è stata nebulizzata acqua durante il procedere dell'incendio di celle Li-ione. La ragione di questo esperimento è che l'acqua è l'agente estinguente preferito per spegnere un incendio che coinvolge batterie agli ioni di litio e un potenziale problema riguardante il suo utilizzo è che la sua aggiunta può, in linea di principio, aumentare la velocità di formazione di HF.

La figura 39 mostra i risultati per le celle di tipo B (LFP) con e senza esposizione all'acqua nebulizzata. Si può notare che sia la produzione di HRR che quella di HF sono ritardate in presenza di acqua nebulizzata. Inoltre, il picco della velocità di produzione di HF è aumentato del 35%, tuttavia non è stato possibile osservare alcun cambiamento significativo nella quantità totale di HF rilasciato.

L'acqua è stata applicata in due diversi momenti, come indicato in figura, aggiungendo un totale di 851 g di acqua. Tuttavia, si deve sottolineare che diverse altre grandi fonti di acqua erano presenti durante l'esperimento, come ad esempio quella prodotta durante la combustione del propano e l'umidità nell'aria. La presenza dell'acqua raffredda il fuoco e la superficie superiore della cella è stata ricoperta con acqua liquida per un certo periodo di tempo durante il test; questo è il motivo per cui l'incendio della cella è ritardato. Le goccioline d'acqua presenti potrebbero anche "pulire" l'aria raccogliendo particelle di fumi e l'HF, riducendo quindi la quantità di HF nel condotto fumario e aumentando quindi la quantità non misurata di acido fluoridrico sulle superfici nell'area del test (ad esempio pareti, pavimento, pareti dei condotti fumario).



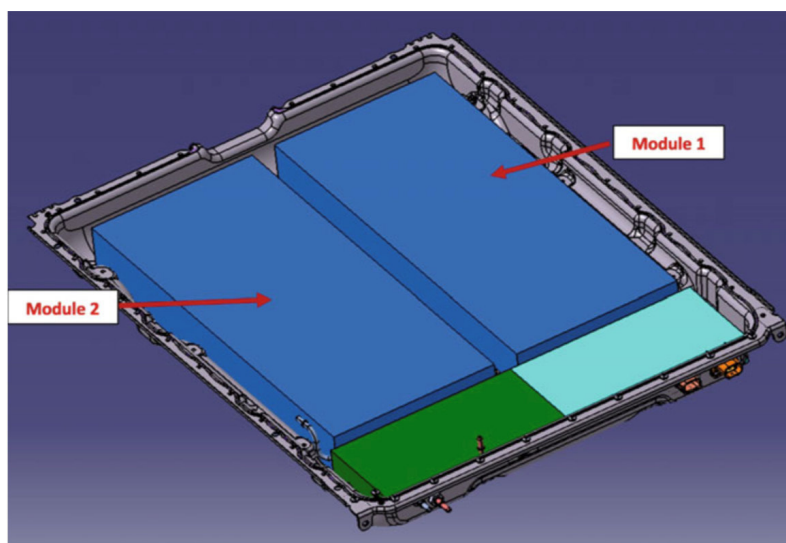
**Fig.39** – HRR, velocità di produzione di HF per celle di tipo B al 100% SOC con e senza l'uso di acqua nebulizzata [21].

### 3.4.3 Incendio su scala reale

Blum et al. [22] nel loro lavoro hanno eseguito test antincendio su scala reale di un Energy Storage System (ESS) da 100 kWh. Il Powerpack utilizzato, un ESS commerciale da 100 kWh (figura 40), contiene un totale di circa 14.400 celle 18650 cilindriche 3,6 V e 2,4 A h. In particolare, è costituito da sedici contenitori, ciascuno dei quali a sua volta è costituito da due moduli collegati e racchiusi da un coperchio di acciaio. Ogni modulo contiene circa 450 celle (Figura 41).

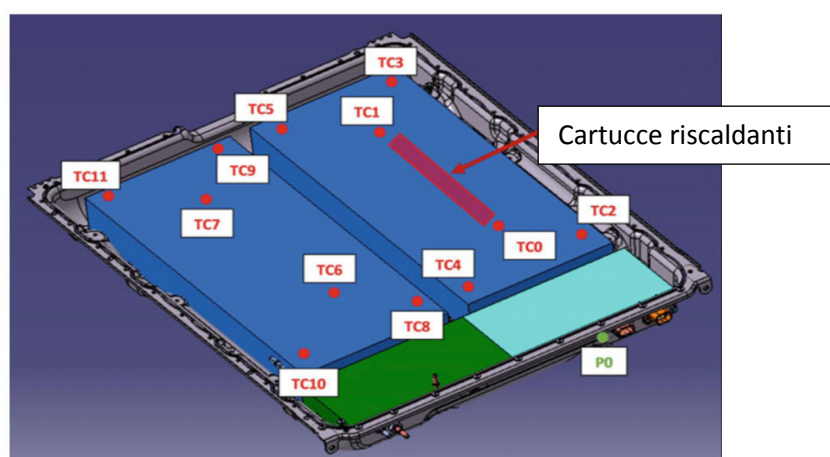


**Fig 40** - Powerpack (ESS commerciale da 100 kWh) [22].



**Fig. 41** - Illustrazione di un contenitore con due moduli (blu); ogni modulo contiene circa 450 celle agli ioni di litio cilindriche per un totale di 900 celle [22]

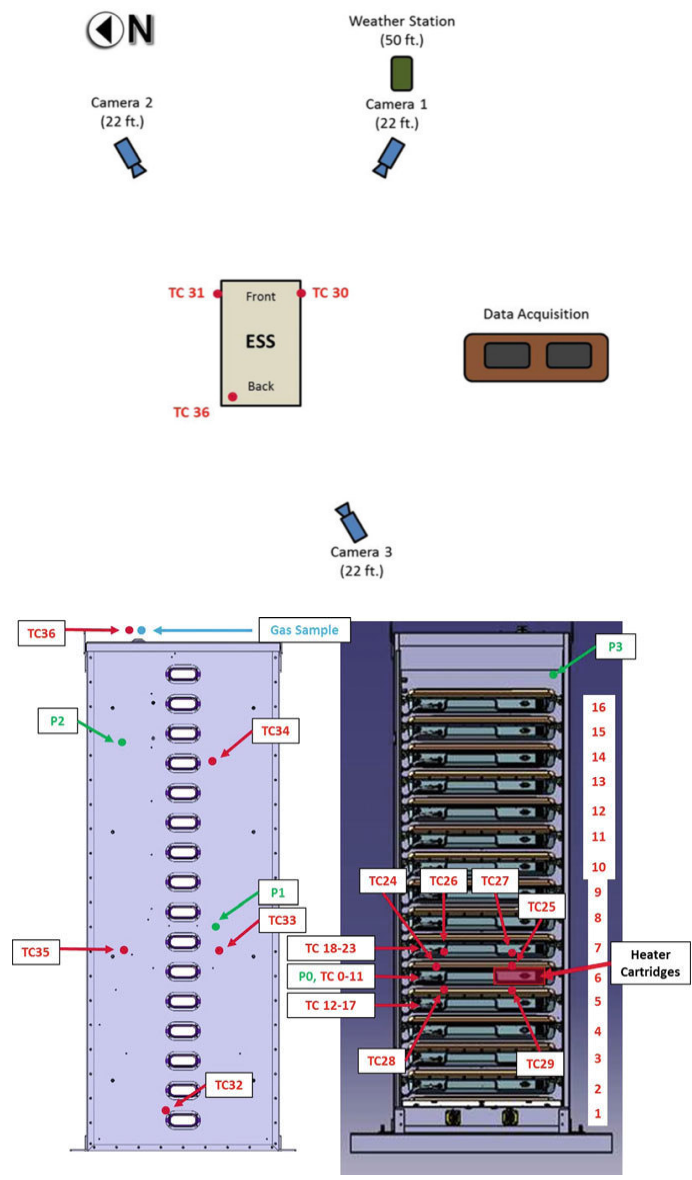
Sono stati condotti due prove di incendio: nella prima prova il powerpack è stato esposto alla fiamma di un bruciatore a propano per simulare uno scenario di incendio in cui il fuoco ha origine al di fuori del Powerpack. Nella seconda prova sono state installate all'interno di un modulo sei cartucce riscaldanti (Figura 42), con l'intento di innescare le reazioni di thermal runaway in singole celle all'interno del Powerpack; all'inizio del test, è stata applicata la corrente a tutti e sei i riscaldatori contemporaneamente, dando luogo al thermal runaway quasi simultaneo di dieci celle. Questo metodo di induzione della thermal runaway ha reso inefficaci i meccanismi di protezione passiva presenti.



**Fig 42**– Posizione delle cartucce riscaldanti [22]

Per ogni test il Powerpack è stato posizionato all'aperto, su una superficie non infiammabile, riproducendo le condizioni nelle quali viene normalmente installato e quindi utilizzato. Durante i test sono stati monitorate in particolare le emissioni gassose e le temperature all'interno e all'esterno del pacco. In fig. 43 è riportato il setup sperimentale.





**Fig. 43** – Setup sperimentale [22]

I principali eventi osservati nella prova con bruciatore esterno e con innesco interno sono riportati in Tabella 8 e 9, rispettivamente.

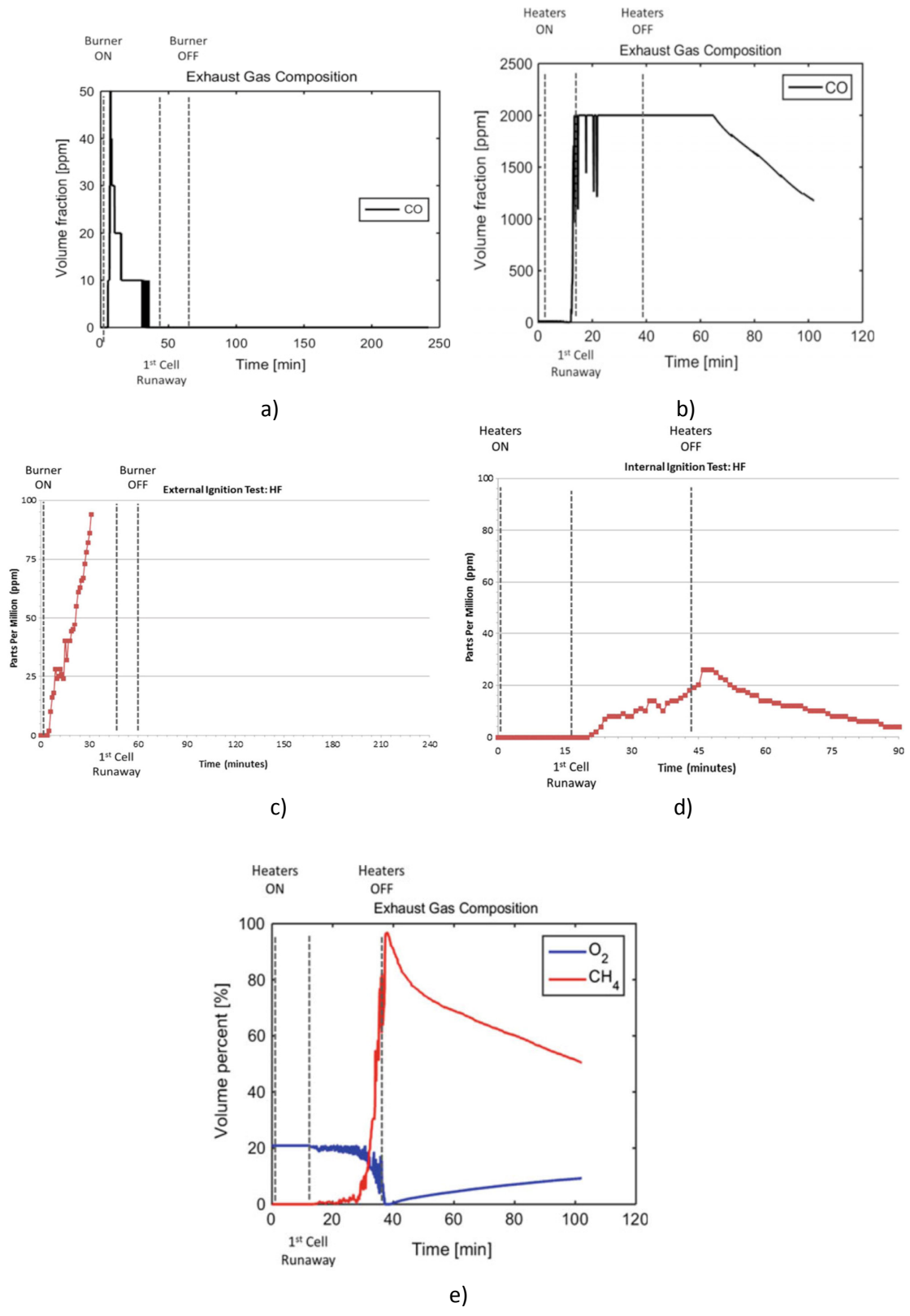
**Tab. 8 – Principali eventi del test su Powerpack con innesco esterno [22]**

| Time (h:min:s)  | Event  |
|-----------------|--|
| -0:03:00        | Start data acquisition and video cameras   |
| 0:00:00         | Ignite burner  |
| 0:35:12         | First smoke (white and/or grey) observed from Powerpack  |
| 0:45:02         | Pop sound heard from Powerpack cabinet (pops)  |
| 0:46:54         | Sustained flames first observed at exhaust vent  |
| 0:47:09         | Sustained flames first observed at back Powerpack panel  |
| 0:47:57         | Sustained flames first observed at the front door  |
| 0:48:00         | Steady pops heard from Powerpack starting at this time until 3:10:50 consistent with cell thermal runaway                |
| 1:00:00         | Burners "OFF", jet fire exiting exhaust vent, flames coming out of the front door grill                                  |
| 1:05:00–1:10:00 | Material ejected from exhaust vent   |
| 1:08:00         | Fire inside Powerpack only involving combustibles near the top; no burning of materials near the bottom of the Powerpack |
| 1:11:00         | Jet flame at exhaust vent weakens intermittently   |
| 1:14:30         | Jet flame at exhaust vent increases in intensity   |
| 1:20:05         | Overpressure sound consistent with refrigerant failure   |
| 1:27:00         | Jet flame at exhaust vent weakens intermittently   |
| 1:27:45         | Smoke from Powerpack turns darker  |
| 1:29:45         | Flames inside Powerpack moving lower   |
| 1:32:05         | Fire inside Powerpack intensifying   |
| 2:00:00         | Fire inside Powerpack intensifying   |
| 2:30:00         | Fire inside Powerpack steady   |
| 2:33:30         | Fire inside Powerpack decreasing in intensity  |
| 3:00:00         | Fire insides subsiding, weak flames observed out the front door and exhaust vent   |
| 3:10:50         | Last pop heard from Powerpack  |
| 3:30:00         | Fire continues to decrease in intensity  |
| 3:41:10         | Last visible flame out   |
| 3:45:00         | Cameras and data acquisition off   |

**Tab. 9 – Principali eventi del test su Powerpack con innesco interno [22]**

| Time (h:min:s) | Event   |
|----------------|---|
| -0:01:30       | Start data acquisition and video cameras  |
| 0:00:00        | Turn on heater cartridges   |
| 0:12:35        | Pop sound heard from Powerpack cabinet (pops)   |
| 0:15:10        | First smoke (white and/or light grey) observed at exhaust vent  |
| 0:27:13        | Light smoke continues at exhaust vent   |
| 0:29:35        | Smoke at exhaust vent increasing  |
| 0:33:07        | Pop heard from Powerpack cabinet  |
| 0:34:28        | Smoke at exhaust vent increasing, getting darker (grey)   |
| 0:34:56        | Pop heard from Powerpack cabinet  |
| 0:35:30        | Smoke at exhaust vent increasing, getting darker (grey)   |
| 0:36:22        | Steady pops heard from Powerpack starting at this time until 0:45:01 consistent with cell thermal runaway |
| 0:38:34        | Heater cartridges turned off  |
| 0:45:01        | Last pop heard from Powerpack   |
| 0:49:30        | Smoke production at exhaust vent subsiding  |
| 1:00:00        | Smoke production at exhaust vent subsiding  |
| 1:15:00        | Smoke production at exhaust vent subsiding  |
| 1:30:00        | Smoke production at exhaust vent barely visible, cameras and data acquisition turned off, test terminated |

In figura 44 è riportato l'andamento delle concentrazioni di CO e di HF e di CH<sub>4</sub> in funzione del tempo monitorate durante le prove.



**Fig. 44** –Concentrazione delle emissioni gassose di: a) CO per la prova con l’innesco esterno; b) CO per la prova con l’innesco interno; c) HF per la prova con l’innesco esterno; d) HF per la prova con l’innesco interno; e) CH<sub>4</sub> per la prova con l’innesco interno [22].

I risultati riguardanti il primo test mostrano la presenza di monossido di carbonio (CO) e di acido fluoridrico (HF), mentre non è stata rilevata la presenza di Cl<sub>2</sub> o di CH<sub>4</sub>. Inoltre i risultati mostrano che viene prodotto

CO solo mentre è acceso il bruciatore esterno, infatti, quando questo viene spento, non è stata rilevata la presenza di CO durante il procedere dell'incendio del Powerpack ormai innescato. Per quanto riguarda l'HF, dopo 2 minuti dall'accensione del bruciatore è stata rilevata una concentrazione pari a 2 ppm, il suo valore è poi salito costantemente fino a raggiungere un massimo di 100 ppm dopo circa 30 minuti. Poiché la concentrazione massima del rivelatore di HF utilizzato è pari a 100 ppm, tutti i dati misurati dopo 30 minuti erano "fuori range" del rivelatore; ciò indica che i livelli di HF erano certamente superiori a 100 ppm fino alla fine della prova.

I risultati riguardanti il secondo test rilevano, invece, la presenza di CO, HF e di metano ( $\text{CH}_4$ ) mentre non è stata rilevata la presenza di  $\text{Cl}_2$ . Durante la prova, la presenza di CO è stata rilevata dopo circa 10,5 minuti dall'accensione rilevando una concentrazione pari a 10 ppm, il suo valore è poi salito costantemente, fino a raggiungere il massimo valore di 2000 ppm, corrispondente alla portata massima del rivelatore utilizzato, circa 12 minuti dopo l'inizio del test. Il valore è poi rimasto al livello massimo di rilevamento di 2000 ppm fino a 63,5 minuti, per poi diminuire lentamente per i restanti 30 minuti.

L'HF è stato rilevato circa 21 minuti dopo l'accensione delle cartucce riscaldanti misurando una concentrazione pari a 1 ppm. Il suo valore è salito costantemente da 1 ppm al suo valore massimo di 26 ppm dopo circa 46 min stabilizzandosi a 26 ppm per 2 minuti, per poi ridiscendere gradualmente fino a un valore di 2 ppm entro la fine del test.

Il  $\text{CH}_4$ , in termini di percentuale della frazione di volume, è stato rilevato circa 12 minuti dopo l'accensione dei riscaldatori. Il valore misurato è salito costantemente fino a circa 36 minuti dopo l'accensione dei riscaldatori, dove il valore registrato è stato pari a 96,9 %. Questo tempo corrisponde esattamente con il momento nel quale è stato osservato il picco della reattività dovuta al procedere della thermal runaway. I livelli elevati di CO e  $\text{CH}_4$  rilevati dopo lo spegnimento delle cartucce riscaldanti e dopo la fine delle reazioni di thermal runaway indicano che questi composti pericolosi possono ancora essere emessi dalle celle durante il loro raffreddamento e pur non osservando più evidenti segni di instabilità termica.

Le temperature massime misurate dalle termocoppie installate all'interno dei moduli sono risultate superiori a  $1100^\circ\text{C}$  quando si è avuto il contatto diretto con la fiamma.

Nella seconda prova le termocoppie poste all'interno del modulo con le cartucce riscaldanti hanno mostrato temperature massime di circa  $845^\circ\text{C}$ , mentre sono molto più basse quelle misurate all'interno dei moduli adiacenti ( $90\text{-}100^\circ\text{C}$ ). Le temperature misurate dalle termocoppie poste all'esterno sono risultate molto più basse.

L'ispezione effettuata alla fine dei test ha mostrato che, per la prova nella quale l'innescò delle reazioni di thermal runaway è dovuto alle cartucce riscaldanti collocate all'interno di uno dei moduli, solo uno dei moduli (quello contenente le cartucce) è stato danneggiato, gli altri 15 sono rimasti operativi con un SOC completo, mentre nel test in cui l'innescò è stato determinato dal bruciatore esterno, tutti i moduli sono risultati danneggiati.

### 3.5 LMB – celle al Litio metallico

Il litio è il metallo più leggero (densità  $0,534\text{ g/cm}^3$  a  $20^\circ\text{C}$ ) e uno dei più reattivi, con il più alto potenziale elettrochimico ( $E^\circ = 3,045\text{ V}$ ). Il litio metallico reagisce violentemente con l'acqua e può quindi incendiarsi, mentre reagisce lentamente con solventi organici e forma un rivestimento protettivo (interfaccia elettrolitica solida, SEI) sulla superficie del metallo che consente il trasporto di ioni di litio.

Durante la fase di scarica, il litio viene rimosso e si dissolve nell'elettrolita organico che contiene un sale di litio. Lo ione litio viene quindi trasportato al catodo dove riduce l'ossido del metallo di transizione. Durante la fase di carica, il processo viene invertito e il litio viene ricollocato sull'anodo.

Questo processo distrugge almeno una parte del SEI sull'anodo, che deve quindi essere riformato consumando litio ed elettrolita. La superficie perciò perde la sua levigatezza, non è più liscia e la forma dell'elettrodo negativo cambia [1].

L'area superficiale notevolmente aumentata porta ad una maggiore reattività del litio metallico con l'elettrolita organico liquido. La crescita dei dendriti dà luogo a diversi problemi (Fig. 45):

- *Cortocircuito delle celle:* Le dendriti possono penetrare nel separatore e raggiungere il catodo, causando il contatto elettrico e, quindi, il corto circuito di una cella funzionante. Il cortocircuito può innescare le reazioni di thermal runaway, la conseguente combustione dell'elettrolita e l'esplosione finale della cella. Questo è l'ostacolo più grande per le applicazioni pratiche dell'anodo in litio metallico.
- *Reazioni indesiderate:* la crescita delle dendriti aumenta la superficie del metallo e di conseguenza aumenta la possibilità che reazioni parassite tra il metallo e l'elettrolita avvengano. Queste reazioni indesiderate consumano sia il metallo sia l'elettrolita in modo irreversibile, non contribuendo alla capacità e riducendo drasticamente l'efficienza Coulombica.
- *Evoluzione di "dead" litio dalle dendriti:* le reazioni indesiderate tra l'elettrolita e le dendriti di Litio appena formate generano grandi dendriti di Li avvolti dai prodotti di reazione del SEI, convertendoli in Litio elettrochimicamente inerte. Questo Litio "dead" diminuisce ulteriormente l'efficienza Coulombica.
- *Polarizzazione aumentata:* rispetto ai depositi di litio uniformi e densi senza dendriti, l'anodo in metallo con dendriti ha sempre una struttura porosa e irregolare composto da numerose aree con Li elettrochimicamente inerte. Questi depositi porosi di litio portano ad un aumento del percorso di diffusione e ad un'enorme resistenza alla diffusione degli ioni di Li e degli elettroni, rendendo in questo modo una grande polarizzazione e un'efficienza energetica insoddisfacente.
- *Grande variazione di volume:* La crescita delle dendriti genera un problema di variazioni di volume molto importante a causa dei depositi porosi di Litio. Questi depositi porosi sollecitano un aumento / diminuzione del volume durante la placcatura / stripping del Litio. [23]

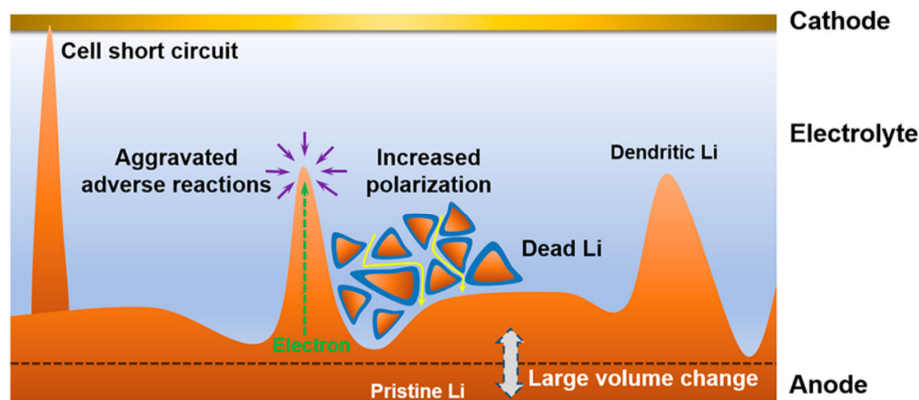


Fig 45 – Schema dei problemi derivanti dalla crescita delle dendriti. [23]

In figura 46 sono riportati i metodi proposti per sopprimere la crescita dei dendriti, che possono essere classificati in quattro categorie:

- *Leghe LiX (X = Al, B, Si, Sn, C, ecc.).* La sostituzione del metallo Li con la lega LiX può ridurre in modo significativo i problemi di dendriti, perché il litio si trova nello stato ionico piuttosto che metallico. Sfortunatamente, gli elettrodi in lega possono sopravvivere solo a cicli limitati a causa di grandi variazioni di volume durante il ciclo. Per ovviare ad essi, è stato proposto l'elettrodo di carbonio che presenta una variazione del volume del 10% durante il funzionamento. Tuttavia, sebbene l'elettrodo in carbonio in parte garantisca un funzionamento sicuro, la capacità viene drasticamente sacrificata (da 3860 a 372 mAh/g).

- *Modifiche all'interfaccia litio metallo/elettrolita e modifiche all'elettrolita organico.* Si è scoperto che il Litio metallico si stabilizza con successo in alcuni solventi non acquosi a causa della formazione di un film di passivazione sulla superficie del Litio. Lo studio si è dedicato alla ricerca dei sali di Litio efficaci, al solvente, agli additivi elettrolitici e alla ricerca di film di passivazione artificiale. Tuttavia, questa soluzione non è valida per celle ricaricabili a causa della crescita delle dendriti durante i cicli ripetuti di carica e scarica.
- *Elettroliti a stato solido:* i sistemi polimerio/elettrolita inorganico e gli elettroliti ibridi a stato solido sono formulati con un modulo di taglio elevato di circa il doppio rispetto ai dendriti di Li (~109 Pa) e ciò permette di abbandonare completamente l'uso di elettroliti liquidi non acquosi infiammabili, migliorando così drasticamente le prestazioni di sicurezza di LMB. Purtroppo, attualmente la conduttività ionica di questi sistemi è tipicamente compresa tra  $10^{-8}$  e  $10^{-5}$  S / cm a temperatura ambiente, valore molto al di sotto di quella dell'elettrolita liquido non acquoso ( $10^{-3}$  S / cm). Le batterie basate su questi sistemi possono essere applicate solo in dispositivi a potenza limitata e in situazioni di alta temperatura. Introducendo un elettrolita polimerico in un sistema liquido, nel 1999 sono state commercializzate le prime batterie agli ioni di litio ricaricabili affidabili e pratiche. L'elettrolita ibrido basato su questi elettroliti solidi inorganici / polimerici ha anche il potenziale per essere applicato nella pratica nelle LMB.
- *Progettazione di anodi strutturati.* La recente rivoluzione nel settore dei nanomateriali e delle nanotecnologie porta indubbiamente una innovazione nella ricerca sull'inibizione della formazione delle dendriti mediante la costruzione di una nuova matrice per la deposizione e la progettazione di una nuova combinazione separatore/anodo per modificare il comportamento degli ioni di litio durante la deposizione. Si riesce ad ottenere nelle semicelle un'efficienza Coulombica del 99,8% con una morfologia priva di dendriti in 200 cicli. [23]



**Fig 46** – Strategie proposte per superare la crescita delle dendriti [23].

Von Sacken et al. [24] lavoro hanno studiato la stabilità termica sia dell'anodo formato da carbonio intercalato da ioni di litio e sia dell'anodo costituito da litio metallico.

La fig. 47 mostra che la velocità di autoriscaldamento aumenta drasticamente quando le celle vengono ciclizzate. Ciò accade presumibilmente perché aumenta la superficie specifica dell'anodo di metallo di litio. Pertanto, le celle diventano più sensibili anche in condizioni operative normali. Il problema fondamentale con l'anodo di litio metallico è che la sua morfologia non può essere controllata, il che rende difficile la previsione della sicurezza delle celle durante la loro vita utile.

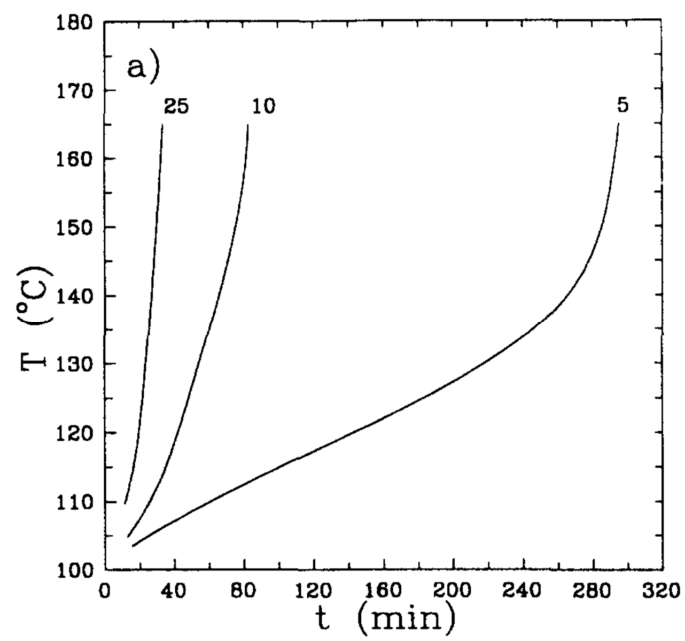


Fig. 47 – Risultati ARC di celle ciclatae Li/MnO<sub>2</sub> a partire da 100°C [24]

## 4 Conclusioni

Al fine di comprendere meglio i rischi di incendio delle batterie agli ioni di litio sono state eseguite una serie di prove al fuoco utilizzando un calorimetro a cono. I test sono stati condotti variando lo stato di carica (SoC) e la potenza irradiata dal cono radiante.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con i principali risultati disponibili in letteratura riguardanti celle Li-ione di diversa chimica e geometria.

Dallo studio effettuato si è visto che lo stato di carica è uno dei fattori più importanti nel determinare i comportamenti delle batterie agli ioni di litio. Infatti, a un livello di carica più elevato corrisponde un maggiore rischio di incendio in termini di un tempo di innesco più breve, un aumento della velocità di perdita della massa e una quantità di massa persa maggiore.

I test hanno dimostrato che il comportamento al fuoco di una cella Li-ione può essere caratterizzato in tre fasi principali: i) l'innesco del thermal runaway; ii) lo sfiato e l'aumento della velocità di riscaldamento con la comparsa di fiamme e/o fumo; iii) la rottura catastrofica finale. Quando una cella è completamente carica queste fasi si verificano in tempi più brevi e il picco dell'HRR e l'energia totale rilasciata sono più elevate rispetto a celle con un più bassi stati di carica.

Anche la pressione dell'aria ambiente e il numero di celle coinvolte nell'incendio svolgono un ruolo importante nel definire il loro comportamento quando abusate termicamente.

A parità di carica il tempo di innesco è più lungo a pressione ambiente più elevata e anche i valori di HRR e di rilascio di calore totale aumentano con la pressione. Inoltre, l'HRR e il calore della combustione aumentano con il numero di celle presenti oltre che con la pressione. Il rilascio totale di calore nel caso di pacchi di celle aumenta con il numero di celle secondo una funzione di potenza e il cui esponente dipende dalla pressione.

È stato dimostrato, inoltre, che non solo un elevato SOC, ma anche un "over discharging" ha effetti significativi sul comportamento delle celle. Le batterie che hanno subito una scarica profonda hanno velocità di riscaldamento più elevate il che innesca il thermal runaway in tempi più brevi. Inoltre, si è scoperto che anche celle sovraccaricate mostrano un comportamento simile e, una volta innescati, gli incendi di queste celle mostrano un decorso molto più violento.

Il comportamento osservato in funzione dello stato di carica implica che l'insorgenza del thermal runaway è correlato al contenuto di energia elettrica delle celle agli ioni di litio; infatti questa fornisce l'energia di attivazione necessaria per innescare il runaway o la combustione dell'elettrolita.

L'analisi dei gas emessi mostra che, tra i vari prodotti, le emissioni di composti a base di fluoro sono le più preoccupanti. Quantità significative di HF, comprese tra 20 e 200 mg / Wh della capacità di energia nominale della batteria, sono state rilevate dalle celle in fiamme.

I livelli misurati di HF indicano che esso può rappresentare una grave minaccia dal punto di vista della tossicità, specialmente per grandi batterie e in ambienti confinati. Il picco del tasso di produzione di HF aumenta del 35% quando si utilizza l'acqua, tuttavia non è stato possibile osservare alcun cambiamento significativo nelle quantità totali di HF rilasciato.



## 5 Riferimenti bibliografici

1. J. Garche, K. Brandt; *Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications - Li-Battery Safety*; Elsevier 2019
2. Q. Wang, P. Ping, X. Zhao, G. Chu, J. Sun, C. Chen, "Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery", *J. Power Sources*, vol. 208, pp. 210–224, 2012.
3. H. Biteau, T. Steinhaus, C. Schemel, A. Simeoni, G. Marlair, N. Bal, J.L. Torero, "Calculation Methods for the Heat Release Rate of Materials of Unknown Composition", *Fire Safety Science* 9 (2008), 1165-1176
4. S. Bakhtiyari, L. Taghi-Akbari, M.J. Ashtiani, "Evaluation of thermal fire hazard of 10 polymeric building materials and proposing a classification method based on cone calorimeter results", *Fire Mater.* 39 (2015), 1–13
5. ISO 5660, *Fire Tests-reaction to Fire-part 1: Rate of Heat Release from Building Products (Cone Calorimeter)*, ISO, Geneva, 1993.
6. ASTM 1354-905, *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter*, ASTM, Philadelphia, 1995
7. ASTM E-906, *Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products*, ASTM, Philadelphia, 1983
8. W.M. Thornton, *Philos. Mag. Ser. 633* (1917) 196-203
9. Yangyang Fu; Song Lu; Kaiyuan Li; Changchen Liu; Xudong Cheng; Heping Zhang - An experimental study on burning behaviors of 18650 lithium ion batteries using a cone calorimeter – *J.Power sources* 273 (2015) 216 – 222
10. Russo P.; Longobardo G; Mazzaro M.; Di Bari C.; Cancelliere P. " Fire Behaviour of NMC Li-ion Battery Cells" - *Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards (ISFEH9)*, 21-26 April 2019, Saint Petersburg, Russia, vol.1 pp. 881-890
11. Russo P.; M.L. Mele; G. Longobardo; M. Mazzaro; C. Di Bari - Investigation on the fire hazards of Li-ion cells - *ELECTRIMACS 2019 Salerno* Salerno, 21-23 maggio 2019, Springer Book Editors in corso di stampa.
12. M.D. Farrington, *Safety of lithium batteries in transportation*, *J. Power Sources* 96 (2001) 260–265
13. James G. Quintiere, Sean B. Crowley, Richard N. Walters, Richard E. Lyon, David Blake - *Fire Hazards of Lithium Batteries - February 2016 DOT/FAA/TC-TN15/17*
14. Dongxu Ouyang; Yaping He; Mingyi Chen; Jiahao Liu; Jian Wang - Experimental study on the thermal behaviors of lithium-ion batteries under discharge and overcharge conditions - *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* (2018) 132:65–75
15. F. Larsson, P. Andersson, B. Mellander, "Lithium-Ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the Basis of Experimental Abuse Tests", *Batteries*, 2:9 (2016), 1-13.
16. Mingyi Chen; Jiahao Liu; Yaping He; Richard Yuen; Jian Wang - Study of the fire hazards of lithium-ion batteries at different pressures - *Applied Thermal Engineering* 125 (2017) 1061 – 1074.
17. Yang, H.; Zhuang, G.V.; Ross, P.N., Jr. Thermal stability of LiPF<sub>6</sub> salt and Li-ion battery electrolytes containing LiPF<sub>6</sub>. *J. Power Sources* 2006, 161, 573–579
18. Ludwig H.; Cairelli S.; Whalen J.; *Documentation for Immediately Dangerous to Life or Health*

Concentrations (IDLHs) for Hydrogen Fluoride (As F); The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Washington, DC, USA, 1994

19. Middelman, A. Hygiensiska Gränsvärden AFS 2011:18, Hygieniska Gränsvärden Arbetsmiljöverkets Föreskrifter och Allmänna råd om Hygieniska Gränsvärden; Swedish Work Environment Authority: Stockholm, Sweden, 2011
20. Ribière, P.; Grugeon, S.; Morcrette, M.; Boyanov, S.; Laruelle, S.; Marlair, G. Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry. *Energy Environ. Sci.* 2012, 5, 5271–5280.
21. Fredrik Larsson; Petra Andersson; Per Blomqvist; Bengt-Erik Mellander - Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires - Scientific reports 7(1) 2017 1 – 13
22. Andrew F. Blum; R. Thomas Long Jr. - Fire Hazard Assessment of Lithium Ion Battery Energy Storage Systems – Springer (2016)
23. Cheng X.B. ; Zhang R.; Zhao C.Z.; Zhang Q; Toward Safe Lithium Metal Anode in Rechargeable Batteries: A Review - *Chem. Rev.* 2017, 117, 10403–10473.
24. Von Sacken U.; Nodwell E.; Sundher A.; Dahn J.R. Comparative thermal stability of carbon intercalation anodes and lithium metal anodes for rechargeable lithium batteries; *Journal of Power Sources* 54 (1995) 240-245.



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



## RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

### Capitolo 3

Caratterizzazione delle dinamiche di guasto elementari  
con evoluzione incidentale ed incendio/esplosione

Cinzia Di Bari



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



# Indice

|  |     |
|--|-----|
| INDICE .....   | 138 |
| 1 INTRODUZIONE E GENERALITÀ .....  | 140 |
| 1.1 INTRODUZIONE .....   | 140 |
| 1.2 GENERALITÀ.....  | 140 |
| 2 TECNOLOGIE AL LITIO METALLICO: ALCUNE DINAMICHE DI GUASTO ED EVOLUZIONE INCIDENTALE .....                            | 142 |
| 3 TECNOLOGIE LITIO-IONE: GENERALITÀ SULLA VULNERABILITÀ DEI SISTEMI .....  | 144 |
| 3.1 CICLO DI VITA E FABBRICAZIONE DELLE CELLE LITIO-IONE.....  | 144 |
| 3.2 FINESTRA OPERATIVA E DEVIAZIONI DAL NORMALE FUNZIONAMENTO.....   | 147 |
| 3.3 BILANCIO DELL’OSSIGENO E TRIANGOLO DEL FUOCO: VULNERABILITÀ INTRINSECA DEI SISTEMI LI-IONE.....                    | 150 |
| 4 TECNOLOGIE LITIO-IONE: DISPOSITIVI DI PROTEZIONE A LIVELLO DI CELLA .....  | 153 |
| 4.1 DISPOSITIVI A BORDO CELLA.....   | 153 |
| 4.1.1 <i>Dispositivo di venting</i> .....  | 153 |
| 4.1.2 <i>Dispositivo di interruzione della corrente (CID)</i> .....  | 154 |
| 4.1.3 <i>PTC (Positive Temperature Coefficient)</i> .....  | 154 |
| 4.1.4 <i>Separatore e separatore con effetto shut-Down</i> .....   | 155 |
| 4.2 DISPOSITIVI ESTERNI ALLA CELLA .....   | 156 |
| 4.2.1 <i>Fusibile interno (Current Limiting Fuses)</i> .....   | 156 |
| 4.2.2 <i>Diodi</i> .....   | 156 |
| 4.2.3 <i>BMS</i> .....   | 156 |
| 5 TECNOLOGIE LITIO-IONE: DINAMICHE DI GUASTO ED EVOLUZIONE INCIDENTALE .....   | 159 |
| 5.1 ABUSO TERMICO .....  | 166 |
| 5.1.1 <i>Esposizione a calore esterno o fiamma</i> .....   | 167 |
| 5.1.2 <i>Esposizione a bassa temperatura</i> .....   | 169 |
| 5.2 ABUSO ELETTRICO .....  | 169 |
| 5.2.1 <i>Overcharge</i> .....  | 170 |
| 5.2.2 <i>Overvoltage</i> .....   | 171 |
| 5.2.3 <i>Overcurrent</i> .....   | 172 |
| 5.2.4 <i>Undervoltage e overdischarge</i> .....  | 173 |
| 5.3 CORTO CIRCUITO ESTERNO E CORTO CIRCUITO INTERNO .....  | 174 |
| 5.3.1 <i>Cortocircuito esterno e sua evoluzione: presentazione di un caso studio</i> .....                             | 174 |
| 5.3.2 <i>Cortocircuito interno</i> .....   | 177 |
| 5.3.2.1 <i>Corto circuito interno dovuto ad abuso o uso erraneo</i> .....  | 179 |
| 5.3.2.2 <i>Corto circuito interno dovuto a difetti di fabbricazione</i> .....  | 179 |
| 5.3.2.3 <i>Corto circuito interno dovuto alla formazione di dendriti</i> .....   | 179 |
| 5.3.2.4 <i>Corto circuito interno spontaneo</i> .....  | 181 |
| 5.4 ABUSO MECCANICO .....  | 182 |
| 5.4.1 <i>Penetrazione</i> .....  | 184 |
| 5.4.2 <i>Urto</i> .....  | 185 |
| 5.5 EFFETTI DELL’INVECCHIAMENTO, DELLE MODALITÀ DI UTILIZZO, DELLA FATICA MECCANICA E DELLA PRESENZA DI IMPUREZZE .... | 185 |
| 5.5.1 <i>Invecchiamento</i> .....  | 185 |
| 5.5.1.1 <i>ANODO e SEI</i> .....   | 186 |
| 5.5.1.2 <i>CATODO</i> .....  | 189 |
| 5.5.1.3 <i>Deformazione plastica della struttura a strati</i> .....  | 189 |
| 5.5.1.4 <i>Elettrolita</i> .....   | 189 |
| 5.5.1.5 <i>Separatore</i> .....  | 189 |
| 5.5.1.6 <i>Collettori di corrente</i> .....  | 190 |
| 5.5.1.7 <i>Legante</i> .....   | 190 |
| 5.5.2 <i>Modalità di utilizzo: la qualità dei processi di carica e scarica</i> .....                                   | 191 |
| 5.5.3 <i>Fatica meccanica</i> .....  | 192 |
| 5.5.4 <i>Guasti indotti dal processo di produzione</i> .....   | 192 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 5.5.4.1 | Presenza di impurezze .....  | 192 |
| 6       | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E COLLEGAMENTI IPERTESTUALI .....        | 193 |
| 7       | APPENDICE 9A – IL PROCESSO DI PRODUZIONE DI CELLE LITIO-IONE ..... | 196 |

# 1 Introduzione e generalità

## 1.1 Introduzione

*La caratterizzazione delle dinamiche di guasto dei sistemi di accumulo elettrochimico e la loro evoluzione in termini di possibili danni all'uomo, all'ambiente e alla proprietà e in termini di entità del danno, costituiscono la base per le attività di: analisi di rischio [1, 2, 3], gestione della sicurezza, gestione delle emergenze e, recentemente [4], anche al fine della semplificazione delle prescrizioni per l'ammissione al trasporto quale merce pericolosa<sup>1</sup> (Classe UN 9). Le dinamiche di guasto sono strettamente connesse ai pericoli intrinseci al sistema in esame che, nella fattispecie dei sistemi di accumulo litio-ione, sono dovuti alla specifica composizione chimica e struttura interna.*

*In questo capitolo, con particolare riferimento ai sistemi Litio-ione, verranno illustrati i pericoli intrinseci alle unità elementari – celle – e gli effetti della deviazione dalle condizioni di normale funzionamento (temperatura, tensione e velocità di carica) dovuti a: abuso, uso non appropriato (misuse), invecchiamento, impurezze e difetti di fabbricazione/progettazione. Un breve paragrafo è dedicato ai pericoli delle batterie primarie al litio metallico.*

*La trattazione, lungi dall'essere esaustiva, è finalizzata principalmente a fornire elementi conoscitivi e misura della complessità dei problemi coinvolti, alle autorità competenti.*

*Ai fini dello stoccaggio di sistemi al litio, delle valutazioni compatibilità con altri stoccaggi o di specifiche condizioni ambientali, gli effetti della esposizione di celle o batterie a sostanze chimiche pericolose o incompatibili, devono essere considerati e **dovranno essere indagati**: si tratta di conoscenze sulle quali la letteratura scientifica è scarsa e devono essere acquisite informazioni e metodologie di indagine da diversi ambiti culturali. La perdita di integrità dei vari livelli di contenimento del sistema elettrochimico può essere determinata anche dalla esposizione a sostanze chimiche esterne, ed è comunque il fattore che predispone al contatto tra la "massa di reazione" del sistema di accumulo e le sostanze esterne. Lo studio dovrà essere integrato con l'identificazione degli effetti di esposizione ad acque meteoriche e acqua salata al fine di esaminare i relativi scenari di esposizione che possono ricorrere sia nel caso degli stoccaggi (passivi ed attivi) di batterie, apparecchi utilizzatori e loro rifiuti, che nel caso di esposizione di veicoli ad agenti atmosferici o condizioni meteo avverse.*

## 1.2 Generalità

In generale, tutte le batterie (pile ed accumulatori, di nuova e vecchia generazione) sono progettate per operare in uno specifico intervallo di temperatura (T) e tensione (V): le specifiche tecniche fornite dal produttore individuano la cosiddetta "finestra operativa", un campo di V e T all'interno del quale sono garantite le prestazioni dichiarate e la sicurezza del dispositivo. Questo "campo" definisce le condizioni di normale funzionamento, ed è determinato dalla specifica composizione chimica del sistema e dalle reazioni chimiche ed elettrochimiche principali cui esse danno luogo regolate, negli aspetti di cinetica e termochimica di reazione, principalmente dalla Temperatura (Equazione di Arrhenius [5]) e dal potenziale (V) a sua volta correlato all'energia

---

<sup>1</sup> Si veda Capitolo 6d.

libera ( $\Delta G$ ) di reazione. La temperatura influisce anche sul valore dell'energia di attivazione di reazioni parassite o indesiderate, rendendole più o meno possibili.

Pertanto, tutte le tipologie di accumulatori e pile presenti sul mercato hanno una specifica vulnerabilità a deviazioni dalle condizioni di normale funzionamento (*misuse*) e ad abusi di natura termica, meccanica ed elettrica (*abuse*), con conseguenze che vanno dalla perdita delle prestazioni "di targa" a fenomeni che possono portare fino alla rottura catastrofica, danni che hanno conseguenze sulla sicurezza e sulla salute dell'uomo, dell'ambiente e sulla proprietà.

Si tratta di pericoli di natura fisica, termica, chimica ed elettrica, che occorre saper gestire e che possiamo suddividere come segue [6]:

- Pericoli di natura fisica: i pericoli fisici comprendono una varietà di eventi che vanno da fenomeni relativamente innocui, quali la deformazione permanente di celle (tra cui lo *swelling*, nel caso delle tecnologie Piombo-gel e Litio-ione) o batterie, alla esplosione con proiezioni di frammenti nelle aree circostanti l'evento, con sufficiente energia cinetica per causare gravi lesioni personali. La natura e il grado di distruzione dipende dalla quantità di energia immagazzinata nel sistema e dalla tipologia di abuso che la batteria ha subito.
- Pericoli di natura termica: le reazioni elettrochimiche che avvengono all'interno di una cella dipendono generalmente dalla temperatura, sia in termini di cinetica di reazione che termochimici. Inoltre, gli accumulatori contengono sostanze chimiche: ad esempio, le sostanze chimiche possono decomporsi, evaporare, reagire tra loro in maniera non attesa. Anche l'integrità meccanica e le funzionalità dei componenti elettrici o elettronici sono influenzati dalla temperatura. La decomposizione o la perdita di stabilità meccanica/elettrica/elettronica possono innescare eventi che possono provocare una rapida generazione di calore. Se la velocità di produzione del calore supera la velocità di dissipazione dello stesso, ne consegue un accumulo di calore all'interno della cella e l'innescare di una serie di reazioni chimiche autocatalitiche, generalmente chiamato *Thermal Runaway*, con ulteriore produzione di calore e aumento della pressione interna, con conseguente esplosione.
- Pericoli di natura chimica: a seguito di un abuso o di un evento accidentale, le batterie possono emettere sostanze chimiche corrosive o tossiche, con effetti sulla salute umana e sull'ambiente. Le sostanze critiche possono essere già contenute nella batteria (come ad es. il cadmio nelle celle NiCd o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e Pb nelle batterie al piombo) o essere generate nel corso dell'evento accidentale (come lo sviluppo di H<sub>2</sub> nel caso di batterie al piombo [7]).
- Pericoli di natura elettrica: secondo le norme tecniche esistenti, tutte le tensioni superiori a 60 V presentano il rischio di scosse elettriche o elettrocuzione. Tutte le batterie che funzionano al di sopra di questo valore, sono realizzate con sistemi di protezioni adeguati a contrastare questi rischi e sono dotate di un adeguato isolamento elettrico. Fermo restando che tali protezioni possono andare in guasto, l'abuso meccanico o la perdita di integrità della batteria possono portare alla distruzione di tali protezioni. Una corretta progettazione deve tener conto anche del rischio di formazione di arco elettrico, in quanto la formazione di scintille può essere la causa di innescare delle sostanze chimiche infiammabili che possono accumularsi nell'intorno della batteria stessa.



## 2 Tecnologie al Litio metallico: alcune dinamiche di guasto ed evoluzione incidentale

Come ampiamente trattato nel Capitolo 1, le batterie al litio primarie sono sistemi ad alta energia che trovano applicazioni nei sistemi militari e industriali, e in applicazioni consumer, con una densità volumetrica di energia può raggiungere le decina di Ah/cm<sup>3</sup>.

In merito alla composizione chimica, esse contengono: litio metallico come anodo (che, a fine vita, è convertito, per la maggior parte, in composti dello ione litio); solventi organici infiammabili o altamente infiammabili e sostanze potenzialmente esplosivi (come, ad esempio, il perclorato di litio, sebbene il suo impiego sia in declino) nell' elettrolita; il catodo può essere costituito da composti chimici come: diossido di manganese, bisolfuro di ferro, pentossido di vanadio, ossido di rame, rame ossifosfato o cloruro di tionile.

Durante il ciclo di vita, i pericoli sono associati ai seguenti processi [8]:

- A. Contatto del litio metallico con acqua (o umidità) per perdita della sigillatura stagna o difetti di fabbricazione (componenti non adeguatamente essiccati). Ne consegue la decomposizione dell'acqua, con produzione di idrogeno gassoso, altamente infiammabile.
- B. Formazione di dendriti, cui può conseguire il cortocircuito interno della cella.
- C. Reazioni indesiderate innescate da deviazioni dal campo V,T di normale funzionamento (finestra operativa), quali, ad esempio, l'ossidazione dei solventi organici da parte del perclorato di litio, con sviluppo di Cl<sub>2</sub>, elevate quantità di calore ed esplosione.
- D. Abuso termico: per esposizione a calore esterno o a fiamma; accumulo di calore all'interno per non corretto smaltimento del calore di reazione o innesco di reazioni interne non desiderate di tipo esotermico. Questi fenomeni possono portare al *Thermal Runaway* della cella. Nel caso di pile al litio ad alta energia basate su cloruro di tionile, sono state effettuate prove di calorimetria adiabatica nelle quali, fino a 148 °C, la velocità di autoriscaldamento era di circa 5 °C/min mentre, al di sopra dei 172 °C, la velocità di autoriscaldamento raggiungeva gli 11 °C/min.

L'incendio di pile al litio è stato studiato da vari autori, e si rimanda agli studi [9] per ulteriori approfondimenti. Nel lavoro di Chen del 2018 [10] vengono effettuate misure dell'HRR e del calore sviluppato con un calorimetro a fiamma (per certi versi simile ad un cono-calorimetro) su 1, 2, 4, 9, 36 e 100 pile.

Si segnalano, per ulteriori approfondimenti ed a titolo di esempio, gli studi del FAA del 2004 [11] e del 2017 [12]. In particolare, nello studio del 2017, sono state effettuate prove calorimetriche su pile cilindriche e su pile a bottone. La Tabella 1 mostra i risultati delle prove condotte sulle pile a litio metallico a bottone.

Si segnala infine la recente emissione di una norma tecnica finalizzata alla verifica della sicurezza delle pile al litio impiegate nel settore aeronavale, ed emessa nel settembre 2017 dalla RTCA [13], della quale si riporta uno stralcio del sommario esecutivo:

*This document was prepared by RTCA Special Committee 235.*

*The Committee membership includes representatives from cell and battery manufacturers, equipment manufacturers, aircraft manufacturers, regulatory and other government agencies, and related industry associations.*

*The SC-235 Committee reviewed and considered existing regulatory requirements and multiple standards and resources associated with non-rechargeable lithium batteries in developing this updated standard. These standards and resources include the AAIB Aircraft Accident Report*

2/2015, Special Conditions related to non-rechargeable lithium batteries, DO-227, DO-347, DO-160 Rev G, UL 1642, UN Section 38.3, IEC 60952, and ISO-7137.

This standard provides design, testing, and installation guidance for non-rechargeable lithium batteries and battery systems which are permanently installed on aircraft or used in aviation.

The intent of this document is to assist equipment designers and manufacturers in the selection of non rechargeable cells and battery systems whose safety and performance have been demonstrated as appropriate to the aviation environment.

**Tabella 1. Sommario dei risultati dei test condotti su pile al litio a bottone [12]**

|                     | Approximate Onset Temperature (°C) | Smoke during Runaway? | Flame/Sparks During Runaway? | External Ignition of Fumes/Smoke? | Visible Swelling of Cells Prior to Runaway? | Propagation to how many cells? | General Observations   |
|---------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------|--|
| 2450 LiMnO2 (Metal) | 125                                | Yes                   | Flame and sparks             | No                                | Yes   | 1                              | These were by far the most energetic, with a large (albeit very fast) flame/flash at the occurrence of event, and some sparking at times |
| 2032 LiMnO2 (Metal) | 80                                 | Yes                   | Sparks                       | Yes                               | No  | 1                              | Flaming after event (at times sustained) occurred during some tests, but was very minor in nature  |
| 2025 LiMnO2 (Metal) | 90                                 | Yes                   | No                           | No                                | No  | 3                              |  |
| 2450 LiCoO2 (Ion)   | 135                                | Yes                   | No                           | Yes                               | Yes   | 1                              | Smoke was substantial at times   |

### 3 Tecnologie Litio-ione: generalità sulla vulnerabilità dei sistemi

#### 3.1 Ciclo di vita e fabbricazione delle celle Litio-ione

Il ciclo di vita di una batteria (primaria o secondaria) inizia con la produzione, a partire dalle risorse primarie, delle sostanze chimiche necessarie per la fabbricazione di una unità elementare (cella), e prosegue con l'uso, fino alla dismissione come rifiuto (Figura 1). A partire dalla produzione della cella, tale ciclo può essere suddiviso nelle seguenti fasi [14], nelle quali vengono indicati i principali *stakeholder* coinvolti:

1. Produzione della cella e ciclatura iniziale (ad esempio: cicli di formazione per la formazione del SEI e la stabilizzazione/attivazione della cella) presso lo stabilimento di produzione (*cell manufacturer*).
2. Il produttore della cella la spedisce (Trasporto) ad un assemblatore o produttore di pacchi batteria o moduli (*pack assembler o manufacturer*)
3. Il produttore/assemblatore di batterie combina una o più celle, l'elettronica di protezione (BMS), il contenitore per creare il pacco batteria. Le celle e il pacco batteria possono essere sottoposti a test specifici, presso lo stesso sito.
4. Il produttore/assemblatore di batterie spedisce la batteria al produttore di dispositivi portatili, dispositivi industriali o veicoli elettrici (produttore dei dispositivi utilizzatori).
5. Il produttore del dispositivo utilizzatore o del veicolo installa la batteria. In questa fase possono essere effettuati dei test specifici sulle batterie.
6. Il produttore del dispositivo utilizzatore o del veicolo trasporta il dispositivo o il veicolo così assemblati ad un centro di distribuzione
7. Un centro di distribuzione vende, e potenzialmente trasporta il dispositivo contenente la batteria al cliente.
8. Il cliente utilizza il dispositivo con la batteria, oppure spedisce il dispositivo ad un altro destinatario, ad esempio con un regalo, un reso, una vendita successiva ad un ordine effettuato on-line, o per operazioni di manutenzione o riparazione.
9. Al termine della vita del dispositivo o della batteria, il dispositivo o una batteria sono portati ad un centro di raccolta dei rifiuti.
10. Il dispositivo viene trattato come rifiuto di apparecchiature elettroniche e inoltrato ad un centro di trattamento presso il quale la batteria viene separata dal dispositivo; la batteria è infine trasportata in una discarica per rifiuti solidi o trasportata presso un sito di riciclo.

Le celle litio ione, le batterie e i dispositivi che le contengono, vengono depositati in ambienti specifici in molti stadi del processo di produzione e distribuzione. In particolare, l'operazione di **stoccaggio** avviene nelle seguenti fasi:

- il deposito del produttore di celle
- il deposito del distributore
- il deposito di chi assembla il pacco batteria
- in vari momenti intermedi del ciclo, come ad esempio il deposito presso i clienti
- il deposito dei rivenditori
- durante le fasi di trasporto, incluse quelle che interessano i rifiuti.

Per le finalità di questo lavoro, è utile porre l'attenzione sul processo di produzione delle celle (più ampiamente descritto nella Appendice 3A) e, in particolare, sulla produzione degli elettrodi e sull'assemblaggio delle celle: si tratta di mettere in evidenza la complessità del processo produttivo e, quindi: il livello di conoscenza dei rischi che il produttore deve possedere per la gestione in sicurezza dei processi; l'importanza della gestione in qualità di ogni stadio del processo

ai fini di minimizzare la presenza di impurezze, l'errato assemblaggio ed errori nella attivazione dei materiali.

La qualità del processo produttivo, a partire dai controlli sui *raw material* e sulla componentistica elettrica ed elettronica, inclusi i materiali per la realizzazione dei contenitori è fondamentale per assicurare l'affidabilità e la sicurezza delle celle. Possono esistere differenze tra lotti di produzione, sia a breve che a lungo termine, connessi anche a modifiche dei processi produttivi o di loro fasi le cui conseguenze possono essere imprevedibili per gli utilizzatori intermedi o finali: gli audit preliminari alla contrattazione di acquisto di grandi partite sono un potente mezzo per la prevenzione dei rischi. Anche le condizioni di stoccaggio del bene prodotto e le condizioni di trasporto influiscono sul comportamento del prodotto nel corso dell'utilizzo e sono, perciò, fasi da conoscere e da eseguire in qualità.

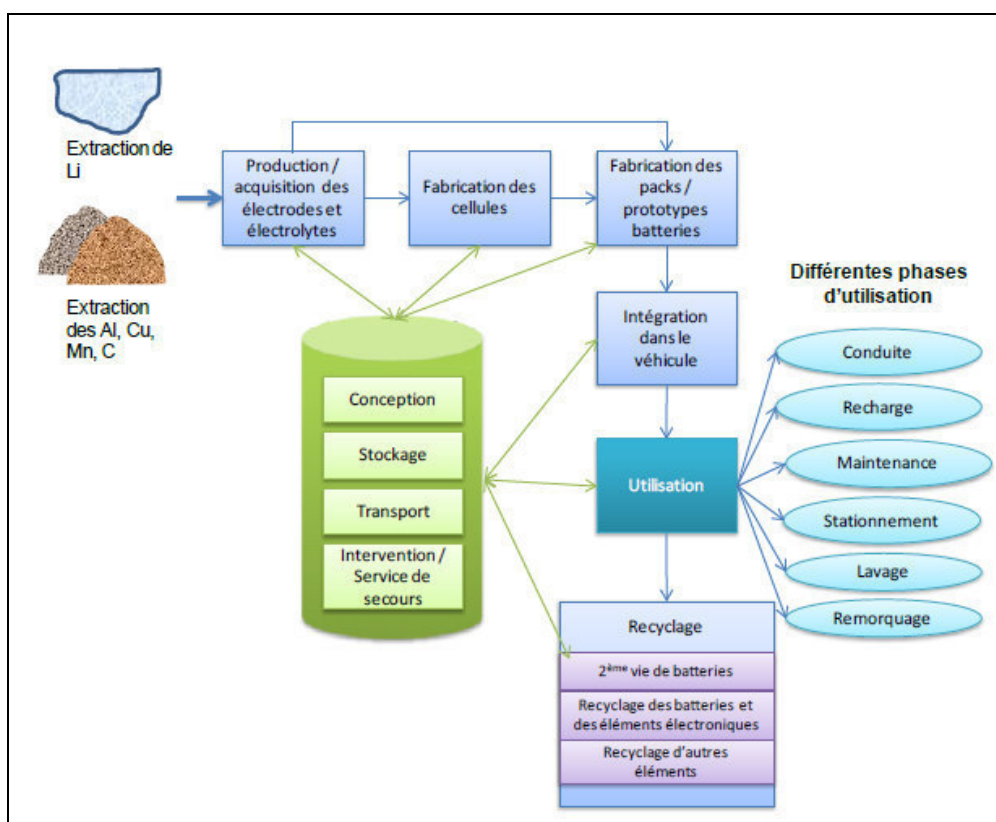


Figura 1. Rappresentazione schematica del ciclo di vita di un veicolo elettrico (*full* o *ibrido*) [15]

In Figura 2 è schematizzato l'assemblaggio di una cella cilindrica o prismatica ed è inclusa la quartultima fase di "formazione", nel corso della quale, attraverso appropriati cicli di carica e scarica e, dunque, l'innesco di determinate reazioni elettrochimiche, avviene la formazione del SEI, l'interfaccia anodica con funzioni sia di trasporto degli ioni litio all'interno del materiale anodico (carbonio) che di stabilizzazione dello stesso con rilevanza ai fini della sicurezza.

In Figura 3 è schematizzato il processo di produzione del catodo e dell'anodo: in ogni fase possono essere introdotti danni potenziali al dispositivo finale.

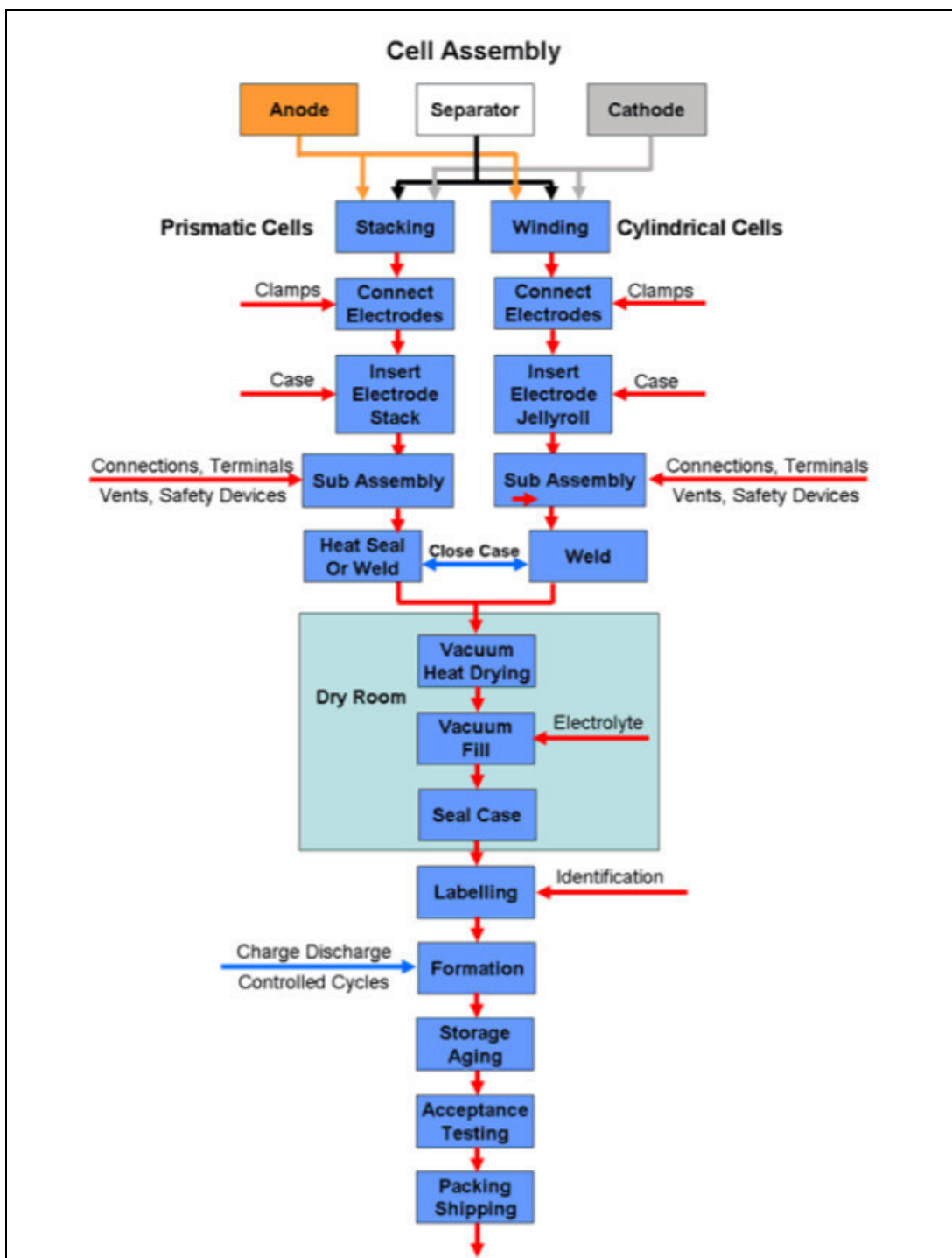


Figura 2. Assemblaggio di una cella cilindrica o prismatica [16]

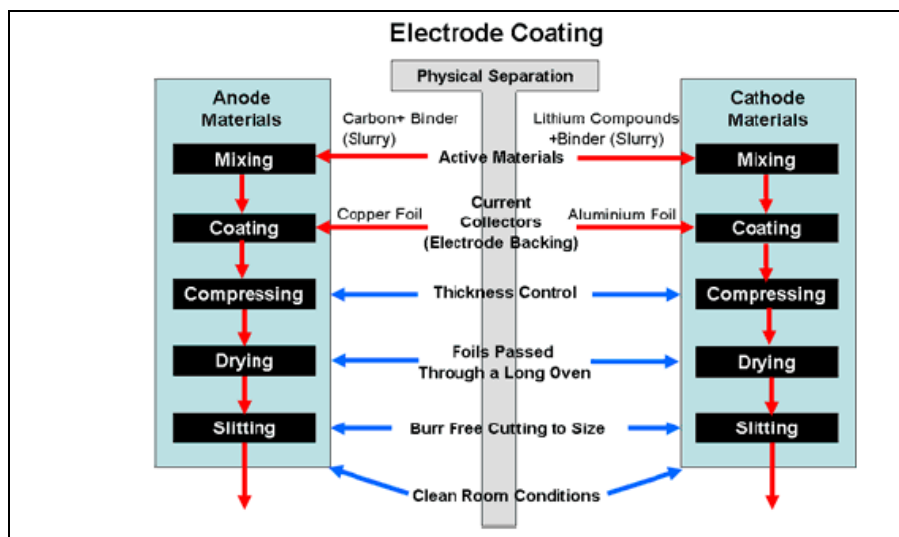


Figura 3. Schema delle fasi di produzione degli elettrodi [16]

### 3.2 Finestra operativa e deviazioni dal normale funzionamento

Il campo V-T all'interno del quale una cella litio-ione opera in condizioni di sicurezza è definito dal produttore nelle specifiche tecniche ( $V_{max}$ ,  $V_{min}$ ;  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ). La Figura 4 evidenzia tale campo ("finestra operativa") in verde, mentre in rosso mostra l'area di deviazione dalle condizioni di normale funzionamento, collocando nei relativi campi V,T gli effetti indesiderati dovuti ad abuso o uso non appropriato, rilevanti sia ai fini della perdita di prestazioni che dei rischi per la sicurezza e la salute, riassunti in Tabella 2.

La deviazione dalle normali condizioni operative può avvenire, lungo l'intero ciclo di vita a causa di:

- difetti di produzione/progettazione sia della cella che dei sistemi elettronici di comando e controllo (BMS)
- uso in condizioni diverse da quelle identificate dal produttore (*misuse*) come, ad esempio: ricarica effettuata con caricabatterie non appropriati o difettosi; utilizzo in condizioni estreme, quali ambienti molto caldi, esposizione diretta al sole, ecc.); uso o stoccaggio in prossimità di sostanze incompatibili (alcuni dei quali sono indicati nelle schede di sicurezza o nel manuale operativo dei sistemi di accumulo); contatto con acqua/acqua salata.
- abuso: elettrico, termico, meccanico

La maggior parte delle deviazioni dalle condizioni di normale funzionamento (inclusa la velocità di carica) producono un aumento della temperatura interna – localizzato o diffuso – che: influenza la cinetica delle reazioni chimiche che avvengono normalmente all'interno di una cella; determina passaggi di stato (evaporazione dei solventi organici); innesca reazioni chimiche non desiderate (decomposizione, sintesi, sostituzione, ecc.), fino al caso peggiore identificato come "fuga termica" della cella o Thermal Runaway. La "fuga termica" o Thermal Runaway è una reazione a catena inarrestabile durante la quale si verificano reazioni chimiche esotermiche e autocatalitiche, con formazione di prodotti chimici a basso peso molecolare il cui maggior volume provoca l'aumento incontrollato di pressione: ne consegue improvviso dell'energia immagazzinata con rottura catastrofica della cella (esplosione) e rilascio dei prodotti gassosi infiammabili (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>,

ecc.) (Incendio) e prodotti tossici (HF, e la possibile formazione di composti metalloorganici [17, 18] volatili, come, ad esempio il tetranichelcarbonile[19], Ni (CO)<sub>4</sub>, volatile (Teb = 43 °C) [20]. L'esplosione comporta anche la proiezione di frammenti metallici a distanze notevoli e, nel caso di celle cilindriche, costituisce un vero e proprio "effetto proiettile". Gli incendi sono difficilmente estinguibili con mezzi convenzionali (Vedi Capitolo 2).

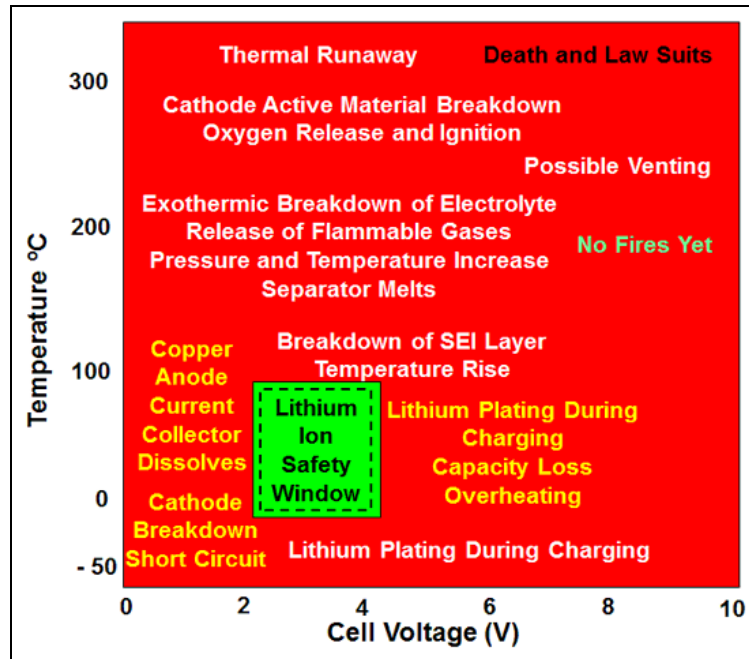


Figura 4. La "finestra operativa" di una cella Litio-ione (Fonte: [http://www.mpoweruk.com/lithium\\_failures.htm](http://www.mpoweruk.com/lithium_failures.htm))

La Figura 5 mostra che anche l'abuso elettrico e quello meccanico si traducono in effetti termici con conseguenze che variano a seconda di molti parametri quali:

- ✓ **swelling** (rigonfiamento cella)
- ✓ **perdita sigillatura** con fuoriuscita di sostanze chimiche componenti la cella (specialmente nelle prismatiche e nelle celle a bustina e nelle Li-po, anche esse a bustina)
- ✓ **venting** con emissione dei solventi, di loro prodotti di decomposizione o altri prodotti, con o senza incendio
- ✓ **esplosione e incendio** (rottura catastrofica della cella)

**A livello di cella**, tre tipologie di reazioni chimiche non desiderate [21] sono responsabili della maggior parte dei pericoli:

1. evaporazione dell'elettrolita:
  - a. rigonfiamento della cella con conseguente perdita prestazione
  - b. sovrappressione della cella, cui può conseguire il *venting* (con emissione di vapori infiammabili) o la semplice perdita di ermeticità sistema (che può permettere il contatto con, ad esempio, vapore acqueo)
2. formazione di prodotti gassosi provenienti da reazioni parassite
  - a. rigonfiamento della cella con conseguente perdita prestazione

- b. sovrappressione della cella, cui può conseguire il *venting* (con emissione di gas facilmente infiammabili e sostanze chimiche tossiche) o la semplice perdita di ermeticità sistema (che può permettere il contatto con, ad esempio, vapore acqueo)
3. reazioni decomposizione esotermica dell'elettrodo e/o dell'elettrolita
- a. *runaway* termico della cella, con rilascio di calore, energia cinetica, sostanze facilmente infiammabili in un fenomeno non controllabile e che è da considerare come il caso peggiore
- b. propagazione degli effetti alle celle adiacenti (effetto domino)

**Tabella 2. Batterie Litio-ione e principali effetti delle deviazioni dal campo V-T di normale funzionamento**

|                          |                            |  |  |  |
|--------------------------|----------------------------|--|--|--|
| Tensione<br>(Voltage, V) | <b>ABUSO<br/>ELETTRICO</b> | <b>Overvoltage</b><br>e/o<br><b>Overcharge</b> ( $V=Rxi$ ) | <i>Lithium plating</i> : Deposito di litio metallico all'anodo anche con formazione di dendriti                    | Perdita di capacità  |
|                          |                            |  | <i>Overheating</i>   | Cortocircuito interno  |
|                          |                            | <b>Undervoltage</b> (< 2 V) o <b>Overdischarge</b>         | Danneggiamento progressive dei materiali elettrodi   | <i>Swelling, Venting o Runaway</i>   |
|                          |                            |  |  | <b>ANODO</b> : ossidazione del rame del collettore con dissoluzione nell'elettrolita. Ne consegue Cortocircuito interno.<br><b>CATODO</b> : decomposizione del materiale attivo con rilascio di ossigeno e perdita permanente della Capacità nominale. |
| Temperatura<br>(T)       | <b>ABUSO<br/>TERMICO</b>   | Operazioni condotte al di sotto della temperatura minima   | Diminuzione della velocità delle reazioni chimiche che avvengono all'interno della cella                           | Perdita della Capacità nominale  |
|                          |                            |  |  | Deposito di litio metallico all'anodo.   |
|                          |                            | Operazioni condotte al di sopra della temperatura massima  | Aumento della velocità delle reazioni elettrodiche e stress meccanico dei piani di intercalazione ai due elettrodi | Fatica meccanica<br>Surriscaldamento   |
|                          |                            |  | Evaporazione del solvente<br>Innesco di reazioni chimiche non desiderate   | <i>Swelling o Venting</i><br><i>Venting o Runaway</i>  |



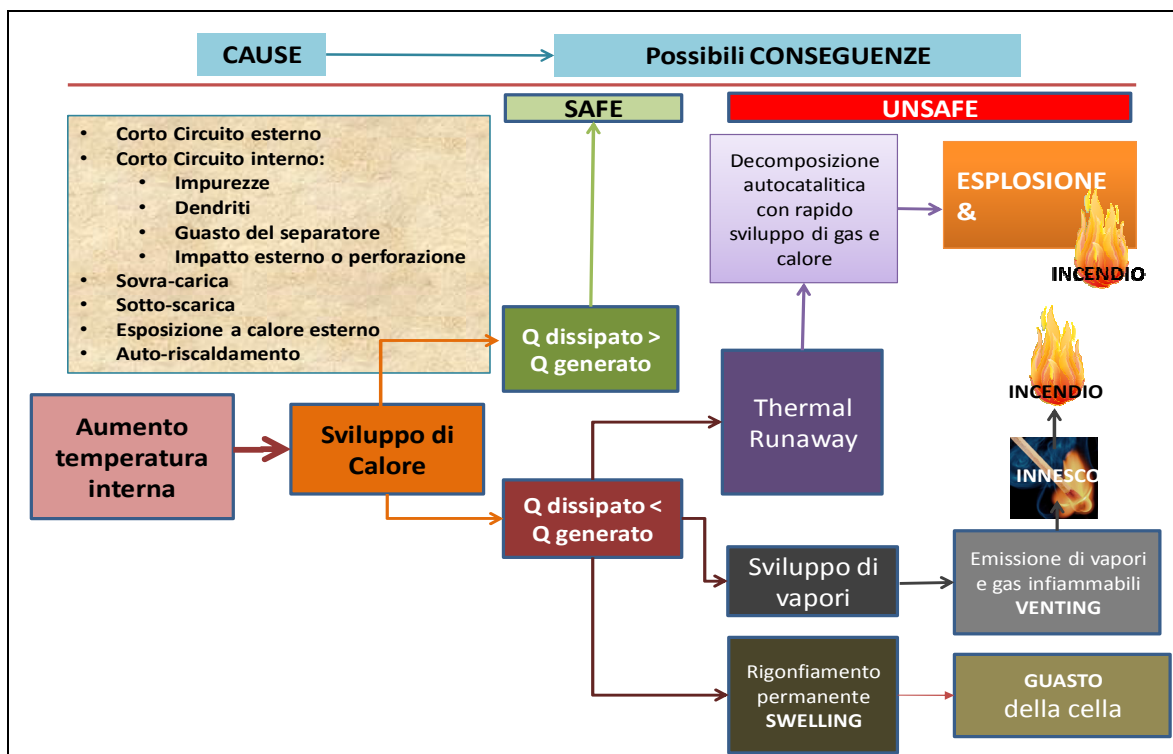


Figura 5<sup>2</sup>.

### 3.3 Bilancio dell'ossigeno e triangolo del fuoco: vulnerabilità intrinseca dei sistemi Li-ione

La principale fonte di instabilità presente all'interno di un sistema Litio-ione è costituita dalla presenza di sostanze organiche infiammabili il cui bilancio d'ossigeno secondo Lathrop e Hendrix [22] depone a favore di instabilità termica dei solventi convenzionali usati per l'elettrolita. A ciò si aggiunge la presenza del cosiddetto "Triangolo del fuoco" al suo interno (Figura 6).

**Il bilancio di ossigeno ( $B_o$ )** consente di valutare il rischio di instabilità termica/esplosione di un composto chimico. Per una molecola contenente  $x$  atomi di carbonio,  $y$  atomi di idrogeno e  $z$  atomi di ossigeno, si ricava dalla formula seguente:

$$B_o = -1600 (2x + y/2 - z) / \text{peso molecolare}$$

Se il bilancio di ossigeno ( $B_o$ ) è superiore a **-200**, il rischio di esplosione è considerato alto. Per i 4 solventi esaminati in Tabella 3 si ha  $B_o > -200$ .

<sup>2</sup> C. Di Bari, ENEA

**Tabella 3. Calcolo del Bilancio di Ossigeno per 4 solventi normalmente usati nelle batterie Lito-ione effettuato con SW S2S [23]**

| Sigla solvente | Formula bruta | Peso molecolare | Oxigen Balance | Warning del SW  |
|----------------|---------------|-----------------|----------------|---|
| EC             | C3H4O3        | 88              | - 90.9         | <b>Caution:</b><br><i>The Oxygen Balance is greater than - 200! The Substance should be treated as a potential high risk.</i> |
| DEC            | C5H10O3       | 118             | - 162.7        |   |
| DMC            | C3H6O3        | 90              | - 106.7        |   |
| EMC            | C4H8O3        | 104             | - 107.7        |   |

Nel caso del Triangolo del Fuoco, la Tabella 4 mette in evidenza che l'ossigeno (il comburente) proviene dalla decomposizione termica del materiale catodico – ossido – ma è contenuto anche negli stessi solventi organici; Il combustibile (carbonio) proviene dall'anodo, dai solventi organici e dai materiali polimerici; l'innesco è una fonte di energia (scintilla, calore) che consente di raggiungere la soglia di attivazione della reazione di combustione e può provenire dall'interno della cella o dall'esterno.

#### QUANTO OSSIGENO SI RENDE DISPONIBILE DALLA DECOMPOSIZIONE DEL CATODO e COME PUO' ESSERE UTILIZZATO?

La Total Battery Consulting [24] propone i seguenti calcoli per determinare il numero di moli di ossigeno che si possono sviluppare dalla decomposizione del materiale catodico, postulandone la decomposizione non completa e propone varie reazioni di combustione che possono avvenire all'interno di una cella.

Per una cella NMC 18650 da 2,5Ah viene assunta la composizione chimica di Tabella 5. Assumendo che la decomposizione dell'anodo avvenga secondo la reazione seguente, da 16 g di **Li<sub>0,5</sub>(NiMnCo)O<sub>2</sub>** si possono sviluppare  $0,082/4 = 0,02$  moli di O<sub>2</sub>:



Utilizzando le entalpie di combustione dei solventi, alcune delle quali sono riportate in Tabella 5, e le altre entalpie di combustione dei composti di Tabella 4, TBC consulting calcola il calore sviluppato dalla combustione completa di tutti gli altri composti nelle quantità presenti nella cella e le moli di ossigeno necessarie. Si può notare che le 0,02 moli sviluppate dalla decomposizione del catodo non sono comunque sufficienti per la combustione di tutti i materiali.

Alcuni calcoli sulla quantità di calore sviluppata dalla combustione completa di una cella NCA da 1,1 kg, 41 Ah e 100% SOC, sono stati eseguiti nel 2014 [25]<sup>3</sup> utilizzando l'algoritmo sviluppato dall'NFPRF nel 2011 [14]. I risultati e le approssimazioni adottate sono riportati in Tabella 6, dove sono calcolati separatamente i contributi dell'energia chimica e dell'energia elettrica che possono svilupparsi. L'O<sub>2</sub> necessario è quello stechiometrico.

<sup>3</sup> Cinzia Di Bari: "ASPETTI DI SICUREZZA DI SISTEMI DI ACCUMULO AL LITIO E AD ALTA TEMPERATURA PER APPLICAZIONI NELLE RETI ELETTRICHE". Report RdS/PAR2013/192. Settembre 2014

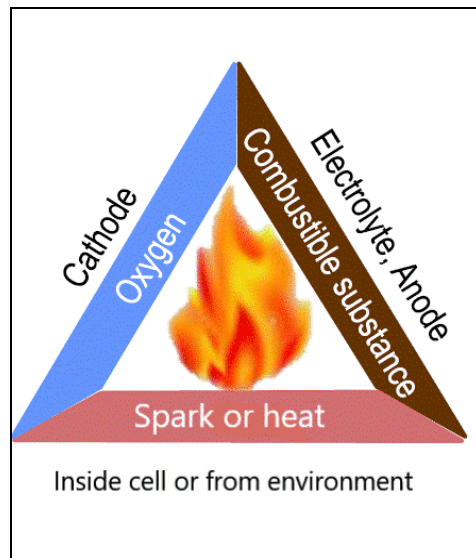


Figura 6

Tabella 4

|              |                    |   |
|--------------|--------------------|---|
| COMBURENTE   | OSSIGENO           | Decomposizione del Catodo: LMO, NMC, NCA, ecc.; solventi organici                   |
| COMBUSTIBILE | CARBONIO           | Grafite (Anodo); solventi organici (Elettrolita); materiali polimerici (separatore) |
| INNESCO      | Scintilla o calore | Interno cella (passaggio corrente) o dall'ambiente                                  |

Tabella 5.

| Composto                                | Quantità (g) | Calore sviluppato nella reazione di combustione (kJ) | Ossigeno necessario per la combustione totale (moli) | $\Delta H$ combustione (kJ/M) [24] |
|---|--------------|--|--|------------------------------------|
| Grafite                                 | 8 g          | 2624   | 0,667  | -                                  |
| Elettrolita (LiPF6 + solventi organici) | 5g di cui:   |  |  |                                    |
|   | DEC, 2g      | 45,4   | 0,102  | 2715                               |
|   | EC, 1g       | 13,24  | 0,028  | 1161                               |
|   | PC, 1g       | 17,82  | 0,039  | -                                  |
| Separatore: PVDF                        | 0,4 g        | 0,09   | 0,013  | -                                  |
| Separatore: PE                          | 1g           | 44   | 0,107  | -                                  |
| Alluminio                               | 3 g          | 93,11  | 0,083  | -                                  |
| Li libero                               | 0,7 g        | 1,4  | 0,05   | -                                  |

Tabella 6

| n. 1 cella VL41M            |   |                  |                                 | $E_{tot} = 9311,4 \text{ kJ} + 590,4 \text{ kJ} = 9.901,8 \approx 9.900 \text{ kJ}$  |
|-----------------------------|---|------------------|---------------------------------|--|
| $E_{chim} \approx E_{CBL}$  | Sostanze combustibili                               | Quantità stimata | Calore di combustione ( $Q_c$ ) | $E_{chim} = [(0,18 \text{ kg} \times 20,92 \text{ kJ/g}) + (0,13 \text{ kg} \times 42,66 \text{ kJ/g})] \times 1000 \text{ g/kg} = 9.311,4 \text{ kJ}$ |
|                             | Elettrolita: Si assume tutto DEC (dietil carbonato) | 0,18 kg          | 20,92 kJ/g                      |  |
|                             | Separatore: si assume tutto PP (polipropilene)      | 0,13 kg          | 42,66 kJ/g                      |  |
| $E_{el} \approx Q \times V$ | Q   | V = 4 Volt       |                                 | $E_{el} = 41\text{Ah} \times 4\text{V} \times 3,6 \text{ kJ/Wh} = 590,4 \text{ kJ}$  |
|                             | 41 Ah   |                  |                                 |  |

## 4 Tecnologie Litio-ione: dispositivi di protezione a livello di cella

Tenuto conto dei pericoli intrinseci di questa tecnologia le celle, i moduli e le batterie sono dotati di vari sistemi di prevenzione e protezione dei rischi associati: la formazione del SEI (*Solid Electrolyte Interface*) attraverso i cicli di formazione condotti in fabbrica su ciascuna cella, costituisce un aspetto di primaria importanza per garantire la stabilità del sistema elettrochimico (vedi anche Capitolo 1).

La Figura 7 elenca i dispositivi e le misure di prevenzione e protezione che si possono adottare a vari livelli, in un approccio *Multi Layer*, a partire dalla scelta di una chimica di cella sicura e, comunque, più adatta all'utilizzo che se ne vuole fare; passando per l'audit di fornitori e produttori al fine di stabilire la reale qualità del ciclo produttivo (prevenzione impurezze mediante controlli di qualità dei *Feed*, dei processi di lavorazione, formazione del SEI, ecc.) e della progettazione dei sistemi di accumulo. Si passa poi ai dispositivi di sicurezza presenti sulle celle (3) e i dispositivi che possono essere utilizzati sul circuito elettrico esterno che le coinvolge (4). I punti 5 e 6 trattano del BMS (mentre il punto 7 riguarda la costruzione del contenitore che deve includere, anche se non considerato nella figura, il sistema di smaltimento e gestione del calore e la comunicazione con il BMS: i punti 5, 6 e 7 verranno approfonditi nel Capitolo 7).

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. <b>Begin with intrinsically safe cell chemistry</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Designed in safety measures (See <a href="#">above</a>)</li></ul></li><li>2. <b>Supplier and production audit</b><ul style="list-style-type: none"><li>■ Cell design audit</li><li>■ Manufacturer's technical capability<ul style="list-style-type: none"><li>□ Staff (Engineering, Management)</li><li>□ Facilities (Materials analysis capability)</li></ul></li><li>■ Manufacturer's quality systems.</li><li>■ Process controls. (In place and being implemented)</li></ul></li><li>3. <b>Cell level safety devices</b><ul style="list-style-type: none"><li>■ CID (Circuit Interrupt Device)</li><li>■ Shut down separator</li><li>■ Pressure vent</li></ul></li><li>4. <b>External circuit devices</b><ul style="list-style-type: none"><li>■ PTC resistors (Low power only)</li><li>■ Fuses</li><li>■ Cell and battery isolation to prevent event propagation<ul style="list-style-type: none"><li>□ Electrical (Contactors)</li><li>□ Physical (Separation, barriers)</li></ul></li></ul></li><li>5. <b>BMS Software</b><ul style="list-style-type: none"><li>■ Monitoring of all key indicators coupled to control actions.</li><li>■ (Cooling, Power disconnect)</li></ul></li><li>6. <b>BMS Hardware</b><ul style="list-style-type: none"><li>■ Fail safe back-up hardware switch off in case of software failure. Set to slightly higher limits than the software controls.</li><li>■ Battery switch off in case the low voltage BMS power supply or other system component fails.</li></ul></li><li>7. <b>Containment</b><ul style="list-style-type: none"><li>■ Use multiple low capacity cells which release less energy in case of an event.</li><li>■ Design in physical barriers to heat and flame propagation between cells.</li></ul></li></ol> |
|---|

Figura 7. Multi Layer Safety Plan<sup>4</sup>

### 4.1 Dispositivi a bordo cella

#### 4.1.1 Dispositivo di venting

Questo dispositivo consente il rilascio di gas o vapori quando la pressione interna la cella supera determinati valori, generalmente maggiori di 10 bar. Questi dispositivi sono richiesti dalle norme ONU relative al trasporto di merci pericolose.

Possono essere utilizzati, a seconda della forma fisica della cella, i seguenti dispositivi: disco di rottura (celle cilindriche o prismatiche); una valvola (celle cilindriche o prismatiche) o un indebolimento della saldatura tra i terminali (*pouch-cell*). La Figura 8 mostra sia il disco di rottura

<sup>4</sup> <http://www.mpoweruk.com/safety.htm>

presente in testa ad una cella 18650, che il PTC di cui parleremo più avanti. Nel caso delle *pouch-cell* talvolta questo dispositivo è completamente assente. È un dispositivo monouso.

#### 4.1.2 Dispositivo di interruzione della corrente (CID)

Il CID (*Current Interrupt Device*) (Figura 9) protegge la cella dall'aumento corrente correlato allo aumento della pressione interna conseguente alla evaporazione del solvente o alla produzione di gas, provocati da abuso termico o elettrico. Si tratta di un dispositivo monouso che disabilita la cella permanentemente dall'erogazione di corrente. È comune nelle celle cilindriche, raro nelle celle prismatiche e generalmente assente nelle celle a bustina.

#### 4.1.3 PTC (Positive Temperature Coefficient)

Il PTC protegge le celle dal corto circuito esterno (Figura 8 e Figura 9). La resistenza del PTC è bassa durante le normali condizioni operative [26] e aumenta quando la temperatura raggiunge livelli critici, riducendo così il flusso di corrente. Si tratta di un dispositivo con comportamento reversibile, che ritorna ai valori normali di resistenza quando la temperatura si normalizza. Viene utilizzato solo delle celle cilindriche piccole.

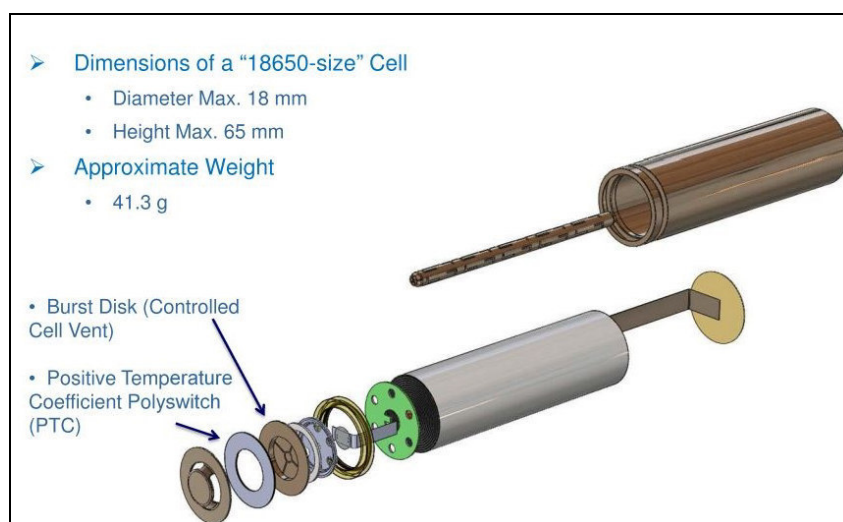


Figura 8. Disco di rottura e PTC di una cella litio ione 18650 [24]

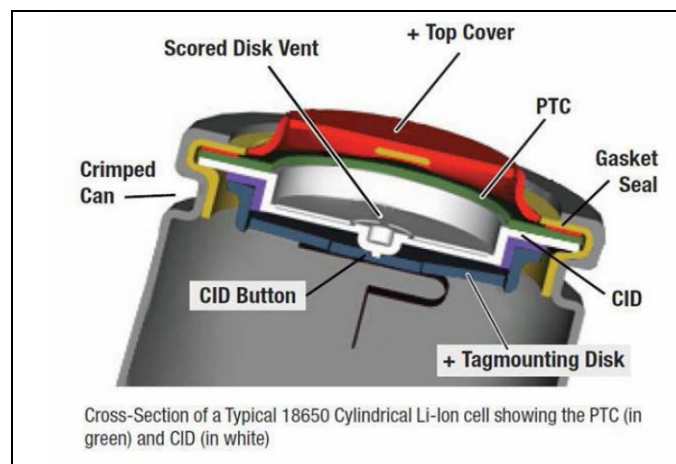


Figura 9

#### 4.1.4 Separatore e separatore con effetto shut-Down

Il separatore assicura la separazione tra anodo e catodo all'interno della cella, evitando nel contatto elettrico - dunque cortocircuito- ma consentendo la conduzione degli ioni tra gli elettrodi.

La corretta progettazione del separatore, ai fini della costruzione di batterie sicure, è il compromesso tra la robustezza meccanica e la porosità/le proprietà di trasporto degli ioni. Le caratteristiche ottimali di un separatore sono riassunte nella figura seguente (Figura 10).

➤ **Li-Ion Separator Properties**

- Highly porous, typically >40% porosity
- 12  $\mu\text{m}$  to 25  $\mu\text{m}$  thick. The challenge is to maintain acceptable mechanical strength in the very thin membranes.
- Low ionic resistivity (1.5-2.5  $\Omega\text{-cm}^2$ )
- Bulk puncture strengths >300g/mil.
- Low resistance to flow (low Gurley number)

Figura 10. [24]

Alcuni separatori mostrano il cosiddetto "effetto *shut-down*". Si tratta di un effetto innescato dall'innalzamento della temperatura e che sembra migliorare la sicurezza delle LIB: al raggiungimento di temperature superiori ai limiti della finestra operativa, il materiale polimerico può perdere la sua caratteristica porosità (dovuta al grado di cristallinità del materiale), trasformandosi in un film a struttura continua (tipicamente amorfa o in altro stato allotropico). Una volta che i pori sono chiusi, termina la conduzione degli ioni e la cella non funziona più, con possibile prevenzione di reazioni chimiche successive che possono portare al *thermal runaway*.

C'è, però, un potenziale pericolo in questa tipologia di separatori: quando i pori sono chiusi e la cella non funziona più, non esiste alcun modo di scaricarla in sicurezza: l'anodo litiato, in una cella completamente carica, a causa della formale presenza di Litio metallico, se esposto all'umidità dell'aria, può prendere fuoco immediatamente (*n.d.r.*: il Litio decompone l'acqua con formazione di idrogeno e sviluppo di calore).

## 4.2 Dispositivi esterni alla cella

### 4.2.1 Fusibile interno (Current Limiting Fuses)

Può essere utilizzato invece di un PTC quando si preferisce evitare una scarica consistente. Possono essere utilizzati due tipi di fusibili: *slow-blow time fuses* oppure *fast-acting fuses* con una bassa latenza corrente – tempo. Installati all'esterno della cella, i connettori possono essere installati all'interno della stessa [27]:

*When current exceeds a fuse's current rating, the link inside melts, breaking the circuit. This prevents fire hazards that result overheating or equipment damage from "over-current" situations.*

#### **Slow-Blow Fuses**

*Slow blow (time delay) fuses have built-in time delay features that prevent them from blowing during intermittent current surges (large motors, air conditioners and dryers). Time delay fuses blow under constant or repeated current overload conditions.*

#### **Fast-Acting Fuses**

*Regular and fast-acting fuses blow instantaneously--they protect lighting, electronic and other household circuits. Equipment on these circuits is sensitive to current surges.*

### 4.2.2 Diodi

I diodi possono essere utilizzati per la protezione delle batterie primarie: per prevenire la carica imprevista (diodi di bloccaggio), per regolare la scala la corrente di scarica nell'intorno di una cella più debole, utilizzando un circuito di bypass (Figura 11).

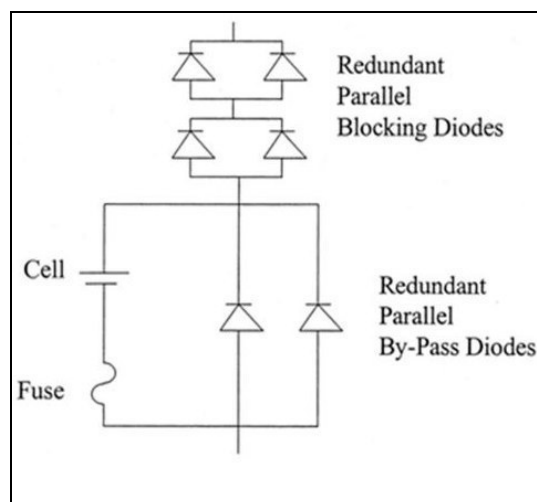


Figura 11. Fonte [24]

### 4.2.3 BMS

Il *Battery management system* ha funzioni gestionali basate sul monitoraggio e controllo di singole celle o di loro raggruppamenti, all'interno di un modulo o di una batteria. Attraverso il controllo dei parametri monitorati può esercitare anche funzioni di prevenzione dei rischi, attivando

dispositivi di protezione esterni alle celle, emettendo segnali di allarme, intervenendo nell'isolamento elettrico delle celle guaste. Sebbene questo argomento verrà ampiamente sviluppato nel Capitolo 7, riteniamo utile inserire le figure seguenti per dare un'idea dell'importanza di questo sistema di gestione (Figure: 12, 13, 14 e 15).

Si citano anche i seguenti studi che analizzano le funzioni di sicurezza del BMS [28] e le conseguenze dei guasti ipotizzabili su un sistema di accumulo noto [29] e su un sistema di accumulo sperimentale realizzato per uso automotive [30], utilizzando i metodi individuazione dei pericoli HazOp e LOPA.

- A BMS may monitor the state of the battery as represented by various items, such as:
  - **Voltage**: total voltage, voltages of individual cells, minimum and maximum cell voltage, or voltage of periodic taps
  - **Temperature**: average temperature, coolant intake temperature, coolant output temperature, or temperatures of individual cells
  - **State of charge (SOC)** or **depth of discharge (DOD)**: to indicate the charge level of the battery
  - **State of health (SOH)**: a variously-defined measurement of the overall condition of the battery
  - **Coolant flow**: for air- or fluid-cooled batteries
  - **Current**: current in or out of the battery
- The BMS will also control the recharging of the battery by redirecting the recovered energy (i.e.- from regenerative braking) back into the battery.

**Figura 12. BMS – funzioni di monitoraggio e controllo. [24]**

- A BMS may calculate values based on the above items, such as:
  - Maximum charge current as a charge current limit (CCL)
  - Maximum discharge current as a discharge current limit (DCL)
  - Energy [kWh] delivered since last charge or charge cycle
  - Internal impedance of a cell (to determine open circuit voltage)
  - Charge [Ah] delivered or stored (sometimes this feature is called Coulomb counter)
  - Total energy delivered since first use
  - Total operating time since first use
  - Total number of cycles

**Figura 13 BMS – funzioni gestione. [24]**



- A BMS may protect its battery by preventing it from operating outside its safe operating area, such as:
  - Over-current (may be different in charging and discharging modes)
  - Over-voltage (during charging)
  - Under-voltage (during discharging), especially important for lead–acid and Li-Ion cells
  - Over-temperature
  - Under-temperature
  - Ground fault or leakage current detection (system monitoring that the high voltage battery is electrically disconnected from any conductive object touchable to use such as vehicle body)

**Figura 14. BMS – funzioni di sicurezza 1 [24]**

- The BMS should prevent operation outside the battery's safe operating area by:
  - Including an internal switch (such as a relay or solid state device) which is opened if the battery is operated outside its safe operating area
  - Requesting the devices to which the battery is connected to reduce or even terminate using the battery
  - Actively controlling the environment, such as through heaters, fans, air conditioning, or liquid cooling

**Figura 15. Funzioni di sicurezza 2 [24]**

## 5 Tecnologie Litio-ione: dinamiche di guasto ed evoluzione incidentale

Con il termine “dinamica di guasto” [6] si intende la sequenza di eventi che intercorre tra l’innesco iniziale di una catena di eventi pericolosi ed il danno che ne consegue.

La dinamica di guasto delle celle litio ione fornisce un quadro comune per comprendere cosa accade durante il guasto di una cella e consente di identificare i punti deboli all’interno della stessa, fornendo un indicatore utile a focalizzare le attività di prevenzione, protezione e gestione delle emergenze, nonché le indirizzare le attività di studio e ricerca per migliorare la sicurezza.

Ci sono relativamente pochi processi di generazione del calore all’interno di una cella (associati ai processi di carica e scarica), tutti normalmente gestiti dai sistemi di raffreddamento di cui sono dotate le batterie; ma tutte le dinamiche di guasto culminano nella generazione di calore in quantità non prevista e, quantunque possa essere parzialmente dissipata dai sistemi di raffreddamento, l’accumulo anche puntiformi può costituire l’innesco di processi chimico-fisici con conseguenze anche catastrofiche.

Il guasto di una cella (*swelling, venting, runaway*) o il suo surriscaldamento si può propagare alle celle adiacenti. Fino a coinvolgere un intero modulo o l’intera batteria (effetto Domino) (Figura 16).

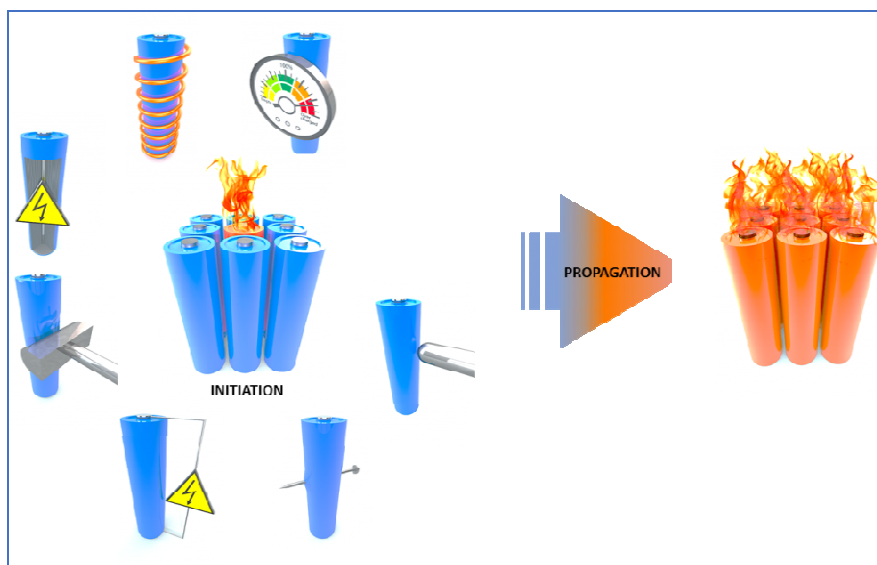


Figura 16. [31]

A seconda degli utilizzi specifici (Tabella 7), aumenta sia la quantità di materia- -che la quantità di energia messe in gioco da eventuali guasti. All’aumentare dell’energia, aumentano sia numero di celle che le dimensioni delle batterie realizzate, in termini di tensione e di contenuto energetico. Per motivi di sicurezza, al momento le celle raggiungono al massimo i 100 Ah. Per raggiungere i contenuti energetici necessari all’impiego finale, le celle vengono collegate tra loro in serie e in parallelo.

Un sistema di accumulo stazionario, può contenere anche 100.000 celle, disposte in moduli la cui tensione raggiunge al massimo i 60V, collegati tra loro in serie o parallelo e realizzando delle stringhe che, in caso di manutenzione ordinaria o straordinaria, possono essere escluse momentaneamente senza avere perdite importanti di capacità. Le stringhe hanno energie che vanno da 0,5 ad 1 MWh.

**Tabella 7. Accumulatori Li-ione: applicazioni, chimiche catodiche tipicamente utilizzate, potenza delle celle, tensione delle batterie impiegate e loro contenuto energetico. [6]**

| Application              | Cathode Chemistry  | Cell Size (Ah) | Battery Voltage (V) | Energy Content (Wh)  |
|--------------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|
| Cell Phone               | LCO, NMC           | 2–4            | 4 (Single cell)     | 8–16                 |
| Laptop                   | LCO, NMC, NCA      | 3–4            | 8–16                | 24–60                |
| Hybrid Electric Vehicles | NMC, NCA, LMO, LFP | 4–30           | 48–150              | 500–15,000           |
| Electric Vehicles        | NMC, NCA, LMO, LFP | 4–80           | 300–800             | 15,000–100,000       |
| Commercial Vehicles      | LFP, NMC           | 40–80          | 400–800             | 100,000–400,000      |
| PV-Home Storage          | NMC, NCA, LMO, LFP | 4–40           | 100–200             | 3000–10,000          |
| Industrial Storage       | NMC, LFP           | 20–80          | 200–800             | 100,000–500,000      |
| Grid Storage             | NMC, LFP           | 60–80          | 800                 | 2,000,000–30,000,000 |

Riprendendo la classificazione dei pericoli vista nel § 1, i pericoli associati alle batterie litio ione sono ben illustrati nella Figura 17, per sistema litio ione ad alta tensione. Distinguiamo, perciò, i seguenti tipi di pericoli:

- emissione di energia termica
- emissione di sostanze chimiche pericolose
- esplosione meccanica e/o rilascio di materiali con elevata energia cinetica
- rischio elettrico
- perdita di funzionalità del sistema

Le batterie Litio-ione presentano, perciò, le seguenti categorie di rischio [6]:

- Rischio termico:** le batterie litio ione hanno un'elevata densità di energia. Se questa energia è rilasciata in maniera non controllata, ad esempio a causa di cortocircuito interno o esterno della batteria, la temperatura della cella può aumentare e raggiungere valori molto elevati. In condizioni di adiabatiche, cioè senza scambi di calore con l'esterno, l'aumento di temperatura può raggiungere valori molto elevati (circa 720 K calcolati per un calore specifico di circa 1000 J/(kg K) e un'energia specifica di circa 200 Wh). In aggiunta, la conversione dell'energia elettrica in calore, può portare all'innesco di reazioni chimiche non desiderate con sviluppo di ulteriore calore. Ulteriori cause per l'aumento della temperatura interna di una cella, sono la sovraccarica, l'inversione di polarità, l'esposizione a calore esterno, ovvero tutte le condizioni che portano il sistema al di fuori della finestra operativa. Il caso peggiore che è stato individuato e quello costituito dall'innesco di una reazione di *runaway*.
- Rischio chimico:** l'elettrolita organico liquido può fuoriuscire dalle celle, per esempio attraverso una crepa nel contenitore (provocata da difetti di produzione o da sovrappressione interni o da abuso meccanico): l'elettrolita organico è costituito da solventi infiammabili che possono incendiarsi a contatto con l'aria. Il sale di litio, in questi casi può reagire con l'umidità dell'aria e formare prodotti corrosivi come acido fluoridrico che potrà corrodere gli altri componenti (inclusa la circuiti stile elettrica) della batteria: questi fenomeni possono avvenire a temperatura ambiente. A temperature più elevate, si può avere l'evaporazione del solvente o la sua decomposizione, con conseguente *venting* della cella ed emissione di questi prodotti. Il caso peggiore è comunque quello conseguente al runaway della cella: i prodotti di decomposizione della cella sono in gran parte infiammabili come già visto nei paragrafi precedenti. In (Figura 18), le sostanze elencate sono talune generate da reazioni non desiderate, mentre altre sono già presenti all'interno della cella (per la classificazione di pericolo dei composti chimici presenti all'interno delle celle litio ione, si veda il Capitolo 1).

- C. Rischio elettrico: come si è visto in Tabella 7, sono molti gli utilizzi in cui la tensione delle batterie supera i 60 V, specialmente negli utilizzi industriali come nella realizzazione di *Energy Storage Systems* per veicoli elettrici dove le batterie raggiungono tensioni tra i 400 V e gli 800 V. sappiamo che al di sopra dei 60 V sussiste il rischio elettrico.
- D. Rischi connessi rilascio di energia cinetica. Nel caso peggiore di un *Thermal runaway*, parte dell'energia prodotta e connessa sia alla formazione di composti a basso peso molecolare (aumento improvviso del volume) che alla produzione di calore (che aumenta il volume occupato dalle molecole a basso peso molecolare) può portare ad esplosione meccanica con proiezione di frammenti a notevole distanza o onda d'urto. Anche l'innesco della miscela di solventi o di loro prodotti di decomposizione, a contatto con l'aria presente nel contenitore esterno della batteria può portare ad una esplosione violenta, con disintegrazione del sistema. In Figura 19 si mostrano gli effetti della distruzione di un modulo batteria per veicoli ibridi, dopo un test di sovraccarica.

Come si vedrà nei paragrafi successivi, i rischi A, B e D sono determinati dall'innesco di reazioni chimiche indesiderate o evaporazione di componenti bassobollenti presenti all'interno della cella: si tratta di fenomeni connessi all'accumulo di calore – localizzato od esteso – all'interno dell'unità elementare di un Sistema di Accumulo: la cella.

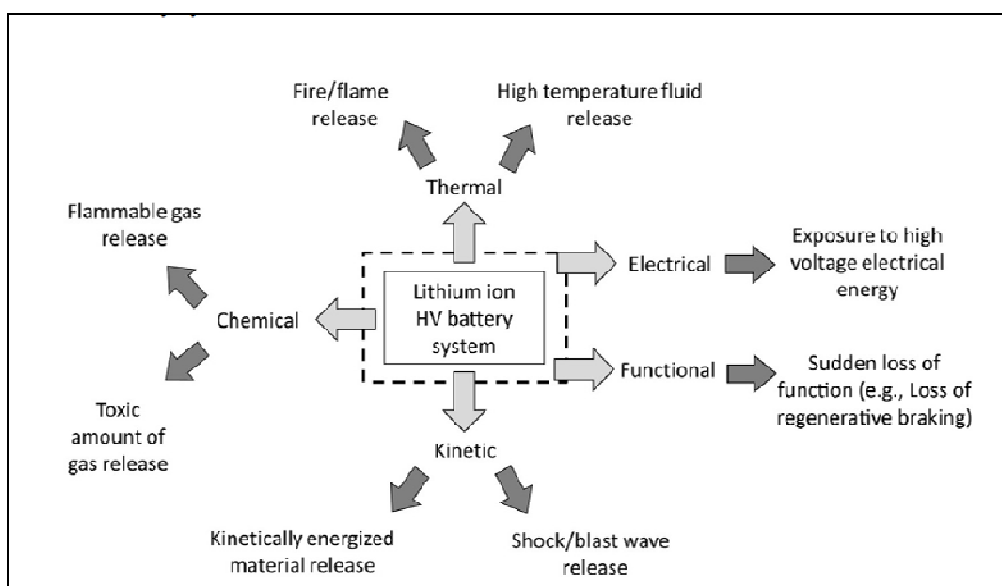


Figura 17. Tipologie di rischio e di rilascio associabili al guasto sistema litio ione ad alta tensione [6]

**Toxicity and Hazardous Materials Release**

- Li-Ion batteries contain both hazardous & flammable materials
  - **Gases:** carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), carbon monoxide (CO), hydrogen (H<sub>2</sub>), oxygen (O<sub>2</sub>)
  - **Liquid and solids:**
    - **Carbonates:** ethylene carbonate (EC, C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>), propylene carbonate (PC, C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>), dimethyl carbonate (DMC, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>), ethyl-methyl carbonate (EMC, C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>), and diethyl carbonate (DEC, C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>3</sub>),
    - **Hydrocarbons:** methane (CH<sub>4</sub>), ethane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), ethylene (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), propylene (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>), and butane (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>),
    - **Fluorides:** lithium hexafluorophosphate (LiPF<sub>6</sub>), ethyl fluoride (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>F) and hydrogen fluoride (HF)

*Note that not all compounds are likely to be present, and the concentrations are highly variable, depending on cell chemistry and the abusive condition that triggers thermal runaway.*

Figura 18. Sostanze chimiche pericolose che possono essere le rilasciate da sistemi litio ione [24]

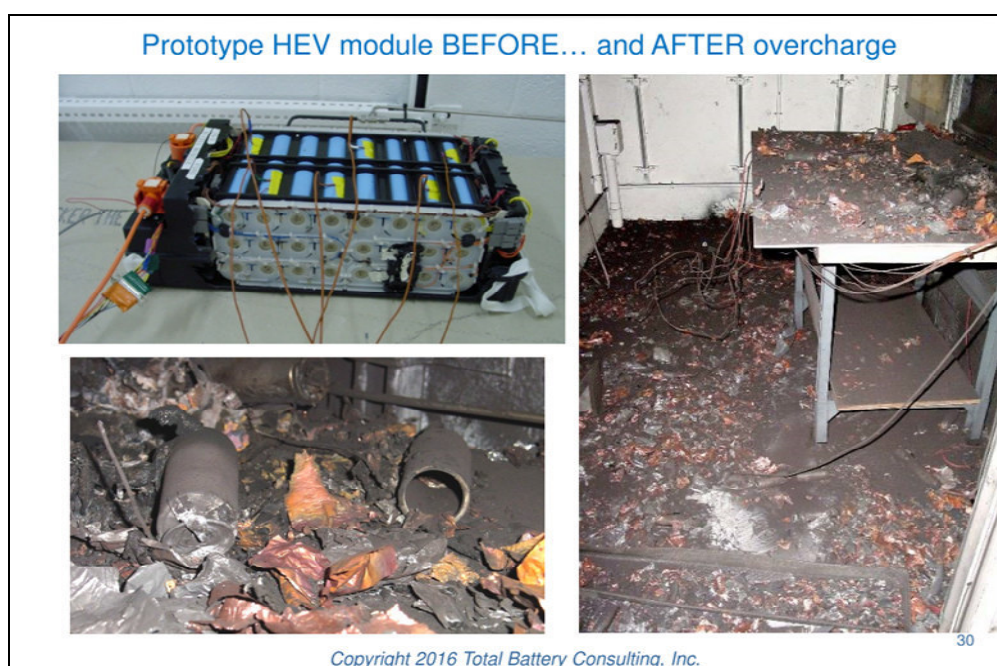


Figura 19. Effetti di un test di sovraccarica condotto su prototipo di batteria per veicolo ibrido [24]

Le modalità con cui possono essere innescati i fenomeni sopra descritti, sono riassunte nella Tabella 8.

In Figura 20 viene evidenziata, innanzitutto la struttura a strati una cella litio-ione. Per quanto riguarda i fenomeni interni alla cella, che ne provocano il guasto, ad esempio, l'effetto di un urto con un oggetto punta arrotondata che non produce perforazione (4. *Crush*) produce una deformazione anelastica che può interrompere il funzionamento del separatore con innesco di reazioni non desiderate che possono portare l'accumulo di calore; la presenza di impurezze (7)

può costituire il luogo di innesco di reazioni non desiderate, tra cui il *runaway*; la formazione di dendriti, di litio (sovraccarica) o rame (sottoscarica), è anch'essa causa di corto circuito interno.

Per comodità, possiamo raggruppare le cause di questi fenomeni nei seguenti gruppi di eventi, che passeremo in rassegna nei paragrafi successivi:

- A. Abuso termico (1. *External heat*)
- B. Abuso elettrico (2. *Overcharge*; 3. *Overvoltage*; 10. *External short circuit*; *Overdischarge*)
- C. Abuso meccanico (4. *Crusch*; 5. *Penetration*; vibrazioni, specialmente nel caso di moduli o batterie)
- D. Difetti di produzione (7. *Manufacturing particle*; 8. *Separator Misalignemnet*)
- E. Modalità di conduzione dei cicli di carica e scarica (Fatica meccanica e altri fenomeni)
- F. Altro: perdita di integrità meccanica, non visibile; contatto con sostanze chimiche non compatibili.

In Tabella 9 sono riportati alcuni esempi di incidenti e le cause (inneschi) del guasto individuati nel corso delle indagini post-incidente.

Nei paragrafi successivi si tratteranno più diffusamente, le dinamiche di guasto di cui ai punti da A ad F verranno delineate le evoluzioni incidentali e, laddove possibile, evidenziati sistemi di prevenzione o protezione.

La Figura 21 illustra la catena di eventi di guasto e alcune misure di prevenzione e protezione da adottare.

**Tabella 8. Elenco delle cause di guasto e delle conseguenze [6]**

| Sources of Risk  |             | Failure Description  |
|------------------|-------------|--|
| Over-Temperature |             | Cell materials reach critical activation temperature due to external heat source, separator shrinkage causes internal short circuits   |
| Overcharge       |             | Low lithiation phase of cathode causes exothermic structural change and oxygen release, activation of cell material thermal decomposition and separator short circuit  |
| Overvoltage      |             | Cell material reaches critical activation energy by overvoltage condition  |
| Overcurrent      | External    | Low external resistance causes high current flow resulting in significant joule heating of material to critical failure temperature, activation of side reactions and separator shrinkage  |
|                  | Internal    | Low internal resistance causes high current flow resulting in significant joule heating of material to critical failure temperature, activation of side reactions and separator shrinkage  |
| Lithium Dendrite |             | Dendritic lithium formation through over-potential at anode under charge. A galvanic path, internal to cell, between anode and cathode, high current flow resulting in significant joule heating of material to critical failure temperature                             |
| Overdischarge    |             | Dendritic copper formation through dissolution and redeposition of anode current collector. A galvanic path is formed, internal to cell, between anode and cathode, high current flow resulting in significant joule heating of material to critical failure temperature |
| Mechanical       | Penetration | Galvanic path, internal to cell, between cell bi-layers due to internal structural deformation and introduction of conducting external object  |
|                  | Crush       | Galvanic path set up, internal to cell, between cell bi-layers due to internal structural deformation  |
| Manufacturing    |             | Galvanic path set up, internal to cell, between cell bi-layers by impurity introduced through cell manufacturing process   |

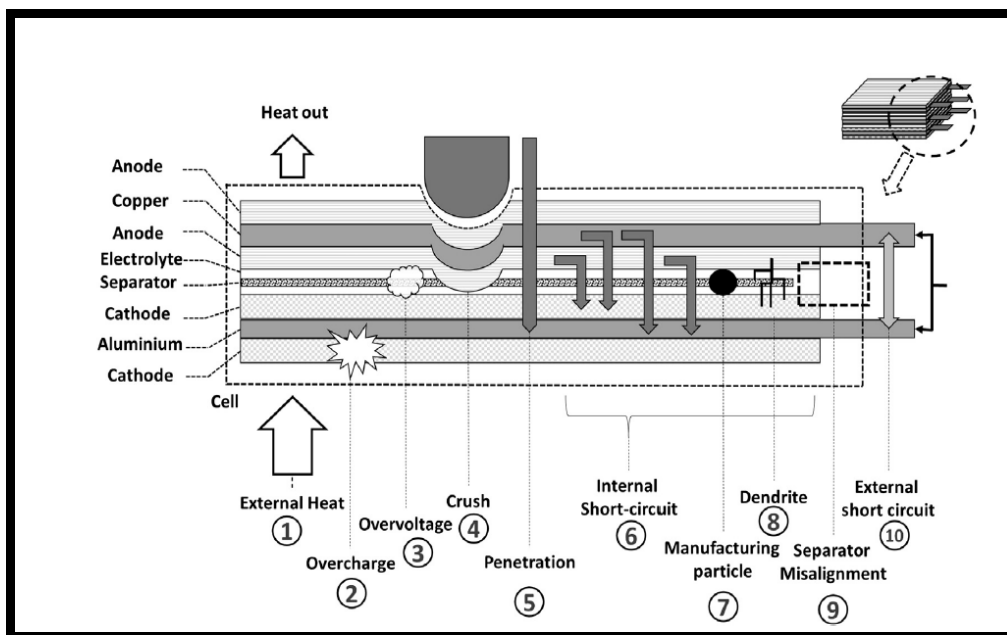


Figura 20. Cause di guasto di una cella ed effetti interni al sistema [6]

Tabella 9. [6]

|    | Failure Trigger        | Example  | Reference   |
|----|------------------------|--|---|
| 1  | External heat          | 1. Tesla wall plug initiated fire                                  | 1. Tesla official Statement 10-01-2014  |
| 2  | Overcharge             | 1. US & UK "Hoverboard" recall                                     | 1. Recall notice CPSC 16-218, CTSI press brief  |
| 3  | Overvoltage            | 1. US & UK "Hoverboard" recall                                     | 1. Recall notice CPSC 16-218, CTSI press brief  |
| 4  | Crush                  | 1. BYD Taxi crash,<br>2. Samsung S7 note                           | 1. BYD official statement 05-29-2012<br>2. Samsung Info-graphic "what we discovered" Samsung, 01-23-2017  |
| 5  | Penetration            | 1. Tesla Highway debris incident                                   | 1. NHTSA investigation: PE13-037  |
| 6  | Internal short circuit | 1. Boeing 787 Dreamliner   | 1. NTSB incident report NTSB/AIR-14/01 PB2014-108867  |
| 7  | Manufacturing Particle | 1. Sony Battery warehouse,<br>2. Samsung S7 note                   | 1. Lithium-ion Hazards and Use Assessment (Springer Science & Business Media, 2012)<br>2. Samsung Info-graphic "what we discovered" Samsung, 01-23-2017 |
| 8  | Dendrite               | 1. Mitsubishi iMiev charging issue<br>2. Boeing 787 Dreamliner     | 1. Mitsubishi 'cease charging request' 03-27-2013<br>2. NTSB incident report NTSB/AIR-14/01 PB2014-108867   |
| 9  | Separator misalignment | 1. Samsung S7 note   | 1. Samsung Info-graphic "what we discovered" Samsung, 01-23-2017  |
| 10 | External short circuit | 1. Chevrolet Volt,<br>2. Honda civic HEV<br>3. Fisker Karma Recall | 1. NHTSA investigation, Doc. Number: DOT HS 811 573<br>2. NHTSA Recall Number: 07V034000<br>3. NHTSA Recall number: 12V241000                           |

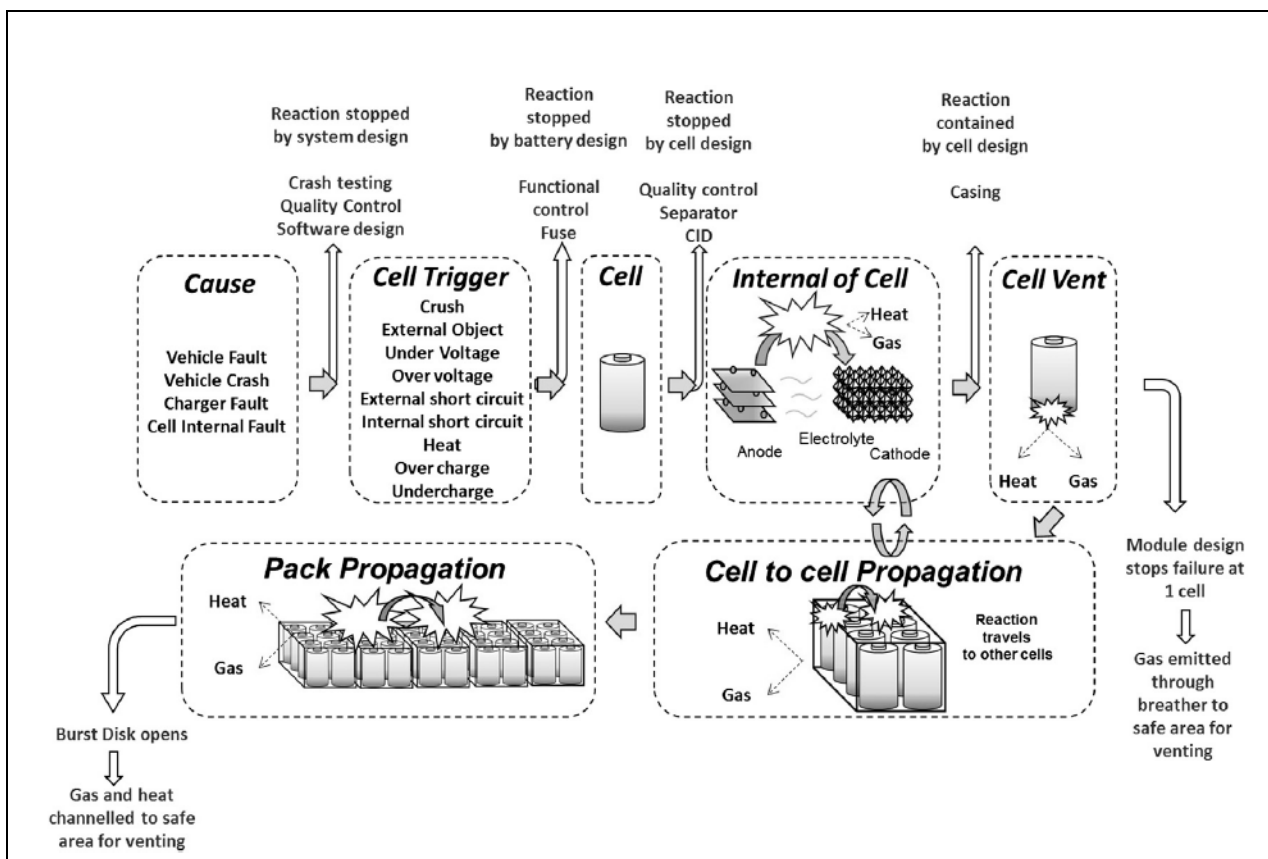


Figura 21. [6]



## 5.1 Abuso termico

L'abuso termico [32] può comportare surriscaldamento o sottoraffreddamento della cella o del sistema di accumulo. L'aumento della temperatura al di sopra della  $T_{max}$  comporta l'innescò di reazioni non desiderate, a partire dalla evaporazione del solvente per terminare all'innescò di una reazione dei *runaway*, con rottura catastrofica del sistema (cella o batteria a seguito di propagazione di tali fenomeni all'intera batteria). La diminuzione della temperatura provoca fenomeni diversi con conseguenze diverse. Alla base di questa fenomenologia vi è la correlazione con la temperatura, delle grandezze termochimiche (inclusi i potenziali di ossido-riduzione) e di quelle cinetiche (incluso il valore dell'energia di attivazione, ovvero l'energia minima necessaria ad un sistema per innescare una reazione chimica) che governano le reazioni utili al funzionamento dell'accumulatore, e tutte le possibili reazioni parassite o indesiderate che possono avere effetti sulla sicurezza del dispositivo.

L'equazione di Arrhenius è spesso richiamata per spiegare, in modo molto semplificato, alcuni di questi fenomeni: essa collega la velocità di una reazione chimica alla temperatura e all'energia di attivazione ed è valida in un campo ristretto di variazioni di temperatura, al cui interno il meccanismo della reazione considerata (inclusa la formazione dello stato attivato) non subisce variazioni e  $k_0$  ed  $\Delta E^\ddagger$  sono indipendenti dalla T:

$$k = k_0 e^{-\frac{\Delta E^\ddagger}{RT}}$$

dove:

- $k$  è la costante di velocità
- $k_0$  è un fattore pre-esponenziale, costante per variazioni di temperatura non troppo elevate
- $\Delta E^\ddagger$  è l'energia di attivazione, anch'essa costante per variazioni di temperatura non troppo elevate
- $R$  è la costante dei gas
- $T$  è la temperatura assoluta

L'equazione mostra che, all'aumentare della temperatura, aumenta la velocità di reazione, che diminuisce al diminuire di T.

Le modalità di abuso o uso non appropriato possono essere riepilogate come segue:

1. **Surriscaldamento** ( $T > T_{max}$  della finestra operativa) dovuto a:
  - 1.1. Esposizione a fonti esterne di calore
  - 1.2. Esposizione a fiamma
  - 1.3. Guasto del BMS
  - 1.4. Guasto del sistema di raffreddamento
  - 1.5. Abuso elettrico
  - 1.6. Abuso meccanico
2. **Sottoraffreddamento** ( $T < T_{min}$  della finestra operativa) dovuto a:
  - 2.1. Esposizione a bassa temperatura

In questa sezione tratteremo i punti 1.1, 1.2 e 2.1.

### 5.1.1 Esposizione a calore esterno o fiamma

All'aumentare della temperatura interna, aumenta la velocità delle reazioni desiderate, per effetto della legge di Arrhenius. Ciò comporta l'aumento della potenza elettrica sviluppata dalla cella, ma correnti elevate portano all'aumento del calore prodotto per effetto Joule ( $i^2R$ ) e, dunque, un ulteriore aumento di temperatura.

Se la velocità di produzione del calore è superiore alla velocità di rimozione dello stesso, l'accumulo di calore all'interno della cella può portare all'innescò di fenomeni termici fino al *Thermal Runaway*<sup>5</sup>, con rottura catastrofica della cella, riassunti in Figura 22: si tratta di fenomeni individuati grazie agli studi calorimetrici (DSC, ARC e calorimetria di fuoco) condotti sulle sostanze singole, sui componenti non attivi e su celle litio-ione [33]. Attraverso queste tecniche è possibile individuare le temperature di inizio (*Tonset*), il calore assorbito oppure prodotto e la velocità di produzione, dei fenomeni chimico fisici non desiderati o parassiti quali: cambiamenti di stato, reazioni di decomposizione, fusione dei materiali polimerici, altri tipi di reazioni tra cui il *runaway* (Figura 23):

*The table on the left of Figure 1 gives the typical range of temperatures for onset of the exothermic reactions in a typical Li-ion cell, while the right-hand chart quantifies the heat release in terms of the adiabatic temperature rise of the cell.*

*Exothermic anode/electrolyte and cathode/electrolyte reactions together provide comparable heat release to the electrical energy content of the cell, which by itself is sufficient to raise the cell temperature to > 700°C. Complete combustion of the organic solvent outside the cell can provide much more heat.*

*Note that even in cells with metal oxide cathodes, the amount of oxygen available from cathode decomposition is only a third of that needed for complete combustion of the electrolyte, indicating that a majority of the solvent combustion will occur outside the cell (consistent with experimental observations).*

*Finally, and leaving aside the possibility of potential thermite reactions, the combustion of the carbon from the anode and conductive carbon additives can provide even greater heat release. The potential for such great heat release is the basis for safety concerns and the reason that Li-ion safety triggers must be understood and addressed.*

Nel caso di esposizione a fiamma, oltre all'immediata aggressione dei materiali che costituiscono l'involucro della cella o della batteria, il calore fornito non viene smaltito e viene completamente accumulato all'interno del sistema: a seconda della temperatura superficiale e della conducibilità termica dei materiali, e dello stato di carica, si innescano fenomeni diversi, che vanno dal *venting* al *runaway*. Dal punto di vista fenomenologico, si citano i test effettuati presso il Centro Sperimentale di Capannelle del CNVVF [34].

Per quanto riguarda la mitigazione delle conseguenze della sovra-temperatura, al di là della pratica di buona progettazione, gli sforzi sono focalizzati sul limitare l'effetto della propagazione delle conseguenze del guasto di una cella, alle celle adiacenti. I dispositivi di sicurezza presenti a bordo cella possono limitare le conseguenze di variazioni di temperatura moderate, come pure il BMS che può effettuare operazioni di controllo dei parametri termici ed agire sul sistema in vari modi.

---

<sup>5</sup> Si veda il Capitolo 2

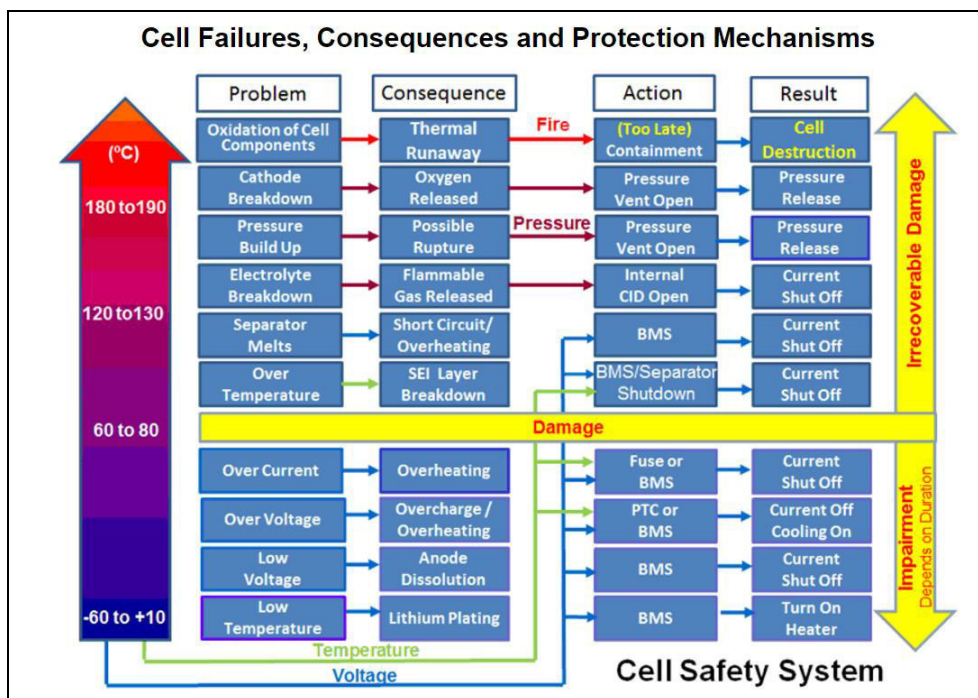


Figura 22. Fenomeni non desiderati innescati da deviazioni della temperatura interna di una cella litio-ione al di fuori del campo di normale funzionamento, conseguenze e sistemi di protezione generalmente adottati. La cella viene danneggiata permanentemente dopo i 60 C<sup>6</sup>

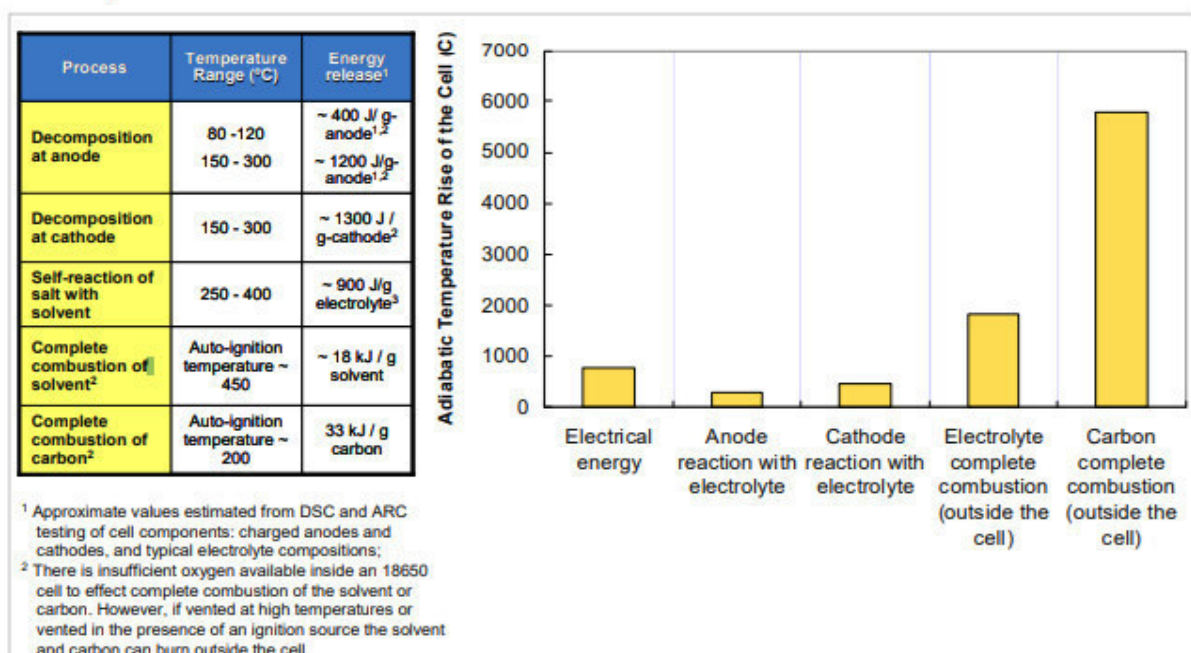


Figura 23 [35]<sup>7</sup>

<sup>6</sup> <http://www.mpoweruk.com/bms.htm>

<sup>7</sup> Sriramulu, Suresh, and Stringfellow, Richard. *Internal Short Circuits in Lithium-Ion Cells for PHEVs*. United States: N. p., 2013. Web. doi:10.2172/1124078.

### 5.1.2 Esposizione a bassa temperatura

L'effetto della riduzione della temperatura, è quello di diminuire la velocità delle reazioni elettrochimiche che avvengono all'interno della cella. Questo si traduce nella riduzione della capacità di trasporto della corrente all'interno della cella, sia nelle fasi di carica che nelle fasi di scarica, provocando una diminuzione della capacità (C).

La diminuzione della temperatura influenza anche il processo di intercalazione e de-intercalazione dello ione litio, con effetti anche sulla elasticità dei reticoli cristallini dei materiali, rende più difficile l'inserzione del litio all'interno degli elettrodi. Come nel caso dell'*overvoltage*, quando gli elettrodi non riescono a reagire correttamente al passaggio di corrente, ne risulta una diminuzione del potenziale elettrodico e il **deposito di litio metallico all'anodo** (*Lithium plating*) sotto forma di dendriti, con una perdita irreversibile di capacità e, a lungo andare, perforazione del SEI e cortocircuito interno.

L'esposizione a bassa temperatura può provocare anche danni meccanici a celle e batterie, dovute all'ingrassimento dei materiali plastici e dei materiali metallici che devono essere scelti accuratamente nel caso di sistemi destinati a lavorare a temperature molto al di sotto degli 0°C.

## 5.2 Abuso elettrico

La deviazione dai parametri elettrici di normale funzionamento, come definite dalle specifiche tecniche di un sistema di accumulo e dalla loro conferma sperimentale, si può configurare come *misuse* (per deviazioni dalle normali condizioni operative di intensità e durata moderate e, pertanto, potenzialmente reversibili) oppure un vero e proprio abuso.

Si possono distinguere tre tipologie di abuso elettrico: *Overcharge*, *Overdischarge* e *Shortage*. L'inversione di polarità può essere aggiunta a questo gruppo di fenomeni (Tabella 10).

**Tabella 10. Abuso elettrico**

|                      |                       | Traduzione in italiano  | Cause a livello di cella                        | Cause a livello di Batteria o modulo  |
|----------------------|-----------------------|---|---|---|
| <b>Overcharge</b>    | <i>Overvoltage</i>    | Sovra Tensione  | – Ricarica effettuata con mezzi non appropriati | – Ricarica effettuata con mezzi non appropriati<br>– Guasto del BMS<br>– Sbilanciamento delle celle |
|                      | <i>Overcurrent</i>    | Sovra Corrente  |   |   |
| <b>Overdischarge</b> | <i>Overdischarge</i>  | Sovra Scarica   | – Guasto del BMS                                |   |
|                      | <i>Undervoltage</i>   | Sotto Tensione  |   |   |
|                      |                       | Inversione di polarità  |   |   |
| <b>Shortage</b>      | Cortocircuito esterno | – Immersione in acqua salata<br>– Cortocircuitazione dei terminali<br>– Contatto dei terminali con parti metalliche |   |   |
|                      | Cortocircuito interno | – Abuso meccanico<br>– Difetti di produzione: particolato, difetti meccanici  |   |   |

### 5.2.1 Overcharge

Si definisce **Overcharge** (sovraccarica), la condizione in cui una cella permane, per un certo intervallo di tempo, in uno stato di carica superiore al 100% SOC (*State of Charge*) di targa, raggiungendo un valore di tensione superiore alla tensione massima definita dalla finestra operativa.

La sovraccarica determina la migrazione massiva dello ione litio dal catodo all'anodo, ed evolve nella decomposizione spontanea del materiale catodico: questo fenomeno è molto importante per catodi contenenti metalli di transizione, ed è considerata la condizione di guasto più severa. Molteplici fonti attestano che le celle LFP possano essere considerate immuni dagli effetti della sovraccarica, in quanto il reticolo cristallino del LiFePO<sub>4</sub> mantiene le stesse dimensioni e la struttura del FePO<sub>4</sub>, cioè la presenza dello ione litio è ininfluenza sulla struttura cristallina del fosfato. Nel caso degli ossidi di metalli di transizione, invece, quando la concentrazione di litio intercalato va al di sotto di certi valori, il materiale catodico subisce un cambiamento strutturale significativo cui segue la sua decomposizione esotermica con liberazione di ossigeno [36]. Affinché questi fenomeni avvengano è necessario che la sovraccarica perduri nel tempo (Figura 24).

In generale il fenomeno **ha inizio** al di sopra del **SOC 100%** e intorno al SOC 150%: tutto dipende da come è stato determinato il valore di SOC 100%, ovvero se si fa riferimento a dati di targa o a dati sperimentali, e dalle specifiche proprietà del materiale catodico: la tensione, in questi casi può raggiungere 5 V.

Seguono seguenti fasi successive:

- la tensione è maggiore della tensione massima operativa: innesco della elettrolisi esotermica dell'elettrolita, accompagnato dalla produzione di gas; delitizzazione del catodo e convergenza del litio verso l'anodo: il catodo inizia la sua decomposizione e altre reazioni parassite con i componenti della cella contribuendo l'aumento della produzione di gas.
- La concentrazione del litio ha raggiunto valori talmente bassi, contribuendo ad aumentare la resistenza interna della cella e l'aumento di tensione: in relazione alla capacità dell'anodo, può iniziare la deposizione di litio metallico, sotto forma di dendriti, con diminuzione della temperatura di attivazione del *Thermal runaway*.
- Se la sovraccarica continua, il materiale catodico si decompone rilasciando ossigeno e calore. L'accumulo di calore all'interno della cella innesca altre reazioni non desiderate fino al runaway e l'accumulo di ossigeno si rende disponibile per la combustione interna dei materiali infiammabili.

Un'alta velocità di carica (C-rate), specialmente quando la resistenza interna della cella è aumentata (invecchiamento), contribuisce ad aumentare la velocità di accumulo del calore e a anticipare la temperatura di innesco del *Thermal runaway*. Ma più semplicemente, può aumentare la tensione V più rapidamente contribuendo all'evaporazione dell'elettrolita e all'aumento della pressione interna la cella e altri fenomeni termici.

Le strategie di mitigazione sono basate sulla limitazione dello stato di carica (SOC) mediante il BMS; il dispositivo di *venting* presente su celle cilindriche e prismatiche; l'indebolimento della saldatura tra i terminali di una cella a bustina; il separatore con effetto *shut down*.

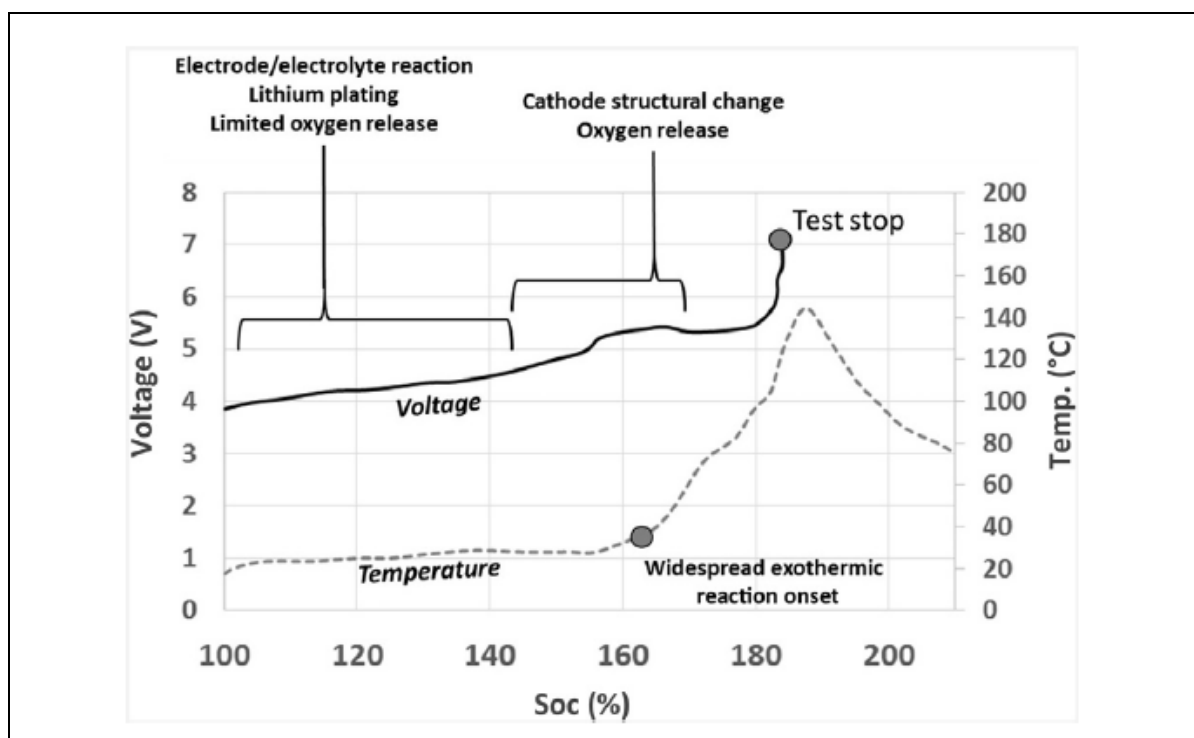


Figura 24. Comportamento a *Overcharge* (SOC) in una cella litio ione [6]

### 5.2.2 *Overvoltage*

Questa condizione viene raggiunta [31] per valori di tensione mantenuti a  $V > V_{max}$  (identificato dalla finestra operativa) per un certo tempo. Può essere considerato un caso specifico di sovraccarica e si può raggiungere nelle seguenti condizioni:

- guasto del BMS
- ricarica effettuata con dispositivi non adeguati

Ne consegue un aumento eccessivo della corrente interna con innesco dei seguenti fenomeni:

- Lithium Plating: valori eccessivi di corrente non consentono agli ioni litio una corretta intercalazione all'anodo e così gli ioni litio si accumulano sulla sua superficie dell'anodo dove si depositano come litio metallico. In questa condizione: il numero di ioni litio liberi diminuisce, con conseguente perdita di capacità irreversibile; Inoltre, giacché il deposito del litio non è omogeneo ma assume la forma di dendriti, questo può provocare il corto circuito interno tra gli elettrodi;
- Perdita di stabilità del materiale catodico: il materiale catodico si decompone rilasciando CO<sub>2</sub> che provoca aumento della pressione interna alla cella [37].
- Surriscaldamento: l'aumento eccessivo di corrente circolante provoca il surriscaldamento della cella per effetto Joule, con aumento della temperatura interna e innesco delle reazioni non desiderate tipiche dell'abuso termico. La decomposizione dell'elettrolita è il primo fenomeno che può essere iniziato: la reazione è esotermica e produce gas a basso peso molecolare con aumento localizzato della pressione e azionamento, laddove esistente, del dispositivo di *venting* (che, per una cella 18650 si attiva tipicamente tra 8-10 bar [38] e si apre definitivamente quando la pressione interna raggiunge 15-20 bar) o rilascio diffuso. I gas/vapori emessi possono essere sostanze tossiche (come HF) e infiammabili con temperature di auto iniezione abbastanza basse [39, 40]. Nel caso in cui l'emissione di aeriformi interessi una o più celle appartenenti ad una batteria o ad un modulo, il gas emesso può accumularsi in alcuni punti del sistema, fino a raggiungere concentrazioni pericolose (innesco incendio o sovrappressione).

Il monitoraggio e la prevenzione di condizioni di *overvoltage* è affidato al controllo elettronico del sistema di accumulo (BMS). [41]

*[...]the battery becomes unstable if inadvertently charged to a higher than specified voltage. Prolonged charging above 4.30V on a Li-ion designed for 4.20V/cell will plate metallic lithium on the anode. The cathode material becomes an oxidizing agent, loses stability and produces carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). The cell pressure rises and if the charge is allowed to continue, the current interrupt device (CID) responsible for cell safety disconnects at 1,000–1,380kPa (145–200psi). Should the pressure rise further, the safety membrane on some Li-ion bursts open at about 3,450kPa (500psi) and the cell might eventually vent with flame*

*Venting with flame is connected with elevated temperature. A fully charged battery has a lower thermal runaway temperature and will vent sooner than one that is partially charged. All lithium-based batteries are safer at a lower charge, and this is why authorities will mandate air shipment of Li-ion at 30 percent state-of-charge rather than at full charge.*

*The threshold for Li-cobalt at full charge is 130–150°C (266–302°F); nickel-manganese-cobalt (NMC) is 170–180°C (338–356°F) and Li-manganese is about 250°C (482°F). Li-phosphate enjoys similar and better temperature stabilities than manganese. (See also BU-304a: Safety Concerns with Li-ion and BU-304b: Making Lithium-ion Safe.)*

*Lithium-ion is not the only battery that poses a safety hazard if overcharged. Lead- and nickel-based batteries are also known to melt down and cause fire if improperly handled. Properly designed charging equipment is paramount for all battery systems and temperature sensing is a reliable watchman.*

### 5.2.3 Overcurrent

Con questo termine [6] si indica una condizione in cui il flusso di corrente supera quello di normale funzionamento. L'aumento di corrente provoca, per *effetto Joule*, l'aumento della temperatura e, dunque, l'accumulo di calore che può non essere dissipato: l'aumento di temperatura localizzato, può raggiungere valori tali da innescare reazioni non desiderate. La generazione di calore che consegue questa modalità di guasto, è funzione di: intensità di corrente, resistenza elettrica, durata del flusso di corrente, velocità di dissipazione del calore.

La configurazione fisica della cella influisce sugli esiti di questa condizione di abuso: elevata densità di corrente può verificarsi in parti chiave della cella, quali: collettori di corrente; terminali; componenti elettrici/elettronici e dispositivi di sicurezza; saldature interne; sigillatura del contenitore. Ad esempio, il surriscaldamento dei collettori o dei terminali può essere superiore a quello del corpo della cella (maggiore conducibilità termica) con conseguente danneggiamento del separatore ed evoluzione del corto circuito interno tra anodo e catodo, che costituisce il caso più grave: nel corso dell'investigazione delle cause dell'incidente occorso sul Boeing 787 delle Japan Airlines occorso il 7 gennaio 2013 [42], è stato evidenziato che le dimensioni delle terminali delle celle e le temperature raggiunte, potrebbero essere state le cause di innesco dell'incidente.

Le condizioni tipiche che possono provocare un *Overcurrent* sono:

1. Guasto del BMS
2. Ricarica ad un *C-rate* superiore a quello di targa, con dispositivi non adeguati o per errore
3. Cortocircuito esterno, a livello di cella o a livello di batteria
4. Corto circuito interno a livello di cella, tra anodo e catodo

All'aumentare della quantità di carica accumulata all'interno del dispositivo, ovvero del SOC raggiunto, aumenta la quantità di corrente che fluisce durante il fenomeno.

Il calore accumulato all'interno della cella, inizia i fenomeni termici già descritti nel caso di abuso termico, fino all'innescò del *runaway*.

I sistemi di prevenzione da adottare sono quelli adottati per la prevenzione dei rischi da cortocircuito, tra i quali l'adeguata progettazione del BMS.

#### 5.2.4 *Undervoltage e overdischarge*

Per **valori di tensione inferiori alla tensione minima** individuata dalla finestra operativa ( $V < V_{\min}$ ), si innescano fenomeni di danneggiamento dei materiali elettrodi. Condizioni di carico esterno elevato o l'aumento di resistenza interna di una o più celle, possono portare allo sbilanciamento di una cella in una serie all'interno di una batteria, conducendo ad una **inversione di polarità** (il terminale positivo sarà più negativo del terminale negativo) che, a seconda della durata del fenomeno, come nel caso delle pile al litio, portano a rottura catastrofica: l'inversione di polarità può essere trattata come un caso estremo di *undervoltage*.

Il valore  $V_{\min}$  è associato al processo di produzione, durante la quale, come sappiamo, l'**anodo** è introdotto in uno stato non litato: gli ioni presenti in una cella sono perciò quelli contenuti nel materiale catodico + quelli portati dal sale di litio (ad esempio: LiPF<sub>6</sub>) dell'elettrolita. Questo assicura che la concentrazione di litio all'interno del catodo non sia superiore a quella compatibile con la struttura cristallina del materiale. Dopo la formazione del SEI mediante i primi cicli di carica e scarica condotti nel sito di produzione, un certo numero di ioni litio si spostano dal catodo e si intercalano nell'anodo, determinando il valore  $V_{\min}$  di funzionamento della cella quale funzione del rapporto tra i valori delle attività dello ione litio nei due elettrodi (*Equazione di Nernst* per una pila a concentrazione).

In caso di *undervoltage* possono avvenire i seguenti fenomeni, che dipendono dai valori raggiunti di: tensione, quantità di carica, durata del fenomeno.

- Anodo. Il collettore di corrente anodico è costituito da rame: il rame, per tensioni inferiori a 2 V, si ossida sciogliendosi nell'elettrolita. Questo fenomeno aumenta la velocità di scarica della cella. Quando la tensione è riportata al di sopra dei 2 V, gli ioni di rame che sono dispersi all'interno dell'elettrolita si riducono nuovamente e formano precipitati di rame metallico, in qualsiasi punto essi si trovino all'interno della cella e non necessariamente sul collettore di corrente di rame (la dissoluzione del collettore di rame non è reversibile), dando luogo alla formazione di precipitati disomogenei (dendriti) di rame che possono causare il corto circuito interno.
- Catodo. La permanenza al di sotto di 2 V per periodi prolungati, induce a lungo andare la decomposizione dei catodi LCO e LMO con produzione di ossigeno e perdita permanente della capacità. La decomposizione del catodo con produzione di ossigeno avviene, nel caso di celle LFP, a seguito di un numero inferiore di cicli, rendendo questa tipologia di sistemi più vulnerabili alle condizioni di sottoscarica e allo stoccaggio (non alimentato) per lunghi periodi.

La sottoscarica, o *overdischarge*, è la condizione in cui la cella o il sistema di accumulo permangono per un certo periodo di tempo al di sotto del SOC minimo consentito dai dati di targa – **SOC < SOC<sub>min</sub>**. Tale condizione può essere determinata da:

- ✓ autoscarica durante uno stoccaggio prolungato
- ✓ dispersione di corrente

Per SOC compreso tra 0 e 10%, si ha dissoluzione del SEI con formazione di gas e invecchiamento precoce della cella (perdita di capacità).



### 5.3 Corto circuito esterno e corto circuito interno

Si tratta della modalità di guasto più comune in ogni batteria (Figura 25). Il cortocircuito può essere esterno od interno. Nel primo caso è provocato da abusi esterni, nel secondo caso sia da abusi esterni che dall'invecchiamento del sistema.

In Elettrotecnica si definisce **cortocircuito** [43]<sup>8</sup> un collegamento fra due punti di un circuito elettrico che ha resistenza prossima allo zero, ciò impone una tensione quasi nulla (o trascurabile) ai suoi capi e non impone vincoli sulla corrente che passa attraverso di esso, che può assumere valori molto elevati. La corrente di cortocircuito  $I_{CC}$  può essere molto elevata e la potenza elettrica ad essa associata viene convertita in calore (effetto Joule) secondo l'equazione semplificata che include la dipendenza dal tempo:

$$Q = R I^2 t$$

Basse o alte impedenze, provocano, in ogni caso, un aumento della temperatura interna della cella seguita dal *venting*, possibile incendio se presente un innesco, possibile *Thermal runaway*, specialmente in caso di assenza del dispositivo di scarico della pressione interna. Lo stato di carica della cella (SOC) nel momento in cui avviene il cortocircuito, determina la quantità di energia che può essere rilasciata: il caso peggiore, quello in cui viene rilasciata la max quantità di energia, è quello della cella completamente carica (SOC 100%).

L'immersione in acqua (salata) causa corto circuito esterno che, oltre ad indurre i suddetti effetti termici all'interno del sistema di accumulo, provoca l'elettrolisi dell'acqua con sviluppo di idrogeno e ossigeno ed elevato rischio di esplosione.

#### 5.3.1 Cortocircuito esterno e sua evoluzione: presentazione di un caso studio

Nell'ambito dei progetti finanziati dal MiSE, ENEA ha condotto test di cortocircuito esterno [44]. Tra questi una prova è stata effettuata su una cella prismatica ThunderSky TS LFP 60 AHA con catodo di composizione  $\text{LiFePO}_4$  da 60 Ah, adatte per la carica veloce e dotata di un dispositivo di *venting* posto in testa, tra i terminali (Figura 26). Il *venting* ha avuto la durata di oltre 5 minuti (Figura 27). Non vi è stato innesco degli aeriformi emessi e non sono state effettuate analisi chimiche.

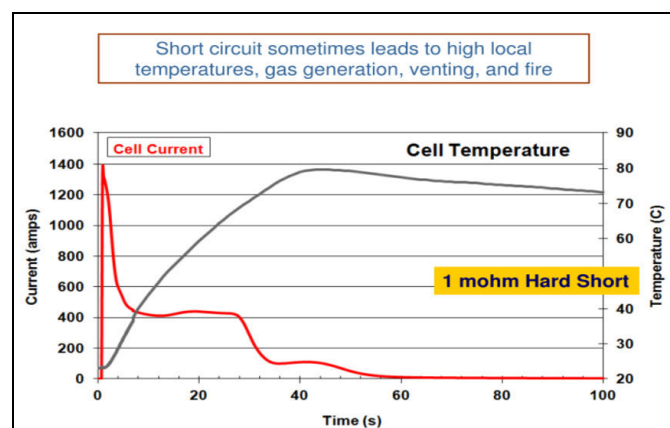


Figura 25. Effetti del cortocircuito esterno su una cella Litio-ione [24]

<sup>8</sup> <https://www.encyclios.it/cortocircuito/>

La prova è stata eseguita nelle seguenti condizioni:

- Collegamento dei poli della batteria all'apparecchio di corto circuito fornito da questo laboratorio.
- Carica della batteria a 50 A fino a una tensione corrispondente al 90% di Stato di carica.
- Scarica della batteria a 50 A fino a una tensione corrispondente al 10% di Stato di carica al fine di conoscere la capacità "ex ante".
- Carica della batteria a 50 A fino alla tensione di 28.9 V.
- Chiusura del contatto di corto circuito.
- Monitoraggio delle grandezze e dei fenomeni.
- Permanenza della situazione per 1 ora: in caso di incendio la presenza dello SPI assicura l'estinzione con le modalità appropriate.
- In caso di prova superata senza inconvenienti: ricarica (utilizzando tutte le prudenze del caso) e misura della capacità "ex post".
- In caso di superamento di questo step, monitorare la temperatura i successivi 3 giorni, lasciando in campo la batteria, quindi smaltire secondo la procedura allegata.
- Conclusione della prova e ripristino del Campo.

Al termine della prova, la cella è stata esposta a fiamma esterna (Figura 28): assente emissione vapori e incendio, a significare la totale assenza di materiali volatili infiammabili (solventi organici) ormai consumati nel *venting*. I materiali combustibili (il *case* in plastica, il materiale anodico, materiali polimerici, ecc.) hanno bruciato lentamente fino a consumo totale ed autoestinzione della fiamma. Sulla base dei risultati ottenuti, è plausibile che gli aeriformi rilasciati fossero composti dai solventi organici e da loro composti di decomposizione parziale.



Figura 26. Setup di prova di cortocircuito con cella Tundersky TS LFP 60 Ah [44]

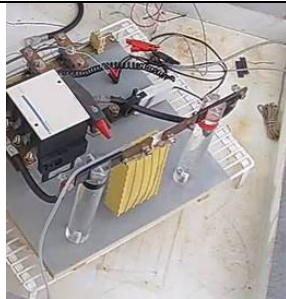

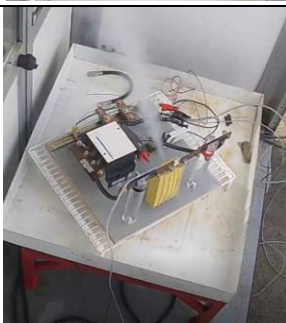


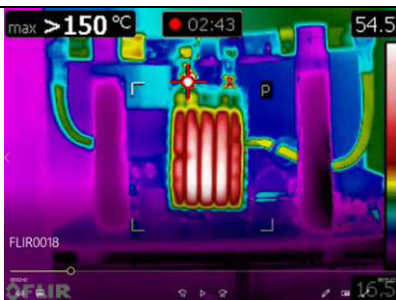




| Tempo (mm:ss) | Ripresa Video   | Ripresa termografica   |
|---------------|---|--|
| 1:24          |    |    |
| 1:48          |    |    |
| 2:42          |   |   |
| 3:02          |  |  |
| 6:10          |  |  |

Figura 27. Cella Tundersky TS LFP 60 Ah . Evoluzione della prova di cortocircuito esterno [44]



Figura 28. Cella Tundersky TS LFP 60 Ah . Prova di esposizione a fiamma, fino a combustione completa [44]

### 5.3.2 Cortocircuito interno

Un corto circuito interno (Figura 29 ) è il risultato più significativo di un difetto di fabbricazione, che costituisce un problema per la sicurezza ed è difficile o impossibile da mitigare attraverso dispositivi di sicurezza.

Si tratta di un fenomeno imprevedibile e può provocare una rottura catastrofica della cella: di contro, sembra avere a una probabilità di accadimento stimata di circa  $10^{-7}$  (1 cella su 10 milioni). La gravità delle conseguenze di un corto circuito interno, dipende da: quantità di superficie interessata dal cortocircuito, la conducibilità dell'area interessata dal cortocircuito, la posizione. La risposta della cella può essere lenta oppure molto rapida.

Esistono **quattro tipi di cortocircuito interno** (Figura 30). La massima generazione di calore sia nel caso di corto circuito tra il materiale anodico litiato e il collettore di corrente in alluminio.

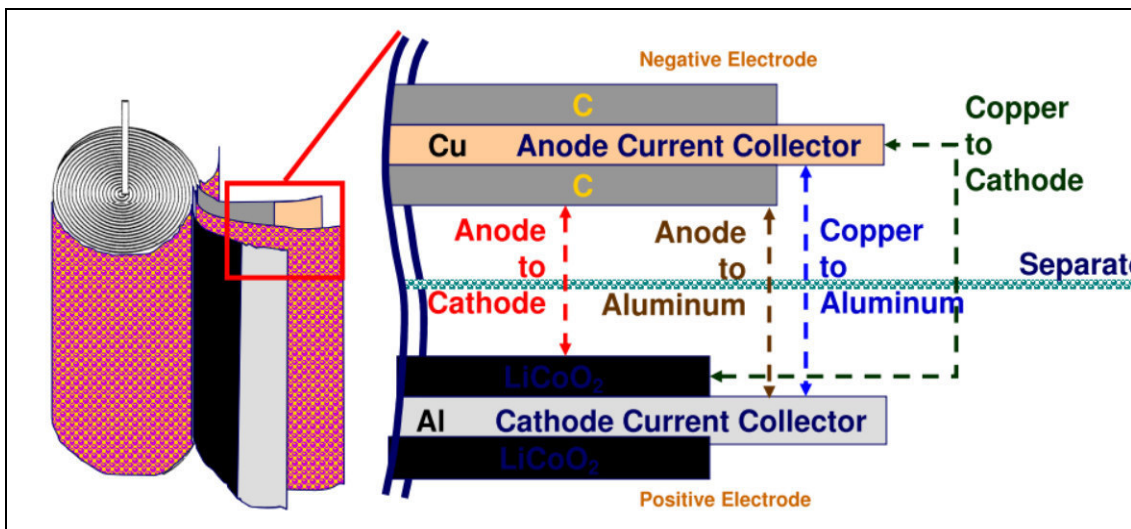


Figura 29. Possibili scenari di corto circuito interno [6]

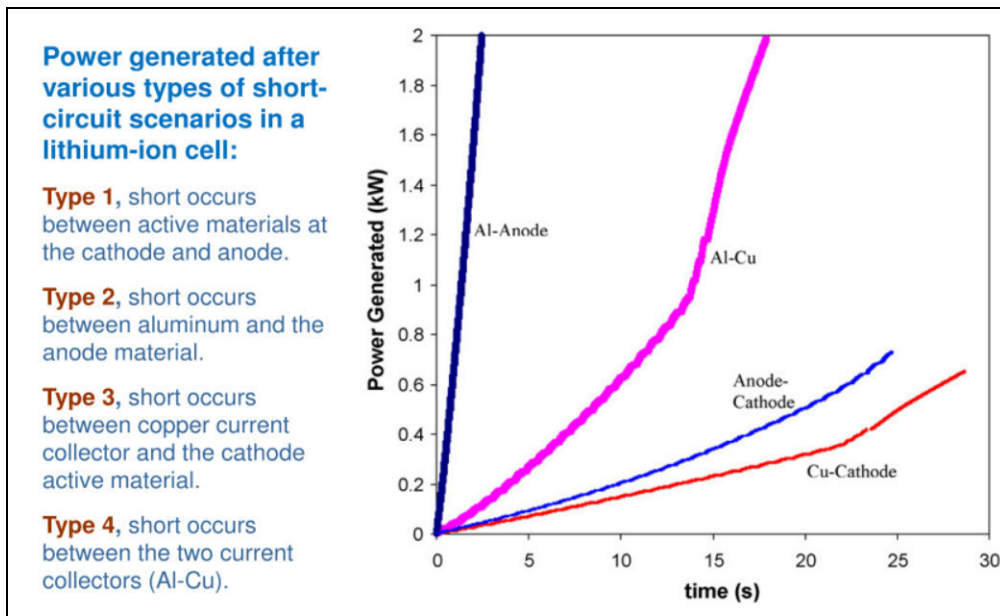


Figura 30. Energia generata dalle 4 diverse tipologie di cortocircuito interno [24]

Il corto circuito di Tipo 2, si configura come quello più violento in quanto, probabilmente, il coinvolgimento del materiale anodico, carbonio, fornisce il valore di impedenza necessario per massimizzare il rapporto tra potenza ed energia rilasciata nel cortocircuito. Questo tipo di cortocircuito ha interessato i prodotti di numerose aziende di rilievo:

- La Sony, nel 2006, ha effettuato un richiamo attribuito a questo tipo di cortocircuito [45]
- La Battery Association of Japan [46], ha effettuato degli studi sul tipo 2 e stabilito dei metodi di test
- gli esperimenti di Celgard [47], sono stati i primi a confrontare i cortocircuiti di Tipo 4 con quelli di Tipo 2, indicando questi ultimi come più catastrofici
- TIAX usa questo tipo di cortocircuito per dimostrare la latenza dei difetti durante i test di accettabilità

Le cause esterne o interne del cortocircuito interno [24] possono essere le seguenti:

- utilizzo non appropriato o abuso, che provocano il funzionamento di celle o batterie al di fuori della finestra operativa ovvero delle specifiche di corrente, tensione e temperatura di funzionamento. In particolare:
  - condizioni di sovraccarica possono portare al deposito di litio metallico all'anodo (*Lithium plating*) in forma di dendriti che possono provocare il corto circuito interno della cella
  - ricarica a temperature al di sotto della temperatura minima di funzionamento può portare al deposito di litio metallico all'anodo (*Lithium plating*) in forma di dendriti che possono provocare il corto circuito interno della cella
- difetti di produzione, tra cui un assemblaggio non corretto della cella o della batteria, la presenza di impurezze, la presenza di inclusioni:
  - particelle metalliche o frammenti dei materiali impiegati nella costruzione, intrappolati durante il processo di produzione
  - impurezze nei prodotti chimici utilizzati per la realizzazione delle celle
  - particelle dei materiali attivi disperse all'interno della cella
  - disomogeneità o difetti strutturali o non corretto posizionamento degli elettrodi o del separatore che restano invisibili durante l'assemblaggio e i test di qualità e i controlli di processo oppure che si rivelano durante l'utilizzo

L'entità dei danni (severità) provocati dal cortocircuito interno dipende dalla superficie interessata dal cortocircuito, del percorso di trasmissione del cortocircuito all'interno del sistema, dalla posizione in cui essa viene. La cella può rispondere in maniera lenta oppure in maniera molto rapida [44].

### 5.3.2.1 Corto circuito interno dovuto ad abuso o uso erraneo

In questo caso il corto circuito provocato attraverso lo stress di celle o batterie al di fuori della cosiddetta finestra operativa ovvero delle correnti, tensione e limiti di temperatura imposti dal fabbricante.

- La sovraccarica dovuta a correnti elevate, può portare alla deposizione di litio metallico (*Lithium plating*), che può portare al corto circuito interno della cella. Come anche ad un malfunzionamento del separatore, se ad effetto *shutdown* (Figura 31).
- la carica temperature al di sotto delle specifiche del produttore, può portare alla deposizione di dendriti di litio, una forma di *Lithium plating*

### 5.3.2.2 Corto circuito interno dovuto a difetti di fabbricazione

Questo scenario include un assemblaggio interno improprio, impurezze, inclusioni:

- particelle di metallo e frammenti possono essere intrappolati durante il processo di fabbricazione
- impurezze nei materiali di partenza
- dispersione di frammenti di materiale attivo
- grinze o difetti strutturali e morfologici degli elettrodi o dei separatori, che non vengono individuati durante l'assemblaggio, gli screening di qualità, i test o latenti durante l'utilizzo.

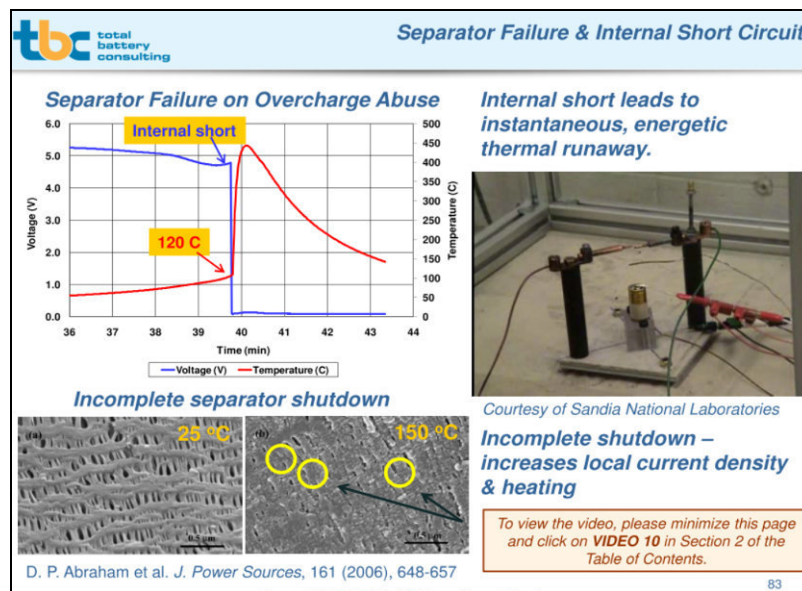


Figura 31.[24]

### 5.3.2.3 Corto circuito interno dovuto alla formazione di dendriti

Il deposito di atomi di litio all'anodo crea uno strato di depositi metallici in forma di dendriti, che sembrano simili a muschio (Figura 32).

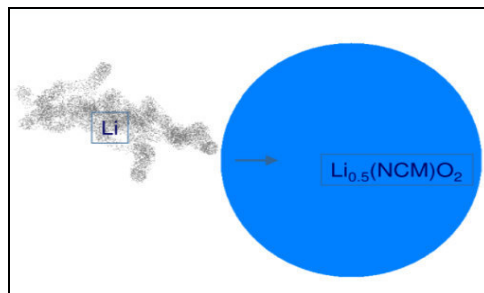


Figura 32. Interazione tra Litio metallico e catodo [24]

Generalmente le celle sono sviluppate per evitare queste situazioni e questo era il problema più rilevante delle prime celle litio ione ricaricabili immesse in commercio.

Celle che non sono progettate in maniera appropriata o ben prodotte possono dare depositi di litio metallico in alcune condizioni di carica. Le condizioni più critiche che portano alla formazione del deposito di litio sono: carica a velocità elevata (*overcurrent*) e carica a bassa temperatura (*undertemperature*)

La tendenza alla formazione di dendriti di litio generalmente aumenta con l'invecchiamento, specialmente per alcune forme di celle nelle quali, a seguito di gradienti termici, la reazione elettrochimica si concentra in un'area della cella: in questo caso si depositano piccole quantità di litio per ciclo, che si accumulano nel tempo.

Le dendriti possono raggiungere una lunghezza tale da raggiungere il **catodo**, cui segue l'intercalazione di litio metallico invece dello ione litio, con energie in gioco di valori elevati (l'energia di intercalazione del litio metallico è di circa  $4 \text{ eV}^9$ ) (Figura 33). Generalmente sono necessari dai 100 ai 1000 cicli prima di avere segnali relativi alla formazione di dendriti: la maggior parte di questi fenomeni probabilmente potrebbe creare "soft short" privi di conseguenze. Ma un gruppo più ampio e localizzato di cortocircuiti può potenzialmente innalzare la temperatura localmente tanto da iniziare un evento termico.

Le dendriti di litio possono causare la perforazione del separatore, con conseguente cortocircuito tra anodo e catodo. Il deposito diffuso di litio metallico e il coinvolgimento di ampie superfici comporta una diminuzione della stabilità termica del sistema.

<sup>9</sup>  $kT = 0,025 \text{ eV}$ .  $kT$  is the product of the Boltzmann constant,  $k$ , and the temperature,  $T$ .  
[https://en.wikipedia.org/wiki/KT\\_\(energy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/KT_(energy))

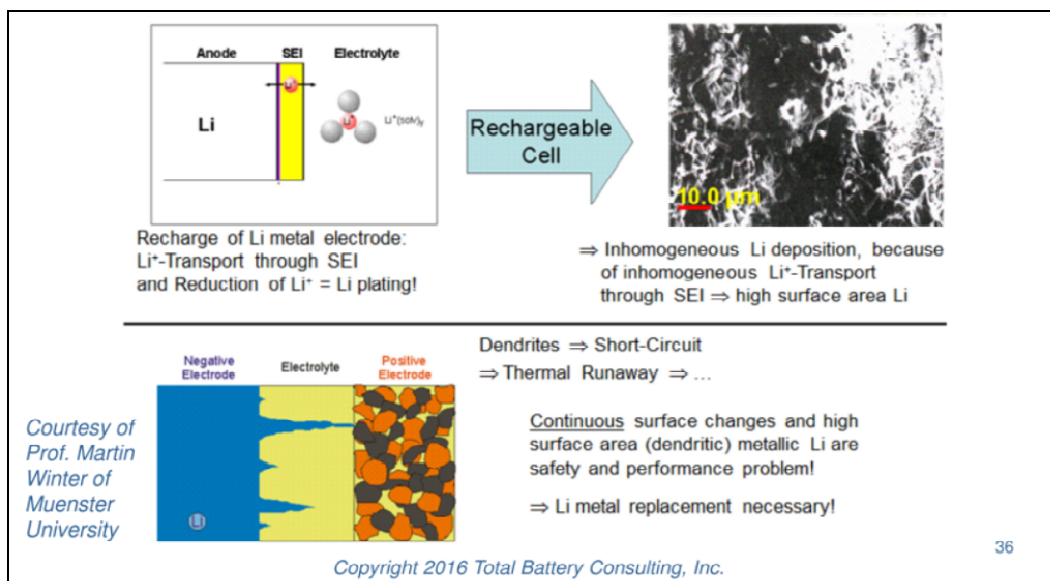


Figura 33. Interazione di dendriti di Litio metallico con l’anodo e con il catodo [24]

### 5.3.2.4 Corto circuito interno spontaneo

E’ provocato da difetti meccanici presenti nella cella quali: particelle incluse, bordi affilati, angoli piegati, piegature o curvature improprie dei terminali, collasso del centro della cella (Figura 34). Tali difetti possono essere prevenuti attraverso l’accurata progettazione della cella e controlli di processo durante la fabbricazione di celle e di batterie.

In questi casi la corrente si accumula lungo l’elettrodo e il massimo del valore della corrente si raggiunge nel punto di corto circuito; ne consegue un innalzamento della densità di corrente superficiale ( $A/cm^2$ ) ed un riscaldamento localizzato per effetto Joule ( $i^2R_S$ , dove  $R_S$  è il valore della resistenza di cortocircuito). Il caso peggiore si ha quando  $R_S = R_{cella}$ , ovvero quando il corto circuito interessa tutta la cella.

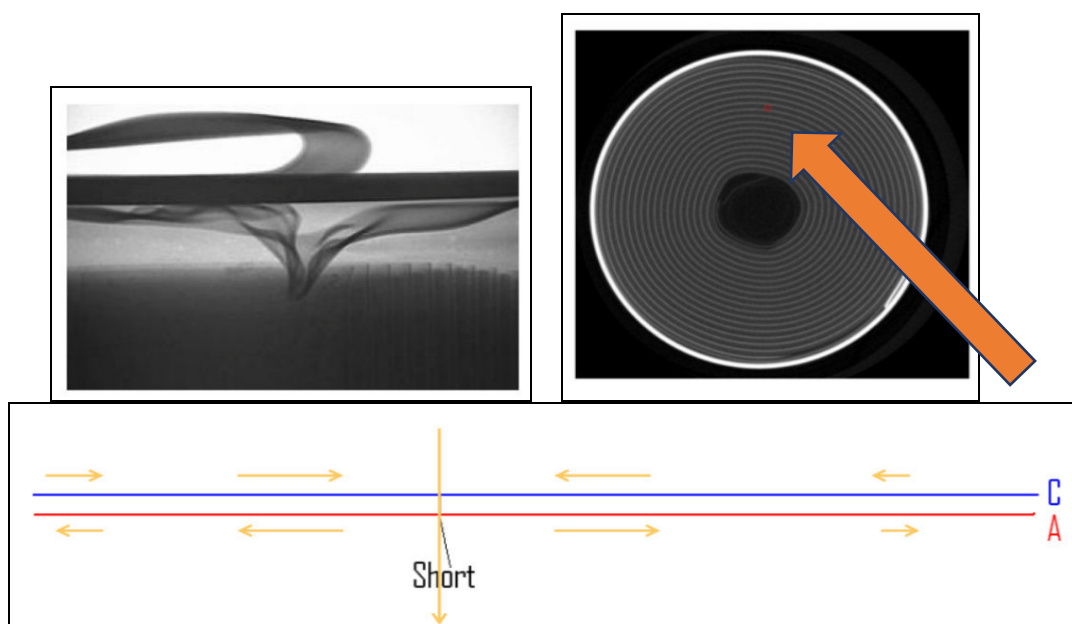


Figura 34. [24]



## 5.4 Abuso meccanico

In questa sede esamineremo alcune vulnerabilità specifiche dei sistemi litio-ione che, a livello di cella, possono evidenziarsi a seguito di abuso meccanico: in questo caso il guasto meccanico è relativamente semplice e può essere categorizzato in due distinte tipologie [6]: la penetrazione e l'urto (Figura 35).

Nel caso di una batteria o un modulo o un apparecchio utilizzatore, occorre comprendere anche: caduta dall'alto, shock meccanici dovuti a vibrazioni e altre tipologie di abusi connessi con le proprietà meccaniche dei sistemi in studio. La dinamica degli effetti dell'abuso (come, ad esempio, si verifica nel caso dello scontro di un veicolo elettrico con una barriera o altro veicolo) è complessa e conduce a modi di guasto multipli quali: I sistemi di raffreddamento possono essere danneggiati, materiali metallici possono entrare in contatto con una o più celle, causando cortocircuiti interni simultanei che, all'interno di un sistema con limitata capacità di dispersione del calore, può provocare l'accumulo di calore all'interno anche di una sola cella e la propagazione dei guasti alle celle adiacenti. È per questo che nella realizzazione di batterie si preferisce utilizzare piccole celle, in modo da limitare l'entità dei surriscaldamenti locali e della emissione di gas.

Prove di abuso meccanico sono previste da molte norme tecniche [48]., prima fra tutte la norma UN 38.3 preliminare alla ammissione al trasporto di celle e batterie litio ione (si veda Capitolo 6) che prevede le prove in Figura 36.

Presso il Centro Sperimentale del CNVVF di Capannelle [49] sono state eseguite alcune prove di abuso meccanico su *pouch cell* semi Li-po . La Figura 37 elenca le prove, in Figura 38 la prova di perforazione con maglio e in Figura 39 la prova di *bending* con barra cilindrica.

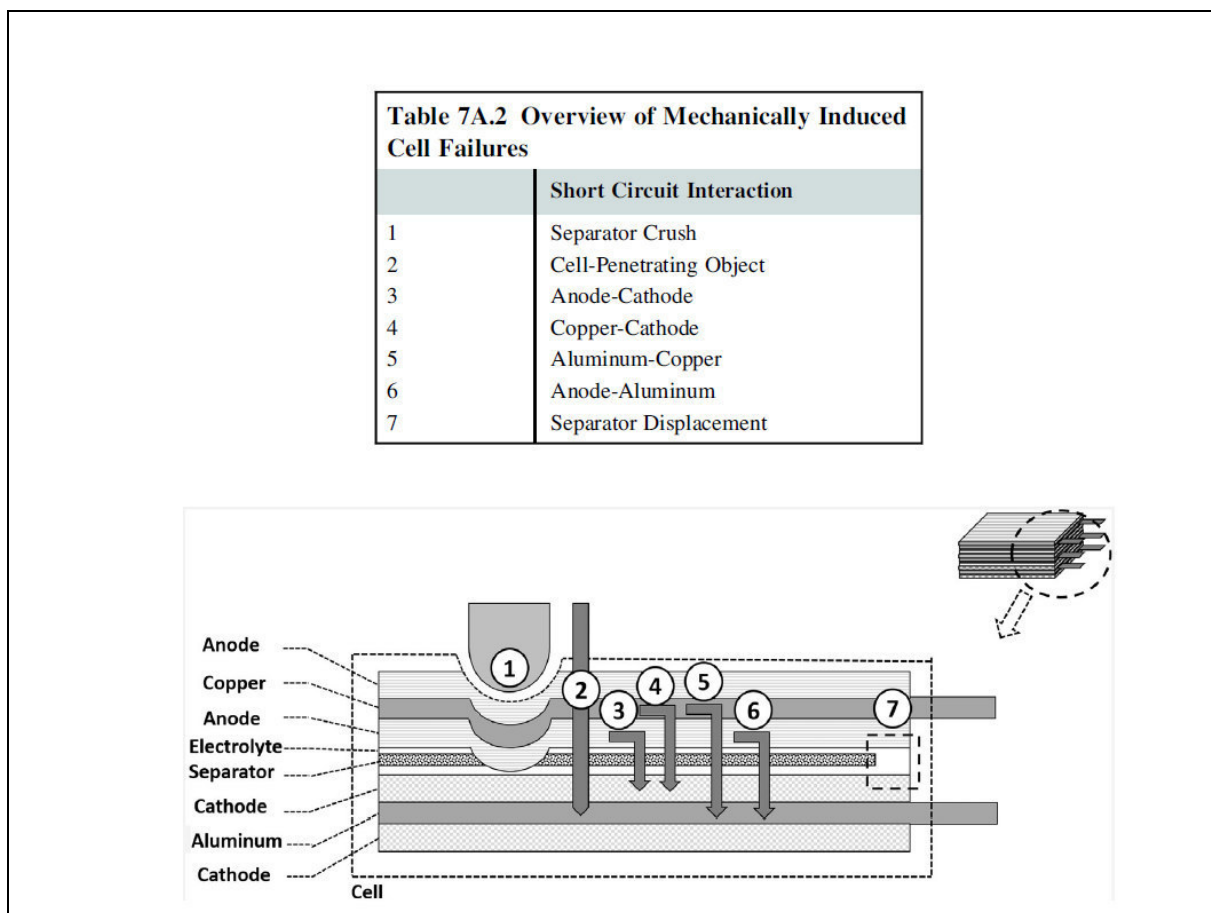


Figura 35. [6]

Table 1. UN tests T.1 to T.8 for lithium cells and batteries prior to being transported.

| Test Step | Test Type           | Specific Procedures  |
|-----------|---------------------|--|
| Test T.1  | Altitude simulation | Test cells and batteries stored at a pressure of 11.6 kPa or less for at least 6 h at ambient temperature ( $20 \pm 5$ °C).  |
| Test T.3  | Vibration           | The vibration is a sinusoidal waveform with a logarithmic sweep between 7 Hz ( $1 g_n$ peak acceleration) and 200 Hz ( $8 g_n$ peak acceleration) and back to 7 Hz; 12 times cycle, 3 mutually perpendicular mounting positions. |
| Test T.4  | Shock               | Subjected to a half-sine shock ( $150 g_n$ peak acceleration) and pulse duration (6 ms); 3 shocks cycling in the positive and negative directions for each of 3 mutually perpendicular mounting positions (total of 18 shocks).  |
| Test T.6  | Impact              | A 15.8-mm-diameter bar placed across the sample cell center, and a 9.1-kg mass is dropped from a height of ( $61 \pm 2.5$ cm) onto the sample.   |

Figura 36

### 3.1.3 Prove di abuso meccanico

Nella stessa sessione di prove, al solo scopo di avere qualche informazione di massima, si è proceduto ad effettuare alcune prove di abuso meccanico. Le prove eseguite sono state le seguenti:

1. Perforazione con un maglio.
2. Piegatura a 180 gradi.
3. Prova di schiacciamento.

La prova di perforazione è stata eseguita con maglio da 4 kg cadente da 2 metri. Il maglio recava una lama tagliente a triangolo che ha trapassato la cella. La prova ha prodotto un inizio di combustione evidenziato da una leggera fuoriuscita di fumo dalla lacerazione. (Figura 22 e Figura 23).

La prova di piegatura è stata condotta costringendo la cella ad aderire sulla superficie di un tubo del diametro di 80 mm. La prova ha prodotto la fuoriuscita di fumo dalle parti interessate alla deformazione. La circostanza che la cella fosse non carica opportunamente ha di certo influenzato l'esito di questa prova. (Figura 24 e Figura 25).

Figura 37: Alcune prove di abuso meccanico condotte presso Capannelle [49]



Figura 38. Prova di perforazione con un maglio mediante caduta dall'alto (Urto)



Figura 39. Prova di bending con sbarra cilindrica

#### 5.4.1 Penetrazione

La penetrazione di un oggetto all'interno di una cella provoca diverse tipologie di cortocircuito interno. Nel momento in cui l'oggetto entra all'interno della cella, esso può distruggere la struttura ordinata a strati interna, provocando il contatto diretto tra anodo, catodo e i collettori di corrente in alluminio e rame.

Se l'oggetto è elettricamente conduttivo, come nel caso di una punta metallica, esso stesso, a contatto con i materiali metallici, provoca un cortocircuito "diretto". Come in tutti i tipi di cortocircuito, i fattori importanti ai fini della intensità delle conseguenze, sono: l'area della superficie coinvolta (cui è connessa alla densità di corrente di cortocircuito), la resistenza di cortocircuito e la durata del flusso di corrente; velocità di dissipazione del calore (se l'oggetto

penetrante è un buon conduttore termico, esso può dissipare parte del calore sviluppato da cortocircuito). La conseguenza più importante del cortocircuito è l'aumento della temperatura interna della cella, in un punto o in un'area di dimensioni variabili dalle condizioni in cui avviene l'abuso. L'aumento della temperatura interna comporta l'innescò di una serie di reazioni non desiderate di cui al Capitolo 5.1, a partire da evaporazione del solvente, reazioni di decomposizione, fino all'innescò della reazione di runaway : la fenomenologia dipende dalla quantità di calore accumulato. Né può seguire l'emissione di vapori di solvente o di gas e vapori a basso peso molecolare che, in presenza di innesco, danno luogo all'incendio.

#### *5.4.2 Urto*

L'applicazione di un carico statico accelerato sulle strutture esterne può causare la deformazione nella struttura interna della cella. Riesco primario proviene dallo schiacciamento e quindi dall'introduzione nelle condizioni di innesco di un corto circuito interno. In funzione della struttura della cella e della direzione dell'urto, il danno può causare un cortocircuito tra i terminali positivi e negativi o cortocircuiti di tipo penetrativo (a causa della penetrazione all'interno della cella del case metallico). L'energia cinetica dell'impatto può anche causare uno spostamento del separatore rispetto all'anodo e catodo o semplicemente la riduzione a distanza tra i due elettrodi fino al punto in cui questi entrano in contatto. Il fattore critico è l'area interessata dal cortocircuito: questo determina il valore della densità di corrente di cortocircuito e il successivo surriscaldamento e l'innalzamento della temperatura. Le celle litio ione sono estremamente diverse tra di loro, sia per progettazione che per chimica. In relazione alla tipologia di cella e al contenitore utilizzato, alla direzione del carico, all'area che ne viene interessata, alla natura le dinamica del carico, l'impatto di un urto e l'estensione dell'area interessata da cortocircuito variano ampiamente.

La prevenzione degli effetti questo tipo di abuso, è basata primariamente sulla progettazione delle celle: la cella dovrebbe essere resistenti rispetto tutte le cause di deformazione esterne; la componentistica dovrebbe essere in grado di rimanere in posizione; il contenitore di una batteria dovrebbe essere sufficientemente robusto per resistere ad impatti di intensità prevedibile in base ad analisi di rischio preliminari a sofisticati modelli di elaborazione matematica e test appropriati. Per le celle, esistono alcune strategie di contenimento del danno dovuto all'urto quali: l'utilizzo di separatori più robusti, come materiali ceramici o l'impiego di collettori di alluminio più spessi.

### *5.5 Effetti dell'invecchiamento, delle modalità di utilizzo, della fatica meccanica e della presenza di impurezze*

#### *5.5.1 Invecchiamento*

Uno studio del 2005 [50] tratta dei fenomeni irreversibili che accompagnano l'invecchiamento di celle Litio-ione (Figura 40). Nello studio, vengono presentati separatamente I diversi comportamenti degli ossidi litiati di nichel e cobalto e degli spinelli a base di manganese, individuati con la spettroscopia di impedenza, considerata dagli autori come una tecnica veloce, non distruttiva e affidabile in grado di identificare le origini dei processi di degradazione della cella e di identificare altri fenomeni di degradazione difficilmente riconoscibili attraverso l'impiego di altre tecniche. Si presentano, in sintesi, alcuni dei risultati ottenuti.

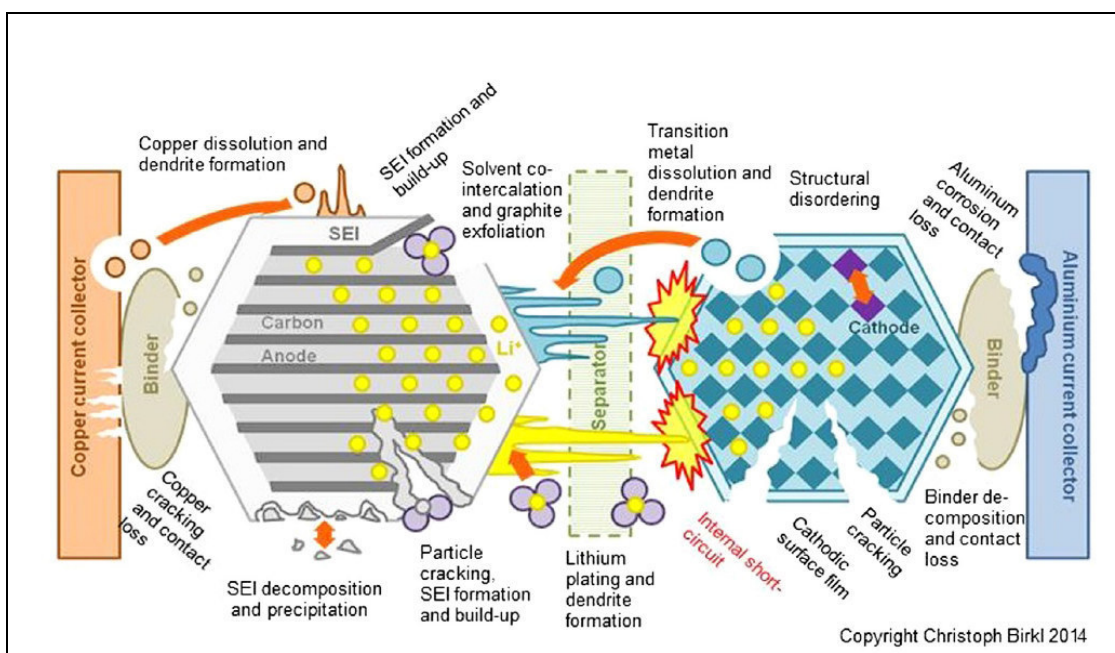


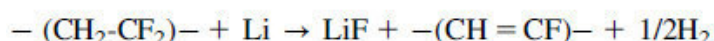
Figura 40. [50]

### 5.5.1.1 ANODO e SEI

Tra il materiale anodico e l'elettrolita, come già detto più volte, al termine della fabbricazione della cella viene formato uno strato di passivazione, la Solide Electrolyte Interface (SEI), che ha la duplice funzione di protezione e facilitazione del trasporto degli ioni litio all'interno della matrice anodica. La grafite, di per sé, ha una elevata stabilità termica (maggiore di 600 °C) che diminuisce drasticamente durante l'intercalazione dello ione litio [51]: il SEI la stabilizza.

I meccanismi di degrado presentati dagli autori sono di carattere generale e, pertanto, andrebbero indagati per ogni specifica tipologia di cella (marca e modello). In Tabella 11, gli autori riassumono le cause di invecchiamento dell'anodo, gli effetti e i fattori che influenzano questo processo.

Durante la vita della cella, il SEI subisce modifiche continue e le reazioni chimiche specifiche dipendono dalla specifica composizione chimica del sistema. Il SEI è composto da sostanze organiche - quali:  $(\text{CH}_2\text{OCO}_2\text{Li})_2$ ,  $\text{ROCO}_2\text{Li}$ , and  $\text{ROLi}$ , dove R è un gruppo organico contenente carbonio e idrogeno (radicale organico) - e sostanze inorganiche - quali  $\text{LiF}$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , and  $\text{Li}_2\text{OH}$ . Tra i 100°C e 200 °C, i composti organici (metastabili già intorno agli 80 °C) cominciano a reagire e a formare il cosiddetto "SEI secondario" costituito da  $\text{LiF}$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  (Tabella 12) e un "SEI secondario organico" (Picco A di Figura 41). Tra i 200 - 250 °C inizia la decomposizione del SEI (Picco B di Figura 41) lasciando il materiale anodico a diretto contatto con l'elettrolita: la grafite litiata (al cui interno è intercalato il Litio) reagisce con esso, riducendolo, iniziando a sfaldarsi. Tra i 250 e i 350°C (Picco C di Figura) il litio (metallico) intercalato reagisce con il PVDF, il legante polimerico in mescola con la grafite, con produzione di idrogeno, secondo la reazione:



Il quarto processo termico (Picco D di Figura 41) avviene a circa 350 °C ed è tipico per la decomposizione totale del legante PVDF, con produzione di idrogeno.

**Tabella 11. Celle Litio-ione: cause di invecchiamento dell'anodo, effetti e fattori di influenza [6]**

| Cause  | Effect  | Leads to                                       | Reduced by   | Enhanced by   |
|--|---|--|--|---|
| Electrolyte decomposition (→SEI) (Continuous side reaction at low rate)                | Loss of lithium<br>Impedance rise   | Capacity fade<br>Power fade                    | Stable SEI (additives)<br>Rate decreases with time | High temperatures<br>High SOC (low potential)                                   |
| Solvent co-intercalation, gas evolution and subsequent cracking formation in particles | Loss of active material (graphite exfoliation)<br>Loss of lithium                       | Capacity fade                                  | Stable SEI (additives)<br>Carbon pre-treatment     | Overcharge  |
| Decrease of accessible surface area due to continuous SEI growth                       | Impedance rise  | Power fade                                     | Stable SEI (additives)                             | High temperatures<br>High SOC (low potential)                                   |
| Changes in porosity due to volume changes, SEI formation and growth                    | Impedance rise<br>Overpotentials  | Power fade                                     | External pressure<br>Stable SEI (additives)        | High cycling rate<br>High SOC (low potential)                                   |
| Contact loss of active material particles due to volume changes during cycling         | Loss of active material   | Capacity fade                                  | External pressure                                  | High cycling rate<br>High DOD   |
| Decomposition of binder  | Loss of lithium<br>Loss of mechanical stability   | Capacity fade                                  | Proper binder choice                               | High SOC (low potential)<br>High temperatures                                   |
| Current collector corrosion  | Overpotentials<br>Impedance rise<br>Inhomogeneous distribution of current and potential | Power fade<br>Enhances other ageing mechanisms | Current collector pre-treatment (?)                | Overdischarge<br>Low SOC (high potential)                                       |
| Metallic lithium plating and subsequent electrolyte decomposition by metallic Li       | Loss of lithium (Loss of electrolyte)   | Capacity fade (power fade)                     | Narrow potential window                            | Low temperature<br>High cycling rates<br>Poor cell balance<br>Geometric misfits |

**Tabella 12. Reazioni di formazione del SEI e del SEI secondario [6]**

| Formation of Primary SEI  | Formation of Secondary SEI   |
|---|--|
| $\text{LiPF}_6 \rightarrow \text{LiF} + \text{PF}_5$  | $\text{LiPF}_6 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{LiF} + 2\text{HF} + \text{POF}_3$                                |
| $\text{PF}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PF}_3\text{O} + 2\text{HF}$                       | $2\text{HF} + \text{Li}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{LiF} + \text{H}_2\text{CO}_3$                                  |
| $\text{PF}_5 + n\text{Li}^+ + ne^- \rightarrow \text{LiF} + \text{Li}_x\text{PF}_y$                   | $\text{PFO}_3 + \text{Li}^+ \rightarrow \text{LiF} + \text{Li}_x\text{POF}_{3-x}$                                      |
| $\text{PF}_3\text{O} + n\text{Li}^+ + ne^- \rightarrow \text{LiF} + \text{Li}_x\text{POF}_y$          |  |
| $\text{Li}^+ + \text{H}_2\text{O} + e^- \rightarrow \text{LiOH} + 0.5\text{H}_2$                      |  |
| $2\text{EC} + 2\text{Li}^+ + 2e^- \rightarrow (\text{CH}_2\text{OCOOLi})_2 + \text{C}_2\text{H}_4$    | $(\text{CH}_2\text{OCOOLi})_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{CO}_2 + 0.5\text{O}_2$ |
| $\text{EC} + \text{Li}^+ + e^- \rightarrow \text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{C}_2\text{H}_4$             | $2\text{Li} + (\text{CH}_2\text{OCOOLi})_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{C}_2\text{H}_4$                  |
| $\text{DEC} + \text{Li}^+ + e^- \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OCOOLi} + \text{C}_2\text{H}_5$ |  |
| $\text{DMC} + \text{Li}^+ + e^- \rightarrow \text{CH}_3\text{OCOOLi} + \text{CH}_3$                   |  |

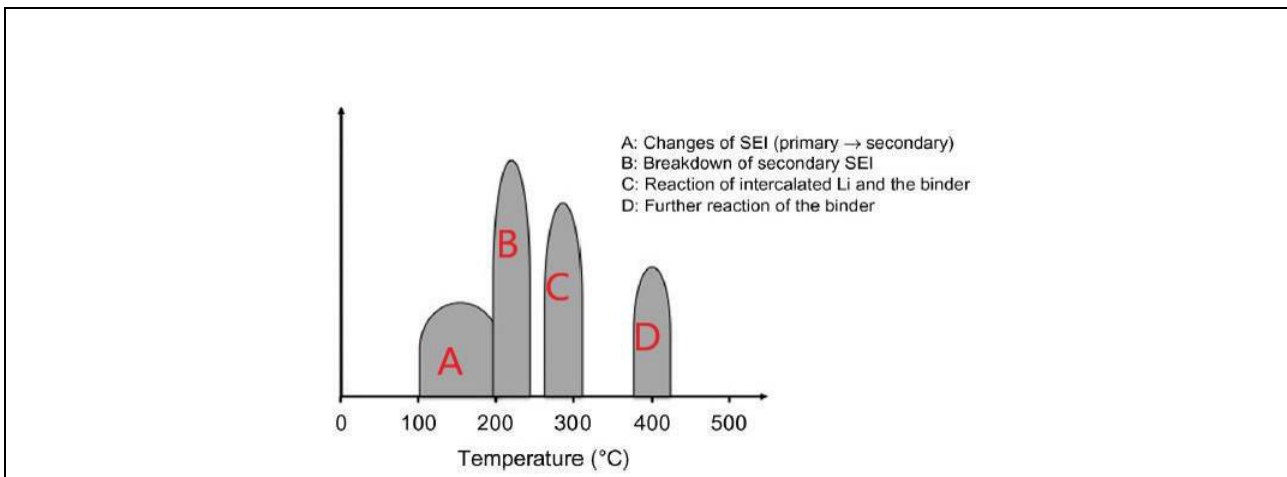


Figura 41. Schema delle 4 reazioni esotermiche di un anodo litiato di carbonio [51]

L'invecchiamento dell'anodo in carbonio è, quindi, dovuto ai seguenti fenomeni (Figura 42):

- **Ispessimento del SEI.** L'aumento di spessore del SEI, porta ad una graduale perdita di contatto dell'elettrolita con il materiale anodico, ostacolando l'intercalazione del litio e portando ad un aumento dell'impedenza all'anodo.
- **Lithium plating.** In parallelo alla crescita del SEI, si ha il deposito di litio metallico (*Lithium plating*), che porta all'auto scarica e alla diminuzione di capacità della cella dovuta alla diminuzione della quantità di ioni litio all'interno dell'anodo. I depositi dendritici di litio possono reagire con l'elettrolita accelerando l'invecchiamento della cella o accrescersi fino a perforare il separatore polimerico con conseguente cortocircuito interno.

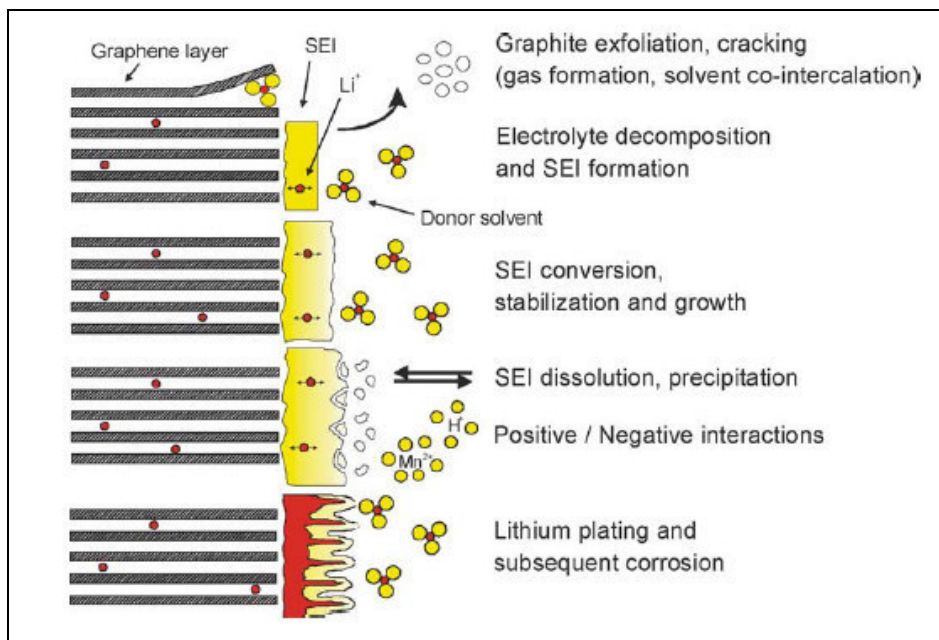


Figura 42. Modifiche dell'interfaccia anodo/elettrolita nel corso del tempo [6]

### 5.5.1.2 CATODO

In generale la perdita di capacità del catodo trae origine da tre meccanismi (Figura 43):

- modifiche strutturali durante le operazioni di carica e scarica
- reazioni chimiche di decomposizione e/o dissoluzione non desiderate
- modifiche al film passivante presente sul materiale catodico

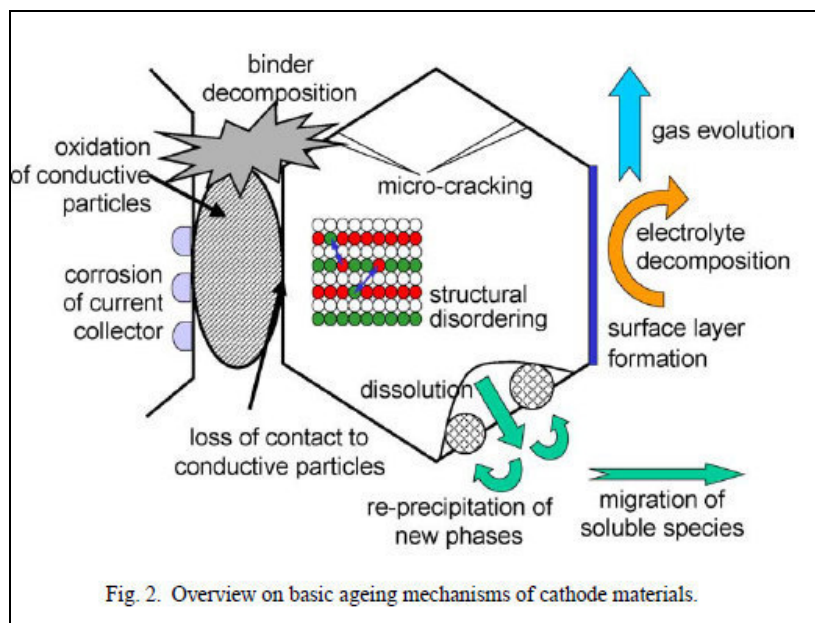


Figura 43 [51]

### 5.5.1.3 Deformazione plastica della struttura a strati

I cicli di carica e scarica, a lungo andare, possono portare alla deformazione permanente degli strati che costituiscono tipicamente le celle litio ione. A tal proposito si cita uno studio del 2018 [52] condotto su celle 18650 Sanyo. La *micro X-ray computed tomography* mette in evidenza la deformazione permanente del *jelly roll* (Figura 44): a seguito di cicli di carica e scarica effettuati a varie profondità (DOD) sono state osservate, in modo preferenziale, in prossimità del terminale catodico. L'analisi *post mortem* ha mostrato che la deformazione dell'elettrodo è dovuta a delaminazione della superficie (Figura 45).

### 5.5.1.4 Elettrolita

Ai fini della sicurezza, la composizione chimica (formulazione) dell'elettrolita deve essere adeguata agli usi finali del sistema di accumulo e, in particolare, tenere conto della temperatura operativa e della velocità di carica e scarica. Infatti, come abbiamo visto in questo lavoro, l'elettrolita è coinvolto sia nella formazione del SEI che in tutti i fenomeni dovuti ad aumento della temperatura interna della cella, ed è individuato come il principale elemento di vulnerabilità dei sistemi di accumulo litio-ione.

### 5.5.1.5 Separatore

I materiali standard utilizzati per la realizzazione del separatore sono il polipropilene (PP) e il polietilene (PE) che consentono la produzione di film elastici ma con proprietà meccaniche diverse dai collettori di corrente, dai materiali elettrodi, dai terminali.

L'aumento della pressione interna provoca deformazioni, anche permanenti, del separatore. La deformazione del separatore porta alla ostruzione dei suoi pori, generando un flusso di corrente non omogeneo all'interno della cella, cui consegue una ulteriore deformazione del separatore: già



a 5MPa la deformazione diventa visibile. In grandi celle o in celle caricate ad alta velocità, la generazione di calore può essere eterogenea e può produrre, in alcune aree, fusioni localizzate del separatore o formazione di pieghe, con conseguente probabilità di cortocircuito interno. Separatori realizzati con membrane composite (con *coating* in materiale ceramico) potrebbero avere una migliore tolleranza alla deformazione meccanica.

L' aumento moderato della pressione interna nel corso della vita di una cella è dovuto ai seguenti fenomeni:

- i processi di intercalazione e de-intercalazione del litio che comportano la deformazione dei reticoli cristallini dei materiali elettrodici, con aumento di volume e, quindi, della pressione interna del dispositivo
- deposito di dendriti e ispessimento del SEI connessi all'invecchiamento
- l'aumento di temperatura, anche puntuale, può provocare effetti che vanno dalla evaporazione dei solventi alla formazione di prodotti gassosi provenienti da reazioni indesiderate: il maggior volume dei prodotti gassosi provoca anch'esso aumento della pressione interna e, dunque, sollecitazione meccanica del separatore.

#### 5.5.1.6 Collettori di corrente

Le alte velocità di carica e scarica possono provocare la *corrosione* dei collettori in rame ed alluminio. La corrosione dei collettori può portare alla perdita di contatto elettrico e al successivo corto circuito interno. Inoltre, i prodotti di corrosione possono provocare sovratensioni e creare correnti non omogenee con conseguente deposito di litio metallico all'anodo.

All'anodo, la corrosione del collettore può avvenire per reazioni con l'elettrolita o nel caso in cui il potenziale anodico diventi troppo positivo rispetto alla semicoppia del litio.

Al catodo invece, se si usa LiPF<sub>6</sub> come elettrolita, si forma un film di LiF sul collettore in alluminio, con funzioni di protezione dalla corrosione: lo strato di passivazione dell'alluminio è comunque un sistema chimico in equilibrio dinamico con l'elettrolita e proprietà meccaniche che non impediscono la dissoluzione o l'attacco dell'alluminio.

#### 5.5.1.7 Legante

Il legante (costituito da materiale polimerico e materiale conduttivo) viene mescolato con i materiali elettrodici provvedendo alla adesione meccanica dei materiali elettrodici sui collettori e migliorandone la conducibilità elettrica: queste funzioni devono essere garantite anche in condizioni di stress meccanico, normalmente presente durante il funzionamento delle celle e, come già detto, dovuto al cambiamento di volume degli elettrodi durante i processi di intercalazione.

Il PVDF, normalmente utilizzato per questo scopo, contiene fluoro che può reagire con il litio all'anodo per formare LiF che sottrae litio contribuendo alla degradazione meccanica dell'elettrodo. Essendo insolubile, il LiF si deposita sulla superficie dell'elettrodo e ne aumenta la sua resistenza elettrica, oltre al volume.

Stress meccanici ciclici possono indurre la formazione di cricche all'interno del legante, ovvero spaccature (aumenti di volume localizzati) che mettono sotto stress meccanico il reticolo cristallino dell'anodo, provocando l'espulsione di particelle di carbonio che si disperdono all'interno del sistema.

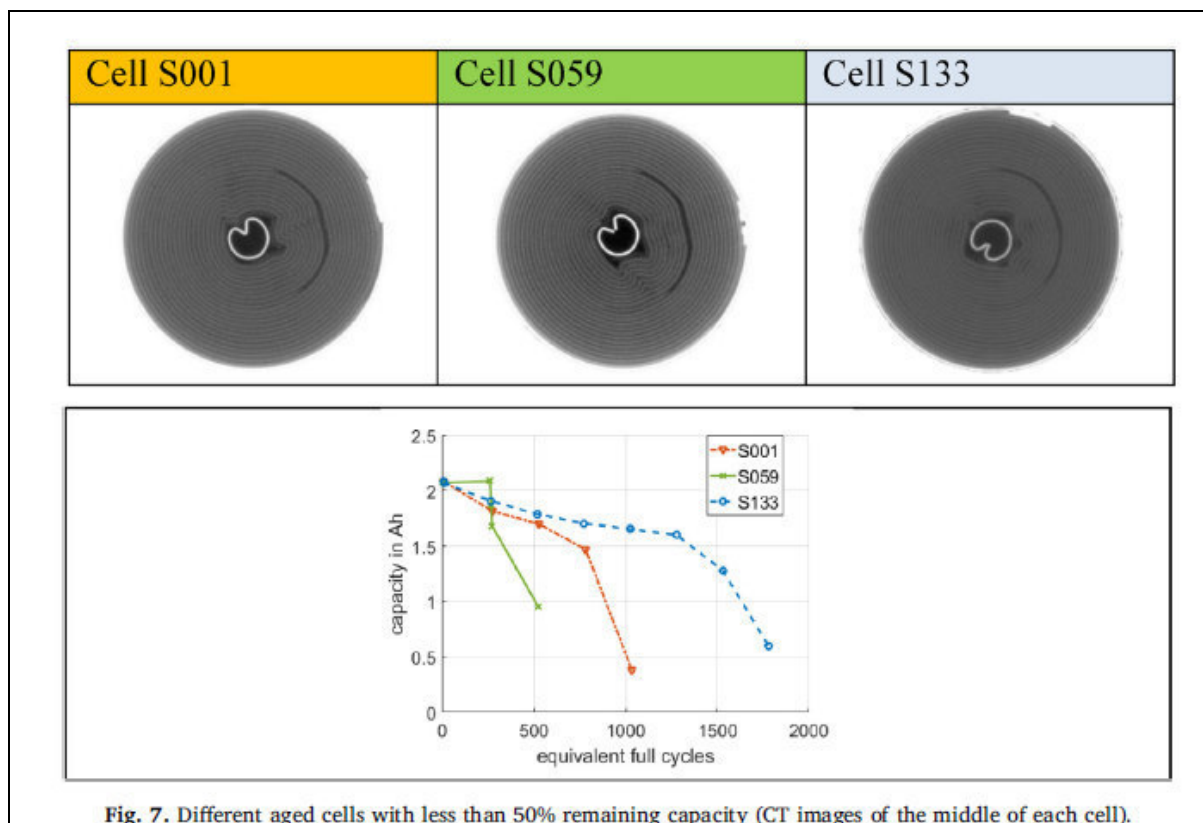


Figura 44. [52]

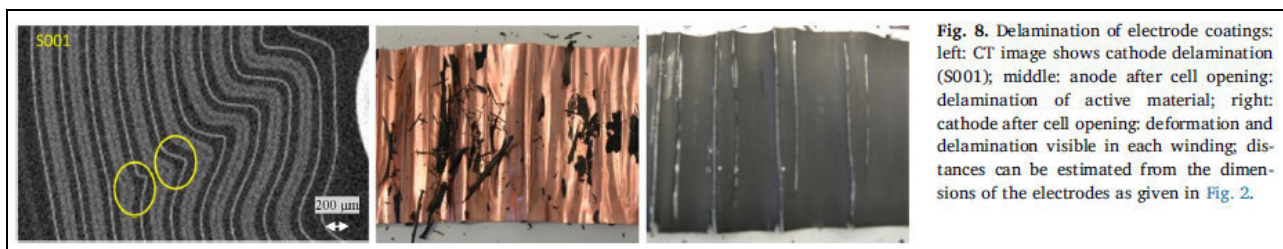


Figura 45. [52]

### 5.5.2 Modalità di utilizzo: la qualità dei processi di carica e scarica

Durante i cicli di carica e scarica di un sistema di accumulo, temporanee deviazioni dalle condizioni definite dalla “finestra operativa” sia in termini di temperatura che di tensione, possono avere effetti cumulativi irreversibili sulla cella, provocandone la diminuzione del tempo di vita o la morte prematura o la determinazione di zone a composizione chimica disomogenee che possono costituire punti di innesco di reazioni chimiche indesiderate. Nella Figura 46, il grafico rappresenta l’andamento del numero di cicli possibili di una cella (ovvero della durata della vita di una cella) in funzione della temperatura operativa. A partire da circa 15 C, il tempo di vita espresso il numero di cicli, si riduce progressivamente lavorando a temperature inferiori (ad esempio, lavorando a -20 C il numero di cicli previsti diminuisce a circa 700 rispetto al valore assunto nella zona di temperatura di lavoro ideale). Anche operando poco al di sopra dei 50 °C, si ha una leggera diminuzione di questo valore, ma a partire dai 70 C, la diminuzione del valore del numero di cicli è ripida e diventa nulla a causa della elevata probabilità di innesco del *Thermal runaway*: si noti che siamo ben al di fuori dal *range* di temperatura individuato dalla finestra operativa. Il BMS deve essere progettato per mantenere la cella a funzionare nella zona centrale del grafico.

**Attenzione:** la durata della vita, espressa in termini di numero di cicli, è fornita dai produttori all’interno delle specifiche tecniche: questo valore generalmente viene determinato a temperatura ambiente. Questo

valore è quindi assolutamente non realistico, ad esempio, nel caso di applicazioni per veicoli elettrici o per applicazioni industriali.

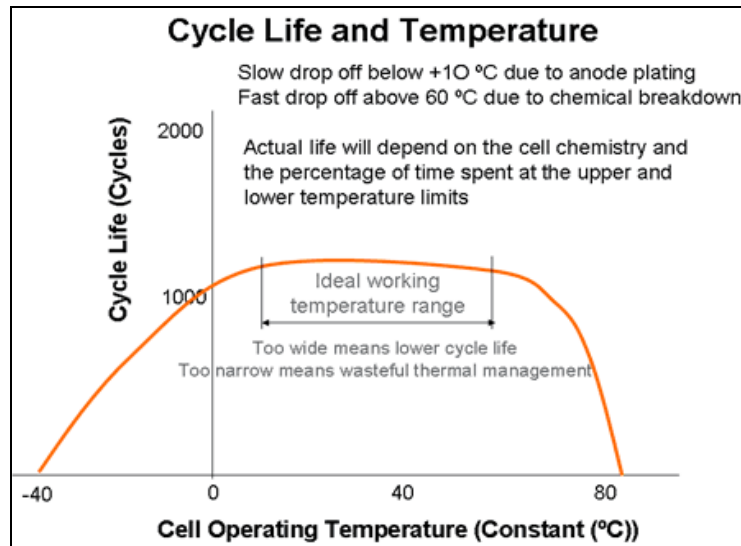


Figura 46

### 5.5.3 Fatica meccanica

La fatica meccanica è un altro parametro di cui non si tiene molto conto, sia nel determinare la durata della vita di una cella, sia nelle attività di prevenzione dei rischi.

Nel corso delle operazioni di carica e scarica di una cella litio ione, i reticoli cristallini del materiale anodico e del materiale catodico all'interno dei quali si va ad intercalare lo ione litio, subiscono delle deformazioni plastiche. Lo stress ciclico sugli elettrodi può portare alla frattura di alcuni punti dei reticoli stessi provocando un aumento della impedenza interna all'aumentare dell'età della cella, o nel caso peggiore, la rottura del SEI all'anodo potrebbe portare al surriscaldamento e al guasto immediato della cella.

Un processo simile può essere aumentato dall'accumulo di piccole quantità di gas provenienti dal lento deterioramento dell'elettrolita e dall'aumento locale di temperatura: questo potrebbe portare al rigonfiamento della cella (*swelling*) e alla conseguente perdita di integrità del contenitore.

### 5.5.4 Guasti indotti dal processo di produzione

il processo di produzione può introdurre dei difetti strutturali, che dipendono dalla variabilità dei processi di produzione. Esempi classici sono l'introduzione di particelle conduttive all'interno della cella o il disallineamento di parti della stessa, che provano a provocare il contatto diretto tra anodo e catodo (come nel caso del Samsung Galaxy 7, caso in cui la batteria veniva sottoposta a uno stress meccanico permanente, applicato agli angoli, per contatto con la sua sede all'interno del dispositivo). La maggior parte di questi difetti provocano il cortocircuito interno della cella o il guasto del separatore. In alcuni casi questi difetti, essendo difficili da individuare, si manifestano solo dopo molteplici cicli di carica e scarica fino a che l'effetto cumulativo non causa la rottura del separatore o altri fenomeni.

La prevenzione di questa tipologia di guasti è basata, innanzitutto sulla qualità del processo di produzione, includendo una catena di controllo estremamente attenta.

#### 5.5.4.1 Presenza di impurezze

Le impurezze di tipo metallico possono causare cortocircuito; altri tipi di impurezze possono costituire punti di innesco di reazioni di decomposizione dei materiali presenti (effetto catalitico); un SEI instabile può danneggiarsi nel corso del funzionamento e portare la cella a morte prematura o all'innesco delle reazioni viste al paragrafo 5.6.11.

## 6 Riferimenti bibliografici e collegamenti ipertestuali

1. Schiavetti, T. Pini, M. Carcassi: "Definizione della procedura di analisi di rischio su Sistemi di Accumulo Stazionario realizzati con tecnologie al Sodio ad alta temperatura (Sodio-Zolfo): studi preliminari". Report RdS/PAR2016/173
2. Schiavetti, T. Pini, F. D'Errico, M. Carcassi: "Studio sulla caratterizzazione dei vari livelli di protezione di sistemi di accumulo litio-ione per uso automotive, mediante "Layer Of Protection Analysis (LOPA)". Report RdS/PAR2016/242
3. M. Schiavetti, T. Pini, M. Carcassi: "Definizione della procedura di analisi di rischio su Sistemi di Accumulo Stazionario realizzati con tecnologie al Sodio ad alta temperatura (Sodio-Nichel Cloruro): studi preliminari". Report RdS/PAR2017/183
4. P. Goncalves – INERIS – FRANCE: "Possible categorization of lithium batteries for transport according to their hazards and effects when reacting". UN Working Group on lithium batteries - 27-29 March 2017
5. [https://it.wikipedia.org/wiki/Equazione\\_di\\_Arrhenius](https://it.wikipedia.org/wiki/Equazione_di_Arrhenius)
6. J. Garche e K. Brandt: "Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications. Li-Battery Safety". 2019 Elsevier. ISBN: 978-0-444-63777-2
7. [https://www.gses.com.au/wp-content/uploads/2016/09/GSES\\_Battery-Storage-Systems\\_what-are-their-chemical-hazards.pdf](https://www.gses.com.au/wp-content/uploads/2016/09/GSES_Battery-Storage-Systems_what-are-their-chemical-hazards.pdf)
8. Diego Fernández Lisboa , Timothy Snee: "A review of hazards associated with primary lithium and lithium-ion batteries". November 2011. Process Safety and Environmental Protection 89(6) DOI: 10.1016/j.psep.2011.06.022 -
9. Chen, M.; He, Y.; De Zhou, C.; Richard, Y.; Wang, J. Experimental Study on the Combustion Characteristics of Primary Lithium Batteries Fire. Fire Technol. 2016, 52, 365–385.  
  
Chen, M.; Liu, J.; Lin, X.; Huang, Q.; Yuen, R.; Wang, J. Combustion characteristics of primary lithium battery at two altitudes. J. Therm. Anal. Calor. 2016, 124, 865–870.
10. Mingyi Chen, Jiahao Liu, Ouyang Dongxu, Shuchao Cao, Zhi Wang and Jian Wang: A Simplified Analysis to Predict the Fire Hazard of Primary Lithium Battery". Appl. Sci. 2018, 8, 2329; doi:10.3390/app8112329 del 21 novembre 2018
11. Harry Webster: "Flammability Assessment of Bulk-Packed, Non rechargeable Lithium Primary Batteries in Transport Category Aircraft". June 2004. Federal Aviation Administration Final Report DOT/FAA/AR-04/26
12. "Fire Hazard Analysis for Various Lithium Batteries", March 2017, Federal Aviation Administration Final Report DOT/FAA/TC-16/17
13. "Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for Non-Rechargeable Lithium Batteries". RTCA DO-227A Prepared by: SC-235. September 21, 2017 .
14. C. Mikolajczak, M. Kahn, K. White, and R. Long, "Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment," Report prepared for the Fire Protection Research Foundation, June 2011
15. G. MARLAIR, L. DUPONT, M. DEMISSY: "Approche de la maîtrise des risques spécifiques de la filière véhicules électriques. Analyse préliminaire des risques". INERIS. RAPPORT D'ÉTUDE 06/06/2011 DRA-10-111085-11390D
16. [https://www.mpoweruk.com/battery\\_manufacturing.htm](https://www.mpoweruk.com/battery_manufacturing.htm)

17. [https://it.wikipedia.org/wiki/Chimica\\_metallorganica#Struttura\\_dei\\_composti\\_metallorganici](https://it.wikipedia.org/wiki/Chimica_metallorganica#Struttura_dei_composti_metallorganici)
18. A. SALZER: Pure Appl. Chem., Vol. 71, No. 8, pp. 1557±1585, 1999. IUPAC
19. [http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=0064&p\\_version=2&p\\_lang=it](http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0064&p_version=2&p_lang=it)
20. <https://it.wikipedia.org/wiki/Tetracarbonilnicel>
21. Tang, M. H. (2012). "Side Reactions in Lithium-Ion Batteries". UC Berkeley. ProQuest ID: Tang\_berkeley\_0028E\_12410. Merritt ID: ark:/13030/m5x92gcb. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/331948fw>
22. [http://www.safety-s2s.eu/modules.php?name=s2s\\_wp4&op=v&idp=728](http://www.safety-s2s.eu/modules.php?name=s2s_wp4&op=v&idp=728)
23. [http://www.safety-s2s.eu/modules.php?name=s2s\\_wp4&idpart=1&op=p&idm=7](http://www.safety-s2s.eu/modules.php?name=s2s_wp4&idpart=1&op=p&idm=7)
24. TOTAL BATTERY CONSULTING Inc.: "The battery safety and abuse tolerance report". USA, 2016
25. Cinzia Di Bari: "ASPETTI DI SICUREZZA DI SISTEMI DI ACCUMULO AL LITIO E AD ALTA TEMPERATURA PER APPLICAZIONI NELLE RETI ELETTRICHE". Report RdS/PAR2013/192. Settembre 2014
26. [https://batteryuniversity.com/learn/article/safety\\_circuits\\_for\\_modern\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/safety_circuits_for_modern_batteries)
27. <https://www.hunker.com/13414366/difference-between-slow-blow-time-delay-fuse>
28. F.Baronti, A. Carloni, R. Di Rienzo, R. Roncella, R. Saletti (Università di Pisa): "Studio sulle caratteristiche funzionali dei BMS per applicazioni automotive e sulle loro possibili implementazioni; valutazioni sull'affidabilità e sulle implicazioni relative alla sicurezza di sistema". Report RdS/PAR2017/249
29. F. Baronti, A. Carloni, R. Di Rienzo, R. Roncella, R. Saletti (Università di Pisa): "Analisi HazOp specifica di BMS per applicazioni automotive (con riferimento a realizzazione qualificata automotive in ambito open hardware disponibile presso il Fraunhofer Institute)". Report RdS/PAR2017/182
30. M. Schiavetti, T. Pini, M. Carcassi (Università di Pisa): "Analisi di rischio di sistemi di accumulo di interesse automotive con tecniche HAZOP e LOPA: studio preliminare sulla gestione delle deviazioni dal normale funzionamento da parte del BMS". Report RdS/PAR2017/248
31. <https://ec.europa.eu/jrc/en/event/workshop/workshop-safer-li-ion-batteries-preventing-thermal-propagation>
32. <http://www.mpoweruk.com/safety.htm>
33. Cinzia Di Bari, Vincenzo Sglavo: "Batterie Litio-ione: sulla catena degli eventi termici che può condurre a esplosione ed incendio". Report RdS/PAR2015/200
34. Cinzia Di Bari, Michele Mazzaro: "Prove di abuso effettuate in campo aperto su sistemi Litio-ione". Report RdS/PAR2017/182
35. Sriramulu, Suresh, and Stringfellow, Richard. Internal Short Circuits in Lithium-Ion Cells for PHEVs. United States: N. p., 2013. Web. doi:10.2172/1124078.
36. L. Wu, et al., Chem. Mater. 23 (2011) 39533960.  
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cm201452q>
37. [https://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries)

38.

Jianwu Wen, Yan Yu\*, and Chunhua Chen: "A Review on Lithium-Ion Batteries Safety Issues:

Existing Problems and Possible Solutions". Mater. Express 2 (2012) 197212.  
<https://www.ingentaconnect.com/content/asp/me/2012/00000002/00000003/art00002#>

39. P. Ribiere, et al.: "Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry". Energy Environ. Sci., 2012,5, 5271-5280

40. N.P. Lebedeva, L. Boon-Brett, J. Electrochem. Soc. 163 (2016) A821A830.  
<http://jes.ecsdl.org/content/163/6/A821.full.pdf+html>

41. [https://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries)

42. Aircraft Incident Report: Auxiliary Power Unit Battery Fire, Japan Airlines Boeing 787-8, JA829J, Boston, Massachusetts, January 7, 2013. (2014).

<https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AIR1401.pdf>

43. <https://www.encyclios.it/cortocircuito/>

44. C. Di Bari, E. Rossi, S. Costà, F. Sacco: "Definizione di procedure di prova di overvoltage e cortocircuito su sistemi di accumulo litio-ione". Report RdS/PAR2016/170. DOI: 10.13140/RG.2.2.11475.27685

45. [https://batteryworkshop.msfc.nasa.gov/presentations/08\\_Safety%20Design%20Features%20of%20GS%20Yuasa%20Lg%20Li-Ion\\_TInoue.pdf](https://batteryworkshop.msfc.nasa.gov/presentations/08_Safety%20Design%20Features%20of%20GS%20Yuasa%20Lg%20Li-Ion_TInoue.pdf)

46. <http://www.baj.or.jp/e/safety/safety16.html>

47. Shriram Santhanagopalan, Premanand Ramadass, John (Zhengming)Zhang: "Analysis of internal short-circuit in a lithium ion cell". Journal of Power Sources, Volume 194, Issue 1, 20 October 2009, Pages 550-557. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.05.002>

48. Cinzia Di Bari: "Sistemi di accumulo elettrochimico Sodio ad alta temperatura: test di sicurezza preliminary". Report RdS/PAR2017/180 - DOI: 10.13140/RG.2.2.12443.11046

49. C. Di Bari, E. Rossi, I. Morriello, M. Mazzaro e F. Sacco, S. Costà: "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

50.

J. Vetter a, \*, P. Novák a, M.R. Wagner b, C. Veitb, K.-C. Müller b, J.O. Besenhard b, M. Winter b,

M. Wohlfahrt-Mehrens c, C. Vogler c, 1, A. Hammouch: "Ageing mechanisms in lithium-ion batteries". Journal of Power Sources 147 (2005) 269–281

51. H.Y. Wang, M. Yoshio, T. Abe, Z. Ogumi, J. Electrochem. Soc. 149 (2002) A499A503.

52. A. Pfrang, A. Kersysa, A. Kristona, D.U. Sauerb,c,d, C. Rahed, S. Käbitz b,d, E. Figgemeier: "Long-term cycling induced jelly roll deformation in commercial 18650 cells". Journal of Power Sources 392 (2018) 168–175

## 7 Appendice 9A – Il processo di produzione di celle litio-ione

Una buona descrizione del processo di produzione di celle litio-ione, si trova in. <https://cleantechnica.com/2018/03/04/lithium-battery-clues-mystery/>. Nel sito sono disponibili alcuni interessanti filmati, tra cui quello relativo alla produzione di celle cilindriche reperibile anche su Youtube: [https://youtu.be/H3BszJ6K\\_SM](https://youtu.be/H3BszJ6K_SM)

Tutte le immagini e il testo seguente provengono dall'articolo sopracitato. Questa breve lettura e l'osservazione delle immagini consentono di avere una idea immediata della complessità del processo produttivo. Le immagini sono di repertorio e, dunque, possono non fornire particolari rilevanti come, ad esempio, i DPI necessari per la manipolazione dei materiali durante il processo di fabbricazione.

*The currently widespread battery manufacturing process was developed at Sony, the first to introduce commercial lithium-ion batteries in large numbers. Sony was manufacturing magnetic tape for recorders at the time and realized that the process for manufacturing tape could be adapted to making lithium-ion batteries. Since CDs were taking over from magnetic tape, the technology, equipment, and personnel were available. The tape process applies iron oxide or other metal oxide slurry to sheets of tape, dries them, and cuts them into reels of tape. For lithium batteries, sheets of copper and aluminum foil are used. They are coated with metal oxides and graphite, layered with a separator, packaged, and filled with electrolytes. (Figura 47 e Figura 48).*

*The battery manufacturing process begins with slurries made for cathode and anode materials consisting of the metal oxides or graphite. Binders are added and the slurries are applied to the metal foils. Copper and aluminum sheet rolls are fed into a coating machine to affix the slurries to the foils. Next, the sheets are calendared or made uniform thickness and then sent through a drier. (Figura 49)*

*Once dried, sheets are then cut to size to prepare for assembly in a package. The foils are stacked with separators and rolled into a spiral, the so called jelly roll, and assembled into cylindrical packages or layered like sheets to put in pouch packages. The electrolyte is added and the package is sealed. (Figura 50)*

*Lithium batteries can swell, so pouch packages require an external assembly to complete the function.*

*Battery manufacturers source components from chemical providers like Johnson Matthey and 3M using cathode, anode, separator, and electrolyte materials to form a finished product.*

*Once the package is sealed, the cell undergoes formation. That is, it is allowed time for the electrolyte to interact and form an SEI, or solid electrolyte interface layer. The electrolyte salts interact vigorously with the cathode carbon material forming the SEI layer. During SEI formation, lithium is inserted or intercalated in the carbon. Formation may continue when the cell is charged for the first cycle and charging may be used to form the cells. The SEI layer is critical to the operation of a lithium cell.*

*The **SEI layer** inhibits further reaction and makes the cell stable. Interestingly, the SEI layer both aids and inhibits electrical activity. It is responsible for properties such as self-discharge and cell conductivity. When a battery is used over its lifetime, the SEI layer grows, increasing resistance and eventually limiting useful function.*

*The SEI layer is not formed with titanate electrodes, but it is with carbon, one reason for a lithium-titanate battery's high cycle life.*

Lithium batteries are an evolution of battery design based on the same principles used in the earliest batteries. Their operation is fundamentally the same as early batteries, but differs in the materials and some new properties, like intercalation. Many pioneering scientists have contributed to their development. It's also just humorously interesting that lithium battery manufacturing development is related to audio tape.

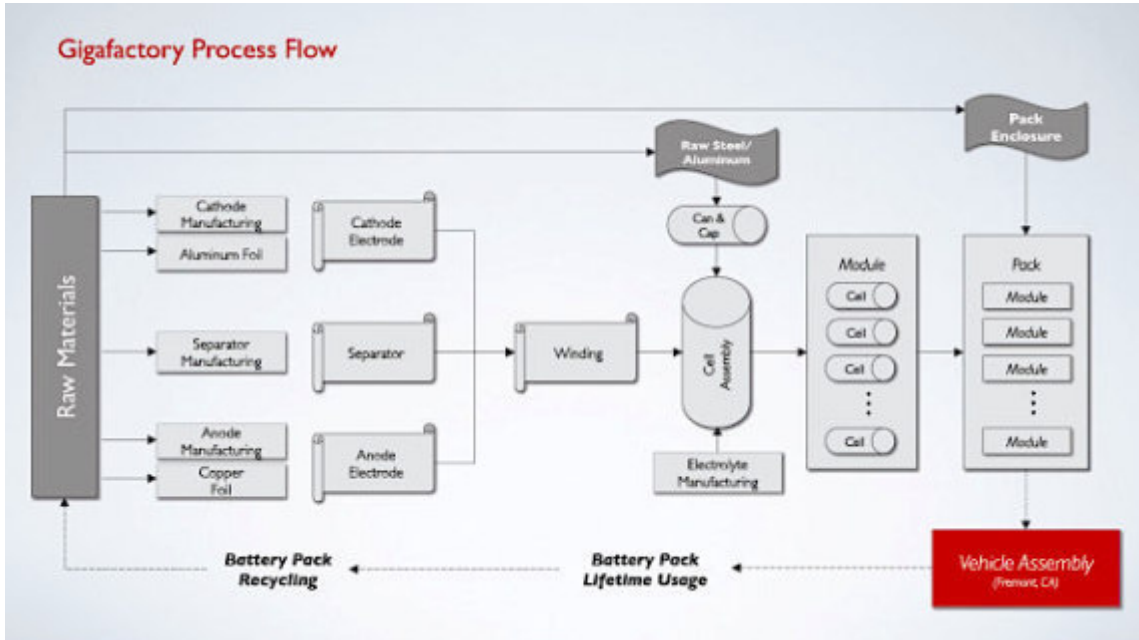


Figura 47

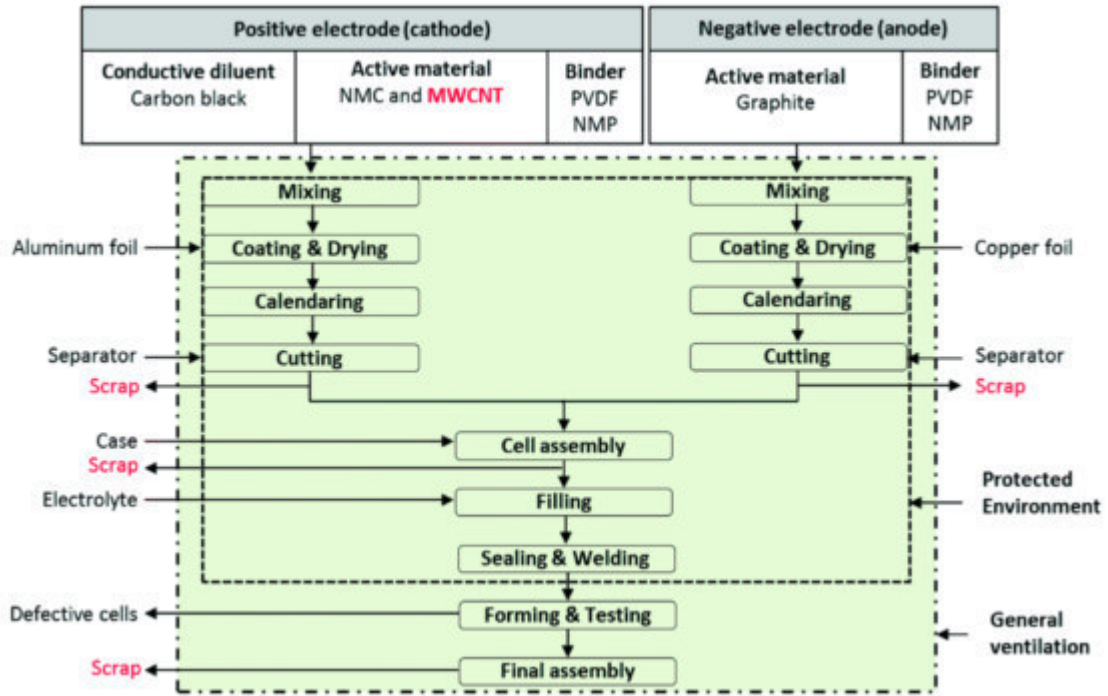
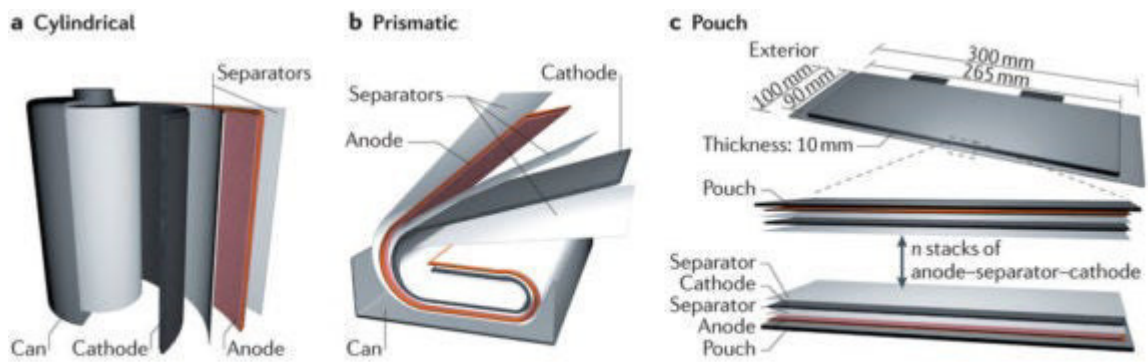


Figura 48





Figura 49



Nature Reviews | [Materials](#)

Figura 50



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



## RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

### Capitolo 4 Analisi incidentali e *best practices*

Cinzia Di Bari (ENEA), con i contributi di: Vincenzo Puccia e Andrea Denti (CNVVF)



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



## Indice

|  |     |
|--|-----|
| INTRODUZIONE .....   | 203 |
| 1 LA CASISTICA INCIDENTALE E IL PROBLEMA DELLE FONTI .....   | 205 |
| 1.1 IL DATA BASE ARIA (BARPI) .....  | 206 |
| 1.2 IL DATA BASE HAZMAT (FAA) .....  | 209 |
| 1.3 ALTRI DATA BASE .....  | 210 |
| 1.4 I DATA BASE DI RICHIAMO DI PRODOTTI COMMERCIALI PERICOLOSI .....   | 212 |
| 1.4.1 Consultazione del DB CPSC.....   | 215 |
| 1.4.2 Consultazione del DB RAPEX.....  | 217 |
| 2 REPORT DI CASI DI INCIDENTE ED ESPERIENZE DI INTERVENTO .....  | 220 |
| 2.1 DATA BASE BARPI (ESCLUSI INCIDENTI FILIERA RIFIUTI).....   | 228 |
| 2.1.1 Incendio in un centro di ricerche .....  | 228 |
| 2.1.2 Esplosione di un vagone merci contenente batterie Litio-ione esauste .....   | 228 |
| 2.1.3 Incendio di batterie Litio-ione in una centrale elettrica .....  | 229 |
| 2.1.4 Incendio originato da un collo di 156 celle Litio-ione in un centro dell'operatore postale francese ColiPoste<br>230     |     |
| 2.1.5 Maintenance and repair of motor vehicles .....   | 230 |
| 2.1.6 Incendio in una fabbrica di automobili .....   | 230 |
| 2.2 VEICOLI ELETTRICI.....   | 231 |
| 2.2.1 Veicoli elettrici ed ibridi.....   | 231 |
| 2.2.2 E-bike .....   | 234 |
| 2.2.3 E-bus .....  | 241 |
| 2.3 SISTEMI DI ACCUMULO STAZIONARIO.....   | 242 |
| 2.3.1 Global Energy Storage Database .....   | 242 |
| 2.3.2 LG Chem stops ESS operation in the wake of a series of fires .....   | 243 |
| 2.3.3 Drogenbos, novembre 2017.....  | 244 |
| 2.4 ELETTRONICA DI CONSUMO .....   | 246 |
| 2.4.1 Telefonia cellulare.....   | 246 |
| 2.4.2 Sigarette elettroniche .....   | 246 |
| 2.4.3 Hoverboard .....   | 247 |
| 2.5 TRASPORTO MERCI PERICOLOSE VIA MARE.....   | 247 |
| 2.5.1 Relazione e considerazioni sull'incendio avvenuto a bordo della M/n "Maersk Honam" [56] .....                            | 252 |
| 2.6 GESTIONE DEI RIFIUTI .....   | 254 |
| 2.6.1 Francia (BARPI) .....  | 255 |
| 2.6.2 Svizzera tedesca .....   | 274 |
| 3 CASI STUDIO ED ESPERIENZE DI INDAGINE O INTERVENTO.....  | 278 |
| 3.1 INTRODUZIONE .....   | 278 |
| 3.2 ESS IN KOREA DEL SUD .....   | 278 |
| 3.3 CONFRONTO SULLE CONSEGUENZE DI UN INCENDIO DI UN VEICOLO ELETTRICO E DI UN VEICOLO CON MOTORE A COMBUSTIONE<br>INTERNA 282 |     |
| 3.3.1 VTT Technical Research Centre of Finland .....   | 282 |
| 3.3.2 Antincendio-Italia, agosto 2019.....   | 283 |
| 3.3.3 Larsson, 2013 .....  | 285 |
| 3.3.4 Quesito della DG FOR INTERNAL MARKET, INDUSTRY, ENTREPRENEURSHIP AND SMES, EUROPEAN<br>COMMISSION, Agosto 2019 [67]..... | 286 |
| 3.3.5 Rapporto IATA sulla Investigazione di tre incidenti occorsi ad Aerei Cargo.....  | 286 |
| 4 IL DATA BASE INCIDENTALE PRODOTTO DALLA COLLABORAZIONE TRA ENEA E CNVVF.....   | 287 |
| 5 GESTIONE DELLE EMERGENZE: BEST PRACTICE E APPROFONDIMENTI .....  | 288 |
| 5.1 APPROFONDIMENTI .....  | 288 |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| 5.1.1  | Linee guida in caso di intervento su veicoli elettrici: CNVVF [69] , 26 giugno 2019 .....  | 288 |
| 5.1.2  | 2019, Esempio di un intervento su veicolo elettrico in fiamme, Svizzera.....   | 289 |
| 5.1.3  | 2019, Sistemi di estinzione in commercio, Olanda.....  | 289 |
| 5.1.4  | 2018, Fenomenologia incendio batterie litio-ione e strategie intervento, Finlandia .....   | 291 |
| 5.1.5  | 2018, Prevenzione e gestione incendi, Olanda.....  | 291 |
| 5.1.6  | 2017, Tecniche di estinzione incendio batterie EV, NFPA.....   | 291 |
| 5.1.7  | 2017 - MIT "Lithium Ion Battery Safety Guidance" [73].....   | 291 |
| 5.2  | INTERVENTO SU VEICOLI ELETTRICI .....  | 292 |
| 5.2.1  | 2019 - NFPA Emergency Response Guides .....  | 292 |
| 5.2.2  | 2019 - HSE - Electric and hybrid vehicles [75] .....   | 292 |
| 5.2.3  | 2018 - NFPA Emergency Field Guide .....  | 293 |
| 5.2.4  | 2018 - CTIF: "MANUALE OPERATIVO PER I VIGILI DEL FUOCO. LA RISPOSTA D'EMERGENZA SUI VEICOLI FIRE SERVICE OPERATIONAL HANDBOOK".....                                    | 294 |
| 5.2.5  | 2017 - NFPA BULLETIN on Submerged Hybrid / Electric Vehicles.....  | 295 |
| 5.2.6  | 2017 - SAE J3108: "xEV Labels to Assist First and Second Responders, and Others" .....   | 296 |
| 5.2.7  | 2014 –RECHARGE: alcune pubblicazioni .....   | 297 |
| 5.2.8  | 2013 - NFPA- FPRF: "Electric/Hybrid Vehicle Safety Training for Emergency Responders" [75]. .....  | 297 |
| 5.2.9  | 2013 - NFPA- FPRF: "Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results" [78] ..... | 298 |
| 5.2.10   | 2012 - NHTSA Interim Guidance for Electric and Hybrid-Electric Vehicles Equipped with High Voltage Batteries [76].....   | 299 |
| 5.2.11   | 2012 - SAE J2990: "Hybrid and EV First and Second Responder Recommended Practice" [77] .....   | 300 |
| 5.3  | 2019 – NFPA & ESS: LO STANDARD NFPA 855 E LE ATTIVITÀ DI FORMAZIONE (CONTRIBUTO DI ANDREA DENTI)[60] .....   | 300 |
| 5.3.1  | Attività di formazione ed informazione sugli ESS.....  | 300 |
| 5.3.2  | NFPA 855 [79] – "Standard for the installation of Stationary Energy Storage System" - Edizione 2020 ..   | 300 |
| 5.4  | INTERVENTO SUI SISTEMI DI ACCUMULO STAZIONARIO (ESS).....  | 307 |
| 5.4.1  | 2019- SANDIA – ESS Safety Fact Sheet .....   | 307 |
| 5.4.2  | 2018, Australia: buona pratica realizzazione ESS e Safety Matrix.....  | 307 |
| 5.4.3  | 2018 - International Fire Code, capitolo 12.....   | 308 |
| 5.4.4  | 2018 - Energy Storage System Guide for Compliance with Safety Codes and Standards .....  | 309 |
| 5.4.5  | 2017 - ESS - NFPA- FPRF: "Lithium-ion battery energy storage systems" .....  | 309 |
| 5.4.6  | 2017 – FM Global "Property Loss Prevention Data Sheet for Energy Storage Systems" .....  | 309 |
| 5.4.7  | 2017 - DNV-GL: Considerations for ESS Fire Safety.[80].....  | 310 |
| 5.4.8  | 2011 – UL Report "Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project". .....   | 311 |
| 6  | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E COLLEGAMENTI IPERTESTUALI .....  | 312 |
| APPENDICE 5.A – DESCRIZIONI DEI MEDIA DI ALCUNI CASI INCIDENTE OCCORSI TRA IL 2018 E IL 2019. .... |  | 317 |
| 1.   | 5 LUGLIO 2019 – CELLULARE ESPLODE IN UN VEICOLO .....  | 317 |
| 2.   | 5 LUGLIO 2019 - HYUNDAI KONA ELECTRIC IN A MONTREAL GARAGE.....  | 317 |
| A.   | Fonte 1 - CBC News .....   | 317 |
| B.   | Fonte 2 - Articolo 31 luglio 2019 .....  | 319 |
| 3.   | 2 GIUGNO 2019. ANVERSA – BELGIO. TESLA PRENDE FUOCO DURANTE LA RICARICA AD UN SUPERCHARGER TESLA .....   | 320 |
| A.   | Fonte 1 .....  | 320 |
| B.   | Fonte 2 .....  | 321 |
| 4.   | 23 MAGGIO 2019 – ROMA, BUS ELETTRICO (BATTERIA ZEBRA).....   | 322 |
| A.   | 15 Febbraio 2018.....  | 322 |
| B.   | 17 aprile 2018.....  | 323 |
| C.   | 18 dicembre 2018.....  | 324 |
| D.   | 19 dicembre 2018.....  | 325 |
| E.   | 6 aprile 2019.....   | 326 |
| F.   | 11 maggio 2019 .....   | 326 |
| G.   | L'incidente: 29 maggio 2019 – Fonte 1.....   | 329 |
| H.   | L'incidente: 29 maggio 2019 – Fonte 2.....   | 330 |
| I.   | L'incidente: 29 maggio 2019 – Fonte 3.....   | 330 |
| 5.   | 13 MAGGIO 2019,-HOVERBOORD.....  | 330 |
| 6.   | 28 APRILE 2019: E BIKE .....   | 332 |
| 7.   | 23 APRILE 2019, CINA, AUTOCOMBUSTIONE TESLA S .....  | 335 |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| A.   | Fonte 1 .....  | 335 |
| B.   | Fonte 2 .....  | 336 |
| C.   | Fonte 3 .....  | 338 |
| 8.   | 19 APRILE 2019 – ARIZONA, ESS.....   | 338 |
| A.   | Articolo 23 giugno 2019 .....  | 338 |
| B.   | Bloomberg 23 aprile 2019 .....   | 340 |
| C.   | Arizona Republic 20 aprile 2019 .....  | 342 |
| D.   | Fonte 4 .....  | 344 |
| E.   | Fonte 5 .....  | 345 |
| 9.   | SHENZEN, 18 MARZO 2019 .....   | 347 |
| A.   | Fonte 1 .....  | 347 |
| B.   | Fonte 2 in cinese.....   | 347 |
| C.   | Fonte 3 .....  | 347 |
| 10.  | YEREZ, 14 MARZO 2019 .....   | 348 |
| A.   | Fonte 1 .....  | 348 |
| B.   | Fonte 2 .....  | 354 |
| C.   | Fonte 3 - Le Figaro .....  | 355 |
| 11.  | 24 FEBBRAIO 2019 - FORT LAUDERDALE .....                                     | 358 |
| A.   | Fonte 1 .....  | 358 |
| B.   | Fonte 2 .....  | 359 |
| C.   | 21 marzo 2019, Corriere della sera .....                                     | 361 |
| D.   | 26 marzo 2019 - La Repubblica.....   | 362 |
| E.   | 28 marzo 2019 ,Virgilio motori.....  | 363 |
| 12.  | FREMONT, TESLA MODEL X BURSTS INTO FLAME AFTER CRASH. FEBRUARY 18, 2019..... | 364 |
| 13.  | FREMONT, FIRE AT TESLA FACTORY, 16 FEBBRAIO 2019 .....                       | 365 |
| 14.  | 10 NOVEMBRE 2017 .....   | 366 |
| A.   | Fonte 1 .....  | 366 |
| B.   | Fonte 2 .....  | 367 |
| 15.  | 23 MAGGIO 2017 - IMPIANTO RICICLO .....                                      | 368 |
| APPENDICE 5.B - RACCOLTA CASI INCIDENTI OCCORSI A VEICOLI ELETTRICI. FONTE: .....  |  | 371 |
| APPENDICE 5.C - RACCOLTA CASI INCIDENTI PRELIMINARE ALLA ANALISI DEI RISCHI. FONTE: .....  |  | 376 |
| APPENDICE 5.D - HAZMAT - EVENTI INCIDENTALI REGISTRATI NEL 2018 E NEL 2019 (22 MAGGIO 2019) .....  |  | 382 |
| ALLEGATO 5.E STANDARD CINESE PER LE SPECIFICHE TECNICHE DI SICUREZZA PER BICICLETTE ELETTRICHE 2018 .....  |  | 393 |
| APPENDICE 5.F KOREAN GOVERNMENT ANNOUNCEMENT ON THE RESULT OF INVESTIGATION ON THE ENERGY STORAGE SYSTEM FIRE ACCIDENT AND MEASURES TO STRENGTHEN SAFETY ..... |  | 396 |

## Introduzione

Può il decesso di una persona imputabile alla perforazione del cranio provocata dall'esplosione della batteria della sua sigaretta elettronica, avere significato per la prevenzione dei rischi nella elettromobilità? È opinione della scrivente che la risposta debba essere affermativa. È bene assecondare l'espansione di impiego di questa tecnologia di accumulo, ma che si faccia tesoro di questi casi! Infatti, a meno che non si siano trovate diverse soluzioni progettuali, una cella 18650 esplose formando un proiettile [1], come può accadere in generale anche nel caso di celle di forma cilindrica di dimensioni maggiori: si tratta di celle che troviamo nelle e-bike e in molti veicoli elettrici a due e quattro ruote.

In generale, la affidabilità di una batteria è legata a numerosi fattori, tra i quali: la qualità delle materie prime; la qualità del processo di fabbricazione, inclusi il trattamento iniziale di formazione della SEI e la corretta attivazione della batteria/cella stessa, ottenibile mediante cicli di formazione che la stabilizzano; le modalità di conservazione durante tutte le fasi di trasporto e stoccaggio dalla fabbrica al luogo di utilizzo, tenendo conto che la maggior parte delle batterie, dei dispositivi elettronici che le contengono e i veicoli vengono trasportati dai luoghi di produzione fino ai luoghi di utilizzo mediante trasporto intermodale e includendo la fase di trasporto marittimo (con numerose ore di viaggio attraverso latitudini e longitudini con caratteristiche climatiche diverse).

Siamo inoltre convinti che investire nella prevenzione dei rischi per gli utilizzatori finali sia meno oneroso per le aziende che già investono nella gestione integrata di qualità sicurezza salute e ambiente delle loro aziende e, corrispondentemente, alla tutela della salute dei lavoratori secondo il testo unico sulla salute sicurezza sul lavoro (D.Lgs. 81/08 e s.m.i.), sulle norme di tutela dell'ambiente e della prevenzione dei rischi di incidente rilevante, sulle disposizioni di prevenzione incendi. Inoltre, gli studi del comportamento ad abuso e della casistica incidentale delle batterie litio ione, consentono di migliorare la progettazione dei RESS, dei BMS (Battery Management System), delle stazioni di ricarica e della catena logistica. Ed ancora, lo studio della casistica incidentale è utile per conoscere le abitudini degli utenti finali e dei manutentori (ad esempio) e operare sulla loro informazione e formazione, abbattendo così l'elevata percentuale di incidenti attribuiti al cosiddetto "errore umano".

Tutto ciò premesso, noi crediamo di dover affrontare il problema della incidentalità "a tutto tondo", includendo anche le pile al Litio metallico (una tecnologia che sembra matura ma è sempre più diffusa - contatori elettronici delle utenze: acqua, elettricità, gas; strumenti di misura; ecc. - e passa inosservata) in modo da avere maggiore contezza del comportamento del Litio atomico negli scenari incidentali.

A tal fine, da alcuni anni, stiamo raccogliendo in maniera non sistematica, le notizie di incidenti che riguardano seguenti ambiti:

- Produzione di celle e di batterie Litio-ione e Litio metallico
- Stoccaggio di celle e batterie
- Trasporto e logistica (merci pericolose): terra-ADR, acqua-IMDG e aria-ICAO dello IATA
- Apparecchi utilizzatori nelle fasi di utilizzo: e-cig, telefonia mobile, computer e apparecchiature elettroniche, giocattoli, poltrone relax [2], ecc.
- Veicoli elettrici, nelle fasi di vita e di impiego – tutti i tipi di veicoli
- Gestione dei rifiuti di batterie
- Supercondensatori e sistemi che li utilizzano

In tal senso risultano significative alcune conclusioni di uno studio del 2013 [3] sulla casistica incidentale tedesca relativa ai veicoli elettrici e sul diverso impatto dei problemi costruttivi e dell'errore umano, sulla incidentalità. I limiti dello studio, ammessi anche dall'autore, sono i seguenti:

*[...]The overall risk for an incident due to a battery problem seems to be quite low. This is a result of the low numbers of existing vehicles [...]*

*[...]incidents due to battery problems is increasing. This is from the increased number of XEV's in the field, but it is not above the expected numbers from the current market share of XEV's.*

*[...]it seems that the safety level of the batteries produced and quality of the batteries are not only getting better, but also that the safety systems and requirements are working very well.*

*Dunque, ci si attende che l'incidentalità aumenti con la diffusione dei veicoli elettrici, come pure con la diffusione dell'utilizzo dei sistemi di accumulo al litio. E' perciò necessario ampliare ancora lo sguardo e raccogliere informazione nell'ambito del mercato globale.*



## 1 La casistica incidentale e il problema delle fonti

La casistica incidentale è fondamentale per apprendere conoscenze quali: la varietà di scenari incidentali che si possono presentare e le loro conseguenze, di fronte alle quali talvolta si rimane costernati; acquisire la base di dati necessaria ai fini della l'effettuazione della Analisi di Rischio con metodi formalizzati; quantificare i premi assicurativi [4, 5, 6] sia per i consumatori che per la catena logistica, i produttori di batterie, i produttori di veicoli, anche commerciali. Infine, può costituire anche un fattore di influenza sui provvedimenti governativi per l'incentivazione all'acquisto dei veicoli elettrici.

Avere le notizie di incidente non è facile [7]: le leggi nazionali ed europee, oltre a non prevedere l'obbligo di notifica all'ECHA e l'obbligo di redazione della scheda di sicurezza, non prevedono un sistema di raccolta delle informazioni di incidente. Ma in Europa (RAPEX) e negli Stati Uniti esistono dei servizi pubblici, dedicati ai consumatori e alle pubbliche amministrazioni competenti nei quali vengono giornalmente / settimanalmente, riportati i casi di ritiro di merci che sono risultate pericolose per la salute e/o per la sicurezza dei consumatori. Si tratta di informazioni preziose, frutto di istruttorie specifiche alle quali sarebbe opportuno poter accedere. Conoscere le dinamiche degli incidenti ed i guasti che li hanno provocati è fondamentale per i nostri scopi, ma si tratta di informazioni generalmente sottoposte al segreto istruttorio.

Avere le notizie richiede una consapevole assunzione di responsabilità da parte dei fabbricanti e da parte degli importatori: un livello di maturità imprenditoriale che, a parere della scrivente ben si coniuga con la prospettiva di contribuire al nuovo paradigma di sviluppo sostenibile "tutto Green". Ecco perché si auspica la realizzazione di una rete di esperti che condividano le notizie di incidente: questo richiede la più ampia partecipazione delle imprese nella comunicazione delle notizie di eventi incidentali e dei "quasi incidenti", collaborando così con gli enti pubblici che potrebbero realizzare la rete di raccolta dati.

Nel periodo 2015-2019 è stata effettuata una raccolta di notizie di incidenti provenienti dai media e da fonti istituzionali. La casistica incidentale ha riguardato: Produzione di celle e di batterie Litio e Litio-ione; Stoccaggio di celle e batterie; Trasporto e logistica (merci pericolose): terra-ADR, acqua-IMDG e aria-ICAO dello IATA; Apparecchi utilizzatori nelle fasi di utilizzo: e-cig, telefonia mobile, computer e apparecchiature elettroniche, giocattoli, ecc.; Veicoli elettrici, nelle fasi di vita e di impiego – tutti i tipi di veicoli; Gestione dei rifiuti di batterie. (Figura 1)



Figura 1

Tra le informazioni raccolte, si citano: l'incidente occorso alla nave mercantile "Maersk Honam" lo scorso 8 marzo 2018, nel corso della quale sembra che container contenenti batteria al litio siano stati alla base del grande incendio che ha coinvolto il mercantile specializzato nel trasporto di merci pericolose; l'incidente dello scorso maggio 2018 nel corso del quale un cittadino della Florida è stato ucciso dall'esplosione della batteria della sua sigaretta elettronica [8] che gli ha provocato perforazione del cranio (si trattava di una cella 18650, del tipo di quelle utilizzate nei sistemi di accumulo delle Tesla). Sulla base della casistica incidentale riguardante le sigarette elettroniche la *US Fire Administration* ha prodotto, nell'ottobre 2014 un rapporto tecnico di notevole interesse [9]. Come anche di notevole interesse sono gli studi, prodotti da dermatologi o dai medici di pronto soccorso, che cominciano a comparire sulle ustioni prodotte dall'incendio o dall'esplosione di sigarette elettroniche: si cita a titolo di esempio l'articolo di Harshman [10] del 2017. Una breve ricerca è stata effettuata anche in cinese, utilizzando la traduzione on-line di *key word* inglesi, in cinese tradizionale, e riguarda i bus elettrici tenuto conto che la flotta cinese è la più grande del mondo.

In alcuni casi si rileva una non corretta differenziazione tra batterie primarie (o Pile) al Litio (non ricaricabili) e batterie secondarie (o Accumulatori) Litio-ione (ricaricabili).

I limiti sono costituiti dalle Fonti di informazione: difficile accedere ad informazioni provenienti all'area asiatica (Cina, Giappone, Korea, ecc.).

### **1.1 Il Data Base ARIA (BARPI)**

In seno al Ministero dello Sviluppo Economico e Solidale/Direzione generale per la prevenzione dei rischi, l'ufficio di Analisi dei rischi e Inquinamento industriale - Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels (BARPI), è incaricato di raccogliere, analizzare e diffondere le informazioni e gli insegnamenti in materia di incidenti industriali e tecnologici.

Il data base ARIA [11] (Analysis, Research and Information on Accidents) raccoglie le informazioni sugli eventi incidentali (incidents & accidents) che hanno, o potrebbero aver avuto, effetti deleteri sulla salute umana, sulla sicurezza pubblica o sull'ambiente. Questi eventi riguardano: attività effettuate negli impianti industriali a rischio di incidente rilevante; trasporto di materiali pericolosi mediante ferrovia, strada o vie navigabili; distribuzione del gas e utilizzo; apparecchiature impressione; miniere e stoccaggi sotterranei, dighe.

ARIA contiene oltre 46.000 eventi incidentali avvenuti in Francia o all'estero e circa 1200 eventi sono aggiunti nel data base ogni anno. Le fonti di informazioni primaria di questo data base sono costituite da: servizi di emergenza, autorità ispettive, mezzi di comunicazione di massa, professionisti e corrispondenti stranieri. Esso costituisce la memoria storica degli eventi incidentali riporta le seguenti informazioni: circostanze, conseguenze, cause incidentali, protocolli di intervento adottati, e misure preventive e protettive utilizzate per evitare la ripetizione degli incidenti e minimizzare le conseguenze.

Il data base è gestito da un gruppo di ingegneri e tecnici del BARPI ed ha una lunga procedura di realizzazione, a partire dalla notizia iniziale di incidente (Figura 2). In caso di evento incidentale, l'informazione viene acquisita e caricata sul sistema. Viene quindi sottoposta alla valutazione di un'apposita commissione che si riunisce sei volte l'anno, dopodiché viene pubblicata sul sito Web di ARIA e messa a disposizione del pubblico, dopo circa sei mesi dall'evento iniziale. Nel caso in cui si venga in possesso di ulteriori elementi conoscitivi riguardo uno specifico evento, la descrizione dell'incidente viene modificata, garantendo un aggiornamento continuo delle informazioni, oltre che una verifica di merito.

Il BARPI produce una serie di pubblicazioni periodiche (Figura 3): una newsletter bimestrale, articoli provenienti dalla stampa, un rapporto sintetico di due pagine su particolari argomenti (*ARIA Newsflashes* – Allegato 1), rapporti dettagliati degli incidenti di maggiore rilievo, un'analisi approfondita degli incidenti riguardanti settori di particolare interesse.

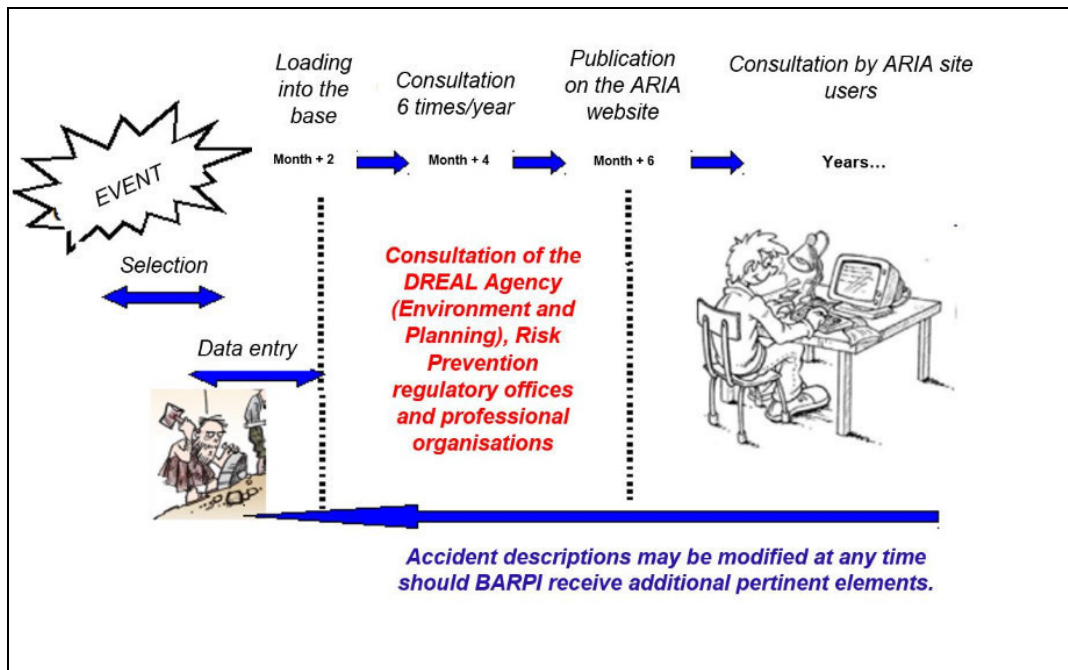


Figura 2



Figura 3

E' stata effettuata una rapida consultazione di ARIA, utilizzando le voci: *Lithium ion batteries*<sup>1</sup> (Figura 4) e *Lithium batteries*<sup>2</sup> (Figura 5): nel primo caso sono stati ottenuti sette risultati e 30 nel secondo. I rapporti di interrogazione contengono un sommario degli eventi, preceduti da un numero progressivo, data, luogo, altri riferimenti alle *key-words* del DB. Nei paragrafi seguenti si riportano alcuni esempi di rapporti di incidente.

<sup>1</sup> <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/?lang=en&s=lithium+ion+batteries>.

<sup>2</sup> [https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/?lang=en&s=lithium%20%20batteries&fwp\\_echelle\\_materiel=0%2C6&fwp\\_echelle\\_humaine=0%2C6&fwp\\_echelle\\_environnement=0%2C6&fwp\\_echelle\\_economie=0%2C6&fwp\\_sort=date\\_desc](https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/?lang=en&s=lithium%20%20batteries&fwp_echelle_materiel=0%2C6&fwp_echelle_humaine=0%2C6&fwp_echelle_environnement=0%2C6&fwp_echelle_economie=0%2C6&fwp_sort=date_desc)

The screenshot shows the ARIA website header with the logo and the tagline "La référence du retour d'expérience sur accidents technologiques". Below the header is a navigation bar with "THE BARPI", "IN CASE OF AN ACCIDENT", and "ACCIDENTOLOGY". The main content area displays search results for "lithium ion batteries" with 7 results. An "ADVANCED SEARCH" box contains the search term "lithium batteries". Below the search box, the first result is for ID 50643, dated 11/11/2017, categorized as an "Accident" in "BELGIQUE". The summary text is partially visible, mentioning a fire in a container with lithium-ion batteries in a power plant. A "Read more" button is present at the bottom of the summary. A login prompt is also visible on the right side of the result card.

Figura 4

The screenshot shows the ARIA website search results for "lithium batteries" with 30 results. The "ADVANCED SEARCH" box contains the search term "lithium batteries". The first result is for ID 52020, dated 01/08/2018, categorized as an "Accident" in "FRANCE". The summary text discusses the performance of lithium batteries and storage cells, noting that they are not harmless objects and must be processed or recycled. A "Read more" button is present at the bottom of the summary. A login prompt is also visible on the right side of the result card.

Figura 5

## 1.2 Il data Base HAZMAT (FAA)

Presso la FAA (Federal Aviation Administration) del Dipartimento dei trasporti americano (DOE), esiste l'Ufficio "Security and Hazardous Materials Safety" con il compito di "assicurare la sicurezza del traffico aereo, supportare la sicurezza nazionale dello spazio aereo e promuoverne un utilizzo efficiente". Tra le discipline di cui si occupa vi è la sicurezza dei materiali pericolosi. L'ufficio assicura l'adeguamento della agenzia con le leggi pubbliche, le direttive nazionali e quelle del Dipartimento dei trasporti. Inoltre l'ufficio ha compiti di identificazione, sviluppo, implementazione, gestione e supervisione dei processi di security all'interno della agenzia al fine di ridurre i rischi dovuti a spionaggio, sabotaggio, vandalismo, terrorismo e altri atti criminali; si occupa inoltre della gestione degli incidenti.

Per quanto riguarda la sicurezza dei materiali pericolosi [12], l'ufficio si occupa di aumentare la sicurezza del trasporto aereo attraverso la prevenzione degli incidenti che riguardano i materiali pericolosi e degli incidenti che avvengono a bordo aereo. Oltre 100 agenti speciali sono dedicati alla applicazione e alla formazione del personale coinvolto, assicurando l'adeguamento ai regolamenti del DOT. L'ufficio si dedica poi alla implementazione del data base incidentale HAZMAT, e controlla l'applicazione delle norme sul trasporto di merci pericolose (*Hazardous Materials Regulations, 49 CFR Parts 171-179*) sul territorio, sia in entrata che in uscita e all'interno degli Stati Uniti.

Nell'ambito di HAZMAT, viene periodicamente aggiornata la "List of events of on Aviation Cargo and Passenger Baggage Events Involving Smoke, Fire, Extreme Heat or Explosion Involving Lithium Batteries or Unknown Battery Types" [13].

L'elenco, riporta informazioni relative a incidenti registrati dal 1991 ad oggi. Si tratta di 238 eventi che hanno coinvolto batterie al litio e litio ione trasportate via cargo o nei bagagli. Naturalmente si tratta di eventi di cui la FAA è al corrente, quindi non si tratta di una lista esaustiva di incidenti. L'elenco non rappresenta tutte le informazioni che la FAA ha raccolto e non include tutte le informazioni sui processi investigativi o sulle azioni intraprese. Nella lista non include i tre incidenti gravi riguardanti aerei cargo che trasportavano batterie al litio, nei quali le batterie sono state coinvolte, ma non è provato che siano state la sorgente degli incendi. Si tratta dei seguenti eventi:

- Asiana Airlines 747, in prossimità della Korea del Sud, 28 luglio 2011;
- UPS 747, Dubai, UAE, 3 settembre 2010
- UPS DC-8, Philadelphia, PA, 7 febbraio 2006

Solo nel 2018 il rapporto ha riportato 48 incidenti, che hanno interessato i dispositivi elencati di seguito (Tabella 1). Lo stralcio del DB relativo al 2018-2019, è riportato in Appendice 5.D

**Tabella 1**

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| Batterie, power bank e caricabatterie | Battery ; Battery Charger/ Battery Pack; Battery heated socks (Flambeau brand); Power bank; Power pack/ charging device; Spare battery |
| Elettronica di consumo                | Cell phone spare batteries ; e-cigarettes; iPad; iPhone; Lap Top   |
| Dispositivi medici                    | Medical device   |
| Veicoli elettrici                     | Scooter  |

### 1.3 Altri Data Base

Dal Sito Web di ARIA abbiamo avuto accesso al collegamento con altri DB incidentali, che si presentano nella tabella seguente (Tabella 2).

**Tabella 2. Altri DB incidentali**

| Ente gestore  | Denominazione del DB                | Sommario dei contenuti e degli scopi   | Sito web   |
|---|-------------------------------------|--|--|
| The French national research institute for safety (INRS)  | <b>EPICEA</b>                       | Est une base de données factuelle sur les accidents du travail des salariés du régime général de la Sécurité sociale, résultat d'une collaboration entre la CNAMT, les CARSAT/CRAMIF et l'INRS. Elle existe depuis 1988. Elle analyse plus de 20 000 accidents graves et mortels.  | <a href="http://www.inrs.fr/publications/bdd/epicea.html">http://www.inrs.fr/publications/bdd/epicea.html</a>  |
| Major Accident Hazards Bureau (MAHB) of the European Commission's Joint Research Centre (JRC)   | <b>MARS</b>                         | eMARS contains reports of chemical accidents and near misses provided to the Major Accident Hazards Bureau (MAHB) of the European Commission's Joint Research Centre (JRC) from EU, EEA, OECD, and UNECE countries (under the TEIA Convention). Reporting an event into eMARS is compulsory for EU Member States when a Seveso establishment is involved and the event meets the criteria of a "major" accident" as defined by Annex VI of the Seveso III Directive (201218/EU). For non-EU OECD and UNECE countries, reporting accidents to the eMARS database is voluntary. The information of the reported event is entered into eMARS directly by the official reporting authority of the country in which the event occurred. | <a href="https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/content">https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/content</a>  |
| Germany (Agenzia federale per l'ambiente (Umweltbundesamtes (UBA) ) e Istituto federale per la ricerca (Bundesanstalt für Materialforschung und -Prüfung (BAM)) | <b>ZEMA</b>                         | The Central Reporting and Evaluation Office for Major Accidents and Incidents in Process Engineering Facilities (Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen - ZEMA) records, evaluates and publishes in annual reports all events which must be reported to the authorities pursuant to the 12th Federal Immission Control Ordinance. Such reportable events are sub-divided according to their hazard potential into major accidents and disturbance of normal operation. The systematic recording and evaluation of events will provide information which acts as an important basis for a further development of the state of the art of safety technology.                | <a href="http://www.infosis.uba.de/index.php/en/index.html">http://www.infosis.uba.de/index.php/en/index.html</a><br><br><a href="https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/anlagensicherheit/zentrale-melde-auswertestelle-fuer-stoerfaelle">https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/anlagensicherheit/zentrale-melde-auswertestelle-fuer-stoerfaelle</a> |
| Germany   | <b>ProcessNet Incident Database</b> | Database for accidents occurring in the chemistry industry in Germany (with search engine)   | <a href="https://processnet.org/en/incident_db.html">https://processnet.org/en/incident_db.html</a>  |
| ERA – European Railway Agency   | <b>railway accidents in europe</b>  | The european railway agency publishes reports on railway accidents in europe (in english).   | <a href="https://pdb.era.europa.eu/safety_docs/naib/default.aspx">https://pdb.era.europa.eu/safety_docs/naib/default.aspx</a>  |
| Paesi Bassi - TNO Industrial and External Safety  | <b>FACTS</b>                        | FACTS is the acronym for "Failure and Accidents Technical information System". FACTS is an accident database which contains information on more than <b>25,700</b>   | <a href="http://www.factsonline.nl/">http://www.factsonline.nl/</a>  |

| Ente gestore  | Denominazione del DB                  | Sommario dei contenuti e degli scopi   | Sito web   |
|---|---------------------------------------|--|--|
|   |                                       | (industrial) accidents (incidents) involving hazardous materials or dangerous goods that have happened all over the world during the past 90 years.  |  |
| The CCPS (center for Chemical Process Safety)   | <b>BEACON</b>                         | Sponsored and produced by CCPS, the Process Safety Beacon is a resource aimed at delivering process safety messages to plant operators and other manufacturing personnel. The monthly one-page newsletter covers the breadth of process safety topics. Each issue presents a real-life accident, and describes the lessons learned and practical means to prevent a similar accident in your plant. With an estimated distribution of a million readers, the Beacon is CCPS' most widely read publication. | <a href="https://www.aiche.org/ccps/resources/process-safety-beacon?e=1">https://www.aiche.org/ccps/resources/process-safety-beacon?e=1</a>  |
| U.S. Chemical Safety Board  | <b>CSB database</b>                   | The CSB is a US federal independent agency in charge of analysing chemical accidents. The corresponding reports and videos can be downloaded on their website  | <a href="https://www.csb.gov/">https://www.csb.gov/</a>  |
| U.S. National Transport Safety Board (NTSB)   | <b>NTSB Database</b>                  | Accident Reports are one of the main products of an NTSB investigation. Reports provide details about the accident, analysis of the factual data, conclusions and the probable cause of the accident, and the related safety recommendations. Most reports focus on a single accident, though the NTSB also produces reports addressing issues common to a set of similar accidents.   | <a href="https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Pages/AccidentReports.aspx">https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Pages/AccidentReports.aspx</a>                                  |
| Japan<br>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) and Japan Science and Technology Corporation (JST) . | <b>RISCAD</b>                         | Relational Information System for Chemical Accidents Database (RISCAD)   | <a href="https://riscad.aist-riss.jp/?lang=en">https://riscad.aist-riss.jp/?lang=en</a>  |
| Japan Science and Technology Agency   | <b>JST Failure Knowledge Database</b> | Japanese database gathering industrial accidents, that took place around the world, in various sectors (chemistry, petrochemistry, food industry...), as well as natural disasters and nuclear accidents. The latest accidents available date back to 2004.  | <a href="http://www.sozogaku.com/fkd/en/index.html">http://www.sozogaku.com/fkd/en/index.html</a><br><br><a href="http://www.sozogaku.com/fkd/en/index.html">http://www.sozogaku.com/fkd/en/index.html</a> |

#### 1.4 I Data Base di richiamo di prodotti commerciali pericolosi

Negli USA, la lista dei richiami dal mercato di prodotti destinati al consumo, che consegue ad una informativa proveniente dai consumatori o dalle aziende relativamente a prodotti che vengono considerati non sicuri, è gestita dalla “Consumer Product Safety Commission” (CPSC) <sup>3</sup>[55].

Una analoga lista è gestita dall’Unione Europea, si chiama RAPEX [14] ed è realizzata dalla Direzione Generale Consumatori della Commissione Europea che ha realizzato il portale “*Safety Gate - the rapid alert system for dangerous non-food products*” in accordo alla DIRETTIVA 2001/95/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 3 dicembre 2001 relativa alla sicurezza generale dei prodotti.

*The Safety Gate rapid alert system enables quick exchange of information between 31 European countries and the European Commission about dangerous non-food products posing a risk to health and safety of consumers.*

*If a manufacturer or distributor finds out that one of their products on sale is dangerous, they have to inform the competent National Contact <sup>4</sup> in charge of receiving and dealing with alerts of dangerous non-food consumer products sent according to Article 5(3) of the General Product Safety Directive (2001/95/EC). In this case it is recommended to use this tool: **Business Gateway**<sup>5</sup> [57]*

La comunicazione attraverso la *Business Gateway* è strettamente proibita per le terze parti, ed è riservata ai produttori, distributori o rappresentanti autorizzati dei prodotti notificati, come previsto dall’articolo cinque della direttiva 2001/95/EC. L’autorità nazionale competente può utilizzare le informazioni di cui viene in possesso per effettuare una notifica RAPEX dopo una istruttoria preliminare. La procedura di notifica è illustrata in Figura 6 e Figura 7.

Si evidenzia una maggiore facilità di ricerca informazioni sul DB degli Stati Uniti ed una più accurata informazione. E’ necessario porre attenzione alle informazioni raccolte perché contraddittorie (Figura 8) e selezionare quelle certe, facendo controlli incrociati con i produttori o i responsabili di immissione sul mercato e con le notizie su stampa anche spingendosi a livello internazionale. Occorre tenere conto dei “silenzio stampa” adottato da rappresentanze locali di multinazionali e aziende di particolare importanza. Più volte si riscontra un diverso livello di accuratezza di pubblica informazione.

---

<sup>3</sup> <https://www.cpsc.gov/>

<sup>4</sup> Per l’Italia: Giuseppina RAFFAELE, Donatella MELUCCI, Dirigente Dr. Lucio Loiero - Ministero Dello Sviluppo Economico Direzione Generale per il mercato, la concorrenza, il consumatore, la vigilanza e la normativa tecnica Divisione VII - Qualità dei prodotti e dei servizi e professioni non organizzate in ordini o collegi – Sicurezza e conformità dei prodotti - Via Sallustiana 53 00187 ROMA - Phone: +39 0647055373 e 0647055349; Phone: +39 06 4705 5355 - Fax: +39 06 4705 5379 – email: pcrapex.italia@mise.gov.it

<sup>5</sup> <https://webgate.ec.europa.eu/gpsd/>



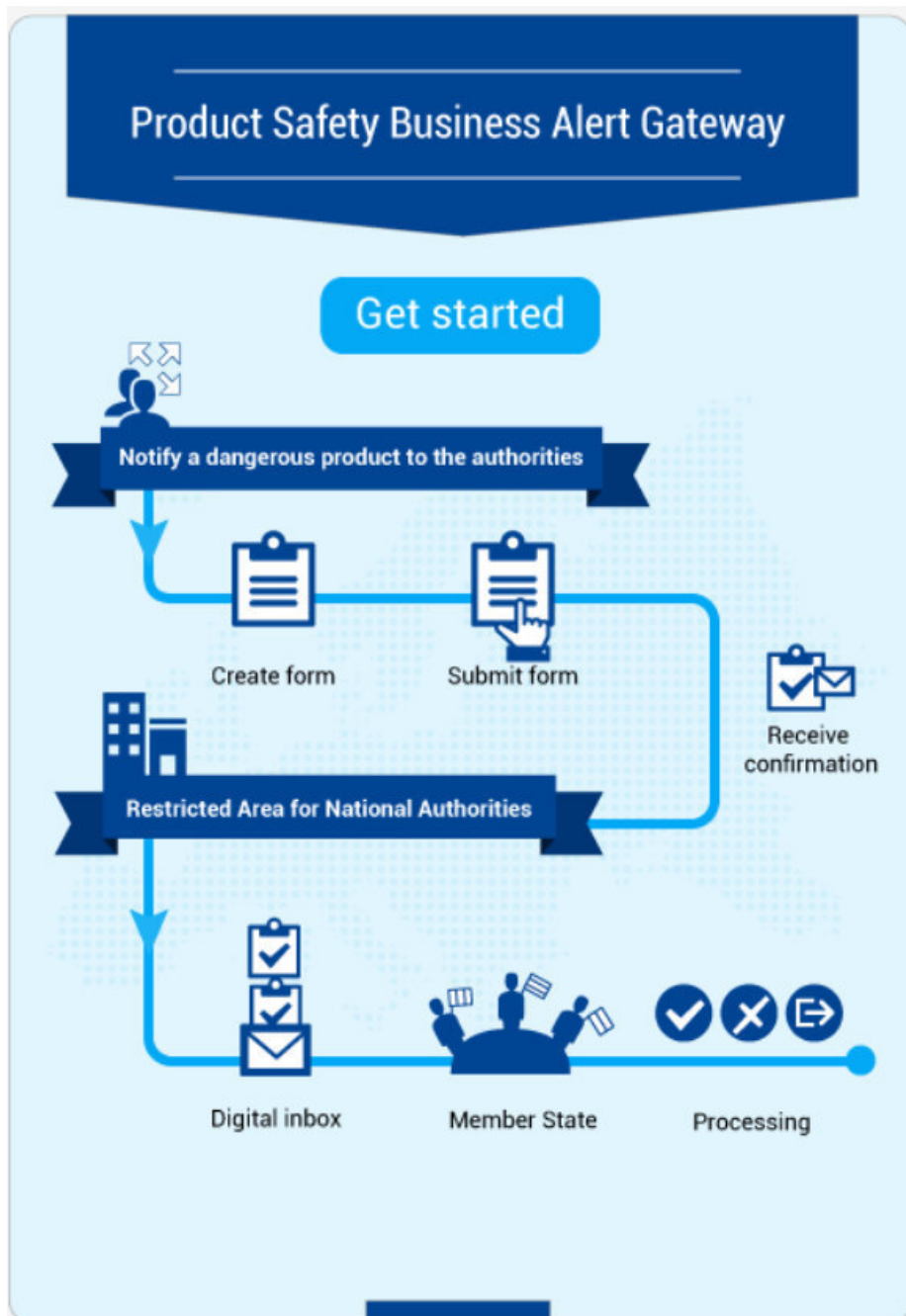


Figura 6

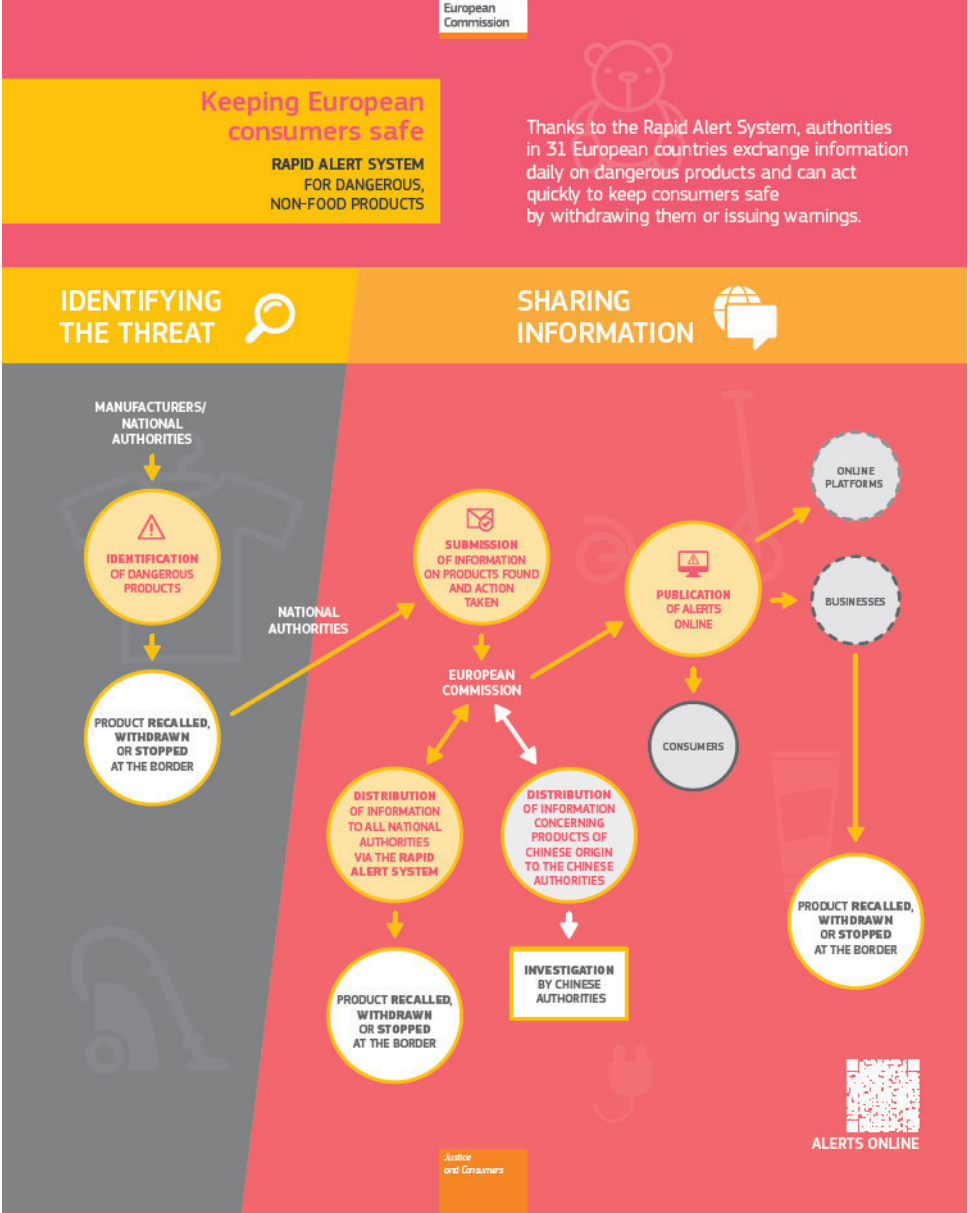


Figura 7



Condividi su [f](#) [t](#) [G+](#) [✉](#)

**Numero della segnalazione:** A12/1053/16 [📄](#) [👁](#)

**Categoria:** Veicoli a motore

**Prodotto:** 📌 Telefono cellulare domestico

**Marca:** Knaus-Tabbert

**Nome:** Box Star, Box Star Plus, Box Life, CaraBus, VANTourer, OrangeCamp and Main Camp.

**Tipo/numero di modello:** 📌 Numeri di omologazione: E1 \* 2007/46 \* 0771 \* 04, e1 \* 2007/46 \* 0771 \* 06, e1 \* 2007/46 \* 0946 \* 01; tipi: K250L, KIL

**Numero di lotto/codice a barre:** 📌 I veicoli in questione sono stati fabbricati nel 2015 e nel 2016.

**Tipo di rischio:** Lesioni

📌 Il meccanismo della cintura di sicurezza per il sedile posteriore è troppo limitato nella costruzione. Di conseguenza, la cintura di sicurezza sul sedile posteriore del sedile può non accendersi automaticamente e può rimanere nella posizione più estesa. Ciò comprometterebbe sensibilmente la funzione di immobilizzazione della cintura di sicurezza in caso di incidente.

**Misure adottate dagli operatori economici:** 📌 Richiamo del prodotto dagli utilizzatori finali (Da parte di: Produttore)

[+ Visualizza di più](#)

**Figura 8. Scheda incongruente**

### 1.4.1 Consultazione del DB CPSC





E' stata effettuata una prima ricerca tematica sul data base USA <sup>6</sup>nella quale vengono riportati ben 40 richiami alla data di consultazione del database, corrispondente all'11 agosto 2018 che includono batteria per bicicletta, computer laptop, guanti riscaldati, Hoverboard <sup>7</sup>(Tabella 3)

**Tabella 3**

|                               |   |   |
|-------------------------------|---|---|
| <p><b>8 febbraio 2018</b></p> |  | <p><b>Fujitsu Recalls Battery Packs for Fujitsu Notebook Computers and Workstations Due to Fire and Burn Hazards</b></p> <p>The lithium-ion battery packs can overheat, posing burn and fire hazards to consumers.</p> <p><b>Remedy:</b><br/>Consumers should immediately stop using the recalled battery packs, power off the laptop, remove the battery and follow instructions to obtain a free replacement battery pack. Until a replacement battery pack is received, consumers should use the laptop by plugging in AC power only.</p> <p><b>Units:</b><br/>About 5,800 in the U.S. and 606 in Canada</p> |
|-------------------------------|---|---|

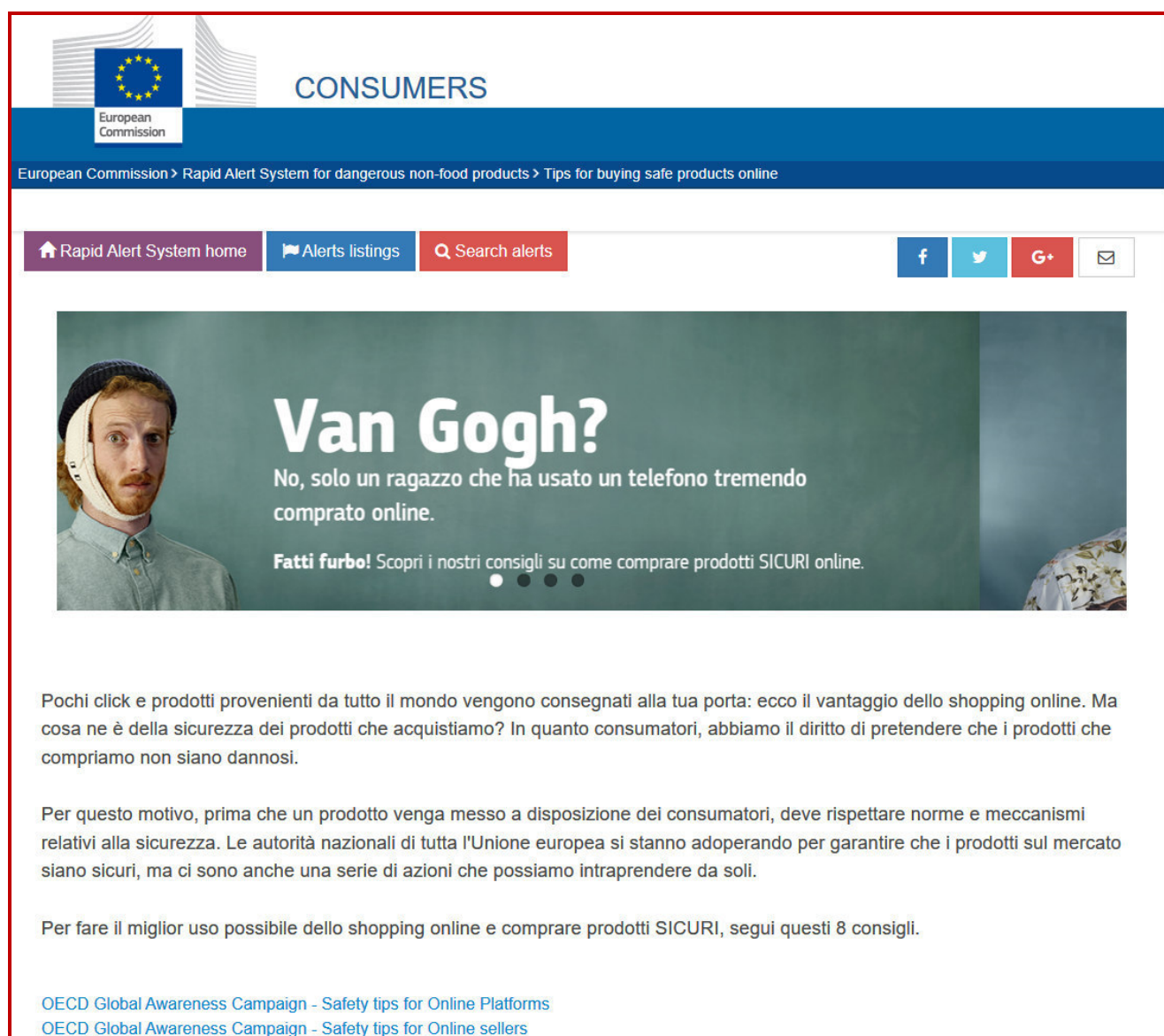
<sup>6</sup> <https://www.cpsc.gov/Recalls>

<sup>7</sup> [https://www.cpsc.gov/Recalls?search\\_api\\_views\\_fulltext=lithium-ion&field\\_rc\\_date%5Bdate%5D=&field\\_rc\\_date\\_1%5Bdate%5D=](https://www.cpsc.gov/Recalls?search_api_views_fulltext=lithium-ion&field_rc_date%5Bdate%5D=&field_rc_date_1%5Bdate%5D=)

|                                |   |  |
|--------------------------------|---|--|
| <p><b>4 gennaio 2018</b></p>   |    | <p><b>HP Recalls Batteries for Notebook Computers and Mobile Workstations Due to Fire and Burn Hazards</b></p> <p>The lithium-ion batteries can overheat, posing fire and burn hazards</p> <p><b>Remedy:</b><br/>Consumers should immediately visit <a href="http://www.HP.com/go/batteryprogram2018">www.HP.com/go/batteryprogram2018</a> to see if their battery is included in the recall and for instructions on how to enable "Battery Safety Mode" if their battery is included in the recall. The website provides consumers instructions on how to initiate the validation utility to check their battery and what to download if their battery is included in the recall. These batteries are not customer-replaceable. HP will provide free battery replacement services by an authorized technician.</p> <p><b>Units:</b><br/>About 50,000 (in addition, 2,600 were sold in Canada)</p>   |
| <p><b>14 novembre 2017</b></p> |    | <p><b>Sonic Smart Wheels Self-Balancing Scooters/Hoverboards Recalled by Dollar Mania Due to Explosion and Fire Hazards</b></p> <p>The lithium-ion battery packs in the self-balancing scooters/hoverboards can overheat, posing a risk of the products smoking, catching fire and/or exploding.</p> <p><b>Remedy:</b><br/>Consumers should immediately stop using the recalled self-balancing scooters/hoverboards and contact Dollar Mania for instructions on returning the hoverboard to receive a free UL2272-certified replacement unit.</p> <p><b>Units:</b><br/>About 1,000</p>  |
| <p><b>21 marzo 2016</b></p>    |  | <p><b>Panasonic Recalls Lithium-ion Laptop Battery Packs Due to Fire Hazard</b></p> <p>Conductive foreign material was mixed into the battery cells during manufacturing, posing a risk of fire.</p> <p><b>Remedy:</b><br/>Consumers should immediately stop using the laptop computer with the recalled battery, power off the device, remove the battery pack and contact Panasonic for a free replacement battery pack.</p> <p><b>Units:</b><br/>About 387 (in addition, 110 were sold in Canada)</p>   |
| <p><b>19 aprile 2011</b></p>   |  | <p><b>Lithium-Ion Batteries Used with Bicycle Lights Recalled by GeoManGear Due to Fire Hazard</b></p> <p>In cooperation with the U.S. Consumer Product Safety Commission and Health Canada, Datseplots Inc., dba GeoManGear, of Denver, Colo., is voluntarily recalling about 16,600 (in the United States) and 1,500 (in Canada) lithium-ion batteries used with Magicshine bicycle lights. The lithium-ion batteries can overheat, posing a fire hazard to consumers.</p> <p><b>Remedy:</b><br/>Consumers should immediately stop using the recalled batteries. The company is notifying all known consumers. Consumers who have purchased the recalled batteries from GeoManGear and have not been contacted should visit <a href="http://www.MagicshineBatteryRecall.com">www.MagicshineBatteryRecall.com</a> to register to receive a free replacement battery.</p> <p><b>Units:</b><br/>"About 16,600 in the United States and 1,500 in Canada"</p> |

### 1.4.2 Consultazione del DB RAPEX

La ricerca è proseguita sul DB europeo, il RAPEX [15], che ha presentato notevoli innovazioni. Tra le quali una maggiore apertura agli utenti finali, ai cittadini (Figura 9). Alla pagina web destinata ai consumatori [16] numerose raccomandazioni, tra le quali le seguenti (Figura 10 e Figura 11). Da questa pagina si accede al DB OCSE dei richiami internazionali [17] dove sono presenti 20358 richiami a partire da prima del 2000 (Figura 12): nella schermata di inizio salta all'occhio il richiamo due tipologie di batterie Litio-ione. Da una consultazione sommaria del RAPEX, si trova il ritiro del 2018 di un *Hoverboard* e quello del 2014 di un kit di sigarette elettroniche (Figura 13).



The screenshot shows the 'CONSUMERS' section of the European Commission website. At the top, there is a navigation bar with the European Commission logo and the word 'CONSUMERS'. Below this is a breadcrumb trail: 'European Commission > Rapid Alert System for dangerous non-food products > Tips for buying safe products online'. The main content area features a navigation menu with 'Rapid Alert System home', 'Alerts listings', and 'Search alerts', along with social media icons for Facebook, Twitter, Google+, and Email. A large banner titled 'Van Gogh?' features a man with a headband and the text: 'No, solo un ragazzo che ha usato un telefono tremendo comprato online. Fatti furbo! Scopri i nostri consigli su come comprare prodotti SICURI online.' Below the banner, there is a paragraph of text: 'Pochi click e prodotti provenienti da tutto il mondo vengono consegnati alla tua porta: ecco il vantaggio dello shopping online. Ma cosa ne è della sicurezza dei prodotti che acquistiamo? In quanto consumatori, abbiamo il diritto di pretendere che i prodotti che compriamo non siano dannosi.' This is followed by another paragraph: 'Per questo motivo, prima che un prodotto venga messo a disposizione dei consumatori, deve rispettare norme e meccanismi relativi alla sicurezza. Le autorità nazionali di tutta l'Unione europea si stanno adoperando per garantire che i prodotti sul mercato siano sicuri, ma ci sono anche una serie di azioni che possiamo intraprendere da soli.' A final paragraph states: 'Per fare il miglior uso possibile dello shopping online e comprare prodotti SICURI, segui questi 8 consigli.' At the bottom, there are two links: 'OECD Global Awareness Campaign - Safety tips for Online Platforms' and 'OECD Global Awareness Campaign - Safety tips for Online sellers'.








Figura 9. Fonte: [18]

*Riscontri un problema di sicurezza? Spargi la voce!  
 Se riscontri un problema legato alla sicurezza di un prodotto, segnalalo al rivenditore e contatta le autorità competenti del tuo paese. Valuta anche se scrivere una recensione del prodotto per avvertire potenziali acquirenti. Aiuterà gli altri consumatori a fare la scelta giusta!*

**Figura 10**

*Se l'articolo compare nel sistema di allerta rapido, non comprarlo  
 Sapevi che la Commissione europea dispone di un elenco di prodotti pericolosi reperiti in tutta Europa? Queste informazioni sono raccolte nel sistema di allerta rapido<sup>1</sup>. Scopri come funziona il sistema e quali prodotti evitare. Consulta anche il portale dell'OCSE<sup>1</sup> per i prodotti richiamati a livello mondiale.*

**Figura 11**

| Date <input type="checkbox"/> ^ | Picture   | Product name  | Jurisdiction of recall | Economy where made         | Language |
|---------------------------------|---|---|------------------------|----------------------------|----------|
| 2019-01-17                      |  | Trampolines d'exercice pliants de JumpSport® vendus avant le ...      | Canada                 | People's Republic of China | French   |
| 2019-01-17                      |  | Lithium-ion Batteries manufactured by a third-party for use in s...   | Canada                 | People's Republic of China | English  |
| 2019-01-17                      |  | SRAM three-speed internal gear hub with coaster brake                 | Canada                 | Chinese Taipei             | English  |
| 2019-01-17                      |  | Piles au lithium-ion fabriquées par un tiers pour une utilisation ... | Canada                 | People's Republic of China | French   |
| 2019-01-17                      |  | Moyeu d'engrenage interne à trois vitesses avec frein à contre...     | Canada                 | Chinese Taipei             | French   |
| 2019-01-17                      |  | JumpSport® half-fold Fitness Trampolines ("JFTs") sold prior to ...   | Canada                 | People's Republic of China | English  |
| 2019-01-16                      |  | Aroma Home brand USB Heated Hotties                                   | Canada                 | People's Republic of China | English  |

**Figura 12**

2018



1 di 3 foto [◀ Indietro](#) [Avanti ▶](#)

Condividi su [f](#) [t](#) [G+](#) [✉](#)

**Numero della segnalazione:** A12/1712/18 [📄](#) [👁](#)

**Categoria:** Articoli per il tempo libero e lo sport

**Prodotto:** [📌](#) Monopattino autobilanciato

**Marca:** Cool&Fun (scooter), Shenzhen Fuyuan (charger)

**Nome:** Balance Wheel

**Tipo/numero di modello:** [📌](#) BG-P001/6.5 (monopattino)FY4202000 (caricabatterie)

**Numero di lotto/codice a barre:** [📌](#) Sconosciuto


**Tipo di rischio:** Incendio

[📌](#) Il circuito di ricarica del prodotto non ha un interruttore.  
La batteria può quindi sopportare un sovraccarico e un surriscaldamento che può causare un incendio. Il prodotto non è conforme alle prescrizioni della direttiva «Macchine» e delle pertinenti norme europee EN 62133 e EN 60335-1.

**Misure disposte dalle autorità pubbliche (a: Altro):** [📌](#) Ritiro del prodotto dal mercato

[+ Visualizza di più](#)

2014



1 di 2 foto [◀ Indietro](#) [Avanti ▶](#)

Condividi su [f](#) [t](#) [G+](#) [✉](#)

**Numero della segnalazione:** A12/1001/14 [📄](#) [👁](#)

**Categoria:** Altro

**Prodotto:** [📌](#) Kit di sigarette elettroniche

**Marca:** Kanger Tech

**Nome:** Sconosciuto

**Tipo/numero di modello:** [📌](#) VT («320minAh» per chiusura della batteria)

**Numero di lotto/codice a barre:** [📌](#) Sconosciuto

**Tipo di rischio:** Incendio

[📌](#) Non vi è un'interruzione della funzione di ricarica una volta che la batteria al litio ha dovuto pagare. Ciò potrebbe causare il surriscaldamento e il rischio di esplosione o di incendio.

**Misure adottate dagli operatori economici:** [📌](#) Richiamo del prodotto dagli utilizzatori finali (Da parte di: Altro)

[- Visualizza di meno](#)

**Descrizione:** [📌](#) Kit di sigaretta elettronica costituito da una batteria al litio, un carometro e un caricatore USB. Venduti sciolti senza imballaggio o istruzioni.

**Paese di origine:** Cina **Segnalazione presentata da:** Regno Unito

**Livello di rischio:** Grave

**Anno - settimana:** 2014 - 26

Figura 13

## **2 Report di casi di incidente ed esperienze di intervento**

In questa sezione si presentano alcuni casi di incidenti che hanno coinvolto sistemi di accumulo litio-ione nel corso del loro ciclo di vita, raggruppati per tipologia di dispositivo/attrezzatura nel quale essi erano impiegati, senza rappresentare una casistica esaustiva. Le notizie di incidente, sotto forma di sintesi, sono prelevate dai media e da alcuni DB istituzionali, di cui si è trattato nel paragrafo 1 di questo Capitolo.

L'Appendice 5.A contiene alcuni casi registrati dai media nel periodo 2017-2019, in una forma non elaborata che mette in evidenza la necessità di consultare più fonti per poter ricostruire la dinamica di incidente e di intervento, in modo sufficientemente rappresentativo e raccogliere immagini significative. In Tabella 4, il riepilogo di tali casi (ID con numeri ordinali corrispondenti al numero di paragrafo di Appendice 5.A, integrato con altri casi dal 2007 al 2017 (ID con lettere maiuscole).

Verranno infine fornite alcune tabelle con la sintesi della casistica incidentale provenienti dal lavoro di alcuni partner di progetto di ENEA (Appendice 5B [19] e Appendice 5C [20]) e la tabella della casistica incidentale di fonte HAZMAT (Appendice 5.D), aggiornata a maggio 2019: si tratta di dati che confluiranno nel DB messo a punto da CNVVF ed ENEA di cui si tratterà nel paragrafo 4 di questo Capitolo, insieme a tutti gli altri casi di cui in questa premessa.

***Tutti i dati forniti nelle Tabelle di questo testo saranno elaborati al termine della realizzazione del Data Base Incidentale di cui si tratta nel paragrafo 4 di questo Capitolo.***



**Tabella 4. Alcune notizie di incidente raccolte nel triennio 2009-2019 (Fonte: Cinzia Di Bari). ID: il Numero corrisponde alla notizia riportata in testo; la lettera corrisponde a casi registrati precedentemente**

| ID | Data           | Luogo             | EV, Accumulo, altro                                | Descrizione incidente   | Fonte   |
|----|----------------|-------------------|--|---|---|
| 1  | 5 luglio 2019  | Oklahoma City     | Elettronica consumo<br><br>Cellulare in un veicolo | <i>A phone battery exploded inside an Oklahoma City mom's car and fire crews say the difference between what could have been life or death was a rolled up window.</i>  | <a href="https://www.google.com/amp/s/kfor.com/2019/07/05/my-car-literally-burned-up-phone-battery-explodes-inside-womans-vehicle/amp/">https://www.google.com/amp/s/kfor.com/2019/07/05/my-car-literally-burned-up-phone-battery-explodes-inside-womans-vehicle/amp/</a>   |
| 2  | 5 luglio 2019  | Montreal (Canada) | EV<br><i>Hyundai-Kona</i>                          | <i>No one was injured and Montreal firefighters are investigating The explosion blew the front of the garage clean across the street. launched the garage door clean off and sent it flying across the street</i>   | <a href="https://www.greencarreports.com/news/1124288_hyundai-kona-electric-explodes-in-montreal-garage">https://www.greencarreports.com/news/1124288_hyundai-kona-electric-explodes-in-montreal-garage</a>   |
| 3  | 2 giugno 2019  | Anversa – Belgio  | EV<br><i>Tesla</i>                                 | <i>Tesla prende fuoco durante la ricarica ad un supercharger Tesla. L'autista aveva parcheggiato la Tesla su un cosiddetto compressore, una stazione di ricarica rapida, al Novotel di Luithagen-Haven. Quando è tornato un po 'più tardi, la sua Tesla e il compressore sono stati accesi. Forse c'era un problema tecnico prima della ricarica. Qualche istante dopo, l'incendio fu estinto dai vigili del fuoco immergendo l'auto in un contenitore con acqua. Per assicurarsi che il fuoco non si riaccendesse, il Tesla, o ciò che ne rimaneva, rimaneva nell'acqua per il resto della notte</i> | <a href="https://m.hln.be/in-de-buurt/antwerpen/brandende-tesla-moet-in-bad-om-vlammen-te-kunnen-doven~a112edf9/?referer=android-app%3A%2F%2Fcom.linkedin.android">https://m.hln.be/in-de-buurt/antwerpen/brandende-tesla-moet-in-bad-om-vlammen-te-kunnen-doven~a112edf9/?referer=android-app%3A%2F%2Fcom.linkedin.android</a><br><br><a href="https://auto.hwupgrade.it/news/tecnologia/tesla-model-s-in-fiamme-ad-una-stazione-supercharger-curioso-ed-efficace-l-intervento-dei-vigili-del-fuoco_82662.html">https://auto.hwupgrade.it/news/tecnologia/tesla-model-s-in-fiamme-ad-una-stazione-supercharger-curioso-ed-efficace-l-intervento-dei-vigili-del-fuoco_82662.html</a>  |
| 4  | 23 maggio 2019 | Roma              | E-bus<br><br>(Batteria Zebra)                      | <i>Un autobus elettrico della linea 119 dell'Atac ha preso fuoco questa mattina intorno alle 7.30 in via Sistina, a Roma, all'altezza del civico 83. Sul posto è intervenuta subito una squadra di vigili del fuoco del comando di Roma che ha spento le fiamme. Tutti i passeggeri sono stati fatti scendere e non risultano feriti. Via Sistina è stata chiusa al traffico durante le operazioni da via Crispi a</i>  | <a href="https://www.romatoday.it/politica/atac-bus-elettrici.html">https://www.romatoday.it/politica/atac-bus-elettrici.html</a><br><a href="https://www.autobusweb.com/roma-bando-per-il-revamping-dei-minibus-elettrici-gulliver/">https://www.autobusweb.com/roma-bando-per-il-revamping-dei-minibus-elettrici-gulliver/</a><br>il sindaco di Roma, Virginia Raggi, dichiarava: sono pronti i bus elettrici:<br><a href="https://tg24.sky.it/roma/2019/04/06/roma-raggi-minibus-elettrici.html?gs_ref=ZxviqqeKca-Email&amp;utm_source=Email&amp;utm_medium=ShareButton&amp;utm_campaign=GetSocial&amp;tornano...d">https://tg24.sky.it/roma/2019/04/06/roma-raggi-minibus-elettrici.html?gs_ref=ZxviqqeKca-Email&amp;utm_source=Email&amp;utm_medium=ShareButton&amp;utm_campaign=GetSocial&amp;tornano...d</a><br><b>opo il revamping con batterie ZEBRA</b><br><a href="http://www.metroxroma.it/2019/05/tornano-minibus-bella-storia-revamping/">http://www.metroxroma.it/2019/05/tornano-minibus-bella-storia-revamping/</a><br><a href="https://tg24.sky.it/roma/2019/05/23/roma-incendio-bus-via-sistina-chiusa.html">https://tg24.sky.it/roma/2019/05/23/roma-incendio-bus-via-sistina-chiusa.html</a><br><a href="https://www.ilmessaggero.it/roma/news/autobus_via_sistina_incendio_notizie-4510274.html">https://www.ilmessaggero.it/roma/news/autobus_via_sistina_incendio_notizie-4510274.html</a><br><a href="https://www.adnkronos.com/fatti/cronaca/2019/05/23/roma-autobus-elettrico-fiamme-via-">https://www.adnkronos.com/fatti/cronaca/2019/05/23/roma-autobus-elettrico-fiamme-via-</a> |

| ID | Data           | Luogo           | EV, Accumulo, altro | Descrizione incidente   | Fonte   |
|----|----------------|-----------------|---------------------|---|---|
|    |                |                 |                     | <i>piazza Trinità dei Monti dalla polizia locale del gruppo Trevi</i>   | <a href="#">sistina-nessun-ferito_gQpU5KZRNzzdRLBcOVPuN.html</a>  |
| 5  | 13 maggio 2019 | UK?             | Hoverboard          | <p><i>A fire involving a popular electronic toy that put a number of children's lives in danger has once again highlighted the dangers of lithium-ion batteries a two-wheeled self-balancing electronic scooter, which are commonly known as hoverboards, exploded as it was being charged in the living room of the family's home in Masefield Avenue.</i></p> <p><i>Five children, aged between five and 10, were all asleep upstairs at the time.</i></p> <p><i>Fortunately dad Robert Jones, 33, was awake and heard the hoverboard crackling and then saw it explode as he went into the living room to investigate.</i></p> <p><i>The explosion activated the smoke alarms in the house and also alerted neighbours to the resulting fire.</i></p> <p><i>It is believed to have been caused by an electrical fault.</i></p> | <a href="https://www.chemstore.co.uk/hoverboard-fire-highlights-dangers-of-lithium-ion-batteries/">https://www.chemstore.co.uk/hoverboard-fire-highlights-dangers-of-lithium-ion-batteries/</a>   |
| 6  | 28 aprile 2019 | Leichhardt (UK) | E-bike              | <p><i>Melanie Sandford was sitting in bed on a rainy Sunday morning listening to a podcast about enlightenment when she heard a "huge bang".</i></p> <p><i>"A nanosecond later, there was an orange flash that ripped down past the bedroom door,"</i></p> <p><i>She jumped out of bed and looked down the short hallway to the kitchen, where her electronic bicycle battery had been charging on the floor overnight.</i></p> <p><i>"The battery ... was ablaze and the two</i></p>   | <a href="https://www.smh.com.au/business/consumer-affairs/an-orange-flash-then-melanie-s-house-burnt-down-20190426-p51hj2.html?fbclid=IwAR0PjRm_1BNnD74PwWVSRpD32m7RxU-59DW0Ou4J1JA20TeOHZSxdWLUZ8">https://www.smh.com.au/business/consumer-affairs/an-orange-flash-then-melanie-s-house-burnt-down-20190426-p51hj2.html?fbclid=IwAR0PjRm_1BNnD74PwWVSRpD32m7RxU-59DW0Ou4J1JA20TeOHZSxdWLUZ8</a> |

| ID | Data           | Luogo           | EV, Accumulo, altro | Descrizione incidente   | Fonte  |
|----|----------------|-----------------|---------------------|---|--|
|    |                |                 |                     | <i>wooden bench stools were ablaze and the curtain was ablaze. It was a hot fire - some fires you might run towards with a blanket but this was not that kind of fire."</i>   |  |
| 7  | 23 aprile 2019 | Shanghai Cina   | EV Tesla Model S    | <p><i>One of Tesla's cars exploded Sunday in Shanghai</i></p> <p><i>It was not immediately clear which Tesla model was affected, but reports indicated the car was parked at the time of the fire. There are no known casualties at this time, according to the report</i></p> <p><i>Three-year-old Model S burst into flames 30 minutes after the owner parked it for the night exploded, sparking a conflagration that gutted an underground parking lot, may dent the US carmaker's aggressive inroads into China.</i></p> | <p><a href="https://www.fenderbender.com/articles/12627-watch-tesla-explosion-prompts-investigation">https://www.fenderbender.com/articles/12627-watch-tesla-explosion-prompts-investigation</a></p> <p><a href="https://www.asiatimes.com/2019/04/article/teslas-china-inroads-hit-by-car-explosion/">https://www.asiatimes.com/2019/04/article/teslas-china-inroads-hit-by-car-explosion/</a></p> <p><a href="https://video.repubblica.it/motori/shanghai-auto-tesla-prende-fuoco-da-sola-il-video-e-virale-e-musk-manda-gli-investigatori/332713/333309">https://video.repubblica.it/motori/shanghai-auto-tesla-prende-fuoco-da-sola-il-video-e-virale-e-musk-manda-gli-investigatori/332713/333309</a></p> |
| 8  | 19 aprile 2019 | PHOENIX Arizona | ESS                 | <p><i>APS installed the 2 megawatt battery systems at a substation in Surprise, outside Phoenix, in 2017 and another near the Festival Ranch development in nearby Buckeye.</i></p> <p><i>8 firefighters hurt in explosion at APS facility in Surprise; 3 flown to Phoenix burn center</i></p>  | <p><a href="https://www.apnews.com/5cd81a81345a40f5b1ac2e5556a68ff7">https://www.apnews.com/5cd81a81345a40f5b1ac2e5556a68ff7</a></p> <p><a href="https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-23/explosions-are-threatening-lithium-ion-s-edge-in-a-battery-race">https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-23/explosions-are-threatening-lithium-ion-s-edge-in-a-battery-race</a></p> <p><a href="https://eu.azcentral.com/story/news/local/surprise-breaking/2019/04/19/firefighters-hurt-battling-transformer-fire-surprise/3527645002/">https://eu.azcentral.com/story/news/local/surprise-breaking/2019/04/19/firefighters-hurt-battling-transformer-fire-surprise/3527645002/</a></p>           |
| 9  | 18 marzo 2019  | Shenzen         | EV                  | <i>Electric vans from one of China's biggest EV makers are catching fire</i>  | <a href="https://qz.com/1575817/electric-vehicles-from-chinese-car-maker-bjev-are-catching-fire/">https://qz.com/1575817/electric-vehicles-from-chinese-car-maker-bjev-are-catching-fire/</a>  |
| 10 | 14 marzo 2019  | Yerez, Spagna   | EV – Moto E         | <p>MotoE, incendio a Jerez: tutte le moto in fiamme</p> <p>No danni a persone</p> <p>Completamente distrutte le strutture e le</p>  | <a href="https://sport.sky.it/motogp/fotogallery/2019/03/14/motoe-incendio-jerez-moto-energica-in-fiamme.html">https://sport.sky.it/motogp/fotogallery/2019/03/14/motoe-incendio-jerez-moto-energica-in-fiamme.html</a>  |

| ID | Data             | Luogo           | EV, Accumulo, altro | Descrizione incidente   | Fonte   |
|----|------------------|-----------------|---------------------|---|---|
|    |                  |                 |                     | moto  |   |
| 11 | 24 febbraio 2019 | Fort Lauderdale | EV<br>Tesla Model S | <p><i>A man lost his life in Broward County, Florida after his Tesla Model S crashed into roadside trees. According to reports based on emergency responder statements and testimonies from eyewitnesses, the Tesla was racing out of control at a speed of at least 75 miles per hour in a 50 miles per hour zone. When the Model S hit the trees, it burst into flames shortly after.</i></p> <p><i>The fatal crash is once again putting a spotlight on Tesla's self-driving vehicles and concerns about their safety features. At this time, it appears that multiple defects or poor designs contributed to the severity of the accident.</i></p> <p><i>The Tesla was engulfed in flames when an officer arrived, police said.</i></p> | <p><a href="https://www.schlesingerlawoffices.com/blog/2019/february/tesla-crashes-in-broward-county-bursts-into-flam/">https://www.schlesingerlawoffices.com/blog/2019/february/tesla-crashes-in-broward-county-bursts-into-flam/</a></p> <p><a href="https://www.businessinsider.com/florida-man-dies-after-his-tesla-model-s-crashed-caught-fire-2019-2?IR=T">https://www.businessinsider.com/florida-man-dies-after-his-tesla-model-s-crashed-caught-fire-2019-2?IR=T</a></p> |
| 12 | 18 febbraio 2019 | Fremont         | EV<br>Tesla Model X | <p><i>Tesla Model X Bursts Into Flame After Crash. Police believe fatigue could have been a factor in the crash .The force of the impact swung the car around and damaged the front part of the long battery which runs along the undercarriage. The man escaped on his own but the car caught fire a short time later. No in Autopilot mode. The driver, the only occupant in the car, suffered only minor injuries</i></p> <p><i>For three hours, Fremont firefighters sprayed water on the battery to cool it down and monitored the temperature. Tesla technicians gave the all-clear via phone to move the Model X to a tow yard. Firefighters learned a valuable</i></p>  | <p><a href="https://sanfrancisco.cbslocal.com/2019/02/18/tesla-model-x-crashes-burns-fremont/">https://sanfrancisco.cbslocal.com/2019/02/18/tesla-model-x-crashes-burns-fremont/</a></p> <p><a href="https://cbsloc.al/2EguU2y">https://cbsloc.al/2EguU2y</a></p>   |

| ID | Data             | Luogo                | EV, Accumulo, altro            | Descrizione incidente   | Fonte  |
|----|------------------|----------------------|--------------------------------|---|--|
|    |                  |                      |                                | <i>lesson while fighting this Tesla car fire.</i>   |  |
| 13 | 16 febbraio 2019 | Fremont              | EV factory                     | <i>Fire at Tesla factory in Fremont contained, won't impact production</i>  | <a href="https://abc7news.com/fire-outside-tesla-plant-in-fremont-contained/5142467/">https://abc7news.com/fire-outside-tesla-plant-in-fremont-contained/5142467/</a><br><a href="https://www.cnn.com/2019/02/17/fire-at-tesla-factory-in-fremont-contained-wont-impact-production.html">https://www.cnn.com/2019/02/17/fire-at-tesla-factory-in-fremont-contained-wont-impact-production.html</a> |
| 14 | 10 Novembre 2017 | Drogenbos - Brussels | ESS                            | <i>Wind power backup and storage batteries</i><br><br><i>On Saturday the 11th of November 2017, around noon, people in some western areas of the city of Brussels (Belgium) could smell a strong and irritating odor that some described as being similar to the smell of "burning plastic".</i>  | <a href="https://www.wind-watch.org/news/2017/11/12/wind-power-backup-and-storage-batteries-explode-into-flames-and-send-a-toxic-cloud-over-the-city-of-brussels/">https://www.wind-watch.org/news/2017/11/12/wind-power-backup-and-storage-batteries-explode-into-flames-and-send-a-toxic-cloud-over-the-city-of-brussels/</a>  |
| 15 | 23 maggio 2017   | Walsall, UK          | Impianto riciclo G&P Batteries | <i>A 26-year-old man hospitalised for multiple wounds and burns following a fire at G&amp;P Batteries in Walsall.</i><br><br><i>A number of lithium batteries exploded at the plant in Darlaston at around 1.45pm on 23 May.</i><br><i>West Midlands Fire Service sent 30 firefighters to tackle a fire that then spread through the premises, involving four tonnes of batteries.</i><br><i>A statement from G&amp;P Batteries said the used lithium batteries were being packaged for onward delivery to an accredited recycler and that they "unexpectedly and spontaneously combusted".</i><br><i>It continued: "The intense heat from the fire consequently ignited other batteries awaiting despatch for recycling.</i><br><i>The fire was successfully contained by the bespoke infrastructure G+P Batteries employs to handle these hazardous materials. Emergency Services attended and extinguished the fire.</i> | <a href="https://www.mrw.co.uk/latest/man-hospitalised-in-battery-recycling-plant-explosion/10020183.article">https://www.mrw.co.uk/latest/man-hospitalised-in-battery-recycling-plant-explosion/10020183.article</a>  |

| ID | Data             | Luogo              | EV, Accumulo, altro                  | Descrizione incidente   | Fonte   |
|----|------------------|--------------------|--------------------------------------|---|---|
| A  | 19 dicembre 2018 | SANTA CLARA, Calif | EV<br>Tesla Model S                  | <i>Santa Clara County firefighters are waiting to see if a Tesla Model S catches fire for the third time.</i>   | <a href="https://abc7news.com/tesla-model-s-ignites-for-2nd-time-overnight-in-campbell/4929752/">https://abc7news.com/tesla-model-s-ignites-for-2nd-time-overnight-in-campbell/4929752/</a>   |
| B  | Settembre 2018   | New York           | Elettronica consumo<br>Galaxy note 9 |   | <a href="https://www.cnet.com/news/galaxy-note-9-reportedly-catches-fire-in-womans-purse/">https://www.cnet.com/news/galaxy-note-9-reportedly-catches-fire-in-womans-purse/</a>   |
| C  | 26 agosto 2018   | Cina               | E-bus                                | <i>Battery fault' causes electric bus to explode in Chinese tunnel</i>  | <a href="https://www.newsflare.com/video/234049/crime-accidents/battery-fault-causes-electric-bus-to-explode-in-chinese-tunnel">https://www.newsflare.com/video/234049/crime-accidents/battery-fault-causes-electric-bus-to-explode-in-chinese-tunnel</a>   |
| D  | 10 novembre 2017 | Orlando Airport    | Elettronica consumo                  | <i>Lithium Battery Explosion Shuts Down Orlando Airport<br/>The battery exploded in a backpack carrying a traveler's camera.<br/>Startled would-be passengers scattered as security personnel, mistakenly believing the noise was a gun shot, reportedly told them to take cover.</i>                             | <a href="https://www.natlawreview.com/article/lithium-battery-explosion-shuts-down-orlando-airport">https://www.natlawreview.com/article/lithium-battery-explosion-shuts-down-orlando-airport</a>   |
| E  | 11 ottobre 2017  | Bologna. IT        | Hoverboard                           | <i>Hoverboard esplode in carica. Casa distrutta. Quel pomeriggio lo skate era sotto carica per la prima volta: era stato appena acquistato, al prezzo di 194 euro da Unieuro. I genitori volevano farlo trovare già carico al figlio di dieci anni al suo rientro: doveva essere il suo regalo di compleanno.</i> | <a href="https://corrieredibologna.corriere.it/bologna/cronaca/18_gennaio_11/hoverboard-esplode-carica-casa-distrutta-inchiesta-pm-8e5ae892-f6a2-11e7-9dbd-e21586ec6bd7.shtml">https://corrieredibologna.corriere.it/bologna/cronaca/18_gennaio_11/hoverboard-esplode-carica-casa-distrutta-inchiesta-pm-8e5ae892-f6a2-11e7-9dbd-e21586ec6bd7.shtml</a> |
| F  | Febbraio 2017    | Arizona            | Elettronica consumo<br>Iphone 7      |   | <a href="https://www.cnet.com/news/apple-iphone-7-plus-fire-caught-on-video/">https://www.cnet.com/news/apple-iphone-7-plus-fire-caught-on-video/</a>   |
| G  | Settembre 2016   | Mondo              | Elettronica consumo<br>Galaxy Note 7 | 35 casi di guasto   | <a href="https://www.cnet.com/news/samsung-confirms-global-recall-replacement-galaxy-note-7-faulty-battery/">https://www.cnet.com/news/samsung-confirms-global-recall-replacement-galaxy-note-7-faulty-battery/</a>   |
| H  | Settembre 2016   | India              | Elettronica consumo<br>Galaxy Note 2 | <i>A major accident was averted when passengers on IndiGo 6E-054 flight from Singapore to Chennai noticed smoke in an overhead cabin and the fire was extinguished by the crew before it spread out.</i>  | <a href="http://www.newindianexpress.com/nation/2016/sep/23/Samsung-Galaxy-Note-2-explodes-mid-air-on-Chennai-bound-IndiGo-flight-1524245.html">http://www.newindianexpress.com/nation/2016/sep/23/Samsung-Galaxy-Note-2-explodes-mid-air-on-Chennai-bound-IndiGo-flight-1524245.html</a>   |

| ID | Data           | Luogo                        | EV, Accumulo, altro                             | Descrizione incidente  | Fonte   |
|----|----------------|------------------------------|---|--|---|
| I  | 25 giugno 2015 | York, UK                     | E-bus   | <i>The fire started on the Park and Ride service, operated by First, after it broke down on Stonebow at about midday.</i>  | <a href="https://www.bbc.com/news/uk-england-york-north-yorkshire-33273548">https://www.bbc.com/news/uk-england-york-north-yorkshire-33273548</a>   |
| L  | 20 Luglio 2011 | Shanghai                     | E-bus   | <i>Shanghai E-bus catches fire while in service-media.</i>   | <a href="https://www.reuters.com/article/china-e-bus-fire-idAFL3E7IK0LB20110720">https://www.reuters.com/article/china-e-bus-fire-idAFL3E7IK0LB20110720</a>   |
| M  | Novembre 2009  | Lexington massachusetts -    | Impianto di trattamento dei rifiuti             |  | <a href="https://spectrum.ieee.org/green-tech/fuel-cells/potential-hazards-at-both-ends-of-the-lithiumion-life-cycle">https://spectrum.ieee.org/green-tech/fuel-cells/potential-hazards-at-both-ends-of-the-lithiumion-life-cycle</a> |
| N  | Novembre 2009  | Columbia Britannica , Canada | Impianto di trattamento dei rifiuti TOXCO Plant | <i>The company that operates a lithium battery recycling facility near Trail, B.C., that was engulfed in a spectacular blaze over the weekend says it's still trying to figure out what toxic chemicals were released in the fire.</i> | <a href="https://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/trail-battery-recycling-fire-leaves-questions-1.805780">https://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/trail-battery-recycling-fire-leaves-questions-1.805780</a>           |

## 2.1 Data base BARPI (esclusi incidenti filiera rifiuti)

### 2.1.1 Incendio in un centro di ricerca<sup>8</sup>

Data: 21/07/2017

Luogo: Francia - VERNEUIL-EN-HALATTE

A 18h20, un feu se déclare dans une cellule d'essai thermique de 14 m<sup>2</sup> d'un centre d'essais industriels. Un essai de court-circuit sur une batterie lithium-ion démarre à 14h30 dans la cellule. Durant l'essai, la température monte à 400 °C. Celui-ci prend fin à 15h30. A 17 h, la température descend en dessous de 50 °C. L'essai prévoit un monitoring de plusieurs paramètres pendant 24 h : mesures en continu de la température, tension et teneur en gaz. Un enregistrement vidéo de la cellule permet de déterminer la chronologie de l'évènement. Un emballement thermique de la batterie se produit à 18h07. L'incendie démarre à 18h20, entraînant le déclenchement de la détection incendie à 18h45. Le POI est activé. L'exploitant coupe les énergies de l'établissement. Les pompiers éteignent le sinistre. Le caisson de batteries est évacué à l'air libre. Le local est ventilé.

Les dégâts matériels sont importants : intérieur de la cellule thermique calciné, fissures sur la façade de la cellule d'essai, analyseurs de gaz hors service, dispositif d'extinction à eau hors service, instrumentations de la cellule détruits. Le laveur de gaz, les gaines d'extraction et le palan situé au-dessus de la cellule doivent être expertisés.

L'emballement s'est produit 2h30 après la fin de l'essai alors que la température, 1h30 après l'essai, était inférieure à 50 °C. Un emballement aussi tardif n'avait jamais été répertorié. L'exploitant cherche à déterminer les causes de cet emballement tardif.

Une cellule de crise interne pour la gestion de la situation post accident est mise en place le 24/07. Suite au retour d'expérience réalisé le 27/07, plusieurs pistes d'amélioration sont identifiées :

- redéfinition du dimensionnement maximal des essais ;
- réflexion sur le réaménagement de la cellule (système d'extinction automatique sur commande, etc..) ;
- réflexion sur une possible connexion à distance pour accéder aux caméras installées dans la cellule ;
- révision des consignes associées à ces essais.

En 2013, un feu de batterie électrique a déjà eu lieu sur ce site (Aria 44622)

### 2.1.2 Esplosione di un vagone merci contenente batterie Litio-ione esauste<sup>9</sup>

Data: 23/04/2017

Luogo: Stai Uniti – **HOUSTON** (Figura 14)

Vers 18 h, l'un des wagons d'un train de marchandises explose. Ce wagon transporte des batteries Lithium-Ion usagées en vue de leur recyclage. L'explosion est ressentie à 2 km. Un feu se déclare sur le wagon. Le conducteur arrête le train et prévient les pompiers. Ceux-ci éteignent l'incendie. Le wagon impliqué est séparé du train qui repart vers son point d'origine.

Un bâtiment d'habitation est endommagé par le souffle et les éclats projetés. Situé à 100 m de l'accident, ses vitres sont brisées et des fissures se forment dans les murs. Les riverains indiquent avoir senti une odeur acre après l'explosion, mais les mesures effectuées par les pompiers ne montrent pas de présence d'un nuage toxique.

---

<sup>8</sup> <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/50033/>

<sup>9</sup> <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/49589/>



*Un court-circuit entraînant un échauffement et une réaction incontrôlée pourrait être à l'origine de l'incident. Les batteries au lithium ne sont pas classées comme des matières dangereuses aux États-Unis. Le transporteur indique cependant que le rail est le moyen le plus sûr pour le transport de matières dangereuses.*

The screenshot shows the BARPI website interface. At the top, there is a navigation bar with the following elements:
 

- Logo of the French Republic (République Française).
- Logo of BARPI (Bureau de l'Accidentologie Industrielle et Technologique).
- Slogan: "La référence du retour d'expérience sur accidents technologiques".
- Search bar: "Recherche parmi 47 000 accidents et 1000 publications".

 Below the navigation bar, the main content area displays the title "Explosion d'un wagon transportant des batteries au lithium" and a breadcrumb trail "Accidents". The article content includes:
 

- Reference: "N° 49589 - 23/04/2017 - ETATS-UNIS - 00 - HOUSTON".
- Source: "H49.20 - Transports ferroviaires de fret".
- Summary text: "Vers 18 h, l'un des wagons d'un train de marchandises explose. Ce wagon transporte des batteries Lithium-Ion usagées en vue de leur recyclage. L'explosion est ressentie à 2 km. Un feu se déclare sur le wagon. Le conducteur arrête le train et prévient les pompiers. Ceux-ci éteignent l'incendie. Le wagon impliqué est séparé du train qui repart vers son point d'origine."
- Additional text: "Un bâtiment d'habitation est endommagé par le souffle et les éclats projetés. Situé à 100 m de l'accident, ses vitres sont brisées et des fissures se forment dans les murs. Les riverains indiquent avoir senti une odeur acre après l'explosion, mais les mesures effectuées par les pompiers ne montrent pas de présence d'un nuage toxique."
- Conclusion: "Un court-circuit entraînant un échauffement et une réaction incontrôlée pourrait être à l'origine de l'incident. Les batteries au lithium ne sont pas classées comme des matières dangereuses aux États-Unis. Le transporteur indique cependant que le rail est le moyen le plus sûr pour le transport de matières dangereuses."

 On the right side of the article, there are three sidebar sections:
 

- Le BARPI**: "Médiathèque interactive de référence en accidentologie industrielle, le BARPI vous informe sur les accidents industriels et technologiques et les décrypte pour vous."
- Lettre d'information**: "Tous les deux mois, recevez sur votre messagerie les actualités du BARPI." with a "Je m'inscris" button.
- Connectez-vous**: "Connectez-vous et complétez vos 'préférences de recherche' pour bénéficier de fonctionnalités étendues:
  - enregistrement de vos requêtes
  - export CSV et PDF de vos

Figura 14

### 2.1.3 Incendio di batteria Litio-ione in una centrale elettrica<sup>10</sup>

Data: 11/11/2017

Luogo: Belgio

*Un feu se déclare dans un conteneur abritant des batteries lithium-ion dans une centrale électrique. Ces batteries, présentes en vue d'un test de stockage d'électricité à grande échelle, ne sont pas en service. Un dégagement de fumée âcre et légèrement toxique est présent. Les batteries sont isolées. Les pompiers remplissent le conteneur d'eau pour en réduire la température. L'une des portes du conteneur ferme difficilement, rendant la tâche des pompiers difficile. Le plan d'urgence communal est déclenché. Les habitants sont confinés. Durant l'intervention, la circulation routière est fermée. Vers 16 h, les pompiers parviennent à maîtriser l'incendie.*

*D'après la presse, l'incendie serait dû à un échauffement, provoqué par un court-circuit, sur une des batteries.*

<sup>10</sup> <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/50643/>

## 2.1.4 Incendio originato da un collo di 156 celle Litio-ione in un centro dell'operatore postale francese ColiPoste<sup>11</sup>

Data: 12/05/2017

Luogo: Francia

*A 2h30, un feu se déclare sur un colis contenant des batteries d'outillage dans un entrepôt de 33 000 m<sup>2</sup> stockant des colis postaux (autorisation 1510). Une épaisse fumée est visible suivie d'un violent embrasement. L'alerte est déclenchée manuellement. Le trieur est arrêté, le personnel est évacué. A l'arrivée des pompiers, l'incendie est déjà maîtrisé par le personnel à l'aide d'extincteurs à poudre. Ils ouvrent les trappes de désenfumage.*

*Le sinistre entraîne une perte d'exploitation de 20 000 colis triés.*

*Un pack de batteries lithium-ion composé de 156 cellules est à l'origine du départ de feu. Certaines cellules de ce pack se sont violemment enflammées suite à leur chute sur le tapis d'un retourne conteneur. Une dizaine de secondes après la chute, les flammes atteignaient plus de 3 m de haut.*

## 2.1.5 Maintenance and repair of motor vehicles<sup>12</sup>

N° 48170 - 17/06/2016 - FRANCE - 78 – BUC

*Vers 10h45, dans un garage automobile de 1 300 m<sup>2</sup>, un feu se déclare dans un local technique de 400 m<sup>2</sup> de stockage de batteries (Lithium-ion). A l'arrivée des pompiers, le bâtiment est embrasé. Le personnel est évacué. Les batteries sont mises à l'air libre et refroidies. L'incendie est éteint vers 14h30. Une surveillance est mise en place pour contrôler la température des batteries. Des prélèvements d'air sont réalisés. Deux personnes sont légèrement intoxiquées.*

## 2.1.6 Incendio in una fabbrica di automobili<sup>13</sup>

Data: 29/12/2014

Luogo: Francia

*Une batterie lithium-ion est à l'origine d'un violent départ de feu dans une usine automobile. Suite au constat par un opérateur de la hausse anormale de température de la batterie au moment de sa mise en place sur son moyen d'essai, la batterie a été transportée dans une zone sécurisée et immergée dans un grand volume d'eau prévu à cet effet. Cette immersion a généré une détonation sourde et un violent départ de feu qui n'a fait aucun blessé. Les 40 employés évacuent les lieux.*

*L'analyse de l'accident montre que le circuit de refroidissement par eau de la batterie accidentée présentait un défaut d'étanchéité. A la mise en eau, un court-circuit interne a engendré un emballement thermique sur une ou plusieurs cellules. En parallèle, l'eau d'immersion était chargée en sel afin d'accroître la décharge de la batterie noyée. Il semblerait que l'eau salée ait amplifié le phénomène d'emballement thermique et généré un fort dégagement d'hydrogène à l'origine de la détonation et de l'inflammation de vapeurs à la surface de l'eau. Par ailleurs aucun dégagement de fluorure d'hydrogène n'a été constaté.*

*A la suite de cet accident, les dispositions suivantes ont été prises :*

*refonte des procédures d'urgence en cas d'incident sur une batterie ;*

*optimisation/renforcement des processus qualité de vérification d'une batterie en fin de cycle de fabrication et avant essai ;*

---

<sup>11</sup> <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/49658/>

<sup>12</sup> <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/48170/>

<sup>13</sup> <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/46083/>

*suppression de l'apport de sel dans l'eau d'immersion des batteries ;  
fourniture de détecteurs portatifs d'acide fluorhydrique gazeux, à utiliser avant toute  
manipulation d'une batterie incidentée ou douteuse ;  
mise en place d'extracteurs d'air spécifiques dans les laboratoires batterie (zones sécurisées ou  
les batteries sont manipulées en cas d'incident ou de démontage).*

## 2.2 Veicoli elettrici

### 2.2.1 Veicoli elettrici ed ibridi

Gli incidenti registrati dal GdL sono riportati nelle Appendici 5.A, 5.B e 5.C oltre che in Tabella X nel Paragrafo 2.5 (con rimando all'Appendice 5.A).

Nel Paragrafo 3.2 verrà effettuato un confronto tra le conseguenze di incidenti su EV rispetto ai veicoli con motore endotermico e combustibili convenzionali.

L'analisi storica condotta dalla prof.ssa Russo [19] (Appendice 5.C), riporta quanto segue:

*L'analisi ha permesso di individuare 21 incidenti che hanno coinvolto auto elettriche (EV) e ibride (HEV) nell'arco temporale compreso tra 2011-2017 e 4 incidenti che hanno coinvolto e-bike nel 2017.*

*In tutti i casi analizzati l'incidente, avvenuto con diverse modalità, ha portato all'incendio dell'autoveicolo; in particolare, il numero maggiore di incendi (9) è avvenuto dopo collisioni con altre auto o con ostacoli lungo il tragitto percorso, 3 incendi durante la sosta, 2 durante la guida, 2 mentre i veicoli erano collegati alla stazione di ricarica. Altri singoli incendi si sono verificati: dopo aver effettuato la ricarica completa, dopo un crash test, durante un test drive e mentre si effettuavano prove sui gas di scarico.*

*Per quanto riguarda le auto elettriche, la maggior parte degli incidenti sono avvenuti negli Stati Uniti (7), in Europa (6) e Cina (4), due incidenti sono avvenuti in Giappone e singoli incidenti si sono verificati in Messico e Canada. Gli autoveicoli elettrici coinvolti sono principalmente marca Tesla modello S e modello X (SUV) (11 incidenti), ma è da tener in considerazione che i veicoli Tesla sono anche quelli maggiormente venduti, in particolare negli Stati Uniti, per i quali si sono registrate più di 100.000 vendite fino al 2016. Altri modelli di auto che compaiono nell'elenco sono la Fisker Karma P-HEV (3 incendi), il MiEV e l'Outlander della Mitsubishi, la Chevrolet Volt P-HEV e la BMW i3. Per quanto riguarda il tipo di batterie utilizzate, nel caso della Tesla (modello S) sono montate circa 7000 celle Li-ione cilindriche (18650), assemblate in 16 moduli che costituiscono l'intero pacco batterie.*

*Per quanto riguarda le e-bike, i tre incendi avvenuti in Italia si sono verificati durante la fase di ricarica in luoghi privati e hanno poi coinvolto l'intero appartamento o garage, causando lievi intossicazioni a persone. Nell'incidente avvenuto a Newport beach, è esploso il pacco batterie di una e-bike appena parcheggiata con successivo incendio le cui fiamme hanno investito un'altra e-bike in sosta affianco.*

Per quanto riguarda gli incidenti occorsi ad auto elettriche, gli autori osservano quanto segue.

*Un recente esempio di un incendio di auto elettrica, causato da una collisione, è avvenuto il 18 ottobre 2017 in Austria. Una donna di 19 anni alla guida di una Tesla Model S sulla Arlberg Expressway si è schiantata contro una barriera di cemento armato ad alta velocità (Figura 15). Secondo quanto riferito dai vigili del fuoco della città di Landeck, la ragazza ha riportato ferite lievi ed è potuta uscire dall'auto prima che prendesse fuoco. L'incendio della batteria si è*

mostrato estremamente pericoloso, ma i sistemi di protezione (firewall) di Tesla all'interno della batteria hanno funzionato correttamente. Il conducente ha avuto il tempo di evacuare l'auto e i vigili del fuoco di bloccare l'incendio prima che si diffondesse all'intero pacco batteria, montato alla base del telaio dalla parte anteriore a quella posteriore. Il fuoco ha comunque distrutto la maggior parte dell'auto. Per spegnere l'incendio sono intervenuti 35 uomini e 5 automezzi dei vigili del fuoco che hanno usato acqua come mezzo estinguente. Anche la casa costruttrice Tesla consiglia di utilizzare grandi quantità di acqua per estinguere un incendio della batteria nei suoi veicoli.

Una criticità dei veicoli elettrici è la fase di ricarica e nell'analisi condotta sono stati riscontrati due casi di incendio di auto mentre erano collegate alla rete elettrica e uno al termine della completa ricarica. Un episodio è accaduto, il giorno di capodanno del 2016, alla Tesla Model S in una stazione Supercharger a Brokelandsheia, Norvegia (Figura 16). L'indagine ha dimostrato che l'incendio ha avuto origine nella scatola di distribuzione elettrica contenuta nella Model S [21].

Nonostante il proprietario della Tesla abbia avuto sufficiente tempo per correre verso la macchina, staccare la spina e rimuovere tutti i beni personali dall'interno dell'abitacolo, il veicolo è andato completamente distrutto. Le fiamme che hanno consumato il veicolo sono state alimentate in gran parte dalla plastica e da altri materiali utilizzati per gli interni, mentre il pacco batterie non "è esploso". Non ci sono state persone coinvolte nell'accaduto.

Tesla Motors ha rilasciato una dichiarazione che il fuoco è stato "un incidente isolato" e ora sta aggiornando un software patch per aggiungere ulteriori stati di sicurezza e fermare la carica se i dati mostrano i sintomi di un corto circuito.

Per quanto riguarda il caso di incendi durante la marcia del veicolo, un esempio è quello di una BMW i3, affidata in comodato d'uso alla Polizia di Stato, ha preso fuoco durante il transito della via Salaria nei pressi di Roma (Figura 17). Questo episodio è avvenuto nel luglio 2016, quando un agente ha dovuto fermare la vettura a bordo strada perché si era accorto di un principio di incendio innescato nella parte posteriore del veicolo. La BMW i3 coinvolta è priva del motore ausiliario a benzina e opera soltanto grazie alle batterie, che alimentano un motore da 170 CV. Nessuna persona è rimasta ferita ma l'auto ha avuto danni ingenti.



**Figura 15. 18/10/2017 Austria – Incendio Tesla Model S**



**Figura 16. 01/01/2016 - Incendio Tesla durante la ricarica veloce**



**Figura 17. 13/07/2016 - Incendio BMW i3 durante la marcia del veicolo**

*Un incendio di dimensioni rilevanti si è verificato in Interporto nell'ottobre 2012, quando l'uragano Sandy ha causato l'alluvione di un porto a Newark, nel New Jersey. Le inondazioni sono durate diverse ore e, in seguito, 16 nuove Fisker Karma (veicolo ibrido plug-in) sono state distrutte da un incendio (Figura 18). Le macchine erano completamente coperte con acqua salata durante l'alluvione, una situazione estrema in cui è probabile che si sia verificato un cortocircuito elettrico. L'uragano ha danneggiato irreparabilmente anche 300 modelli appena giunti dall'Europa. Oltre alle Fisker Karma, anche 3 Toyota Prius, delle 4000 Toyota presenti nello stesso parcheggio hanno avuto problemi durante la stessa tempesta; delle tre, la plug-in è andata a fuoco, mentre le altre ibride hanno solo avuto problemi di forte surriscaldamento.*



**Figura 18. 29/10/2012 - Incendio di 16 auto dopo l'uragano Sandy**

L'analisi storica del prof. Carcassi [20] di cui in Appendice 5.D riporta quanto segue:

*Per quanto riguarda i sistemi di accumulo litio-ione per applicazioni generiche una fonte ufficiale di eventi occorsi dall'introduzione della tecnologia viene messa a disposizione dall'ente FAA (Federal Aviation Administration) americana [n.d.r. cui si è dedicato il § 3.2]. L'elenco include eventi incidentali occorsi nel solo ambito aeroportuale e riporta 154 incidenti avvenuti nell'intervallo di tempo che va dal 1994 ad oggi, tra questi 127 si sono verificati negli ultimi 10 anni, dal 2007 ad oggi.*

*La difficoltà nell'interpretare ed utilizzare tali dati risiede nella mancanza di informazioni riguardo la tipologia di batteria coinvolta. Molti degli incidenti occorsi nei primi anni di utilizzo delle batterie riguardano batterie con catodo in Litio metallico, che come ampiamente documentato in letteratura hanno cause di guasto diverse e un livello di sicurezza inferiore alle celle con anodo in grafite come quelle analizzate nel presente studio e come la maggior parte delle restanti tipologie ad oggi prodotte che differiscono principalmente per il materiale attivo impiegato al catodo.*

### 2.2.2 E-bike

In un articolo su Bike Europe [22], un ingegnere esperto di sicurezza antincendio, Rob Overdijkink, ha pubblicato un articolo sui pericoli delle batterie litio ione utilizzate nella maggior parte delle biciclette elettriche. Partendo dallo studio del caso dell'incendio occorso in un negozio di biciclette in Olanda e causato dalla ricarica di una batteria, egli ha proposto una serie di consigli per gli utilizzatori e per i rivenditori. Tra questi l'acquisto di un box o una sala a parte per contenere sia le biciclette in mostra, quelle che devono essere consegnate, quelle che devono essere riparate. Le caratteristiche di quest'area sono le seguenti: sistemi di estinzione automatici, presenza di sensori per la temperatura e il fumo a funzionamento continuo durante l'arco della giornata e delle settimane, in grado di attivare automaticamente il sistema di estinzione anche quando le aree non sono sorvegliate. Le compagnie di assicurazione si stanno interessando a questo problema e possono richiedere misure aggiuntive per la per lo stoccaggio sicuro e la manutenzione delle aree, come ad esempio la manutenzione degli estintori. Ulteriore problema è posto dal trasporto delle biciclette elettriche e delle batterie, risolto parzialmente dalle norme ADR.

Un esempio di container attrezzato è quello di Figura 19. Le raccomandazioni di uso sono le seguenti:

**Battery Safety Tips**

- *E-bike battery charging always in staff presence; not at night.*
- *If a battery is dropped preventive check is recommended. Check with the owner if the bike including battery has ever been dropped.*
- *Do NOT try to put out battery fires with classic extinguishing agents such as CO2, powder or foam.*
- *Put out fires with abundance of water.*
- *Covering and extinguishing an ‘inflated’ battery can also be done with sand.*
- *Never immerse burning batteries in water. This produces chemical reaction which generates hydrogen gas; together with oxygen this forms very explosive gas.*
- *Putting out battery fires is most effective in closed off space with dry aerosol.*
- *Refurbishing batteries only advisable if refurbishing company complies with all the rules. Partial cell replacement in existing battery is strongly discouraged. After refurbishing, the battery must (again) comply with EN50604 standard and UN 38.3 standard.*
- *Purchase special battery storage container with integrated certified lithium extinguishing system.*



Figura 19

Il blogger Jimmy Macont [23], nel suo articolo del 2019, propone il caso della società Luna, un'azienda che converte le biciclette normali in biciclette elettriche e fornisce kit di conversione (Retrofit), propone anche una scatola [24] a costo di 34 \$, di quelle utilizzate per le munizioni (Figura 20), per la conservazione delle batterie della bicicletta. La società dichiara:

*You cannot be too safe when it comes to lithium batteries. Wherever there is energy density there is the possibility of fire.*

*We never recommend charging inside a building unsupervised, but if you are going to do so you can charge safely in a container like this (Figura 21) which is designed to contain a catastrophic fire.*

*We hope a fire never happens but its best to be careful and take as many precautions as possible. All lithium batteries have the potential to be dangerous.*



**Figura 20.**

La pratica di ricaricare [25] la batteria lontano dalla bicicletta, in un luogo visibile e lontano da materiale infiammabile, anche utilizzando un semplice carrello di metallo, può consentire la prevenzione dell'eccessivo riscaldamento o la possibilità di trasportare una batteria in fiamme lontano da un luogo critico. Si consiglia sempre la conservazione della batteria in uno stato di carica non superiore al 30%. Nell'articolo, si fa poi riferimento ad alcuni casi di incidente riepilogati, per comodità, nella tabella seguente (Tabella 5), nella quale, per praticità, si lascia la descrizione in inglese.

In Cina, nel 2016 [26]

*Fires caused by e-bike batteries have resulted in **32 deaths in Shanghai since 2013**, accounting for 10 percent of all fire casualties during the period, the Shanghai Administration of Work Safety said yesterday. In three noted cases since 2015, at least three people lost their lives in Songjiang, Jiading and Putuo districts respectively, according to the administration.*

*Among these, **four died in a fire in an illegally constructed woodshed in a residential complex on Zhongshan Road N., Putuo District, on February 15 last year. The fire was believed to have been caused by an e-bike battery in the shed.***

*In many cases, fire occurs when e-bike batteries experience electrical fault during charging, according to China's Ministry of Public Security.*

*Residents are advised to avoid charging e-bikes and batteries in apartments or homes, and charging in public spaces inside buildings and fire escapes is prohibited. Bikes should be charged outside of residential buildings and where they can be monitored, the ministry said.*

*In coordination with other authorities, the administration said it will enhance efforts to address e-bike fire safety issues.*

*Along with improving quality inspections and enforcement against illegal bike modifications, authorities also vow to "fundamentally solve" the problems of residents parking and charging e-bikes at home or inside residential buildings.*

*Residential communities will be encouraged to build enclosed parking areas for e-bikes, install smart charging devices and ensure that parked e-bikes are looked after.*

*Governments in some districts have already started to fund residential fire-control programs targeting e-bikes. Jinshan fire authorities say that with government funding, new e-bike*



parking areas with water hoses and fire-alarms have been built in about 160 residential complexes in the district so far this year.

Nel 2018 [27],

The increasing prevalence of e-bikes across the country has also led to safety issues [28], including traffic accidents and fire hazards resulting from wiring problems or poor-quality batteries. Earlier this year, authorities proposed stricter manufacturing standards for the industry, and reported that e-bike fires had killed 158 people from 2013 to 2017.

#### **China to Roll Out Stricter Standards for Electric Bikes**

Safety measures follow last month's deadly fire caused by charging e-bikes.

China's top-level authorities have proposed stricter manufacturing standards [29, 30] for electric bicycles in an effort to tackle a recent rise in accidents and fire hazards.

According to figures from the Ministry of Industry and Information Technology (MIIT), there are 200 million e-bikes registered in the country, with 30 million more being added to the roads every year.

The MIIT's announcement also included accident statistics. More than 56,000 traffic accidents from 2013 to 2017 were caused by e-bikes, resulting in over 8,000 fatalities and 63,000 injuries, and incurring financial losses amounting to 111 million yuan (\$17 million).

Electric bicycles have also posed off-road hazards, with 34 e-bike fires over the same time frame resulting in 158 deaths.

Il testo normative tradotto in inglese costituisce l' Allegato 5.E di questo capitolo.



Figura 21

Tabella 5

| ID |   | Data            | Luogo                                 | Descrizione   | Link  |
|----|---|-----------------|---------------------------------------|---|---|
| 1  | <b>E-bike a noleggio</b>                                | 3 agosto 2019   | San Francisco                         | <p><b>Lyft has suspended its e-bike share program on the streets of San Francisco after two e-bikes caught fire in separate locations in the span of a week.</b></p> <p><i>Jonathan Baxter, a spokesperson for the San Francisco Fire Department, said the department classified the incident as a "battery pack issue" and a "fire from battery pack." The fire was deemed not suspicious by the San Francisco Fire Department although a Lyft spokesperson has told media outlets that vandalism has not been ruled out (by Lyft) as the cause of the fires.</i></p> <p><i>This is the second time the Lyft e-bike fleet has been pulled from use in San Francisco.</i></p>                 | <p><a href="http://jimmymacontwowheels.com/lyft-e-bikes-pulled-from-san-francisco-bike-share-program-after-two-fires/">http://jimmymacontwowheels.com/lyft-e-bikes-pulled-from-san-francisco-bike-share-program-after-two-fires/</a></p> <p><a href="https://www.sfexaminer.com/news/lyft-electric-bike-catches-fire-in-sf/">https://www.sfexaminer.com/news/lyft-electric-bike-catches-fire-in-sf/</a></p> |
| 2  | <b>Produttore E-bike</b>                                | 23 gennaio 2019 | Nunspeet, Netherlands                 | <p><i>It is the third fire to have hit <b>Stella</b> since July last year when <b>300 residents living close to a company warehouse elsewhere in Nunspeet had to be evacuated from their homes overnight.</b> It is unusual for electric bikes to catch fire, but not unheard of. Lithium-ion batteries are highly flammable, and need to be charged and stored with great care.</i></p>  | <p><a href="https://www.forbes.com/sites/carltonreid/2019/01/23/dutch-e-bike-brand-stella-startled-after-hit-by-third-fire-in-seven-months/#160e69656e98">https://www.forbes.com/sites/carltonreid/2019/01/23/dutch-e-bike-brand-stella-startled-after-hit-by-third-fire-in-seven-months/#160e69656e98</a></p>  |
| 3  | <b>E-bike retrofitted</b>                               | 14 gennaio 2019 | Adelaide, Australia                   | <p><i>Electric Road Bike Explodes On Adelaide Hill-Climb Causing Bushfire.</i></p> <p><i>A 79-year-old Australian man had a lucky escape earlier today when the high-end road bike he was riding <b>burst into flames on a famous ascent near Adelaide.</b> The rear wheel of Gary Ryan's Pinarello Dogma F8 had been retrofitted with an electric hub motor, but the bicycle's carbon fiber frame is now a "melted mess,"</i></p> <p><i>The bike exploded on an ascent of Corkscrew Road, 20 kilometers from Adelaide. The climb is one of the most noted in South Australia and has previously featured in the Tour Down Under professional bicycle race.</i></p> <p><i>Minor burns</i></p> | <p><a href="https://www.forbes.com/sites/carltonreid/2019/01/14/electric-road-bike-explodes-on-adelaide-hill-climb-causing-bushfire/#7a2a064cd91f">https://www.forbes.com/sites/carltonreid/2019/01/14/electric-road-bike-explodes-on-adelaide-hill-climb-causing-bushfire/#7a2a064cd91f</a></p>  |
| 4  | <b>Auto costruzione di un pacco batterie per e-bike</b> | 10 luglio 2018  | Yellowstone Maryland USA<br>1st floor | <p><i>The occupant (Robert Floto -age 25) was building a do-it-yourself (DIY) electric bicycle (E-bike) using multiple lithium-ion batteries. During the course of loading the batteries into the battery pack, (2) of the lithium battery terminals touched, creating an explosion which lead to the other batteries to explode and ignite</i></p>   | <p><a href="https://content.govdelivery.com/accounts/MDFIRE/bulletins/212bb86">https://content.govdelivery.com/accounts/MDFIRE/bulletins/212bb86</a></p> <p>Sito web of The Office of the State Fire Marshal is an agency of the Department of State Police dedicated to helping protect citizens from fire and explosion</p>   |

| ID |  | Data          | Luogo  | Descrizione   | Link   |
|----|--|---------------|--|---|--|
|    |  |               | rear bedroom Tri-level, single family dwelling | <p>nearby combustibles.<br/>Robert Floto was able to push the bike out the rear door to the exterior. Floto and his father attempted to extinguish the fire with multiple fire extinguishers; however the fire quickly spread throughout the room and into the house. Investigators consider the home a total loss. Red Cross is assisting.</p> <p><b>Of Firefighters:</b> 60<br/><b>Time to Control:</b> 50 minutes<br/><b>Estimated \$ Loss: Structure:</b> \$175,000.00 <b>Contents:</b> \$50,000.00<br/><b>Smoke Alarm Status:</b> Present and operated</p>   | <p><b>NOI 10/7/18 Carroll Accidental Dwelling Fire Yellowstone Ct</b><br/>Maryland State Fire Marshal sent this bulletin at 10/08/2018 08:00 AM EDT</p>  |
| 5  | <b>E-bike in edificio residenziale</b><br><br><b>Azioni del Governo Cinese</b> | 6 marzo 2018  | Shangai Cina                                   | <p>A fire broke out at his apartment at 4 a.m. on Mar. 6 when a newly purchased e-bike battery exploded while charging. Though no one was injured, images in the post showed the whole apartment devoured by the blaze.</p> <p>According to a product certificate Wang attached in his post, the battery was manufactured by Tianneng Power, a Zhejiang-based company that is listed on the Hong Kong Stock Exchange. But when Wang contacted the Shanghai branch of the company, an employee questioned whether the battery was a fake.</p> <p>The increasing prevalence of e-bikes across the country has also led to <u>safety issues</u>, including traffic accidents and fire hazards resulting from wiring problems or poor-quality batteries. Earlier this year, authorities proposed stricter manufacturing standards for the industry, and reported that e-bike fires had killed 158 people from 2013 to 2017.</p> | <p><a href="http://www.sixthtone.com/news/1001902/e-bike-battery-fire-fans-flames-of-consumer-concerns">http://www.sixthtone.com/news/1001902/e-bike-battery-fire-fans-flames-of-consumer-concerns</a><br/><a href="http://www.sixthtone.com/news/1001569/china-to-roll-out-stricter-standards-for-electric-bikes">http://www.sixthtone.com/news/1001569/china-to-roll-out-stricter-standards-for-electric-bikes</a></p> |
| 6  | <b>E-bike</b>  | 8 maggio 2017 | New York                                       | <p><b>E-BIKE FIRE SENDS TWO TO HOSPITAL AND QUESTIONS REMAIN</b><br/>A fire <b>appears</b> to have been sparked by an electric-motorized bicycle.</p> <p>Two people trapped in a burning home in Yonkers were pulled to safety on Sunday, and it appears an electric bike battery may have sparked the fire. The home's small, narrow windows were the only way out of the home where two men, brothers in their twenties were living in a basement apartment.</p> <p>Just before 11 a.m. Sunday, a fire broke out in the unit - officials believe the lithium battery pack in an electric bike was the source of the blaze.</p> <p>Officials say <b>it appears the bikes were charging</b> at the time, but that is still under investigation.</p>   | <p><a href="http://jimmymacontwowheels.com/e-bike-fire-sends-two-to-hospital-and-questions-remain/">http://jimmymacontwowheels.com/e-bike-fire-sends-two-to-hospital-and-questions-remain/</a><br/><a href="https://abc7ny.com/news/exclusive-did-electric-bike-battery-spark-yonkers-house-fire/1965727/">https://abc7ny.com/news/exclusive-did-electric-bike-battery-spark-yonkers-house-fire/1965727/</a></p>         |
| 7  | <b>E-bike in spiaggia</b>  | 22 marzo 2017 | NEWPORT BEACH Arizona                          | <p>An Arizona couple helplessly watched Sunday as their cash, credit cards and drivers licenses went up in smoke during a bizarre electric bike fire in Newport Beach.</p>  | <p><a href="https://www.oregister.com/2017/03/22/couple-recounts-bizarre-one-in-a-million-newport-beach-electric-bike-fire/">https://www.oregister.com/2017/03/22/couple-recounts-bizarre-one-in-a-million-newport-beach-electric-bike-fire/</a></p>   |

| ID |   | Data            | Luogo                | Descrizione   | Link  |
|----|---|-----------------|----------------------|---|---|
|    |   |                 |                      | <p>Lisa Vondran and her husband, Steve Vondran, an attorney, purchased two classic beach cruisers for about \$2,800 each a week ago from the Electric Bike Company, which is based in Newport Beach.</p> <p>On Sunday morning, the couple rode the bikes to breakfast and then walked them over to the beach for a leisurely afternoon on the shore.</p> <p>Newport Beach Fire Department officials suspect that <b>a faulty battery may have sparked a blaze.</b></p>  |   |
| 8  | <b>Ebike retrofitted</b>                  | 16 ottobre 2017 | Melbourne, Australia | <p>Melbourne man's home made electric bike explodes on street</p> <p>Jason Chanine was riding his electric bicycle to work in Heidelberg, a suburb of Melbourne, when the battery on his ride caught alight.</p> <p>The 32-year-old electrical apprentice told he had converted his push bike into an electric bike after getting "a cheap Chinese kit online".</p> <p>The bike begin to spew smoke, which was stationary at the time, he knew he needed to ditch his wheels. "I took the battery off the bike when it started smouldering," he said.</p> <p>The owners of a residence nearby "thought it was a terrorists attack", according to Mr Chanine.</p> <p>"They were scared, they were terrified, they thought it was a bomb".</p> <p>He decided to pay for parts online for a fraction of the full price of an electrical motorbike, which can retail for up to \$4000.</p> <p>But now he says he has learned you "get what you pay for"</p> | <a href="https://www.news.com.au/technology/gadgets/melbourne-mans-home-made-electric-bike-explodes-on-street/news-story/1ecb3f18eb29c8230db025dc82371b06">https://www.news.com.au/technology/gadgets/melbourne-mans-home-made-electric-bike-explodes-on-street/news-story/1ecb3f18eb29c8230db025dc82371b06</a> |
| 9  | <b>E bike in un edificio residenziale</b> | 12 ottobre 2017 | Singapore            | <p>Four, including baby, taken to hospital after e-bike catches fire outside Bukit Batok flat</p> <p>SCDF was alerted to a fire incident on the second floor of Blk 231 Bukit Batok East Ave 5 at about 3.50am this morning. The fire, which involved contents of a living room and corridor, was extinguished by SCDF with a <b>water jet. Four residents, including an infant, were conveyed to NUH.</b> Preliminary investigations indicated that the fire was caused by the <b>overnight charging of an electric bicycle.</b></p>   | <a href="https://www.straitstimes.com/singapore/4-including-baby-taken-to-hospital-after-e-bike-catches-fire-in-bukit-batok-flat">https://www.straitstimes.com/singapore/4-including-baby-taken-to-hospital-after-e-bike-catches-fire-in-bukit-batok-flat</a>   |

### 2.2.3 E-bus

La flotta di bus elettrici cinesi e la più grande del mondo. Nel 2018 [30] Shenzhen è diventata la prima città al mondo ad avere completamente rettificato la sua flotta di autobus pubblici, con 16.359 bus, una città che è passata da 30.000 abitanti nel 1980 ai 12 milioni di oggi. A livello mondiale [31], Bloomberg ha stimato l'esistenza di 385.000 bus completamente elettrici, il 99% dei quali si trova in Cina. Ogni cinque settimane, vengono immessi sul mercato cinese 9500 nuovi bus elettrici, l'equivalente del fabbisogno della città di Londra.

Ne consegue che la casistica incidentale "vera", deve necessariamente includere i dati relativi alla Cina. Nel luglio 2015, la rivista KKnews [32] presenta l'analisi di alcuni casi di incidente occorsi ad auto elettriche, tra cui le Tesla, e a bus elettrici (Figura 22). Nei dintorni di Pechino, nel maggio del 2017, 55 bus turistici sono stati incendiati nella stazione di ricarica elettrica [33]: il filmato mostra la situazione dopo l'incendio, propone le problematiche di localizzazione delle stazioni di ricarica e delle loro dimensioni e pone l'accento sulla perdita economica: 150.000 \$ per bus moltiplicato per 55, sono oltre 8 milioni di dollari di perdita, ai quali vanno aggiunti almeno i costi della gestione dei rifiuti e della bonifica dell'area inquinata, dell'intervento di emergenza e quelli di immagine.

*On May 1 there was a huge fire at a electric-bus charging station at the Crab Island amusement park in Beijing. At least 55 buses burned out to the ground, another 20 buses partially burned down, and a dozen of charging poles had completely burned to the black. I went to the area last week and found out that all the buses are still there. The cause of the fire is still unknown, but it sure looks like a massive electrical short circuit. The tourist buses were owned by a Beijing-based leasing company, they were used for ferrying tourists around town. The buses were manufactured by Anhui Ankai Automobile, a large and well regarded Chinese bus maker. Amazingly, there were no casualties or even injuries. But the fire doesn't come cheap: each bus costs about \$150.000.*



Figura 22

Un incendio ad un bus elettrico nella città di York, Inghilterra, occorso il 25 giugno 2015 (Figura 23) e riportato in Tabella 1, è avvenuto ugualmente alla stazione di ricarica. Non ci sono stati feriti tra i passeggeri, in quanto erano tutti scesi; la strada è stata chiusa al traffico per circa un'ora e i servizi bus sono stati cancellati. Le autorità comunali hanno chiesto al gestore FIRST di indagare urgentemente sull'incidente. Naturalmente, è molto difficile accedere ai risultati delle indagini. E questo presenta

immediatamente il limite della raccolta dei case di incidente e della significatività delle informazioni disponibili.



Figura 23. Incendio di un bus elettrico nella città di York, 2015

## 2.3 Sistemi di accumulo stazionario

### 2.3.1 Global Energy Storage Database

[www.energystorageexchange.org/](http://www.energystorageexchange.org/)

Sito web del DOE (Department of Energy) degli USA nel quale si ha accesso a dati relativi alla distribuzione dei sistemi di stoccaggio di energia presenti a livello mondiale (Figura 24), alle tecnologie con cui sono realizzati e alle norme giuridiche USA adottate per la realizzazione degli ESS. Tutte le informazioni sono verificate da parti terze e tutti i dati possono essere scaricati in Excel o .pdf.



Figura 24. <https://www.energystorageexchange.org/projects>

### 2.3.2 LG Chem stops ESS operation in the wake of a series of fires

<http://www.koreaittimes.com/news/articleView.html?idxno=88698>

*LG Chem requested the shutdown of energy storage systems (ESS), which use its own batteries, on Jan. 15, according to the Elec. Times.*

*There have been eight fires in ESSs that use LG Chem's batteries since November last year, and ESSs that use the company's batteries have caught fire on Jan. 14 and 15 in a row.*

*A fire broke out at 4:16 p.m. on Jan. 15 at the solar energy-linked ESS located in Jangsu-eup, Jangsu-gun, North Jeolla Province. Another fire broke out in the ESS, which was installed at the Kiswire Plant in Yangsan, South Gyeongsang Province in the morning of the previous day.*

*LG Chem is known to have notified companies of the stoppage of ESS operation after a series of fires. It seems that LG Chem has decided to stop operating ESS after recognizing the seriousness of the situation and to find a solution.*

*"We are currently trying to come up with proper measures related to the series of fires," said an LG Chem official.*

In un recente articolo su "Bloomberg New Energy Finance" [34] vengono presentati 7 incendi occorsi, a partire dal 2017 ad agosto 2018, in Korea, che hanno coinvolto sistemi di accumulo stazionario Litio-ione per un totale di 94 MWh di capacità. Gli incidenti hanno coinvolto circa il 4% della capacità dell'accumulo stazionario Litio-ione realizzato in Korea in meno di un anno e mezzo. Nessuno degli incendi riportati (Tabella 6) si è propagato a strutture esterne all'area operativa e non ci sono stati danni a persone.

Gli autori sottolineano la pronta risposta da parte delle autorità competenti e dei corpi dei vigili del fuoco. Ciononostante ritengono "molto appropriato" lo sviluppo continuo e l'applicazione di norme tecniche, giuridiche e *best practice*. Un tema ricorrente all'interno degli standard e delle norme di prevenzioni incendi, a livello internazionale, è la scarsa comprensione di come trattare le tecnologie Litio-ione. Si osserva, ad esempio, che:

*Current fire suppression systems use inert gases that deprive a fire of oxygen. While this is suitable for an electrical fire it may not prove effective for a battery fire caused by an internal short circuit leading to thermal run away. This is because as the cathode of a lithium-ion battery reaches a high temperature, oxygen is released, which can then feed an existing fire. Under normal operation the battery management system (BMS) and power conversion system (PCS) should prevent cells from reaching thermal run away*

Tabella 6<sup>14</sup>.

Energy storage fire incidents (Fonte: Bloomberg NEF, Korea Ministry of Trade, Industry and Energy Note: RE stands for Renewable Energy)

| Project  | Country       | MW  | MWh | Capacity affected (MWh) | Application          | Technology         | Battery provider  | Installation date  | Incident date |
|--|---------------|-----|-----|-------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------|
| Asia Paper Sejong Energy Storage Project                   | Korea         | –   | 18  | 18                      | Peak management      | Lithium-ion        | Samsung SDI       | Under construction | July 2018     |
| DaeMyoung GEC Geochang Energy Storage Project              | Korea         | 9.6 | 9.6 | 9.6                     | RE integration       | Lithium-ion (NMC)  | Samsung SDI       | Dec 2015           | July 2018     |
| Haenam Songji Energy Storage Project                       | Korea         | –   | 3   | 3                       | RE integration       | Lithium-ion        | LG Chem           | Dec 2017           | July 2018     |
| CNPV Power Korea Gunsan Saemangeum Energy Storage Project  | Korea         | –   | 19  | 19                      | RE integration       | Lithium-ion        | LG Chem           | Dec 2017           | June 2018     |
| DaeMyoung GEC Yeongam Energy Storage Project               | Korea         | 4   | 15  | 15                      | RE integration       | Lithium-ion (NMC)  | Samsung SDI       | Dec 2015           | June 2018     |
| KEPCO Gyeongsan Energy Storage Project Phase I             | Korea         | 24  | 12  | 12                      | Frequency regulation | Lithium-ion (NMC)  | Samsung SDI       | Feb 2016           | May 2018      |
| MOTIE Gochang Energy Storage Pilot Project                 | Korea         | 54  | 31  | 17                      | RE integration       | Lithium-ion        | Top Battery       | –                  | August 2017   |
| Engie Drogenbos Energy Storage Pilot Project               | Belgium       | 6   | 20  | 6**                     | RE integration       | Lithium-ion*       | Unknown           | Jul 2017           | Dec 2017      |
| Arizona Public Service Co Electrova Energy Storage Project | Arizona, U.S. | –   | 1.5 | 1.5                     | RE integration       | Lithium-ion        | Electrova         | Feb 2012           | Nov 2013      |
| First Wind Kahuku Energy Storage Project                   | Hawaii, U.S.  | 15  | 4   | 4                       | RE integration       | Lead-based battery | Xtreme Power Inc. | Mar 2011           | Aug 2012      |
| Mitsubishi Material's Tsukuba Energy Storage Project       | Japan         | 2   | 14  | 14                      | –                    | Sodium sulphur     | NGK Insulators    | –                  | Sep 2011      |

### 2.3.3 Drogenbos, novembre 2017

A Drogenbos, nei dintorni di Bruxelles, nel novembre 2017 è avvenuta l'esplosione di un ESS sperimentale, ad 1 mese dallo start-up [35], (Figura 25):

<sup>14</sup> \*This is a technology pilot program. Engie will start by testing lithium batteries from four different manufacturers under the same conditions, for a total power of 6MW. After which storage technologies such as compressed air, flywheel, redox flow batteries will be tested.

\*\* The fire only impacted part of the project but a specific MWh is unknown. Three providers had installed systems at that point and only one was impacted so we have assumed 6MWh.





Figura 25. Fonte: <https://twitter.com/search?q=drogenbos&src=typd>

Ecco un breve rapporto sull'incidente occorso

*On Saturday the 11th of November 2017, around noon, people in some western areas of the city of Brussels (Belgium) could smell a strong and irritating odor that some described as being similar to the smell of "burning plastic".*

*A little later, the population was informed of a fire going on in the Electrabel-Engie power plant located at Drogenbos. Electrabel-Engie is the main electricity producer in Belgium, and operates a gas turbine power plant in Drogenbos, a village located at the western limit of the city of Brussels – where the wind did come from at the time of the accident.*

*Still a bit later, some local newspapers explained that "a container-size lithium battery has blown up into flames. The fire as provoked a cloud of smoke potentially toxic". The message circulating on the social networks was that "a cloud full of toxic lithium was blowing over the city".*

*It took several hours for the firemen to control the fire. The alert was lifted around 16hr local time. No injuries were reported, although some people did complain of respiratory irritation. At that time the population has been informed that "Measures of air pollution were normal and they were no more risks for health or environment". However they didn't say what were the pollutants found in previous measurements and in which quantities they were present in the air.*

## 2.4 Elettronica di consumo

### 2.4.1 Telefonia cellulare

Per quanto riguarda l'elettronica di consumo, il caso Galaxy Note 7 [36] e la relativa e massiccia campagna di richiamo dell'azienda [37] coreana con le connesse perdite economiche, è stato il caso più eclatante di questo ultimo triennio, ma anche quello cui i media si sono molto dedicati. Altri incidenti ad altri prodotti Galaxy e ad I-phone, sono riportati in Tabella 4.

### 2.4.2 Sigarette elettroniche

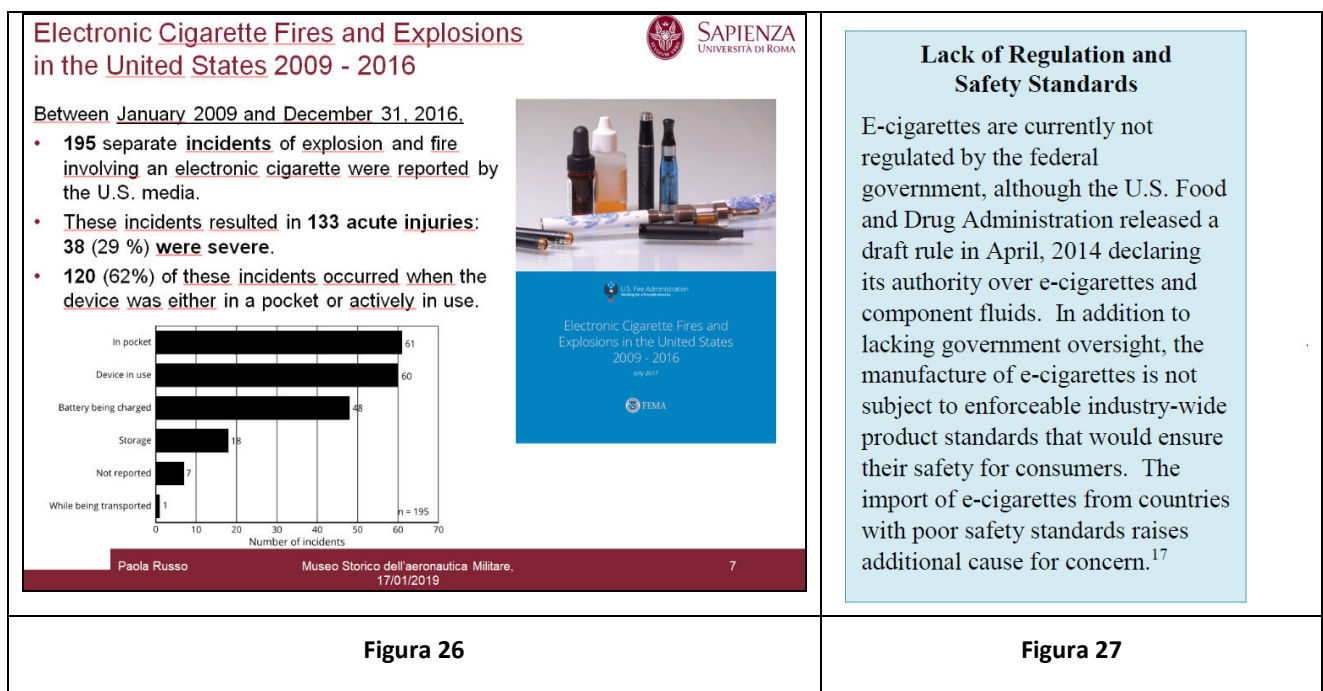
Il settore delle sigarette elettroniche, ha ricevuto una notevole attenzione da parte delle istituzioni internazionali ed anche da parte degli studiosi.

Sono ormai tanti gli studi di settore [38, 39], che riguardano l'analisi degli incidenti per i fumatori di sigarette elettroniche, dovuti alle batterie!

La U.S. Fire Administration, FEMA, U.S. Department of Homeland Security, ha pubblicato nel luglio 2017 un rapporto [40] sugli incidenti registrati che hanno coinvolto le sigarette elettroniche (Figura 27). In un articolo del 2015 [41], si evidenziava una lacuna giuridica (Figura 28) relativa alla prevenzione dei rischi per i consumatori che effettuavano l'acquisto, specialmente on-line, di prodotti provenienti da un mercato non ufficiale cinese [42].

L'esplosione di una e-cig [43] nel maggio 2018 ha provocato la morte dell'americano Tallmadge D'Elia, 38 anni, Florida: "The cause of death is identified as a projectile wound to the head", riporta la stampa [44]. Anche **danni** di minore entità, ma pur sempre gravi, vengono registrati dai servizi di pronto soccorso e dagli esperti di trattamento delle ustioni, riguardanti e-cig e telefonia cellulare [45, 46, 47, 48].

L'esplosione di celle cilindriche 18650 spesso si configura con l'espulsione del materiale interno e formazione di proiettile, con la capacità di arrivare ad oltre 10 metri di distanza dal luogo di esplosione. A tal fine si rimanda alle esperienze relazionate nel RT sulle celle 18650 [49] e, in particolare, ai lavori specifici citati in testo.



### 2.4.3 Hoverboard

Tra gli “oggetti del desiderio” dei giovani e non solo, vi sono i droni e gli Hoverboard. Si tratta di oggetti alimentati da batterie ricaricabili liti con una capacità maggiore di quelle del telefono cellulare o della sigaretta elettronica e, quindi, ci pone in una scala di materia ed energia, di un ordine di grandezza superiore.

Per quanto riguarda gli Hoverboard, come vedremo nel capitolo quattro, sono presenti nelle campagne di richiamo, ma sono stati anche oggetto di incendio ed esplosione. Casi di hoverboard esplosi ci sono stati negli Usa e nel Regno Unito, tanto da indurre Amazon a sospendere le vendite per alcuni mesi tra il 2015 e il 2016 e molte compagnie aeree a bandirlo dai voli. Si vedano i dati relativi alle campagne di richiamo nel paragrafo 4.1. In Italia, l' 11 ottobre del 2017, la prima ricarica del monopattino ha provocato un grave incendio della casa dei proprietari (vedi Tabella 4) (Figura 29).



Figura 28

## 2.5 Trasporto merci pericolose via mare

Un esempio di organizzazione di trasporto delle batterie via mare, proviene dalla *LCL Sea Freight*<sup>15</sup> [50]. Dal sito web della compagnia, citiamo le seguenti informazioni (Figura 30):

*Shipping batteries by sea freight less than container from China only can shipping from Hongkong port now. We have China warehouse address local in Shenzhen city, Dongguan city, Guangzhou city, Foshan city, Shanghai city. You can arrange shipment delivery to our over warehouse than we will consolidate shipments to Hongkong port.*

*[...] Shipping full container need have MSDS IMDG-CODE, before booking container need send this documents to shipping companies confirm whether can ship. We have very good*

---

<sup>15</sup> <http://www.shippingbatteries.com/shipping-batteries-by-sea.html>

relationship with many shipping companies in China. Such COSCO shipping company. Shipping batteries by sea the packages requirement have a lot of, loading time, customs clear services, shipping documents need ready in time or there will have additional fee from port and shipping company.

[...]Shipping lithium batteries by sea [36] Takes the Sea freight of your shipment containing lithium batteries very seriously and complies with the International Sea Transport Association (IATA) and International Civil Aviation Organization (ICAO) regulations for carrying such items as a carrier. We want to ensure that you as a shipper are aware of all the requirements in shipping this lithium and help you to overcome any challenges or obstacles you may face.



Figura 29

A seguito della sequela di incidenti che hanno riguardato il Galaxy Note 7<sup>16</sup> [51], le compagnie di trasporto navale hanno iniziato a porre maggiore attenzione al carico di batterie al Litio, Litio ione e apparecchi utilizzatori<sup>17</sup> [52]:

*The Standard Club is warning shipowners to be careful when transporting lithium-ion batteries in the wake of widespread reports of many Samsung Galaxy Note 7 phones self-igniting.*

*“The exposure to members arising from carriage of these batteries is potentially wide and includes claims in respect of damage to cargo and hull by fire, personal injury, deviation, storage and disposal costs, pollution, salvage or even wreck removal,” the P&I club noted in an alert to members.*

*Lithium-ion batteries are classified as Class 9 goods (under UN numbers 3480 and 3481) in the International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code due to the dual hazard properties associated with their chemical and electrical content:*

*The IMDG Code expressly cautions that “electrical lithium batteries may cause fire due to an explosive rupture of the body caused by improper construction or reaction with contaminants”.*

*Pursuant to the IMDG Code, shippers are obliged to furnish a vessel with a completed Dangerous Good (DG) cargo declaration.*

*Additionally, each vessel has a Document of Compliance (DOC) for dangerous cargo which indicates where the batteries can be safely stowed on board. To ensure full compliance during a*

---

<sup>16</sup> Sam Chambers: “Shipowners warned on risks of carrying lithium-ion batteries”. 18 ottobre 2016. <https://splash247.com/shipowners-warned-risks-carrying-lithium-ion-batteries/>

<sup>17</sup> TrasportoEuropa, Mercoledì 07 Marzo 2018 18:59

*particular voyage, the classification, packaging and stowage of dangerous goods is governed by laws of the flag state, the countries of the load and discharge ports as well as the laws of any country which the vessel enters while in transit.*

*The Standard Club said anyone agreeing to carry this cargo are recommended to comply with the following additional precautions:*

- Container inspection (for sealed and unsealed packages) be carried out to ensure conformance with the instructions (P903, P908, P909, LP903 and LP904) of the IMDG Code; and*
- In the case of used and recalled batteries being shipped, to obtain confirmation in writing from the shippers that the batteries have been discharged to 0% before shipment.*

*Used batteries may also be considered as hazardous waste. The shipper is obliged to provide a written declaration to the carrier if in fact the batteries are not considered waste, failing which the carrier runs the risk of the batteries being treated as 'waste cargo' pursuant to the guidelines set out in the Basel Convention. The consequence of this may include the batteries being rejected at the discharge port because the cargo was misdeclared.*

*In such cases, it is not unusual to hear of the shipper/consignee abandoning the cargo and leaving the carrier to bear the storage and disposal costs. Usually, returning the cargo to the load port is not a practical or commercially viable option for the carrier.*

*The club recommends that members insist that the shipper provides evidence of written consent from the authorities in the place of export, import and transit in accordance with the provisions of the Basel Convention before agreeing to carry the batteries.*

*Most contracts of carriage evidenced by the bills of lading provide for some form of indemnity in favour of the carrier in respect of the carriage of dangerous cargo. Shipowners should review and ensure strict compliance with the provisions of the indemnity clause when agreeing to carry the batteries in order not to waive or compromise its rights of recourse against the cargo interests by way of the indemnity, the club suggested. Alternatively, if an owner has sufficient commercial bargaining power, it may insist on provision of security by way of a bank guarantee or letter of indemnity from a creditworthy charterer/ shipper or consignee.*

*"Provided that carriage of the batteries complies with all of the above mentioned requirements imposed by the applicable law(s) and international conventions, club cover remains in place. Conversely, the member's failure to comply with the provisions of the applicable regimes and the guidelines may compromise member's cover," Standard stressed.*

Ulteriori precauzioni e politiche restrittive, sono state intraprese da compagnie altamente specializzate nel trasporto marittimo trans-oceanico di merci pericolose, a seguito di importanti incidenti in mare. E' questo il caso della MAERSK. L' Incendio sulla portacontainer Maersk Honam<sup>18</sup> [53] avvenuto il 6 marzo 2018 (Figura 31, Figura 32):

*Alle 15.20 (Gmt) del 6 marzo 2018 un incendio è scoppiato sulla nave del Gruppo Maersk mentre navigava a 900 miglia a sud-est di Salalah, nell'Oman. A bordo anche container per l'Italia.*

*La portacontainer, che ha capacità di 15.263 teu, trasportava 7860 container sulla rotta tra l'Asia e il Mediterraneo. Era salpata il 1° marzo dal porto di Singapore e doveva scalare in quello di Marsaxlokk, a Malta, quando alle 15.20 (Gmt) del 6 marzo è scoppiato un violento incendio che ha posto la nave in una situazione "molto critica", come spiega una nota della compagnia marittima. "Dopo avere tentato senza successo di spegnere le fiamme, l'equipaggio ha inviato una richiesta di soccorso e 23 membri sono stati evacuati dalla nave ALS Ceres, che è arrivata sul posto alle 18.30". Sono però dispersi quattro marittimi. La mattina del 7 marzo*

---

<sup>18</sup> <https://splash247.com/post-honam-fire-maersk-rings-the-changes-on-stowing-dangerous-goods/>. 26 settembre 2018

*l'incendio era ancora in corso.*

*Sulla Maersk Honam potrebbero esserci anche container destinati all'Italia, perché la rotazione della nave, del servizio AE11/Jade prevede scali anche a La Spezia e Gioia Tauro. La Maersk Honam è stata varata nel 2017 e Maersk dichiara che non si conoscono ancora le cause dell'incendio, che si presume sia scoppiato all'interno di un container e che poi si è esteso sul ponte principale. Questa è la più grande portacontainer finora colpita da un incendio di tali dimensioni e finora il caso più serio era quello della MSC Flaminia, da 6750 teu, incendiata nel luglio 2012 con la morte di tre marittimi.*

A seguito dell'incidente, la società armatrice Maersk ha dato avvio ad una politica restititiva sul trasporto merci via mare<sup>19</sup> [54], specialmente nel caso di coinvolgimento di merci pericolose:

*After a thorough review of current safety practices and policies in the stowage of dangerous cargo, Maersk has now completed implementation of new guidelines to improve safety across its container vessel fleet.*

*Following the deadly fire aboard the 15,000 teu Maersk Honam in March this year, Maersk took measures and implemented additional preliminary guidelines for stowage of dangerous goods. The company evaluated over 3,000 United Nations numbers of hazardous materials in order to further understand and improve dangerous cargo stowage onboard container vessels and developed a new set of principles called Risk Based Dangerous Goods Stowage.*

*Together with the American Bureau of Shipping (ABS), Maersk called for a workshop with other industry stakeholders to conduct a comprehensive hazard identification study that validated these new guidelines which have now been implemented across Maersk Line's fleet of more than 750 vessels. The Risk Based Dangerous Goods Stowage principles have also been presented to the International Maritime Organization (IMO) as well as the Danish Maritime Authorities.*

*"All cargo aboard Maersk Honam was accepted as per the requirements of the International Maritime Dangerous Goods Code and stowed onboard the vessel accordingly. Despite this, as the fire originated in a cargo hold in front of the accommodation which held several containers with dangerous goods, it had an unbearably tragic outcome," said Ole Graa Jakobsen, head of fleet technology at Maersk. "This clearly showed us that the international regulations and practices with regards to dangerous goods stowage needs to be reviewed in order to optimally protect crew, cargo, environment and vessels."*

Sulla nave, che trasportava merci pericolose, erano probabilmente presenti anche batterie Litio-ione [55]<sup>20</sup> (Figura 33). Si evidenzia come il trasporto incida anche sulla qualità delle batterie: l'esposizione a temperature dai 50-60 °C in su, influisce sulla vita media delle batterie; esposizioni o raggiungimento dei 70 °C e oltre, ci porta nel campo di instabilità chimica, ovvero fuori dalla "finestra operativa" delle batterie.

Su questo caso, si desidera condividere la relazione informale sull'incidente, eseguita dal Capitano Diego Ricci, nella quale viene esplorata la possibilità che, a bordo fossero caricate anche batterie Litio ione o al Litio. La relazione mette in luce le lacune relative al piano di carico delle navi cargo, dei controlli e della gestione dei rischi. Dovrebbero essere utilizzati sensori di temperatura posti all'interno dei container

---

<sup>19</sup>

[https://www.reddit.com/r/CatastrophicFailure/comments/83dksu/the\\_ulcs\\_maersk\\_hon\\_on\\_fire\\_in\\_the\\_arabian\\_sea/](https://www.reddit.com/r/CatastrophicFailure/comments/83dksu/the_ulcs_maersk_hon_on_fire_in_the_arabian_sea/)

<sup>20</sup> <http://maritimebulletin.net/2017/11/13/explosion-and-fire-at-yantian-shenzhen-container-terminal/>

remotati in cabina, per dare immediatamente il segnale di allarme, come anche l'immediato utilizzo di agenti di raffreddamento e/o estinguenti.

IMO: 9784271  
MMSI: 563030500  
Identificativo Radio: 9V5395  
Bandiera: Singapore [SG]  
AIS Tipo di nave:  
Cargo - Hazard A (Major)

Stazza Lorda: 153153  
Deadweight: 162051 t  
Lunghezza fuori tutto x Larghezza estrema:  
353.02m x 53.5m  
Anno di costruzione: 2017  
Stato: In riparazione

Informazioni relative al viaggio      Companies at Destination

Per pieno accesso      Try Voyage Data

NLBOV      AEJEA  
ATD : 2018-03-20 11:48 LT (UTC +1)      ATA : 2018-05-27 12:57 LT (UTC +4)

Il percorso passatori      Previsione di rotta

Distanza percorsa      ●●●●

Pescaggio      15.2m

Load Condition      ●●●●

Velocità registrata (Max / Media)      20.4 / 19.1 knots

Storico degli itinerari >      Ultime posizioni >

Reported ETA Received: 2018-06-11 18:24 LT (UTC +4)

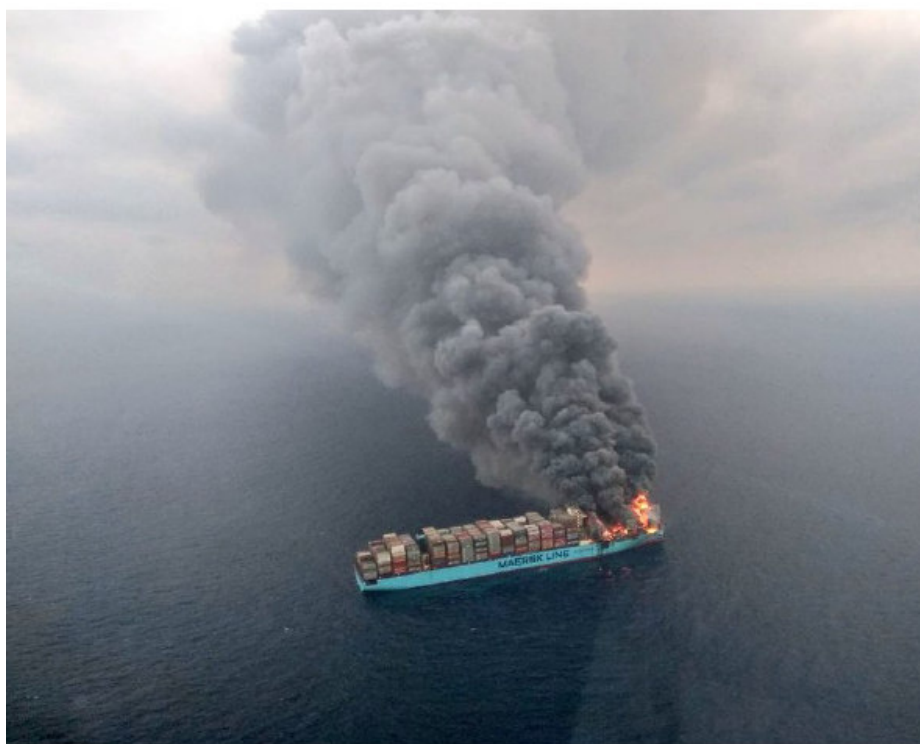
© Yang Ngai  
MarineTraffic.com

Carica una foto      Foto della nave: 5

2018-06-11 08:00 UTC  
Speed 0.20 knots  
Speed range (avg-max) 1.08-2.00 knots  
Draught 15.20 m

VESSEL TIMELINE

Figura 30



Maersk Honam fire in the Arabian Sea.

Figura 31. <http://gcaptain.com/fire-damaged-maersk-honam-headed-jebel-ali/>



Figura 32

### 2.5.1 Relazione e considerazioni sull'incendio avvenuto a bordo della M/n “Maersk Honam” [56]<sup>21</sup>

Contributo di

Diego Ricci, Capitano di Lungo Corso, porto di Brindisi. Roma, 11 VI 18.

Corrispondenza Privata. Pubblicazione autorizzata dall'autore

*Le immagini dell'incidente evidenziano un'emergenza incendio gravissima ed estremamente difficile da affrontare, nonostante l'equipaggio, aiutato poi dai soccorritori, riesca a contenere le fiamme solo alla parte prodiera (anteriore) della nave, scongiurandone la sua completa distruzione e forse anche il naufragio, ma permettendogli altresì di essere rimorchiata al sicuro nel porto rifugio di Jebel Ali e consentendo ai periti di investigare sull'accaduto. Infatti per ragioni di sicurezza lo sbarco del carico ancora indenne può avvenire solo dopo il nullaosta della commissione d'inchiesta.*

*Sebbene la causa scatenante dell'incendio sia ancora sconosciuta, si potrebbero però formulare alcune ipotesi: probabilmente l'innesco è avvenuto all'interno di un contenitore, direi uno di quelli posti più in basso, dopodiché il fuoco ed il calore si sarebbero propagati per conduzione agli altri container distanti solo pochi decimetri, questi incendiandosi a loro volta avrebbero esteso il rogo a dismisura.*

*Si può immaginare che le fiamme alimentate dal vento siano diventate subito talmente alte e minacciose da vanificare gli sforzi dell'equipaggio nel tentativo di domarle. L'unica possibilità per loro è stata quella di raffreddare con gli idranti i contenitori ancora intatti vicini a quelli roventi, con la speranza di ostacolarne la propagazione. Credo infatti che se avessero indirizzato i getti direttamente sulle lingue di fuoco, a causa della loro elevata temperatura, si sarebbe creato il fenomeno della piroscissione con*

<sup>21</sup> Diego Ricci, Capitano di Lungo Corso, porto di Brindisi: “Relazione e considerazioni sull'incendio avvenuto a bordo della M/n “Maersk Honam”. Roma, 11 VI 18. Corrispondenza Privata. Pubblicazione autorizzata dall'autore



ulteriore aggravio dell'emergenza. Risulta alla fine decisivo l'intervento dei rimorchiatori di soccorso e dei loro cannoni lancia acqua; il bilancio purtroppo è comunque molto pesante con quattro marinai morti, due gravemente ustionati, nonché la nave seriamente danneggiata e parte del carico distrutto.

Come se non bastasse, proprio l'acqua salata spruzzata in grandi quantità dai rimorchiatori per spegnere l'incendio danneggia quasi tutto il carico non ancora bruciato, cancellando forse anche importanti indizi sulla causa del disastro.

Dando per probabile che l'innescò sia avvenuto all'interno di un contenitore, la prima domanda che mi pongo è: all'inizio c'è stata una deflagrazione oppure una combustione? E poi di quale materiale si sarebbe trattato? Il Codice International Marine Dangerous Goods (IMDG) prevede norme restrittive per il trasporto via mare di merci pericolose, le quali possono essere imbarcate ma seguendo procedure scrupolose e codificate. L'elenco di sostanze sensibili sia liquide, solide o gassose è smisurato: si inizia dai prodotti chimici per finire con quelli nucleari e non ultimi, ci sono anche gli accumulatori. Su quest'ultima tipologia mi sento di affermare che la regolamentazione o l'esperienza acquisita in tale ambito sia minore rispetto alle altre, ma ovviamente è solo una mia considerazione.

Se, come ho detto, il calore si è sviluppato all'interno di un container d'acciaio carico di oggetti, mi chiedo se sia possibile ipotizzare che il processo sia stato realmente indotto dalla torrida temperatura esterna. La nave stava attraversando il mar Arabico e non c'è da meravigliarsi se all'interno di molti container, soprattutto quelli più esposti al sole per tante ore, la temperatura possa aver superato i 45 gradi centigradi. Nel caso in cui il carico sottoposto ad un tale stress termico fosse composto da solventi, prodotti chimici aromatici o batterie agli ioni di litio, si potrebbero innescare fenomeni di auto combustione catalitica o di esplosione. Ricordo ad esempio che qualche anno fa un aereo di linea fu quasi distrutto da un incendio causato dagli accumulatori di bordo.

Ammetto di non avere evidenze al riguardo, tuttavia è un'ipotesi che a mio parere deve essere vagliata con la dovuta attenzione. Aggiungo che migliaia di navi simili alla M.H. attraversano ogni anno gli oceani passando per le latitudini tropicali senza che questo crei loro dei problemi.

Nell'ambito marittimo in generale ed in particolare nel settore delle merci pericolose l'IMO (International Maritime Organization) con sede a Londra elabora e suggerisce le norme da adottare, sulla cui guida gli Stati membri legiferano. Fra i vari codici emanati prendiamo in considerazione il Codice CTU (Cargo Transport Unit), che regola la movimentazione e la spedizione di merci via mare nonché le istruzioni su come riempire un container: un compito assai delicato quando i carichi sono sensibili. I blocchi d'acciaio adibiti a tali trasporti devono per prima cosa essere in perfette condizioni e con la certificazione di collaudo valida. All'esterno hanno dei cartelli con colori, codici numerici ed indicazioni particolari che ne evidenziano la tipologia di pericolosità ad esempio: infiammabile, esplosivo, velenoso, corrosivo, infettante ecc. Essi viaggiano accompagnati ciascuno da un certificato di carico firmato da chi li ha riempiti. Il comando nave ha una scheda di sicurezza per ogni singolo prodotto, nonché una guida per il soccorso medico.

Il "piano di carico" è il documento fondamentale in cui vengono indicati tutti i container a bordo, con peso, dimensioni, porto di destinazione ecc., tranne indicazioni sul loro contenuto; è ormai da diversi anni che il p.c. viene preparato negli uffici della compagnia armatrice così da alleviare gli equipaggi dai complicati e continui calcoli necessari a garantire una buona stabilità alla nave nonché evitarle, viste le dimensioni sempre maggiori, dannosi stress meccanici. Il piano di carico riporta inoltre i punti dove sono impilati i contenitori con sostanze a rischio e/o sensibili, i quali per convenzione dovrebbero essere sempre esterni, ben visibili ed il più possibile isolati.

Un'attenta analisi dei prodotti trasportati dalla nave ed in particolare di quelli situati nella zona in cui si ritiene possa essere divampato l'incendio può aiutarci a trovare la causa del disastro. Ovviamente è un compito arduo se consideriamo che lì quasi tutto è distrutto o vaporizzato. Noto che per fortuna la struttura del ponte di comando e degli alloggi equipaggio situata a circa due terzi della lunghezza nave ha funto da barriera evitando che il fuoco si propagasse al carico più a poppavia (più indietro), inoltre non vi è stata un'esplosione devastante e la nave ha continuato a galleggiare dritta senza ingavonarsi, un vero miracolo. Naturalmente ogni nave è dotata di un potente impianto antincendio con più pompe ad alta capacità e molti idranti con manichette, ci sono anche impianti fissi ad anidride carbonica, a schiuma, o pioggia (soprattutto nei garage dei traghetti). Abbiamo anche diverse stazioni antincendio dotate di attrezzature come le tute ignifughe, gli autorespiratori, gli schiumogeni, gli estintori ecc.; cartelli affissi ovunque indicano poi l'ubicazione di ogni attrezzatura o dispositivo.

È singolare però che un incidente di tale gravità avvenga su di una nave così nuova, di proprietà di una compagnia di navigazione fra le prime al mondo, con una grande esperienza nel settore e famosa per

*aver da sempre adottato standard di sicurezza e qualità elevati. La letteratura attuale sull'argomento incendio a disposizione di progettisti e cantieri è davvero vasta, tant'è che su una nave di tali dimensioni dovrebbero esserci anche dei sensori di fumo / alte temperature all'interno delle stive, che inviano eventuali allarmi ad un quadro sinottico sul ponte di comando, oltre alle specifiche a riguardo definite dalla convenzione internazionale per la salvaguardia per la vita umana in mare nota come Solas (Safety of life at sea).*

*Sarebbe anche interessante sbobinare la cosiddetta "scatola nera" o voice recorder VOR . Durante il giorno c'è sempre del personale in giro in coperta ed è strano che nessuno abbia notato alcuna anomalia con un certo anticipo. In navigazione di notte invece, oltre al personale di guardia in plancia, un marinaio ogni ora fa un controllo generale della nave sebbene all'esterno con la nave oscurata sia difficile notare qualcosa di anomalo, a meno che non si trovi vicino a chi controlla. Il problema allora forse è da ricercare nel caricatore? Eppure chi gestisce e movimenta dangerous goods deve fare dei seminari e superare esami specifici, qui ci ricollegiamo al CTU code, poiché c'è sempre un responsabile che firma il certificato di carico. Siamo sicuri che tutto sia stato fatto secondo le regole? Sarebbe possibile consultare anche il Safe Sea Net il network con il quale si trasmettono fra una nazione e l'altra tutte le informazioni riguardanti il trasporto di merci pericolose via mare.*

*Alla luce degli eventi sopra descritti e delle considerazioni effettuate, mi sentirei di suggerire l'installazione di sensori di temperatura all'interno dei container adibite al trasporto di merci pericolose, nonché impartire disposizioni ancora più stringenti per coloro che caricano questo tipo di materiali e dispositivi di accumulo.*

*Roma, 11 VI 18.*


## **2.6 Gestione dei rifiuti**


Il ciclo della gestione degli dei rifiuti coinvolge sia le apparecchiature elettroniche alimentate da accumulatori, che i veicoli e l'accumulo stazionario. Le fasi del ciclo includono: raccolta, trasporto stoccaggio, gestione del rifiuto e trattamenti chimico fisici per il recupero di materiali o l'incenerimento *tout court*. Si riportano dati incidentali provenienti dal DB istituzionale del BARPI (Francia) (Tabella 7) e alcune notizie provenienti da fonti non istituzionali svizzere [57] (Tabella 8).

## 2.6.1 Francia (BARPI)

Tabella 7. Fonte BARPI



| ID            | Data                  | Località                          | Tipologia  | Lingua originale (Francese)   | Traduzione con Google Traduttore  | Link   |
|---------------|-----------------------|-----------------------------------|--|---|---|--|
| ARIA<br>53039 | 28<br>gennaio<br>2019 | FRANCE - 01<br>- SAINT-<br>VULBAS | E38.22 -<br>Traitement et<br>élimination des<br>déchets<br>dangereux | <p><i>Vers 15h45, dans un centre de traitement de déchets dangereux classé Seveso seuil haut, un départ de feu se produit dans un seau contenant des piles au lithium en attente de traitement par incinération. Avant que l'opérateur en poste n'ait pu déposer du sable absorbant dans le seau, une pile se met à fuir, s'enflamme et explose. Un début de propagation a lieu sur un seau à proximité. Un autre opérateur déplace la palette contenant les seaux à l'extérieur du hangar pour éviter une propagation plus importante. Les opérateurs maîtrisent rapidement l'incendie au moyen d'extincteurs à poudre adaptés aux feux de métaux (classe D). Ils déclenchent l'alarme pour avertir les équipiers de seconde intervention. Ces derniers conditionnent les piles encore incandescentes dans un emballage métallique avant de les introduire dans la goulotte du four. L'incident prend fin vers 16 h. La poudre des extincteurs est récupérée et conditionnée en seaux pour être également traitée dans le four rotatif.</i></p> <p><i>Les piles étaient arrivées conditionnées en barquettes, elles-mêmes contenues dans des cartons. Ces piles sont des rebuts de fabrication, dépourvus de film plastique protecteur et sans protection des bornes. En raison de la quantité de piles contenues dans un carton (120 piles/carton représentant une charge calorifique trop importante) et de la dimension des cartons, un déconditionnement est</i></p> | <p>Verso le 15:45, presso un centro di trattamento dei rifiuti pericolosi ad alta soglia Seveso, è scoppiato un incendio in un secchio contenente batterie al litio in attesa di trattamento mediante incenerimento. Prima che l'operatore storico possa depositare sabbia assorbente nel secchio, una pila inizia a perdere, si incendia ed esplose. Un inizio di propagazione avviene su un secchio nelle vicinanze. Un altro operatore sposta il pallet contenente i secchi all'esterno del capannone per impedire un'ulteriore diffusione. Gli operatori controllano rapidamente l'incendio con estintori metallici (classe D). Innescono l'allarme per avvertire l'equipaggio del secondo intervento. Questi imballano le batterie a incandescenza in un pacchetto metallico prima di inserirle nello scivolo del forno. L'incidente termina intorno alle 16:00 La polvere degli estintori viene recuperata e confezionata in secchi per essere trattata anche nel forno rotante.</p> <p>Le batterie erano arrivate confezionate in scatole, esse stesse contenute in cartoni. Queste batterie producono rifiuti di produzione, privi di pellicola protettiva in plastica e senza protezione terminale. A causa della quantità di batterie contenute in un cartone (120 celle / cartone che rappresentano un carico di calore eccessivo) e delle dimensioni dei cartoni, è necessario un condizionamento prima dell'introduzione nel forno. Le batterie vengono quindi confezionate in lotti da 60 in un secchio cilindrico di plastica. L'operatore, appena assegnato alla posta, aveva appena riempito un secchio quando osservò l'inizio del fuoco in quest'ultimo. L'ipotesi più probabile è il corto circuito di una batteria, che causa il suo riscaldamento e quindi la sua accensione. L'evento è collegato a una cattiva applicazione della procedura di riconfezionamento da parte dell'operatore. In effetti, la procedura prevede che le</p> | <p><a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/53039/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/53039/</a></p> |

| ID | Data | Località | Tipologia | Lingua originale (Francese)  | Traduzione con Google Traduttore  | Link |
|----|------|----------|-----------|--|---|------|
|    |      |          |           | <p><i>nécessaire avant introduction dans le four. Les piles sont alors conditionnées par lots de 60 dans un seau en plastique cylindrique. L'opérateur, nouvellement affecté au poste, venait de remplir un seau quand il a observé le départ de feu dans ce dernier. L'hypothèse la plus probable est la mise en court-circuit d'une pile, provoquant son échauffement puis son inflammation.</i></p> <p><i>L'événement est lié à une mauvaise application de la procédure de reconditionnement par l'opérateur. En effet, le mode opératoire prévoit que les piles dénudées (sans film plastique protecteur) doivent faire l'objet d'une attention particulière et ne doivent pas être sorties de leur barquette, en raison du risque d'échauffement pouvant conduire à l'explosion de la pile.</i></p> <p><i>Suite à l'accident, l'exploitant sensibilise les opérateurs à la procédure. Il remplace les seaux par des seaux de plus grand diamètre permettant de disposer plusieurs étuis de piles sans avoir à les retirer de leurs barquettes.</i></p> <p><i>Un départ de feu de piles au lithium conditionnées en seau a déjà eu lieu sur ce site en 2011 (ARIA 40306).</i></p> | <p>batterie scariche (senza pellicola protettiva in plastica) debbano ricevere un'attenzione particolare e non debbano essere rimosse dal loro vassoio, a causa del rischio di surriscaldamento che potrebbe provocare l'esplosione della pila.</p> <p>A seguito dell'incidente, l'operatore rende gli operatori consapevoli della procedura. Sostituisce i secchi con secchi di diametro maggiore consentendo di avere diversi casi di batterie senza rimuoverli dai vassoi.</p> <p>Un avviatore di fuoco di batterie al litio confezionato in un secchio è già stato realizzato su questo sito nel 2011 (ARIA 40306).</p> |      |
|    |      |          |           |  |   |      |

| ID            | Data              | Località                                    | Tipologia                             | Lingua originale (Francese)   | Traduzione con Google Traduttore   | Link  |
|---------------|-------------------|---|---------------------------------------|---|--|---|
|               |                   |   |                                       |   |   |   |
| ARIA<br>52856 | 5 gennaio<br>2019 | FRANCE - 59<br>-<br>MARQUETTE-<br>LEZ-LILLE | E38.31 -<br>Démantèlement<br>d'épaves | <p><i>Vers 10h10, dans une entreprise de recyclage des métaux, un feu se déclare sur un tas d'environ 100 m<sup>3</sup> de déchets d'équipements électriques et électroniques (PAM : petit électroménager) en attente de dépollution. Un important panache de fumées noires se dégage et est visible depuis les communes environnantes. Les pompiers interviennent au moyen de 3 lances. Les employés les assistent en séparant et étalant le tas à l'aide d'une pelle hydraulique. 5 personnes restent confinées à leur domicile. La circulation routière à proximité est coupée. L'incendie est maîtrisé vers 12 h. Une surveillance renforcée est mise en place au niveau du stock de PAM pour repérer une éventuelle reprise du feu pendant le week-end.</i></p> <p><i>La moitié du tas de PAM est détruit. Les eaux d'extinction ont été confinées.</i></p> <p><i>L'incendie est survenu alors que le site était fermé. L'exploitant suppose qu'une batterie de lithium a pu être cassée lors d'un déchargement et serait à l'origine du</i></p> | <p>Verso le 10h10, presso un'azienda di riciclaggio dei metalli, è scoppiato un incendio su una pila di circa 100 m<sup>3</sup> di rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (WFP: piccoli elettrodomestici) in attesa di disinquinamento. Un grande pennacchio di fumo nero emerge ed è visibile dai comuni circostanti. I pompieri intervengono per mezzo di 3 lance. I dipendenti li assistono separando e diffondendo il palo con una pala idraulica. 5 persone rimangono confinate a casa loro. Il traffico nelle vicinanze è interrotto. L'incendio è controllato intorno alle 12:00. Una sorveglianza rafforzata è stata implementata a livello di stock del PAM per identificare una possibile ripresa dell'incendio durante il fine settimana.</p> <p>La metà dell'heap PAM viene distrutta. Le acque di estinzione erano confinate.</p> <p>L'incendio si è verificato mentre il sito era chiuso. L'operatore presume che una batteria al litio potrebbe essere rotta durante lo scarico e che potrebbe essere la fonte dell'incendio. Un'altra ipotesi è quella di un pezzo in equilibrio che avrebbe generato un corto circuito cadendo. Il fuoco avrebbe bruciato tutta la notte, l'ultimo scarico era avvenuto il giorno prima alle 15 in punto.</p> <p>Il confezionamento di PAM sfusi ha contribuito alla</p> | <a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/52856/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/52856/</a> |

| ID         | Data            | Località                      | Tipologia                              | Lingua originale (Francese)   | Traduzione con Google Traduttore  | Link   |
|------------|-----------------|-------------------------------|--|---|---|--|
|            |                 |                               |  | <p><i>départ de feu. Une autre hypothèse est celle d'une pièce en équilibre qui aurait généré un court-circuit en tombant. Le feu aurait couvé toute la nuit, le dernier déchargement ayant eu lieu la veille à 15 h.</i></p> <p><i>Le conditionnement des PAM en vrac a contribué à la propagation du feu. L'exploitant demande à l'eco-organisme de collecte des DEEE de revoir le mode de conditionnement.</i></p> <p><i>Par ailleurs, il étudie la mise en place d'un système de détection thermique extérieur. Enfin, un point est fait avec les pompiers sur le retour d'expérience de l'intervention.</i></p> <p><i>Un incendie a déjà eu lieu sur ce site en 2016, mobilisant 60 pompiers en pleine nuit et détruisant 100 t de déchets (ARIA 48141).</i></p> | <p>diffusione del fuoco. L'operatore chiede all'eco-organizzazione della raccolta RAEE di rivedere il metodo di imballaggio.</p> <p>Inoltre, sta studiando l'implementazione di un sistema di rilevamento termico esterno. Infine, viene messo in rilievo con i pompieri il feedback sull'esperienza dell'intervento.</p> <p>Un incendio si è già verificato in questo sito nel 2016, mobilitando 60 vigili del fuoco nel cuore della notte e distruggendo 100 tonnellate di rifiuti (ARIA 48141).</p>   |  |
| ARIA 53158 | 29 gennaio 2019 | FRANCE - 39 - LONS-LE-SAUNIER | E38.32 - Récupération de déchets triés | <p><i>A 7h11, dans un centre de traitement de DEEE (déchets des équipements électriques et électroniques), un feu se déclare dans une cellule de stockage de PAM (petit électroménager) broyé (avant passage sur la ligne de tri optique). Le système de détection incendie se déclenche et alerte le personnel qui intervient avec un extincteur à poudre. Le personnel est évacué. Dans l'attente de l'arrivée des secours, les conducteurs d'engins sortent les déchets de la cellule et les arrosent à l'aide d'un RIA. Les pompiers, arrivés sur le suite à 7h25,</i></p>  | <p>Alle 7:11, in un centro di trattamento RAEE (rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche), è scoppiato un incendio in una cella di stoccaggio PAM (piccolo elettrodomestico) collegata a terra (prima di passare attraverso la linea di selezione ottica). Il sistema di rilevazione incendi è attivato e avvisa il personale che interviene con un estintore a polvere. Lo staff viene evacuato. In attesa dell'arrivo degli aiutanti, gli operatori delle macchine estraggono i rifiuti dalla cella e li spruzzano con un RIA. I pompieri, arrivati alle 7:25 del mattino, spengono il fuoco in 10 minuti con acqua e schiuma.</p> <p>La quantità di rifiuti interessati è stimata in 15 m<sup>3</sup>. L'acqua di spegnimento viene confinata in un</p> | <p><a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/53158/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/53158/</a></p> |


| ID         | Data              | Località               | Tipologia                              | Lingua originale (Francese)  | Traduzione con Google Traduttore  | Link   |
|------------|-------------------|------------------------|--|--|---|--|
|            |                   |                        |  | <p><i>éteignent l'incendie en 10 minutes avec de l'eau et de la mousse.</i></p> <p><i>La quantité de déchets impactée est estimée à 15 m<sup>3</sup>. Les eaux d'extinction sont confinées dans une cuve de rétention puis pompées par une entreprise spécialisée.</i></p> <p><i>Un court-circuit dû à une pile lithium-ion ayant reçu un choc serait à l'origine du sinistre.</i></p> <p><i>L'exploitant réalise une réunion avec les employés sur les procédures d'intervention et d'évacuation en cas d'incendie.</i></p> <p><i>Plusieurs incendies impliquant des piles et batteries sont déjà survenus sur le site (ARIA 52395, 52396, 52397, 52398).</i></p>   | <p>serbatoio di contenimento e quindi pompata da un'azienda specializzata.</p> <p>Un corto circuito a causa di una batteria agli ioni di litio sconvolta sarebbe la causa dell'incidente.</p> <p>L'operatore conduce un incontro con i dipendenti sulle procedure di risposta al fuoco e di evacuazione.</p> <p>Sul sito sono già avvenuti numerosi incendi con batterie (ARIA 52395, 52396, 52397, 52398).</p>   |  |
| ARIA 52946 | 28 settembre 2018 | FRANCE - 33 - MERIGNAC | E38.32 - Récupération de déchets triés | <p><i>Vers 18h45, dans un centre de tri et traitement de déchets, un feu se déclare dans une benne de 40 m<sup>3</sup> contenant 9 t de déchets des équipements électriques et électroniques (DEEE) de type petits appareils ménagers (PAM) non traités.</i></p> <p><i>L'alerte est donnée par le personnel qui observe un dégagement de fumées. Les pompiers arrosent la benne de l'extérieur puis ouvrent ses portes. Le sinistre est maîtrisé vers 22 h. Les eaux d'extinction sont confinées. La benne de 40 m<sup>3</sup> est détruite. La perte économique pour l'entreprise est estimée à 4 700 €.</i></p> <p><i>L'accident est survenu alors que le site était en activité. L'incendie serait lié à la présence de batteries au lithium qui auraient été endommagées lors de la collecte des DEEE ou du chargement de la benne, avant son arrivée sur le site de traitement.</i></p> <p><i>Plusieurs mesures de maîtrise des risques</i></p> | <p>Intorno alle 18:45, in un centro di smistamento e trattamento dei rifiuti, è scoppiato un incendio in un secchio da 40 m<sup>3</sup> contenente 9 t di rifiuti di piccole apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) non trattate. L'allerta è data dal personale che osserva un rilascio di fumo. I pompieri innaffiano il secchio dall'esterno e aprono le sue porte. Il disastro è controllato intorno alle 22 h. Le acque di estinzione sono confinate. Il secchio da 40 m<sup>3</sup> viene distrutto. La perdita economica per l'azienda è stimata in € 4.700. L'incidente è avvenuto mentre il sito era in funzione. L'incendio è legato alla presenza di batterie al litio che sono state danneggiate durante la raccolta dei RAEE o il caricamento dello skip prima che arrivasse sul sito di trattamento.</p> <p>Diverse misure di controllo del rischio esistenti hanno permesso di limitare le conseguenze dell'incidente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nessuna conservazione a lungo termine della PAM non trattata: trattamento just-in-time non appena arriva sul posto;</li> <li>• Stoccaggio della discarica in attesa di caratterizzazione in un'area di quarantena, lontano</li> </ul> | <p><a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/52946/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/52946/</a></p> |

| ID | Data | Località | Tipologia | Lingua originale (Francese)   | Traduzione con Google Traduttore  | Link |
|----|------|----------|-----------|---|---|------|
|    |      |          |           | <p><i>existantes ont permis de limiter les conséquences de l'accident :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>pas de stockage prolongé de PAM non traité : traitement en flux tendu au fur et à mesure des arrivées sur site ;</i></li> <li>• <i>entreposage de la benne en attente de caractérisation dans une zone de quarantaine, éloignée des bâtiments et cases de stockage.</i></li> </ul> <p><i>Suite à l'évènement, une formation sécurité renforcée sur le risque incendie, ainsi qu'une formation à l'identification des batteries au lithium dans les déchets entrants, sont dispensées au personnel. L'exploitant souhaite également sensibiliser ses clients fournisseurs de déchets (les sites de collecte de DEEE) sur les risques liés aux piles et accumulateurs au lithium et sur les précautions à prendre lors de leur manipulation pour éviter la dégradation des PAM.</i></p> <p><i>Le site a déjà connu des incendies en 2017 (ARIA 49520 et 49606).</i></p> | <p>da edifici e aree di deposito.<br/>A seguito dell'evento, viene fornito al personale un addestramento di sicurezza rafforzato sul rischio di incendio, nonché un addestramento sull'identificazione delle batterie al litio nei rifiuti in entrata. L'operatore desidera inoltre sensibilizzare i propri clienti dei fornitori di rifiuti (siti di raccolta RAEE) sui rischi associati alle batterie e agli accumulatori al litio e alle precauzioni da prendere durante la loro manipolazione al fine di evitare il degrado dei PAM.</p> <p>Il sito ha già subito incendi nel 2017 (ARIA 49520 e 49606).</p>   |      |




| ID            | Data                  | Località                       | Tipologia  | Lingua originale (Francese)   | Traduzione con Google Traduttore  | Link  |
|---------------|-----------------------|--------------------------------|--|---|---|---|
| ARIA<br>51459 | 25<br>gennaio<br>2018 | FRANCE - 39<br>-<br>BLETTERANS | E38.22 -<br>Traitement et<br>élimination des<br>déchets<br>dangereux | <p><i>Vers 18h20, dans un centre de tri et démantèlement de DEEE (déchets des équipements électriques et électroniques), un feu se déclare dans un fût métallique de piles boutons au lithium. En évacuant le fût à l'extérieur, un cariste percute 2 extincteurs. Le reste du personnel est évacué. Les pompiers étouffent l'incendie avec du sable stocké à proximité. L'atelier est désenfumé.</i></p> <p><i>Le lot de piles concerné avait fait l'objet d'une fiche de non-conformité à son arrivée car les piles étaient conditionnées en vrac sans blister plastique, sans vermiculite et avec de l'humidité (cartons détrempés). Or, dans cette configuration de conditionnement en vrac, l'absence de barrière entre les piles augmente le risque de court-circuit. Les piles avaient donc été reconditionnées le matin en alternant une couche de piles et une couche de 10 cm de vermiculite.</i></p> <p><i>Suite à l'accident, l'exploitant rappelle les règles de conditionnement aux clients envoyant leurs déchets. Le producteur de déchets impliqué dans l'événement informe que les piles n'étaient pas conditionnées sous blisters plastiques en raison d'une rupture de stock chez son fournisseur.</i></p> <p><i>L'exploitant dispense des formations sur le risque incendie à l'ensemble des agents en charge du tri des piles. Il décide par ailleurs d'interdire la manipulation des piles au lithium à moins d'une heure de la fermeture du site.</i></p> | <p>Intorno alle 18:20, in un centro di smistamento e smantellamento di RAEE (rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche), scoppiò un incendio in un tamburo metallico di celle a bottone al litio. Evacuando l'albero all'esterno, un conducente ha colpito 2 estintori. Il resto del personale viene evacuato. I pompieri soffocano il fuoco con la sabbia immagazzinata nelle vicinanze. Il laboratorio è stato rimosso dal fumo.</p> <p>Il lotto di batterie in questione era stato oggetto di un foglio di non conformità all'arrivo perché le batterie erano imballate alla rinfusa senza blister di plastica, senza vermiculite e con umidità (inzuppato di cartone). Tuttavia, in questa configurazione di imballaggi sfusi, la mancanza di barriera tra le batterie aumenta il rischio di corto circuito. Le batterie erano state ricondizionate al mattino alternando uno strato di batterie e uno strato di 10 cm di vermiculite.</p> <p>A seguito dell'incidente, l'operatore ricorda le regole di imballaggio ai clienti che inviano i loro rifiuti. Il produttore di rifiuti coinvolto nell'evento informa che le batterie non sono state confezionate in blister di plastica a causa di un esaurimento presso il loro fornitore.</p> <p>L'operatore fornisce addestramento sul rischio di incendio a tutti gli agenti incaricati di selezionare le batterie. Decide inoltre di vietare la gestione delle batterie al litio entro un'ora dalla chiusura del sito.</p> | <a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/51459/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/51459/</a> |

| ID            | Data             | Località                   | Tipologia                                      | Lingua originale (Francese)  | Traduzione con Google Traduttore  | Link  |
|---------------|------------------|----------------------------|--|--|---|---|
| ARIA<br>49889 | 6 maggio<br>2017 | FRANCE - 62<br>- ISBERGUES | E38.32 -<br>Recovery of<br>sorted<br>materials | <p><i>Vers 2h20, un feu se déclare sur un tas de cartes électroniques fraîchement broyées dans un centre de traitement de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE). Un opérateur de l'unité constate le départ de feu. Des employés utilisent le RIA du site pour éteindre l'incendie. Les pompiers sont prévenus et constatent l'extinction du sinistre à leur arrivée.</i></p> <p><i>Le départ du feu a été causé par la présence conjointe de matière inflammable (les fines particules de plastiques et résines contenues dans les broyats), d'air et d'une source de chaleur. Cette dernière pourrait s'expliquer par :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>l'échauffement généralisé des déchets lors de leur broyage ;</i></li> <li>• <i>un point chaud produit par le broyage d'une pile au lithium qui n'aurait pas été retirée des déchets électroniques par le fournisseur ;</i></li> <li>• <i>ou un point chaud lié à dysfonctionnement du broyeur : défaut d'entretien, graissage excessif ou défaut de fabrication.</i></li> </ul> <p><i>Suite à l'accident, l'exploitant prévoit :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>la mise en place d'une vidéosurveillance ;</i></li> <li>• <i>la mise en place d'un système d'émulsion mousse ;</i></li> <li>• <i>la mise en place d'un point d'eau dans le hall de stockage des broyats ;</i></li> <li>• <i>la réalisation d'exercices incendie.</i></li> </ul> | <p>Verso le 2h20, un incendio è scoppiato su una pila di schede elettroniche appena frantumate in un centro di trattamento dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE). Un operatore dell'unità nota l'inizio dell'incendio. I dipendenti utilizzano la RIA del sito per estinguere l'incendio. I pompieri vengono avvisati e notano l'estinzione del disastro al loro arrivo.</p> <p>L'inizio dell'incendio è stato causato dalla presenza congiunta di materiale infiammabile (le particelle sottili di plastica e resine contenute nei materiali frantumati), aria e una fonte di calore. Quest'ultimo potrebbe essere spiegato da:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• riscaldamento generale dei rifiuti durante la macinazione;</li> <li>• un punto caldo prodotto dalla macinazione di una batteria al litio che non è stata rimossa dai rifiuti elettronici dal fornitore;</li> <li>• un punto caldo correlato a malfunzionamento del mulino: guasti alla manutenzione, lubrificazione eccessiva o difetti di fabbricazione.</li> </ul> <p>A seguito dell'incidente, l'operatore prevede di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• istituire una videosorveglianza;</li> <li>• l'istituzione di un sistema di emulsione di schiuma;</li> <li>• l'installazione di un punto d'acqua nella sala di stoccaggio dei rifiuti;</li> <li>• eseguire esercitazioni antincendio.</li> </ul> | <a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/49889/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/49889/</a> |

| ID            | Data                  | Località           | Tipologia   | Lingua originale (Francese)   | Traduzione con Google Traduttore  | Link  |
|---------------|-----------------------|--------------------|---|---|---|---|
| ARIA<br>50605 | 27<br>ottobre<br>2017 | Sarthe -<br>France | E38.11 -<br>Collection of<br>non-hazardous<br>waste | <p><i>Un feu se déclare dans un centre de tri et de compostage des déchets de 2 000 m<sup>2</sup>. Vers 7h10, un opérateur sent une odeur de brûlé en pénétrant dans le bâtiment process pour réaliser les contrôles avant démarrage de l'installation. Il aperçoit des flammes au niveau du convoyeur d'affinage à 6 m de hauteur. Le personnel est évacué. Les pompiers combattent différents départs de feu toute la journée, notamment sur la partie bio-filtre. Une fumée importante se dégage. Les secours restent sur place jusqu'à 13 h le 28/10. Ils reviennent le lendemain à la suite d'un nouveau départ de feu. Les fumées dues à la combustion lente des déchets persistent longtemps après extinction.</i></p> <p><i>Les eaux d'extinction, confinées sur le site, rejoignent la première lagune. Une entreprise spécialisée la vide pour éviter son débordement. Un rejet noirâtre et odorant est constaté dans le fossé reliant les 2 lagunes au bassin tampon. Ce rejet provient d'un défaut de l'obturateur gonflable censé boucher une canalisation reliant la lagune au bassin tampon. La fuite est maîtrisée. Le personnel pompe les eaux polluées du bassin tampon pour traitement ultérieur. La 2ème lagune est également vidée.</i></p> <p><i>Le bâtiment est détruit ainsi que le bio-filtre et les ventilateurs de la désodorisation. Les équipements, les convoyeurs et les armoires électriques ont brûlé. Le tri mécano-biologique est hors-service. Le tube de pré-fermentation doit être vidé des déchets en cours de traitement, 475 t de compost sont détruites ; 3 employés sont en chômage technique.</i></p> |  <p>Un incendio è scoppiato in un centro di smistamento e compostaggio di 2.000 m<sup>2</sup> di rifiuti. Intorno alle 7:10, un operatore sente un odore di bruciato entrando nel processo di costruzione per eseguire i controlli prima di iniziare l'installazione. Vede fiamme sul nastro trasportatore a maturazione a 6 m di altezza. Lo staff viene evacuato. I vigili del fuoco combattono diversi incendi inizia tutto il giorno, soprattutto nella parte del bio-filtro. Emerge un fumo significativo. Gli aiutanti rimangono sul posto fino alle 13:00 del 28/10. Tornano il giorno successivo a seguito di un nuovo incendio. I fumi dovuti alla lenta combustione dei rifiuti persistono a lungo dopo l'estinzione.</p> <p>Le acque di estinzione, confinate nel sito, si uniscono alla prima laguna. Un'azienda specializzata la svuota per evitare il suo trabocco. Uno scarico nerastro e odoroso si trova nel fossato che collega le 2 lagune allo stagno cuscinetto. Questo rifiuto deriva da un difetto dell'otturatore gonfiabile che dovrebbe bloccare una tubazione che collega la laguna al pool di buffer. La perdita è sotto controllo. Il personale pompa l'acqua inquinata dallo stagno di accumulo per ulteriori elaborazioni. Anche la seconda laguna si svuota.</p> <p>L'edificio è distrutto così come il biofiltro e gli appassionati di deodorizzazione. Attrezzature, nastri trasportatori e quadri elettrici bruciati.</p> | <a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/50605/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/50605/</a> |

| ID | Data | Località | Tipologia | Lingua originale (Francese)  | Traduzione con Google Traduttore  | Link |
|----|------|----------|-----------|--|---|------|
|    |      |          |           | <p><i>L'incendie est parti d'une cellule de refus de tri métallique, au sol, sous le convoyeur. Au regard des masses de métaux fusionnés retrouvées à cet endroit, la température a pu monter au-dessus de 1 200 °C. La cause n'est pas identifiée, les experts avancent l'hypothèse d'une possible montée en température de piles au lithium.</i></p> <p><i>Dans l'urgence, les bennes de collecte sont détournées sur l'incinérateur du Mans, mais ce mode de fonctionnement ne peut perdurer. Les jours suivants, l'usine reçoit les ordures ménagères sur son site avant de les envoyer pour incinération au Mans. Pour éviter de stocker ces déchets sur l'aire de manœuvre des camions bennes, les installations de réception sont modifiées (2 fosses sous abri et fermées). Les convoyeurs sont modifiés pour alimenter la zone de chargement des camions et non plus le tube de pré-fermentation.</i></p> <p><i>Un arrêté est pris par le Préfet, demandant notamment à l'entreprise de mettre son site en sécurité (interdiction d'accès à la partie sinistrée, surveillance du site) ;</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>démolir les structures fragilisées ;</i></li> <li>• <i>évacuer les déchets vers des installations autorisées ;</i></li> <li>• <i>évaluer l'impact environnemental du sinistre ;</i></li> <li>• <i>revoir la gestion des eaux (lagune isolée du fossé, procédure</i></li> </ul> | <p>L'ordinamento meccanico-biologico è fuori servizio. Il tubo di pre-fermentazione deve essere svuotato dei rifiuti trattati, vengono distrutti 475 t di compost; 3 dipendenti sono disoccupati.</p> <p>Il fuoco è iniziato da una cella di rifiuto di smistamento dei metalli, a terra, sotto il nastro trasportatore. Per quanto riguarda le masse di metalli fusi che si trovano in questa posizione, la temperatura avrebbe potuto superare i 1200 ° C. La causa non viene identificata, gli esperti avanzano l'ipotesi di un possibile aumento della temperatura delle batterie al litio.</p> <p>In caso di emergenza, i contenitori di raccolta vengono deviati sull'inceneritore di Le Mans, ma questa modalità operativa non può continuare. I giorni seguenti, la pianta riceve immondizia sul suo sito prima di inviarla per l'incenerimento a Le Mans. Al fine di evitare di conservare questi rifiuti sulla corsia di ribaltamento, le strutture di accoglienza vengono modificate (2 fosse riparate e chiuse). I trasportatori vengono modificati per alimentare l'area di carico dei camion e non più il tubo di pre-fermentazione.</p> <p>Un ordine viene effettuato dal Prefetto, chiedendo alla società di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• proteggere il sito (divieto di accesso alla parte interessata, monitoraggio del sito);</li> <li>• demolire strutture indebolite;</li> <li>• evacuare i rifiuti verso strutture autorizzate;</li> <li>• valutare l'impatto ambientale dell'incidente;</li> <li>• rivedere la gestione delle acque (laguna isolata del fossato, procedura di monitoraggio del livello e intervento in caso di tracimazione ...).</li> </ul> <p><i>La società gestisce un impianto di selezione meccanico-biologico. I rifiuti vengono posti in un tubo di pre-fermentazione e rimangono lì per 4 giorni. Dopo lo smistamento e la stiratura, trascorrono 3 settimane in tunnel di fermentazione e poi 5 settimane in vassoi di maturazione. Il compost viene quindi raffinato e conservato (fino a 2.000 t) in</i></p> |      |

| ID         | Data           | Località          | Tipologia   | Lingua originale (Francese)   | Traduzione con Google Traduttore   | Link   |
|------------|----------------|-------------------|---|---|--|--|
|            |                |                   |   | <p><i>de surveillance des niveaux et d'intervention en cas de débordement...).</i></p> <p><i>La société exploite une usine de tri mécano-biologique. Les déchets sont placés dans un tube de pré-fermentation et y séjournent 4 jours. Après tri et déferrailage, ils séjournent 3 semaines dans des tunnels de fermentation, puis 5 semaines dans les casiers de maturation. Le compost est ensuite affiné et stocké (jusqu'à 2 000 t) en andains de 3 m de hauteur sur une dalle bituminée à l'extérieur de l'usine.</i></p>  | <p><i>andane alte 3 m su una lastra bituminosa all'esterno della pianta.</i></p>   |  |
| ARIA 38858 | 26 agosto 2010 | FRANCE - - DIEUZE | C24.1 - Manufacture of basic iron and steel and of ferro-alloys | <p><i>Un feu se déclare vers 1 h dans une alvéole du bâtiment de stockage et de tri d'un centre de recyclage de piles et d'accumulateurs alcalins et salins, l'alvéole où démarre l'incendie contient 20 t de piles au lithium usagés. Le dispositif d'extinction automatique par poudre du bâtiment se déclenche, mais ne peut contenir l'incendie qui se propage, en moins de 30 s selon un opérateur, aux autres cellules stockant d'autres types de piles (plomb, mercure, nickel-cadmium) et divers sous produit (ferrailles, hydroxyde de nickel). Deux employés sur place alertés par les flammes et des crépitements donnent l'alerte. A 2h45, les pompiers sont en action avec de gros moyens : 6 lances à eaux, 3 lances canons, 60 sapeurs issus de 9 centres de secours. Équipés d'appareils respiratoires isolants (ARI), ils protègent en priorité les stockages de gaz et le bâtiment principal avec des rideaux d'eau. Des contrôles de toxicité des fumées sont mis en place dans le village voisin sous le vent (SOx, HCl et H2SO4) et 14 employés de 2 entreprises proches sont évacués puis</i></p> |  <p>Un incendio è scoppiato intorno all'una di notte in una cella nel centro di smistamento e smistamento di un centro di riciclaggio per batterie alcaline e al sale e accumulatori, la cella in cui è iniziato l'incendio contiene 20 tonnellate di batterie al litio usate. Il sistema automatico di estinzione incendi dell'edificio, ma non può contenere l'incendio che si diffonde, in meno di 30 secondi, secondo un operatore, ad altre celle che immagazzinano altri tipi di batterie (piombo, mercurio, nichel, ecc.). cadmio) e vari sottoprodotti (rottami, idrossido di nichel). Due impiegati sul posto allertati dalle fiamme e dai scoppiettanti avvertono. Alle 2:45, i vigili del fuoco</p> | <p><a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/38858/t">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/38858/t</a></p> |

| ID | Data | Località | Tipologia | Lingua originale (Francese)  | Traduzione con Google Traduttore   | Link |
|----|------|----------|-----------|--|--|------|
|    |      |          |           | <p><i>examinés en raison des fumées toxiques émises (nuage d'acide sulfurique et hydroxyde de lithium). Le bâtiment de 1 000 m<sup>2</sup> est détruit et des projections de piles sont observées dans le bâtiment en feu et jusqu'à 200 m du lieu du sinistre. L'incendie est maîtrisé après 4 h d'intervention. Il n'y a pas de victime mais les dommages matériels sont importants. Le bassin de confinement du site recueille 2 000 m<sup>3</sup> d'eaux d'extinction, mais en cours d'intervention, les pompiers ferment les vannes d'isolement de ce dernier restées ouvertes en raison de travaux programmés. Une pollution potentielle du cours d'eau voisin (le SPIN) et de la station d'épuration urbaine de DIEUZE est suspectée, bien que les premières analyses faites lors du sinistre ne montrent pas d'impact significatif. L'inspection demande à l'exploitant de mettre en place une surveillance du milieu (air, eaux de surface, sol) et constate que les dispositions relatives au confinement des eaux d'extinction et à la disposition des stockages n'ont pas été respectées. L'impact de l'incendie ne se révélera pas significatif au regard du passé industriel du site. Le scénario d'effets missiles dus à l'incendie du stockage de pile au lithium n'est pas envisagé dans l'étude de dangers remise par l'exploitant en 2006. Les eaux d'extinction sont pompées et éliminées comme déchets dangereux (présence de métaux lourds, phénols et PCB) 4 jours après l'accident, les produits solides calcinés valorisables (piles) sont traités sur site par hydrométallurgie et les débris non valorisables sont éliminés dans un centre agréé.</i></p> | <p>sono in azione con mezzi di grandi dimensioni: 6 lance d'acqua, 3 lance di cannone, 60 proiettili da 9 centri di soccorso. Dotati di ARI, proteggono principalmente lo stoccaggio di gas e l'edificio principale con barriera d'acqua. I controlli di tossicità del fumo sono istituiti nel vicino paese sottovento (SOx, HCl e H2SO4) e 14 dipendenti di 2 aziende vicine vengono evacuati ed esaminati a causa dei fumi tossici emessi (nuvola di acido solforico e idrossido). litio). L'edificio di 1.000 m<sup>2</sup> viene distrutto e si osservano proiezioni di pile nell'edificio in fiamme e fino a 200 m dal luogo dell'incidente. Il fuoco viene controllato dopo 4 ore di intervento. Non ci sono vittime ma il danno materiale è importante. Lo stagno di contenimento del sito raccoglie 2.000 m<sup>3</sup> di acqua estinguente, ma durante i vigili del fuoco i vigili del fuoco chiudono le valvole di isolamento rimaste aperte a causa di lavori programmati. Si sospetta il potenziale inquinamento del vicino corso d'acqua (SPIN) e dell'impianto di depurazione urbano di DIEUZE, sebbene le analisi iniziali effettuate durante l'incidente non mostrino alcun impatto significativo. L'ispezione chiede all'operatore di istituire un monitoraggio dell'ambiente (aria, acque superficiali, suolo) e rileva che le disposizioni relative al contenimento delle acque di estinzione e allo smaltimento delle strutture di stoccaggio non sono state rispettate. . L'impatto dell'incendio non sarà significativo alla luce del passato industriale del sito. Lo scenario degli effetti missilistici dovuti all'incendio dell'accumulatore al litio non è considerato nello studio dei pericoli presentato dall'operatore nel 2006. L'estinzione dell'acqua viene pompata e smaltita come rifiuto pericoloso (presenza metalli pesanti, fenoli e PCB) 4 giorni dopo l'incidente, i solidi calcinati recuperabili (batterie) vengono trattati in loco mediante idrometallurgia e i detriti non recuperabili vengono smaltiti in un centro approvato.</p> |      |


| ID            | Data                  | Località      | Tipologia  | Lingua originale (Francese)   | Traduzione con Google Traduttore  | Link   |
|---------------|-----------------------|---------------|--|---|---|--|
| ARIA<br>51459 | 25<br>gennaio<br>2018 | Jura - France | E38.22 -<br>Treatment and<br>disposal of<br>hazardous<br>waste | <p><i>Vers 18h20, dans un centre de tri et démantèlement de DEEE (déchets des équipements électriques et électroniques), un feu se déclare dans un fût métallique de piles boutons au lithium. En évacuant le fût à l'extérieur, un cariste percute 2 extincteurs. Le reste du personnel est évacué. Les pompiers étouffent l'incendie avec du sable stocké à proximité. L'atelier est désenfumé.</i></p> <p><i>Le lot de piles concerné avait fait l'objet d'une fiche de non-conformité à son arrivée car les piles étaient conditionnées en vrac sans blister plastique, sans vermiculite et avec de l'humidité (cartons détrempés). Or, dans cette configuration de conditionnement en vrac, l'absence de barrière entre les piles augmente le risque de court-circuit. Les piles avaient donc été reconditionnées le matin en alternant une couche de piles et une couche de 10 cm de vermiculite.</i></p> <p><i>Suite à l'accident, l'exploitant rappelle les règles de conditionnement aux clients envoyant leurs déchets. Le producteur de déchets impliqué dans l'événement informe que les piles n'étaient pas conditionnées sous blisters plastiques en raison d'une rupture de stock chez son fournisseur.</i></p> <p><i>L'exploitant dispense des formations sur le risque incendie à l'ensemble des agents en charge du tri des piles. Il décide par ailleurs d'interdire la manipulation des piles au lithium à moins d'une heure de la fermeture du site.</i></p> | <p>Intorno alle 18:20, in un centro di smistamento e smantellamento di RAEE (rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche), scoppiò un incendio in un tamburo metallico di celle a bottone al litio. Evacuando l'albero all'esterno, un conducente ha colpito 2 estintori. Il resto del personale viene evacuato. I pompieri soffocano il fuoco con la sabbia immagazzinata nelle vicinanze. Il laboratorio è stato rimosso dal fumo.</p> <p>Il lotto di batterie in questione era stato oggetto di un foglio di non conformità all'arrivo perché le batterie erano imballate alla rinfusa senza blister di plastica, senza vermiculite e con umidità (inzuppato di cartone). Tuttavia, in questa configurazione di imballaggi sfusi, la mancanza di barriera tra le batterie aumenta il rischio di corto circuito. Le batterie erano state ricondizionate al mattino alternando uno strato di batterie e uno strato di 10 cm di vermiculite.</p> <p>A seguito dell'incidente, l'operatore ricorda le regole di imballaggio ai clienti che inviano i loro rifiuti. Il produttore di rifiuti coinvolto nell'evento informa che le batterie non sono state confezionate in blister di plastica a causa di un esaurimento presso il loro fornitore.</p> <p>L'operatore fornisce addestramento sul rischio di incendio a tutti gli agenti incaricati di selezionare le batterie. Decide inoltre di vietare la gestione delle batterie al litio entro un'ora dalla chiusura del sito.</p> | <p><a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/51459/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/51459/</a></p> |

| ID            | Data              | Località                             | Tipologia           | Lingua originale (Francese)  | Traduzione con Google Traduttore   | Link  |
|---------------|-------------------|--------------------------------------|---------------------|--|--|---|
| ARIA<br>46675 | 23 maggio<br>2015 | E38.31 -<br>Dismantling<br>of wrecks | Gironde -<br>France | <p><i>Vers 1h45, dans une société de récupération de déchets d'équipements électriques et électroniques, 9 fûts de piles au lithium primaire (principalement du chlorure de thionyle) provoquent une explosion. En réagissant, certaines piles au lithium sont projetées à plusieurs mètres et entraînent l'inflammation de piles clôture "PS" en plastique stockées sur des palettes à proximité.</i></p> <p><i>Des voisins situés à 500 m du site, ayant entendu l'explosion, alertent les pompiers. Ces derniers arrosent les fûts de piles au lithium primaire, après les avoir étalés, ainsi que les piles clôture PS. L'intervention se termine à 6h30.</i></p> <p><i>Une tonne de piles au lithium primaire au chlorure de thionyle a réagi. Le contenu des 9 fûts est vidé dans des fûts neufs, qui sont stockés sur site avant expédition vers une installation de traitement adaptée. Les fûts détruits sont mis à la benne ferraille.</i></p> <p><i>L'incendie endommage les portes coupe-feu et le système d'éclairage du bunker devant lequel étaient stockées les piles au lithium.</i></p> <p><i>En raison d'une incompréhension entre l'exploitant et les pompiers concernant la fermeture de la vanne de confinement du réseau incendie, celle-ci n'est fermée qu'à 6 h, lors de l'arrivée du responsable maintenance. Pendant 4 h, des eaux d'extinction contaminées par les piles au lithium se sont déversées dans le réseau des eaux usées de la zone d'activité. Après la fermeture de la vanne, 3 t d'eaux d'extinction sont retenues puis pompées et envoyées vers un centre de traitement autorisé. Ces eaux font l'objet d'un prélèvement pour analyser leur</i></p> | <p>Verso l'1: 45, in un'azienda che raccoglie rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, 9 tamburi di batterie al litio primarie (principalmente cloruro di tionile) provocano un'esplosione. Reagendo, alcune batterie al litio vengono proiettate a diversi metri di distanza e portano all'accensione di batterie "PS" di plastica immagazzinate su pallet vicini.</p> <p>I vicini situati a 500 m dal sito, dopo aver sentito l'esplosione, avvisano i vigili del fuoco. Innaffiano i barili delle batterie al litio primarie, dopo averle sparse, così come le batterie del recinto PS. L'intervento termina alle 6:30.</p> <p>Una tonnellata di batterie al litio cloruro di litio primario ha reagito. Il contenuto dei 9 tamburi viene svuotato in nuovi tamburi, che vengono archiviati sul posto prima della spedizione in una struttura di trattamento adeguata. Le botti distrutte vengono raschiate.</p> <p>L'incendio ha danneggiato le porte tagliafuoco e il sistema di illuminazione del bunker davanti al quale erano conservate le batterie al litio.</p> <p>A causa di un malinteso tra l'operatore e i vigili del fuoco in merito alla chiusura della valvola di contenimento della rete antincendio, non arriva fino alle 6 del mattino quando arriva il responsabile della manutenzione. Per 4 ore, l'acqua di estinzione contaminata dal litio è stata scaricata nella rete delle acque reflue dell'area di attività. Dopo aver chiuso la valvola, 3 t di acqua di estinzione vengono trattenute e pompate e inviate a un centro di trattamento autorizzato. Queste acque vengono campionate per analizzarne la composizione. Il gestore della rete delle acque reflue e l'impianto di trattamento delle acque reflue sono informati dell'invio di acqua inquinata ai loro impianti.</p> | <a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/46675/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/46675/</a> |



| ID | Data | Località | Tipologia | Lingua originale (Francese)   | Traduzione con Google Traduttore   | Link |
|----|------|----------|-----------|---|--|------|
|    |      |          |           | <p><i>composition. Le gestionnaire du réseau d'eaux usées et de la station d'épuration sont informés de l'envoi des eaux polluées dans leurs installations.</i></p> <p><i>Une société spécialisée intervient pour curer les canalisations et le séparateur d'hydrocarbures.</i></p> <p><i>Le site assure le tri manuel de différents types de piles (alcalines, salines et au lithium) reçues de la part d'éco-organismes. Les piles alcalines et salines sont broyées sur site tandis que les piles au lithium primaire sont stockées dans des fûts avec de la vermiculite dans l'attente de leur expédition vers des installations de traitement. Les piles au lithium primaire sont normalement stockées à l'abri dans 2 bunkers (4 t chacun). Le jour de l'accident, les bunkers étaient pleins et des fûts étaient stockés devant les portes d'accès. L'exploitant avait, sans succès, fait des demandes répétées auprès des éco-organismes pour qu'ils viennent évacuer les stocks de piles vers les exutoires agréés.</i></p> <p><i>Ce sont les fûts stockés à l'extérieur qui ont réagi, pour une raison inconnue. Aucun changement de températures ou autre facteur météorologique particulier n'est survenu avant l'événement.</i></p> <p><i>L'incendie s'est déclaré en dehors des horaires d'ouverture du site (fermé depuis 21 h la veille). La télésurveillance ne couvrait que la détection feu à l'intérieur des bâtiments et la détection anti-intrusion.</i></p> <p><i>A la suite de l'accident, l'exploitant prend les mesures suivantes :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>• mise en place d'une procédure pour évacuer rapidement les fûts présents dans les bunkers dès</i></li> </ul> | <p>Un'azienda specializzata interviene per pulire i tubi e il separatore d'olio.</p> <p>Il sito fornisce l'ordinamento manuale di diversi tipi di batterie (alcaline, salate e al litio) ricevute da eco-organismi. Le batterie alcaline e al sale vengono macinate sul posto mentre le batterie al litio primarie vengono conservate in fusti con vermiculite in attesa di essere spedite agli impianti di trattamento. Le batterie al litio primarie sono normalmente conservate al coperto in 2 bunker (4 t ciascuno). Il giorno dell'incidente, i bunker erano pieni e i tamburi venivano sistemati davanti alle porte di accesso. L'operatore aveva fatto ripetutamente richieste ripetute agli eco-organismi per rimuovere le scorte di batterie verso gli scarichi approvati.</p> <p>Questi sono i tamburi immagazzinati all'esterno che hanno reagito, per qualche ragione sconosciuta. Prima dell'evento non si sono verificati cambiamenti di temperatura o altri fattori meteorologici particolari.</p> <p>L'incendio è scoppiato al di fuori degli orari di apertura del sito (chiuso dalle 21:00 del giorno prima). Il monitoraggio remoto riguardava solo il rilevamento di incendi all'interno degli edifici e il rilevamento anti-intrusione.</p> <p>A seguito dell'incidente, l'operatore adotta le seguenti misure:</p> <p>istituire una procedura per evacuare rapidamente i fusti del bunker non appena lo stock raggiunge l'80% della quantità massima autorizzata</p> <p>studio per l'istituzione di sistemi di rilevazione incendi, estinzione incendi, estrazione fumi e un sistema antideflagrante per limitare gli effetti di un'esplosione nei bunker</p> <p>Miglioramento della rilevazione incendi nelle zone a</p> |      |

| ID | Data | Località | Tipologia | Lingua originale (Francese)   | Traduzione con Google Traduttore  | Link |
|----|------|----------|-----------|---|---|------|
|    |      |          |           | <p><i>que le stock atteint 80 % de la quantité maximale autorisée</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>étude pour la mise en place d'une détection incendie, d'une extinction automatique incendie, d'une extraction des fumées et d'un système anti-déflagrant pour limiter les effets d'une explosion dans les bunkers</i></li> <li>• <i>amélioration de la détection incendie sur les zones à risque et report de cette détection vers la société de télésurveillance afin que tout incendie ou début d'incendie puisse être détecté rapidement</i></li> <li>• <i>réalisation d'un retour d'expérience des modes de stockage actuellement réalisés pour le lithium primaire en France et en Europe et analyse de la possibilité d'un moyen de stockage alternatif sur son propre site</i></li> <li>• <i>réalisation d'une information au secours sur le fonctionnement de la vanne de confinement du réseau incendie.</i></li> <li>• <i>modification de la procédure de fermeture de la vanne pour la rendre compréhensible par tout intervenant et en toutes circonstances</i></li> <li>• <i>mise en place un plan ETARE avec les pompiers.</i></li> </ul> | <p>rischio e trasferimento di tale rilevazione verso la compagnia di sorveglianza remota in modo tale da poter rilevare rapidamente qualsiasi incendio o inizio di incendio</p> <p>realizzazione di un riscontro dei metodi di stoccaggio attualmente realizzati per litio primario in Francia e in Europa e analisi della possibilità di uno stoccaggio alternativo sul proprio sito</p> <p>esecuzione di informazioni di emergenza sul funzionamento della valvola di contenimento della rete antincendio.</p> <p>modifica della procedura di chiusura della valvola per renderla comprensibile da qualsiasi interveniente e in ogni circostanza</p> <p>predispone un piano ETARE con i vigili del fuoco.</p> |      |

| ID            | Data             | Località        | Tipologia  | Lingua originale (Francese)   | Traduzione con Google Traduttore   | Link  |
|---------------|------------------|-----------------|--|---|--|---|
| ARIA<br>33986 | 2 luglio<br>2017 | PRESTON<br>(UK) | E38.22 -<br>Treatment and<br>disposal of<br>hazardous<br>waste | <p><i>Dans un site de gestion de déchets, un violent incendie se déclare peu après 6 h sur une aire ouverte utilisée pour stocker des fûts de produits chimiques et solvants usagés. Les pompiers signalent des explosions de fûts avec projections dans et à l'extérieur du site. Pour permettre les opérations d'extinction et en raison de craintes de changement de direction du vent, les services d'urgence bloquent la zone industrielle et des portions des autoroutes M6 et M55 proches pendant 6 h. Le feu est éteint dans l'après-midi ; plus de 132.000 litres de produits chimiques ont brûlé.</i></p> <p><i>Le départ de feu est attribué à des inflammations spontanées de batteries au lithium. Ces batteries étaient stockées dans des containers accueillant normalement des déchets cliniques, non étanches à l'eau et inappropriés au stockage de batteries lithium usagées. Le stockage des batteries était réalisé à proximité de diverses matières incompatibles et sans application de règles de ségrégation appropriées (liquides inflammables, produits toxiques, produits corrosifs).</i></p> <p><i>La société est condamnée à une amende 189 keuros pour violations des textes sur la santé et la sécurité : stockage inadéquat de produits chimiques dangereux et formation du personnel insuffisante.</i></p> |  <p>In un sito di gestione dei rifiuti, poco dopo le 6 del mattino scoppia un violento incendio in un'area aperta utilizzata per immagazzinare fusti di prodotti chimici e solventi usati. I pompieri segnalano esplosioni di barili con proiezioni dentro e fuori il sito. Per consentire le operazioni di estinzione e a causa dei timori di un cambio di direzione del vento, i servizi di emergenza bloccano la zona industriale e parti delle autostrade M6 e M55 chiudono per 6 ore. Il fuoco si spegne nel pomeriggio; oltre 132.000 litri di sostanze chimiche bruciate.</p> <p>L'inizio del fuoco è attribuito all'accensione spontanea delle batterie al litio. Queste batterie sono state immagazzinate in contenitori normalmente contenenti rifiuti clinici, non impermeabili e non idonei allo stoccaggio di batterie al litio usate. Lo stoccaggio della batteria è stato effettuato vicino a vari materiali incompatibili e senza l'applicazione di adeguate regole di segregazione (liquidi infiammabili, prodotti tossici, prodotti corrosivi).</p> <p>La società è multata di 189 keuros per violazione dei testi in materia di salute e sicurezza: conservazione inadeguata di sostanze chimiche pericolose e formazione insufficiente del personale.</p> | <a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/33986/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/33986/</a> |

| ID            | Data              | Località                     | Tipologia   | Lingua originale (Francese)  | Traduzione con Google Traduttore   | Link  |
|---------------|-------------------|------------------------------|---|--|--|---|
| ARIA<br>32208 | 14 maggio<br>2006 | Haute<br>Garonne -<br>France | C29.31 -<br>Manufacture of<br>electrical and<br>electronic<br>equipment for<br>motor vehicles | <p><i>Dans une usine de fabrication de matériels électriques pour véhicules, un feu se déclare à 4 h dans l'alvéole de stockage des piles et batteries au niveau d'un conteneur stockant un mélange non trié de piles au lithium rebutées et de piles alcalines. Le lieu de stockage des déchets comporte des compartiments dans lesquels sont stockés des produits de natures différentes. Le non-cloisonnement des alvéoles permet la propagation de l'incendie qui embrase le centre de stockage de déchets. Les matières inflammables (solvants) et les combustibles (palettes) situés à proximité sont atteints par les flammes. Alertés par le personnel de sécurité de l'usine, les pompiers maîtrisent le sinistre. Les réseaux d'eaux pluviales sont obturés pour isoler les eaux d'extinction. Cet incendie est le 3ème sinistre en 5 semaines, ayant nécessité l'intervention des pompiers.</i></p> <p><i>Le stockage de piles au lithium serait à l'origine d'un échauffement puis d'un emballement thermique. Les piles bouton (lithium) rebutées de la fabrication sont munies de languettes métalliques soudées respectivement à leur pôle positif et négatif. Un très léger choc suffit à déformer ces languettes et à les mettre en contact. La pile au lithium se retrouve alors en court-circuit. Auto-protégées contre les court-circuits, la pile n'est pas à l'abri d'une défaillance de son système d'auto-protection induisant un accroissement rapide de sa température. Cette défaillance peut être à l'origine de l'apparition d'une étincelle d'énergie suffisante pour enflammer une micro atmosphère composée d'hydrogène provenant de l'oxydation des différentes</i></p> | <p>In una fabbrica per la fabbricazione di apparecchiature elettriche per veicoli, alle 4 in punto nella cella viene dichiarato un incendio per conservare le batterie in un contenitore che contiene una miscela non differenziata di batterie al litio scartate e batterie alcaline. Il luogo di stoccaggio dei rifiuti comprende scomparti in cui sono immagazzinati prodotti di diversa natura. Il non-partizionamento delle celle consente la propagazione dell'incendio che accende il centro di stoccaggio dei rifiuti. I materiali infiammabili (solventi) e i carburanti vicini (pallet) sono influenzati dalle fiamme. Avvisati dal personale di sicurezza della fabbrica, i vigili del fuoco dominano l'incidente. Le reti di acqua piovana sono sigillate per isolare l'acqua di spegnimento. Questo incendio è il terzo disastro in 5 settimane, che richiede l'intervento dei vigili del fuoco.</p> <p>La conservazione delle batterie al litio causerebbe un riscaldamento e quindi una fuga termica. Le pile a bottone (litio) scartate dalla produzione sono dotate di linguette metalliche rispettivamente saldate al loro polo positivo e negativo. Basta una leggera scossa per deformare queste linguette e metterle in contatto. La batteria al litio è quindi in corto circuito. Autoprotetta contro i cortocircuiti, la batteria non è immune da un guasto del suo sistema di autoprotezione che induce un rapido aumento della temperatura. Questo guasto può essere la causa della comparsa di una scintilla di energia sufficiente per innescare una micro atmosfera composta da idrogeno dall'ossidazione delle diverse batterie o dalla perdita della batteria del veicolo immagazzinata verticalmente a pochi centimetri batterie. Un incidente simile con una batteria al litio si è verificato in una stazione di assemblaggio di impianti pochi mesi prima. La batteria era scarica in un piccolo cestino con alcune dozzine di altre batterie. Scoppiando, la pila si alzò fino al soffitto della pianta. L'operatore impartisce istruzioni interne di emergenza per lo smistamento e la conservazione</p> | <a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/32208/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/32208/</a> |

| ID | Data | Località | Tipologia | Lingua originale (Francese)  | Traduzione con Google Traduttore  | Link |
|----|------|----------|-----------|--|---|------|
|    |      |          |           | <p><i>piles ou de la fuite de batterie de véhicule entreposées verticalement à quelques centimètres des piles. Un incident similaire avec une pile au lithium s'est produit sur un poste d'assemblage de l'usine quelques mois auparavant. La pile se trouvait en vrac dans un petit bac avec quelques dizaines d'autres piles. En éclatant, la pile s'est projeté jusqu'au plafond de l'usine. L'exploitant diffuse en interne des consignes d'urgence concernant le tri et le stockage des piles usagées. A moyen terme, il s'engage à respecter la réglementation concernant les distances de sécurité, à construire des parois coupe feu autour du stockage de palettes, à déplacer la zone charge de batterie à l'entrée de la déchetterie, à isoler la zone de stockage des piles dans une construction fermée coupe feu en parois, à installer des dispositifs de détection et d'extinction manuelle et automatique d'incendie.</i></p> | <p>delle batterie usate. A medio termine, si impegna a rispettare le norme relative alle distanze di sicurezza, a costruire pareti tagliafuoco attorno allo stoccaggio dei pallet, a spostare la zona di carica della batteria all'ingresso della discarica, a isolare la zona da immagazzinamento di batterie in una costruzione di pareti antincendio a parete chiusa, installazione di dispositivi antincendio manuali e automatici e dispositivi di estinzione.</p> |      |

## 2.6.2 Svizzera tedesca

Tabella 8. Svizzera

| ID | Data            | Località | Tipologia                      | Lingua originale (Tedesco)   | Traduzione con Google Traduttore  | Link  |
|----|-----------------|----------|--------------------------------|--|---|---|
| 1  | 20 ottobre 2014 | CH       | Trasporto alla rinfusa di RAEE | <p>Batterien entzünden Elektroschrott: Container in Flammen</p> <p>Heute Morgen gegen 07:30 Uhr gab es Alarm für die Dienstgruppe B der Feuerwehr Bad Hersfeld, Alarmstichwort: „brennt Elektroschrott in einem Container bei der Firma Fehr am Ententeich“. Nach Ankunft der ersten Einsatzkräfte und Erkundung auf dem Hof der Entsorgungsfirma Fehr wurde der kokelende Elektroschrott mit Schaum abgedeckt. Danach nahm ein Wechsellader den Container an den Haken und kippte den Schrott auf den Hof, den dann ein Radlader auseinanderzog. Erst dann konnte der qualmende Haufen komplett abgelöscht werden.</p> <p>Kurios bei diesem Einsatz war, dass in dem Schrotthaufen sich auch entsorgte Rauchmelder befanden, die noch eine ganze Weile um die Wette piepten, bis der Löschschaum ihnen endgültig den Garaus machte und das Piepsen aufhörte.</p> <p>Batterien richtig entsorgen</p> <p>Wie der Betriebsleiter der Firma Fehr, Achim Wolfert an der Einsatzstelle auf Nachfrage von OSTHESSEN NEWS über die Entstehung des Brandes sagte, sind dafür vermutlich Lithium-Batterien verantwortlich, die normalerweise im Elektroschrott nichts zu suchen hätten. Diese Batterien oder auch Akkus können, wenn noch nicht vollständig entleert, durch Entladevorgänge Funken bilden und</p> | <p>Accendere le batterie Rifiuti elettronici: contenitore in fiamme</p> <p>Stamattina alle 07:30 c'era un allarme per il gruppo di servizio B dei vigili del fuoco Bad Hersfeld, parola d'allarme: "brucia rifiuti elettronici in un contenitore della compagnia Fehr sullo stagno delle anatre". Dopo l'arrivo delle prime task force e l'esplorazione nel cantiere della società di smaltimento Fehr, i rifiuti elettronici da coke sono stati ricoperti di schiuma. Successivamente, un caricatore rimovibile ha agganciato il contenitore al gancio e ha scaricato i rottami nel cortile, che è stato poi separato da un caricatore a ruote. Solo allora la pila fumante poteva essere completamente estinta.</p> <p>Curioso in questa missione era che nel mucchio di scarti anche i rilevatori di fumo erano stati fatti esplodere a lungo nella scommessa fino a quando la schiuma li ha estinti e il segnale acustico si è fermato.</p> <p>Smaltire le batterie correttamente</p> <p>In qualità di direttore delle operazioni della società Fehr, Achim Wolfert ha dichiarato sul sito su richiesta di OSTHESSEN   NEWS sull'origine dell'incendio, è probabilmente responsabile delle batterie al litio che normalmente dovrebbero cercare nei rifiuti elettronici. Queste batterie o anche batterie ricaricabili, se non completamente scariche, possono esplodere scaricandosi e quindi provocare un incendio. Fondamentalmente, le batterie scariche o ricaricabili devono essere smaltite in punti di raccolta separati. In questo contesto, Achim Wolfert ha posto l'accento su un'affermazione, "batterie scariche e batterie ricaricabili non appartengono ai rifiuti domestici".</p> | <p><a href="https://osthessen-news.de/n11495522/batterienentz%c3%bcndenelektroschrott%20container%20inflammen.html">https://osthessen-news.de/n11495522/batterienentz%c3%bcndenelektroschrott%20container%20inflammen.html</a></p> <p>(Figura 34)</p> |

| ID | Data            | Località      | Tipologia | Lingua originale (Tedesco)   | Traduzione con Google Traduttore  | Link  |
|----|-----------------|---------------|-----------|--|---|---|
|    |                 |               |           | dann einen Brand auslösen. Grundsätzlich sollten leere Batterien oder Akkus in gesonderten Sammelstellen entsorgt werden. In diesem Zusammenhang legte Achim Wolfert auf eine Feststellung besonderen Wert, „leere Batterien und Akkus gehören auch nicht in den Hausmüll“.  |   |   |
| 2  | 6 novembre 2012 | Schattdorf CH |           | <p>Akku sorgt für Brand in Schrott-Container<br/>In Schattdorf UR ist ein Container einer Elektroschrott-Firma in Brand geraten. Es entstand eine meterhohe schwarze Rauchwolke</p> <p>Kurz vor 11 Uhr entdeckte ein Kunde eines Fitnesscenters in Schattdorf, dass in einem Container einer Elektroschrott-Firma ein Feuer ausgebrochen war. Sofort alarmierte er die Feuerwehr.</p> <p>Gemäss Karl Egli, Mediensprecher der Kantonspolizei Uri, konnte das Feuer schnell gelöscht werden. «Wahrscheinlich hat ein angelieferter Akku den Container in Brand gesteckt», so Egli</p> | <p>La batteria garantisce l'incendio nel contenitore dei rifiuti<br/>A Schattdorf UR, un container di un'azienda di rifiuti elettronici ha preso fuoco. Era una nuvola di fumo nera alta un metro<br/>Poco prima delle 11, un cliente di un centro fitness a Schattdorf ha scoperto che era scoppiato un incendio in un container di un'azienda di rifiuti elettronici. Ha immediatamente avvisato i vigili del fuoco.<br/>Secondo Karl Egli, portavoce della polizia cantonale Uri, l'incendio si è rapidamente spento. "Probabilmente una batteria consegnata ha incendiato il contenitore"</p> | <p><a href="https://www.20min.ch/schweiz/zentralschweiz/story/Akku-sorgt-fuer-Brand-in-Schrott-Container-25675322">https://www.20min.ch/schweiz/zentralschweiz/story/Akku-sorgt-fuer-Brand-in-Schrott-Container-25675322</a></p> <p>immagini:<br/><a href="https://www.20min.ch/diashow/diashow.tmpl?showid=59542">https://www.20min.ch/diashow/diashow.tmpl?showid=59542</a></p> |



| ID | Data           | Località      | Tipologia       | Lingua originale (Tedesco)   | Traduzione con Google Traduttore  | Link  |
|----|----------------|---------------|-----------------|--|---|---|
|    | 22 aprile 2015 | Schönenwerder | Swiss Recycling | <p>Der Brand von Sonntagmorgen auf dem Areal der Schönenwerder Recyclingfirma Swiss Recycling wurde durch beschädigte Batterien ausgelöst. Das haben Abklärungen der Brandermittler ergeben. Die Altbatterien hatten sich im Elektroschrotthaufen befunden, teilt die Kantonspolizei Solothurn mit. «Durch beschädigte Batterien geht immer eine Brandgefahr aus, sei dies durch eine Selbstentzündung oder durch die thermische Belastung von umliegenden Materialien», warnt sie.</p> <p>Das Feuer war am Sonntag, kurz vor 10.30 Uhr, auf dem Aussengelände der Recyclingfirma ausgebrochen und hatte auf einen Container übergegriffen, in welchem sich Karton befand. Auch ein parkierter Lastwagen wurde beschädigt.</p> | <p>L'incendio della domenica mattina, causato dalla società di riciclaggio Schönenwerder, Swiss Recycling, è stato provocato da batterie danneggiate. Ciò è stato chiarito dagli investigatori del fuoco. Le batterie scariche erano nella discarica, riferisce la polizia cantonale di Soletta. "Le batterie danneggiate causano sempre un rischio di incendio, sia per autoaccensione che per stress termico sui materiali circostanti", avverte.</p> <p>L'incendio era scoppiato domenica poco prima delle 10:30 alla periferia della società di riciclaggio e si era diffuso in un contenitore in cui era presente una scatola. Anche un camion parcheggiato è stato danneggiato.</p> | <p><a href="https://www.solothurnerzeitung.ch/solothurn/niederamt/altbatterien-setzten-elektroschrott-in-brand-129064060">https://www.solothurnerzeitung.ch/solothurn/niederamt/altbatterien-setzten-elektroschrott-in-brand-129064060</a></p> <p>Videoservizio:</p> <p><a href="https://cfvod.kaltura.com/p/1719221/sp/171922100/thumbnail/entry_id/1_8ebgsnm/version/100000/width/676/height/416/quality/70">https://cfvod.kaltura.com/p/1719221/sp/171922100/thumbnail/entry_id/1_8ebgsnm/version/100000/width/676/height/416/quality/70</a></p> |







Gegenseite Hilfe und Kameradschaft im Einsatz, ...

Fotos: Gerhard Manns



Figura 33. ID 1 - 20 ottobre 2014

### 3 Casi studio ed Esperienze di indagine o intervento

#### 3.1 Introduzione

##### ***Lithium-ion fire suppression: detection, containment, suppression, cooling, isolation [58]***

*Prevention is better than cure: if a battery fire can be stopped in its tracks early, then fire extinguishing becomes superfluous. Within its battery products from 12-900Vdc, aentron has responded to all of the abovementioned issues by developing a highly robust modular solution. However, we decided to go a few steps further in response to the industry's need to not only prevent and detect a lithium-ion battery fire but also to contain and suppress it. Therefore, we developed and tested with the support of the Technische Hochschule Ingolstadt (THI) an automated lithium-ion fire suppression system that can extinguish a lithium-ion fire within less than ten seconds from detection. The aentron fire suppression system follows the following key steps:*

*Detection – electrolyte sniffer and temperature and voltage outliners;*

*Containment – containing the thermal runaway or fire event within sufficiently robust housing;*

*Suppression – injection of a non-toxic and non-conductive foam that chokes the flames;*

*Cooling – cooling effect of foam (specially patented solution) eliminates flare-ups; and*

*Isolation – controller removal of affected battery unit.*

*The detection is implemented by an innovative electrolyte leakage sniffer that triggers a pyro-switch independent of the BMS and removes the external energy source. aentron discovered from tests with the THI that a lithium-ion battery fire should be tackled without opening the battery housing which should be made of steel. This design strategy enables both the containment of the initial fire and possible explosion. The explosion comes from the rapid build-up of explosive gas mixtures that, through short-circuit spark, explode to often devastating effect. aentron is able to prevent this event by using the foam to rapidly dissipate and eject the explosive gases from the housing.*

*An automatic fire extinguisher system is then activated only if the detection and containment steps fail. In its simplest form, if the battery temperature continues to rise beyond +150°C, the fire suppression system deploys. Where possible, after the cooling step has succeeded, the affected battery section should be removed and isolated for later disposal.*

#### 3.2 ESS in Korea del Sud

Nel paragrafo 2.2.2 si è visto che nel 2019, a seguito di 2 ulteriori incidenti avvenuti in Korea su ESS (14 e 15 gennaio 2019) LG ha fermato la produzione di batterie per avviare indagini opportune.

Bloomberg, nel 2018 [59], ha messo in evidenza 7 incendi occorsi, a partire dal 2017 ad agosto 2018, in Korea, che hanno coinvolto sistemi di accumulo stazionario Litio-ione per un totale di 94 MWh di capacità: circa il 4% della capacità dell'accumulo stazionario Litio-ione realizzato in Korea in meno di un anno e mezzo.

A seguito di queste vicende, il governo coreano ha istituito un gruppo di lavoro, avviato una indagine e predisposto alcune linee guida per la corretta realizzazione ed installazione degli ESS, licenziando il rapporto conclusivo lo scorso giugno 2019 (Appendice 5.F).

Si riporta l'analisi del documento effettuata nell'ambito del CNVVF [60]:

*Nel 2018 il Ministero del Commercio, dell'Industria e dell'Energia ("MOTIE"), ha commissionato ad un team multidisciplinare di 19 esperti l'analisi dei dati relativi a 23 incidenti, basata su 76 indici, che sono avvenuti recentemente in Korea del Sud di cui:*

- 14 incendi con sistemi completamente carichi;
- 6 durante le operazioni di carica e scarica;
- 3 durante la costruzione dei sistemi;

*L'analisi individua principalmente 4 cause alla base degli incidenti:*

- 1) *Carenze nei sistemi di protezione delle batterie: si sono verificati casi in cui le protezioni non hanno avuto la capacità di interrompere la corrente di corto circuito (potere di interruzione inadeguato, loro posizionamento errato o bypassato da eventi esterni);*
- 2) *Condizioni ambientali sfavorevoli: forti variazioni termiche nell'arco della giornata con formazione di condensa, ambienti polverosi (la ventilazione dovrebbe farsi carico anche di trattare in maniera idonea l'aria quindi);*
- 3) *Negligenze durante l'installazione e la gestione dei sistemi;*
- 4) *ESMS, BMS, sistemi di gestione in generale non integrati fra loro e non creati per lavorare in simbiosi (poiché prodotti da produttori diversi);*

*Vi è poi un quinto fattore critico, ovvero il cortocircuito interno alle celle ma l'indagine non è riuscita a replicare in alcuni esperimenti questo scenario in termini di pericolo paragonabili ai quattro punti sopra segnalati.*

*Sulla base di quanto sopra sintetizzato il governo ha deciso di creare:*

- 1) *Standard di produzione che rafforzino la sicurezza a livello di singolo componente ma anche a livello di sistema (Introduzione di sistemi di gestione della sicurezza, certificazioni più stringenti, ecc) sulla base dello standard IEC 62933-5 (TC120); proporrà l'adozione di standard internazionali sugli ESS sulla base degli studi condotti; richiederà standard più stringenti sul funzionamento e la interoperabilità dei sistemi di protezione;*
- 2) *Standard di installazione: Indurre l'installazione del sistema in un edificio esterno per l'uso esclusivo e rendere obbligatoria l'installazione di un dispositivo di sicurezza: limitazione delle installazioni indoor a 600kWh, possibilmente in edifici ad uso esclusivo, protezioni evolute obbligatorie, in caso di incidente devono essere presenti e resi disponibili dei registri di funzionamento (salvati dai sistemi di gestione magari);*
- 3) *Standard operativo e gestionale: miglioramento della sicurezza nelle fasi operative e di gestione dell'ESS attraverso un'ispezione biennale ed ispezioni a sorpresa;*
- 4) *Standard antincendio: definizione dello standard per rafforzare le capacità di risposta agli incendi (sia quindi a livello di prevenzione che di intervento);*

*Il documento prosegue sostanzialmente richiedendo l'adeguamento alle misure di cui sopra anche agli impianti esistenti e dichiarando la volontà di incentivare ricerca ed investimenti in misure di sicurezza con interventi diretti (co-finanziamenti) e certificazioni sulle energie rinnovabili ritenute strategiche.*

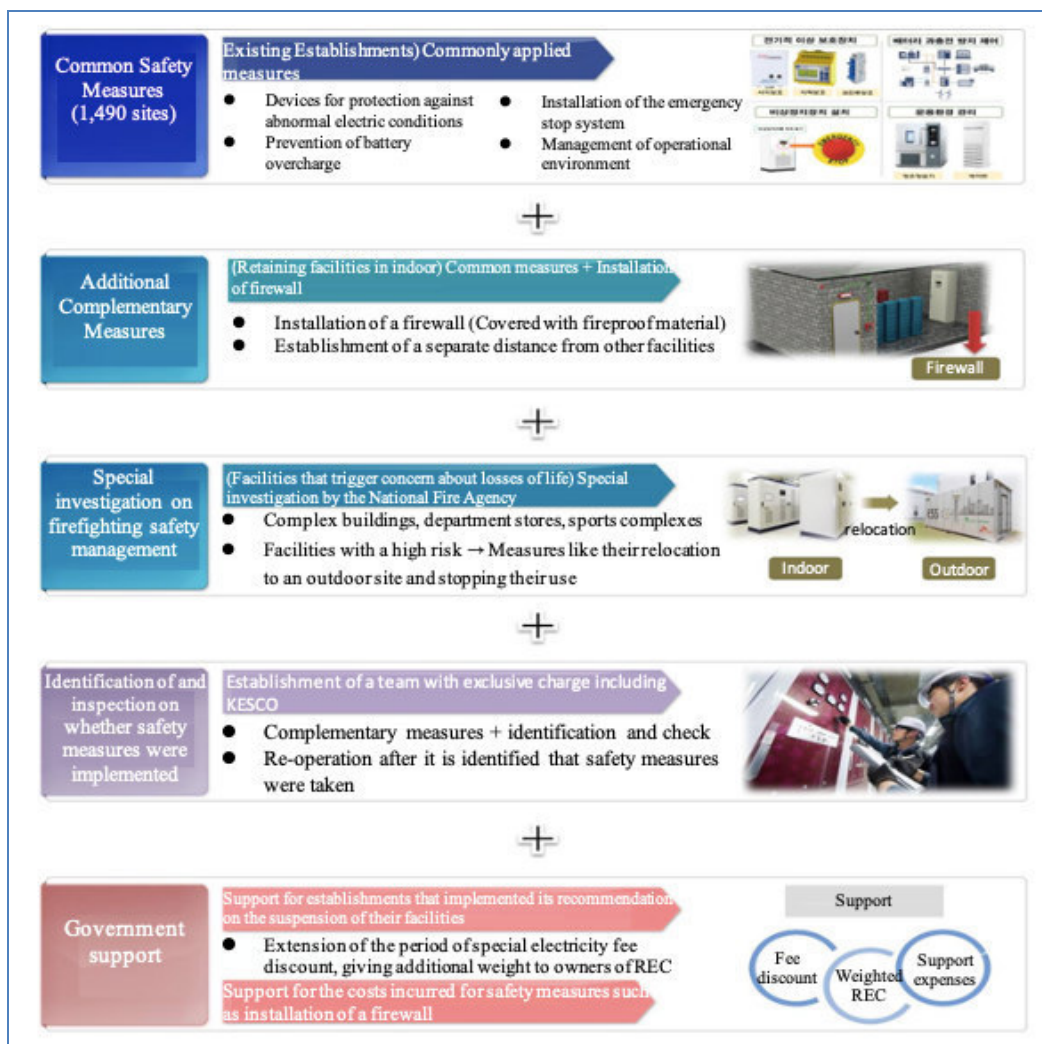


Figura 34. Korea: piano nazionale per la sicurezza del settore strategico degli ESS. Fonte [60]

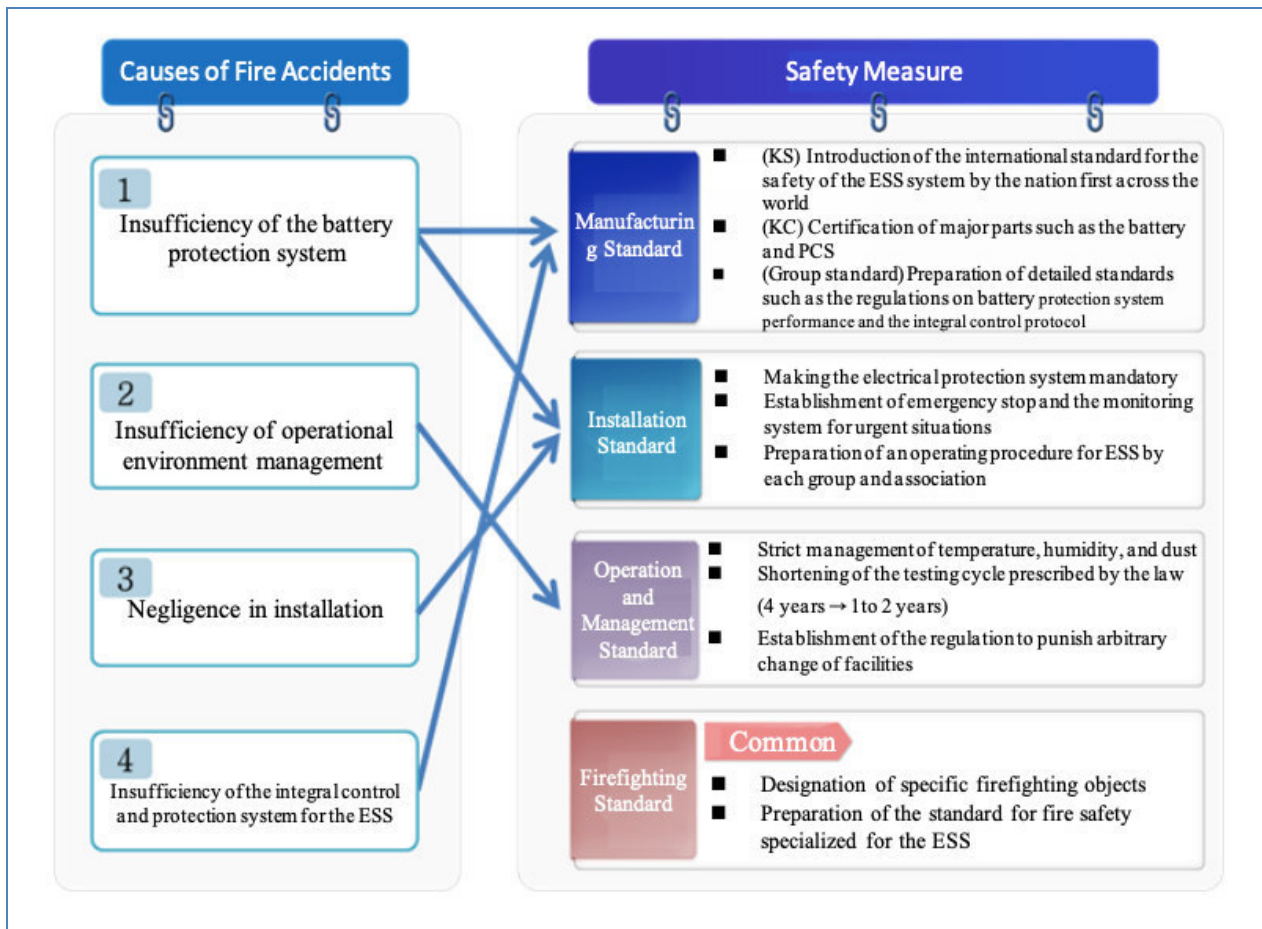


Figura 35. Analisi indagine MOTIE Korea. Fonte [60]

### 3.3 Confronto sulle conseguenze di un incendio di un veicolo elettrico e di un veicolo con motore a combustione interna

#### 3.3.1 VTT Technical Research Centre of Finland

Nello studio finlandese [61] pubblicato nel 2019 vengono presentati gli studi dell'INERIS [62] (2012) e uno studio giapponese [63] nei quali vengono confrontate le conseguenze dell'incendio di veicoli EV e ICE (*Internal Combustion Engine*) mediante test su scala reale. Nel primo caso sono stati studiati due coppie di veicoli di due diversi produttori (ICE – diesel), con potenze crescenti; nello studio giapponese si confrontano gli effetti dell'incendio di una Nissan Leaf (EV) con quelli di una Honda Fit (ICE-benzina).

Nello studio INERIS:

*[...] the general behaviour of EV and ICE vehicles were quite similar: the maximal heat release rate, the overall dissipated heat and effective heat of combustion were close to each other in both vehicle types. Also, combustion gases from both vehicle types were quite similar. A significant quantity of HF gases was measured in both EV and ICE fire tests. However, these tests cannot be extrapolated to other vehicles; they are valid only for the vehicles tested during the study.*

Nello studio giapponese:

*Another comparative study was accomplished in Japan, where EV and gasoline-powered vehicle fire behaviour were compared with each other in real-scale tests<sup>15</sup>. In Japanese tests, Nissan Leaf (EV) and Honda Fit (ICE, petrol engine) were burned. Nissan Leaf had 360 V DC 24 kWh battery fully charged and Honda Fit had 10 litres of gasoline in the tank. Both vehicles were allowed to burn until the fire self-extinguished. Total calculated heat release of the EV was 6.4 GJ and 4.3 GJ for the ICE. The total heat release for ICE was smaller because there were less inflammables in the ICE vehicle. The maximum magnitudes of the heat release rate (EV max. 6.3 MW, ICE max. 2.1 MW) and heat flux for the EV were larger than for the ICE. In these tests, no indications of explosive burn of Li-Ion battery pack were not made.*

Lo studio cita i risultati di Larsson [64] per la composizione chimica dei gas e dei fumi emessi durante l'incendio di sistemi litio-ione, facendo riferimento ai dati per HF e POF3:

*[...] large amounts of hydrogen fluoride (HF) may be generated, ranging between 20 and 200 mg/Wh of nominal battery energy capacity. In addition, 15–22 mg/Wh of another potentially toxic gas, phosphoryl fluoride (POF3), was measured in some of the fire tests. Gas emissions when using water mist as extinguishing agent were also investigated.*

*[...] The measured HF levels indicate that HF can pose a serious toxic threat, especially for large Li-ion batteries and in confined environments. If extrapolated for large battery packs the amounts would be 2–20 kg for a 100 kWh battery system, e.g. an electric vehicle and 20–200 kg for a 1000 kWh battery system, e.g. a small stationary energy storage. The immediate dangerous to life or health (IDLH) level for HF is 0.025 g/m<sup>3</sup> (30 ppm) and the lethal 10 minutes HF toxicity value (AEGL-3) is 0.0139 g/m<sup>3</sup> (170 ppm). The release of hydrogen fluoride from a Li-ion battery fire can therefore be a severe risk and an even greater risk in confined or semi-confined spaces.*

*POF3 was detected only for one of the battery types and only at 0% SOC, showing the complexity of the parameters influencing the gas emission. No POF3 could be detected in*

any of the other tests. Using water mist resulted in a temporarily increased production rate of HF, but the application of water mist had no significant effect on the total amount of released HF. Results, as those presented here are crucial to be able to conduct a risk assessment that takes toxic HF gas into account.

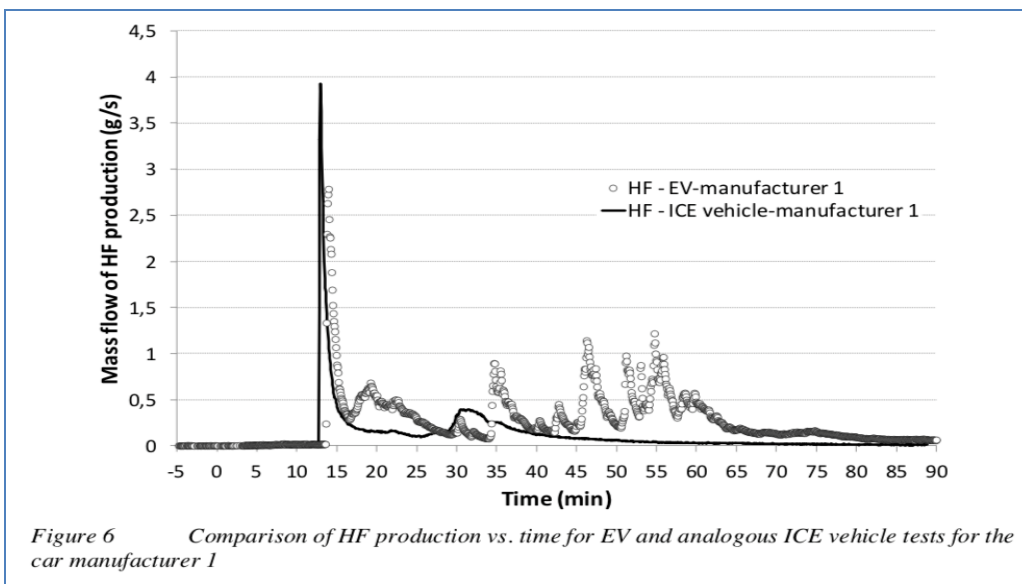
Il penultimo capitolo, tratta delle modalità di estinzione degli incendi, dalle strategie ai sistemi di estinzione.

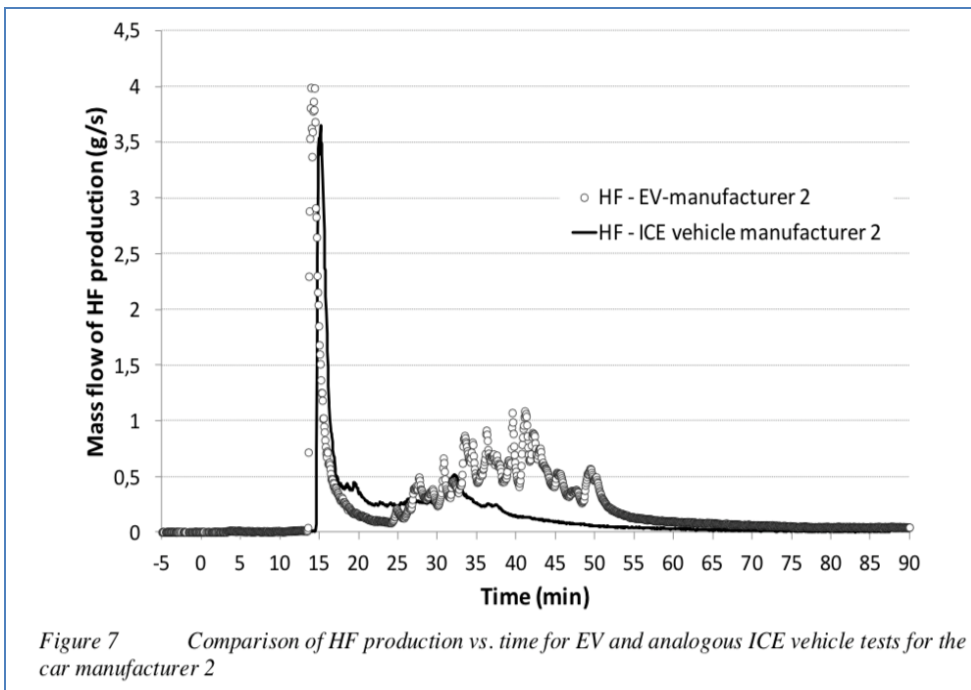
### 3.3.2 Antincendio-Italia, agosto 2019

Un recente articolo di M. Gatto [65], analizza lo studio dell'INERIS [62] già citato. Si riportano stralci dell'articolo per un maggiore dettaglio di informazione:

*Secondo le misurazioni effettive, il HF è stato emesso in quantità significative durante le prove di incendio di veicoli elettrici e ICE. Ciò è mostrato nei grafici di seguito, **Figura 6 e Figura 7**, che rappresentano il flusso di massa della produzione di HF in funzione del tempo per entrambe le case automobilistiche. Vale la pena notare che durante le prove su veicoli ICE è stata misurata anche un'emissione significativa di HF. E' stato osservato un picco di HF a 14 minuti per gli esperimenti antincendio EV e ICE. Può provenire da materiali fluorurati contenuti nel veicolo (ad es. Da un refrigerante fluorurato contenuto nel sistema di aria condizionata; questa ipotesi non è stata confermata).*

*Nel caso di EV, ulteriori picchi di emissione di HF corrispondenti alla combustione del pacco batteria agli ioni di litio sono stati osservati circa 25-30 minuti dopo l'attivazione dell'incendio del veicolo, Figura 6 e Figura 7. Ciò è coerente con le potenziali fonti di fluoro note in una batteria agli ioni di litio come l'elettrolita (il più delle volte LiPF<sub>6</sub> nelle attuali tecnologie) e il materiale legante degli elettrodi (spesso PVDF). Ciò è anche coerente con i test preliminari ottenuti su unità batteria e pacco batteria pieno. Di conseguenza, la massa cumulativa HF è stata misurata in quantità maggiori nel caso di EV a causa della combustione del pacco batterie agli ioni di litio.*





[...] masse cumulative simili di CO<sub>2</sub>, CO, THC, NO<sub>x</sub>, HCl e HCN per entrambi i tipi di veicoli. Nessun HBr è stato rilevato per questi 4 test.

La quantità totale di gas emessi (limitata a gas e vapori misurati) è riportata in **tabella 1**, in grassetto. Questa tabella non tiene conto della cinetica delle emissioni di gas, che è un parametro importante.

La quantità misurata dei principali gas emessi (CO<sub>2</sub>, CO, THC, ecc.) e gli effetti termici (HRR, calore di combustione) erano più alti per il produttore 2 a causa della presenza di una maggiore quantità di materiale combustibile nelle sue auto che sono modelli più grandi.



| Tested element   | EV manufacturer 1 | ICE vehicle manufacturer 1 | EV manufacturer 2 | ICE vehicle manufacturer 2 |
|--|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| Test   | Fire              | Fire                       | Fire              | Fire                       |
| Nominal Voltage (V)  | 330 V*            | -                          | 355 V*            | -                          |
| Capacity (Ah)  | 50 Ah*            | -                          | 66,6 Ah*          | -                          |
| Energy (kWh)   | 16,5 kWh*         | -                          | 23,5 kWh*         | -                          |
| Mass (kg)  | 1 122 kg          | 1 128 kg                   | 1 501 kg          | 1 404 kg                   |
| Lost mass (kg)   | 212 kg            | 192 kg                     | 278,5 kg          | 275 kg                     |
| Lost mass (%)  | 19%               | 17%                        | 18,6%             | 19,6%                      |
| <b>Online gas analysis – total quantity of emitted gases (FTIR and online analyzers)</b> |                   |                            |                   |                            |
| CO <sub>2</sub> (g)  | 460 400           | 508 000                    | 618 490           | 722 640                    |
| CO <sub>2</sub> (mg/lost g)  | 2 172             | 2 646                      | 2 220,8           | 2 627,8                    |
| CO (g)   | 10 400            | 12 040                     | 11 700            | 15 730                     |
| CO (mg/lost g)   | 49                | 63                         | 42                | 57,2                       |
| THC (g)  | 2 430             | 2 380                      | 2 860             | 2 730                      |
| THC (mg/lost g)  | 11,5              | 12,4                       | 10,3              | 9,9                        |
| NO (g)   | 500               | 679                        | 770               | 740                        |
| NO (mg/lost g)   | 2,4               | 3,5                        | 2,8               | 2,7                        |
| NO <sub>2</sub> (g)  | 198               | 307                        | 349               | 410                        |
| NO <sub>2</sub> (mg/lost g)  | 0,9               | 1,6                        | 1,3               | 1,5                        |
| HF (g)   | 1 540             | 621                        | 1 470             | 813                        |
| HF (mg/lost g)   | 7,3               | 3,2                        | 5,3               | 3                          |
| HCl (g)  | 2 060             | 1 990                      | 1 930             | 2 140                      |
| HCl (mg/lost g)  | 10                | 10,4                       | 6,9               | 7,8                        |
| HCN (g)  | 113               | 167                        | 148               | 178                        |
| HCN (mg/lost g)  | 0,5               | 0,9                        | 0,5               | 0,6                        |
| <b>Thermal effects</b>   |                   |                            |                   |                            |
| Maximal HRR (MW)   | 4,2 MW            | 4,8 MW                     | 4,7 MW            | 6,1 MW                     |
| Heat of combustion (MJ)  | 6 314 MJ          | 6 890 MJ                   | 8 540 MJ          | 10 000 MJ                  |
| Heat of combustion/unit mass loss (MJ/kg)  | 29,8 MJ/kg        | 35,9 MJ/kg                 | 30,7 MJ/kg        | 36,4 MJ/kg                 |

\* Characteristics of the battery pack of the EV.

### 3.3.3 Larsson, 2013

In questo studio [66] del 2013 sia il rischio elettrico che quello di incendio/esplosione vengono presi in esame. Sul rischio elettrico si tratta delle tipologie di isolamento utilizzate (2013) e della gestione del rischio residuo:

*[...]all parts except the inside of the battery system can be considered as voltage free (provided there are no electrical insulation failures). It is important to understand that also an “empty” battery, meaning fully discharged, 0% SOC, still has a considerable voltage. For an electric vehicle this is still to be considered as a hazardous voltage.*

*[...]even if the electrical insulation of the traction voltage, containing the hazardous voltage, would be damaged, this voltage will be turned off. Of course, in severe crashes, there is always a risk that this might not be the case.*

*[...]for a severe crash, which is outside the design criteria, a deformation which is larger than expected can occur. It is unrealistic and just not possible to design the crash protection for all types of extreme collisions.*

*On the other hand, there could be a potential risk for service personnel repairing a damaged electric vehicle, since they can, during disassembly, have two chassis ground, one with the*

*negative battery potential (minus) and the other with positive battery potential (plus). There are however, protection means for this, e.g. insulation measurements, electrically insulated gloves (typically marked for safe use up to 1000V), and knowledgeable maintenance staff should be able to minimize this risk.*

### **3.3.4 Quesito della DG FOR INTERNAL MARKET, INDUSTRY, ENTREPRENEURSHIP AND SMES, EUROPEAN COMMISSION, Agosto 2019 [67]**

GEORGIOS KATSARAKIS, direttore della DG FOR INTERNAL MARKET, INDUSTRY, ENTREPRENEURSHIP AND SMES, EUROPEAN COMMISSION ha inviato un quesito al Direttore di CFPA-Europe finalizzato alla comprensione delle differenti interpretazioni della UE e degli USA, sulla natura dei rischi connessi all'incendio di sistemi litio-ione, con particolare riferimento alla emissione di acido fluoridrico. CFPA ha girato il quesito ad un esperto svedese, PerOla Malmquist, rilevando che la posizione europea, maggiormente conservativa, individua lo sviluppo una quantità di HF rilevante ai fini della salute e della sicurezza sia delle vittime che del personale di soccorso, tanto da rendere necessario un trattamento antidotico specifico. L'esperto sottolinea, inoltre, che i dispositivi di protezione individuale per le mani in dotazione alle squadre di soccorso, sono testati per la resistenza ad HF per soli 20 minuti, ritenendoli in pratica non adatti alle dosi cui potrebbero essere esposti. Rileva inoltre la necessità di approfondire la questione, anche attraverso attività sperimentali:

*[...] The difference between European and American research is whether Hydrogen Fluoride (HF) is formed and in what quantities. [...]*

*The difference between European and American research is whether Hydrogen Fluoride (HF) is formed and in what quantities. The reason for this being a key issue is that Hydrogen Fluoride is an extremely toxic gas/liquid that besides from acute toxicity through the airways also penetrates the body through the skin.*

***Firefighter protective gear is tested to only resist HF for 20 minutes), and gaps between clothing parts might make that time even shorter.***

*Most other chemicals in smoke that are toxic is not acutely toxic through the skin. Firefighters and fire victims require special decontamination procedures and antidotes when exposed to HF. American research suggests that the formation of Hydrogen Fluoride is in small quantities and of no problem to firefighters and of minimal problem for inhabitants. European research on the other hand points in a different direction saying that there is a major production of Hydrogen Fluoride from Li-Ion battery fires.*

Il documento è allegato alla bibliografia del presente capitolo.

### **3.3.5 Rapporto IATA sulla Investigazione di tre incidenti occorsi ad Aerei Cargo**

Nel Rapporto dello IATA del 2016 [68], viene effettuata una analisi degli incidenti occorsi a tre aerei cargo (2011 – 2006) per i quali era noto che trasportassero batterie litio-ione. Si tratta dei seguenti incidenti:

- B744, near Jeju. July 28, 2011. Fire in Cargo Hold
- B744, Dubai. September 3, 2010. Cargo Fire
- DC-8, Philadelphia – Pennsylvania. February 7, 2006. Inflight Cargo Fire

## 4 Il Data Base incidentale prodotto dalla collaborazione tra ENEA e CNVVF

Sulla base degli studi condotti da ENEA è stata effettuata una progettazione del DB (paragrafo seguente) incidentale sui sistemi al litio, cui ha fatto seguito la realizzazione di un prodotto in Microsoft Access da parte del CNVVF (Ing. Vincenzo Puccia). Il DB è disponibile in forma di bozza e raccoglierà tutte le informazioni presentate in questo studio. La struttura del DB è quella di Tabella 9.

**Tabella 9**

|   |   |                              |                                 |
|---|---|------------------------------|---------------------------------|
| 1. Data evento incidentale, nella forma <i>gg/mm/aa</i>                           |   |                              |                                 |
| 2. Luogo  | 2.1. Città  |                              |                                 |
|   | 2.2. Nazione  |                              |                                 |
| 3. Tipologia batterie   | 3.1. Pile al Litio metallo (non ricaricabili)                     |                              |                                 |
|   | 3.2. Accumulatori Litio-ione                                      |                              |                                 |
|   | 3.3. Accumulatori ad alta temperatura                             | 3.3.1. Sodio-Zolfo           |                                 |
|   |   | 3.3.2. Zebra                 |                                 |
|   | 3.4. Altre batterie: specificare                                  |                              |                                 |
| 3.5. Supercondensatori  |   |                              |                                 |
| 4. Marca delle batterie/supercondensatori   |   |                              |                                 |
| 5. Apparecchiature utilizzatrici  | 5.1. Apparecchiature portatili                                    | 5.1.1. Telefono cellulare    |                                 |
|   |   | 5.1.2. PC Laptop             |                                 |
|   |   | 5.1.3. Tablet                |                                 |
|   |   | 5.1.4. Sigaretta elettronica |                                 |
|   |   | 5.1.5. Giocattoli            |                                 |
|   |   | 5.1.6. Strumenti di misura   |                                 |
|   |   | 5.1.7. Altro: specificare    |                                 |
|   | 5.2. Sistema stoccaggio energia (ESS)                             | 5.2.1. domestico             |                                 |
|   |   | 5.2.2. industriale           |                                 |
|   | 5.3. Veicoli elettrici (EV): specificare                          |                              |                                 |
|   | 5.4. Catena logistica   | 5.4.1. Magazzini             |                                 |
|   |   | 5.4.2. Trasporto             | 5.4.2.1. su strada/ferrovia     |
|   |   |                              | 5.4.2.2. aereo                  |
|   |   |                              | 5.4.2.3. marittimo              |
|   |   |                              | 5.4.2.4. vie interne navigabili |
|   |   | 5.4.3. Interporto            |                                 |
| 5.4.4. Altri stoccaggi temporanei   |   |                              |                                 |
| 5.5. Batterie giunte a fine vita o Rifiuti elettronici (RAEE) contenenti batterie | 5.5.1. Impianto di raccolta differenziata                         |                              |                                 |
|   | 5.5.2. Impianto intermedio di stoccaggio temporaneo e/o selezione |                              |                                 |
|   | 5.5.3. Impianto di trattamento e/o riciclo                        |                              |                                 |
|   | 5.5.4. Trasporto  |                              |                                 |
| 5.6. Altro: specificare   |   |                              |                                 |
| 6. Descrizione sommaria incidente   |   |                              |                                 |
| 7. Cause  |   |                              |                                 |

|                     |                                |  |  |
|---------------------|--------------------------------|--|--|
| 8. Danni            | 8.1. persone                   |  |  |
|                     | 8.2. ambiente                  |  |  |
|                     | 8.3. proprietà                 |  |  |
|                     | 8.4. immagine aziendale        |  |  |
| 9. Fonti            | 9.1. Riferimenti bibliografici |  |  |
|                     | 9.2. Indirizzo sito web        |  |  |
| 10. Annotazioni     |                                |  |  |
| 11. Allegati in pdf |                                |  |  |

## 5 Gestione delle emergenze: *best practice* e approfondimenti

In questa sezione, attraverso l'esame di materiale bibliografico, del materiale pubblicato da enti impegnati nella gestione del rischio incendio e di enti normatori, tutti di rilievo internazionale, verranno fornite informazioni utili per la progettazione degli interventi di emergenza. Naturalmente, le informazioni qui riportate sulle pratiche adottate a livello internazionale è lungi dall'essere esaustiva, ma si ritiene che siano un valido supporto alle attività nazionali.

Dopo la presentazione di materiale di carattere generale con il riferimento alle attività poste in essere in Italia dal CNVVF, seguirà una sezione dedicata agli interventi sui veicoli elettrici (Approfondimenti), una sezione dedicata agli interventi sugli ESS.

### 5.1 Approfondimenti

#### 5.1.1 Linee guida in caso di intervento su veicoli elettrici: CNVVF [69] , 26 giugno 2019

*Un gruppo di Vigili del fuoco ha affrontato la questione sui rischi connessi a un intervento in presenza di questi moderni sistemi di accumulo elettrochimico e ha predisposto delle specifiche linee guida che possano aiutare i soccorritori nella valutazione e nell'individuazione di specifiche procedure d'intervento in caso di scenari incidentali di questo tipo. La trattazione, in versione ancora non definitiva, vuole illustrare e informare sulle problematiche inerenti alla sicurezza elettrica nei sistemi di accumulo in generale, utilizzati in impianti FTV ed AUTOMOTIVE. [...]*

*La documentazione è composta da un documento generale - le Linee Guida - e da una serie di schede tecniche di approfondimento che, nel tempo, verranno integrate e ampliate. [Figura 36].*

Figura 36

Sei in: [Home](#) » [Notiziario](#) » [Notizia](#)

pubblicato il 26 giugno 2019

## Predisposte delle linee guida in caso di intervento su veicoli elettrici

Gli interventi di soccorso su veicoli ibridi o elettrici è sempre più frequente. Questo impone la necessità di conoscere le nuove insidie per consentire agli operatori del soccorso di intervenire in sicurezza.

Un gruppo di Vigili del fuoco ha affrontato la questione sui rischi connessi a un intervento in presenza di questi moderni sistemi di accumulo elettrochimico e ha predisposto delle specifiche linee guida che possano aiutare i soccorritori nella valutazione e nell'individuazione di specifiche procedure d'intervento in caso di scenari incidentali di questo tipo. La trattazione, in versione ancora non definitiva, vuole illustrare e informare sulle problematiche inerenti alla sicurezza elettrica nei sistemi di accumulo in generale, utilizzati in impianti FTV ed AUTOMOTIVE. In particolare, si vuole porre in risalto e definire alcune linee guida per poter eseguire le operazioni di soccorso in presenza dei suddetti sistemi, seguendo le normative di riferimento per il lavoro elettrico sotto tensione e fuori tensione.

Quella che viene proposta in questa sede, dunque, è una panoramica sui fattori di rischio che interessano direttamente il soccorritore, una rassegna generale sugli azionamenti elettrici e i supporti energetici che l'operatore deve conoscere e saper riconoscere durante il proprio lavoro.

La documentazione è composta da un documento generale - le *Linee Guida* - e da una serie di schede tecniche di approfondimento che, nel tempo, verranno integrate e ampliate.

**Allegati**

- Linee Guida per incidenti che coinvolgono auto elettriche-ibride
- Scheda tecnica. Come leggere una Rescue Sheet
- Scheda tecnica. Connettori di Ricarica
- Scheda tecnica. Dispositivi di Protezione Individuale
- Scheda tecnica. I rischi di elettrocuzione
- Scheda tecnica. Gli scenari incidentali
- Scheda tecnica. I sistemi di ricarica
- Scheda tecnica. I veicoli ibridi

### 5.1.2 2019, Esempio di un intervento su veicolo elettrico in fiamme, Svizzera

Il Giornale dei Pompieri Svizzeri, nel numero di marzo 2019 [70 bis] riferisce della metodologia adottata per estinguere l'incendio di un veicolo elettrico, occorso il 24 novembre 2017 a Reutlingen (Baden-Württemberg). L'articolo confronta la pratica adottata con le misure in atto in Germania.

### 5.1.3 2019, Sistemi di estinzione in commercio, Olanda

Si segnalano <sup>22</sup> i prodotti proposti da FIFI4MARINE<sup>23</sup>:

Cinzia Di Bari, da Conversazione con ing. Lorenzo Rossi (Retenav). Gennaio 2019

*“Utilizzano una schiuma non tossica<sup>24</sup>, non corrosiva, a base di 97% aria e 3% schiumogeno premiscelato (BIO EX), che viene immessa sulle celle, creando una barriera ottimale contro la diffusione dell'incendio, in particolare se il sistema viene abbinato ai rilevatori di gas prodotti poco prima del thermal runaway.*

<sup>22</sup> Riferimento: [lorenzo.rossi@retenav.it](mailto:lorenzo.rossi@retenav.it)

<sup>23</sup> <https://fifi4marine.com>

<sup>24</sup> “100% Sustainable & Hybrid expansion foam based”

*Questa azienda tra l'altro sta lavorando in una specifica commissione tecnica creata dall'ente di classifica DNV proprio per creare norme guida su applicazioni antincendio-litio al bordo di imbarcazioni."*

*In generale, il funzionamento del sistema antincendio, prevede una serie di azioni basate anche sulla loro esperienza e test eseguiti su banchi di batterie.*

*Rilevazione di gas generati all'inizio del thermal runaway tramite sensore LI-ION TAMER (<https://liiontamer.com/>);*

*Prima iniezione di schiuma, riempimento completo dell'alloggiamento delle batterie/celle (il quadro batterie deve essere almeno IP 65);*

*Nei 30 minuti successivi, ogni 1 minuto, iniezione di schiuma pari al 10% del volume totale dell'alloggiamento;*

*Nei 30 minuti successivi ogni 5 minuti, iniezione di schiuma pari al 10% del volume totale dell'alloggiamento;*

*Nei successivi 60 minuti ogni 10 minuti, iniezione di schiuma pari al 10% del volume totale dell'alloggiamento;*

*ultimi 60 minuti, ogni 20 minuti iniezione di schiuma pari al 10% del volume totale dell'alloggiamento;*

*La re-iniezione è necessaria poiché i gas formano bolle nella schiuma, ma la schiuma deve essere in contatto diretto con le celle per essere in grado di raffreddarle ed impedire la propagazione dell'incendio.*

*Tempo totale dell'azione estinguente e controllo anti propagazione, 3 ore.*

*Una volta estinto l'incendio, le batterie possono essere semplicemente soffiate per rimuovere la schiuma e rimesse in utilizzo, ad eccezione ovviamente delle celle danneggiate dall'incendio.*

*L'iniezione di schiuma può avvenire anche per scopi precauzionali, ad esempio per incendio limitrofo all'alloggiamento delle batterie. In questo caso lo schiumogeno agisce da isolante-ritardante alla propagazione dell'incendio alle batterie dovuta dalle alte temperature.*

*lo schiumogeno è prodotto dalla ditta BIO EX <http://bio-ex.com/> , ho visto che ci sono indicate nella brochure allegata delle normative riguardo al prodotto utilizzato, BIO4C, però lascio a lei le valutazioni di non tossicità ecc...*

*Parlando direttamente con Cor Meedendorp, è emerso che la loro azienda fornisce anche sistemi antincendio per impianti industriali e petrolchimici in Cina, piattaforme ecc cc, non solo per l'ambito delle batterie.*

*Hanno anche prodotti portatili, anche con autoprotettori integrati.*

*Nella presentazione sono indicate bombole da 300 bar, in verità il sistema funziona anche con bombole a 200 bar, come per esempio quelle per uso subaqueo o per autoprotettori VVF.*

*Nell'incontro svolto direttamente con FIFI4MARINE, Cor ci ha mostrato diversi video riguardo incendi di celle e banchi di batterie. Hanno davvero tanto materiale e svolto centinaia di test, di dati e misurazioni credo ne abbiamo davvero tantissimi. Non so se hanno svolto i test in collaborazione con qualche università, ente o con i vigili del fuoco, però se vi interessa posso chiedere.*

#### **5.1.4 2018, Fenomenologia incendio batterie litio-ione e strategie intervento, Finlandia**

Mr. Marko Hassinen [71] (Emergency Services College) propone una interessante lezione sulla fenomenologia dell'incendio di batterie litio-ione e successivi suggerimenti per l'intervento su larga scala, dai sistemi di estinzione alle le strategie di intervento, ai sistemi di protezione. All'indirizzo <https://www.youtube.com/watch?v=1wclVfwd8mk&t=732s> può essere scaricato il video: **Opening and A strategy for fighting lithium-ion battery fires** (26 nov 2018 – durata: 50 minuti).

#### **5.1.5 2018, Prevenzione e gestione incendi, Olanda**

J.H. van Peperzeel [72], direttore della azienda di riciclo batterie olandese Van Peperzeel B.V., propone una strategia di prevenzione e gestione di incendi che possono coinvolgere pile e accumulatori al litio.

#### **5.1.6 2017, Tecniche di estinzione incendio batterie EV, NFPA**

Nel video **Tactical Considerations for Extinguishing Fires in Hybrid and Electric Vehicles** (20 ago 2017 - durata: 24 minuti): <https://youtu.be/S8YGfU4ZFWY>

*This video takes the data gathered through the HEV/EV high voltage battery burn study conducted by the NFPAs Fire Protection Research Foundation*

#### **5.1.7 2017 - MIT "Lithium Ion Battery Safety Guidance" [73]**

Un documento di 18 pagine sulla gestione in sicurezza delle batterie al Litio e sulla gestione di emergenze, interventi di primo soccorso e dei rifiuti di batterie. Redatto dall' *Environmental Health and Safety office* per l'uso interno al MIT. E' reperibile in internet anche una guida [74] alla comprensione delle specifiche tecniche.

Entrambi i documenti hanno consentito di redigere il capitolo 10 di questo elaborato: "Definizioni".

## 5.2 Intervento su veicoli elettrici

### 5.2.1 2019 - NFPA Emergency Response Guides

All'indirizzo: <https://www.nfpa.org/training-and-events/by-topic/alternative-fuel-vehicle-safety-training/emergency-response-guides> è possibile accedere ai manuali di intervento in emergenza relativi a più di 35 produttori di veicoli a combustibile alternativo o elettrici (Tabella 10). L'NFPA aggiorna con continuità questa raccolta, che mette gratuitamente a disposizione degli interessati.

**Tabella 10. Elenco dei produttori di veicoli elettrici o con combustibili non convenzionali e iperlink ai Manuali per l'Intervento di Emergenza (NFPA)**

|  |                                      |                                     |
|--|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <a href="#"><u>Acura</u></a>             | <a href="#"><u>Gillig</u></a>        | <a href="#"><u>Mitsubishi</u></a>   |
| <a href="#"><u>Audi</u></a>              | <a href="#"><u>GMC</u></a>           | <a href="#"><u>Nissan</u></a>       |
| <a href="#"><u>Azure Dynamics</u></a>    | <a href="#"><u>Hino</u></a>          | <a href="#"><u>Nova Bus</u></a>     |
| <a href="#"><u>BMW</u></a>               | <a href="#"><u>Honda</u></a>         | <a href="#"><u>Porsche</u></a>      |
| <a href="#"><u>Buick</u></a>             | <a href="#"><u>Hyundai</u></a>       | <a href="#"><u>Proterra</u></a>     |
| <a href="#"><u>BYD</u></a>               | <a href="#"><u>Infiniti</u></a>      | <a href="#"><u>Saturn</u></a>       |
| <a href="#"><u>Cadillac</u></a>          | <a href="#"><u>Karma</u></a>         | <a href="#"><u>Scion</u></a>        |
| <a href="#"><u>Chevrolet</u></a>         | <a href="#"><u>Kia</u></a>           | <a href="#"><u>Smith</u></a>        |
| <a href="#"><u>Chrysler</u></a>          | <a href="#"><u>Lexus</u></a>         | <a href="#"><u>Subaru</u></a>       |
| <a href="#"><u>Dodge</u></a>             | <a href="#"><u>Lincoln</u></a>       | <a href="#"><u>Tesla Motors</u></a> |
| <a href="#"><u>Fiat</u></a>              | <a href="#"><u>Mazda</u></a>         | <a href="#"><u>Toyota</u></a>       |
| <a href="#"><u>Fisker Automotive</u></a> | <a href="#"><u>Mercedes-Benz</u></a> | <a href="#"><u>Van Hool Bus</u></a> |
| <a href="#"><u>Ford</u></a>              | <a href="#"><u>Mercury</u></a>       | <a href="#"><u>Volkswagen</u></a>   |
|  | <a href="#"><u>MINI</u></a>          | <a href="#"><u>Volvo</u></a>        |

### 5.2.2 2019 - HSE - Electric and hybrid vehicles [75]<sup>25</sup>

Una breve guida all'impiego e manutenzione consapevoli, mette in evidenza il **rischio elettrico**. Di seguito si riporta una breve sintesi.

*People in the motor vehicle repair and recovery industry are now more likely to come across E&HVs and as a result need to be aware of the additional hazards they may be exposed to when working with these vehicles. They may also need to develop a wider range of skills and knowledge and have access to specialist tools and equipment in order to be able to work safely. Voltages present in E&HVs are significantly higher (currently up to 650 Volts direct current (dc)) than those used in other vehicles (12/24 Volts dc). In dry conditions, accidental contact with parts that are live at voltages above 110 Volts dc can be fatal. For E&HVs dc voltages between 60 and 1500 Volts are referred to as 'high voltage'. This terminology is used in this guidance although high voltage is defined differently in other industry sectors.*

<sup>25</sup> <http://www.hse.gov.uk/mvr/topics/electric-hybrid.htm> (Consultato il 9 maggio 2019)



*Battery systems may contain chemicals that can be harmful if released. They also store significant amounts of energy that can give rise to explosion if not dealt with correctly.*

*There are substantial differences in the designs of E&HVs from different manufacturers. Having information specific to the manufacturer and the vehicle being worked on is important in identifying what actions are necessary to work safely.*

*Risks of working with E&HVs*

*E&HVs introduce hazards into the workplace in addition to those normally associated with the repair and maintenance of vehicles, roadside recovery and other vehicle related activities.*

*These include:*

- *the presence of high voltage components and cabling capable of delivering a fatal electric shock.*
- *the storage of electrical energy with the potential to cause explosion or fire.*
- *components that may retain a dangerous voltage even when a vehicle is switched off.*
- *electric motors or the vehicle itself that may move unexpectedly due to magnetic forces within the motors.*
- *manual handling risks associated with battery replacement.*
- *the potential for the release of explosive gases and harmful liquids if batteries are damaged or incorrectly modified.*
- *the possibility of people being unaware of vehicles moving as when electrically driven they are silent in operation.*
- *the potential for the electrical systems on the vehicle to affect medical devices such as pacemakers.*

***Incident response including emergency services and vehicle recovery***

*Vehicles should be visually checked for signs of damage to high voltage electrical components or cabling (usually coloured orange). Consider whether the integrity of the battery is likely to have been compromised. Shorting or loss of coolant may present ignition sources in the event of fuel spillage. If the vehicle is damaged or faulty, and if safe to do so, isolate the high voltage battery system using the isolation device on the vehicle. Refer to manufacturer's instructions for guidance.*

*During any recovery onto a recovery vehicle, the remote operation key should be removed to a suitable distance and the standard 12/24v battery disconnected to prevent the vehicle from being activated/started.*

*Have access to reliable sources of information for specific vehicle types. For example mobile data terminals used by fire and rescue services or by reference to manufacturer's data.*

*Avoid towing E&HV vehicles unless it can be determined that it is safe to do so. Dangerous voltages can be generated by movement of the drive wheels.*

### **5.2.3 2018 - NFPA Emergency Field Guide**

All'indirizzo: <https://catalog.nfpa.org/Emergency-Field-Guide-P13872.aspx> è possibile scaricare gratuitamente, sia la versione 2015 che la seconda versione 2018 della Guida (Figura 37).

La guida del 2018 contiene più di 100 schede relative ad altrettanti veicoli motorizzati con combustibili alternativi e veicoli elettrici (camion, bus, veicoli industriali e privati). Le schede contengono informazioni provenienti dai produttori di veicoli.

Essa costituisce una guida essenziale per gli operatori di emergenza. Le procedure sono corredate da immagini a colori con gli schemi dei veicoli sviluppati dalla azienda *Moditech Rescue Solutions*, leader internazionale nella realizzazione di schemi di estrinsecazione.

Sono trattati argomenti quali il danno di batterie ad alta tensione e sistemi ad alimentazione a gas; incendio; iniezione ritardata; procedure di estrazione dei passeggeri; sovversione dei veicoli; stazioni di ricarica e di rifornimento; il riferimento ai codici NFPA.

La guida è strutturata come segue:

- introduzione con spiegazione dei simboli e delle modalità di accesso alla guida
- identificazione del veicolo e risposta iniziale
- immobilizzazione e disabilitazione
- pericoli connessi alla emissione di sostanze pericolose
- sicurezza nel caso di sommersione
- procedure di sicurezza in caso di incendio e di re-ignizione
- diagrammi relativi alla gestione di scontri e di istigazione, basati sulle informazioni fornite dai produttori dei veicoli
- informazioni sulla sicurezza delle batterie ad alta tensione fornite dal NHTSA e dalla *Fire Protection Research Foundation*
- gestione di incidenti presso le stazioni di ricarica o di rifornimento
- informazioni generali di primo soccorso



Figura 37

#### 5.2.4 2018 - CTIF: “MANUALE OPERATIVO PER I VIGILI DEL FUOCO. LA RISPOSTA D’EMERGENZA SUI VEICOLI. FIRE SERVICE OPERATIONAL HANDBOOK”.

[https://godr.sdis86.net/godr/godr-sr-it/index.html?fbclid=IwAR0Gvg\\_NriBxqRBMm\\_0L\\_Q8FygZ0R78YNevvVbMQllmFJwIBfPThHOyxzes](https://godr.sdis86.net/godr/godr-sr-it/index.html?fbclid=IwAR0Gvg_NriBxqRBMm_0L_Q8FygZ0R78YNevvVbMQllmFJwIBfPThHOyxzes)

L’ *International Association of Fire and Rescue Services* (CTIF) ha prodotto, in lingua francese e poi tradotto anche in Italiano, questo manuale sull’intervento di emergenza sui veicoli elettrici e a combustibili

alternativi. Il Manuale, nella Versione n°5 - SR - 01/01/2018, è arricchito da collegamenti ipertestuali a filmati, ed è composto da 195 pagine, suddivise nei seguenti capitoli (Figura 38):

1. Informazioni generali sui veicoli
2. Veicoli ibridi e veicoli elettrici
3. Veicoli ad alimentazione GPL
4. Veicoli ad alimentazione CNG
5. Veicoli ad alimentazione LNG
6. Veicoli elettrici Fuel Cell
7. Risposta operativa all'emergenza sui veicoli
8. Appendice

| ROAD TRAFFIC ACCIDENTS/ CAR FIRES  |   |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
|--|---|--|----|---|----|---|----|---------------------------------------|----|--|----|
| <p>MANUALE OPERATIVO PER I VIGILI DEL FUOCO<br/>LA RISPOSTA D'EMERGENZA SUI VEICOLI</p> <p>INTIF<br/>Centre National de Recherche Scientifique<br/>Real Practice Procedures</p> <p>SDS &amp; C<br/>sauteurs-pompiers de la Vienne</p> <p>Version 5 - SR - 01/01/2018</p> |   |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Introduzione   |   |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| 1° parte: informazioni generali sui veicoli  | <table border="0"> <tr> <td>Strumenti tecnici e la loro influenza sulle operazioni d'emergenza .....</td> <td style="text-align: right;">6</td> </tr> <tr> <td>Supporti decisionali per i Vigili del Fuoco .....</td> <td style="text-align: right;">18</td> </tr> </table>   | Strumenti tecnici e la loro influenza sulle operazioni d'emergenza ..... | 6  | Supporti decisionali per i Vigili del Fuoco ..... | 18 |   |    |                                       |    |  |    |
| Strumenti tecnici e la loro influenza sulle operazioni d'emergenza .....   | 6   |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Supporti decisionali per i Vigili del Fuoco .....  | 18  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| 2° parte: veicoli ibridi (HV) e veicoli elettrici (EV)   | <table border="0"> <tr> <td>Concetti di funzionamento principali .....</td> <td style="text-align: right;">22</td> </tr> <tr> <td>Equipaggiamento specifico degli EV .....</td> <td style="text-align: right;">22</td> </tr> <tr> <td>Sicurezza sugli HV e EV .....</td> <td style="text-align: right;">24</td> </tr> <tr> <td>Rischi aggiuntivi sugli EV / HV .....</td> <td style="text-align: right;">26</td> </tr> </table>   | Concetti di funzionamento principali .....                               | 22 | Equipaggiamento specifico degli EV .....          | 22 | Sicurezza sugli HV e EV .....                                     | 24 | Rischi aggiuntivi sugli EV / HV ..... | 26 |  |    |
| Concetti di funzionamento principali .....   | 22  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Equipaggiamento specifico degli EV .....   | 22  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Sicurezza sugli HV e EV .....  | 24  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Rischi aggiuntivi sugli EV / HV .....  | 26  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| 3° parte: veicoli ad alimentazione GPL   | <table border="0"> <tr> <td>Concetti di funzionamento principali .....</td> <td style="text-align: right;">28</td> </tr> <tr> <td>Equipaggiamento specifico dei veicoli GPL .....</td> <td style="text-align: right;">29</td> </tr> <tr> <td>Dispositivi di sicurezza .....</td> <td style="text-align: right;">29</td> </tr> <tr> <td>Rischi aggiuntivi del GPL .....</td> <td style="text-align: right;">30</td> </tr> </table>   | Concetti di funzionamento principali .....                               | 28 | Equipaggiamento specifico dei veicoli GPL .....   | 29 | Dispositivi di sicurezza .....                                    | 29 | Rischi aggiuntivi del GPL .....       | 30 |  |    |
| Concetti di funzionamento principali .....   | 28  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Equipaggiamento specifico dei veicoli GPL .....  | 29  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Dispositivi di sicurezza .....   | 29  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Rischi aggiuntivi del GPL .....  | 30  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| 4° parte: veicoli ad alimentazione CNG (metano compresso)  | <table border="0"> <tr> <td>Concetti di funzionamento principali .....</td> <td style="text-align: right;">32</td> </tr> <tr> <td>Equipaggiamento specifico dei veicoli CNG .....</td> <td style="text-align: right;">33</td> </tr> <tr> <td>Dispositivi di sicurezza .....</td> <td style="text-align: right;">34</td> </tr> <tr> <td>Rischi aggiuntivi del CNG .....</td> <td style="text-align: right;">35</td> </tr> </table>   | Concetti di funzionamento principali .....                               | 32 | Equipaggiamento specifico dei veicoli CNG .....   | 33 | Dispositivi di sicurezza .....                                    | 34 | Rischi aggiuntivi del CNG .....       | 35 |  |    |
| Concetti di funzionamento principali .....   | 32  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Equipaggiamento specifico dei veicoli CNG .....  | 33  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Dispositivi di sicurezza .....   | 34  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Rischi aggiuntivi del CNG .....  | 35  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| 5° parte: veicoli ad alimentazione LNG (metano liquido)  | <table border="0"> <tr> <td>Concetti di funzionamento principali .....</td> <td style="text-align: right;">30</td> </tr> <tr> <td>Equipaggiamento specifico dei veicoli LNG .....</td> <td style="text-align: right;">30</td> </tr> <tr> <td>Dispositivi di sicurezza .....</td> <td style="text-align: right;">31</td> </tr> <tr> <td>Rischi aggiuntivi del CNG .....</td> <td style="text-align: right;">32</td> </tr> </table>   | Concetti di funzionamento principali .....                               | 30 | Equipaggiamento specifico dei veicoli LNG .....   | 30 | Dispositivi di sicurezza .....                                    | 31 | Rischi aggiuntivi del CNG .....       | 32 |  |    |
| Concetti di funzionamento principali .....   | 30  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Equipaggiamento specifico dei veicoli LNG .....  | 30  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Dispositivi di sicurezza .....   | 31  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Rischi aggiuntivi del CNG .....  | 32  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| 6° parte: veicoli elettrici Fuel Cell (FCEV)   | <table border="0"> <tr> <td>Concetti di funzionamento principali .....</td> <td style="text-align: right;">34</td> </tr> <tr> <td>Equipaggiamento specifico dei veicoli FCEV .....</td> <td style="text-align: right;">34</td> </tr> <tr> <td>Dispositivi di sicurezza .....</td> <td style="text-align: right;">36</td> </tr> <tr> <td>Rischi aggiuntivi del FCEV .....</td> <td style="text-align: right;">37</td> </tr> </table>   | Concetti di funzionamento principali .....                               | 34 | Equipaggiamento specifico dei veicoli FCEV .....  | 34 | Dispositivi di sicurezza .....                                    | 36 | Rischi aggiuntivi del FCEV .....      | 37 |  |    |
| Concetti di funzionamento principali .....   | 34  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Equipaggiamento specifico dei veicoli FCEV .....   | 34  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Dispositivi di sicurezza .....   | 36  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Rischi aggiuntivi del FCEV .....   | 37  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| 7° parte: risposta operativa all'emergenze sui veicoli   | <table border="0"> <tr> <td>Rischi negli incendi .....</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td>Tecniche di estricazione dai veicoli .....</td> <td style="text-align: right;">49</td> </tr> <tr> <td>Operazioni di cattura dell'involucro della fonte energetica .....</td> <td style="text-align: right;">57</td> </tr> <tr> <td>Operazioni sui veicoli sommersi .....</td> <td style="text-align: right;">58</td> </tr> <tr> <td>Riassunto delle istruzioni d'emergenza .....</td> <td style="text-align: right;">59</td> </tr> </table> | Rischi negli incendi .....   | 40 | Tecniche di estricazione dai veicoli .....        | 49 | Operazioni di cattura dell'involucro della fonte energetica ..... | 57 | Operazioni sui veicoli sommersi ..... | 58 | Riassunto delle istruzioni d'emergenza ..... | 59 |
| Rischi negli incendi .....   | 40  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Tecniche di estricazione dai veicoli .....   | 49  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Operazioni di cattura dell'involucro della fonte energetica .....  | 57  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Operazioni sui veicoli sommersi .....  | 58  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Riassunto delle istruzioni d'emergenza .....   | 59  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Appendice  | <table border="0"> <tr> <td>Schede per l'istricazione .....</td> <td style="text-align: right;">40</td> </tr> <tr> <td>Rescue sheets .....</td> <td style="text-align: right;">49</td> </tr> <tr> <td>Schede per i materiali .....</td> <td style="text-align: right;">57</td> </tr> <tr> <td>Schede di sicurezza .....</td> <td style="text-align: right;">58</td> </tr> </table>  | Schede per l'istricazione .....  | 40 | Rescue sheets .....                               | 49 | Schede per i materiali .....                                      | 57 | Schede di sicurezza .....             | 58 |  |    |
| Schede per l'istricazione .....  | 40  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Rescue sheets .....  | 49  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Schede per i materiali .....   | 57  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |
| Schede di sicurezza .....  | 58  |  |    |   |    |   |    |                                       |    |  |    |

Figura 38. Frontespizio ed Indice del Manuale CTIF

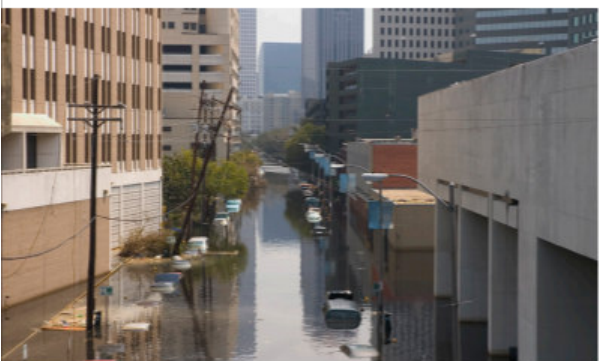
### 5.2.5 2017 - NFPA BULLETIN on Submerged Hybrid / Electric Vehicles

Una scheda operativa di 1 pagina che riguarda l'intervento su **EV sommersi** a causa di inondazioni o esondazioni o altri fenomeni meteorici di grave entità:

*Emergency responders face many hazards when working with vehicles that have been submerged in water, particularly with a hybrid or electric vehicle. Understanding common safety issues with these vehicles can help keep responders safe. Emergency Responder Safety Guidance Hybrid, electric, and fuel cell vehicles are designed to be safe in water, even when fully submerged. The High Voltage (HV) system is isolated from the chassis and is designed to NOT pose a shock and NOT energize the surrounding water.*

Reperibile all'indirizzo:

<https://www.nfpa.org/-/media/Files/Code-or-topic-fact-sheets/BulletinSubmergedHybridEV.pdf> (Figura 39)



Courtesy of Progress/istock/PhotoBank

Emergency responders face many hazards when working with vehicles that have been submerged in water, particularly with a hybrid or electric vehicle. Understanding common safety issues with these vehicles can help keep responders safe.

## Emergency Responder Safety Guidance

Hybrid, electric, and fuel cell vehicles are designed to be safe in water, even when fully submerged. The High Voltage (HV) system is isolated from the chassis and is designed to NOT pose a shock and NOT energize the surrounding water.

### WARNINGS

- ▶ Never remove a submerged service disconnect.
- ▶ Submersion in water (especially salt water) can damage low and high voltage components. Although not a common occurrence, this could result in an electrical short and potential fire once the vehicle is no longer submerged.
- ▶ Damaged HV batteries can produce flammable gas. Venting the passenger compartment is recommended once the vehicle is out of the water. Do not store vehicle indoors.

### TIPS FOR SAFE RESPONSE PRACTICES

#### Submerged Vehicles

- ▶ Avoid contact with HV components, cabling, or service disconnects on a submerged vehicle.
- ▶ If possible, turn the ignition off in a submerged vehicle, but do not attempt any other disabling activities.
- ▶ If ignition cannot be turned off, wait until the vehicle is no longer submerged and is drained of water before attempting to disable it.
- ▶ In some instances, small bubbles may be seen coming from an immersed HV battery. This is referred to as micro-bubbling. This DOES NOT indicate a shock hazard and DOES NOT energize the surrounding water.

#### Previously Submerged Vehicles

- ▶ Fire personnel should don full firefighting personal protective equipment (PPE) and self-contained breathing apparatus (SCBA) when working with previously submerged and damaged vehicles.
- ▶ Disable vehicle by chocking the wheels, placing the gearshift in park, and removing the ignition key and/or disconnecting the 12V battery.
- ▶ Avoid contact with a damaged HV battery; a significant shock hazard may exist. An HV battery should always be considered to contain a charge and should never be touched or pried open.
- ▶ Do not interact with vehicles exhibiting signs of damaged or overheating HV batteries including leaking fluids, sparks, smoke, bubbling noises, and/or unusual odors. If you detect any of these signs, immediately contact fire personnel.

#### Additional Resources

- ▶ Visit [www.evsaftytraining.org](http://www.evsaftytraining.org) for resources to help first responders safely handle emergencies involving alternative fuel vehicles including videos, training, and model-specific guidance for submerged vehicles.
- ▶ Learn how to address potential hazards and challenges with NFPA's *Emergency Field Guide*, available free of charge at [www.nfpa.org/efv](http://www.nfpa.org/efv).

Figura 39

### 5.2.6 2017 - SAE J3108: "xEV Labels to Assist First and Second Responders, and Others"<sup>26</sup>

*This recommended practice prescribes clear and consistent labeling methodology for communicating important xEV high voltage safety information. Examples of such information include **identifying key high voltage system component locations** and **high voltage disabling points**. These recommendations are based on current industry best practices identified by the*

<sup>26</sup> [https://www.sae.org/standards/content/j3108\\_201703/](https://www.sae.org/standards/content/j3108_201703/)

responder community. Although this recommended practice is written for xEVs with high voltage systems, these recommendations can be applied to any vehicle type.

### 5.2.7 2014 –RECHARGE: alcune pubblicazioni

RECHARGE è una organizzazione *no-profit* fondata per promuovere la diffusione dei sistemi di accumulo e rappresentare gli interessi di tutti i soggetti coinvolti nel ciclo di vita delle batterie stesse (Figura 40).

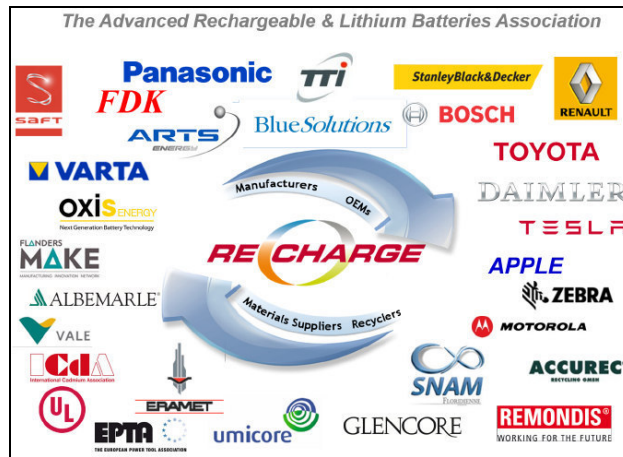


Figura 40. Membri di RECHARGE

Nel 2013, l'Associazione ha prodotto un documento sulla sicurezza delle batterie Litio-ione: <https://www.rechargebatteries.org/wp-content/uploads/2013/07/Li-ion-safety-July-9-2013-Recharge-.pdf>. Il documento di 25 pagine è organizzato come segue:

1. Executive Summary
2. Introduction
3. Lithium-ion batteries: key features 3.1. Market and Applications 3.2. Chemistry and Technology
4. Lithium-ion battery hazards 4.1. The type of hazards 4.2. Root causes of a thermal run-away 4.3. Hazards effects/consequences
5. Lithium-ion battery safety management 5.1 Safety management approach 5.2 Safety standards 5.3. Safety management tools
6. Conclusions

Nel 2014 ha pubblicato il Manuale: "RESCUE-AND-TRAINING-MANUAL-LI-ION-BATTERY-IN-A-VEHICLE-" che consiste in un *Template* per la raccolta di informazioni necessarie per la predisposizione di un Manuale per le procedure di intervento e di formazioni degli operatori del soccorso ("*Information for first and second responders rescue and training manual HIGH VOLTAGE (HV) Lithium-ion batteries*"). Il modello è scaricabile all'indirizzo: <https://www.rechargebatteries.org/wp-content/uploads/2015/01/RESCUE-AND-TRAINING-MANUAL-LI-ION-BATTERY-IN-A-VEHICLE-2014-12-05.pdf>

### 5.2.8 2013 - NFPA- FPRF: "Electric/Hybrid Vehicle Safety Training for Emergency Responders" [75].

Il rapporto presenta il progetto di formazione specifica degli operatori di emergenza riguardante veicoli EV e HEV, dalla sua fase di progettazione alla fase di realizzazione, sottolineando: come esso sia stato voluto

dagli organi di vertice governativi e da essi finanziato; i numerosi attori coinvolti nel progetto; le finalità specifiche; la suddivisione in *subtask*; la sperimentazione e la diffusione dei risultati. Il rapporto finale è suddiviso in tre parti che possono essere scaricate all'indirizzo: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Electrical/Electric-Hybrid-Vehicle-Safety-Training-for-Emergency-Responders>

*The U.S. Department of Energy awarded the National Fire Protection Association (NFPA) a grant to provide nationwide training and education support to fire fighters and other first responders. Without such training, the operators of these vehicles and first responders themselves could be at increased risk.*

*The goal of this project is to provide comprehensive awareness and emergency response training to fire fighters and other emergency responders to prepare them for widespread implementation of advanced electric drive vehicles, including battery electric, hybrid electric, and certain fuel-cell electric vehicles. The objectives of the project include enhancing general awareness training, emergency response tactical training, and establishment of a centralized resource for nationwide ongoing technology transfer. This project report (in 3 parts due to large file size) provides a compilation of information that documents the efforts taken to meet these objectives.*

*The results were unprecedented as a plan was implemented to cascade these classroom and online, state of the art training programs through the firefighter divisions and ranks across the nation -- over 30,000 emergency responders were successfully trained in 48 states, and the EV/Hybrid emergency on-scene quick reference manual was distributed to over 3,200, while NFPA's monthly EV Safety Newsletter circulated to an audience of over 22,000, and the web portal was visited 135,000 times in the first two years. Next, a law enforcement classroom training and video was developed with the assistance of the New York State Police, and it was recently nominated for the State Police PACE award. NFPA is proud to acknowledge that emergency responders are now well on their way to having a better understanding of electrified vehicles and how to safely handle them in emergency situations across the United States of America.*

### **5.2.9 2013 - NFPA- FPRF: "Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results" [78]**

Un rapporto delle attività sperimentali svolte, a livello della scala di veicolo, ai fini della individuazione delle migliori pratiche per l'intervento di emergenza su veicoli elettrici. Il rapporto è suddiviso in 5 parti scaricabili dal sito: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Electrical/Emergency-Response-to-Incident-Involving-Electric-Vehicle-Battery-Hazards>

*For vehicle fires, and in particular fires involving electric drive vehicles, a key question for emergency responders is: "what is different with electric drive vehicles and what tactical adjustments are required?"*

*The overall goal of this project is to conduct a research program to develop the technical basis for best practices for emergency response procedures for electric drive vehicle battery incidents, with consideration for certain details including: suppression methods and agents; personal protective equipment (PPE); and clean-up/overhaul operations. A key component of this project goal is to conduct full-scale testing of large format Li-ion batteries used in these vehicles. This report summarizes these tests, and includes discussion on the key findings relating to best practices for emergency response procedures for electric drive vehicle battery incidents.*

*Current versions of various firefighting guidelines are consistent with each other regarding first responder firefighting tactics to immobilize/disable the vehicle. However, a new step for first responders has been identified when comparing tactics for conventional ICE vehicles and EDVs. This involves identifying whether or not the vehicle is an EDV. Firefighters typically will not know what type of vehicle is involved before they arrive at the scene of the incident or the type of vehicle may not be obvious once they arrive and begin their tactics. As such, performing the same practices for all vehicle fires would ensure that first responders are acting safely and appropriately regardless of the type of vehicle involved in the incident. In regards to suppression, in most instances, available literature suggests that the application of water can extinguish EDV fires, as is the case with most fires in conventional ICE vehicles. However, it may be difficult to apply a sufficient flow of water to a burning battery installed in/under a vehicle with the tools currently available to the fire service. In most EDVs, the battery is located in the chassis, housed in a plastic or metal shell. In these cases, water may not be sufficient to achieve full extinguishment, but rather the water may serve as a medium to transfer heat and cool the battery and cell components as thermal runaway subsides and or is interrupted by the application of water. Based on a review of the literature, the final topic that requires further research is the electrical hazard presented by burning vehicle batteries. Some of the literature<sup>37</sup> reviewed suggests that a burning EDV battery has the potential to discharge electrical energy to the frame and body of the vehicle. Furthermore, the application of water streams to burning EDVs at close range may also become recognized as an unacceptable practice, if it is found that the potential for high voltage shock exists.*

#### **5.2.10 2012 - NHTSA Interim Guidance for Electric and Hybrid-Electric Vehicles Equipped with High Voltage Batteries [76].**

Si tratta di una raccolta di schede di sintesi destinate a diversi soggetti: Proprietari di veicoli e cittadini; Forze dell'ordine; Servizi di emergenza sanitari; Vigili del Fuoco; Operatori di soccorso stradale (carro attrezzi e rimorchio) e responsabili strutture deputate al parcheggio veicoli.

*NHTSA does not believe that electric vehicles present a greater risk of post-crash fire than gasoline powered vehicles. In fact, all vehicles—both electric and gasoline-powered—have some risk of fire in the event of a serious crash. However, electric vehicles have specific attributes that should be made clear to consumers, the emergency response community, and tow truck operators and storage facilities. Out of an abundance of caution to prevent injury and loss of property, the interim guidance identifies considerations and actions for all electric and hybrid-electric vehicle crashes, including those involving the growing number of vehicles powered by lithium-ion batteries. This interim guidance is intended to serve as a general reference for vehicle operators and responders. It was developed using current best practices and instructions from vehicle and battery manufacturers and others. It is not intended to replace information issued by the vehicle manufacturer, but rather to be used as a supplement to vehicle-specific guides. For more information about specific vehicle models, individuals should consult guidance provided by the vehicle manufacturer.*

*NHTSA, together with the Department of Energy, is continuing to explore strategies to ensure that the public and responder community receive the best information in the shortest possible time. The agency hope that this guidance will help to inform activities to educate responders and the public about electric vehicles including efforts already underway by DOE, NFPA, vehicle manufacturers, and others.*

### 5.2.11 2012 - SAE J2990: “Hybrid and EV First and Second Responder Recommended Practice” [77]

La norma è costituita da 5 parti principali:

1. Recommendations for XEV emergency response guides (ERG)
2. Recommendations for XEV identification
3. Recommendations for XEV HIGH VOLTAGE (HV) system disabling
4. Recommendations for high voltage vehicle inspection process post-incident
5. Recommendations for XEV emergency response hazard communication

Una descrizione applicativa efficace è reperibile al seguente indirizzo:

<https://wiki.unece.org/download/attachments/25265483/EVS-07-22e.pdf?api=v2>

### 5.3 2019 – NFPA & ESS: lo standard NFPA 855 e le attività di formazione (Contributo di Andrea Denti)[60]

#### 5.3.1 Attività di formazione ed informazione sugli ESS

*NFPA is keeping pace with the surge in energy storage and solar technology by undertaking initiatives including training, standards development, and research so that various stakeholders can safely embrace renewable energy sources and respond if potential new hazards arise.*

Alla pagina web <https://www.nfpa.org/ess> è possibile accedere a molta documentazione normativa, la documentazione delle attività di ricerca poste in essere, un video di formazione gratuito e di carattere interattivo (<https://catalog.nfpa.org/Energy-Storage-and-Solar-Systems-Safety-Online-Training-P20282.aspx>) e materiale informativo per gli organi di governo - <https://www.nfpa.org/-/media/Files/About-NFPA/Policy-Institute/PolicyInstituteESS.pdf> - e per i cittadini: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/Public-Education/Resources/Safety-tip-sheets/LithiumIonBatterySafety.pdf>. (Figura 41)

The image shows a section of the NFPA website titled "Free downloads". It features two promotional cards. The left card is titled "Is your community ready?" and discusses BESS technology, its role in turning intermittent renewable energy into reliable power, and the need for safety standards. It includes a "Download the fact sheet." link. The right card is titled "Safety tip sheet for consumers" and provides information on the safe use of lithium ion batteries in various consumer devices like smartphones, laptops, and toys. It includes a "Download the tip sheet." link.

Figura 41.

### 5.3.2 NFPA 855 [79] – “Standard for the installation of Stationary Energy Storage System” - Edizione 2020

**Data di approvazione come American National Standard**

25 agosto 2019



## Campo di applicazione

ESS al Litio > 20kWh (72MJ) con limite 600kWh (misure senza “aggravio” dalle “linee guida” standard). Le definizioni relative alla norma NFPA 855 sono nel Capitolo 3 della norma.

## Requisiti generali per tutti gli ESS

La norma ha le sue fondamenta nel Cap. 4 (“General”), una sorta di “requisito orizzontale” a tutti i sistemi EES. Da subito specifica che eventuali requisiti specifici per tecnologia sono dal Cap. 9 al Cap. 13, intendibili come “requisiti verticali”, dove per verticale si intende la singola fattispecie tecnologica.

Si sono selezionati i principali aspetti:

1. Rilascio di GAS dall’ESS

l’ESS non deve rilasciare gas tossici creando scenari di esposizione oltre i limiti (rif. soglie TLV) di esposizione previsti per singola sostanza, nei locali del sistema, durante la carica, scarica ed utilizzo ordinario

2. Documentazione necessaria per la realizzazione di ESS:

- Il progetto e le specifiche tecniche in occasione di nuove installazioni, sostituzione, rinnovo, messa in opera ed utilizzo devono includere:

- Localizzazione e layout del locale dove il sistema ESS deve essere installato;
- Dettaglio sulla resistenza al fuoco ove richiesta;
- Quantità e tipologia di ogni ESS installato;
- Specifiche tecniche, valutazioni e documentazioni tecniche fornite dal produttore;
- Descrizione della specifica realizzazione dell’ESS e descrizione delle sue procedure di funzionamento;
- Localizzazione e contenuti di tutta la segnaletica posizionata a corredo;
- Dettaglio dei sistemi di soppressione dell’incendio, rivelatori di fumo e calore, rivelatori di gas (multigas), sistemi di gestione termica del sistema, ventilazione, scarico dei gas di eventuali combustioni e sistemi di sfogo in caso di deflagrazione;
- Specifiche costruttive con particolare riguardo alle contromisure “antisismiche”, che nei grandi sistemi sono tutt’altro che secondarie insieme alle contromisure in caso di allagamento;

3. Gli ESS grid-connected degli operatori elettrici sono da considerarsi impianti strategici;

4. Sono inoltre, eventualmente, di interesse (come spunti sempre) segnalati dalla norma NFPA:

- Test di incendio in scala reale (NFPA 855 – 4.1.5);
- Documento di mitigazione del rischio (NFPA 855 – 4.1.4);
- Compliance NFPA 68 e NFPA 69 per la gestione e prevenzione delle esplosioni (NFPA 855 - 4.12), che ovviamente non sono le uniche fonti possibili;

5. Sono ritenute accettabili modellazioni di scenari di incendio al calcolatore ma in tal caso vanno forniti i dettagli ed i dati di validazione (si segnala, extra NFPA, la eventuale prova di sensibilità per esempio in caso di simulazioni FDS) e la letteratura scientifica a supporto delle valutazioni fatte;

6. Identificazione di proprietario e gestore del sistema;

7. Deve essere messa a disposizione degli operatori una manualistica completa che specifichi:

- Dimensione dell’ESS e dimensionamento dei suoi componenti;

- Manuale di uso e manutenzione del produttore del sistema con chiare indicazioni su ogni processo di controllo e manutenzione;

- Contatti di personale esperto che possa sempre fornire assistenza;
- Una specifica su come l'impianto va condotto in via ordinaria, con specificate eventuali raccomandazioni e set-points;
- Registro dei controlli e manutenzioni da compilare posizionato in un luogo dichiarato alle autorità preposte ai controlli antincendio e sicurezza sui luoghi di lavoro (se tali);

8. Per i progetti nuovi la norma si spinge a indicare una serie di documentazioni (Cap. 6) come piani della sicurezza (di cantiere sostanzialmente) – Rif. NFPA 855 Cap.6.

#### 9. Pianificazione dell'emergenza e addestramento

La norma evidenzia come estremamente importanti la redazione di un piano di emergenza e sessioni di addestramento da fornire a lavoratori ed operatori dell'emergenza in modo che possano consapevolmente affrontare i rischi intrinseci del sistema ESS. La pianificazione degli addestramenti per attuare le corrette pratiche gestionali viene segnalata come prerogativa fondamentale.

#### 10. Piano di emergenza

Esso deve essere scritto, SEMPRE disponibile in situ e deve contenere:

- Procedure di "safe-shutdown", de-energizzazione e isolamento dei componenti del sistema in situazioni di emergenza per ridurre i rischi (strettamente legati alla fase di shutdown, quindi per ora non si parla di tossicità ed altro) di:

- Incendio;
- Shock elettrico;
- Infortuni generici;

Il tutto privilegiando soluzioni che in caso di piccole emergenze possano non compromettere la corretta riattivazione dei sistemi;

- Procedure di ispezione e test associate ad ogni allarme, intervento di interblocchi funzionali o previste come controlli a carattere periodico/a campione;

- Procedure da seguire a seguito di notifica da parte dell'ESMS (quando fornito in grado di fornire segnalazioni avanzate, ma andrebbe reso obbligatorio come si vuole fare in Korea) che possano rappresentare non solo una fonte di pericolo ma anche solo di "stato di allerta" considerando nello specifico:

- Shutdown di sottosistemi;
- Allertamento del personale addetto alla gestione dell'impianto (chi fa cosa);
- Pre-allertamento del personale VV.F. con allarme magari pre-codificato;

- Procedure in caso di:

- Incendio;
- Esplosione;
- Rilascio di sostanze pericolose (sia vapori che liquidi ovviamente);
- Danneggiamento di sezioni mobili (rare in sistemi al litio, ma la norma si riferisce a tutti gli ESS);
- Altre potenziali situazioni di pericolo individuate;

- Considerazioni utili durante gli interventi di emergenza partendo da specifici "SDS - safety data sheet"

fino a indicazioni sui metodi di estinzione incendio;

- Procedure post-emergenza per trattare in sicurezza i sistemi danneggiati: fondamentali i contatti di specifici professionisti qualificati alla rimozione e smaltimento dei sistemi;
- Altre procedure ritenute necessarie dalle autorità di controllo per la sicurezza di occupanti e soccorritori;
- L'addestramento del personale deve avere scadenza al massimo annuale e prevedere dei *retraining* (formazione continua);

#### 11. Analisi di mitigazione del rischio (residuo)

Questo documento viene richiesto dalla norma NFPA in 3 casi:

- Quando è intrinsecamente richiesto dalla tecnologia (per il Litio, qualsiasi tecnologia, se di taglia maggiore o uguale a 20kWh indoor) in forma "standard";
- Se vi sono due o più tecnologie di ESS diverse che interagiscono/possono influenzarsi;
- Quando si eccede alle taglie massime (in termini di energia immagazzinata) che per tecnologie al Litio sono pari a 600kWh per singolo ESS: serve in questo caso un dettaglio specifico su questa fattispecie di intervento, un piano su misura ed approfondito;

L'analisi si basa sui seguenti modi di guasto fondamentali:

- Thermal runaway a livello di:

- Cella;
- Modulo;
- Array;
- Intera unità ESS;

- Guasto dell'ESMS (Energy Storage Management System);

- Guasto dei sistemi di areazione ed evacuazione fumi/gas;

- Guasto degli impianti (se e quando richiesti) di rivelazione fumo e calore, rivelazione di fiamma, soppressione (e controllo) dell'incendio;

Alla luce dell'analisi precedente va dimostrato che:

- L'incendio ed i suoi effetti devono essere contenuti dalle strutture nei locali ove è installato l'ESS per almeno 2 ore (traducibile in una compartimentazione REI 120);
- Idoneo sistema di protezione in caso di deflagrazione;
- Nel caso di ESS contenuti in rack (leggasi quadri) di contenimento all'interno di luoghi con occupanti, va dimostrato che l'evento incidentale coinvolgente i sistemi ESS non ostacoli il corretto esodo;
- Il rilascio di gas tossici durante l'incendio e le situazioni di guasto (prevedibili per la tecnologia considerata) non devono superare le soglie di immediato rischio per la vita umana (IDLH) negli edifici/locali adiacenti/vie di esodo per il periodo necessario all'evacuazione di tutti gli occupanti;
- Il rilascio di gas infiammabili va tenuto sotto controllo e la loro concentrazione non deve creare atmosfere che superino il 25% del limite di infiammabilità inferiore;

#### 12. Deposito di materiale combustibile

Viene vietato ogni deposito di materiale combustibile non facente parte del sistema nei locali ad esso dedicati. Per il materiale combustibile facente parte del sistema sono definite delle distanze minime dal sistema ESS.

### 13. Particolari attenzioni gestionali (che potrebbero leggersi come modifiche con potenziale aggravio)

Sono ritenute a rischio e per questo vanno attenzionate con particolari registri di controllo e svolte con personale qualificato le seguenti operazioni:

- Riparazioni;
- Retrofit;
- Sostituzione di componenti: sono ammessi solo ricambi certificati e pienamente rientranti nelle specifiche della casa costruttrice;
- Ampliamento della capacità energetica;

### 14. Dispositivi critici

- Controllori di carica: devono essere idonei al tipo di batteria installate e certificati;
- Inverters e altri convertitori: fare riferimento allo stato dell'arte (norme tecniche) sia per quanto riguarda l'impiantistica elettrica sia per quanto attiene la loro gestione multimediale (per esempio sistemi di telecontrollo che si potrebbe proporre di rendere parte dei sistemi di gestione di emergenza con appositi pannelli di supervisione);
- ESMS (energy storage management system): è considerata il "cuore pulsante" della politica di gestione della sicurezza dell'impianto e quindi deve attenzionare gli aspetti segnalati dal documento di mitigazione del rischio residuo oltre alle ordinarie tipologie di monitoraggio:
  - Tensioni operative;
  - Correnti;
  - Temperature;

Una loro registrazione, oltre che gestione conforme alle specifiche dei produttori dei dispositivi, su appositi terminali di supervisione è alla base di un valido sistema di gestione. Spetta inoltre a questo sistema l'onere di isolare singoli componenti/settori dell'impianto quando vengono rilevati potenziali situazioni di pericolo, quindi deve essere posta attenzione non solo alla sensoristica ma a tutta la catena strumentale, attuatori compresi.

### 15. Segnaletica

Molto risalto, giustamente, viene dato alla segnaletica di sicurezza. Oltre alla sua funzione "quotidiana" rivolta ai lavoratori/occupanti della struttura, una specifica segnaletica (come quella proposta in Fig. 42) può fornire immediatamente il quadro completo dello scenario che si va ad affrontare dal pericolo elettrico, al pericolo chimico (in Italia eventualmente per personale NBCR), contatti d'emergenza anche e soprattutto per fornire una presenza qualificata in caso di emergenza ed una panoramica sui sistemi anticendio presenti sia per sapere come e con cosa intervenire ma anche per evitare che questi siano essi stessi una fonte di pericolo per gli operatori (un esempio in tal senso possono essere i sistemi a deplezione di ossigeno, anche se il personale dovrebbe già essere autoprotetto da tale pericolo a causa del rischio chimico presente se si parla di tecnologie al Litio).

Dalla norma NFPA 855 possono poi essere tratti altri spunti interessanti riguardo il processo di sicurezza durante le installazioni, applicazioni in zone notte, con occupanti "sensibili" (in tale fattispecie l'analisi RVITA del codice di prevenzione incendi si rivela assolutamente un riferimento al passo coi tempi e integrabile), installazioni su tetto e su piano interrato (che sostanzialmente sarebbero se non da vietare da limitare), piccole installazioni domestiche (che per gli operatori del soccorso non sono meno ostici delle grandi installazioni, se non per puri aspetti quantitativi) ed installazioni all'aperto o in parcheggi

pubblici/autorimesse. Interessante la proposta di predisporre una matrice tra le misure di sicurezza e la tipologia di edificio: potrebbe essere interessante per organizzare non tanto una linea guida italiana ma una RTV (come sta avvenendo) che possa trattare il settore energetico in supporto alla RTO del nuovo codice di PI e che potrebbe così andare a coprire interamente questo nuovo settore (Fig. 43). La norma poi chiede anche di attenzionare aspetti come controllo della vegetazione limitrofa (se presente), distanze di sicurezza, strade di accesso (in sostanza per operatività antincendio) ed analisi delle atmosfere esplosive (anche se per la tecnologia al Litio appare un pericolo non tanto indotto dagli accumulatori ma a loro intrinseco: non è cioè come nel caso delle batterie al piombo una questione di gestione dei locali in fase di carica o di normativa ATEX ma un problema di reazioni fortemente esotermiche che possono scatenarsi dentro ai package degli accumulatori).

L'analisi della norma tecnica "volge al termine" con un capitolo specifico (NFPA 855 -Cap. 9) che riporta molto sinteticamente una sorta di norma tecnica verticale specifica in ambito di accumulatori elettrochimici, che richiede come obbligatori per tale tecnologia:

- Sistemi di protezione da eventuali thermal runaway (quindi strutture di isolamento dei sistemi in caso di divergenza termica e aggiungerei sistemi di raffreddamento, specificando raffreddamento e non banalmente ventilazione, idonei, per attuare una reale prevenzione);
- Sistemi anti-esplosione;
- Distanze di sicurezza e separazione (di la norma fornisce una matrice specifica in una apposita sezione in funzione di parametri vari come localizzazione dell'ESS, tipo di locali, contesto, ecc),



Figura 42. Segnaletica tipo da posizionare all'ingresso dei locali ESS

**Table 4.4.2 Indoor ESS Installations**

| Compliance Required            | Dedicated-Use Buildings <sup>a</sup> | Non-Dedicated-Use Buildings <sup>b</sup> | Reference        |
|--------------------------------|--------------------------------------|--|------------------|
| Administrative                 | Yes                                  | Yes                                      | Chapters 1–3     |
| General                        | Yes                                  | Yes                                      | Sections 4.1–4.3 |
| Size and separation            | Yes <sup>c</sup>                     | Yes                                      | Section 4.6      |
| Maximum stored energy          | No                                   | Yes                                      | Section 4.8      |
| Elevation                      | Yes                                  | Yes                                      | 4.3.9            |
| Separation                     | NA                                   | Yes                                      | 4.3.6            |
| Smoke and fire detection       | Yes <sup>d</sup>                     | Yes                                      | Section 4.10     |
| Fire control and suppression   | Yes <sup>c</sup>                     | Yes                                      | Section 4.11     |
| Water supply                   | Yes <sup>c</sup>                     | Yes                                      | Section 4.13     |
| Signage                        | Yes                                  | Yes                                      | 4.3.5            |
| Occupied work centers          | Not allowed                          | Yes                                      | Section 4.7      |
| Technology-specific protection | Yes                                  | Yes                                      | Chapters 9–13    |

NA: Not applicable.  
<sup>a</sup>See 4.4.2.1.  
<sup>b</sup>See 4.4.2.2.  
<sup>c</sup>Where approved by the AHJ, the fire control and suppression systems, the size and separation requirements, and the water supply are permitted to be omitted in dedicated-use buildings located more than 100 ft (30.5 m) from buildings, lot lines that can be built upon, public ways, stored combustible materials, hazardous materials, high-piled stock, and other exposure hazards not associated with electrical grid infrastructure.  
<sup>d</sup>When approved, alarm signals are not required to be transmitted to an approved location when local fire alarm annunciation is provided and trained personnel are always present.

Figura 43. NFPA 855 - Matrice per orientarsi nelle misure antincendio per ESS indoor

## 5.4 Intervento sui sistemi di accumulo stazionario (ESS)

### 5.4.1 2019- SANDIA – ESS Safety Fact Sheet

Una scheda operativa di 4 pagine, reperibile all'indirizzo. [https://www.sandia.gov/ess-ssl/docs/safety/ESS Safety Fact Sheet Fire Service 6-15-16.pdf](https://www.sandia.gov/ess-ssl/docs/safety/ESS%20Safety%20Fact%20Sheet%20Fire%20Service%206-15-16.pdf) (Sito consultato 9 maggio 2019) (Figura 44).

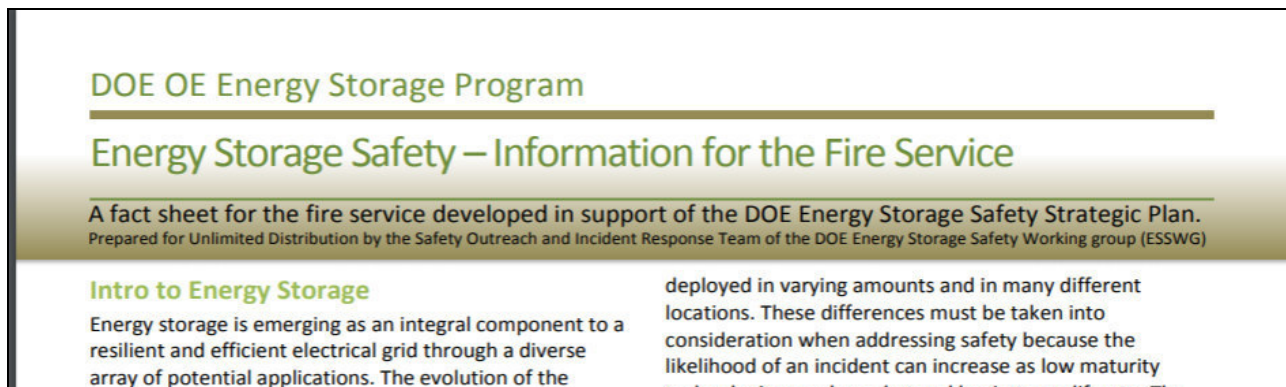


Figura 44

*A fact sheet for the fire service developed in support of the DOE Energy Storage Safety Strategic Plan. Prepared for Unlimited Distribution by the Safety Outreach and Incident Response Team of the DOE Energy Storage Safety Working group (ESSWG). A track record of safe operation will instill confidence in the community of stakeholders who are impacted by the technology. Efforts developing codes and standards, conducting research, and educating stakeholders help to build industry confidence in the safety, reliability, and dependability of grid energy storage technologies. The fire service and its work to ensure the safe deployment of emerging technologies is critical to realizing the benefits that energy storage can provide to electrical customers and the grid at large.*

### 5.4.2 2018, Australia: buona pratica realizzazione ESS e Safety Matrix

<http://www.batterysafetyguide.com.au/>

*The **Best Practice Guide: Battery Storage Equipment – Electrical Safety Requirements** (the guide) and the associated **Battery Storage Equipment – Risk Matrix** have been developed by industry, for industry. This best practice guide has been developed by industry associations involved in renewable energy battery storage equipment, with input from energy network operators, private certification bodies, and other independent stakeholder groups and individuals, as well as consumer and electrical safety regulators. The guide is intended to provide a minimum level of electrical safety criteria that could be applied to lithium-based battery energy storage equipment and is the result of extensive collaboration from system manufacturers, certifiers, safety regulators and industry bodies. Products that meet this guide show a consistent level of safety and should give customers confidence that these products can be safely installed and operated in or outside their house. Devices that comply with this guide will have protection against many hazards that may occur during normal or abnormal operation of this equipment. The guide applies to lithium-based battery storage equipment and includes suggested safety requirements for:*

**Battery module (BM)** is one or more cells linked together. May also have incorporated electronics for monitoring, charge management and/or protection. Battery modules are installed within pre-assembled battery system equipment or pre-assembled integrated battery energy storage system equipment or as part of a master/slave configuration of such equipment.

**Pre-assembled battery system (BS)** is a system comprising one or more cells, modules or battery system, and auxiliary supporting equipment such as a battery management system and protective devices and any other required components as determined by the equipment manufacturer. A BS system does not include a Power Conditioning Equipment (PCE). Pre-assembled battery system equipment comes in a dedicated enclosure. The equipment is a complete package for connection to a dc bus or dc input of a PCE.

**Pre-assembled integrated battery energy storage system (BESS)** is a battery energy storage system manufactured as a complete integrated package with the PCE, one or more cells, modules or battery system, protection devices, power conditioning equipment and any other required components as determined by the equipment manufacturer. Pre-assembled integrated battery energy storage system equipment is supplied in a dedicated enclosure. Integrated battery energy storage system equipment is a complete package that has ac output for connection to the electrical installation.

This guide covers battery storage equipment with a rated capacity of equal to or greater than 1kWh and up to and including 200kWh of energy storage capacity when measured at 0.1C.

Products can comply with this guide by one of four mandatory methods that are detailed in the guide. Each method has different primary and secondary safety standards as well as additional requirements that equipment must meet to be compliant.

Optional criteria for manufacturers and importers to show that they have processes and procedures in place that are over and above the current minimum requirements are also provided. This will help manufacturers and importers differentiate themselves from the competition and continue to improve the safety standards within the industry.

The guide will be reviewed on a regular basis to determine on-going suitability and relevance.

### 5.4.3 2018 - International Fire Code, capitolo 12

Il Capitolo 12 dell' International Fire Code, 2018, riguarda i sistemi di accumulo elettrico stazionari (Figura 45). Il Codice è disponibile a pagamento al seguente indirizzo:

<https://codes.iccsafe.org/content/IFC2018/CHAPTER-12-ENERGY-SYSTEMS> .

Una presentazione sommaria è quella fornita nell'articolo reperibile all'indirizzo:

<http://www.klausbruckner.com/blog/fire-codes-for-energy-storage-systems/print/> .



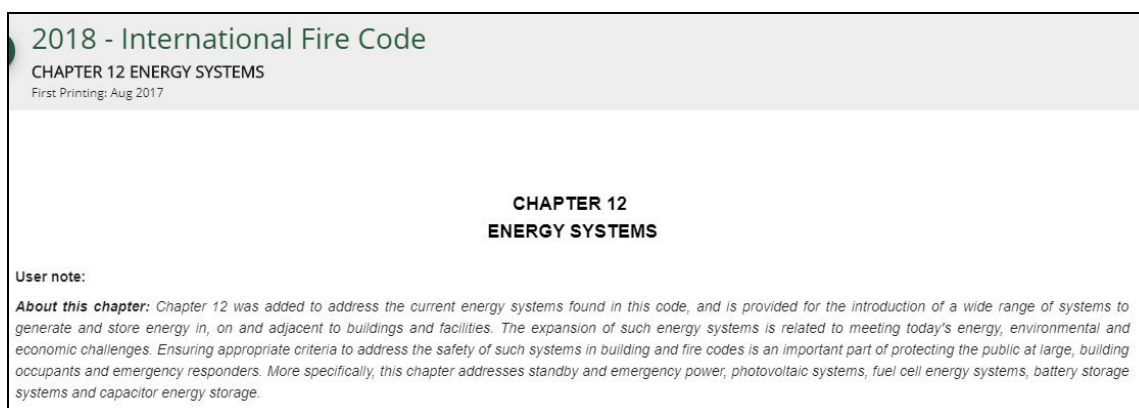


Figura 45

#### 5.4.4 2018 - Energy Storage System Guide for Compliance with Safety Codes and Standards

Si propongono qui due riferimenti: il primo realizzato dalla IEEE, è una presentazione delle norme applicabili: <http://sites.ieee.org/pes-essb/files/2018/02/2018-WM-Code-Compliance-for-Stationary-Battery-Systems.pptx>

Il secondo riferimento, è una vera e propria guida pubblicata dal DOE nel 2016, corredata da una checklist e da un elenco esaustivo delle norme applicabili negli Stati Uniti. È stata predisposta dai *Pacific Northwest National Laboratory e Sandia National Laboratories*: <https://energymaterials.pnnl.gov/pdf/PNNL-SA-118870.pdf>

#### 5.4.5 2017 - ESS - NFPA- FPRF: "Lithium-ion battery energy storage systems"

Alla pagina <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Resources/Research-Foundation/Current-projects/ProjectSummaryESSFirefighterSafety.ashx?la=en> è possibile scaricare il sommario di un progetto di ricerca multidisciplinare, finalizzato allo sviluppo linee guida operative standardizzate (*Standard Operating Guidelines (SOGs)*) per l'intervento di emergenza su sistemi di accumulo stazionario realizzati con batterie Litio-ione (*Li-BESS: Lithium batteries energy storage systems*). Il progetto è suddiviso in 5 fasi:

- Evaluate Li-BESS fire scenarios
- Small and medium-scale testing
- Large-scale testing
- Li-BESS Simulator and Testing (LSAT)
- Dissemination & Outreach

#### 5.4.6 2017 – FM Global "Property Loss Prevention Data Sheet for Energy Storage Systems"

FM Global ha prodotto, tra numerosi altre guide di rilievo (<https://www.fmglobal.com/research-and-resources/fm-global-data-sheets>), la Guida **DS 5-33** "Property Loss Prevention Data Sheet for Energy Storage Systems" dedicata alla prevenzione dei rischi nella realizzazione dei sistemi di accumulo stazionario (ESS), includendo: sistemi di protezione, procedure operative e di manutenzione ordinaria, pianificazione e gestione delle emergenze. La Guida **DS 5-33** può essere scaricata all'indirizzo di cui sopra, inserendo il numero nel motore di ricerca.

#### 5.4.7 2017 - DNV-GL: Considerations for ESS Fire Safety.[80]

Un Rapporto tecnico sui sistemi di stoccaggio dell'energia utilizzati all'interno di edifici. Si tratta di un manuale di 97 pagine, organizzato in 13 capitoli (Figura 46), destinato sia alla formazione delle squadre di emergenza che a quanti devono redigere procedure di gestione delle emergenze e progettazione locali di accumulo. Il rapporto presenta i principali risultati e raccomandazioni di un'attività sperimentale di caratterizzazione del fuoco e di test degli estinguenti condotta su batterie litio ione di vario tipo, e su altre tipologie di sistemi di accumulo. I test sono stati eseguiti a livello di scala crescente, sulle seguenti tipologie di accumulatori:

- Li-ione:
  - NCM (4 produttori)
  - LiFePO4 (2 produttori)
  - LTO
  - BM-LMP
- Batterie Piombo-acido
- Batterie Redox al Vanadio

Sono state effettuate prove su scala crescente, misura dell'HRR, determinazione delle principali sostanze gassose emesse nel corso di incendio, senza e con agenti estinguenti.

Gli estinguenti, di cui sono stati valutati l'efficacia e le quantità necessarie, sono i seguenti:

- Acqua
- Schiuma: *Pyrocoo*<sup>27</sup>
- *F-500*<sup>28</sup>
- *Fireice*<sup>29</sup>
- un aerosol

---

<sup>27</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=VWZ4pSXJV-o>

<sup>28</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=IDCVD-Dj8Q4>

<sup>29</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=G4qjr2EQ7BI>

| Table of Contents |  |
|-------------------|--|
| 1.0               | ACKNOWLEDGEMENTS.....1   |
| 2.0               | ACRONYMS.....2   |
| 3.0               | HOW TO USE THIS DOCUMENT.....3   |
| 4.0               | TESTING METHODOLOGY.....4  |
| 4.1               | Cell Testing.....4   |
| 4.2               | Module Testing.....5   |
| 5.0               | CONSIDERATIONS FOR SYSTEM TYPES AND LOCATIONS.....6  |
| 5.1               | Large versus Small Systems.....6   |
| 5.2               | Occupied versus Non-Occupied Spaces.....7  |
| 5.3               | Challenges with Proposed Codes.....8   |
| 6.0               | NEW FINDINGS AND ANSWERS TO FREQUENTLY ASKED QUESTIONS IN BATTERY SAFETY.....8                   |
| 7.0               | PRESENT DAY INDUSTRY-ACCEPTED SAFETY PRACTICES FOR ENERGY STORAGE PROJECTS.....31                |
| 8.0               | GUIDANCE FOR FIRST RESPONDERS.....34   |
| 8.1               | Considerations for Permitting and Siting.....34  |
| 8.2               | Considerations for Operations at the Scene.....35  |
| 8.3               | Guidance for Isolation and Overhaul.....38   |
| 9.0               | FINDINGS RELATED TO CODES AND TRAINING.....40  |
| 9.1               | Fire Rating.....40   |
| 9.2               | Extinguishing.....45   |
| 9.2.1             | Class D and Deep Seated Fires.....45   |
| 9.2.2             | Cooling and Collateral Damage.....45   |
| 9.3               | Locations and Ventilation.....48   |
| 9.3.1             | Outdoor Locations.....48   |
| 9.3.2             | Indoor Locations (Penthouse or Dedicated Room).....48  |
| 9.3.3             | GPM and CFM Requirement.....50   |
| 9.4               | Inspection and Monitoring.....55   |
| 9.5               | Clearances.....55  |
| 9.6               | Room Capacity Limitations.....56   |
| 9.7               | Project Development Considerations for Interaction with First Responders and AHJs.....57         |
| 9.8               | Considerations for Battery Chemistries that are not Li-ion.....58                                |
| 10.0              | SUMMARY OF MAIN FINDINGS AND RECOMMENDATIONS.....59  |
| 10.1              | Conclusions.....61   |
| 11.0              | REFERENCES.....62  |
| 12.0              | APPENDIX 1: REFERENCED DATA.....65   |
| 12.1              | Assumptions for Air Changes per Hour (ACH) Calculations.....65                                   |
| 12.2              | Water Mass Requirement Calculation.....68  |
| 12.2.1            | Sizing the Water Requirement to Peak HRR.....69  |
| 12.2.2            | Alternative Strategy for Sizing the Water Requirement: Preventing the Peak HRR Altogether.....69 |
| 12.2.3            | Additional Consideration: Heat of Vaporization.....70  |
| 12.2.4            | Summary of Water Extinguishing Calculations.....73   |
| 12.3              | Why Bowtie Models?.....74  |
| 12.4              | Heat Load from Li-ion Battery Failures.....76  |
| 13.0              | APPENDIX 3: TESTING PLAN AND APPROACH.....76   |
| 13.1              | Design of Experiments.....77   |
| 13.2              | Combustion Gas and Particulate Matter Analysis.....77  |
| 13.3              | Heat Release Rate.....78   |
| 13.4              | Procedure.....78   |
| 13.4.1            | Testing Procedure: Lithium Battery Gas Sampling, No Extinguishing.....79                         |
| 13.4.2            | Testing Procedure: Lithium Battery Gas Sampling With Extinguishing.....79                        |
| 13.4.3            | Testing Procedure: Flow and Lead Acid Battery Electrolyte (liquid).....80                        |
| 13.4.4            | Testing Procedure: Lead Acid Battery Lead (solid).....81   |
| 13.5              | Large Scale Burns.....84   |

Figura 46

#### 5.4.8 2011 – UL Report “Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project”.

In questo lavoro del 2011 [81] vengono presentati I risultati sperimentali relative alla identificazione dei pericoli e delle procedure nell’intervento di emergenza su impianti fotovoltaici. Si ritiene utile anche ai fini della gestione del rischio elettrico. Il Rapporto si può scaricare all’indirizzo: [https://www.ul.com/global/documents/offerings/industries/buildingmaterials/fireservice/PV-FF\\_SafetyFinalReport.pdf](https://www.ul.com/global/documents/offerings/industries/buildingmaterials/fireservice/PV-FF_SafetyFinalReport.pdf)

*This fire research project developed the empirical data that is needed to quantify the hazards associated with PV installations. This data provides the foundation to modify current or develop new firefighting practices to reduce firefighter death and injury. A functioning PV array was constructed at Underwriters Laboratories in Northbrook, IL to serve as a test fixture. The main test array consisted of 26 PV framed modules rated 230 W each (5980 W total rated power). Multiple experiments were conducted to investigate the efficacy of power isolation techniques and the potential hazard from contact of typical firefighter tools with live electrical PV components.*

*The results of these experiments provide a technical basis for the fire service to examine their equipment, tactics, standard operating procedures and training content. Several tactical considerations were developed utilizing the data from the experiments to provide specific examples of potential electrical shock hazard from PV installations during and after a fire event.*

## 6 Riferimenti bibliografici e collegamenti ipertestuali

1. [https://www.corriere.it/esteri/18\\_maggio\\_17/esplode-sigaretta-elettronica-trafigge-cranio-muore-38enne-da220aee-59b2-11e8-89bf-cebd5db44a24.shtml](https://www.corriere.it/esteri/18_maggio_17/esplode-sigaretta-elettronica-trafigge-cranio-muore-38enne-da220aee-59b2-11e8-89bf-cebd5db44a24.shtml)
2. <https://www.tuugo.it/CompanyProducts/opzione-batteria-al-litio-per-poltrone-relax/017999554579#!>;  
[http://www.nerini.it/meccaniche-e-meccanismi-relax/accessori-per-meccaniche-e-meccanismi/batteria-al-litio-2200-ma/?sef\\_rewrite=1&sl=it](http://www.nerini.it/meccaniche-e-meccanismi-relax/accessori-per-meccaniche-e-meccanismi/batteria-al-litio-2200-ma/?sef_rewrite=1&sl=it);  
<https://www.amazon.it/Batteria-Litio-Esterna-Ricaricabile-poltrone/dp/B079P7YC2N>
3. Lars Hollmotz cpcMomentum GmbH & Co.KG Germany Paper Number 13-0395 “SAFETY OF LITHIUM ION BATTERIES IN VEHICLES – STATE OF THE ART, RISKS AND TRENDS” 23rd International Technical Conference On the Enhanced Safety of Vehicles, Seoul, Korea May 27, 2013. <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/23/files/23ESV-000395.PDF>
4. <https://assicurazioni.segugio.it/news-assicurazioni/00020284-auto-elettriche-ecco-cosa-serve-per-incrementare-il-mercato.html>; <https://www.conte.it/rca-bollo-e-rifornimento-delle-auto-elettriche-conviene/>
5. Shiyu Yan: “The economic and environmental impacts of tax incentives for battery electric vehicles in Europe, Energy Policy”. Volume 123, 2018, Pages 53-63, ISSN 0301-4215. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.032>
6. Ning Wang, Linhao Tang, Wenjian Zhang, Jiahui Guo: “How to face the challenges caused by the abolishment of subsidies for electric vehicles in China?”. Energy, Volume 166, 2019, Pages 359-372, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.006>.
7. Cinzia Di Bari: “Incidenti di interesse per la elettromobilità: proposte di analisi”. Report Rds/PAR2017/254. Settembre 2018
8. [https://www.corriere.it/esteri/18\\_maggio\\_17/esplode-sigaretta-elettronica-trafigge-cranio-muore-38enne-da220aee-59b2-11e8-89bf-cebd5db44a24.shtml](https://www.corriere.it/esteri/18_maggio_17/esplode-sigaretta-elettronica-trafigge-cranio-muore-38enne-da220aee-59b2-11e8-89bf-cebd5db44a24.shtml)
9. U.S. Fire Administration: “Electronic Cigarette Fires and Explosions”. October 2014
10. Jamie Harshman e altri: “Burns associated with e cigarette batteries: A case series and literature review”. Canadian Journal of Emergency Medicine, 2017. <https://doi.org/10.1017/cem.2017.32>
11. <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/the-barpi/the-aria-database/?lang=en>
12. [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ash/ash\\_programs/hazmat/](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ash/ash_programs/hazmat/)
13. [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ash/ash\\_programs/hazmat/aircarrier\\_info/media/battery\\_incident\\_chart.pdf](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ash/ash_programs/hazmat/aircarrier_info/media/battery_incident_chart.pdf)
14. [https://ec.europa.eu/consumers/consumers\\_safety/safety\\_products/rapex/alerts/repository/content/pages/rapex/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/consumers/consumers_safety/safety_products/rapex/alerts/repository/content/pages/rapex/index_en.htm)
15. [https://ec.europa.eu/consumers/consumers\\_safety/safety\\_products/rapex/alerts/?event=SafeProductsOnline&lng=it](https://ec.europa.eu/consumers/consumers_safety/safety_products/rapex/alerts/?event=SafeProductsOnline&lng=it)
16. [https://ec.europa.eu/consumers/consumers\\_safety/safety\\_products/rapex/alerts/repository/content/pages/rapex/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/consumers/consumers_safety/safety_products/rapex/alerts/repository/content/pages/rapex/index_en.htm)
17. <https://globalrecalls.oecd.org/front/index.html#/recalls>
18. [https://ec.europa.eu/consumers/consumers\\_safety/safety\\_products/rapex/alerts/?event=SafeProductsOnline&lng=it](https://ec.europa.eu/consumers/consumers_safety/safety_products/rapex/alerts/?event=SafeProductsOnline&lng=it)

19. Paola Russo, Pierluigi Papillo: “La ricarica di veicoli elettrici: studio preliminare alla modellazione delle distanze di sicurezza “. Report RdS/PAR2016/241. Settembre 2017
20. M. Schiavetti, T. Pini, F. D’Errico, M. Carcassi: “STUDIO SULLA CARATTERIZZAZIONE DEI VARI LIVELLI DI PROTEZIONE DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE PER USO AUTOMOTIVE, MEDIANTE “LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA)””. Report RdS/PAR2016/242. Settembre 2017
21. <http://www.electricmotornews.com/veicoli-ecologici/automobili/tesla-automobili/corto-circuito-in-auto-incendia-una-tesla-model-s-in-norvegia>
22. <https://www.bike-eu.com/home/nieuws/2018/02/underrated-e-bike-battery-fire-hazards-call-for-attention-on-safe-storage-10132804>
23. <http://jimmymacontwowheels.com/battery-fires-create-concerns-for-every-electric-bike-owner/>
24. <https://lunacycle.com/luna-charge-safe-lithium-battery-storage-box/>
25. <https://www.electricbike.com/lithium-battery/>
26. <https://www.shine.cn/news/metro/1806216911/>
27. <http://www.sixthtone.com/news/1001569/china-to-roll-out-stricter-standards-for-electric-bikes>
28. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n1146402/n1146440/c6014873/content.htm>;
29. <http://www.e-vehicle1.com/a/biaozhun/2018/0127/49.html>
30. Linda Poon: “How China Took Charge of the Electric Bus Revolution”. Citylab. Maggio 2018 . <https://www.citylab.com/transportation/2018/05/how-china-charged-into-the-electric-bus-revolution/559571/>
31. Alex Gray: “China is adding a London-sized electric bus fleet every five weeks”. WeForum, 26 aprile 2018. <https://www.weforum.org/agenda/2018/04/china-is-adding-a-london-sized-electric-bus-fleet-every-five-weeks/>
32. Zhang Jianhua: “The safety of new energy electric vehicles with deep observation”. 12 luglio 2015. <https://kknews.cc/zh-mo/car/mxzoa6.html>
33. CarNewsChina.com. <https://youtu.be/W7ivtTwrXil>. 8 agosto 2017
34. Logan Goldie-Scot: “The Fire Risk of Batteries - A Delicate Balancing Act”. Bloomberg New Energy Finance. August 23, 2018
35. <https://www.wind-watch.org/news/2017/11/12/wind-power-backup-and-storage-batteries-explode-into-flames-and-send-a-toxic-cloud-over-the-city-of-brussels/>
36. <https://www.cnet.com/news/samsung-confirms-global-recall-replacement-galaxy-note-7-faulty-battery/>
37. Note 7 RECALL Battery Exploding EXPLAINED: <https://youtu.be/YOUUNsiMzn8>
38. <https://www.google.com/search?q=Electronic+Cigarette+Explosions+and+Fires%3A+The+2015+Experience&oq=Electronic+Cigarette+Explosions+and+Fires%3A+The+2015+Experience&aqs=chrome..69j57.558j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
39. Engelsman: “E-Cigarette Fire Risks and Reported Incidents”. Document ID: D15/9073, 2015. <https://www.icao.int/safety/dangerousgoods/dgpwg15/dgpwg.15.ip.004.2.en.app.pdf>.
40. U.S. Fire Administration, FEMA, U.S. Department of Homeland Security: “Electronic Cigarette Fires and Explosions in the United States 2009 – 2016”. Lawrence A. McKenna Jr. Research Group National Fire Data Center U.S. Fire Administration. July 2017.

[https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/electronic\\_cigarettes.pdf](https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/electronic_cigarettes.pdf)

41. NFPA, Fire Analysis and Research Division, Quincy, MA: "Electronic Cigarette Explosions and Fires: The 2015 Experience".  
<https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/US-Fire-Problem/Fire-causes/osecigarettes.ashx?la=en>
42. Barboza, D. "China's E-Cigarette Boom Lacks Oversight for Safety," The New York Times, December 13, 2014.  
<http://www.nytimes.com/2014/12/14/business/international/chinas-e-cigarette-boom-lacks-oversight-for-safety-.html? r=0>
43. S. Saxena, L. Kong and M. G. Pecht, "Exploding E-Cigarettes: A Battery Safety Issue," in IEEE Access, vol. 6, pp. 21442-21466, 2018. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2821142
44. Jacqueline Howard , Tina Burnside, CNN: "Florida man dies in e-cigarette explosion, police say". 15 maggio 2018. <https://edition.cnn.com/2018/05/15/health/electronic-cigarette-explosion-death-bn/index.html>
45. Harshman, J., Vojvodic, M., & Rogers, A. : "Burns associated with e-cigarette batteries: A case series and literature review". CJEM, 20(S2), S20-S28. 2018. doi:10.1017/cem.2017.32.
46. Scott B. Patterson, Allison R. Beckett, Alicia Lintner, Carly Leahey, Ashley Greer, Sidney B. Brevard, Jon D. Simmons, Steven A. Kahn: "A Novel Classification System for Injuries After Electronic Cigarette Explosions". Journal of Burn Care & Research, Volume 38, Issue 1, 1 January 2017, Pages 95–100, <https://doi.org/10.1097/BCR.0000000000000471>. <https://academic.oup.com/jbcr/article-abstract/38/1/e95/4568919?redirectedFrom=fulltext>
47. Christopher David Jones, Weiguang Ho, Eilidh Gunn, Daniel Widdowson, Hilal Bahia: "E-cigarette burn injuries: Comprehensive review and management guidelines proposal". Burns, 2018, ISSN 0305-4179. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2018.09.015>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305417918302791>
48. Peter J. Mankowski, Jonathan Kanevsky, Parseh Bakirtzian, Sabrina Cugno: "Cellular phone collateral damage: A review of burns associated with lithium battery powered mobile devices". Burns, Volume 42, Issue 4, 2016. Pages 61-64, ISSN 0305-4179. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2015.10.012>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305417915003228?via%3Dihub>
49. Cinzia Di Bari, con i contributi di: I. Morriello, V. Sglavo, A. Tatì (ENEA) & Michele Mazzaro, L. Bottà, M. Teoli (CNVVF): "TEST DI CARATTERIZZAZIONE E CALORIMETRIA A CONO CONDOTTI SU CELLE DI INTERESSE AUTOMOTIVE ". Report RdS/PAR2017/248. Settembre 2018.
50. <http://www.shippingbatteries.com/shipping-batteries-by-sea.html>
51. Sam Chambers: "Shipowners warned on risks of carrying lithium-ion batteries". 18 ottobre 2016. <https://splash247.com/shipowners-warned-risks-carrying-lithium-ion-batteries/>
52. TrasportoEuropa, Mercoledì 07 Marzo 2018 18:59
53. <https://splash247.com/post-honam-fire-maersk-rings-the-changes-on-stowing-dangerous-goods/>. 26 settembre 2018
55. [https://www.reddit.com/r/CatastrophicFailure/comments/83dksu/the\\_ulcs\\_maersk\\_hon\\_on\\_fire\\_in\\_the\\_arabian\\_sea/](https://www.reddit.com/r/CatastrophicFailure/comments/83dksu/the_ulcs_maersk_hon_on_fire_in_the_arabian_sea/)
55. <http://maritimebulletin.net/2017/11/13/explosion-and-fire-at-yantian-shenzhen-container-terminal/>
56. Diego Ricci, Capitano di Lungo Corso, porto di Brindisi: "Relazione e considerazioni sull'incendio avvenuto a bordo della M/n "Maersk Honam". Roma, 11 VI 18. Corrispondenza Privata. Pubblicazione autorizzata dall'autore

57. Markus Stengele, 2015
58. <https://www.governmenteuropa.eu/lithium-ion-battery-fire-vessel/88384/>
59. Logan Goldie-Scot: "The Fire Risk of Batteries - A Delicate Balancing Act". Bloomberg New Energy Finance. August 23, 2018
60. Andrea Denti: "SISTEMI ESS: PROBLEMATICHE DI SAFETY E ASPETTI CRITICI PER I FIRST RESPONDERS (EVOLUZIONE NORMATIVA, TECNICHE DI SPEGNIMENTO, FORMAZIONE DEGLI OPERATORI DEL CNVVF)". X Corso Vice Direttori del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco -Istituto Superiore Antincendi – Roma. Elaborato di fine corso discusso a Roma, 20 Settembre 2019
61. Välisalo, T. (2019). Firefighting in case of Li-Ion battery fire in underground conditions: Literature study. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Research Report, No. VTT-R-00066-19. Published: 25/01/2019. <https://cris.vtt.fi/en/publications/8e6af3f7-3ef0-434f-942d-0c3cdabd529f>
62. Lecocq, A., Bertana, M., Truchot, B. and Marlair, G. 2012. Comparison of the Fire consequences of an Electric Vehicle and an Internal Combustion Engine Vehicle. In: Proceedings from 2nd International Conference on Fires in Vehicles - **FIVE 2012**, Chicago, USA. SP Technical Research Institute of Sweden. pp. 183-193. ISBN 978-91-87017-54-4.  
<http://ri.divaportal.org/smash/get/diva2:962701/FULLTEXT01.pdf>
- 62 bis. Amandine Lecocq, Marie Bertana, Benjamin Truchot, Guy Marlair: "Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle". HAL Id: ineris-00973680 <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00973680>. Submitted on 4 Apr 2014
63. Watanabe et.al. 2012. Comparison of Fire Behaviors of an electric-battery powered vehicle and gasoline-powered vehicle in a real-scale fire tests. In: Proceedings from 2nd International Conference on Fires in Vehicles - **FIVE 2012**, Chicago, USA. SP Technical Research Institute of Sweden. pp. 195-205. ISBN 978-91-87017-54-4.  
<http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:962701/FULLTEXT01.pdf>
64. Larsson, F. et.al. 2017. Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. Scientific Reports volume 7, Article number: 10018. <https://www.nature.com/articles/s41598-017-09784-z>
65. Marcello Gatto: "Confronto sulle conseguenze di un incendio di un veicolo elettrico e di un veicolo con motore a combustione interna". Agosto 31, 2019, Antincendio-Italia.
66. Fredrik Larsson, Petra Andersson, Bengt-Erik Mellander: "ARE ELECTRIC VEHICLES SAFER THAN COMBUSTION ENGINE VEHICLES?". Systems Perspectives on Electromobility 2013, ISBN 978-91-980973-1-3. Capitolo 4
67. "Lithium Ion batteries and the fire problem" Comunicazione del 14 agosto 2019 da: Utkiken Fire and Rescue Intelligence, PerOla Malmquist, Fire Protection Engineer, Sweden a: EUROPEAN COMMISSION, DG FOR INTERNAL MARKET, INDUSTRY, ENTREPRENEURSHIP AND SMES, GEORGIOS KATSARAKIS
68. IATA: "Three Accidents Involving Lithium Batteries". ISBN 978-92-9229-410-6. © 2016 International Air Transport Association. All rights reserved. Montreal—Geneva
69. <http://www.vigilfuoco.it/asp/notizia.aspx?codnews=58768>
70. Marko Hassinen: "A strategy for fighting lithium-ion battery fires in an enclosure. Defensive with caution". 2018. [www.pelastusopisto.fi](http://www.pelastusopisto.fi) (per gentile concessione dell'autore)
- 70 bis. Giornale dei Pompieri Svizzeri, marzo 2019
71. Ing. J.H. van Peperzeel managing director Van Peperzeel B.V.: "Fire Extinguisher Solutions for Lithium and Li-ion Battery Fires".  
[https://www.automotivenl.com/images/Oktober\\_2017/Battery\\_Safety\\_Solutions\\_-](https://www.automotivenl.com/images/Oktober_2017/Battery_Safety_Solutions_-)

\_Johan\_van\_Peperzeel.pdf

72. Massachusetts Institute of Technology: “Lithium Ion Battery Safety Guidance”. Environmental Health and Safety office. March 2017.  
<https://ehs.mit.edu/site/sites/default/files/documents/Lithium%20Battery%20Safety%20Guidance.pdf>
73. MIT Electric Vehicle Team: “A Guide to Understanding Battery Specifications”. December 2008.  
[http://web.mit.edu/evt/summary\\_battery\\_specifications.pdf](http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf)
74. <http://www.hse.gov.uk/mvr/topics/electric-hybrid.htm> (Consultato il 9 maggio 2019)
75. Fire Protection Research Foundation report: “Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results”. Authors: R. Thomas Long Jr., Andrew F. Blum, Thomas J. Bress, and Benjamin R.T. Cotts - Exponent, Inc. - Date of issue: July 2013
76. NHTSA Interim Guidance for Electric and Hybrid-Electric Vehicles Equipped with High Voltage Batteries. DOT HS 811 574. January 2012.  
[https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/interimguide\\_electrichybridvehicles\\_012012\\_v3.pdf](https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/interimguide_electrichybridvehicles_012012_v3.pdf)
77. [https://www.sae.org/standards/content/j2990\\_201211/](https://www.sae.org/standards/content/j2990_201211/)
78. Fire Protection Research Foundation report: “Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results”. Authors: R. Thomas Long Jr., Andrew F. Blum, Thomas J. Bress, and Benjamin R.T. Cotts - Exponent, Inc. - Date of issue: July 2013 - **vedi rif. 75**
79. NFPA 855 – “Standard for the installation of Stationary Energy Storage System” - Edizione 2020. Emanato il **25 agosto 2019**. Copia riservata ll’intestatario
80. DET NORSE VERITAS (U.S.A.), INC. - Final Report: “ Considerations for ESS Fire Safety”. Consolidated Edison. New York, NY. Report No.: OAPUS301WIKO(PP151894), Rev. 3. January 18th, 2017.  
<https://www.nyserda.ny.gov/-/media/Files/Publications/Research/Energy-Storage/20170118-ConEd-NYSERDA-Battery-Testing-Report.pdf>
81. Backstrom, R. et al. “Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project.” Underwriters Laboratories, Northbrook, IL, November 29, 2011.  
[https://ulfirefightersafety.org/docs/PV-FF\\_SafetyFinalReport.pdf](https://ulfirefightersafety.org/docs/PV-FF_SafetyFinalReport.pdf)



## Appendice 5.A – Descrizioni dei media di alcuni casi incidente occorsi tra il 2018 e il 2019.

### 1. 5 luglio 2019 – cellulare esplode in un veicolo

<https://www.google.com/amp/s/kfor.com/2019/07/05/my-car-literally-burned-up-phone-battery-explodes-inside-womans-vehicle/amp/>

Accesso alla notizia del sito californiano, negato all'Italia.

### 2. 5 luglio 2019 - Hyundai Kona Electric in a Montreal garage

#### A. Fonte 1 - CBC News

Electric car catches fire and explodes in Île-Bizard garage  
CBC News · Posted: Jul 27, 2019 7:09 AM ET | Last Updated: July 27

<https://www.cbc.ca/news/canada/montreal/electric-car-catches-fire-and-explodes-in-île-bizard-garage-1.5227665>

*No one was injured and Montreal firefighters are investigating  
The explosion blew the front of the garage clean across the street. (Mathieu Daniel Wagner/Radio-Canada)  
Montreal firefighters are investigating after an electric car caught fire and exploded inside a residential garage in Île-Bizard on Friday.  
The explosion launched the garage door clean off and sent it flying across the street.  
Piero Cosentino saw dark clouds of smoke coming from his garage Friday afternoon.  
"As soon as I saw that, I immediately turned off the breaker," he told CBC.  
Cosentino's car, a Hyundai Kona, was on fire. He had just bought the vehicle in March.  
Firefighters were called to the scene around 1 p.m. and were able to put out the blaze. No one was injured.  
Still, Cosentino knows things could have been different.  
"If we were in front of the garage door, we could have been in the hospital," he said.  
Cosentino says the car wasn't charging — he insists it wasn't even plugged in.  
Electric cars are powered by lithium batteries and some can overheat in extreme temperatures.  
Louise Desrosiers, with Montreal's fire service, said that there didn't seem to be any other factors inside the garage that could have caused the explosion.*



The explosion blew the front of the garage clean across the street. (Mathieu Daniel Wagner/Radio-Canada)



Piero Cosentino only bought his electric Hyundai Kona in March. (CBC)



Piero Cosentino's car, a Hyundai Kona, caught fire and exploded around 1 p.m. on Friday. (Mathieu Daniel Wagner/Radio-Canada)

B. Fonte 2 - Articolo 31 luglio 2019

[https://www.greencarreports.com/news/1124288\\_hyundai-kona-electric-explodes-in-montreal-garage](https://www.greencarreports.com/news/1124288_hyundai-kona-electric-explodes-in-montreal-garage)

*The explosion of a 2019 Hyundai Kona Electric in a Montreal, Canada, garage Saturday literally blew the doors off.*

*The owner, Piero Cosantino, told the **CBC** the car was not even plugged in at the time of the explosion.*

*The report was the first in North America, and possibly the first report in the world, of a Kona Electric explosion or fire.*

*No one was injured, though the blast blew the doors off Cosantino's garage and caused extensive damage to his house.*

*About 30 firefighters responded, but no cause has yet been determined for the blaze.*

*"We are currently working with authorities and fire investigators in Montreal to understand the root cause of the incident, as this is not yet known," said Hyundai Canada spokesman Jean-Francois Taylor. "As is always the case, the safety of our customers is our first priority and we will push to fully understand the issue as quickly as possible."*

*There have been some reports of fires in the lithium-ion battery packs of Tesla vehicles, mostly Model S. A couple of early fires were traced to road debris, and Tesla updated the cars with reinforcements ahead of the battery pack.*

*The causes of more recent fires, including one in Hollywood director Michael Morris' Model S in Santa Monica, California last year, another in the Santa Cruz mountains in California after a flat tire, have not been released. Tesla announced that more recent fire in Hong Kong, when a Model S exploded in a parking garage, was traced to a faulty battery cell.*

*Automakers and scientists are developing new types of batteries such as solid-state lithium-ion technology<sup>30</sup> in part to reduce the volatility in lithium batteries. With safer batteries, engineers could pack more energy density into battery packs without worry about fires, and without additional fire suppression systems that add size, weight, and cost. So far no solid-state batteries have overcome all the obstacles to make it to market.*

*Without further investigation of the Montreal fire, it's impossible to tell if the Kona Electric is any more susceptible to fires than any other cars. Gasoline, however, is also very volatile, and is responsible for nearly 250,000 car fires a year in the U.S.*

*The Kona Electric was a finalist in Green Car Reports' Best Car to Buy competition for 2019.*

---

<sup>30</sup> [https://www.greencarreports.com/news/1116907\\_battery-tech-may-be-getting-a-big-solid-state-boost-soon](https://www.greencarreports.com/news/1116907_battery-tech-may-be-getting-a-big-solid-state-boost-soon)

3. 2 giugno 2019. Anversa – Belgio. Tesla prende fuoco durante la ricarica ad un supercharger Tesla

A. Fonte 1

<https://m.hln.be/in-de-buurt/antwerpen/brandende-tesla-moet-in-bad-om-vlammen-te-kunnen-doven~a112edf9/?referer=android-app%3A%2F%2Fcom.linkedin.android>

Brandende Tesla moet nachtje in bad om vlammen te doven

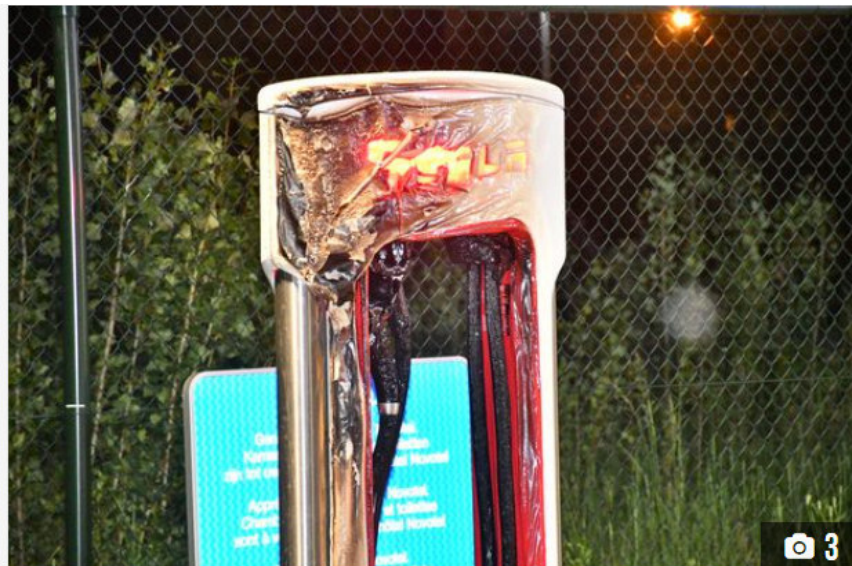
De Antwerpse brandweer heeft vannacht een opmerkelijke blustechniek moeten toepassen. Een brandende Tesla werd in een container met water gedompeld zodat het vuur gedoofd kon worden.

*De bestuurder had de Tesla geparkeerd aan een zogenaamde supercharger, een snel laadstation, aan het Novotel op Luithagen-Haven. Toen hij even later terugkwam, stonden zijn Tesla en de supercharger in lichterlaaie. Mogelijk was er voor het opladen al een technisch probleem. De brand werd even later door de brandweer geblust door de auto onder te dompelen in een container met water. Om er zeker van te zijn dat het vuur niet opnieuw opflakkerde, bleef de Tesla, of wat daarvan overbleef, de rest van de nacht in het water staan*

Burning Tesla ha bisogno di un bagno nella notte per spegnere le fiamme

I vigili del fuoco di Anversa hanno dovuto usare una notevole tecnica di estinzione ieri sera. Un Tesla in fiamme fu immerso in un contenitore con acqua in modo che il fuoco potesse essere spento.

L'autista aveva parcheggiato la Tesla su un cosiddetto compressore, una stazione di ricarica rapida, al Novotel di Luithagen-Haven. Quando è tornato un po' più tardi, la sua Tesla e il compressore sono stati accesi. Forse c'era un problema tecnico prima della ricarica. Qualche istante dopo, l'incendio fu estinto dai vigili del fuoco immergendo l'auto in un contenitore con acqua. Per assicurarsi che il fuoco non si riaccendesse, il Tesla, o ciò che ne rimaneva, rimaneva nell'acqua per il resto della notte



© Marc De Roeck - De supercharger smolt door de hitte.



B. Fonte 2

[https://auto.hwupgrade.it/news/tecnologia/tesla-model-s-in-fiamme-ad-una-stazione-supercharger-curioso-ed-efficace-l-intervento-dei-vigili-del-fuoco\\_82662.html](https://auto.hwupgrade.it/news/tecnologia/tesla-model-s-in-fiamme-ad-una-stazione-supercharger-curioso-ed-efficace-l-intervento-dei-vigili-del-fuoco_82662.html)

*Tesla vive un momento un po' caotico con notizie che, da un lato esaltano l'evoluzione della loro tecnologia, sistema Autopilot in primis, dall'altro mettono in evidenza ogni problema riscontrato sulle vetture.*

*L'ultimo fatto che qui vi riportiamo purtroppo rientra in quest'ultima categoria, si parla di una **Model S avvolta e consumata dalle fiamme** mentre era in fase di ricarica presso una stazione Supercharger ad **Anversa, in Belgio**.*

*Evento, se pur raro, non primo del suo genere, che ha richiesto l'intervento di una squadra dei vigili del fuoco locali i quali hanno messo in atto un particolare ed efficace **sistema di***

**contenimento delle fiamme sul lungo periodo:** infatti, come si può vedere dalle foto qui riportate, dopo avere estinto l'incendio, ciò che rimaneva dell'auto è stato calato all'interno di un "vascone" pieno d'acqua al fine di scongiurare un possibile reinnesco delle fiamme dovuto dalla composizione delle batterie, cosa già avvenuta in altre circostanze.

"L'incendio è stato estinto dai vigili del fuoco, immergendo poi l'auto in un contenitore con acqua. Per garantire che il fuoco non divampi di nuovo, la Tesla, o ciò che rimane di essa, è rimasto nell'acqua per il resto della notte"

Nella storia del marchio sono stati piuttosto pochi i casi di incendio in fase di ricarica, alcuni dei quali ritenuti evitabili e succeduti da un aggiornamento del software per implementarne ulteriormente le condizioni di sicurezza. Detto questo i modelli Tesla sono sicuramente sotto la lente di ingrandimento sotto molti punti di vista, e anche se per casi isolati, paragonabili anche alle statistiche di incendi dei veicoli a combustione, ci si aspetta una maggiore e continua attenzione per contenere eventi di questo tipo, con scopo ultimo quello di offrire veicoli più sicuri degli attuali non solo quando in viaggio in strada.

#### 4. 23 maggio 2019 – Roma, bus elettrico (Batteria Zebra)

A. 15 Febbraio 2018

Enertronica acquisisce Tecnobus ed entra nel settore della mobilità elettrica

*Enertronica acquisisce Tecnobus.* Enertronica entra nel settore della mobilità elettrica acquisendo marchio e knowhow, con un investimento di circa 800mila euro, di Tecnobus, tra i primi produttori storici di autobus elettrici, con 500 unità vendute in Italia, Canada, Francia, Germania e Portogallo. La nuova società, BusX, controllata all'85% da Enertronica, produrrà mini autobus elettrici e veicoli commerciali speciali, esclusivamente elettrici. Sono previsti investimenti per 5 milioni di euro nel triennio 2018-2021 con un primo restyling di prodotto che verrà proposto al mercato entro tre mesi dall'acquisizione (il closing sarà deliberato entro quattro mesi) e l'obiettivo di chiudere in utile già dal primo esercizio. "L'ingresso nel settore della mobilità elettrica era uno degli obiettivi insiti nell'ultimo piano industriale di Enertronica – ha detto l'Ad Vito Nardi – Nell'eMobility troviamo, infatti, alta tecnologia, innovazione ed infrastrutture: tutti aspetti che hanno determinato il successo di Enertronica negli anni scorsi e che concorreranno al successo di questa nuova avventura".

*Enertronica Spa* è una società quotata alla Borsa di Milano che opera nel settore dell'Energia. La mission è la creazione di valore per i propri azionisti operando con un approccio green, quindi ecosostenibile e moderno. Per ottenere questi risultati Enertronica basa tutta la sua attività su poche linee di sviluppo: internazionalizzazione e know how. Di fatto Enertronica è una piccola multinazionale presente nei principali mercati dove il settore delle energie rinnovabili è in crescita. Il tutto però senza dimenticare l'Italia dove si ha l'ambizione di operare nella nuova frontiera del risparmio energetico e della produzione distribuita dell'energia. Per tutti questi motivi ci definiamo una Smart Utility.

Enertronica è leader nel settore degli impianti fotovoltaici. Le tecnologie impiegate garantiscono risultati di eccellenza e i più alti tassi di rendimento del settore, comprovati da anni di esperienza e decine di impianti realizzati in Italia e nel mondo. In tale settore i prodotti di Enertronica variano dai **Sistemi di ancoraggio per impianti fotovoltaici a terra** ai **Sistemi di supporto per tetti piani, inclinati o a volte, dai Sistemi ad inseguimento monoassiali o biassiali alle Pensiline e le Serre fotovoltaiche.**

B. 17 aprile 2018

### Roma, bando per il revamping dei minibus elettrici Gulliver

<https://www.autobusweb.com/roma-bando-per-il-revamping-dei-minibus-elettrici-gulliver/>

*Sessanta minibus elettrici Gulliver in attesa di miracolo. Roma vuole rimettere in operazione i corti a zero emissioni abbandonati da anni nei depositi Atac. Sul piatto ci sono 10.823.000 euro, messi a disposizione da un bando pubblicato il 13 aprile e destinato ad aziende intenzionate a procedere al **revamping** e alla **manutenzione full service** dei veicoli. Circa 180mila euro per mezzo. Una vera scommessa! Che, se dovesse giungere a compimento (cosa tutt'altro che scontata...), potrebbe fare scuola in tempi di transizione a una futura **mobilità urbana elettrica** in cui i mezzi corti potrebbero, secondo più d'un esperto, tornare ad avere un ruolo di rispetto.*



#### L'elettrico immaturo...

*La tecnologia dell'autobus elettrico ha raggiunto di recente standard soddisfacenti di maturazione. Anche se, di fatto, saranno i prossimi 2-3 anni (almeno) a dimostrarlo (clicca [QUI](#) per un riepilogo esauriente degli sviluppi e della diffusione degli autobus elettrici in Europa ed Italia). In ogni caso, è un dato di fatto il numero di progetti elettrici, con autobus corti, lanciati negli ultimi dieci anni in diverse città italiane e poi conclusi con mezzi abbandonati nei depositi. Roma non fa eccezione: sono ben 60 i minibus che da anni giacciono inutilizzati nel **deposito Atac di Trastevere**. Ora la giunta ha pubblicato un bando per il servizio di manutenzione full service e revamping di 60 minibus elettrici per un importo di oltre 10 milioni di euro. Il modello in questione è il Gulliver ancora prodotto da **Tecnobus**, azienda peraltro recentemente acquisita da **Enertronica** e al centro di importanti progetti di rilancio. Al tempo erano stati pagati 250mila euro ciascuno*

#### La giunta punta sui Gulliver elettrici

*L'annuncio è arrivato dallo stesso sindaco Virginia **Raggi**, a margine del gran premio romano di Formula E tenutosi sabato scorso, grande occasione di popolarità (e marketing) per i veicoli elettrici. «Sessanta minibus elettrici, fermi da anni nel deposito di Atac a Trastevere,*

torneranno al servizio dei cittadini. Puntiamo a recuperarli e a rimmetterli in circolazione nel più breve tempo possibile per dare nuovi collegamenti alla città». «Questi minibus – ha aggiunto l'assessore alla Città in movimento, **Linda Meleo** – erano utilizzati per percorrere le vie del centro storico. Ora attendiamo i tempi per espletare la gara. Intenzione è di ripristinare un servizio che negli anni si è interrotto. Puntando a migliorarlo e a renderlo più capillare»

C. 18 dicembre 2018

### **Atac, tornano i bus elettrici: i primi mezzi entro la primavera del 2019 Il prototipo di 'Gulliver' è stato presentato questa mattina alla presenza della sindaca**

<https://www.romatoday.it/politica/atac-bus-elettrici.html>

*Atac, tornano i bus elettrici: i primi mezzi entro la primavera del 2019*

”  
li autobus elettrici tornano nella **Capitale**. Il servizio, che era stato interrotto nell'ottobre del 2017, tornerà in funzione dalla **primavera del 2019** sulle quattro linee 'storiche': 116, 117, 119 e 125. Ad aprile verrà riattivata una prima linea ed entro l'estate - quando saranno pronti i primi 25 bus - anche una seconda, con la flotta al completo per il 2020. L'annuncio è scattato questa mattina presso la sede di Atac in via Prenestina nel corso di una conferenza stampa alla presenza della sindaca **Virginia Raggi**, dell'assessora alla Mobilità, **Linda Meleo**, e del presidente e amministratore delegato della municipalizzata, **Paolo Simioni**.

60 minibus Gulliver, '**100 per cento elettrici**', frutto di un revamping a seguito di gara aggiudicata nel luglio scorso. L'accordo quadro per il revamping dei 60 veicoli, compreso il costo del full service manutentivo per 6 anni, ha un valore di 7,1 milioni di euro. È prevista inoltre la possibilità di effettuare un ulteriore acquisto di nuove batterie per un valore complessivo aggiuntivo di 2 milioni.

I mesi precedenti alla riattivazione della **prima linea**, prevista per aprile, serviranno per svolgere i necessari collaudi e le prove tecniche, che inizieranno proprio con il prototipo presentato oggi e che verrà testato nelle prossime settimane. L'intervento in essere prevede il revamping di un massimo di 60 vetture entro il 2020.

"Finalmente tornano i minibus elettrici a Roma. Abbiamo lavorato tanto ed è una scommessa che abbiamo vinto" ha commentato **Raggi**. "Roma aveva una piccola flotta di 60 minibus fino a qualche anno fa, poi è scaduto il contratto e Atac ha internalizzato la manutenzione ma non è riuscita a rimmetterli in strada. L'azienda ha scommesso insieme a noi sulla possibilità di risistemare i minibus".

In merito alla situazione di Atac, ha sottolineato la sindaca, "abbiamo ripreso l'azienda in condizioni critiche e i risultati confermano che abbiamo fatto la scelta giusta. Ci vuole tempo, abbiamo deciso di prenderci il tempo necessario e questi step dimostrano che si può fare: invito tutti a dare credito a questa azienda che ce la sta mettendo tutta e può davvero diventare il fiore all'occhiello di Roma".

Per **Simioni** "il prototipo 100% elettrico che presentiamo oggi è un simbolo visibile dell'impegno straordinario che abbiamo messo in campo in questi mesi per riportare Atac alla normalità. Non è infatti normale che un'azienda debba interrompere un servizio, come purtroppo è successo con le linee coperte con minibus elettrici, perchè non ha più a disposizione le vetture necessarie per svolgerlo. Questa anomalia è stata sanata. E' una vittoria per Atac, che prosegue il suo cammino verso il risanamento".

Presente anche l'assessore alla Mobilità di Roma Capitale, **Linda Meleo**: "Con il rilancio di un servizio a emissioni zero nel Centro storico della Capitale non solo confermiamo il nostro impegno a favore della mobilità elettrica e sostenibile, ma diamo un contributo concreto al miglioramento del trasporto pubblico di superficie. Vorrei ricordare che nei prossimi mesi



arriveranno anche i primi 227 nuovi autobus acquistati tramite gara Consip", ha concluso Meleo.

In merito alla gara Simioni ha spiegato: "Ci sono segnali positivi. A fine novembre si è chiusa la procedura nei confronti dell'azienda. Dal punto di vista tecnico, una squadra Atac è stata a **Bologna** la scorsa settimana per incontrare Industria Italiana Autobus (che ha da poco cambiato gestione, ndr) e sono stati informati che hanno iniziato a emettere ordini per attivare la filiera produttiva che tra poco potrà iniziare. È un segnale positivo, ricordando che l'impegno da contratto è di sei mesi. Procederemo al monitoraggio della fornitura, mi impegno a farlo in modo che non possano esserci sorprese nella consegna degli autobus".



D. 19 dicembre 2018

<https://www.autobusweb.com/minibus-elettrici-atac-post-revamping-presentato-il-primo-prototipo/>

Minibus elettrici Atac post revamping, presentato il primo prototipo

*Missione (quasi) compiuta. Per adesso, palcoscenico mediatico guadagnato. Il primo prototipo di Gulliver "revampizzato" è assurto nei giorni scorsi agli onori delle cronache. Si tratta del primo frutto del bando lanciato dall'amministrazione di Roma nell'aprile 2018 e volto a trovare un'azienda in grado di provvedere al revamping e manutenzione full service (per sei anni) di 60 minibus elettrici Gulliver da tempo abbandonati nei depositi.*

Un accordo quadro da 7 milioni

*L'accordo quadro è di poco più di 7 milioni di euro. È prevista inoltre la possibilità di effettuare un ulteriore acquisto di nuove batterie per un valore complessivo aggiuntivo di 2 milioni. Al centro dell'attenzione, i minibus Gulliver prodotto da Tecnobus (nome completo, secondo il sito Odissea quotidiana: **Tecnobus Gulliver U520 ESP New**) e pagati, al tempo dell'acquisto (correva l'anno 2010), **circa 250mila euro ciascuno**. Le prime 25 vetture, secondo gli annunci di Raggi e Meleo, saranno consegnate entro l'estate 2019. Già da aprile dovrebbe essere avviata una linea interamente servita con i mini elettrici.*

Il ritorno degli elettrici a Roma

*“Finalmente tornano i minibus elettrici a Roma – così la sindaca Virginia Raggi -. Abbiamo lavorato tanto ed è una scommessa che abbiamo vinto. Roma aveva una piccola flotta di 60 minibus fino a qualche anno fa, poi è scaduto il contratto e Atac ha internalizzato la manutenzione ma non è riuscita a rimmetterli in strada. L’azienda ha scommesso insieme a noi sulla possibilità di risistemare i minibus”.*

E. 6 aprile 2019

**il sindaco di Roma, Virginia Raggi, dichiarava: sono pronti i bus elettrici:**

[https://tg24.sky.it/roma/2019/04/06/roma-raggi-minibus-elettrici.html?gs\\_ref=ZxviqqeKca-Email&utm\\_source=Email&utm\\_medium=ShareButton&utm\\_campaign=GetSocial& !](https://tg24.sky.it/roma/2019/04/06/roma-raggi-minibus-elettrici.html?gs_ref=ZxviqqeKca-Email&utm_source=Email&utm_medium=ShareButton&utm_campaign=GetSocial& !)

*La sindaca della Capitale annuncia tramite Facebook l'arrivo dei nuovi veicoli, recuperati dopo essere rimasti per anni nei depositi Atac*

*"È arrivato al deposito Atac di Prenestina e presto lo vedremo per le strade della nostra città. In queste immagini vi mostro il primo minibus elettrico completamente rinnovato che tornerà a circolare nel centro di Roma, al servizio di cittadini e turisti". Lo annuncia su Facebook la sindaca di Roma Virginia Raggi. "Il mezzo, dopo i primi test in deposito, è pronto per effettuare le prime prove su strada. Ricordo che la prima linea entrerà in servizio a breve, ed entro l'estate partirà anche la seconda. Nostro obiettivo è il pieno recupero di 60 mezzi entro il 2020. Grazie a una procedura aperta e trasparente lo scorso anno abbiamo bandito la gara e affidato i lavori per il completo recupero e manutenzione dei minibus, mezzi abbandonati a prender polvere nel deposito di Atac a Trastevere. Abbiamo sbloccato una situazione ferma da anni. Vetture piccole e agevoli, a emissioni zero, grazie alle quali rilanciamo un servizio importante, con una particolare attenzione alla mobilità sostenibile e all'elettrico. Il recupero di questi mezzi va ad aggiungersi alle attività promosse da Atac e agli investimenti messi in campo da quest'amministrazione per offrire alla città un servizio di trasporto pubblico efficiente e capillare", conclude.*

#### **La manutenzione ordinaria all'Eur**

*Sempre sul suo profilo Facebook, la prima cittadina annuncia che "sono iniziati i lavori di manutenzione ordinaria in viale Europa, nel quartiere Eur, a sud della città. Si tratta di un intervento che riguarda il rifacimento del tappetino d'usura che sarà eseguito su un totale di 17.400 mq di manto stradale. Nel tratto tra via della Tecnica e via Cristoforo Colombo è stata realizzata anche la segnaletica orizzontale in termocolato plastico, un prodotto che garantisce una maggiore resistenza al passaggio dei pneumatici". "Voglio ricordare che le strade dell'Eur – aggiunge la sindaca - sono in manutenzione del Dipartimento SIMU (Lavori Pubblici), che da sempre dedica al quartiere uno specifico lotto della gara di appalto per la manutenzione ordinaria, intervenendo soprattutto nelle strade di transito del trasporto pubblico e maggiormente frequentate dai cittadini. Continua così l'operazione #StradeNuove con l'obiettivo di rendere le nostre strade più sicure e migliorare la viabilità nella nostra città", conclude.*

F. 11 maggio 2019

**tornano...dopo il revamping con batterie ZEBRA**

<http://www.metroxroma.it/2019/05/tornano-minibus-bella-storia-revamping/>



### **Tornano i Minibus: una bella storia di revamping**

*Lunedì tornerà in esercizio il primo bus elettrico “revampizzato” da Atac. Un fatto di per sé non eccezionale, ma che racconta come il revamping possa essere un’ottima procedura di recupero di mezzi a fine vita tecnica. Un’azione che potrebbe essere replicata, a nostro parere, anche sui treni MB100/300 della Linea B.*

#### **COS’È IL REVAMPING**

*Il revamping è la **ristrutturazione integrale di una macchina**, solitamente un treno od una macchina industriale, effettuata **allo scopo di allungarne la vita tecnica**. La traduzione più corretta è “ricondizionamento”, anche se in italiano il termine è utilizzato principalmente nel campo dell’informatica (“Telefono ricondizionato”, “PC ricondizionato”, ecc.).*

*Questa procedura rientra nell’ambito della **manutenzione migliorativa**, ovvero quella forma di manutenzione volta ad implementare le caratteristiche tecniche di una macchina. Si faccia attenzione che la manutenzione migliorativa è ben diversa non solo dalla manutenzione a guasto, che interviene in caso di una rottura, ma è diversa anche dalla manutenzione preventiva, che concorre semplicemente a mantenere il veicolo in condizione di efficienza, evitando i guasti.*

*Quindi **il revamping non è una semplice “rimessa a nuovo”**, cioè l’azione di riportare all’efficienza iniziale, **ma è un vero e proprio potenziamento** che porta la macchina ad essere migliore di quando era stata acquistata.*

#### **I MINIBUS REVAMPIZZATI**

*Oggetto del revamping, in questo caso, sono i minibus Gulliver LR U520 ESP. **I mezzi sono stati introdotti a partire dal 2008**, andando progressivamente a sostituire i precedenti minibus vecchi di 10 anni, di medesima fabbricazione. I vecchi mezzi montavano batterie al Piombo-Acido, al contrario i nuovi disponevano di batterie “Zebra”, note anche come batterie al Sale. Purtroppo, oggi come allora, **gli elementi più critici dei mezzi di trasporto elettrici a batterie sono proprio le batterie.***

*Se i vecchi Gulliver soffrivano principalmente di fenomeni di solfatazione, che riducevano l’autonomia dei mezzi, i nuovi per mantenere in efficienza le batterie erano costretti a tenerle a temperature alte e costanti. Questo generava non poche difficoltà in caso di fermi prolungati in assenza del collegamento alla rete elettrica, tanto che progressivamente **i mezzi sono stati accantonati** mano a mano che le batterie hanno smesso di essere funzionanti. **L’ultimo si è spento a settembre 2016.***

Ma nei primi mesi del 2018 ATAC ha bandito una gara da 10 milioni per 6 anni di manutenzione full-service e la revampizzazione della flotta di minibus, richiedendo il rifacimento dei telai, il restyling e la sostituzione delle batterie.

È grazie a questo bando che lunedì 13 maggio verrà riattivata la linea 119.

Si noti che il revamping renderà disponibile una flotta di 60 minibus da 30 posti al costo una tantum di appena 60.000€ a mezzo a cui si aggiungono 10.000€ l'anno, sempre a mezzo, per la manutenzione full-service della durata di 6 anni. Considerando anche l'eventuale e prevista seconda sostituzione delle batterie, e quindi il valore integrale dell'appalto, si tratta di circa 28.000€ l'anno a mezzo.

Per fare un paragone, si pensi che gli Indcar Mobi che ATAC ha recentemente affittato, cioè i bus corti da 40 posti e di colore bianco che si vedono girare da qualche tempo a questa parte, hanno un costo di affitto con manutenzione inclusa di 50.000€ l'anno per veicolo.

IL REVAMPING DEI TRENI DELLA METRO B

Ma non tutti i revamping finiscono bene. È il caso, questo, del revamping dei treni della Linea B. Nel novembre 2010 infatti è entrato in esercizio il primo e purtroppo unico convoglio MB100 totalmente revisionato e "revampizzato". Di questo treno, oggi, non si ha più traccia.



Questo riammodernamento nel ben più ampio programma di *Revisione Generale e Revamping di tutti i 31 rotabili Ansaldo della serie MB100/300 (di cui parliamo in questo articolo)*, concepito nel lontano 2004. Se associato all'acquisto di ulteriori treni, il piano avrebbe dovuto portare alla fine del 2013 a disporre di un parco rotabile adeguato alle necessità di esercizio programmate:

30 stazioni  
23 km  
40 treni in esercizio  
**46 treni complessivi**



Il tutto con costi ragionevoli, poiché le spese prospettate da Atac all'epoca (Del. C.C. 34/2006) e rivalutate nel 2015 risultano, per una singola motrice, pari a:

Revisione Generale 138.000 €  
Revamping 184.000 €  
**TOTALE 322.000 €**



**Intero convoglio 1.932.000 €**

*Meno di 2 milioni di euro a fronte dei circa 8 milioni per i nuovi treni CAF in circolazione. Oltretutto, come scrivemmo già alcuni anni fa, nell'ambito del revamping "sarebbe interessante prendere in considerazione anche la possibilità di rendere le carrozze intercomunicanti. Intervento sicuramente non indispensabile ma che contribuirebbe a rendere ancora più confortevoli gli spazi e a rendere il prodotto quasi totalmente sovrapponibile" ai nuovi modelli.*

*Inoltre, se si adeguasse la linea B all'esercizio anche solo parziale con treni da 150m, ovvero la lunghezza completa delle banchine delle stazioni, si potrebbe pensare di allungare alcuni convogli con carrozze provenienti da gruppi non più efficienti, **immettendo in linea mezzi da 1600 posti**, 400 posti in più della configurazione attuale.*

*Sfruttare al massimo il materiale esistente permetterebbe, in ultimo, di concentrare le risorse su problemi manutentivi e upgrade tecnologici più rilevanti.*

*Quindi, stante almeno per ora il positivo andamento dei Minibus, **perché non riprendere il tema della revampizzazione dei treni della Linea B?***

G. L'incidente: 29 maggio 2019 – Fonte 1

<https://tg24.sky.it/roma/2019/05/23/roma-incendio-bus-via-sistina-chiusa.html>

*A quanto riferito dai pompieri si tratta di un mezzo Atac a energia elettrica. Dalle prime informazioni sembra che l'autista abbia fatto scendere i passeggeri. Non risultano esserci feriti. Un tratto di via Sistina è stato chiuso al traffico*

*Un minibus Atac è andato a fuoco stamattina in via Sistina, nel centro storico di Roma. E' accaduto intorno alle 7.30 di oggi, giovedì 23 maggio. Sul posto sono intervenuti vigili del fuoco e polizia locale. A prendere fuoco, riferiscono i vigili, è stata la parte posteriore di un bus elettrico. I pm di Roma apriranno un fascicolo di indagine e il reato ipotizzato è di incendio colposo. Non è escluso che il procedimento finirà in quello già avviato da mesi a piazzale Clodio e che riguarda i vari episodi di incendi a bus della municipalizzata dei trasporti avvenuti nella Capitale negli ultimi mesi.*

#### **L'intervento dei vigili del fuoco**

*Dalle prime informazioni sembra che l'autista abbia fatto scendere dal mezzo i passeggeri, spaventati da quanto accaduto ma, a quanto risulta al momento, illesi. I vigili del fuoco hanno prontamente spento l'incendio per evitare che si propagasse a tutto il bus, disattivato l'impianto di forza motrice e messo in sicurezza l'autobus. Un tratto di via Sistina, da via Crispi a Trinità dei Monti, è stato chiuso al traffico dalla polizia locale.*

#### **La manutenzione dei bus**

*La nuova linea era entrata in servizio da poco, ovvero da lunedì 13 maggio, per collegare piazza Venezia a piazza del Popolo. I minibus elettrici, prima di essere rimessi in circolazione, erano stati rinnovati con un'operazione chiamata 'revamping', con la sostituzione anche delle batterie.*

#### **La nota di Atac: "Casi dimezzati"**

*"Intorno alle 7.30, per ragioni ancora da accertare, si è sviluppato un principio di incendio su un bus della linea 119 in servizio lungo via Sistina. L'autista è intervenuto con l'estintore e sono stati allertati i vigili del fuoco che hanno completato l'intervento. Nessun problema per le persone. La vettura non ha subito danni gravi. Sarà riparata e tornerà in servizio". Lo comunica, in una nota, l'Atac. Dall'inizio del 2019 ad oggi si contano 10 principi di incendio per i bus in circolazione a Roma. Stando alle cifre fornite dall'azienda, nello stesso periodo del 2018 (da inizio gennaio al 23 maggio) erano stati 20. Tali casi "sono stati dimezzati grazie al lavoro e agli*

*investimenti fatti in manutenzioni malgrado il parco sia più vecchio di un anno", sottolineano dall'Atac.*

H. L'incidente: 29 maggio 2019 – Fonte 2

[https://www.ilmessaggero.it/roma/news/autobus\\_via\\_sistina\\_incendio\\_notizie-4510274.html](https://www.ilmessaggero.it/roma/news/autobus_via_sistina_incendio_notizie-4510274.html)



*Ancora **fiamme** su un **bus Ataca Roma**. Stavolta il mezzo interessato è uno dei **minibus elettrici** appena tornati in servizio nelle strade del centro storico. Intorno alle 7.30, per ragioni ancora da accertare, si è sviluppato un principio di incendio su un minibus della linea 119, lungo **via Sistina**. L'autista è intervenuto con l'estintore e sono stati allertati i vigili del fuoco che hanno completato l'intervento di spegnimento. Nessun problema per le persone. La vettura non ha subito danni gravi. Sarà riparata e tornerà in servizio.*

I. L'incidente: 29 maggio 2019 – Fonte 3

<https://roma.corriere.it/>

### **Roma, bus elettrico in fiamme in centro**

Publicato il: 23/05/2019 09:03

*Un autobus elettrico della linea 119 dell'Atac ha preso fuoco questa mattina intorno alle 7.30 in via Sistina, a Roma, all'altezza del civico 83. Sul posto è intervenuta subito una squadra di vigili del fuoco del comando di Roma che ha spento le fiamme. Tutti i passeggeri sono stati fatti scendere e non risultano feriti. Via Sistina è stata chiusa al traffico durante le operazioni da via Crispi a piazza Trinità dei Monti dalla polizia locale del gruppo Trevi.*

### **5. 13 maggio 2019,-Hoverboard**

<https://www.chemstore.co.uk/hoverboard-fire-highlights-dangers-of-lithium-ion-batteries/> (03062019)

*A fire involving a popular electronic toy that put a number of children's lives in danger has once again highlighted the dangers of lithium-ion batteries.*

*Shortly after 8pm on Monday 13 May a two-wheeled self-balancing electronic scooter, which are commonly known as hoverboards, exploded as it was being charged in the living room of the family's home in Masefield Avenue.*

*Five children, aged between five and 10, were all asleep upstairs at the time.*

*Fortunately dad Robert Jones, 33, was awake and heard the hoverboard crackling and then saw it explode as he went into the living room to investigate.*

*The explosion activated the smoke alarms in the house and also alerted neighbours to the resulting fire.*

*The neighbours helped Robert wake up the children and carry them outside to safety.*

*No-one required medical attention but the fire caused significant damage to the living room, particularly the floor, walls and dining table.*

*Mum Claire Bevan, 30, said: "I was not at home at the time of the fire. I returned to find fire engines outside my home and that my sleeping children had been rescued by my partner Robert and neighbours.*

*"As a family we are aware of the possibility of hoverboards being charged causing a fire.*

*"We bought it from a reputable retailer and it was only left charging for 20 minutes.*

*"It just goes to show that frightening things you read about in the news can happen to you.*

*"The incident has left the whole family extremely shaken up and emotionally scarred.*

*"But the incident could have been far worse. We would never have left the hoverboard charging whilst we went to bed as we are aware of the dangers of doing that. I dread to think what the consequences could have been if we weren't so knowledgeable about hoverboards and if the fire had started later at night.*

*"A charging hoverboard exploding like that could have killed another family, especially if they didn't have smoke alarms.*

*An investigation has been carried out to establish the cause of the fire.*

*It is believed to have been caused by an electrical fault.*

*Widnes Fire Station Manager Stuart Devereux said: "Hoverboards have become extremely popular among children in recent years and there have been instances of the electric scooters hitting the headlines nationally and internationally for causing fires.*

*"There are three main causes of fires involving lithium ion batteries such as those used in hoverboards: the wrong charger being used, mechanical damage to the battery and a manufacturing defect.*

*"The lithium ion batteries used in hoverboards and other rechargeable items contain chemicals which are flammable.*

*In the event of a short circuit or an over-charge situation, they can heat up very quickly and burst into flames. The resulting fire, although relatively small, can be very intense and will produce dense smoke."*

*Chemstore UK Managing Director Mike Brodie comments: "This incident goes to show yet again the unpredictable nature of lithium-ion batteries.*

*"Thankfully in this incident everyone was okay but it is a reminder of the potential devastation the technology can cause.*

*"Stories such as this one often drive an increase in enquires to Chemstore UK from companies concerned about the hazards associated with handling and storing lithium-ion batteries in their workplaces.*

*"Unfortunately we find that people are often using inadequate storage systems and have frequently had poor advice.*

*"As hazardous materials experts the Chemstore team has a wealth of experience in this area and we have even developed a dedicated storage solution, the Electrovault, designed specifically for the safe storage of lithium-ion batteries."*

## An 'orange flash', then Melanie's house burnt down

By Caitlin Fitzsimmons

April 28, 2019 — 12.00am

[https://www.smh.com.au/business/consumer-affairs/an-orange-flash-then-melanie-s-house-burnt-down-20190426-p51hj2.html?fbclid=IwAR0PjRm\\_1BNnD74PwWVSrpD32m7RxU-59DW0Ou4J1JA20TeOHZSqxdWLUZ8](https://www.smh.com.au/business/consumer-affairs/an-orange-flash-then-melanie-s-house-burnt-down-20190426-p51hj2.html?fbclid=IwAR0PjRm_1BNnD74PwWVSrpD32m7RxU-59DW0Ou4J1JA20TeOHZSqxdWLUZ8)

*Melanie Sandford was sitting in bed on a rainy Sunday morning listening to a podcast about enlightenment when she heard a “huge bang”.*

*“A nanosecond later, there was an orange flash that ripped down past the bedroom door,” Ms Sandford said.*

*She jumped out of bed and looked down the short hallway to the kitchen, where her electronic bicycle battery had been charging on the floor overnight. She’d walked past it just 10 minutes earlier when she went to the toilet.*

*“The battery ... was ablaze and the two wooden bench stools were ablaze and the curtain was ablaze. It was a hot fire - some fires you might run towards with a blanket but this was not that kind of fire.”*

*The 63-year-old, who lives alone in Leichhardt, ran outside to turn off the power, then back in to grab her computer hard drives and an old dress from her bedroom.*

*With her phone inside the house, she ran next door and asked her neighbour to call the fire brigade.*

*The firefighters arrived promptly - “I’m told it was four minutes but it felt like three hours” - but it was too late to save her home. The fire gutted the house and caused tens of thousands of dollars damage to the property next door.*

*All signs point to the lithium ion battery of Ms Sandford’s beloved eZee Sprint e-bike as the culprit.*

*Inspector Winston Pisani of the Leichhardt Area Command told The Sun-Herald the police had referred the event to the NSW Coroner to establish the cause of the fire, adding that the signs were “obviously all pointing to something”.*

*The Coroner investigates fires when property damage is over a certain amount, even without loss of life.*

*The exclusive importer of eZee e-bikes in Australia and New Zealand is Glow Worm Bicycles, which has a shop in Marrickville and also supplies other bike shops. Owner Maurice Wells said the business had registered a recall with the Australian Competition and Consumer Commission.*

*“I don’t have any doubts about what happened,” Mr Wells said. “It’s a known issue with lithium batteries though it’s unprecedented for us for one of our customers to lose their house - it’s a nightmare scenario.”*

*Mr Wells said the recall was of a faulty batch of batteries branded eZee and identified by serial number. There were about 100 sold in Australia and his company had already located and recalled about half.*



*EZee spokesman Wai Won Ching said the main reason for the fire would be the lithium battery cells supplied by LG Korea. Internationally there were about 200 in the faulty batch manufactured in March 2016.*

*However, a spokesman for LG Chem said there was no record of this transaction and the company regarded eZee's statement as "false".*

*Lithium ion batteries are used in a range of consumer electronics, from mobile phones and laptops to electric cars. An ACCC spokesman said there had been about 56 voluntary recalls for hazards relating to rechargeable batteries since 2010.*

*Fires are uncommon but known to occur. In 2016 a toy hoverboard with a lithium ion battery reportedly caused a fire in Melbourne.*

*"The bigger the battery, the scarier the outcome - an e-bike battery is much bigger than a laptop battery, but about a hundredth the size of an electric car," Mr Wells said.*

*Mr Wells said lithium batteries were most volatile when fully charged and still plugged in, so it would reduce risk to use a timer. He also recommended consumers choose the safest charging location possible, such as a garage.*

*Ms Sandford said she followed the instructions in the e-bike manual, which said it was safe to charge overnight.*

*Mr Wells said this was the first incident he has dealt with in 10 years of importing and selling e-bikes, and he would continue to charge his own battery at home. "If you had a house catch on fire because of faulty wiring, you would still rebuild and the new house would have electricity," Mr Wells said.*

*Ms Sandford's e-bike was one of her few possessions to survive the fire because it was outside and she bought a new battery within days.*

*"I'm back on it - I love it," she said. "You could be hit by a bus and it doesn't mean you'll be hit by a bus again."*

*Ms Sandford, who is staying in an Airbnb funded by insurance, has had multiple teams of forensic experts, police officers and insurance assessors through her house and was told it probably needs to be demolished.*

*"Like everyone, I'm underinsured, so that will affect what I can do or I might need to dip into savings," she said.*

*Ms Sandford set her insurance amounts when she first bought the property.*

*More than five weeks after the fire, she is yet to receive her insurance payout but has been "gobsmacked" by the kindness of strangers.*

*The documentary editor goes to Burma every year to teach film-making and fundraises to help her students' communities. Her Burmese students returned the favour and sent her \$6800.*

*A neighbour in Leichhardt gave her \$4000 cash, and others have provided clothes and other necessities.*



Melanie Sandford is locked out of her destroyed home in Leichhardt, but back on her e-bike. STEVEN SIEWERT



View of Melanie Sandford's home gutted by fire through the front door. MILO TAYLOR-WESTERMANN



Melanie Sandford has been told her house will probably need to be demolished,



Any lithium ion battery can catch fire. The risk is higher when it's fully charged.

## 7. 23 aprile 2019, Cina, Autocombustione Tesla

S

Opinione di Guy Marlair – INERIS, Fr(29 aprile 2019): *“I also got that one from INERIS sources: by contrast to what is said, this is by no case an explosion, but more a “flash fire” following gas venting from the battery and likely to have been self ignited a few second later by some electric spark from the battery itself in my view. Indeed, there is no evidence of overpressure...”*

A. Fonte 1

<https://www.fenderbender.com/articles/12627-watch-tesla-explosion-prompts-investigation>

*April 23, 2019—One of Tesla's cars exploded Sunday in Shanghai, which prompted an investigation from the company, according to CNBC. A Twitter user provided video footage that can be seen by clicking here.*

*It was not immediately clear which Tesla model was affected, but reports indicated the car was parked at the time of the fire. There are no known casualties at this time, according to the report.*

*Tesla said it is in active communication and cooperation with the relevant departments.*

*In January, Chicago law firm Corboy & Demetrio said that there have been at least a dozen cases worldwide in the last five years of Model S batteries exploding in collisions and parked vehicles. The statement was part of a lawsuit filed against Tesla that alleged a 2014 Model S had a defective battery pack, causing an 18-year-old passenger to die in an accident last year, Reuters reported.*



B. Fonte 2

<https://www.asiatimes.com/2019/04/article/teslas-china-inroads-hit-by-car-explosion/>

Three-year-old Model S burst into flames 30 minutes after the owner parked it for the night  
By ASIA TIMES STAFF

*A burning Tesla Model S sedan in Shanghai that exploded, sparking a conflagration that gutted an underground parking lot, may dent the US carmaker's aggressive inroads into China. Little was left of the three-year-old electric car after the Sunday evening fire that also engulfed a dozen other expensive cars including an Audi, a Lexus and a Bentley parked nearby. Firefighters summoned immediately to the upmarket residential estate in Shanghai's Xuhui district took an hour and a half to douse the raging fire, and water also inundated cars parked on the second floor of the garage, according to local papers. Luckily, no one was injured.*





*The hapless Tesla owner surnamed Huang told reporters that a fireball broke out in his car at around 8:20pm. The car was still in mint condition, having done about 60,000 kilometers. Huang may face compensation claims from other car owners affected as he was turned away by his insurance company which claimed his policy did not cover the incident. Huang, a fan of Tesla chief Elon Musk, spent 1 million yuan (US\$150,000) for the sleek hatchback in 2016. He said he was unaware of the explosion until he smelled smoke and saw a fire engine downstairs. He insisted that the car was not being charged, and nor did it contain any dangerous goods, contrary to rumors that the car was wired to an uncertified charger at the time of the incident. However, he did recharge the car's battery at a Tesla supercharger about an hour before the fire.*

*"I left my car only 30 minutes before it caught on fire. I could not imagine what would have happened to me if I was inside it," said the Tesla driver. Another car driver told NetEase Auto that he heard a dozen explosions.*

*An investigation is under way and Tesla China has said it will cooperate.*

*Footage of the Tesla billowing smoke before bursting into flames, caught on the parking lot's surveillance cameras, quickly went viral on social media across the country, prompting car owners to question the safety of Tesla and other new-energy vehicles.*

*This is not the first time that a Tesla has caught fire in China. In March, another Model S burst into flames in Guangzhou; it was not being charged at the time, and had previously suffered no accidents.*

*Approximately 40 similar incidents involving wiring and battery packs have affected electric cars in China in the past year. The country now has around 2.6 million electric and other alternative power vehicles on the road. Some 135,700 new-energy cars were recalled during the same period.*

C. Fonte 3

Shanghai, auto Tesla prende fuoco da sola: il video è virale e Musk manda gli investigatori  
<https://video.repubblica.it/motori/shanghai-auto-tesla-prende-fuoco-da-sola-il-video-e-virale-e-musk-manda-gli-investigatori/332713/333309>

*Il portavoce della casa statunitense Tesla, di cui è a capo il miliardario Elon Musk, ha annunciato di aver inviato una squadra a Shanghai, dopo la diffusione virale sui social cinesi di un video che sembra mostrare l'esplosione di una delle sue auto elettriche.*

*Il video, proveniente da una telecamera di sorveglianza, è stato pubblicato domenica sul popolare social network Weibo, accompagnato dall'hashtag #AutocombustionTesla e ha già totalizzato oltre 22 milioni di visualizzazioni. Nelle immagini si vede del fumo bianco fuoriuscire da sotto una Tesla Model S parcheggiata in un parcheggio al coperto prima che una forte esplosione travolga il veicolo. Poi l'auto in fiamme che continua a bruciare.*

*"Stiamo attivamente contattando i servizi competenti e offriamo la nostra collaborazione per capire cosa è successo. Secondo le informazioni raccolte finora, non ci sono morti o feriti", ha dichiarato Tesla sul suo account ufficiale Weibo.*

8. 19 aprile 2019 – Arizona, ESS

A. Articolo 23 giugno 2019

Arizona fire highlights challenges for energy storage, By JONATHAN J. COOPER  
June 23, 2019  
<https://www.apnews.com/5cd81a81345a40f5b1ac2e5556a68ff7>



**Figura 47.** This photo taken in May 2017 and provided by Arizona Public Service shows the Festival Ranch 2 megawatt battery owned by Arizona Public Service near Buckeye, Ariz. An identical battery caught fire in

**April 2019 in a massive blaze that sent eight firefighters and a police officer to the hospital, highlighting the challenges and risks that can arise as utilities prepare for the exponential growth expected for massive batteries to store energy. (Arizona Public Service via AP)**

*PHOENIX (AP) — Arizona's largest electric company installed massive batteries near neighborhoods with a large number of solar panels, hoping to capture some of the energy from the afternoon sun to use after dark.*

*Arizona Public Service has been an early adopter of battery storage technology seen as critical for the wider deployment of renewable energy and for a more resilient power grid.*

*But an April fire and explosion at a massive battery west of Phoenix that sent eight firefighters and a police officer to the hospital highlighted the challenges and risks that can arise as utilities prepare for the exponential growth of the technology.*

*With an investigation ongoing and no public word on the fire's cause, the incident is being closely watched by energy storage researchers and advocates.*

*"This is getting attention, and I think everyone realizes that too many safety incidents ... will be detrimental going forward," said George Crabtree, director of the Joint Center for Energy Storage Research, a partnership of national laboratories, universities and companies funded by the U.S. Energy Department. "So I think it's being taken very seriously."*

*APS has assembled a team of engineers, safety experts and first responders to work with the utility, battery-maker Fluence and others to carefully remove and inspect the 378 modules that comprise the McMicken battery system and figure out what happened.*

*APS installed the 2 megawatt battery systems at a substation in Surprise, outside Phoenix, in 2017 and another near the Festival Ranch development in nearby Buckeye. They help the utility manage fluctuations from clouds or the setting sun in areas with a large number of rooftop solar panels.*

*Those batteries are tiny in comparison to the 850 megawatts that APS has pledged to build by 2025. Energy storage, and batteries in particular, are projected to take off as renewable energy prices come down and states mandate a growing share of power must come from renewables like wind and solar, which are subject to the whims of Mother Nature.*

*On the current electric grid, energy is used as it's generated; the supply and demand must match, or customers will face blackouts or power surges.*

*At times, California produces so much solar energy that its utilities pay APS to take it off the grid. New solar farms are planned in Arizona and elsewhere in the West. Storing energy allows utilities to better manage peaks and valleys.*

*"Absent battery storage, the whole value proposition of intermittent renewable energy makes no sense at all," said Donald Sadoway, a battery researcher at Massachusetts Institute of Technology and co-founder of battery storage company Ambri. "People just don't understand that the battery will do for electricity what refrigeration did to our food supply."*

*Utilities can capture solar energy in the afternoon when power is cheap, and sell it in the evening when demand and prices rise. They also can replace the need for natural gas "peaker plants" that fire up to meet peak energy demand, or delay building expensive new transmission lines.*

*California and Hawaii have set goals of eliminating fossil fuels from their energy grids in the coming decades, and many states are expanding mandates for a portion of energy to come from renewable sources.*

*Nearly all of the utility-scale batteries now on the grid or in development are massive versions the same lithium ion technology that powers cellphones and laptops. If the batteries get too hot, a fire can start and trigger a phenomenon known as thermal runaway, in which the fire feeds on itself and is nearly impossible to stop until it consumes all the available fuel.*

*Problems with lithium ion batteries have periodically triggered fears following outbreaks of spontaneous fires in Samsung phones, hoverboards and Boeing's 787 aircraft.*

*“Anytime you store a lot of energy in a small space you’ve got to be very cognizant of the controls that you have to put in place so that energy doesn’t get out when you don’t want it to,” said Jay Apt, co-director of Carnegie Mellon University’s Electricity Industry Center.*

*Researchers are working to educate firefighters on how to deal with battery fires. It was a topic of discussion at a conference this week of the National Fire Protection Association, which has developed an online training program for first responders, said Christian Dubay, the group’s vice president and chief engineer.*

*“When you face a unique hazard, you need to have awareness and training for that,” Dubay said.*

*The APS fire was the third involving a utility-scale battery. One was at an APS-owned battery in Flagstaff in 2012, and the other was in Hawaii.*

*APS has shut down its two similar batteries while awaiting the investigation’s results, but the utility is not slowing down its plans to deploy new massive batteries, said Alan Bunnell, a company spokesman.*

*“We believe energy storage is vital to a clean energy future here in Arizona,” Bunnell said.*

---

B. Bloomberg 23 aprile 2019

Explosions Threatening Lithium-Ion's Edge in a Battery Race - By Brian Eckhouse and Mark Chediak

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-23/explosions-are-threatening-lithium-ion-s-edge-in-a-battery-race>

Explosions threatening lithium-ion’s edge in a battery race - Bloomberg News | April 25, 2019 | 12:02 pm

<http://www.mining.com/web/explosions-threatening-lithium-ions-edge-battery-race/>

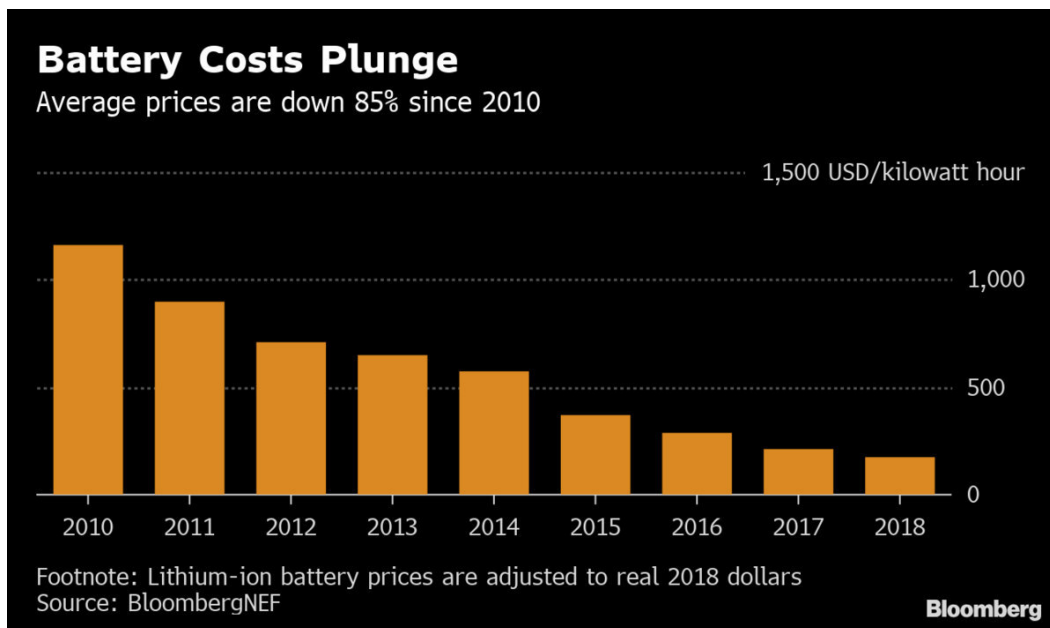
*Another lithium-ion battery has exploded, this time at an energy-storage complex in the U.S.*

*At least 21 fires had already occurred at battery projects in South Korea, according to BloombergNEF. But this latest one, erupting on Friday at a facility owned by a Pinnacle West Capital Corp. utility in Surprise, Arizona, marked the first time it has happened in America since batteries took off globally.*

*Local regulators are now demanding answers, companies are investigating the cause, and analysts are wondering: Could more blazes threaten the future of lithium-ion — the only technology that has proven capable of bringing battery storage into the mainstream?*

*“If these fires continue to occur, it doesn’t bode well for the industry in the short term and the storage market will almost certainly slow down,” said Ravi Manghani, an analyst at Wood Mackenzie Power & Renewables. “As other technologies mature and costs fall, it would certainly erode lithium-ion’s advantage.”*





Here's the issue for lithium-ion: while not inherently dangerous, when handled incorrectly, a potential hazard can occur. The electrolytes used today are flammable in the presence of oxygen, said James Frith, a London-based analyst at BNEF. While batteries are sealed from external sources of oxygen, some cathodes can release oxygen within the cell under high temperatures.

**“IF THESE FIRES CONTINUE TO OCCUR, IT DOESN'T BODE WELL FOR THE INDUSTRY IN THE SHORT TERM AND THE STORAGE MARKET WILL ALMOST CERTAINLY SLOW DOWN” — WOOD MACKENZIE**

The explosions are coming at an inopportune time for the industry. Nothing has done more to fuel the global battery boom than the plunge in lithium-ion prices. Costs have fallen to a level at which batteries can compete against conventional power plants, and everyone from solar developers to utilities to homeowners are buying them to shore up intermittent renewable energy supplies. Pinnacle West's Arizona Public Service alone has a goal of adding 850 megawatts of storage by 2025 — enough to light up more than 600,000 homes at once. But that goal was set before Friday's blast. On Tuesday, Arizona Public Service told the state's utility regulators that it had shut two other battery systems following the explosion, which injured at least four firefighters. While APS hasn't determined the cause of the accident, spokeswoman Jill Hanks said it probably involved some sort of "equipment failure." The system being investigated was installed by Fluence, a joint venture of AES Corp. and Siemens. The company still plans to charge ahead with its battery deployment plans, APS President Jeff Guldner told the Arizona Corporation Commission during the hearing on Tuesday. Commissioners peppered APS officials at the meeting with questions about the fire-suppression system at the site and asked whether similar incidents have occurred. Jacob Tetlow, vice president of the company's transmission and distribution operations, noted that there was once a battery failure at a substation in 2012. Commissioner Sandra Kennedy called for a "thorough investigation" to ensure the protection of residents and businesses in the area.

## ***“IF UTILITIES AND REGULATORS DEEM ENERGY STORAGE UNSAFE, GIGAWATTS OF PROPOSED STORAGE DEPLOYMENTS WOULD BE THREATENED”***

*In Korea, defective battery models, external shock during construction and faulty battery-management systems may have contributed to recent fires at factories, according to Logan Goldie-Scot, a San Francisco-based storage analyst at BNEF.*

*The blazes at battery plants are hitting just as smaller, lithium-ion batteries used in electric cars are also coming under scrutiny. This week, Tesla Inc. said it was looking into a sedan that caught fire on video in China.*

*It’s become a potential selling point for rivals of lithium-ion. Tom Stepien, chief executive officer of Primus Power Corp., a battery company that uses a technology known as flow, was quick to note lithium-ion’s “inherent fire risks” after Friday’s accident. It’s for that very reason, he said, that people are warned at airports not to carry such batteries onto planes.*

### **Battery rivals**

*There is a “wide opening — a pantheon of new technologies that are aiming to beat lithium-ion from both a performance and cost perspective,” said Jeff Chamberlain, CEO of Volta Energy Technologies, an Exelon Corp.-backed company that evaluates and tests new energy-storage applications.*

*Lithium-ion will be a powerful incumbent to beat. The technology has made up more than 85 percent of the world’s annual energy-storage deployments since 2016, according to BloombergNEF. And other battery technologies carry their own potential hazards.*

*Just before the fire broke out in Arizona, a coalition of battery makers, installers and utilities announced a task force to establish a set of safety best practices for the industry.*

*“The U.S. energy storage market nearly doubled in 2018 and is expected to double again in 2019,” Energy Storage Association Chief Executive Officer Kelly Speakes-Backman said in a statement about the task force. “This marks an ideal time for the industry to demonstrate their commitment to corporate responsibility.”*

C. Arizona Republic 20 aprile 2019

8 firefighters hurt in explosion at APS facility in Surprise; 3 flown to Phoenix burn center: Ellie Nakamoto-White and Ryan Randazzo . Published 2:32 AM EDT Apr 20, 2019

<https://eu.azcentral.com/story/news/local/surprise-breaking/2019/04/19/firefighters-hurt-battling-transformer-fire-surprise/3527645002/>

*Eight firefighters were injured Friday night in an explosion at an Arizona Public Service facility in Surprise.*

*Four Peoria firefighters were the most seriously hurt, with three flown to Maricopa County Medical Center’s burn unit in Phoenix, said Michael Selmer, a Peoria Fire Department spokesman. One was in critical condition. The fourth was taken to a West Valley hospital.*

*In addition, four other firefighters for the city of Surprise were taken to a hospital for evaluation of less serious injuries, said Battalion Chief Julie Moore of the Surprise Fire Department.*

*The explosion occurred at the APS McMicken Energy Storage facility near Grand Avenue and Deer Valley Road in Surprise on Friday evening. The facility houses utility-sized batteries on the site used in the storage and distribution of solar energy, according to the APS website.*

*Firefighters were called to the substation about 6 p.m., in response to reports by a passer-by of smoke coming from the site, Moore said.*

*Peoria firefighters responded along with Surprise crews, treating the call as a hazardous-materials response.*

*A utility-sized lithium battery at the location was evaluated for hazardous chemical levels, Selmer said. While entering the facility, an explosion occurred, he said.*

*"They're trying to figure out what caused this," he said.*

*He said Peoria firefighters sustained chemical burns and chemical-inhalation burns. None were identified late Friday.*

*"I think right now, the mood is somber because it's our firefighters," Selmer said, during a briefing outside Maricopa Medical Center in Phoenix.*

*Numerous firefighters, including many from Phoenix, gathered at the hospital to show support for their fellow first responders.*



*Firefighters gather at Maricopa Medical Center in Phoenix after several firefighters were hurt in an explosion at an APS substation in Surprise.*

*Ellie Nakamoto-White/The Republic*

*APS officials said firefighters were called to the location for what they described as an equipment failure issue at the substation.*

*The substation includes a large, utility-scale battery, officials said.*

*"Our first priority and concern is for the first responders. We are going to cooperate fully with an investigation to find out what went wrong," said APS spokesman Alan Bunnell.*

*Multiple fire department units still were at the scene late Friday night.*

*Moore said crews would be at the scene for several hours investigating the site along with APS officials.*

*Traffic on the eastbound side of Grand Avenue was shut down in the area, according to the Arizona Department of Transportation.*

*Further details were not immediately available.*

D. Fonte 4

<https://yourvalley.net/yourvalley/business/aps-explosion-in-surprise-goes-viral-world-watching-investigation-of-battery-mishap/>

APS explosion in Surprise goes viral: World watching investigation of battery mishap



The APS McMicken power station near Grand Avenue and Deer Valley Road was the site of an explosion April 26. [Jason Stone/Independent Newsmedia]

*By Jason Stone & Matt Roy, Independent Newsmedia*

*The investigation into the lithium-ion battery explosion at an APS station in Surprise is getting worldwide attention for more reason than one.*

*Investigators are trying to figure out how the battery that stores solar energy for nighttime use exploded at the McMicken Energy Storage facility near Grand Avenue and Deer Valley Road on April 19.*

*But energy technology experts are also awaiting the results of the investigations to see what it means for the lithium-ion battery's future in general.*

*The explosion that injured four Peoria and four Surprise firefighters was reported around the world. Just days after the incident, Bloomberg reported 21 fires have been counted at battery projects in South Korea, but the Surprise fire was the first time one happened in America.*

*The investigations are critical as lithium-ion batteries have proven to be the top mainstream battery storage option for devices such as cell phones, hearing aids, MP3 players, thermometers, car remote locks and other common devices.*

*Ravi Manghani, an analyst at Wood Mackenzie Power & Renewables, told Bloomberg, "If these fires continue to occur, it doesn't bode well for the industry in the short term and the storage market will almost certainly slow down."*

*Until the fire, most Surprise residents probably didn't even know the storage unit was even in their city.*

*APS has used Surprise as one of three locations for the storage facilities – the others are in Buckeye and near Payson – and the company is still planning on expanding the program across the state to eventually have the capacity to provide electricity to 600,000 homes.*

*Smoke then fire*

*The first reports of smoke from the facility forced Surprise first responders to call in a hazmat unit from the Peoria Fire-Medical Department to assist.*

Following what numerous reports described as a loud explosion, the Peoria firefighters – Captain Hunter Clare, engineer Justin Lopez, firefighter Matt Cottini and firefighter Jake Ciulla – were transported to trauma centers.

More than two weeks after the explosion, APS officials still haven't said what happened.

"At this point in the investigation it is not clear exactly," said Annie DeGraw, who until last week was a spokeswoman for APS before leaving to take a similar job in Phoenix Mayor Kate Gallego's office. "I know a lot of people are saying there was an explosion and that it blew up, but at this point we cannot even verify if that occurred."

"We know there was a failure and something happened, but we aren't exactly sure what machinery caused that and what were the steps leading up to that actually taking place."

APS took the other two power facilities in the state offline after the explosion.

"This is a typical step for someone who's as safety-focused as APS," Ms. DeGraw said.

Surprise spokeswoman Diane Arthur said the city was aware the lithium-ion battery storage was there, but the city doesn't have the authority to regulate APS installations within the community.

"We were notified by APS regarding the location of the energy storage system approximately in the spring of 2016," Ms. Arthur said. "As for permitting, the 2012 International Building Code exempts Public Service Agencies."

The Surprise City Code 105.2.3 Public Service Agencies reads: "A permit shall not be required for the installation, alteration or repair of generation, transmission, distribution or metering or other related equipment that is under the ownership and control of public service agencies by established right."

Other municipalities, like the City of Phoenix, adhere to similar exemptions because, according to commentary provided in their code: "Utilities that supply electricity, gas, water, telephone, television cable, etc., do not require permits for work involving the transmission lines and metering equipment that they own and control ... Utilities are typically regulated by other laws that give them specific rights and authority in this area."

While installation of a fence surrounding the battery unit in Surprise – which is roughly the size of a shipping container – did require a permit approval from city officials, the battery itself did not, Ms. Arthur confirmed.

The apparently faulty unit is located across Grand from Asante Community Park and the Dysart Learning Center, less than a quarter-mile from home sites.

Erin Jordan, a spokeswoman for the Arizona Department of Environmental Quality, said her agency does not regulate battery storage facilities, since that technology is not known to emit pollutants into the atmosphere.

She was unsure under whose jurisdiction electric power storage facilities might fall, Ms. Jordan said.

Asked which agencies are responsible for regulating lithium-ion battery installations, the APS spokeswoman also could not confirm but said she would look into the matter.

E. Fonte 5

<https://apwa.inloop.com/en/article/73094/equipment-failure-at-mcmicken-battery>

April 26, 2019

equipment failure at mcmicken battery facility background

Around 5 p.m. on April 19, there were reports of smoke from the battery system at APS's McMicken site in Surprise, Arizona. Hazardous Material units and first responders arrived on scene to secure the area. For reasons still unknown, the system subsequently experienced a catastrophic failure, and firefighters who responded to the call were transported to area

hospitals. An investigation with APS, first-responder representatives, manufacturers and third-party engineering and safety experts is underway to determine the cause of the incident.

#### first responders

We greatly appreciate the hard work and bravery of the first responders who were involved. Our hearts go out to the firefighters injured in the line of duty. Their health, safety and recovery are our top priorities.

#### investigation underway

An investigation with APS, first-responder representatives and third-party engineering and safety experts is underway. What we know at this point is that we had an equipment failure. A thorough investigation will help us determine what exactly failed and why.

#### lessons to be learned

Importantly, until the investigation is completed, we cannot speculate about the root cause of the incident—whether it was the battery unit itself or another grid component. What we do know is that energy storage, including batteries, is vital to a clean-energy future. This technology is solving important challenges and creating new opportunities for clean energy like solar. The investigation will help us learn all we can from what happened so that we can apply those lessons to how we move ahead. It is too early to know when we will complete the investigation, but we will act quickly to apply the safety lessons learned from this incident.

#### mcmicken battery facts

**Location:** Surprise, Arizona, near the APS McMicken substation (28 miles northwest of downtown Phoenix)

**Technology:** Lithium-ion battery

**Capacity:** 2 megawatts/2 megawatt-hours

**System integrator:** Fluence

**In-service date:** March 2017

**Primary functions:** Integrating solar energy resources in an area with high rooftop solar penetration, and grid services including voltage regulation and power quality.

#### additional resources

**news release** (feb. 21, 2019): [aps customers get solar after sunset with major clean-energy projects](#)

**news release** (april 3, 2019): [aps moving forward to bring new clean-energy projects online for customers](#)

**fact sheet** (april 2019): [aps existing large-scale battery systems](#)

**fact sheet** (april 2019): [pursuing a cleaner energy future for arizona](#)

**website:** [arizona's energy future - energy storage](#)

A. Fonte 1

<https://qz.com/1575817/electric-vehicles-from-chinese-car-maker-bjev-are-catching-fire/>

### Electric vans from one of China's biggest EV makers are catching fire

By [Echo Huang](#) March 19, 2019

*Improving technology means that electric vehicles (EV) are able to go for ever-longer ranges, but it's also challenging the safety limits of batteries, as one leading Chinese EV maker is finding out.*

*So far in 2019, there have been at least three incidents of electric minivans of the same model catching fire while charging, with the latest incident happening last week in Shenzhen, news outlet [National Business Daily](#) (link in Chinese) reported yesterday (March 18). The vehicles in question are the Beiqi Weiwang 407EV, manufactured *by BJEV* (paywall), an EV maker linked to state-owned manufacturer BAIC, a staffer at the Shenzhen Electric Vehicle Application and Promotion Center confirmed to Quartz.*

*Founded in 2009, BJEV is one of the country's biggest manufacturers of battery electric vehicles. Last year, it topped sales of battery passenger cars in China, selling about 150,000 units (link in Chinese).*

*BJEV didn't respond immediately to a request for comment.*

*The incidents come at a time as China's rapid advance into electric cars is now placing a greater focus on increasing battery performance, with the government using the energy density of batteries as a key factor in determining the subsidies given to carmakers. But the measure has also drawn criticism (link in Chinese). In theory, high energy density means (paywall) that batteries can last longer, are cheaper, and are also lighter in weight.*

*That, however, poses more serious challenges to battery safety because energy-rich metals like lithium tend to be reactive. That's part of the reason why China has a surveillance network working 24/7 to monitor EVs and prevent batteries from catching fire, though it's unclear if the 407EVs made by BJEV are part of the network.*

*Starting at a price of around 100,000 yuan (\$15,000) each, the EV407 minivan has a range of 220 kilometers (136 miles). The van is designed for use in urban logistics services, according to the company (link in Chinese). Since the incidents, three companies including Lalamove, a Hong Kong-based logistics firm which has operations in China, have stopped using the model, a news outlet focusing on the battery industry reported (link in Chinese).*

B. Fonte 2 in cinese

<http://m.nbd.com.cn/articles/2019-03-18/1311315.html>

C. Fonte 3

Non più accessibile dall'Italia.

<https://www.indiatimes.com/auto/electric/fire-breaks-out-in-3-electric-vehicles-in-china-while-charging->

[and-it-highlights-a-grave-problem-363982.html](https://sport.sky.it/motogp/fotogallery/2019/03/14/motoe-incendio-jerez-moto-energica-in-fiamme.html)



10. Yerez, 14 marzo 2019

A. Fonte 1

<https://sport.sky.it/motogp/fotogallery/2019/03/14/motoe-incendio-jerez-moto-energica-in-fiamme.html>

**MotoE, incendio a Jerez: tutte le moto in fiamme. FOTO**

*La notte scorsa "la energy station", quartier generale della MotoE, è stata completamente distrutta da un incendio a Jerez. Era il centro di ricarica di tutte le moto elettriche che avrebbero partecipato al Mondiale. Le fiamme hanno ridotto in cenere moto, caschi, tute e l'equipaggiamento dei piloti. Per fortuna non ci sono feriti. L'incendio, scoppiato intorno a mezzanotte, sarebbe partito da una colonnina di ricarica della MotoE, un prototipo di generatore supplementare da provare nei test in Spagna. I test di aprile sono stati cancellati, l'inizio del campionato (previsto per maggio) potrebbe subire delle modifiche.*

*La notte scorsa la "energy station", quartier generale della MotoE, è stata completamente distrutta da un incendio a Jerez –*

*Era il centro di ricarica di tutte le moto elettriche che avrebbero partecipato al Mondiale (l'inizio della stagione è previsto per maggio) –*

*Le fiamme hanno distrutto tutto: le moto, i caschi, le tute e l'equipaggiamento dei piloti*

*Per fortuna non ci sono feriti –*

*L'incendio, scoppiato intorno a mezzanotte, sarebbe partito da una colonnina di ricarica della MotoE, un prototipo di generatore supplementare da provare nei test di Jerez –*

*C'è una differenza tra i ricaricatori classici già utilizzati nei test di novembre dai team e i due nuovi prototipi portati a Jerez: i "vecchi" ricaricatori prendono la corrente direttamente dalla rete elettrica e la scaricano subito sulla moto, il prototipo dal quale si sospetta sia partito l'incendio è un generatore supplementare che contiene al suo interno una batteria integrata di backup –*

*Il secondo test della MotoE previsto ad aprile è stato cancellato –*

*I prototipi da corsa sono stati distrutti, erano gli unici esistenti –*

*Resta da capire se il calendario del campionato (composto da 5 gare) subirà delle modifiche. I team hanno deciso di fare comunque una sessione di test prima dell'inizio del Mondiale. Per capire quale sarà il nuovo calendario ci vorranno almeno 3 settimane –*

*Completamente distrutta la "energy station", la struttura mobile che ospitava i box e l'hospitality della nuova MotoE -*







4 / 10



5 / 10



6 / 10



7 / 10



8 / 10



9 / 10



10 / 10

B. Fonte 2

<https://sport.sky.it/motogp/2019/03/14/incendio-motoe-jerez-cosa-sappiamo.html>

### **MotoE, incendio a Jerez. Il comunicato FIM: "Colpo terribile, ma il Mondiale partirà"**

*L'inizio del Mondiale MotoE non è in dubbio. Ci tiene a specificarlo la FIM, nel comunicato ufficiale diffuso dopo l'incendio a Jerez: "Dorna si impegna a riportare la MotoE in pista il prima possibile, si correrà nel 2019, ma il calendario subirà delle modifiche: in questa stagione non si gareggerà a Jerez". Il campionato non inizierà quindi il 5 maggio*

#### **FOTO. INCENDIO A JEREZ, MOTO DISTRUTTE**

*Nella notte tra il 13 e il 14 marzo è scoppiato **un grande incendio nel circuito di Jerez de la Frontera**, dove si stava svolgendo una sessione di tre giorni di test della MotoE. La energy station, la struttura "mobile" che ospitava i box e l'hospitality della nuova MotoE, è stata completamente distrutta dalle fiamme. L'incendio, scoppiato intorno a mezzanotte, sarebbe partito da una **colonnina di ricarica della MotoE**, un prototipo da testare proprio in questi giorni di test. **L'intera struttura è andata in fiamme in poco tempo, distruggendo tutto: moto, caschi, tute e pezzi di ricambio.** Fortunatamente **non ci sono stati feriti**. È stata cancellata la prossima sessione di test prevista in Aprile. Il Mondiale non è a rischio, anche se il calendario (composto da 5 gare) subirà delle modifiche. Due sono le notizie certe fino a questo momento: **il campionato non inizierà il 5 maggio e Jerez uscirà dal calendario**. I team, inoltre, hanno deciso di fare comunque una sessione di test prima dell'inizio del Mondiale. Per capire quale sarà il nuovo calendario serviranno **almeno 3 settimane**, mentre basterà aspettare 2-3 giorni per leggere il verbale del vigili del fuoco sulle cause dell'incendio.*

*Il comunicato ufficiale della FIM*

*Dopo l'incendio, la FIM ha pubblicato un comunicato ufficiale sull'episodio: "La FIM ha appreso che nelle prime ore del mattino è scoppiato **un incendio nell'E-Paddock** del circuito di Jerez, provocando danni e perdite considerevoli, ma fortunatamente **senza provocare feriti**. L'assenza di feriti è la nostra preoccupazione principale, la sicurezza è la massima priorità. È in corso **un'indagine per determinare la causa esatta dell'incendio**, i risultati verranno pubblicati non appena l'indagine stessa sarà conclusa. Il Mondiale MotoE è una competizione nata dall'innovazione, alimentata al 100% da energia rinnovabile. Questa ambizione di evolversi e sperimentare nuove tecnologie **porta con sé un rischio associato**. Tuttavia, è possibile confermare che **al momento dell'incidente non c'era nessuna moto in carica nell'edificio in cui è scoppiato l'incendio**. Dorna si impegna a riportare la **MotoE in pista il prima possibile**, con lavori già in corso per iniziare la ricostruzione e la sostituzione di materiali e moto persi nell'incendio. **La MotoE correrà nel 2019, sarà annunciato un nuovo calendario che subirà delle modifiche**. Tuttavia, è possibile confermare che il Mondiale MotoE **non correrà a Jerez in questa stagione**".*

*Il presidente della FIM: "È un colpo terribile"*

*Il sito della FIM ha pubblicato una nota ufficiale sull'incidente con le **parole del presidente della federazione, Jorge Viegas: "È un colpo terribile, ma sono sicuro che tutti coloro che lavorano per questa nuova entusiasmante avventura troveranno la forza e la motivazione per superare questo sfortunato evento e rendere il campionato un successo. Non vediamo l'ora di lasciarci alle spalle tutto quello che è successo, siamo fiduciosi per il futuro"**. Il comunicato della federazione specifica che "la Dorna ha assicurato alla FIM che lavorerà duramente per superare questo grave contrattempo e **garantire che il Mondiale sia pronto a partire il prima possibile, nonostante tutto il lavoro aggiuntivo che ora sarà richiesto**".*

C. Fonte 3 - Le Figaro

<http://sport24.lefigaro.fr/le-scan-sport/2019/03/15/27001-20190315ARTFIG00064-toutes-les-motos-du-championnat-du-monde-electrique-brulent-dans-un-incendie.php>

Publié le 15/03/2019 à 10:32

## Toutes les motos du Championnat du monde électrique brûlent dans un incendie

*LE SCAN SPORT - Un incendie a réduit en cendres toutes les motos du nouveau Championnat du monde électrique qui devait démarrer au mois de mai.*

*Le championnat du monde de motos électriques (MotoE), qui devait débuter en mai, voit son démarrage sérieusement compromis par un incendie qui a calciné jeudi l'ensemble des machines du plateau sur le circuit de Jerez (Espagne). 23 motos qui ont été détruites au total dans le sinistre qui a pris au milieu de la nuit dans les installations où elles étaient parquées.*

*«À environ 00h15 locales (23h15 GMT) la nuit dernière, les stands du championnat MotoE ont pris feu, provoquant d'importants dégâts», ont indiqué les propriétaires du circuit, en précisant que «personne n'a été blessé» et que les causes du sinistre faisaient l'objet d'une enquête. Selon les pompiers, il a fallu six heures pour venir à bout du feu.*

*Dans des déclarations sur le site MotoGP.com, le directeur exécutif de la série, Nicolas Goubert, a précisé que c'est un prototype d'une unité de rechargement qui a pris feu et que celui-ci s'est rapidement propagé à tout le matériel malgré les efforts de quatre personnes présentes chargées de surveiller le processus de rechargement des motos. Les 18 pilotes inscrits et leurs engins étaient rassemblés à Jerez pour une séance d'essais préparatifs de quelques jours en vue de la première course qui devait avoir lieu sur ce même circuit andalou le 5 mai.*

*Le championna est maintenu mais modifié*

*Les organisateurs du MotoGP, la discipline qui réunit les Grands Prix MotoGP, Moto2, Moto3 et MotoE, ont indiqué que le calendrier de cette nouvelle série serait modifié mais qu'elle aurait bien lieu cette année. «Dorna Sport, (société organisatrice du MotoGP, ndlr) et tous nos partenaires dans cette nouvelle aventure souhaitent que le championnat commence aussi vite que possible et le travail a déjà commencé pour reconstruire et remplacer le matériel et les motos qui ont été détruits dans l'incendie», indiquent-ils. «MotoE aura lieu en 2019 et un nouveau calendrier sera annoncé en temps voulu. Mais il est d'ores et déjà confirmé que l'épreuve sur le circuit de Jerez en marge du Grand Prix d'Espagne n'aura pas lieu cette année», précise le communiqué.*

*Des motos électriques prennent feu lors d'un Championnat du monde - Regarder sur Figaro Live*  
*En plus de Jerez, cinq courses de MotoE, devaient être organisées en marge du championnat MotoGP. La 2e sur le circuit Bugatti au Mans (France) le 19 mai, la 3e sur le Sachsenring (Allemagne) le 7 juillet, la 4e en Autriche le 11 août et la dernière le 15 septembre à Misano (Italie) avec deux manches pour la finale du championnat. Celui-ci est organisé avec la patronage du groupe d'énergie italien Enel.*

*Des premiers essais de ces machines révolutionnaires avaient eu lieu fin novembre à Jerez et le Français Kenny Foray, l'un des participants annoncés, avait affirmé ensuite à l'AFP «qu'aucun pilote n'a dit qu'il n'avait pas pris du plaisir à piloter cette moto». «Le vrai avantage est que, comme il n'y a ni embrayage, ni boîte de vitesse, c'est comme si on roulait avec une boîte de vitesse parfaite et un braquet parfait, c'est-à-dire que dès qu'on accélère, quelle que soit la vitesse, cela vient tout de suite».*

*Des courses de 15 minutes et une vitesse de 270 km/h*

*Dans le format prévu, les courses devaient durer quinze minutes pour tenir compte de l'autonomie relativement faible, avec deux séances d'essais libres et une séance d'essais qualificatifs. Les motos, toutes réalisées sur le même modèle mis au point par le fabricant italien Energica Motor Company, développent une puissance de 120 Kw (160 chevaux) avec une vitesse de pointe de l'ordre de 270 km/h. Une machine de MotoGP, la catégorie reine, produit environ 270 chevaux pour une vitesse de 350 km/h.*

*Les différentes équipes peuvent cependant choisir des réglages de suspension différents mais l'idée est de niveler le plus possible le matériel. Parmi les autres pilotes inscrits figurent plusieurs anciens champions de MotoGP comme Sete Gibernau, Randy de Puniet, Mike di Meglio ainsi qu'une femme, Maria Herrera. Outre la moto en elle-même, le but de la série est également de développer le matériel lié au chargement en électricité avec notamment le recours à des panneaux solaires.*







<iframe

src='http://players.brightcove.net/610043537001/4k4QmRz5g\_default/index.html?videoid=6014266883001' allowfullscreen frameborder=0></iframe>



**Fernando García**  
@garciamfernando



El Mundial de #MotoE no arrancará en #Jerez. La organización investiga el incendio y modificará el calendario!

♡ 9 19:01 - 14 mars 2019

[Voir les autres Tweets de Fernando García](#)





11. 24 febbraio 2019 - Fort Lauderdale

A. Fonte 1

<https://www.schlesingerlawoffices.com/blog/2019/february/tesla-crashes-in-broward-county-bursts-into-flam/>

*On Sunday, February 24<sup>th</sup>, 2019, a man lost his life in Broward County, Florida after his Tesla Model S crashed into roadside trees. According to reports based on emergency responder statements and testimonies from eyewitnesses, the Tesla was racing out of control at a speed of at least 75 miles per hour in a 50 miles per hour zone. When the Model S hit the trees, it burst into flames shortly after.*

*The fatal crash is once again putting a spotlight on Tesla's self-driving vehicles and concerns about their safety features. At this time, it appears that multiple defects or poor designs contributed to the severity of the accident.*

***Defects or design issues that may have contributed to the recent Broward County Tesla accident:***

*The vehicle appeared to be speeding out of control, possibly due to a defective automatic accelerator and not the driver's own actions.*

*The bulk battery source ignited after the impact, which is identical to a known problem observed in many other Tesla accidents.*

*The retractable door handles did not extend after the crash, preventing bystanders and rescuers from opening the doors and pulling the driver out of the burning wreckage.*

*Tesla stated the retractable door handles can always be opened manually from the inside of the car. The feature does not seem to account for emergency situations in which occupants of the vehicle are unresponsive. The situation is similar to fatal Tesla accident in Fort Lauderdale last spring. In that story, two teens lost their lives in a high-speed crash that ended in a*

battery blaze and also became complicated for rescuers after the retractable door handles prevented the doors from being opened from the outside.

Furthermore, reports show the Model S reignited after being towed away from the scene of the crash. Tesla batteries that reignite themselves many hours after an accident have been a known problem for years.

Schlesinger Law Offices, P.A. filed a wrongful death lawsuit on behalf of a Florida teen who tragically died in an accident due to Tesla's defective and unreasonably dangerous vehicle design.

(For more information, you can [click here](#) for a full Business Insider article.)

Ft. Lauderdale Attorneys Taking On Major Corporations

Schlesinger Law Offices, P.A. is comprised of Fort Lauderdale personal injury, car accident, and product liability lawyers with decades of total legal experience and a history of winning multimillion-dollar case results for our clients. If you or a loved one were hurt in a Tesla accident, then know that you can count on us for reliable representation capable of going up against any sized opposition. Call **(954) 467-8800** to learn more about our legal services, or to schedule a complimentary case review to begin your claim.

B. Fonte 2

<https://www.businessinsider.com/florida-man-dies-after-his-tesla-model-s-crashed-caught-fire-2019-2?IR=T>

(This article has been updated to include the response from Tesla.)

A Florida man died on Sunday after his Tesla Model S spun out of control and hit a tree, police say.

According to a local news report, bystanders said they tried to rescue him but the car's door handles did not extend.

The Tesla was engulfed in flames when an officer arrived, police said.

Last year a similar crash claimed the life of two teenage boys in the area. One of the victim's parents is suing Tesla.

A south Florida man, Omar Awan, died Sunday after his Tesla Model S spun out of control — for reasons yet unknown — hit several trees, and was engulfed in flames, the police said.

They estimated that the car was traveling between 75 and 90 mph. The posted speed limit was 50.

When an officer arrived a few minutes after the crash, the car was in flames, according to the police report, and "efforts to extract the driver were unsuccessful."

"It was just a massive ball of fire. It's not possible anyone could've saved whoever was in there," one bystander told Local 10 News.

According to a reporter at the scene, police said their rescue efforts were stymied when the Tesla's retractable door handles did not extend. When asked about the door handles, a Tesla representative referred Business Insider to page 24 of the company's first-responders' guide, which says that if door handles do not function automatically they can be opened manually from the car's interior.

Police also said a woman, Liliana Awan, arrived on the scene and asked if her husband was involved in the crash. She had geolocated her husband using his cellphone.

*"We are deeply saddened by this accident and our thoughts are with everyone affected by this tragedy," Tesla said in a statement to Business Insider. "We have reached out to the local authorities to offer our cooperation. We understand that speed is being investigated as a factor in this crash, and know that high speed collisions can result in a fire in any type of car, not just electric vehicles."*

*The blue Model S was towed, but just before 5 a.m. on Monday "it reignited and caught fire once again from a ruptured battery," the report said.*

*Last May, two teenage boys died after their Model S, which had been traveling at 112 mph, spun out of control and crashed into a wall in nearby Fort Lauderdale. They were also trapped inside the car.*

*The parents of one of the victims are suing Tesla. They claim that one of the company's service centers removed a speed-limiting device that the driver's parents had installed in the car without notifying them. They also claim that the car is "not crashworthy" because its battery is "inherently unstable and subject to explosion and spontaneous fire."*

*Their lawsuit says: "The vehicle had inadequate measures to prevent a post-collision fire; to wit: The battery pack of the Tesla was not treated with intumescent material to protect and provide protection from the propagation of thermal runaway from one cell to the adjacent cells."*

*For Tesla, however, that crash was about the high speed.*

*"Our thoughts continue to be with the families affected by this tragedy," Tesla told Business Insider when asked about the lawsuit. "Unfortunately, no car could have withstood a high-speed crash of this kind. Tesla's Speed Limit Mode, which allows Tesla owners to limit their car's speed and acceleration, was introduced as an over-the-air update last year in dedication to our customer's son, Barrett Riley, who tragically passed away in the accident."*





**Ty Russell** ✓  
@TRussellCBS4



Investigators in Davie are looking into a crash involving a Tesla on S Flamingo Road near 10th. Police say officers tried to save the driver but couldn't open the door because there was not a handle. Car burst into flames. Unclear what led to the single-car crash. @CBSMiami

♥ 89 3:09 AM - Feb 25, 2019

💬 121 people are talking about this



[https://twitter.com/TRussellCBS4/status/1099838677839167489?ref\\_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etwetembed%7Ctwterm%5E1099838677839167489&ref\\_url=https%3A%2F%2Fwww.businessinsider.com%2Fflorida-man-dies-after-his-tesla-model-s-crashed-caught-fire-2019-2](https://twitter.com/TRussellCBS4/status/1099838677839167489?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etwetembed%7Ctwterm%5E1099838677839167489&ref_url=https%3A%2F%2Fwww.businessinsider.com%2Fflorida-man-dies-after-his-tesla-model-s-crashed-caught-fire-2019-2)

C. 21 marzo 2019, Corriere della sera

<https://motori.corriere.it/motori/attualita/cards/auto-elettriche-caso-incidente-sono-dolori-falso-o-vero-guida/quel-foro-l-acqua.shtml>

<https://www.tcs.ch/it/test-consigli/consigli/tutti-i-temi/schede-soccorso.php>

D. 26 marzo 2019 - La Repubblica

[https://www.repubblica.it/motori/sezioni/sicurezza/2019/03/26/news/incendi\\_auto\\_elettrica-222537290/?ref=search](https://www.repubblica.it/motori/sezioni/sicurezza/2019/03/26/news/incendi_auto_elettrica-222537290/?ref=search)

*L'ente federale della sicurezza sostiene che le vetture a batteria non sono più pericolose di quelle a benzina. Anzi.*

*Ma i vigili del fuoco sono impreparati ad affrontare le fiamme e a soccorrere i feriti nei rottami delle elettriche.*

*Un incidente e il successivo incendio di una Tesla Model S vicino a Fort Lauderdale il mese scorso ha riaperto il caso del problema-incendi sulle auto elettriche. Non è un mistero che le fiamme sprigionate dalle batterie al litio siano molto difficili da spegnere, ma ora in tutto il mondo - con la diffusione delle auto elettriche - ci si pone il problema di come preparare i vigili del fuoco e le forze dell'ordine.*

*Il caso della Tesla di Fort Lauderdale ha infatti scosso la comunità green: la polizia inizialmente ha cercato di spegnere l'incendio usando i classici estintori in dotazione dal dipartimento, senza nessun risultato perché i prodotti chimici usati negli estintori convenzionali sono inutili contro gli incendi delle batterie agli ioni di litio (che sono suscettibili a una reazione a catena nota come instabilità termica).*

*Alla fine sono intervenuti i pompieri che usando una enorme quantità d'acqua sono riusciti a domare l'incendio. Ma poi, la Model S, dopo essere stata rimossa dal luogo dell'incidente, si è riaccesa altre due volte, creando il panico. Un fenomeno - secondo le forze dell'ordine - che è accaduto in precedenti incidenti di auto elettriche.*

*Ma non è tutto: ci sono anche altri rischi per i primi soccorritori perché le auto elettriche hanno cavi ad alta tensione che trasportano più di 60 volt. Sono realizzati appositamente di colore giallo, ma se i vigili del fuoco che devono estrarre un ferito da un'auto non sono preparati rischiano di rimanere fulminati.*

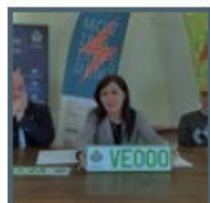
*E la "preparazione" è quasi nulla, al momento: secondo la National Fire Protection Association solo un quarto degli 1,1 milioni di vigili del fuoco negli Stati Uniti hanno subito un addestramento per affrontare le fiamme di un'auto elettrica. E non ci sono statistiche simili in altri Paesi Europei.*

*I più bravi di tutti sono - guarda caso... - i vigili del fuoco di Fremont, in California, che ospita l'impianto di assemblaggio della Tesla: sono considerati un'autorità nell'affrontare gli incendi di auto elettriche e hanno messo a punto una tecnica molto sofisticata che prevede l'immersione dei pacchi batteria in speciali serbatoi d'acqua. Chiedere a loro potrebbe essere una strada per affrontare il problema.*

*Ma il punto è uno solo: è più pericoloso l'incendio una vettura elettrica o di una diesel o benzina? Secondo la massima autorità mondiale, l'NHTSA, l'ente federale Usa per la sicurezza stradale, "il rischio di incendi nei veicoli elettrici è in qualche modo paragonabile o forse leggermente inferiore a quello dei carburanti per veicoli a benzina o diesel". Bisogna solo essere preparati alla grande diversità del tipo di fiamme. E alle enormi differenze fra i veicoli. Non è certo poco...*

*Non a caso l'NHTSA ha anche realizzato una guida per i proprietari di veicoli elettrici e ibridi con batterie ad alta tensione, mettendo in guardia sui*

*pericoli di scosse pericolose. E, allo stesso tempo, ha spronato i governi e i costruttori a mettere in piedi uno standard di sicurezza (colore dei cavi, posizioni dei sistemi più pericolosi da toccare, gestione dei punti di alta tensione) unico. Ma con la velocissima evoluzione del settore dell'elettrico tutto diventa più difficile. Nel frattempo, il rischio che fra la popolazione si diffonda il panico per le fiamme indomabili delle vetture elettriche, è concreto.*



### **San Marino lancia le targhe verdi per i veicoli elettrici**

E. 28 marzo 2019 ,Virgilio motori

<https://motori.virgilio.it/notizie/incendi-auto-elettriche-batterie-fanno-paura/122228/>

#### **Incendi sulle auto elettriche: le batterie fanno paura**

**Differenti episodi accrescono il timore nei confronti delle batterie al litio presenti sulle auto elettriche**

*Le fiamme che fuoriescono dalle batterie al litio infatti sono molto difficili da spegnere e con la diffusione delle vetture elettriche si pensa a come poter preparare le Forze dell'Ordine e i Vigili del Fuoco a questa problematica. Vicino a Fort Lauderdale il mese scorso ha preso fuoco una Tesla Model S e questo ha scosso molto tutti i sostenitori della mobilità green. L'incendio è*

stato difficile da domare, la Polizia ha cercato di spegnere le fiamme con gli estintori classici che vengono forniti in dotazione dal dipartimento, ma non c'è stato nulla da fare. I prodotti chimici usati infatti all'interno di questi dispositivi standard sono inutili

nel caso in cui gli incendi siano dovuti a batterie agli ioni di litio.

Per questo motivo sono dovuti intervenire i Pompieri che hanno spento l'incendio usando una quantità d'acqua immensa.

La Tesla Model S poi si è riaccesa altre due volte dopo essere stata rimossa al luogo dove è avvenuto l'incidente, e questo ha

creato panico e sgomento. Oltretutto le auto elettriche sono pericolose per i primi soccorritori anche perché hanno dei cavi

ad alta tensione che trasportano più di 60 volt, sono in colore giallo proprio per essere ben riconoscibili ma se un soccorritore

non è preparato rischia di rimanere fulminato. E a questo proposito purtroppo possiamo dire che solo un quarto dei Vigili del

Fuoco in USA ha subito un addestramento per essere in grado di superare un incendio di auto elettriche e risolverlo.

I più preparati sono quelli di Fremont, in California, "casualmente" proprio nel posto dove si trova l'impianto di assemblaggio

della Tesla. Chiedere a loro potrebbe essere fondamentale per affrontare il problema, visto che hanno messo a punto una

tecnica apposita molto sofisticata.

Secondo la massima autorità mondiale, l'NHTSA, l'ente federale Usa per la sicurezza stradale: "Il rischio di incendi nei veicoli

elettrici è in qualche modo paragonabile o forse leggermente inferiore a quello dei carburanti per veicoli a benzina o diesel". È

necessario però essere preparati alla diversità del tipo di fiamme e alla differenza delle tipologie di veicoli. Questo è il

motivo per cui l'NHTSA ha realizzato una guida per i proprietari di auto elettriche e ibride con batterie ad alta tensione. Inoltre

l'ente si è anche preoccupato di allertare costruttori e governi per creare uno standard di sicurezza unico, che possa

riguardare la gestione dei punti di alta tensione, la posizioni dei sistemi pericolosi o ancora il colore dei cavi.

È tutto sempre più difficile, vista la continua evoluzione del settore elettrico, intanto diventa ogni giorno più reale il rischio che

nelle persone si scateni il panico per le fiamme indomabili delle auto elettriche.

## 12. Fremont, Tesla Model X Bursts Into Flame After Crash. February 18, 2019

<https://sanfrancisco.cbslocal.com/2019/02/18/tesla-model-x-crashes-burns-fremont/>  
<https://cbsloc.al/2EguU2y> con filmato





*Police believe fatigue could have been a factor in the crash on southbound Paseo Padre Parkway at Thornton Avenue.*

*“We believe the driver was fatigued and ... speed played a role when he drifted off the roadway and into the two trees,” Fremont police Sgt. Daniel O’Connell told KPIX.*

*The force of the impact swung the car around and damaged the front part of the long battery which runs along the undercarriage.*

*The man escaped on his own but the car caught fire a short time later.*

*The driver, the only occupant in the car, suffered only minor injuries, police said. KPIX 5 has learned the driver was a Tesla employee.*

*For three hours, Fremont firefighters sprayed water on the battery to cool it down and monitored the temperature. Tesla technicians gave the all-clear via phone to move the Model X to a tow yard.*

*When asked if he knew whether the vehicle had been in Autopilot mode at the time of the crash, Sgt. O’Connell said he did not.*

*Firefighters learned a valuable lesson while fighting this Tesla car fire.*

*“About 10 minutes into the incident, we used a truck company to lift the vehicle partially so the whole (water) stream can be applied directly to the battery pack,” Fremont fire department battalion chief Gary Ashley told KPIX.*

*“The battery pack sits at the base of the vehicle. In order to cool it effectively, you need to tilt the vehicle a bit. We used high-lift jacks to do that and it was very effective,” he added.*

### *13. Fremont, fire at Tesla factory, 16 febbraio 2019*

<https://abc7news.com/fire-outside-tesla-plant-in-fremont-contained/5142467/>

<https://www.cnbc.com/2019/02/17/fire-at-tesla-factory-in-fremont-contained-wont-impact-production.html>

Fire at Tesla factory in Fremont contained, won't impact production

Sun, 17 Feb 2019

*Tesla suffered another fire at its car plant in Fremont, California on Saturday night.*

*The same Tesla factory endured significant fires in its paint shop last year, taking expensive equipment out of commission.*

*Tesla confirmed that the fire has been contained and will not impact vehicle production.*

*The company has a history of frequent fires at this facility, including a significant one at its paint shop in April last year that temporarily halted electric vehicle production, and another outdoor fire (near a tent on the south side of the factory) in August.*

*This latest fire comes at a time when Tesla is defending its workplace safety record before California's Division of Occupational Safety and Health.*

*A fire broke out at Tesla's car plant in Fremont, California, on Saturday night, in an area where the company stores some hazardous materials outside.*

*While Tesla can manage some fires with its own internal brigade, the one on Saturday was contained within a few hours by the local Fremont Fire Department, and required a hazardous materials unit, Fremont Deputy Fire Chief Amiel Thurston told the East Bay Times.*

*Tesla confirmed that no employees were injured and the fire would not impact vehicle production.*

*The company has a history of frequent fires at this facility, including a significant one at its paint shop in April last year that temporarily halted electric vehicle production, and another outdoor fire (near a tent on the south side of the factory) in August.*

*This latest fire comes at a time when Tesla is defending its workplace safety record before California's Division of Occupational Safety and Health.*

*In January, Cal-OSHA cited and fined Tesla for allegedly violating six different worker safety regulations in their "GA4" — or general assembly 4 — production line. GA4 is where workers produce some of Tesla's Model 3 electric sedans under a giant tent structure. Tesla plans to appeal those citations.*

14. 10 novembre 2017

A. Fonte 1

<https://www.natlawreview.com/article/lithium-battery-explosion-shuts-down-orlando-airport>

Lithium Battery Explosion Shuts Down Orlando Airport

Monday, November 27, 2017

*A lithium battery explosion shut down MCO International Airport in Orlando, Florida for several hours on Friday, November 10, 2017. The battery exploded in a backpack carrying a traveler's camera. Startled would-be passengers scattered as security personnel, mistakenly believing the noise was a gun shot, reportedly told them to take cover.*

*Many people rushed back through security checkpoints. Others hid in nearby restaurants and stores. One woman reported that she and other travelers huddled on the floor of a restaurant for 20 minutes, unsure whether the noise was a gun shot. Travelers took to social media to report the chaos and ensuing confusion as well as to seek information.*

*As evidenced in the airport incident, lithium batteries can spontaneously cause explosions. If an exploding lithium battery can be mistaken for a gunshot by trained security and airport personnel – are e-cigarettes that use similar batteries as safe as manufacturers and distributors claim?*

*In fact, e-cigarettes using lithium batteries spark their own unique explosion dangers.*

*Battery failures in e-cigs generate increased pressure that "shoots" the batteries out of the tube like "rockets." This is different from other products like laptops, which enclose batteries in*

thick plastic housings, or cell phones, which use flat batteries. If someone is using an e-cigarette when it explodes, those “rockets” can shoot into the body or mouth of the victim, causing severe injuries.

E-cig manufacturers downplay the risk of explosions of the lithium batteries inside their products. When an e-cigarette explodes in a person’s pocket – or mouth – devastating injuries can result. In one incident, a lithium ion battery powering a victim’s e-cigarette exploded in his pocket. He suffered third-degree burns. Another victim reportedly lost seven teeth and suffered burns when an e-cigarette exploded in his mouth.

FEMA reports that from January 2009 to December 31, 2016, 195 e-cigarette fire and explosion incidents occurred in the United States; 133 acute injuries were reported.

If a lithium battery explosion was intense enough to shut down an airport — should you keep e-cigarettes in your pocket — or put them in your mouth?

B. Fonte 2

<https://www.rpwb.com/consumer-protection/defective-products/lithium-ion-battery-explosion/>

Defective Batteries to Blame for Injuries, House Fires  
Battery Explosion Lawsuits

RPWB represents people throughout the country who were injured or lost their homes when lithium-ion batteries exploded or caught fire. This includes e-cigarettes, cell phones (such as the Samsung Note 7), personal vaporizers and remote controlled vehicles.

RPWB was named a 2017 Best Law Firm by U.S. News & World Report in the areas of products liability and personal injury litigation. Our firm is a top-listed plaintiff product liability firm as rated by Best Lawyers in America.

We have a long record of successfully representing plaintiffs suffering from burn injuries and those who have lost their homes to fire. This includes multi-million dollar settlements for lithium-ion battery explosions. Additionally, we have represented many people who were burned by other defective products, including gas cans, deep fryers and gas grills. This included more than 50 people who were hurt or killed by exploding gas cans. One group of clients received more than \$60 million from Blitz U.S.A, Inc., and Walmart as a part of a settlement.

Litigation Update: E-Cigarette Explosions

-

As more Americans turn to e-cigarettes and personal vaporizers, we wanted to alert you to a lesser-known danger of these products.

E-cigarettes typically run on high-power, lithium-ion batteries that are highly combustible. Most e-cigarettes or personal vaporizers utilize a cylindrical housing area for the battery. When one of these batteries fails, the e-cigarette or personal vaporizer can either explode or rupture at one of its ends, causing the device to be propelled like a rocket. Serious injury to users’ hands and faces have been associated with the use of e-cigarettes or personal vaporizing hardware. In some cases, the explosions have also caused house and car fires.

RPWB attorneys are currently involved in litigation stemming from injuries caused by the explosion of electronic cigarettes or personal vaporizers. If you would like to speak with one of our attorneys about injuries resulting from the use of these types of devices, please contact Terry Richardson or Chris Moore.

Learn more about e-cigarette explosions.

Why Do Lithium-ion Batteries Explode?

-

*The answer is often the result of manufacturers pushing the limits of batteries in order to maximize the amount of stored energy while minimizing charging time and cost. If you think about it, nearly every new device we use is more powerful than what it replaced, placing more and more demand on a style of battery that many experts believe has been maxed out in terms of the amount of energy it can store.*

*There are a variety of ways in which lithium-ion batteries can explode, including leaking chemicals, incompatible chargers and improperly separated electrodes as appears to be the case with the Samsung Galaxy Note 7. For more information about the science behind battery explosions, we recommend this [article](#).*

*Many lithium-ion batteries are produced in unregulated factories in Asia, according to a [recent report](#) in the New York Times. Often battery explosions happen without warning, which poses even more of a threat for products that are kept close to a person's body, such as e-cigarettes, cameras, cell phones and other personal electronics.*

*In March 2016, the Federal Aviation Administration issued a [warning](#) that lithium batteries in the storage area of airplanes pose a risk of "catastrophic hull loss." Six months later, in October 2016, the FAA banned [Samsung Note 7 phones](#) from airplanes after numerous reports of exploding phones.*

*RPWB attorneys are involved in product liability and personal injury litigation against parties who are responsible for bringing defective and dangerous products to market. We understand the science of these cases and have a long record of bringing justice to the victims of dangerous products.*

### *15.23 maggio 2017 - Impianto riciclo*

<https://www.mrw.co.uk/latest/man-hospitalised-in-battery-recycling-plant-explosion/10020183.article>

#### **Man hospitalised in battery recycling plant explosion**

*A 26-year-old man is being treated for multiple wounds and burns following a fire at G&P Batteries in Walsall.*

*A number of lithium batteries exploded at the plant in Darlaston at around 1.45pm on 23 May. West Midlands Fire Service sent 30 firefighters to tackle a fire that then spread through the premises, involving four tonnes of batteries.*

*West Midlands Ambulance Service said paramedics were on the scene within seven minutes. An emergency doctor and an NHS hazardous area response team also attended.*

*An ambulance spokesman said: "While firefighters brought the blaze under control, ambulance staff dealt with a 26-year-old man who had suffered multiple wounds across his body, head and face, as well as both arms and legs. He also had burns on both hands.*

*"Staff dressed his wounds and stabilised his condition before taking him to the major trauma centre at the Queen Elizabeth Hospital Birmingham for further assessment and treatment. There were no other patients."*

*Fire crews visited the scene this morning and confirmed the blaze had been fully extinguished.*

*A statement from G&P Batteries said the used lithium batteries were being packaged for onward delivery to an accredited recycler and that they "unexpectedly and spontaneously combusted".*

*It continued: "The intense heat from the fire consequently ignited other batteries awaiting despatch for recycling. The fire was successfully contained by the bespoke infrastructure G&P*

*Batteries employs to handle these hazardous materials. Emergency Services attended and extinguished the fire.*

*"Regrettably member of G&P Batteries staff, who was working close by, suffered minor injuries. He is expected to make a full recovery and return to work in the next few days."*

*G&P Batteries was hit by two fires in 2014 within the space of a few weeks.*

*Managing director Greg Clementson:*

*"Our first priority was the safety of our staff and to ensure no harm to the environment. I was delighted with the response of our teams and that of the Emergency Services. We are pleased that our injured colleague is recovering well.*

*"Working in deep collaboration with the local Emergency Services we have well-rehearsed procedures for dealing with these types of incidents.*

*"We must all remember that these are the same batteries (lithium batteries) that people are relying upon every day to power mobile phones, computers and cars and the risk of combustion in certain circumstances is well known and documented.*

*"This risk is magnified when you are dealing with waste products which in some cases may have been damaged.*

*"Working with the battery manufacturers, original equipment suppliers and waste collection schemes, G&P Batteries has developed robust systems and criteria to manage risks associated with damaged and defective batteries, to ensure the safety of our staff and the local environment.*

*"Safety at our site is our main priority and we are thankful that the systems and processes that we have in place to protect staff and equipment prevented what could have been a more significant incident. We are grateful to the crews that attended from West Midland Fire Service and pleased that the incident commander praised both the company's and staff's reactions to the incident and efforts to minimise impact."*





## Appendice 5.B - Raccolta casi incidenti occorsi a veicoli elettrici. Fonte:31

| Veicoli elettrici |                 |  |                        |                                      |   |  |  |
|-------------------|-----------------|--|------------------------|--------------------------------------|---|--|--|
| Data              | Luogo           | Descrizione incidente  | Veicolo                | Batterie                             | Cause   | Danni a persone e altri  | Sito web   |
| giu-11            | Hangzhou (Cina) | Un taxi della Zotye ha preso fuoco quando a bordo erano presenti il conducente e due passeggeri. nessuna persona è rimasta ferita ma l'auto è andata distrutta. Il rapporto conferma che le celle della batteria sull'auto, non erano responsabili dell'incidente, ma erano impiegate in modo improprio. | Zotye M300 EV          | LiFePo4 100Ah<br>32.5kWh             | Danno dell'isolamento tra le celle di batteria e le pareti del contenitore di alluminio in cui le cellule sono state impilate; cortocircuiti avvenuti all'interno dei contenitori che coinvolgono parti di supporto e di collegamento delle batterie. | Nessun ferito  | <a href="http://chinaautoweb.com/2011/04/hangzhou-halts-all-electric-taxis-as-a-zotye-langyue-multipla-ev-catches-fire/">http://chinaautoweb.com/2011/04/hangzhou-halts-all-electric-taxis-as-a-zotye-langyue-multipla-ev-catches-fire/</a><br><br><a href="http://chinaautoweb.com/2011/06/battery-pack-defects-blamed-for-zotye-ev-fire/">http://chinaautoweb.com/2011/06/battery-pack-defects-blamed-for-zotye-ev-fire/</a> |
| giu-11            | USA             | La Volt che ha preso fuoco era stata distrutta in un impatto laterale durante un crash test NHTSA, ruotata di 360 gradi sottosopra, e poi conservata in un deposito all'aperto. Tre settimane dopo il crash test, la vettura ha preso fuoco.   | Chevrolet Volt (P-HEV) | A ioni di litio da<br>16 kWh (58 MJ) | Danneggiamento del circuito di raffreddamento   | Nessun ferito  | <a href="http://www.electricmotornews.com/veicoli-ecologici/automobili/chevrolet/chiuso-le-indagini-sullincendio-della-batteria-della-volt">http://www.electricmotornews.com/veicoli-ecologici/automobili/chevrolet/chiuso-le-indagini-sullincendio-della-batteria-della-volt</a><br><br><a href="http://www.forum.clubvolvoitalia.it/index.php?topic=4627.0">http://www.forum.clubvolvoitalia.it/index.php?topic=4627.0</a>   |
| mag-12            | Shenzhen (Cina) | Un Taxi della BYD e6 si è incendiata dopo essersi scontrata frontalmente con un'altra auto   | BYD e6                 | 75 kWh (LiFePO4)<br><br>92 celle     | Incendio innescato dopo l'impatto   | 3 Morti (tutti nell'auto elettrica) + 1 ferito nell'altra macchina       | <a href="http://chinaautoweb.com/2012/05/three-byd-e6-passengers-killed-in-fiery-crash-spurring-ev-safety-concern/">http://chinaautoweb.com/2012/05/three-byd-e6-passengers-killed-in-fiery-crash-spurring-ev-safety-concern/</a>  |
| mag-12            | Texas           | Un nuovo veicolo elettrico pulg-in ibrido si è incendiato dopo pochi minuti che è stato parcheggiato nel garage.   | Fisker Karma P-HEV     |                                      | L'incendio è stato innescato stesso dall'auto elettrica   | Nessun ferito, ma si è incendiata una parte della casa ed altre due auto | <a href="http://autoweek.com/article/car-news/official-claims-fisker-karma-blame-texas-house-fire-update-statement-fisker-karma">http://autoweek.com/article/car-news/official-claims-fisker-karma-blame-texas-house-fire-update-statement-fisker-karma</a>  |

<sup>31</sup> Paola Russo, Pierluigi Papillo: "La ricarica di veicoli elettrici: studio preliminare alla modellazione delle distanze di sicurezza ".Report RdS/PAR2016/241. Settembre 2017

## Veicoli elettrici

| Data   | Luogo                 | Descrizione incidente   | Veicolo                                 | Batterie        | Cause   | Danni a persone e altri  | Sito web  |
|--------|-----------------------|---|---|-----------------|---|--|---|
| ago-12 | Woodside - California | Un'auto ha preso fuoco mentre era parcheggiata. Secondo gli ingegneri Fisker, la zona di origine del fuoco era determinata all'esterno del vano motore, poiché il fuoco era situato all'angolo anteriore dell'autista   | Fisker Karma P-HEV                      |                 | Un guasto ha causato il non funzionamento della ventola di raffreddamento a bassa temperatura, quindi il surriscaldamento ha avviato un incendio lento.                         | Nessun ferito  | <a href="https://www.engadget.com/2012/08/18/fisker-completes-investigation-of-latest-karma-ev-fire-issues-c/">https://www.engadget.com/2012/08/18/fisker-completes-investigation-of-latest-karma-ev-fire-issues-c/</a> |
| ott-12 | New Jersey            | L'uragano Sandy ha causato l'alluvione di un porto a Newark. Le inondazioni sono durate diverse ore e, in seguito, 16 Fisker Karma e una Toyota Prius PHEV nuove di zecca sono stati distrutti da un incendio   | 16 Fisker Karma P-HEV<br>1 Toyota Prius |                 | Le macchine erano completamente coperte con acqua salata durante l'alluvione, una situazione estrema in cui è probabile che si verificano cortocircuiti elettrici si verificano | 17 auto incendiate   | <a href="http://www.greenstart.it/lo-strano-caso-delle-fisker-karma-incendiate-durante-luragano-sandy-499">http://www.greenstart.it/lo-strano-caso-delle-fisker-karma-incendiate-durante-luragano-sandy-499</a>         |
| mar-13 | Giappone              | La batteria agli ioni di litio di un i-MiEV ha infiammato l'impianto di assemblaggio della batteria Mizushima mentre è collegato ad un dispositivo di prova di scarico  | Mitsubishi i-MiEV                       |                 |   | Non si è verificato un danneggiamento del personale o u dell'impianto e delle attrezzature principali dell'impianto. | <a href="http://www.greenstart.it/ancora-noie-dalle-batterie-al-litio-ora-tocca-a-mitsubishi-702">http://www.greenstart.it/ancora-noie-dalle-batterie-al-litio-ora-tocca-a-mitsubishi-702</a>                           |
| mar-13 | Giappone              | La batteria di un Outlander P-HEV in una concessionaria a Yokohama ha surriscaldato e fuso alcune delle celle di batteria, dopo che il veicolo era stato completamente caricato per un giorno. Il conducente ha rilevato un odore, che è stato ricondotto alla fusione di parte della batteria. | Mitsubishi Outlander                    |                 | La fusione si è generata dal surriscaldamento di alcune delle celle della batteria.   | Nessun ferito  | <a href="http://www.greencarcongress.com/2013/03/mmc-20130327.html">http://www.greencarcongress.com/2013/03/mmc-20130327.html</a>   |
| ott-13 | Washington            | Una Tesla Model S prende fuoco dopo aver investito un corpo metallico in autostrada   | Tesla Model S                           | 18650 panasonic | Incendio innescato dopo l'urto  | Nessun ferito  | <a href="http://www.veicolieltricine.ws.it/incendio-della-tesla-model-s-ecco-i-primi-chiarimenti/">http://www.veicolieltricine.ws.it/incendio-della-tesla-model-s-ecco-i-primi-chiarimenti/</a>                         |
| ott-13 | Messico               | L'auto colpisce un albero ad un'elevata velocità e dopo si incendia   | Tesla Model S                           | 18650 panasonic | Incendio innescato dopo l'urto ad alta velocità   | Nessun ferito  | <a href="http://www.auto-blog.com.mx/funcionario-de-hacienda-choca-e-incendia-un-">http://www.auto-blog.com.mx/funcionario-de-hacienda-choca-e-incendia-un-</a>   |



## Veicoli elettrici

| Data   | Luogo                   | Descrizione incidente  | Veicolo           | Batterie        | Cause  | Danni a persone e altri | Sito web  |
|--------|-------------------------|--|-------------------|-----------------|--|-------------------------|---|
|        |                         |  |                   |                 |  |                         | <a href="http://tesla-model-s-en-merida/">tesla-model-s-en-merida/</a>  |
| nov-13 | Smyrna Tennessee-USA    | L'incendio è avvenuto dopo che l'auto ha colpito un gancio di traino nei pressi di una ferrovia.   | Tesla Model S     | 18650 panasonic | Incendio innescato dopo l'urto ad alta velocità  | Nessun ferito           | <a href="http://www.greenstyle.it/auto-elettriche-unaltra-tesla-model-s-prende-fuoco-negli-usa-60453.html">http://www.greenstyle.it/auto-elettriche-unaltra-tesla-model-s-prende-fuoco-negli-usa-60453.html</a>   |
| feb-14 | Toronto Canada          | Il fuoco si è sviluppato durante la sosta. la vettura elettrica era stata posteggiata dal proprietario a fianco di una Lexus nel proprio garage, ma sembra che non fosse collegata alla rete elettrica per la ricarica           | Tesla Model S     | 18650 panasonic | Non accertate  | Nessun ferito           | <a href="http://www.greenstyle.it/auto-elettriche-una-tesla-model-s-ha-preso-fuoco-a-toronto-73355.html">http://www.greenstyle.it/auto-elettriche-una-tesla-model-s-ha-preso-fuoco-a-toronto-73355.html</a>   |
| gen-16 | Brokelandsheia Norvegia | L'auto prende fuoco durante la ricarica in una stazione supercharge  | Tesla Model S     | 18650 panasonic | L'incendio ha avuto origine nella scatola di distribuzione elettrica contenuta nella Model S | Nessun ferito           | <a href="http://www.electricmotornews.com/veicoli-ecologici/automobili/tesla-automobili/corto-circuito-in-auto-incendia-una-tesla-model-s-in-norvegia">http://www.electricmotornews.com/veicoli-ecologici/automobili/tesla-automobili/corto-circuito-in-auto-incendia-una-tesla-model-s-in-norvegia</a> |
| mag-16 | Olanda                  | Lo scontro è avvenuto ad alta velocità: quando i soccorsi sono arrivati, il conducente era già deceduto. Stando ad alcune fonti, l'incendio si sarebbe propagato dai moduli usciti dal pacco batterie, danneggiato nello scontro | Tesla Model S     | 18650 panasonic | Incendio innescato dopo l'urto ad alta velocità  | Morte del conducente    | <a href="https://www.quattroruote.it/news/eventi/2016/09/07/tesla-incidente-mortale-in-olanda-una-model-s-prende-fuoco.html">https://www.quattroruote.it/news/eventi/2016/09/07/tesla-incidente-mortale-in-olanda-una-model-s-prende-fuoco.html</a>   |
| lug-16 | Roma                    | L'auto avrebbe preso fuoco dalla parte posteriore ed è andata bruciata   | BMW i3            |                 | Non accertate  | Nessun ferito           | <a href="https://www.alvolante.it/news/bmw-i3-della-polizia-va-fuoco-347618">https://www.alvolante.it/news/bmw-i3-della-polizia-va-fuoco-347618</a><br><br><a href="http://www.hdmotori.it/2016/07/13/bmw-i3-polizia-fiamme-video/">http://www.hdmotori.it/2016/07/13/bmw-i3-polizia-fiamme-video/</a>  |
| ago-16 | Biarritz (Francia)      | Una Model S prende fuoco durante un test drive in Francia  | Tesla Model S 90D | 18650 panasonic | L'incendio è scoppiato per via di un errato collegamento elettrico                           | Nessun ferito           | <a href="http://www.ilfattoquotidiano.it/2016/08/16/tesla-una-model-s-prende-fuoco-durante-un-test-drive-in-francia-illesi-i-">http://www.ilfattoquotidiano.it/2016/08/16/tesla-una-model-s-prende-fuoco-durante-un-test-drive-in-francia-illesi-i-</a>   |

## Veicoli elettrici

| Data   | Luogo            | Descrizione incidente  | Veicolo  | Batterie        | Cause   | Danni a persone e altri   | Sito web   |
|--------|------------------|--|--|-----------------|---|---|--|
|        |                  |  |  |                 |   |   | <a href="http://www.passeggeri/2977046/">passeggeri/2977046/</a><br><br><a href="http://www.motorionline.com/2016/09/15/tesla-model-s-90d-chiuse-le-indagini-sullincendio-avvenuto-in-francia/">http://www.motorionline.com/2016/09/15/tesla-model-s-90d-chiuse-le-indagini-sullincendio-avvenuto-in-francia/</a>    |
| nov-16 | Indianapolis     | Una Tesla Model S è stata avvolta da un furioso incendio in seguito ad un terribile incidente a Indianapolis (USA).  | Tesla Model S                                  | 18650 panasonic | L'elettrica procedeva ad alta velocità e le fiamme si sono sprigionate in seguito all'impatto contro un albero, facendo esplodere le batterie della Tesla Model S | 2 morti. Il conducente (una donna di 27 anni morta sul colpo) che il passeggero (un uomo di 44 anni deceduto in ospedale) | <a href="http://motoriblog.net/auto/10623/tesla-model-s-due-persone-uccise-un-violento-incidente">http://motoriblog.net/auto/10623/tesla-model-s-due-persone-uccise-un-violento-incidente</a>  |
| feb-17 | Guangzhou (Cina) | Un Modello X della tesla, con a bordo tre persone, viaggiava a 75 km/h sull'autostrada di Guangzhou (Cina). L'auto si è schiantata contro un guard rail e ha perso il controllo. Dopo l'impatto l'elettrica si è incendiata. | Tesla SUV Model X                              |                 | L'incendio si è verificato dopo la collisione   | 3 persone sono rimaste ferite   | <a href="http://www.bestchinanews.com/Science-Technology/9525.html">http://www.bestchinanews.com/Science-Technology/9525.html</a><br><br><a href="http://www.bestchinanews.com/1ydzximg/0GBCKVJp2P">http://www.bestchinanews.com/1ydzximg/0GBCKVJp2P</a>   |
| mar-17 | Shangai (Cina)   | Un modello S di Tesla preso fuoco a Jinqiao in una stazione di ricarica veloce a Shanghai, in Cina. Il veicolo ha preso fuoco quando non era collegato alla colonnina di ricarica.   | Tesla Model S P85                              | 18650 panasonic | Non è chiaro se l'incendio abbia avuto origine dal veicolo stesso o da qualcosa all'interno della cabina  | Nessun ferito   | <a href="https://electrek.co/2017/03/04/tesla-model-s-fire-shanghai/">https://electrek.co/2017/03/04/tesla-model-s-fire-shanghai/</a>  |
| giu-17 | Svizzera         | L'auto sportiva si è incendiata dopo l'uscita fuori strada durante una registrazione di una scena di un film   | Rimac Concept One (vettura sportiva elettrica) |                 | Incendio dopo capovolgimento dell'auto  | Il conducente si è ferito   | <a href="http://www.wheels24.co.za/Fuel-Focus/richard-hammonds-crash-why-did-his-ev-catch-fire-20170614">http://www.wheels24.co.za/Fuel-Focus/richard-hammonds-crash-why-did-his-ev-catch-fire-20170614</a><br><br><a href="https://www.youtube.com/watch?v=hc9yulTtU">https://www.youtube.com/watch?v=hc9yulTtU</a> |

## Veicoli elettrici

| Data   | Luogo   | Descrizione incidente  | Veicolo       | Batterie        | Cause  | Danni a persone e altri               | Sito web   |
|--------|---------|--|---------------|-----------------|--|---------------------------------------|--|
| ott-17 | Austria | Una donna di 19 anni alla guida di una Tesla Model S sulla Arlberg Expressway si è schiantata contro una barriera di cemento armato ad alta velocità | Tesla Model S | 18650 panasonic | Un incendio apparentemente iniziato nella batteria nella parte anteriore del veicolo in cui ha colpito il muro di cemento. | Il conducente si è leggermente ferito | <a href="https://electrek.co/2017/10/18/tesla-model-s-fire-high-speed-crash-video-impressive-operation/">https://electrek.co/2017/10/18/tesla-model-s-fire-high-speed-crash-video-impressive-operation/</a><br><br><a href="https://www.facebook.com/802617813183804/videos/1297901856988728/">https://www.facebook.com/802617813183804/videos/1297901856988728/</a> |

## Appendice 5.C - Raccolta casi incidenti preliminare alla analisi dei rischi. Fonte: 32

| Data                    | Luogo    | Descrizione dell'incidente   | Veicolo | Batteria | Cause | Conseguenze | Fonte bibliografica |
|-------------------------|----------|--|---------|----------|-------|-------------|---------------------|
| <b>17 Novembre 2010</b> | Norvegia | Circa alle 6 del mattino un fuoco viene identificato sul ponte di trasporto veicoli del traghetto che collega Oslo a Copenaghen. L'intervento dell'impianto sprinkler del traghetto ha spento l'incendio. Nessun ferito. La causa dell'incidente è stata identificata in un cortocircuito nel connettore di una prolunga utilizzata per ricaricare una Nissan Qashqai modificata ad alimentazione elettrica dalla compagnia "A Future EV" alimentandosi da una presa di corrente presente sul ponte della nave.  |         |          |       |             | 33, 34              |
| <b>Aprile 2011</b>      | Cina     | Una Zoyte M300 EV operante come taxi prende fuoco a Hangzhou, Cina. L'autista ed i passeggeri lasciano l'abitacolo illesi. L'investigazione dell'incidente addebita la causa dell'evento in un difetto del pacco batteria dovuto alla mancanza di controllo di qualità durante il processo di costruzione e assemblaggio. Secondo gli investigatori i problemi incorsi inclusero la perdita di materiale dalle celle, la perdita di isolamento tra le celle ed il case di alluminio del pacco batterie portando a cortocircuiti tra uno dei pacchi ed involucri protettivi di altre parti e supporti. Il più esteso dei corto circuito ha portato all'ignizione dei sedili posteriori. |         |          |       |             | 35, 36              |
| <b>Giugno 2011</b>      | USA      | A seguito di un test crash su una Chevrolet Volt quest'ultima ha preso fuoco a 3 settimane dall'avvenuto test. A seguito dell'evento l'NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) ha iniziato a lavorare con le case costruttrici sull'emissione di linee guida per la sicurezza dei passeggeri e dei soccorritori che intervengono a seguito di un incidente dove viene coinvolto un veicolo elettrico.   |         |          |       |             | 37, 38, 39          |

<sup>32</sup> M. Schiavetti, T. Pini, F. D'Errico, M. Carcassi: "STUDIO SULLA CARATTERIZZAZIONE DEI VARI LIVELLI DI PROTEZIONE DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE PER USO AUTOMOTIVE, MEDIANTE "LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA)"". Report RdS/PAR2016/242. Settembre 2017

33. <http://www.fyens.dk/article/1731574:Indland-Fyn--Faerge-tidligst-paa-vandet-igen-om-seks-dage?rss>

34. <https://ing.dk/artikel/forlaengerledning-til-ombygget-elbil-skyld-i-brand-pa-faerge-114022>

35. <http://chinaautoweb.com/2011/04/hangzhou-halts-all-electric-taxis-as-a-zotye-langyue-multipla-ev-catches-fire/>

36. <http://chinaautoweb.com/2011/06/battery-pack-defects-blamed-for-zotye-ev-fire/>

37. <https://wheels.blogs.nytimes.com/2011/11/11/chevy-volt-fire-prompts-federal-investigation-into-lithium-ion-batteries/?ref=automobiles>

38. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2011-11-11/gm-volt-battery-fire-is-said-to-prompt-u-s-probe-into-electric-car-safety>

39. [http://www.nytimes.com/2011/11/26/business/regulators-investigate-chevrolet-volt-battery.html?\\_r=2&ref=automobiles](http://www.nytimes.com/2011/11/26/business/regulators-investigate-chevrolet-volt-battery.html?_r=2&ref=automobiles)

| Data                 | Luogo | Descrizione dell'incidente  | Veicolo | Batteria | Cause | Conseguenze | Fonte bibliografica |
|----------------------|-------|---|---------|----------|-------|-------------|---------------------|
| <b>Novembre 2011</b> | USA   | Altri test vengono effettuati sulla Chevrolet Volt ed in 2 dei 3 test effettuati si verificano eventi termici, inclusi incendi. A seguito dei test la casa costruttrice rinforza la protezione meccanica intorno ai pacchi batterie e modifica il sistema di raffreddamento per avere maggiori garanzie di asportazione del calore da parte del sistema anche a seguito di una collisione.  |         |          |       |             | 40, 41              |
| <b>Dicembre 2011</b> | USA   | La Fisker ritira le prime 239 Karmas inviate negli USA per problemi di sicurezza dei pacchi batterie dovuti a possibili perdite di refrigerante. Il produttore dichiarò che alcuni fissaggi delle tubazioni del circuito refrigerante non erano stati posizionati a regola d'arte e che una perdita di refrigerante avrebbe potuto provocare corto circuiti e incendio del pacco batterie.  |         |          |       |             | 42                  |
| <b>Aprile 2012</b>   |       | Una Chevrolet elettrica prende fuoco durante la ricarica. La causa viene individuata nella sovra carica del pacco batterie.   |         |          |       |             | 43                  |
| <b>Maggio 2012</b>   | USA   | Una Fisker Karma prende fuoco coinvolgendo altri 2 veicoli in un garage privato a Fort Bend County, Texas, USA. Gli investigatori concludono che l'incendio è iniziato dalla Karma senza poter identificare le cause dell'incidente, il pacco batterie non sembra comunque aver contribuito.  |         |          |       |             | 44, 45              |
| <b>Maggio 2012</b>   | Cina  | Una Nissan GTR impatta contro una BYD e6 utilizzata come taxi a Shenzhen, Cina. L'auto elettrica prende fuoco dopo l'impatto con un albero provocando la morte delle 3 persone a bordo. Gli investigatori cinesi concludono che le fiamme si sviluppano a seguito di corto circuiti sulla linea ad alta tensione che hanno portato all'ignizione di materiale infiammabile dell'auto. Il pacco batterie non è esploso, solo alcune delle celle sono state coinvolte nell'incendio e il 75% delle celle stesse sono rimaste intatte. |         |          |       |             | 46, 47              |

- 
40. [https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in\\_electric\\_vehicle\\_fire\\_incidents](https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_electric_vehicle_fire_incidents)
  41. <https://www.reuters.com/article/us-gm-volt-idUSTRE7AO1SH20111126?type=GCA-GreenBusiness&feedType=RSS&feedName=GCA-GreenBusiness&rpc=43>
  42. <https://wheels.blogs.nytimes.com/2011/12/30/fisker-recalling-239-karma-electric-cars-for-fire-hazard/?ref=automobiles>
  43. C. Qi, Y. Zhu, F. Gao, S. Wang, K. Yang, Q. Jiao, "Safety analysis of Lithium-ion batteries by rheology-mutation theory coupling with fault tree method", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2017 (1-9)
  44. <http://autoweek.com/article/car-news/official-claims-fisker-karma-blame-texas-house-fire-update-statement-fisker-karma>
  45. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2012-05-18/fisker-karma-fire-in-texas-garage-being-probed-by-nhtsa>
  46. <http://www.greencarcongress.com/2012/05/bydcrash-20120528.html>
  47. <http://www.greencarcongress.com/2012/08/byde6-20120810.html>

| Data                    | Luogo | Descrizione dell'incidente   | Veicolo | Batteria | Cause | Conseguenze | Fonte bibliografica |
|-------------------------|-------|--|---------|----------|-------|-------------|---------------------|
| <b>Agosto 2012</b>      | USA   | Una Karma prende fuoco durante il parcheggio a Woodside, California, USA. La causa dell'incendio è stata identificata al di fuori del sistema batterie, in un ventilatore che ha subito un malfunzionamento e surriscaldandosi ha preso fuoco.   |         |          |       |             | 48, 49, 50, 51      |
| <b>Settembre 2012</b>   |       | La Chrysler ha temporaneamente ritirato dal mercato 109 Dodge Ram 1500 ibridi e 23 Chrysler Town & Country ibridi dopo che 3 diversi pick-up hanno subito danni a causa del surriscaldamento dei pacchi batteria da 12.9 kW/h. Il produttore ha sostituito i pacchi batteria con celle avente diversa tecnologia al litio.   |         |          |       |             | 52                  |
| <b>29 Ottobre 2012</b>  |       | A seguito delle inondazioni provocate dalla tempesta "Sandy" una Toyota Prius e 16 Fisker Karmas prendono fuoco mentre sono parcheggiate al Port Newark – Elizabeth Marine Terminal. I veicoli erano stati parzialmente sommersi dall'inondazione provocata dall'uragano. Nel caso della Toyota la casa costruttrice identifica la causa nel contatto dell'acqua salata con il sistema elettrico. Anche nel caso delle Karmas gli ispettori identificano la causa nel danneggiamento provocato dal sale all'interno dell'unità di controllo del veicolo e a corto circuiti provocati dall'azione del sale. Sembra che il corto circuito abbia interessato solo alcuni dei veicoli mentre gli altri sono stati coinvolti nell'incendio originato da quelli adiacenti. |         |          |       |             | 53, 54, 55          |
| <b>18-21 Marzo 2013</b> |       | Mitsubishi motors riporta 2 eventi incidentali coinvolgenti un'auto elettrica (i-MiEV) e un'auto ibrida Outlander P-HEV. Il produttore delle batterie al litio era lo stesso delle batterie della flotta di Boeing 787 Dreamliner la cui intera flotta era stata tenuta a terra per problemi con le batterie il gennaio dello stesso anno. La batterie della i-MiEV ha preso fuoco nell'impianto di assemblaggio delle batterie a Mizushima mentre era connesso ad un ciclatore il 18 Marzo. Il 21 Marzo il pacco batterie di un Outlander P-HEV si surriscalda e fonde alcune celle durante l'esposizione 40in un   |         |          |       |             | 56, 57, 58          |

48. <https://www.wired.com/2012/08/fisker-karma-fire-part-deux/>
49. [http://www.greencarreports.com/news/1078412\\_second-fisker-karma-fire-casts-fresh-doubt-on-plug-in-hybrid](http://www.greencarreports.com/news/1078412_second-fisker-karma-fire-casts-fresh-doubt-on-plug-in-hybrid)
50. <http://www.dailytech.com/Faulty+Cooling+Fan+to+Blame+for+Latest+Fisker+Karma+Fire+Recall+Initiated/article25448.htm>
51. <http://www.greencarcongress.com/2012/08/fisker-20120818.html>
52. [http://www.greencarreports.com/news/1079368\\_chrysler-yanks-plug-in-hybrid-test-fleet-off-roads-will-replace-batteries](http://www.greencarreports.com/news/1079368_chrysler-yanks-plug-in-hybrid-test-fleet-off-roads-will-replace-batteries)
53. <https://wheels.blogs.nytimes.com/2012/11/02/mystery-at-port-newark-why-did-17-plug-in-cars-burn/>
54. [http://www.motorauthority.com/news/1080183\\_fisker-karmas-catch-fire-after-being-submerged-by-hurricane-sandy-flood](http://www.motorauthority.com/news/1080183_fisker-karmas-catch-fire-after-being-submerged-by-hurricane-sandy-flood)
55. [http://www.greencarreports.com/news/1080276\\_sandy-flood-fire-followup-fisker-karma-battery-not-at-fault](http://www.greencarreports.com/news/1080276_sandy-flood-fire-followup-fisker-karma-battery-not-at-fault)

| Data                   | Luogo | Descrizione dell'incidente   | Veicolo | Batteria | Cause | Conseguenze | Fonte bibliografica |
|------------------------|-------|--|---------|----------|-------|-------------|---------------------|
|                        |       | concessionario a Yokohama e dopo che il pacco batterie era stato caricato il giorno precedente. La causa venne identificata con un cambiamento effettuato nel processo di produzione delle batterie dalla casa produttrice. Altri riferimenti individuano la causa dell'incidente nell'alta temperatura ambiente [43].   |         |          |       |             |                     |
| <b>1 Ottobre 2013</b>  | USA   | Una Tesla modello S prende dopo aver colpito dei detriti sull'autostrada vicino a Kent, Washington USA. L'autista ha lasciato l'autostrada seguendo le istruzioni del sistema di controllo che gli imponeva di fermare il veicolo, che ha preso fuoco costringendolo ad abbandonare l'auto durante il transito sulla rampa di uscita. L'investigazione della casa produttrice riporta che il danneggiamento al pacco batterie è stato causato da un pezzo di metallo perso da un rimorchio che ha fessurato la protezione metallica (0.64cm) ed uno dei pacchi batterie, aggiungendo che la progettazione del pacco batterie ha impedito l'estensione della combustione agli altri pacchi; l'abitacolo è rimasto illeso. I vigili del fuoco riportano di essere intervenuti più di una volta sul focolare che continuava a riprendere a bruciare dopo lo spegnimento fino a che bucando il telaio hanno applicato acqua direttamente sul pacco batterie. |         |          |       |             | 59, 60, 61          |
| <b>18 Ottobre 2013</b> |       | Una Tesla modello S esce di strada per l'alta velocità in corrispondenza di una rotonda e prende fuoco dopo aver impattato contro un muro ed un albero.  |         |          |       |             | 62                  |
| <b>6 Novembre 2013</b> | USA   | Una Tesla S prende fuoco durante la marcia sulla strada Interstatale 24 vicino Murfreesboro, Tennessee USA, dopo l'urto accidentale con un gancio di traino perduto sulla strada che ha danneggiato il fondo dell'auto. A seguito dell'incidente, in attesa di una revisione interna, la Tesla ha deciso di estendere la garanzia dell'auto ai danni da incendio e aggiungendo un software che aumenta l'altezza dal suolo durante la guida ad alta velocità.  |         |          |       |             | 56, 63              |

- 
56. [http://www.nytimes.com/2013/03/28/business/gs-yuasa-discovers-problems-with-its-car-battery.html?emc=eta1&\\_r=2&](http://www.nytimes.com/2013/03/28/business/gs-yuasa-discovers-problems-with-its-car-battery.html?emc=eta1&_r=2&)
57. <http://www.greencarcongress.com/2013/03/mmc-20130327.html>
58. <http://insideevs.com/mitsubishi-extends-production-halt-on-outlander-phev-as-perplexing-battery-investigation-continues/>
59. <https://wheels.blogs.nytimes.com/2013/10/02/highway-fire-of-tesla-model-s-included-its-lithium-battery/>
60. <http://www.hybridcars.com/tesla-model-s-fire/>
61. [http://www.nytimes.com/2013/10/04/business/car-fire-a-test-for-high-flying-tesla.html?ref=automobiles&\\_r=0](http://www.nytimes.com/2013/10/04/business/car-fire-a-test-for-high-flying-tesla.html?ref=automobiles&_r=0)
62. <http://www.nytimes.com/2013/11/08/business/another-fire-raises-questions-for-tesla.html>
63. [http://www.greencarreports.com/news/1088588\\_tesla-fires-nhtsa-will-probe-warranty-to-cover-fire-damage-ride-height-tweak](http://www.greencarreports.com/news/1088588_tesla-fires-nhtsa-will-probe-warranty-to-cover-fire-damage-ride-height-tweak)

| Data                    | Luogo    | Descrizione dell'incidente   | Veicolo | Batteria | Cause | Conseguenze | Fonte bibliografica |
|-------------------------|----------|--|---------|----------|-------|-------------|---------------------|
| <b>15 Novembre 2013</b> | USA      | Una Tesla S prende fuoco durante la ricarica in un garage a Irvine, California USA. L'incendio sembra essere originato dal connettore a muro, dove era connesso l'adattatore. A seguito dell'incidente Tesla ha introdotto un nuovo software che limita la corrente di ricarica e aggiunto un fusibile sull'adattatore.  |         |          |       |             | 64, 65              |
| <b>28 Marzo 2014</b>    | CANADA   | Una Tesla S prende fuoco durante la sosta in un garage a Toronto CANADA. Il veicolo non era in ricarica e le cause dell'incendio rimangono oscure.   |         |          |       |             | 66, 67              |
| <b>Marzo 2015</b>       | Cina     | Un bus elettrico Greenwheel ha preso fuoco durante la marcia a Zhangzhou, Cina. La causa dell'evento viene descritta come un corto circuito esterno.   |         |          |       |             | 40                  |
| <b>Marzo 2015</b>       | Cina     | Un'auto elettrica Tang Jun brucia spontaneamente a Henan, Cina. La temperatura esterna elevata porta alla combustione del mezzo.   |         |          |       |             | 40                  |
| <b>Aprile 2015</b>      | Cina     | Un bus elettrico Wu Zhoulong prende fuoco durante la carica a Shenzhen, Cina. Il BMS omette di fermare la carica provocando una sovraccarica.  |         |          |       |             | 40                  |
| <b>3 Settembre 2015</b> | USA      | Una Nissan Leaf prende fuoco in strada in Texas, USA. Non sono disponibili maggiori informazioni.  |         |          |       |             | 68                  |
| <b>1 Gennaio 2016</b>   | Norvegia | Una Tesla S prende fuoco durante la ricarica al "Tesla Supercharger" in Norvegia. Lo sviluppo dell'incendio è stato lento e il proprietario ha avuto il tempo di scollegare la macchina e raccogliere gli effetti personali. L'indagine ha messo in evidenza che l'incendio è stato originato da un corto circuito nella scatola di distribuzione ma i danni non hanno permesso di individuare la causa specifica. |         |          |       |             | 69, 70, 71, 72      |
| <b>Marzo 2016</b>       | Cina     | Un bus Wu Zhoulong prende fuoco durante la marcia a causa di un corto circuito esterno a Shenzhen, Cina.   |         |          |       |             | 40                  |
| <b>Marzo 2016</b>       | USA      | Una Tesla modello S prende fuoco dopo un forte impatto contro un albero a Indianapolis, USA. I soccorritori riportano che durante l'intervento la  |         |          |       |             | 73                  |

64. [http://www.nytimes.com/2013/11/20/business/us-safety-agency-opens-inquiry-into-tesla-fires.html?ref=automobiles&\\_r=0](http://www.nytimes.com/2013/11/20/business/us-safety-agency-opens-inquiry-into-tesla-fires.html?ref=automobiles&_r=0)

65. <http://insideevs.com/nhtsa-opens-formal-investigation-into-13108-2013-tesla-model-s-sedans-sold-in-us/>

66. <http://jalopnik.com/the-tesla-model-s-now-with-road-debris-crushing-titani-1553544362>

67. <http://www.businessinsider.com/february-1st-toronto-tesla-fire-2014-2?IR=T>

68. <https://longtailpipe.com/2015/09/03/nissan-leaf-catches-fire-in-north-texas-no-clear-information-available/>

69. <https://www.fvn.no/nyheter/lokalt/Tesla-tok-fyr-og-brant-helt-ut-468805b.html>

70. <https://www.aftenposten.no/norge/i/XM1B/Tesla-antente-under-lading-og-brant-opp>

71. <http://www.vg.no/forbruker/bil-baat-og-motor/elbil/tesla-brannen-kortslutning-i-bilen-men-vet-ikke-hvorfor/a/23640710/>

72. <http://www.teslarati.com/tesla-short-circuit-cause-for-model-s-norway-fire/>



| Data                    | Luogo   | Descrizione dell'incidente   | Veicolo | Batteria | Cause | Conseguenze | Fonte bibliografica |
|-------------------------|---------|--|---------|----------|-------|-------------|---------------------|
|                         |         | combustione della batterie avveniva con lancio di "proiettili" tutto intorno.  |         |          |       |             |                     |
| <b>Maggio 2016</b>      | Cina    | Un bus elettrico Yinlong prende fuoco durante la carica a Zhuhai, Cina. La causa è un corto circuito esterno.  |         |          |       |             | 40                  |
| <b>12 Luglio 2016</b>   | Italia  | Una BMW i3 in forza alla Polizia di Stato prende fuoco sulla Salaria nei pressi di Roma. La causa è da determinare, nessun ferito.   |         |          |       |             | 74                  |
| <b>17 Agosto 2016</b>   | Francia | Una Tesla S prende fuoco durante una prova dimostrativa nel sud della Francia. L'autista riporta di aver sentito un rumore in accelerazione su un rettilineo dopo il quale l'unità di controllo gli ha comunicato di fermare il veicolo. Dopo un minuto si è sviluppato un incendio che in 5 minuti ha completamente distrutto l'auto. Salvi i 4 occupanti.      |         |          |       |             | 75, 76              |
| <b>8 ottobre 2016</b>   | UK      | Una Tesla S prende fuoco nello Yorkshire, mentre era in ricarica nel giardino di un'abitazione privata. La causa dell'evento sarebbe un lieve tamponamento avvenuto più di 2 mesi prima ed in seguito al quale delle riparazioni di carrozzeria erano state effettuate in un officina autorizzata dalla casa costruttrice assieme ad un controllo della vettura. |         |          |       |             | 77                  |
| <b>17 Febbraio 2017</b> | USA     | Una Tesla ha preso fuoco ed è "esplosa" subito dopo l'impatto con un albero a Indianapolis, USA, mentre il pilota cercava di evitare un'auto che viaggiava contromano. La ragazza alla guida muore nell'impatto, mentre l'occupante muore in seguito ai danni causati dall'esplosione e dall'incendio.   |         |          |       |             | 78                  |
| <b>10 Luglio 2017</b>   | UK      | Un'auto elettrica (SMART) prende fuoco durante la ricarica a Wickford, Essex, UK. La causa dell'evento è stata imputata ad un corto circuito elettrico.  |         |          |       |             | 79                  |

- 
73. <http://jalopnik.com/tesla-model-s-batteries-violently-explode-in-fatal-cras-1788561054>
74. <https://electrek.co/2016/07/12/bmw-i3-police-car-caught-on-fire-in-rome-video/>
75. <https://arstechnica.com/cars/2016/08/tesla-model-s-france-battery-fire/>
76. <https://electrek.co/2016/08/15/tesla-model-s-catches-fire-test-drive-france/>
77. <https://electrek.co/2017/03/31/tesla-model-s-fire-manchester-crash/>
78. <http://www.nbcnews.com/business/autos/tesla-under-fire-after-explosive-crash-n722541>
79. <http://www.telegraph.co.uk/news/2017/07/10/electric-car-gutted-flames-set-fire-charging/>

## Appendice 5.D - HAZMAT - Eventi incidentali registrati nel 2018 e nel 2019 (22 maggio 2019)<sup>80</sup>

| Date       | Source  | Type of Battery | Device (if applicable)        | Carrier   | Aircraft Type (Passenger or Cargo) | Incident Summary  |
|------------|---------|-----------------|-------------------------------|-----------|------------------------------------|---|
| 5/22/2019  | Airline | Li-ion          | E-cigarette and spare battery | Delta     | Passenger                          | While loading baggage on DL flight 880 from Baltimore, MD (BWI) to Minneapolis, MN (MSP), ramp personnel noticed a bag on the belt loader emitting smoke. It was placed onto the ground and caught fire. The fire department was called and they extinguished the bag. The bag contained an E-cigarette, spare batteries.   |
| 5/3/2019   | Airline | Li-ion          | Laptop/Tablet/ iPad           | PSA       | Passenger                          | On PSA flight 5062, from Sarasota, FL (SRQ) to Charlotte, NC (CLT) a passenger's laptop began to emit signs of a dangerous evolution of heat while onboard, prior to pushback. The laptop was thrown out of the aircraft by the flight attendant, where the ramp personnel used a fire extinguisher to prevent the laptop from actually burning. The laptop was taken by the fire department. |
| 1/11/2019  | Airline | Li-ion          | Battery Charger/ Battery Pack | SkyWest   | Passenger                          | On Flight 3700 Tucson, AZ (TUS) to Salt Lake City, UT (SLC), prior to takeoff, a passenger notified the flight attendant that a battery pack/charger in his carry-on bag was overheating. The flight attendant placed the device in water, then into a containment bag. The flight returned to the gate to remove the device. There were no injuries or damage reported.                      |
| 12/24/2018 | Airline | Li-ion          | Battery Charger/ Battery Pack | Southwest | Passenger                          | On flight 1673 from Fort Lauderdale, FL (FLL) to San Juan, PR (SJU), at flight level 390, a battery pack in a passenger's backpack over heated and began to emit smoke. A fire extinguisher was used on the device and then it was placed into a containment bag. No damage or injuries were reported.  |
| 2/28/2019  | Airline | Li-ion          | Battery                       | United    | Passenger                          | As a passenger was boarding a flight with a lithium battery that started to smoke during the boarding process. The investigation is ongoing.  |

<sup>80</sup> A cura di Cinzia Di Bari

| Date      | Source  | Type of Battery | Device (if applicable)           | Carrier   | Aircraft Type (Passenger or Cargo) | Incident Summary   |
|-----------|---------|-----------------|----------------------------------|-----------|------------------------------------|--|
| 2/27/2019 | Airline | Li-ion          | Battery Charger/<br>Battery Pack | Delta     | Passenger                          | A cell phone connected to a battery pack caught fire on board flight. It was extinguished and removed from the aircraft.   |
| 2/13/2019 | Airline | Li-ion          | Spare Battery/ Batteries         | SkyWest   | Passenger                          | Flight 3879, from New York, NY (LGA), to Houston, TX (IAH), while the aircraft was at the gate prior to departure, a passenger's bag in the overhead compartment was emitting smoke. The bag was removed from the aircraft and extinguished. No injuries reported. No aircraft damage reported. The bag contained two spare lithium-ion batteries with unprotected terminals. The batteries appear to have contacted something and caused them to go into thermal runaway. |
| 1/28/2019 | Airline | Li-ion          | Spare Battery                    | Delta     | Passenger                          | While waiting to board flight 797 from Austin, TX (AUS) to Detroit, MI (DTW), a spare battery in a passenger's carry-on bag caught fire in the boarding bridge. A flight attendant with a bottle of water extinguished the fire. The terminals of the batteries were not protected.  |
| 3/19/2019 | Airline | Li-ion          | Battery Charger/<br>Battery Pack | Southwest | Passenger                          | During flight, approximately :45 minutes prior to arrival into Cleveland, OH (CLE), a passenger gave the Flight Attendant a cell phone battery charger with flashlight that was hot and began to smoke. The device was placed in the on-board fire containment bag.  |
| 3/12/2019 | Airline | Li-ion          | Spare Battery/ Batteries         | Southwest | Passenger                          | In San Diego, CA (SAN), during baggage loading, a passenger's checked bag was found to be emitting smoke in the cargo bin. The bag was removed and extinguished by Southwest Airlines personnel. The bag contained an E-cigarette battery charger and spare lithium-ion batteries. Other bags and packages adjacent to the bag were damaged. The aircraft was damaged and taken out of service.  |
| 3/8/2019  | Airline | Li-ion          | Battery Charger/<br>Battery Pack | Southwest | Passenger                          | In Chicago, IL (MDW), a passenger's Li-ion Battery Power Bank (Capacity 8000 mAh 3.7V (29.6Wh)) began to smoking prior to pushback. The power bank removed and given to Operations staff.  |
| 3/2/2019  | Airline | Li-ion          | Cell Phone                       | United    | Passenger                          | On a flight from Madrid, Spain, (MAD) to Newark, NJ (EWR), a passenger dropped their cell phone and it started smoking. The cellphone was placed in a fire containment bag and the smoke stopped.  |

| Date      | Source  | Type of Battery | Device (if applicable)   | Carrier           | Aircraft Type (Passenger or Cargo) | Incident Summary   |
|-----------|---------|-----------------|--------------------------|-------------------|------------------------------------|--|
| 3/1/2019  | Airline | Li-ion          | Laptop/ Tablet/ iPad     | FedEx             | Cargo                              | At the sort center in Indianapolis, IN (IND), a package containing three laptop computers was discovered to be overheating and emitting smoke. The package was held for FAA investigation.   |
| 3/29/2019 | Airline | Li-ion          | Cell Phone               | United            | Passenger                          | On a flight from Chicago, IL (ORD) to London, UK (LHR), a passenger reported that a cell phone began to smoke after it was inadvertently lodged between two seats. Investigation is ongoing. No further information available at this time.  |
| 3/26/2019 | Airline | Li-ion          | E-cigarette              | United            | Passenger                          | On a flight from Manchester, UK (MAN) to Newark, NJ (EWR), a passenger reported that an e-cigarette began to smoke. The item was placed into a containment bag. Investigation is ongoing. No further information available at this time.   |
| 3/22/2019 | Airline | Li-ion          | Spare Battery/ Batteries | American Airlines | Passenger                          | In St. Kitts (SKB), during baggage loading, a passenger's checked bag was found to be emitting smoke and flames in the cargo bin. Airline personnel extinguished the fire. The bag contained an E-cigarette battery charger and spare lithium-ion batteries. The floor of the aircraft bin was scorched and burned. The aircraft was taken out of service for the day while the cleanup was completed and damage was assessed. |
| 3/20/2019 | Airline | Li-ion          | Laptop/Tablet/ iPad      | Delta             | Passenger                          | During passenger security screening at the TSA checkpoint, a passenger's tablet overheated and began to smoke. The tablet was removed from the screening area by the Port Authority Police and is being held at the Port Authority Police Station. No other damage or injuries were reported. The item was a Samsung Tablet.   |
| 4/15/2019 | Airline | Li-ion          | E-cigarette              | United            | Passenger                          | While waiting to board her flight, a passenger's E-cigarette began to smolder and emit smoke while she was holding it. She dropped the device and it began to make popping sounds. The fire department responded and rendered the device safe. No injuries or damage were reported.  |
| 4/5/2019  | Airline | Li-ion          | Laptop/Tablet/ iPad      | SkyWest           | Passenger                          | On SWIA flight 5598 from Los Angeles (LAX) to Mammoth, CA (MMH), after push back, a flight attendant's electronic flight attendant device (EFAD) battery caught on fire. The fire was extinguished quickly and the EFAD was  |

| Date       | Source  | Type of Battery | Device (if applicable)        | Carrier         | Aircraft Type (Passenger or Cargo) | Incident Summary   |
|------------|---------|-----------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------------|--|
|            |         |                 |                               |                 |                                    | placed in the fire containment bag. The crew declared an emergency with ground control and the fire department met the flight at the gate. The fire containment bag was removed from the aircraft and the aircraft was cleared. The flight deplaned through the jet bridge normally. The flight attendant reported that prior to the incident, he had dropped the device but it did not appear to be damaged so he placed it in his apron when it subsequently caught fire |
| 3/31/2019  | Airline | Li-ion          | Laptop/Tablet/ iPad           | Southwest       | Passenger                          | Onboard flight 3946, from Austin, TX (AUS) to Kansas City, KS (MCI), a passenger's laptop began to spark and smoke.  |
| 12/15/2018 | Airline | Li-ion          | Battery Charger/ Battery Pack | Mesa            | Passenger                          | During the baggage off-load of United Express/Mesa Airlines flight 6080, from Houston, TX (IAH) to Detroit, MI (DTW) on December 15, 2018, a bag was found to be emitting smoke. The bag was opened by the airport police to reveal a battery charger with four batteries. The luggage was charred and the battery charger appeared to be melted.  |
| 11/24/2018 | Airline | Li-ion          | e-cigarette                   | Delta           | Passenger                          | During checked baggage screening at Logan Airport (BOS) Boston, MA, The TSA discovered and e-cigarette was smoking inside of a passengers checked bag.   |
| 11/23/2018 | Airline | Li-ion          | Spare battery                 | DHL             | Cargo                              | At the DHL sort facility in San Juan, PR (SJU), US Customs discovered a battery inside of a package. Upon removal, it began to smoke and was isolated until it stopped burning. No other damage was reported.  |
| 11/9/2018  | Airline | Li-ion          | Spare batteries               | DHL             | Cargo                              | At the DHL sort facility in Erlanger, KY (CVG), a package containing 22 lithium-ion batteries fell from a pallet and began to smoke. One damaged battery was removed from the package. There was no noticeable damage to the other 21 batteries in the package.  |
| 11/2/2018  | Airline | Li-ion          | Spare batteries               | Asiana Airlines | Passenger                          | At the cargo warehouse in Los Angeles, CA (LAX), after offloading and during container breakdown, a cargo handler inadvertently punctured a box of undeclared lithium-ion batteries with a forklift. Shortly after the box began to smoke. The fire department responded and they extinguished the box. The investigation is ongoing.  |

| Date      | Source  | Type of Battery       | Device (if applicable) | Carrier   | Aircraft Type (Passenger or Cargo) | Incident Summary  |
|-----------|---------|-----------------------|------------------------|-----------|------------------------------------|---|
| 10/6/2018 | Airline | Li-ion                | cell phones            | FedEx     | N/A                                | During unloading of a container transport truck in Memphis, TN, 4 ULD's were found to be damaged from fire. The ULD's contained various packages of cell phones, watches and headphones, all with lithium batteries contained in equipment. The investigation is ongoing.   |
| 9/25/2018 | Airline | Li-ion                | Medical device         | FedEx     | Cargo                              | At the FedEx facility in Las Vegas, NV a package containing a bladder scanner with a 54wh battery began to smoke and then catch fire during loading onto a delivery truck, after air transportation.  |
| 9/3/2018  | Airline | Li-ion                | e-cig spare batteries  | Southwest | Passenger                          | During passenger checked baggage screening at Las Vegas, NV (LAS), a passenger's bag began to smoke as it was on the screening belt. The bag contained an e-cig and loose spare lithium batteries.  |
| 9/2/2018  | Airline | Li-ion                | Unknown                | Southwest | Passenger                          | During passenger boarding at Las Vegas, NV (LAS), a passenger's bag began to smoke as it was pushed under a seat. The bag contained a lithium battery installed in a charging unit. The bag was removed from the aircraft.  |
| 8/31/2018 | Li-ion  | e-cig spare batteries | N/A                    | N/A       |                                    | During baggage screening at Las Vegas, NV (LAS), the TSA discovered a lithium battery installed in a charging unit overheating and burning during security screening. The battery terminals were not protected. The batteries and charger were destroyed.   |
| 8/29/2018 | Airline | Li-ion                | Cell phones            | FedEx     | Cargo                              | FedEx personnel discovered a package at the sort center in Memphis, TN, that was emitting smoke. The shipment was contained 180 boxes of used cell phones on a pallet. A forklift blade punctured one box, damaging ten of the phones and batteries, causing smoke and fire. The package removed from the shipment and pending investigation. |
| 8/28/2018 | Airline | Li-ion                | Lap Top                | FedEx     | Cargo                              | FedEx personnel discovered a package at the sort center in Memphis, TN, that was emitting smoke. The shipment contained a laptop with a lithium-ion battery. The package appeared to be crushed during transit. The package inspected and cleared for disposal by the fire department.  |
| 8/16/2018 | Airline | Li-ion                | Lap Top                | N/A       | N/A                                | During baggage screening at Gulfport, MS (GPT), the TSA discovered a laptop battery installed in a laptop overheating during screening. The battery was removed and moments later, it began to emit smoke, at which time the battery was removed from the building. No damage or injuries were reported.                                      |

| Date      | Source  | Type of Battery | Device (if applicable)           | Carrier | Aircraft Type (Passenger or Cargo) | Incident Summary   |
|-----------|---------|-----------------|----------------------------------|---------|------------------------------------|--|
| 8/2/2018  | Airline | Li-ion          | Lap Top                          | FedEx   | Cargo                              | FedEx personnel discovered a package at the sort center in Indianapolis, Indiana that was emitting smoke / smoldering. The shipment was offered to FedEx in Houston, TX (IAH) and was transported by air to Indianapolis. The package contained a Dell laptop. Upon investigation, it appeared the non-removable battery in the laptop was the cause. The internal packaging appeared charred.   |
| 8/1/2018  | Airline | Li-ion          | iPhone                           | SkyWest | Passenger                          | During SkyWest Airline's flight 5654, from Helena, MT (HLN) to Salt Lake City, UT (SLC) a passenger reported that her cellphone (an Apple iPhone 6) was emitting smoke and generating heat. The passenger detected the smell of smoke and heat from the phone, which was in her pant's back pocket. She notified the flight crew of the issue and the phone was placed in a fire retardant bag for containment. As a result of the incident, the aircrew declared an emergency and landed without incident. There were no injuries reported. The aircraft seat cushion was slightly damaged and replaced. Upon arriving at the gate and deplaning the aircraft, a Delta Customer Service |
| 7/30/2018 | Airline | Li-ion          | Battery Charger/<br>Battery Pack | UPS     | N/A                                | UPS personnel discovered a package at the UPS Hong Kong facility to be emitting smoke. The package contained 10 power banks weighing a total of approximately five pounds. The investigation determined that only one of the power banks went into thermal runaway and the other nine were not damaged. There were no reported injuries or damage to the facility.   |
| 7/28/2018 | Media   | Li-ion          | SmartBag                         | UAL     | N/A                                | During baggage check-in, United Airlines personnel informed a passenger that he needed to remove the lithium-ion battery from his Smart Bag prior to acceptance. While the passenger was attempting to remove the battery from the bag, it began to arc and smoke. The passenger brought the bag outside of the terminal, removed the contents and a fire extinguisher was used to extinguish the bag. The customer obtained another bag and checked in for the flight. No injuries or further damage was reported. The manufacturer was "Away Travel" ( <a href="http://www.awaytravel.com">www.awaytravel.com</a> ). The bag was 2 years old and was powered by a 37 WH battery.       |
| 7/25/2018 | Airline | Li-ion          | Battery                          | FedEx   | N/A                                | During package transfer in Indianapolis, IN, (IND), a package containing one undeclared lithium-ion battery was run over by a tug causing it to smoke and smolder. The battery was for a Ring Doorbell, 3.65V, 6040 mAh, 22.04 Wh. The package was placed in a salvage drum. There were no reported injuries to people or damage to property.  |
| 7/23/2018 | Airline | Li-ion          | Battery Charger/<br>Battery Pack | Delta   | Passenger                          | During cabin cleaning of a business class seat of a Boeing 767, a powered seat was reclined and crushed a battery pack/power pack that was apparently dropped there by a passenger on a previous flight. The battery pack caught fire and was extinguished by maintenance personnel. The seat  |

| Date      | Source       | Type of Battery | Device (if applicable)           | Carrier   | Aircraft Type (Passenger or Cargo) | Incident Summary   |
|-----------|--------------|-----------------|----------------------------------|-----------|------------------------------------|--|
|           |              |                 |                                  |           |                                    | was removed and replaced. No injuries or further damage was reported.  |
| 7/21/2018 | Airline      | Li-ion          | Battery Charger/<br>Battery Pack | Southwest | Passenger                          | During loading of flight 4695 from Fort Lauderdale, FL (FLL) to Dallas, TX (DAL) a bag was removed from a baggage cart and was found to be smoking and caught fire prior to being loaded on the aircraft. The checked bag contained a portable battery pack/power pack, which appeared to go into thermal runaway and burned the smaller bag it was in, as well as the contents and the duffel bag itself. There was nothing plugged into the unit and it was not protected in any way inside of the bag, i.e., no protection against external short-circuiting. No injuries or other damage was reported. |
| 7/10/2018 | Airline      | Li-ion          | Unknown                          | FedEx     | Cargo                              | A package containing lithium-ion batteries was damaged during the sort process at Memphis, TN sort facility, i.e., punctured during the sort process. Shortly after, it began emitting smoke and was placed in a salvage drum. When an attempt was made to identify the specific contents, the batteries were still arcing and it was deemed unsafe to proceed with further inspection of the package.   |
| 6/24/2018 | Media report | Li-ion          | Battery Charger/<br>Battery Pack | Lufthansa | Passenger                          | Flight LH489 from San Jose, CA (SJC) to Frankfurt, Germany (FRA), was enroute when a passenger's power bank of a passenger suffered a thermal runaway and ignited. Cabin crew quickly extinguished the flames, cooled the power bank down and secured it while the flight crew continued the flight to Frankfurt, where the aircraft landed on schedule.   |
| 6/22/2018 | Airline      | Li-ion          | Cell phones                      | DHL       | Cargo                              | Shipment seized by US Customs at DHL JFK gateway and found to contain 25 repaired cell phones. One of the handsets/phones had begun smoking and was melted due to heat. Shipment had lithium battery handling label (UN3481) and statement on air waybill "Lithium Ion Batteries in compliance with Section II of PI967."  |
| 6/16/2018 | Airline      | Li-ion          | Cell phone spare batteries       | Emirates  | Passenger                          | "7050 loosely packaged used batteries from iPhone 6, iPhone 6 Plus, iPhone 6S, iPhone 6S Plus, and Note 5, were shipped in a fiberboard boxes from Dallas, TX (DFW) to Dubai, UAE (DXB) on Emirates flight 222 on June 14, 2018 and transferred to flight 123 on 15 June, 2018 from DXB to Istanbul, Turkey (IST).   |
| 6/8/2018  | Airline      | Li-metal        | N/A                              | FedEx     | Cargo                              | A package containing a shipment of 3.9v batteries fell from a cart, was run over and caught on fire. The only damage was to the contents of the box.   |
| 5/21/2018 | Airline      | Li-ion          | Scooter                          | UPS       | Cargo                              | A package containing a lithium-ion battery powered scooter caught fire at the UPS facility in Carlisle, PA. The scooter was destroyed by the fire. No injuries or additional damage was reported.  |



| Date      | Source  | Type of Battery | Device (if applicable)                | Carrier   | Aircraft Type (Passenger or Cargo) | Incident Summary   |
|-----------|---------|-----------------|---------------------------------------|-----------|------------------------------------|--|
| 5/18/2018 | Airline | Li-ion          | Battery Charger/<br>Battery Pack      | United    | Passenger                          | On flight 426 during taxi-out, a passenger was using a charger/power pack to charge a cell phone. A pillow was on top of the device and the device began to overheat and emit smoke. The device was put into a containment bag and the flight returned to the gate. Investigation is ongoing.  |
| 5/11/2018 | Airline | Li-ion          | Battery Charger/<br>Battery Pack      | Delta     | Passenger                          | In Cleveland, OH (CLE), a passenger's portable charger/power bank overheated & emitted a burning electrical odor as aircraft taxied to runway. The Flight Attendant FA placed the device in a containment bag and the aircraft returned to the gate. CLE Station Supervisor took possession of the containment bag and stored in DG cabinet.   |
| 5/10/2018 | Airline | Li-ion          |                                       | Delta     | Passenger                          | A gate checked bag for a passenger was discovered smoking in the connecting bag staging area where it was stored in preparation for its connecting flight. The bag had flown from Columbus, OH (CMH) to Atlanta, GA (ATL) on Delta flight 1646 and was prepared to fly to LOS Angeles (LAX) on flight 54 when it was discovered. The bag was not loaded on the connecting flight. Ten (10) loose lithium ion laptop computer batteries where improperly packed in the bag with their terminals unprotected resulting in two (2) of the batteries shorting out producing a dangerous evolution of heat. |
| 5/9/2018  | Airline | Li-ion          | e-cig                                 | Allegiant | Passenger                          | Flight 318 from Los Angeles (LAX) to Springfield, MO (SGF) returned to the gate at LAX due to a vape device inside of a passengers carry-on bag caught fire. The bag was burned as well as the carpet of the aircraft. A fire extinguisher was used to put the fire out. No injuries were reported.  |
| 5/5/2018  | Airline | Li-ion          | e-cig                                 | Delta     | Passenger                          | A Vape Pen that appears to have gone into Thermal Runaway while at San Diego International Airport. No additional info at this time.   |
| 4/27/2018 | Airline | Li-ion          | e-cig spare battery/<br>charging unit | Southwest | Passenger                          | A checked bag in the baggage sort room was emitting smoke. It contained four 3.7v lithium-ion batteries in a charging device. One or more of the batteries went into thermal runaway and burned the bag significantly. The spare batteries were for a vape device/ecig.  |
| 4/19/2018 | Airline | Li-ion          | Battery Charger/<br>Battery Pack      | UAL       | Passenger                          | At Kansas City, KS (MCI) airport, a checked bag caught fire in the baggage sort room after being place on the outbound baggage belt. Bag room personnel extinguished the fire. The bag contained a battery-charging device with lithium ion batteries inserted. The unit was destroyed and there was extensive damage to the bag and its contents.   |
| 4/10/2018 | Airline | Li-ion          | iPhone 6s                             | Delta     | Passenger                          | On flight 2981, from Seattle, WA (SEA) to Salt Lake City, UT (SLC), during approach a passenger's iPhone 6S started to spark/smoke. The phone was not charging, the passenger was playing on phone. iPhone 6s started to spark/smoke he took it to the Flight Attendants in the back. During the process, the customer burned his hand. He refused medical attention. Flight Attendants placed in fire containment bag with water and then in lavatory   |

| Date      | Source  | Type of Battery | Device (if applicable)                | Carrier   | Aircraft Type (Passenger or Cargo) | Incident Summary   |
|-----------|---------|-----------------|---------------------------------------|-----------|------------------------------------|--|
|           |         |                 |                                       |           |                                    | sink. The phone was returned to the customer. No injuries to crew.   |
| 4/7/2018  | Airline | Li-ion          | iPad                                  | UAL       | Passenger                          | On flight 90, from Newark, NJ (EWR) to Tel Aviv, Israel (TLV), a passengers' iPad became wedged in their seat, became very hot and began to emit smoke. It was placed in a containment bag. No injuries or damage were reported.   |
| 4/4/2018  | Airline | Li-ion          | Laptop                                | Southwest | Passenger                          | A passenger spilled water on a laptop causing it to smoke and overheat. Flight attendant placed laptop in a containment bag. No injuries or damage to the aircraft were reported.  |
| 3/17/2018 | Airline | Li-ion          | Power pack/ charging device           | UAL       | Passenger                          | On flight 1506 from Houston, TX (IAH) to Havana, Cuba (HAV), a customer's power pack in his backpack overheated, exploded and caught fire. The passenger threw it into the aisle where it was extinguished and then then placed into a containment bag by the flight attendant. No injuries or damage were reported.   |
| 3/12/2018 | Airline | Li-ion          | Battery heated socks (Flambeau brand) | SkyWest   | Passenger                          | While loading baggage on SkyWest flight 4449 in Salt Lake City, UT (SLC) the ground crew smelled a burning electrical smell and notified the pilot and the Tower. The pilot had all of the baggage removed from the aircraft and identified source to a piece of checked baggage. The bag was opened and one of two pairs of Lithium-ion battery heated socks, which had burned, were discovered. The investigation revealed that the socks have a slide switch, which allows the unit to be on High or Low, and if the switch is in the middle, it is OFF. No guard or safety switch to prevent accidental activation. There were two (2) pairs of socks. Each sock has its own battery, for a total of four batteries. One of the batteries was either in the ON position or had a runaway. The switch position cannot be determined on the burned battery. The next battery was melted to the first battery and the sock material. That battery was in the OFF position. The last two batteries were not affected. The brand of the socks is: Flambeau <a href="http://www.flambeauoutdoors.com">www.flambeauoutdoors.com</a> |
| 3/12/2018 | Airline | Li-ion          | iPhone                                | Delta     | Passenger                          | On flight 40 from Sydney, Australia (SYD) to Los Angeles (LAX), a passenger's phone became wedged in his seat and began to smoke. The passenger was moved to another seat while the flight attendant removed the phone and placed it in a containment bag. The flight landed without incident. No injuries or damage reported.   |
| 3/1/2018  | Airline | Li-ion          | e-cig spare battery                   | Allegiant | Passenger                          | A bag began to emit smoke and catch fire after being place on the carousel in baggage claim at Harrisburg, PA (MDT). Emergency services were dispatched. A passenger realized it was his suitcase and removed the bag from the carousel and took it outside of the terminal, where the flames burned out. The cause of the fire appeared to be from three lithium batteries, as they were still smoldering when emergency services arrived on scene. The passenger indicated the batteries were Samsung rechargeable   |

| Date      | Source  | Type of Battery | Device (if applicable)                | Carrier  | Aircraft Type (Passenger or Cargo) | Incident Summary   |
|-----------|---------|-----------------|---------------------------------------|----------|------------------------------------|--|
|           |         |                 |                                       |          |                                    | batteries used for his vape device.  |
| 2/14/2018 | Airline | Li-ion          | Samsung cell phone                    | FedEx    | Cargo                              | A package containing a cell phone was seen emitting smoke while on the conveyor system at the Memphis sort facility. The fiberboard box was punctured by the sort system and appears to have damaged the phone causing it to go into thermal runaway.  |
| 2/13/2018 | Airline | Li-ion          | Soundlogic XT Powerbank               | SkyWest  | Passenger                          | During boarding a power bank began to smoke while sitting in the passenger's jacket pocket, which had been placed in the empty seat next to his. The power bank was charged the night before the flight and never had other devices attached to it. The passenger stated the power bank was the only item inside his jacket pocket. There were no flames associated with the overheating battery.  |
| 2/3/2018  | Airline | Li-ion          | iPhone with power pack                | Frontier | Passenger                          | Flight 1883, en route from Orlando, FL (MCO) to Phoenix, AZ (PHX), reported smoke in the cabin. The flight diverted to Tampa, FL (TPA) where it landed without incident. A passenger's cell phone and power pack was smoking and the case was hot and disfigured. The passenger threw the phone into the aisle and another passenger picked it up and brought it to the lavatory and placed it in the sink and ran water over it then covered it in ice. Upon arrival at the gate, the fire department removed the faulty cell phone and its associated defective charger. After the incident, follow-up interviews with Flight Attendants indicated no fire occurred, only smoke. In addition, follow up correspondence/reports from the Tampa Bay Fire Rescue, indicated 3 individuals were attended to, 2 with minor burns, 1 with respiratory issue. Some reports of nausea and headaches by others. No damage to the aircraft was reported. |
| 1/30/2018 | Airline | Li-ion          | MaxAmp 6000XLmah LiPo 11.1v True 100c | FedEx    | Cargo                              | A package containing three batteries was reported as burned prior to loading at the sort facility in Memphis, TN. Fire Services responded and extinguished the fire. Damage was limited to the package and its contents.   |
| 1/30/2018 | TSA     | Li-ion          | E-cigarette                           | N/A      | N/A                                | A lithium battery in a vaping/e-cigarette device exploded in a passenger's carry-on bag during x-ray screening at the Denver, CO (DEN) south Security Screening Checkpoint. The checkpoint was evacuated by TSA. No injuries reported.   |
| 1/14/2018 | Airline | Li-ion          | Power bank                            | United   | Passenger                          | A passenger on flight 558 operating from Portland, OR (PDX) to Chicago, IL (ORD) had a battery/powerpack that was overheating, got hot and started to smoke. The item was placed in a thermal containment bag. No further information available.   |
| 1/14/2018 | Airline | Li-ion          | Cell phone                            | Alaska   | Passenger                          | During flight, the passenger at Seat 6F notified the flight crew that while his cell phone was plugged into the USB outlet, it became very warm and started bulging. The device was not on fire or smoking; however, flight crew put the device in the Battery Containment Bag (BCB) and secured the BCB in  |

| Date     | Source  | Type of Battery | Device (if applicable) | Carrier | Aircraft Type (Passenger or Cargo) | Incident Summary   |
|----------|---------|-----------------|------------------------|---------|------------------------------------|--|
|          |         |                 |                        |         |                                    | the Aft Lav. The crew reported the outlet as being loose/broken to maintenance and it was replaced. It was not determined if the outlet was the cause of the overheating of the cell phone.  |
| 1/3/2018 | Airline | Li-ion          | Laptop                 | Delta   | Passenger                          | At CVG (Cincinnati, OH) a passenger inadvertently dropped a laptop at the security checkpoint. After they arrived at their departure gate the laptop was emitting smoke and it was becoming excessively hot. The passenger removed the battery from the laptop and gave it to the gate agent who put it outside in a bucket of sand. |

## Allegato 5.E Standard Cinese per le specifiche tecniche di sicurezza per biciclette elettriche 2018

(traduzione automatica con Google, dal cinese)

<http://www.e-vehicle1.com/a/biaozhun/2018/0127/49.html>

### **Standard nazionale per le specifiche tecniche di sicurezza per biciclette elettriche**

#### **Il progetto di approvazione è destinato alla divulgazione al pubblico**

<http://www.miit.gov.cn/n1146290/n1146402/n1146440/c6014873/content.html>

Tempo di rilascio: 16-01-2018 Fonte: Divisione Industria dei beni di consumo

In conformità con lo spirito della riforma del lavoro di standardizzazione del Consiglio di Stato, il Ministero dell'Industria e dell'Information Technology, il Ministero della Pubblica Sicurezza, l'Amministrazione statale per l'industria e il commercio e l'Amministrazione generale per la supervisione della qualità, l'ispezione e la quarantena (Comitato per le norme nazionali) organizzano istituti di ricerca, istituti di collaudo, imprese di produzione, università e organizzazioni industriali legate alla bicicletta elettrica. Esperti di organizzazioni dei consumatori e di altre organizzazioni hanno istituito un gruppo di lavoro incaricato di effettuare la revisione delle norme nazionali obbligatorie per le condizioni tecniche generali per le biciclette elettriche (GB17761-1999), il cui nome standard rivisto è "Specifiche tecniche per la sicurezza delle biciclette elettriche". Dal 16 gennaio 2018, la bozza del rapporto standard è stata pubblicata per l'intera società per 30 giorni sul sito web del Ministero dell'Industria e dell'Information Technology e del National Standards Committee.

La Cina è il più grande produttore e venditore di biciclette elettriche al mondo. Dopo anni di sviluppo, le biciclette elettriche sono gradualmente diventate un importante mezzo di trasporto per i consumatori sui viaggi a breve distanza. Attualmente l'intera società ha circa 200 milioni di veicoli e una produzione annua di oltre 30 milioni. Negli ultimi anni, pur facilitando la vita delle masse, le biciclette elettriche sono diventate gradualmente più grandi, più pesanti e più veloci e alcuni indicatori hanno superato le attuali "Condizioni tecniche generali per le biciclette elettriche". Ad esempio, lo standard attuale prevede che la velocità massima di una bicicletta elettrica non superi i 20 km / h, ma attualmente la velocità massima di alcune biciclette elettriche supera i 40 km / h; lo standard attuale prevede che il peso dell'intero veicolo non superi i 40 kg, ma il peso di alcune biciclette elettriche superi i 70 kg. Le prestazioni di questi prodotti sono vicine o raggiungono il ciclomotore elettrico, causando incidenti stradali, causando un gran numero di vittime. Secondo le statistiche, dal 2013 al 2017 si sono verificati 56.200 incidenti stradali che hanno provocato perdite causate da incidenti con biciclette elettriche, causando 8.431 morti, 63.500 feriti e perdite dirette di proprietà di 111 milioni di yuan. Negli ultimi cinque anni, le biciclette elettriche hanno causato incidenti. Il numero di incidenti e decessi di persone con vittime è aumentato di anno in anno, con un aumento medio annuo dell'8,6% e del 13,5%. Inoltre, il numero di incendi causati dalle biciclette elettriche è gradualmente aumentato negli ultimi anni, causando gravi perdite e danni materiali. Secondo le statistiche, dal 2013 al 2017, le biciclette elettriche hanno provocato un totale di 34 incidenti di incendio che hanno causato tre morti e oltre, causando 158 morti, provocando una forte risposta pubblica.

Il Ministero dell'Industria e dell'Information Technology, il Ministero della Pubblica Sicurezza, l'Amministrazione statale per l'industria e il commercio e l'Amministrazione generale per la supervisione, l'ispezione e la quarantena della qualità (National Standards Committee) hanno sempre aderito alla situazione generale dello sviluppo economico e sociale, basata sulla guida dello sviluppo di alta qualità dell'industria elettrica cinese della bicicletta, con le "tre garanzie e una persistenza" Il principio fondamentale è garantire la sicurezza della vita e dei beni dei consumatori, garantire gli interessi comuni di tutti i partecipanti al traffico stradale, garantire le esigenze di viaggio di base dei consumatori, aderire alle proprietà dei veicoli a motore non a motore delle biciclette elettriche e guidare la revisione delle norme. Il nuovo standard ha migliorato in modo completo le prestazioni di sicurezza delle biciclette elettriche: dalla parte originale delle disposizioni al testo integrale obbligatorio, maggiori indicatori tecnici quali resistenza alla manomissione, prestazioni antincendio, prestazioni ritardanti di fiamma, protezione del caricabatterie, regolazione e miglioramento del limite di velocità del veicolo, veicolo Indicatori tecnici come qualità e capacità di pedalata. Tra questi, la velocità massima è regolata da 20 km / ha 25 km / h, l'intera qualità del veicolo (compresa la batteria) è regolata da 40 kg a 55 kg, la potenza del motore è regolata da 240 W a 400 W e la funzione di pedalata è obbligatoria.

Il nuovo standard sarà istituito dal rilascio all'implementazione formale del periodo di transizione da sei mesi a un anno, dando alla società un certo tempo per eseguire lo sviluppo di nuovi prodotti, l'adeguamento della linea di produzione e la digestione del prodotto di inventario, che è soggetto al tempo specificato nel rilascio ufficiale dello standard. Prima dell'implementazione ufficiale del nuovo standard, i produttori sono incoraggiati a organizzare la produzione secondo i nuovi standard, incoraggiare le società di vendita a vendere prodotti che soddisfano i nuovi standard e incoraggiare i consumatori ad acquistare prodotti che soddisfano i nuovi standard.

Dopo l'implementazione ufficiale del nuovo standard, le biciclette elettriche acquistate dai consumatori che non soddisfano i nuovi standard saranno adeguatamente preparate dai governi popolari delle province, delle regioni autonome e dei comuni direttamente sotto il governo centrale in conformità con le leggi e le condizioni locali pertinenti, mediante rottamazione e permuta naturali. Il riacquisto scontato, l'erogazione di sussidi e l'inclusione nella gestione dei veicoli a motore sono stati gradualmente risolti nel giro di pochi anni.

Secondo il Piano di revisione delle norme nazionali emesso dal Comitato nazionale per le norme, il Ministero dell'Industria e dell'Information Technology ha organizzato il completamento delle norme nazionali obbligatorie per le "Specifiche tecniche di sicurezza delle biciclette elettriche". Prima che la norma sia approvata per la pubblicazione, al fine di ascoltare ulteriormente le opinioni della comunità, la bozza di approvazione standard e le istruzioni di preparazione sono ora rese pubbliche e la scadenza è il 14 febbraio 2018.

Se hai opinioni diverse, compila il "Modulo di feedback standard nazionale obbligatorio" (vedi Allegato 3) durante il periodo di pubblicità e invialo a KJBZ@miit.gov.cn via e-mail (l'oggetto dell'oggetto e-mail: Standard nazionale obbligatorio per biciclette elettriche) Feedback pubblico).

Tempo di pubblicità: 16 gennaio 2018, 14 febbraio 2018

Email di feedback sul feedback pubblico: KJBZ@miit.gov.cn

Tel: Dipartimento di Scienza e Tecnologia, Ministero dell'Industria e dell'Information Technology, 010-68205239

## Appendice 5.F Korean government **Announcement on the Result of Investigation on the Energy Storage System Fire Accident and Measures to Strengthen Safety**

June 11, 2019

|   |                          |  |
|---|--------------------------|--|
| <b>The Ministry of Trade,<br/>Industry and Energy</b><br><a href="http://www.motie.go.kr">http://www.motie.go.kr</a>  | <b>Summary of Report</b> | Government Innovation for the<br>Future of Our People/A Better<br>Government |
| Please report this summary from your evening paper of June 11, 2019 (It is reportable from 10 A.M. of June 11 (Tuesday) in the media like the Internet, broadcasting, and telecommunications. |                          |  |

*Traduzione a cura di Paola Russo*

### **Announcement on the Result of Investigation on the Energy Storage System Fire Accident and Measures to Strengthen Safety**

- Identification of four causes of the fire including insufficiency of the battery protection system and operational environment management
- Devising of comprehensive measures to strengthen safety by each stage of manufacturing, establishment, operation, and firefighting
- Implementation of safety measures with safety of our people as the top priority and support for the strengthening of industrial competitiveness of the ESS

- On June 11, 2019 (Tuesday), the Ministry of Trade, Industry and Energy (hereinafter referred to as “the MOTIE”) made public the result of investigation carried out by “the Public-Private Collaborative Committee for Investigation on the Causes of the ESS Fire Accident (hereinafter referred to as “the Committee for Investigation”)” on the causes of the energy storage system (hereinafter referred to as the “ESS”) fire accident and announced comprehensive measures to strengthen safety aimed at preventing recurrence of ESS fire accidents and also measures to support competitiveness of the ESS industry ecosystem.
- As fires intensively occurred from May 2018, the MOTIE has taken countermeasures from multifaceted perspectives such as on-site investigation on the actual conditions of fires, precise diagnosis on safety, and education on safety managers with safety of our people as the top priority.
  - In particular, the MOTIE established “the Committee for Investigation” (December 27, 2018) for fundamental problem-solving through scientific and objective investigation on the causes of the accident together with full-scale suspension of multipurpose facilities with the ESS as a preemptive measure to prevent losses of life, and conducted investigation activities over the course of about 5 months.

### **The Result of Investigation on the causes of the fire accident**

- The Committee for Investigation was composed of **19 experts** in the area of ESS from the academic world, research institutions, and testing and certification institutions, and



announced the result of its investigation through **investigation on and analysis of data on a total of 23 accident sites** and testing and demonstration on 76 items.

\*About 90 people from 9 institutions including Korea Testing Laboratory participated.

- According to the analysis result, 14 among a total of 23 fire accidents occurred during the waiting process after the system was completely charged, 6 took place during the charge and discharge process, and 3 accidents came about during establishment and construction of the system.
- As the causes of the accident, four factors (see Reference 1. The result of investigation on the causes of the fire accident) such as insufficiency of the battery protection system against electrical shocks, insufficiency of operational environment management, negligence in installation of the system, and insufficiency for the integral control and protection system for the ESS were identified.
- Manufacturing defects were detected in some battery cells but a fire did not occur in an empirical experiment simulating such defects. Provided, the Committee for Investigation noted that if a battery with manufacturing defects was used for a long time under a harsh condition, it may become a risk factor.

### **Measures to strengthen safety of the ESS**

- Based on the causes of the fire, the government reinforced safety management in the manufacturing, installation, and operation stages of the ESS, and determined to implement comprehensive measures for strengthening safety that involve enhancing fire response capabilities through establishment of a new firefighting standard.

#### **(1) Manufacturing Standard: Strengthening of product- and system-wide safety management**

- (Making Korea Certification (KC) stricter) High-capacity battery and the power conversion system (PCS) were added to the subjects of mandatory safety management through KC that was made stricter demanding strengthened safety management of major components of the ESS.
  - From August of this year, occurrence of cell defects in the production process of battery cells will be prevented through their safety certification and the battery system will be managed as an item whose safety should be identified.
  - In addition, the size of capacity of the PCS whose safety identification is required will be increased from current 100 kW to 1 MW and will be expanded to 2 MW by 2021.

- \* (Safety certification) Product test + Factory evaluation, (Safety identification) Product test
- (Enactment of Korean Industrial Standards (KS)) The KS for the entire system involving the ESS was enacted on May 31 in Korea for the first time across the world based on the international standard (draft) under discussion in the International Electrotechnical Commission.

**\* 1) Electricity; 2) Machinery; 3) Explosion; 4) Electromagnetic field; 5) Fire; 6) Temperature; 7) Chemistry; 8) Malfunction; 9) Environment**

- Further, the government will head discussion on international standardization for the ESS area such as by proposing the international standard for the ESS area using diverse data obtained from this time empirical experiment.
- (Adoption of a ground standard) The private sector including Korea Electrical Manufacturers Association, Korea Smart Grid Association, Korea Battery Industry Association, and relevant industries will autonomously collaborate to add the standards for performance of the protection device for the battery system and for integral management of the ESS to the group standard during this year, and obtain its effectiveness through linkage with high-efficiency certification and insurance.

\* Durability of magnetic contact, operational characteristics of fuse

\*\* Communication protocol among the battery management system (BMS), energy management system (EMS), and power management system (PMS), procedure of operating a protective device between a battery and the PCS

**(2) Installation Standard: Inducing installation of the system in an outdoor building for exclusive use and making installation of a safety device mandatory**

- (Devising a standard for each installation site) The standard for the installation of the ESS will be revised so that its total capacity is restricted to 600 kWh in the case of indoor installation, and safety will be improved by adding a regulation that it should be installed within a separate building for exclusive use in case it is installed outdoor.
- (Safety device and management of the environment) While installation of protective devices against electrical shocks such as residual-current device, over voltage protection device, and over current protection device will be made mandatory;
  - Additional charge of a battery after it is completely charged will be prevented, and the standard will be established for managing temperature, humidity, and dust in the battery room within the scope recommended by the manufacturer.
- (Strengthening of monitoring) In case abnormal symptoms (over voltage, over current, residual current, temperature rise) are detected, they will be notified to the manager, and a system for emergency stop will be established;
  - For smooth investigation on the cause of an accident, separate storage of the record on the operation of the ESS (including the battery condition, voltage, current, temperature) will be made mandatory.

**(3) Operation and Management Standard: Improvement on safety in the ESS operation and management stages through strengthened inspection**

- (Strengthening of periodic inspection) The cycle of periodic inspection will be shortened (from 4 years → 1~2 years) and inspection efficiency will be heightened through co- inspection by Korea Electrical Safety Corporation (KESCO) and a relevant company;
- (Performance of special inspection) Special inspection on arbitrary renovation and replacement of safety-related facilities will be performed frequently, and the regulation to punish unreported constructions will be made.

\* Expa  
nsion of the subjects of change construction to be permitted and reported into change in heating/air-conditioning equipment (The Electricity Business Act and its enforcement regulation need to be revised) → A fine of 10 million won or imprisonment for no more than 1 year

**(4) Firefighting Standard: Establishment of the standard for strengthening fire response capabilities**

- (Institutional improvement for firefighting) The ESS will be designated as a specific fire-fighting object (revision of the Enforcement Ordinance on the Firefighting Facility Act) thereby making installation of firefighting facilities for the ESS mandatory, and the standard for fire safety specialized for the ESS will be enacted by September this year.
- (Strengthening of the response for fire) Measures for optimal use of fire extinguishing agents will be devised, and firefighting response capabilities will be strengthened by enacting the SOP specialized for ESS-related fires (during the latter half of 2019) so that early extinguishment of fire is possible during a fire.

**Safety Measures for Existing Establishment and Their Re-operation**

- “The Committee for ESS Safety Management” (formed on May 17) recommended safety measures for existing establishments in consideration of characteristics by each establishment and the government will push for the followings through collaboration with the industry based on such recommendation:

\*The Committee for ESS Safety Management was composed of some members from the accident investigation committee and experts in electricity, firefighting, and architecture (May 17), and had four rounds of meeting to discuss safety measures to be applied by each facility.

- 1) (Common safety measures) All establishments will install electrical protection and emergency stop devices, and their operational environment will be strictly managed through such as prohibition of additional charge after the battery is completely charged and management of temperature, humidity, and dust.

\*Common safety measures are being taken autonomously by battery and EPC companies (December of 2018 ~)

2) (Additional safety measures) Indoor facilities in establishments that were suspended will be re-operated after additional measures such as installation of a firewall and establishment of a separation distance besides common safety measures are applied.

3) (Special investigation on firefighting safety management) Special investigation on firefighting safety management by establishments with ESS facilities that were judged by the National Fire Agency highly likely to trigger losses of life will be performed in order to secure people's safety, and safety measures like their relocation to an outdoor site will be taken if necessary.

\*Sales facilities, accommodation/physical training/hospital/educational facilities, business facilities

With regard to costs incurred to implement the above safety measures

○ Because common safety measures are to strengthen safety of ESS facilities in each establishment, their owner/the industry will bear the costs. Nonetheless, the industry is already autonomously taking relevant measures,

○ Additional safety measures like installation of a fire wall are to prevent losses of life when a fire in the ESS facilities occurs, and the government plans to support part of the costs.

○ In addition, follow-up costs of the special investigation will depend on the investigation result and measures to share the costs with the industry will be discussed in the future.

\*The government also plans to devise measures to recycle the ESS.

In order to identify whether the above safety measures have been implemented, the MOTIE will form a "team to inspect implementation of safety measures regarding the ESS" including Korea Electrical Safety Corporation (KESCO), and guide each establishment on what it should implement and identify and inspect its implementation.

○ In addition, for an establishment that voluntarily suspended its ESS facilities according to the government's recommendation

- The government will extend the period of special electricity fee discount regarding the ESS used for demand management through discussion with Korea Electric Power Corporation, and give additional weight to owners of a renewable energy certificate (REC) with regard to the ESS linked to renewable energies.

### **Strengthening of competitiveness of the ESS Industry Ecosystem based on thorough safety management**

The ESS area is an area actively nurtured by countries across the world as a future new growth industry as demand for it aimed at complementing the intermittency of new and renewable energies and achieving efficient power consumption rapidly increases, and our ESS industry thus far has played a leading role in its growth.

- \*The size of the world market for lithium-ion batteries for the ESS: 4.8 GWh in 2017 → 20 GWh in 2025 (an annual average increase by 37%)
- However, this time fire accident provided an opportunity to look back on our ESS industry tilted toward quantitative growth, and the government plans to support the strengthening of competitiveness by each area for qualitative growth of our ESS industry ecosystem based on institutional improvement measures to strengthen the safety of the ESS.
  - The government will support development of new-generation batteries with low fire risk and high efficiency and their early commercialization in the area of batteries, a key component of the ESS, and support technological development aimed at improving reliability and safety of the PCS.
  - Further, the government will push for the establishment of the ESS Association (tentative name) participated by members from the entire areas of the ESS ecosystem and massively improve the level of communication and collaboration in the industry.
- \*Development of an operating procedure for the ESS (manual) by each association and group in the power area and provision of education to relevant persons, collection of opinions from each area of the industry, writing of industrial statistics, preparation of a standard draft, and investigation on overseas cases
- Meanwhile, as growth vitality that was decreased by this time fire accident needs to be recovered in order for our ESS industry to continuously grow as a future new industry, the government will provide short-term incentives and support creation of new demands in future promising areas.
  - The government will extend the period of applying weight to the REC to another six months in consideration of the period of interruption in installation of the ESS after the fire accident.
- \*ESS linked with solar power: (current) 5.0 by 2019, 4.0 from 2020 → (extended) 5.0 by June 2020, 4.0 from July 2020
  - ESS linked with wind power: (current) 4.5 by 2019, 4.0 from 2020 → (extended) 4.5 by June 2020, 4.0 from July 2020
- The government will introduce a group insurance that can lower existing insurance premiums in order to relieve the burden of increased installation costs according to implementation of safety measures and support expanded use of the system of certifying the ESS as a high-efficiency energy device.
  - \*3% of money invested to the ESS certified as a high-efficiency energy device being deducted from corporate income tax of large enterprises (5% in the case of medium-large enterprises and 10% in the case of small- and middle-sized companies)
- With regard to the concern by the industry over delay in placement of new orders before the revision into a stricter installation standard for the ESS is complete (expected to be complete by the end of August);
- The revised content on the installation standard for the ESS will be reflected in priority in

the “pre-use testing” standard during the middle of June so that there is no setback in placement of new orders of the ESS.

- In the medium-to-long term, the government plans to develop and apply new business models including the ESS for home usage, demand for which is increasing overseas as well.
- With this time fire accident as an opportunity, the government will provide the best support for making the safety of the ESS to the global top level so that the industry can achieve sustained growth.

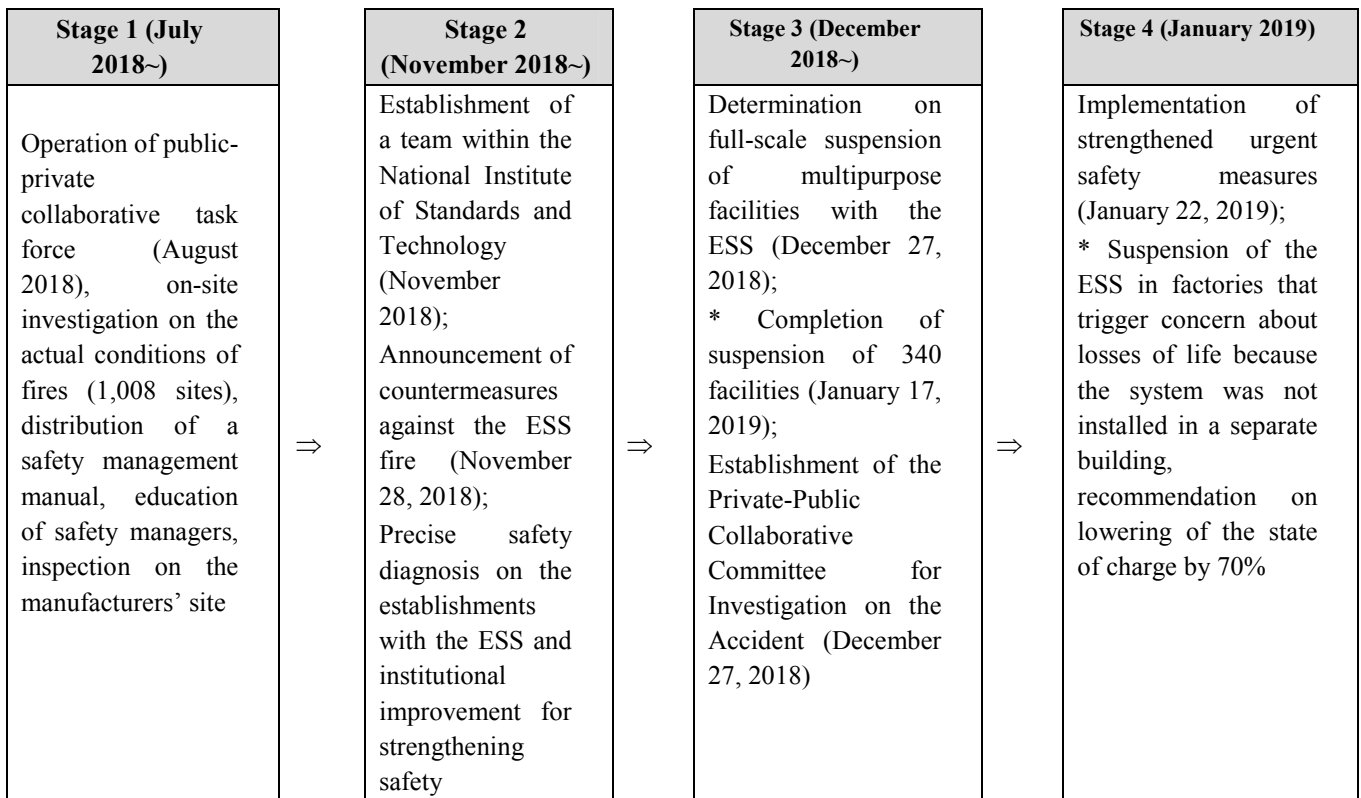
If you want more detailed content or collect news on this reference report data, please contact Research Officer Kim Jun-ho of the Department of Product Safety Policy (investigation on accident causes, 043-870-5415), Deputy Director Park Seong-min of the Department of Energy Safety (measures for strengthening safety, 044-203-5273), Deputy Director Park Sang-ho of the Department of Dispersion Energy (safety measures for and re-operation of existing establishments, 044-203-5198), and Secretary Kim Jin-su of the Department of Electronics and Electricity (strengthening of the competitiveness of the ESS industrial ecosystem, 044-203-4346) in the MOTIE, and Section Chief Jeong Hong-yeong of the Department of Fire Prevention in National Fire Agency (firefighting related matters, 044-205-7455).

## **Reference 1 The Result of Investigation on the Causes of the ESS Fire Accident**

- (1) (Insufficiency of the battery protection system) When electric shocks (over voltage/over current) were delivered into the battery system by short circuit and ground fault among electrical risk factors, the rack fuse, a battery protection system, failed to block the short circuit current.
  - It was identified that a fire may be triggered by the explosion of a direct current contactor whose insulation performance resultantly became reduced and by occurrence of a secondary short circuit accident in the bus bar within the battery protection system and the enclosure of the battery protection device.
  
- (2) (Insufficiency of operational environment management) The ESS installed in a mountainous area and on the seashore is operated in a poor environment where it is apt to be exposed to dew condensation resulting from a huge daily temperature range and a large amount of dust,
  - It was identified that a fire may occur after dust sticks to the battery module resulting from repetitive creation and drying of dew (Dry Band), which breaks insulation in the part where ground connection is made between the cell and the enclosure of the module.
  - Meanwhile, the battery module of some companies has the structure of using a cooling fan and it may be the travel route of dust and moisture.
    - \* There is a battery management standard against dust but in many cases it is not followed.
  
- (3) (Negligence in installation) It was identified that a fire may occur due to negligence in installation of the ESS such as poor storage of the battery and incorrect connection.
  
- (4) (Insufficiency of the integral protection and management system) The EMS, PMS, and BMS are produced by different manufacturers and therefore a system integration company fails to take the lead in organically connecting and operating them.
  - It was identified that failure of the ESS system to be designed and protected as an integral system was a problem factor in preventing spread of the fire to the entire system and smoothly investigating the causes of the accident.
  
- (5) Defects in some battery cells were detected and a test simulating them was conducted but short circuit within the cells that may lead to ignition of the battery itself was not found.
  - Provided, the possibility of occurrence of a fire may be heightened resulting from short circuit in the battery itself in case the battery charge and discharge range is wide in a situation where there are manufacturing defects and the state of complete charge is continuously maintained.

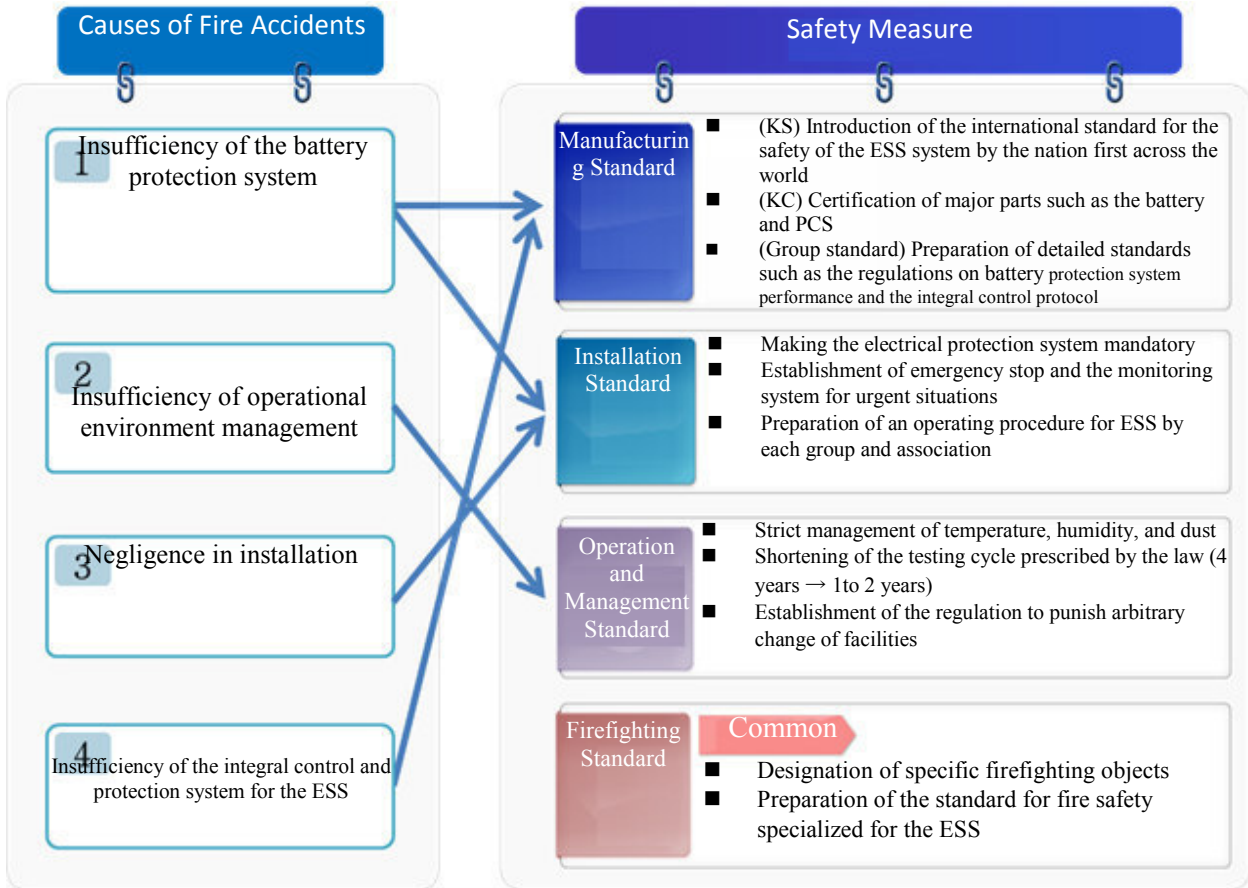
## Reference 2 Countermeasures Thus Far Related with ESS Fire Accidents

- As ESS fires occurred in succession, the MOTIE has taken countermeasures from multifaceted perspectives such as on-site investigation on 1,490 establishments, precise diagnosis on safety, and full-scale suspension of multipurpose facilities with the ESS, and education of safety managers, with safety of our people as the top priority.





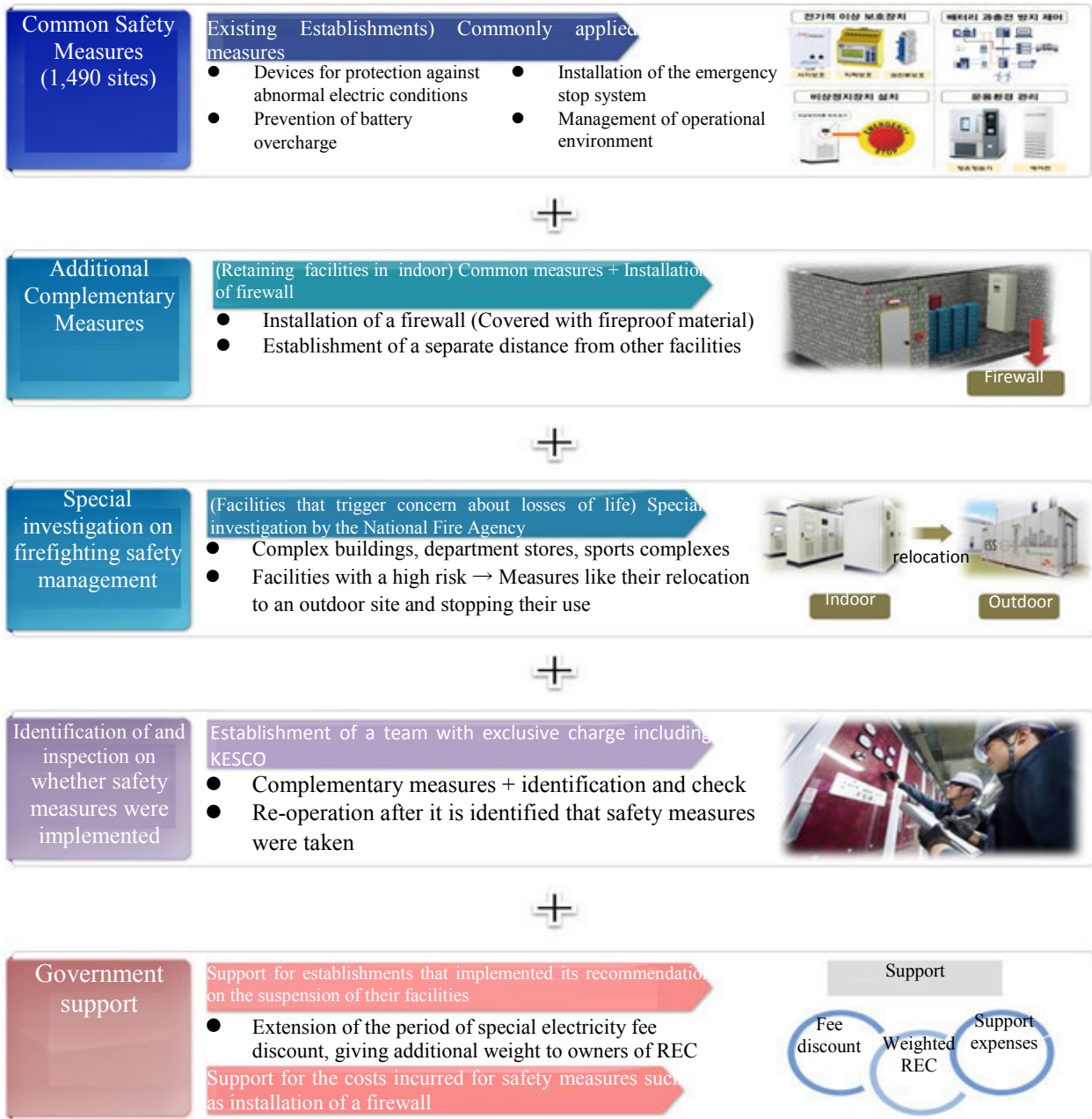
### Reference 3 The Causes of the ESS Fire Accident and Safety Measures



### Reference 4 Safety Measures for Existing Establishments and Methods for Their Re-operation

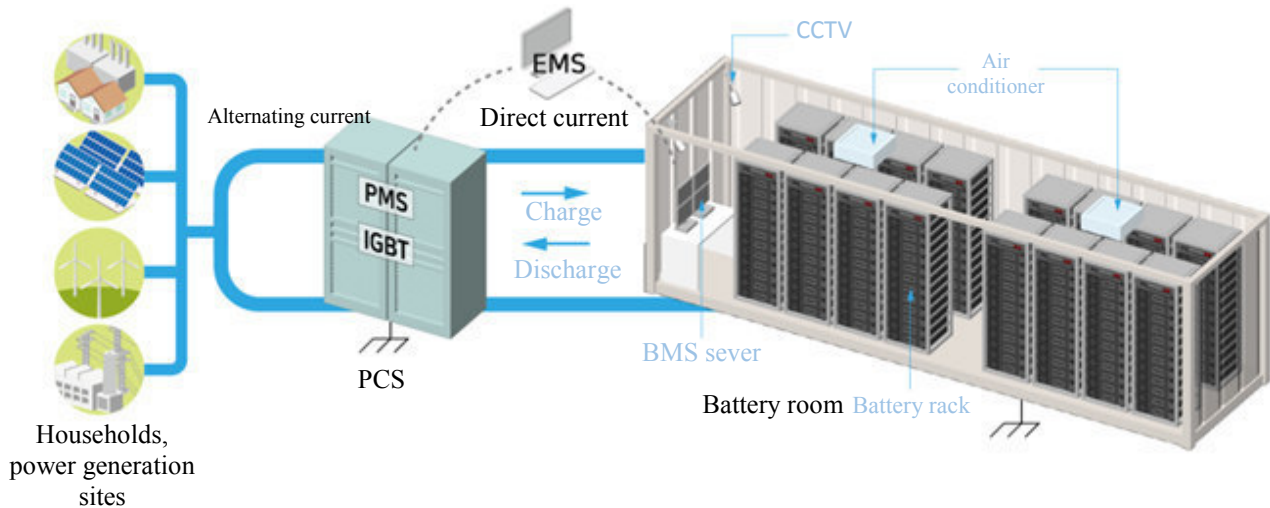
- 1) All establishments will apply common safety measures such as electrical protection and emergency stop devices;
- 2) Re-operation facilities that are suspended after taking complementary measures such as installation of a firewall, and separately take appropriate measures regarding multipurpose facilities according to the result of special investigation by National Fire Agency

<The Content of Safety Measures and Methods for Re-operation>



## Reference 5 The Outline of the ESS and the Current Status of Its Popularization

- (Outline of the ESS) A system that stores power generated by a solar or wind power generator or supplied from the power system in the battery and then supplies it when necessary.
- A new power facility where the battery, the PCS, and management softwares (BMS, PMS, and EMS) should integrally control and manage power flow



- (The Current Status of Popularization of the ESS) The ESS was rapidly popularized in Korea from 2017 owing to special electricity fee discount and other policies to support popularization of the ESS such as REC.

\* The size of the domestic ESS market is about 3,6 GWh as of 2018 and the domestic market accounts for about one third of the global market.

| Year                         | ~2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018  | Total |
|------------------------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
| The Number of Establishments | 30    | 47   | 124  | 74   | 268  | 947   | 1,490 |
| Battery (MWh)                | 30    | 36   | 145  | 207  | 723  | 3,632 | 4,773 |

※ Source: KESCO

- Regarding the usage of the installed ESS, 778 ESS are linked with new and renewable energies (1,859 MWh) and 712 ESS are for peak reduction (2,914 MWh) among a total of 1,490 ESS.

| Division                     | Linked with new and renewable energies |            |          | Peak Reduction, etc. |                 |          | Total |
|------------------------------|--|------------|----------|----------------------|-----------------|----------|-------|
|                              | Solar Power                            | Wind Power | Subtotal | Peak Reduction       | Emergency Power | Subtotal |       |
| The Number of Establishments | 754                                    | 2          | 778      | 657                  | 5               | 712      | 1,490 |
| Battery (MWh)                | 1,587                                  | 272        | 1,859    | 2,757                | 157             | 2,914    | 4,773 |

※ Source: KESCO



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



## RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

### Capitolo 5A Caratterizzazione degli stoccaggi al chiuso e all'aperto

Paolo Lupotto (Consulente COBAT)



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



## Indice

|  |     |
|--|-----|
| INDICE .....   | 409 |
| INTRODUZIONE: NOTA DI LETTURA.....                                 | 410 |
| 1 CARATTERIZZAZIONE DEGLI STOCCAGGI AL CHIUSO .....                | 411 |
| 1.1 CONDIZIONI AMBIENTALI .....                                    | 411 |
| 1.2 CONFINAMENTO .....   | 411 |
| 1.3 RESISTENZA DEI MATERIALI.....                                  | 412 |
| 1.4 PREDISPOSIZIONE ALLA BONIFICA.....                             | 413 |
| 2 CARATTERIZZAZIONE DEGLI STOCCAGGI ALL'APERTO.....                | 413 |
| 2.1 CONDIZIONI AMBIENTALI .....                                    | 413 |
| 2.2 CONFINAMENTO .....   | 414 |
| 2.3 RESISTENZA DEI MATERIALI E PREDISPOSIZIONE ALLA BONIFICA ..... | 414 |
| 2.4 VALIDITÀ DEI SISTEMI DI PROTEZIONE ATTIVA .....                | 414 |
| 3 CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI DI PROTEZIONE ATTIVA.....            | 415 |
| 3.1 LIMITI DI APPLICABILITÀ DEI SISTEMI DI PROTEZIONE ATTIVA ..... | 415 |
| 4 BIBLIOGRAFIA.....  | 415 |

## **Introduzione: nota di lettura**

Nel paragrafo vengono forniti dati ed indicazioni sulle peculiarità di comportamento delle batterie al litio immagazzinate in relazione all'innesco e alla propagazione del fuoco in caso di incendio nonché' allo stoccaggio sia in interno che in esterno.

Tali dati devono essere considerati come elementi da inserire in una valutazione effettuata secondo il D.M. 03/08/2015 nel quale vengono normati tutti i requisiti citati nei punti 1.2 e 1.3.

Per quanto riguarda invece il punto 1.4 l'argomento trattato è normato da decreto legislativo n°105 del 26 giugno 2015 (Seveso Ter) nonché' dal decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81 sui luoghi di lavoro in generale che deve essere considerato nelle parti riguardanti l'esposizione ad agenti chimici e cancerogeni (Titolo IX CAPO I e II).

Come nota relativa agli orientamenti presi da altre nazioni e/o associazioni rilevanti sull'argomento, bisogna prendere visione delle indicazioni date dall'associazione degli Assicuratori tedeschi [1] ove vengono enunciati alcuni principi degni di attenzione.

Più specificamente viene richiesto che solo batterie che hanno certificato di rispondenza alla norma UN 38.3 /IEC 62133 possano essere immagazzinate ( questo pone dei problemi per oggetti usati anche integri prodotti prima della totale applicabilità della norma).

Inoltre pongono come distanza di sicurezza in assenza di sprinkler o altri mezzi di estinzione attiva 2.5 mt per evitare la propagazione da portare a 5 mt nel caso di elementi singoli di grandi dimensioni.

L'ultimo punto evidenziato in suddetto documento è la dichiarazione esplicita della assenza di norme nazionali o europee specifiche per le batterie al litio, da cui deriva la necessità di documenti di orientamento o di prescrizione simili a questo in stesura.

## 1 Caratterizzazione degli Stoccaggi al chiuso

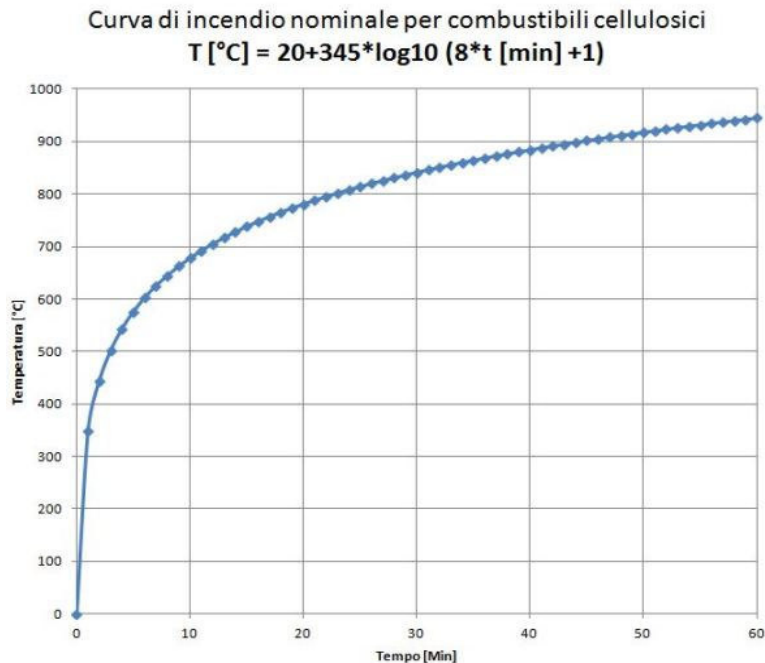
### 1.1 Condizioni ambientali

- Le batterie devono essere mantenute in un locale climatizzato al fine di mantenere il ciclo termico giornaliero ad una ampiezza minima, compatibilmente con costi e operatività. Da diverse fonti viene indicata la temperatura di immagazzinamento ottimale a 15°C mentre viene considerata buona nel caso di valore medio compreso tra 10 e 25 °C e variazioni dell'ordine dei +/- 5°C nel ciclo giornaliero.[2] Temperature al di sotto di 5°C o superiori a 30°C sono da considerare potenzialmente dannose.
- Ove possibile le batterie devono essere immagazzinate con al massimo il 50% di carica, in ogni caso è da evitare l'accumulo di elementi con il 100% di carica disponibile se non per il tempo minimo necessario.
- Il tasso di umidità deve essere mantenuto in modo attivo al di sotto del 70%, minore e' preferibile. Un valore troppo basso, sotto il 30-40% potrebbe innescare accumuli di cariche statiche ed e' da evitare
- L'illuminazione solare deve essere completamente indiretta o evitata. Pannelli smerigliati o comunque lavorati otticamente sono da considerare corretti come lucernari perché evitano la concentrazione del raggio di luce sull'oggetto ma la diffondono su tutto il volume
- Il locale deve essere areato, nel rispetto dei punti precedenti, con un ricambio di aria di almeno due ricambi ora : l'areazione naturale, date le condizioni di climatizzazione, non è consigliata  
Il tasso di areazione deve aumentare sensibilmente (raddoppiare) in presenza di materiale usato o addirittura considerato non idoneo
- il locale di immagazzinamento non deve essere utilizzato per cicli di carica a meno di un adeguamento delle condizioni di sicurezza rispetto al normale stoccaggio o un confinamento della zona in cui questo avviene. Qualsiasi altro utilizzo all'interno del volume del magazzino dovrebbe essere evitato o reso pienamente compatibile con le condizioni termiche e di sicurezza qui elencate

### 1.2 Confinamento

- il quantitativo di batterie o l'energia immagazzinata massima in un unico elemento di stoccaggio (e.g. un pallet, un ripiano, un loculo di magazzino automatico) deve essere mantenuta al minimo compatibile con la struttura del magazzino e del flusso di lavoro dei materiali richiesti. L'aumentare di tale energia aumenta il livello di pericolosità.
- Gli elementi di stoccaggio devono essere separati tra di loro da materiale termicamente isolante e totalmente ignifugo: si possono sviluppare temperature di superiori ai 700-800 °C che comporterebbe un tempo di resistenza secondo le ISO 834 di circa 20 min. senza perdite di proprietà meccaniche significative sia del coibente che della struttura di supporto.  
Data la peculiarità delle batterie al litio e' bene considerare la possibilità di permanenza di fiamma per tempi superiori alla mezz'ora, viene quindi indicata una temperatura prudenziale di test a 900°C [3]





- le distanze di immagazzinamento degli elementi e quindi il quantitativo complessivo di energia per unità di volume devono essere compatibili con la resistenza al calore degli elementi costruttivi e le scaffalature adottate
- i calcoli di confinamento devono tenere conto delle eventuali fiamme sviluppate e del loro andamento al fine di evitare propagazione causata da tale sviluppo

### 1.3 Resistenza dei materiali

- i materiali di costruzione delle strutture e degli arredi interni devono essere tali da ridurre al minimo il pericolo di cedimenti strutturali causati dalla temperatura con conseguente variazione della posizione degli elementi nel magazzino
- le resistenze meccaniche delle scaffalature devono essere calcolate ad una temperatura vicina a quanto possono subire durante il *thermal runaway* di una singola unità di immagazzinaggio

Si può considerare una temperatura di riferimento a 500°C come significativa e prudentiale nel caso nessuna contromisura specifica venga adottata ( pallet direttamente su porta-pallet metallico

- viene lasciata facoltà al progettista di bilanciare i fattori di sicurezza passiva secondo le esigenze del magazzino stesso e delle tecnologie disponibili, purché' vengano prodotti i dati di calcolo degli stessi. Come esempio generale si consideri che uno scaffale metallico, in presenza di sprinkler, difficilmente supererà di molto i 100°C , mentre in assenza degli stessi potrebbe portarsi a 500°C e oltre

#### 1.4 Predisposizione alla bonifica

- durante una deriva termica vengono sviluppati gas e fumi nocivi: i materiali e le forme fisiche dei manufatti devono consentire un agevole bonifica di una zona esposta ad un evento del genere
- materiali porosi , quali i coibentanti termici usati per il confinamento, devono essere trattati superficialmente per ridurre al minimo il trattenimento delle particelle in sospensione nei fumi. Lo stesso dicasi per superfici porose facenti parte sia della struttura che della scaffalatura. Qualora questo sia non possibile ,la facilità e l'economicità di sostituzione di tal elementi contaminabili può essere considerata una valida alternativa ove venga dichiarata l'obbligatorietà di tale sostituzione a seguito di un evento
- Qualora il tipo di bonifica prevista a seguito di evento comprenda liquidi di diversa natura, una adeguata predisposizione alla raccolta di tali liquidi contaminati deve essere predisposta al fine di prevenire la dispersione in ambiente
- Le valutazioni sull'efficacia delle misure adottate sono normate dal D.L. n°105 del 26 giugno 2015 e D.L. n° 81 del 9 aprile 2008 : per quest'ultimo si consideri efficace un dispositivo di misure tali da poter riportare gli edifici allo stesso livello di agibilità precedente all'incidente, indice di una sufficiente rimozione degli agenti chimici.

## 2 Caratterizzazione degli Stoccaggi all'aperto

### 2.1 Condizioni ambientali

- L'area di immagazzinaggio esterna deve essere chiaramente identificata e delimitata, con cartelli illustranti l'utilizzo dell'area stessa in modo univoco.
- Le batterie devono essere mantenute protette dagli agenti atmosferici in maniera tale da facilitare la riduzione del tasso di umidità vicino alle batterie . In tale ottica le tettoie aperte, anche se soggette alla penetrazione di pioggia in presenza di vento, sono da preferire ad una copertura a teloni, la quale mantiene l'acqua all'interno.
- Il posto prescelto deve essere adatto a mantenere le variazioni termiche al minimo , relativamente ad un ambiente aperto.
- L'illuminazione solare diretta deve essere evitata il più possibile.
- Il posto di immagazzinamento deve essere scelto per evitare in modo tassativo la possibilità di inondazione dello stesso sia da parte di corsi d'acqua sia per accumulo di acqua piovana
- Deve essere evitata la vicinanza di altre fonti di pericolo , quali cavi di alta tensione, cabine di trasformazione, serbatoi di gas o liquidi infiammabili o corrosivi, o altre aree di stoccaggio di materiale potenzialmente pericoloso.
- La posizione rispetto alla circolazione interna allo stabilimento, alle vie di fuga, alla facilità di movimentazione in caso di incidente deve essere documentata e valutata

## 2.2 Confinamento

- il quantitativo di batterie o l'energia immagazzinata massima in una unità di stoccaggio (e.g. un pallet) deve essere mantenuta al minimo compatibile con l'utilizzo razionale dello spazio
- la distanza minima tra una unità di stoccaggio e l'altra deve prevenire la propagazione di fiamme tra una e l'altra
- la distanza dell' area di immagazzinamento dalle altre strutture deve essere proporzionata al quantitativo massimo di energia presente nella stessa
- i calcoli di confinamento devono tenere conto delle eventuali fiamme sviluppate e del loro andamento al fine di evitare propagazione causata da tale sviluppo

## 2.3 Resistenza dei materiali e predisposizione alla bonifica

- I materiali utilizzati come contenitori e supporti, quelli di copertura ed in generale ogni altro materiale presente assieme alle batterie deve essere ignifugo o comunque evitare la propagazione di fiamma
- I materiali delle infrastrutture ausiliarie (e.g. i lampioni di illuminazione area) devono essere tali da resistere , almeno temporaneamente, ad un evento distruttivo, o essere posti ad una distanza di sicurezza
- L'area prescelta deve avere una pavimentazione idonea sia alla resistenza sia alla bonifica. Il battuto di cemento è preferibile all'asfalto, la pavimentazione con autobloccanti , idonea per resistenza termica, deve garantire la raccolta delle acque di spegnimento.
- Le esigenze di raccolta dell'acqua piovana possono collidere con quelle di raccolta dei liquidi di spegnimento: per tale motivo tettoie o tensostrutture che proteggano l'area dalla pioggia sono da preferirsi ad altre soluzioni.

## 2.4 Validità dei sistemi di protezione attiva

- è previsto che le condizioni di sicurezza sopra elencate possano essere raggiunte anche in seguito ad apposite strutture di intervento che mitighino o addirittura annullino gli effetti del *thermal runaway*: definiamo queste contromisure "sistemi di protezione attiva" poiché intervengono sul magazzino con azioni specifiche.
- Come in ogni sistema di sicurezza con eventi concatenati viene riconosciuto al sistema di sicurezza attivo validità sostitutiva se e solo se:
  - a. non può essere disattivato accidentalmente
  - b. effettua il suo intervento decisionale con logica "dead body" ovvero interviene anche in caso di assenza di alimentazione
  - c. nel caso di interventi su parametri multipli l'intervento è abilitato dall'assenza di anche solo uno dei sistemi concorrenti ( logica OR positiva)

### 3 Classificazione dei sistemi di protezione attiva

- i sistemi di intervento attivo possono essere catalogati in cinque grandi categorie:
  - a. riduzione della temperatura
  - b. riduzione delle emissioni di fumi
  - c. riduzione delle fiamme e del loro propagarsi
  - d. sistemi di prevenzione attiva e intervento tempestivo o anticipato
  - e. altri sistemi di prevenzione della pericolosità ( neutralizzazione chimica, confinamento attivo etc.)
  
- Il livello di intervento ed i limiti delle prestazioni dei sistemi attivi deve essere chiaramente indicato dal costruttore per poterne permettere la valutazione
  
- Si intravede la necessità di armonizzare questa parte con sistemi simili presenti nel campo della sicurezza al fine di rendere compatibili metodi e materiali su una base di utilizzo più ampia. Questa valutazione esula dallo scopo di questo report, che ne può solo segnalare la necessità.

#### 3.1 Limiti di applicabilità dei sistemi di protezione attiva

- I sistemi di sicurezza attiva non possono sostituirsi per intero ai sistemi a sicurezza passiva nei diversi compiti. (e.g. un impianto sprinkler, che abbassa effettivamente la temperatura ed i fumi, non può evitare delle caratteristiche di base dei materiali da costruzione.)
  
- Gli orientamenti presenti in documenti sull'argomento [1] riconoscono alla protezione attiva un miglioramento delle condizioni poste per sola protezione passiva

### 4 Bibliografia

1. Editor: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) VdS 3103en:2019-06(03)
2. <https://www.uschemicalstorage.com/news/how-to-store-lithium-batteries/> consult. lo 01/07/19
3. <https://www.promat-tunnel.com/en/advices/fire-protection/fire%20curves> consult. lo 01/07/19



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



## RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

### Capitolo 5 B Norme sul trasporto delle batterie al litio e modalità di *packaging*

Marco Ottaviani (Consulente COBAT) e Cinzia Di Bari (ENEA)

**COBAT**

**ENEA**



# Indice

|  |     |
|--|-----|
| <b>INDICE</b> .....  | 417 |
| <b>SOMMARIO</b> .....  | 418 |
| <b>1 INTRODUZIONE E NORME INTERNAZIONALI SUL TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE</b> .....                             | 419 |
| 1.1 DEFINIZIONE DI “MERCE PERICOLOSA” .....  | 420 |
| 1.2 IL TRASPORTO INTERMODALE DELLE BATTERIE AL LITIO.....  | 420 |
| 1.3 NORME INTERNAZIONALI SUL TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE .....   | 421 |
| <b>2 TRASPORTO SU GOMMA DI BATTERIE AL LITIO: ADR</b> .....  | 424 |
| 2.1 CLASSIFICAZIONE DELLE MERCI PERICOLOSE .....   | 425 |
| 2.2 CLASSIFICAZIONE DELLE BATTERIE AL LITIO.....   | 426 |
| 2.3 OBBLIGHI DEGLI OPERATORI DELL’ADR 2019 E FORMAZIONE SPECIFICA .....  | 427 |
| 2.3.1 <i>Obblighi di Formazione</i> .....  | 427 |
| 2.3.2 <i>Capo dell’impresa</i> .....   | 428 |
| 2.3.3 <i>Speditore</i> .....   | 429 |
| 2.3.4 <i>Trasportatore</i> .....   | 429 |
| 2.3.5 <i>Destinatario</i> .....  | 430 |
| 2.3.6 <i>Caricatore</i> .....  | 430 |
| 2.3.7 <i>Imballatore</i> .....   | 430 |
| 2.3.8 <i>Scaricatore</i> .....   | 430 |
| 2.3.9 <i>Consulente per la Sicurezza dei Trasporti di Merci Pericolose</i> .....                                 | 431 |
| 2.4 REQUISITI DI SICUREZZA DELLE BATTERIE AL LITIO NECESSARI PER IL TRASPORTO E TEST ONU .....                   | 432 |
| 2.4.1 <i>Requisiti costruttivi – ADR, Capitolo 2.2.9.1.7</i> .....   | 432 |
| 2.4.2 <i>Test ONU 38.3</i> .....   | 433 |
| 2.4.3 <i>Documentazione dei risultati di prova</i> .....   | 435 |
| 2.5 CARATTERISTICHE DEI CONTENITORI PER BATTERIE AL LITIO .....  | 436 |
| 2.5.1 <i>Protezione dal cortocircuito</i> .....  | 436 |
| 2.5.2 <i>Definizioni e tipi di imballaggi idonei</i> .....   | 436 |
| 2.5.3 <i>Caratteristiche generali degli imballaggi</i> .....   | 437 |
| 2.6 DISPOSIZIONI GENERALI DI TRASPORTO .....   | 439 |
| 2.6.1 <i>Documento di trasporto</i> .....  | 439 |
| 2.6.2 <i>Marcatura</i> .....   | 440 |
| 2.6.3 <i>Etichettatura</i> .....   | 441 |
| 2.7 ESENZIONI PER PILE E BATTERIE AL LITIO .....   | 442 |
| 2.8 DISPOSIZIONI SPECIALI E ISTRUZIONI DI IMBALLAGGIO .....  | 443 |
| 2.8.1 <i>Batterie Nuove - piccole esentate</i> .....   | 443 |
| 2.8.2 <i>Elementi e batterie installate in apparecchiature</i> .....   | 444 |
| 2.8.3 <i>Batterie Nuove</i> .....  | 445 |
| 2.8.4 <i>Prototipi e piccole serie (massimo 100 pz)</i> .....  | 449 |
| 2.8.5 <i>Batterie Ibride al Litio</i> .....  | 454 |
| 2.8.6 <i>Batterie al litio installate in unità di trasporto merci</i> .....                                      | 454 |
| 2.9 BATTERIE CLASSIFICABILI COME RIFIUTO E RIFIUTI DI APPARECCHIATURE ELETTRONICHE (RAEE) CHE LE CONTENGONO..... | 455 |
| 2.9.1 <i>Batterie classificabili come rifiuto</i> .....  | 455 |
| 2.9.2 <i>Batterie danneggiate o difettose</i> .....  | 459 |
| 2.9.3 <i>Batterie danneggiate o difettose suscettibili di reagire pericolosamente durante il trasporto</i> ..... | 462 |
| 2.9.4 <i>RAEE contenenti batterie al Litio</i> .....   | 466 |
| <b>3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E COLLEGAMENTI IPERTESTUALI</b> .....   | 470 |
| <b>4 APPENDICE A – ESEMPI DI PACKAGING 4G DI BATTERIE AL LITIO</b> .....   | 470 |
| <b>5 APPENDICE B – ALCUNI ESEMPI DI TIPOLOGIE DI IMBALLAGGI</b> .....  | 473 |

## Sommario

Elementi (celle) e batterie al Litio e le apparecchiature che le contengono, sono classificate dall'ONU come Merci Pericolose e, quindi, sottoposte ai Regolamenti Del Trasporto Di Merci Pericolose applicabili alle diverse modalità., Diverse fasi del trasporto possono coinvolgere elementi e batterie al litio in tutto il loro ciclo di vita andando ad identificare una “catena logistica” nel cui ambito possono essere trasportate con una sequenza di diverse modalità (Trasporto Multimodale): ad esempio, il produttore può spedire i materiali via mare dopo una fase di deposito temporaneo in un interporto, il materiale raggiunge il porto di destino e sosta nuovamente in un interporto, in attesa di essere prelevato da un vettore e trasportato su gomma o su rotaia fino al destinatario.

La normativa internazionale sul trasporto di merci pericolose, prevede prescrizioni che dipendono dalle caratteristiche dei beni soggetti al trasporto, dalla quantità e dalle condizioni e stato di conservazione. Per quanto riguarda le batterie al litio, ad iniziare dai prototipi, la normativa internazionale sul trasporto, si occupa di elementi/batterie/apparecchiature durante il loro ciclo di vita, fino a contemplare i rifiuti e le merci danneggiate e/o difettose: a garanzia della sicurezza, impone caratteristiche costruttive minime, il superamento di specifici test di abuso, l'utilizzo di imballaggi idonei, la marcatura e l'etichettatura dei colli; pone restrizioni sullo stato di carica delle batterie e stabilisce precisi obblighi e responsabilità sugli operatori coinvolti nella catena logistica.

Nel Capitolo 6d verranno introdotte le norme sul trasporto di merci pericolose, con particolare riferimento agli elementi/batterie al litio e alle apparecchiature che le contengono. Tali norme prevedono l'identificazione dei contenitori e degli imballaggi specifici all'interno dei quali possono viaggiare le merci e essere stoccate durante il loro ciclo di vita. L'ultimo titolo di questo capitolo è dedicato alle norme di gestione del trasporto di rifiuti di batterie al litio e delle apparecchiature che le contengono giunte a fine vita.



## 1 Introduzione e norme internazionali sul trasporto di merci pericolose

Il trasporto delle batterie al Litio, pile e accumulatori, e di apparecchiature che le contengono, si configura come trasporto di merci pericolose e, pertanto sottostà ad una Classificazione ONU e a specifiche modalità di trasporto, che dipendono anche dalla quantità degli articoli e dallo stato di conservazione.

Fasi di trasporto sono presenti in tutto il ciclo di vita delle pile e accumulatori al Litio, sono parte della cosiddetta “catena logistica” e uno stesso “collo” può essere trasportato con una sequenza di diverse modalità ovvero prevedere il trasporto multimodale (e.g.: essere spedito via mare dal produttore, raggiungere il porto di destino, sostare in un interporto, essere prelevato da un vettore e trasportato su gomma o su rotaia fino al destinatario).

Per ogni modalità di trasporto ci sono delle regole specifiche, basate sull’ *UN Model Regulation elaborato* da un comitato internazionale, che ogni stato o unione di stati (USA, UE, ecc) recepisce nel proprio ordinamento giuridico: in tutti i casi, la *Classe* di trasporto delle batterie al Litio è la numero 9. Il sottocomitato di esperti sul trasporto delle merci pericolose si riunisce nella sede ONU di Ginevra (Svizzera) presso la *UNECE (United Nations Economic Commission for Europe)*. Per un confronto tra la regolamentazione specifica di USA, UE, Cina e Korea per la modalità aerea e vie di superficie, si veda [1].

Nonostante la regolamentazione, come si è visto nel Capitolo 5, la casistica incidentale pone l’attenzione sulle problematiche di sicurezza del trasporto, *in primis* quello aereo. Ma non solo.

Indicativo è il fatto che il 9 maggio 2019<sup>1</sup> il Segretario di Stato ai trasporti degli USA, Elaine L. Chao, ha annunciato la formazione di un Comitato Consultivo per il trasporto sicuro delle batterie al Litio, indicando una procedura di autocandidatura<sup>2</sup>. Il Comitato verrà istituito presso il DOT (*Department of Transportation*) della PHMSA (*Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration*)<sup>3</sup>: Gli USA sono il primo ente che, a livello mondiale, si è interessato alle problematiche di sicurezza connesse all’impiego delle batterie al Litio. Si riporta il testo integrale del comunicato stampa:

WASHINGTON – *The U.S. Department of Transportation’s Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) today announced that it is soliciting nominees for a new Lithium Battery Safety Advisory Committee, in accordance with Section 333(d) of the FAA Reauthorization Act of 2018.*

*“The Department is seeking experts from diverse technical and transportation backgrounds to evaluate safety improvements for the transportation of lithium batteries,” said U.S. Secretary of Transportation Elaine L. Chao.*

---

<sup>1</sup> <https://www.phmsa.dot.gov/news/us-transportation-secretary-elaine-l-chao-announces-advisory-committee-safe-transportation>;

<sup>2</sup> <https://www.phmsa.dot.gov/hazmat/rulemakings/lithium-battery-safety-advisory-committee>

<sup>3</sup> *The mission of the Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) is to protect people and the environment by advancing the safe transportation of energy and other hazardous materials that are essential to our daily lives. PHMSA develops and enforces regulations for the safe operation of the nation’s 2.7 million-mile pipeline transportation system and the 1.2 million daily shipments of hazardous materials by land, sea, and air. Please visit <http://phmsa.dot.gov> or [https://twitter.com/PHMSA\\_DOT](https://twitter.com/PHMSA_DOT) for more information*

*The Committee will provide a forum for the Department to solicit stakeholder input to continually strengthen the safety of multimodal lithium battery transportation. PHMSA is seeking nominations from across the transportation and manufacturing industries to participate.*

*Further, the Committee will advise the Department on developing policy positions for international forums and on how to increase awareness of the importance of lithium battery safety requirements. The Committee will submit their findings to both the Secretary and Congress.*

*For further information, see the announcement as posted to the Federal Register. Nominations must be submitted within 21 days of the Federal Register publication date.*

### **1.1 Definizione di “merce pericolosa”**

La locuzione “merce pericolosa”<sup>4</sup> è un termine standard utilizzato a livello internazionale (Dangerous Good) per le merci individuate dalle "Raccomandazioni delle Nazioni Unite sul trasporto di merci pericolose" (cfr. Raccomandazioni ONU). La definizione che ne dà l'ADR (trasporto stradale) è la seguente: "sono materie e oggetti il cui trasporto è vietato secondo l'ADR o autorizzato unicamente alle condizioni ivi previste".

Merci pericolose sono **articoli** o **materie** (sostanze chimiche e miscele) che possono comportare un rischio significativo per le persone, la salute, la proprietà o l'ambiente. Comprende anche oggetti di uso comune, come: bombolette spray, profumi e vernici.

Il trasporto di merci pericolose è regolamentato al fine di prevenire, per quanto possibile, incidenti a persone o cose e danni all'ambiente, ai mezzi di trasporto impiegati o ad altre merci.

### **1.2 Il trasporto intermodale delle Batterie al Litio**

Pur derivando dalle raccomandazioni internazionali prodotte e aggiornate dall'ONU: “*UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods*”<sup>5</sup>, di cui è in corso di pubblicazione la Revisione numero 21 del 2019, i regolamenti relativi al trasporto aereo, stradale, ferroviario, per vie navali interne e marittimo non sono identici tra loro. Il trasporto AEREO è disciplinato, a livello internazionale, dai regolamenti: *IATA Dangerous Goods Regulations* e *ICAO Technical Instructions*. Mentre il trasporto navale è disciplinato, sempre a livello internazionale, dal Codice IMO, *International Maritime Dangerous Goods Code*.

Questi regolamenti prescrivono requisiti dettagliati applicabili al trasporto di merci pericolose. Salvo quanto diversamente previsto dai Regolamenti, nessuna persona può offrire o accettare merci pericolose per il trasporto a meno che tali merci non siano adeguatamente classificate, imballate, marcate, etichettate, contrassegnate e descritte su un documento di trasporto, e comunque in una condizione idonea al trasporto come richiesto dai vari regolamenti.

In Europa, il trasporto terrestre è disciplinato dall'ADR<sup>6</sup>, *European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*. Il 1 gennaio 2019<sup>7</sup> è entrata in vigore la nuova versione. Il trasporto ferroviario è disciplinato dal RID: dal 1 gennaio 2019 è in vigore il **RID 2019**<sup>8</sup>. Mentre il trasporto per vie navigabili interne è disciplinato dall'ADN: dal 1 gennaio 2019 è in vigore l'**ADN 2019**<sup>9</sup>

---

<sup>4</sup> <http://www.businessdictionary.com/definition/dangerous-goods.html>

<sup>5</sup> [http://www.unece.org/trans/danger/publi/unrec/rev20/20files\\_e.html](http://www.unece.org/trans/danger/publi/unrec/rev20/20files_e.html)

<sup>6</sup> <http://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr2019/19contentse.html>

<sup>7</sup> [https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr\\_e.html](https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr_e.html)

<sup>8</sup> [http://otif.org/en/?page\\_id=1105](http://otif.org/en/?page_id=1105)

<sup>9</sup> [http://www.unece.org/trans/danger/publi/adn/adn2017/19files\\_e.html](http://www.unece.org/trans/danger/publi/adn/adn2017/19files_e.html)

### 1.3 Norme internazionali sul trasporto di merci pericolose

Le regole del trasporto di merci pericolose sono stabilite dal Sottocomitato di Esperti ONU sul Trasporto di Merci Pericolose che si riunisce nella sede ONU di Ginevra presso l'UNECE (*United Nations Economic Commission for Europe*) e sono raccolte nell' *UN Model Regulation*, detto anche *Orange Book* dal colore della copertina, che aggiornato ogni due anni.

Ogni modalità di trasporto adatta e traspone queste regole nei vari regolamenti specifici, come schematizzato nella seguente Figura 1.

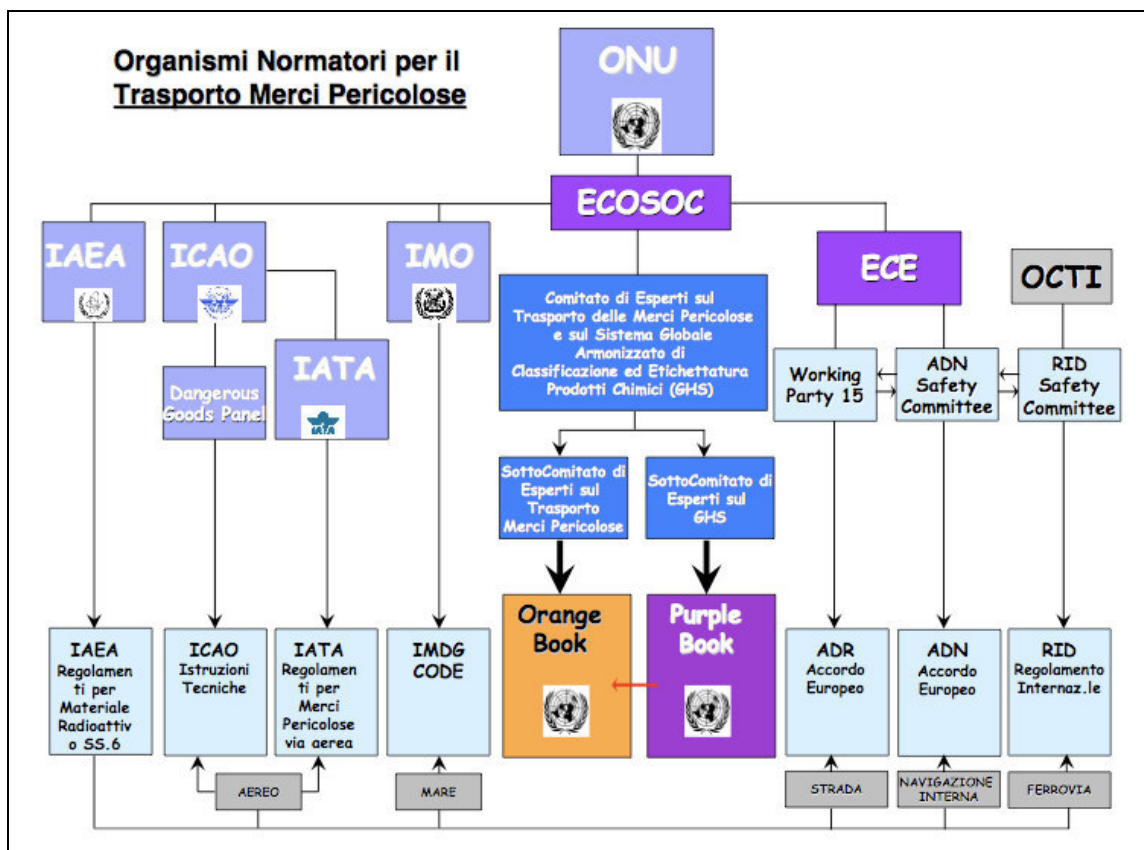


Figura 1

Nell'ambito dell'ECOSOC (Consiglio economico e sociale delle Nazioni Unite)<sup>10</sup>, oltre a essere sviluppato l'*Orange Book*, un sottocomitato apposito sviluppa il *Purple Book* ovvero la norma quadro internazionale sul sistema di classificazione ed etichettatura delle sostanze (e merci) pericolose, nota come GHS (Global Harmonised System). Il GHS<sup>11</sup> viene recepito all'interno dell' *Orange Book* e all'interno del Regolamento Europeo REACH, e di altri regolamenti internazionali analoghi, su cui si basano la **registrazione, valutazione, autorizzazione e restrizione delle sostanze chimiche** e degli articoli (pericolosi) immessi sul mercato europeo.

Le regole del trasporto aereo e marittimo sono internazionali, mentre l'accordo ADR è Europeo ma oltre ai paesi UE si applica a tutti i paesi firmatari, che attualmente sono 50.

Ecco l'elenco dei regolamenti internazionali e europei presentati in Figura 1:

<sup>10</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Consiglio\\_economico\\_e\\_sociale\\_delle\\_Nazioni\\_Unite](https://it.wikipedia.org/wiki/Consiglio_economico_e_sociale_delle_Nazioni_Unite)

<sup>11</sup> [http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_rev07/07files\\_e0.html](http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev07/07files_e0.html)

## 1. Regolamenti delle Nazioni Unite

1.1. Modello di Regolamento ONU. Le Raccomandazioni relative al trasporto di tutti i tipi di merci pericolose sono state elaborate dal Comitato delle Esperti del Trasporto di Merci Pericolose del Consiglio Economico e Sociale delle Nazioni Unite al fine di garantire la sicurezza delle persone, della proprietà e dell'ambiente. Sono applicabili a tutte le modalità di trasporto e sono rivolti a governi e organizzazioni internazionali interessate alla regolamentazione del trasporto di merci pericolose. Esse sono pubblicate nelle "*Recommendations on Transport of Dangerous Goods - Model Regulations*". Edizione vigente → 21° edizione (in corso di pubblicazione)

1.2. Manuale ONU delle Prove e dei Criteri. *Il Manuale delle prove e dei criteri ONU* è elaborato dal Comitato di Esperti del Consiglio Economico e Sociale delle Nazioni Unite sul trasporto di merci pericolose e pubblicato come un manuale separato nelle "*Recommendations on the Transport of Dangerous Goods— Manual of Tests and Criteria*". Nel nostro caso, alla sezione 38.3 raccoglie e descrive le prove che deve superare il prototipo di un elemento o una batteria al litio per essere idonea al trasporto e le dichiarazioni che deve fornire il produttore/distributore. Edizione vigente → Revisione 6, emendamento 1

2. **Accordo Europeo sul trasporto stradale (ADR)**. L'Accordo Europeo relativo al Trasporto Internazionale di Merci Pericolose su Strada è conforme alle "*Recommendations on the Transport of Dangerous Goods—Model Regulations*". L'ADR è un accordo tra Stati e conformemente alla direttiva europea 2008/68 / CE è applicato a livello nazionale negli Stati membri dell'Unione europea. Edizione vigente → ADR 2019

3. **Regolamento internazionale sul trasporto marittimo (IMDG)**. Il Codice Internazionale Marittimo delle Merci Pericolose (IMDG Code) è redatto dall'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO) ed è conforme alle "*Recommendations on the Transport of Dangerous Goods—Model Regulations*". Il codice IMDG armonizza le pratiche e le procedure seguite nel trasporto di merci pericolose via mare e assicura il rispetto delle disposizioni obbligatorie della convenzione SOLAS (Convenzione internazionale per la sicurezza della vita in mare) e dell'allegato III del MARPOL (Convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento proveniente dalle navi). Edizione vigente → IMDG Code 39-18, edizione 2018<sup>12</sup>

## 4. Regolamento internazionale sul trasporto aereo .

4.1. L'Organizzazione per l'Aviazione Civile Internazionale (ICAO) sviluppa le norme per il trasporto di merci pericolose per via aerea (compresi i trasporti interni) sulla base delle "*Recommendations on Transport of Dangerous Goods - Model Regulations*". I regolamenti ICAO sono codificati nell'allegato 18 della convenzione sull'aviazione civile internazionale e nelle sue istruzioni tecniche per il trasporto sicuro di merci pericolose (ICAO-TI) e sono riconosciuti come l'unica autentica fonte legale del trasporto aereo di merci pericolose. Edizione vigente → *ICAO Technical Instruction 2019-2020 edition* .

4.2. L'*International Air Transport Association* (IATA) pubblica il *Dangerous Goods Regulations* (IATA DGR) basato sui requisiti dell'allegato 18 della Convenzione sull'aviazione civile internazionale e le relative istruzioni tecniche per il trasporto sicuro di merci pericolose per via aerea, pubblicato dall'ICAO. IATA DGR costituisce un manuale dei regolamenti dei

---

<sup>12</sup> Con Circolare n. 35/2019 del 23 luglio 2019 l'entrata in vigore obbligatoria dell'IMDG Code 39-18, edizione 2018, prevista il 1.1.2020 è stata anticipata al 1.9.2019

trasportatori del settore che deve essere seguito da tutte le compagnie aeree membri IATA. Esistono alcune differenze tra i regolamenti IATA e ICAO che derivano da considerazioni operative e comportano un regime normativo che è necessariamente più restrittivo rispetto ai requisiti dell'ICAO. I regolamenti IATA incorporano anche ulteriore materiale di assistenza pratica agli utenti. Edizione vigente → IATA Dangerous Goods Regulations 2019 - 60th Edition

## 2 Trasporto su gomma di batterie al Litio: ADR

Il trasporto stradale di merci pericolose è regolato dall'accordo ADR, Accordo Europeo su Trasporto internazionale di Merci Pericolose su Strada - *European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*, adottato a Ginevra il 30/09/57 e ratificato in Italia il 12 /08/62 con legge n° 1839.

L'ADR è costituito dal testo dell'Accordo + due Allegati tecnici suddivisi in un totale di 9 parti: Allegato (Annex) A (Parti da 1 a 7), e Allegato B (Parte 8 e Parte 9). Ogni parte è suddivisa in Capitoli, ogni capitolo in Sezioni e Sotto-sezioni. Ad esempio, la Sezione 1 del Capitolo 2 della Parte 4 è enumerata come segue: 4.2.1. Le 9 parti sono le seguenti (Tabella 1).

Tabella 1

| <b>ALLEGATO A</b><br><b>DISPOSIZIONI GENERALI E DISPOSIZIONI RELATIVE ALLE MATERIE E OGGETTI PERICOLOSI</b> |  |
|---|--|
| <b>PARTE 1</b>  | <b>DISPOSIZIONI GENERALI</b>   |
| <b>PARTE 2</b>  | <b>CLASSIFICAZIONE</b>   |
| <b>PARTE 3</b>  | <b>LISTA DELLE MERCI PERICOLOSE, DISPOSIZIONI SPECIALI, ESENZIONI RELATIVE ALLE MERCI PERICOLOSE IMBALLATE IN QUANTITA' LIMITATE</b>   |
| <b>PARTE 4</b>  | <b>DISPOSIZIONI RELATIVE ALLA UTILIZZAZIONE DEGLI IMBALLAGGI E DELLE CISTERNE</b>  |
| <b>PARTE 5</b>  | <b>PROCEDURE DI SPEDIZIONE</b>   |
| <b>PARTE 6</b>  | <b>PRESCRIZIONI RELATIVE ALLA COSTRUZIONE DI IMBALLAGGI, DI GRANDI RECIPIENTI PER IL TRASPORTO ALLA RINFUSA (GIR), DI GRANDI IMBALLAGGI E DI CISTERNE E ALLE PROVE A CUI DEVONO SOTTOSTARE</b> |
| <b>PARTE 7</b>  | <b>DISPOSIZIONI CONCERNENTI LE CONDIZIONI DI TRASPORTO, IL CARICO, LO SCARICO E LA MOVIMENTAZIONE</b>  |
| <b>ALLEGATO B</b><br><b>DISPOSIZIONI RELATIVE ALL'EQUIPAGGIAMENTO DI TRASPORTO E AL TRASPORTO</b>           |  |
| <b>PARTE 8</b>  | <b>PRESCRIZIONI RELATIVE AGLI EQUIPAGGI, ALL'EQUIPAGGIAMENTO, ALL'ESERCIZIO DEI VEICOLI E ALLA DOCUMENTAZIONE</b>  |
| <b>PARTE 9</b>  | <b>PRESCRIZIONI RELATIVE ALLA COSTRUZIONE E ALL'APPROVAZIONE DEI VEICOLI</b>   |

L'Accordo si basa sulle "Raccomandazioni ONU" elaborate da un comitato di esperti e approvate dal consiglio economico sociale dell'ONU e sottoposto con periodicità biennale ad aggiornamento; Il Consiglio dell'Unione Europea ha emanato una serie di direttive con le quali l'accordo ADR è esteso anche ai trasporti effettuati in ambito nazionale.

La direttiva 2008/68/CE, relativa al trasporto interno di merci pericolose è stata attuata in Italia con il D.Lgs. 27 gennaio 2010 n. 35

Ogni due anni l'accordo ADR viene aggiornato con l'emanazione di una Direttiva Europea che gli Stati Membri recepiscono entro il 30 giugno dell'anno successivo; l'ADR 2019 è stato approvato con la DIRETTIVA (UE) 2018/1846 DELLA COMMISSIONE del 23 novembre 2018 che modifica gli allegati della direttiva 2008/68/CE del Parlamento europeo e del Consiglio relativa al trasporto interno di merci pericolose al fine di tenere conto del progresso

scientifico e tecnico, pubblicata in GUCE 26.11.2018. Gli Stati Membri si conformano entro il 30 giugno 2019. Nell'ordinamento giuridico italiano, la Direttiva UE/1846 del 2018 (e, quindi, l'ADR) è stata recepita con il Decreto del Ministro dei Trasporti del 12 febbraio 2019, pubblicato su Gazzetta Ufficiale n° 81 del 05/04/2019 [2].

Non esiste una traduzione ufficiale in lingua italiana dell'ADR, il testo ufficiale è quello inglese reperibile sul sito dell'UNECE<sup>13</sup>.

## 2.1 Classificazione delle merci pericolose

L'Allegato A dell'ADR, dedica la Parte 2 alla classificazione delle merci pericolose. Le merci pericolose sono classificate in 9 classi di pericolo (Tabella 2).

Le materie sono identificate da un **numero** di quattro cifre (numero ONU) e una **denominazione** ufficiale:

|                                   |
|-----------------------------------|
| UN 3481, BATTERIE AL LITIO IONICO |
|-----------------------------------|

Nella Tabella A della Parte 2 dell'Allegato A/ADR, *Dangerous good list*, sono elencate le merci come segue (Figura 3), includendo i riferimenti al Gruppo di imballaggio, Etichettatura, Quantità limitata, Modalità di imballaggio, Modalità di trasporto, Categoria di trasporto, ecc.

**Tabella 2**

|            |  |
|------------|--|
| Classe 1   | Materie e oggetti esplosivi  |
| Classe 2   | Gas  |
| Classe 3   | Liquidi infiammabili   |
| Classe 4.1 | Solidi infiammabili, materie autoreattive ed esplosivi solidi desensibilizzati |
| Classe 4.2 | Materie soggette ad accensione spontanea                                       |
| Classe 4.3 | Materie che, a contatto con l'acqua, sviluppano gas infiammabili               |
| Classe 5.1 | Materie comburenti   |
| Classe 5.2 | Perossidi organici   |
| Classe 6.1 | Materie tossiche   |
| Classe 6.2 | Materie infettanti   |
| Classe 7   | Materiali radioattivi  |
| Classe 8   | Materie corrosive  |
| Classe 9   | Materie ed oggetti pericolosi diversi  |

<sup>13</sup> [https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr\\_e.html](https://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr_e.html)

Figura 3

| UN No. | Name and description   | Class | Classification code | Packing group | Labels | Special provisions | Limited and excepted quantities |         | Packaging                     |                            |                          | Portable tanks and bulk containers |                    |
|--------|--|-------|---------------------|---------------|--------|--------------------|---------------------------------|---------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------|
|        |  |       |                     |               |        |                    | 3.4                             | 3.5.1.2 | Packing instructions          | Special packing provisions | Mixed packing provisions | Instructions                       | Special provisions |
| (1)    | (2)  | (3a)  | (3b)                | (4)           | (5)    | (6)                | (7a)                            | (7b)    | (8)                           | (9a)                       | (9b)                     | 4.2.5.2<br>7.3.2<br>(10)           | (11)               |
|        | 3.1.2  | 2.2   | 2.2                 | 2.1.1.3       | 5.2.2  | 3.3                | 3.4                             | 3.5.1.2 | 4.1.4                         | 4.1.4                      | 4.1.10                   | 4.2.5.2<br>7.3.2<br>(10)           | 4.2.5.3            |
| 0004   | AMMONIUM PICRATE dry or wetted with less than 10% water, by mass | 1     | 1.1D                |               | 1      |                    | 0                               | E0      | P112(a)<br>P112(b)<br>P112(c) | PP26                       | MP20                     |                                    |                    |
| 0005   | CARTRIDGES FOR WEAPONS with bursting charge                      | 1     | 1.1F                |               | 1      |                    | 0                               | E0      | P130                          |                            | MP23                     |                                    |                    |

UN No. 004 e 005, Tabella A, colonne da 1 a 14

| ADR tank  |                    | Vehicle for tank carriage | Transport category (Tunnel restriction code) | Special provisions for carriage |       |                                 |           | Hazard identification No. | UN No. | Name and description   |
|-----------|--------------------|---------------------------|--|---------------------------------|-------|---------------------------------|-----------|---------------------------|--------|--|
| Tank code | Special provisions |                           |  | Packages                        | Bulk  | Loading, unloading and handling | Operation |                           |        |  |
| (12)      | (13)               | (14)                      | (15)   | (16)                            | (17)  | (18)                            | (19)      | (20)                      | (1)    | (2)  |
| 4.3       | 4.3.5, 6.8.4       | 9.1.1.2                   | 1.1.3.6<br>(8.6)                             | 7.2.4                           | 7.3.3 | 7.5.11                          | 8.5       | 5.3.2.3                   |        | 3.1.2  |
|           |                    |                           | 1<br>(B1000C)                                | V2<br>V3                        |       | CV1<br>CV2<br>CV3               | S1        |                           | 0004   | AMMONIUM PICRATE dry or wetted with less than 10% water, by mass |
|           |                    |                           | 1<br>(B1000C)                                | V2                              |       | CV1<br>CV2<br>CV3               | S1        |                           | 0005   | CARTRIDGES FOR WEAPONS with bursting charge                      |

UN No. 004 e 005, Tabella A, colonne da 15 a 25

## 2.2 Classificazione delle batterie al Litio

Col termine "batterie al litio" vengono indicati elementi e batterie di due specifiche tipologie: Litio Metallico e Litio Ionico (Vedi Capitolo 1).

Anche le apparecchiature che contengono batterie al litio sono classificate merci pericolose, compreso il caso in cui le batterie siano spedite a corredo dell'apparecchiature.

Elementi (celle), moduli e batterie al Litio: da sole, contenuti in apparecchiature, imballate con apparecchiature, installate in unità di trasporto merci, sono trasportate in **Classe 9** e assegnate alle seguenti **rubriche**:

- UN 3090 BATTERIE AL LITIO METALLICO *(include le batterie in lega di litio)*
- UN 3091 BATTERIE AL LITIO METALLICO CONTENUTE IN APPARECCHIATURE *(include le batterie in lega di litio)*
- UN 3091 BATTERIE AL LITIO METALLICO IMBALLATE CON APPARECCHIATURE *(include le batterie in lega di litio)*
- UN 3480 BATTERIE AL LITIO IONICO *(include le batterie litio al ionico polimerico)*
- UN 3481 BATTERIE AL LITIO IONICO CONTENUTE IN APPARECCHIATURE *(include le batterie litio al ionico polimerico)*
- UN 3481 BATTERIE AL LITIO IONICO IMBALLATE CON APPARECCHIATURE *(include le batterie litio al ionico polimerico)*
- UN 3536 BATTERIE AL LITIO INSTALLATE IN UNITÀ DI TRASPORTO MERCI *batterie al litio ionico o batterie al litio metallico*



Alla stessa Classe appartengono anche le batterie Ni-MH: *UN 3496 Batterie Nichel - Idruri metallici* (trasporto non sottoposto all'ADR, sono pericolose solo per il trasporto marittimo<sup>14</sup>).

### 2.3 *Obblighi degli operatori dell'ADR 2019 e formazione specifica*

Gli obblighi degli operatori dell'ADR, ovvero dei soggetti coinvolti nella filiera del trasporto di merci pericolose come identificati in Tabella 4, sono stabiliti nell' Allegato A, Parte 1, Capitolo 1.4 dell'ADR; obblighi analoghi sono previsti per le altre modalità di trasporto. Oltre a specifici obblighi di formazione, ciascun operatore deve prendere le appropriate misure, in relazione alla natura e dimensione dei pericoli prevedibili, al fine di gestire correttamente i rischi per la salute e la sicurezza di se stessi, della popolazione e dell'ambiente e la integrità del carico. In particolare, quando la sicurezza della popolazione rischia di essere messa direttamente in pericolo, gli operatori devono avvisare immediatamente i servizi d'emergenza e mettere a loro disposizione le informazioni richieste ai fini dell'intervento.

Il soggetto a valle nella catena degli operatori coinvolti nel trasporto delle merci pericolose deve ricevere le informazioni da chi lo precede.

**Tabella 4**

|  |   |
|--|---|
| <i>Consignor</i>                             | Speditore (mittente)                                      |
| <i>Carrier</i>                               | Trasportatore   |
| <i>Consignee</i>                             | Destinatario  |
| <i>Loader</i>                                | Caricatore  |
| <i>Packer</i>                                | Imballatore   |
| <i>Filler</i>                                | Riempitore (di cisterne e container)                      |
| <i>Tank container/portable tank operator</i> | Gestore di un container-cisterna o di una cisterna mobile |
| <i>Unloader</i>                              | Scaricatore   |

#### 2.3.1 *Obblighi di Formazione*

Riguardano le figure professionali della Tabella 5:

**Tabella 5**

| <b>Operatore</b>                       | <b>Riferimento Allegato A dell'ADR</b> |
|--|--|
| Persone impiegate presso gli operatori | Capitolo 1.3                           |
| Equipaggio del veicolo (patentino ADR) | Capitolo 8.2                           |
| Consulente per la sicurezza            | Capitolo 1.8.3                         |

Qui prenderemo in considerazione solo la formazione del personale impiegato presso gli operatori, Capitolo 1.3.1 dell'Allegato A dell'ADR, poiché la formazione e gli esami di autisti e consulenti viene effettuata rispettivamente presso scuole guida e motorizzazione civile.

Le persone impiegate presso gli operatori, il cui campo d'attività comprende il trasporto di merci pericolose, devono ricevere una formazione rispondente alle esigenze che le loro attività e responsabilità comportano durante il trasporto di merci pericolose.

---

<sup>14</sup> Viene riferito di incidente occorso durante il trasporto marittimo: incendio causa sovratemperatura esterna pari a 60°C. Questo dato è indicativo delle temperature che possono essere raggiunte all'esterno di un container durante il trasporto in mare. Tale temperatura si trova al limite della finestra operativa degli accumulatori al litio.

I dipendenti devono essere addestrati prima di assumere responsabilità e devono eseguire le funzioni, per le quali la formazione richiesta non è stata ancora fornita, sotto la diretta supervisione di un persona qualificata.

Il contenuto della formazione deve essere in relazione alle responsabilità e funzioni della persona interessata e deve essere documentata. Una descrizione dettagliata di tutta la formazione ricevuta deve essere conservata dal datore di lavoro (presumibilmente 5 anni) e dal dipendente e deve essere verificata all'atto di una nuova assunzione.

Questa formazione deve essere completata periodicamente mediante corsi d'aggiornamento per tenere conto dei cambiamenti intervenuti nella regolamentazione.

I diversi percorsi formativi sono sintetizzati in Tabella 6.

**Tabella 6**

|    | <b>Livello formativo</b>                  | <b>Obiettivi minimi</b>   |
|----|---|---|
| 1. | <b>Formazione di base</b>                 | Il personale si deve familiarizzare con le disposizioni generali delle disposizioni relative al trasporto di merci pericolose.  |
| 2. | <b>Formazione specifica</b>               | Il personale deve ricevere una formazione dettagliata, direttamente proporzionale ai suoi compiti e alle sue responsabilità, alle disposizioni delle regolamentazioni relative al trasporto di merci pericolose.  |
|    | <b>Formazione specifica multimodale</b>   | Nel caso in cui il trasporto di merci pericolose comporti un'operazione di trasporto multimodale, il personale deve essere informato delle disposizioni relative agli altri modi di trasporto.  |
| 3. | <b>Formazione in materia di sicurezza</b> | Il personale deve ricevere una formazione relativa ai rischi e i pericoli che presentano le merci pericolose, in misura proporzionata alla gravità dei rischi di ferite o d'esposizione derivanti dal verificarsi d'incidenti durante il trasporto di merci pericolose, compreso il loro carico e scarico.<br><br>La formazione deve mirare a sensibilizzare il personale sulle procedure da seguire per la movimentazione in condizioni di sicurezza e negli interventi d'emergenza. |

### **2.3.2 Capo dell'impresa**

Ogni impresa, la cui attività comporta la spedizione o il trasporto di merci pericolose su strada, oppure le relative operazioni di imballaggio, di carico, di riempimento o di scarico, deve nominare uno o più consulenti per la sicurezza dei trasporti di merci pericolose, incaricati di facilitare l'opera di prevenzione dei rischi per le persone, per i beni o per l'ambiente inerenti a tali attività.

Il legale rappresentante dell'impresa assume quindi i seguenti obblighi:

- a) *Nomina del consulente per la sicurezza dei trasporti di merci pericolose*
- b) *Entro 15 giorni dalla nomina, comunica le generalità del Consulente all'ufficio provinciale della Motorizzazione Civile*
- c) *Conserva le relazioni del consulente per cinque anni*
- d) *Opera nel rispetto delle norme in materia di trasporto di merci pericolose.*

Non è necessario nominare il consulente per modalità e/o quantità inferiori ai limiti definiti ai seguenti capitoli dell'ADR (Tabella 7):

**Tabella 7**

|           |                         |
|-----------|-------------------------|
| 1.1.3.6   | (esonero per quantità)  |
| 2.2.7.1.2 | (radioattivi esclusi)   |
| 3.3       | (disposizioni speciali) |
| 3.4.      | (quantità limitate)     |
| 3.5.      | (quantità esentate)     |

### 2.3.3 Speditore

Lo speditore di merci pericolose ha l'obbligo di presentare al trasporto una spedizione conforme alle disposizioni dell'ADR.

In particolare deve:

- a) *assicurarsi che le merci pericolose siano classificate e autorizzate al trasporto conformemente all'ADR;*
- b) *fornire al trasportatore informazioni e dati, i documenti di trasporto e i documenti di accompagnamento richiesti*
- c) *utilizzare soltanto imballaggi, grandi imballaggi e IBC (GIR) approvati o idonei;*
- d) *osservare le disposizioni sul modo di inoltro e sulle restrizioni di spedizione;*
- e) *assicurare che i contenitori vuoti, non ripuliti, siano marcati, etichettati e chiusi come quando erano pieni*

Nel caso in cui lo speditore faccia ricorso ai servizi d'altri operatori (imballatore, caricatore, riempitore, ecc.), deve prendere le appropriate misure affinché sia garantito che la spedizione risponda alle disposizioni dell'ADR.

Egli può tuttavia confidare sulle informazioni e sui dati che gli sono stati messi a disposizione dagli altri operatori.

### 2.3.4 Trasportatore

Nell'ambito del trasporto delle merci pericolose deve:

- a) *verificare che le merci pericolose da trasportare siano autorizzate al trasporto conformemente all'ADR;*
- b) *assicurarsi che la documentazione prescritta si trovi a bordo dell'unità di trasporto;*
- c) *assicurarsi visivamente che i veicoli e il carico non presentino difetti manifesti, perdite o fessure, mancanze di equipaggiamenti, ecc.;*
- d) *assicurarsi che la data della prossima prova per le cisterne non sia stata superata;*
- e) *verificare che i veicoli non siano sovraccaricati;*
- f) *assicurarsi che siano apposte le etichette e le segnalazioni prescritte per i veicoli;*
- g) *assicurarsi che gli equipaggiamenti prescritti nelle consegne scritte per il conducente si trovino a bordo del veicolo.*

Ciò deve essere fatto sulla base dei documenti di trasporto e dei documenti d'accompagnamento e mediante un esame visivo del veicolo o dei contenitori e del carico. Il trasportatore può tuttavia confidare sulle informazioni e sui dati che gli sono stati messi a disposizione dagli altri operatori.

Se il trasportatore constata un'infrazione alle disposizioni dell'ADR non deve inoltrare la spedizione fino alla sua messa in conformità.

Se durante il trasporto è constatata un'infrazione che potrebbe compromettere la sicurezza del trasporto, la spedizione deve essere fermata il più presto possibile, tenuto conto dei requisiti di sicurezza legati alla circolazione e all'arresto della spedizione, come pure alla sicurezza della popolazione.

Il trasporto potrà essere ripreso soltanto dopo la messa in conformità della spedizione.

### 2.3.5 *Destinatario*

Il destinatario ha l'obbligo di non differire senza motivi imperativi, l'accettazione della merce e di verificare, dopo lo scarico, che le disposizioni dell'ADR che a lui si riferiscono siano rispettate.

Nel caso in cui il destinatario faccia ricorso ai servizi di altri operatori (scaricatore, pulitore, stazione di decontaminazione, ecc.), deve prendere le misure appropriate affinché sia garantito che le disposizioni dell'ADR sono rispettate.

### 2.3.6 *Caricatore*

Il Caricatore deve:

- a) *Consegnare al trasportatore merci pericolose solo se queste sono autorizzate al trasporto conformemente all'ADR.*
- b) *Verificare che l'imballaggio non sia danneggiato e non ci sia perdita di materia pericolosa, in caso contrario non deve presentarlo al trasporto.*
- c) *Osservare le prescrizioni concernenti il carico e la movimentazione*
- d) *Dopo aver caricato merci pericolose in un container, deve osservare le prescrizioni concernenti la placcatura, la marcatura e i pannelli arancioni.*
- e) *Osservare i divieti di carico in comune tenendo conto delle merci pericolose già presenti nel veicolo e della separazione dalle derrate alimentari*

### 2.3.7 *Imballatore*

L'imballatore può essere una azienda terza oppure lo stesso produttore della merce. L'Imballatore deve:

- a) *Osservare le prescrizioni concernenti le condizioni di imballaggio e di imballaggio in comune*
- b) *Osservare le prescrizioni concernenti i marchi e le etichette di pericolo quando prepara i colli per il trasporto*

### 2.3.8 *Scaricatore*

Lo Scaricatore deve:

- a) *assicurarsi che le merci siano quelle che devono essere scaricate confrontando le informazioni pertinenti sul documento di trasporto con le informazioni sul collo, container o veicolo;*
- b) *verificare, prima e durante lo scarico, se gli imballaggi, il veicolo o il container siano stati danneggiati in misura tale da mettere in pericolo l'operazione di scarico. In*

*questo caso, assicurarsi che lo scarico non sia portato a compimento fino a quando non siano state adottate appropriate misure;*

- c) rispettare tutte le prescrizioni pertinenti che riguardano lo scarico e la movimentazione;*
- d) garantire che sia effettuata la prescritta pulizia e decontaminazione dei veicoli e dei container;*
- e) garantire che i container, una volta che siano stati completamente scaricati, puliti e decontaminati, non portino più le marcature di pericolo*
- f) Nel caso in cui lo scaricatore faccia ricorso ai servizi di altri operatori (pulitore, stazioni di decontaminazione, ecc.), deve prendere le misure appropriate per garantire che le prescrizioni ADR siano rispettate.*

### **2.3.9 Consulente per la Sicurezza dei Trasporti di Merci Pericolose**

Il consulente deve essere titolare di un certificato di formazione professionale valido per il trasporto su strada. Tale certificato è rilasciato dall'autorità competente o dall'organismo all'uopo designato da ciascuna Parte contraente l'ADR.

Per ottenere il certificato, il candidato deve ricevere una formazione e superare un esame riconosciuto dall'autorità competente della Parte contraente.

I compiti del Consulente comprendono in particolare l'esame delle seguenti prassi e procedure relative alle attività dell'impresa:

- le procedure volte a far rispettare le norme in materia di identificazione delle merci pericolose trasportate;
- le prassi dell'impresa per quanto concerne la considerazione, all'atto dell'acquisto dei mezzi di trasporto, di qualsiasi particolare esigenza relativa alle merci pericolose trasportate;
- le procedure di verifica del materiale utilizzato per il trasporto di merci pericolose o per le operazioni di carico o scarico;
- il possesso, da parte del personale interessato dell'impresa, di un'adeguata formazione e iscrizione di tale formazione nei rispettivi fascicoli personali;
- l'applicazione di procedure d'emergenza adeguate agli eventuali incidenti o eventi imprevisti che possano pregiudicare la sicurezza durante il trasporto di merci pericolose o le operazioni di carico o scarico;
- il ricorso ad analisi e, se necessario, la redazione di relazioni sugli incidenti, gli eventi imprevisti o le infrazioni gravi constatate nel corso del trasporto delle merci pericolose o durante le operazioni di carico o scarico;
- l'attuazione di misure appropriate per evitare la ripetizione di incidenti, eventi imprevisti o infrazioni gravi;
- la considerazione delle disposizioni legislative e delle particolari esigenze relative al trasporto di merci pericolose, per quanto concerne la scelta e l'utilizzo di subfornitori o altri interessati;

- la verifica che il personale incaricato della spedizione e del trasporto di merci pericolose oppure del carico o dello scarico di tali merci disponga delle procedure di esecuzione e di istruzioni dettagliate;
- l'avvio di azioni di sensibilizzazione ai rischi connessi al trasporto di merci pericolose o al carico o scarico di tali merci;
- l'istituzione di procedure di verifica volte a garantire la presenza, a bordo dei mezzi di trasporto, dei documenti e delle attrezzature di sicurezza che devono accompagnare il trasporto e la loro conformità alle normative;
- l'istituzione di procedure di verifica dell'osservanza delle norme relative alle operazioni di carico e scarico.

Il Consulente assume quindi i seguenti obblighi:

- a) entro 60 giorni dalla nomina, verificate le prassi e le procedure concernenti l'attività dell'impresa presso la quale opera, redige una relazione nella quale, per ciascuna operazione relativa all'attività di impresa, indica le eventuali modifiche procedurali ovvero strutturali necessarie per l'osservanza delle norme in materia di trasporto, carico e scarico di merci pericolose, nonché per lo svolgimento dell'attività dell'impresa in condizioni ottimali di sicurezza;*
- b) redige le successive relazioni annualmente e ogni qualvolta intervengano eventi modificativi;*
- c) consegna la relazione al capo dell'impresa;*
- d) aggiorna periodicamente l'impresa delle novità dell'accordo ADR;*
- e) in caso d'incidente provvede a redigere la prevista relazione d'incidente e la trasmette al capo dell'impresa e Ministero dei trasporti e della navigazione, tramite MCTC.*

## **2.4 Requisiti di sicurezza delle batterie al Litio necessari per il trasporto e Test ONU**

Elementi e batterie al litio devono essere costruite secondo i requisiti costruttivi del Capitolo 2.9.4 dell' *UN Model Regulation* (corrispondenti ai capitoli 2.2.9.1.7 dell'ADR, 2.9.4 dell'IMDG, 3.9.2.6 dello IATA); il prototipo di una batteria al Litio deve aver superato i test ONU del Manuale dei Test e Criteri, parte III sottosezione 38.3; i risultati delle prove devono essere adeguatamente documentati.

### **2.4.1 Requisiti costruttivi – ADR, Capitolo 2.2.9.1.7**

Le celle (o elementi) e le batterie devono:

- essere del tipo che ha superato i test ONU del Manuale dei Test e Criteri, sezione 38.3.
- I fabbricanti e i successivi distributori di elementi o batterie devono mettere a disposizione il sommario di prova come specificato nel Manuale delle prove e dei criteri, parte III, sottosezione 38.3, paragrafo 38.3.5.
- essere realizzate con un dispositivo di protezione contro le sovrappressioni interne (dispositivo di *venting*)
- progettata in modo da impedire una violenta rottura

- efficaci dispositivi per prevenire i cortocircuiti esterni;
- batterie contenente elementi o serie di elementi collegati in parallelo deve essere equipaggiata con mezzi efficaci per impedire le inversioni di corrente (per esempio: diodi, fusibili, ecc.)<sup>15</sup>.
- Le batterie al litio contenenti sia elementi primari al litio metallico che elementi ricaricabili al litio ionico, che non sono progettate per essere caricate dall'esterno, devono avere gli elementi componenti la batteria del tipo che ha superato i test ONU del Manuale dei Test e Criteri, sezione 38.3; gli elementi ricaricabili al litio ionico sono caricati soltanto dagli elementi primari al litio metallico, inoltre deve essere preclusa la sovraccarica degli elementi ricaricabili e la batteria deve essere testata come una batteria al litio primaria.

Gli elementi e le batterie devono essere fabbricate conformemente ad un programma di gestione della qualità che deve comprendere i seguenti elementi:

- (i) una descrizione della struttura organizzativa e delle responsabilità del personale per quanto riguarda la progettazione e la qualità del prodotto;
- (ii) le pertinenti istruzioni riguardanti i controlli e le prove, il controllo di qualità, la garanzia della qualità e lo svolgimento delle operazioni;
- (iii) i controlli di processo che devono includere le pertinenti attività volte a prevenire ed individuare i guasti al livello di corto circuiti interni durante la fabbricazione degli elementi;
- (iv) le registrazioni di valutazione della qualità, come rapporti di controllo, dati di prova, dati di calibrazione e certificati. I dati di prova devono essere conservati e resi disponibili all'autorità competente su richiesta;
- (v) la verifica della direzione dell'efficacia del sistema di qualità;
- (vi) una procedura di controllo dei documenti e della loro revisione;
- (vii) un sistema di controllo degli elementi e delle batterie non conformi al tipo che ha soddisfatto le prescrizioni delle prove così come indicato in (a) qui sopra;
- (viii) i programmi di formazione e le procedure di qualificazione che si applicano al personale coinvolto; e
- (ix) le procedure per garantire che il prodotto finito non sia danneggiato.

**NOTA:** Possono essere accettati programmi interni di gestione della qualità. La certificazione di terza parte non è richiesta, ma le procedure elencate da (i) a (ix) qui sopra devono essere debitamente registrate e tracciabili. Una copia del programma di gestione della qualità deve essere messa a disposizione dell'autorità competente su richiesta.

#### 2.4.2 Test ONU 38.3

- Gli elementi devono essere del tipo in grado di aver superato tutte le prove previste dal Manuale dei Test e Criteri dell'ONU, Parte III Sottosezione 38.3
- Le batterie prodotte con elementi che abbiano superato i test, devono comunque ripetere le prove del Manuale dei Test e Criteri dell'ONU;
- Attualmente si applicano i test definiti nella 6° edizione, emendamento 1

---

<sup>15</sup> Questo caso è importante nel caso di trasporto di batterie per autoveicoli elettrici.

La Sezione 38.3 del Manuale dei Test e Criteri dell'ONU prevede le seguenti prove (Figura 2):

- T1 - Simulazione di altitudine
- T2 - Cicli termici
- T3 - Vibrazione
- T4 - Prove di impatto
- T5 - Corto circuito esterno
- T6 - Schiacciamento
- T7 - Sovraccarica
- T8 - Sovrascarica

**Table 1. UN tests T.1 to T.8 for lithium cells and batteries prior to being transported.**

| Test Step | Test Type              | Specific Procedures   |
|-----------|------------------------|---|
| Test T.1  | Altitude simulation    | Test cells and batteries stored at a pressure of 11.6 kPa or less for at least 6 h at ambient temperature ( $20 \pm 5$ °C).   |
| Test T.2  | Thermal                | Rapid thermal cycling between high ( $75 \pm 2$ °C) and low ( $-40 \pm 2$ °C) storage temperatures, stored for at least 6 h at the test temperature, time interval between high and low test temperature change less than 30 min.   |
| Test T.3  | Vibration              | The vibration is a sinusoidal waveform with a logarithmic sweep between 7 Hz ( $1 g_n$ peak acceleration) and 200 Hz ( $8 g_n$ peak acceleration) and back to 7 Hz; 12 times cycle, 3 mutually perpendicular mounting positions.  |
| Test T.4  | Shock                  | Subjected to a half-sine shock ( $150 g_n$ peak acceleration) and pulse duration (6 ms); 3 shocks cycling in the positive and negative directions for each of 3 mutually perpendicular mounting positions (total of 18 shocks).   |
| Test T.5  | External short circuit | Short circuit with a total external resistance of less than $0.1 \Omega$ at ( $55 \pm 2$ °C), 1 h duration.   |
| Test T.6  | Impact                 | A 15.8-mm-diameter bar placed across the sample cell center, and a 9.1-kg mass is dropped from a height of ( $61 \pm 2.5$ cm) onto the sample.  |
| Test T.7  | Overcharge             | Overcharging test should be conducted for 24 h with charge current (twice the manufacturer's recommended maximum) and minimum test voltage. The minimum test voltage is defined in two categories (a) when recommended charge voltage $\leq 18$ V and (b) when recommended charge voltage $>18$ V: Both categories are further explained as:<br>(a) the lesser of 22 V or 2 times the maximum charge voltage or,<br>(b) 1.2 times the maximum charge voltage. |
| Test T.8  | Forced discharge       | Each cell is forced discharged by connecting it in series with a 12 V DC power supply at an initial current equal to the maximum discharge current specified by the manufacturer.   |

Tests T.1 to T.5 are conducted in sequence on the same cell or battery. Test T.7 is conducted on undamaged batteries previously tested under tests T.1 to T.5 for purposes of testing on cycled batteries. Tests T.6 and T.8 are conducted on cells and batteries that have not undergone any other test steps.

**Figura 2**



### 2.4.3 Documentazione dei risultati di prova

Dal 2019 è stato introdotto l'obbligo di redigere il *Test Summary* (Tabella 8, nella traduzione in italiano), un modello di dichiarazione che riepiloga le informazioni relative ai test eseguiti e i relativi risultati, compresi i dati di contatto del produttore e del laboratorio di prova: i fabbricanti e i successivi distributori di elementi o batterie fabbricate dopo il 30 giugno 2003 devono mettere a disposizione il riepilogo dei test come di seguito specificato.

Le batterie prodotte conformemente ad un prototipo testato secondo i requisiti della 3° edizione, emendamento 1 o a ogni revisione successiva applicabile alla data di effettuazione del test, possono continuare ad essere trasportate.

Prima di essere trasportato e, di conseguenza, prima di essere prodotto, il prototipo di una batteria al Litio deve essere in grado di superare i Test ONU.

**Tabella 8**

| <b>Riepilogo dei test su elementi e batterie al litio in conformità alla sottosezione 38.3 del Manuale di Test e Criteri</b>   |
|--|
| <p><i>In questo riepilogo dei test devono essere fornite le seguenti informazioni:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li><i>(a) Nome del fabbricante dell'elemento, della batteria o del prodotto, a seconda del caso;</i></li><li><i>(b) Informazioni di contatto del fabbricante dell'elemento, della batteria o del prodotto, che includa indirizzo, numero di telefono, indirizzo e-mail e sito Web per ulteriori informazioni;</i></li><li><i>(c) Nome del laboratorio di prova che includa indirizzo, numero di telefono, indirizzo e-mail e sito Web per ulteriori informazioni;</i></li><li><i>(d) un numero identificativo univoco del rapporto di prova;</i></li><li><i>(e) data del rapporto di prova;</i></li><li><i>(f) Descrizione dell'elemento o della batteria che includa, come minimo:</i><ul style="list-style-type: none"><li><i>(i) elemento o batteria al litio metallico o al litio ionico;</i></li><li><i>(ii) massa;</i></li><li><i>(iii) Energia nominale in Wattora o contenuto di litio;</i></li><li><i>(iv) Descrizione fisica dell'elemento/batteria; e</i></li><li><i>(v) Numero del modello.</i></li></ul></li><li><i>(g) Elenco di test condotti e risultati (per esempio, superato/non superato);</i></li><li><i>(h) Riferimento ai requisiti di prova della batteria assemblata, se applicabile (vale a dire 38.3.3 (f) e 38.3.3 (g));</i></li><li><i>(i) Riferimento all'edizione del Manuale dei Test e Criteri utilizzata e agli eventuali emendamenti;</i></li><li><i>(j) Firma con il nome e il titolo del firmatario, come attestazione della validità delle informazioni fornite.</i></li></ul> |

In caso di prototipi che devono essere trasportate per essere testate e in caso di piccoli lotti di produzione (IATA: fino a 100 pezzi/anno; ADR/IMDG: 100 pezzi senza limite temporale) può andare in deroga ai test ONU ed elementi e batterie possono essere trasportate anche in assenza di test sul prototipo.

Il trasporto di prototipi e piccoli lotti di produzione è disciplinato dalla disposizione speciale 310 cui lo speditore deve attenersi per operare nella modalità terrestre e marittima, mentre è necessaria una specifica autorizzazione dell'autorità competente nel caso di trasporto aereo.

Una volta superati i test ONU, elementi e batterie possono essere prodotte e trasportate secondo le regole previste nelle diverse modalità, seguendo le disposizioni speciali e le istruzioni di imballaggio (Figura 4).

## 2.5 Caratteristiche dei contenitori per batterie al Litio<sup>16</sup>

### 2.5.1 Protezione dal cortocircuito

Elementi e batterie devono essere protette in modo da prevenire cortocircuiti.

Questo include la protezione contro il contatto con materiali conduttivi all'interno dello stesso imballaggio che potrebbe causare un cortocircuito.

Esempi di protezione contro i cortocircuiti includono, ma non sono limitati a:

- protezione individuale dei terminali della batteria,
- imballaggio interno per evitare il contatto tra gli elementi e le batterie,
- batterie con morsetti ad incasso progettati per proteggere da cortocircuiti,
- l'utilizzo di un materiale di intasamento non conduttore e non combustibile per riempire lo spazio vuoto tra gli elementi o le batterie nell'imballaggio.

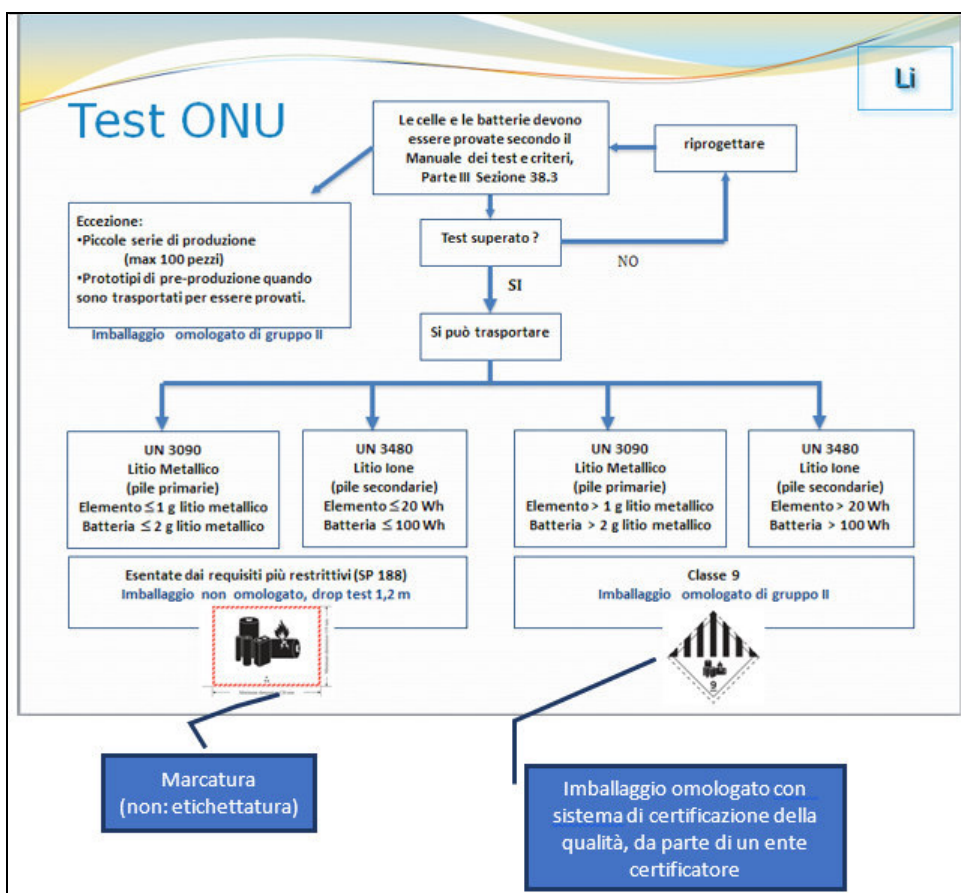


Figura 3. Schema decisionale per identificare le corrette condizioni di trasporto

### 2.5.2 Definizioni e tipi di imballaggi idonei

- **Imballaggio:** fino a 400 kg di peso netto

- **Grandi Imballaggi:** peso netto superiore a 400 kg e fino a 3 m<sup>3</sup>

<sup>16</sup> Per informazioni di carattere pratico, si può consultare la preview del "Vademecum Illustrato Imballaggi ADR 2019" all'indirizzo: <https://www.certifico.com/component/attachments/download/5443>

- *Imballaggio Omologato*: un imballaggio costruito secondo un programma di garanzia della qualità, che soddisfi l'autorità competente, conforme al prototipo che ha superato specifici test.

- *Fusto*: imballaggio cilindrico a fondo piatto o convesso, di metallo, cartone, materia plastica, legno compensato o altro materiale appropriato. Questa definizione comprende gli imballaggi aventi altre forme, per esempio gli imballaggi a sezione circolare con la parte superiore conica o gli imballaggi a forma di secchio. Non rientrano in questa definizione i "barili di legno" e le "taniche";

- *Tanica*: un imballaggio di metallo o di materia plastica, di sezione rettangolare o poligonale, munito di una o più aperture;

- *Cassa*: imballaggio a pareti intere, rettangolari o poligonali, di metallo, di legno naturale, di legno compensato, di legno ricostituito, di cartone, di materia plastica o di altro materiale appropriato. Possono essere praticate piccole aperture per la movimentazione o l'apertura, o per rispondere ai criteri di classificazione, a condizione di non compromettere l'integrità dell'imballaggio durante il trasporto;

- *Sovraimballaggio*: un contenitore utilizzato per contenere uno o più colli, consolidati in un'unica unità più facile da maneggiare e stivare durante il trasporto. Esempi di sovraimballaggio:

- un vassoio di carico come un pallet, su cui sono collocati o impilati diversi colli e fissati da una reggia di plastica, da un involucro di plastica estensibile o termoretraibile o da altri mezzi appropriati;

- un imballaggio protettivo esterno come una scatola o una gabbia;

### ***2.5.3 Caratteristiche generali degli imballaggi***

Le merci pericolose devono essere imballate in imballaggi di buona qualità.

Gli imballaggi devono essere abbastanza forti da resistere agli urti e ai carichi normalmente riscontrati durante il trasporto, compresi i trasbordi tra unità di trasporto e tra unità di trasporto e magazzini.

Gli imballaggi devono essere costruiti e chiusi in modo da impedire la perdita di contenuti in caso di trasporto che potrebbe essere causato in normali condizioni di trasporto, per vibrazione o da variazioni di temperatura, umidità o pressione.

Nessun residuo pericoloso deve aderire all'esterno degli imballaggi durante il trasporto.

Prima di essere riempito e presentato al trasporto, ogni imballaggio, inclusi IBC e grandi imballaggi, deve essere controllato ed essere esente da corrosione, contaminazione o altri difetti.

Qualsiasi imballaggio che presenti segni di indebolimento, con riferimento al prototipo approvato, non sarà più utilizzato o sarà ricondizionato in modo da poter superare le prove richieste per il prototipo.

#### **Imballaggi in plastica**

Per fusti e taniche di plastica, IBC in plastica rigida e IBC compositi con recipienti interni di plastica, salvo diversa approvazione da parte dell'autorità competente, il periodo di utilizzo consentito per il trasporto di sostanze pericolose è di cinque anni a decorrere dalla data di fabbricazione dei recipienti salvo il caso di prescrizione di un periodo di utilizzo più breve a causa della natura della sostanza da trasportare.



**Tabella 9. Tabella dei codici degli Imballaggi consentiti per batterie al litio**

| Genere                                     | Materiale                                  | Categoria                        | Codice |
|--|--|----------------------------------|--------|
| <b>Fusti</b>                               | A. Acciaio                                 | Con coperchio amovibile          | 1A2    |
|  | B. Alluminio                               | Con coperchio amovibile          | 1B2    |
|  | D. Legno Compensato                        | -                                | 1D     |
|  | G. Cartone                                 | -                                | 1G     |
|  | H. Plastica                                | Con coperchio amovibile          | 1H2    |
|  | N. Metallo, diverso da acciaio o alluminio | Con coperchio amovibile          | 1N2    |
| <b>Taniche</b>                             | A. Acciaio                                 | Con coperchio amovibile          | 3A2    |
|  | B. Alluminio                               | Con coperchio amovibile          | 3B2    |
|  | H. Plastica                                | Con coperchio amovibile          | 3H2    |
| <b>Casse</b>                               | A. Acciaio                                 | -                                | 4A     |
|  | B. Alluminio                               | -                                | 4B     |
|  | C. Legno Naturale                          | ordinario                        | 4C1    |
|  |  | con pannelli stagni alle polveri | 4C2    |
|  | D. Legno Compensato                        | -                                | 4D     |
|  | F. Legno Ricostruito                       | -                                | 4F     |
|  | G. Cartone                                 | -                                | 4G     |
|  | H. Plastica                                | espansa                          | 4H1    |
|  |  | rigida                           | 4H2    |
| N. Metallo, diverso da acciaio o alluminio | -  | 4N                               |        |

## 2.6 Disposizioni generali di trasporto

Per presentare correttamente al trasporto colli di merci pericolose, oltre le procedure di imballaggio, occorre conformarsi ai requisiti di marcatura ed etichettatura dei colli e predisporre il documento di trasporto. Le informazioni sono così rese evidenti agli operatori sia sul collo da trasportare che nei documenti che lo accompagnano.

### 2.6.1 Documento di trasporto

Ogni trasporto di merci pericolose deve essere accompagnato da un documento di trasporto. La informazioni necessarie sono le seguenti:

- Numero ONU
- Denominazione
- Modello di etichetta (classe)
- Gruppo di imballaggio
- Codice galleria
- Numero e descrizione dei colli
- Quantità totale di ogni tipo di merce pericolosa
- Nome e l'indirizzo dello speditore
- Nome e l'indirizzo del destinatario

E' obbligatorio mantenere la descrizione delle merci pericolose nella seguente sequenza:

Numero ONU/ Denominazione/ Modello di etichetta (classe) / Gruppo di imballaggio/ codice galleria

**Esempio:** UN 3480, BATTERIA AL LITIO IONICO, 9, (E). (il gruppo di imballaggio non è assegnato, quindi si omette nella sequenza)

Per il documento di trasporto ADR non è richiesto un modello standard, questo layout ne è un esempio:

| <b>DOCUMENTO DI TRASPORTO</b>   |                    |
|---|--------------------|
| <b>Mittente:</b>  | .....<br>.....     |
| <b>Destinatario:</b>  | .....<br>.....     |
| <b>Designazione merci:</b> UN 3480, BATTERIE AL LITIO IONICO, 9, (E). |                    |
| <b>N. Colli:</b> 2  |                    |
| <b>Descrizione colli:</b> Casse                                       |                    |
| <b>Quantità totale merci pericolose:</b> kg 350                       |                    |
| <b>Data</b> .....   | <b>Firma</b> ..... |

### 2.6.2 Marcatura

Il numero ONU delle merci pericolose contenute negli imballaggi, precedute dalle lettere UN, deve figurare in modo chiaro e indelebile su ogni collo. La dimensione minima dei caratteri utilizzati deve corrispondere ai valori qui sotto riepilogati (Figura 6):

| Altezza minima del carattere della marcatura |        |                                  |
|--|--------|----------------------------------|
| Marcatura standard                           | ↑<br>↓ | 12 mm                            |
| Imballaggi ≤ 30 kg<br>≤ 30 litri             | ↑<br>↓ | 6 mm                             |
| Imballaggi ≤ 5 kg<br>≤ 5 litri               | ↑<br>↓ | non definita,<br>purché visibile |

**Figura 5. Marcatura dei colli**

Tutti i marchi devono essere facilmente visibili e leggibili, devono poter essere esposti alle intemperie senza sostanziale degradazione.

Un esempio di marcatura di batterie al litio Ionico è il seguente:

UN 3480

I colli di batterie piccole esentate, preparati conformemente alla disposizione speciale 188, devono essere marcati come illustrato di seguito (Figura 7):

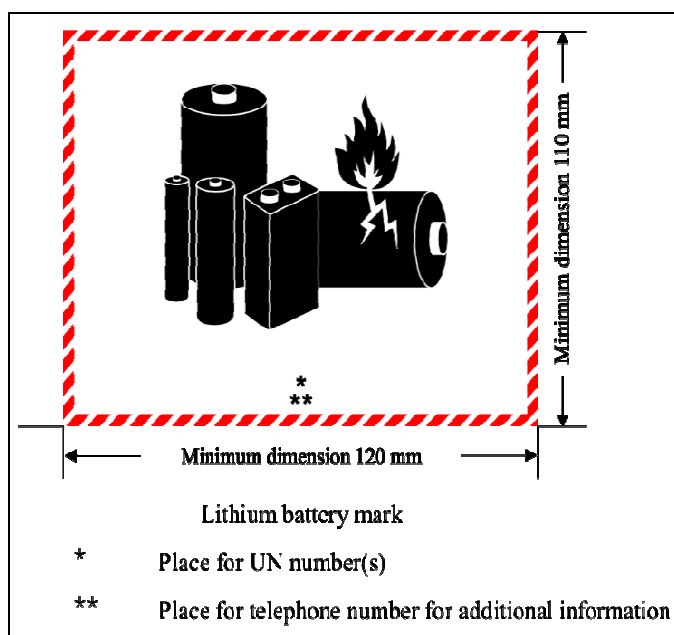
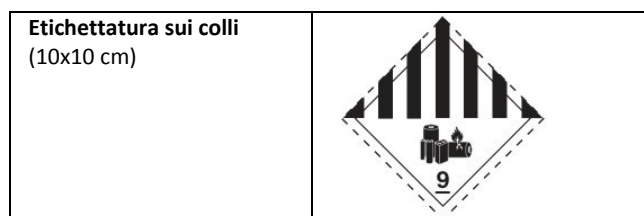


Figura 6. Marcatura per colli di batterie piccole esentate

### 2.6.3 Etichettatura

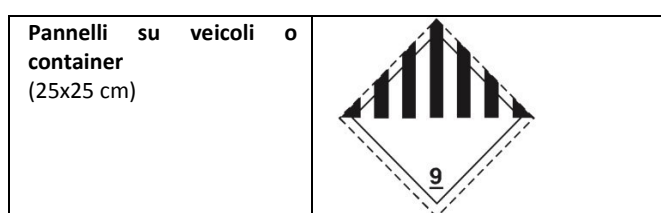
Le etichette previste per i colli di batterie al litio devono avere dimensione minima di 10x10 cm e deve avere la forma di un quadrato disposto ad un angolo di 45° (a forma di losanga), corrispondente al seguente modello:



Se le dimensioni del collo lo richiedono, le etichette possono avere dimensioni proporzionalmente ridotte, a condizione che i simboli e gli altri elementi dell'etichetta rimangano ben visibili.

Le etichette devono poter essere esposte alle intemperie senza sensibile degradazione.

NOTA: quando sono previsti pannelli su container o veicoli, questi non devono contenere i pittogrammi e devono avere la dimensione di 25x25 cm.



## 2.7 Esenzioni per pile e batterie al Litio

Sono stabilite dal Capitolo 1.1.3.6 dell'Allegato A all'ADR. Si tratta di una **esenzione per quantità totale** di merci pericolose **per unità di trasporto**.

E' una esenzione parziale, valida se la quantità di batterie non supera, su tutto il veicolo, il **limite di 333 kg**. Nel documento di trasporto deve essere presente anche il valore calcolato, ottenuto mediante moltiplicazione del peso delle batterie al litio per il fattore 3; se il valore calcolato (Tabella 10) è:

- ➔ > 1000, l'esenzione parziale non si può applicare, il trasporto è in piena applicazione dell'ADR, il trasportatore deve possedere il patentino ADR e il trasporto deve essere eseguito con veicolo idoneo
- ➔ ≤ 1000, si applica l'esenzione parziale, occorre sempre marcare ed etichettare i colli, ma non è necessario un autista con patentino ADR e veicolo idoneo. Occorre comunque effettuare la formazione di tutto il personale che a vario titolo contribuisce alla presentazione al trasporto delle batterie (logistica, magazzino, amministrazione...)

**Tabella 10**

| tipologia         | categoria trasporto | fattore moltiplicativo | valore calcolato |
|-------------------|---------------------|------------------------|------------------|
| Batterie al litio | 2                   | 3                      | kg x 3<br>≤ 1000 |

NOTA: questa esenzione parziale secondo capitolo 1.1.3.6 ADR vale solo su strada e si applica ai trasporti di batterie nuove (vedi § 2.8.3), protipi e piccoli lotti (vedi § 2.8.4), alle batterie destinate al riciclaggio (vedi § 2.9.1), alle batterie danneggiate o difettose (vedi § 2.9.2) ma **NON SI APPLICA** alle batterie danneggiate o difettose suscettibili di reagire pericolosamente durante il trasporto (vedi § 2.9.3): per queste ultime non sono previste esenzioni (Tabella 11).

**Tabella 11**

| Categoria di trasporto | Esplicitazione   | Quantità limite   |
|------------------------|--|-------------------|
| 0                      | Batterie danneggiate (critiche) che possono reagire pericolosamente durante il trasporto   | Nessuna esenzione |
| 2                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Batterie nuove,</li> <li>• batterie protipi e piccoli lotti,</li> <li>• batterie destinate al riciclaggio,</li> <li>• batterie danneggiate o difettose</li> </ul> | <b>333 kg</b>     |

### DOCUMENTO DI TRASPORTO

Mittente: .....

Destinatario: .....

Designazione merci: UN 3480, BATTERIE AL LITIO IONICO, 9, (E).

N. Colli: 2

Descrizione colli: Casse

Quantità totale merci pericolose: kg 40

**Valore calcolato 40 x 3 = 120**

Data..... Firma .....



## 2.8 Disposizioni speciali e istruzioni di imballaggio

Le disposizioni speciali (SP: *Special provisions*) e le istruzioni di imballaggio (PI: *packaging instruction*), contraddistinte da un numero a tre cifre, dipendono dalle specifiche tipologie e/o condizioni del bene trasportato.

Per quanto riguarda l'ADR 2019, questi dati sono raccolti nella seguente Tabella 12, nella quale si evidenziano i provvedimenti emendati (blu) e quelli introdotti per la prima volta (rosso), nella quale possiamo distinguere quattro tipologie di batterie: nuove, prototipi e piccoli lotti, batterie difettose e danneggiate, batterie giunte a fine vita e destinate ai processi di riciclo dei materiali, ovvero al loro trattamento come rifiuto.

Le condizioni di imballaggio e trasporto sono illustrate nei paragrafi che seguono, specifici delle tipologie sopra elencate.

Tabella 12

| blu= emendato<br>rosso= nuovo<br><br>P = fino a 400 kg (netti)<br>LP = da 400 kg a 3 m <sup>3</sup> |    | ADR 2019  |      |   |      |
|---|----|---|------|---|------|
|   |    | 3090  | 3480 | 3091  | 3481 |
|   |    | batterie  |      | batterie contenute IN e imballate CON apparecchiature |      |
| Batterie Nuove  | PI | P 903, LP 903   |      |   |      |
|   | SP | 188<br>230  |      | 188<br>230  |      |
|   |    | -   | 348  | -   | 348  |
|   |    | 387   |      | 360<br>387  |      |
| Prototipi e piccoli lotti<br>≤ 100 pz   | PI | P 910, LP905  |      |   |      |
|   | SP | 310   |      |   |      |
| Batterie Difettose e Danneggiate  | PI | P 908, LP 904<br>se suscettibili di reagire durante il trasporto<br>P911, LP906 |      |   |      |
|   | SP | 376   |      |   |      |
| Batterie per riciclaggio  | PI | P 909   |      |   |      |
|   | SP |   | 377  |   | 670  |
|   |    | 636   |      |   |      |

**Legenda**

P = packaging; LP = Low packaging; PI = Packaging instruction; SP = Special provision

### 2.8.1 Batterie Nuove - piccole esentate

Le batterie più piccole non sono sottoposte alle disposizioni dell'ADR se soddisfano le prescrizioni della disposizione speciale 188; sono elementi e batterie che presentano le seguenti caratteristiche:

- Elementi al litio metallico con contenuto di Li ≤ 1 g/elemento
- Batteria al litio metallico con contenuto di Li ≤ 2 g/batteria
- Elementi al litio ionico con energia nominale ≤ 20 Wh/elemento
- Batteria al litio ionico con energia nominale ≤ 100 Wh/batteria

Ogni elemento e batteria è conforme al tipo che ha superato prescrizioni di ogni prova del Manuale delle prove e dei criteri, Parte III, sottosezione 38.3;

Gli elementi e le batterie devono essere fabbricate conformemente ad un programma di gestione della qualità illustrato al precedente paragrafo 2.4.1.

I fabbricanti e i distributori di elementi o batterie devono mettere a disposizione il *Test Summary* come specificato nel Manuale dei Test e Criteri, parte III, sottosezione 38.3, paragrafo 38.3.5 (vedi § 2.4.3).

Gli elementi e le batterie devono essere sistemate in imballaggi interni che le contengono completamente. Gli elementi e le batterie devono essere protette in modo da evitare ogni cortocircuito. Ciò include la protezione dal corto-circuito per il contatto con materiale elettricamente conduttivo contenuto all'interno dell'imballaggio stesso. Gli imballaggi interni devono essere imballati in robusti imballaggi esterni non omologati.

Ogni collo deve resistere a una prova di caduta da un'altezza di 1,2 m, qualunque sia il suo orientamento, senza che si danneggino gli elementi o le batterie, senza che il suo contenuto sia spostato in modo tale che le batterie (o gli elementi) entrino in contatto, e senza che si abbia rilascio del contenuto;

La massa lorda dei colli non deve superare 30 kg.

Ogni collo deve essere contrassegnato con l'apposito marchio di batteria al litio (Figura 7).

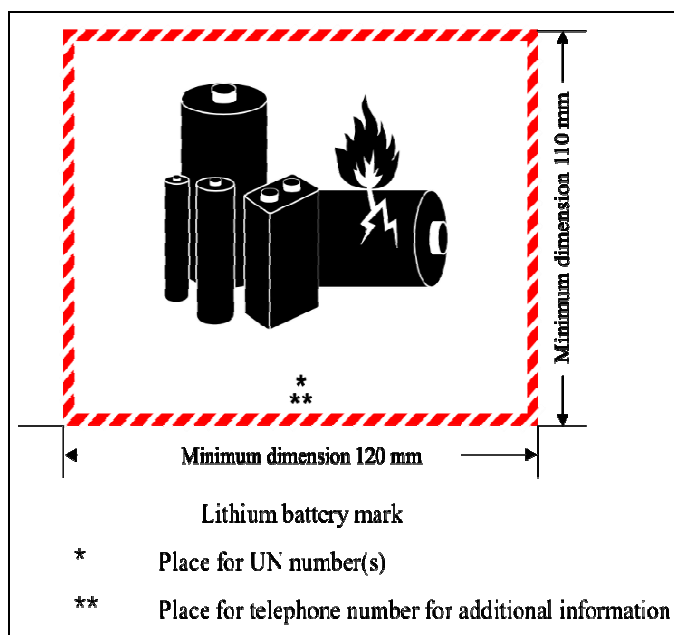


Figura 7

### 2.8.2 Elementi e batterie installate in apparecchiature

Quando si trasportano apparecchiature contenenti elementi e batterie al litio, (per "apparecchiatura" intende un apparato per il quale gli elementi o le batterie al litio forniscono energia elettrica per il suo funzionamento), queste devono essere protette da danneggiamenti e corto-circuiti, inoltre l'apparecchiatura deve essere provvista di mezzi efficaci per impedire il loro funzionamento accidentale.

Questa prescrizione non si applica alle apparecchiature tenute intenzionalmente attive durante il trasporto (quali p. es. RFID-trasmettitori per l'identificazione tramite radiofrequenza, orologi, sensori, ecc.) purché non siano suscettibili di generare un'emanazione pericolosa di calore.

Quando le batterie sono trasportate installate in un'apparecchiatura, quest'ultima deve essere sistemata in robusti imballaggi esterni che possono essere anche non omologati, costruiti però con materiali appropriati e con una resistenza ed una progettazione adatti alla capacità dell'imballaggio e all'uso previsto, salvo il caso che una protezione equivalente della batteria sia assicurata dall'apparecchiatura nel quale è contenuta;

Il marchio di Figura 7 **non si applica** a:

- colli contenenti solo batterie a bottone installate in un'apparecchiatura (comprese le pile a bottone installate in schede elettroniche);
- colli contenenti apparecchiature che hanno installate non più di quattro elementi o due batterie, per un massimo di due colli a spedizione.

### 2.8.3 Batterie Nuove

Per le batterie nuove e per quelle usate che sono ancora conformi al prototipo testato secondo il Manuale dei Test e Criteri parte III, sottosezione 38.3, si applica l'istruzione di imballaggio P903, per le batterie più grandi è possibile anche usare l'istruzione di imballaggio LP903.

#### P903

Essa si applica ai numeri ONU 3090, 3091, 3480 e 3481.

Sono stati identificati quattro situazioni di trasporto e tipologie di batterie

1. Elementi e batterie pienamente regolamentate
2. Elementi o batterie con una massa lorda di 12 kg o superiore, con un involucro esterno robusto e resistente agli urti
3. Elementi o batterie imballate con attrezzature
4. Elementi o batterie contenute in un'apparecchiatura




#### 1) Per elementi e batterie pienamente regolamentate,

Necessitano di imballaggi omologati di gruppo d'imballaggio II (vedi § 2.5.3):

- Fusti (1A2, 1B2, 1N2, 1H2, 1D, 1G);
- Casse (4A, 4B, 4N, 4C1, 4C2, 4D, 4F, 4G, 4H1, 4H2);
- Taniche (3A2, 3B2, 3H2)

Elementi e batterie devono essere protette contro dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).

| Istruzioni di imballaggio            | P903 (1)<br>Elementi e batterie pienamente regolamentate |
|--------------------------------------|--|
| Classe                               | 9  |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali | UN 3090 / 230, 387<br>UN 3480 / 230, 348, 387            |

|  |   |
|--|---|
| Imballaggio                                      |    |
| Gruppo di imballaggio                            | II  |
| Codice galleria                                  | (E)   |
| Categoria di trasporto                           | 2   |
| Marchatura                                       | <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3090</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3480</span> |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |   |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |   |



**2) Per elementi o batterie con una massa lorda di 12 kg o superiore<sup>17</sup>, con un involucro esterno robusto e resistente agli urti, come pure gli insiemi di tali batterie**

possono essere sistemate:

- a) in robusti imballaggi esterni, in involucri di protezione (per esempio in gabbie completamente chiuse o in gabbie di legno) oppure in
- b) pallet o altri dispositivi di movimentazione.
- c) Gli elementi o le batterie devono essere fissate in modo da prevenire il movimento accidentale e i morsetti non devono sopportare il peso degli altri elementi ad essi sovrapposti.
- d) Elementi e batterie devono essere protette contro dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).




|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Istruzioni di imballaggio            | P903 (2)<br>Elementi o batterie con una massa lorda di 12 kg o superiore,<br>con un involucro esterno robusto e resistente agli urti    |
| Classe                               | 9   |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali | UN 3090 / 230, 387<br>UN 3480 / 230, 348, 387   |
| Imballaggio                          | robusti imballaggi esterni<br>gabbie completamente chiuse o in gabbie di legno,<br>pallet o altri dispositivi di movimentazione         |
| Gruppo di imballaggio                | n.a.  |
| Codice galleria                      | (E)   |
| Categoria di trasporto               | 2   |
| Marchatura                           | <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3090</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3480</span> |

<sup>17</sup> Mountain bike e bici elettriche montano batterie più piccole quindi non hanno questo beneficio

|  |  |
|--|--|
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |  |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |  |

**3) Per elementi o batterie imballate con attrezzature:**

- Imballaggi conformi ai requisiti di cui al paragrafo (1) della presente istruzione d'imballaggio, successivamente poste con l'apparecchiatura in un imballaggio esterno, o
- Imballaggi che racchiudono completamente gli elementi o le batterie, quindi posto con le apparecchiatura in un imballaggio conforme ai requisiti di cui al paragrafo (1) della presente istruzione d'imballaggio.
- L'apparecchio deve essere sistemato in modo tale da impedire gli spostamenti all'interno della confezione esterna.
- Elementi e batterie devono essere protette contro dai cortocircuiti (vedi § 1.5.1).



|  |   |
|--|---|
| Istruzioni di imballaggio                        | P903 (3)<br>Elementi o batterie imballate con attrezzature  |
| Classe   | 9   |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali             | UN 3091 / 230, 360, 387<br>UN 3481 / 230, 348, 360, 387   |
| Imballaggio                                      |    |
| Gruppo di imballaggio                            | II  |
| Codice galleria                                  | (E)   |
| Categoria di trasporto                           | 2   |
| Marcatura  | <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3091</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3481</span> |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |   |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |   |

**4) Per elementi o batterie contenute in un'apparecchiatura:**

- Robusti imballaggi esterni realizzati in materiale idoneo, di adeguata robustezza e design in relazione alla capacità di confezionamento e al suo uso previsto. Essi devono essere

costruiti in modo da impedire il funzionamento accidentale durante il trasporto, non devono essere omologati.

- b) Apparecchiature di grandi dimensioni possono essere presentate al trasporto non imballate o su pallet quando gli elementi o le batterie godono di una protezione equivalente da parte delle apparecchiature nelle quali sono contenute.
- c) Dispositivi come identificazione a radiofrequenza (RFID), orologi e registratori di temperatura, che non sono in grado di generare un pericoloso sviluppo di calore, possono essere trasportati intenzionalmente attivi in robusti imballaggi esterni.
- d) Elementi e batterie devono essere protette contro dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).


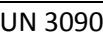
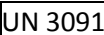
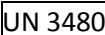
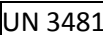


|   |  |
|---|--|
| Istruzioni di imballaggio                     | P903 (4)<br>Elementi o batterie contenute in un'apparecchiatura  |
| Classe  | 9  |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali          | UN 3091 / 230, 360, 387<br>UN 3481 / 230, 348, 360, 387  |
| Imballaggio                                   | Robusti imballaggi esterni<br>Apparecchiature di grandi dimensioni anche non imballate o su pallet (purché le batterie siano protette al loro interno) |
| Gruppo di imballaggio                         | n.a.   |
| Codice galleria                               | (E)  |
| Categoria di trasporto                        | 2  |
| Marcatura                                     | <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3091</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3481</span>                |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)             |    |
| Pannello su veicoli o container<br>(25x25 cm) |    |

### LP 903

I seguenti grandi imballaggi (LP) omologati sono autorizzati per una singola batteria e per una singola batteria apparecchiatura contenente batterie:

- Acciaio (50A)
- Alluminio (50B)
- Metalli diversi da acciaio o alluminio (50N)
- Plastica rigida (50H)
- Legno naturale (50C)
- Legno Compensato (50D)
- Legno ricostruito (50F)
- Cartone rigido (50 G)

- I Grandi imballaggi devono soddisfare il livello di prova del gruppo d'imballaggio II
- La batteria o l'apparecchiatura devono essere imballate in modo che siano protette dai danni che potrebbero essere causati dal suo movimento o dal suo posizionamento all'interno del grande imballaggio
- Le batterie devono essere protette contro dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).

|  |  |
|--|--|
| Istruzioni di imballaggio                        | LP 903<br>Batterie pienamente regolamentate e apparecchiature che le contengono  |
| Classe   | 9  |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali             | UN 3090 / 230, 387<br>UN 3091 / 230, 360, 387<br>UN 3480 / 230, 348, 387<br>UN 3481 / 230, 348, 360, 387   |
| Imballaggio                                      |   |
| Gruppo di imballaggio                            | II   |
| Codice galleria                                  | (E)  |
| Categoria di trasporto                           | 2  |
| Marcatura  |     |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |    |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |    |

#### 2.8.4 Prototipi e piccole serie (massimo 100 pz)

Quando vengono trasportati piccoli lotti di produzione (max 100 pezzi) e i prototipi sono trasportati per essere provati, devono essere se imballati in conformità con l'istruzione d'imballaggio P910 o LP905

Il documento di trasporto deve contenere a seguente frase: "Trasporto secondo la disposizione speciale 310"

#### P910

Sono stati identificati tre situazioni di trasporto e tipologie di batterie:


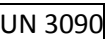
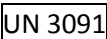
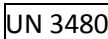
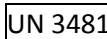


- 1) Elementi e batterie da sole o imballate con apparecchiature
- 2) Elementi e batterie contenute in apparecchiature
- 3) Batterie o apparecchiature non imballate

### 1) Elementi e batterie da sole o imballate con apparecchiature

Necessitano di imballaggi omologati di gruppo d'imballaggio II (vedi § 1.5.3):

Fusti (1A2, 1B2, 1N2, 1H2, 1D, 1G);  
 Casse (4A, 4B, 4N, 4C1, 4C2, 4D, 4F, 4G, 4H1, 4H2);  
 Taniche (3A2, 3B2, 3H2)

- Elementi e batterie, comprese le apparecchiature, devono essere imballate singolarmente in imballaggi interni e sistemate in imballaggi esterni omologati PG II.
- Gli Imballaggi interni devono essere circondati da sufficiente materiale non combustibile ed elettricamente non conduttivo;
- Devono essere adottate le appropriate misure per ridurre al minimo gli effetti di vibrazioni ed urti, per impedire il movimento degli elementi o delle batterie all'interno del collo che possano provocare danni e renderne pericoloso il trasporto. A tale proposito può essere utilizzato anche del materiale di imbottitura non combustibile ed elettricamente non conduttivo.
- La non combustibilità deve essere valutata in base ad una norma riconosciuta nel paese in cui l'imballaggio è progettato o fabbricato.
- Un elemento o una batteria con una massa netta superiore a 30 kg deve essere trasportata singolarmente in un imballaggio esterno.
- Gli elementi e le batterie devono essere protette dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).

|  |  |
|--|--|
| Istruzioni di imballaggio                        | P910 (1)<br>Elementi e batterie da sole o imballate con apparecchiature  |
| Classe   | 9  |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali             | UN 3090 , UN 3091, UN 3480, UN 3481<br>310   |
| Imballaggio                                      |   |
| Gruppo di imballaggio                            | II   |
| Codice galleria                                  | (E)  |
| Categoria di trasporto                           | 2  |
| Marchatura                                       |     |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |    |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |    |


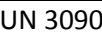
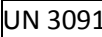
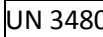
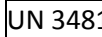




## 2) Elementi e batterie contenute in apparecchiature

Necessitano di imballaggi omologati di gruppo d'imballaggio II (vedi § 2.5.3):

Fusti (1A2, 1B2, 1N2, 1H2, 1D, 1G);  
 Casse (4A, 4B, 4N, 4C1, 4C2, 4D, 4F, 4G, 4H1, 4H2);  
 Taniche (3A2, 3B2, 3H2)

- L'apparecchiatura deve essere costruita o imballata in modo tale da prevenire funzionamenti accidentali durante il trasporto;
- Devono essere adottate le appropriate misure per ridurre al minimo gli effetti di vibrazioni ed urti, per impedire il movimento dell'apparecchiatura all'interno del collo che possano provocare danni e renderne pericoloso il trasporto. A tale proposito può essere utilizzato anche del materiale di imbottitura non combustibile ed elettricamente non conduttivo.
- La non combustibilità deve essere valutata in base ad una norma riconosciuta nel paese in cui l'imballaggio è progettato o fabbricato.
- Gli elementi e le batterie devono essere protette dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).

|  |  |
|--|--|
| Istruzioni di imballaggio                        | P910 (2)<br>Elementi e batterie contenute in apparecchiature   |
| Classe   | 9  |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali             | UN 3090 , UN 3091, UN 3480, UN 3481<br>310   |
| Imballaggio                                      |   |
| Gruppo di imballaggio                            | II   |
| Codice galleria                                  | (E)  |
| Categoria di trasporto                           | 2  |
| Marcatura  |     |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |    |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |    |

## 3) Batterie o apparecchiature non imballate

L'apparecchiatura o le batterie possono essere trasportate non imballate alle condizioni specificate dall'autorità competente<sup>18</sup> di una Parte contraente l'ADR, che può anche riconoscere un'approvazione rilasciata dall'autorità competente di un paese che non è Parte contraente l'ADR, a condizione che tale approvazione sia stata rilasciata in conformità con le procedure applicabili secondo il RID, l'ADR, l'ADN, il Codice IMDG o le Istruzioni Tecniche dell'ICAO.

<sup>18</sup> l'autorità competente italiana è il Ministero Dei Trasporti

- Gli elementi e le batterie devono essere protette dai cortocircuiti (vedi § 1.5.1).

#### LP 905


Nei grandi imballaggi sono state identificate due situazioni di trasporto e tipologie di batterie:


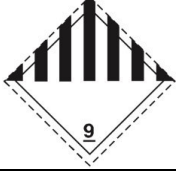
1. una singola batteria
2. una singola apparecchiatura contenente elementi o batterie

#### 1. Una singola batteria in un grande imballaggio

I seguenti grandi imballaggi omologati sono autorizzati per una singola batteria:

- Acciaio (50A)
  - Alluminio (50B)
  - Metalli diversi da acciaio o alluminio (50N)
  - Plastica rigida (50H)
  - Legno naturale (50C)
  - Legno compensato (50D)
  - Legno ricostruito (50F)
  - Cartone rigido (50 G)
- I Grandi imballaggi devono soddisfare il livello di prova del gruppo d'imballaggio II
  - La batteria deve essere imballata in un imballaggio interni e collocata all'interno dell'imballaggio esterno.
  - L'imballaggio interno deve essere avvolto da sufficiente materiale termicamente isolante, non combustibile ed elettricamente non conduttivo, per proteggere da un pericoloso sviluppo di calore.
  - Devono essere adottate misure adeguate per minimizzare gli effetti delle vibrazioni e degli urti, impedire il movimento della batteria all'interno del collo che può causare danni e rendere pericoloso il trasporto.
  - Quando si utilizza materiale di imbottitura per soddisfare questa disposizione, esso deve essere non combustibile ed elettricamente non conduttivo.
  - La non combustibilità deve essere valutata in base a una norma riconosciuta nel paese in cui l'imballaggio è progettato o fabbricato.
  - Le batterie devono essere protette contro dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).


|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Istruzioni di imballaggio            | LP 905<br>Batterie prototipo e piccole serie di produzione  |
| Classe                               | 9   |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali | UN 3090 , UN 3480<br>310  |
| Imballaggio                          |    |
| Gruppo di imballaggio                | II  |
| Codice galleria                      | (E)   |
| Categoria di trasporto               | 2   |
| Marchatura                           | <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3090</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3480</span> |



|   |  |
|---|--|
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)             |  |
| Pannello su veicoli o container<br>(25x25 cm) |  |

## 2. una singola apparecchiatura contenente elementi o batterie

I seguenti grandi imballaggi omologati sono autorizzati per una singola apparecchiatura:

- Acciaio (50A)
  - Alluminio (50B)
  - Metalli diversi da acciaio o alluminio (50N)
  - Plastica rigida (50H)
  - Legno naturale (50C)
  - Legno compensato (50D)
  - Legno ricostruito (50F)
  - Cartone rigido (50 G)
- I Grandi imballaggi devono soddisfare il livello di prova del gruppo d'imballaggio II
  - L'apparecchiatura deve essere costruita o imballata in modo tale da evitare il funzionamento accidentale durante il trasporto
  - Devono essere adottate misure adeguate per minimizzare gli effetti delle vibrazioni e degli urti, impedire il movimento della batteria all'interno del collo che può causare danni e rendere pericoloso il trasporto.
  - Quando si utilizza materiale di imbottitura per soddisfare questa disposizione, esso deve essere non combustibile ed elettricamente non conduttivo.
  - La non combustibilità deve essere valutata in base a una norma riconosciuta nel paese in cui l'imballaggio è progettato o fabbricato.
  - Le batterie devono essere protette contro dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Istruzioni di imballaggio            | LP 905<br>Apparecchiature contenenti elementi o batterie  |
| Classe                               | 9   |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali | UN 3091, UN 3481<br>310   |
| Imballaggio                          |    |
| Gruppo di imballaggio                | II  |
| Codice galleria                      | (E)   |
| Categoria di trasporto               | 2   |
| Marcatura                            | <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3091</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3481</span> |

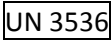
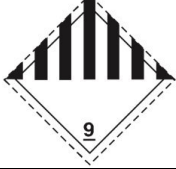

|  |  |
|--|--|
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |  |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |  |

### 2.8.5 Batterie Ibride al Litio

Sono batterie che contengono sia elementi primari al litio metallico che elementi ricaricabili al litio ionico nello stesso contenitore esterno, che non sono progettate per essere caricate dall'esterno; gli elementi ricaricabili al litio ionico possono essere caricati solo dagli elementi primari al litio metallico ed è impedita la sovraccarica degli elementi ricaricabili.

### 2.8.6 Batterie al litio installate in unità di trasporto merci

Questa rubrica si applica solo alle unità di trasporto merci in cui sono installate batterie al litio ionico o batterie al litio metallico e che sono progettate esclusivamente per fornire alimentazione esterna all'unità.

|  |  |
|--|--|
| Istruzioni di imballaggio                        | -  |
| Classe   | 9  |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali             | UN 3536<br>389   |
| Imballaggio                                      | n.a.   |
| Gruppo di imballaggio                            | n.a.   |
| Codice galleria                                  | (E)  |
| Categoria di trasporto                           | -  |
| Marcatura  |   |
| Pannello su container<br>(25x25 cm)              |  |
| Pannello arancioni su<br>container<br>(30x40 cm) |  |

- Le batterie al litio devono soddisfare le disposizioni del 2.2.9.1.7 da (a) a (g) dell'Allegato A dell'ADR, e contenere i sistemi necessari per impedire la sovraccarica o la sovrascarica tra le batterie.

- Le batterie devono essere saldamente fissate alla struttura interna dell'unità di trasporto merci (ad esempio, mediante posizionamento in scaffali, armadietti, ecc.) in modo tale da evitare:
  - cortocircuiti,
  - funzionamento accidentale e
  - movimenti significativi relativi all'unità di trasporto merci a seguito di urti, spostamenti del carico e vibrazioni normalmente connessi al trasporto.
- Le merci pericolose necessarie per il funzionamento sicuro adeguatamente fissate o installate nell'unità non sono sottoposte ad altre disposizioni dell'ADR.
- Le merci pericolose non necessarie per il funzionamento non devono essere trasportate all'interno dell'unità di trasporto merci.
- Le batterie all'interno dell'unità di trasporto merci non sono soggette alle prescrizioni di marcatura o di etichettatura
- L'unità di trasporto merci deve riportare:
  - i pannelli arancioni conformemente al 5.3.2.2 dell'ADR e
  - le placche conformemente al 5.3.1.1 dell'ADR su due lati opposti



## 2.9 Batterie classificabili come rifiuto e rifiuti di apparecchiature elettroniche (RAEE) che le contengono

Per quanto riguarda l'attribuzione del Numero ONU, si applicano gli stessi numeri delle batterie integre (vedi § 2.2).

### 2.9.1 Batterie classificabili come rifiuto

Elementi e batterie litio ione e litio metallico e apparecchiature contenenti tali elementi e batterie trasportate per smaltimento o riciclaggio, imballate o meno con altre batterie non al litio, possono essere trasportate se conformi all'istruzione di imballaggio P909.

In quanto rifiuti, questi elementi e batterie **non** sono soggette alle prescrizioni della sezione 2.2.9.1.7 da (a) a (g) dell'Allegato A all'ADR.

I colli devono essere marcati "BATTERIE AL LITIO PER SMALTIMENTO" o "BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO"

Sono stati identificati quattro situazioni di trasporto e tipologie di batterie

1. Elementi e batterie pienamente regolamentate

2. Elementi e batterie piccole esentate
  - (Li-metallico <1 g/elemento e Li-metallico < 2 g/batteria)
  - (Li-ione <20 Wh/elemento e Li-ione < 100 Wh/batteria)
3. Elementi o batterie contenute in attrezzature (RAEE)
4. Elementi o batterie con una massa lorda di 12 kg o superiore, con un involucro esterno robusto e resistente agli urti



## P909

### 1. Elementi e batterie pienamente regolamentate

Devono essere contenute nelle seguenti imballaggi omologati:

Fusti (1A2, 1B2, 1N2, 1H2, 1D, 1G);  
 Casse (4A, 4B, 4N, 4C1, 4C2, 4D, 4F, 4G, 4H2);  
 Taniche (3A2, 3B2, 3H2).

- Gli imballaggi metallici devono essere dotati di un materiale di rivestimento elettricamente non conduttivo (ad esempio, plastica) di adeguata resistenza per l'uso previsto.
- Gli elementi e le batterie devono essere assicurate all'interno dell'imballaggio esterno per evitare un eccessivo movimento durante il trasporto (es. utilizzando materiale di imbottitura elettricamente non conduttivo e non combustibile o un sacchetto di plastica chiuso ermeticamente).
- Gli elementi e le batterie devono essere protette dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Istruzioni di imballaggio            | P909 (1)<br>Elementi e batterie pienamente regolamentate   |
| Classe                               | 9  |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali | UN 3090 , UN 3480<br>377   |
| Imballaggio                          |   |
| Gruppo di imballaggio                | II   |
| Codice galleria                      | (E)  |
| Categoria di trasporto               | 2  |
| Marchatura                           | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3090</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3480</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; margin-top: 5px;">BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO</div> |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)    |    |



|   |  |
|---|--|
| Pannello su veicoli o container<br>(25x25 cm) |  |
|---|--|

**2. Elementi e batterie piccole esentate**, sono le seguenti:

- elementi al litio ionico, Wh ≤ 20
- batterie al litio ionico, Wh ≤ 100
- elementi al litio metallico, Li ≤ 1 g
- batterie al litio metallico, Li ≤ 2 g



Possono essere imballati nelle seguenti modalità:

- a. In robusti imballaggi esterni, non omologati, fino a 30 kg di peso lordo
- b. Gli imballaggi metallici devono essere dotati di un materiale di rivestimento elettricamente non conduttivo (ad esempio, plastica) di adeguata resistenza per l'uso previsto
- c. Gli elementi e le batterie devono essere assicurate all'interno dell'imballaggio esterno per evitare un eccessivo movimento durante il trasporto (es. utilizzando materiale di imbottitura elettricamente non conduttivo e non combustibile o un sacchetto di plastica chiuso ermeticamente).
- d. Gli elementi e le batterie devono essere protette dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).

|   |  |
|---|--|
| Istruzioni di imballaggio                     | P909 (2)<br>Elementi e batterie piccole esentate   |
| Classe  | 9  |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali          | UN 3090 , UN 3480<br>377   |
| Imballaggio                                   | imballaggi esterni robusti fino a 30 kg di massa lorda   |
| Gruppo di imballaggio                         | n.a.   |
| Codice galleria                               | (E)  |
| Categoria di trasporto                        | 2  |
| Marcatura                                     | <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3090</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3480</span> </div> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;">BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO</div> |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)             |    |
| Pannello su veicoli o container<br>(25x25 cm) |    |

### 3. Elementi e batterie contenute in apparecchiature (RAEE)



- Possono essere usati imballaggi esterni non omologati, realizzati in materiale idoneo, di adeguata robustezza e design in relazione alla capacità di confezionamento e al suo uso previsto.
- Le apparecchiature possono anche essere presentate al trasporto non imballate o su pallet quando gli elementi o le batterie godono di una protezione equivalente da parte delle apparecchiature nelle quali sono contenute.
- Gli elementi e le batterie devono essere protette dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).

|  |  |
|--|--|
| Istruzioni di imballaggio                        | P909 (3)<br>Elementi e batterie contenute in apparecchiature                         |
| Classe   | 9  |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali             | UN 3091 , UN 3481<br>377   |
| Imballaggio                                      | imballaggi esterni robusti non omologati<br>anche non imballate o su palette         |
| Gruppo di imballaggio                            | n.a  |
| Codice galleria                                  | (E)  |
| Categoria di trasporto                           | 2  |
| Marchatura                                       | UN 3091 UN 3481<br>BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO                                 |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |  |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |  |

### 4. Elementi e batterie di peso lordo > 12 kg con involucro esterno robusto e resistente agli urti:

- Possono essere utilizzati imballaggi esterni non omologati , realizzati in materiale idoneo, di adeguata robustezza e design in relazione alla capacità di confezionamento e al suo uso previsto.
- Gli elementi e le batterie devono essere assicurate all'interno dell'imballaggio esterno per evitare un eccessivo movimento durante il trasporto (es. utilizzando materiale di imbottitura elettricamente non conduttivo e non combustibile o un sacchetto di plastica chiuso ermeticamente).
- Gli elementi e le batterie devono essere protette dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).



|   |  |
|---|--|
| Istruzioni di imballaggio                     | P909 (4)<br>Elementi e batterie di peso lordo > 12 kg con involucro esterno robusto e resistente agli urti |
| Classe  | 9  |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali          | UN 3090 , UN 3480<br>377   |
| Imballaggio                                   | imballaggi esterni non omologati , realizzati in materiale idoneo,   |
| Gruppo di imballaggio                         | n.a.   |
| Codice galleria                               | (E)  |
| Categoria di trasporto                        | 2  |
| Marchatura                                    | UN 3090 UN 3480<br>BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO   |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)             |                          |
| Pannello su veicoli o container<br>(25x25 cm) |                         |

### 2.9.2 Batterie danneggiate o difettose

Le batterie identificate come danneggiate o difettose<sup>19</sup>, devono essere trasportate secondo la disposizione speciale 376 e imballate secondo la P908 o LP904 a seconda dei casi.

#### Disposizione speciale 376

Elementi o batterie litio ione e elementi o batterie litio metallico identificate come danneggiate o difettose, tali da non essere conformi al tipo testato secondo le disposizioni applicabili del Manuale delle prove e dei criteri, devono rispettare i requisiti della presente disposizione speciale.

I criteri di identificazione di questa tipologia di elementi e batterie difettose e danneggiate, possono includere, ma non essere limitati a:

- Elementi o batterie identificati come difettosi per ragioni di sicurezza;
- Elementi o batterie che hanno perso o sfiatato;
- Elementi o batterie che non possono essere diagnosticate prima del trasporto; o
- Elementi o batterie che hanno subito danni fisici o meccanici.

Nel valutare una batteria come danneggiato o difettoso, il tipo di batteria e il suo precedente utilizzo e l'abuso devono essere prese in considerazione.

<sup>19</sup> Possono essere destinate sia al riciclaggio che alla restituzione al mittente.

I colli devono essere marcati, a seconda dei casi, con le seguenti diciture:

“BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE” o

“BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE”

Il documento di trasporto deve contenere la seguente dicitura: “Trasporto secondo la disposizione speciale 376”.

#### P908

Questa istruzione si applica a elementi e batterie al litio ionico e al litio metallico danneggiate o difettose, comprese quelle contenute in apparecchiature dei numeri UN 3090, 3091, 3480 and 3481.



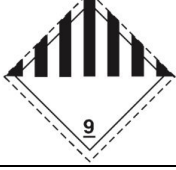
I seguenti imballaggi sono autorizzati di gruppo di imballaggio II:

Fusti (1A2, 1B2, 1N2, 1H2, 1D, 1G);

Casse (4A, 4B, 4N, 4C1, 4C2, 4D, 4F, 4G, 4H1, 4H2);

Taniche(3A2, 3B2, 3H2).

- Ogni elemento o batteria o apparecchiatura contenente tali elementi o batterie deve essere imballata singolarmente in imballaggi interni e collocata all'interno di un imballaggio esterno. L'imballaggio interno o quello esterno devono essere stagni per impedire il rilascio potenziale di elettrolita.
- Ogni imballaggio interno deve essere circondato da materiale isolante termico, non combustibile e non conduttore, sufficiente a proteggere contro un'evoluzione pericolosa di calore.
- Imballaggi sigillati devono essere provvisti di uno sfiato, secondo il caso.
- Devono essere adottate misure adeguate per minimizzare gli effetti delle vibrazioni e degli urti, impedire il movimento di elementi o batterie all'interno del collo che possano provocare ulteriori danni e rendere pericoloso il trasporto. Anche materiale di imbottitura non combustibile ed elettricamente non conduttivo può essere utilizzato per soddisfare questo requisito.
- La non combustibilità deve essere valutata in base a una norma riconosciuta nel paese in cui l'imballaggio è progettato o fabbricato.
- Per elementi o batterie che perdono, nell'imballaggio interno o in quello esterno, deve essere aggiunto sufficiente materiale assorbente per assorbire il potenziale rilascio di elettrolita.
- Un elemento o una batteria con massa netta di più di 30 kg, deve essere limitata a un elemento o batteria per imballaggio esterno
- Elementi e batterie devono essere protetti dal corto circuito (vedi § 2.5.1).

|  |   |         |         |         |         |
|--|---|---------|---------|---------|---------|
| Istruzioni di imballaggio                        | P908<br>Elementi e batterie difettose o danneggiate   |         |         |         |         |
| Classe   | 9   |         |         |         |         |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali             | UN 3090 , UN 3091, UN 3480, UN 3481<br>376  |         |         |         |         |
| Imballaggio                                      |    |         |         |         |         |
| Gruppo di imballaggio                            | II  |         |         |         |         |
| Codice galleria                                  | (E)   |         |         |         |         |
| Categoria di trasporto                           | 2   |         |         |         |         |
| Marcatura  | <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>UN 3090</td> <td>UN 3091</td> <td>UN 3480</td> <td>UN 3481</td> </tr> </table><br><div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; margin: 5px auto; width: fit-content;">BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE</div> <p style="text-align: center;">oppure</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; margin: 5px auto; width: fit-content;">BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE</div> | UN 3090 | UN 3091 | UN 3480 | UN 3481 |
| UN 3090  | UN 3091   | UN 3480 | UN 3481 |         |         |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |   |         |         |         |         |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |   |         |         |         |         |



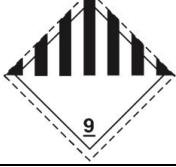
#### LP 904

I seguenti grandi imballaggi omologati sono autorizzati per una singola batteria danneggiata o difettosa e per una singola batteria danneggiata o difettosa contenuta in un'apparecchiatura.

Per batterie e apparecchiature contenenti batterie:

- Acciaio (50A)
  - Alluminio (50B)
  - Metalli diversi da acciaio o alluminio (50N)
  - Plastica rigida (50H)
  - Legno Compensato (50D)
- I grandi imballaggi devono soddisfare il livello di prova del gruppo d'imballaggio II
  - La batteria danneggiata o difettosa o l'apparecchiatura contenente tali elementi o batterie deve essere imballata individualmente in un imballaggio interni e collocata all'interno di un imballaggio esterno. L'imballaggio interno o quello esterno devono essere a tenuta per impedire il rilascio potenziale di elettrolita.
  - L'imballaggio interno deve essere avvolto da materiale termicamente isolante, non combustibile ed elettricamente non conduttivo, sufficiente ad evitare un pericoloso sviluppo di calore.
  - Imballaggi sigillati devono essere muniti di uno sfiato, secondo il caso.

- Devono essere adottate misure adeguate per minimizzare gli effetti delle vibrazioni e degli urti, impedire il movimento delle batterie o dell'apparecchiatura all'interno del collo che possano portare a ulteriori danni e rendere pericoloso durante il trasporto. Anche materiale di imbottitura non combustibile ed elettricamente non conduttivo può essere utilizzato per soddisfare questo requisito.
- La non combustibilità deve essere valutato in base a una norma riconosciuta nel paese in cui l'imballaggio è progettato o fabbricato.
- Per elementi o batterie che perdono, nell'imballaggio interno o in quello esterno, deve essere aggiunto materiale assorbente inerte sufficiente ad assorbire qualsiasi rilascio di elettrolita.
- Elementi e batterie devono essere protetti dal corto circuito (vedi § 2.5.1).

|  |   |
|--|---|
| Istruzioni di imballaggio                        | LP 906<br>Elementi e batterie difettose o danneggiate   |
| Classe   | 9   |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali             | UN 3090 , UN 3091, UN 3480, UN 3481<br>376  |
| Imballaggio                                      |    |
| Gruppo di imballaggio                            | II  |
| Codice galleria                                  | (E)   |
| Categoria di trasporto                           | 2   |
| Marchatura                                       | <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-bottom: 5px;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3090</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3091</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3480</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3481</span> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 5px;">BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE</div> <p style="text-align: center;">oppure</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE</div> |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |   |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |   |

### 2.9.3 Batterie danneggiate o difettose suscettibili di reagire pericolosamente durante il trasporto

Gli elementi e le batterie riconosciute come danneggiate o difettose e che nelle normali condizioni di trasporto sono suscettibili di:

- scoppiare
- disassemblarsi rapidamente
- reagire pericolosamente
- produrre una fiamma o un'evoluzione pericolosa di calore

- produrre una emissione pericolosa di gas o vapori tossici
- corrosivi o infiammabili

nelle normali condizioni di trasporto possono essere trasportate secondo una nuova procedura introdotta nell'ADR 2019 modificando la Disposizione Speciale 376.

#### Disposizione speciale 376

Questi elementi e batterie difettose e danneggiate considerate "critiche", devono essere imballate e trasportate conformemente all'istruzione d'imballaggio **P911** o **LP906**, secondo il caso. Tuttavia, condizioni di imballaggio e/o di trasporto alternative possono essere autorizzate dall'autorità competente di una qualsiasi Parte contraente l'ADR .

I criteri di identificazione di questa tipologia di elementi e batterie difettose e danneggiate, possono includere, ma non essere limitati a:

- Elementi o batterie identificati come difettosi per ragioni di sicurezza;
- Elementi o batterie che hanno perso o sfiatato;
- Elementi o batterie che non possono essere diagnosticate prima del trasporto; o
- Elementi o batterie che hanno subito danni fisici o meccanici.

Nel valutare una batteria come danneggiato o difettoso, il tipo di batteria e il suo precedente utilizzo e l'abuso devono essere prese in considerazione.

I colli devono essere marcati, a seconda dei casi, con le seguenti diciture:

“BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE”

“BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE”

Il documento di trasporto deve contenere la seguente dicitura: “Trasporto secondo la disposizione speciale 376”.

#### P 911




Gli imballaggi omologati di gruppo di imballaggio I, consentiti per elementi e batterie, comprese quelle contenute in un apparecchiature, sono i seguenti:

|         |   |
|---------|---|
| Fusti   | (1A2, 1B2, 1N2, 1H2, 1D, 1G);                 |
| Casse   | (4A, 4B, 4N, 4C1, 4C2, 4D, 4F, 4G, 4H1, 4H2); |
| Taniche | (3A2, 3B2, 3H2).                              |

Gli imballaggi devono poter soddisfare le seguenti disposizioni supplementari di prestazione:

- a) La temperatura della superficie esterna del collo completato non deve superare i 100°C. Un picco momentaneo di temperatura fino a 200° C è accettabile;
- b) Nessuna fiamma deve verificarsi al di fuori del collo;
- c) Nessun frammento pericoloso deve essere proiettato fuori dal collo;
- d) L'integrità strutturale del collo deve essere mantenuta;
- e) Gli imballaggi devono disporre di un sistema di gestione del gas (ad esempio sistema di filtraggio, circolazione dell'aria, contenimento per gas, imballaggi a tenuta di gas, ecc.), a seconda dei casi.

- Le disposizioni supplementari relative alle prestazioni dell'imballaggio devono essere verificate mediante una prova specificata dall'autorità competente di una qualsiasi Parte contraente l'ADR che può anche riconoscere una prova specificata dall'autorità competente di un Paese che non è una parte contraente l'ADR a condizione che tale prova sia stata specificata conformemente alle procedure applicabili secondo il RID, l'ADR, l'ADN, il Codice IMDG o le Istruzioni Tecniche dell'ICAO.
- Deve essere disponibile un rapporto di verifica su richiesta. Nel rapporto di verifica devono essere riportati, come requisiti minimi, il nome dell'elemento o della batteria, il numero dell'elemento o della batteria, la massa, il tipo, la quantità di energia degli elementi o delle batterie, l'identificazione dell'imballaggio e i dati della prova secondo il metodo di verifica specificato dall'autorità competente.
- Quando si utilizza ghiaccio secco o azoto liquido come refrigerante, si applicano le disposizioni della sezione 5.5.3. dell'ADR. L'imballaggio interno e l'imballaggio esterno devono mantenere la loro integrità alla temperatura del refrigerante utilizzato nonché alle temperature e alle pressioni che potrebbero verificarsi in caso di perdita della refrigerazione.
- Elementi e batterie devono essere protetti dal corto circuito (vedi § 2.5.1).



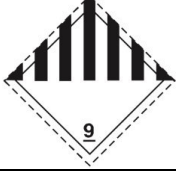
|  |   |
|--|---|
| Istruzioni di imballaggio                        | P911<br>Elementi e batterie difettose o danneggiate suscettibili di reagire pericolosamente durante il trasporto  |
| Classe   | 9   |
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali             | UN 3090 , UN 3091, UN 3480, UN 3481<br>376  |
| Imballaggio                                      |    |
| Gruppo di imballaggio                            | I   |
| Codice galleria                                  | (E)   |
| Categoria di trasporto                           | 0   |
| Marchatura                                       | <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-bottom: 5px;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3090</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3091</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3480</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3481</span> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 5px;">BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE</div> <p style="text-align: center;">oppure</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE</div> |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |   |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |   |

## LP 906

I seguenti grandi imballaggi omologati sono autorizzati per una singola batteria danneggiata o difettosa considerata "critica" e per un singolo dispositivo contenente tale batteria:

- Acciaio (50A)
  - Alluminio (50B)
  - Metalli diversi da acciaio o alluminio (50N)
  - Plastica rigida (50H)
  - Legno Compensato (50D)
  - Cartone (50G)
- 
- Gli imballaggi devono soddisfare il livello di prova del gruppo d'imballaggio I
  - I grandi imballaggi devono poter soddisfare le seguenti disposizioni supplementari di prestazione:
    - a) La temperatura della superficie esterna del collo completato non deve superare i 100°C. Un picco momentaneo di temperatura fino a 200° C è accettabile;
    - b) Nessuna fiamma deve verificarsi al di fuori del collo;
    - c) Nessun frammento pericoloso deve essere proiettato fuori dal collo;
    - d) L'integrità strutturale del collo deve essere mantenuta;
    - e) Gli imballaggi devono disporre di un sistema di gestione del gas (ad esempio sistema di filtraggio, circolazione dell'aria, contenimento per gas, imballaggi a tenuta di gas, ecc.), a seconda dei casi.
  - Le disposizioni supplementari relative alle prestazioni dell'imballaggio devono essere verificate mediante una prova specificata dall'autorità competente di una qualsiasi Parte contraente l'ADR che può anche riconoscere una prova specificata dall'autorità competente di un Paese che non è una parte contraente l'ADR a condizione che tale prova sia stata specificata conformemente alle procedure applicabili secondo il RID, l'ADR, l'ADN, il Codice IMDG o le Istruzioni Tecniche dell'ICAO.
  - Deve essere disponibile un rapporto di verifica su richiesta. Nel rapporto di verifica devono essere riportati, come requisiti minimi, il nome dell'elemento o della batteria, il numero dell'elemento o della batteria, la massa, il tipo, la quantità di energia degli elementi o delle batterie, l'identificazione dell'imballaggio e i dati della prova secondo il metodo di verifica specificato dall'autorità competente.
  - Quando si utilizza ghiaccio secco o azoto liquido come refrigerante, si applicano le disposizioni della sezione 5.5.3. dell'ADR. L'imballaggio interno e l'imballaggio esterno devono mantenere la loro integrità alla temperatura del refrigerante utilizzato nonché alle temperature e alle pressioni che potrebbero verificarsi in caso di perdita della refrigerazione.
  - Elementi e batterie devono essere protetti dal corto circuito (vedi § 2.5.1).

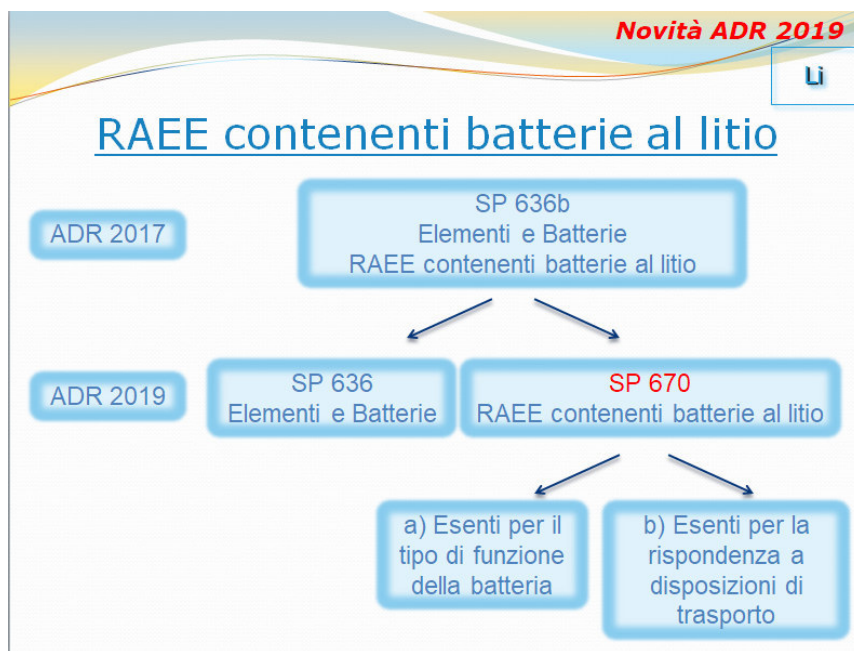
|                           |  |
|---------------------------|--|
| Istruzioni di imballaggio | LP 906<br>Elementi e batterie difettose o danneggiate suscettibili di reagire pericolosamente durante il trasporto |
| Classe                    | 9  |

|  |   |
|--|---|
| Numeri ONU/<br>Disposizioni speciali             | UN 3090 , UN 3091, UN 3480, UN 3481<br>376  |
| Imballaggio                                      |    |
| Gruppo di imballaggio                            | I   |
| Codice galleria                                  | (E)   |
| Categoria di trasporto                           | 0   |
| Marchatura                                       | <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-bottom: 5px;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3090</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3091</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3480</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">UN 3481</span> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center; margin-bottom: 5px;">BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE</div> <div style="text-align: center; margin-bottom: 5px;">oppure</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE</div> |
| Etichetta sui colli<br>(10x10 cm)                |   |
| Pannello su veicoli o<br>container<br>(25x25 cm) |    |

#### 2.9.4 RAEE contenenti batterie al Litio

Nell'ADR 2019 è stata aggiornata la disposizione speciale che regolava il trasporto di batterie da quello delle apparecchiature che le contengono, cosiddetti RAEE (Rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche) lasciando la disposizione speciale 636 a regolare le prime e introducendo una nuova disposizione speciale, la 670 per regolare i secondi (Figura 8).





**Figura 8**

### Disposizione speciale 636 – ADR 2019

Si applica a elementi e batterie di consumo che vengono raccolte dai sistemi collettivi e avviati al primo impianto di trattamento intermedio in vista del successivo riciclaggio, anche insieme a elementi e batterie non al litio.

Questa possibilità è riservata a elementi e batterie piccole, con le seguenti soglie di peso o capacità:

- ❖ Litio ionico
  - elementi con Wh non superiore a 20 Wh
  - batterie con un peso non superiore a 500 g oppure batterie litio ione con Wh non superiore a 100 Wh
- ❖ Litio metallico
  - elementi contenenti non più di 1 g di litio e
  - batterie con un contenuto aggregato non superiore a 2 g di litio,

Questi elementi e batterie non sono soggette ad altre disposizioni dell'ADR quando sono soddisfatte le tre seguenti condizioni:

- i. sono rispettate le disposizioni dell'istruzione d'imballaggio P909 ad eccezione delle prescrizioni 1 e 2;
- ii. è attuato un sistema di qualità che garantisca che la quantità totale di elementi e batterie al litio per unità di trasporto non superi 333 kg;
- iii. i colli siano marcati "BATTERIE AL LITIO PER SMALTIMENTO" oppure "BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO" come appropriato.

NOTA: La quantità totale di celle al litio e batterie nel mix può essere valutata mediante un metodo statistico incluso nel sistema di garanzia della qualità. Una copia dei documenti di garanzia della qualità deve essere messo a disposizione dell'autorità competente su richiesta.

## Disposizione speciale 670 – ADR 2019

- a) Gli elementi e le batterie al litio installate in apparecchiature provenienti dalle abitazioni private raccolti e consegnati per il trasporto per il disinquinamento, lo smantellamento, il riciclaggio o lo smaltimento non sono soggetti alle altre disposizioni dell'ADR quando:
- i. Esse non sono la principale fonte di alimentazione per il funzionamento dell'apparecchiatura in cui sono contenute;
  - ii. L'apparecchiatura in cui sono contenute non contiene nessun altro elemento o batteria al litio utilizzata come fonte di alimentazione principale; e
  - iii. Esse sono protette dall'apparecchiatura in cui sono contenute.

Esempi di elementi e batterie incluse in questo paragrafo sono le pile a bottone utilizzate per l'integrità dei dati negli elettrodomestici (ad esempio frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie) o in altre apparecchiature elettriche o elettroniche.

- b) Fino agli impianti intermedi di trattamento gli elementi e le batterie al litio contenute in apparecchiature provenienti da abitazioni private che non soddisfano i requisiti di cui alla lettera (a) raccolti e consegnati per il trasporto per il disinquinamento, lo smantellamento, il riciclaggio o lo smaltimento non sono soggetti alle altre disposizioni dell'ADR se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- i. L'apparecchiatura è imballata conformemente all'istruzione di imballaggio P909, ad eccezione delle disposizioni sulla protezione da cortocircuito (disposizioni supplementari 1 e 2 ); oppure

l'apparecchiatura è imballata in imballaggi esterni robusti, per esempio recipienti per la raccolta appositamente progettati che soddisfano i requisiti seguenti:

- gli imballaggi devono essere costruiti con materiali idonei e presentare una resistenza e un design adeguati in relazione alla capacità dell'imballaggio e all'uso previsto. Non è necessario che gli imballaggi siano omologati;
  - devono essere prese le misure appropriate per minimizzare il danneggiamento delle apparecchiature durante il riempimento e la manipolazione dell'imballaggio, per esempio utilizzare tappetini di gomma; e
  - gli imballaggi devono essere costruiti e chiusi in modo da evitare perdite di contenuto durante il trasporto, per esempio utilizzare coperchi, rivestimenti interni robusti, coperture per il trasporto. Le aperture progettate per il riempimento sono accettabili se costruite in modo da impedire la perdita di contenuto;
- ii. È adottato un sistema di garanzia della qualità per assicurare che la quantità totale di elementi e batterie al litio per unità di trasporto non superi 333 kg;

**NOTA:** La quantità totale di elementi e batterie al litio nel dispositivo proveniente dalle abitazioni private può essere valutata mediante un metodo statistico compreso nel sistema di garanzia della qualità.

*Una copia delle registrazioni del sistema di garanzia della qualità deve essere messa a disposizione dell'autorità competente su richiesta*

- iii. I colli sono marcati con: "BATTERIE AL LITIO PER LO SMALTIMENTO" o "BATTERIE AL LITIO PER IL RICICLAGGIO", a seconda dei casi. Se il dispositivo contenente elementi o batterie al litio è trasportato non imballato o su pallets conformemente all'istruzione di imballaggio P909 (3) questo marchio può essere applicato in alternativa sulla superficie esterna dei veicoli o dei containers.

**NOTA:** *Per apparecchiatura proveniente da abitazioni private (domestico) si intende un'apparecchiatura che proviene dalle abitazioni private oppure che proviene da siti commerciali, industriali, istituzionali e di altro tipo che, per la sua natura e quantità, è simile a quello che proviene dalle abitazioni private. L'apparecchiatura che presumibilmente può essere utilizzata sia da privati che da utilizzatori diversi dai privati deve essere considerato, in ogni caso, un'apparecchiatura proveniente da abitazioni private.*

#### Disposizione Speciale 387- ADR 2019

- 1) La batteria deve essere testata come una batteria al litio metallico
- 2) Sono assegnate alle rubriche UN 3090 o UN 3091
- 3) Si applica la Disposizione Speciale 188 per le batterie piccole esentate nel caso:
  - Batteria al Litio metallico:  $Li \leq 1.5$  g/batteria
  - Batteria al Litio-ione: Energia  $\leq 10$  Wh/batteria

### 3 Riferimenti bibliografici e collegamenti ipertestuali

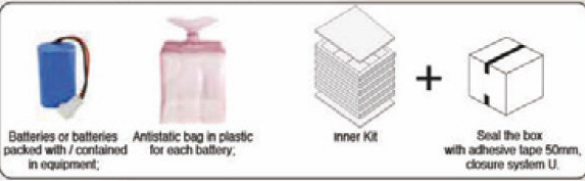
1. Haibo Huo, Yinjiao Xing , Michael Pecht, Benno J. Züger, Neeta Khare and Andrea Vezzini: "Safety Requirements for Transportation of Lithium Batteries". Energies 2017, 10, 793; doi:10.3390/en10060793. <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/6/793>
2. Decreto del Ministro dei Trasporti del 12 febbraio 2019, pubblicato su Gazzetta Ufficiale n° 81 del 05/04/2019
3. ADR\_2019\_vol1\_1818953\_E
4. ADR\_2019\_vol2\_1818956\_E

### 4 Appendice A – Esempi di packaging 4G di batterie al litio

Fonte: Catalogo Serpac disponibile, previa registrazione, all'indirizzo:  
<https://info.serpac.it/hubfs/Cataloghi/2019/Catalogo%20merci%20pericolose%20Serpac%20aprile%202019.pdf>


**UN certified 4G boxes for shipping lithium batteries UN3480, UN3481, UN3090 and UN3091**



UN certified 4G boxes for shipping lithium metal and ion batteries. In order to sell in compliance with regulations, it is necessary to use all the given components and follow the instruction provided.



**UN certified 4G boxes - PG807**

Lithium batteries

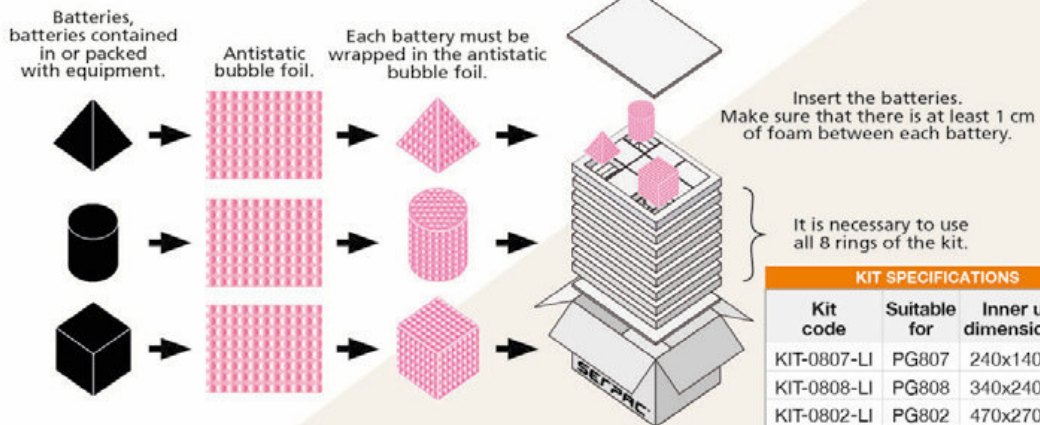


|                            |  |   |
|----------------------------|--|---|
| <b>Serpac code</b>         | 4G-3107-NT (neutral print) + KIT-0807-LI | <br>16 units per stack on pallet 1200x800 mm |
| <b>Outer dimensions mm</b> | 300x200x260h                             |   |
| <b>Inner dimensions mm</b> | According to the chosen kit              |   |
| <b>UN certification</b>    | 4G (fibreboard box)                      |   |
| <b>UN marking</b>          | ④4G/Y9/S/** - B/SERPAC.412-060023        |   |
| <b>Conten</b>              | Lithium batteries                        | <br>ADR RID ADN IMDG IATA                    |

| Inner packagings with which the box has been certified | Max gross weight | Certification / (Extension) | Use adhesive tape   |
|--|------------------|-----------------------------|---------------------|
| 1 Various lithium batteries                            | 6 kg             | (PG757 – 4G/Y6)             | PP 50 mm, closure U |

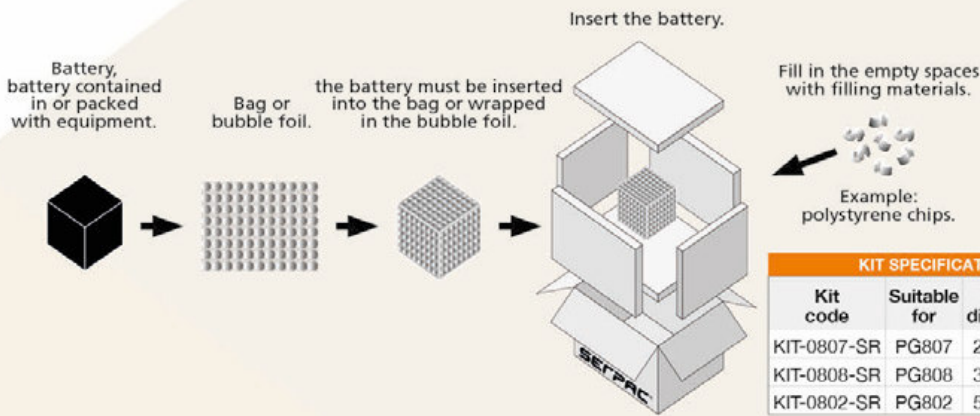
*Ability to customize the printing with your own logos and brands, minimum purchase order quantity of 1000 pieces.*

**1 - Foam kit solution with rings - different lithium batteries.**



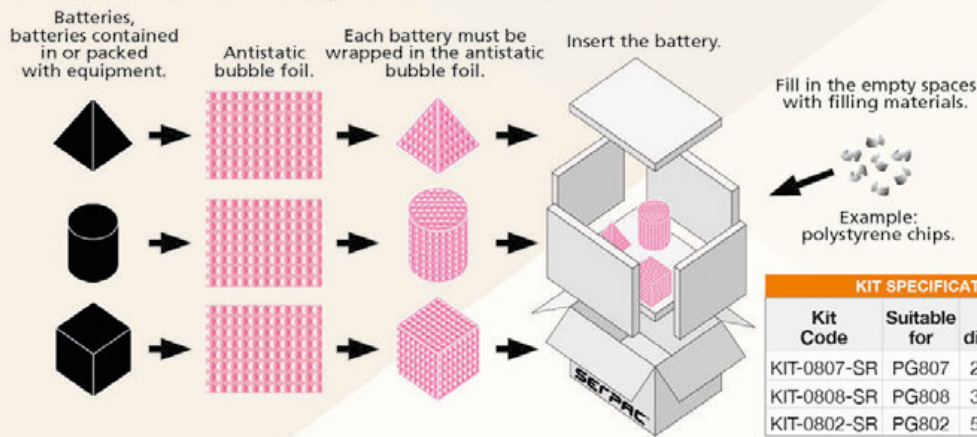
| KIT SPECIFICATIONS |              |                            |
|--------------------|--------------|----------------------------|
| Kit code           | Suitable for | Inner useful dimensions mm |
| KIT-0807-LI        | PG807        | 240x140x185 h              |
| KIT-0808-LI        | PG808        | 340x240x185 h              |
| KIT-0802-LI        | PG802        | 470x270x400 h              |

**2 - Foam kit solution with layers - 1 lithium battery.**



| KIT SPECIFICATIONS |              |                            |
|--------------------|--------------|----------------------------|
| Kit code           | Suitable for | Inner useful dimensions mm |
| KIT-0807-SR        | PG807        | 240x140x185 h              |
| KIT-0808-SR        | PG808        | 340x240x185 h              |
| KIT-0802-SR        | PG802        | 540x340x375 h              |

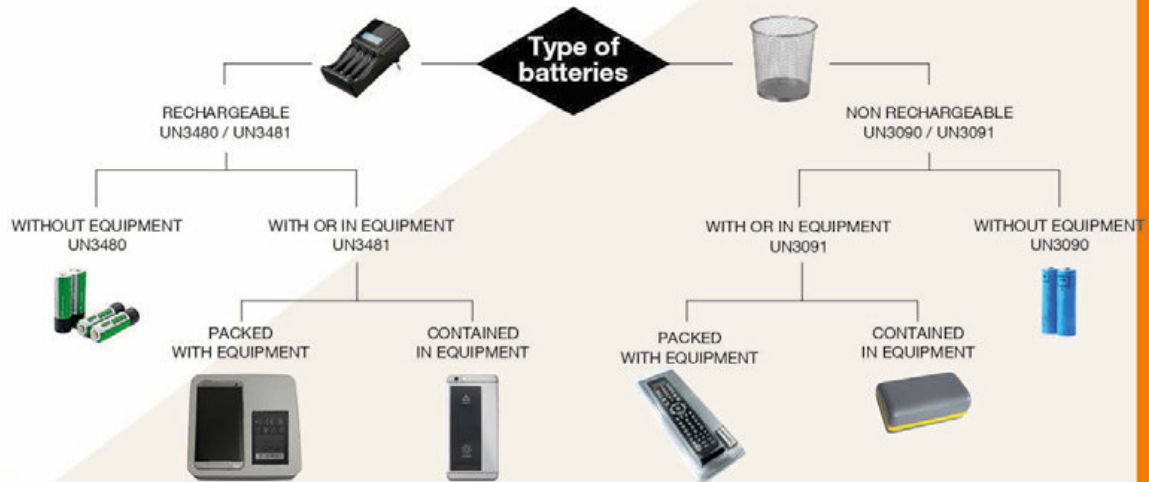
**3 - Foam kit solution with layers - different lithium batteries.**



| KIT SPECIFICATIONS |              |                            |
|--------------------|--------------|----------------------------|
| Kit Code           | Suitable for | Inner useful dimensions mm |
| KIT-0807-SR        | PG807        | 240x140x185 h              |
| KIT-0808-SR        | PG808        | 340x240x185 h              |
| KIT-0802-SR        | PG802        | 540x340x375 h              |

## Details and information about lithium batteries

Below is a diagram for the identification of the type of lithium battery that you need to ship. The battery will be associated to a UN number depending on the type of battery (rechargeable or not) and depending on how it is shipped (without equipment or packed with / contained in equipment). By following the scheme below, you can find which UN number corresponds to your battery.










## All products for shipping lithium batteries

According to the mode of transport and the type of shipment, it will be necessary to use different products for shipping your lithium batteries in accordance with Regulations. Below is a list of products useful for the shipment of UN3090, UN3091, UN3480 and UN3481.

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  <p>Customized UN certification</p>       |  <p>UN certified 4G boxes for batteries</p> |  <p>Inner kit for batteries for UN certified 4G boxes</p> |  <p>Boxes for shipping excepted batteries</p> |
|  <p>Application for lithium batteries</p> |  <p>Lithium battery label</p>               |  <p>Hazard label class 9</p>                              |  <p>Documentation ADR - IMDG - IATA</p>       |

## 5 Appendice B – Alcuni esempi di Tipologie di imballaggi

Per ulteriori informazioni possono essere consultati i siti: <https://www.overpack.it/> e <https://www.serpac.it/>

| FUSTI              |                              | TANICHE  |                             | CASSE                      |    |  |
|--------------------|------------------------------|--|-----------------------------|----------------------------|----|--|
| <b>A. Acciaio</b>  | Con coperchio amovibile, 1A2 | <br>Serpac  |                             | <b>D. Legno Compensato</b> | 4D | <br>ovrpack   |
| <b>G. Cartone</b>  | 1G                           | <br>Serpac  |                             | <b>G. Cartone</b>          | 4G | <br>serpac  |
| <b>H. Plastica</b> | Con coperchio amovibile, 1H2 | <br>Serpac | <b>H. Plastica</b>          | <b>H. Plastica espansa</b> | 4G | <br>Fonte:<br><a href="https://www.directindustry.it/prod/engels-manutention-et-environnement/product-61848-403257.html">https://www.directindustry.it/prod/engels-manutention-et-environnement/product-61848-403257.html</a> |
|                    |                              |  | Con coperchio amovibile 3H2 |                            |    |  |
|                    |                              |  |                             |                            |    | <br>Serpac  |



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



## RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

### Capitolo 5 C

## Gestione dei rifiuti di batterie al litio e bonifica delle aree interessate da eventi incidentali

Cinzia Di Bari (ENEA)  
con il contributo di Luigi De Rocchi (COBAT)







## Indice

|   |     |
|---|-----|
| INDICE .....  | 475 |
| INTRODUZIONE.....   | 476 |
| 1 LA DIRETTIVA BATTERIE E L'ORGANIZZAZIONE OPERATIVA DELLA FILIERA (A CURA DI L. DE ROCCHI) .....                           | 477 |
| 1.1 IL D.LGS. 188/08 E LE SUCCESSIVE MODIFICHE ED INTEGRAZIONI.....   | 477 |
| 1.1.1 DECRETO LEGISLATIVO 11 FEBBRAIO 2011 , N. 21 .....  | 477 |
| 1.1.2 DECRETO LEGISLATIVO 15 FEBBRAIO 2016, N. 27 .....   | 478 |
| 1.1.3 LA REVISIONE DELLA DIRETTIVA 2006/66/CE .....   | 478 |
| 1.2 OBBLIGHI E RESPONSABILITÀ IN CAPO AI PRODUTTORI ED IMPORTATORI DI PILE ED ACCUMULATORI.....                             | 479 |
| 1.3 IL CENTRO DI COORDINAMENTO NAZIONALE PILE ED ACCUMULATORI .....   | 481 |
| 2 IL TESTO UNICO AMBIENTALE, LA GESTIONE DEI RIFIUTI E LA BONIFICA DEI SITI CONTAMINATI .....                               | 485 |
| 3 CARATTERIZZAZIONE DEI RIFIUTI DI BATTERIE AL LITIO .....  | 486 |
| 3.1 ATTRIBUZIONE DEL CODICE CER/HP AI RIFIUTI DI BATTERIE AL LITIO .....  | 486 |
| 3.1.1 CODICE CER E CODICE HP.....   | 486 |
| 3.1.2 UN CASO STUDIO .....  | 489 |
| 3.2 ATTRIBUZIONE DELLA CATEGORIA ADR E CONTENITORI PER IL TRASPORTO E PER LA RACCOLTA DEI RIFIUTI DI BATTERIE AL LITIO..... | 493 |
| 4 PROBLEMATICHE DI GESTIONE DEL RISCHIO NELLA FILIERA DEI RIFIUTI DI BATTERIE AL LITIO .....                                | 494 |
| 4.1 IL DOCUMENT DEL BARPI (FR): "SOME POINTS OF VIGILANCE AND SAFETY INSTRUCTIONS" .....                                    | 499 |
| 4.2 INDICAZIONI DEL DOT (US) .....  | 501 |
| 4.3 INDICAZIONI DEL MINAMB PER LA PREVENZIONE DEI RISCHI NELLA GESTIONE DEI RIFIUTI PERICOLOSI (IT).....                    | 501 |
| 5 PROBLEMATICHE DI BONIFICA DELLE AREE INTERESSATE DA EVENTI INCIDENTALI .....  | 502 |
| 6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E COLLEGAMENTI IPERTESTUALI .....   | 503 |
| APPENDICE 7A – MODALITÀ TRASPORTO ADR DI RIFIUTI DI BATTERIE (SINTESI INFORMAZIONI CAPITOLO 6.D).....                       | 504 |
| APPENDICE 7.B – GESTIONE DI RIFIUTI DI BATTERIE AL LITIO: UN CASO STUDIO .....  | 516 |

## Introduzione

Con il termine “filiera dei rifiuti di batterie”, intendiamo indicare la parte finale del ciclo di vita di una batteria., ovvero la parte in cui una batteria non più riutilizzabile (poiché ha raggiunto la fine della propria vita utile; è danneggiata; ha subito un incidente, ecc.) viene considerata “rifiuto”. Le prevenzione, protezione e gestione dei rischi che verranno trattati in questo capitolo si ritiene debbano essere estese anche alla gestione di batterie danneggiate che il produttore decide di ritirare dal mercato, evidenziando che questo accade e che le responsabilità di gestione sono da attribuire al proprietario della batteria (produttore, importatore, ecc) ovvero alla persona giuridica che l’ha immessa sul mercato: le norme sul trasporto ADR – trattate nel Capitolo 6d e riepilogate nell’Appendice 7A - disciplinano la gestione di tale caso.

Le batterie al litio, possono essere – nelle varie dimensioni possibili – da sole oppure all’interno di un dispositivo utilizzatore. In questo caso possono essere integrate o rimovibili. I dispositivi di piccola dimensione giunti a fine vita, costituiscono la categoria dei Rifiuti elettronici (RAEE).

Imballaggi e sovraimballaggi autorizzati dall’ADR, costituiscono la forma nella quale viaggiano tali rifiuti e arrivano nei vari punti di stoccaggio temporaneo e trattamento che costituiscono la filiera del rifiuto. Le modalità di movimentazione all’interno di tali siti e le modalità di stoccaggio temporaneo, come pure tutte le operazioni che ne comportano la manipolazione, devono essere progettate ed eseguite dopo una attenta identificazione dei pericoli e valutazione, anche qualitativa, dei rischi associati tra l’altro richieste anche dalle norme di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori (D.Lgs. 81/08 e s.m.i.) come pure, in taluni casi, dai regimi autorizzativi e dalle norme di prevenzione degli incidenti rilevanti (Direttiva Seveso III). Ne consegue la necessità di effettuare una attenta analisi di rischio con metodologie strutturate.

Pile e accumulatori al litio, giunti a fine vita, e i rifiuti elettronici che le contengono, sono classificati – dall’ONU – come merce pericolosa (si veda Capitolo 6d<sup>20</sup>). Il loro trasporto su gomma deve avvenire secondo il regolamento ADR, che ne stabilisce: classificazione e identificazione della merce; tipologia di mezzi di trasporto e loro modalità di carico; modalità di imballaggio; tipologia di imballaggi e sovraimballaggi, la loro marcatura ed etichettatura, ecc.

Per la Direttiva Rifiuti, la Direttiva 2008/98/CE e la Decisione 2014/955/UE, il rifiuto deve essere altresì identificato mediante un codice CER e ne deve essere valutata e documentata la eventuale pericolosità, attraverso l’attribuzione delle frasi di rischio H, di cui al Regolamento 1357/2014/UE. Attualmente, la classificazione di pericolo e l’etichettatura dei rifiuti avvengono facendo riferimento al Regolamento CLP <sup>21</sup>, ovvero viene richiesta l’etichettatura secondo il sistema internazionale GHS. Considerando le diverse composizioni chimiche delle batterie al litio e la non obbligatorietà delle schede di sicurezza, a rigore, anche per le batterie integre giunte a fine vita sarebbe necessaria l’esecuzione di una analisi chimica. La questione si pone inequivocabile nel caso di batterie non integre e di residui provenienti da eventi incidentali. L’analisi chimica dei residui presenti sul sito ove sia occorso un incidente, sia solidi che liquidi che aereiformi, è infine, fondamentale per le seguenti ragioni: scelta di un metodo appropriato di bonifica del sito contaminato; classificazione dei fanghi, dei liquidi e dei solidi provenienti dall’intervento di emergenza e dalla bonifica del rifiuto per poterne eseguire la raccolta, il trattamento e il conferimento in discarica secondo l’enorme vigenti; caratterizzazione dei pericoli per gli operatori dell’intervento di emergenza e per chi deve effettuare la bonifica dell’area.

---

<sup>20</sup> Capitolo 6d - M. Ottaviani, C. Di Bari: “Trasporto delle batterie al litio e modalità di *packaging*”.

<sup>21</sup> Regolamento (CE) n. 1272/2008 relativo alla classificazione, all’etichettatura e all’imballaggio delle sostanze e delle miscele

## **1 La Direttiva batterie e l'organizzazione operativa della filiera (a cura di L. De Rocchi)**

### *1.1 Il D.lgs. 188/08 e le successive modifiche ed integrazioni*

Il D.lgs. 188/08, in recepimento della Direttiva 2006/66/CE concernente pile, accumulatori e relativi rifiuti, rappresenta attualmente il quadro normativo di riferimento nazionale per la filiera delle pile ed accumulatori.

Con l'emanazione di questo Decreto trova applicazione il principio della responsabilità estesa del produttore anche nel comparto delle pile e degli accumulatori, ossia la responsabilità, in capo a chi produce o immette sul mercato nazionale questi prodotti, di doversi occupare del loro corretto fine vita.

Sino al recepimento della Direttiva 2006/66/CE, la gestione dei rifiuti di pile ed accumulatori (per altro soltanto al piombo) era stata in capo a COBAT, consorzio obbligatorio istituito per legge nel 1988 al quale produttori ed importatori di batterie al piombo erano obbligati ad aderire finanziandone l'attività.

Con l'emanazione del D.lgs. 188/08 COBAT termina la sua natura di consorzio obbligatorio, poiché l'applicazione del principio della responsabilità estesa del produttore determina la liberalizzazione del settore e l'avvento di un modello multi-consortile (i produttori possono ora scegliere se rimanere in COBAT o dare vita a nuove organizzazioni), nel quale Sistemi individuali e collettivi, istituiti e finanziati dai produttori ed importatori, svolgono la propria attività in presenza di un Centro di Coordinamento partecipato dai Sistemi stessi con la funzione di garantire omogenee e capillari condizioni di servizio sul territorio nazionale.

Il Decreto, pur recependo la Direttiva 2006/66/CE, introduce anche altre regolamentazioni di carattere nazionale, in particolare l'istituzione del Centro di Coordinamento e del Comitato di Vigilanza e Controllo.

Dalla data di sua emanazione, il D.lgs. 188/08 è andato incontro ad ulteriori modifiche ed integrazioni in particolare in riferimento ai seguenti nuovi decreti:

#### *1.1.1 Decreto Legislativo 11 febbraio 2011, n. 21*

Il significato più importante di tale Decreto è la modifica degli artt. 6 e 7 del D.lgs. 188/08, con la quale si introduce la possibilità, per i Sistemi di raccolta e trattamento, di avvalersi delle strutture di raccolta ove istituite dal servizio pubblico, previa stipula di apposita convenzione definita sulla base di un accordo di programma quadro stipulato con l'ANCI, in rappresentanza dei soggetti responsabili del servizio pubblico di gestione dei rifiuti urbani, volto altresì a stabilire le modalità di ristoro degli oneri per la raccolta separata sostenuti dal servizio pubblico di gestione dei rifiuti.

Altra novità è quella che i criteri di determinazione e di ripartizione dei finanziamenti delle operazioni di raccolta, trattamento e riciclaggio non sono più definiti mediante decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, di concerto con il Ministro dello sviluppo economico, sentito il Comitato di vigilanza e controllo, ma viene previsto che sia il Centro di Coordinamento a doverne definire le modalità, da sottoporre all'approvazione del Comitato di Vigilanza e Controllo.

Il Decreto, inoltre, uniforma le modalità di Registrazione alle disposizioni contenute nella Decisione della Commissione 2009/603/CE.

### *1.1.2 Decreto legislativo 15 febbraio 2016, n. 27*

Il Decreto legislativo 15 febbraio 2016, n. 27 recante: “Attuazione della Direttiva 2013/56/UE che modifica la Direttiva 2006/66/CE relativa a pile e accumulatori e ai rifiuti di pile e accumulatori per quanto riguarda l'immissione sul mercato di batterie portatili e di accumulatori contenenti cadmio destinati a essere utilizzati negli utensili elettrici senza fili e di pile a bottone con un basso tenore di mercurio, e che abroga la decisione 2009/603/CE della Commissione”, recepisce la Direttiva 2013/56/UE.

In primo luogo viene stabilito il termine, al 1 ottobre 2015, della deroga alla commercializzazione delle pile a bottone con un tenore di mercurio inferiore al 2 % in peso; il termine di tale deroga, pertanto, uniforma le pile a bottone a tutte le tipologie contenente mercurio, sulle quali vige il divieto di commercializzazione per tenori superiori allo 0,0005 % di mercurio in peso.

La Direttiva, inoltre, introduce la deroga al 31 dicembre 2016 della commercializzazione delle pile ed accumulatori contenenti più dello 0,002% di cadmio in peso utilizzati in utensili elettrici senza fili.

In aggiunta, esso modifica ed aggiorna tutti i riferimenti al precedente D.lgs. 151/05 sui RAEE con il successivo D.lgs. 49/14.

### *1.1.3 La revisione della Direttiva 2006/66/CE*

Attualmente la Direttiva 2006/66/CE è in fase di revisione da parte della Commissione Europea e la previsione dell'emanazione della nuova Direttiva è attesa entro il 2020. Sull'argomento si veda lo studio del 2018 (ad esempio pagine: 67, 68, 84-86, 149-154) redatto per la DG competente [1].

La Commissione sta al momento raccogliendo le indicazioni ed i suggerimenti provenienti dai principali stakeholder, per tramite, principalmente, delle loro associazioni di rappresentanza europee come EUROBAT (Associazione Europea dei Produttori di Batterie Industriali e di Avviamento), EPBA (Associazione Europea dei Produttori di Batterie Portatili), EBRA (Associazione Europea degli Impianti di Riciclo dei rifiuti di pile ed accumulatori) ed EUCOBAT (Associazione Europea dei Sistemi di Raccolta Nazionali).

Sono numerose e le aspettative riposte nella revisione della Direttiva, dal momento che essa si presenta ormai insufficiente per regolamentare un settore che ha avuto una forte evoluzione negli ultimi anni e che necessita di una uniformazione con filiere parallele, in particolare con quella dei RAEE.

Uno dei temi più importanti sui quali si attendono aggiornamenti è una migliore chiarificazione delle tipologie chimiche delle pile ed accumulatori oggetto di regolamentazione e soprattutto delle modalità di loro gestione nelle fasi del trattamento e riciclo; attualmente le uniche due chimiche ad essere prese in considerazione sono il piombo ed il nichel-cadmio, non essendo contemplata la tipologia nichel-idruri metallici e soprattutto la tipologia litio, nelle sue molteplici sottocategorie, che negli ultimi anni hanno avuto uno sviluppo esponenziale.

Altro tema è quello del riuso e riutilizzo, non regolamentato dalla legislazione vigente sebbene oggi si parli sempre più spesso di riutilizzo degli accumulatori, soprattutto quelli industriali da trazione, per applicazioni nel campo dell'accumulo energetico. E' assolutamente necessario che per rendere attuabile il riutilizzo degli accumulatori se ne regolamentino le modalità, non ultimo il modo in cui debba interpretarsi la responsabilità estesa del produttore in caso di re-manufacturing.

Un altro argomento in forte discussione riguarda le modalità secondo cui dover calcolare il tasso di ritorno della raccolta delle pile portatili, attualmente parametrato alla media dei tre anni precedenti. Diversi studi ed analisi di settore dimostrano che i tempi di ritorno delle pile vendute è ben maggiore dei tre anni, ragione per la quale si determina la oggettiva impossibilità di riuscire a raccogliere il venduto entro i tempi nei quali si deve stimare il tasso di raccolta.

Riguardo invece ai rapporti tra il settore delle pile e degli accumulatori ed il settore delle apparecchiature elettriche ed elettroniche, gli impianti di trattamento RAEE lamentano un sempre maggior utilizzo nelle AEE di pile ed accumulatori non rimovibili, comportando lunghi tempi di disassemblaggio e rischi per la sicurezza; anche in questo senso sarebbe opportuno che la nuova Direttiva preveda a carico dei produttori delle disposizioni più stringenti per facilitare la rimozione delle batterie dalle apparecchiature.

In ultimo va sottolineato che la revisione della Direttiva 2006/66/CE dovrà recepire le indicazioni presenti nel Piano presentato dalla Commissione Europea il 2 dicembre 2015 sull'economia circolare, un pacchetto di modifiche riguardanti diverse Direttive tra cui anche la 2006/66/CE.

## *1.2 Obblighi e responsabilità in capo ai produttori ed importatori di pile ed accumulatori*

L'attuazione del principio della responsabilità estesa pone in capo ai produttori ed importatori di pile ed accumulatori la gestione della filiera, dall'immissione su mercato dei propri prodotti (i quali debbono rispondere a requisiti molto specifici sia in termini di tipologia e modalità costruttiva che di informazioni da dover rendere all'utilizzatore finale) alla loro gestione finale quando giunti a fine vita.

Ai sensi dell' articolo 2, comma 1, lettera n) del D.Lgs. n. 188/2008, "produttore/importatore" è *chiunque immetta sul mercato nazionale per la prima volta a titolo professionale pile o accumulatori, compresi quelli incorporati in apparecchi o veicoli, a prescindere dalla tecnica di vendita utilizzata, comprese le tecniche di comunicazione a distanza definite agli articoli 50, e seguenti, del decreto legislativo 6 settembre 2005, n. 206, di recepimento della direttiva 97/7/CE riguardante la protezione dei consumatori in materia di contratti a distanza.*

Un produttore di pile ed accumulatori non può commercializzare i propri prodotti senza essersi preventivamente iscritto al Registro Nazionale Pile ed Accumulatori ([www.registropile.it](http://www.registropile.it)), istituito presso il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare ai sensi dell' articolo 14 del D.Lgs. 188/08 s.m.i.

Inoltre, nel caso in cui un produttore commercializzi i propri prodotti dall'estero direttamente ad un utente finale, l'iscrizione al Registro deve essere effettuata dal Produttore Estero mediante un proprio rappresentante in Italia, incaricato di tutti gli adempimenti previsti dal D.lgs. 188/2008 (<https://www.registropile.it/News#2362-obblighi-per-i-produttori-esteri>).

Il Produttore, sia nazionale che estero, deve poi adempiere all'obbligo della comunicazione annuale, entro il 31 marzo di ogni anno, del suo immesso a mercato nell'anno precedente.

A seguire, l'immagine della schermata di ingresso nel sito web del Registro Nazionale Pile ed Accumulatori.

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

ver. 2.0.329

## Registro Pile e Accumulatori

UNIONCAMERE  
CAMERE DI COMMERCIO ITALIANA

Home  
dall'allegato III, entro sei mesi dalla data di entrata in vigore del presente decreto.

**Scrivanie Telematiche**

- Produttori
- Sistemi di raccolta collettivi

**Registro Pile**

- Produttori
- Sistemi di raccolta individuale
- Sistemi di raccolta collettivi

**Informazioni utili**

- Help
- Verifica Compatibilità

**Area Riservata Enti**

- Accesso

Segui @MUD\_2019

ecocamere

**Scrivania per i produttori**

**News**

**Aperto il portale per la presentazione della Comunicazione annuale 2019, contenente i dati del 2018 relativi alle pile e accumulatori immessi sul mercato**

Dal 14 gennaio è attivo il sistema per la presentazione della Comunicazione annuale sulle quantità di pile e accumulatori immessa sul mercato nel corso del 2018 da parte dei produttori iscritti al Registro Nazionale Pile e Accumulatori da presentare entro il 1 aprile 2019.

- Il pacchetto delle Direttive UE sull'economia circolare interessa anche il settore delle pile ed accumulatori [03.12.2018] [Continua >](#)
- Obblighi per i produttori esteri [12.06.2018]
- Sanzioni per il mancato adempimento degli obblighi relativi al Registro pile e accumulatori [03.02.2018]
- Aperto il portale per la presentazione della Comunicazione annuale 2018 su pile e accumulatori immessi sul mercato [15.01.2018]

[Visualizza tutto >](#)

Home | Validazione W3C | @ECOCERVED\_s.c.a.r.l. | CF: 03991350376 | RIVA: 04527551008 | ecocerved

Come già rimarcato, per effetto del principio della responsabilità estesa, il produttore/importatore assume l'obbligo di gestione dei rifiuti di pile ed accumulatori derivanti dai prodotti immessi su mercato, e le modalità secondo cui può adempiere a tale obbligo può essere:

- attraverso l'istituzione/adesione ad un Sistema Collettivo;
- attraverso l'istituzione di un Sistema Individuale.

Al momento, in Italia, i Sistemi operanti nella gestione dei rifiuti di pile ed accumulatori sono sostanzialmente collettivi; esistono tuttavia alcuni sistemi individuali legati unicamente alla gestione delle pile ed accumulatori industriali e per veicoli.

Il D.Lgs. 188/08 ripartisce l'obbligo, per i produttori/importatori, della raccolta dei rifiuti di pile ed accumulatori, secondo due distinte filiere e cioè:

- **pile ed accumulatori portatili (art. 6)**: questi rifiuti vengono raccolti sostanzialmente dal canale domestico dei punti di raccolta presenti sul territorio nazionale (anche presso i distributori di nuove pile ed accumulatori) e dalle isole ecologiche. Su questa tipologia di rifiuto la legge riconosce un target di raccolta da dover raggiungere, par attualmente al 45% dell'immesso su mercato. Ai sensi dell'Art. 2, comma 1, lett. c) del D.Lgs. 188/08, per pile ed accumulatori portatili si debbono intendere *"le pile, le pile a bottone, i pacchi batteria o gli accumulatori che sono sigillati, sono trasportabili a mano e non costituiscono pile o accumulatori industriali, né batterie o accumulatori per veicoli"*. Inoltre, in base a quanto previsto dalla Tabella 1 del D.lgs. 188/08, le categorie di suddivisione delle pile ed accumulatori portatili sono le seguenti (Tabella 1) :

**Tabella 13**

| Categoria   | Tipologia   |
|---|---|
| <b>Pile ed Accumulatori Portatili non ricaricabili</b>                | Pila Zinco Carbone  |
|   | Pila Zinco Cloruro  |
|   | Pila Alcalina   |
|   | Pila al Litio   |
|   | Pila Zinco Aria   |
|   | Pila Zinco Argento  |
| <b>Pile ed Accumulatori Portatili ricaricabili</b>                    | Accumulatori al Piombo  |
|   | Accumulatori Nichel Cadmio ( <i>non più commercializzabili dal 1 gennaio 2017</i> ) |
|   | Accumulatori Nichel Idruri Metallici  |
|   | Accumulatori al Litio   |
| <b>Pile ed Accumulatori Portatili ricaricabili e non ricaricabili</b> | Altro   |

- **pile ed accumulatori industriali e per veicoli (art. 7)**: questi rifiuti vengono raccolti essenzialmente dal canale professionale degli utenti finali, delle officine di riparazione e degli autodemolitori. Gli **accumulatori industriali** si dividono principalmente in due categorie:
  - *accumulatori uso trazione*, i quali forniscono energia per la trazione di veicoli a motore elettrico, come ad esempio i carrelli elevatori, le golf car, le macchine di pulizia e i veicoli elettrici in genere;
  - *accumulatori uso stazionario*, i quali riuniscono invece tutti quegli accumulatori industriali che alimentano gruppi di continuità, come ad esempio le luci di posizionamento, le cabine elettriche sulle reti che trasportano energia, i pannelli elettronici di segnalazione (presenti lungo le autostrade), oppure che servono ad accumulare le cosiddette “energie verdi” (prodotte tramite fotovoltaico, eolico, idroelettrico, ecc.).

Indipendentemente dalla loro categoria di appartenenza, gli accumulatori industriali possono essere al piombo (sicuramente la tipologia ad oggi più diffusa), al litio, al nickel cadmio e al sale.

Gli accumulatori per veicoli, invece, sono quelli utilizzati per l’avviamento, l’illuminazione e l’accensione dei veicoli (automobili, camion, veicoli per uso militare, moto, camper, imbarcazioni, etc.).

Le principali tipologie di accumulatori per veicoli sono quella al piombo (sicuramente la tipologia ad oggi più diffusa), quella a ioni di litio e quella al nickel cadmio.

I **Sistemi individuali o collettivi** possono operare anche su ambedue le filiere.

Sempre a carico dei produttori/importatori è anche l’attività di trattamento e riciclaggio dei rifiuti di pile ed accumulatori (art. 10 del D.lgs. 188/08), che può essere demandata anche ad impianti esteri; l’importante è che l’impianto di trattamento finale risponda ai requisiti sul trattamento, in rispondenza sia all’allegato 2 parte B del D.Lgs. 188/08 ma anche delle linee guida contenute nel Regolamento (UE) n. 493/2012.

### 1.3 Il Centro di Coordinamento Nazionale Pile ed Accumulatori

Il Centro di Coordinamento Nazionale Pile e Accumulatori (CDCNPA) è stato istituito ai sensi dell’art. 17 del D.lgs. 188/2008 ([www.cdcnpa.it](http://www.cdcnpa.it)).



Al CDCNPA partecipano i Sistemi Collettivi ed Individuali operanti sul territorio nazionale, ed ha il compito di ottimizzare le attività di loro competenza a garanzia di omogenee ed uniformi condizioni operative, al fine di incrementare le percentuali di raccolta e riciclaggio dei rifiuti di pile ed accumulatori.

In particolare il CDCNPA provvede:

- a organizzare ed effettuare campagne di informazione per i consumatori;
- a organizzare per tutti i consorziati un sistema capillare di raccolta;
- ad assicurare il monitoraggio e la rendicontazione dei dati relativi alla raccolta ed al riciclaggio dei rifiuti di pile e accumulatori portatili, industriali e per veicoli;
- a garantire il necessario raccordo tra la Pubblica Amministrazione, i sistemi di raccolta e gli altri operatori economici;
- a stipulare l'accordo con ANCI per l'organizzazione della raccolta dei rifiuti di pile ed accumulatori provenienti dal circuito della raccolta urbana.

Al CDCNPA partecipano attualmente 14 Sistemi Collettivi e 2 Sistemi Individuali, come riportato nella figura seguente (Figura 1).

Lo Statuto del CDCNPA prevede nella propria Governance i seguenti più importanti organi istituzionali:

- **Comitato Esecutivo:** formato da 5 membri (tra i quali il Presidente), ha, oltre alla responsabilità della corretta gestione dell'ordinaria amministrazione, il compito di ratificare, verificandone la copertura finanziaria, le linee guida, modelli e regole operative elaborate dai Comitati Operativi;
- **Comitati Operativi:** formati dai rappresentanti dei Consorziati, hanno il compito di definire le regole per l'ottimizzazione della raccolta dei diversi tipi di pile e accumulatori.

Il CDCNPA si è dotato di due Comitati Operativi:

- **COP:** Comitato Operativo Pile ed Accumulatori Portatili
- **COA:** Comitato Operativo Accumulatori Industriali e per Veicoli

L'individuazione dei due Comitati Operativi appena citati corrisponde di fatto alla segmentazione secondo cui opera, nella linee generali, il CDCNPA, ossia nella gestione dell'attività di raccolta e trattamento dei seguenti due comparti:

- filiera dei rifiuti di pile ed accumulatori portatili;
- filiera dei rifiuti di pile ed accumulatori industriali e per veicoli.

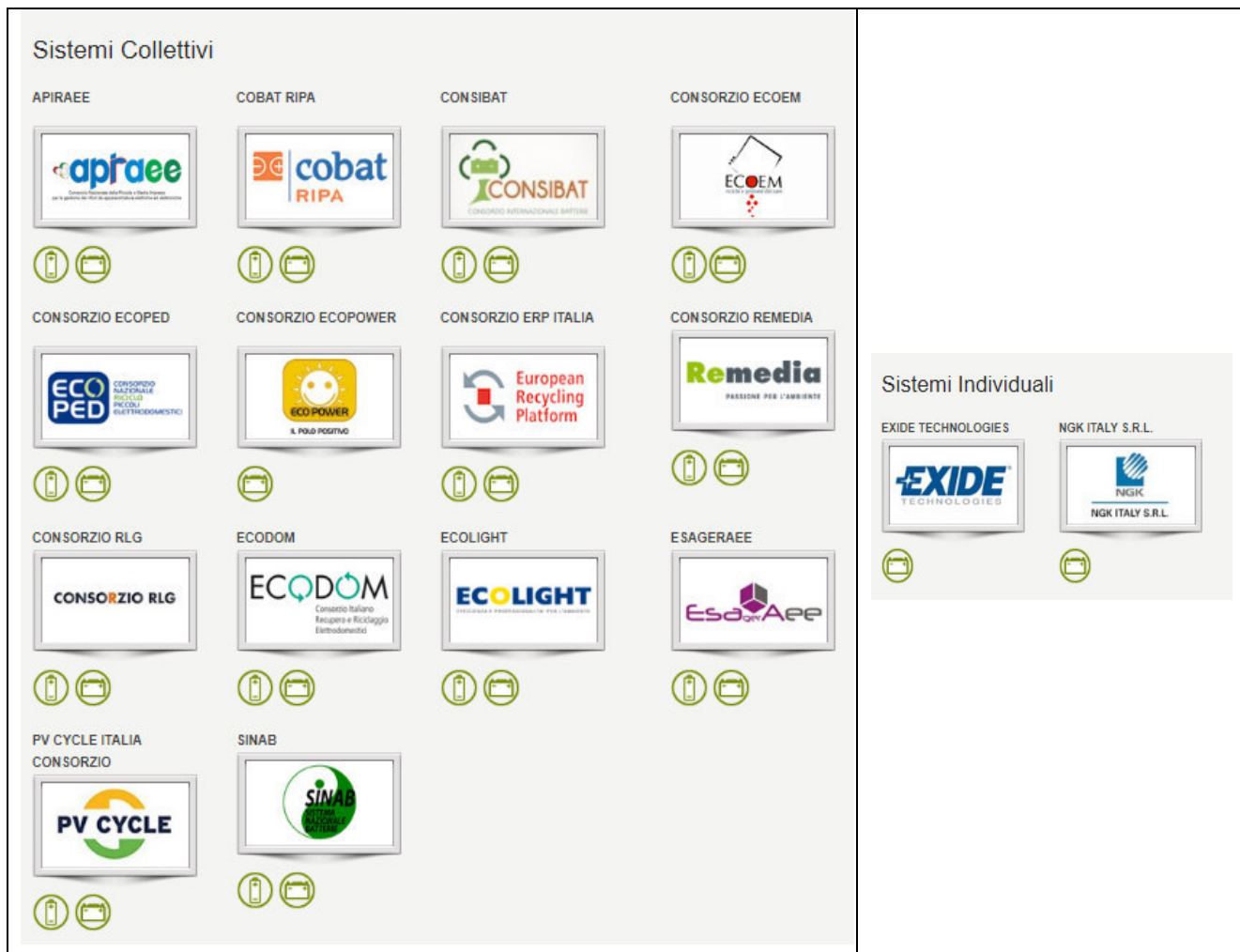


Figura 9

Nel **settore dei rifiuti di pile ed accumulatori portatili**, raccolti in massima parte attraverso il circuito della raccolta differenziata urbana (sostanzialmente isole ecologiche comunali e punti di raccolta presso la distribuzione), il coordinamento e l'ottimizzazione della filiera avviene, da parte del CDCNPA, mediante l'attribuzione ai Sistemi Collettivi di aree specifiche (tendenzialmente province) su cui dover svolgere il servizio, la cui ampiezza è funzione dell'immesso a mercato dei produttori/importatori aderenti a ciascun Sistema; le aree di copertura vengono assegnate facendo in modo che ciascun Sistema, pur tenendo conto delle diverse proporzioni, svolga una raccolta sull'intero territorio nazionale.

L'attivazione del servizio avviene mediante la sottoscrizione di una specifica Convenzione Operativa tra il CDCNPA ed il produttore del rifiuto, la cui categoria rientra tra le seguenti:

- a) **Centri di raccolta comunali**, presso i quali si trovano i rifiuti raccolti in maniera differenziata nell'ambito del servizio pubblico di gestione dei rifiuti urbani: le modalità di gestione del servizio sono regolate dall'Accordo di Programma siglato tra ANCI e CDCNPA;
- b) **Distributori**, ossia qualsiasi soggetto che, nell'ambito di un'attività commerciale, fornisce pile ed accumulatori portatili ad un utilizzatore finale e che ai sensi dell'art. 6, comma 4 del D.Lgs. 188/08 è dotato di idoneo/i contenitore/i per il conferimento da parte dei cittadini dei rifiuti di pile e accumulatori portatili;
- c) **Impianti di Trattamento RAEE**, ossia tutti gli impianti per il trattamento dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE), presso i quali è garantito il ritiro delle pile ed accumulatori portatili rimossi dai RAEE durante le fasi di lavorazione;

d) **Centri di Stoccaggio**, ossia gli impianti di recupero o messa in riserva, autorizzati ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. (Testo Unico Ambiente), in grado di ricevere pile e accumulatori portatili esausti, custodirli, conservarli e renderli disponibili per il ritiro da parte dei Sistemi Collettivi o Individuali del CDCNPA;

e) **Grandi Utilizzatori**, ovvero soggetti che, nell'ambito della propria attività professionale, sono produttori iniziali di rifiuti di pile ed accumulatori portatili, a condizione che abbiano una produzione di rifiuti pari ad almeno 400 kg/anno e garantiscano almeno un ritiro minimo singolo pari ad almeno 100 kg. Esempi meramente illustrativi di Grandi Utilizzatori sono: Ospedali, Musei, Aeroporti, Università, Uffici Pubblici, Caserme, a condizione che le pile esauste derivino dall'utilizzo all'interno delle apparecchiature presenti in uffici, laboratori etc. (i.e. computer, cellulari, telecomandi, ...);

f) **Centri di assistenza tecnica e/o di manutenzione**, ossia soggetti operanti nella sostituzione e manutenzione dei prodotti ritirati dalla propria clientela (sia domestica e che professionale). Tra di essi figurano anche i centri di riparazione e riuso, ossia strutture destinate al riutilizzo di beni in disuso come computer, elettrodomestici, componenti elettronici che producono rifiuti di pile e accumulatori portatili.

Nel **settore dei rifiuti di pile ed accumulatori industriali e per veicoli**, la raccolta viene svolta dai Sistemi Collettivi ed Individuali del CDCNPA in regime di libero mercato e nel pieno rispetto della normativa vigente.

Il servizio di ritiro viene effettuato presso tutti quei soggetti che detengono il rifiuto, quali officine meccaniche, autoricambi, elettrauto, grandi utenti (centrali elettriche, ospedali, aeroporti, etc.), i quali possono concordare direttamente con il produttore/importatore (obbligato per legge alla gestione del fine vita degli accumulatori immessi sul mercato) o con i Sistemi aderenti al CDCNPA le migliori condizioni operative ed economiche per ottimizzare le attività di raccolta.

Per qualunque soggetto produttore o detentore di rifiuti di accumulatori per veicoli e/o industriali che abbia necessità di disfarsene, il servizio di ritiro potrà quindi svolgersi nelle seguenti modalità alternative:

a) rivolgersi direttamente ad uno dei Sistemi Collettivi o Individuali aderenti al CDCNPA, il quale a seconda delle quantità e della tipologia del rifiuto potrà offrire un eventuale contributo economico;

b) rivolgersi al CDCNPA, utilizzando le funzionalità messe a disposizione tramite il portale web, ottenendo il ritiro gratuito del rifiuto.

Nel caso in cui non sia possibile ottenere il ritiro dal produttore/importatore e/o dai Sistemi di Raccolta, i seguenti soggetti possono, previa comunicazione al CDCNPA e successiva iscrizione al portale, avvalersi del servizio offerto dal CDCNPA:

a) Centri di raccolta comunali, presso i quali vengono ritirati rifiuti di accumulatori industriali e per veicoli raccolti in maniera differenziata nell'ambito del servizio pubblico di gestione dei rifiuti urbani (le modalità di gestione del servizio sono regolate dall'Accordo di Programma siglato tra ANCI e CDCNPA);

b) Artigiani, presso i quali vengono ritirati rifiuti di accumulatori derivanti dall'attività di sostituzione sui veicoli, sia per avviamento che per trazione (elettrauto, officine, ecc.). In questa categoria rientrano anche gli autodemolitori, che con la propria attività producono rifiuti di accumulatori d'avviamento e subordinatamente industriali (per trazione);

c) Industrie ed aziende, presso le quali vengono ritirati o mantenuti accumulatori industriali utilizzati nei processi produttivi e/o nei mezzi di trasporto aziendali (muletti, veicoli a trazione elettrica);

d) Grandi Utenti, presso i quali vengono ritirati o mantenuti accumulatori industriali prevalentemente utilizzati per la garanzia della continuità elettrica (Enel Telecom, ospedali, aeroporti, ecc.).

Il servizio di raccolta di accumulatori industriali e per veicoli è svolto per tutte le tipologie previste dal D.lgs. 188/08. Poiché nella pratica quotidiana le tipologie presenti sul mercato sono molteplici, il servizio di ritiro offerto dal CDCNPA prevede la distinzione nelle tipologie Piombo (Pb), Nichel-cadmio (Ni-Cd), Nichel-idruri Metallici (Ni-Mh), Litio (Li) e Altro.

Per maggiori informazioni relative alle Condizioni di Servizio del CDCNPA si rimanda al seguente link: [www.cdcnpa.it/normativa/condizioni-di-servizio](http://www.cdcnpa.it/normativa/condizioni-di-servizio)

## **2 Il Testo Unico Ambientale, la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti contaminati**

Il Testo Unico Ambientale (TUA), DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152, con le sue modifiche ed integrazioni, dedica la Parte Quarta, alla normazione della gestione dei RIFIUTI (Titolo IV) e alla gestione della BONIFICA DEI SITI INQUINATI (Titolo V).

Il TU prevede, tra l'altro, che il rifiuto pericoloso sia etichettato opportunamente e corredato del formulario di identificazione dei rifiuti, a cura del produttore dei rifiuti (articolo 188 del TUA) detto FIR. Il FIR deve seguire il rifiuto durante tutte le sue fasi di trasporto (articolo 193 del TUA). Ai fini della tracciabilità del rifiuto e della verifica di adempimento delle norme del TUA, il detentore delle discariche, il produttore del rifiuto e il trasportatore, devono compilare annualmente il Modello Unico di Dichiarazione Ambientale (MUD) da presentare alla Camera di Commercio, in quanto incaricata dal Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Mare e del Territorio (MINAMB). Presso i produttori di rifiuti è obbligatoria la tenuta del Registro di Carico e Scarico dei rifiuti.

I tempi di permanenza all'interno degli stoccaggi logistici della filiera del rifiuto, inclusi gli interporti (comma 12) sono determinati dall'articolo 193, dedicato al trasporto dei rifiuti.

Si richiamano di seguito i principali articoli applicabili alla nostra trattazione, a cui vanno aggiunte i disposti della Direttiva Batterie (Capitolo 7.2 di questo elaborato) e del Regolamento ADR (Capitolo 4.2 e Allegato 7A ). L'attribuzione del codice CER e HP viene trattata diffusamente al Capitolo 7.4.

L'articolo 178-bis tratta della Responsabilità estesa del produttore di rifiuti, laddove si debba intendere come tale:

*qualsiasi persona fisica o giuridica che professionalmente sviluppi, fabbrichi, trasformi, tratti, venda o importi prodotti, nell'organizzazione del sistema di gestione dei rifiuti, e nell'accettazione dei prodotti restituiti e dei rifiuti che restano dopo il loro utilizzo." Specifici decreti emanati dal Ministero dell'Ambiente "possono prevedere altresì che i costi della gestione dei rifiuti siano sostenuti parzialmente o interamente dal produttore del prodotto causa dei rifiuti. Nel caso il produttore del prodotto partecipi parzialmente, il distributore del prodotto concorre per la differenza fino all'intera copertura di tali costi.*

L'articolo 187 vieta la miscelazione di rifiuti pericolosi aventi differenti caratteristiche di pericolosità ovvero rifiuti pericolosi con rifiuti non pericolosi, pur comprendendo delle deroghe.

L'Articolo 188 inquadra le responsabilità dei vari attori della filiera dei rifiuti, inclusi i produttori dei rifiuti e i detentori degli stessi, e della ripartizione dei costi della gestione dei rifiuti (comma 2):

*Comma 1.[...] Fatto salvo quanto previsto ai successivi commi del presente articolo, il produttore iniziale o altro detentore conserva la responsabilità per l'intera catena di trattamento, restando*

*inteso che qualora il produttore iniziale o il detentore trasferisca i rifiuti per il trattamento preliminare a uno dei soggetti consegnatari di cui al presente comma, tale responsabilita', di regola, comunque sussiste.*

L'articolo 193 tratta del trasporto dei rifiuti descrivendo, tra l'altro, i contenuti del FIR (comma 1):

*Comma 1. Per gli enti e le imprese che raccolgono e trasportano rifiuti [...]i rifiuti devono essere accompagnati da un formulario di identificazione dal quale devono risultare almeno i seguenti dati: a) nome ed indirizzo del produttore dei rifiuti e del detentore; b) origine, tipologia e quantità del rifiuto; c) impianto di destinazione; d) data e percorso dell'istradamento; e) nome ed indirizzo del destinatario.*

Il FIR<sup>22</sup> deve essere redatto in 4 esemplari, compilato, datato e firmato dal produttore o dal detentore dei rifiuti e controfirmato dal trasportatore. Le copie del formulario devono essere conservate per 5 anni. Una copia del formulario deve rimanere presso il produttore o il detentore e le altre tre, controfirmate e datate in arrivo dal destinatario, sono acquisite una dal destinatario e due dal trasportatore, che provvede a trasmetterne una al detentore. I FIR devono essere numerati e vidimati dagli uffici dalle Camere di commercio, industria, artigianato e agricoltura e devono essere annotati sul registro IVA acquisti (nel senso che deve essere registrata la fattura di acquisto del formulario con l'indicazione dei codici alfanumerici identificativi del blocco di formulari acquistato). La vidimazione dei predetti formulari di identificazione è gratuita e non è soggetta ad alcun diritto o imposizione tributaria.

L'emissione del FIR è a cura del Produttore del rifiuto, in caso di sua impossibilità l'emissione del documento può essere a cura del Trasportatore, rimanendo tuttavia in vigore le responsabilità del Produttore su quanto in esso dichiarato.

### **3 Caratterizzazione dei rifiuti di batterie al litio**

#### *3.1 Attribuzione del codice CER/HP ai rifiuti di batterie al Litio*

Il Produttore di un Rifiuto ha l'obbligo di attribuire di individuare e classificare la pericolosità del rifiuto, attribuendo ad esso il codice CER e la classificazione di pericolo HP.

##### *3.1.1 Codice CER e codice HP*

A partire dal 1 giugno 2015<sup>23</sup>, ai fini della codifica dei rifiuti (attribuzione del codice CER), si deve far riferimento esclusivamente al Catalogo Europeo dei Rifiuti, di cui alla Decisione 2014/955/UE. Dal 1 giugno 2015 deve altresì essere applicato il Regolamento 1357/2014/UE, che riscrive le caratteristiche di pericolo dei rifiuti (attribuzione delle *Hazard Phrase* – HP, dove la lettera P rappresenta un numero). Tale Regolamento modifica consistentemente i criteri di classificazione dei rifiuti speciali, ovvero pericolosi, coordinandoli con le disposizioni contenute nel Regolamento 1272/2008 sulla classificazione, etichettatura e imballaggio delle sostanze e delle miscele (c.d. Regolamento CLP). La classificazione di pericolo è basata su dati oggettivi, quali: scheda dati di composizione chimica o analisi chimica.

---

<sup>22</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Formulario\\_di\\_identificazione\\_dei\\_rifiuti](https://it.wikipedia.org/wiki/Formulario_di_identificazione_dei_rifiuti)

<sup>23</sup> <https://www.to.camcom.it/codiciCER>

Il CATALOGO EUROPEO DEI RIFIUTI<sup>24</sup> è l'elenco dei codici di classificazione dei rifiuti (Codice Europeo del Rifiuto, CER) secondo la direttiva 75/442/CEE, che definisce il termine rifiuti nel modo seguente: "qualsiasi sostanza od oggetto che rientri nelle categorie riportate nell'allegato I e di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi". L'allegato I è denominato Elenco europeo dei rifiuti (*List of wastes*) e si applica a tutti i rifiuti, siano essi destinati allo smaltimento o al recupero.

I codici CER sono delle sequenze numeriche, composte da 6 cifre riunite in coppie (es. 03 01 01 scarti di corteccia e sughero), volte ad identificare un rifiuto, di norma, in base al processo produttivo da cui è originato. Il primo gruppo identifica il capitolo, mentre il secondo usualmente il processo produttivo. I codici CER sono 842.

L'elenco dei rifiuti riportato nella decisione 2014/955/UE è stato trasposto in Italia includendolo nell' allegato D alla Parte IV del Dlgs 152/2006 recante "Norme in materia ambientale", noto come "Testo Unico Ambientale" (TUA).

I codici CER si dividono in **non pericolosi e pericolosi**: i secondi vengono identificati graficamente con un asterisco "\*" dopo le cifre (Figura 2). In assenza dell'asterisco, il rifiuto non può comunque essere considerato non pericoloso.

E' il Regolamento (Ue) N. 1357/2014 Della Commissione del 18 dicembre 2014, che sostituisce l'allegato III della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, relativa ai rifiuti, che elenca le caratteristiche di pericolo per i rifiuti - Frasi HP.

|           |  |  |
|-----------|--|--|
| 11 02 05* | Rifiuti da processi idrometallurgici del rame, contenenti sostanze pericolose        | Rifiuti della lavorazione idrometallurgica del rame, contenenti sostanze pericolose        |
| 11 02 06  | Rifiuti da processi idrometallurgici del rame, diversi da quelli della voce 11 02 05 | Rifiuti della lavorazione idrometallurgica del rame, diversi da quelli della voce 11 02 05 |

Figura 10

La pericolosità di un rifiuto, quando non è determinabile dalle schede di sicurezza dei prodotti lo hanno generato o lo costituiscono, viene determinata tramite analisi di laboratorio volte a verificare l'eventuale superamento di valori di soglia individuati dalle Direttive sulla classificazione, l'etichettatura e l'imballaggio delle sostanze pericolose. Questo si applica alle tipologie di rifiuti individuati da "codici CER a specchio", ossia una coppia di diversi codici CER che si riferiscono allo stesso rifiuto, uno (asteriscato) nel caso in cui esso sia pericoloso e l'altro (non asteriscato) nel caso in cui non lo sia. Altri tipi di rifiuti, invece, sono necessariamente pericolosi o non pericolosi in base alla loro tipologia e pertanto la loro classificazione non richiede analisi. Ai rifiuti pericolosi va anche attribuita una classe di pericolosità indicata con la sigla HP, seguita da un numero da 1 a 15. La miscelazione di rifiuti con diversi codici CER o stesso codice CER ma diversa classe di pericolosità in fase di deposito temporaneo o trasporto è vietata.

I codici di pericolo H, hanno il seguente significato:

**H1 «Esplosivo»:** sostanze e preparati che possono esplodere per effetto della fiamma o che sono sensibili agli urti e agli attriti piu' del dinitrobenzene;

**H2 «Comburente»:** sostanze e preparati che, a contatto con altre sostanze, soprattutto se infiammabili, presentano una forte reazione esotermica;

**H3-A «Facilmente infiammabile»:** sostanze e preparati: - liquidi il cui punto di infiammabilita' e' inferiore a 21° C (compresi i liquidi estremamente infiammabili), o - che a contatto con l'aria, a temperatura ambiente e senza apporto di energia, possono riscaldarsi e infiammarsi, o - solidi che possono facilmente infiammarsi per la rapida azione di una sorgente di accensione e che continuano a bruciare o a consumarsi anche dopo l'allontanamento della

<sup>24</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Catalogo\\_europeo\\_dei\\_rifiuti](https://it.wikipedia.org/wiki/Catalogo_europeo_dei_rifiuti)

sorgente di accensione, o - gassosi che si infiammano a contatto con l'aria a pressione normale, o - che, a contatto con l'acqua o l'aria umida, sprigionano gas facilmente infiammabili in quantità pericolose;

**H3-B «Infiammabile»:** sostanze e preparati liquidi il cui punto di infiammabilità è pari o superiore a 21° C e inferiore o pari a 55° C;

**H4 «Irritante»:** sostanze e preparati non corrosivi il cui contatto immediato, prolungato o ripetuto con la pelle o le mucose può provocare una reazione infiammatoria;

**H5 «Nocivo»:** sostanze e preparati che, per inalazione, ingestione o penetrazione cutanea, possono comportare rischi per la salute di gravità limitata;

**H6 «Tossico»:** sostanze e preparati (comprese le sostanze e i preparati molto tossici) che, per inalazione, ingestione o penetrazione cutanea, possono comportare rischi per la salute gravi, acuti o cronici e anche la morte;

**H7 «Cancerogeno»:** sostanze e preparati che, per inalazione, ingestione o penetrazione cutanea, possono produrre il cancro o aumentarne l'incidenza;

**H8 «Corrosivo»:** sostanze e preparati che, a contatto con tessuti vivi, possono esercitare su di essi un'azione distruttiva;

**H9 «Infettivo»:** sostanze contenenti microrganismi vitali o loro tossine, conosciute o ritenute per buoni motivi come cause di malattie nell'uomo o in altri organismi viventi;

**H10 «Tossico per la riproduzione»:** sostanze e preparati che, per inalazione, ingestione o penetrazione cutanea, possono produrre malformazioni congenite non ereditarie o aumentarne la frequenza;

**H11 «Mutageno»:** sostanze e preparati che, per inalazione, ingestione o penetrazione cutanea, possono produrre difetti genetici ereditari o aumentarne l'incidenza;

**H12 Rifiuti che, a contatto con l'acqua, l'aria o un acido, sprigionano un gas tossico o molto tossico;**

**H13 «Sensibilizzanti» :** sostanze o preparati che per inalazione o penetrazione cutanea, possono dar luogo a una reazione di ipersensibilizzazione per cui una successiva esposizione alla sostanza o al preparato produce effetti nefasti caratteristici;

**H14 «Ecotossico»:** rifiuti che presentano o possono presentare rischi immediati o differiti per uno o più comparti ambientali. H15 Rifiuti suscettibili, dopo l'eliminazione, di dare origine in qualche modo ad un'altra sostanza, ad esempio a un prodotto di lisciviazione avente una delle caratteristiche sopra elencate.

A seguito della recentissima sentenza<sup>25</sup> della CORTE DI GIUSTIZIA UE Sez. 10<sup>a</sup>, 28/03/2019 numero C-487/17 a C-489/17, è stato stabilito che il produttore di rifiuti può utilizzare “campionamenti, analisi chimiche e prove previsti dal Regolamento (CE) n. 440/2008 della Commissione, del 30 maggio 2008, che istituisce dei metodi di prova ai sensi del regolamento (CE) n. 1907/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (REACH) o qualsiasi altro campionamento, analisi chimica e prova riconosciuti a livello internazionale.” Tale sentenza ravvicina ancora di più, e opportunamente, la gestione dei rifiuti pericolosi alla immissione in commercio e gestione delle sostanze/miscele e articoli pericolosi (Regolamento REACH e Regolamento CLP).

Per quanto riguarda le tecnologie al litio, attualmente non esiste un codice CER specifico per i rifiuti di batterie realizzate con il litio (pile o accumulatori o supercondensatori che siano), RAEE compresi. Il codice generico utilizzato per i rifiuti di batterie al litio è il **CER 16.06.05**, che identifica le “altre batterie”. E si tratta di un CER non asteriscato (cioè il rifiuto di batterie al litio non viene considerato pericoloso). Ma tali rifiuti, come più volte detto, sono classificati come Merce Pericolosa ai fini del trasporto<sup>26</sup>. Coerentemente, a parere della scrivente (CDB) non si può prescindere almeno dalla attribuzione di codici HP e, comunque, dalla introduzione di buone

---

<sup>25</sup> <https://www.codici-cer.it/>

<sup>26</sup> Si veda Capitolo 6d. per la trattazione completa dell'argomento

pratiche per la gestione in sicurezza di tale tipologia di rifiuto, all'interno degli impianti presenti nella filiera dei rifiuti.

### 3.1.2 Un caso studio

Nell'ambito delle prime attività di studio ed esecuzione di prove di abuso condotte in ENEA su celle lito-ione [2], al fine di gestire gli esperimenti in conformità alle norme di sicurezza e protezione dell'ambiente, ci si è confrontati anche con la gestione dei rifiuti di prova.

Sulla base di alcune ragionevoli considerazioni suggerite dalla applicazione del D.Lgs. 81/08 e sulla composizione chimica dei materiali utilizzati, senza ancora aver approfondito la normativa ADR specifica, si è ritenuto necessario che per le batterie danneggiate (aperte, rigonfie o con patine esterne di materiale liquido o solido) il conferimento presso i centri di raccolta dovesse essere effettuato con preventiva inertizzazione/messa in sicurezza del rifiuto, con lo scopo di prevenire rischio incendio ed esplosione e rischio di esposizione ad agenti chimici pericolosi per l'uomo e l'ambiente o ad agenti cancerogeni (in generale CMR).

Inoltre, si è concluso che "I luoghi e i contenitori ove sia avvenuto l'incidente (o l'esperimento) che ha portato al danneggiamento della batteria, vanno bonificati con le metodologie impiegate per la gestione di rischio chimico/cancerogeno e che le acque provenienti da spegnimento incendi o lavaggio dell'area vanno considerate anche esse come rifiuti pericolosi".

Per quanto riguarda l'attribuzione del codice CER, sono stati individuati alcuni Codici CER applicabili (Tabella 1), e, nel caso di incendio e/o esplosione chimica, è stata ipotizzata la produzione dei composti di combustione completa dei materiali che costituiscono queste batterie (Tabella 3) e la loro classificazione di pericolo ai sensi del Regolamento CLP (Tabella 4).

Si è inoltre ipotizzato che l'uso di agenti estinguenti produrrà una miscela di composizione data, in prima approssimazione, dall'estinguente + i prodotti di combustione e/o decomposizione.

Ne consegue una proposta di classificazione dei rifiuti (batterie Lito-ione e Pile al Litio), nelle varie condizioni di produzione, di cui in Tabella 4.

**Tabella 14. Codici CER applicabili**

| Gruppo CER | Codice CER e descrittivo   | Annotazioni   |
|------------|--|---|
| 06 04      | <b>rifiuti contenenti metalli, diversi da quelli di cui alla voce 06 03</b>  |   |
|            | 06 04 05*      rifiuti contenenti altri metalli pesanti  |   |
| 06 05      | <b>fanghi da trattamento sul posto degli effluenti</b>   | <i>Specifico per batterie Sodio-Zolfo</i>                                   |
|            | 06 05 02*      fanghi prodotti dal trattamento in loco di effluenti, contenenti sostanze pericolose  |   |
| 06 06      | <b>rifiuti della produzione, formulazione, fornitura ed uso di prodotti chimici contenenti zolfo, dei processi chimici dello zolfo e dei processi di desolforazione</b>  |   |
|            | 06 06 02*      rifiuti contenenti solfuri pericolosi   |   |
|            | 06 06 03      rifiuti contenenti solfuri, diversi da quelli di cui alla voce 06 06 02  |   |
|            | 06 06 99      rifiuti non altrimenti specificati   |   |
| 16 01      | <b>veicoli fuori uso appartenenti a diversi modi di trasporto (comprese le macchine mobili non stradali) e rifiuti prodotti dallo smantellamento di veicoli fuori uso e dalla manutenzione di veicoli tranne (13, 14, 16 06 e 16 08)</b> | <i>Adatto alla gestione di veicoli elettrici che hanno subito incidenti</i> |
|            | 16 01 21*      componenti pericolosi diversi da quelli di cui alle voci da 16 01 07 a 16 01 11, 16 01 13 e 16 01 14  |   |
| 16 02      | <b>rifiuti provenienti da apparecchiature elettriche ed elettroniche</b>   |   |



|              |  |  |   |
|--------------|--|--|---|
|              | 16 02 15*  | componenti pericolosi rimossi da apparecchiature fuori uso                             |   |
| <b>16 03</b> | <b>prodotti fuori specifica e prodotti inutilizzati</b>                |  |   |
|              | 16 03 03*  | rifiuti inorganici contenenti sostanze pericolose                                      |   |
|              | 16 03 04   | rifiuti inorganici, diversi da quelli di cui alla voce 16 03 03                        |   |
| <b>16 05</b> | <b>gas in contenitori a pressione e sostanze chimiche di scarto</b>    |  |   |
|              | 16 05 04*  | gas in contenitori a pressione (compresi gli Halon), contenenti sostanze pericolose    | <i>Estintori</i>  |
|              | 16 05 05   | gas in contenitori a pressione, diversi da quelli di cui alla voce 16 05 04            |   |
|              | 16 05 07*  | sostanze chimiche inorganiche di scarto contenenti o costituite da sostanze pericolose | <i>Residui di estinguenti</i>                                       |
| <b>16 06</b> | <b>batterie ed accumulatori</b>  |  | <i>Pile ed accumulatori al litio e al sodio ad alta temperatura</i> |
|              | 16 06 05   | altre batterie e accumulatori  |   |
| <b>16 10</b> | <b>rifiuti liquidi acquosi destinati ad essere trattati fuori sito</b> |  |   |
|              | 16 10 01*  | rifiuti liquidi acquosi, contenenti sostanze pericolose                                |   |
|              | 16 10 02   | rifiuti liquidi acquosi, diversi da quelli di cui alla voce 16 10 01                   |   |
|              | 16 10 03*  | concentrati acquosi, contenenti sostanze pericolose                                    |   |
|              | 16 10 04   | concentrati acquosi, diversi da quelli di cui alla voce 16 10 03                       |   |

**Tabella 15. Composizione chimica di una cella Litio-ione del peso di 1,1 kg (Fonte: dati del produttore)**

|  |                       | <b>Cella VL41M<br/>(1,1 kg)</b> |
|--|-----------------------|---------------------------------|
| <b>Sostanza chimica</b>  | <b>Composizione %</b> | Quantità (g)                    |
| Nichel   | 15,50                 | 170,50                          |
| Cobalto  | 2,70                  | 29,70                           |
| Litio  | 2,70                  | 29,70                           |
| Alluminio  | 12,70                 | 139,70                          |
| Grafite (Carbonio)   | 19,10                 | 210,10                          |
| Rame   | 15,50                 | 170,50                          |
| Materiali polimerici   | --                    | 11,00                           |
| Litio esafluorofosfato   | 4,00                  | 44,00                           |
| Vinylene Carbonato   | 4,00                  | 44,00                           |
| Carbonato di propilene   | 4,00                  | 44,00                           |
| Carbonato di etilene   | 4,00                  | 44,00                           |
| Carbonato di dimetile  | 4,00                  | 44,00                           |
|  | <b>TOTALE</b>         | <b>981,20</b>                   |
| Connettori, contenitori celle, contenitori batterie, elettronica di controllo, dispositivi scambio termico, ecc. |                       | 118,80                          |

**Tabella 16. Classificazione ed etichettatura delle sostanze chimiche presenti nella cella litio-ione (rif. Tab. 3)**

| Sostanza    | CAS   | Pittogrammi GHS | Avvertenza | Indicazioni di pericolo (H) | CMR  |   |
|-------------|---|-----------------|------------|-----------------------------|--|---|
| CATODO      | $\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$ | 193214-24-3     |            | Pericolo                    | H317, Cat. 1<br>H351, Cat. 2   | - |
|             | Nichel  | 7440-02-0       |            | Pericolo                    | Carc. 2; Skin Sens. 1; STOT RE 1; Aquatic Chronic 3; H351, H317, H372, H412<br>Fattore-M - Aquatic Acute: 1              | C |
|             | Cobalto   | 7440-48-4       |            | Pericolo                    | Flam. Sol. 1; Resp. Sens. 1; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 4; H228, H334, H317, H413                                     | - |
|             | Litio   | 7439-93-2       |            | Pericolo                    | Water-react 1; Skin Corr. 1B; H260, H314, EUH014   | - |
|             | Alluminio   | 7429-90-5       |            | Attenzione                  | H228, Cat. 2<br>H400, Cat. 1   | - |
| ANODO       | <b>Grafite (Carbonio)</b>                                     | 7782-42-5       |            | Attenzione                  | H319<br>H335   | - |
| CONNETTORI  | <b>Rame</b>   | 7440-50-8       |            | Attenzione                  | H410, cat. 1   | - |
| SEPARATORE  | <b>Materiali polimerici</b>                                   | -               | -          | -                           | -  | - |
| ELETTROLITA | <b>Litio esafluorofosfato</b>                                 | 21324-40-3      |            | Pericolo                    | H314, Cat. 1B  | - |
|             | <b>Vinylene Carbonato</b>                                     | 872-36-6        |            | Pericolo                    | H302, Cat. 4<br>H311, Cat. 3<br>H315, Cat. 2<br>H317, Cat. 1<br>H318, Cat. 1<br>H373, Cat. 2 - STOT RE 2<br>H411, Cat. 2 | - |
|             | <b>Carbonato di propilene</b>                                 | 108-32-7        |            | Attenzione                  | H319, Cat. 2   | - |
|             | <b>Carbonato di etilene</b>                                   | 96-49-1         |            | Attenzione                  | H315, Cat. 2<br>H319, Cat. 2<br>H335, Esposizione singola, Cat. 3  | - |
|             | <b>Carbonato di dimetile</b>                                  | 616-38-6        |            | Pericolo                    | H225, cat. 2   | - |

**Tabella 17. Proposta classificazione rifiuti provenienti da prove di abuso**

| Rifiuti provenienti da prove condotte su | Caratteristiche minima del rifiuto   |                                       |   |   |   |                             |  | NOTE |
|--|--|---------------------------------------|---|---|---|-----------------------------|--|------|
|  | Tipologia prova o trattamento  | Stato fisico                          | Composizione chimica o sostanze caratteristiche   | Classificazione CER                               | Codice indicazione di pericolo HP <sup>27</sup> | Caratteristiche di pericolo |  |      |
| Litio metallico                          | Prove incendio   | Liquido con residuo solido insolubile | Ossido di Litio, Litio metallico in tracce, ione Litio, acqua o residui di agenti estinguenti | H3-A  |   |                             |  |      |
|  | Guaste, danneggiate o a fine vita, integre   | Solido                                | "Altre batterie e accumulatori": batteria Litio-ione  | 16.06.05  |   |                             | Confezionare in modo da evitare cortocircuiti o contatti elettrici con altre batterie  |      |
| Batterie Litio                           | Dopo esplosione o cella aperta   | Solido                                | Miscela contenente i componenti della cella oppure<br>16 05 07*                               | 16.03.03 ?????<br>oppure<br>16 05 07*<br>16 05 06 | H3-A<br>H4<br>H5<br>H7<br>H13                   |                             | Da caratterizzare mediante analisi chimica quantitativa<br><br>16 05 76* <i>sostanze chimiche di laboratorio contenenti o costituite da sostanze pericolose, comprese le miscele di sostanze chimiche di laboratorio</i> |      |
|  | Dopo le Prove incendio e l'estinzione del fuoco;<br>& Materiali provenienti dalle operazioni di pulizia del set sperimentale | Liquido                               | Miscela contenente metalli pesanti + estinguente  | 19.01.11.????<br>oppure<br>16 05 07*              |   |                             | Da caratterizzare mediante analisi chimica quantitativa  |      |
| Pile al litio                            | Occorre considerare la composizione chimica delle pile al litio. Si veda Capitolo 1  |                                       |   |   |   |                             |  |      |

<sup>27</sup> Per il significato dei codici HP, si veda la Tabella a pagina 15.

### 3.2 *Attribuzione della categoria ADR e contenitori per il trasporto e per la raccolta dei rifiuti di batterie al Litio*

La trattazione completa delle disposizioni applicabili al Trasporto di batterie al litio e loro rifiuti è svolta al Capitolo 6d.

In Appendice 7A vengono riepilogate le istruzioni di imballaggio , marcatura, trasporto di batterie al litio giunte a fine vita e destinate al trattamento/riciclo o restituzione al produttore (nel caso di batterie danneggiate).

I contenitori per la raccolta dei rifiuti di batterie e dei RAEE sono scelti dal produttore dei rifiuti e possono essere diversissimi tra loro. In generale le specifiche per i contenitori sono quelle definite dall'ADR (vedi Capitolo 6d).

*Per quanto riguarda le **batterie portatili** al litio<sup>28</sup> (tra cui quelle contenute nelle AEE o nei dispositivi portatili come gli elettroutensili) esse possono avere una doppia provenienza: da raccolta urbana (B2C) o professionale (B2B). Nel primo caso le batterie al litio vengono raccolte insieme alle altre in un mix nel quale la loro presenza va statisticamente dal 2 al 4%. In sostanza sono così diluite nel mix da non rappresentare un problema reale, per cui si usano contenitori per la raccolta di tipologie molto varie senza particolari prescrizioni in merito alla sicurezza (tubi di plexiglass, piccoli contenitori di cartone di front office, fusti, ecc.).*

*Nel caso invece di raccolta B2B (centri di assistenza tecnica, aziende, impianti RAEE, ecc.) queste batterie, che possono anche accompagnarsi a piccole batterie industriali (vedi batterie da e-bike) possono anche essere raccolte/selezionate per chimica specifica, e quindi assumere concentrazioni in grado di innalzare il rischio associato. In questo caso è indicata la loro raccolta con modalità specifiche (ad esempio isolando i poli) e utilizzando contenitori che rispettino specifici requisiti sulla sicurezza, derivati sostanzialmente dalla normativa ADR.*

*Incidenti occorsi all'estero per stoccaggi inappropriati stanno spingendo da più parti per un tentativo di standardizzazione, soprattutto nelle modalità di gestione del rifiuto e del contenitore stesso, attraverso campagne informative specifiche. L'Associazione Europea EUCOBAT sta sviluppando, in proposito, delle linee guida per migliorare la gestione della sicurezza di filiera [3].*

---

<sup>28</sup> Mail di conversazione con Luigi De Rocchi, 21 giugno 2019

## 4 Problematiche di gestione del rischio nella filiera dei rifiuti di batterie al litio

A titolo di esempio, si citano le proiezioni sulla produzione di rifiuti di accumulatori al litio provenienti da dispositivi portatili, veicoli elettrici e da sistemi fotovoltaici (Figura 3), riguardanti l'Australia [4]. I calcoli partono dal 2016 (3340 T) e arrivano al 2036, con tre diverse ipotesi di crescita: bassa (circa  $100 \times 10^3$  T), alta ( $187 \times 10^3$  T) e migliore ( $137 \times 10^3$  T), cui corrisponde un tasso medio di crescita annuo del 20%.

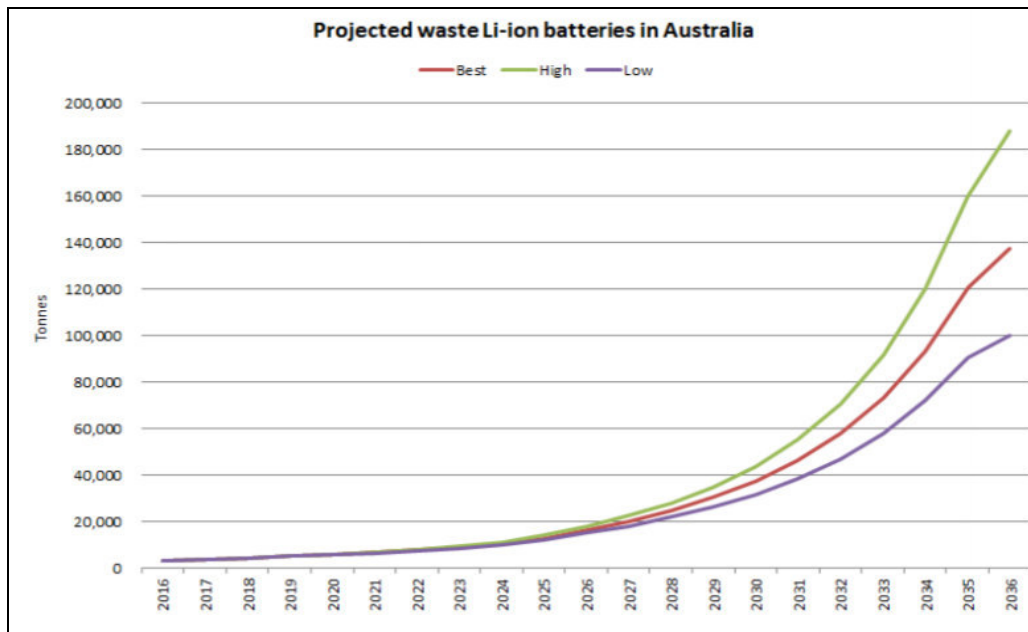


Figura 11

I pericoli associati alle batterie al Litio possono manifestarsi con probabilità e danni la cui entità è funzione della fase del ciclo di vita (produzione, trasporto, stoccaggio, utilizzo, rifiuto): essi coinvolgono sia i rifiuti che i dispositivi elettronici che le contengono (RAEE).

Il ciclo della gestione degli dei rifiuti coinvolge sia le apparecchiature elettroniche alimentate da accumulatori, che i veicoli e l'accumulo stazionario. Le fasi del ciclo includono: raccolta, trasporto stoccaggio, gestione del rifiuto e trattamenti chimico fisici per il recupero di materiali o l'incenerimento tout court.

In queste fasi si riscontrano rischi già visti in altre fasi del ciclo di vita come, ad esempio:

- un potenziale danno meccanico dovuto alla movimentazione di contenitori, scatole e pallet, mediante i carrelli elevatori: urto, taglio e penetrazione di punte possono portare a cortocircuito interno per deformazione plastica o perforazione con rilascio dell'elettrolita infiammabile. Il cortocircuito interno può evolvere nell' innesco del *runaway* della batteria. In entrambi gli scenari si può avere incendio e/o esplosione.
- l'esposizione a calore esterno può evolvere nel *venting* delle celle o nel loro *runaway*, con evoluzione di incendio e/o esplosione

Lo Stato di Carica (SOC) di LIB giunte a fine vita è generalmente basso e il rischio potrebbe sembrare trascurabile. L'esperienza smentisce questa affermazione, come risulta sia dalla casistica incidentale che dall'esperienza e da una attenta valutazione dei rischi.

Si citano, ad esempio, alcuni passi di una intervista a Brian Barnett [5] [6] che mette in evidenza i pericoli connessi alla filiera del rifiuto:

*The battery recycler's job is particularly challenging, says Brian Barnett, vice president of the technology-development company TIAX, based in Lexington, Mass. [...]."*

*In the European Union, containers of used lithium-ion batteries are filled with sand or the silicate material vermiculite to prevent the jumble of batteries from forming a circuit and sparking a fire en route to the recycler, explains Jean-Pol Wiaux, director general of the European Association for Advanced Rechargeable Batteries, in Brussels.*

*When they do arrive at a recycling facility, the batteries meet a fiery end in a 1000 °C smelter, which separates out half of the materials for reuse. Recyclers can then sell the released steel, aluminum, copper, and cobalt to manufacturers. Volatile components like the batteries' flammable electrolytes, the same stuff that can make accidental lithium-ion fires so explosive, pose little hazard at the smelter's high temperature, Wiaux says.*

*But toxic by-products can be a problem for recyclers that are unprepared for the challenge, he says. The California recycling company Toxco suffered a string of fires at its lithium-ion battery recycling plant outside Vancouver, B.C. It will be opening a new lithium-ion reprocessing center in Lancaster, Ohio, later this year.*

In merito alla casistica incidentale, pur rimandando il lettore ad una più completa trattazione effettuata nel Capitolo 5<sup>29</sup>, si ritiene opportuno richiamarne alcuni in questa parte (Figura 4), fornendo le osservazioni della scrivente (CDB) riportate in Tabella 5.



**Figura 12. Immagini di alcuni eventi incidentali occorsi tra il 2007 e il 2010: a. impianto di trattamento rifiuti chimici (2007); b. deposito presso un centro di riciclo batterie (2010); c. impianto di selezione e compostaggio rifiuti non pericolosi (2017); d. trasporto RAEE (2014); e. container RAEE presso deposito rifiuti (2015); f. trasporto RAEE (2014). Fonti: a, b, c<sup>30</sup>; d, e, f [7]**

<sup>29</sup> C. Di Bari e V. Puccia. Capitolo 5 “Analisi incidentali e best practices”.

<sup>30</sup> DB ARIA

**Tabella 18. Note e discussione degli incidenti di cui in Figura 4 (CDB)**

|    | Fonte      | Anno | Stato | Danni  | Innesco                                      | Note sull'incidente   | Azioni di Prevenzione rischi   |
|----|------------|------|-------|--|--|---|--|
| a. | ARIA 33986 | 2007 | UK    | Incendio di oltre 132000 litri di sostanze chimiche. | Attribuito alla combustione spontanea di LIB | <p>1. LIB stoccate all'interno di contenitori non idonei (contenitori per rifiuti sanitari)</p> <p>2. stoccaggio in prossimità di materiali incompatibili (liquidi infiammabili, rifiuti tossici, sostanze corrosive)</p> <p>3. assenza di segregazione/compartimentazione</p>  | <p>➤ Uso di contenitori idonei<sup>31</sup> (previsti ADR)</p> <p>➤ Stoccare lontano da sostanze incompatibili o reattive</p> <p>➤ Compartimentazione</p>  |
| b. | ARIA 38858 | 2010 | FR    | -  | combustione spontanea di LIB                 | <p>1. Inefficacia estintori a polvere</p> <p>2. propagazione del fuoco ad altre batterie adiacenti (Piombo, Mercurio, Ni-Cd)</p> <p>3. proiezione di proiettili ad oltre 200 m dal luogo di stoccaggio</p> <p>4. effetto proiettile delle LIB non considerato nella analisi di rischio dell'impianto</p> <p>5. L'acqua utilizzata per lo spegnimento dell'incendio, è stata pompata e conferita come rifiuto pericoloso: l'analisi chimica ha rilevato presenza di metalli pesanti, fenoli e PCB.</p>                                   | <p>➤ Scelta di adeguato sistema estinzione<sup>32</sup></p> <p>➤ Effettuare analisi dei rischi del sito</p> <p>➤ Includere "effetto proiettile" delle LIB nella analisi dei rischi</p> <p>➤ Procedura di bonifica delle aree contaminate a seguito eventi incidentali: RIFIUTI PERICOLOSI; raccolta acque scarico/fanghi; lavaggio (in presenza di vasche di contenimento o di canalizzazione acque) o impiego di solidi assorbenti in quantità massiccia; conferimento presso discariche autorizzate.</p> |
| c. | ARIA 50605 | 2017 | FR    | -  | Gli esperti hanno suggerito innesco da LIB   | <p>1. incendio iniziato da un container metallico contenente rifiuti da selezionare</p> <p>2. Alcune prescrizioni del Prefetto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LIB sono da considerarsi rifiuti pericolosi</li> <li>- divieto di accesso alla parte interessata, monitoraggio del sito;</li> <li>- valutare l'impatto ambientale dell'incidente;</li> <li>- rivedere la gestione delle acque (fossato di raccolta acque reflue intorno all'impianto; monitoraggio del livello; intervento in caso di trabocco)</li> </ul> | <p>➤ Le LIB- rifiuto sono classificati dall'ONU come merce pericolosa</p> <p>➤ Attribuzione codice CER non si sostituisce ad ADR: <u>ADR tiene le fila!</u></p>  |

<sup>31</sup> A titolo di esempio, si veda: <https://www.genius-group.de/en/products/genius-transport-containers/>

<sup>32</sup> A titolo di esempio, si veda: <https://www.genius-group.de/en/products/extinguishing-with-pyrobubbles/extinguishing-lithium-ion-fires/>

| Fonte | Anno | Stato                         | Container trasporto RAE               | Danni                                     | Innesco   | Note sull'incidente  | Azioni di Prevenzione rischi  |
|-------|------|-------------------------------|---------------------------------------|---|---|--|---|
| d.    | 2014 | CH                            | Container trasporto RAE su strada     |   | Gli esperti hanno suggerito innesco da LIB presenti nei RAE | <p>1. Per poter estinguere l'incendio, è stato necessario svuotare il camion e procedere con acqua, nello spazio antistante.</p> <p>2. I rifiuti erano trasportati alla rinfusa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La carica residua, in caso di cortocircuito, può dare luogo ad incendio</li> <li>- Il cortocircuito può essere provocato da: contatto tra i terminali; contatto con parti metalliche esterne (pareti del container, parti metalliche negli altri rifiuti); deformazione meccanica provocata dal peso degli altri oggetti, specialmente se di forma appuntita (nel qual caso si può avere anche perforazione).</li> </ul> | <p>Le pile al Litio scariche e le LIB, devono essere smaltiti in punti di raccolta separati</p> <p>Il trasporto non deve avvenire alla rinfusa</p> <p>Effettuare la separazione delle batterie dal dispositivo nel momento del conferimento presso un punto di raccolta</p> <p>Se non è possibile, confezionare adeguatamente il RAE per evitare il cortocircuito e danni meccanici</p>   |
| e.    | 2015 | CH                            | Container RAE presso deposito rifiuti | A tutto il container e a quello adiacente | LIB danneggiate   | L'incidente è avvenuto di domenica.  | <p>La modalità di stazionamento in discarica dei rifiuti di batterie al litio e di RAE che li contengono, condizionano le modalità di stoccaggio.</p> <p>Misure di prevenzione dei rischi sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o copertura del container;</li> <li>o protezione dalla radiazione solare e da altre fonti di calore;</li> <li>o protezione dal freddo estremo e dalla pioggia</li> <li>o Monitoraggio dei carichi</li> </ul> |
| f.    | 2014 | CH<br>autostada<br>per Merano | Container trasporto RAE su strada     |   | Gli esperti hanno suggerito innesco da LIB presenti nei RAE | Il trasporto dei RAE veniva effettuato "a cielo aperto".<br>I RAE erano misti e il trasporto era del tipo "alla rinfusa".  |   |



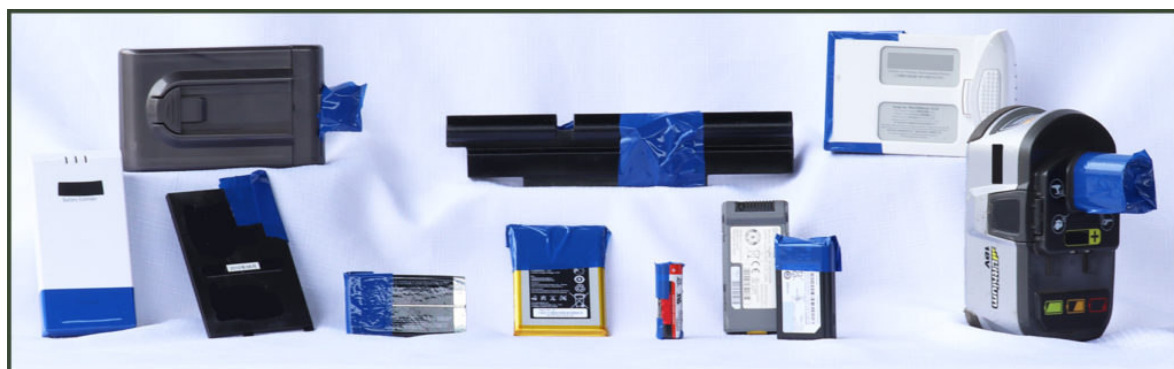
A livello internazionale, molti Stati, stanno adottando buone pratiche per la prevenzione dei rischi nella filiera dei rifiuti.

Il BARPI, sulla base delle informazioni di incidente (molto radicale in Francia) ha rilevato un aumento della vulnerabilità delle batterie giunte a fine vita, e ha fornito indirizzi precauzionali per la filiera dei rifiuti (Paragrafo 4.1).

Negli USA, la casistica incidentale, ha portato il DOT ad introdurre numerose restrizioni nel trasporto di rifiuti di batterie al litio (Paragrafo 4.2), e fa riferimento ad un programma di raccolta differenziata, il Call2recycler.

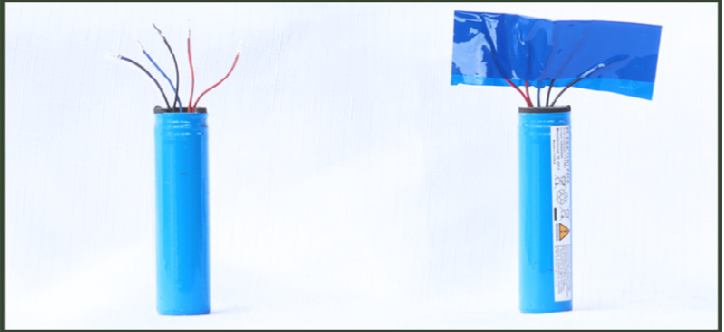

Nel documento reperibile sul sito web della organizzazione australiana *Battery Recycling* [8] si accede ad un documento che illustra brevemente le forme fisiche in cui si possono trovare accumulatori al litio di tipo domestico e come proteggerle da corto circuito (Figura 5) prima di conferirle, come rifiuto, in un centro di raccolta; il documento fornisce informazioni generali, per i diversi tipi di accumulatori (LCO, NMC, ecc.), sia sulle principali sostanze presenti che sul loro tasso di riciclabilità. In Tabella 7 si riassumono alcune indicazioni che interessano i vari attori della filiera dei rifiuti, dall'utente domestico ai centri di raccolta.

*Li-ion batteries come in many shapes and sizes as can be seen from the photo above which shows just a few of the possibilities. If you look closely you will see that the terminals of these batteries have been safely taped with blue tape to prevent short circuit and reduce the risk of fire.*



**Figura 13**

Tabella 19

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Identifying a li-ion battery</b></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Many Li-ion batteries look similar to lead acid batteries, and they are not always labelled with a chemistry symbol.</li> <li>- There are many different types of Li-ion battery and there are many other Li-ion chemistries under development as well.</li> </ul>                        |
| <p><b>Storage of used li-ion batteries in the home</b></p>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cover terminals with tape to prevent short circuit and minimise risk of fire</li> <li>- Discharge the energy from the battery if possible and safe</li> <li>- Store out of reach and stored out of each of children</li> </ul>  |
|  |    |
| <p><b>Legal requirements for collectors</b></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Li-ion batteries are classified as a dangerous good (Class 9).</li> <li>- Batteries must be packaged and transported in accordance with the Australian Dangerous Goods Code (ADG).</li> <li>- The export of Li-ion batteries requires a permit from the Australian Government.</li> </ul> |
| <p><b>Transport packaging labels required by the Australian Dangerous Goods Code</b></p> |   |
| <p><b>UN Number</b></p>  | <p>3480 (used batteries)<br/>3481 (contained in equipment)</p>   |
| <p><b>Health and safety</b></p>  | <p>Follow manufacturers' guidelines for safe handling and storage</p>  |
| <p><b>Packaging for transport</b></p>  | <p>The Australian Dangerous Goods Code (version 7.4) includes special provisions and packaging instructions for <b>used and damaged Li-ion batteries</b>.</p>  |

#### 4.1 Il documento del BARPI (FR): "Some points of vigilance and safety instructions"

Si riporta uno stralcio del documento originale [9] pubblicato dal BARPI nel 2018, includendo il riferimento agli incidenti analizzati, alcuni dei quali sono stati inseriti in Figura 4. I **grassetti** sono della scrivente (CDB):

[...]While lithium batteries and storage cells should be handled with caution during their period of use (see recent episodes of laptop battery explosion), their vulnerability and dangerousness are increased during collection, processing or recycling operations, particularly while this waste is being stored. This is due to:

- ☐ a diffuse stockpile which is difficult to assess: unknown charge status, diversity in the origin of batteries of different technologies;
- ☐ the handling, transport and storage operations could result in unforeseen mechanical impacts (ARIA 18298, 32208);

☒ *used batteries/storage cells are sometimes packaged less carefully than new products (stored in bulk, without dedicated packaging or in non-compliant packaging: ARIA 26812, 26812, 43482, 51459): this increases the risk of short-circuit and self-heating;*

☒ *damaged batteries/storage cells are particularly sensitive (movements, infiltration of water or air via wind, rain, dew, etc.);*

☒ *the risks of incompatibility are quite high in the case of storage with other waste (ARIA 40306);*

☒ *the effects of hazardous phenomena are multiplied during mass storage of batteries/storage cells (heat flow, smoke-generating capacity, projections and projectiles effect) (ARIA 38858). [...]*

***Lithium batteries and storage cells mixed with other waste: the new “needle in a haystack”***

*Beyond accidents in facilities dedicated to the processing of lithium batteries and storage cells, many events are related to such elements that pass through the “wrong system” and end up where they should not be.*

*Theoretically, batteries and storage cells should be removed from equipment that is no longer operational before being deposited at a collection point. However, the batteries are not always removed. Such batteries and storage cells are thus collected via the WEEE sector and not by the eco-organisations of the battery/storage cell sector. In addition, many lithium batteries (particularly smartphone batteries) are found in non-hazardous waste sorting/transit centres, often because private individuals dispose of them in household waste. These batteries and storage cells are a real challenge for sorting/transit centre operators because they are almost impossible to find in a waste heap. However, accidents can easily arise from contact of batteries and storage cells with flammable waste such as paper/cardboard and plastic.*

***Some points of vigilance and safety instructions (BARPI)***

***Transport:***

*? Precondition the lithium batteries and storage cells upstream from the collection circuit by 500organization them (immersion in saline water) or by protecting their terminals (ARIA 44320);*

*? Implement a protocol suitable for the transport of damaged lithium batteries and storage cells (ARIA 50152: handling at -20 °C to freeze the liquids inside).*

***Storage/Sorting/Processing:***

*? Train all parties in the specific risks (ARIA 44320);*

*? Raise awareness among players upstream (do not discard batteries and storage cells with general household waste, remove batteries and storage cells before they are brought to the collection point (ARIA 51459, 52020);*

*? Implement operating instructions to limit the risk of accidents during periods of reduced activity: manage the receiving times for better monitoring (ARIA 51459);*

*? Be particularly vigilant during handling to avoid drops, impacts (ARIA 18298, 32208);*

*? Take preventive measures and feedback into account for appropriate 500organization of storage facilities: safety distances from flammable materials (consider the risk of projectile effect), firewalls, isolation rules, sorting of batteries by type, consideration of the risk of incompatibility with other waste/products, vigilance on the nature of the containers used (avoid the introduction of water) (ARIA 40306, 26812, 32208, 33986, 38858). These preventive measures are all the more important when storage takes place in locations where the public is present (rubbish dumps);*

*? Provide the appropriate extinguishing agents (powder or sand for metal fires), adding water to a lithium fire can rekindle the flame and cause the release of flammable hydrogen (water remains necessary for cooling and to avoid the dispersion of toxic fumes) (ARIA 40306);*

*? Prevent the occurrence of degraded operating situations: do not delay processing (ARIA 40306), evacuate stocks of batteries and storage cells awaiting shipment to their processing site before reaching the maximum available capacity (ARIA 46675).*

## 4.2 Indicazioni del DOT (US)

Il DOT ha rilevato quanto segue [2]:

*“Già si contano esplosioni [10] presso impianti di riciclo di batterie Litio-ione, in siti di raccolta e nel corso del trasporto delle batterie esauste verso i centri di trattamento. A questo proposito, a seguito di incidenti con conseguenze gravi occorsi nel 2008-2009 durante il trasporto di batterie esauste, il DOT (U.S. Department of Transportation) ha emesso una lettera circolare [11], cui ha fatto seguito lo studio di norme specifiche [11]. Nella Lettera, il DOT ricorda che tutte le batterie sono considerati materiali pericolosi e quindi sono soggette all’HMR (Hazardous Materials Regulations: HMR, 49 CFR Parts 171-180) poiché presentano due tipi di pericolo: le **sostanze chimiche** che costituiscono le batterie/celle; **l’energia elettrica** in esse accumulata (in quanto la carica residua è sempre diversa da zero). Al fine di prevenire il corto circuito o il danneggiamento fisico delle batterie, raccomanda l’imballaggio singolo con materiali isolanti oppure la separazione di ogni batteria dalle altre o da altri materiali conduttivi e il loro imballaggio sicuro [12].”*

*“Per prevenire il corto circuito o il danneggiamento delle batterie (che corrispondono a due delle principale condizioni di rischio esplosione), le batterie o i cellulari vengono introdotti in un sacchetto di plastica e sigillate: i sacchetti sono posti all’interno dei contenitori di raccolta. Per i dispositivi o batterie più grandi, il consumatore è chiamato a isolarne i contatti con il nastro adesivo messo a disposizione dall’azienda stessa. Le scatole di raccolta vengono prelevate dall’UPS (una nota società di logistica) e trasportate ad un centro di smistamento RBRC e separate per composizione chimica. Da lì vengono smistate verso gli impianti di riciclo La legge americana sul trasporto di materiali pericolosi 49 CFR 173.185 specifica che le batterie Litio-ione esauste devono essere trasportate agli impianti di riciclo in Classe 9 UN, anche se con i terminali isolati con nastro adesivo.” [13]*

## 4.3 Indicazioni del MINAMB per la prevenzione dei rischi nella gestione dei rifiuti pericolosi (IT)

Il ministero dell’Ambiente e della tutela del territorio e del mare – Direzione generale per i rifiuti e l’inquinamento, il 21 gennaio 2019 ha emesso la Circolare [14] Prot. 0001121 recante: “Linee guida per la gestione operativa degli stoccaggi di impianti di gestione dei rifiuti per la prevenzione dei rischi”.

La spinta alla emanazione della Circolare è dovuta ai numerosi casi di incendio occorsi in Italia, presso impianti di trattamento rifiuti: pur non essendo specifica per i rifiuti di batterie al litio e RAEE che le contengono, essa è applicabile alla gestione dei rifiuti di batterie al litio, in quanto classificati come pericolosi ai fini dell’ADR e in quanto suscettibili di implementare il rischio di incendio ed esplosione all’interno della filiera dei rifiuti di batterie.

La circolare richiama il corpus normativo applicabile fornendo alcune indicazioni di carattere applicativo e trattando argomenti di grande importanza per gli obiettivi del presente lavoro, come: il contesto autorizzativo degli stoccaggi di rifiuti; la prestazione di garanzie finanziarie, la prevenzione del rischio negli impianti di gestione rifiuti; le prescrizioni generali da richiamare negli atti autorizzativi (ubicazione degli impianti, organizzazione e requisiti generali degli impianti, impianti tecnologici e sistemi di protezione e sicurezza ambientale); modalità di gestione(modalità ed accorgimenti operativi e gestionali, gestione delle emergenze); controlli ambientali.

Alla circolare è acclusa una check list di verifica generale di tali stoccaggi.

## 5 Problematiche di bonifica delle aree interessate da eventi incidentali

Come già rilevato al Paragrafo 3, la PARTE QUARTA del Testo Unico Ambientale, DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152, al Titolo V tratta della bonifica delle aree contaminate (acqua e suolo) e costituisce l'ambito normativo all'interno di cui integrare le seguenti note tecnico-scientifiche.

La bonifica delle aree interessate da eventi incidentali che hanno visto il coinvolgimento di batterie al litio, può essere correttamente impostata solo attraverso caratterizzazione chimico-fisica dei composti presenti nelle fasi solide e liquide dei residui da trattare.

In assenza di tale caratterizzazione, è possibile tenere in considerazione i dati di composizione chimica di massima delle batterie al Litio (vedi Capitolo 1), di ipotesi di lavoro come quelle effettuate nel Paragrafo 3.1.2 e di informazioni provenienti dagli studi in corso di pubblicazione in questo ultimo decennio. Occorre tenere conto della presenza di **nanomateriali**, la formazione di **fibre respirabili** di SiO<sub>2</sub> [15], [16], LFP (con azione del ferro) e LCO (con azione del cobalto) [17]; **composti organofluorofosfati** [18] quali il dimetilfluorofosfato (DMFO) e il dietilfluorofosfato (DEFP) la cui formazione avviene all'interno dell'elettrolita a seguito dei processi di invecchiamento e che risultano avere proprietà di tossicità acuta confrontabili con il Sarin (Figura 6); **metalli pesanti** [19] quali nichel, cobalto, piombo, cromo, tallio, rame tossici per l'uomo e per l'ambiente.

Le operazioni di bonifica potranno quindi avvenire, sempre in conformità alle norme del Testo Unico Ambientale, utilizzando, ad esempio, prodotti assorbenti per sostanze chimiche pericolose<sup>33</sup>, la raccolta del residuo solido in contenitori idonei al loro trasporto (Vedi ADR) e il successivo conferimento in discarica come rifiuto pericoloso. L'uso di acqua come agente estinguente o liquido di lavaggio successivo alla bonifica con assorbenti, ne comporta la raccolta quantitativa e il conferimento in discarica come rifiuto ugualmente pericoloso.

Si suggeriscono, infine, alcuni studi per approfondire le problematiche di caratterizzazione chimico-fisica dei residui da eventi incidentali: Buser e Mähliß [20]; Park, Kim e altri [21]; Helbig e altri [22]; Hu e altri [23]; l'articolo su Today, del 2012 [24].

Table 1. Toxicity data for dimethyl fluorophosphate (DMFP) and diethyl fluorophosphate (DEFP) compared to the nerve agent sarin (mus = mouse; ivn = intravenous, skn = skin; ihl = inhalation; n/a = not available).

| Compound | ivn-mus (LD <sub>50</sub> ) | skn-mus (LD <sub>50</sub> ) | ihl-mus (LC <sub>50</sub> )   |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Sarin    | 0.109 mg/kg                 | 1.08 mg/kg                  | 5 mg/m <sup>3</sup> /30 min   |
| DMFP     | 0.45 mg/kg                  | 36 mg/kg                    | 290 mg/m <sup>3</sup> /10 min |
| DEFP     | n/a                         | 35 mg/kg                    | 100 mg/m <sup>3</sup> /10 min |

Figura 14

<sup>33</sup> Si veda, ad esempio:

<https://info.serpac.it/hubfs/Cataloghi/2019/Catalogo%20Serpac%20Assorbitori%20Tecnici%20Aprile%202019.pdf>

## 6 Riferimenti bibliografici e collegamenti ipertestuali

1. Hartmut Stahl, Yifaat Baron, Diana Hay, Andreas Hermann, Georg Mehlhart (Oeko-Institut e.V.); Laura Baroni, Koen Rademaekers, Rob Williams, (Trinomics); Sandeep Pahal (Ernst & Young). “*Study in support of evaluation of the Directive 2006/66/EC on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators*”. Final Report. 8 October 2018. Under the Framework contract on economic analysis of environmental and resource efficiency policies ENV.F.1./FRA/2014/0063.
2. Cinzia Di Bari, Massimo De Francesco, PROCEDURA IN SICUREZZA DELL’APERTURA DI CELLE AL LITIO, Report RdS/PAR2013/193, Settembre 2014.
3. EUCOBAT: “SAFETY ADVISORY NOTES”. Draft, luglio 2019
4. <https://batteryrecycling.org.au/wp-content/uploads/2018/12/Waste-Lithium-Battery-Projections-FINAL-2016-19-07-1.pdf>
5. <https://spectrum.ieee.org/green-tech/fuel-cells/potential-hazards-at-both-ends-of-the-lithium-ion-life-cycle>
6. <https://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/trail-battery-recycling-fire-leaves-questions-1.805780>
7. M. Stengele: “Elektro- und Elektronikschrott mit Lithiumbatterien/Akkus”. Solenthaler Recycling AG, 9200 Gossau. 2015
8. <https://batteryrecycling.org.au/battery-types/lithium-ion-batteries-li-ion/>
9. “Used lithium batteries are not ordinary waste!”. FLASH ARIA del BARPI. Francia. September 2018
10. Exponent Failure Analysis Associates, Inc., “Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment”, Final Report, July 2011, Fire Protection Research Foundation. Pagina 81.
11. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration. “Hazardous Materials; Transportation of Lithium Batteries. Regulatory Impact Analysis, Regulatory Flexibility Analysis”. Docket No. PHMSA–2009-0095. June 2014
12. Gaines (CTR - Argonne National Laboratory), “Recycling of Li-Ion batteries”. University of Illinois, 15 novembre 2011
13. [http://www.call2recycle.org/wp-content/uploads/C2R257\\_5\\_Steps\\_Generic.pdf](http://www.call2recycle.org/wp-content/uploads/C2R257_5_Steps_Generic.pdf)
14. [https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/rifiuti/circolare\\_21\\_01\\_2019\\_s\\_toccaggi.pdf](https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/rifiuti/circolare_21_01_2019_s_toccaggi.pdf)
15. A. Bacaloni, M. A. Navarra, S. Insogna, L. Farina: “Sistemi di accumulo litio-ione di interesse automotive: studio sulla caratterizzazione chimico-analitica di sistemi Litio-ione, ex ante ed ex post prove di simulazione di incidenti”. RdS/PAR2017/247. Settembre 2018;
16. A. Bacaloni, M. A. Navarra, S. Insogna, G. Maresca: “Sistemi di accumulo litio-ione di interesse automotive: studio sulla caratterizzazione chimico-analitica di sostanze chimiche residue da prove di abuso”. Report RdS/PAR2016/245
17. Violaine Sironval e altri: “Respiratory hazard of Li-ion battery components: elective toxicity of lithium cobalt oxide (LiCoO<sub>2</sub>) particles in a mouse bioassay”. Archives of Toxicology (2018) 92:1673–1684. <https://doi.org/10.1007/s00204-018-2188-x>. 17 March 2018
18. Sascha Nowak and Martin Winter: “The Role of Sub- and Supercritical CO<sub>2</sub> as “Processing

Solvent” for the Recycling and Sample Preparation of Lithium Ion Battery Electrolytes”. *Molecules* 2017, 22, 403; doi:10.3390/molecules22030403

19. Daniel Hsing Po Kang, Mengjun Chen and Oladele A. Ogunseitan: “Potential Environmental and Human Health Impacts of Rechargeable Lithium Batteries in Electronic Waste”. *Environ. Sci. Technol.* 2013, 47, 5495–5503. dx.doi.org/10.1021/es400614y
20. Buser, M., and J. Mähliß. 2016. Lithium batteries fire and safety hazards efficient loss prevention and fire fighting. [https://www.riskexperts.at/fileadmin/downloads/Flyers/Lithium\\_Batteries\\_-\\_Fire\\_and\\_Safety\\_Hazards\\_Buser\\_Maehliß.pdf](https://www.riskexperts.at/fileadmin/downloads/Flyers/Lithium_Batteries_-_Fire_and_Safety_Hazards_Buser_Maehliß.pdf)
21. Yoo Jung Park, Min Kook Kim, Hyung Sik Kim & Byung Mu Lee (2018) Risk assessment of lithium-ion battery explosion: chemical leakages, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 21:6-8, 370-381, DOI: 10.1080/10937404.2019.1601815
22. Helbig, C., A. M. Bradshaw, L. Wietschel, A. Thoremz, and A. Tuma. 2018. Supply risks associated with lithium-ion battery materials. *J. Clean. Prod.* 172:274–86. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.122.
23. Hu, X., C. Zou, C. Zang, and Y. Li.: “Technological developments in batteries: A survey of principal roles, types, and management needs.” *IEEE Power Energy Magazine* 15:20–31, 2017. DOI:10.1109/MPE.2017.2708812.
24. Today. 2012. “Gases and causes in polymer cells”.  
[http://aabb.co.kr/cus/cus03.html?page=b\\_view&s\\_table=data&aq\\_id=72&aq\\_listnum=17&pg=](http://aabb.co.kr/cus/cus03.html?page=b_view&s_table=data&aq_id=72&aq_listnum=17&pg=)

## **Appendice 7A – Modalità trasporto ADR di rifiuti di batterie (sintesi informazioni Capitolo 6.d)**

- Batterie Classificabili come rifiuti (Tabella 7A.1 e 7A.2)
- RAEE contenenti batterie al litio (Tabella 7A.3)
- Batterie danneggiate o difettose (Tabella 7A.4 e 7A.5)
- Batterie danneggiate o difettose suscettibili di reagire (Tabella 7A.6 e 7A.7)

## BATTERIE CLASSIFICABILI COME RIFIUTO

Elementi e batterie litio ione e litio metallico e apparecchiature contenenti tali elementi e batterie trasportate per smaltimento o riciclaggio, imballate o meno con altre batterie non al litio, possono essere trasportate se conformi all'istruzione di imballaggio P909.










In quanto rifiuti, questi elementi e batterie **non** sono soggette alle prescrizioni della sezione 2.2.9.1.7 da (a) a (g) dell'Allegato A all'ADR.

Tabella 7A. 1

| P909   |  |   |  |
|--|--|---|--|
| 1. Elementi e batterie pienamente regolamentate  | 2. Elementi e batterie piccole esentate  | 3. Elementi e batterie contenute in apparecchiature (RAEE)  | 4. Elementi e batterie di peso lordo > 12 kg con involucro esterno robusto e resistente agli urti:   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Devono essere contenute nelle seguenti imballaggi omologati:<br/><b>Fusti</b> (1A2, 1B2, 1N2, 1H2, 1D, 1G);<br/><b>Casse</b> (4A, 4B, 4N, 4C1, 4C2, 4D, 4F, 4G, 4H2);<br/><b>Taniche</b> (3A2, 3B2, 3H2).</li> <li>▪ Gli imballaggi metallici devono essere dotati di un materiale di rivestimento elettricamente non conduttivo (ad esempio, plastica) di adeguata resistenza per l'uso previsto.</li> <li>▪ Gli elementi e le batterie devono essere assicurate all'interno dell'imballaggio esterno per evitare un eccessivo movimento durante il trasporto (es. utilizzando materiale di imbottitura elettricamente non conduttivo e non combustibile o un sacchetto di plastica chiuso ermeticamente).</li> <li>▪ Gli elementi e le batterie devono essere protette dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Possono essere imballati nelle seguenti modalità: In robusti imballaggi esterni, non omologati, fino a 30 kg di peso lordo</li> <li>▪ Gli imballaggi metallici devono essere dotati di un materiale di rivestimento elettricamente non conduttivo (ad esempio, plastica) di adeguata resistenza per l'uso previsto</li> <li>▪ Gli elementi e le batterie devono essere assicurate all'interno dell'imballaggio esterno per evitare un eccessivo movimento durante il trasporto (es. utilizzando materiale di imbottitura elettricamente non conduttivo e non combustibile o un sacchetto di plastica chiuso ermeticamente).</li> <li>▪ Gli elementi e le batterie devono essere protette dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Possono essere usati imballaggi esterni non omologati, realizzati in materiale idoneo, di adeguata robustezza e design in relazione alla capacità di confezionamento e al suo uso previsto.</li> <li>▪ Le apparecchiature possono anche essere presentate al trasporto non imballate o su pallet quando gli elementi o le batterie godono di una protezione equivalente da parte delle apparecchiature nelle quali sono contenute.</li> <li>▪ Gli elementi e le batterie devono essere protette dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Possono essere utilizzati imballaggi esterni non omologati, realizzati in materiale idoneo, di adeguata robustezza e design in relazione alla capacità di confezionamento e al suo uso previsto.</li> <li>▪ Gli elementi e le batterie devono essere assicurate all'interno dell'imballaggio esterno per evitare un eccessivo movimento durante il trasporto (es. utilizzando materiale di imbottitura elettricamente non conduttivo e non combustibile o un sacchetto di plastica chiuso ermeticamente).</li> <li>▪ Gli elementi e le batterie devono essere protette dai cortocircuiti (vedi § 2.5.1).</li> </ul> |



Tabella 7A. 2

|  |   |   |   |  |
|--|---|---|---|--|
| Istruzioni di imballaggio                  | <p><u>P909 (1)</u><br/>Elementi e batterie pienamente regolamentate</p>               | <p><u>P909 (2)</u><br/>Elementi e batterie piccole esentate</p>                       | <p><u>P909 (3)</u><br/>Elementi e batterie contenute in apparecchiature</p>         | <p><u>P909 (4)</u><br/>Elementi e batterie di peso lordo &gt; 12 kg con involucro esterno robusto e resistente agli urti</p> |
| Classe                                     | 9   | 9   | 9   | 9  |
| Numeri ONU/ Disposizioni speciali          | UN 3090 , UN 3480 377   | UN 3090 , UN 3480 377   | UN 3091 , UN 3481 377   | UN 3090 , UN 3480 377  |
| Imballaggio                                |    | <p>imballaggi esterni robusti fino a 30 kg di massa lorda</p>                         | <p>imballaggi esterni robusti non omologati anche non imballate o su palette</p>    | <p>imballaggi esterni non omologati , realizzati in materiale idoneo,</p>  |
| Gruppo di imballaggio                      | II  | n.a.  | n.a.  | n.a.   |
| Codice galleria                            | (E)   | (E)   | (E)   | (E)  |
| Categoria di trasporto                     | 2   | 2   | 2   | 2  |
| Marcatura                                  | <p>UN 3090 UN 3480</p> <p>BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO</p>                       | <p>UN 3090 UN 3480</p> <p>BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO</p>                       | <p>UN 3091 UN 3481</p> <p>BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO</p>                     | <p>UN 3090 UN 3480</p> <p>BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO</p>  |
| Etichetta sui colli (10x10 cm)             |   |   |   |    |
| Pannello su veicoli o container (25x25 cm) |  |  |  |   |

## RAEE CONTENENTI BATTERIE AL LITIO

Nell'ADR 2019 è stata **aggiornata la disposizione** speciale che regolava il trasporto di batterie da quello delle apparecchiature che le contengono, cosiddetti RAEE (Rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche) lasciando la disposizione speciale 636 a regolare le prime e introducendo una nuova disposizione speciale, la 670 per regolare i secondi.

### Introdotta SP 670 per RAEE contenenti batterie al Litio

Tabella 7A. 3

| Disposizione speciale 670 – ADR 2019  | Disposizione speciale 387 – ADR 2019   | Disposizione speciale 636 – ADR 2019   |
|---|--|--|
| <p>b) Gli elementi e le batterie al litio installate in apparecchiature provenienti dalle abitazioni private raccolti e consegnati per il trasporto per il disinquinamento, lo smantellamento, il riciclaggio o lo smaltimento <u>non sono soggetti alle altre disposizioni dell'ADR</u> quando:</p> <p>i. Esse non sono la principale fonte di alimentazione per il funzionamento dell'apparecchiatura in cui sono contenute;</p> <p>ii. L'apparecchiatura in cui sono contenute non contiene nessun altro elemento o batteria al litio utilizzata come fonte di alimentazione principale; e</p> <p>iii. Esse sono protette dall'apparecchiatura in cui sono contenute. Esempi di elementi e batterie incluse in questo paragrafo sono le pile a bottone utilizzate per l'integrità dei dati negli elettrodomestici (ad esempio frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie) o in altre apparecchiature elettriche o elettroniche.</p> <p>c) Fino agli impianti intermedi di trattamento gli elementi e le batterie al litio contenute in apparecchiature provenienti da abitazioni private che non soddisfano i requisiti di cui alla</p> | <p>4) La batteria deve essere testata come una batteria al litio metallico</p> <p>5) Sono assegnate alle rubriche UN 3090 o UN 3091</p> <p>6) Si applica la Disposizione Speciale 188 per le batterie piccole esentate nel caso:</p> <p>Batteria al Litio metallico: Li ≤1.5 g/batteria</p> <p>Batteria al Litio-ione: Energia ≤10 Wh/batteria</p> | <p>Si applica a elementi e batterie di consumo che vengono raccolte dai sistemi collettivi e avviati al primo impianto di trattamento intermedio in vista del successivo riciclaggio, anche insieme a elementi e batterie non al litio.</p> <p>Questa possibilità è riservata a elementi e batterie piccole, con le seguenti soglie di peso o capacità:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Litio ionico <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ elementi con Wh non superiore a 20 Wh</li> <li>▪ batterie con un peso non superiore a 500 g oppure batterie litio ione con Wh non superiore a 100 Wh</li> </ul> </li> <li>❖ Litio metallico <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ elementi contenenti non più di 1 g di litio e</li> <li>▪ batterie con un contenuto aggregato non superiore a 2 g di litio,</li> </ul> </li> </ul> <p>Questi elementi e batterie <u>non sono soggette ad altre disposizioni dell'ADR</u> quando sono soddisfatte le tre seguenti condizioni:</p> <p>iv. sono rispettate le disposizioni dell'istruzione d'imballaggio P909 ad eccezione delle</p> |

|   |  |
|---|--|
| <p>lettera (a) raccolti e consegnati per il trasporto per il disinquinamento, lo smantellamento, il riciclaggio o lo smaltimento <u>non sono soggetti alle altre disposizioni dell'ADR</u> se sono soddisfatte le seguenti condizioni:</p> <p>i. L'apparecchiatura è imballata conformemente all'istruzione di imballaggio P909, ad eccezione delle disposizioni sulla protezione da cortocircuito (disposizioni supplementari 1 e 2); oppure</p> <p>l'apparecchiatura è imballata in imballaggi esterni robusti, per esempio recipienti per la raccolta appositamente progettati che soddisfano i requisiti seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• gli imballaggi devono essere costruiti con materiali idonei e presentare una resistenza e un design adeguati in relazione alla capacità dell'imballaggio e all'uso previsto. Non è necessario che gli imballaggi siano omologati;</li> <li>• devono essere prese le misure appropriate per minimizzare il danneggiamento delle apparecchiature durante il riempimento e la manipolazione dell'imballaggio, per esempio utilizzare tappetini di gomma; e</li> <li>• gli imballaggi devono essere costruiti e chiusi in modo da evitare perdite di contenuto durante il trasporto, per esempio utilizzare coperchi, rivestimenti interni robusti, coperture per il trasporto. Le aperture progettate per il riempimento sono accettabili se costruite in modo da</li> </ul> | <p>prescrizioni 1 e 2;</p> <p>v. è attuato un sistema di qualità che garantisca che la quantità totale di elementi e batterie al litio per unità di trasporto non superi 333 kg;</p> <p>vi. i colli siano marcati "BATTERIE AL LITIO PER SMALTIMENTO" oppure "BATTERIE AL LITIO PER RICICLAGGIO" come appropriato.</p> <p>NOTA: La quantità totale di celle al litio e batterie nel mix può essere valutata mediante un metodo statistico incluso nel sistema di garanzia della qualità. Una copia dei documenti di garanzia della qualità deve essere messo a disposizione dell'autorità competente su richiesta.</p> |
|---|--|

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p>impedire la perdita di contenuto;</p> <p>iv. È adottato un sistema di garanzia della qualità per assicurare che la quantità totale di elementi e batterie al litio per unità di trasporto non superi 333 kg;</p> <p><b>NOTA:</b> <i>La quantità totale di elementi e batterie al litio nel dispositivo proveniente dalle abitazioni private può essere valutata mediante un metodo statistico compreso nel sistema di garanzia della qualità. Una copia delle registrazioni del sistema di garanzia della qualità deve essere messa a disposizione dell'autorità competente su richiesta</i></p> <p>v. I colli sono marcati con: "BATTERIE AL LITIO PER LO SMALTIMENTO" o "BATTERIE AL LITIO PER IL RICICLAGGIO", a seconda dei casi. Se il dispositivo contenente elementi o batterie al litio è trasportato non imballato o su pallets conformemente all'istruzione di imballaggio P909 (3) questo marchio può essere applicato in alternativa sulla superficie esterna dei veicoli o dei containers.</p> <p><b>NOTA:</b> <i>Per apparecchiatura proveniente da abitazioni private (domestico) si intende un'apparecchiatura che proviene dalle abitazioni private oppure che proviene da siti commerciali, industriali, istituzionali e di altro tipo che, per la sua natura e quantità, è simile a quello che proviene dalle abitazioni private. L'apparecchiatura che presumibilmente può essere utilizzata sia da privati che da utilizzatori diversi dai privati deve essere considerato, in ogni caso, un'apparecchiatura proveniente da abitazioni private.</i></p> |  |  |
|---|--|--|

## BATTERIE DANNEGGIATE O DIFETTOSE

Le batterie identificate come danneggiate o difettose<sup>34</sup>, devono essere trasportate secondo la disposizione speciale 376 e imballate secondo la P908 o LP904 a seconda dei casi











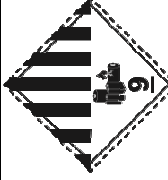
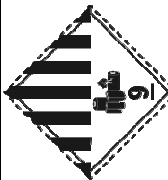


Tabella 7A. 4

| Disposizione speciale 376   | P908   | LP 904  |
|---|--|---|
| <p>Elementi o batterie litio ione e elementi o batterie litio metallico identificate come danneggiate o difettose, tali da non essere conformi al tipo testato secondo le disposizioni applicabili del Manuale delle prove e dei criteri, devono rispettare i requisiti della presente disposizione speciale.</p> <p>I criteri di identificazione di questa tipologia di elementi e batterie difettose e danneggiate, possono includere, ma non essere limitati a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementi o batterie identificati come difettosi per ragioni di sicurezza;</li> <li>• Elementi o batterie che hanno perso o sfiatato;</li> <li>• Elementi o batterie che non possono essere diagnosticate prima del trasporto; o</li> <li>• Elementi o batterie che hanno subito danni fisici o meccanici.</li> </ul> <p>Nel valutare una batteria come danneggiata o difettosa, il tipo di batteria e il suo precedente utilizzo e l'abuso devono essere prese in considerazione.</p> | <p>Questa istruzione si applica a elementi e batterie al litio ionico e al litio metallico danneggiate o difettose, comprese quelle contenute in apparecchiature dei numeri UN 3090, 3091, 3480 and 3481.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ I seguenti imballaggi sono autorizzati di gruppo di imballaggio II: <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Fusti</b> (1A2, 1B2, 1N2, 1H2, 1D, 1G);</li> <li><b>Casse</b> (4A, 4B, 4N, 4C1, 4C2, 4D, 4F, 4G, 4H1, 4H2);</li> <li><b>Taniche</b>(3A2, 3B2, 3H2).</li> </ul> </li> <li>▪ Ogni elemento o batteria o apparecchiatura contenente tali elementi o batterie deve essere imballata singolarmente in imballaggi interni e collocata all'interno di un imballaggio esterno. L'imballaggio interno o quello esterno devono essere stagni per impedire il rilascio potenziale di elettrolita.</li> <li>▪ Ogni imballaggio interno deve essere circondato da materiale isolante termico,</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ I seguenti grandi imballaggi omologati sono autorizzati per una singola batteria danneggiata o difettosa e per una singola batteria danneggiata o difettosa contenuta in un'apparecchiatura.</li> <li>▪ Per batterie e apparecchiature contenenti batterie: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acciaio (50A)</li> <li>• Alluminio (50B)</li> <li>• Metalli diversi da acciaio o alluminio (50N)</li> <li>• Plastica rigida (50H)</li> <li>• Legno Compensato (50D)</li> </ul> </li> <li>▪ I grandi imballaggi devono soddisfare il livello di prova del gruppo d'imballaggio II</li> <li>▪ La batteria danneggiata o difettosa o l'apparecchiatura contenente tali elementi o batterie deve essere imballata individualmente in un imballaggio interno e collocata all'interno di un imballaggio esterno. L'imballaggio interno o quello esterno devono essere a tenuta per impedire il rilascio potenziale di elettrolita.</li> </ul> |

<sup>34</sup> Possono essere destinate sia al riciclaggio che alla restituzione al mittente.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>I colli devono essere marcati, a seconda dei casi, con le seguenti diciture:</p> <p>“BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE” o “BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE”</p> <p>Il documento di trasporto deve contenere la seguente dicitura: “Trasporto secondo la disposizione speciale 376”.</p> | <p>non combustibile e non conduttore, sufficiente a proteggere contro un'evoluzione pericolosa di calore.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Imballaggi sigillati devono essere provvisti di uno sfiato, secondo il caso.</li> <li>▪ Devono essere adottate misure adeguate per minimizzare gli effetti delle vibrazioni e degli urti, impedire il movimento di elementi o batterie all'interno del collo che possano provocare ulteriori danni e rendere pericoloso il trasporto. Anche materiale di imballatura non combustibile ed elettricamente non conduttivo può essere utilizzato per soddisfare questo requisito.</li> <li>▪ La non combustibilità deve essere valutata in base a una norma riconosciuta nel paese in cui l'imballaggio è progettato o fabbricato.</li> <li>▪ Per elementi o batterie che perdono, nell'imballaggio interno o in quello esterno, deve essere aggiunto sufficiente materiale assorbente per assorbire il potenziale rilascio di elettrolita.</li> <li>▪ Un elemento o una batteria con massa netta di più di 30 kg, deve essere limitata a un elemento o batteria per imballaggio esterno</li> <li>▪ Elementi e batterie devono essere protetti dal corto circuito (vedi § 2.5.1).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'imballaggio interno deve essere avvolto da materiale termicamente isolante, non combustibile ed elettricamente non conduttivo, sufficiente ad evitare un pericoloso sviluppo di calore.</li> <li>▪ Imballaggi sigillati devono essere muniti di uno sfiato, secondo il caso.</li> <li>▪ Devono essere adottate misure adeguate per minimizzare gli effetti delle vibrazioni e degli urti, impedire il movimento delle batterie o dell'apparecchiatura all'interno del collo che possano portare a ulteriori danni e rendere pericoloso durante il trasporto. Anche materiale di imballatura non combustibile ed elettricamente non conduttivo può essere utilizzato per soddisfare questo requisito.</li> <li>▪ La non combustibilità deve essere valutato in base a una norma riconosciuta nel paese in cui l'imballaggio è progettato o fabbricato.</li> <li>▪ Per elementi o batterie che perdono, nell'imballaggio interno o in quello esterno, deve essere aggiunto materiale assorbente inerte sufficiente ad assorbire qualsiasi rilascio di elettrolita.</li> <li>▪ Elementi e batterie devono essere protetti dal corto circuito (vedi § 2.5.1).</li> </ul> |
|---|---|---|

Tabella 7A. 5

|  |  |  |
|--|--|--|
| Istruzioni di imballaggio                  | P908   | LP 906   |
| Classe                                     | Elementi e batterie difettose o danneggiate  | Elementi e batterie difettose o danneggiate  |
| Numeri ONU/ Disposizioni speciali          | 9<br>UN 3090 , UN 3091, UN 3480, UN 3481<br>376  | 9<br>UN 3090 , UN 3091, UN 3480, UN 3481<br>376  |
| Imballaggio                                |   |   |
| Gruppo di imballaggio                      | II   | II   |
| Codice galleria                            | (E)  | (E)  |
| Categoria di trasporto                     | 2  | 2  |
| Marcatura                                  |    <br>oppure<br>BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE<br>oppure<br>BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE |    <br>oppure<br>BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE<br>oppure<br>BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE |
| Etichetta sui colli (10x10 cm)             |   |   |
| Pannello su veicoli o container (25x25 cm) |    |    |

**BATTERIE DANNEGGIATE O DIFETTESE SUSCETTIBILI DI REAGIRE PERICOLOSAMENTE DURANTE IL TRASPORTO**







**Tabella 7A. 6**

| Disposizione speciale 376   | P911  | LP 906   |
|---|---|--|
| <p>Questi elementi e batterie difettose e danneggiate considerate "critiche", devono essere imballate e trasportate conformemente all'istruzione d'imballaggio <b>P911</b> o <b>LP906</b>, secondo il caso. Tuttavia, condizioni di imballaggio e/o di trasporto alternative possono essere autorizzate dall'autorità competente di una qualsiasi Parte contraente l'ADR.</p> <p>I criteri di identificazione di questa tipologia di elementi e batterie difettose e danneggiate, possono includere, ma non essere limitati a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementi o batterie identificati come difettosi per ragioni di sicurezza;</li> <li>• Elementi o batterie che hanno perso o sfiato;</li> <li>• Elementi o batterie che non possono essere diagnosticate prima del trasporto; o</li> <li>• Elementi o batterie che hanno subito danni fisici o meccanici.</li> </ul> <p>Nel valutare una batteria come danneggiata o difettosa, il tipo di batteria e il suo precedente utilizzo e l'abuso devono essere prese in considerazione.</p> <p>I colli devono essere marcati, a seconda dei</p> | <p>Gli imballaggi omologati di gruppo di imballaggio I, consentiti per elementi e batterie, comprese quelle contenute in un apparecchiature, sono i seguenti:</p> <p>Fusti (1A2, 1B2, 1N2, 1H2, 1D, 1G);<br/> Casse (4A, 4B, 4N, 4C1, 4C2, 4D, 4F, 4G, 4H1, 4H2);<br/> Taniche (3A2, 3B2, 3H2).</p> <p>Gli imballaggi devono poter soddisfare le seguenti disposizioni supplementari di prestazione:</p> <p>a) La temperatura della superficie esterna del collo completato non deve superare i 100°C. Un piccolo momentaneo di temperatura fino a 200° C è accettabile;</p> <p>b) Nessuna fiamma deve verificarsi al di fuori del collo;</p> <p>c) Nessun frammento pericoloso deve essere proiettato fuori dal collo;</p> <p>d) L'integrità strutturale del collo deve essere mantenuta;</p> <p>e) Gli imballaggi devono disporre di un sistema di gestione del gas (ad esempio sistema di filtraggio, circolazione dell'aria, contenimento per gas, imballaggi a tenuta di gas, ecc.), a seconda dei casi.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le disposizioni supplementari relative alle prestazioni dell'imballaggio devono essere verificate</li> </ul> | <p>I seguenti grandi imballaggi omologati sono autorizzati per una singola batteria danneggiata o difettosa considerata "critica" e per un singolo dispositivo contenente tale batteria:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acciaio (50A)</li> <li>• Alluminio (50B)</li> <li>• Metalli diversi da acciaio o alluminio (50N)</li> <li>• Plastica rigida (50H)</li> <li>• Legno Compensato (50D)</li> <li>• Cartone (50G)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gli imballaggi devono soddisfare il livello di prova del gruppo d'imballaggio I</li> <li>▪ I grandi imballaggi devono poter soddisfare le seguenti disposizioni supplementari di prestazione:</li> </ul> <p>f) La temperatura della superficie esterna del collo completato non deve superare i 100°C. Un piccolo momentaneo di temperatura fino a 200° C è accettabile;</p> <p>g) Nessuna fiamma deve verificarsi al di fuori del collo;</p> <p>h) Nessun frammento pericoloso deve essere proiettato fuori dal collo;</p> <p>i) L'integrità strutturale del collo deve essere mantenuta;</p> <p>j) Gli imballaggi devono disporre di un sistema</p> |



|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>casi, con le seguenti diciture:</p> <p>“BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE”</p> <p>“BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE”</p> <p>Il documento di trasporto deve contenere la seguente dicitura: “Trasporto secondo la disposizione speciale 376”.</p> | <p>mediante una prova specificata dall'autorità competente di una qualsiasi Parte contraente l'ADR che può anche riconoscere una prova specificata dall'autorità competente di un Paese che non è una parte contraente l'ADR a condizione che tale prova sia stata specificata conformemente alle procedure applicabili secondo il RID, l'ADR, l'ADN, il Codice IMDG o le Istruzioni Tecniche dell'ICAO.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Deve essere disponibile un rapporto di verifica su richiesta. Nel rapporto di verifica devono essere riportati, come requisiti minimi, il nome dell'elemento o della batteria, il numero dell'elemento o della batteria, la massa, il tipo, la quantità di energia degli elementi o delle batterie, l'identificazione dell'imballaggio e i dati secondo il metodo di verifica specificato dall'autorità competente.</li> <li>▪ Quando si utilizza ghiaccio secco o azoto liquido come refrigerante, si applicano le disposizioni della sezione 5.5.3. dell'ADR. L'imballaggio esterno devono mantenere la loro integrità alla temperatura del refrigerante utilizzato nonchè alle pressioni che potrebbero verificarsi in caso di perdita della refrigerazione.</li> <li>▪ Elementi e batterie devono essere protetti dal corto circuito (vedi § 2.5.1).</li> </ul> | <p>di gestione dei gas (ad esempio sistema di filtraggio, circolazione dell'aria, contenimento per gas, imballaggi a tenuta di gas, ecc.), a seconda dei casi.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le disposizioni supplementari relative alle prestazioni dell'imballaggio devono essere verificate mediante una prova specificata dall'autorità competente di una qualsiasi Parte contraente l'ADR che può anche riconoscere una prova specificata dall'autorità competente di un Paese che non è una parte contraente l'ADR a condizione che tale prova sia stata specificata conformemente alle procedure applicabili secondo il RID, l'ADR, l'ADN, il Codice IMDG o le Istruzioni Tecniche dell'ICAO.</li> <li>▪ Deve essere disponibile un rapporto di verifica su richiesta. Nel rapporto di verifica devono essere riportati, come requisiti minimi, il nome dell'elemento o della batteria, il numero dell'elemento o della batteria, la massa, il tipo, la quantità di energia degli elementi o delle batterie, l'identificazione dell'imballaggio e i dati della prova secondo il metodo di verifica specificato dall'autorità competente.</li> <li>▪ Quando si utilizza ghiaccio secco o azoto liquido come refrigerante, si applicano le disposizioni della sezione 5.5.3. dell'ADR. L'imballaggio interno e l'imballaggio esterno devono mantenere la loro integrità alla temperatura del refrigerante utilizzato nonchè alle temperature e alle pressioni che potrebbero verificarsi in caso di perdita della refrigerazione.</li> <li>▪ Elementi e batterie devono essere protetti dal corto circuito (vedi § 2.5.1).</li> </ul> |
|---|---|---|

Tabella 7A. 7

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>Istruzioni di imballaggio</b>                  | P911<br>Elementi e batterie difettose o danneggiate suscettibili di reagire pericolosamente durante il trasporto                                 | LP 906<br>Elementi e batterie difettose o danneggiate  |
| <b>Classe</b>                                     | 9  | 9  |
| <b>Numeri ONU/ Disposizioni speciali</b>          | UN 3090 , UN 3091, UN 3480, UN 3481<br>376   | UN 3090 , UN 3091, UN 3480, UN 3481<br>376   |
| <b>Imballaggio</b>                                |   |   |
| <b>Gruppo di imballaggio</b>                      | I  | II   |
| <b>Codice galleria</b>                            | (E)  | (E)  |
| <b>Categoria di trasporto</b>                     | 0  | 2  |
| <b>Marcatura</b>                                  | UN 3090 UN 3091 UN 3480 UN 3481<br>BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE<br>oppure<br>BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE | UN 3090 UN 3091 UN 3480 UN 3481<br>BATTERIE AL LITIO IONICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE<br>oppure<br>BATTERIE AL LITIO METALLICO DANNEGGIATE/DIFETTOSE |
| <b>Etichetta sui colli (10x10 cm)</b>             |    |    |
| <b>Pannello su veicoli o container (25x25 cm)</b> |   |   |

## Appendice 7.B – Gestione di rifiuti di batterie al litio: un caso studio

In Svizzera, i contenitori<sup>35</sup> possono essere acquistati o acquistati franco deposito –contenitori superiori ai 50l - presso INOBAT<sup>36</sup> o dai trasportatori associati. INOBAT è l'ente che gestisce la tassa di smaltimento anticipata, per conto dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) ovvero l'analogo del CDNCPA italiano.

Le immagini presentate provengono da una esperienza di gestione della Svizzera italiana<sup>37</sup>, e mostrano alcune indicazioni adottate per la gestione delle operazioni di raccolta dei contenitori negli ecocentri comunali, inclusa una proposta operativa per il riempimento dei contenitori conforme ai requisiti ADR e finalizzata alla prevenzione del rischio di cortocircuito esterno e di deformazione meccanica, nonché al contenimento di eventuali incendi o esplosioni. I rifiuti vengono classificati con il codice VEVA (<https://www.veva-online.ch/veva/selectionImpl/showWasteCodeTreeOriginCH.cmd>).

---

<sup>35</sup> [http://www.inobat.ch/it/Infomaterial/Materialbestellen.php?categories\[\]=254275254275](http://www.inobat.ch/it/Infomaterial/Materialbestellen.php?categories[]=254275254275)

<sup>36</sup> <http://www.inobat.ch/it/Batterierecycling/Ueberuns.php>

<sup>37</sup> M. Deyzel: "Formazione sulla sicurezza negli ecocentri comunali"






|  |   |
|--|---|
| 15/2/2018  | Ordinazione di materiale - inobat.ch  |
|   |   |
| Dimensione: 25 x 20 x 20 cm  | Quantitativo 1 <a href="#">Mettere nel carrello</a>                                 |
| <b>Fusto per la raccolta (piccolo)</b>   |   |
| <p>Il fusto in materia plastica con coperchio a vite per la raccolta e il trasporto di pile e accumulatori esausti. I punti di vendita ricevono gratuitamente il fusto di raccolta. Per i centri di raccolta volontari e privati: CHF 12.- al pezzo.</p>   |    |
| Altezza 26 cm, diametro dell'apertura 16 cm.   | Quantitativo 1 <a href="#">Mettere nel carrello</a>                                 |
| <b>Contenitore per le merci pericolose (120 l)</b>   |   |
| <p>Il contenitore grande per le merci pericolose, per la raccolta e il trasporto di pile e accumulatori esausti. Può essere richiesto a fronte di un deposito di 20 franchi ai <a href="#">trasportatori</a> attivi per INOBAT.</p>  |    |
| Altezza 80 cm, diametro dell'apertura 40 cm  |   |
| <b>Fusto in acciaio, di piccole dimensioni, per pile al litio (50 l)</b>   |   |
| <p>Il fusto ignifugo in acciaio, di piccole dimensioni, per la raccolta e il trasporto di pile al litio visibilmente danneggiate (rigonfie) o surriscaldate, così come per pile al litio utilizzate nelle attività di modellismo. Il fusto in acciaio può essere ordinato contro deposito (CHF 15.-) presso uno dei <a href="#">trasportatori</a> attivi per INOBAT.</p> |  |
| Altezza 51 cm, diametro dell'apertura 38 cm  |   |
| <b>Fusto in acciaio, di grandi dimensioni, per pile al litio (212 l)</b>   |   |
| <p>Il fusto ignifugo in acciaio, di grandi dimensioni, per la raccolta e il trasporto di pile al litio visibilmente danneggiate (rigonfie) o surriscaldate, così come per pile al litio utilizzate nelle attività di modellismo. Il fusto in acciaio può essere ordinato contro deposito (CHF 25.-) presso uno dei <a href="#">trasportatori</a> attivi per INOBAT.</p>  |  |
| Altezza 87 cm, diametro dell'apertura 57 cm  |   |

Figura 7B.1

|  |  |
|--|--|
|   | <p><b>Fusti di plastica 1H</b></p> <p>16 06 98 [rs]</p> <p>Miscele di pile e/o accumulatori "MISTE" con batterie al Litio Metallico (NON ricaricabili)</p> <p><b>Merci pericolose, informazioni ADR/SDR sulla lettera di vettura:</b></p> <p><b>UN 3090 BATTERIE AL LITIO METALLICO DI SCARTO, 9, (E)</b></p> <p>UN 3090 Adesivo della confezione + Etichetta di pericolo – 9A</p> <p>Non superare la quantità massima di riempimento di 333 kg.</p> <p>Controllare la data di scadenza del bidone (data di stampigliata + 5 anni)</p> |
| <p><b>Codice dei rifiuti (Veva)</b> <span style="float: right;"><b>16 06 98 (rs)</b></span></p> <p>Disponibili da raccolte di private ed aziende, con rifiuti elettronici (Swico, ...) Raccolta e trasporto in fusti/Bidoni di Plastica.</p> <p>Per trasporto NON superare la portata max. di 333kg come da ADR/SDR.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> |  |

Figura 7B.2. . Miscele di batterie miste + pile al litio e marcatura. Il codice VEVA è analogo al codice CER


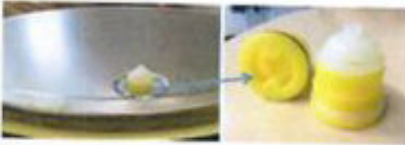



|  |  |
|--|--|
|   | <p><b>1A Fusti in acciaio</b></p> <p>16 06 97 [rs] Pile e accumulatori agli IONI di Litio "LI" (RICARICABILI)</p> <p><b>Merci pericolose, informazioni ADR/SDR sulla lettera di vettura:</b></p> <p><b>UN 3480 BATTERIE AGLI IONI DI LITIO DI SCARTO, 9, (E)</b></p> <p>UN 3480 Adesivo della confezione</p> <p>Non superare la quantità massima di riempimento di 333 kg.</p> <p>Il tamburo non deve essere danneggiato gravemente.</p> |
| <p>Il bidone / Fusto contiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Sacco</li> <li>➢ Vermiculite</li> </ul> <p>Codice VeVa            16 06 97<br/>     Numero ONU            UN 3480<br/>     Etichetta di pericolo    9A</p> |    |
|     |   |

Figura 7B.3 Fusti per rifiuti di accumulatori al litio e marcatura. Il codice VEVA è analogo al codice CER

|  |  |  |
|--|--|--|
|  | <p><b>Smontaggio delle batterie:</b></p> <p>Poiché le batterie sono spesso ancora cariche, è necessario fare attenzione ad evitare cortocircuiti, soprattutto durante lo smontaggio delle batterie al piombo e agli ioni di litio.</p> <p>I cortocircuiti possono causare ustioni e l'esplosione delle batterie. Questo può portare a incendi e ustioni. Quando si maneggiano batterie danneggiate o piene di acido, è obbligatorio indossare occhiali di protezione e guanti.</p> <p>Assegnare personale di smontaggio affidabile e addestrato separatamente. Se possibile, utilizzare utensili isolati.</p> <p>Rimuovere tutti i collegamenti dei cavi dalle batterie.</p> |  |
|  | <p><b>b. batterie secche miste e batterie ricaricabili al Litio "Li"<sup>+</sup></b></p> <p>Trasferire regolarmente le batterie raccolte nei contenitori appositi e divisi destinati al trasporto.</p> <p>Miste "secche" NON ricaricabili (vedi allegati)</p> <p>Al Litio "Li" ricaricabili (vedi allegati)</p>  |  |

Figura 7B.4 Rimozione batterie dai RAEE e gestione dello stoccaggio negli eco centri

**Proposta di imballaggio per il trasporto di accumulatori agli ioni di litio difettosi o danneggiati**

I fusti in acciaio per il trasporto di accumulatori agli ioni di litio vanno immagazzinati in un luogo assolutamente asciutto. Il fusto va immagazzinato sempre con il coperchio ben chiuso anche se non è ancora completamente pieno.



I poli dei singoli accumulatori agli ioni di litio vanno ricoperti con nastro adesivo per cautelarsi contro un possibile cortocircuito.



In alternativa o in aggiunta alla copertura con nastro adesivo è raccomandabile richiudere gli accumulatori agli ioni di litio in un sacco di plastica per cautelarsi contro un possibile cortocircuito.



In una prima fase il fusto in acciaio viene rivestito con l'inliner fornito insieme al fusto.



Dopo un primo strato di vermiculite, gli accumulatori agli ioni di litio già protetti contro possibili cortocircuiti vengono sistemati nel fusto in modo tale che non si tocchino tra loro.



Coprire con cura ogni strato di accumulatori agli ioni di litio con un nuovo strato di vermiculite. Ripetere questa procedura fino a quando il fusto è riempito.



Dopo l'ultimo strato di accumulatori agli ioni di litio si copre ancora una volta il tutto con la vermiculite.



Successivamente chiudere bene l'inliner. Per i fusti non completamente pieni l'inliner va tassativamente chiuso con una fascetta, per evitare che gli accumulatori agli ioni di litio possano "riemergere", anche solo parzialmente, in superficie.



Come ultima fase il fusto viene chiuso con il coperchio.

Figura 7B.5 Proposta di imballaggio per il trasporto, di accumulatori al litio



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



## RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

### Capitolo 6 A

## Prevenzione dei rischi: buone pratiche assemblaggio degli accumulatori e ruolo del BMS

Manlio Pasquali



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile





## Indice

|   |     |
|---|-----|
| INDICE .....  | 522 |
| SOMMARIO .....  | 523 |
| 1 INTRODUZIONE .....  | 524 |
| 2 DINAMICHE DI GUASTO ELETTRICO E LORO PREVENZIONE .....  | 524 |
| 2.1 DINAMICHE DI GUASTO ELETTRICO .....   | 524 |
| 2.2 LIVELLI DI PROTEZIONE DA GUASTO ELETTRICO E TERMICO.....  | 526 |
| 2.3 PREVENZIONE INTEGRATA NELLA CELLA .....   | 526 |
| 2.4 COSTRUZIONE DI UN PACCO BATTERIE – ASSEMBLAGGIO ELETTRICO.....  | 528 |
| 2.5 PREVENZIONE PASSIVA – IL CONTENITORE DELLE BATTERIE .....   | 528 |
| 2.6 PROTEZIONE ATTIVA - IL BMS.....   | 529 |
| 2.6.1 <i>Funzioni del BMS</i> .....   | 530 |
| 2.6.2 <i>Struttura ed interfacciamento di un BMS</i> .....  | 530 |
| 2.6.3 <i>Problemi relativi al montaggio di celle in parallelo e alla scelta dei punti di misura della temperatura..</i> | 531 |
| 2.6.4 <i>Celle in serie: la funzione di equalizzazione</i> .....  | 532 |
| 2.6.5 <i>Possibili malfunzionamenti del BMS ed integrazione di protezioni indipendenti</i> .....                        | 534 |
| 3 CONCLUSIONI.....  | 535 |
| 4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E COLLEGAMENTI IPERTESTUALI .....   | 535 |

## Sommario

Di seguito vengono brevemente introdotte le principali modalità di abuso elettrico a cui possono essere sottoposte delle batterie o delle celle elementari, in particolare nel caso delle celle al litio.

Per evitare l'abuso elettrico e per gestire correttamente un pacco di batterie si utilizzano diversi livelli di protezione/intervento, a partire dalla concezione della cella stessa, nella quale viene data attenzione ai materiali posti a contatto con l'ambiente esterno e si inseriscono anche dei sistemi di protezione quali valvole di sfogo e varie tipologie di sistemi di interruzione della corrente; un secondo livello è rappresentato dal contenitore di un modulo di celle, che è pensato per proteggerle e per permetterne la gestione termica, un terzo livello è costituito da un dispositivo denominato BMS (Battery Management System) che consiste in un microcontrollore e degli attuatori i quali permettono di controllare la corrente e le tensioni delle singole celle costituenti il pacco batterie oltre che di effettuarne la gestione termica.

## Introduzione

Tra le dinamiche di guasto che possono portare all'incendio o all'esplosione delle celle elementari che costituiscono un pacco batterie si distinguono quelle di natura elettrica.

Potendo funzionare la batteria sia da carico che da generatore elettrico, essa può andare incontro a fenomeni di sovratensione o al contrario di sottotensione (tensione inferiore a quella minima consentita per la cella) sovratemperatura o sottotemperatura ed essere soggetta a correnti impulsive o continuative, in carica ed in scarica, maggiori di quelle compatibili con un funzionamento in sicurezza.

Un pacco batterie è costituito da moduli, ed i moduli sono a loro volta costituiti da celle elementari poste in parallelo ed in serie tra di loro, un eventuale problema di natura elettrica può nascere sia nella cella elementare che nei moduli o nell'intero pacco.

La sicurezza del sistema viene garantita con diverse linee di difesa: la prima di esse consiste nel concepire celle elementari dotate di dispositivi che intervengono, lasciando uscire dei gas, interrompendo dei circuiti o aprendole completamente fino a distruggerle, in caso di cortocircuito o sovratemperatura.

Delle altre linee di difesa una è la costruzione di un contenitore delle batterie che sia in grado di garantirne l'isolamento elettrico, la protezione da agenti esterni (acqua e polvere per es.) e la gestione termica, segue poi l'adozione di un dispositivo, detto BMS, Battery Management System, che si occupa di supervisionare il comportamento dell'intero pacco, cella per cella, e di intervenire regolando le singole tensioni di lavoro, la corrente di batteria, le temperature, fino al caso estremo di interruzione del funzionamento.

Dato che il BMS può a sua volta andare incontro a malfunzionamenti si integra anche una protezione aggiuntiva costituita da relè termici, interruttori differenziali ecc.

## 2. Dinamiche di guasto elettrico e loro prevenzione

Di seguito vengono brevemente elencate le cause di un guasto elettrico, e si presentano successivamente le tecniche che servono a prevenirle o a minimizzare i danni che esse possono causare.

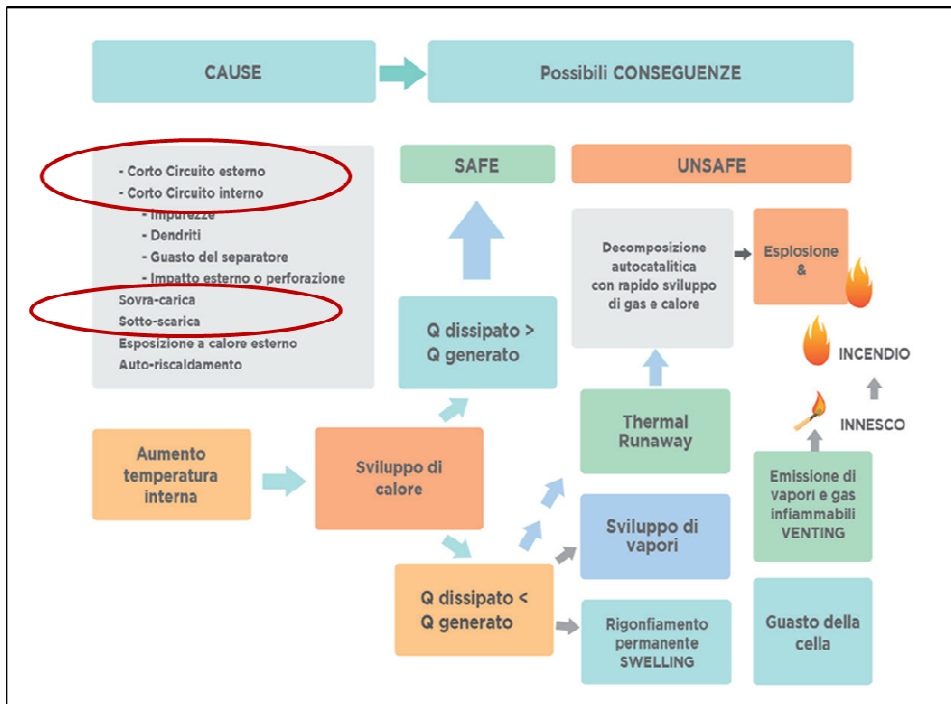
### 2.1 Dinamiche di guasto elettrico

La Figura 1. riporta le possibili cause di guasto di una cella elementare al litio, la cui evoluzione può portare anche all'incendio o all'esplosione della cella stessa: tra le cause sono evidenziate quelle legate all'abuso elettrico, ovvero ad un utilizzo non corretto della cella.

Il cortocircuito può avvenire all'esterno della cella, laddove la corrente trovi un percorso di richiusura a bassa resistenza tra i due poli, oppure all'interno della cella stessa a causa di un degrado della chimica.

Il sovraccarico può essere inteso in termini di corrente o di tensione: nel primo caso scorrerà per un tempo 'lungo' una corrente maggiore di quella che la cella può erogare o assorbire in condizioni di lavoro nominali, nel secondo sarà la tensione ad essere maggiore o minore di quella operativa.

La figura 2. riporta il data sheet di un particolare modello di cella in commercio (EIG 20 Ah)



**Abuso elettrico**

Figura 1. Dinamiche di guasto di una cella al Litio.

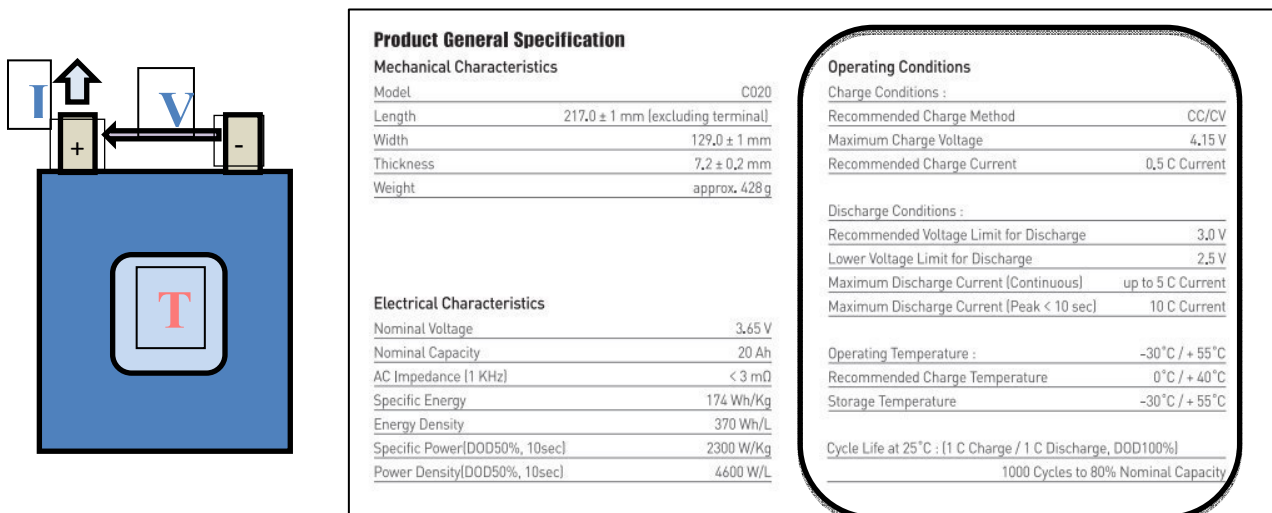


Figura 2. Data Sheet di una cella al litio e condizioni di lavoro operative

In figura 2. sono evidenziate le condizioni operative che garantiscono l'integrità della cella, la quale cella può essere vista, da un punto di vista esterno, come un componente caratterizzato da una tensione, una corrente erogata/assorbita, una temperatura di funzionamento.

Se le tre grandezze considerate possono essere misurate in ogni istante non così si può dire per lo stato di carica, che corrisponde alla quantità di carica presente nella batteria in un generico istante, messa in relazione con quella che può essere accumulata (capacità nominale o effettiva): essendo la carica l'integrale

della corrente che scorre ai capi della cella essa deve essere valutata numericamente, e la capacità nominale o effettiva può essere, in alcune chimiche, difficile da individuare, dipendendo essa sia dalla corrente di scarica che dalla temperatura.

Il problema della valutazione di una eventuale sovraccarica o sovrascarica di una cella non può quindi essere semplicemente ricondotto a quello della misura della tensione ai capi della stessa, richiede invece l'introduzione di un sistema di supervisione che possa eseguire misure e calcoli sofisticati.

## 2.2 Livelli di protezione da guasto elettrico e termico

Un sistema di accumulo, per quanto complesso possa essere, è sempre formato da un insieme di celle elementari collegate in vario modo tra di loro, ed un guasto ad una cella che possa eventualmente evolvere, per esempio in un incendio, può estendersi all'intero sistema.

La protezione del pacco batterie avviene quindi a tutti i livelli della sua costruzione, si protegge la cella sia operando sulle sue caratteristiche costruttive (chimica, contenitore) che inserendo in essa dispositivi di scarico della sovrappressione e di interruzione della corrente, si passa poi alla protezione del modulo, effettuata tramite contenitori adatti, per andare a quella dell'insieme dei moduli, effettuata tramite fusibili, interruttori, caratteristiche dell'ambiente che li ospita.

Un discorso a parte riguarda il BMS, il sistema di supervisione delle batterie costituito da un microcontrollore, che segue l'evoluzione della vita e delle condizioni di lavoro di ogni singola cella.

## 2.3 Prevenzione integrata nella cella

Un cella di batteria al Litio a non è concepita solo in funzione delle sue prestazioni, che vengono garantite da una certa tipologia di chimica, essa è progettata dal punto di vista meccanico in modo da resistere ad urti, abrasioni e sovrappressioni, e dal punto di vista elettrico a cortocircuiti e sovracorrenti.

Per fare questo l'involucro è provvisto di valvole che possano far uscire i gas che eventualmente si formano durante il funzionamento e/o di sistemi che in caso di sovracorrente o temperatura possano aprire, in modo reversibile o irreversibile, il circuito elettrico.

La figura 3 mostra le protezioni di una cella di tipo cilindrico 18650 [3].

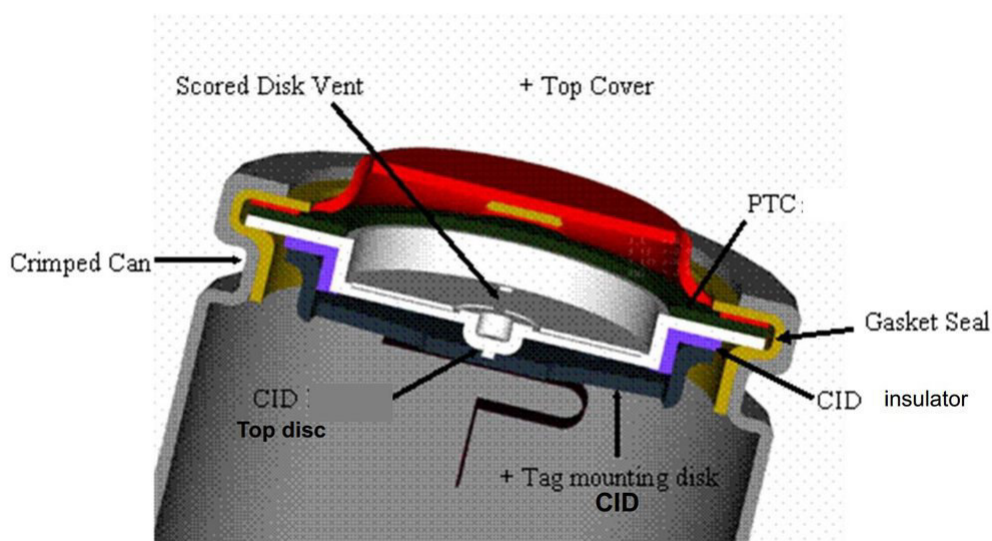
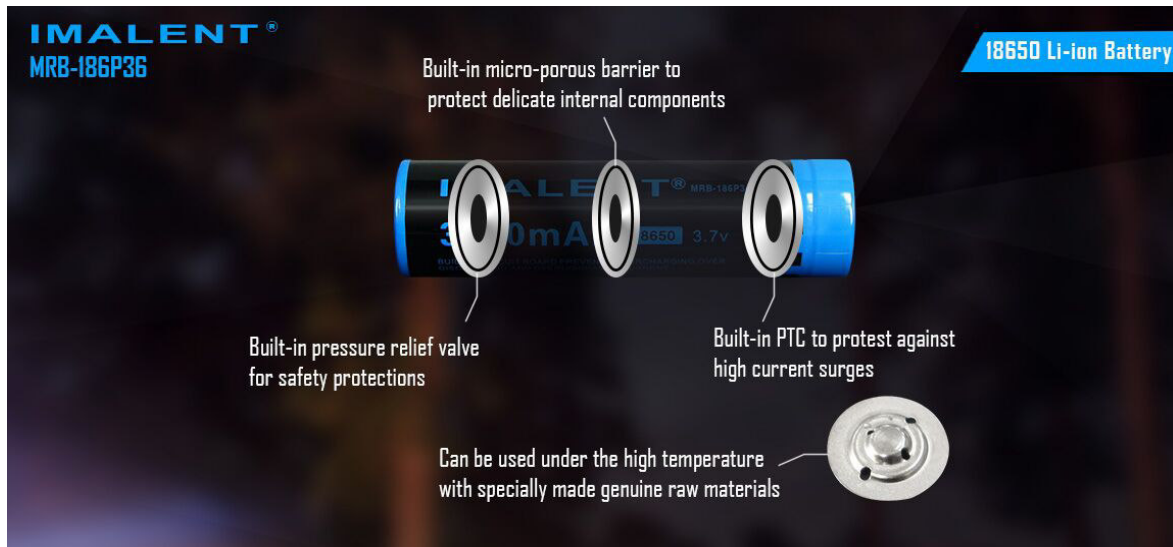


Figura 3. Protezioni di una cella al Litio 18650

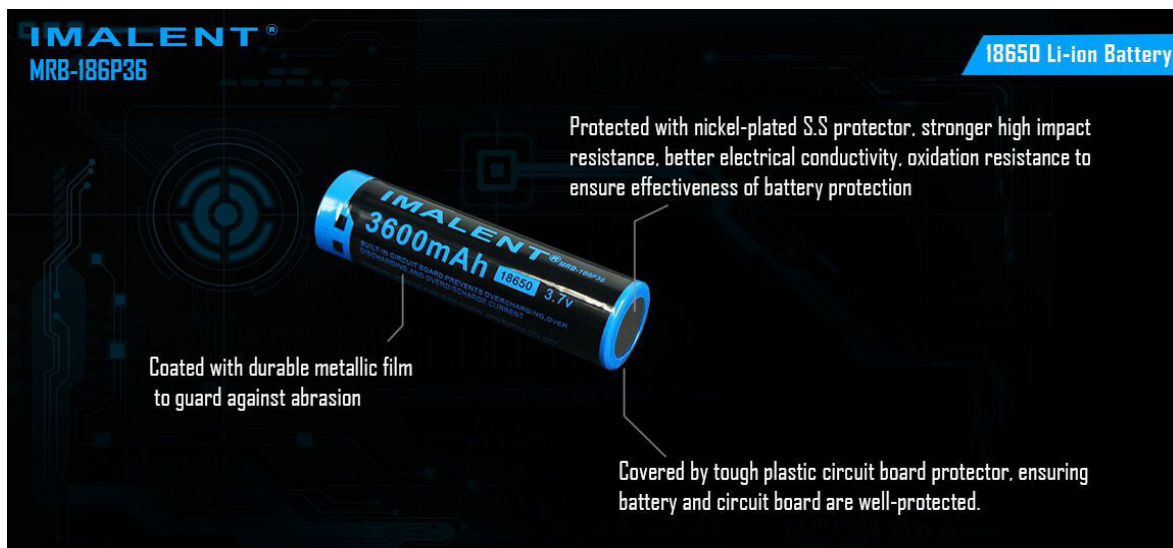
In Figura 3 le PTC sono delle resistenze variabili in funzione della corrente/temperatura: quando la corrente è superiore a quella consentita aumenta la resistenza fino all'apertura del circuito, quando la corrente diminuisce la resistenza torna ad essere trascurabile, il fenomeno è quindi reversibile.

Se all'interno della cella si dovesse verificare una sovrappressione allora interviene il dispositivo chiamato CID (Current Interrupt Device) la lamina in Figura 3 si deforma aprendo il circuito e creando nel contempo una via di uscita al gas che si è prodotto nella batteria.

In Figura 4 viene mostrata una cella 18650 di tipo commerciale mettendo in evidenza i sistemi di protezione attiva e le caratteristiche di resistenza agli agenti chimici e meccanici del contenitore [4].



a)



b)

Figura 4. Caratteristiche di sicurezza di una cella al Litio 18650 a) Dispositivi integrati b) Involucro

Per altre tipologie di celle al Litio sono previste soluzioni diverse sempre seguendo l'approccio di prevenire/limitare i danni derivanti da un abuso elettrico, termico o meccanico della cella.

## 2.4 Costruzione di un pacco batterie – assemblaggio elettrico

La figura 5 riporta la struttura delle connessioni elettriche di un generico pacco batterie.

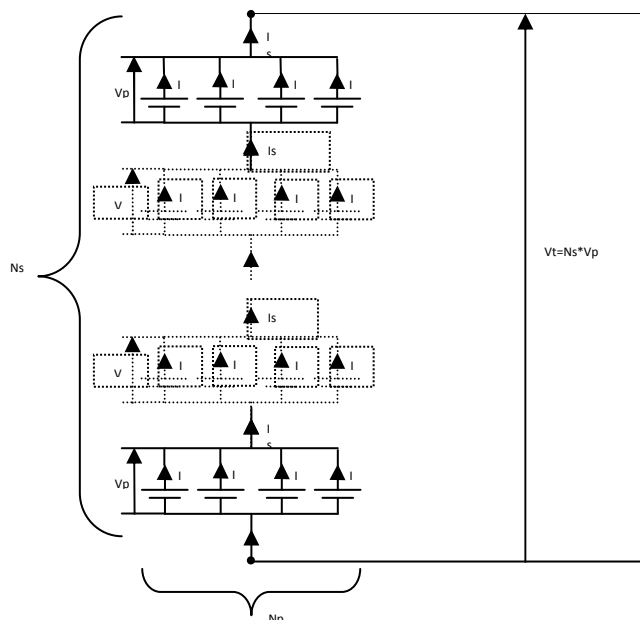


Figura 5. Struttura di un pacco batterie

Come detto esso è realizzato mettendo in parallelo ed in serie delle celle elementari idealmente identiche tra di loro, si sottolinea che il numero delle celle in parallelo deve essere identico per ogni gruppo dell'insieme. La capacità nominale del pacco è pari alla somma delle capacità delle singole celle poste in parallelo, anche la corrente nominale sarà la somma delle singole correnti nominali del gruppo in parallelo, mentre la tensione finale è data dalla somma delle tensioni parziali di gruppo.

Un certo numero di sottogruppi posti in serie costituiscono un modulo, la serie dei moduli il pacco batterie.

## 2.5 Prevenzione passiva – il contenitore delle batterie

La costruzione del pacco non si esaurisce nel realizzare il collegamento delle singole celle, va infatti data una grande attenzione alla realizzazione di un contenitore in grado di assicurare la sicurezza del sistema, in particolare il contenitore che consente di raccogliere le celle in moduli deve permettere un numero minimo di operazioni su di esse [1].

- 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 trasportabile<sup>1</sup>
- 7) Deve rispettare le normative di sicurezza vigenti

<sup>1</sup> Soprattutto in caso di contenitori per sistemi di accumulo stazionari



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

La Figura 6 mostra un contenitore di celle realizzato dalla Kokam per applicazioni che richiedono una grande potenza specifica. In Figura si vede come l'insieme sia realizzato con una concezione modulare, è stata data grande attenzione alla gestione termica delle batterie, prevedendo un raffreddamento liquido (le batterie lavorano in potenza e quindi generano molto calore), tutto l'insieme presenta una robustezza meccanica ed elettrica.



**Figura 6. Contenitore di celle Kokam**

## **2.6 Protezione attiva - il BMS**

Il BMS è un microcontrollore che assicura la corretta gestione del pacco batterie [2], esso può intervenire durante il normale funzionamento del sistema di accumulo per assicurare che lavori in modo ottimale, ed interviene in ogni caso in presenza di un potenziale pericolo.

Il BMS dispone di una serie di funzioni di base, obbligatorie per ogni modello in commercio, e di funzioni avanzate aggiuntive che variano di caso in caso.

### 2.6.1 Funzioni del BMS

Per la sua corretta gestione un pacco batterie richiede:

- ✓ La determinazione dello SOC complessivo
- ✓ La ricarica in sicurezza delle celle
- ✓ L'equalizzazione del pacco
- ✓ Il mantenimento del sistema nelle condizioni di lavoro raccomandate dal progettista (V,I,T)
- ✓ L'interruzione di corrente in caso di malfunzionamento o condizione operativa non gestibile in modo corretto
- ✓ Lo scambio di informazioni con l'esterno
- ✓ L'avviso di pericolo se una cella è in c.c.

Oltre a queste funzioni minime un sistema evoluto di gestione delle batterie può averne altre, di cui alcune costruite in modo specifico per una certa tipologia di batterie, struttura dei moduli, attuatori a disposizione per la refrigerazione, la gestione della corrente, lo scambio di informazioni con l'esterno ecc.

Alcune per esempio possono essere:

- Diagnostica (presenza di deformazioni, fumo nell'ambiente, problemi elettrici (case e BMS))
- Stato di salute, storico del monitoraggio celle
- Azionamento ventole, sistemi di sicurezza

ed altre ancora.

### 2.6.2 Struttura ed interfacciamento di un BMS

La Figura 7 mostra la struttura di un BMS commerciale: la maggior parte dei prodotti in commercio sono assimilabili a questa struttura, quelli che fanno eccezione devono comunque realizzare le stesse funzioni rese possibili da questa soluzione.

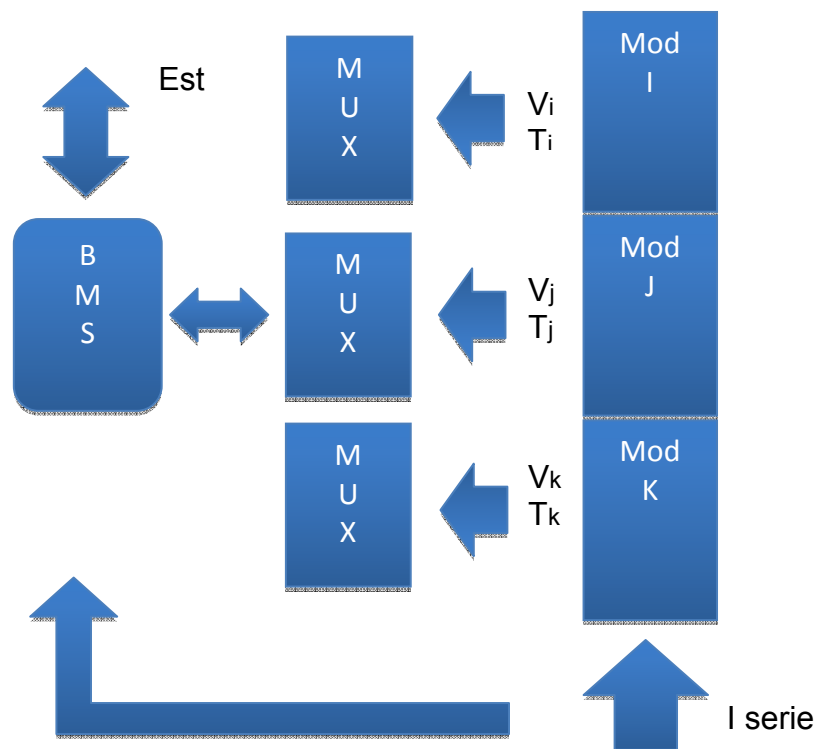


Figura 7. Struttura di un BMS commerciale

Il BMS è interfacciato con le batterie dai Mux, che costituiscono il sistema di acquisizione delle tensioni e temperature di cella; i Mux permettono anche di mettere in comunicazione due singoli gruppi di celle in parallelo per permettere l'equalizzazione delle tensioni (rendere uguali, a meno di uno errore massimo predefinito, le tensioni di ogni cella del pacco).

Il BMS, oltre che con le celle, è interfacciato con il mondo esterno tramite una linea di comunicazione ed altre soluzioni (per es. contattori): questo gli permette di scambiare le informazioni con altri supervisori, pilotare la corrente di ricarica delle batterie, aprire o chiudere il circuito esterno.

La Figura 8 schematizza i blocchi interni del controllore di un BMS automobilistico, i blocchi realizzano le funzioni di acquisizione dati e loro elaborazione, interfacciamento con l'esterno, il bilanciamento delle tensioni ecc.

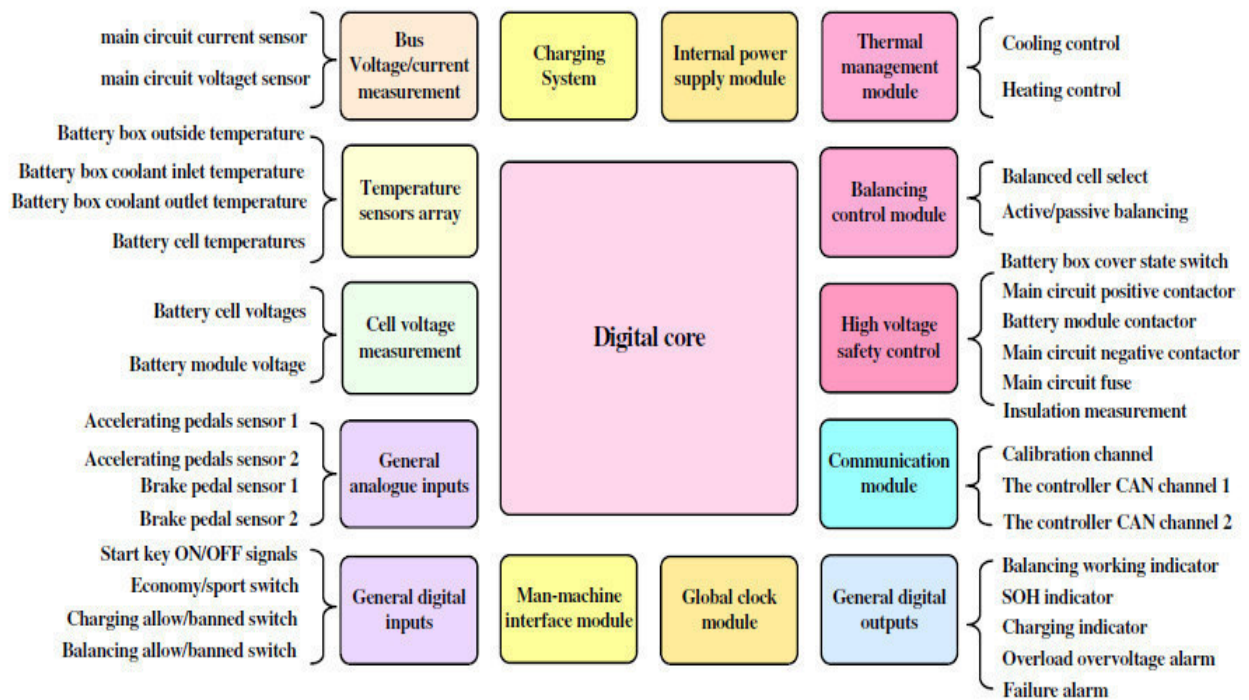


Figura 8. Struttura di un BMS per applicazioni automobilistiche

### 2.6.3 Problemi relativi al montaggio di celle in parallelo e alla scelta dei punti di misura della temperatura

In Figura 5 è stata mostrata la struttura di un generico pacco di batterie: qualora si voglia aumentare la capacità delle celle elementari è possibile montarne un certo numero in parallelo, ma questo, a meno di soluzioni particolarmente complesse e costose, comporta la perdita dell'informazione relativa alla corrente che scorre in ogni singola cella, come mostrato in Figura 9.

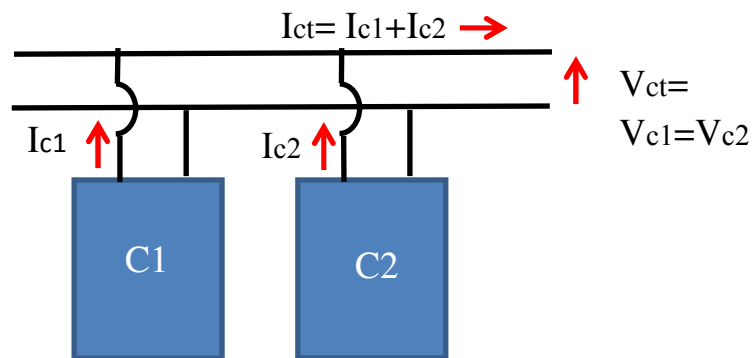


Figura 9. Celle in parallelo

Il BMS acquisisce la tensione delle celle e la corrente totale  $I_{ct} = I_{c1} + I_{c2}$  del gruppo in parallelo, ma perde l'informazione delle singole correnti di cella, potrebbe quindi, in prospettiva, non accorgersi di uno squilibrio tra le caratteristiche delle celle, sintomo di un degrado di una di esse: maggiore è il numero delle celle in parallelo minore sarà la possibilità da parte del BMS di intercettare i sintomi del degrado.

Un problema aggiuntivo è che il BMS non ha nessuna possibilità di intervenire in caso di cortocircuito interno ad un gruppo in parallelo, in quanto non è in grado di sezionare il relativo circuito.

Per quanto concerne le misure di temperatura, in genere il BMS è in grado di rilevare lo stesso numero di tensioni parziali e di temperature, quindi quelle di tutti i gruppi in parallelo, ma non sempre questa capacità viene sfruttata: di solito si preferisce prendere dei punti significativi del modulo/pacco batterie.

La scelta di monitorare solo dei gruppi rappresentativi di celle implica quella di poter perdere il comportamento anomalo di quelli lontani dai punti di misura.

#### 2.6.4 Celle in serie: la funzione di equalizzazione

Si considerino due celle poste in serie tra di loro come mostrato in Figura 10.

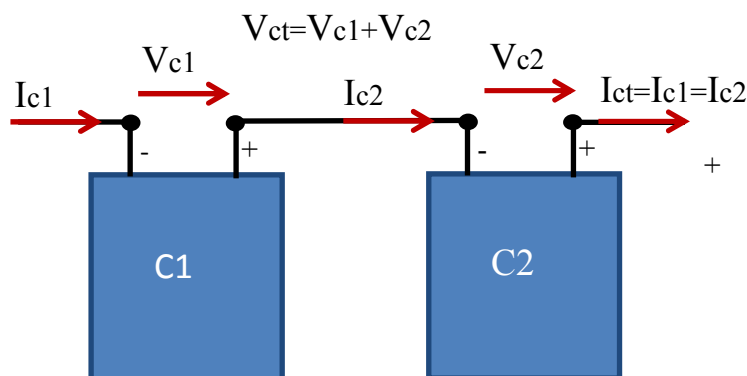


Figura 10. Celle in serie

Le celle, idealmente identiche tra di loro, in realtà presentano, per invecchiamento e/o tolleranze di lavorazione, due capacità diverse: in particolare con riferimento alla Figura 10, si supponga che la capacità C2 sia maggiore della C1.

Le celle saranno considerate scariche quando la loro tensione a vuoto corrisponde alla tensione minima operativa indicata nel Data Sheet, sono considerate cariche quando essa invece corrisponde alla massima.

In Figura 11 viene mostrata la situazione che si viene a creare quando si caricano o scaricano a corrente costante le due celle poste in serie.

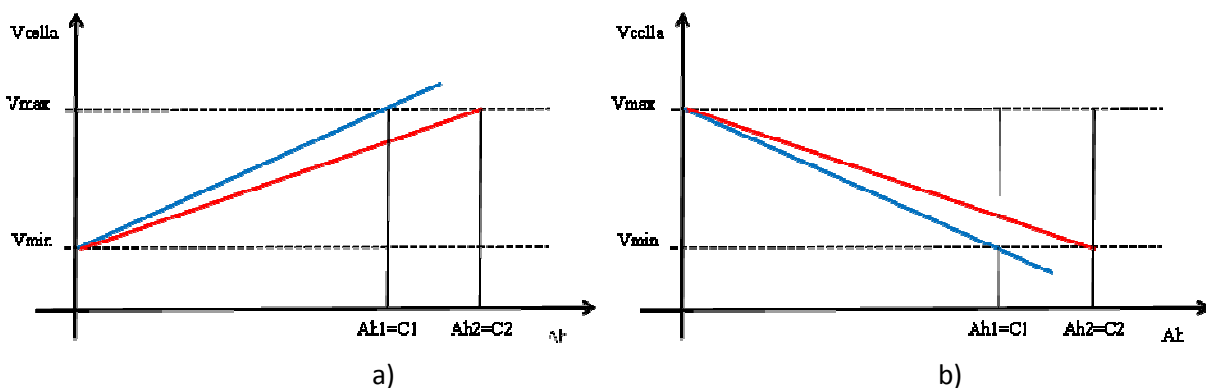


Figura 11. Problema della equalizzazione a) in carica b) in scarica

In Figura 11 a) la cella con capacità  $C1$ , a parità di carica ricevuta, arriverà alla tensione massima consentita prima della cella  $C2$ , ma a questo punto, non potendo il sistema superare  $V_{max}$  per la  $C1$  pena il suo danneggiamento, occorre interrompere l'operazione e lasciare quindi parzialmente scarica la  $C2$ , in Figura 11 b) è rappresentato l'analogo problema per la fase di scarica; a seconda delle chimiche il fenomeno illustrato potrebbe anche avvenire occasionalmente ed essere reversibile.

Per risolvere questo problema e sfruttare al massimo le potenzialità del pacco batterie occorre procedere alla equalizzazione delle tensioni parziali, ovvero renderle tutte uguali a meno di una tolleranza prestabilita. A seconda del modello di BMS l'equalizzazione può avvenire a fine carica, nelle fasi di pausa (non erogazione della corrente) o di funzionamento, ed essere passiva, ovvero dissipativa su resistenza, o attiva, ovvero si scarica una cella su un'altra o si utilizzano altre soluzioni che minimizzano la perdita di energia.

La Figura 12 presenta due possibili soluzioni circuitali per l'equalizzazione delle tensioni di cella.

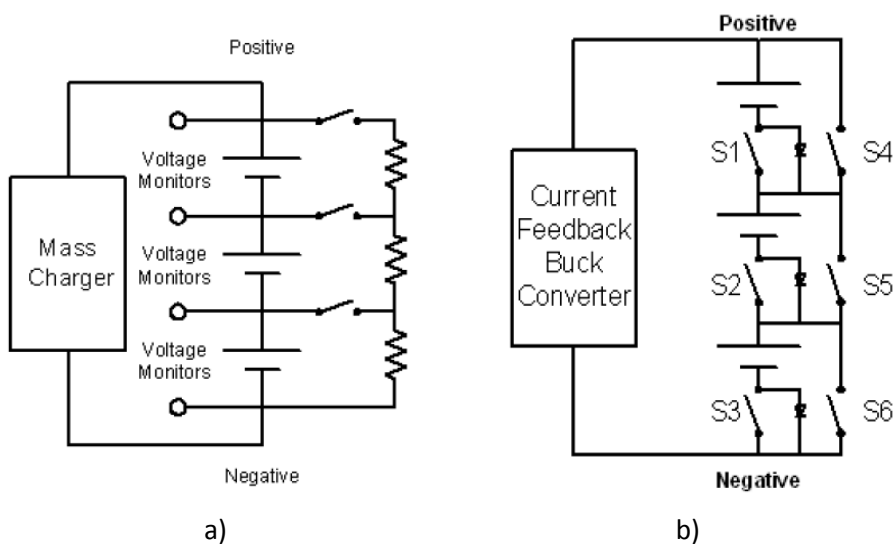


Figura 12. Schemi circuitali per la equalizzazione a) passiva b) attiva

Il problema della equalizzazione delle tensioni è molto sentito su pacchi batterie che possono presentare centinaia di collegamenti in serie di celle o gruppi di celle di alta capacità.

La scelta dei metodi da adottare, delle soglie di tolleranza delle tensioni parziali e della corrente massima di equalizzazione si traduce anche in quella del tempo che serve per eseguire l'operazione.

Nell'impostare le modalità di equalizzazione occorre anche considerare la chimica della cella: in Figura 13 sono comparate due caratteristiche di tensione a vuoto per due celle di chimiche diverse.

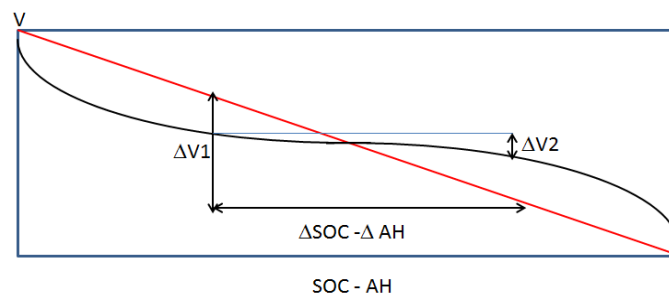


Figura 13. Caratteristiche a vuoto di chimiche diverse

Nel caso della cella con curva a tensione più piatta il problema, per ampie variazioni di SOC, è meno sentito, per contro sarà più difficile utilizzare la curva per stimare lo SOC, in questo caso la soluzione migliore è equalizzare solo a fine carica.

### 2.6.5 Possibili malfunzionamenti del BMS ed integrazione di protezioni indipendenti

Anche il BMS può essere soggetto a malfunzionamento, il malfunzionamento può a sua volta provocare o non provocare un blocco del sistema: nel secondo caso potrebbe insorgere una situazione di pericolo.

Tra i malfunzionamenti che possono portare al blocco del sistema si elencano i seguenti:

- ✓ Interruzione della catena interna di comunicazione
- ✓ Interruzione della catena esterna di comunicazione
- ✓ Perdita del controllo dei sistemi di gestione termica
- ✓ Malfunzionamento del sistema di equalizzazione
- ✓ Perdita del controllo della funzione di ricarica
- ✓ Spegnimento del BMS

Dal momento che il sistema si blocca si evitano situazioni di pericolo.

E' possibile invece che si verifichino situazioni in cui il sistema non si blocchi, creando un potenziale pericolo, alcune cause di errore potrebbero essere, ad esempio:

- ✓ Mancato rilievo temperatura di cella  
(perché i sensori sono montati a campione)
- ✓ Mancato rilievo temperatura di cella  
(malfunzionamento dei sensori – starati-montaggio errato)
- ✓ Lettura errata di una tensione di cella  
(malfunzionamento dei sensori – starati-montaggio errato)
- ✓ Lettura errata della corrente totale  
(nulla, oltre i limiti, in scala diversa dalla reale, sensore non tarato)
- ✓ Stima errata del SOC (SW scritto male, oppure non possibile reset SOC)
- ✓ Cortocircuito con mancato intervento delle protezioni (BMS e fusibili lenti)

La lettura errata di dati o la perdita di informazioni sulla temperatura di una cella potrebbero portare ad una fuoriuscita dal range di funzionamento ottimale del sistema come sintetizzato in Figura 14.

### Letture di dati errate

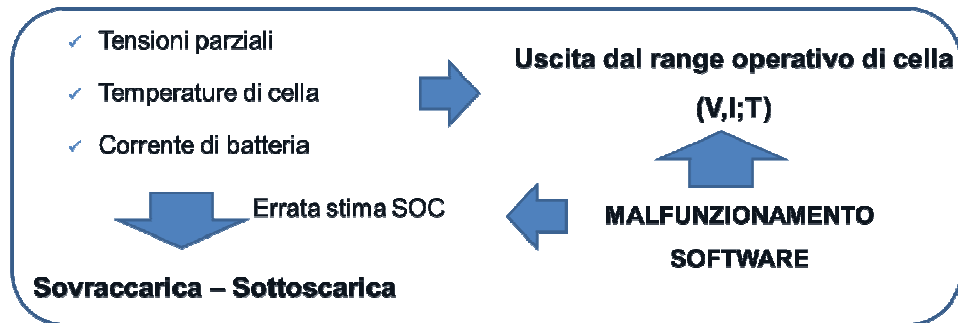


Figura 14. Conseguenze di una lettura errata delle grandezze di cella

Le soluzioni al problema potrebbero essere le seguenti:

- ✓ Protezioni fisiche (relè termici, fusibili, sistemi di apertura in cc integrati nelle celle)
- ✓ Algoritmi di rilievo di letture errate
- ✓ Ridondanza dei sistemi di misura e di controllo

Un sistema corretto di prevenzione del guasto elettrico e termico quindi dovrà utilizzare il coordinamento tra tre tipologie di protezioni, una passiva legata alla costruzione dei contenitori delle batterie ed anche, possibilmente, alle caratteristiche dell'ambiente in cui si opera, una attiva legata al BMS ed ad altri attuatori presenti nel contenitore, nel sistema batterie ed eventualmente nell'ambiente circostante, per esempio fusibili, ventole, sistemi di smorzamento dell'incendio.

### 3 Conclusioni

Sono state brevemente introdotte le principali cause di abuso elettrico su di una cella elementare o un pacco batterie, si sono illustrate le metodologie di prevenzione/contenimento dei danni derivati da un abuso elettrico, con particolare riferimento ai dispositivi integrati nella cella, alle caratteristiche dei contenitori ed in particolare si è approfondito lo studio del BMS, descrivendone le funzioni, la struttura ed i possibili malfunzionamenti.

### 4 Riferimenti bibliografici e collegamenti ipertestuali

1. S. Consta', F. Vellucci, M. Pasquali, "Progettazione di un contenitore per celle al litio destinate ad un utilizzo di second life.", Report Ricerca di Sistema RDS Report RdS/PAR2017
2. F. Vellucci, G. Pedè, "Sviluppo di moduli batterie litio-ioni per avviamento e trazione non automotive", Report RdS/2011/27
3. <https://batterybro.com/blogs/18650-wholesale-battery-reviews/18306003-battery-safety-101-anatomy-ptc-vs-pcb-vs-cid>
4. <https://tienda.siliceo.es/it/batterie-per-torce-imalent/350-batteria-imalent-18650-batteria-3600mah-batteria.html>



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



# RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

## Capitolo 6 B Valutazione di tecniche di rilevamento precoce delle anomalie

Manlio Pasquali



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile





## Indice

|  |     |
|--|-----|
| INDICE .....   | 537 |
| SOMMARIO .....   | 538 |
| 1 INTRODUZIONE .....   | 538 |
| 2 INDICATORI DI DEGRADO O DI POTENZIALE PERICOLO DI GUASTO DI UNA CELLA..... | 539 |
| 2.1 LO STATO DI SALUTE DELLE BATTERIE .....                                  | 539 |
| 2.1.1 <i>Modelli circuitali di batterie e interpretazione del SOH</i> .....  | 539 |
| 2.1.2 <i>Parametri di batterie e loro variazione con lo SOH</i> .....        | 542 |
| 2.2 PARAMETRI INDICATORI DI POSSIBILI ANOMALIE DI FUNZIONAMENTO.....         | 546 |
| 2.2.1 <i>Rilevazione 'on line'</i> .....                                     | 547 |
| 2.2.2 <i>Analisi in frequenza dell'impedenza</i> .....                       | 548 |
| 2.2.3 <i>Rilevazione su cicli test</i> .....                                 | 550 |
| 3 CONCLUSIONI.....   | 551 |
| 4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E COLLEGAMENTI IPERTESTUALI .....                | 551 |

## Sommario

Il lavoro presenta alcune delle tecniche utilizzate per la valutazione dell'invecchiamento a cui sono soggette le celle al litio durante il loro funzionamento e di quelle che invece possono essere utilizzate per prevedere, e quindi anticipare e prevenire, anomalie di funzionamento gravi come potrebbe essere, ad esempio, il cortocircuito di una cella.

### 1. Introduzione

Una cella elementare di un pacco batterie è sottoposta, durante il suo normale funzionamento, ad un degrado delle prestazioni legato al suo invecchiamento: con il crescere del degrado la cella può andare incontro a problemi che ne pregiudicano l'utilizzo in sicurezza.

Considerando che un pacco batterie è costituito da un numero elevato di celle dello stesso modello (centinaia o migliaia) che lavorano insieme in condizioni identiche, può accadere che, per le tolleranze di lavorazione o per altri motivi, una di esse possa andare incontro ad un degrado maggiore delle altre e quindi pregiudicare da sola la sicurezza di tutto l'insieme.

Per questo motivo si pone il problema di caratterizzare la condizione (SOH, stato di salute) delle singole celle ed anticipare i possibili malfunzionamenti di un elemento specifico in un sistema costituito da centinaia o migliaia di componenti.

La tematica della stima dell'invecchiamento di una cella elementare si lega a quella dello studio del suo stato di salute SOH, dato secondo alcune definizioni dal rapporto tra la capacità residua e quella nominale, secondo altre dal rapporto tra la resistenza attuale e quella nominale: lo stato di salute è un indicatore che non dipende solo dal numero di cicli di vita delle batterie e dalla tipologia di ciclo a cui sono state sottoposte, esso è anche legato a possibili abusi nell'utilizzo delle celle come ad es. esposizione ad alte temperature o procedure di carica o scarica troppo profonde.

La realizzazione di procedure per la stima dello stato di salute delle batterie è un tema di grande interesse pratico, in letteratura sono quindi disponibili molti studi di riferimento. In generale sarebbe possibile stimare con precisione le condizioni di salute di una cella eseguendo una analisi di impedenza tramite l'immissione di una bassa corrente alternata a frequenza variabile (da 0.1 mHz a 10 MHz), ma se si deve operare su un modulo di batterie composto da un grande numero di elementi questa procedura richiederebbe una strumentazione molto costosa e lunghi tempi di lavoro, di conseguenza questa soluzione può andare bene nell'ambito della ricerca ma non in quello delle applicazioni industriali.

Il problema che si pone in ambito applicativo è quello di stimare lo stato di salute delle celle elementari che compongono i moduli ed i pacchi batterie in modo veloce ed economico, cosa che spesso si cerca di fare utilizzando metodi indiretti.

Ogni pacco batterie al Litio è dotato di un BMS, che esegue le misure di corrente tensione e temperatura delle singole celle: tramite il BMS è possibile monitorare il funzionamento delle celle durante un normale ciclo di lavoro o nella esecuzione di un test ad hoc per il rilievo dei parametri di invecchiamento, si distingueranno quindi procedure on line ed off line per lo studio del degrado delle celle.

## 2. Indicatori di degrado o di potenziale pericolo di guasto di una cella

### 2.1 Lo stato di salute delle batterie

In letteratura non esiste una definizione univoca dello stato di salute delle batterie (SOH): la più utilizzata è il rapporto tra la capacità effettiva al momento della misura e quella nominale della batteria, ma è possibile trovare altre formulazioni alternative a questa.

Quello che si cerca di fare è di mettere in rapporto il valore attuale di un parametro che caratterizza le prestazioni della batteria con il suo valore nominale, di solito si utilizza la capacità, a volte l'impedenza serie ed altre la resistenza, si riscontrano per esempio le seguenti definizioni [1]

$$(1) \quad SOH = \frac{C_i}{C_0} * 100$$

$$(2) \quad SOH = \frac{R_i}{R_0} * 100$$

$$(3) \quad SOH = \frac{Z(j\omega^*)_i}{Z(j\omega^*)_0} * 100$$

nelle quali il pedice 0 indica il valore iniziale, nominale, della grandezza, mentre  $i$  sta per il valore attuale misurato alla prova  $i$ , l'impedenza  $Z(j\omega^*)$  si intende misurata ad una determinata frequenza, anche la resistenza  $R$  può essere intesa come misurata con una risposta ad un gradino di corrente o ad una determinata frequenza.

Una definizione alternativa che si può incontrare è la seguente [1]:

$$(4) \quad SOH = \frac{R_{eol} - R_i}{R_{eol} - R_0} * 100$$

Dove occorre introdurre un valore atteso di resistenza di fine vita ( $eol$ ) delle celle.

Se queste definizioni non sono univoche è perché ognuna di loro si riferisce ad un parametro di interesse per un certo utilizzo della batteria: in potenza (la resistenza), in energia (la capacità) o che ne permette la completa caratterizzazione elettrochimica (l'impedenza).

#### 2.1.1 Modelli circuitali di batterie e interpretazione del SOH

In Figura 1 sono riportati delle possibili rappresentazioni circuitali equivalenti di una batteria.

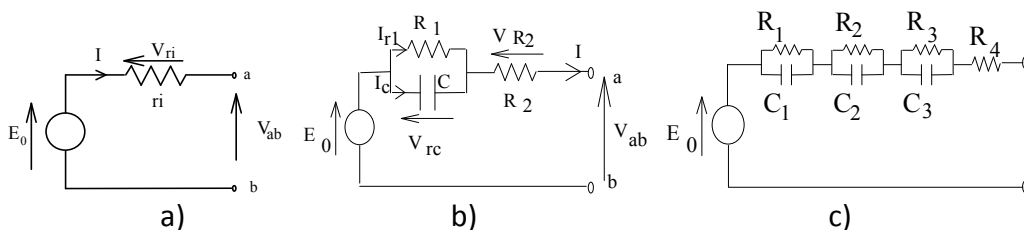


Figura 1. Modelli equivalenti di batterie

In esse la tensione a vuoto  $E_0$  è funzione dello stato di carica (che verrà introdotto di seguito): in Figura 1a) la resistenza  $R_i$  può assumere vari significati, e quindi formulazioni, in relazione al problema che si vuole analizzare, mentre in 1b) ed 1c)  $R_i$  è resistenza ohmica della batteria ed i rami RC parallelo servono ad identificare la risposta dinamica del sistema. Le rappresentazioni in 1a) ed 1b) sono utilizzate in genere solo per un approccio 'a scatola chiusa' della modellazione delle batterie e quindi non entrano nel dettaglio dei processi interni delle stesse, la 1c) può invece avere anche una interpretazione elettrochimica e tra quelle

proposte è la più adatta ad eseguire una analisi in frequenza della impedenza, analisi che da sola permetterebbe di caratterizzare completamente una cella elementare.

Come detto il significato dei vari parametri può cambiare in funzione del problema che si vuole esaminare, di conseguenza varia anche il modo di definirli, quindi a parità di rappresentazione circuitale i parametri indicati in essa possono non essere univoci.

A prescindere dalla definizione/interpretazione fisica che si vuole dare ai parametri dei modelli in Figura 1, con il passare del tempo e l'utilizzo della batteria si assiste ad un degrado delle prestazioni della stessa, degrado che si traduce in una riduzione della capacità effettiva, della tensione a vuoto  $E_0$  in funzione dello stato di carica ed in un aumento delle impedenze del circuito equivalente.

Le relazioni 1-4 fanno riferimento a questi fenomeni per cercare di quantificare lo stato di avanzamento del degrado, in esse tutti i valori dei parametri dei circuiti equivalenti sono funzione dello stato di carica della batteria SOC, che è definito come un numero variabile tra 0 (batteria completamente scarica) ed 1 (batteria completamente carica)

$$(5) \quad SOC = 1 - \frac{Q_e}{C_{nom}} = 1 - \frac{\int i dt}{C_{nom}}$$

In qualche caso la capacità nominale della batteria viene sostituita da quella effettiva

$$(6) \quad SOC = 1 - \frac{Q_e}{C_{eff}} = 1 - \frac{\int i dt}{C_{eff}}$$

La capacità effettiva della batteria viene determinata in base ad una prova di carica standard della stessa, prova che viene eseguita secondo il profilo mostrato in Figura 2.

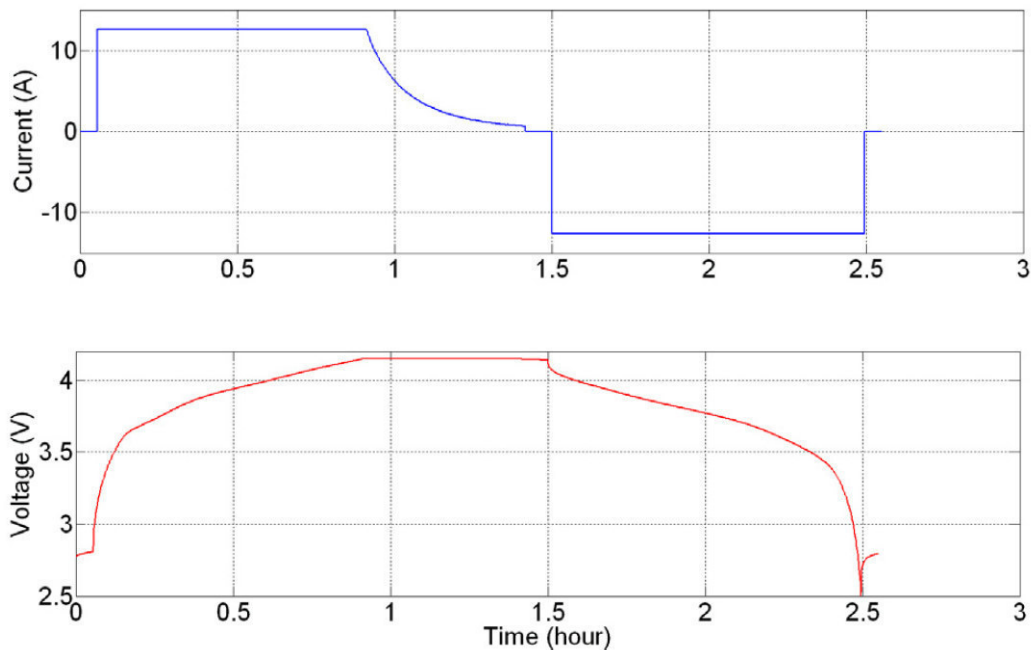


Figura 2. Profilo di carica/scarica standard di una cella/batteria

Per eseguire il ciclo standard si carica la batteria a corrente costante fino a raggiungere la sua tensione massima di lavoro e successivamente si modula la corrente diminuendola in modo da mantenere costante

questa tensione, fatto ciò si esegue una scarica a corrente costante fino a raggiungere la tensione minima ammissibile: la capacità effettiva della batteria sarà l'integrale della corrente nel tempo. Si è detto che tutte le grandezze rappresentate nei modelli di Figura 1 dipendono dallo stato di carica della batteria: per introdurle è possibile fare riferimento alla Figura 3.

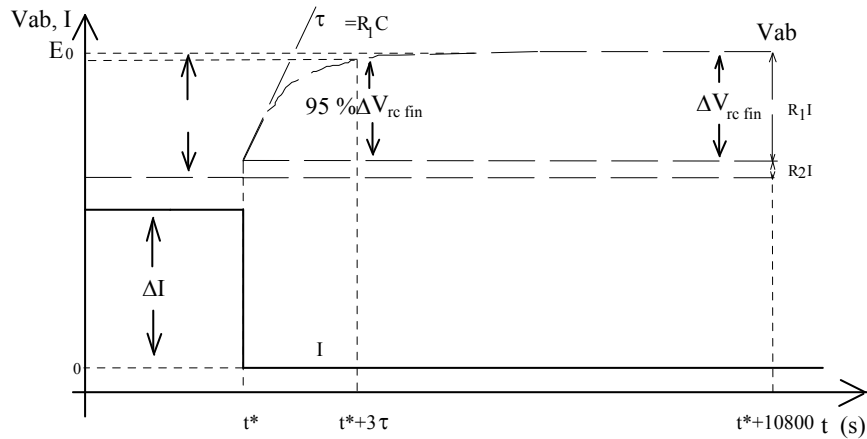


Figura 3. Risposta a gradino di corrente di una batteria

In Figura 3 la batteria/cella è stata sottoposta per un tempo indefinito ad erogazione di corrente costante I, idealmente la corrente viene posta istantaneamente a zero ad un determinato stato di carica: con riferimento al modello di Figura 1b) ed alla Figura 3 si ha che il gradino di tensione è pari a  $R_2 \cdot I$  mentre la tensione finale  $V_{ab}$  misurata dopo un tempo 'infinito' (maggiore di  $5 \tau$ ) è pari ad  $E_0$  e la curva di risalita può essere approssimata con un esponenziale crescente, schematizzato dal circuito RC, nel quale la resistenza è immediatamente identificabile nel modo mostrato nella stessa Figura 3.

Per il circuito di Figura 1c) valgono invece le relazioni:

$$\begin{aligned}
 (7) \quad V_{ab} &= E_0 - V_{01}e^{-t/\tau_1} - V_{02}e^{-t/\tau_2} - V_{03}e^{-t/\tau_3} \\
 V_{01} &= R_1 I_1; V_{02} = R_2 I_2; V_{03} = R_3 I_3 \\
 V_{01} + V_{02} + V_{03} &= \Delta V_{rc \text{ fin}}
 \end{aligned}$$

dove i parametri possono, per esempio, essere identificati con un procedimento di ottimizzazione numerica.

Nel circuito di Figura 1a) la  $r_i$  non è in grado di rappresentare una caduta di tensione variabile nel tempo, come avviene nella realtà, inoltre in generale la resistenza interna delle batterie viene definita secondo convenzioni legate a normative internazionali ed in particolare si esegue la distinzione tra una resistenza legata a fenomeni che presentano una dinamica veloce ed una legata a fenomeni aventi dinamica lenta.

Si consideri la Figura 4 che riprende la 3:

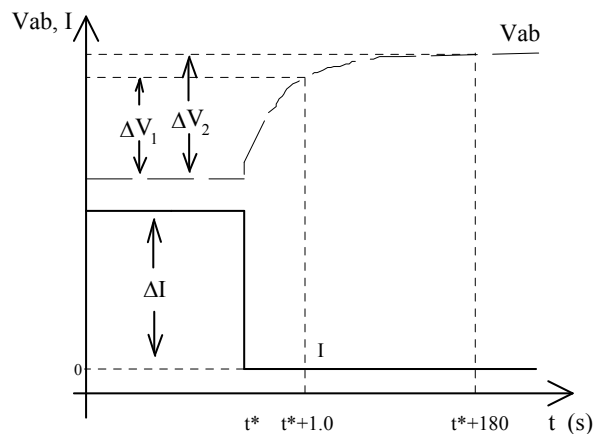


Figura 4. Risposta a gradino di corrente di una batteria

La Figura 4 mostra l'andamento della tensione misurata ai capi della batteria in corrispondenza di un impulso a gradino di corrente, la resistenza interna può essere definita tramite un rapporto  $V/I$  tra la tensione  $V_{ab}$  misurata prima e dopo la variazione di corrente: è possibile osservare come tale rapporto vari con continuità in funzione del tempo. Il rapporto considerato inoltre varia sia con il tempo che con i valori dello stato di carica e quelli delle correnti iniziale e finale, avendosi per alcune chimiche anche grandi differenze tra batteria in carica e scarica. Con riferimento alla Figura 4 si sottolinea come le norme considerino una resistenza calcolata a  $t=t^*+1.0$  s dall'estinzione del gradino ed una a  $t=t^*+180$  s: i due valori così definiti esprimono fenomeni profondamente diversi, in quanto il primo rappresenta soprattutto la caduta di tensione ohmica sulla batteria e il secondo l'evoluzione chimica del sistema.

Per chiarire il concetto si possono fare due esempi: in una applicazione di trazione il circuito di fig. 1a) potrebbe essere caratterizzato utilizzando una resistenza calcolata ad 1 s dalla applicazione o estinzione del gradino di corrente, in una stazionaria costituita da lunghe scariche e ricariche a corrente costante la resistenza potrebbe invece essere quella calcolata a 180 s.

### 2.1.2 Parametri di batterie e loro variazione con lo SOH

Come è stato detto per caratterizzare una batteria si deve decidere quale rappresentazione equivalente adottare e come rilevare i parametri del modello scelto, parametri che variano nel tempo con l'usura della batteria e quindi possono essere utilizzati per descriverne lo stato di salute: per la ricerca di sistema elettrico l'Enea, nell'ambito dello studio di invecchiamento di celle, ha eseguito su di esse dei test vita con cicli prova costruiti appositamente per questo scopo, i risultati del lavoro sono stati presentati nelle varie annualità della RDS [1,2,3,4] e possono essere utilizzati come esempio applicativo.

Eseguendo periodicamente dei cicli test standard sono stati calcolati, ad intervalli regolari, i parametri del modello di batteria in Figura 1a) con la  $R_i$  calcolata ad 1 s, ed anche altre grandezze che possono essere relazionate all'invecchiamento della cella, come ad es. i rendimenti Amperometrici ed energetici e formulazioni alternative delle resistenze equivalenti: dai dati a disposizione sarebbe possibile anche caratterizzare la batteria secondo i modelli di Figura 1b) ed 1c) ma questo non rientrava negli obiettivi del lavoro.

I risultati così ottenuti sono stati analizzati per vedere quali parametri possano essere utilizzati come indicatori dello stato di degrado delle batterie o di un potenziale futuro malfunzionamento di una cella.

Il dettaglio delle celle utilizzate nei vari test e le caratteristiche del test sono forniti nei documenti di riferimento: in Figura 5 viene mostrata la variazione di capacità effettiva di celle della stessa tipologia, nuove, sottoposte a cicli di invecchiamento caratterizzati da diverse profondità ed intensità di scarica, la variazione è normalizzata rispetto alla capacità nominale [3,2].

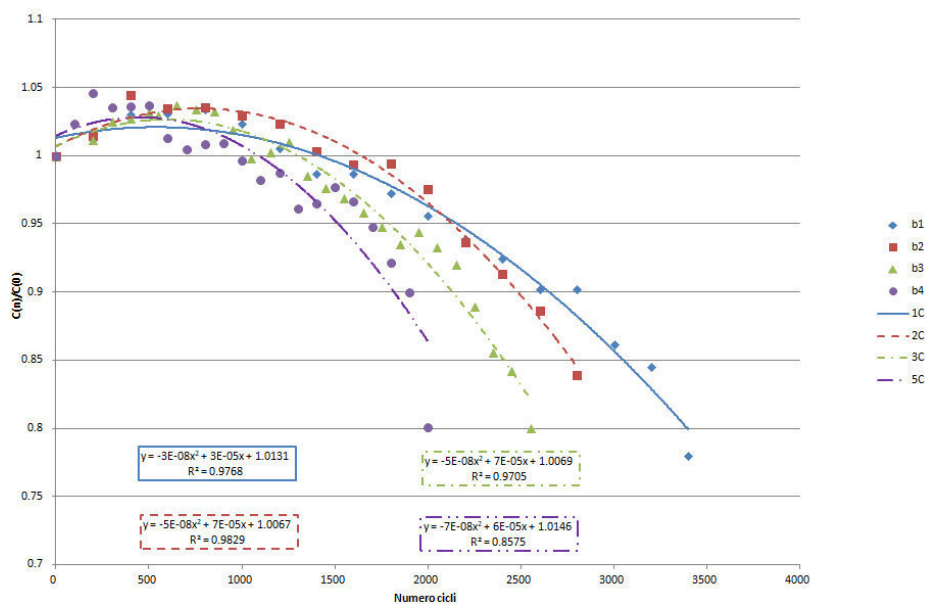
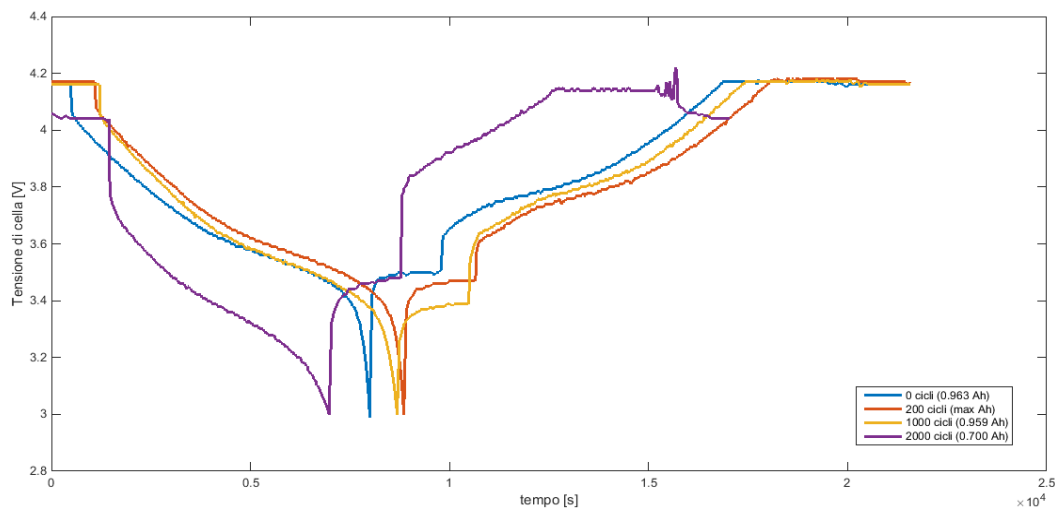


Figura 5. Andamento della capacità in funzione del numero di cicli vita per le prove a differenti profondità di scarica.

Dalla Figura 5 si evince che durante la sua vita la cella prima aumenta di capacità rispetto alla nominale per poi diminuirla, in [2] sono descritte le elaborazioni eseguite sui risultati di questi test che hanno permesso di introdurre una serie di parametri legati al degrado della cella ed in grado anche di indicare, con il loro comportamento, un potenziale pericolo legato all'utilizzo del componente.

La Figura 6 mostra la variazione di tensione di lavoro della cella in funzione dello stato di carica e del numero di cicli di lavoro associata alla cella B1, quella che in Figura 5 ha eseguito il massimo numero di cicli. Gli andamenti di tensione in carica e scarica sono stati registrati nel tempo (Figura 6 a) e successivamente relazionati con il valore della capacità effettiva (Figura 6 b) generando una rappresentazione di agevole lettura.





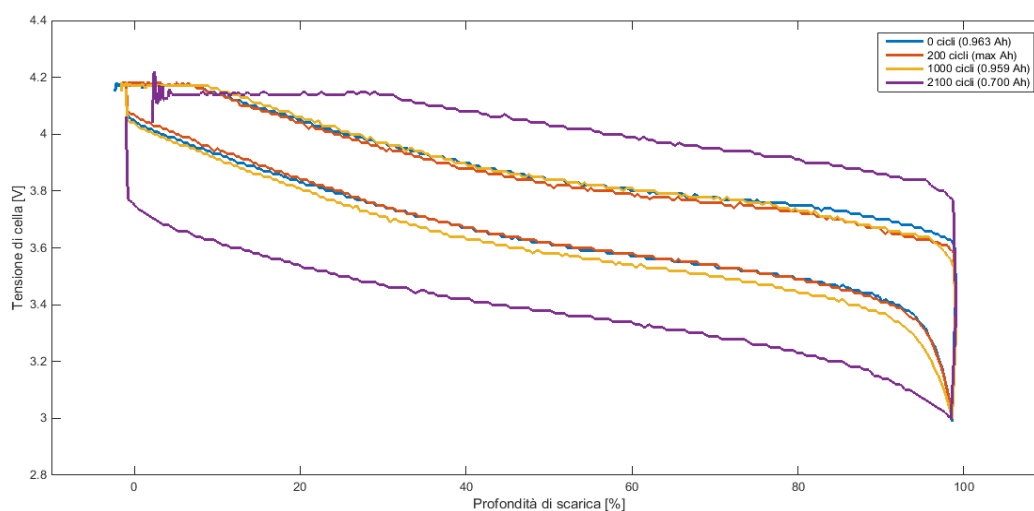


Figura 6. Andamento della tensione a vuoto in funzione del numero di cicli vita per le prove a differenti profondità di scarica a) Nel tempo b) In funzione della capacità effettiva

Per la chimica considerata il lavoro svolto in [2] mostra uno stretto legame tra la capacità residua e la tensione della cella, che quindi può essere utilizzata come indicatore del suo stato di salute.

Il lavoro ha analizzato il comportamento di una serie di indicatori di funzionamento tra cui le due capacità in carica e scarica ed il loro rapporto (rendimento Amperometrico), le resistenze interne ed il rendimento energetico di carica e scarica: i risultati delle elaborazioni, per la cella B1, sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Elaborazione dei test sulla cella B1

| Cicli | Cchg [Ah] | Cdsch [Ah] | Cscar/Crif | Cchg/Cdschr | Edsch | Echg  | Eta   | eta/eta(Cr) |
|-------|-----------|------------|------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|
| 0     | 18.93     | 19.16      | 0.968      | 1.012       | 69.9  | 74    | 0.945 | 1.011       |
| 200   | 19.19     | 19.45      | 0.982      | 1.014       | 70.1  | 75.4  | 0.930 | 0.996       |
| 400   | 19.52     | 19.69      | 0.998      | 1.009       | 71.3  | 76.12 | 0.937 | 1.003       |
| 600   | 19.55     | 19.68      | 1.000      | 1.007       | 71.1  | 76.2  | 0.934 | 1.000       |
| 800   | 19.52     | 19.67      | 0.998      | 1.008       | 71.4  | 76.33 | 0.935 | 1.001       |
| 1000  | 19.3      | 19.4       | 0.987      | 1.005       | 69.6  | 75.57 | 0.921 | 0.986       |
| 1200  | 19.12     | 19.21      | 0.978      | 1.005       | 68.43 | 75.1  | 0.911 | 0.975       |
| 1400  | 19.02     | 19.16      | 0.973      | 1.007       | 68.82 | 74.26 | 0.927 | 0.992       |
| 1600  | 18.6      | 18.72      | 0.951      | 1.006       | 66.14 | 73.42 | 0.901 | 0.964       |
| 1800  | 18.67     | 18.78      | 0.955      | 1.006       | 67.18 | 73.14 | 0.919 | 0.983       |
| 2000  | 18.44     | 18.54      | 0.943      | 1.005       | 66.5  | 72    | 0.924 | 0.989       |
| 2200  | 18.09     | 18.16      | 0.925      | 1.004       | 64.79 | 71.04 | 0.912 | 0.976       |
| 2400  | 17.75     | 17.81      | 0.908      | 1.003       | 63.15 | 69.81 | 0.905 | 0.968       |
| 2600  | 17.5      | 17.52      | 0.895      | 1.001       | 62.17 | 68.71 | 0.905 | 0.968       |
| 2800  | 17.06     | 17.06      | 0.873      | 1.000       | 60.94 | 66.9  | 0.911 | 0.975       |
| 3000  | 16.33     | 16.36      | 0.835      | 1.002       | 58.03 | 64.12 | 0.905 | 0.969       |
| 3200  | 16.13     | 16.13      | 0.825      | 1.000       | 57.69 | 63.11 | 0.914 | 0.978       |
| 3400  | 14.66     | 14.64      | 0.750      | 0.999       | 50.39 | 58.27 | 0.865 | 0.926       |

Nella tabella i dati sono stati normalizzati in funzione dei valori corrispondenti alla massima capacità registrata.

I dati sono stati ricavati eseguendo sulle celle un ciclo di carica-scarica standard a 0.5 C, come quello mostrato in Figura 2: sarebbe possibile definire procedure che li possano stimare, con meno precisione, anche 'on line' durante il normale funzionamento del sistema di accumulo.

Tra gli indicatori considerati si vede come il rendimento energetico segua bene il degrado della cella, mentre quello Amperometrico rimanga praticamente costante e pari ad 1.

Per una chimica diversa ma sempre basata sul Litio vengono confermati gli stessi risultati: per esempio nell'ambito dello studio per applicazioni in 'Second Life' l'Enea ha sviluppato un Test basato su cicli di carica/scarica completa (cicli 'Pro', 'intermedio' e 'Light') e con essi ha eseguito delle prove vita utilizzando celle già degradate e ritirate da una applicazione di trazione, di seguito viene mostrata la variazione di capacità relativa al ciclo 'Pro' [5,4].

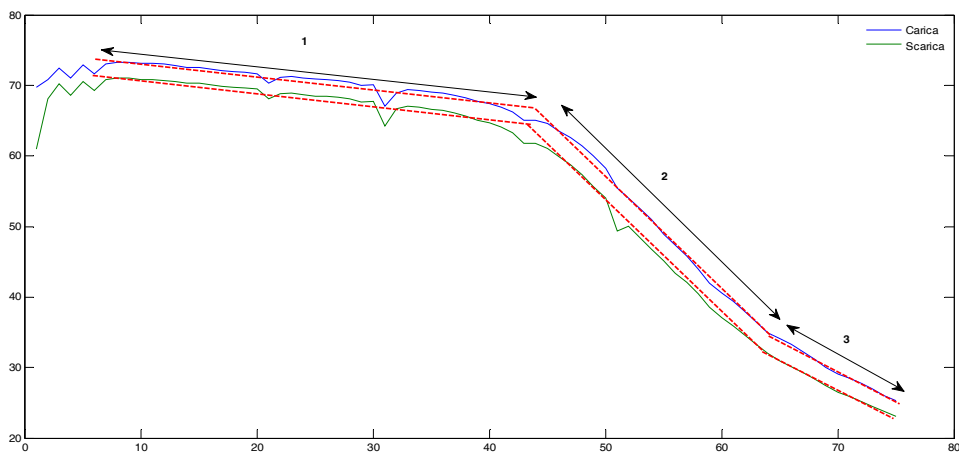


Figura 7. Variazione di capacità su cella degradata utilizzata in 'Second Life'

Oltre alla variazione di capacità sono state valutate le perdite Joule relative ai vari cicli di lavoro:

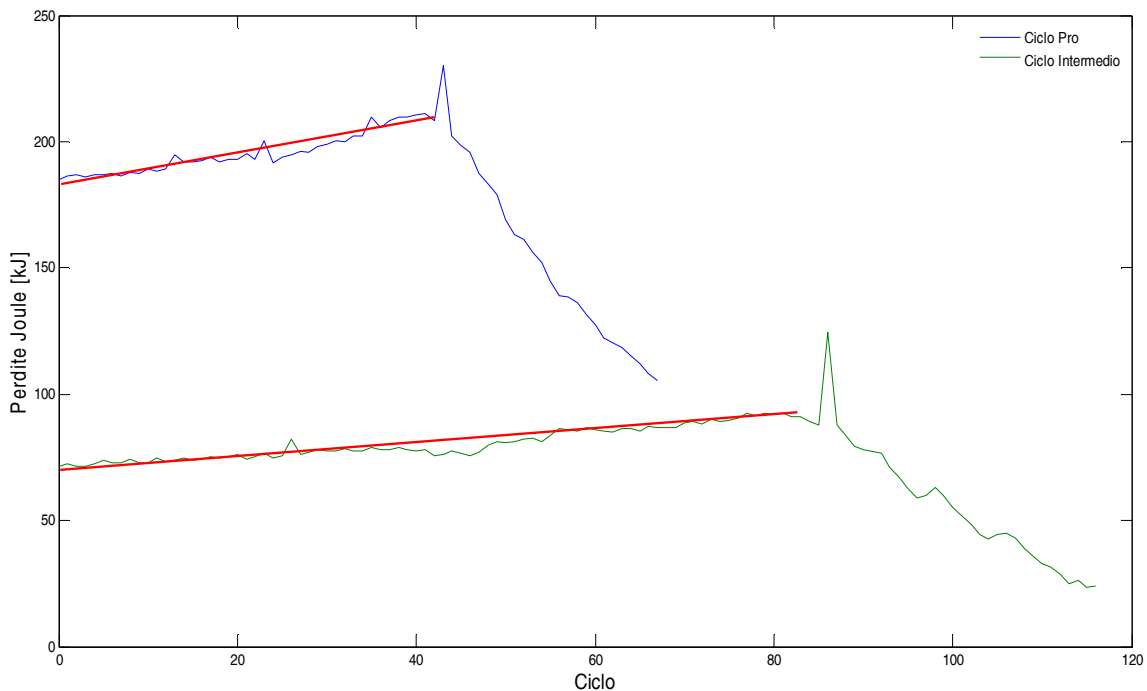


Figura 8. Perdite Joule relative ai cicli 'Pro' e 'Intermedio'

La diminuzione delle perdite non corrisponde ad una diminuzione della resistenza interna della cella ma al fatto che, essendo diminuita la sua capacità essa non può accettare la carica e quindi l'energia, che accettava precedentemente. Il fenomeno è evidente considerando il rendimento del processo di carica scarica [4,5], per esempio nel caso del ciclo 'Pro'

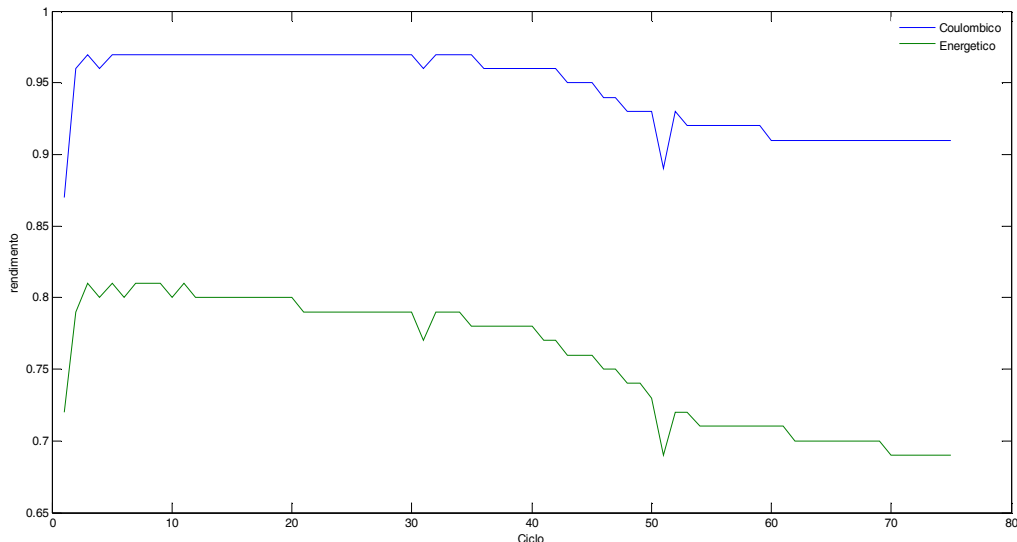


Figura 9. Rendimento energetico ed amperometrico nel ciclo 'Pro'

Al diminuire della capacità effettiva della batteria corrisponde una diminuzione del rendimento e quindi un aumento della resistenza  $r_i$  definita in [4,5]

## 2.2 Parametri indicatori di possibili anomalie di funzionamento

Il lavoro presentato mostra come, oltre alle definizioni di stato di salute adottate in letteratura sia possibile caratterizzare la condizione delle celle con altri indicatori, di cui alcuni possono essere anche utilizzati come spie di potenziali pericoli nell'utilizzo delle batterie, in particolare si è visto che:

1. Il rendimento Amperometrico tende, nelle celle al litio, a rimanere unitario
2. Il rendimento energetico in una procedura di carica/scarica standard a 0.5 C si mantiene molto alto e scende con il diminuire della capacità
3. La curva di tensione in funzione della corrente e del SOC è legata allo stato di salute della cella

Si supponga di conoscere la storia di un pacco batterie per il quale sia stato eseguito periodicamente un test standard di carica/scarica delle celle: laddove si rilevassero anomalie di comportamento di una cella rispetto alle altre, oppure una brusca variazione delle sue prestazioni rispetto ai test periodici precedenti, si potrebbe pensare di essere in presenza di una situazione di degrado accelerato e quindi intervenire sostituendola. Se si dovesse riscontrare un valore del rendimento Amperometrico che non sia prossimo all'unità questo sarebbe indice del fatto che nella batteria ci sono delle linee di corrente che si richiudono al suo interno senza passare per il carico: per il Litio in particolare si tratta di un sintomo di degrado avanzato e di possibile pericolo di un futuro cortocircuito o comunque sviluppo di calore all'interno della cella, un rapporto Amperometrico di 0.85 potrebbe essere utilizzato come soglia sufficiente per escludere la cella. Per quanto concerne il rendimento energetico, se su un ciclo standard eseguito a 0.5 C, esso fosse inferiore a 0.8 questo sarebbe un sintomo di degrado troppo avanzato con potenziale pericolo.

In generale, considerando l'insieme di un pacco batterie sottoposto ad un ciclo standard di prova o a delle rilevazioni di prestazioni su ciclo di lavoro, se si rilevasse che una o più celle mostrano valori di rendimento Amperometrico ed energetico molto inferiori alle altre allora quelle celle sarebbero da sostituire.

Per quanto riguarda la tensione di cella, con riferimento a Figura 6, se l'area all'interno della curva chiusa di tensione dovesse tendere a divenire sempre più piccola (le curve di carica e scarica tendono ad avvicinarsi in modo sensibile) vorrebbe dire che c'è un rischio di cortocircuito, al contrario, un aumento anomalo di area indicherebbe una perdita di capacità e/o un aumento di resistenza interna.

### 2.2.1 Rilevazione 'on line'

Si consideri un pacco batterie nel suo funzionamento: in particolare si ponga l'attenzione sul fatto che durante la ricarica delle batterie il BMS esegue l'equalizzazione delle celle, cercando di portarle tutte ad un livello di tensione identico tra di loro a meno di una tolleranza prestabilita. A fine carica quindi tutte le celle dovrebbero essere caratterizzate da avere SOC=1 ed una tensione paragonabile tra di loro, specie se il sistema è riposo: se le celle sono nelle stesse condizioni di salute anche durante il funzionamento lo scostamento di tensione tra di esse deve risultare contenuto. In Figura 10 è mostrata la schermata di una lettura di tensioni di un BMS.

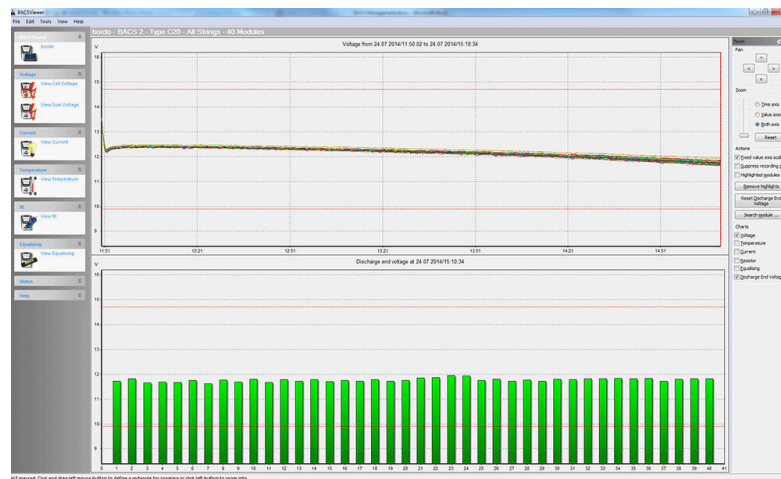


Figura 10. Tensioni parziali di cella

Sia durante le fasi di riposo che in quelle di funzionamento è possibile considerare il valor medio delle tensioni di cella e la varianza della distribuzione ed identificare le celle che presentano dei valori esterni all'intervallo definito da queste due grandezze: queste celle vanno seguite con attenzione e lo scostamento dal comportamento generale va interpretato o da un apposito software o da un tecnico esperto, infatti potrebbe indicare una situazione di potenziale degrado/pericolo.

Anche se non è immediato, tramite i dati del BMS è possibile ricavare le grandezze di Tabella 1: per farlo occorrerà fare riferimento a variazioni di SOC che siano 'chiusi', nel senso che si considera 'ciclo chiuso' una serie temporale di dati intervallati da due identici valori di SOC, e quindi le batterie in quell'intervallo avranno seguito un processo parziale di carica/scarica o viceversa.

Durante le fasi di pausa, identificate da un certo tempo dalla ultima erogazione/assorbimento di corrente, le celle che presentano una capacità ridotta rispetto alle altre saranno caratterizzate dall'aver una tensione che si scosta dalla media: nelle fasi di assorbimento/erogazione di corrente a causa della resistenza interna maggiore delle altre celle esse presenteranno una variazione di tensione, sia in positivo (maggiore, in caso di assorbimento) che in negativo (minore, in caso di erogazione) dalla media ancora più pronunciata che nel caso di quella a vuoto. Un criterio per identificare le celle che richiedono una verifica dello SOH o che possono essere potenzialmente pericolose è quindi quello di seguire tutte le celle in serie del pacco e ricavare gli scostamenti di tensione fra di esse.

Questo criterio può servire sia per valutare la riduzione di capacità effettiva delle celle che l'aumento di resistenza interna, si noti che nella sua applicazione pratica può sorgere un problema quando la

caratteristica di tensione a vuoto della particolare chimica è poco variabile entro ampi campi di variazione dello SOC, come illustrato nella Figura 11, che mette a confronto due casi di chimiche diverse.

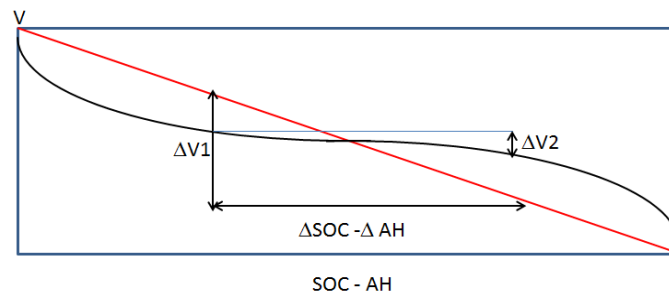


Figura 11. Caratteristiche a vuoto di chimiche diverse

In figura 11 nel caso della caratteristica più 'piatta' risulta difficile individuare lo stato di carica della cella in base alla sola lettura della tensione a riposo e della temperatura.

In generale per non compromettere l'integrità delle celle si cerca di far lavorare le batterie in un intervallo di SOC pari al 70/80 % della capacità della batteria, di conseguenza se una cella raggiunge con frequenza la zona di lavoro non lineare della tensione vuol dire che essa è danneggiata [1].

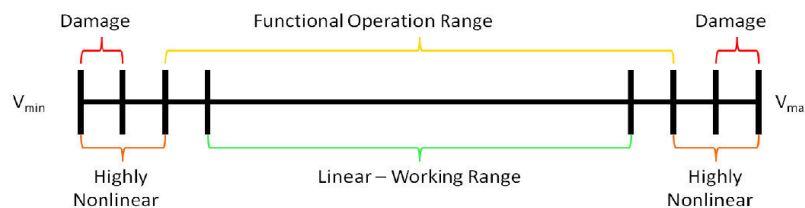


Figura 12. Intervalli di tensione di lavoro delle celle

Quindi il BMS può seguire istante per istante le celle ed identificare quelle che presentano anomalie di funzionamento rispetto alle altre, inoltre esso con tecniche di analisi della risposta istantanea del sistema può anche tentare di stimare in linea di massima un valore indicativo di SOH.

### 2.2.2 Analisi in frequenza dell'impedenza

In Figura 1c) è presentato un modello circuitale a tre rami di una cella elementare o di una batteria: in esso i valori numerici da associare ai componenti dei vari rami si possono ricavare tramite la risposta del sistema ad un gradino di corrente applicando un processo di ottimizzazione alle equazioni (7).

Il processo di ottimizzazione prescinde dalla conoscenza dei fenomeni elettrochimici che avvengono all'interno della cella e quindi con questo approccio il modello costituisce una rappresentazione a scatola chiusa della cella/batteria.

In elettrochimica vengono invece introdotti modelli circuitali analoghi a quello di Figura 1c) in cui la rilevazione dei parametri viene invece eseguita con una base fisica di riferimento: in Figura 13 viene mostrato in modo semplificato il processo di scarica e carica di una cella al litio, nel modello elettrochimico le capacità e le resistenze del circuito in Figura 1c) stanno a rappresentare sia delle resistenze reali che le velocità di movimento delle cariche elettriche nella cella, gli spazi che lo ione litio trova a disposizione per intercalarsi nel catodo o nell'anodo ed altri fenomeni.

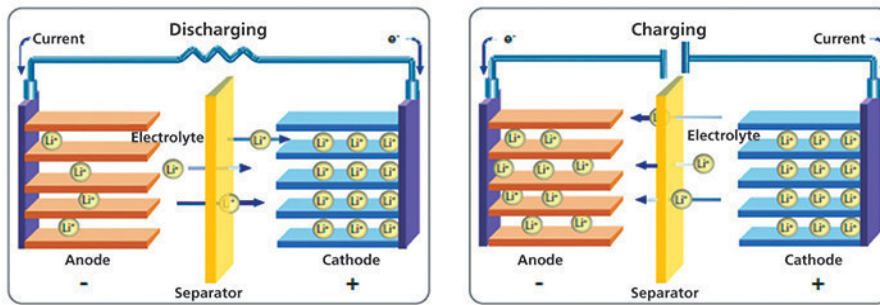


Figura 13. Schematizzazione del processo di scarica e carica di una cella al Litio

I modelli elettrochimici permettono di 'leggere' lo stato della cella in base alla analisi di impedenza (EIS Electrochemical impedance spectroscopy): la Figura 14 fornisce un esempio di rappresentazione della impedenza del circuito in una analisi in frequenza [1].

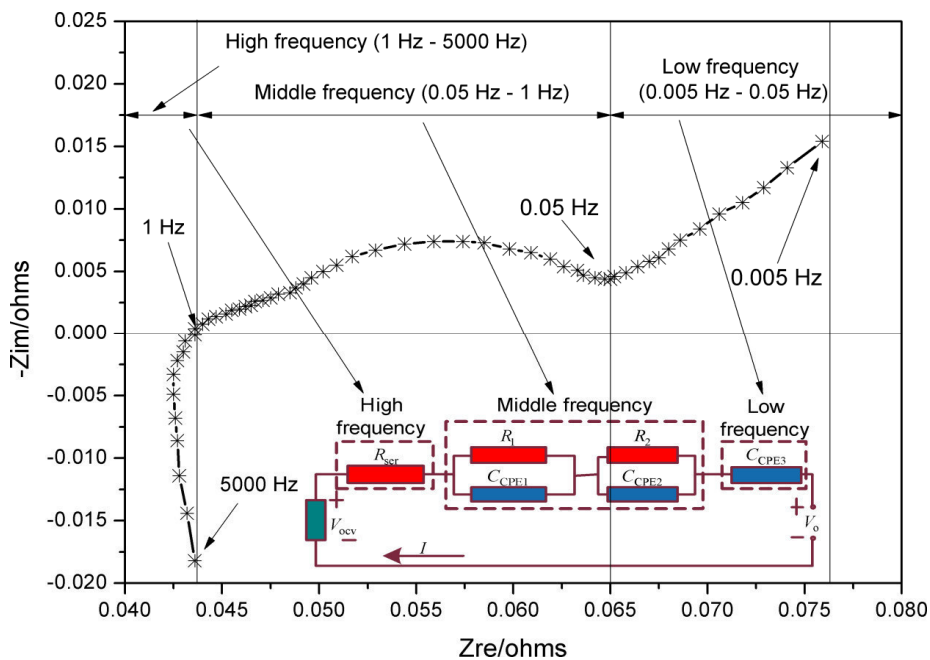


Figura 14. Analisi di impedenza di una cella al Litio

Dal punto di vista dell'invecchiamento e dello stato di salute di una batteria ci si aspetta che al crescere del degrado si riduca la superficie a disposizione delle cariche elettriche e quindi aumenti la resistenza equivalente del circuito, anche la velocità di trasferimento verrà a diminuire, con conseguente aumento della capacità equivalente (del parametro RC).

In Figura 15a) è rappresentata la perdita di capacità di una cella durante una prova vita, in 15b) la conseguente modifica del diagramma di impedenza [1].

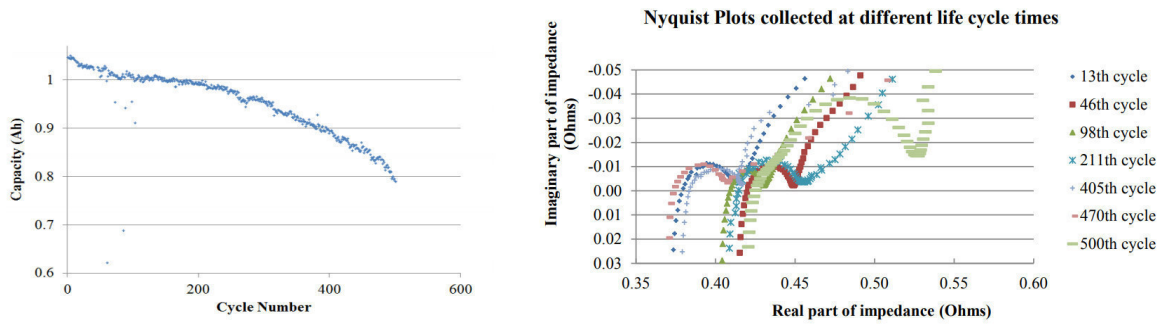


Figura 15. Variazione di impedenza al variare della capacità a) Perdita di capacità b) Variazione di impedenza

La forma della curva varia con l'usura della cella: in generale il modulo dell'impedenza complessa tende ad aumentare con il diminuire della capacità residua. Nella formulazione (2) del SOH in alcuni casi si utilizza come resistenza quella che, misurata in frequenza, corrisponde ad una impedenza avente la parte immaginaria nulla (1 Hz nel caso di Figura 14).

Uno strumento che possa eseguire una analisi in frequenza su una singola cella ha un costo molto elevato, uno strumento che possa farlo su un intero modulo formato da centinaia di celle non è proponibile per un utilizzo industriale, sia per il costo dello stesso che per la lentezza dell'operazione, di conseguenza sono state fatte proposte di metodi alternativi di rilievo, anche parziale, dell'impedenza di cella.

### 2.2.3 Rilevazione su cicli test

Un metodo alternativo per sostituire l'analisi in frequenza può essere l'utilizzo di una forma d'onda di corrente a gradino e lo sviluppo in serie di Fourier o con altri strumenti della risposta indiciale del sistema [1]: la figura 16 mostra una successione di impulsi di corrente di frequenza variabile seguiti da pause di riposo.

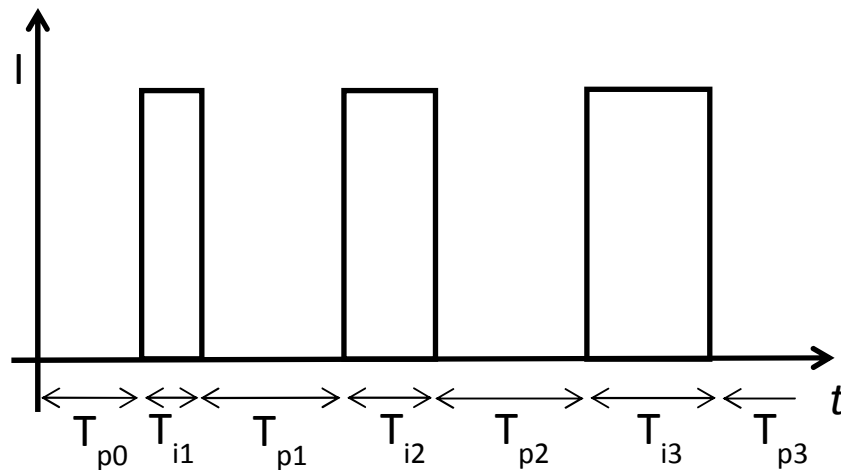


Figura 16. Impulsi di corrente a frequenza variabile

Una forma d'onda di questo tipo può sostituire l'indagine con l'EIS e permettere di definire tramite la (3) un SOH con delle impedenze relative alla applicazione futura che si è prevista per la seconda vita del sistema, oppure paragonare fra di loro più impedenze misurate a più frequenze o periodi T: una traccia di questo approccio è data in [12] ma è anche possibile utilizzare in modo più semplificato le (7).

### 3. Conclusioni

Sono stati introdotti i parametri che vengono utilizzati per definire lo stato di salute di una batteria, il significato di tali parametri è stato interpretato in relazione ai modelli di batteria utilizzati in letteratura, inoltre sono state discusse le diverse formulazioni di SOH e sono state interpretate anche esse in funzione dei diversi utilizzi della batteria.

Si è visto come il BMS possa essere utilizzato per prevenire il malfunzionamento di una cella, evidenziando lo scostamento delle sue caratteristiche o del suo comportamento da quello di insieme del pacco batterie.

### 4. Riferimenti bibliografici e collegamenti ipertestuali

1. M. Pasquali, F. Vellucci "Second Life, approfondimento sullo studio dei criteri di ritiro delle celle", Report RdS/PAR2013
2. Manlio Pasquali, Francesco Vellucci, "Validazione sperimentale delle procedure per la valutazione dello stato di salute delle batterie", Report RdS/PAR2017
3. N. Andrenacci, V. Sglavo, F. Vellucci "Modelli di invecchiamento applicati alle celle litio-ione", Report RDS/Par 2016
4. M. Pasquali, F. Vellucci "Proseguimento delle prove di "Second Life" su celle Litio-ione: approfondimento ad un'applicazione stazionaria", Report RdS/PAR2014/179.
5. M. Pasquali, F. Vellucci "Analisi sperimentali per la "second life" di celle litio-ione", Report RdS/PAR2013/190.
6. Stefano Costà, Francesco Vellucci, Manlio Pasquali "Progettazione di un contenitore per celle al litio destinate ad un utilizzo di second life.", Report RDS Par 2017
7. Manlio Pasquali, Francesco Vellucci: "Second Life, definizione dei criteri di ritiro delle celle dalla prima applicazione". Report RdS/PAR2015. Settembre 2016





CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



# RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

## Capitolo 6 C

### Protezione passiva

Vincenzo Puccia (CNVVF)



## Indice

|   |     |
|---|-----|
| INDICE .....  | 553 |
| INTRODUZIONE .....  | 554 |
| 1 STOCCAGGI ATTIVI, ESS (ENERGY STORAGE SYSTEM) .....                         | 556 |
| 1.1 CONSIDERAZIONI SU ASPETTI DI PROTEZIONE PASSIVA DI ESS RESIDENZIALI ..... | 557 |
| 1.2 CONSIDERAZIONE SU ASPETTI DI PROTEZIONE PASSIVA DI ESS COMMERCIALI .....  | 557 |
| 2 STOCCAGGI PASSIVI .....   | 558 |
| 2.1 RACCOMANDAZIONI EMERSE DA TEST FM GLOBAL .....                            | 559 |
| 3 CONCLUSIONI .....   | 561 |
| 4 BIBLIOGRAFIA .....  | 561 |

## Introduzione

Il presente capitolo analizza gli aspetti di protezione passiva per gli stoccaggi passivi di batterie Li-ion e per gli stoccaggi attivi di blocchi di batterie Li-ion associati a impianti di produzione “green” fotovoltaici o eolici.

La presente valutazione è principalmente basata sulle risultanze dei test effettuati per conto della *Fire protection Research Foundation* con la collaborazione di FM global, e resi di pubblico dominio con le tre pubblicazioni della serie “*Springer brief in fire*” di seguito elencate:

- Fire Hazard Assessment of lithium-ion battery energy Storage systems (A.F.Blum, R.T.Long) 2016 (ISBN 978-1-4939-6555-7);
- Flammability of Cartoned Lithium Ion Batteries (R.T.Long, J.A.Sutula,M.J.Kahn) 2014 (ISBN 978-1-4939-1076-2);
- Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment (C. Mikolajczak,M.Kahn,K. White,R.T.Long). 2011 (ISBN 978-1-4614-3485-6).

Inoltre sono stati presi in considerazione anche i risultati dei test su scala reale effettuati da FM Global e contenuti nel documento: “*FM Global Property Loss Prevention Data Sheets, Electrical Energy Storage Systems 2017*”.

Nei primi tre volumi elencati sopra, viene sviluppata una comprensiva analisi dello stato dell’arte normativo e della disponibilità reale di informazioni connesse ad incidenti di tecnologie di accumulo di batterie Li-ion, sia come Energy Storage System (ESS) in ambito commerciale o residenziale, sia come stoccaggio passivo di batterie Li-ion per i dispositivi commerciali in uso (laptop, smartphone etc.), in quanto tali necessità conducono alla creazione di depositi in cui le batterie vengono accumulate come stoccaggio attivo, prima della distribuzione business to business o business to client.

Al fine di poter fornire una valutazione sui requisiti di protezione passiva nei due casi specificatamente evidenziati, ovvero ESS in esercizio, in tensione ed in condizioni di carica/scarica (live ESS nella dicitura anglosassone) e stoccaggi passivi di celle occorre una caratterizzazione precisa del comportamento e delle caratteristiche di combustione di tali sistemi. In particolare per gli stoccaggi passivi è stata condotta una specifica caratterizzazione delle diverse tipologie di imballaggi, e della modalità di impilaggio, ai fini della funzionalità di impianti di tipo sprinkler. Su questo aspetto si rimanda allo specifico capitolo, ma si riportano per completezza in questa sede alcune considerazioni.

A questo si aggiunga che la chimica delle batterie Li-ion ha indotto vari elementi di preoccupazione tra gli operatori, sollevando dubbi sull’ingenerarsi di incendi di classe D, come da classificazione europea secondo la norma EN 3-2.

Tuttavia i test effettuati per la caratterizzazione dell’infiammabilità dei componenti ha ampiamente chiarito che l’incendio di batterie Li-ion nelle varie tecnologie attualmente disponibili è, essenzialmente, un incendio di idrocarburi in aria, a causa dell’elettrolita impiegato e della composizione chimica dei componenti costituenti le batterie medesime.

A questo si somma, ovviamente, il rischio di accensioni o riaccensioni dovute a Thermal Runaway delle celle forniti dati ed indicazioni sulle peculiarità di comportamento delle batterie al litio immagazzinate in relazione all’innesco e alla propagazione del fuoco in caso di incendio nonché allo stoccaggio sia in interno che in esterno.

Tali dati devono essere considerati come elementi da inserire in una valutazione effettuata secondo il D.M. 03/08/2015 (Codice di Prevenzione Incendi), nel quale vengono normati tutti i requisiti citati, con riferimento al capitolo S6

Per quanto riguarda invece gli aspetti connessi ai quantitativi di sostanze pericolose stoccati, l'argomento trattato è normato da decreto legislativo n°105 del 26 giugno 2015 (Seveso Ter) nonché, per gli aspetti di sicurezza occupazionale, dal decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81 sui luoghi di lavoro in generale che deve essere considerato nelle parti riguardanti l'esposizione ad agenti chimici e cancerogeni (Titolo IX CAPO I e II).

Come nota relativa agli orientamenti presi da altre nazioni o associazioni rilevanti sull'argomento, bisogna prendere visione delle indicazioni date dall'associazione degli assicuratori tedeschi [1] ove vengono enunciati alcuni principi degni di attenzione.

Più specificamente viene richiesto che solo batterie che hanno certificato di rispondenza alla norma EN 38.3 /IEC 62133 possano essere immagazzinate ( questo pone dei problemi per oggetti usati anche integri prodotti prima della totale applicabilità dello standard tecnico preso a riferimento). Inoltre, pongono come distanza di sicurezza in assenza di impianto di spegnimento tipo sprinkler o altri mezzi di estinzione attiva 2.5 mt per evitare la propagazione; tale distanza deve essere aumentata a 5 mt nel caso di elementi singoli di grandi dimensioni.

L'ultimo punto evidenziato nel suddetto documento è la dichiarazione esplicita della assenza di norme nazionali o europee specifiche per le batterie al litio, da cui deriva la necessità di documenti di orientamento o di prescrizione simili a questo in stesura.

## 1. Stoccaggi Attivi, ESS (Energy Storage System)

Per quanto ad ESS commerciali o residenziali (questi ultimi sistemi con energia stoccata tra 1 e 10 kWh, mentre impianti stand alone commerciali sono sistemi modulari da 20-100 kWh) il primo volume citato nella sezione di introduzione, riferisce di una campagna di test effettuati con la collaborazione di TESLA.

Si consideri, inoltre, che il mercato propone con sempre maggior diffusione soluzioni del tipo Inverter con Accumulo Integrato, in cui risulta appunto integrata nell'inverte una batteria di accumulo, ai fini dell'autoconsumo della corrente elettrica prodotta.



Figura 1. inverter monofase da 3,6 kW - 4,6 kW, abbinabile in maniera modulare a batterie agli ioni di litio con capacità compresa tra 2 e 6 kWh

Le tensioni dei prodotti attualmente in commercio variano tra 48 V e 1000 V DC , e tali sistemi sono impiegati per immagazzinare la potenza prodotta da pannelli fotovoltaici, impianti eolici o di altra fonte rinnovabile in periodi di bassa domanda, e quindi rendere disponibile tale energia in periodi di picco di richiesta di potenza elettrica impegnata dalla rete.

L'ESS consiste delle batterie, della struttura di montaggio, del sistema di raffreddamento, dell'elettronica di potenza e di un sistema di contenimento dei precedenti componenti.

Poiché la chimica delle batterie Li-ion, peraltro ancora in fase di sviluppo e non ancora matura dal punto di vista della standardizzazione delle sostanze impiegate e delle tecnologie di realizzazione, differisce da quella dei precedenti sistemi (Ni-MHy, Ni-Cd, Pb acid) sono state condotte delle prove di infiammabilità specifiche.

Va innanzi tutto dipanato il dubbio circa il comportamento del Litio presente, che è in forma ionica ed è associato alla cristallografia superficiale degli elettrodi, o disperso nella struttura porosa del supporto, e pertanto non è fonte di fenomeni di incendio di classe D (metalli alcalini del primo e secondo gruppo della tabella periodica).

La problematica di incendio giunge, invece, dall'elettrolita organico ed infiammabile, la cui perdita di confinamento dalle celle, ordinariamente sigillate, produce le tipiche e note interazioni di combustione tra idrocarburi e aria, in presenza di innesco.

Le celle, a differenza di altre tecnologie elettrochimiche, non sono ventilate, trattandosi come già detto di celle sigillate, non si ha quindi un'ordinaria emissione di vapori infiammabili in normali condizioni di esercizio.

Problematica non nuova, ma nettamente acuita dall'elevata densità energetica delle celle è invece il fenomeno del Thermal Runaway, che può verificarsi per guasti accidentali non prevedibili, per effetto di abusi meccanici (urti o sollecitazioni meccaniche in fase di trasporto o montaggio, prima dell'esercizio) o abusi termici (incendio esterno) o abusi di sovraricarica (danneggiamento su scala microscopica della cristallografia degli elettrodi).

Dalle campagne di test volte a colmare il gap di conoscenza sulla tecnologia in questione si evince che:

1. per veicoli elettrici non si ha sostanziale scostamento HRR (Heat Release Rate, tasso di rilascio termico in caso di incendio) rispetto a veicoli a combustione interna;
2. l'acqua in grandi quantità risulta un efficace estinguento su batterie Li-ion di grande formato;
3. Sulle batterie Li-polymer non si è evidenziata proiezioni di proiettili o frammenti, a differenza di quanto riportato da altre fonti su test su piccola scala
4. i gas tossici generati da incendio di veicoli a combustione interna e veicoli elettrici sono assimilabili;
5. le acque di spegnimento di batterie Li-ion evidenziano presenza di Fluoro e Cloro
6. Su pacco batterie passivo si è dimostrato che i rischi di shock elettrico erogando un getto pieno di acqua su un gruppo batterie compromesso da calore e fuoco risulta trascurabile.

I test effettuati sull'ESS Tesla modulare sono stati di due tipi:

1. Incendio esterno con bruciatore di propano posizionato lateralmente da 400 kW
2. Incendio interno che simula THERMAL runaway

Nel primo caso si è avuta una durata dell'incendio di 30 e 40 minuti, senza proiezione di frammenti o proiettili. Nel secondo caso la durata della combustione è stata di 1 ora e 15 minuti.

La temperatura misurata dalle termocoppie dentro il dispositivo è stata di 1093 °C.

Le temperature esterne sono state molto più basse, e non hanno posto problematiche di propagazione dell'incendio, rispettando le distanze indicate dal produttore.

### ***1.1 Considerazioni su aspetti di protezione passiva di ESS Residenziali***

Si perviene pertanto alla conclusione che, ai fini della protezione passiva, per gli ESS residenziali possa comunque farsi riferimento per la durata ed il rilascio termico coinvolti a criteri di compartimentazione già usati nella regolamentazione antincendi tradizionale per l'impiantistica e per esempio, per le aree di parcheggio veicoli.

Si ritiene opportuno consigliare una compartimentazione specifica su vano tecnico, areato verso l'esterno (analogia con locale ricarica muletti ) purché si riesca a gestire la temperatura interna, che costituisce un parametro di rischio al fine dell'instaurarsi di scenari di *thermal runaway*. Come riferimento per posizionamento interno si suggerisce almeno una prestazione di resistenza al fuoco non inferiore ad EI 60.

### ***1.2 Considerazione su aspetti di protezione passiva di ESS commerciali***

Per gli stoccaggi commerciali modulari, si ritiene che l'installazione all'aperto dovrebbe esser fatta valutando il rischio di propagazione nello scenario di perdita per incendio di uno dei sistemi, usando eventualmente lo specifico capitolo S3 Del DM 3/8/2015 in specifico il paragrafo "metodi per determinare la distanza di separazione"

Si ritiene utile riportare quanto previsto da FM Global:

- collocare l'ESS al di fuori ed a distanza da edifici o apparecchi critici;
- fornire una separazione minima dello spazio tra gli involucri ESS ed edifici o apparecchiature critici in conformità alla "scheda tecnica 1-20" che utilizza la categoria di pericolo 3 per gli edifici esposti.
- fornire una distanza minima tra gli armadi ESS di 6 m
- se la distanza tra gli armadi ESS è inferiore a 6 m fornire una barriera termica, valutata almeno in 1 ora, all'interno o all'esterno dell'involucro. Vedere **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** per un esempio di adeguata barriera termica tra involucri adiacenti;

- laddove siano previste aperture di ventilazione o altri attraversamenti, assicurarsi che siano disposte e diretti lontano dalle attrezzature e dagli edifici circostanti. (attraversamenti di cavi elettrici, porte, unità HVAC, ecc.);
- se un sistema ESS è installato all'interno di un edificio, collocare questi sistemi in un ambiente chiuso ed accessibile per operazioni antincendio manuali;
- le superfici di separazione di tale ambiente, pavimenti, pareti e soffitto devono essere classificati per la resistenza al fuoco per almeno 1 ora;
- Le aperture di tale ambiente devono possedere caratteristiche di resistenza al fuoco congruenti al punto precedente, per almeno 1 ora;

Identica caratteristica è richiesta agli attraversamenti di cablaggi.

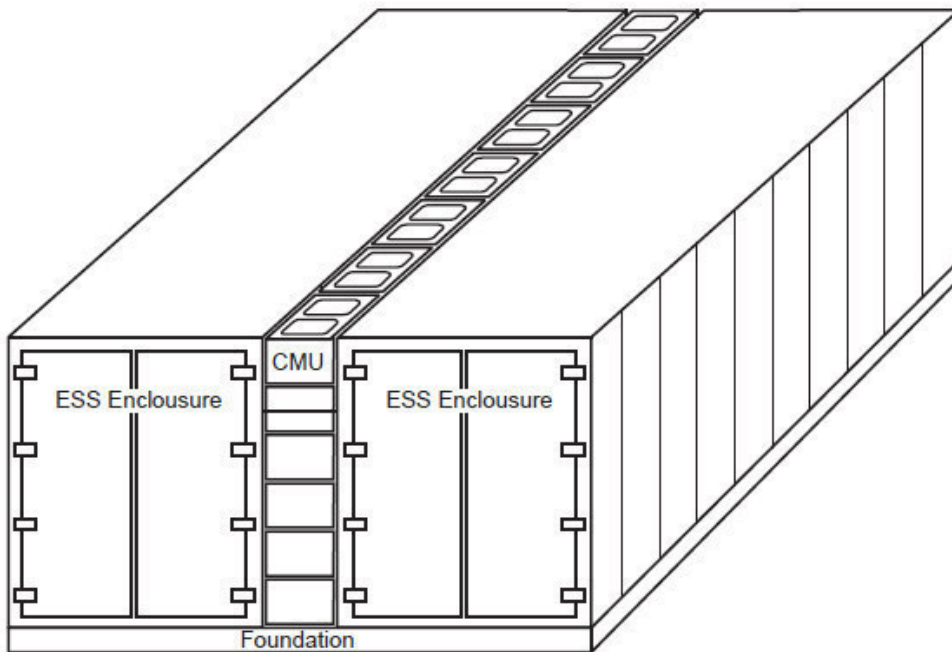


Figura 2. Schema di installazione di blocchi di ESS commerciali. CMU indica Concrete Masonry Units , ovvero blocchi in cemento di adeguata resistenza al fuoco

## 2. Stoccaggi Passivi

I test effettuati nel secondo volume della bibliografia si riferiscono, invece, a stoccaggi passivi di celle cilindriche, prismatiche e Li-ion polymer. Da tali test sembrerebbe che la combustione di batterie confezionate e stoccate in densi sistemi di accatastamento sia simile a impilamenti di CUP (cartoned unexpand plastic) nella classificazione di FM global.

La campagna di test condotta in varie configurazioni, disponibili nel citato documento FM Global, ha portato a varie conclusioni, in relazione ad un approccio di protezione attiva degli stoccaggi con impianti di tipo sprinkler.

Le condizioni di stoccaggio sono le seguenti :

- Altezza degli scaffali fino a 6 m;
- Altezza del solaio fino a 12,2 m;
- Confezionamento di batterie 20 Ah polymer pouch in confezioni di cartone corrugato con spessori di plastica divisori e uno stato nominale di carica (SOC) del 50%.



La metodologia del progetto ha previsto test a partire da uno schema in scala ridotta a schemi su scala reale, usando batterie di 20 Ah *polymer pouch Li-ion*, includendo elementi con chimica basata su ferro fosfati, con una carica nominale del 50%. Il primo test è stato effettuato per valutare le caratteristiche di infiammabilità di batterie Li-Ion rispetto a stoccaggi FM standard.

In base ai test su scala intermedia è possibile avanzare le seguenti conclusioni:

- Le batterie da 20 Ah rappresentano un rischio più alto che le precedenti batterie testate di 2.6 Ah in piccolo formato (cilindriche e *polymer pouch*);
- Il tempo di intervento per l'impianto sprinkler è piuttosto simile per tutte le configurazioni cartonate. In generale è emersa la considerazione che per uno stoccaggio su tre livelli con incendio, lo sviluppo iniziale dell'incendio fino all'intervento dello sprinkler è governato dalla combustione del packaging di cartone;
- In condizioni di combustione libera le batterie 20 Ah Li-ion polymer pouch contribuiscono alla severità dell'incendio su scaffalature 150 secondi (due minuti e 30 secondi) dopo l'innesco, mentre le batterie cilindriche da 2.6 Ah necessitano 300 secondi (5 minuti);
- Il packaging del prodotto (es. il cartone corrugato ed i divisori) sono stati identificati come i fattori chiave che governano il pericolo negli stoccaggi passivi di batterie Li-ion. Mentre i cartoni corrugati sono stati individuati come il fattore maggiormente rilevante nelle fasi iniziali, il contenuto in materiale plastico nei cartoni è stato dimostrato essere la forza spingente per il pericolo di incendio complessivo dello stoccaggio.

In particolare:

- Le batterie in confezioni contenenti significative quantità di plastica mostrano un rapido incremento nel rilascio energetico dovuto al coinvolgimento dei materiali polimerici;
- Per le batterie di largo formato da 20 Ah Li-ion polymer pouch, i divisori di materiale plastico hanno contribuito alla severità complessiva dell'incendio, prima del coinvolgimento delle batterie;
- Per gli *heavy plastic case* di pacchi batterie, il contributo dei materiali plastici ha dominato il rischio di incendio e il contributo delle batterie non è stato osservabile;
- Le confezioni di batterie contenenti minimi quantitativi di plastica (batterie Li-Ion su piccolo formato) hanno mostrato un più lento incremento nel rilascio energetico e un ritardo nel coinvolgimento delle batterie. In questi casi il contributo della plastica nel packaging costituisce un minore apporto al carico di incendio.

## 2.1 Raccomandazioni emerse da Test FM Global

Le migliori raccomandazioni per la protezione di stoccaggi passivi sono basati sull'attuale conoscenza per ciascuna tipologia di batterie Li-Ion analizzata nella campagna di test, e riassunta di seguito :

- Batterie Li-ion polymer pouch (capacità di 20 Ah a valori di  $\leq 50\%$  SOC) e batterie Li-ion cilindriche (capacità fino a 2.6 Ah a  $\leq 50\%$  SOC): per un singolo pallet non compartimentato stoccato a pavimento fino a 1,5 m di altezza protezione come HC-3 FM Global Property Loss Prevention Data Sheet 3-26 mantenendo 3 m di distanza tra combustibili adiacenti;
- Per batterie impilate, stoccate in pallets o in scaffali fino a 4,6 m sotto un solaio fino a 12,2 m protezione con impianti sprinkler ad elevata risposta tarati a 74°C;
- Per stoccaggi superiori a 4,6 m o altezze di soffitto più grandi di 12,2 m disporre le batterie su scaffali e proteggerle con schema A per Section D.2.2.1 of FM Global Property Loss Prevention Data Sheet 7-29, Ignitable Liquid Storage in Portable Containers, April 2012 (DS 7-29);

- Pacchi batterie Li-Ion (comprese formati cilindrici con capacità totale fino a 26 h a  $\leq 50\%$  SOC) protezione aree in zona processo come area HC-3 secondo FM Global Property Loss Prevention Data Sheet 3-26. Limitare lo stoccaggio nell'area processo a 19 mq ed altezza ad un solo pallet. In aggiunta mantenere un minimo id 2,4 m tra combustibili adiacenti.

La Figura 3 riporta alcuni fra i test più significativi condotti da FM Global su stoccaggi passivi di batterie Li-Ion.

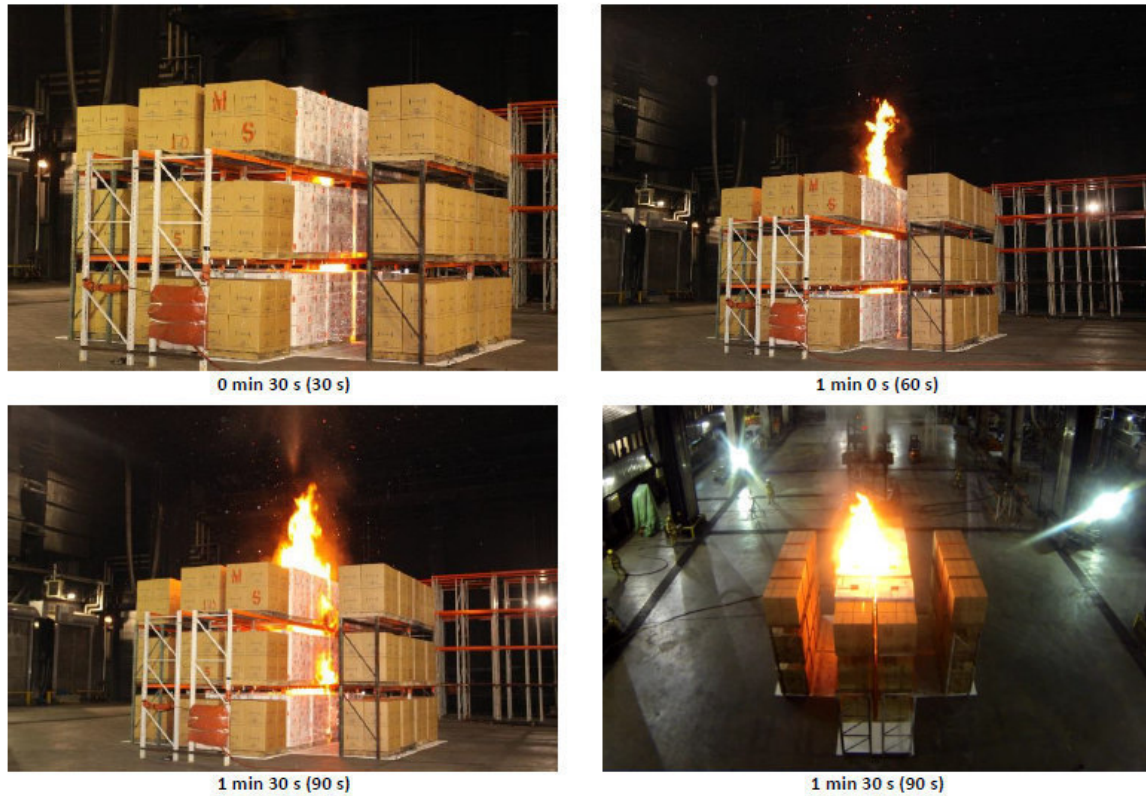


Figura 3. Alcuni test in scala reale condotti da FM Global su stoccaggi passivi di batterie Li-Ion

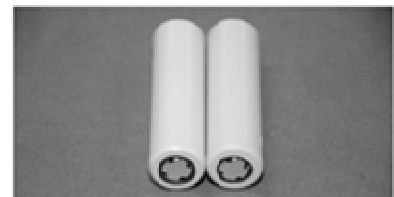
FM Global standard  
class 2 commodity (courtesy  
of FM Global)



FM Global standard  
CUP commodity (courtesy of  
FM Global)



Li-ion 18,650-  
format cylindrical cell  
(courtesy of FM Global)



Li-ion cylindrical  
cell packaging as received  
from manufacturer (courtesy  
of FM Global)



Figura 4. Standard di confezioni cartonate FM Global

Figura 5. Stoccaggio di batterie cilindriche cartonate

### 3. Conclusioni

I test FM global evidenziano che, almeno nelle fasi iniziali, il fenomeno incendio è governato dalle caratteristiche del packaging delle batterie, ed il coinvolgimento delle stesse nell'incendio si verifica dopo un margine di tempo variabile da 2,5 minuti a cinque minuti.

Evidenziando come i valori dei test vadano riferiti a condizioni di stoccaggio quanto simili si può considerare che:

1. La protezione passiva può essere condotta facendo riferimento al carico di incendio, includendo l'elettrolita infiammabile, comunque confinato nelle singole batterie e per il quale non è possibile uno scenario da perdita di contenimento improvvisa associata a rottura catastrofica, come se l'equivalente quantità fosse stoccata in una cisternetta;
2. L'approccio tipico della Fire Protection degli USA prevede la presenza di impianto di protezione sprinkler, con vari livelli di prestazione;
3. In considerazione della possibilità di scenari di Thermal Runaway, da confronti con personale tecnico FM Global è emersa la necessità che sia bagnabile ogni singola confezione cartonata;
4. In riferimento al punto precedente la UNI EN 12845 con più livelli di erogatori su scaffali di altezza elevata può essere un riferimento;
5. In alternativa sistemi ad alta capacità di scarica possono essere adottati, includendo una corretta gestione degli impilamenti e degli spazi tra questi ultimi;
6. Un impianto di rilevazione incendi è comunque da considerarsi necessario;
7. Il dimensionamento delle strutture può ragionevolmente condursi con gli strumenti progettuali noti, includendo i corretti termini per la partecipazione all'incendio.

### 4. Bibliografia

1. AA.VV. FM Global Property Loss Prevention Data Sheets, Electrical Energy Storage Systems 2017.
2. A.F.Blum, R.T.Long, Fire Hazard Assessment of lithium-ion battery energy Storage systems Springer 2016 (ISBN 978-1-4939-6555-7)
3. R.T.Long, J.A.Sutula,M.J.Kahn, Flammability of Cartoned Lithium Ion Batteries, Springer 2014 (ISBN 978-1-4939-1076-2)
4. C.Mikolajczak,M.Kahn,K.White,R.T.Long, Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment. Springer 2011 (ISBN 978-1-4614-3485-6)
5. Ling xi Kong,Chuan Li, Jiuchun Jiang.Michael G. Pecht, Li-Ion Battery Fire Hazards and Safety Strategies, Energies 2018, 11, 2191
6. C. Mikolajczak, M. Kahn, K. White, R.T. Long Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment Final Report, Exponent Failure Analysis Associates, Inc, The Fire Protection Research Foundation, 2011
7. R. T.s Long Jr., J. A. Sutula, M. J. Kahn, Lithium Ion Batteries Hazard and Use Assessment Phase IIB Flammability Characterization of Li-ion Batteries for Storage Protection, Exponent Inc. The Fire Protection Research Foundation, 2013
8. R. T. Long Jr., A. Blum Lithium Ion Batteries Hazard and Use Assessment - Phase III, Exponent Inc. The Fire Protection Research Foundation, 2016
9. FM Global: "Development of Protection Recommendations for Li-ion Battery Bulk Storage: Sprinklered Fire Test". 2016



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



## RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

### Capitolo 6 D

#### Valutazione su efficacia impianti di protezione attiva

Pier Giacomo Cancelliere (CNVVF)



## Indice

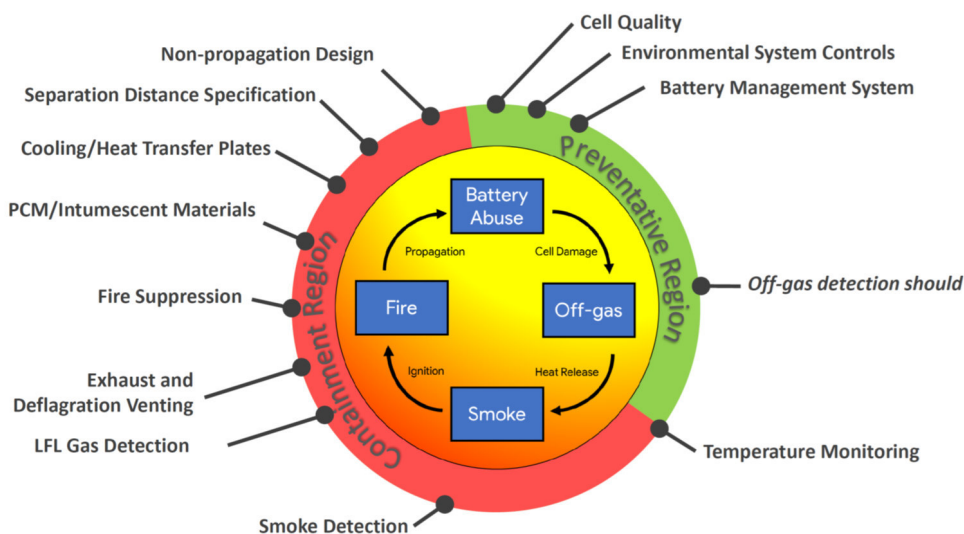
|  |     |
|--|-----|
| INDICE .....   | 563 |
| 1. PROTEZIONE ATTIVA .....   | 564 |
| 1.1    INTRODUZIONE .....  | 564 |
| 1.1.1    I sistemi di rivelazione ed allarme incendio: IRAI .....                        | 565 |
| 1.1.2    Protezione attiva: "Test di spegnimento orientati a principi di incendio" ..... | 566 |
| 1.1.3    Protezione attiva – "Test di spegnimento su Larga Scala" .....                  | 568 |
| 1.2    CONCLUSIONI .....   | 569 |
| 1.3    BIBLIOGRAFIA .....  | 570 |

# 1. Protezione attiva

## 1.1 Introduzione

Nel presente capitolo si approfondiscono le misure di protezione attiva per i depositi sia attivi che passivi di batterie litio-ione. La progettazione della sicurezza antincendio delle attività in genere e, in particolare, delle attività che coinvolgono questa nuova generazione di sistemi di accumulo e di conversione dell'energia elettrica, vede necessariamente, a valle della valutazione del rischio, l'attuazione di misure di prevenzione e misure di protezione, sia attiva che passiva, al fine di ridurre il rischio incendio sino a livelli che possano essere considerati accettabili.

Le misure di prevenzione specifiche per le batterie al litio ione sono relative all'approvvigionamento ed utilizzo di batterie di alta qualità (batterie che siano realizzate con sistemi di protezione passiva illustrati nel capitolo protezione passiva, paragrafo "protezione passiva di piccola scala"). Inoltre, considerato che le condizioni ambientali di stoccaggio o impiego delle batterie al litio-ione potrebbero rappresentare causa di abuso sufficiente ad innescare il fenomeno del thermal-runaway, nelle installazioni attive e passive sarà necessario avere dei sistemi di controllo delle condizioni ambientali (Environmental System Controls) affinché le condizioni di umidità, temperatura e ventilazione dei locali siano ottimali per lo stoccaggio o il funzionamento delle batterie. Altra fondamentale misura di prevenzione è rappresentata dal BMS, Battery Management System, componente fondamentale per la funzionalità e la sicurezza dei sistemi attivi (Energy Storage System); i BMS, nelle diverse configurazioni e funzionalità, sono trattati in uno specifico capitolo di questa pubblicazione cui si rimanda per approfondimenti.



**Figura 1. Progettazione della sicurezza antincendio per depositi attivi e passivi di batterie litio ione**

Nel capitolo protezione passiva si è rimarcato come il nord America, con la norma UL 9540A, introduce un test specifico per la determinazione della "temperatura di attivazione del venting system" per le batterie a ioni di litio (Cfr. Capitolo "Protezione Passiva" per approfondimenti). Qualora questa temperatura fosse inferiore alla temperatura di attivazione del thermal run-away, i sistemi di rivelazione di tali gas potrebbero rappresentare una efficace misura di prevenzione per agire sulle batterie che sono in procinto di attivare il processo irreversibile del thermal run-away (Off gas detection). Anche questa misura di prevenzione dovrebbe essere proposta nella norma tecnica che sta sviluppando la NFPA per le installazioni attive tipo ESS: NFPA 855. Una volta attivato il fenomeno di thermal run-away, al fine della mitigazione del rischio è necessario riferirsi alle misure di protezione per limitare i danni dell'installazione. Gli impianti di rivelazione ed allarme incendio (nel seguito IRAI) prevedono la misura di temperatura, fumo e altri fenomeni propri dell'incendio delle batterie al litio affinché possano essere attivate prontamente le misure di rilascio di

eventuali gas infiammabili e, successivamente, per attivare i sistemi di controllo dell'incendio più appropriati. Dopo le misure di controllo dell'incendio, le ulteriori misure di mitigazione del danno sono tutte quelle passive impiegate nella scelta di materiali non combustibili per la realizzazione dei locali di stoccaggio o utilizzo delle batterie, della resistenza al fuoco delle strutture, di eventuali ulteriori piastre di raffreddamento, delle opportune distanze di separazione per evitare la propagazione verso altre infrastrutture prossime. La Figura 1 illustra il processo per la corretta progettazione della sicurezza antincendio per le attività di stoccaggio o impiego di batterie al litio-ione. Questo capitolo analizza i sistemi di rivelazione per la rivelazione degli incendi (IRAI) delle attività con batterie litio-ione e approfondisce gli impianti per il controllo degli incendi di batterie litio ione, evidenziando gli aspetti positivi e negativi dei diversi agenti estinguenti e delle varie tipologie di impianti di protezione attiva.

## 1.2 I sistemi di rivelazione ed allarme incendio: IRAI

Gli impianti di rivelazione ed allarme incendio (IRAI) costituiscono una importante misura di protezione attiva poiché riescono a sorvegliare le attività e ad individuare precocemente l'insorgere di un incendio nella fase iniziale, consentendo alle altre misure di protezione attiva, gestionale e passiva di intervenire prontamente in modo da limitare gli effetti dell'incendio rilevato. In letteratura tecnica **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, 0e 0, e per diverse applicazioni, come il settore marittimo o aereo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, 0e 0, o negli standard in via di predisposizione e aggiornamento – NFPA 855 0 –, la sorveglianza degli stoccaggi passivi e dei sistemi attivi (ESS) con impianti di rivelazione ed allarme incendio viene considerata quale misura necessaria della strategia di sicurezza antincendi.

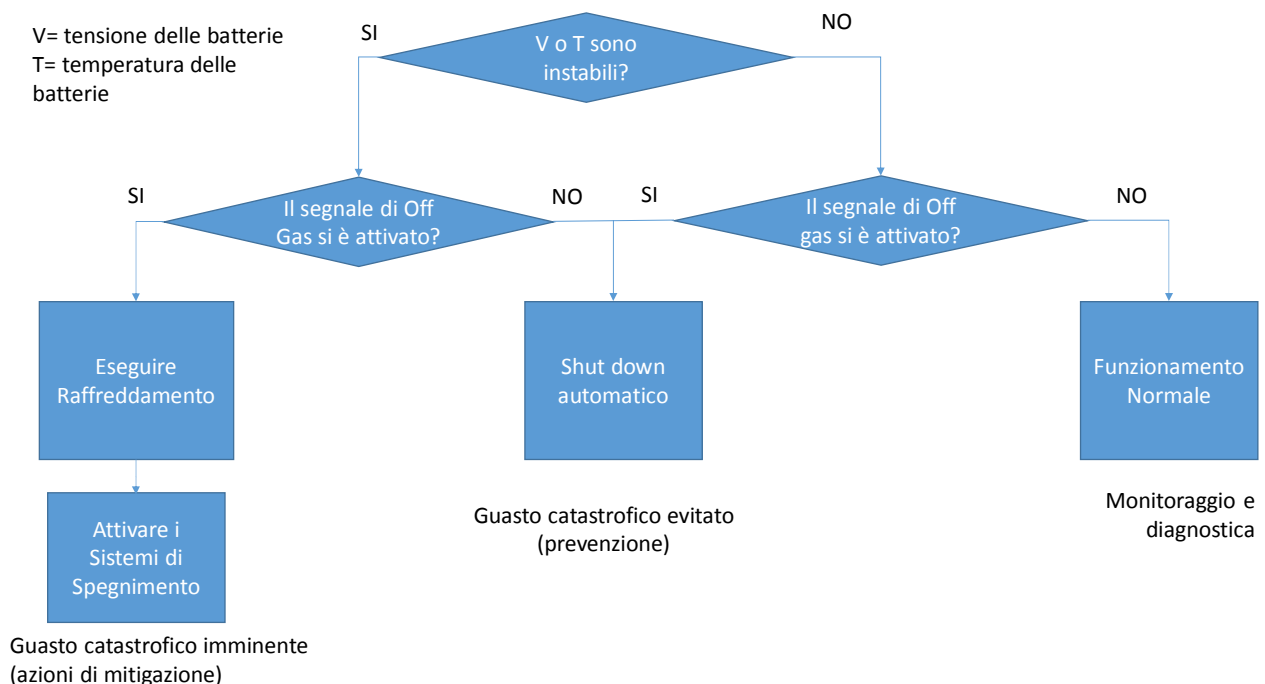


Figura 2: Logica di funzionamento di un IRAI con segnale di Gas Off detection

Oltre alle normali tecniche di rivelazione basate su sensori di temperatura o di fumo o su una combinazione di entrambi, risultano essere molto efficaci gli IRAI che si basano sulla tecnologia ad aspirazione Aspirating Smoking Devices 0. La rivelazione ASD prevede l'installazione di uno specifico "piping" realizzato con una tubazione in plastica dotata di un determinato numero di forellini in modo da poter campionare l'aria in tutte le zone sorvegliate dall'impianto. Il campionamento dell'aria, oltre a rilevare la temperatura e l'eventuale presenza di fumo, può comunque essere processato per individuare altri elementi volatili o sostanze specifiche. Pertanto, attraverso la tecnologia ASD, l'aria campionata dall'IRAI potrebbe essere



processata da appositi sensori al fine di rivelare la presenza di concentrazioni di gas esplosivi rilasciati dal “venting” delle batterie o dei sistemi di accumulo. In questa ulteriore modalità, il sistema potrebbe lavorare anche nella fase preventiva o essere progettato per attivare sistemi di sfogo delle sovrappressioni dovuto ad atmosfere esplosive o, ancora, sistemi di ventilazione per diluire atmosfere potenzialmente esplosive 0, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Il sistema di Off Gas Detection a servizio degli ESS fornisce, inoltre, la possibilità di differenziare i segnali di allarme relativi ad un guasto catastrofico e i segnali di preallarme per poter arrestare in sicurezza il sistema (shut down) o inibire solo la parte di sistema difettosa. A titolo esemplificativo, una delle possibili logiche **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** da implementare per la protezione dei sistemi di accumulo è illustrata nel digramma di flusso riportato in Figura 2: la corretta gestione del segnale proveniente dal Off Gas detection consente di effettuare monitoraggio e diagnostica, di prevenire un guasto catastrofico o di attivare le misure di mitigazione come sistemi di raffreddamento o impianti di spegnimento in caso di imminente guasto catastrofico (thermal run-away).

### *1.3 Protezione attiva: “Test di spegnimento orientati a principi di incendio”*

Negli ultimi anni sono stati registrati eventi incidentali anche su apparecchiature portatili, quali cellulari, tablet o PC dotati di batterie al litio-ione, orientando la ricerca e la sperimentazione per agenti estinguenti e tecnologie di spegnimento anche su incendi in piccola scala. La sperimentazione di piccola scala ha avuto come scopo l'individuazione di presidi manuali per poter far fronte a principi di incendio coinvolgenti apparecchiature dotate di batterie al litio-ione. In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, l'istituto di ricerca tedesco “Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg” (ZSW), si riportano alcuni test di spegnimento prendendo in considerazione un focolare tipo costituito da un “battery pack” da 800 Wh con celle cilindriche 18650 /Li-NMC), costituito da 13 celle in serie e 6 celle in parallelo. Nel rapporto tecnico, per le prove di spegnimento, si utilizza anche un focolare tipo costituito da pouch cells (Li-CoO<sub>2</sub>) con capacità di 120 Wh. Gli inneschi vengono generalmente realizzati mediante dei riscaldatori costituiti da resistenze elettriche: 2 resistenze ciascuna di 150 W per un totale di 300 W o attraverso alimentatori di sovraccarica. I test sono stati predisposti, principalmente, per valutare l'efficacia dell'agente estinguente costituito da soluzione acquosa di vermiculite: Aqueous Vermiculite Dispersion (AVD) attraverso l'impiego di presidi manuali quali estintori portatili o carrellati.

Il meccanismo di estinzione consiste nello spruzzare particelle di vermiculite disciolte in acqua che depositandosi sulla superficie in fiamme, formano un film che si asciuga velocemente creando una barriera verso l'ambiente esterno riuscendo a raffreddare la superficie dell'incendio. Questa tipologia di agente estinguente utilizzata all'interno di estintori portatili di incendio, pare intervenire efficacemente su incendi di piccoli elettrodomestici ed apparecchiature elettricamente alimentate da batterie a litio-ione **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Sul mercato sono già presenti estintori che impiegano AVD **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** come agente estinguente e che vengono qualificati e certificati dal fabbricante attraverso il test fire sviluppato dallo ZSW tedesco **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Il focolare di riferimento per verificare l'efficacia di estintori con agente estinguente AVD è costituito da 4 Li-cells (2x2s1p, LiC-LiCo-Oxide, pouch), ogni cella 4 Ah/4,2V/15 Wh con innesco costituito da un riscaldatore da 150 W.

Il CEN, comitato europeo di normazione, sta sviluppando in seno al comitato tecnico TC 70 “Manual means of fire fighting equipment” una appendice specifica da allegare allo standard EN 3/7 0 per gli estintori manuali, dove vengono normalizzate le prestazioni che dovrebbero essere raggiunte da presidi manuali capaci di poter estinguere test fire costituiti da batterie a litio 0. Nella proposta dell'Annex normativo, il TC 70 definisce la nuova classe di fuoco indicando la prestazione crescente in 10 Li, 20 Li e 50 Li che può essere raggiunta attraverso prove di spegnimento da effettuarsi su focolari tipo costituiti da batterie “puch” o batterie cilindriche 18650.

Il test fire costituito dalle pouch cell è riportato in Figura 3, l'innesco in questo caso è realizzato mediante un alimentatore che sovraccarica le celle; il test fire con batterie cilindriche tipo 18650 è rappresentato nella Figura 4, in questo caso l'innesco è costituito da un elemento riscaldatore.

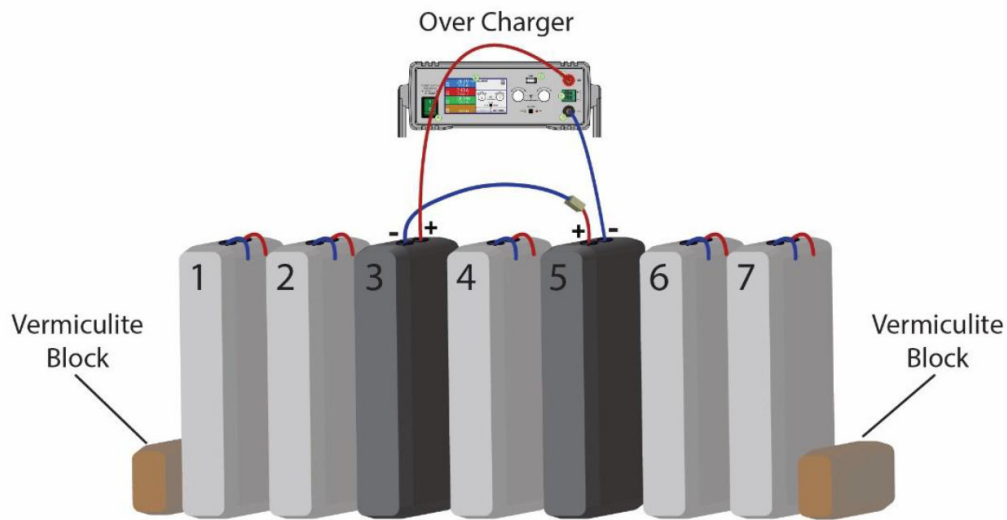


Figura 3: Construction and connection of pouch cells for test fires 10 Li

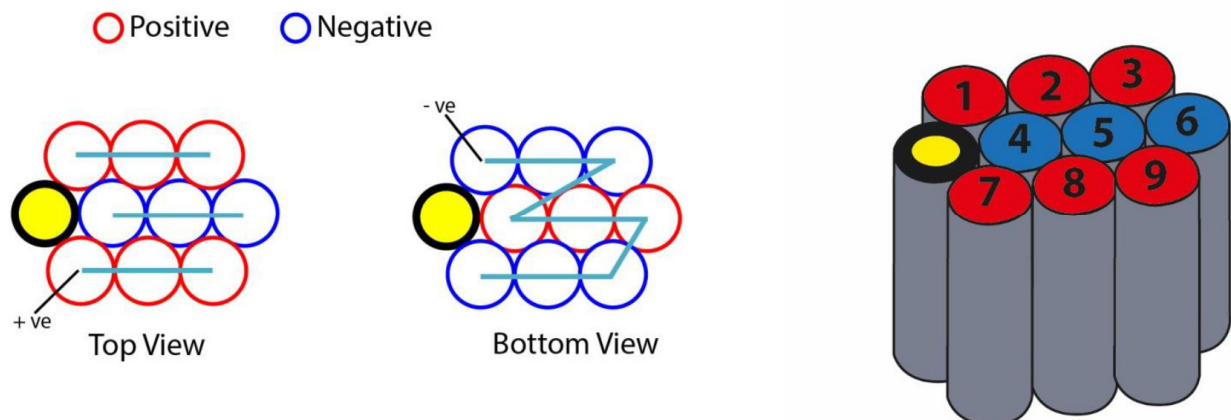


Figura 4: Construction and connection of 18650's for test fires in 10 Li (black/yellow cell is an example of a surrogate with a heater cartridge inserted inside it)

In funzione della prestazione che si vuole ottenere, i test fire illustrati sopra vengono realizzati con un numero di celle maggiori. La Tabella 1 riporta la proposta di classificazione con i relativi test fire che devono essere superati dall'estintore al fine di ottenere la prestazione desiderata.

Tabella 1. Proposta di classificazione CEN per estintori efficaci su incendi di batterie al Litio

| Designation of test fire | Total potential energy of batteries in Wh (Plus or minus 5%) | No of cells tested – Pouch | No of cells tested – 18650 |
|--------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| 10 Li                    | 70   | 7                          | 10                         |
| 20 Li                    | 200  | 14                         | 20                         |
| 50 Li                    | 500  | 35                         | 50                         |

In ultimo, il CEN propone anche un pittogramma specifico (cfr. fig zzzz) da inserire nell’etichetta degli estintori che hanno superato i test fire con batterie al litio.



Figura 5: Proposta CEN di pittogramma per estintori efficaci su incendi di batterie al litio

#### 1.4 Protezione attiva – “Test di spegnimento su Larga Scala”

I test di spegnimento su larga scala sono stati effettuati principalmente dalla NFPA e da FM Global riferendosi a sistemi di spegnimento sprinkler impiegando quale agente estinguente l’acqua. In particolare il volume **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è dedicato allo studio e alla comparazione degli imballi di cartone di batterie litio ione, stoccati nei magazzini prodotti finiti delle industrie o in depositi prima del trasporto o utilizzo delle batterie medesime. La sperimentazione riassume le prove in larga scala condotte dalla FM global **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** per valutare l’efficacia delle diverse configurazioni di sistemi di spegnimento sprinkler.

In altre pubblicazioni, come la guida Siemens Oe la pubblicazione VTT **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono riportate alcune prove riferite ad impianti di spegnimento a gas, dimostrando che dopo la scarica del gas inertizzante, costituito da azoto o da anidride carbonica, gli effetti sul focolare in prova risultano essere mitigati. Inoltre, considerata la natura dell’incendio ascrivibile alla combustione dei prodotti della composizione dell’elettrolita, gli incendi delle batterie litio ione possono essere classificati quali incendi di classe B. Sono state condotte prove anche mediante impianti ad aerosol concentrato che, come noto, fondano il principio di spegnimento sull’anti-catalisi provocata dal rilascio di sali di potassio che legandosi con i radicali liberi rallentano il processo di combustione. Tutti i risultati di impianti a singola scarica, quali impianti a gas, impianti ad aerosol, non riescono a garantire la completa estinzione dell’installazione protetta in quanto non possono essere escluse riaccensioni dovute proprio al meccanismo di thermal run-away in corso; inoltre l’agente estinguente non possiede caratteristiche fisiche idonee all’assorbimento del calore prodotto dall’incendio delle batterie. Per questo motivo la NFPA e la FM Global tendono ad utilizzare ingenti quantità di acqua a protezione degli impianti di stoccaggio in modo da poter far assorbire il calore prodotto dal guasto catastrofico delle batterie. La proposta dello standard NFPA 855, indipendentemente dalla ubicazione “indoor” o “outdoor” del deposito attivo di batterie al litio che costituiscono lo ESS, prevede la protezione mediante impianto sprinkler ad alte prestazioni: “ESS will be

*required to be protected with a NFPA 13 sprinkler system using a minimum density of 0.3 gpm/ft<sup>2</sup> over the area of the room or 2500 ft<sup>2</sup> whichever is smaller" 0.*

Come noto, la decomposizione dei componenti della batteria al litio, oltre a produrre gas infiammabili, restituisce anche ossigeno, pertanto l'incendio delle batterie al litio risente molto meno dell'effetto di soffocamento di alcuni estinguenti e tecniche di spegnimento che tendono a ridurre il tenore di ossigeno nell'atmosfera dei locali delle installazioni protette. Le pubblicazioni 0 e 0 evidenziano, per contro, gli effetti benefici degli impianti water mist quale efficace sistema di contenimento e raffreddamento dell'installazione di sistemi ESS a bordo di navi a propulsione elettrica. La stessa tecnologia water mist, una volta condiviso e stabilito un protocollo di prova normalizzato anche per installazioni terrestri, potrebbe rappresentare una valida proposta per la protezione degli ESS.

## 2 Conclusioni

L'analisi della letteratura disponibile per gli stoccaggi attivi di energia, ESS, pone alcune problematiche, derivanti dall'esperienza (limitata) sugli incidenti noti, e sulle capacità predittive mutuata dagli strumenti dell'analisi del rischio.

Quanto noto dalla letteratura è riassumibile nei seguenti punti:

- Sono da escludersi incendi di classe D secondo la classificazione italiana/europea in quanto il litio è comunque in forma ionica e non metallica;
- Il rischio incendio è connesso oltre che ai noti fenomeni associati ad impianti ed apparecchiature elettriche per la formazione di impedenze resistive localizzate a causa di difetto di contatto prodotto da allentamenti spontanei, da dispersioni causate da alterazioni della separazione dielettrica per presenza di acqua, da guasti di componente con perdite di isolamento, anche a fenomeni intrinsecamente connessi alla termochimica della cella Li-Ion, noti come thermal runaway;
- La caratterizzazione dell'incendio è quella di combustione di soluzioni liquide infiammabili, assimilabili a idrocarburi leggeri o sostanze assimilabili (alcoli, eteri, esteri a catena corta) con aggravio di rischio connesso alle condizioni di contenimento di questi (celle sigillate) e mitigazione intrinseca connessa alla segregazione nelle singole celle, negli istanti iniziali;
- Gli effetti di incendio su singolo container possono produrre perdite di contenimento generalizzato dalle celle, ovvero innescare a cascata fenomeni multipli di runaway delle celle;
- Le condizioni di confinamento in difetto di aerazione possono portare ad accumuli di vapori infiammabili, con successivi fenomeni di fiamma premiscelata, eventualmente associata a sovrappressione in dipendenza delle condizioni di confinamento (Backdraft) con elevato rischio per operatori delle unità antincendio;
- Le operazioni di spegnimento possono comportare la perdita di contenimento e la potenziale dispersione di sostanze solute pericolose per l'ambiente;
- Una precisa caratterizzazione della composizione chimica non è al momento completamente fattibile a causa della velocità di evoluzione della tecnologia.

Essenzialmente per stoccaggi di grandi dimensioni, su elementi inseriti in container, si è rilevato che l'eventuale "runaway" termico di alcune celle può facilmente indurre effetti domino per abuso termico sulle altre celle, a causa di scarse condizioni di ventilazione. È inoltre tecnicamente irrealizzabile l'inserimento di un singolo sensore di temperatura per cella, per un'individuazione precoce di fenomeni di deviazione termica.

Da quanto noto appare comunque evidente che, anche al fine di evitare riaccensioni, appare necessario un sistema per l'asportazione rapida di calore, sia come calore sensibile del gas contenuto all'interno (aria e fumi di combustione, in quanto potenziale vettore di propagazione dei thermal runaway delle celle - raffreddamento gas -, che da elementi locali in fase di combustione, o in thermal runaway prossimo. Se nel primo caso un sistema di aerazione e ricambio di aria potrebbe essere proposto, si ritiene che i ridotti coefficienti di scambio convettivo gas solido rendano limitatamente efficace tale sistema nei confronti degli impaccamenti delle celle, variamente esposti, e per i quali la velocità di contatto dell'aria può ritenersi

limitata. Di contro, l'utilizzo di un sistema ad acqua nebulizzata di tipo water mist in configurazione "Stand Alone" installato a protezione del singolo container potrebbe essere considerato come soluzione in quanto:

- L'utilizzo di acqua nebulizzata sarebbe efficace sia per il raffreddamento del gas interno che per l'azione localizzata sulle celle
- Il coefficiente di scambio convettivo con l'acqua condensata ha un coefficiente di scambio convettivo con elementi solidi di tre ordini di grandezza superiore al vapore
- L'utilizzo limitata di acqua ridurrebbe il bisogno di volumi di contenimento per le acque di spegnimento, eventualmente ricavabili nello stesso volume containerizzato
- L'utilizzo del water mist su volumetria confinata è lo scenario iniziale per al quale questa tecnologia fu sviluppata (packaging navali/offshore quali turbine a gas)
- Il numero di test da effettuare sarebbe limitato ed altamente standardizzabile
- Un sistema stand alone potrebbe essere dimensionato per ciascun unità container con elevato livello di affidabilità senza bisogno di network esterni
- Tale sistema sarebbe automaticamente trasportato con il container

In alternativa si propone di verificare quanto alla precedente pubblicazione, ove è risultata efficace anche su riaccensione sebbene se su scala limitata una soluzione acqua vermiculite.

Gli stoccaggi passivi sono stati analizzati sullo studio FM Global 0, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, dove vengono proposti sistemi spinkler ad alte prestazioni per lo spegnimento di specifiche configurazioni di stoccaggio e di imballo delle batterie, segnalando che è si è rilevato un comportamento dell'HRR iniziale dipendente dal packaging più che dalle stesse batterie. In questo caso, l'impiego di notevoli volumi di acqua per lo spegnimento comporta la progettazione di adeguati sistemi di raccolte delle acque di dilavamento che, inevitabilmente, risulteranno contaminate dalle sostanze tossiche rilasciate dall'incendio delle batterie litio-ione.

### 3 Bibliografia

1. IATA Lithium Battery Guidance Document, Revised 9 March 2016 Transport of Lithium Metal and Lithium Ion Batteries Revised for the 2016 Regulation
2. Fire protection for Li-ion battery energy storage systems, White paper January Article no. BT\_0173\_EN (Status 01/2019) [www.siemens.com/sinorix](http://www.siemens.com/sinorix)
3. Petra Andersson, Magnus Arvidson, Franz Evengren, Mourhaf Jandali, Fredrik Larsson, Max Rosengren: "Lion Fire: Extinguishment and mitigation of fires in Li-ion batteries at sea". RISE Report 2018:77
4. Petra Andersson, Johan Wikman, Magnus Arvidson, Fredrik Larsson, Ola Willstrand: "Safe introduction of battery propulsion at sea". SP Rapport 2017:34
5. Tero Välisalo: "Firefighting in case of Li-Ion battery fire in underground conditions: literature study". RESEARCH REPORT VTT-R-00066-19.  
[https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/25155564/VTT\\_R\\_00066\\_19.pdf](https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/25155564/VTT_R_00066_19.pdf)
6. NFPA 855 "Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems"
7. UNI EN 54-20:2006 "Sistemi di rivelazione e di segnalazione d'incendio - Parte 20: Rivelatori di fumo ad aspirazione"
8. Sc. O. Rohozneanu\*, Dr. H. Döring, Dipl. Ing. (FH) M. Wörz Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW): "Various fire extinguisher tests on Li-ion battery". Report Version 0.8-short November 2016, M, Germany Baden-Württemberg Division 3: Energy Storage and Energy Conversion
9. "Sensor Enhanced and Model Validated Life Extension of Li-Ion Batteries for Energy Storage". Final Report Advanced Research Projects Agency – Energy (ARPA-e) Advanced Monitoring and Protection of Energy Storage Devices Program (AMPED) July 1, 2015
10. <https://www.safelincs.co.uk/lith-ex-fire-extinguisher/>
11. [https://www.safelincs.co.uk/templates\\_safelincs/files/datasheets/3563\\_ZSWCertification.pdf](https://www.safelincs.co.uk/templates_safelincs/files/datasheets/3563_ZSWCertification.pdf)
12. UNI EN 3-7:2008 "Estintori d'incendio portatili - Parte 7: Caratteristiche, requisiti di prestazione e

metodi di prova”

13. CEN TC 70 doc B0386 “Annex P (normative) Test fire for testing Class “Li ion” Battery fire extinguishers”
14. R. Thomas Long Jr. Jason A. Sutula Michael J. Kahn: “Flammability of Cartoned Lithium Ion Batteries”. 2014. <https://www.springer.com/gp/book/9781493910762>
15. B. Ditch et al., Flammability characterization of lithium-ion batteries in bulk storage. FM Global, March 2013
16. By Brian O’Connor, P.E.: “Safety With Energy Storage Systems”. August 21, 2019. <https://facilityexecutive.com/2019/08/renewable-energy-safety-with-energy-storage-systems-ess/>



CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



## RISCHI CONNESSI CON LO STOCCAGGIO DI SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE

### Capitolo 7

Esperimenti e modellazione di incendi nello stoccaggio  
di batterie Li-ione

Paola Russo (UniRoma1), Michele Mazzaro (CNVVF)



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA





## Indice

|  |            |
|--|------------|
| <b>INDICE .....</b>  | <b>573</b> |
| <b>SOMMARIO .....</b>  | <b>574</b> |
| <b>1 INTRODUZIONE .....</b>                                  | <b>575</b> |
| <b>2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....</b> | <b>576</b> |
| 2.1 MATERIALI E METODI .....                                 | 576        |
| 2.1.1 <i>Celle cilindriche Li-ione 18650</i> .....           | 576        |
| 2.1.2 <i>Pacchi batteria Li-ione da 18 V</i> .....           | 577        |
| 2.1.3 <i>Celle litio-polimero</i> .....                      | 578        |
| 2.1.4 <i>Procedura di prova</i> .....                        | 579        |
| 2.2 RISULTATI SPERIMENTALI .....                             | 580        |
| 2.3 MODELLAZIONE DELL'INCENDIO .....                         | 581        |
| 2.3.1 <i>Geometria e griglia</i> .....                       | 581        |
| 2.3.2 <i>Materiali</i> .....                                 | 582        |
| 2.4 RISULTATI DEL MODELLO .....                              | 584        |
| <b>3 CONCLUSIONI .....</b>                                   | <b>586</b> |
| <b>4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....</b>                     | <b>586</b> |

## Sommario

Le batterie ricaricabili agli ioni di litio offrono molti vantaggi rispetto alle altre batterie al momento disponibili. Possiedono un'alta densità di energia per unità di volume, una tensione relativamente costante durante la scarica, hanno bisogno di poca manutenzione, presentano buone prestazioni a bassa temperatura e una lunga durata. Vi è, tuttavia, un pericolo associato all'uso di queste batterie a causa del loro elevato contenuto energetico e della loro potenziale instabilità termica.

Il loro crescente utilizzo ha creato preoccupazioni legate alla loro logistica, con particolare riguardo ai depositi di stoccaggio di queste batterie. I metodi di stoccaggio finora proposti, per esempio in depositi adeguatamente progettati, così come altre soluzioni di stoccaggio industriale, richiedono una attenta analisi della sicurezza. È necessario ad esempio esaminare il modo in cui queste batterie reagiscono in caso di esposizione ad un eventuale incendio. A questo scopo sono disponibili i dati sperimentali dei test condotti dalla FM Global relativi all'incendio di celle confezionate in scatole di cartone disposte in pallet e in un rack su tre livelli. A causa delle difficoltà e dell'elevato costo dei test condotti su larga scala, lo sviluppo di uno strumento predittivo può offrire significativi vantaggi.

In questo capitolo è presentato un modello sviluppato per prevedere la propagazione di un incendio di batterie agli ioni di litio nello stoccaggio di massa. Il software utilizzato per la simulazione è Fire Dynamic Simulator (FDS). Il modello è stato convalidato utilizzando i risultati resi disponibili dalla FM-Global. Il modello riproduce lo schema sperimentale, in particolare la disposizione delle merci sugli scaffali e il materiale combustibile coinvolto nella prova e i risultati ottenuti predicono con buona accuratezza i profili di temperatura e HRR (Heat Release Rate) ottenuti dai test sperimentali.

## 1. Introduzione

Dal 2011 la Fire Protection Research Foundation americana ha condotto uno studio sulla valutazione dei pericoli delle batterie Li-ione, allo scopo di fornire informazioni sulle strategie di protezione antincendio da adottare nei depositi per lo stoccaggio di tali batterie. Lo studio ha previsto un'indagine sulle principali metodologie di stoccaggio e ricerche sul comportamento all'incendio a partire dalle celle singole fino alle celle confezionate nelle condizioni di stoccaggio [1-3]. In particolare, nel rapporto [2] è riportato uno studio comparativo dell'infiammabilità delle comuni batterie agli ioni di litio rispetto a materiali standard in deposito (ad es. plastica non espansa in scatole di cartone CUP). Gli esperimenti sono stati condotti dalla FM Global [4] che ha anche condotto ulteriori test su scala reale per la valutazione dell'efficienza dei sistemi di spegnimento sprinkler.

Negli esperimenti sono state utilizzate celle Li-ione cilindriche di formato 18650, pacchi batteria ricaricabili per elettroutensili contenenti celle dello stesso formato e celle polimeriche. Le celle e i pacchi batteria confezionati in scatole di cartone sono stati disposti in pallet e in un rack su tre livelli e l'incendio è stato innescato mediante l'utilizzo di un bruciatore. I dettagli della sperimentazione condotta dalla FM Global e i principali risultati ottenuti sono riportati nei paragrafi successivi.

Inoltre, per poter predire il comportamento delle batterie in tali sistemi di stoccaggio e poterli applicare ad altre configurazioni è stato sviluppato un modello che riproducesse i risultati sperimentali. I dettagli del modello e il confronto con i dati sperimentali sono riportati nel seguito.

## 2. Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 Materiali e metodi

In questa sezione sono descritti gli esperimenti condotti dalla FM Global e i principali risultati ottenuti. Sulla base dei tipi di celle disponibili in commercio, la FM Global ha identificato le batterie cilindriche agli ioni di litio aventi formato 18650, le batterie prismatiche ai polimeri di litio con capacità paragonabile alle 18650 celle e i pacchi batteria ricaricabili con celle cilindriche 18650 come i più pertinenti per i test sperimentali. Queste batterie, infatti, si trovano in genere in una vasta gamma di prodotti, tra cui dispositivi GPS portatili, telefoni cellulari, computer portatili, cuffie senza fili, fotocamere, videocamere e veicoli elettrici.

#### 2.1.1 Celle cilindriche Li-ione 18650

Le celle cilindriche in formato 18650 utilizzate nei test sperimentali sono mostrate in figura 1.

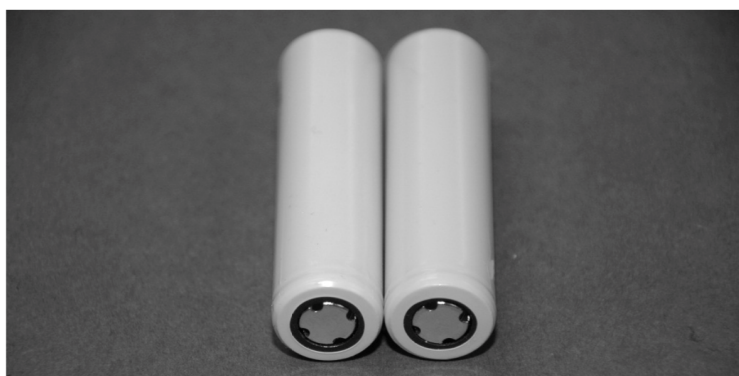


Figura 1. Celle cilindriche 18650

L'imballaggio consiste in due scatole di cartone ondulato poste all'interno di una scatola di cartone ondulato. Ogni scatola interna contiene 100 celle cilindriche separate da separatori di cartone (vedi Figura 2).



Figura 2. Imballaggio delle celle cilindriche 18650

### 2.1.2 Pacchi batteria Li-ione da 18 V

I pacchi batteria per utensili elettrici sono composti da 10 celle cilindriche di formato 18650 racchiuse in una custodia di plastica, a sua volta racchiusa in blister anche questo di plastica, come mostrato in Figura 3. Questo tipo di imballaggio contiene quantità significative di materie plastiche, a differenza delle celle cilindriche e polimeriche. In figura 4 sono mostrati le scatole di cartone, ognuna contenente quattro blister di plastica, disposti su pallet.



Figura 3. Imballaggio delle celle cilindriche 18650



Figura 4. Scatole contenenti i blister di plastica disposte su un pallet

### 2.1.3 Celle litio-polimero

Le celle litio-polimero sono racchiuse in una custodia leggera per ridurre dimensioni e peso complessivo e hanno dimensioni approssimative di 9,9 cm di lunghezza, 4,1 cm di larghezza e 0,58 cm di spessore. La cella è costruita avvolgendo lunghe strisce di elettrodi e racchiudendoli in una busta di alluminio rivestita di polimero con cuciture termosaldate (Figura 5). In ciascuna scatola di cartone sono contenute 144 celle, a loro volta confezionate in due ulteriori scatole di cartone più piccole (Figura 6).



Figura 5. Celle agli ioni di litio-polimero



Figura 6. Imballaggi di celle litio-polimero disposti su un pallet

In Tabella 1 sono riassunte le caratteristiche delle celle utilizzate nei test.

Tabella 1. Caratteristiche delle celle

| Parameter                                 | Power tool 18650                            | 18650                      | Li-Polymer                 |
|---|---|----------------------------|----------------------------|
| Nominal voltage                           | 3.7 V                                       | 3.7 V                      | 3.7 V                      |
| Nominal capacity                          | 1300 mAh                                    | 2600 mAh                   | 2700mAh                    |
| Mass of cell                              | 42.9 g                                      | 47.2 g                     | 50.0 g                     |
| Approximate mass of electrolyte solvent   | 3.3 g                                       | 2.6 g                      | 4.0 g                      |
| Cell chemistry                            | Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) | Lithium Cobalt Oxide (LCO) | Lithium Cobalt Oxide (LCO) |
| Approx. State of Charge (SoC) as received | 50%   | 40%                        | 60%                        |

### 2.1.4 Procedura di prova

Le celle e il pacco batteria sono state posizionate all'interno della loro confezione originale in cartone, le confezioni assemblate su pallet e disposte su tre livelli in un rack.

In Figura 7 è schematizzata la disposizione dei pallet con dimensioni di ingombro di circa 2,4 m di lunghezza x 1 m di larghezza x 4,3 m di altezza (8 ft x 3,25 ft x 14 ft). Le celle sono state disposte solo nella parte centrale del pallet, sul secondo e terzo livello, ma non sul primo (configurazione ridotta), per ridurre i costi della sperimentazione. L'incendio è stato innescato da un bruciatore di propano ad anello situato al di sopra del primo livello, in modo da avere una fiamma in grado di investire dal basso le celle disposte sul secondo livello. La potenza del bruciatore è stata stimata pari a 45 kW. In tabella 2 è riportato il numero di celle presenti in ogni livello durante la prova.

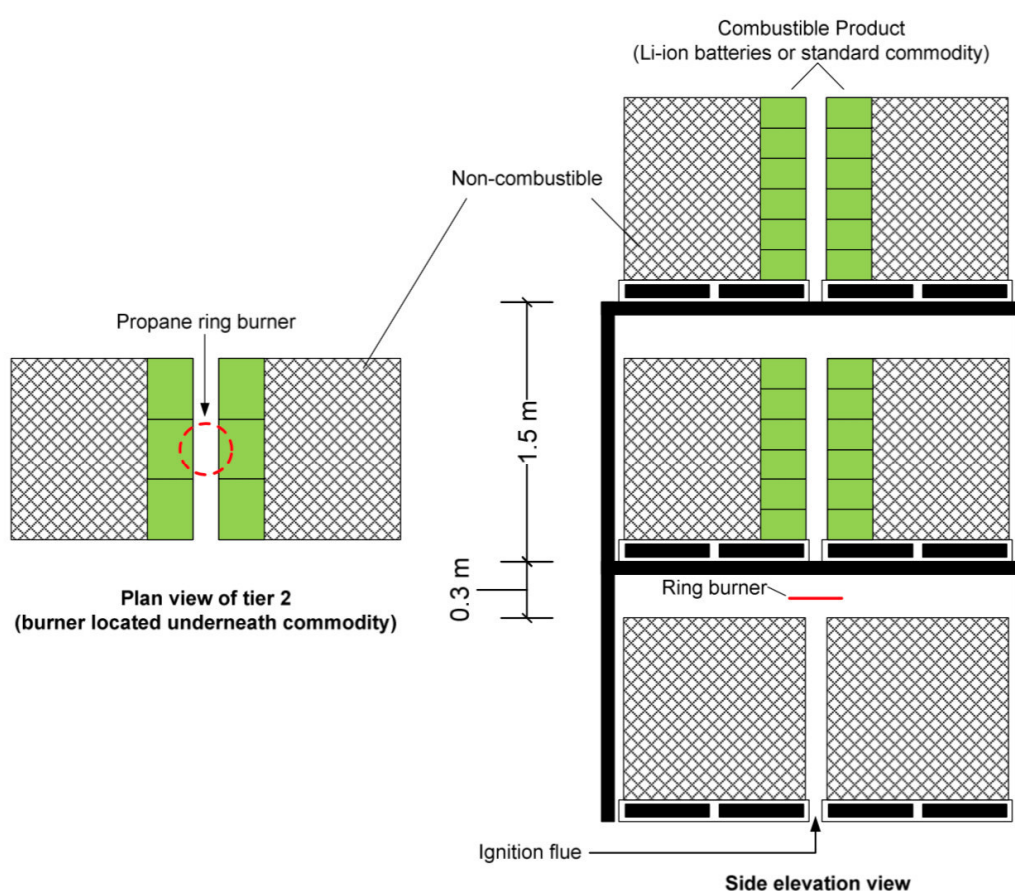


Figura 7. Schema della disposizione delle celle

Tabella 2. Numero di celle utilizzate per i diversi livelli

| Reduced Commodity Type   | Tier 1 Amount | Tier 2 Amount          | Tier 3 Amount          |
|--------------------------|---------------|------------------------|------------------------|
| 18650-Format Cylindrical | None          | 9600 cylindrical cells | 9600 cylindrical cells |
| Power tool pack          | None          | 100 packs              | 100 packs              |
| Polymer                  | None          | 7776 cells             | 7776 cells             |

Le prove sono state registrate mediante videocamera e telecamera ad infrarosso e sono stati analizzati i gas prodotti dall'incendio. In particolare, sono state monitorate le concentrazioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), monossido di carbonio (CO), ossigeno (O<sub>2</sub>) e idrocarburi totali (THC). Sono state inoltre misurate le temperature alle diverse altezze del rack mediante termocoppie posizionate secondo lo schema riportato in Figura 8.

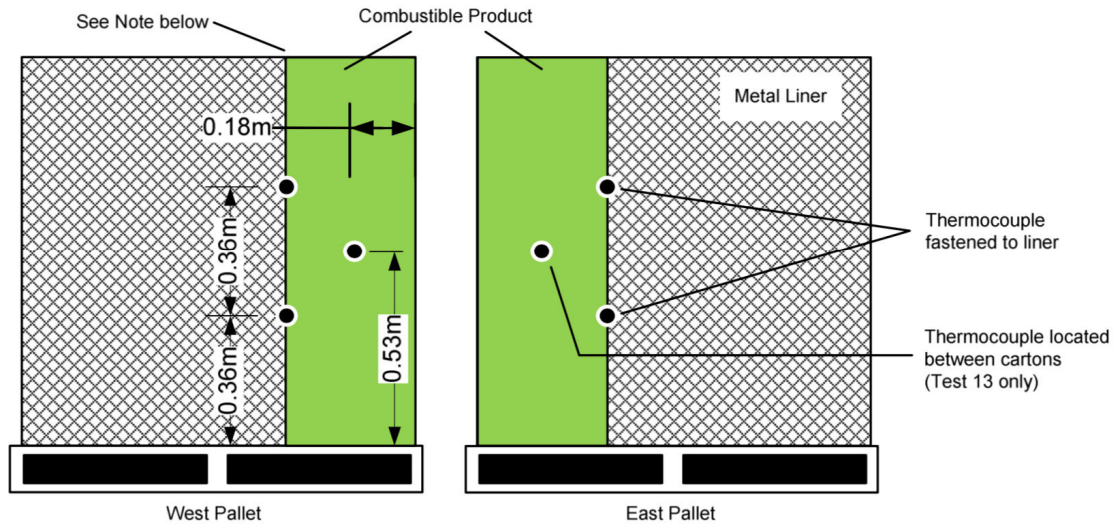


Figura 8. Posizioni delle termocoppie

## 2.2 Risultati sperimentali

I risultati dei test condotti dalla FM Global sono riportati in figura 9 in termini di HRR in funzione del tempo per le tipologie di celle e il pacco batterie analizzate e confrontati con imballaggi standard (CUP, Class 2). Dall'analisi dei risultati è possibile osservare che:

- nei test condotti sulle confezioni di celle Li-ione (celle cilindriche e celle polimero) e con un minimo contenuto di plastica, le celle sono coinvolte nell'incendio dopo 5 min a partire dall'innesco;
- nel test sul pacco batterie, l'elevato contenuto di plastica nelle confezioni ha determinato un rapido incremento dell'energia rilasciata, attribuita al coinvolgimento della plastica nelle prime fasi dell'incendio. In questo caso le materie plastiche hanno dominato l'incendio e non è stato possibile attribuire alle batterie alcun contributo di rilascio di energia.



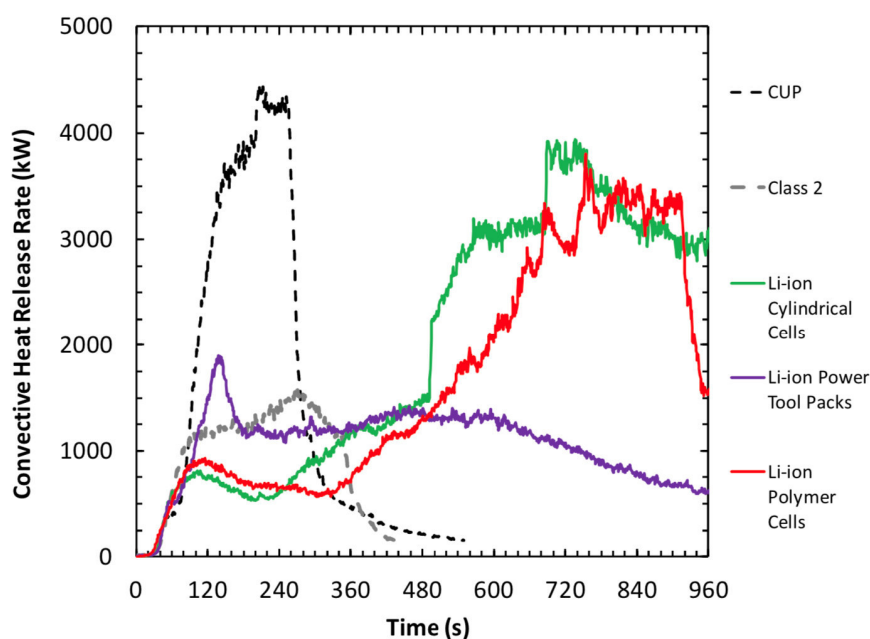


Figura 9. Andamento dell'HRR vs tempo le celle e il pacco batterie

## 2.3 Modellazione dell'incendio

In questo paragrafo è presentato il modello sviluppato per predire la propagazione dell'incendio nel caso di un deposito di batterie Li-ione contenute in scatole di cartone. All'attività di modellazione hanno contribuito l'ing. Ivano Coccorullo e l'ing. Giacomo Merli.

Il software utilizzato per le simulazioni è FDS (Fire Dynamic Simulator) della NIST.

Il modello è stato validato utilizzando i risultati sperimentali dei test di infiammabilità condotti dalla FM Global sulle celle Li-ione cilindriche 18650. Le caratteristiche delle celle sono riportate in Tabella 1 e la disposizione delle celle sul rack in Tabella 2 per un totale di 19200 celle.

Il modello descrive nel dettaglio l'apparato sperimentale, la disposizione delle celle sul rack e i materiali coinvolti nell'incendio e permette di ottenere una buona descrizione dell'evoluzione dell'incendio in termini di HRR e temperature.

### 2.3.1 Geometria e griglia

La geometria del rack è riprodotta in scala reale in FDS. Per ridurre i tempi di calcolo si è considerato solo il secondo e terzo livello del rack dove effettivamente erano posizionate le celle nel test. Il dominio ha dimensioni 2,86m x 1,125m x 2,9m. Per tenere in conto della circolazione d'aria le superfici delimitanti il dominio sono state impostate come "open surfaces".

La griglia è stata scelta in modo da permettere una buona riproduzione dei risultati, ma limitare i tempi di calcolo. In particolare, è stata scelta una griglia cartesiana con celle delle dimensioni 0,06m x 0,06m x 0,06m, per un totale di circa 50000 celle (Figura 10).

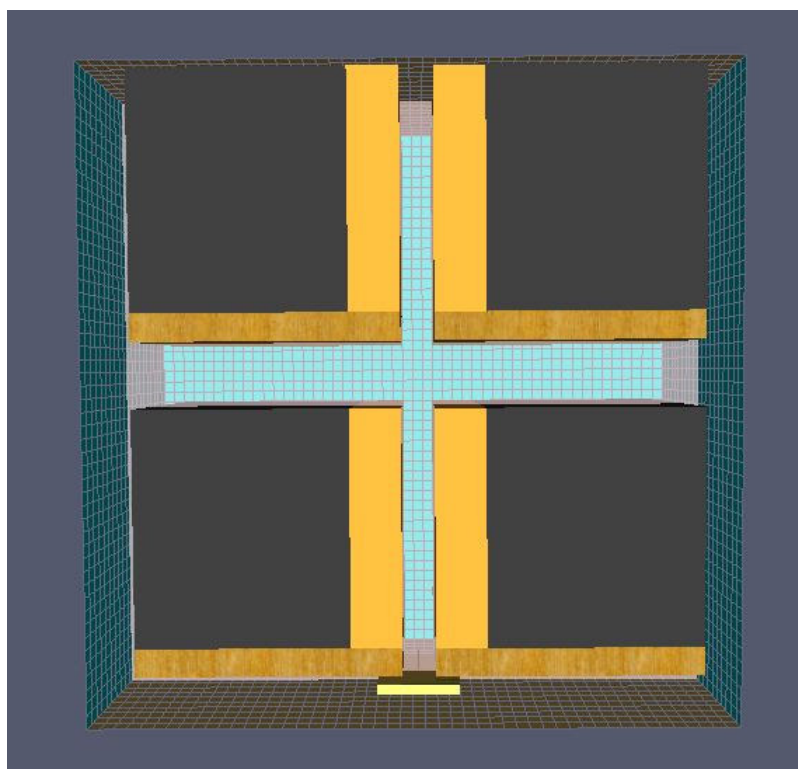


Figura 10. Andamento dell'HRR vs tempo le celle e il pacco batterie

### 2.3.2 Materiali

I materiali che hanno partecipato all'incendio sono stati definiti come "layered surface" aventi come sezione quella laterale del pallet e lo spessore come calcolato sulla base dei quantitativi di singoli materiali utilizzati nell'esperimento: 0,127 m per il legno (pallet), 0,060 m per il cartone (scatola) e 0,013 m per il dietilcarbonato (DEC) (cella).

Tutti i materiali sono stati definiti in FDS in termini di proprietà termofisiche, parametri cinetici della reazione (pirolisi) e calore di reazione (pirolisi e combustione). I parametri utilizzati sono riportati nelle Tabelle 3, 4 e 5 rispettivamente per il legno (pallet), il cartone (scatole) e il dietilcarbonato (DEC) (celle). Per rappresentare la celle si è fatta l'ipotesi semplificativa che il componente principale della cella che partecipa alla reazione di combustione è il dietilcarbonato, liquido infiammabile con un flash point di 25°C, che costituisce uno dei solventi utilizzati nell'elettrolita.

L'innesco dell'incendio mediante un bruciatore di gasolio è stato rappresentato nel modello da una superficie 0,4 m x 0,4m a cui è stata assegnata un HRR per unità di area di 348,5 kW/m<sup>2</sup>.

Tabella 3. Proprietà del legno

| <b>Wood [5]</b>                         |                      |                   |
|---|----------------------|-------------------|
| Density                                 | 640                  | kg/m <sup>3</sup> |
| Specific Heat                           | 2.85                 | kJ/(kg·K)         |
| Conductivity                            | 0.14                 | W(m·K)            |
| Emissivity                              | 0.9                  |                   |
| Absorption Coefficient                  | 5.0x10 <sup>4</sup>  | 1/m               |
| Heat of Combustion                      | 12400                | kJ/kg             |
| Pyrolysis parameters                    |                      |                   |
| Heat of reaction                        | 1800                 | kJ/kg             |
| Pre-Exponential Factor(A)               | 1x10 <sup>8</sup>    | 1/s               |
| Activation Energy (E)                   | 1.25x10 <sup>5</sup> | kJ/kmol           |
| Mass Fraction Exponent(n <sub>s</sub> ) | 1                    |                   |

Tabella 4. Proprietà del cartone

| <b>Cardboard [6]</b>                    |                       |                   |
|---|-----------------------|-------------------|
| Density                                 | 689                   | kg/m <sup>3</sup> |
| Specific Heat                           | 1.76                  | kJ/(kg·K)         |
| Conductivity                            | 0.1                   | W(m·K)            |
| Emissivity                              | 0.9                   |                   |
| Absorption Coefficient                  | 5.0x10 <sup>4</sup>   | 1/m               |
| Pyrolysis parameters                    |                       |                   |
| Heat of Combustion                      | 1.44x10 <sup>4</sup>  | kJ/kg             |
| Pre-Exponential Factor(A)               | 3.16x10 <sup>13</sup> | 1/s               |
| Activation Energy (E)                   | 1.87x10 <sup>5</sup>  | kJ/kmol           |
| Mass Fraction Exponent(n <sub>s</sub> ) | 1                     |                   |

Tabella 5. Proprietà del DEC

| <b>Diethyl Carbonate – DEC [7]</b> |                      |                   |
|------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Density                            | 975                  | kg/m <sup>3</sup> |
| Specific Heat                      | 1.78                 | kJ/(kg·K)         |
| Conductivity                       | 0.18                 | W(m·K)            |
| Emissivity                         | 0.9                  |                   |
| Absorption Coefficient             | 5.0x10 <sup>4</sup>  | 1/m               |
| Pyrolysis parameters               |                      |                   |
| Heat of Combustion                 | 2.27x10 <sup>4</sup> | kJ/kg             |
| Boiling Temperature                | 126                  | C°                |
| Heat of Vaporization               | 1.87x10 <sup>5</sup> | kJ/kg             |

## 2.4 Risultati del modello

I risultati del modello e il confronto con i dati sperimentali in termini di HRR sono riportati in figura 11. E' da osservare che i dati sperimentali presentano una forte variazione di pendenza a circa 500 e 700 s in corrispondenza del crollo del materiale dal livello superiore al livello inferiore del rack. Il modello predice i dati sperimentali con buona approssimazione per tutta la durata dell'incendio. E' stato stimato un errore inferiore al 10% sull'energia totale rilasciata dall'incendio.

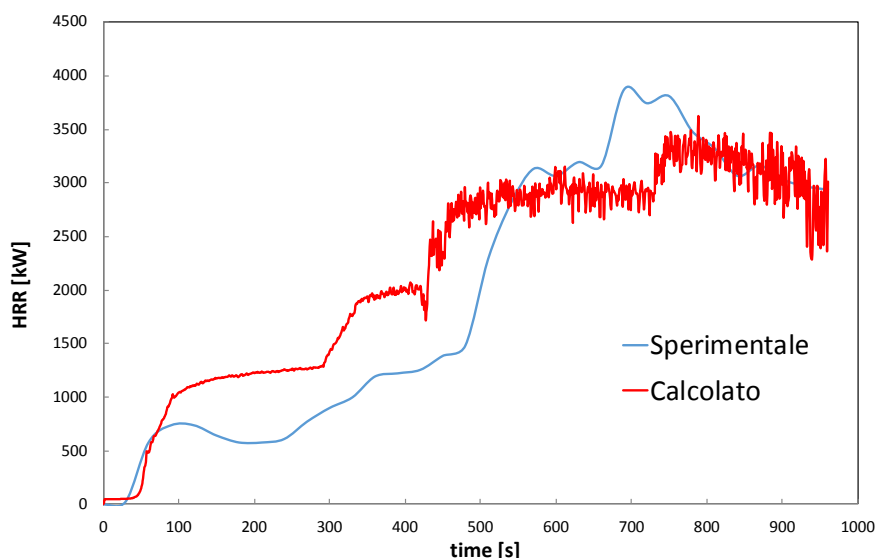


Figura 11. HRR sperimentale e calcolato dal modello.

In figura 12 sono riportate alcune immagini dell'incendio come riprese durante l'esperimento. Si può osservare come l'incendio si propaga dal bruciatore nella parte centrale del secondo livello del rack e raggiunge la sommità del terzo livello dopo circa 30 s. Successivamente le fiamme propagano in direzione orizzontale e coinvolgono tutto il materiale presente sul terzo livello del rack (80 s circa). A 248 s si osservano i primi collassi strutturali che risultano di entità maggiore a 500 e 700 s, dovuti al crollo di materiale bruciato dal terzo livello e poi dal secondo livello sui livelli inferiori.

In tabella 6 è riportata la tempistica dei principali eventi osservati durante l'esperimento e come predetti dal modello. Si osserva il buon accordo tra i dati sperimentali e la previsione del modello.

Tabella 6. Confronto tra i tempi degli eventi osservati sperimentalmente e previsti dal modello

| Eventi  | Esperimento FM Global | Modello |
|---|-----------------------|---------|
| Fiamme nella parte inferiore del rack                 | 20 s                  | 25 s    |
| Fiamme che fuoriescono dalla parte superiore del rack | 30 s                  | 30 s    |
| Fiamme si propagano ai lati del rack                  | 1 min 15 s            | 1 min   |
| Incendio pienamente sviluppato                        | 11 min                | 10 min  |

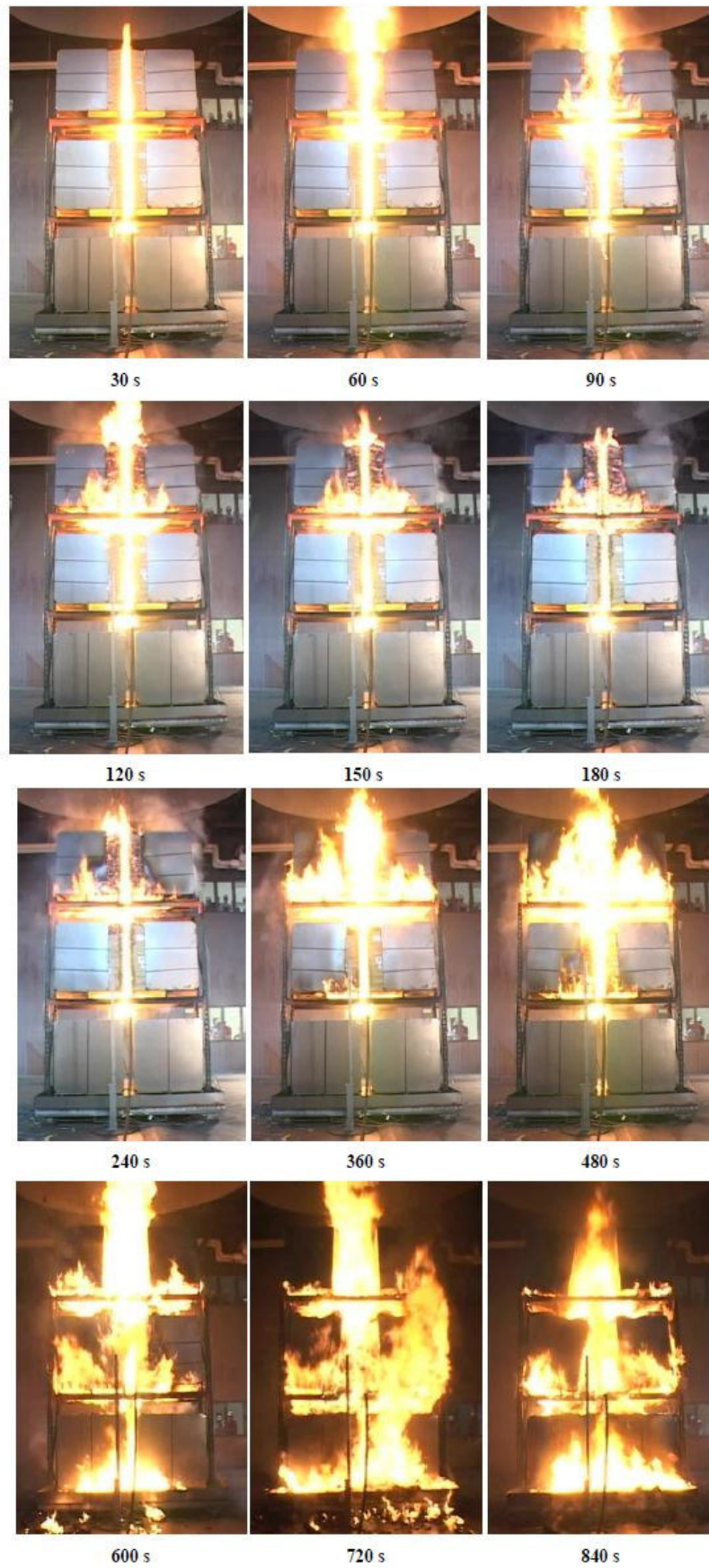


Figura 12. Evoluzione dell'incendio sperimentale.

### 3. Conclusioni

Il problema della sicurezza delle batterie agli ioni di litio è diventato di grande importanza a causa del loro diffuso utilizzo, dai piccoli oggetti di uso quotidiano fino ai sistemi di accumulo di energia. Tuttavia, il rischio di incendio correlato a questo tipo di celle è raramente segnalato e sono necessari ulteriori studi per sviluppare una normativa adeguata, per garantirne un uso e una stoccaggio sicuri.

A questo scopo è stato studiato un modello per la valutazione dell'evoluzione di un incendio che coinvolge batterie agli ioni di litio stoccate in massa, in alternativa ad un test di caratterizzazione di un incendio reale. Sulla base di dati sperimentali reali derivanti da un test di caratterizzazione dell'infiammabilità di celle agli ioni di litio è stato sviluppato un modello che utilizza il software FDS, in grado di prevedere lo sviluppo e l'evoluzione di un incendio in un magazzino di stoccaggio di batterie Li-ione 18650.

Il modello riproduce accuratamente la situazione reale, la disposizione delle merci sugli scaffali e i materiali combustibili coinvolti nella prova, nonché i profili di temperatura e HRR (Heat Release Rate) ottenuti dai test sperimentali. Il modello di simulazione sviluppato, pertanto, può essere utilizzato per produrre l'evoluzione di un incendio in un deposito di celle Li-ione in configurazioni diverse da quelle studiate sperimentalmente e poter progettare opportune soluzioni antincendio.

### 4. Riferimenti bibliografici

1. C. Mikolajczak, M. Kahn, K. White, R. T. Long, "Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment", Final Report, Fire Protection Research Foundation, 2011.
2. R. T. Long Jr., J. A. Sutula, M. J. Kahn, "Lithium Ion Batteries Hazard and Use Assessment Phase IIB: Flammability Characterization of Li-ion Batteries for Storage Protection", Final Report, Fire Protection Research Foundation, 2013
3. R. T. Long Jr., A. Blum, "Lithium Ion Batteries Hazard and Use Assessment - Phase III", Final Report, Fire Protection Research Foundation, 2016
4. B. Ditch and J. De Vries, "Flammability Characterization of Lithium-ion batteries in bulk storage", report FM Global, 2013
5. M.J. Hurley, SPFE Handbook of Fire Protection Engineering, Springer, 2015
6. G. Agarwal, G. Liu and B. Lattimer, "Pyrolysis and Oxidation of Cardboard", Fire Safety Science- Proceedings of the eleventh International Symposium, pp. 124-137, 2014
7. S.J. Harris, A. Timmons, W.J. Pitz, "A combustion Chemistry Analysis of Carbonate Solvents in Li-Ion Batteries", Journal of Power Sources, vol. 193, pp.855-858, 2009