



Ricerca di Sistema elettrico

# Sicurezza degli accumulatori litio ione ed elettromobilità: indice commentato degli studi effettuati

Cinzia Di Bari

SICUREZZA DEGLI ACCUMULATORI LITIO IONE ED ELETTROMOBILITÀ: INDICE COMMENTATO DEGLI STUDI EFFETTUATI NEL TRIENNIO 2015-2017

Cinzia Di Bari (ENEA)

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

Area: Efficienza Energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: D.8 – Mobilità elettrica sostenibile

Obiettivo: a. Comunicazione e Diffusione

Responsabile del Progetto: Maria Pia Valentini

Responsabile dell'attività sulla Sicurezza dell'accumulo al litio: Cinzia Di Bari (ENEA)

## Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	6
1.1    DAL PAR 2011 AL PAR 2017 .....	8
1    SICUREZZA DEI VEICOLI ELETTRICI E DELLE OPERAZIONI DI RICARICA.....	10
2    CASISTICA INCIDENTALE.....	13
3    PROVE DI ABUSO E CARATTERIZZAZIONE DI CELLE LITIO-IONE .....	15
3.1    ABUSO TERMICO E CARATTERIZZAZIONE DI CELLE PANASONIC 18650B .....	16
3.2    PROVE DI ABUSO E CARATTERIZZAZIONE DI CELLE EIGC020.....	18
4    ANALISI DI RISCHIO .....	21
5    NORME TECNICHE E NORME GIURIDICHE PER L'ELETTROMOBILITÀ E LA SICUREZZA .....	22
6    GESTIONE DELLA FINE VITA .....	23
7    UN LABORATORIO PER LA SICUREZZA .....	26
8    DIFFUSIONE DEI RISULTATI .....	27
9    RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	30

## Sommario

Questo rapporto tecnico riguarda la sicurezza dei sistemi di accumulo litio ione, con particolare riferimento alla elettromobilità: in esso vengono recensiti tutti gli studi effettuati in ambito Enea e nell'ambito degli accordi di collaborazione stipulati con varie istituzioni universitarie. Esso è organizzato in otto capitoli, una introduzione e i riferimenti bibliografici. Verranno trattati argomenti quali: la sicurezza dei veicoli elettrici e delle operazioni di ricarica, la casistica incidentale, prove di abuso e caratterizzazione di celle litio ione, analisi di rischio, norme tecniche giuridiche, la gestione del fine vita e la realizzazione di un laboratorio per la sicurezza.

L'obiettivo è quello di rendere fruibili tutti i lavori, mostrando in particolare la linea progettuale che si è dipanata nel corso del triennio PAR 2015-2017.

Si ritiene, infatti, utile fare il punto su un argomento complesso che, a livello internazionale, ancora non appare risolto e che, a livello nazionale, inizia ad indirizzarsi positivamente verso la risoluzione delle problematiche di gestione dei rischi e delle emergenze: l'attenta diffusione dei risultati; l'impostazione di procedure di formazione e informazione sulla prevenzione dei rischi destinate sia alle imprese che ai cittadini; il contributo alla redazione di norme tecniche; il coinvolgimento attivo degli stakeholders ai fini della predisposizione di buone pratiche e norme per l'intervento di emergenza.

Il lavoro si configura come un indice ragionato delle attività svolte e conterrà il riferimento ai rapporti tecnici prodotti e raccolti nella bibliografia. Ad ogni rapporto tecnico, laddove possibile, è stato associato il link al Web dal quale è possibile scaricarlo.

Si è ritenuto opportuno includere anche gli studi effettuati nell'ambito del Progetto Accumulo, in quanto, come si vedrà, si è giunti a trattare la sicurezza nella elettromobilità solo grazie ai risultati conseguiti nel Progetto Accumulo, nel cui ambito si è continuato ad operare approfondendo le tematiche dell'abuso. In questo modo sarà possibile evidenziare le criticità emerse a partire dal livello della cella, che è la logica da utilizzare per affrontare il problema sicurezza.

Per gli stessi motivi, l'indice include e nomina anche i lavori prodotti, a partire dal 2012, nell'ambito del -Progetto accumulo, per il fatto che includono informazioni riguardanti il ciclo di vita di queste tecnologie e sulla sicurezza dei sistemi di accumulo. E per mostrare con completezza il percorso effettuato e i risultati conseguiti.

*[...]La tecnoscienza, ben orientata, è in grado non solo di produrre cose realmente preziose per migliorare la qualità della vita dell'essere umano, a partire dagli oggetti di uso domestico fino ai grandi mezzi di trasporto, ai ponti, agli edifici, agli spazi pubblici.*

*È anche capace di produrre il bello e di far compiere all'essere umano, immerso nel mondo materiale, il "salto" nell'ambito della bellezza. Il fatto è che « l'uomo moderno non è stato educato al retto uso della potenza », perché l'immensa crescita tecnologica non è stata accompagnata da uno sviluppo dell'essere umano per quanto riguarda la responsabilità, i valori e la coscienza. Ogni epoca tende a sviluppare una scarsa autocoscienza dei propri limiti. Per tale motivo è possibile che oggi l'umanità non avverta la serietà delle sfide che le si presentano, e « la possibilità dell'uomo di usare male della sua potenza è in continuo aumento » quando « non esistono norme di libertà, ma solo pretese necessità di utilità e di sicurezza ».[...]*

*(Lettera Enciclica "Laudato si' - Sulla cura della Casa Comune" di Papa Francesco. 24 maggio 2015 – Paragrafo n. 103)"*

## Introduzione

Il 23 marzo 2018<sup>1</sup> il 38enne Walter Huang ha perso la vita in un incidente sulla sua Tesla Model X a Mountain View in California (USA). A seguito dell'incidente, Tesla ha emesso un comunicato ufficiale in cui accusa lo stesso guidatore di una condotta non consona e, dunque, della responsabilità della sua stessa morte.

*"[...]alle 9,30 di mattina sulla U.S. Highway 101 a Mountain View, a poca distanza da Cupertino sede di Apple e nella località dove si trovano i quartieri generali di Google. Insomma, in piena Silicon Valley. La dinamica sta prendendo sempre più sostanza e dettagli. Huang stava sfruttando il pilota automatico quando l'auto si è schiantata contro un muretto dell'autostrada. Sarebbe poi morto dopo il disperato ricovero, alle tre e quarantadue del pomeriggio. Era stato estratto dal veicolo ben prima che questo prendesse fuoco.*

*Dalle foto diffuse si può notare come la Tesla X abbia la parte frontale completamente distrutta: gli pneumatici anteriori si sono staccati così come il tetto a testimonianza della violenza dell'urto. Nell'incidente erano state coinvolte anche una Mazda e una Audi, ma nessuno dei passeggeri aveva subito conseguenze fisiche gravi.*

*La risposta ufficiale di Tesla è perentoria. La sua accusa è quella di una condotta di guida non consona dato che le tecnologie dell'autopilot devono sempre contare su una supervisione da parte dell'essere umano.*

*Secondo i dati scaricati, Huang non avrebbe avuto le mani sul volante da almeno sei secondi prima dell'impatto fatale; anche in questo caso è contro ciò che viene richiesto ossia che ci sia sempre la possibilità di agire sul volante e che lo sguardo sia sempre sulla strada.*

*La macchina avrebbe lanciato degli allarmi al guidatore che li avrebbe ignorati. Qualche tempo prima era uscito un post sul blog ufficiale che sottolineava quanto le barriere protettive autostradali (crash attenuator) non fossero in buone condizioni e fossero anche in parte responsabili dell'accaduto.*

*Walter Huang era un ingegnere 38enne residente a San Mateo e lavorava alla Apple. Naturalmente, la famiglia vuole più chiarezza e ha già richiesto l'assistenza di uno studio legale per una battaglia che ora si sposterà in tribunale.*

*Come riportato da ABC7, sembra che Huang avesse lamentato più volte di malfunzionamenti dell'autopilota. E in diversi casi soprattutto in prossimità della barriera autostradale che gli è poi stata fatale, affermando che il sistema di guida automatica si avvicinava troppo."*



Tesla accident 23 march 2018. Fonte: <https://www.theguardian.com/technology/2018/mar/31/tesla-car-crash-autopilot-mountain-view>

<sup>1</sup> <https://www.tpi.it/2018/04/12/tesla-accusa-guidatore-incidente-model-x/>



Il 16 maggio 2018, Autonews Europe<sup>2</sup> in un articolo commenta a lungo i fatti sopra riportati:

*I vigili del fuoco hanno spento l'incendio del pacco batteria della Tesla Model X, dopodiché gli ingegneri della compagnia hanno rimosso circa ¼ delle celle rimaste prima che il veicolo fosse messo in sicurezza è consentita la ripresa della circolazione regolare sulla California freeway.*

*Questa operazione comunque non ha prevenuto la successiva re ignizione dell'incendio delle batterie: il dipartimento antincendio di Mountain View ha emesso un bollettino di sicurezza nel quale ha registrato che le batterie rimaste a bordo auto hanno ripreso fuoco due volte entro le 24 ore dall'incidente, e ancora una volta sei giorni più tardi.*

[...].

*Gli incendi sui veicoli elettrici sono rari, ma la chimica volatile delle loro batterie e le necessità di un di una formazione adeguata su come estinguere il loro incendio incrementa le questioni di sicurezza e costituisce un grave problema per i produttori di automobili che tentano di aumentare la produzione. Le tecniche utilizzate per l'estinzione estinzione di incendi dei veicoli alimentati a benzina, se utilizzate sulle batterie possono peggiorare l'incendio.*

*"Siamo in acque incerte" ha dichiarato Donald Sadoway, un professore di chimica dei materiali al Massachusetts Institute of Technology. "Quando si tratta di una batteria da 70 kWh, quello che accade è molto differente da quello che accade in un telefono cellulare."*

[...]

*Il National Transportation Safety Board degli USA ha aperto delle istruttorie su due recenti incidenti accorsi alle auto Tesla, includendo anche l'incidente dell'8 maggio avvenuto in Florida, a Fort Lauderdale. In Svizzera, la polizia sta indagando sull'incidente avvenuto ad una Tesla la settimana scorsa.*

[...]

*I componenti delle batterie litio ione ricaricabili la rendono intrinsecamente predisposta all'incendio. Contrariamente alla benzina, che richiede una scintilla affinché si inneschi il fuoco, le celle litio contengono di per sé il sistema di innesco : in caso di cortocircuito la guardia grande quantità di energia immagazzinata sono trasferita è trasformata in calore e scintille. Inoltre esse contengono solventi infiammabili e ossidi metallici che possono fornire l'ossigeno per la combustione, complicando le modalità per estinguerlo<sup>3</sup>.*

*"Questo è un problema perenne con le batterie litio ione" ha detto Prashant Kumta, professore di ingegneria alla Università di Pittsburgh che ha studiato la chimica delle batterie.*

[...]

*Mentre l'industria delle batterie ha fatto enormi passi avanti nell'assicurare che le celle possono essere sicure durante le normali operazioni e la ricarica, poco è stato fatto per contrastare gli effetti di una violenta collisione, continua Kumta. E per contrastare gli effetti del Thermal runaway. E la propagazione alle celle adiacenti: è sufficiente che una cella all'interno del pacco batteria prenda fuoco o aumenti la sua temperatura interna o subisca un venting, che il fenomeno si propaga alle celle adiacenti e all'interno del pacco batteria provocando l'innesco dell'incendio tutto il sistema.*

*Nel 2015 negli Stati Uniti ci sono stati 174.000 incendi su tutti i veicoli a motore che circolano negli Stati Uniti, uccidendo 445 persone, come risulta dai dati della NFPA. In un post del 2013, è Elon Musk, CEO della TESLA, ha dichiarato che il rischio di incendio di una auto a benzina è quattro volte più elevato che quello di una Tesla model S.*

[...]

<sup>2</sup> Alan Levin: " EV Batteries present new challenges for firefighters". Automotive News Europe. 16 Maggio 2018. <https://europe.autonews.com/article/20180516/COPY/305169935/ev-batteries-present-new-challenges-for-firefighters>

<sup>3</sup> n.d.r. in realtà hanno, hanno in sé il triangolo del fuoco.

*Jason Levine, executive director of the advocacy group Center for Auto Safety ha osservato che ci sono pochi dati istituzionali sugli incendi occorsi a veicoli elettrici, rendendo perciò difficile documentare la dimensione del problema.*

*[...]*

L'articolo evidenzia che la squadra di pronto intervento, per mettere in sicurezza la batteria, avrebbe dovuto scaricarla....ma in che stato si trovava?

Per quanto riguarda le tecniche di estinzione, l'NFPA non raccomanda la schiuma, ma grandi quantità di acqua dell'ordine del migliaia di galloni. L'acqua aiuta raffreddare la batteria, che è il fattore chiave per interrompere il fuoco. Dall'articolo sembra che la procedura sia stata seguita...ma non ne siamo certi, in quanto non si dispone del verbale di intervento. Ma, se così fosse, sarebbe forse stato necessario immergere la batteria scarica in acqua... Batterie Litio-ione cariche hanno formalmente Litio metallico all'anodo: il litio metallico decompone l'acqua a caldo, con produzione di idrogeno, altamente infiammabile.

L'articolo sottolinea, inoltre: la necessità di poter fare riferimento ad una casistica incidentale istituzionale; la complessità del comportamento di un pacco batterie rispetto ad una cella; la scarsa conoscenza delle modalità di estinzione degli incendi; al fatto che, sebbene gli studiosi stiano lavorando su nuove formulazioni di batterie litio ione allo scopo di ridurre la probabilità di incendio, come pure sulla progettazione di contenitori più resistenti all'impatto, OGGI

*è necessaria una maggiore formazione per i corpi antincendio e per gli addetti all'emergenza. Si tratta di una tecnologia abbastanza nuova con cui le squadre antincendio non si sono confrontate prima di oggi. C'è molto lavoro da fare.*

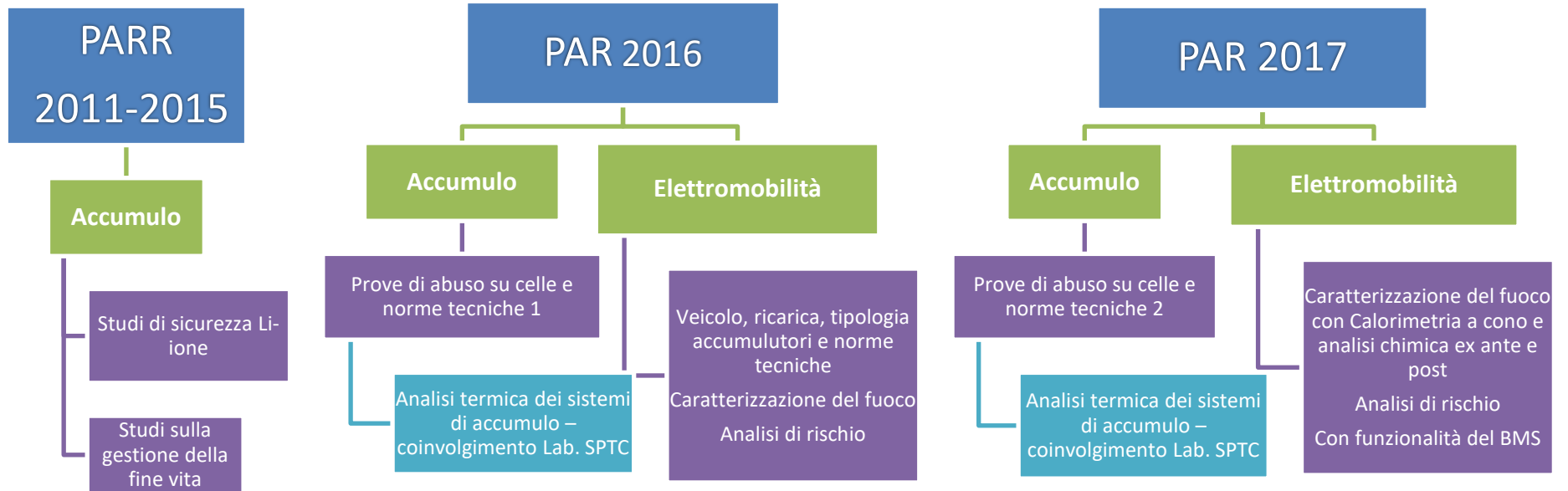
## **1.1 Dal PAR 2011 al PAR 2017**

Per arrivare ad occuparci di sicurezza nella elettromobilità, è stato necessario fare un percorso che è iniziato alla fine del 2011, nell'ambito del Progetto Accumulo. E poi continuato in tale ambito, fino ad arrivare al PAR 2016 e al seguente, seguendo il percorso mostrato nella figura successiva.

Questo rapporto tecnico si configura come un indice ragionato delle attività svolte e conterrà il riferimento ai rapporti tecnici prodotti e raccolti nella bibliografia: ad ogni rapporto tecnico, laddove possibile, è stato associato il link al Web dal quale è possibile scaricarlo. Esso è organizzato in otto capitoli, una introduzione e i riferimenti bibliografici. Verranno trattati argomenti quali: la sicurezza dei veicoli elettrici e delle operazioni di ricarica, la casistica incidentale, prove di abuso e caratterizzazione di celle litio ione, analisi di rischio, norme tecniche giuridiche, la gestione del fine vita e la realizzazione di un laboratorio per la sicurezza.

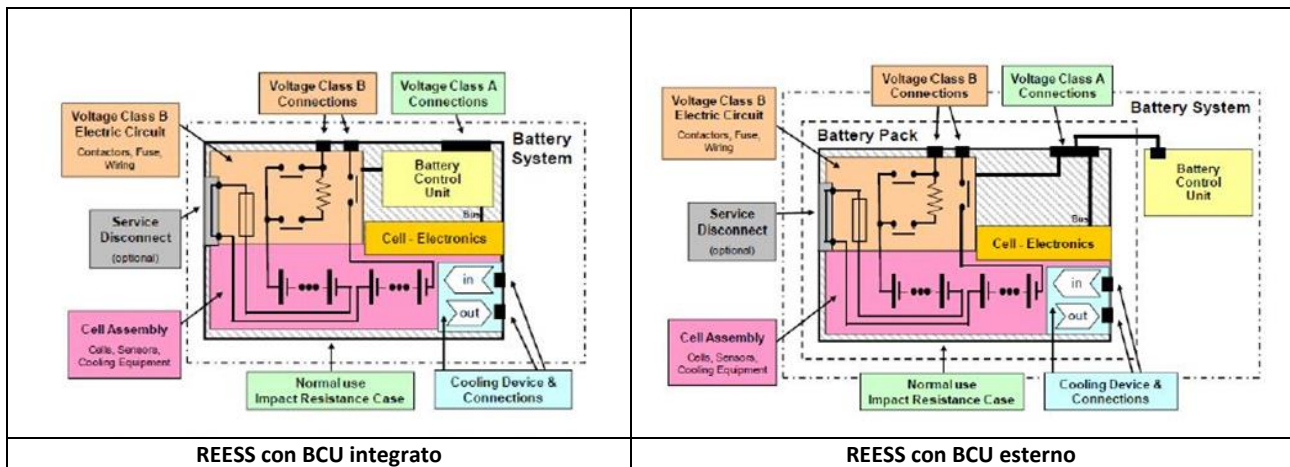
L'obiettivo è quello di rendere fruibili tutti i lavori, mostrando in particolare la linea progettuale che si è dipanata nel corso di del triennio PAR 2015-2017 e, nello specifico, sulla sicurezza della elettromobilità.



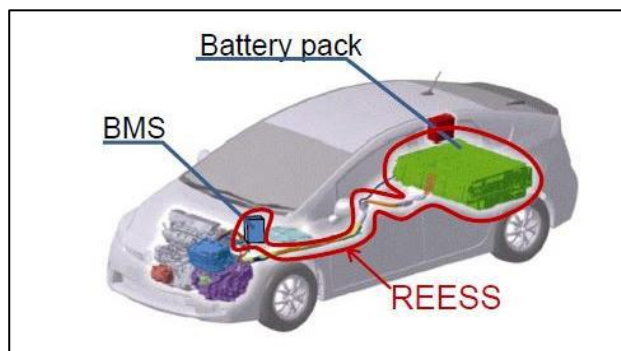
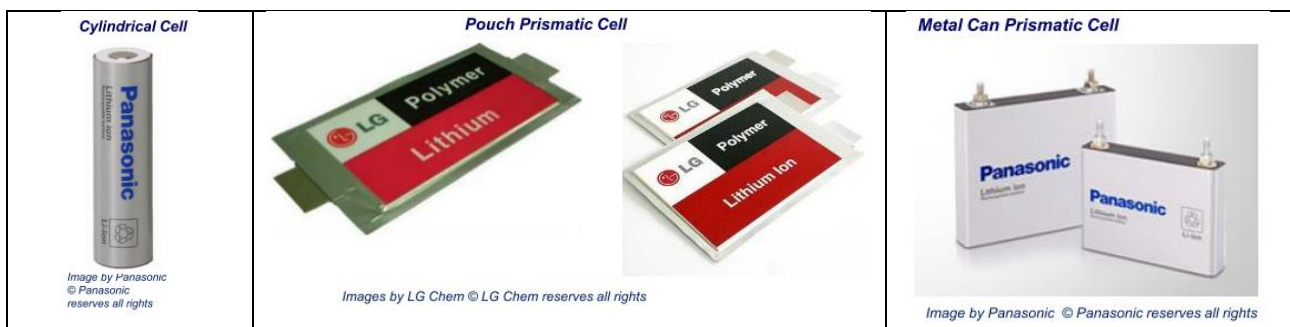


## 1 Sicurezza dei veicoli elettrici e delle operazioni di ricarica

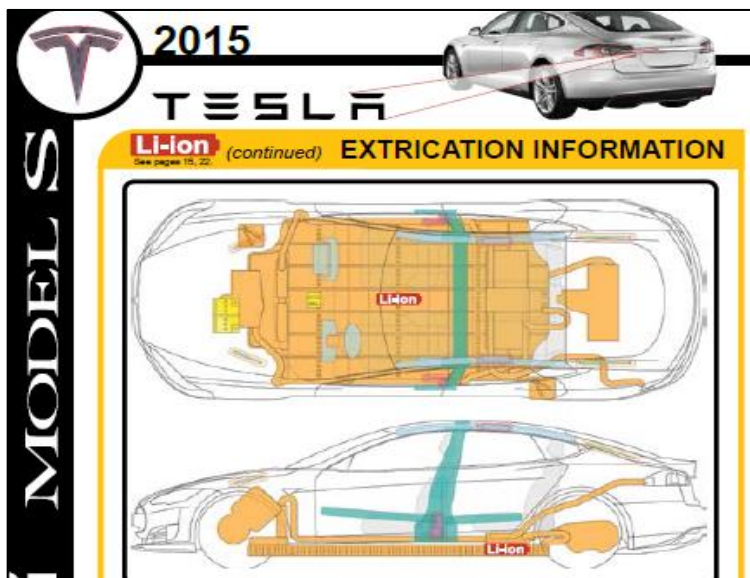
Il **Report RdS/PAR2016/244** [17], effettuato in ENEA, si configura come uno studio propedeutico alla individuazione dei pericoli nell'uso di veicoli elettrici. La prima parte del Rapporto tecnico (RT) è di carattere generale, e tratta della terminologia utilizzata a livello nazionale e internazionale per individuare le tipologie di veicoli, la loro struttura, le interfacce e le modalità di ricarica. Nella seconda parte vengono presentate le soluzioni costruttive utilizzate da vari produttori di Veicoli Elettrici (EV), ponendo l'attenzione sui seguenti aspetti: struttura del REESS, localizzazione della batteria (ESS), tipologia e chimica di celle impiegate per la realizzazione dell'ESS e soluzioni costruttive. Con l'acronimo REESS si intende *Rechargeable Electrical Energy Storage System*, mentre con RESS si indica, in generale un *Rechargeable Energy Storage System* (Norme ISO 12405) I REESS sono sistemi di accumulo elettrico con l'unità di controllo delle batterie (BCU) integrata o esterna.



I sistemi di accumulo (SA) utilizzati negli autoveicoli elettrici o nei bus elettrici sono costituiti da celle Litio-ion con varie chimiche e forme fisiche (cilindriche, a bustina o *pouch cell*, prismatiche (con contenitore di plastica o di metallo)). Nel caso degli autobus, includono l'impiego delle tecnologie al sodio ad alta temperatura, del tipo Na-S (NGK) o Na-alogenuri di Ni (FIAMM e GE). I SA sono realizzati prevedendo un sistema di smaltimento del calore (ad aria, acqua, altri fluidi di raffreddamento).



Per quanto riguarda la ricarica dei veicoli, a livello internazionale sono stati concordati (Norma IEC 61851-1) 3 tipologie di connessione tra veicolo e stazione di ricarica, in funzione del cavo di collegamento tra veicolo e punto di ricarica e 4 modi di ricarica che si distinguono per la tipologia della corrente (alternata – AC – o continua – CC) e la capacità (Ah), ovvero la durata della ricarica (Ricarica lenta, rapida o ultra rapida).



Sono stati presentati alcuni casi di veicoli elettrici, precisando tipologie di celle, sistemi di raffreddamento e posizionamento del RESS all'interno del veicolo. Ai fini della sicurezza si è evidenziata l'attenzione che deve essere posta nella conversione dei veicoli con motore a combustione interna in veicoli elettrici, prevista dal "Decreto Retrofit" ovvero il DECRETO 1 dicembre 2015, n. 219 del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, vigente dal 26 gennaio 2016 e recante "Regolamento recante sistema di riqualificazione elettrica destinato ad equipaggiare autovetture M e N1.", adottato in recepimento della regolamentazione ECE-ONU in materia.

Infine, si è osservato che ai fini della valutazione del rischio e della realizzazione degli interventi di emergenza, è necessario essere in possesso di informazioni complete sui REESS e sulla loro collocazione e di dover procedere caso per caso, tenuto conto delle apprezzabili differenze costruttive rilevate.

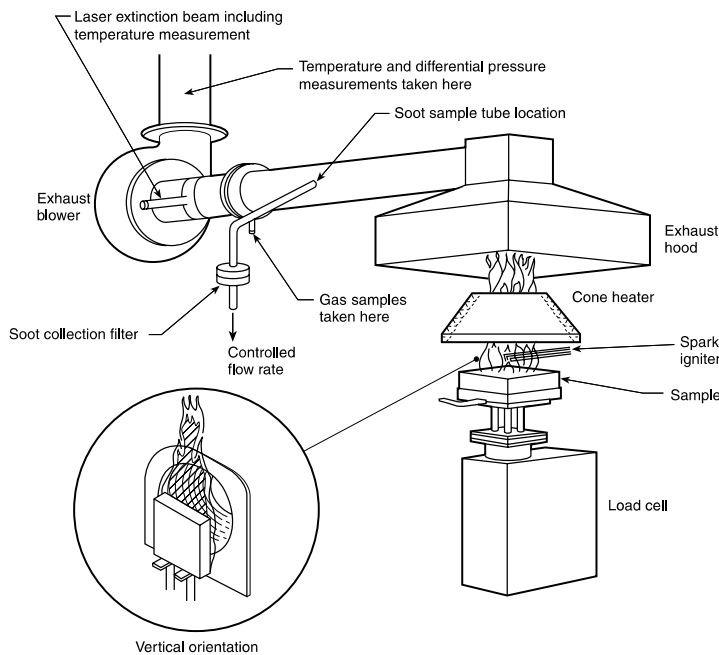
Il **Report RT Rds/PAR2016/241** [24], realizzato dal gruppo di ricerca della prof.ssa Russo, costituisce uno studio preliminare alla definizione delle distanze di sicurezza da adottare nelle stazioni di ricarica per la protezione antincendio. Si tratta di un tema diventato tanto più urgente a seguito dell'emanazione del D.Lgs 257/2016, lo scorso 13 gennaio, in recepimento alla direttiva DAFI (Direttiva Europea 2014/94/UE) che impone la realizzazione sul territorio nazionale di un numero adeguato di punti di ricarica accessibili al pubblico, entro il 31 dicembre 2020. Soprattutto se si tiene conto che la stazione di ricarica può essere installata su strada ed è quindi accessibile da persone comuni, ovvero senza particolari competenze sui rischi di natura elettrica.

Per poter individuare le principali cause di incidente e i conseguenti scenari di incendio o esplosione, lo studio ha previsto un'analisi storica degli eventi incidentali che hanno coinvolto veicoli elettrici negli ultimi anni (2011-2017). La fase di ricarica è, infatti, una delle fasi critiche dell'utilizzo delle batterie Li-ione nei veicoli elettrici, come è anche emerso dall'analisi storica di incidenti di veicoli elettrici. Sebbene la maggior parte degli incendi di veicoli elettrici e ibridi è stata riscontrata a valle di un urto, sono stati individuati anche un certo numero di incidenti che hanno coinvolto autoveicoli e e-bike durante la fase di ricarica o subito al termine di essa e che hanno portato all'incendio del veicolo stesso.



In caso di incendio di un veicolo elettrico, il comportamento durante la combustione delle batterie, il loro impatto sull'evoluzione dell'incendio e la loro potenziale tossicità, in particolare in ambienti confinati (ad es parcheggi sotterranei), nonché la loro reazione con l'acqua in caso di intervento da parte dei vigili del fuoco, sono fondamentali per poter definire le distanze di sicurezza. A questo scopo è stato svolto uno studio della letteratura scientifica più recente che ha analizzato il comportamento durante un incendio di singole celle, di blocchi di celle, fino al caso di un'auto elettrica. Dall'analisi è emerso che risultati disponibili in letteratura sono da considerarsi validi solo per le celle o batterie utilizzati nell'esperimento e non possono essere

estrapolati ad altre tecnologie. Infatti, numerosi parametri, quali l'evento che innesca l'incendio, la tecnologia



la tecnologia della cella, la sua geometria, la configurazione del pacco batterie e anche la sua posizione all'interno del veicolo, svolgono un ruolo fondamentale sull'evoluzione di un incendio di un veicolo elettrico.

Al fine di poter definire le distanze di sicurezza in caso di incendio di un veicolo elettrico è necessario conoscere l'evoluzione dell'incendio. Per poter caratterizzare un incendio, uno dei parametri fondamentali da conoscere è rappresentato dalla potenza termica indicata come *Heat Release Rate (HRR)* cioè dalla velocità di rilascio del calore durante la combustione del materiale. Per la misura dell'Heat release rate il principale strumento di misura che viene utilizzato a livello internazionale è

il calorimetro a cono. Esso rappresenta, infatti, la principale attrezzatura prevista per la certificazione dei materiali secondo le normative ISO e ASTM. Per poter poi caratterizzare il comportamento durante un incendio di veicoli elettrici, necessario per la definizione delle distanze di sicurezza, sono stati analizzati i metodi di prova e i risultati più recenti presenti nella letteratura scientifica a livello internazionale relativi alla potenza termica e dai prodotti di combustione generati da una cella e da blocchi di celle.

Le principali considerazioni che possono essere dedotte dall'analisi della letteratura sono le seguenti:

- la composizione chimica della cella (in particolare dell'elettrolita) influenza la potenza termica e la tossicità dei prodotti di combustione;
- lo stato di carica influenza in maniera rilevante la potenza termica: in genere al 100% di SOC corrisponde il massimo di HRR;
- lo stato di carica non influenza in maniera significativa il calore totale rilasciato che dipende dal calore di combustione dei materiali della cella;
- il numero di celle aumenta la quantità di acido fluoridrico prodotto e quindi la tossicità dei prodotti di combustione;
- la potenza termica per singola cella è inversamente proporzionale al numero di celle;
- la disposizione delle celle, determinando effetti di schermatura tra le celle disposte in blocchi, influisce sulla propagazione dell'incendio.

Gli autori del RT concludono che: “ per quanto riguarda l'incendio di un veicolo elettrico, numerosi parametri, quali l'evento che innesca l'incendio, la tecnologia della cella, la sua geometria, la configurazione del pacco batterie e la sua posizione all'interno del veicolo svolgono un ruolo fondamentale sull'incendio di veicolo elettrico. Pertanto, solo risultati sperimentali ottenuti controllando i vari parametri possono fornire basi scientifiche per la protezione antincendio. “.

Considerando i risultati ottenuti, si è concordato con il gruppo della prof.ssa Russo di proseguire lo studio nel PAR 2017 effettuando una attività sperimentale su celle 18650, che hanno incluso l'uso del calorimetro a cono per la misura dell'HRR a vari stati di carica e l'impiego della DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) per la caratterizzazione termica di campioni di materiale prelevati dalle celle vergini. I risultati delle prove,



necessari per passare alla fase di modellazione delle distanze di sicurezza son SW appropriati, sono stati presentati.

Uno studio preliminare alla caratterizzazione dle fuoco è stato condotto nel 2016 [26], **RdS/PAR2015/199** mettendo in evidenza la necessità di un confronto diretto con gli esperti di ingegneria del fuoco. Lo studio conclude che le batterie Litio-ione non danno luogo ad incendi classificabili in classe D.

Per la quantità di energia termica emettibile, si veda anche la stima effettuata nel RT **RdS/PAR2013/192**, [31].

## 2 Casistica incidentale

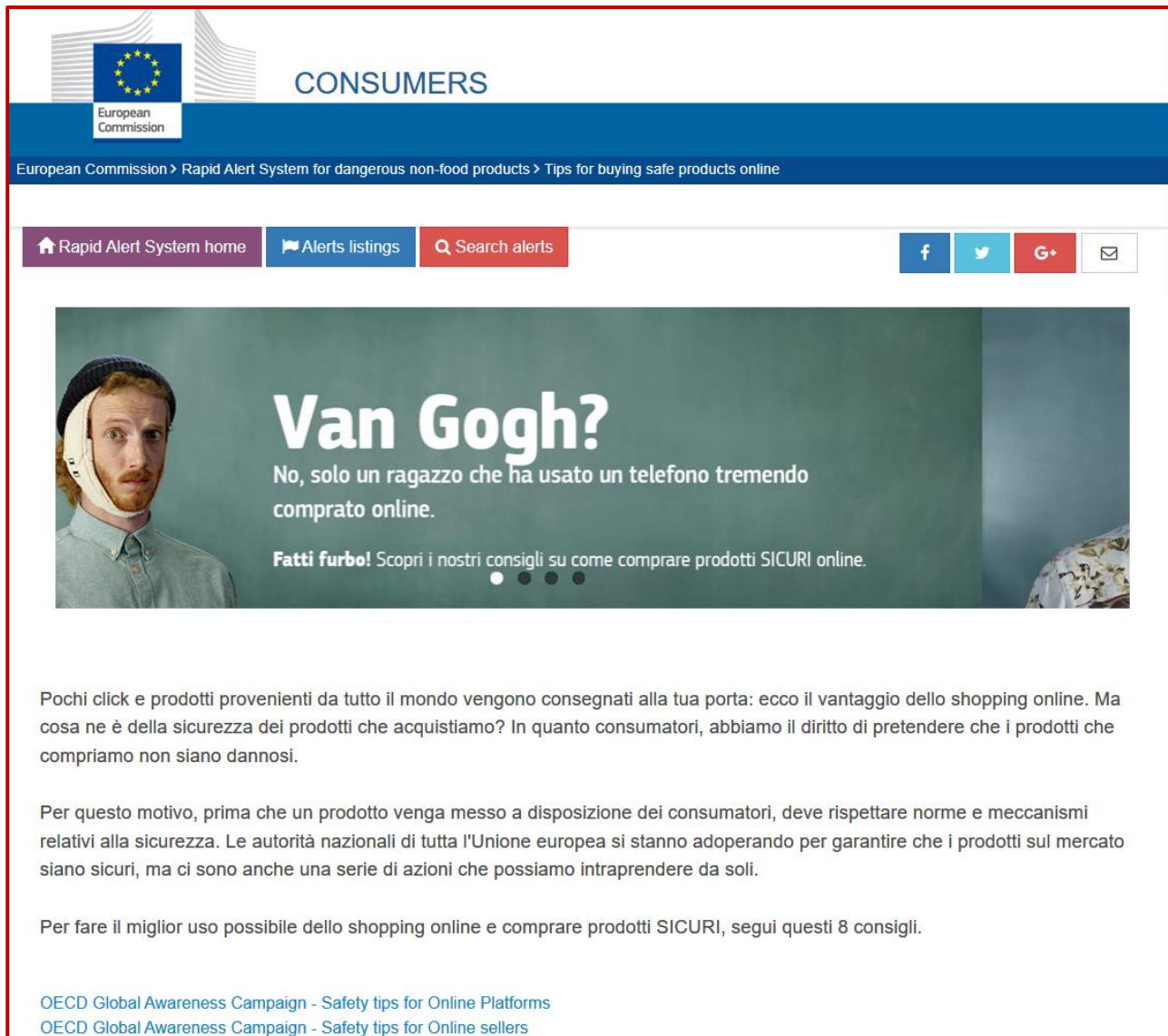
Alla casistica incidentale, è stato dedicato il RT **RdS/PAR2017/254** [4].



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 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.

Esistono Data Base istituzionali che raccolgono informazioni di questo genere, ai quali si affiancano quelle relative al *recall* di articoli destinati ai consumatori: in entrambi i casi le notizie sono fornite dopo un procedimento istruttorio dei quali sarebbe importante conoscere i contenuti. Gli studi del comportamento ad abuso e della casistica incidentale delle batterie litio ione consentono, tra l'altro, di migliorare la progettazione dei RESS, dei BMS (Battery Management System), delle stazioni di ricarica e della catena logistica. 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 attribuibili al cosiddetto "errore umano", come risulta dai casi di incidente e dai *recall* esaminati. Risulta perciò molto importante dedicarsi anche alla cosiddetta "Comunicazione del rischio" verso gli utenti finali.



European Commission

CONSUMERS

European Commission > Rapid Alert System for dangerous non-food products > Tips for buying safe products online

Rapid Alert System home Alerts listings Search alerts

f t G+ ✉

## Van Gogh?

No, solo un ragazzo che ha usato un telefono tremendo comprato online.

**Fatti furbo!** Scopri i nostri consigli su come comprare prodotti SICURI online.

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.

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.

Per fare il miglior uso possibile dello shopping online e comprare prodotti SICURI, segui questi 8 consigli.

[OECD Global Awareness Campaign - Safety tips for Online Platforms](#)  
[OECD Global Awareness Campaign - Safety tips for Online sellers](#)

Lungi dall'essere esaustivo, il RT [4] ha carattere esplorativo di una tematica molto complessa: l'analisi storica degli incidenti occorsi a sistemi Litio-ione finalizzata alla prevenzione dei rischi nella elettromobilità. Lo studio è organizzato da una introduzione, 5 capitoli, la bibliografia e 4 allegati. Nei cinque capitoli vengono trattati: la ricerca di informazioni di pubblico dominio relative a casi di incidente; la descrizione di alcuni data-base incidentali presenti a livelli internazionale; alcune informazioni sui database di richiamo degli articoli considerati pericolosi per i consumatori; alcuni esempi di analisi storica effettuata da due istituzioni universitarie nell'ambito degli accordi di collaborazione previsti dal Progetto Mobilità elettrica e le loro finalità; le conclusioni e le nostre proposte operative. In allegato si presentano alcune raccolte di dati incidentali.

Le informazioni provenienti dai DB istituzionali e dalla stampa/internet, inclusi i a paesi esportatori come la Cina, richiedono di essere organizzate, omogeneizzate nella esposizione, integrate e rielaborate secondo uno schema preciso e ragionato, con messa a punto di un modulo raccolta dati in formato ACCESS . Il format del



modulo raccolta dati dovrebbe contenere almeno le seguenti informazioni: data e ora, luogo, condizioni meteo, articoli coinvolti, fasi del ciclo di vita (Produzione di celle e di batterie; Stoccaggio di celle e batterie; Trasporto (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); marche; tipologia di batterie: Litio-ione, Litio metallico, produttore, chimica. E' necessario prevedere anche un *cross-link* con gli scenari incidentali che, nel futuro, vedranno il coinvolgimento di altri sistemi di accumulo elettrochimico (vedi ad esempio il caso dei muletti a batteria che, passando dalla tecnologia a piombo alla tecnologia litio-ione, comunque potranno essere coinvolti da eventi indesiderati connessi con la gestione dei muletti: rovesciamento, scontro, ecc.). Dopo la messa a punto del metodo di raccolta delle informazioni, si propone la istituzione di un sistema informatizzato per la raccolta e lo scambio di informazioni, da sperimentare con i partner fino ad oggi da noi coinvolti nelle attività sulla sicurezza dei sistemi di accumulo elettrochimico quali le istituzioni universitarie, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, il COBAT ed anche enti europei che si sono dichiarati interessati al nostro lavoro, come il BARPI francese. Si potrà poi realizzare quello che potrebbe configurarsi come un “*Laboratorio Virtuale Italiano sulla sicurezza dei Sistemi di Accumulo elettrochimico*”, espressione di un Laboratorio di sicurezza reale, sulla cui realizzazione si sta lavorando da alcuni anni.



Lo studio si conclude stabilendo che è “molto appropriato” lo sviluppo continuo, e la loro 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. Attualmente, la tecnica di estinzione degli incendi di sistemi Litio-ione sembra impiega gas inerti che agiscono sulla sottrazione di ossigeno al fuoco: tale sistema è adatto ad un incendio di apparecchiature elettriche ma non è provato che sia efficace su incendi causati dal *runaway*, che può essere collegato ad un cortocircuito, che però avviene all’interno delle celle.

### 3 Prove di abuso e caratterizzazione di celle Litio-ione

Con la collaborazione della Squadra di Pronto intervento del CR Casaccia, degli esperti in caratterizzazione elettrica del Laboratorio ENEA DTE PCU STMA, di un esperto ENEA in metodi di controllo non distruttivi, del CNVVF e dei gruppi di ricerca delle istituzioni universitarie con le quali sono stati stipulati accordi di collaborazione, sono state messe a punto ed eseguite prove di abuso (termico, elettrico e meccanico). Le prove sono state eseguite, nell’ambito del Progetto Elettromobilità, su celle cilindriche Panasonic 18650 B (4 diverse tipologie) di interesse elettromobilità in quanto impiegate, tra l’altro, nei veicoli Tesla e su celle EIG

CO20 del tipo a bustina (*Pouch cell*). Queste ultime sono alla base della nostra esperienza sulla sicurezza dei sistemi di accumulo, iniziata nel mese di ottobre 2011 nell'ambito del Progetto Accumulo e continuate in tale ambito fino a settembre 2018: si ritiene di doverle includere in questo lavoro, sia perché costituiscono il nostro "caso studio" di elezione sia perché la loro morfologia è tra quelle impiegate nella realizzazione di REESS, come si è visto nei paragrafi precedenti.

Alle prime prove di abuso termico è dedicato il RT **RdS/PAR2014/183**, [28].

Alle prove di abuso elettrico è dedicato il RT **RdS/PAR2016/170**, [13].

### 3.1 *Abuso termico e Caratterizzazione di celle Panasonic 18650B*

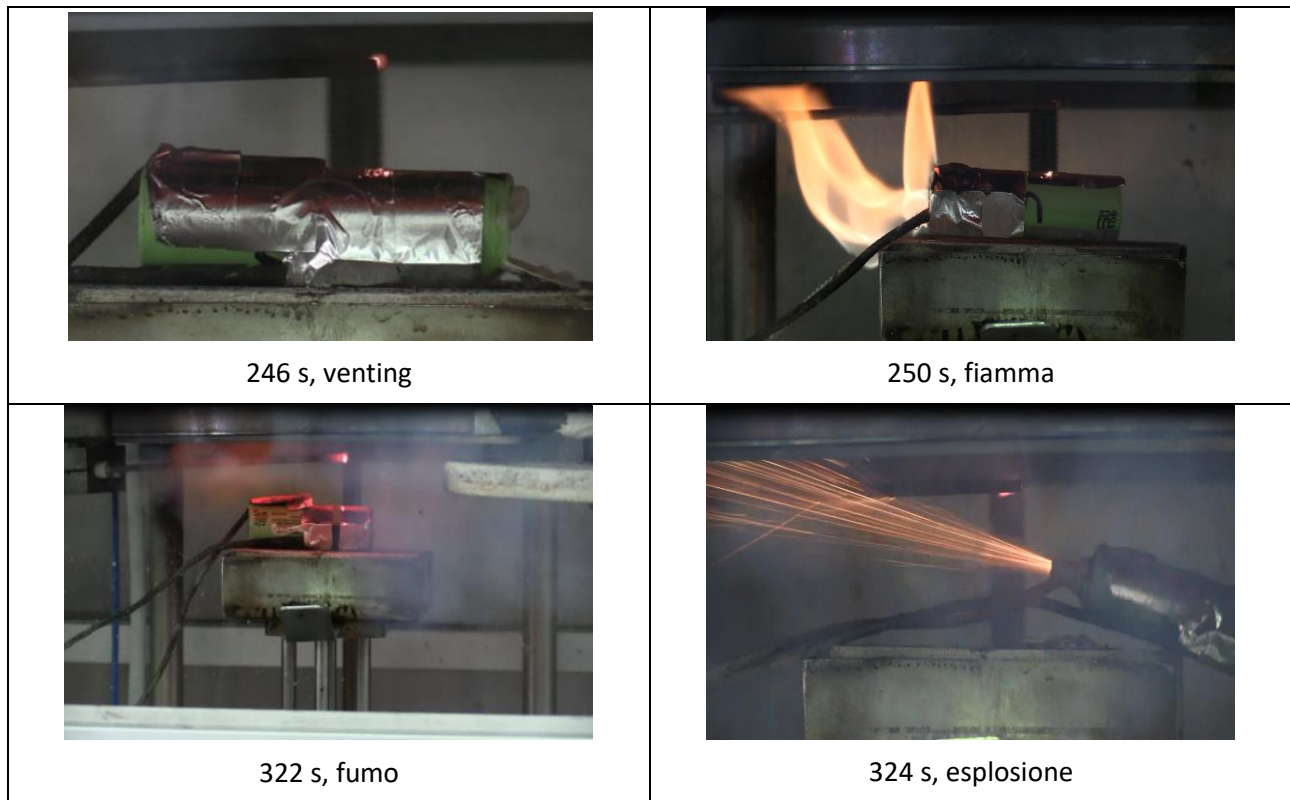
Il RT **RdS/PAR2017/246** [5] tratta i seguenti argomenti: la progettazione e delle attività preliminari effettuate su batterie per biciclette a pedalata assistita, con riferimento al piano di prova, allo stato di avanzamento delle attività e ai primi risultati di imaging radiografico; il piano di prova e lo stato di avanzamento delle attività effettuate su celle 18650 Panasonic, la presentazione dei primi risultati di imaging radiografico e caratterizzazione elettrica effettuati in Enea; i risultati delle prove, eseguite dal CNVVF, di esposizione a calore radiante e di immersione in acqua; il collegamento con le attività di calorimetria a cono e analisi chimica *ex ante e ex-post*, affidate alla Università di Roma, rispettivamente, al Dipartimento di ingegneria chimica e al Dipartimento di chimica. L'esecuzione di prove di abuso su batterie litio ione necessita di una organizzazione complessa e di numerose risorse umane e attrezzature. Prima fra tutte è necessaria la corretta identificazione dei dispositivi sottoposti a prove: diventa perciò fondamentale l'analisi chimica *ex ante* e la caratterizzazione elettrica. I dati forniti dai produttori per il tramite di importatori, a meno che non ricorra una diretta interlocuzione possibilmente ben preparata a priori, sono scarsi e non chiari. È in corso una più compiuta valutazione dei risultati ottenuti, che include l'analisi dei video e delle immagini che sono state prodotte dal CNVVF.

Nel RT [5] si rimanda al RT **RdS/PAR2017/247** [7], predisposto dal gruppo del Prof. Bacaloni, per la caratterizzazione *ex ante* e *ex post* abuso, delle celle Panasonic. Le analisi chimiche effettuate hanno consentito di verificare che le celle contrassegnate con NCR (che sembra significare: Nichel Cobalt rechargeable Battery) hanno catodo in ossido di Nichel e Cobalto: la chimica NCM è stata da me attribuita *ex ante* in base alle ricerche fatte preliminarmente all'acquisto delle stesse e alla MSDS fornite dall'importatore, una scheda del tutto generica dove la chimica NCO (in genere si indica così la vera chimica in questione...e ad R, di NCR, poteva essere attribuito qualunque significato) non compare. Ciò dimostra che, per ciascuna tipologia di cella, che è l'unità elementare di un sistema di accumulo o ESS, non si dispone normalmente di informazioni fondamentali per la progettazione degli stessi e per la prevenzione dei rischi. Conclusione alla quale tutti i gruppi di lavoro coinvolti in queste attività PAR, convergono.

Per le prove di Calorimetria a cono e DSC, si rimanda, invece al lavoro prodotto dalla prof.ssa Russo e dal suo gruppo di ricerca, il RT **RdS/PAR2017/251** [10]. Le prove sono state condotte presso i laboratori della Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica del CNVVF. Le prove sono state effettuate al variare del livello di carica della cella (SoC) e al variare della potenza radiante fornita alla cella dalla resistenza del calorimetro. I risultati delle prove di abuso termico su celle singole hanno mostrato che è possibile distinguere tre fasi principali: i) innesco del *thermal runaway*; ii) *venting* dei gas con eventuale innesco (accompagnato da fiamme e/o fumo) ed incremento della velocità di riscaldamento della cella; iii) decomposizione esplosiva con fiamma. Per celle completamente cariche (SoC=100%) è stato osservato che questi stadi si verificano in tempi più brevi rispetto a celle semicariche (SoC = 50%) o completamente scariche. Inoltre, per le celle completamente cariche sono stati misurati valori più elevati dell'energia rilasciata dalla cella. Il comportamento osservato in funzione del SoC implica che l'insorgenza dell'evento termico è correlata al contenuto energetico della cella che fornisce l'energia di attivazione necessaria per innescare il *thermal runaway*.

Ulteriori misure calorimetriche sono state condotte sui vari componenti della cella (catodo, anodo, separatore) mediante un Calorimetro a Scansione Differenziale (DSC) per individuare il contributo di ciascuno componente sul *thermal runaway* della cella. Le prove sono state effettuate a partire da celle Panasonic (NCR 18650 B, NCR 18650 BM, NCR 18650 BD) della stessa composizione chimica (NMC), ma differente capacità.

Per le celle analizzate, all'anodo, dopo la decomposizione della interfaccia solido-elettrolita (SEI) (a circa 100°C), è stato osservato lo sviluppo di calore a seguito delle reazioni esotermiche di riduzione che coinvolgono il carbonio litiato e l'elettrolita o il legante (PVDF) (a  $T > 150^\circ\text{C}$ ). Al catodo, il calore è generato dalle reazioni di decomposizione dell'ossido misto del catodo e alle successive reazioni di ossidazione del solvente con l'ossigeno formato (200-300°C). Studi futuri saranno necessari per investigare la tossicità dei gas emessi durante le prove di abuso termico e al variare del tempo di vita della cella, nonché per studiare i meccanismi delle reazioni osservate al DSC .



*Fasi del test di abuso termico su una cella Panasonic NCR 18650 BM (SoC=50%, potenza radiante=35 kW/m<sup>2</sup>) [10]*

Le prove sulle Panasonic stanno proseguendo (testo in [celeste](#)) con la caratterizzazione in carica e l'abuso elettrico (*overcharge*).

1	<b>Caratterizzazione chimica</b> ex ante e post; <b>Analisi gas e residui dopo prove in calorimetro a cono</b> (coordinamento con prof.ssa Russo)
2	<b>Celle vergini:</b> RX per verifica presenza PTC e struttura interna
3	<b>Caratterizzazione prestazioni in scarica</b> + cicli di formazione e carica al 100% SOC (destinate a calorimetria a cono) <b>Caratterizzazione in carica</b> <b>Abuso elettrico:</b> overcharge su celle formate in varie condizioni
4	<b>Celle vergini:</b> Calorimetria a cono ed esposizione fiamma
4 bis	<b>Celle formate:</b> Calorimetria a cono ed esposizione fiamma
5	<b>Celle cariche:</b> Esposizione a calore radiante e ad acqua

Le prove di caratterizzazione elettrica effettuate sulle 18650 hanno dimostrato una scarsa riproducibilità dei risultati all'interno della stessa categoria di celle, il che fa comprendere quanto sia critico il controllo di qualità

eseguito alla fonte e quanto questo debba essere eseguito da coloro che realizzano sistemi di accumulo, specialmente per la elettromobilità.

L'*imaging* in Raggi X, utilizzata sulle batterie e-bike e sulle celle Panasonic 18650, si constatano le potenzialità della tecnica per la verifica della integrità strutturale di celle e circuitistica, nonché per la verifica della composizione della batteria (tipologie di celle impiegate: cilindriche, prismatiche, planari). Come dimostrano le immagini delle 18650 Panasonic, è possibile anche riconoscere la presenza di dispositivi di sicurezza o della particolare configurazione interna.

Per quanto riguarda lo studio del comportamento a calore radiante delle 18650, si rileva in generale una scarsa tolleranza all'abuso e l'esistenza di due successivi fenomeni termici: il primo, che provoca il *venting* delle celle, probabilmente correlato alla evaporazione dei solventi basso bollenti di cui è costituito l'elettrolita; il secondo, che ne provoca la rottura catastrofica e l'innalzamento incontrollato della temperatura, probabilmente riconducibile, a parere della scrivente, al fenomeno di runaway della cella.

Per quanto riguarda le prove di immersione in acqua, la conducibilità elettrica elevata della soluzione salina provoca fenomeni non desiderati, mentre questo non accade in acqua senza aggiunta di soluti.

### 3.2 Prove di abuso e Caratterizzazione di celle EiGC020

Il RT **RdS/PAR2017/182** [1] riguarda le prove di abuso effettuate su celle litio ione EiG C020 e su un modulo di accumulo stazionario sperimentale, realizzato dai colleghi del laboratorio ENEA DTE PCU STMA e che costituisce il caso studio sul quale si sono basate tutte le attività svolte negli anni precedenti, inclusi gli studi preliminari sulla sicurezza dei sistemi di accumulo di ione. Questa esperienza ci ha consentito di mettere a punto il piano di prove su celle simili e sulle 18650 previste nell'ambito del progetto elettromobilità. Inoltre, ci hanno consentito di presentare al Corpo Nazionale dei vigili del fuoco le prime valutazioni sulla sicurezza dei sistemi di accumulo di ione e portare alla definizione di un Accordo di Collaborazione tra ENEA e CNVVF firmato dagli organi di vertice lo scorso 21 giugno 2017, a seguito del quale ci siamo immediatamente attivati per una fattiva collaborazione sul piano pratico, iniziando questa prima campagna di prova.

Dopo alcune prove preliminari effettuate presso impianto FARO sito nel CR Casaccia, nell'ambito di tale accordo, il NIA del CNVVF ha messo a disposizione il proprio personale e la propria strumentazione presso il campo prove delle Scuole Centrali Antincendi delle Capannelle (RM), dove sono stati eseguiti due gruppi di prove: il primo, ad agosto 2017 e il secondo a febbraio 2018.

<b>Abuso termico</b>	Combustione completa cella scarica
<b>Prove di estinzione del fuoco</b>	Estinzione con CO2
	Estinzione con schiuma
	Estinzione con acqua nebulizzata
	Estinzione con acqua liquida
	Estinzione con polvere
<b>Abuso meccanico</b>	Urto con maglio perforante
	Prova di piegatura
	Schiacciamento da martellamento
	Danni ripetuti

#### Sessione di prova agosto 2017

impiegate nella sua costruzione. Il riscaldamento di una batteria al di fuori dei range definiti nelle specifiche tecniche, costituisce il cosiddetto Abuso Termico. Diverse possono essere le modalità di raggiungimento di temperature pericolose di una cella o di una batteria, tra le quali:

- esposizione a fiamma o a calore estremo, per esempio dovuto: al contatto con una fiamma (partecipazione al fuoco); all'irraggiamento termico prodotto da un incendio esterno sviluppato in un ambiente fisicamente separato dalla batteria; incendio per cause endogene, di celle adiacenti, nel caso di un pacco batterie (propagazione del fuoco)

In [1] vengono presentati i risultati delle prove effettuate a febbraio 2018.

Mentre in [16], **RdS/PAR2016/169**, i risultati e le immagini delle prove effettuate ad agosto 2017.

La temperatura massima e minima di funzionamento di una batteria litio-ione, è dichiarata dal costruttore nelle specifiche tecniche, nelle viene individuata la cosiddetta "finestra operativa" definita sulla base della tipologia di celle elettrochimiche



- utilizzo in un ambiente caldo, per esempio esposizione al sole estivo, nel quale risulta inibito lo scambio termico del sistema di accumulo con l'esterno, con conseguente accumulo del calore all'interno della batteria
- **stazionamento in condizioni di "serra", per esempio all'interno di un veicolo lasciato al sole; oppure stazionamento in vicinanza di superfici calde, per esempio per batterie di veicoli poste sotto il pianale e esposte al calore dell'asfalto.**

#### Sessione di prova febbraio 2018

P1	Cella EiG C020	Prova di Sovra-carica
P2		Prova inversione polarità (utilizzato per il test di Pile al Litio metallico)
P3-1		Prova 1 con taglio della cella carica + ingresso acqua con tempo di latenza
P3-2		Prova 2 con taglio della cella carica ed inclinata + ingresso acqua immediato C4
P4		Esposizione a fiamma di cella carica al 100% SOC
P5		Esposizione a fiamma di cella scarica (SOC ?)
P6	Modulo 48 celle	Esposizione a fiamma ed estinzione del fuoco

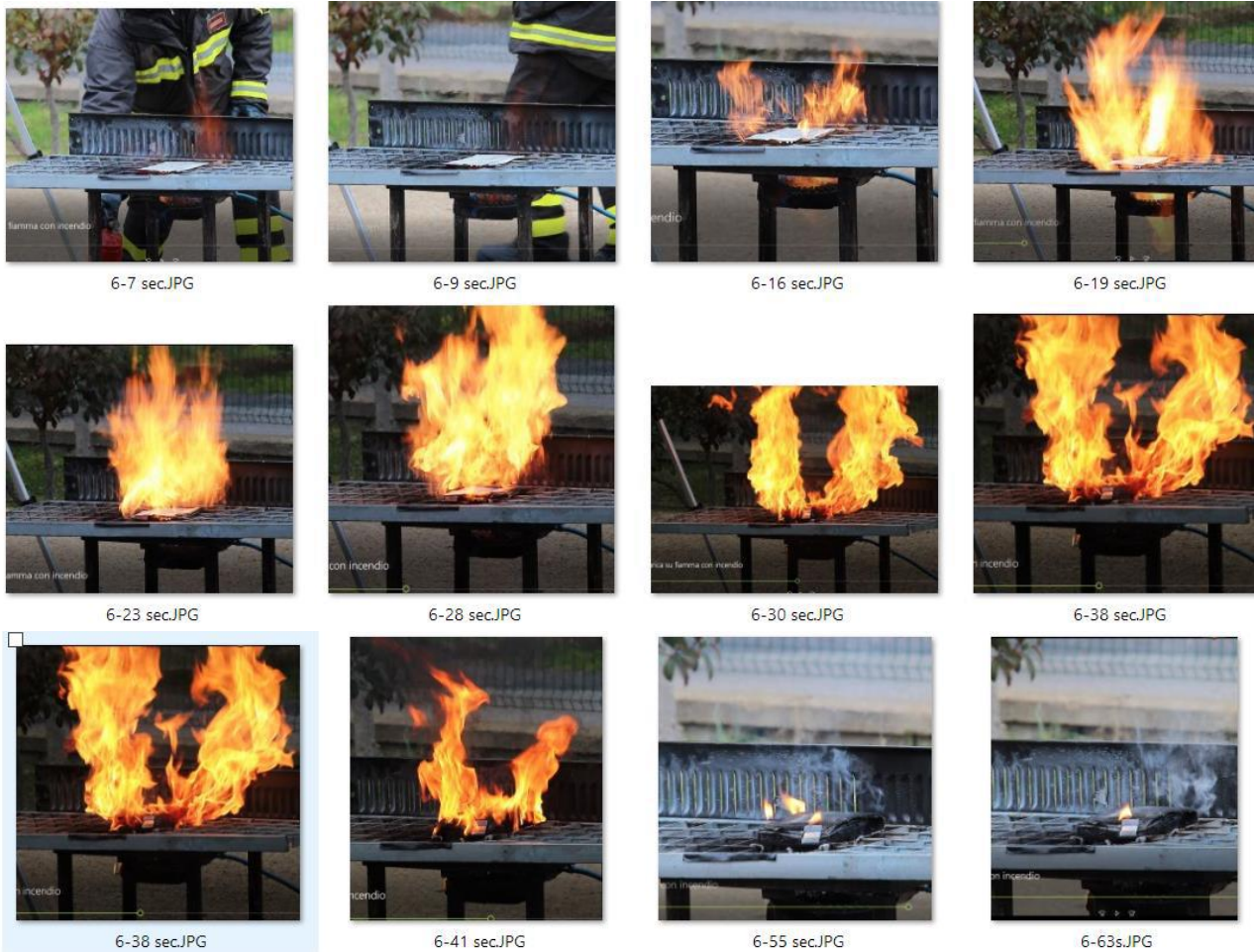
Le prove di esposizione a fiamma o a calore estremo di celle litio ione, costituiscono l'oggetto di questo rapporto tecnico. Nascono dalla esigenza di verificare il comportamento all'incendio prodotto da cause esogene, ovvero esaminare lo scenario incidentale di partecipazione al fuoco, e esaminare il comportamento di cellule esposte a temperature estreme quali potrebbero essere quelle prodotte dall'incendio di celle adiacenti (dovuto a cause endogene) e/o loro

surriscaldamento oppure incendio di celle compartimentate. Inoltre, queste due tipologie di prova possono consentire di identificare le cause di innesco di un incendio che interessa sistemi di accumulo, separando gli effetti della contaminazione dei prodotti di combustione della fiamma che produce innesco dal caso in cui la fiamma sia il prodotto di autocombustione della cella. A tal fine, sono state eseguite alcune prove sperimentali aventi in primo luogo l'obiettivo di osservare il comportamento di una batteria al litio esposta al fuoco (aumento della fiamma, durata dell'incendio, fenomeni esplosivi, esalazioni, distanze di sicurezza, residui) e in secondo luogo l'obiettivo di sperimentare vari tipi di estinguenti convenzionali (efficacia, rapidità, generazione di vapore, ecc).

Nel corso delle prove di Agosto 2017 sono state eseguite n° 5 prove di utilizzo di normali estintori al fine di constatare la idoneità di ognuno di raggiungere lo scopo. Come per le prove di combustione completa, le celle sono state riscaldate dal sistema a fiamma e portate all'incendio. Una volta avviata vivacemente la combustione della cella è stata interdetta l'erogazione di gas al bruciatore e si è provveduto all'approccio tradizionale all'incendio da parte di un operatore addestrato fornito di estintore portatile leggero.


Gli esiti di queste prove possono essere così riassunti:

- La **CO<sub>2</sub>** sembra spegnere la fiamma ma lascia un focolaio che perdura a lungo sotto le ceneri (Figura 15).
- L'**acqua nebulizzata** sembra inizialmente inefficace, poi lentamente spegne la fiamma ma provoca una intensa nube di vapore e gas (Figura 16)
- L'estinzione con **acqua liquida** spegne velocemente e completamente la fiamma ma produce una nube di vapore e gas che toglie la visuale e può intimorire l'operatore inesperto (Figura 17)
- La **schiuma** effettua una estinzione veloce, completa e pulita.
- L'**estinzione con polvere** è efficace e completa. Sporca la scena e provoca riduzione di visibilità. Nella prova la cella è stata spinta dal getto ed è caduta a terra



**Esposizione a fiamma di una cella EIGC020 carica al 100% SOC – Febbraio 2018**

Le prove effettuate nel settembre 2018 [1] includono l'esposizione a fiamma di un modulo batteria (facente parte di un sistema di accumulo costituito da 10 moduli, dai quali sono state prelevate le celle) costituito da 48 celle EIGC020.



**Effetti osservati dalla prova d'incendio**

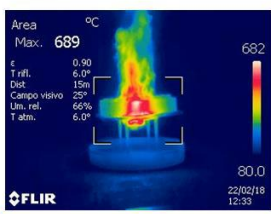
- Formazione di fiamme di notevole intensità, altezza e durata;
- Formazione di numerosi jet-fire di significativa durata ed estensione in rapporto alla grandezza del sistema di accumulo.
- Valori della temperatura massima registrata dell'ordine dei 600-700°C.


Area Max. **689** °C

ε 0,90  
T rifl. 6,0°  
Dist. 15m  
Campo visivo 25°  
Um. rel. 66%  
T atm. 6,0°

80,0  
22/02/18  
12:33

**FLIR**





~2,00 mt

Le celle sono state caratterizzate ex-ante, ex post (residui delle prove) e nel caso di una cella rigonfiata (*swelled*) a seguito di prove di invecchiamento, dal gruppo del prof. Bacaloni: [19] **RdS/PAR2016/245**, [20] **RdS/PAR2016/172**, [6] **RdS/PAR2017/184**. Dall'analisi condotta sulla cella rigonfiata [6] sono stati identificati 6 composti organici volatili: metilformato, etilformato, metilacetato, dimetilcarbonato,



etilmetilcarbonato e dietilcarbonato. Tali composti sono ascrivibili a evaporazione e decomposizione dei solventi presenti nella cella; è noto che il dimetilcarbonato viene utilizzato in miscela con il carbonato di



etilene per produrre soluzioni non acquose di elettroliti usate proprio nelle batterie al litio.

Tra i composti più altobollenti, il dimetilcarbonato e l'etilmetilcarbonato sono classificati in base al CLP come altamente infiammabili (Flam Liq 2; H225), mentre il dietilcarbonato è classificato come infiammabile

(Flam Liq 3; H226), in grado di causare irritazioni della pelle (Skin Irrit 2; H315), severe irritazioni agli occhi (Eye Irrit 2; H319) e irritazioni delle vie respiratorie (STOT SE 3; H335). Il metilformato è classificato come infiammabile (Flam Liq 1; H224), in grado di causare severe irritazioni agli occhi (Eye Irrit 2; H319), nocivo se ingerito (Acute Tox;

H302), nocivo se inalato (Acute Tox 4; H332), può causare irritazione alle vie respiratorie (STOT SE 3; H335). L'etilformato è altamente infiammabile (Flam Liq 2; H225), nocivo se ingerito (Acute Tox; H302), nocivo se inalato (Acute Tox 4; H332), in grado di causare severe irritazioni agli occhi (Eye Irrit 2; H319), può causare irritazione alle vie respiratorie (STOT SE 3; H335). Il metilacetato è altamente infiammabile (Flam Liq 2; H225), in grado di causare severe irritazioni agli occhi (Eye Irrit 2; H319), può causare sonnolenza e vertigini (STOT SE 3; H336).

Le analisi effettuate sui residui di combustione mettono in evidenza la formazione di particolato respirabile.

## 4 Analisi di rischio

L'impostazione di una Safety Review è alla base di tutte le attività successive sulla sicurezza dei sistemi di accumulo elettrochimico e sulla sicurezza nella elettromobilità. Questa fase è avvenuta nell'ambito del Progetto Accumulo, nei PAR 2011 e 2012: **RdS/2011/309** [34] e **RdS/2011/309** [33].

Ha fatto poi seguito, nello stesso ambito progettuale, il contributo del prof. Bubbico e del suo gruppo di ricerca, **RdS/PAR2015/201** [27], con la prima applicazione di metodologie standardizzate di analisi di rischio a sistemi di accumulo elettrochimico al fine di identificare le principali condizioni di pericolo, e definizione della procedura di applicazione a sistemi di accumulo realizzati con tecnologie litio-ione. In questo lavoro si impianta la identificazione dei pericoli mediante FMEA (*Failure and Mode Effect Analysis*).

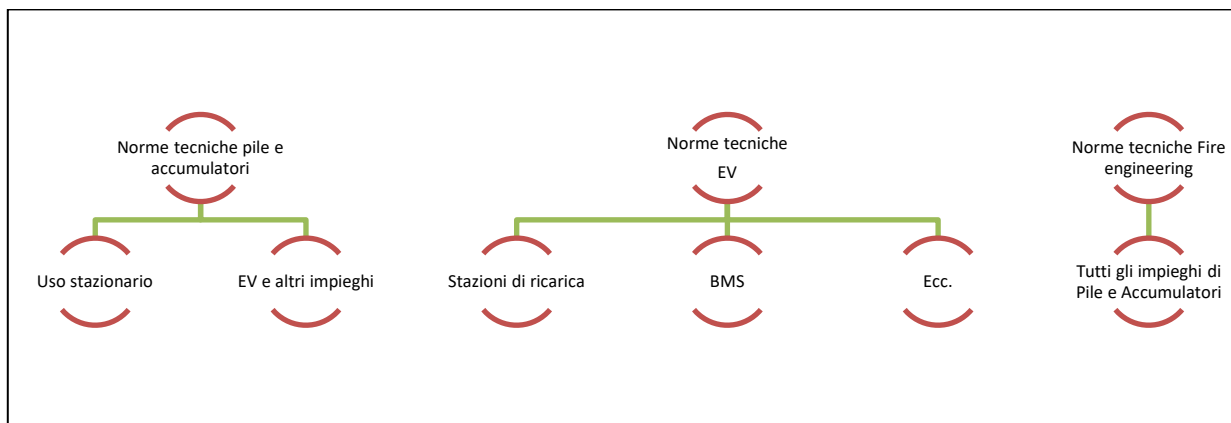
Gli studi sono continuati con il gruppo di ricerca del prof. Carcassi, che ha utilizzato la tecnica LOPA e la tecnica HAZOP sui sistemi di accumulo di interessi automotive, con una prima applicazione alla gestione delle condizioni di funzionamento anomalo da parte del BMS: **RdS/PAR2016/242** [23] e **RdS/PAR2017/248** [11], concludendo che il guasto del BMS o una sua non corretta progettazione possono comportare problemi per la sicurezza dei veicoli e, più in generale, dei sistemi di accumulo elettrochimico. Sul BMS sono stati eseguiti altri due studi coordinati di prof. Roncella, che hanno visto il coinvolgimento del gruppo del prof. Roncella, **RdS/PAR2017/249** [12] e dei gruppi Roncella e Carcassi, **RdS/PAR2017/250** [11]. I due studi riguardano: le caratteristiche funzionali dei BMS per applicazioni automotive e sulle loro possibili implementazioni con valutazioni sull'affidabilità e sulle implicazioni relative alla sicurezza di sistema e uno studio; l'Analisi HazOp specifica di BMS per applicazioni automotive (con riferimento a realizzazione qualificata automotive in ambito open hardware disponibile presso il Fraunhofer Institute).

Le tecniche LOPA e HAZOP sono state applicate, in via preliminare, anche sui sistemi di accumulo al Sodio ad alta temperatura. Sebbene gli studi siano stati effettuati nell'ambito del Progetto Accumulo, si riportano in questo indice ragionato per completezza di informazione. Tra l'altro, anche le tecnologie al sodio ad alta temperatura, come già avuto occasione di dire precedentemente, sono di interesse automotive. Gli studi sono riportati nel RT **RdS/PAR2017/183** [8], sulla 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 e nel RT **RdS/PAR2016/173** [21], sulla definizione della procedura di analisi di rischio su Sistemi di Accumulo Stazionario realizzati con tecnologie al Sodio ad alta temperatura (Sodio-Zolfo): studi preliminari.

## 5 Norme tecniche e norme giuridiche per l'elettromobilità e la sicurezza

Nel RT **RdS/PAR2016/243** [14] è stata effettuata una prima disamina delle norme tecniche applicabili alla sicurezza della elettromobilità. Parallelamente, nel RT **RdS/PAR2016/168** [15] ci si è dedicati ad approfondire il tema per quanto riguarda le applicazioni ai sistemi di accumulo stazionario realizzati con celle litio-ione e sodio, gettando le basi per una analisi critica e una valutazione della rispondenza alle necessità di indagine ai fini della sicurezza. Le attività sono proseguite nel corso del PAR 2017, portando alla redazione di una breve sintesi del lavoro svolto [2], **RdS/PAR2017/181**. In particolare, dopo l'acquisto e il reperimento di numerose norme che riguardavano i sistemi di accumulo elettrochimico e la mobilità elettrica, con particolare riferimento alle strutture di ricarica, le norme raccolte sono state elencate, mettendo in evidenza quelle acquistate e lasciando quelle che, per motivi economici, non è stato possibile acquisire e che comunque si ritiene siano di interesse. È stata effettuata una prima suddivisione per argomento mettendo in evidenza come il mondo della normazione si interessasse alla prevenzione dei rischi connessi alla gestione dei sistemi di accumulo elettrochimico a base di litio e a base di sodio, in diverse tipologie di utilizzi.

Come più volte sottolineato, l'esame delle norme tecniche, tolte quelle specifiche dei sistemi di accumulo al sodio (attualmente in corso di elaborazione), presentano una radice comune e, poi, alcune specializzazioni come messo in evidenza nella figura successiva.



La prevista analisi critica delle norme selezionate riguardava, tra gli altri, i seguenti argomenti:

- marcatura e riconoscibilità dei sistemi di accumulo litio ione
- norme specifiche per le prestazioni dei sistemi di accumulo litio ione
- norme specifiche per la prevenzione dei rischi dei sistemi di accumulo litio ione
- norme specifiche per la prevenzione dei rischi nella mobilità elettrica
- individuazione dei test di abuso
- norme specifiche per le prove di caratterizzazione del fuoco

LEGENDA	IEC	ISO	CEI	SAE	ASTM	TS e NORME ALTRI	Norme in corso di pubblicazione
---------	-----	-----	-----	-----	------	------------------	---------------------------------

Oltre alle norme IEC, ISO, CEI, SAE e ASTM pubblicate e in corso di pubblicazione, una sezione è stata dedicata ai seguenti altri enti normatori: QCT (Cina), UL (USA), JIS (Giappone), IEEE (USA), INERIS ELLICERT – Francia, FM Global.

Sono state svolte le seguenti attività: re impostazione del data base normativo; verifica dello stato di emanazione delle norme che fino a settembre 2017 risultavano in lavorazione; aggiunta di una sintesi della norma che contenesse indicazioni sulle sue finalità specifiche; stampa di tutte le norme acquisite e informatizzazione di quelle disponibili sono in cartaceo, ai fini di una migliore gestione dello studio; organizzazione cronologica degli stampati; raccolta di informazioni sulle norme in corso di predisposizione a livello ECE-ONU sulla sicurezza dei veicoli elettrici; primi approfondimenti sulle norme riguardanti la marcatura e riconoscibilità dei sistemi di accumulo litio ione per applicazioni portatili e fotovoltaiche. Sperando in future risorse di personale, ci si ripromette di analizzare il materiale raccolto e di confermare le parole chiave utilizzate per la classificazione degli *item* attualmente selezionati; si ritiene indispensabile, inoltre, aggiungere una sezione riguardante le norme giuridiche, presenti e in corso di sviluppo, almeno a livello europeo/nazionale e negli USA.

Key 1	Key 2	Key 3	Ente Normativo	Numero	Edizione/Ultima revisione	Data o data prevista per la	Stato	Classificazione e TC	Titolo	Sommario	Lingua	Descrittori
Altri accumulatori	Mobilità elettrica	Sistemi di ricarica conduttiva	IEC	IEC 61951-21	0	01/05/2001	superata	TC 69	Electric vehicle conductive charging system - Part 21. <b>Electric vehicle requirements for conductive connection to an a.c. or d.c. supply</b>	This part of IEC 61951 together with part 1 gives the electric vehicle requirements for conductive connection to an a.c. or d.c. supply, for a.c. voltages according to IEC 60038 up to 690 V and for d.c. voltages up to 1000 V, when the electric vehicle is connected to the supply network.	EN-FR-SP	
Altri accumulatori	Altro	Marcatura, test e requisiti	IEC	IEC 60622	3,0	10/10/2002	IN VIGORE	TC 21SC 21A	Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - <b>Sealed nickel</b>	Specifies tests and requirements for sealed nickel-cadmium prismatic rechargeable single cells.	EN-FR-SP	
Accumulatori Piombo	Accumulo stazionario	Marcatura, test e requisiti	IEC	CEIEC 60896-11	1,0	04/12/2002	IN VIGORE	TC 21	Stationary lead-acid batteries - Part 11. <b>Vented types - General requirements and methods of tests</b>	This part of IEC 60896 is applicable to lead-acid cells and batteries which are designed for service in fixed locations (i.e. not habitually to be moved from place to place) and which are permanently connected to the load and to the d.c. power supply. Batteries operating in such applications are called "stationary batteries".	EN-FR-SP	
Accumulatori Piombo	Accumulo stazionario	Marcatura, test e requisiti	IEC	CEIEC 60896-11	1,0	05/02/2004	IN VIGORE fino al 2018	TC 21	Stationary lead-acid batteries - Part 21. <b>Value regulated types - Methods of test</b>	This part of IEC 60896 applies to all stationary lead-acid cells and monoblock batteries of the value regulated type for float charge applications; (i.e. permanently connected to a load and to a d.c. power supply), in a static location (i.e. not generally intended to be moved from place to place) and incorporated into stationary equipment or installed in battery rooms for use in telecom, uninterruptible power supply (UPS), utility switching, emergency power or similar applications.	EN-FR-SP	Battery - Energy efficiency - Smart City
Accumulatori Piombo	Accumulo stazionario	Marcatura, test e requisiti	IEC	IEC 60896-21:2004	1	05/02/2004	IN VIGORE fino al 2018	TC 21	Stationary lead-acid batteries - Part 21. <b>Value regulated types - Methods of test</b>	This part of IEC 60896 applies to all stationary lead-acid cells and monoblock batteries of the value regulated type for float charge applications; (i.e. permanently connected to a load and to a d.c. power supply), in a static location (i.e. not generally intended to be moved from place to place) and incorporated into stationary equipment or installed in battery rooms for use in telecom, uninterruptible power supply (UPS), utility switching, emergency power or similar applications. The objective of this part of IEC 60896 is to specify the methods of test for all types and construction of value regulated	EN-FR-SP	
Accumulatori Piombo	Accumulo stazionario	Marcatura, test e requisiti	IEC	IEC 60896-22	1,0	05/02/2004	IN VIGORE fino al 2018	TC 21	Stationary lead-acid batteries - Part 22. <b>Value regulated types - Requirements</b>	This part of IEC 60896 applies to all stationary lead-acid cells and monoblock batteries of the value regulated type for float charge applications; in a static location and incorporated into stationary equipment or installed in battery rooms for use in telecom, uninterruptible power supply (UPS), utility switching, emergency power or similar applications. The tests defined are relevant to all traction battery applications which include road vehicles, locomotives, industrial trucks and mechanical handling equipments.	EN-FR-SP	
Accumulatori Piombo	Mobilità elettrica	Marcatura, test e requisiti	IEC	IEC 60254-1	4,0	13/04/2005	IN VIGORE	TC 21	Lead-acid traction batteries - Part 1. <b>General requirements and methods of tests</b>	This part of IEC 60254 is applicable to lead-acid traction batteries used as power sources for electric propulsion. The tests defined are relevant to all traction battery applications which include road vehicles, locomotives, industrial trucks and mechanical handling equipments.	EN-FR-SP	
Supercondensatori	Mobilità elettrica	Prove di prestazione	IEC	IEC 62576	1,0	18/08/2009	IN VIGORE	TC 69	IEC 62576: Electric double-layer capacitors for use in hybrid electric vehicles - Test methods for electrical characteristics	IEC 62576:2009 describes the methods for testing electrical characteristics of electric double-layer capacitor cells (hereinafter referred to as capacitor) to be used for peak power assistance in hybrid electric vehicles.	EN-FR	
Analisi di rischio	Applicazioni industriali	Sicurezza funzionale	IEC	IEC 61508-2	2	01-apr-10	IN VIGORE	TC 69/SC 65A	Functional safety of electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 2. <b>Requirements for electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems</b>	IEC 61508-2:2010 applies to any safety-related system, as defined by IEC 61508-1, that consists of at least: - one electrical, electronic or programmable electronic element; - applies to all elements within an E/E/PE safety-related system; - specifies how to refine the E/E/PE system safety requirements specification, developed in accordance with IEC 61508-1, into the E/E/PE system design.	EN-FR-SP	smart city
Analisi di rischio	Applicazioni industriali	Sicurezza funzionale	IEC	IEC 61508-1	2,0	30-apr-10	IN VIGORE	TC 69/SC 65A	Functional safety of electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 1. <b>General</b>	IEC 61508-1:2010 covers those aspects to be considered when electronic/programmable electronic (E/E/PE) systems are used to carry out safety functions. A major objective of this standard is to facilitate the development of product and application sector international standards by the technical committees	EN-FR-SP	smart city



## 6 Gestione della fine vita

Gli aspetti della gestione del fine vita degli accumulatori elettrochimici in uso nella elettromobilità, oltrepassano il concetto di riutilizzo nella cosiddetta *second life* e si ricongiungono alla problematica generale della

gestione dei rifiuti di accumulatori Litio ione e Sodio ad alta temperatura, provenienti dagli utilizzi industriali e da quelli *consumer*.

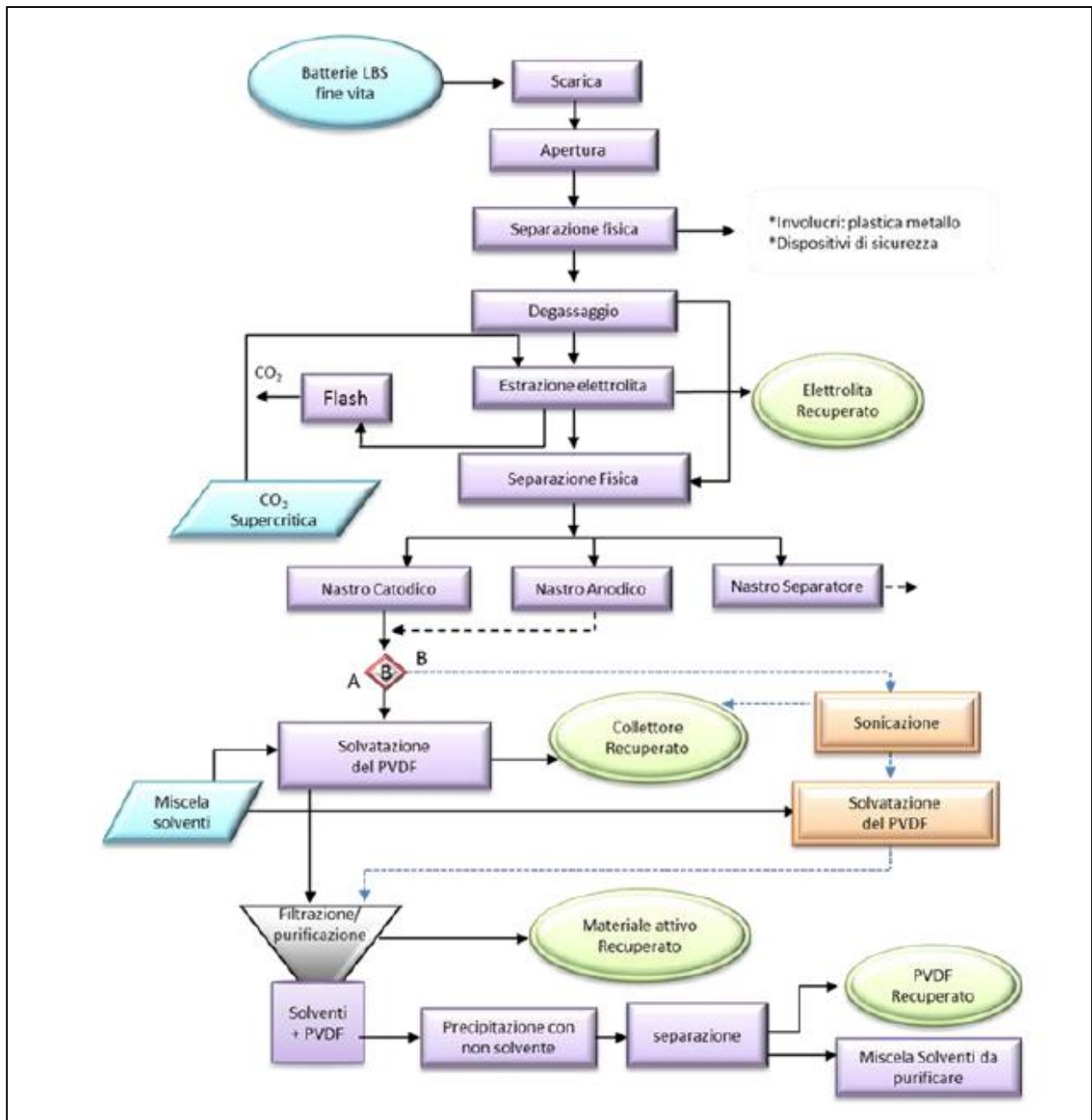
Alla gestione dei rifiuti da batterie al sodio, è dedicata l'appendice del RT **Rds/PAR2013/192** [31].

Alla gestione in sicurezza dei rifiuti di accumulatori al litio, è dedicato un capitolo nello studio sulla procedura in sicurezza dell'apertura di celle al litio, [30] **Rds/PAR2013/193**, nel quale si trattano sia le potenzialità del

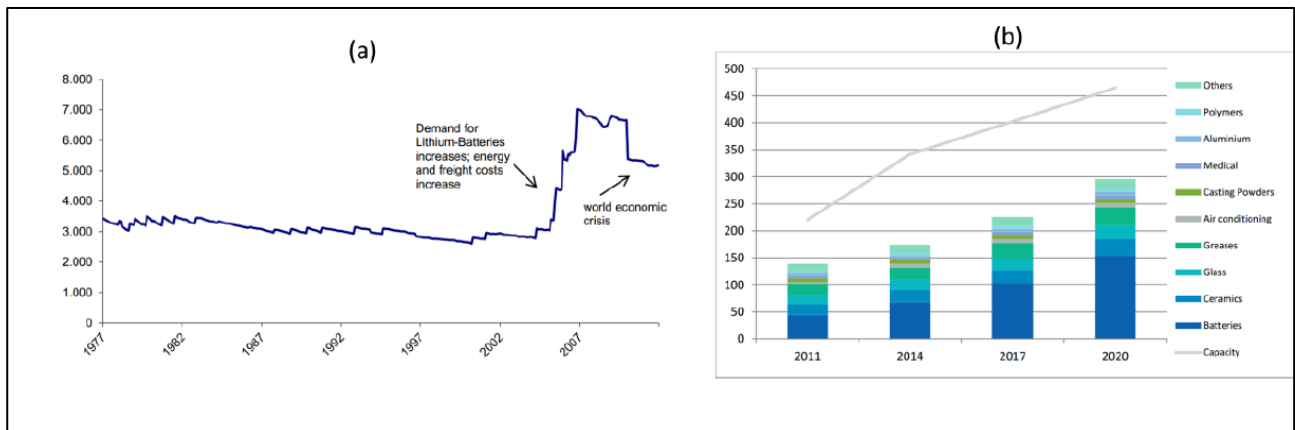
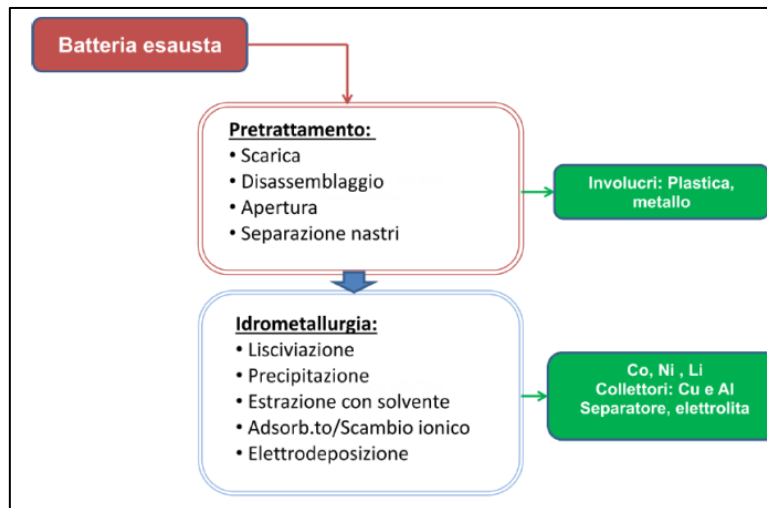
riciclo dei materiali che l'Organizzazione delle raccolta differenziata e del riciclo di batterie esauste , con un primo accenno alla casistica incidentale e alle procedure di gestione in sicurezza della gestione dei rifiuti. Nel PAR 2014, si è deciso di proseguire l'attività sulla gestione dei rifiuti, coinvolgendo gli esperti presenti in ENEA e in Istituzioni universitarie.: le attività non sono state riconosciute di interesse RSE e non sono state più finanziate.

Nel RT **RdS/2014/184** [36] si tratta del recupero di componenti da batterie al litio ione esauste mediante un processo eco sostenibile e innovativo e nel RT **RdS/2014/185** [35] si propone la progettazione di massima per un impianto pilota per il riciclo di batterie al litio ione eco sostenibile e innovativo.

Ai trattamenti pirometallurgici e all'apertura in sicurezza delle batterie esauste, è dedicato il lavoro dell'ENEA, [38] **RdS/PAR2014/186**, sulla Ottimizzazione e sperimentazione del processo per il recupero di materiali da batterie LFP esauste tramite tecnologie idrometallurgiche e del gruppo della Sapienza, [37] **RdS/PAR2014/187**, sul pre-trattamento delle batterie litio-ione in scala di laboratorio con particolare riferimento alle modalità di apertura delle celle.



Schema del processo di recupero eco-sostenibile diretto di materiali da batterie agli ioni litio esauste [36]



Andamento del prezzo del Litio 1977-2011 \$/mt) e previsioni di uso e capacità mondiale di carbonato di litio al 2020 nei diversi settori di applicazione (kt). [38]

## 7 Un laboratorio per la sicurezza

Nell'ambito del Progetto Accumulo, più volte si è ipotizzata la realizzazione di un Laboratorio di Sicurezza. Nel RT **RdS/PAR2016/171** [18] si fa riferimento al RT **RdS/PAR 2012/096** [32] e al successivo **RdS/PAR2015/200** [25] dedicato alla catena degli eventi termici che può condurre a esplosione ed incendio, nonché ai RT **RdS/PAR2014/182** [29] sulla procedura di estinzione incendi di celle Litio-ione su scala di laboratorio e **RdS/PAR2013/193** [30] sulla procedura in sicurezza dell'apertura di celle al litio.

In [18] si effettuano considerazioni tecnico economiche e considerazioni sulla progettazione preliminare di un laboratorio di caratterizzazione incendio ed esplosione di sistemi di accumulo elettrochimico quale compendio essenziale alle attività in campo aperto realizzate nell'Impianto FARO del CR Casaccia (ISER CAS SPI), la cui storia e dotazione strumentale è stata presentata in [5]. Il Laboratorio è finalizzato alla caratterizzazione, su scala di laboratorio e in ambiente confinato, del pericolo di incendio ed esplosione attraverso test riproducibili e, più avanti, standardizzati, sia su sistemi di accumulo commerciali che su sistemi in fase di sviluppo o pre-commercializzazione. Questo laboratorio, nel caso dell'ENEA, troverebbe una collocazione funzionale nell'ambito del Laboratorio DTE PCU STMA dove è presente una *facility completa* per la caratterizzazione elettrica, fondamentale per le verifiche di specifica tecnica e la creazione delle condizioni di abuso elettrico. Ma potrebbe essere realizzato, al fine di accelerare le tempistiche di ingresso "sul mercato", mediante la costituzione di una società Privato-Pubblico e essere realizzato su un'area di proprietà ENEA. Il RT presenta la strumentazione di base necessaria, la tipologia di test che sarebbe possibile



effettuare, una valutazione igienistico industriale, una stima delle aree necessarie per l'installazione e una stima dei costi della strumentazione costituendo, di fatto, una progettazione preliminare del Laboratorio Sicurezza ovvero per la scrittura di un piano di investimenti, nel quale occorrerà includere la realizzazione degli ambienti di lavoro (ristrutturazione di locali esistenti o costruzione ex-novo) incluse le reti di servizi, il mobilio, le attrezzature complementari e l'acquisizione delle risorse umane necessarie per il funzionamento del Laboratorio. La validità dell'investimento è funzione del tempo di risposta da parte di eventuali investitori.

## 8 Diffusione dei risultati

La necessità di condivisione e di far incontrare tra loro tutti i partecipanti alle attività svolte in questi anni, promuovendo il dialogo tra loro, è stata soddisfatta da un Workshop ristretto realizzato presso il CR Casaccia, il 25 ottobre 2017. Era giunto il momento di mettere insieme tutte le nostre competenze in modo fattivo: l'unione fa la forza! Ma soprattutto *di favorire l'integrazione e la diffusione delle conoscenze, e la progettazione efficace ed efficiente di ulteriori studi, in modo da contribuire concretamente alla prevenzione dei rischi e alla protezione degli utilizzatori sul territorio italiano, anche attraverso la stesura di buone pratiche.*



Dopo una Introduzione dei lavori effettuata dalla scrivente e dedicata alla presentazione degli studi finanziati dal MisE nel triennio 2015-2017 sulla Sicurezza dei SA elettrochimici, i responsabili dei Progetti Accumulo (Pier Paolo Prosinì) e Elettromobilità (Antonino Genovese) hanno presentato la struttura di Progetti. Michele Mazzaro, CNVVF, I

Dirigente Responsabile del Nucleo Investigativo Antincendio, ha presentato l'Accordo Quadro tra ENEA-CNVVF stipulato il 21 giugno 2017. Sono seguiti gli interventi di Ilario Morriello, ENEA ISERCAS SPI (Impianto FARO); Ennio Rossi, ENEA DTE PCU STMA (Prove di abuso elettrico); Francesco D'Annibale, ENEA DTE PCU SPCT (Caratterizzazione dei parametri e dei sistemi di gestione termica di batterie Litio-ione: capacità termica; calore generato; distribuzione della temperatura. e modellazione termica di una cella EiGC020); Roberto Bubbico, Università La Sapienza – DICMA (Analisi di rischio con FMEA); Marco Carcassi, Università di Pisa (Analisi di rischio con LOPA e HAZOP; Paola Russo, Università La Sapienza di Roma (La ricarica di veicoli elettrici: studio preliminare alla modellazione delle distanze di sicurezza); Alessandro Bacaloni, Università La Sapienza – Dipartimento di Chimica (Analisi chimica ex ante e ex post e igiene industriale; Roberto Roncella, Università di Pisa (BMS).

Raggiunta la maturità dei risultati, nell'ambito delle attività previste dall'accordo di collaborazione ENEA-CNVVF, è stato organizzato un WS per 150 persone destinato agli *stakeholders* e alla formazione/informazione dei responsabili e loro collaboratori, delle sedi regionali del CNVVF. Il WS si è svolto al Museo Storico dell'Aeronautica Militare di Vigna di Valle, il 13 aprile 2018. Strada facendo, alcuni enti hanno deciso di sponsorizzare il Convegno. E' stato quello l'inizio di una opera di coinvolgimento e interessamento anche di numerose aziende automotive e di fornitori di servizi per la mobilità elettrica.

Alcuni articoli su riviste specializzate e comunicazioni a Convegni nazionali sono in parte pubblicati e in parte in corso di pubblicazione.

La tecnoscienza, ben orientata, è in grado non solo di produrre cose realmente preziose per migliorare la qualità della vita dell'essere umano, a partire dagli oggetti di uso domestico fino ai grandi mezzi di trasporto, ai ponti, agli edifici, agli spazi pubblici.  
È anche capace di produrre il bello e di far compiere all'essere umano, immerso nel mondo materiale, il "salto" nell'ambito della bellezza. Il fatto è che « l'uomo moderno non è stato educato al retto uso della potenza », perché l'immensa crescita tecnologica non è stata accompagnata da uno sviluppo dell'essere umano per quanto riguarda la responsabilità, i valori e la coscienza. Ogni epoca tende a sviluppare una scarsa autocoscienza dei propri limiti. Per tale motivo è possibile che oggi l'umanità non avverta la serietà delle sfide che le si presentano, e « la possibilità dell'uomo di usare male della sua potenza è in continuo aumento » quando « non esistono norme di libertà, ma solo pretese necessità di utilità e di sicurezza ».

(Lettera Enciclica "Laudato si' - Sulla cura della Casa Comune" di Papa Francesco. 24 maggio 2015 - Paragrafo n. 103)



### Museo Storico dell'Aeronautica Militare

Via Circumlacuale, Vigna di Valle, Bracciano - Roma 06-99887509

#### come arrivare

##### BUS gratuiti A/R

- LINEA N. 1 - partenza ore 7:30**  
Scuole Centrali Antincendi - Piazza Scilla, 2 - Roma  
Arrivo al Museo ore 8:45
- LINEA N. 2 - partenza ore 7:30**  
Istituto Superiore Antincendi - Via del Commercio, 13 - Roma  
Arrivo al Museo ore 8:45
- LINEA N. 3 - partenza ore 7:30**  
Stazione Termini - Via Marsala, 10-22 - Roma  
(di fronte Best Western Premium Hotel Royal Santina)  
Arrivo al Museo ore 8:45
- LINEA N. 3 - fermata ore 8:20**  
ENEA Centro Ricerche Casaccia - Via Anguillarese, 301  
(Stazionamento davanti alla ASL RM1 - di fronte a Vecchio Ingresso)  
Arrivo al Museo ore 8:45

Ritorno: partenza dal Museo ore 16:45 - 17:00

**TAXI** a pagamento - per trasferimenti da MVSAM - servizio a chiamata  
Massimo Ceccucci - <http://www.tripadvisor.it/members/massimoc898>  
Tel. 333.3352554 - WhatsApp: 333.3352554 - cell. 339.2315415 - bus shuttle like 320.6139650

Info segreteria organizzativa: [cinzia.dibari@enea.it](mailto:cinzia.dibari@enea.it) - 3936061488 [prev.nia@vigilfuoco.it](mailto:prev.nia@vigilfuoco.it) - 06 712917605

**INSIEME**  
per rafforzare la sicurezza e la prevenzione  
dei rischi di incendio ed esplosione

## Sicurezza dei sistemi di accumulo elettrochimico per l'uso stazionario e nella elettromobilità



Museo Storico dell'Aeronautica Militare  
19 Aprile 2018 | Vigna di Valle

Il 21 giugno 2017 ENEA e CNVVF hanno stipulato un Accordo di Collaborazione per condividere le rispettive competenze in materia di "gestione della sicurezza dei sistemi di accumulo elettrochimici innovativi già presenti sul mercato internazionale, o in fase di pre-commercializzazione, basati sulle tecnologie Litio-ione e sulle tecnologie al Sodio ad alta temperatura. L'Accordo è stato sottoscritto dal prof. Federico Testa in qualità di Presidente ENEA e dall'ing. Gioacchino Giomi, in qualità di Capo del CNVVF. I due Enti, nell'ambito delle attività previste dall'Accordo, hanno ritenuto fondamentale ed urgente organizzare questo Workshop, ai fini della pronta risoluzione delle problematiche connesse alla rapidissima evoluzione del mercato dell'accumulo elettrochimico, con il forte coinvolgimento della popolazione e l'esposizione ai rischi, tuttora in corso di valutazione da parte della comunità internazionale.

L'iniziativa è finalizzata alla diffusione dei risultati delle attività conseguite, fino ad oggi dall'ENEA, di quelle svolte in collaborazione con il CNVVF e di quelle che è stato possibile affidare ad istituzioni universitarie grazie al contributo del MISE - Ricerca di Sistema Elettrico. In particolare verranno esposte le conoscenze acquisite, i risultati di prove sperimentali, i primi risultati dell'Analisi di Rischio applicata ai sistemi di accumulo, la casistica incidentale e le norme - tecniche e giuridiche - applicabili e in corso di definizione o a tutt'oggi ancora necessarie.

Ma, soprattutto, questo evento è la possibilità di incontrare e di far incontrare tra loro quanti, a vario titolo, possono dare il loro contributo fattivo alla risoluzione delle criticità esistenti.

## Programma

### 9.00 - Indirizzo di saluto

Ten. Col. AArran Adello ROVITI, Direttore Museo Storico dell'Aeronautica Militare

Prof. Federico Testa, Presidente ENEA

Ing. Gioacchino Giomi, Capo del CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO

Ing. Gian Piero Celata, ENEA - Direttore Dipartimento Tecnologie Energetiche

## SESSIONE I SISTEMI DI ACCUMULO LITIO IONE E CICLO DI VITA

Chairman: ing. Gian Piero Celata

### 9.30 - Il contributo finanziario alle attività: La Ricerca di Sistema elettrico e i Progetti Accumulo ed Elettromobilità

Pier Paolo Prossini, ENEA - Laboratorio Sviluppo Processi Chimici e Termofluidodinamici per l'Energia - Responsabile Progetto Accumulo - Ricerca di Sistema elettrico

Antonino Genovese, ENEA - Responsabile del Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo e del Progetto Elettromobilità - Ricerca di Sistema elettrico

### 9.50 - Sistemi di accumulo e ciclo di vita: accumulatori, fattore forma e sostanza, scheda di sicurezza e distinguibilità

Cinzia Di Bari, ENEA - Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo, Dipartimento tecnologie Energetiche, Divisione Produzione, Conversione e Uso Efficienti dell'Energia

### 10.10 - Verso una GTR (Global Technical Regulation) per la sicurezza dei veicoli elettrici

Franco Di Persio, Joint Research Center of the European Community - Petten - Scientific / Technical Support Officer Battery energy storage testing for safe electrification of transport

### 10.30 - Impieghi automotive: DAFI e ricarica elettrica

Michele Mazzaro, CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO - Dirigente responsabile del Nucleo Investigativo Antincendi

### 10.50 - Casistica incidentale nell'accumulo e nella elettromobilità

Paola Russo, Università di Roma "Sapienza" - Dipartimento Ingegneria Chimica Materiali Ambiente

### 11.10 - Coffee break (20minuti)

## SESSIONE II ESPLORANDO IL WORST CASE

Chairman: ing. Tolomeo Litterio CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO - Direttore della Direzione per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica

### 11.30 - Caratterizzazione elettrica e Prove in campo aperto: il monitoraggio video e con Termocamera IR

Cinzia Di Bari, ENEA - Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo, Dipartimento tecnologie Energetiche, Divisione Produzione, Conversione e Uso Efficienti dell'Energia

Manlio Pasquali, ENEA - Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo, Dipartimento tecnologie Energetiche, Divisione Produzione, Conversione e Uso Efficienti dell'Energia

Ilario Morriello, ENEA - Squadra Pronto Intervento del Centro Ricerche Casaccia - Direzione Infrastrutture e Servizi

### 11.50 - Abuso elettrico: cortocircuito e overvoltage

Ennio Rossi, già ENEA - Laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo, Dipartimento tecnologie Energetiche, Divisione Produzione, Conversione e Uso Efficienti dell'Energia

### 12.10 - Abuso termico: esposizione a fiamma

Armando De Rosa, CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO - Nucleo Investigativo Antincendi - Caratterizzazione chimico-analitica dei residui solidi e aereiformi da prove di abuso

### 12.30 - Caratterizzazione chimico-analitica dei residui solidi e aereiformi da prove di abuso

Alessandro Bacaloni, Università di Roma "Sapienza" - Dipartimento di Chimica, Facoltà di Scienze MMFFNN

### 12.50 - Pranzo (20minuti)

## SESSIONE III PRIMI RISULTATI DELLA ANALISI DI RISCHIO

Chairman: ing. Stefano Giammartini ENEA, Responsabile della Divisione Produzione, Conversione e Uso Efficiente dell'energia - Dipartimento Tecnologie Energetiche

### 14.00 - Applicazione della Analisi FMEA a sistemi di accumulo elettrochimico realizzati con tecnologie Litio-ione

Roberto Bubbico, Carla Menale - Università di Roma "Sapienza" - Dipartimento Ingegneria Chimica Materiali Ambiente

### 14.20 - Studio sulla caratterizzazione dei vari livelli di protezione di sistemi di accumulo Litio-ione per uso automotive, mediante "Layer of Protection Analysis (LOPA) e applicazione dell'HAZOP: studi preliminari

Martino Schiavetti, Tommaso Pini e Marco Carcassti, Università di Pisa - Dipartimento di ingegneria civile ed industriale

### 14.40 - Il Battery Management System: affidabilità e ratei di guasto

Roberto Roncella, Università di Pisa - Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

### 15.00 - Caratterizzazione e simulazione del comportamento termico: capacità termica, calore generato e distribuzione della temperatura in condizioni di normale funzionamento

Francesco D'Annibale, ENEA Laboratorio Sviluppo Processi Chimici e Termofluidodinamici per l'Energia, Dipartimento tecnologie Energetiche, Divisione Produzione, Conversione e Uso Efficienti dell'Energia

## TAVOLA ROTONDA - I relatori rispondono alle principali domande dei partecipanti

Moderata: Ing. Nicola Ranieri, ENEA - Responsabile del Servizio Sicurezza e Salvaguardie - Coordinata: Cinzia Di Bari, ENEA

### 15.20 - INTRODUZIONE

### 15.25 - Presentazione di DENIOS SRL Stefano Regazzoni, Direttore Generale di DENIOS srl

### 15.30 - I relatori rispondono

### 16.30 - Fine Lavori

## 9 Riferimenti bibliografici

2018	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. C. Di Bari, M. Mazzaro: "Prove di abuso effettuate in campo aperto su sistemi Litio-ione". Report RdS/PAR2017/182. Settembre 2018</li> <li>2. C. Di Bari, D. Pelliccioni: "Norme tecniche e giuridiche per la sicurezza dei sistemi di accumulo sodio e Litio-ione". RdS/PAR2017/181. Settembre 2018</li> <li>3. C. Di Bari: "Sistemi di accumulo elettrochimico Sodio ad alta temperatura: test di sicurezza preliminari". RdS/PAR2017/180. Settembre 2018</li> <li>4. C. Di Bari: "Incidenti di interesse per la elettromobilità: proposte di analisi". RdS/PAR2017/254. Settembre 2018</li> <li>5. C. Di Bari, con i contributi di: I. Morriello, V. Sglavo, A. Tati (ENEA) &amp; Michele Mazzaro, L. Bottà, M. Teoli (CNVVF): "Test di caratterizzazione e di calorimetria a cono condotti su celle di interesse automotive". RdS/PAR2017/246. Settembre 2018</li> <li>6. A. Bacaloni, M. A. Navarra, S. Insogna, L. Farina: "Caratterizzazione chimico-fisica di effluenti gassosi e particolato aerodisperso derivanti da sistemi di accumulo elettrochimico nelle condizioni di uso, manipolazione e funzionamento anomalo". RdS/PAR2017/184. Settembre 2018</li> <li>7. 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</li> <li>8. 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". RdS/PAR2017/183. Settembre 2018</li> <li>9. M. Schiavetti, T. Pini, M. Carcassi: "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". RdS/PAR2017/248. Settembre 2018</li> <li>10. P. Russo, M. L. Mele: "Operazioni di ricarica di veicoli elettrici: la misura dell'HRR per la modellazione delle distanze di sicurezza". RdS/PAR2017/251. Settembre 2018</li> <li>11. F. Baronti, A. Carloni, R. Di Rienzo, R. Roncella, R. Saletti: "Analisi HazOp specifica di BMS per applicazioni automotive (con riferimento a realizzazione qualificata automotive in ambito open hardware disponibile presso il Fraunhofer Institute)". RdS/PAR2017/250. Settembre 2018</li> <li>12. F. Baronti, A. Carloni, R. Di Rienzo, R. Roncella, R. Saletti: "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". RdS/PAR2017/249. Settembre 2018</li> </ol>
2017	<ol style="list-style-type: none"> <li>13. C. Di Bari, E. Rossi, S. Constà, F. Sacco : "Definizione di procedure di prova di overvoltage e cortocircuito su sistemi di accumulo litio-ione". Report RdS/PAR2016/170. Settembre 2017 <a href="https://www.researchgate.net/profile/Cinzia_Di_Bari/publication/324010812_Definizione_di_procedure_di_prova_di_overvoltage_e_cortocircuito_su_sistemi_di_accumulo_litio-ione/links/5afc0ae5aca272e7302caa53/Definizione-di-procedure-di-prova-di-overvoltage-e-cortocircuito-su-sistemi-di-accumulo-litio-ione.pdf">https://www.researchgate.net/profile/Cinzia_Di_Bari/publication/324010812_Definizione_di_procedure_di_prova_di_overvoltage_e_cortocircuito_su_sistemi_di_accumulo_litio-ione/links/5afc0ae5aca272e7302caa53/Definizione-di-procedure-di-prova-di-overvoltage-e-cortocircuito-su-sistemi-di-accumulo-litio-ione.pdf</a></li> <li>14. C. Di Bari, E. Rossi, I. Morriello, M. Mazzaro e F. Sacco, S. Constà: "Norme tecniche per elettromobilità e sicurezza". Report RdS/PAR2016/243. Settembre 2017</li> <li>15. C. Di Bari, S. Constà, G. Marconi, P. Russo, P. Papillo: "Norme tecniche applicabili ai sistemi di accumulo stazionario realizzati con celle litio-ione e sodio: analisi critica e valutazione della rispondenza alle necessità di indagine ai fini della sicurezza." Report RdS/PAR2016/168. Settembre 2017 <a href="https://www.academia.edu/36834157/Norme_tecniche_applicabili_ai_sistemi_di_accumulo_stazionario_realizzati_con_celle_litio-ione_e_sodio_analisi_critica_e_valutazione_della_rispondenza_alle_necessità_di_indagine_ai_fini_della_sicurezza">https://www.academia.edu/36834157/Norme_tecniche_applicabili_ai_sistemi_di_accumulo_stazionario_realizzati_con_celle_litio-ione_e_sodio_analisi_critica_e_valutazione_della_rispondenza_alle_necessità_di_indagine_ai_fini_della_sicurezza</a></li> </ol>



	<p>16. C. Di Bari, E. Rossi, I. Morriello, M. Mazzaro e F. Sacco, S. Constà: “Esposizione a fiamma e a calore di celle litio-ione soft-pouch: messa a punto delle prove e sperimentazione di diversi agenti estinguenti”. Report RdS/PAR2016/169. Settembre 2017 <a href="https://www.academia.edu/36834158/Esposizione_a_fiamma_e_a_calore_di_celle_litio-ione_soft-pouch_messa_a_punto_delle_prove_e_sperimentazione_di_diversi_agenti_estinguenti_MINISTERO_DELLO_SVILUPPO_ECONOMICO">https://www.academia.edu/36834158/Esposizione_a_fiamma_e_a_calore_di_celle_litio-ione_soft-pouch_messa_a_punto_delle_prove_e_sperimentazione_di_diversi_agenti_estinguenti_MINISTERO_DELLO_SVILUPPO_ECONOMICO</a></p> <p>17. Cinzia Di Bari, Paola Russo, Pierluigi Papillo: “Le soluzioni costruttive della alimentazione elettrica e dell’interfaccia di ricarica, adottate dai produttori di veicoli elettrici: Studio propedeutico alla individuazione dei pericoli nell’uso di EV”. Report RdS/PAR2016/244. Settembre 2017</p> <p>18. Cinzia Di Bari: “Realizzazione di un laboratorio di caratterizzazione incendio ed esplosione di sistemi di accumulo elettrochimico: considerazioni tecnico economiche e progettazione preliminare”. Report RdS/PAR2016/171. Settembre 2017 <a href="https://www.academia.edu/36834160/Realizzazione_di_un_laboratorio_di_caratterizzazione_incendio_ed_esplosione_di_sistemi_di_accumulo_elettrochimico_considerazioni_tecnico_economiche_e_progettazione_preliminare_MINISTERO_DELLO_SVILUPPO_ECONOMICO">https://www.academia.edu/36834160/Realizzazione_di_un_laboratorio_di_caratterizzazione_incendio_ed_esplosione_di_sistemi_di_accumulo_elettrochimico_considerazioni_tecnico_economiche_e_progettazione_preliminare_MINISTERO_DELLO_SVILUPPO_ECONOMICO</a></p> <p>19. 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. Settembre 2017. <a href="https://www.chem.uniroma1.it/bacaloni/Report/c_RdS_PAR-2016_245_Bacaloni-EV.pdf">https://www.chem.uniroma1.it/bacaloni/Report/c_RdS_PAR-2016_245_Bacaloni-EV.pdf</a></p> <p>20. A. Bacaloni, M. A. Navarra, S. Insogna: “Studio delle problematiche connesse alla analisi degli effluenti provenienti da prove di abuso su batterie litio-ione, condotte in ambienti confinati”. RT RdS/PAR2016/172. Settembre 2017. <a href="https://www.chem.uniroma1.it/bacaloni/Report/a_RdS_PAR2016_172_Bacaloni.pdf">https://www.chem.uniroma1.it/bacaloni/Report/a_RdS_PAR2016_172_Bacaloni.pdf</a></p> <p>21. M. Schiavetti, T. Pini, F. D’Errico, 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”. RT RdS/PAR2016/173. Settembre 2017.</p> <p>22. 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”. RT RdS/PAR2016/245. Settembre 2017. <a href="https://www.chem.uniroma1.it/bacaloni/Report/c_RdS_PAR-2016_245_Bacaloni-EV.pdf">https://www.chem.uniroma1.it/bacaloni/Report/c_RdS_PAR-2016_245_Bacaloni-EV.pdf</a></p> <p>23. 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)”. RT RdS/PAR2016/242. Settembre 2017.</p> <p>24. Paola Russo, Pierluigi Papillo: “La ricarica di veicoli elettrici: studio preliminare alla modellazione delle distanze di sicurezza”. RT RdS/PAR2016/241. Settembre 2017.</p>
2016	<p>25. 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). <a href="https://www.researchgate.net/publication/311576920_Batterie_Litio-ione_sulla_catena_degli_eventi_termici_che_puo_condurre_a_esplosione_ed_incendio_Li-ion_batteries_on_the_thermal_event_chain_that_lead_to_fire_and_explosion">https://www.researchgate.net/publication/311576920_Batterie_Litio-ione_sulla_catena_degli_eventi_termici_che_puo_condurre_a_esplosione_ed_incendio_Li-ion_batteries_on_the_thermal_event_chain_that_lead_to_fire_and_explosion</a></p> <p>26. C. Di Bari, E. Rossi e F. Conigli, R. Calvigioni, C. Manni, I. Morriello, F. Messale, “Rapporto tecnico sul calcolo del carico di fuoco, sulla metodologia di prova adottata e presentazione dei risultati delle prove di incendio (partecipazione al fuoco) ed estinzione effettuate su Litio metallico e su celle Litio-ione”, RdS/PAR2015/199. Dicembre 2016. (DOI: 10.13140/RG.2.2.16508.95363 ). <a href="https://www.researchgate.net/publication/311577024_Rapporto_tecnico_sul_calcolo_del_carico_di_fuoco_sulla_metodologia_di_prova_adottata_e_presentazione_dei_risultati_delle_prove_di_incendio_partecipazione_al_fuoco_ed_estinzione_effettuate_su_Litio_met">https://www.researchgate.net/publication/311577024_Rapporto_tecnico_sul_calcolo_del_carico_di_fuoco_sulla_metodologia_di_prova_adottata_e_presentazione_dei_risultati_delle_prove_di_incendio_partecipazione_al_fuoco_ed_estinzione_effettuate_su_Litio_met</a></p> <p>27. Roberto Bubbico, Viviana Greco, Carla Menale: “Applicazione di metodologie standardizzate di analisi di rischio a sistemi di accumulo elettrochimico al fine di identificare le principali condizioni di pericolo, e</p>

	<p>definizione della procedura di applicazione a sistemi di accumulo realizzati con tecnologie litio-ione". Report RdS/PAR2015/201</p> <p><a href="http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/accumulo-di-energia/rds_par2015-201.pdf">http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/accumulo-di-energia/rds_par2015-201.pdf</a></p>
2015	<p>28. C. Di Bari, F. Conigli, C. Manni, I. Morriello, F. Messale, "Prove di incendio ed esplosione di celle litio-ione, con documentazione filmata delle prove su campo e con analisi termografica", RdS/PAR2014/183. Settembre 2015</p> <p><a href="https://www.researchgate.net/publication/307476384_Fire_and_Explosion_test_on_Lithium-ion_cells_Prove_di_incendio_ed_esplosione_di_celle_litio-ione_con_documentazione_filmata_delle_prove_su_campo_e_con_analisi_termografica">https://www.researchgate.net/publication/307476384_Fire_and_Explosion_test_on_Lithium-ion_cells_Prove_di_incendio_ed_esplosione_di_celle_litio-ione_con_documentazione_filmata_delle_prove_su_campo_e_con_analisi_termografica</a></p> <p>29. C. Di Bari, V. Sglavo, "Procedura di estinzione incendi di celle Litio-ione su scala di laboratorio", RdS/PAR2014/182. Settembre 2015</p> <p><a href="http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2014/rds-par2014-182.pdf">http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2014/rds-par2014-182.pdf</a></p>
2014	<p>30. C. Di Bari, M. De Francesco, "Procedura in sicurezza dell'apertura di celle al litio". RdS/PAR2013/193. Settembre 2014</p> <p><a href="http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2013/rds-par2013-193.pdf">http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2013/rds-par2013-193.pdf</a></p> <p>31. C. Di Bari, "Aspetti di sicurezza di sistemi di accumulo ad alta temperatura e al Litio-ione per applicazioni nelle reti elettriche", RdS/PAR2013/192. Settembre 2014</p> <p><a href="http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2013/rds-par2013-192.pdf">http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2013/rds-par2013-192.pdf</a></p>
2013	<p>32. C. Di Bari, "Studi preliminari alla progettazione di un laboratorio di verifiche strumentali per la sicurezza". Report RdS/2012/096. Settembre 2013</p> <p><a href="http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/risparmio-di-energia-elettrica-nei-trasporti/2011/096-rds-pdf">http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/risparmio-di-energia-elettrica-nei-trasporti/2011/096-rds-pdf</a></p> <p>33. C. Di Bari, "Hazard evaluation di celle Litio-ione ed elaborazione di un modello di raccolta dati per Safety Review di sistemi di accumulo", Report RdS/2012/095, Settembre 2013</p> <p><a href="https://docplayer.it/33399415-Safety-review-di-un-sistema-di-accumulo-a-base-di-celle-litio-ione-modulo-raccolta-dati.html">https://docplayer.it/33399415-Safety-review-di-un-sistema-di-accumulo-a-base-di-celle-litio-ione-modulo-raccolta-dati.html</a></p> <p><a href="http://docplayer.it/33400559-Hazard-evaluation-di-celle-litio-ione-ed-elaborazione-di-un-modello-di-raccolta-dati-per-safety-review-di-sistemi-di-accumulo.html">http://docplayer.it/33400559-Hazard-evaluation-di-celle-litio-ione-ed-elaborazione-di-un-modello-di-raccolta-dati-per-safety-review-di-sistemi-di-accumulo.html</a></p>
2012	<p>34. Cinzia Di Bari: "Studio preliminare di sicurezza di un sistema di accumulo elettrico realizzato con celle Litio-ione". Report RdS/2011/309. Settembre 2012</p> <p><a href="http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/tecnologie-elettriche/rds-309-122-studio-preliminare-di-sicurezza-di-un.pdf">http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/tecnologie-elettriche/rds-309-122-studio-preliminare-di-sicurezza-di-un.pdf</a></p>
2015-	<p>35. M.R. Mancini: "Progettazione di massima per un impianto pilota per il riciclo di batterie al litio ione eco sostenibile e innovativo". Report RdS/2014/185. Settembre 2015</p> <p><a href="http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2014/rds-par2014-185.pdf/view">http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2014/rds-par2014-185.pdf/view</a></p> <p>36. M.R. Mancini, S. Frangini: "Recupero di componenti da batterie al litio ione esauste: processo eco sostenibile e innovativo". Report RdS/2014/184. Settembre 2015</p> <p><a href="http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2014/rds-par2014-184.pdf/view">http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2014/rds-par2014-184.pdf/view</a></p> <p>37. F. La Marca, M. Ferrini, A. Scoppettuolo: "Pre-trattamento delle batterie litio-ione in scala di laboratorio con particolare riferimento alle modalità di apertura delle celle". Report RdS/PAR2014/187.</p> <p><a href="http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2014/rds-par2014-187.pdf">http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2014/rds-par2014-187.pdf</a></p>



38. Doina De Angelis: "Ottimizzazione e sperimentazione del processo per il recupero di materiali da batterie LFP esauste tramite tecnologie idrometallurgiche". Report RdS/PAR2014/186  
[http://www.enea.it/it/Ricerca\\_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2014/rds-par2014-186.pdf/view](http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/accumulo/2014/rds-par2014-186.pdf/view)
-