



Ricerca di Sistema elettrico

## La ricarica di veicoli elettrici: studio preliminare alla modellazione delle distanze di sicurezza

Paola Russo, Pierluigi Papillo

DIPARTIMENTO  
INGEGNERIA CHIMICA  
MATERIALI AMBIENTE



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

## LA RICARICA DI VEICOLI ELETTRICI: STUDIO PRELIMINARE ALLA MODELLAZIONE

### DELLE DISTANZE DI SICUREZZA

Paola Russo, Pierluigi Papillo

(Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Ingegneria Chimica Maeriali e Ambiente)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

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

Progetto D.8: Mobilità elettrica sostenibile

Obiettivo: B4. Sicurezza accumulo al litio

Responsabile del Progetto: Antonino Genovese, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“La ricarica di veicoli elettrici: studio preliminare alla modellazione delle distanze di sicurezza”*

Responsabile scientifico ENEA: Cinzia Di Bari

Responsabile scientifico Sapienza Università di Roma: Paola Russo

## Indice

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SOMMARIO.....                                                                                                       | 4  |
| 1 INTRODUZIONE .....                                                                                                | 5  |
| 2 NORME TECNICHE RELATIVE ALLA RICARICA, ALL'INFRASTRUTTURA DI RICARICA E ALLE BATTERIE DEI VEICOLI ELETTRICI ..... | 6  |
| 2.1 NORME IEC .....                                                                                                 | 6  |
| 2.2 NORME CEI-EN .....                                                                                              | 7  |
| 2.2.1 <i>Analisi del Sistema di ricarica conduttiva dei veicoli elettrici</i> .....                                 | 9  |
| 3 ANALISI STORICA DI INCIDENTI DI VEICOLI ELETTRICI.....                                                            | 12 |
| 3.1 INCIDENTI AUTO ELETTRICHE .....                                                                                 | 12 |
| 3.2 INCIDENTI E-BIKE .....                                                                                          | 14 |
| 4 CARATTERIZZAZIONE DELL'EVOLUZIONE DI UN INCENDIO DI CELLE E BATTERIE LI-IONE.....                                 | 16 |
| 4.1 EFFETTO DELLO STATO DI CARICA SULL'HRR DI UNA CELLA LI-IONE .....                                               | 17 |
| 4.2 EFFETTO DELLO STATO DI CARICA SULL'HRR DI UN PACCO DI CELLE LI-IONE .....                                       | 20 |
| 4.3 EFFETTO DELLA COMPOSIZIONE CHIMICA DELLA CELLA SULL'HRR E LA PRODUZIONE DI HF .....                             | 22 |
| 4.4 EFFETTO SULL'HRR DELLA DISPOSIZIONE GEOMETRICA DELLE CELLE.....                                                 | 26 |
| 4.5 CONFRONTO TRA L'HRR DI UN VEICOLO ELETTRICO E UN VEICOLO A COMBUSTIONE INTERNA .....                            | 28 |
| 5 CONCLUSIONI.....                                                                                                  | 31 |
| 6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....                                                                                   | 32 |
| 7 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....                                                                                    | 33 |
| 8 ALLEGATO 1 - ELENCO NORME .....                                                                                   | 35 |
| 9 ALLEGATO 2 - ELENCO INCIDENTI DI VEICOLI ELETTRICI .....                                                          | 45 |

## Sommario

L'attività di ricerca descritta nel presente documento si inquadra nell'Obiettivo "Sicurezza accumulo al litio" del Progetto "Mobilità elettrica sostenibile" rivolto alla valutazione della sicurezza delle batterie Li-ione nell'ambito della loro applicazione ai veicoli elettrici. In particolare, in questo lavoro è stato svolto uno studio preliminare alla definizione delle distanze di sicurezza da adottare nelle stazioni di ricarica per la protezione antincendio.

Tale tema è 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.

Al fine di definire le distanze di sicurezza è stata svolta nella prima parte del lavoro un'analisi dei sistemi di ricarica, delle stazioni di ricarica e dei principali componenti di un veicolo elettrico sulla base delle norme tecniche e degli standard nazionali e internazionali. Dall'analisi è emersa la differenza tra i modi di ricarica attualmente ammessi in Italia in ambito pubblico e privato e la necessità di uniformare i connettori sui veicoli di diverse case produttrici per garantire l'intercambiabilità e quindi la carica dei veicoli elettrici su tutto il territorio europeo.

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). Per quanto riguarda la ricarica, dall'analisi è emerso che incendi di veicoli elettrici si sono verificati nella stazione durante la fase di ricarica del veicolo, ma anche al termine di essa su veicoli con batterie con completamente cariche.

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 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..

## 1 Introduzione

Nel presente documento sono descritte le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "La ricarica di veicoli elettrici: studio preliminare alla modellazione delle distanze di sicurezza", tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente di Sapienza Università di Roma, nell'ambito del Progetto D.8 "Mobilità elettrica sostenibile".

La diffusione dei veicoli elettrici ha visto fino ad oggi tra i principali ostacoli la mancanza di una rete infrastrutturale per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica. I sistemi di ricarica possono essere oggi installati su suolo pubblico, cioè direttamente sulle strade e in altri luoghi pubblici come parcheggi pubblici o privati ad uso pubblico, autorimesse pubbliche, oppure in luoghi privati, garage condominiali e box privati.

Per supportare lo sviluppo sul mercato della mobilità elettrica, il D.Lgs 257/2016 emanato lo scorso 13 gennaio, che recepisce la Direttiva Europea 2014/94/UE (Directive Alternative Fuel Initiative - DAFI), impone la realizzazione sul territorio, entro il 31 dicembre 2020, di un numero adeguato di punti di ricarica accessibili al pubblico. In particolare, le Regioni, nel caso di autorizzazione alla costruzione di nuovi impianti di distribuzione carburanti e di ristrutturazione totale di quelli esistenti, dovranno prevedere l'obbligo di dotarsi di predisposizioni per l'installazione di colonnine per la ricarica elettrica. Lo sviluppo del numero di punti di ricarica dovrà tener conto della quantità stimata di veicoli elettrici in circolazione e delle particolari necessità legate alla realizzazione di colonnine accessibili al pubblico localizzate in zone d'interscambio con i servizi di trasporto collettivo.

Per quanto riguarda i luoghi privati, il D.Lgs 257/2016, impone inoltre ai Comuni di adeguare, entro il 31 dicembre 2017, il proprio regolamento edilizio, introducendo l'obbligo, al fine del conseguimento dell'agibilità abitativa, di prevedere l'installazione di infrastrutture per ricarica dei veicoli elettrici, per edifici di nuova costruzione non residenziali di superficie superiore a 500 m<sup>2</sup> e residenziali con almeno 10 unità abitative, per un numero di spazi a parcheggio e box auto non inferiore al 20% di quelli totali; per edifici esistenti che vengono sottoposti a ristrutturazione edilizia (almeno il 50% della superficie lorda e l'impianto termico).

La sicurezza è ovviamente un fattore fondamentale per ogni sistema di ricarica, soprattutto tenendo conto che la stazione di ricarica è su strada ed è accessibile da persone comuni, ovvero senza particolari competenze sui rischi di natura elettrica.

In questo contesto si inserisce l'attività di ricerca svolta che ha come obiettivo finale la definizione delle distanze di sicurezza di un sistema di ricarica elettrica da un altro elemento pericoloso della stessa attività (sicurezza interna) o dal più vicino fabbricato o opera esterna (sicurezza esterna) ai fini della protezione antincendio. La distanza di sicurezza antincendio è definita per fare in modo che le costruzioni e gli impianti non siano messi in pericolo a vicenda dalla propagazione dell'incendio.

A questo scopo l'attività di ricerca ha previsto in una prima fase un'analisi dei sistemi di ricarica, delle stazioni di ricarica e dei principali componenti di un veicolo elettrico sulla base delle norme tecniche e degli standard nazionali e internazionali. Quindi, è stata condotta un'analisi storica degli eventi incidentali che hanno coinvolto veicoli elettrici al fine di individuare le principali cause di incidente e i conseguenti scenari di incendio o esplosione. La ricerca è poi proseguita con lo studio della letteratura scientifica rivolta alla valutazione del comportamento durante la combustione di singole celle, di blocchi di celle, fino al caso di un'auto elettrica. In particolare, è stata valutata la potenza termica ovvero velocità di rilascio del calore (Heat release rate, HRR) durante il processo di combustione, infatti, la conoscenza di tale parametro fondamentale per poter determinare l'evoluzione di un incendio e predirne gli effetti termici. D'altra parte la conoscenza dei prodotti di combustione, e della loro composizione, è indispensabile per poter prevedere effetti tossici in particolare in ambienti confinati (garage, box, autorimesse, parcheggi sotterranei).

## 2 Norme tecniche relative alla ricarica, all'infrastruttura di ricarica e alle batterie dei veicoli elettrici

In questa sezione sono analizzate le norme tecniche relative ai sistemi di ricarica, stazioni di ricarica ed ai principali componenti di un veicolo elettrico. Esse si riferiscono a norme emanate da organizzazioni internazionali, quali: l'IEC - International Electrotechnical Commission, l'ISO - International Organization for Standardization e l'IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers, l'ASTM International-American Society for Testing and Materials International, il SAE International - Society of Automotive Engineers International e nazionali: l'UL - Underwriters Laboratories (Stati Uniti), il JIS - Japanese Industrial Standards e il CEI - Comitato Elettrotecnico Italiano. L'elenco delle norme di interesse è riportato in allegato 1, mentre nel seguito vengono descritti i contenuti principali delle norme IEC e CEI, per la loro applicazione sul territorio nazionale.

Dall'analisi della situazione italiana, è emerso che attualmente sono presenti in Italia circa 1200 colonnine di ricarica, di 4 tipi principali che differiscono per connettori, voltaggio, amperaggio, sistema di autorizzazione alla ricarica e di contabilizzazione, ecc. e che conseguentemente presentano tempi necessari alla ricarica molto diversi fra loro. Le colonnine di ricarica sono installate su suolo pubblico, cioè direttamente sulle strade oppure anche in altri luoghi pubblici come le autorimesse pubbliche, oppure in luoghi privati. Il sistema di ricarica ad induzione, tramite impianti senza fili a pavimento, è ancora allo stato di sperimentazione.

### 2.1 Norme IEC

La ricarica di un veicolo elettrico può avvenire tramite cavo (conduttiva), wireless (induttiva) oppure attraverso lo Battery Swap System, cioè andando a sostituire l'intero pacco batterie. L'ente internazionale di normazione IEC fa questa distinzione con tre gruppi di norme differenti. La famiglia delle norme IEC 61851 analizza tutti gli aspetti relativi al sistema di ricarica conduttiva. Nella Norma IEC 61980-1:2015-07 sono contenuti i requisiti generali di un sistema di ricarica induttiva, mentre le Norme IEC TS 62840-1:2016-7 e IEC 62840-2:2016-10 definiscono rispettivamente i requisiti generali e di sicurezza di un sistema di scambio batterie per veicoli elettrici.

Per quanto riguarda la ricarica conduttiva, il gruppo di norme IEC 62196 definisce le diverse spine, prese e connettori. In dettaglio, la IEC 62196-1:2014-06 specifica i requisiti generali, la IEC 62196-2:2016-02 e la IEC 62196-3:2014-06 definiscono la compatibilità dimensionale e requisiti di intercambiabilità di attacchi a spina e alveoli rispettivamente per c.a. e per c.c - c.a/c.c

Per quanto riguarda le procedure di prova, la Norma IEC 62660-1: 2010-12 specifica prestazioni e Life test, mentre la IEC 62660-2: 2010-12 specifica le procedure di prova per determinare l'affidabilità e il comportamento in condizioni di abuso, di celle secondarie (ricaricabili) Li-ione utilizzate per la propulsione di veicoli elettrici compresi veicoli elettrici a batteria (BEV) e veicoli elettrici ibridi (HEV). La norma IEC 62660-3: 2016-08 specifica le procedure di prova e i criteri di accettazione per le prestazioni di sicurezza delle celle Li-ione e dei blocchi di celle utilizzati per la propulsione dei veicoli elettrici.

La Norma IEC 61960-3:2017-02 invece specifica i test per le prestazioni, le denominazioni, le marcature, le dimensioni e altri requisiti per le celle singole al litio e le batterie per le applicazioni portatili. Le applicazioni portatili comprendono apparecchiature portatili, attrezzature trasportabili e attrezzature mobili. L'obiettivo è fornire agli acquirenti e agli utilizzatori di batterie e di batterie al litio secondarie una serie di criteri con cui valutare le prestazioni delle batterie al litio e delle batterie offerte da vari produttori.

La Norma IEC 62281: 2016-12 specifica i metodi di prova e i requisiti per le batterie al litio primarie e secondarie (ricaricabili) per garantire la loro sicurezza durante il trasporto; mentre le IEC 62485 specificano requisiti di sicurezza per batterie secondarie e loro installazioni, in particolar modo per le batterie per applicazioni stazionarie, di trazione e in apparecchiature portatili.

La IEC 61508-1:2010-04 copre gli aspetti da considerare quando si utilizzano sistemi elettrici/ elettronici/ programmabili elettronici (E/E/PE) per svolgere funzioni di sicurezza. Nel caso delle auto elettriche questa norma riguarda il BMS (Battery Management System) che gestisce le celle dell'intero pacco batterie.

## 2.2 Norme CEI-EN

### **Norme CEI-EN 61851: Sistemi di ricarica conduttiva dei veicoli elettrici**

La Norma CEI EN 61851-1:2012-05 (Sistema di ricarica conduttiva dei veicoli elettrici - Parte 1: Prescrizioni generali) si applica alle apparecchiature per la ricarica di veicoli elettrici stradali, a bordo e fuori-bordo, alle tensioni di alimentazione normalizzate in c.a. (come da IEC 60038) fino a 1000 V, e a tensioni in c.c. fino a 1500 V, nonché alla fornitura di energia elettrica, se richiesta, per tutti i servizi supplementari sul veicolo durante il collegamento alla rete di alimentazione. La Norma CEI EN 62752:2017:02 si applica ai dispositivi di protezione ed al controllo integrato sul cavo per il modo di ricarica 2 dei veicoli elettrici, incluse le funzioni di controllo e di sicurezza.

La Norma CEI EN 61851-21:2003-03 (Ricarica conduttiva dei veicoli elettrici - Parte 21: Requisiti dei veicoli elettrici per il loro collegamento conduttivo all'alimentazione in c.a. o in c.c.) stabilisce le prescrizioni per il collegamento conduttivo di un veicolo elettrico di Classe I ad alimentazioni in c.a. o in c.c. per tensioni fino a 690 V in c.a. e 1000 V in c.c., quando il veicolo è collegato alla rete di alimentazione. La presente parte non ricopre tutti gli aspetti di manutenzione. La norma non si applica ai filobus, ai veicoli su rotaia, ai carrelli industriali ed ai veicoli progettati prevalentemente per uso non stradale.

La Norma CEI EN 61851-22:2003-03 (Ricarica conduttiva dei veicoli elettrici - Parte 22: Stazioni di ricarica in c.a. per veicoli elettrici) congiuntamente alla Parte 1, stabilisce le prescrizioni per le stazioni di carica in c.a. per il collegamento conduttivo ai veicoli elettrici per tensioni fino a 690 V. Tale parte non copre tutti gli aspetti relativi alla manutenzione.

La Norma CEI EN 61851-23:2015-10 (Carica conduttiva dei veicoli elettrici - Parte 23: Stazione di carica in c.c. dei veicoli elettrici) insieme alla Norma EN/IEC 61851-1:2010, fornisce i requisiti per le stazioni di carica in c.c. di un veicolo elettrico (EV). Essa fornisce i requisiti generali per la comunicazione di controllo tra una Stazione di carica EV in c.c. e un EV. La versione CEI EN 61851-23/EC1:2017-03 (errata corrige) contiene modifiche ad alcuni articoli della Norma CEI EN 61851-23:2015-10.

La Norma CEI EN 61851-24:2015-10 (Carica conduttiva dei veicoli elettrici Parte 24: Comunicazione digitale tra stazione di carica in c.c. e veicolo elettrico per il controllo della carica) insieme alla Norma EN/IEC 61851-23 si applica per la comunicazione digitale tra una stazione di carica EV in c.c. ed un veicolo elettrico stradale (EV) per il controllo della carica. La versione CEI EN 61851-24/EC1:2016-02 (errata corrige) contiene modifiche ad alcuni articoli della Norma IEC 61851-24:2014.

### **Norme CEI EN 62196: Spine, prese fisse, connettori mobili e fissi per veicoli - Carica conduttiva dei veicoli elettrici**

La Norma CEI EN 62196 nella Parte 1, entrata in vigore nel novembre 2015, definisce i requisiti generali di spine, prese fisse, connettori e cavi assemblati per veicoli elettrici e destinati ad essere utilizzati nei sistemi per la carica conduttiva, che incorporano dispositivi di controllo, con una tensione nominale non superiore a: 690 V in c.a., frequenza 50 Hz - 60 Hz, e corrente nominale non superiore a 250 A; 1 500 V in c.c. e corrente nominale non superiore a 400 A. La presente norma supera completamente la CEI EN 62196-

1:2014-06, inclusa la sua variante V1 che rimane in vigore in parallelo fino al 06-10-2019, rispetto alla quale costituisce una revisione di carattere tecnico avendo aggiunto, tra le modifiche più significative, una tensione di esercizio e una corrente nominale preferenziale rispettivamente di 1000 V e 80 A in c.c.; requisiti relativi al meccanismo e al dispositivo di blocco/interblocco e aggancio; nonché l'aggiunta di una descrizione delle configurazioni in c.c. e requisiti e prove per terminali isolanti.

La Parte 2 in vigore da maggio 2015, definisce la compatibilità dimensionale e requisiti di intercambiabilità di attacchi a spina e alveoli per corrente alternata. Si applica a spine, prese fisse, connettori per veicoli, con attacchi a spina e alveoli, con configurazioni standardizzate e destinati alla carica conduttiva dei veicoli elettrici. Tali apparecchi devono avere tensione nominale non superiore a 500 V c.c., frequenza da 50 Hz a 60 Hz e corrente nominale non superiore a 63 A (per componenti trifase) e 70 A (per componenti monofase). La si applica agli apparecchi di interfaccia di base per l'alimentazione dei veicoli specificati nella CEI EN 62196 1:2013 02 e utilizzati in sistemi di carica conduttiva per i circuiti specificati nella Norma EN/IEC 61851-1; essa deve essere applicata in modo congiunto con la Norma CEI EN 62196-1.

La Parte 3 entrata in vigore ad ottobre 2016 definisce le prescrizioni dimensionali per compatibilità e intercambiabilità di apparecchi con alveoli e spinotti cilindrici per c.c. e c.a./c.c. Si applica ai connettori per veicoli con attacchi a spinotti cilindrici e ad alveoli, con configurazioni standardizzate e destinati ai sistemi di carica conduttiva dei veicoli elettrici che incorporano mezzi di controllo, con tensione e corrente nominale rispettivamente fino a 1500 V e 250 A nei sistemi in c.c., e fino a 1000 V e 250 A nei sistemi in c.a. La Norma si applica ai dispositivi di interfaccia ad alta potenza in c.c. ed ai dispositivi di interfaccia combinati in c.a./c.c. dei connettori per veicoli specificati nella CEI EN 62196-1:2014-06 ed utilizzati nei sistemi di carica conduttiva per i circuiti specificati nelle Norme CEI EN 61851-1:2012-05 ed EN 61851-23:2014-05. La Norma viene utilizzata congiuntamente alla Norma CEI EN 62196-1:2014-06.

#### **Norme CEI EN 50272: Prescrizioni di sicurezza per batterie di accumulatori e loro installazioni**

Nella Norma CEI EN 50272-1:2014-05 sono contenute le informazioni generali di sicurezza. La Parte 2 della CEI EN 50272, in vigore dall'agosto 2002, si applica alle batterie di accumulatori stazionari, al piombo e al nichel-cadmio, ed alle loro installazioni con tensione massima di 1500 V in c.c. (nominale). Essa descrive le misure di protezione contro i rischi elettrici, le emissioni di gas e lesioni da elettrolito. Inoltre, fornisce prescrizioni su aspetti di sicurezza associati alla costruzione, all'uso, all'ispezione, alla manutenzione ed allo smaltimento. La parte 4, in vigore da luglio 2007, ha lo scopo di prescrivere aspetti di sicurezza correlati al posizionamento, alla disposizione dei circuiti e al funzionamento degli elementi e delle batterie ricaricabili negli apparecchi portatili. Mentre la CEI EN 62485-3:2016 riguarda le batterie di trazione.

#### **Norme CEI EN 62660: Accumulatori Litio-ione per la propulsione di veicoli elettrici stradali**

La CEI EN 62660-2:2014-05 descrive le prove di affidabilità e abuso delle batterie litio-ione. La CEI EN 62660-3:2017-04 specifica le procedure di prova e i criteri di accettazione per le prestazioni di sicurezza delle batterie litio-ione e di blocchi di batterie utilizzate per la propulsione di veicoli elettrici (EV), compresi i veicoli elettrici a batteria (BEV) ed i veicoli elettrici ibridi (HEV). La Norma si propone di determinare le prestazioni di sicurezza di base delle batterie utilizzate in un pacco batterie ed in un sistema di batterie in caso di uso previsto ed in caso di uso improprio, ragionevolmente prevedibile, o incidente, durante il normale funzionamento del veicolo elettrico.

La CEI EN 61960:2014-05 riguarda gli elementi e batterie di accumulatori contenenti elettroliti alcalini o altri non acidi per applicazioni portatili. La CEI EN 62281:2014-05 definisce le specifiche per la sicurezza delle pile, degli elementi e delle batterie di accumulatori al litio durante il trasporto.

La Norma CEI EN 61434:1997-11 è una guida per la designazione della corrente nelle norme per accumulatori e pile alcaline. Infine la Norma CEI 69-1:1998-04 si applica agli impianti elettrici dei veicoli stradali con ruote gommate con conducente a bordo, azionati da batterie di accumulatori elettrici installati a bordo. Sono esclusi gli impianti elettrici di trazione dei carrelli e dei trattori ad accumulatori destinati a servizio nell'interno degli stabilimenti.

### 2.2.1 Analisi del Sistema di ricarica conduttiva dei veicoli elettrici

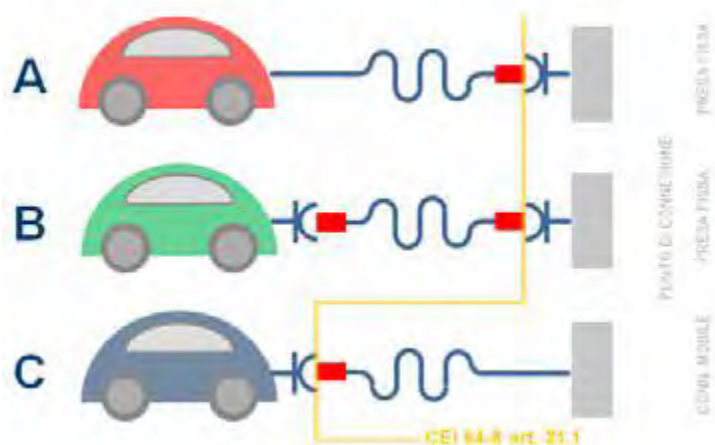
Al momento sono definiti 3 tipi di connessione per la carica e 4 modi di carica come riportato in Tabella 1 [1].

**Tabella 1. Tempi tipici di carica per autovettura elettrica di media taglia.**

| Ricarica |        |        | Autonomia reintegrata in |          | Tempo per reintegrare 10 km |
|----------|--------|--------|--------------------------|----------|-----------------------------|
|          |        |        | 1 h                      | 15 min   |                             |
| AC       | Lenta  | 3,3 kW | 13-15 km                 | 3-5 km   | 40-45 min                   |
|          | Rapida | 22 kW  | 90-100 km                | 25-30 km | 6-7 min                     |
|          |        | 43 kW  | Completa                 | 50-60 km | 3-4 min                     |
| CC       | Rapida | 50 kW  | Completa                 | 60-70 km | 2-3 min                     |

I tipi di connessione per la carica dei veicoli elettrici attualmente normati in ambito internazionale sono 3 (figura 1):

- A. il veicolo elettrico è connesso al punto di carica utilizzando un cavo di alimentazione e una spina permanentemente fissati al veicolo stesso;
- B. il veicolo elettrico è connesso al punto di carica utilizzando un cavo di alimentazione removibile provvisto di connettore mobile e spina per il collegamento alla presa di alimentazione in c.a.;
- C. il veicolo elettrico è connesso al punto di carica utilizzando un cavo di alimentazione e un connettore mobile permanentemente fissati all'apparecchiatura di alimentazione.



**Figura 1. Tipi di connessione per la carica (Norma CEI EN 61851-1).**

I 4 modi di ricarica attualmente disponibili sono differenziati in funzione del regime (AC, CC), della corrente massima, del tipo di connettore, presa/spina, delle caratteristiche dell'eventuale comunicazione/controllo tra il veicolo e la stazione di carica (Figura 2).

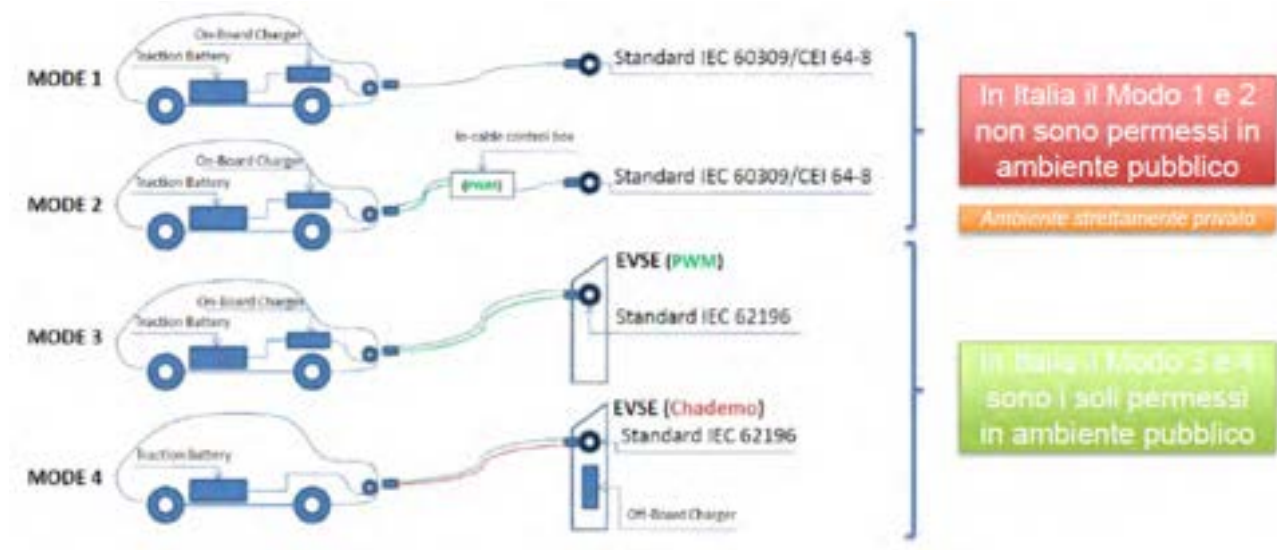


Figura 2. Norma IEC 61851-1 – Modi di carica

Il Modo 1 di carica si riferisce al collegamento del veicolo elettrico alla rete di alimentazione AC utilizzando prese e spine normate fino a 16 A, ovvero ordinarie prese e spine per uso domestico (CEI 23-50) o industriale (CEI EN 60309-2) oppure prese e spine speciali ma comunque conformi ad una norma internazionale IEC.

Il Modo di carica 2 per il collegamento del veicolo elettrico alla rete di alimentazione prevede prese e spine conformi ad uno standard IEC, ma con corrente nominale fino a 32 A. E' prevista una protezione supplementare garantita da un box di controllo collocato sul cavo tra il veicolo elettrico e la stazione di ricarica a meno di 30 cm dalla spina e contenente, oltre ai dispositivi per alcune funzioni di controllo, anche un differenziale da 30 mA.

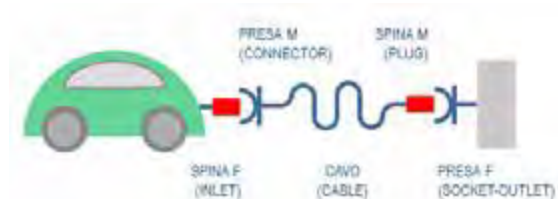
In Italia i Modi 1 e 2 non sono ammessi in ambito pubblico, ma solo per punti di ricarica privati, compresi garage residenziali e parcheggi aziendali. In particolare, il Modo 1, con una corretta realizzazione e aggiornamento dell'impianto elettrico, è considerato l'unico che consente la carica in sicurezza oltre alla semplicità e al basso costo d'investimento. Il Modo 2 non è consigliato per luoghi "non aperti a terzi" ma non è vietato, il principale svantaggio è che il box di controllo protegge il cavo a valle e il veicolo, ma non la spina stessa, che è uno dei componenti più soggetti ad usura.

Il Modo di carica 3 prevede il collegamento diretto del veicolo elettrico alla rete CA di alimentazione utilizzando apparecchiature di alimentazione dedicate; inoltre, la norma CEI EN 61851-1 richiede un contatto pilota di controllo tra il sistema di alimentazione e il veicolo elettrico con la funzione di: i) inserimento dei connettori; ii) continuità del conduttore di protezione; iii) funzione di controllo attiva.

Il Modo di carica 4 è l'unico che prevede il collegamento indiretto del veicolo elettrico alla rete CA di alimentazione utilizzando un convertitore esterno, e un conduttore pilota di controllo che si estende alle attrezzature permanentemente collegate alla rete. In questo Modo il carica batterie non è più a bordo del veicolo, ma nella stazione di carica.

In Italia, attualmente i Modi 3 e 4 sono i soli permessi in ambiente pubblico, ma al fine di garantire la necessaria sicurezza durante la carica conduttiva dei veicoli elettrici, quando questa viene eseguita in ambienti aperti a terzi la norma CEI EN 61851-1 stabilisce che deve essere adottato il Modo di carica 3.

Nella Figura 3 sono riportati gli elementi fondamentali per consentire la carica di un veicolo: il sistema presa/spina si trova sul lato stazione di carica, mentre i connettori sul lato veicolo [1].



**Figura 3. Elementi fondamentali per consentire la carica di un veicolo.**

La CEI EN 62196-2 prevede 3 tipi principali di prese, spine e connettori specifici per la carica del veicolo elettrico in CA differenziati in funzione della corrente, della tensione nominale, del numero delle fasi e del numero dei contatti pilota, ovvero utilizzabili, con alcune restrizioni, per i modi di carica 3, 2 e 1, come riportato in Tabella 2 [2].

Le caratteristiche dei connettori in CC sono invece definite dalla Norma 62196-3.

Queste norme identificano nel dettaglio quali connettore/presa, possono essere utilizzati per la ricarica dello stesso e quali prescrizioni devono essere rispettate per la loro costruzione.

**Tabella 2. Principali caratteristiche di prese, spine e connettori specifici per la carica del veicolo elettrico**

| Tipo | Tensione nominale | Corrente nominale              | Numero di fasi | Contatti pilota | Note         |
|------|-------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|
| 1    | 250 V             | 32 A                           | 1              | 2               | solo lato EV |
| 2/2S | 480 V             | 63 A trifase,<br>70 A monofase | 1 o 3          | 2               |              |
| 3a   | 250 V             | 16 A                           | 1              | 1               |              |
| 3b   | 250 V             | 32 A                           | 1              | 2               |              |
| 3c   | 480 V             | 63 A                           | 1 o 3          | 2               |              |

Oggi purtroppo sul mercato ci sono ancora veicoli elettrici con connettori di vario tipo, non conformi alla normativa. Per garantire l'intercambiabilità e quindi la carica dei veicoli elettrici su tutto il territorio europeo è stato previsto un adeguamento dei vari veicoli come segue:

- Veicoli elettrici connettore Tipo 2 con o senza protezione meccanica (shutter);
- Veicoli elettrici leggeri connettore Tipo 3a con o senza protezione meccanica (shutter);
- Veicoli elettrici in DC tipo COMBO 2.

Tale adeguamento permetterà la ricarica in sicurezza dei veicoli elettrici su tutto il territorio europeo.

### 3 Analisi storica di incidenti di veicoli elettrici

L'attività è stata rivolta alla raccolta di informazioni su incidenti che hanno coinvolto veicoli elettrici allo scopo di effettuare un'analisi storica degli incidenti e poter individuare le principali cause di incidente e i conseguenti scenari di incendio o esplosione. Al fine di ottenere un'analisi precisa e puntuale, è indispensabile disporre di tutti i dati necessari utili a ricostruire l'evento ed indagare sulle cause, che possibilmente lo hanno generato. Nel caso dei veicoli elettrici non essendo presenti database incidentali si è proceduto alla raccolta dei dati acquisendo le informazioni da articoli di giornali e siti web. L'indagine è stata volta ad individuare elementi quali:

- data e luogo di accadimento dell'evento;
- tipo di veicolo coinvolto e di batterie;
- cause, circostanze e natura dell'evento;
- conseguenze;
- testimonianze;
- altri elementi che caratterizzano lo scenario dell'evento, utili all'analisi.

I risultati dell'analisi sono riportati in Allegato 2.

L'analisi ha permesso di individuare 21 incidenti che hanno coinvolto auto elettriche (EV) e ibride (HEV) nell'arco temporale compreso tra 2011-2017 e 4 incidenti che hanno coinvolto e-bike nel 2017.

In tutti i casi analizzati l'incidente, avvenuto con diverse modalità, ha portato all'incendio dell'autoveicolo; in particolare, il numero maggiore di incendi (9) è avvenuto dopo collisioni con altre auto o con ostacoli lungo il tragitto percorso, 3 incendi durante la sosta, 2 durante la guida, 2 mentre i veicoli erano collegati alla stazione di ricarica, altri singoli incendi si sono verificati: dopo aver effettuato la ricarica completa, dopo un crash test, durante un test drive e mentre si effettuavano prove sui gas di scarico.

Per quanto riguarda le auto elettriche, la maggior parte degli incidenti sono avvenuti negli Stati Uniti (7), in Europa (6) e Cina (4), due incidenti sono avvenuti in Giappone e singoli incidenti si sono verificati in Messico e Canada. Gli autoveicoli elettrici coinvolti sono principalmente marca Tesla modello S e modello X (SUV) (11 incidenti), ma è da tener in considerazione che i veicoli Tesla sono anche quelli maggiormente venduti, in particolare negli Stati Uniti, per i quali si sono registrate più di 100.000 vendite fino al 2016. Altri modelli di auto che compaiono nell'elenco (Allegato 2) sono la Fisker Karma P-HEV (3 incendi), il MiEV e l'Outlander della Mitsubishi, la Chevrolet Volt P-HEV e la BMW i3. Per quanto riguarda il tipo di batterie utilizzate, nel caso della Tesla (modello S) sono montate circa 7000 celle Li-ione cilindriche (18650), assemblate in 16 moduli che costituiscono l'intero pacco batterie.

Per quanto riguarda le e-bike, i tre incendi avvenuti in Italia si sono verificati durante la fase di ricarica in luoghi privati e hanno poi coinvolto l'intero appartamento o garage, causando lievi intossicazioni a persone. Nell'incidente avvenuto a Newport beach, è esploso il pacco batterie di una e-bike appena parcheggiata con successivo incendio le cui fiamme hanno investito un'altra e-bike in sosta affianco.

Nel seguito sono descritti in dettaglio alcuni degli eventi incidentali analizzati.

#### 3.1 Incidenti auto elettriche

Un recente esempio di un incendio di auto elettrica, causato da una collisione, è avvenuto il 18 ottobre 2017 in Austria [2]. Una donna di 19 anni alla guida di una Tesla Model S sulla Arlberg Expressway si è schiantata contro una barriera di cemento armato ad alta velocità (Figura 4). Secondo quanto riferito dai vigili del fuoco della città di Landeck, la ragazza ha riportato ferite lievi ed è potuta uscire dall'auto prima che prendesse fuoco. L'incendio della batteria si è mostrato estremamente pericoloso, ma i sistemi di protezione (firewall) di Tesla all'interno della batteria hanno funzionato correttamente. Il conducente ha avuto il tempo di evacuare l'auto e i vigili del fuoco di bloccare l'incendio prima che si diffondesse all'intero pacco batteria, montato alla base del telaio dalla parte anteriore a quella posteriore. Il fuoco ha comunque distrutto la maggior parte dell'auto. Per spegnere l'incendio sono intervenuti 35 uomini e 5 automezzi dei

vigili del fuoco che hanno usato acqua come mezzo estinguente. Anche la casa costruttrice Tesla consiglia di utilizzare grandi quantità di acqua per estinguere un incendio della batteria nei suoi veicoli.



**Figura 4. 18/10/2017 Austria – Incendio Tesla Model S**

Una criticità dei veicoli elettrici è la fase di ricarica e nell'analisi condotta sono stati riscontrati due casi di incendio di auto mentre erano collegate alla rete elettrica e uno al termine della completa ricarica. Un episodio è accaduto, il giorno di capodanno del 2016, alla Tesla Model S in una stazione Supercharger a Brokelandsheia, Norvegia (Figura 5). L'indagine ha dimostrato che l'incendio ha avuto origine nella scatola di distribuzione elettrica contenuta nella Model S [3].



**Figura 5. 01/01/2016 - Incendio Tesla durante la ricarica veloce**

Nonostante il proprietario della Tesla abbia avuto sufficiente tempo per correre verso la macchina, staccare la spina e rimuovere tutti i beni personali dall'interno dell'abitacolo, il veicolo è andato completamente distrutto. Le fiamme che hanno consumato il veicolo sono state alimentate in gran parte dalla plastica e da altri materiali utilizzati per gli interni, mentre il pacco batterie non "è esploso". Non ci sono state persone coinvolte nell'accaduto.

Tesla Motors ha rilasciato una dichiarazione che il fuoco è stato "un incidente isolato" e ora sta aggiornando un software patch per aggiungere ulteriori stati di sicurezza e fermare la carica se i dati mostrano i sintomi di un corto circuito.

Per quanto riguarda il caso di incendi durante la marcia del veicolo, un esempio è quello di una BMW i3, affidata in comodato d'uso alla Polizia di Stato, ha preso fuoco durante il transito della via Salaria nei pressi di Roma (Figura 6). Questo episodio è avvenuto nel luglio 2016, quando un agente ha dovuto fermare la vettura a bordo strada perché si era accorto di un principio di incendio innescato nella parte posteriore del

veicolo. La BMW i3 coinvolta è priva del motore ausiliario a benzina e opera soltanto grazie alle batterie, che alimentano un motore da 170 CV. Nessuna persona è rimasta ferita ma l'auto ha avuto danni ingenti [4].



Figura 6. 13/07/2016 - Incendio BMW i3 durante la marcia del veicolo

Un incendio di dimensioni rilevanti si è verificato in un'area di sosta dei veicoli. E' quanto accaduto nell'ottobre 2012, quando l'uragano Sandy ha causato l'alluvione di un porto a Newark, nel New Jersey; le inondazioni sono durate diverse ore e, in seguito, 16 nuove Fisker Karma (veicolo ibrido plug-in) sono state distrutte da un incendio (Figura 7). Le macchine erano completamente coperte con acqua salata durante l'alluvione, una situazione estrema in cui è probabile che si sia verificato un cortocircuito elettrico. L'uragano ha danneggiato irreparabilmente anche 300 modelli appena giunti dall'Europa. Oltre alle Fisker Karma, anche 3 Toyota Prius, delle 4000 Toyota presenti nello stesso parcheggio hanno avuto problemi durante la stessa tempesta; delle tre, la plug-in è andata a fuoco, mentre le altre ibride hanno solo avuto problemi di forte surriscaldamento [5].



Figura 7. 29/10/2012 - Incendio di 16 auto dopo l'uragano Sandy

### 3.2 Incidenti e-bike

Nell'agosto del 2017 a Bolzano si è incendiata una e-bike durante la ricarica in un appartamento, l'incendio sviluppatosi nell'atrio ha invaso di fumo tutto l'appartamento. Due persone anziane non sono riuscite a

fuggire e hanno riportato una lieve intossicazione, mentre l'appartamento è stato danneggiato. La causa dell'incendio è stata attribuita ad un difetto del carica batterie [6].

Nel mese di marzo, invece, a Newport Beach (California) un uomo e una donna avevano parcheggiato le loro biciclette elettriche appena acquistate sulla spiaggia e stavano seduti accanto a loro quando la batteria di una delle biciclette è esplosa, sparando proiettili a dozzine di metri e successivamente si è incendiata coinvolgendo anche l'altra e-bike (Figura 8). La coppia non è stata ferita, ma delle due biciclette una è stata completamente distrutta l'altra gravemente danneggiata [7].



**Figura 8. 19/03/2017 Incendio di una e-bike a Newport Beach**

## 4 Caratterizzazione dell'evoluzione di un incendio di celle e batterie Li-ione

Al fine di poter definire le distanze di sicurezza in caso di incendio di un veicolo elettrico è necessario conoscere l'evoluzione dell'incendio.

Dallo studio della letteratura scientifica è emerso che non sono disponibili dati su larga scala di celle e pacchi batteria Li-ione. Gli unici dati pubblicati di un incendio di un veicolo elettrico, a confronto con quello di un analogo veicolo a combustione interna, non danno alcuna indicazione sul tipo di autoveicolo né sul tipo di celle Li-ione con cui è equipaggiato [8]. D'altra parte i risultati sperimentali su celle singole o su pacchi di celle mostrano, come verrà meglio descritto nel seguito, che le caratteristiche di un incendio sono significativamente influenzate dalla composizione chimica della cella e dalla sua geometria (celle cilindriche, prismatiche e a bustina), dal stato di carica della cella, dal numero di celle coinvolte nell'incendio e dalla loro disposizione geometrica.

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 [9] e ASTM [10].

Il principio di misura è basato sull'osservazione empirica che la potenza termica rilasciata durante la combustione di un materiale è direttamente proporzionale alla portata di ossigeno consumato, come illustrato in figura 9.

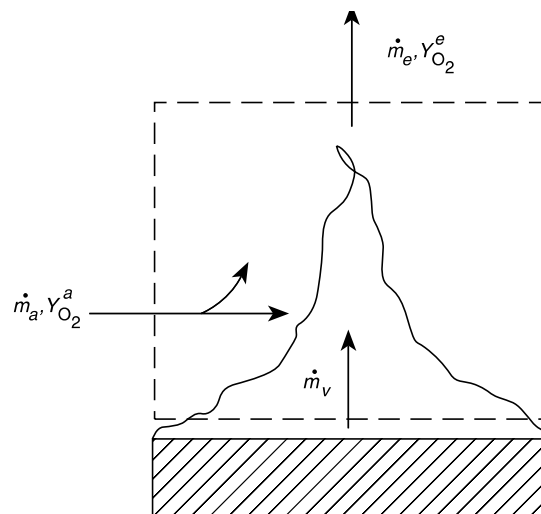


Figure 3-2.8. Gas-phase oxygen balance.

where

$E$  = heat release per mass unit of oxygen consumed  
( $\approx 13.1 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ )

$Y_{\text{O}_2}^a$  = mass fraction of oxygen in the combustion air  
( $0.232 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  in dry air)

$Y_{\text{O}_2}^e$  = mass fraction of oxygen in the combustion products  
( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )

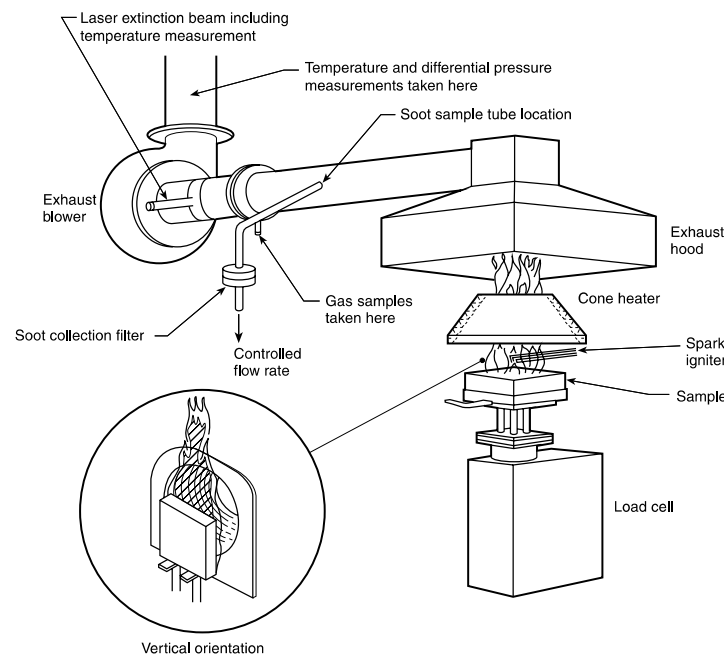
**Figura 9. Bilancio di ossigeno nella combustione di un materiale solido**

L'apparecchiatura è sostanzialmente costituita da un supporto porta-campione sostenuto da una bilancia e da un sistema di accensione realizzato con una resistenza radiante conica ed uno scintillatore elettrico. Il provino, di dimensioni 100x100 mm<sup>2</sup>, è sottoposto all'azione del cono radiante che impone sulla sua superficie una potenza termica prestabilita, fino a valori di 100kW/m<sup>2</sup>, rappresentativi dell'azione termica prodotta nella fase iniziale dell'incendio. Lo scintillatore elettrico agisce sopra la superficie del provino ed accende i gas di pirolisi liberati durante l'esposizione termica. I gas e fumi prodotti dall'incendio sono convogliati lungo un condotto di estrazione che alloggia le sonde per il prelievo dei campioni di gas e gli strumenti di misura.

I parametri che possono essere determinati dalla misura oltre alla velocità di rilascio del calore sono:

- la perdita di peso del campione durante la combustione;
- il tempo di accensione del campione;
- l'opacità dei fumi sviluppati nel processo di combustione;
- la concentrazione di CO, CO<sub>2</sub>, e di altri gas tossici.

Per cui è possibile ottenere anche informazioni sulla tossicità dei prodotti di combustione



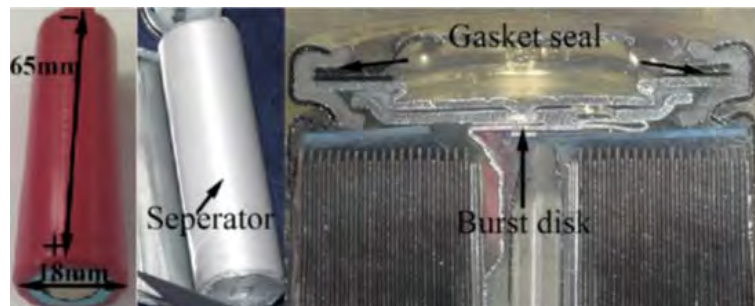
**Figura 10. Schema di un calorimetro a cono**

Nel seguito sono riportati i risultati di alcuni recenti studi pubblicati su riviste scientifiche internazionali volti ad individuare il comportamento durante la combustione di celle Li-ione e di pacchi celle di diversa composizione chimica e geometria e in ultimo di un veicolo elettrico.

#### 4.1 Effetto dello stato di carica sull'HRR di una cella Li-ione

Nel lavoro di Fu et al. [11] sono state utilizzate celle Li-ione 18650 della Sanyo. Una cella agli ioni di litio 18650 è costituita principalmente da un elettrodo positivo (catodo), un elettrodo negativo (anodo), da un separatore ed un elettrolita. Il catodo nel caso in esame è formato da ossido di cobalto e di litio e l'anodo è di grafite. Gli ioni di litio vengono estratti dall'anodo e fluiscono nel catodo durante la fase di scarica. Gli ioni invertano la direzione durante la fase di carica. Il tipo di celle utilizzato ha un diametro di 18 mm e una lunghezza di 65 mm (Figura 11). Il separatore, che si trova tra il catodo e l'anodo in modo da separare gli

elettrodi positivi da quelli negativi è costituito da un foglio molto sottile di plastica microforata che permette il flusso di ioni attraverso. Infine l'elettrolita è una soluzione composta da solvente organico e sale inorganico. La cella è realizzata avvolgendo lunghe strisce di elettrodi a formare un rotolo che viene inserito in custodie rigide sigillate con guarnizioni. La custodia di una cella rigida è in genere in alluminio, mentre un disco di rottura è usato come sistema di sicurezza.



**Figura 11. Struttura della batteria litio-ione**

In particolare, nel lavoro in esame è stato analizzato l'effetto dello stato di carica (State of charge, SOC) della cella sul comportamento alla combustione, sottoponendo alla prova 5 celle Li-ione 18650 della Sanyo con diversi stati di carica, in un calorimetro a cono con un flusso di calore incidente di  $50 \text{ kW/m}^2$ . Altre due celle completamente cariche sono state analizzate con flusso di calore incidente di 30 e  $60 \text{ kW/m}^2$  (Tabella 3).

**Tabella 3. Tempo di ignizione ed esplosione delle batterie analizzate**

| Incident heat flux ( $\text{kW m}^{-2}$ ) | SOC (%) | Time to ignition (s) | Time to explosion (s) |
|-------------------------------------------|---------|----------------------|-----------------------|
| 50                                        | 100     | 40                   | 81                    |
| 50                                        | 70      | 83                   | 156                   |
| 50                                        | 65      | 131                  | 200                   |
| 50                                        | 50      | 49                   | Not explode           |
| 50                                        | 0       | 72                   | Not explode           |
| 30                                        | 100     | 157                  | 182                   |
| 60                                        | 100     | 17                   | 55                    |

Nella misura della velocità di rilascio del calore (HRR), gli autori hanno valutato che sebbene siano presenti piccole quantità di ossigeno rilasciato dalla cella durante la combustione, l'energia ottenuta consumando l'ossigeno rilasciato dalla cella agli ioni di litio, rappresenta meno del 13% dell'energia totale rilasciata dalla cella completamente carica.

Lo stato di carica di una cella Li-ione è uno dei fattori critici per le reazioni chimiche e dovrebbe essere inferiore al 50% per ridurre al minimo il degrado e l'invecchiamento durante il trasporto. I risultati sperimentali mostrano che il picco HRR e la concentrazione di gas tossici aumentano all'aumentare dello stato di carica, mentre il tempo di accensione e il tempo di esplosione diminuiscono. La figura 12 mostra i profili HRR di celle con SOC da 0 a 100%, in presenza di un flusso di calore incidente di  $50 \text{ kW/m}^2$ . Si osserva per ciascuna cella la presenza di due picchi di HRR: il primo è da attribuirsi alla combustione dei prodotti gassosi che fuoriescono dal disco di rottura a seguito dell'aumento della pressione interna della cella, il secondo alla combustione dell'intero contenuto della cella a seguito della rottura della cella. Dal confronto, i profili di HRR di celle con 50 e 0% di SOC presentano valori massimi di HRR dell'ordine di 1 kW che crescono al crescere di SOC al di sopra del 50% raggiungendo i 7 kW per SOC del 100%. Inoltre i risultati mostrano che la cella completamente carica presenta la temperatura superficiale più alta ( $797^\circ\text{C}$ ), il valore massimo di HRR di picco di 6,8 kW, il tempo più breve all'accensione di 40 s, il minor tempo di esplosione di

81 s e le più alte rese di CO e CO<sub>2</sub>. Da cui ne consegue, che le celle Li-ione completamente cariche sono più pericolose rispetto a quelle a più basso stato di carica.

Si può, quindi, concludere che i rischi di incendio della cella Li-ione aumentano con l'aumentare del SOC.

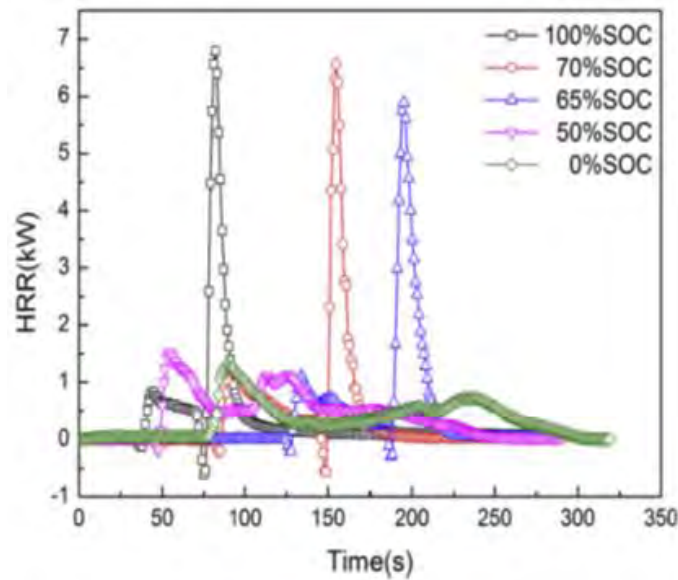


Figura 12. Profili HRR di celle a diversi stati di carica con  $q=50 \text{ kW/m}^2$

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

Per quanto riguarda l'effetto del flusso di calore incidente, i risultati delle prove su celle completamente cariche a tre diversi valori di flusso di calore incidente mostrano che il picco di HRR aumenta da 6.2 a 9.1 kW e la temperatura massima della superficie aumenta da 662 a 934°C, quando il flusso di calore incidente aumenta da 30 a 60 kW/m<sup>2</sup> (Figura 13).

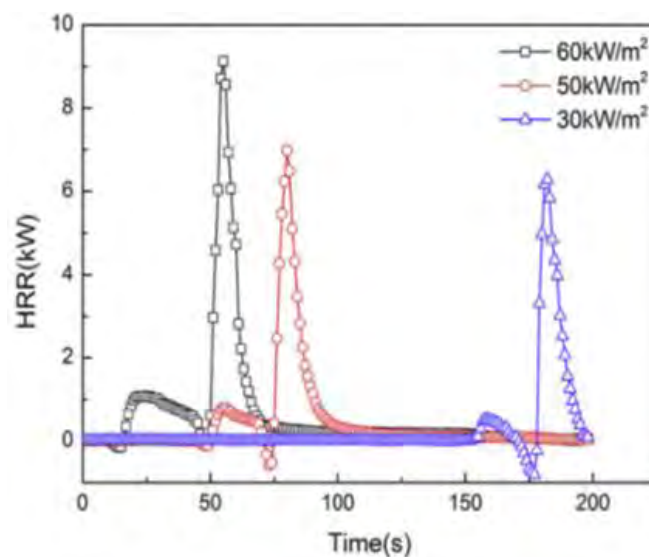


Figura 13. HRR di celle completamente cariche con diversi flussi di calore incidente

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

#### 4.2 Effetto dello stato di carica sull'HRR di un pacco di celle Li-ione

Larsson et al. [12] hanno indagato i problemi di sicurezza relativi all'uso di pacchi batterie agli ioni litio in veicoli elettrici mediante test di abuso su celle dotate di dispositivi di sicurezza. Oltre ad abuso elettrico (sovraccarico, corto circuito), le celle sono state sottoposte a test di abuso termici, mediante esposizione alla fiamma diretta di un bruciatore di propano, nell'apparato sperimentale riportato in figura 14, e riscaldamento esterno in un forno.

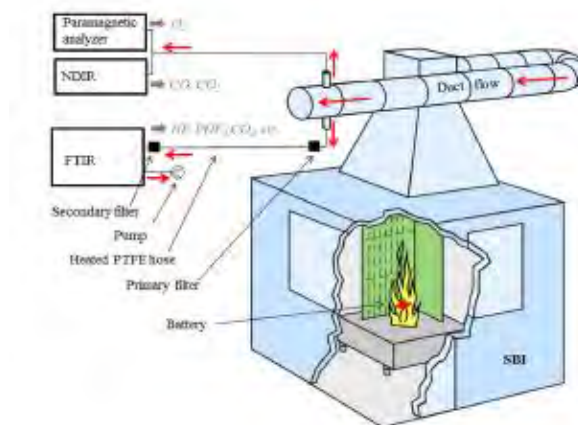


Figura 14. Apparato sperimentale per i test di abuso termico.

Le celle analizzate differiscono per composizione chimica e geometria (celle cilindriche, prismatiche e a bustina) come mostrato in Figura 15 e in Tabella 4 dove accanto alle caratteristiche delle celle riportati i test di abuso a cui sono state sottoposte.

Tabella 4. Tipi di celle analizzate

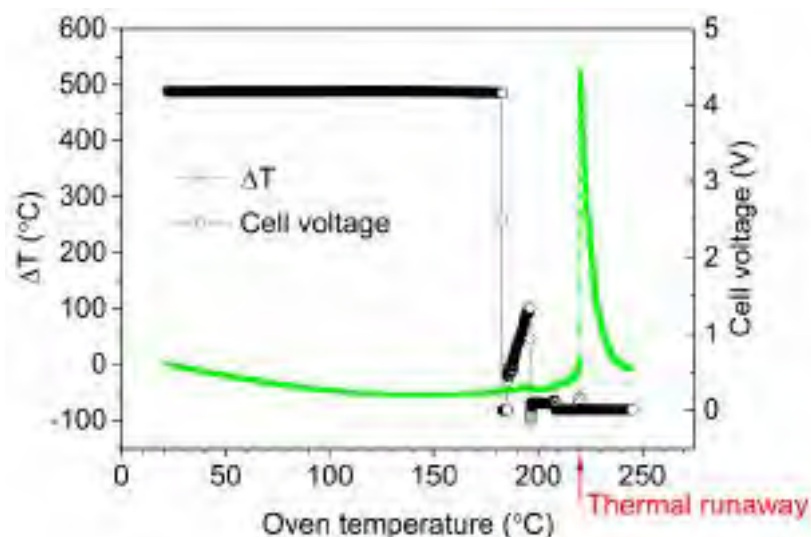
| Cell                 | Nominal Cell Capacity (Ah) | Nominal Cell Voltage (V) | Cathode/Anode       | Cell Packaging | Test Type Presented in This Paper | Initial SOC (%) |
|----------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------|
| EG ePLB-F007A        | 7                          | 3.2                      | LFP/carbon          | Pouch          | Propane fire, overcharge          | 0-100           |
| Lifetech X-1P        | 8                          | 3.3                      | LFP/carbon          | Cylindrical    | Propane fire                      | 100             |
| European Battery     | 45                         | 3.2                      | LFP/carbon          | Pouch          | Short circuit, overcharge         | 100             |
| Samsung ICR18650-24F | 2.4                        | 3.6                      | Cobalt based/carbon | Cylindrical    | External heating (oven)           | 100             |
| EVE 17568270         | 10                         | 3.2                      | LFP/carbon          | Pouch          | Overcharge                        | 100             |
| GBS LJMP40Ah         | 40                         | 3.2                      | LJMP/carbon         | Prismatic      | Overcharge                        | 100             |



Figura 15. Foto delle celle analizzate.

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

I test di riscaldamento esterno sono stati condotti su una cella commerciale 18650 prodotta dalla Samsung. La cella è stata fissata a un mattone e posta all'interno di un forno termostato, riscaldato per circa un'ora fino alla temperatura alla quale si è osservata l'innesco di reazioni di runaway. La figura 16 mostra la tensione della cella e la differenza di temperatura,  $\Delta T$ , misurata tra la superficie della cella e l'aria del forno, in funzione della temperatura del forno.



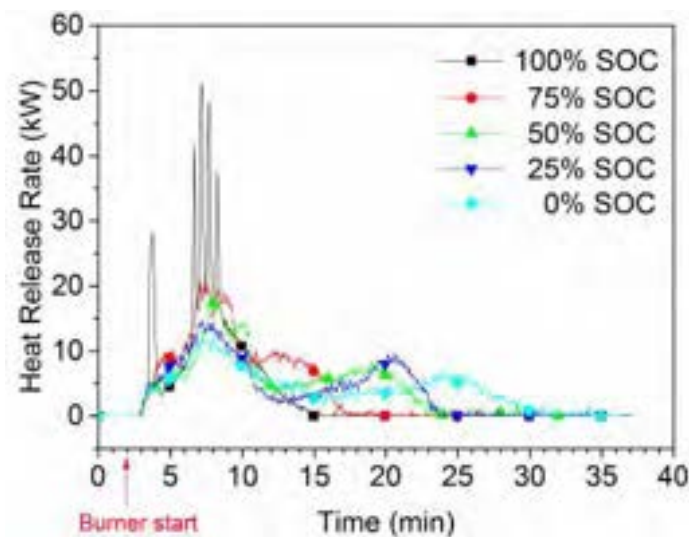
**Figura 16. Test di riscaldamento esterno di una cella 18650.**

Quando la differenza di temperatura raggiunge circa 220 °C avviene l'innesco di reazioni di runaway, dopodiché la temperatura della superficie della cella aumenta fino a circa 800°C ( $\Delta T$  superiore a 500°C), con una velocità massima di circa 5000 °C/min. L'analisi delle registrazioni video ha mostrato in corrispondenza del runaway un'onda di pressione (che ha scosso la videocamera) e l'accensione istantanea della cella. La durata dell'incendio è stata di circa 1 minuto.

In figura 17 sono invece riportati gli andamenti di HRR in funzione del tempo misurati nell'apparato sperimentale con bruciatore di propano su blocchi di celle (composti da 5 celle EiG ognuno) a vari stati di carica.

L'HRR risulta direttamente proporzionale al SOC: per SOC del 100%, sono stati osservati rapidi rilasci di calore ed esplosioni, uno per cella, mentre per stati di carica inferiori tali esplosioni non avvengono. Il rilascio totale di calore (THR) invece non ha una forte dipendenza dal SOC. Il valore THR è approssimativamente pari a 8 MJ per un blocco di cinque celle, corrispondente a un calore di combustione di 6.5 MJ/kg, per una massa totale delle celle di circa 1300 g.

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



**Figura 17. HRR di 5 celle EIG misurato usando un bruciatore di propano**

In uno dei test condotti sulle celle cilindriche Lifetech, inoltre, sono apparsi evidenti indicazioni che le celle possono anche causare la formazione di “proiettili”. Anche se le celle erano dotate di una valvola di sicurezza, questo non ha impedito l'esplosione di una delle cinque celle cilindriche Lifetech come mostrato nella Figura 13.



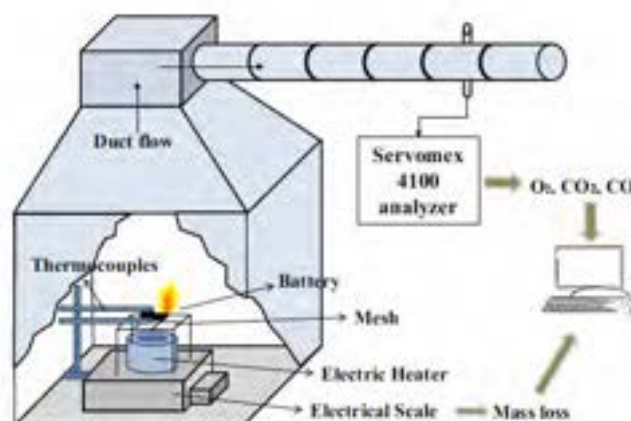
**Figura 18. Cella Lifetech esplosa nella scatola di protezione dopo la prova di incendio con bruciatore di propano con SOC=100%: a) visto dal lato della scatola; e (b) primo piano del fondo della scatola.**

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

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

#### 4.3 Effetto della composizione chimica della cella sull'HRR e la produzione di HF

Chen et al. [13] hanno analizzato il comportamento alla combustione di due batterie commerciali 18650 agli ioni di litio ( $\text{LiCoO}_2$  e  $\text{LiFePO}_4$ ) a differenti stato di carica utilizzato un calorimetro, in cui il campione è riscaldato mediante una resistenza elettrica (Figura 19).



**Figura 19. Apparato sperimentale per i test di combustione.**

Le prove sperimentali hanno permesso di misurare la velocità di rilascio del calore (HRR), la temperatura superficiale della cella, i tempi a cui si raggiungono i valori massimi di HRR nelle due diverse fasi di rilascio di gas e di combustione dei gas accompagnate dallo sviluppo di calore, osservate durante i test. Sono state analizzate 5 celle LiCoO<sub>2</sub> con SOC% pari a 0, 25, 50, 75 e 100 e 3 celle LiFePO<sub>4</sub> con SOC pari a 0, 50 e 100%. I risultati riportati in tabella 3 mostrano come il tempo a cui avviene il primo rilascio di calore delle batterie LiCoO<sub>2</sub> è inversamente proporzionale a SOC. A parità dello stato di carica, le batterie LiFePO<sub>4</sub> presentano il primo picco ad un tempo maggiore rispetto alle LiCoO<sub>2</sub>. Anche il tempo che intercorre tra due picchi diminuisce all'aumentare di SOC.

**Tabella 5. Distribuzione dei tempi di rilascio delle ceel Li-ione**

| Battery     | SOC/% | First ejection time/s | Time gap between first and second ejection/s |       |       |
|-------------|-------|-----------------------|----------------------------------------------|-------|-------|
|             |       |                       | No. 1                                        | No. 2 | No. 3 |
| Li-Co 18650 | 0     | 364-400               | No                                           | No    | No    |
|             | 25    | 342-380               | 88                                           | 94    | 96    |
|             | 50    | 330-360               | 81                                           | 77    | 77    |
|             | 75    | 327-353               | 68                                           | 72    | 64    |
|             | 100   | 310-325               | 50                                           | 44    | 41    |
| Li-Fe 18650 | 0     | 382-408               | No                                           | No    | No    |
|             | 50    | 400-450               | 88                                           | 79    | 80    |
|             | 100   | 361-401               | 78                                           | 76    | 80    |

Per quanto riguarda la temperatura superficiale le batterie con un maggiore stato di carica hanno un incremento della temperatura molto più rapido, come mostrato in figura 20, da cui inoltre risulta che il riscaldamento superficiale è più veloce nelle batterie Li-Co rispetto alle Li-Fe.

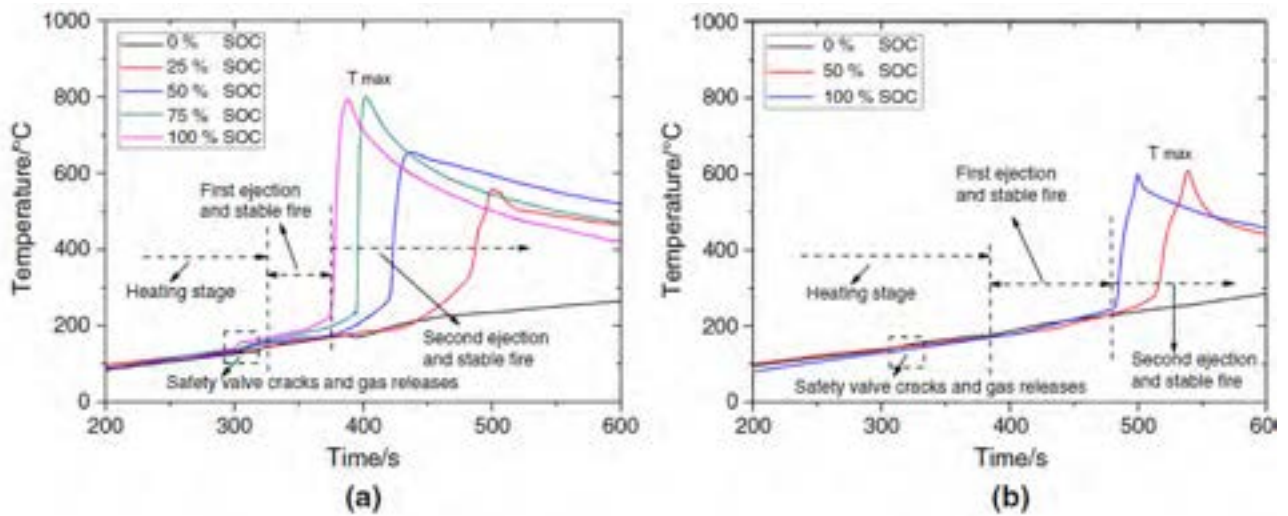


Figura 20. Andamento della temperatura superficiale: a) Li-Co 18650, b) Li-Fe 18650

I risultati in termini di calore totale rilasciato dalle celle sono mostrati nella Tabella 6 insieme con i valori di picco di HRR. Per le batterie Li-Fe, è possibile osservare che i valori di picco HRR crescono all'aumentare dello stato di carica così come il calore di combustione totale della cella (Figura 21). Se ne deduce che la cella Li-Fe 18650 completamente carica può generare un incendio più severo rispetto a celle con stati di carica inferiore in quanto ad essa corrisponde il massimo valore di HRR e calore di combustione, mentre la batteria completamente scarica è il caso più sicuro con HRR più basso (Figura 21). I risultati sperimentali sono probabilmente dovuti all'effetto sull'HRR dell'energia elettrica immagazzinata nella cella e della diversa natura dei materiali all'interno della cella, durante i processi di carica e scarica della cella.

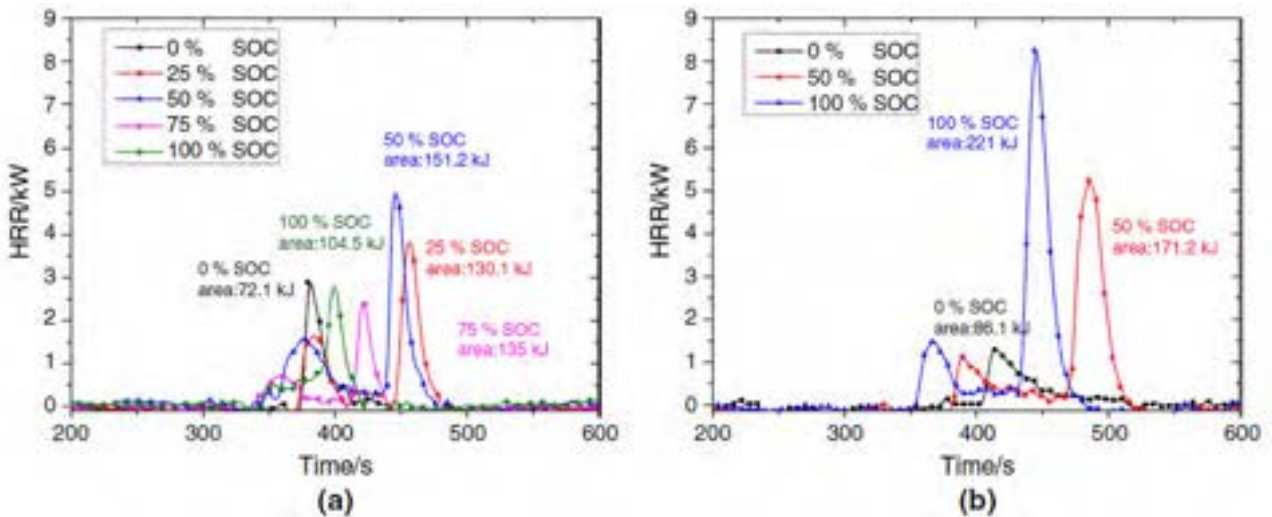


Figura 21. Andamento di HRR per diversi SOC: a) Li-Co 18650, b) Li-Fe 18650

**Tabella 6. HRR and enrgia totale di combustione per celle Li-Co e Li-Fe.**

Table 5 Heat release rate and total heat data

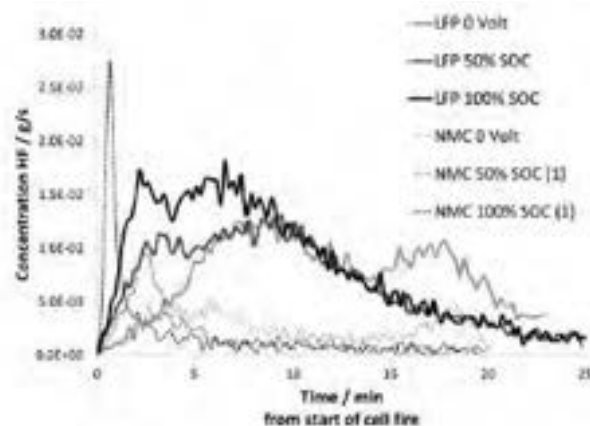
| SOC/%           | Peak one/kW | Peak two/kW | Q <sub>1</sub> /kJ | Q <sub>2</sub> /kJ | Modified rate/% |
|-----------------|-------------|-------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| (a) Li-Co 18650 |             |             |                    |                    |                 |
| 0               | 2           |             | 66.6               | 66.6               | 0               |
|                 | 2.4         |             | 70.1               | 70.1               | 0               |
|                 | 2.6         |             | 79.4               | 79.4               | 0               |
| 25              | 2.4         | 4.1         | 130.1              | 140.7              | 7.5             |
|                 | 1.8         | 3.1         | 135.3              | 145.9              | 7.3             |
|                 | 1.4         | 3.4         | 129.4              | 140                | 7.6             |
| 50              | 2.1         | 4.4         | 151.7              | 172.9              | 12.3            |
|                 | 1.4         | 4.8         | 146.6              | 167.8              | 12.6            |
|                 | 1.8         | 4.9         | 153.1              | 174.3              | 12.2            |
| 75              | 1.2         | 5.6         | 169.3              | 201.3              | 15.9            |
|                 | 1.2         | 3.1         | 135                | 167                | 19.2            |
|                 | 1.3         | 2.9         | 120.1              | 152.1              | 21              |
| 100             | 1.3         | 4.1         | 100.1              | 142.7              | 29.9            |
|                 | 1.8         | 3           | 104.5              | 147.1              | 29              |
|                 | 1.5         | 3.3         | 110                | 152.6              | 27.9            |
| (b) Li-Fe 18650 |             |             |                    |                    |                 |
| 0               | 1.3         |             | 86.1               | 86.1               | 0               |
|                 | 2           |             | 98                 | 98                 | 0               |
|                 | 1.5         |             | 90                 | 90                 | 0               |
| 50              | 1           | 5.1         | 171.2              | 174.5              | 1.9             |
|                 | 1.1         | 5.2         | 171                | 174.3              | 1.9             |
|                 | 1           | 5.1         | 168                | 171.3              | 1.9             |
| 100             | 0.7         | 6.8         | 220.7              | 227.6              | 2.9             |
|                 | 1.5         | 8.3         | 233.3              | 239.9              | 2.8             |
|                 | 1.2         | 7           | 225.6              | 232.2              | 2.8             |

Per le batterie Li-Co 18650, è stato osservato che il picco dei valori HRR aumenta all'aumentare dello stato di carica fino a valori di SOC del 50%, al di là del quale l'HRR prima diminuisce e poi rimane pressoché costante. Analogamente si osservano i valori più alti di energia totale di combustione a stati di carica del 50%. Tale comportamento è probabilmente dovuto al fatto che celle Li-Co ad alto stato di carica producono una maggiore quantità di gas e una pressione interna eccessiva a causa delle reazioni di runaway. Questo può determinare che: i) materiale non combustibile venga espulso, ii) prima della reazione di combustione, le celle ad alto SOC accumulano una grande quantità di gas combustibile e ossigeno che fa bruciare i materiali in maniera incompleta.

In conclusione, lo stato di carica di una cella influisce in maniera diversa sulla severità dell'incendio in funzione della composizione chimica della cella.

Sturk et al. [14] hanno eseguito prove di abuso termico, generando l'incendio esterno con un bruciatore, su celle agli ioni di litio commerciali e celle per applicazioni di veicoli elettrici, misurando i valori di HRR e le concentrazioni di gas tossici, questi ultimi mediante spettroscopia a infrarossi a trasformata di Fourier (FTIR). In particolare sono state analizzate le 2 più comuni tecnologie delle celle: fosfati di ferro di litio (LFP) e ossidi misti di metalli di transizione (ossido di litio- nickel manganese-cobalto, NMC) per il catodo e anodi di grafite, rispettivamente. I tipi di celle studiati sono di geometria a busta, con dimensioni fisiche simili, ma le celle NMC hanno il doppio della capacità elettrica delle cellule LFP a causa della maggiore densità energetica della chimica NMC, 7 e 14 Ah, rispettivamente. I test sono stati condotti su celle singole e su pacchi di 5 e 10 celle di ciascuna delle due tipologie.

I risultati dei test indicano che lo stato di carica (SOC) influenza l'HRR, ma anche la quantità di acido fluoridrico (HF) gassoso e tossico formatosi durante la combustione. Un numero maggiore di celle aumenta la quantità di HF formata per cella. Inoltre sono state osservate differenze significative nella risposta all'esposizione al fuoco tra le celle NMC e LFP. Le celle LFP generano molto più HF per cella, ma la reattività complessiva delle celle NMC è più alta. Tuttavia, l'energia totale rilasciata da entrambe le batterie durante la combustione risulta indipendente da SOC, il che indica che il contenuto di energia elettrica della cella contribuisce all'energia di attivazione del processo di rilascio termico, mentre l'energia chimica immagazzinata nei materiali è la fonte principale di energia termica nella cella.



**Fig. 7.** Emission of HF from LFP and NMC cell bundles including 5 cells as a function of SOC. The cells are physically but not electrically connected and held together with wires. (1) indicates that the data from the first of 2 duplicate samples are used in the comparison.

**Figura 22.** Emissioni di HF per pacchi di 5 celle LFP e NMC in funzione dello stato di carica.

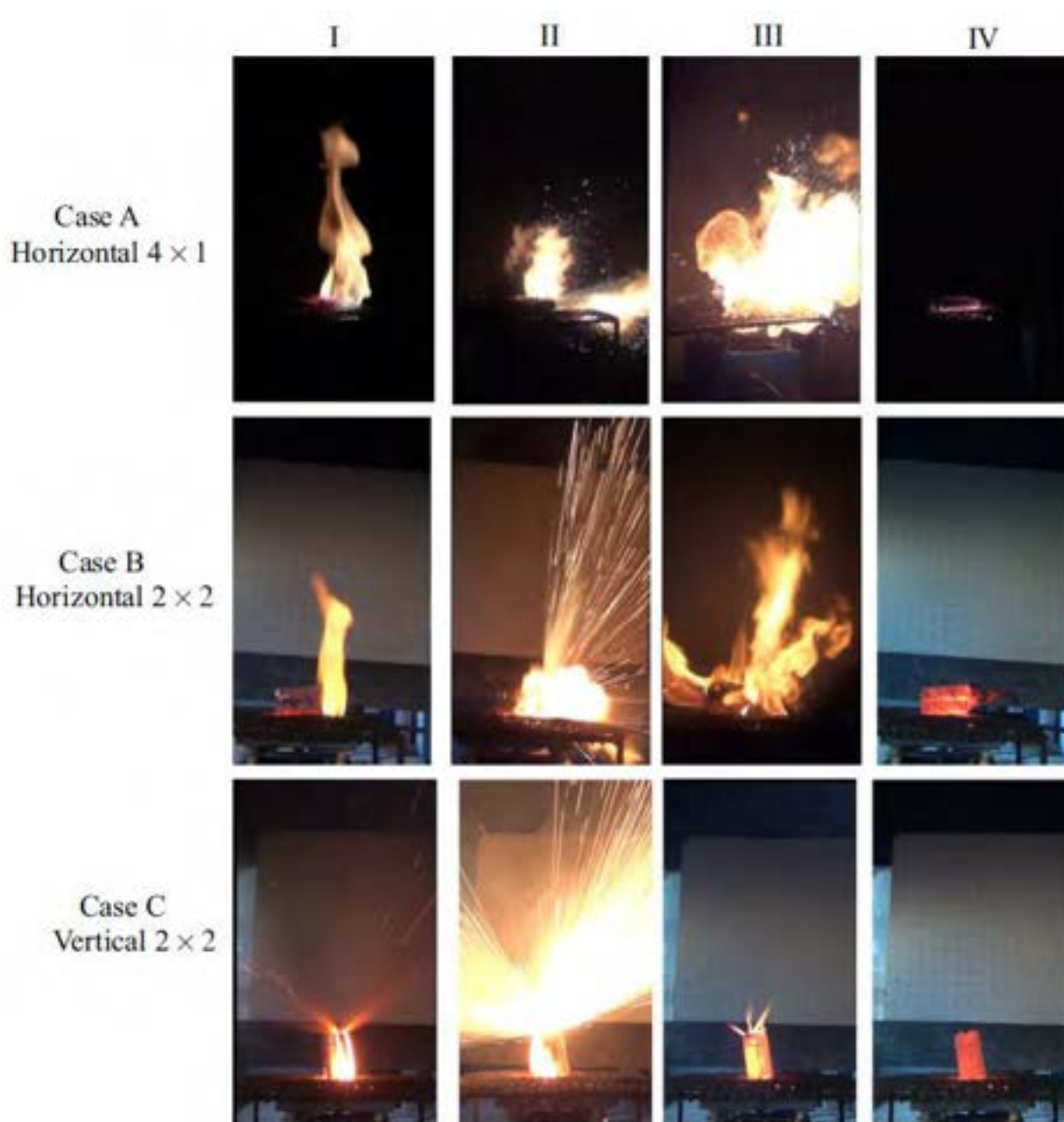
#### 4.4 Effetto sull'HRR della disposizione geometrica delle celle

Chen et al. [15] hanno analizzato il comportamento durante la combustione di un blocco di 4 celle aventi le seguenti disposizioni: (caso A) orizzontale 4 x 1, (caso B) orizzontale 2 x 2 e (caso C) verticale 2 x 2.

Le celle utilizzate sono celle SAMSUNG 18650 a base di ossido di litio e cobalto ( $\text{LiCoO}_2$ ), con una capacità nominale di 2.6 Ah e lo stato di carica pari al 100%.

Il test è stato eseguito in una camera di prova con le seguenti dimensioni: 1.2 x 1.2 x 1.2 m, il campione della batteria è stato posizionato sulla parte superiore di una rete di supporto con dimensione della maglia di 10 x 10 mm. Per il riscaldamento è stata utilizzata una resistenza elettrica con una potenza radiante di 2 kW, posizionata sotto le batterie ad una distanza verticale di 10 mm.

I processi di combustione delle quattro celle agli ioni di litio con diverse disposizioni sono mostrati in Figura 22. In generale, il comportamento al fuoco delle celle può essere riassunto nelle seguenti fasi: (I) accensione e combustione stabile, (II) espulsione o esplosione, (III) combustione intensa, (IV) indebolimento ed estinzione. Nel caso A e nel caso C, le celle si accendono quasi allo stesso tempo, nel caso B, le celle superiori sono state innescate dalle batterie sottostanti. È inoltre possibile osservare che le celle agli ioni di litio mostrano diversi comportamenti al fuoco al variare della disposizione. Ad esempio, nella fase II, il caso C presenta una fiamma molto più violenta rispetto agli altri casi; mentre nella fase III la fiamma del caso C è molto più piccola degli altri casi perché la maggior parte dei materiali sono stati espulsi nella fase precedente.



**Figura 23. Processo di combustione di 4 celle nelle diverse disposizioni**

La figura 17 mostra l'andamento dell'HRR per le 4 celle con diverse disposizioni, mentre la tabella 7 riporta il picco dell'HRR e la totale energia rilasciata dall'incendio.

I valori di picco dell'HRR delle disposte in orizzontale 4 x 1, orizzontale 2 x 2 e verticale 2 x 2 sono rispettivamente 13.8, 10 e 3.5 kW. Allo stesso modo, il calore rilasciato dagli incendi delle batterie con disposizioni orizzontale 4 x 1, orizzontale 2 x 2 e verticale 2 x 2 sono rispettivamente 320.2, 166.9 e 95.2 kJ. L'incendio con le celle disposte in orizzontali 4 x 1 presenta la più alta potenza termica e il più alto valore del calore totale rilasciato. Tale comportamento può essere giustificato considerando che la principale differenza delle diverse disposizioni è la superficie di riscaldamento, in particolare, le celle nella disposizione orizzontale 4 x 1 presentano una maggiore superficie esposta alla resistenza elettrica e corrispondentemente un maggior flusso di calore dalla resistenza elettrica alle celle. Se ne deduce che le celle con una superficie maggiore, in caso di riscaldamento, determinano incendi più gravosi. La disposizione delle batterie agli ioni di litio è quindi di fondamentale importanza per poter gestire al meglio il riscaldamento all'interno del pacco batterie.

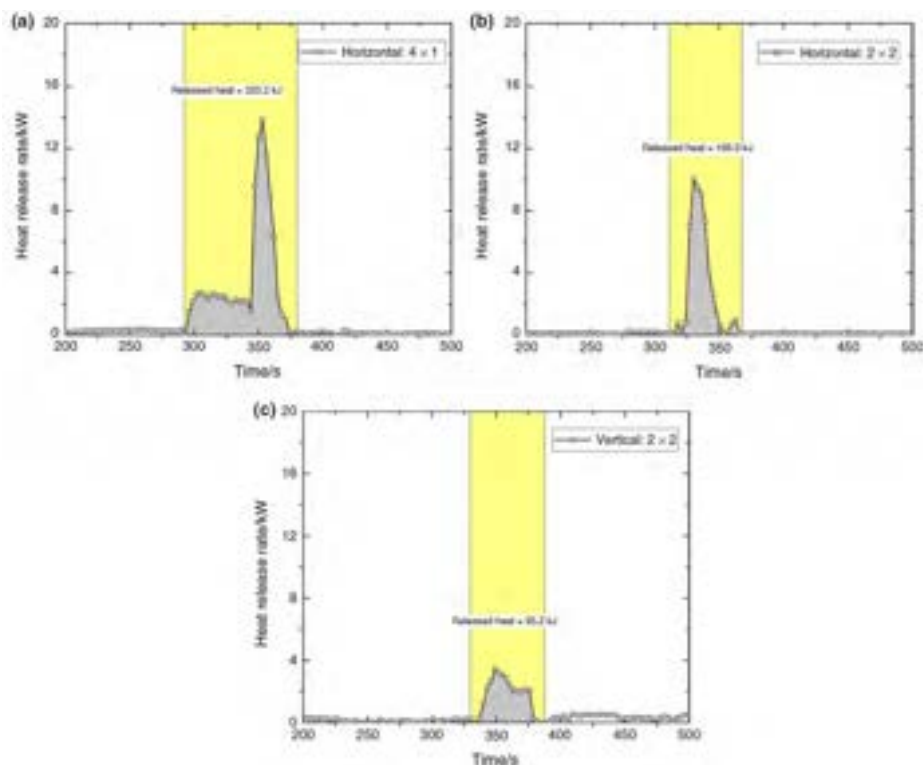


Figura 24. Curve HRR delle 4 celle nelle diverse configurazioni

Tabella 7. Dati di HRR e flusso di calore

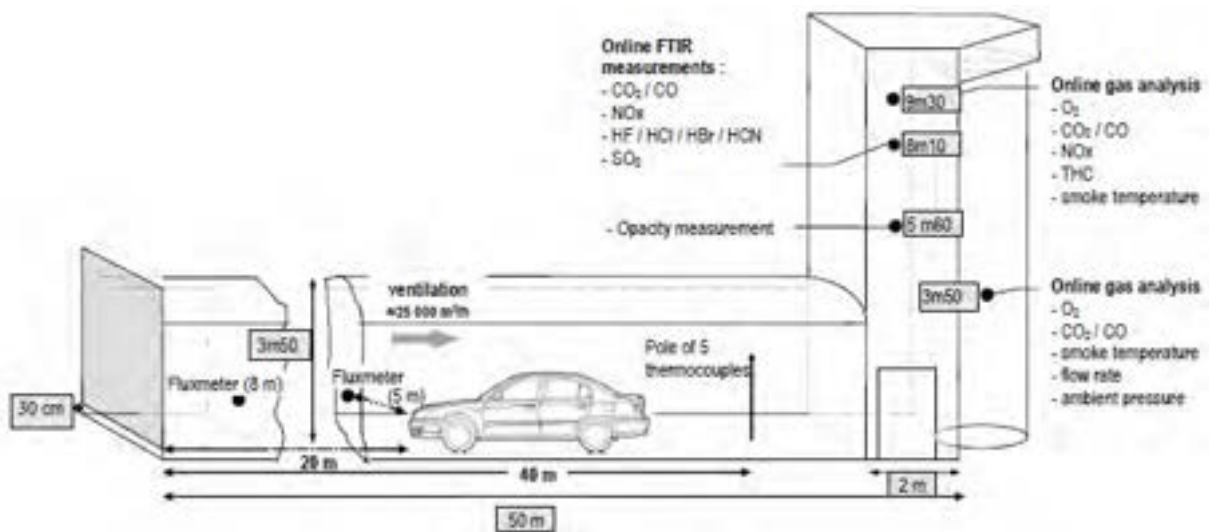
| Arrangements | Peak HRR/kW | Total heat released/kJ | Peak heat flux/kW m <sup>-2</sup> |
|--------------|-------------|------------------------|-----------------------------------|
| Case A       | 13.8        | 320.2                  | 1                                 |
| Case B       | 10          | 166.9                  | 0.6                               |
| Case C       | 3.5         | 95.2                   | 0.4                               |

#### 4.5 Confronto tra l'HRR di un veicolo elettrico e un veicolo a combustione interna

Per quanto riguarda i test di incendio su veicoli, Lecocq et al. [8] riportano i risultati dei test condotti nella galleria del fuoco dell'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) in Francia su due veicoli elettrici (EV) di produttori di automobili francesi e per confronto su un veicolo analogo con motore a combustione interna (ICE).

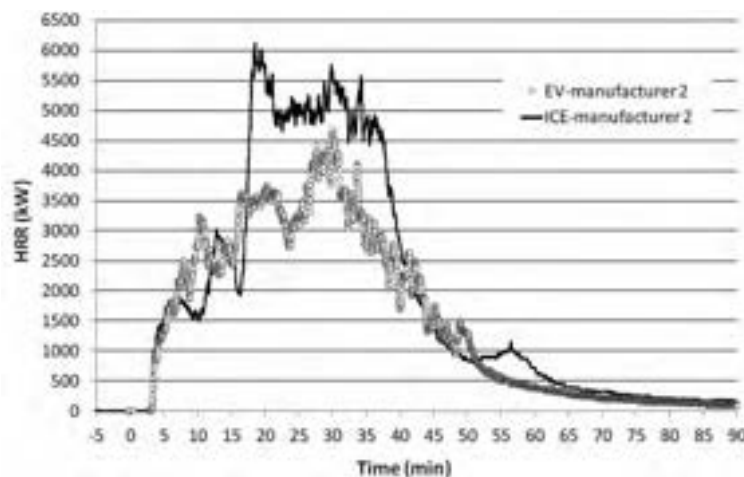
Durante i test sono stati misurati la velocità di rilascio di calore (HRR) e il calore di combustione, oltre alla composizione dei prodotti di combustione per valutare sia gli effetti termici che di tossicità dell'incendio.

I test completi sono stati eseguiti nella galleria del fuoco in presenza di ventilazione forzata con portata di aria pari 25 000m<sup>3</sup>/h, innescando con un bruciatore a propano da 6 kW all'interno dell'auto (Figura 24).



**Figura 25. Schema della galleria del fuoco per test su veicoli**

Lo sviluppo dell'incendio è apparso simile per tutti i veicoli analizzati; l'incendio si è diffuso all'interno dell'abitacolo prima propagandosi alla parte posteriore del veicolo e poi alla parte anteriore, questo tipo di propagazione può essere dovuta alla ventilazione imposta durante la prova e dal metodo di accensione utilizzato. Non è stata osservata alcuna esplosione o proiezione di frammenti della batteria durante i test sui veicoli elettrici. La perdita di peso misurata non differisce di molto per i veicoli EV e ICE. Per entrambi i produttori di automobili, la perdita di peso misurata è circa il 20% del peso iniziale. Il valore massimo dell'HRR e il calore di combustione complessivamente generato sono risultati simili per i veicoli dello stesso tipo. Il confronto dell'evoluzione del HRR nel tempo per un veicolo elettrico EV e il corrispondente a ICE è riportato in Figura 25.



**Figura 26. Confronto di HRR per un EV e analogo ICE**

Il confronto tra i risultati per i due veicoli elettrici e i rispettivi a combustione interna è riportato in Tabella 8. Il valore di HRR massimo è di 4.2-4.7 MW per i veicoli elettrici e 4.8-6.1 MW per i veicoli a combustione interna. Il picco di HRR attribuito alla combustione delle batterie avviene a circa 35 minuti dopo l'accensione. Il calore di combustione effettivo è stato calcolato pari a 29.8-30.7 MJ/kg per i veicoli elettrici e 35.9-36.4 MJ/kg per i veicoli a combustione interna.

**Tabella 8. Risultati dei test d'incendio su veicoli elettrici e a combustione interna**

| <i>Tested element</i>                                                                    | <i>EV manufacturer 1</i> | <i>ICE vehicle manufacturer 1</i> | <i>EV manufacturer 2</i> | <i>ICE vehicle manufacturer 2</i> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| <i>Test</i>                                                                              | <i>Fire</i>              | <i>Fire</i>                       | <i>Fire</i>              | <i>Fire</i>                       |
| <i>Nominal Voltage (V)</i>                                                               | 330 V <sup>a</sup>       | -                                 | 355 V <sup>a</sup>       | -                                 |
| <i>Capacity (Ah)</i>                                                                     | 50 Ah <sup>a</sup>       | -                                 | 66,6 Ah <sup>a</sup>     | -                                 |
| <i>Energy (kWh)</i>                                                                      | 16,5 kWh <sup>a</sup>    | -                                 | 23,5 kWh <sup>a</sup>    | -                                 |
| <i>Mass (kg)</i>                                                                         | 1 122 kg                 | 1 128 kg                          | 1 501 kg                 | 1 404 kg                          |
| <i>Lost mass (kg)</i>                                                                    | 212 kg                   | 192 kg                            | 278,5 kg                 | 275 kg                            |
| <i>Lost mass (%)</i>                                                                     | 19%                      | 17%                               | 18,6%                    | 19,6%                             |
| <b>Online gas analysis – total quantity of emitted gases (FTIR and online analyzers)</b> |                          |                                   |                          |                                   |
| <i>CO<sub>2</sub> (g)</i>                                                                | <b>460 400</b>           | <b>508 000</b>                    | <b>618 490</b>           | <b>722 640</b>                    |
| <i>CO<sub>2</sub> (mg/lost g)</i>                                                        | 2 172                    | 2 646                             | 2 220,8                  | 2 627,8                           |
| <i>CO (g)</i>                                                                            | <b>10 400</b>            | <b>12 040</b>                     | <b>11 700</b>            | <b>15 730</b>                     |
| <i>CO (mg/lost g)</i>                                                                    | 49                       | 63                                | 42                       | 57,2                              |
| <i>THC (g)</i>                                                                           | <b>2 430</b>             | <b>2 380</b>                      | <b>2 860</b>             | <b>2 730</b>                      |
| <i>THC (mg/lost g)</i>                                                                   | 11,5                     | 12,4                              | 10,3                     | 9,9                               |
| <i>NO (g)</i>                                                                            | <b>500</b>               | <b>679</b>                        | <b>770</b>               | <b>740</b>                        |
| <i>NO (mg/lost g)</i>                                                                    | 2,4                      | 3,5                               | 2,8                      | 2,7                               |
| <i>NO<sub>2</sub> (g)</i>                                                                | <b>198</b>               | <b>307</b>                        | <b>349</b>               | <b>410</b>                        |
| <i>NO<sub>2</sub> (mg/lost g)</i>                                                        | 0,9                      | 1,6                               | 1,3                      | 1,5                               |
| <i>HF (g)</i>                                                                            | <b>1 540</b>             | <b>621</b>                        | <b>1 470</b>             | <b>813</b>                        |
| <i>HF (mg/lost g)</i>                                                                    | 7,3                      | 3,2                               | 5,3                      | 3                                 |
| <i>HCl (g)</i>                                                                           | <b>2 060</b>             | <b>1 990</b>                      | <b>1 930</b>             | <b>2 140</b>                      |
| <i>HCl (mg/lost g)</i>                                                                   | 10                       | 10,4                              | 6,9                      | 7,8                               |
| <i>HCN (g)</i>                                                                           | <b>113</b>               | <b>167</b>                        | <b>148</b>               | <b>178</b>                        |
| <i>HCN (mg/lost g)</i>                                                                   | 0,5                      | 0,9                               | 0,5                      | 0,6                               |
| <b>Thermal effects</b>                                                                   |                          |                                   |                          |                                   |
| <i>Maximal HRR (MW)</i>                                                                  | 4,2 MW                   | 4,8 MW                            | 4,7 MW                   | 6,1 MW                            |
| <i>Heat of combustion (MJ)</i>                                                           | 6 314 MJ                 | 6 890 MJ                          | 8 540 MJ                 | 10 000 MJ                         |
| <i>Heat of combustion/unit mass loss (MJ/kg)</i>                                         | 29,8 MJ/kg               | 35,9 MJ/kg                        | 30,7 MJ/kg               | 36,4 MJ/kg                        |

<sup>a</sup> Characteristics of the battery pack of the EV.

Per quanto riguarda la tossicità dei gas prodotti dall'incendio, è stata riscontrata la produzione di significative quantità di acido fluoridrico (HF) sia durante l'incendio del veicolo elettrico che di quello a combustione interna, ma in quantità maggiore per il veicolo elettrico a seguito della combustione del pacco batteria. Oltre a HF durante l'incendio di entrambi i veicoli sono prodotte significative quantità anche di CO e HCl, quest'ultimo dovuto alla presenza di polimeri clorurati

È da sottolineare che i risultati di questi test sono da considerarsi validi solo per i quattro veicoli testati di due produttori di automobili. Infatti, numerosi parametri come 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 sul comportamento complessivo di un EV esposto a un fuoco esterno. Pertanto, questi risultati non possono essere estrapolati ad altri veicoli, a altri produttori di autoveicoli, altri scenari di fuoco potenziali o altre tecnologie della batteria. Inoltre questi test hanno studiato solo il comportamento del veicolo in caso di un incendio innescato nell'abitacolo. Nel caso di un incendio generato nella batteria da un corto circuito interno o da un sovraccarico, la dinamica dei fenomeni osservati sarebbe certamente diversa.

## 5 Conclusioni

Nel presente lavoro è stata svolto uno studio preliminare alla definizione delle distanze di sicurezza per una stazione di ricarica al fine di assicurare la sicurezza delle persone e degli impianti o edifici limitrofi.

Nel lavoro è stata condotta un'analisi dei sistemi di ricarica, delle stazioni di ricarica e dei principali componenti di un veicolo elettrico sulla base delle norme tecniche e degli standard nazionali e internazionali. Attualmente a livello internazionale sono definiti 3 tipi di connessione per la carica e 4 modi di carica. I 4 modi di ricarica sono differenziati in funzione del regime (AC, CC), della corrente massima, del tipo di connettore, presa/spina, delle caratteristiche dell'eventuale comunicazione/controllo tra il veicolo e la stazione di carica. Di questi in Italia sono ammessi preferenzialmente il modo 1 in luogo privato e il modo 3 per luoghi aperto al pubblico, con diverse implicazioni dal punto di vista della sicurezza.

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.

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.

Per quanto riguarda l'incendio di un veicolo elettrico si può concludere che 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.

## 6 Riferimenti bibliografici

1. CEI “La ricarica dei veicoli elettrici: interoperabilità e sicurezza”, CEI magazine (Aprile 2017).
2. <https://electrek.co/2017/10/18/tesla-model-s-fire-high-speed-crash-video-impressive-operation/>
3. <http://www.electricmotornews.com/veicoli-ecologici/automobili/tesla-automobili/corto-circuito-in-auto-incendia-una-tesla-model-s-in-norvegia>
4. <https://www.alvolante.it/news/bmw-i3-della-polizia-va-fuoco-347618>
5. <http://www.greenstart.it/lo-strano-caso-delle-fisker-karma-incendiate-durante-luragano-sandy-499>
6. [http://www.provincia.bz.it/servizioantincendi/service/interventi.asp?einsaetze\\_action=4&einsaetze\\_article\\_id=595424](http://www.provincia.bz.it/servizioantincendi/service/interventi.asp?einsaetze_action=4&einsaetze_article_id=595424)
7. <http://www.ocregister.com/2017/03/21/electric-bike-catches-fire-in-newport-beach/>
8. A. Lecocq, M. Bertana, B. Truchot, G. Marlair, “Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle”, 2 International Conference on Fires in vehicles-FIVE 2012, Sep 2012 Chicago, SP Technical Research Institute of Sweden, 2012, pp.183-194.
9. [ISO 5660-1:2015\(E\) Reaction-to-fire tests — Heat release, smoke production and mass loss rate — Part 1: Heat release rate \(cone calorimeter method\) and smoke production rate \(dynamic measurement\), ISO, Geneva, \(2015\)](#)
10. [ASTM E1354-17, Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter, ASTM International, West Conshohocken, PA, \(2017\).](#)
11. Y. Fu, S. Lu, K. Liu, X. Cheng, H. Zhang, "An experimental study on burning behaviors of 18650 lithium ion batteries using a cone calorimeter", Journal of Power Sources, 273 (2015), 216-222
12. F. Larsson, P. Andersson, B. Mellander, "Lithium-Ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the Basis of Experimental Abuse Tests", Batteries, 2:9 (2016), 1-13.
13. M. Chen, D. Zhou, X. Chen, W. Zhang, J. Liu, R. Yuen, J. Wang, "Investigation on the thermal hazards of 18650 lithium ion batteries by fire calorimeter", J Therm Anal Calorim 122 (2015), 755–763.
14. D. Sturk, L. Hoffmann, A. Ahlberg Tidblad, “Fire Tests on E-vehicle Battery Cells and Packs”, Traffic Injury Prevention, 16: 1 (2015), S159-S164.
15. M. Chen, R. Yuen, J. Wang " An experimental study about the effect of arrangement on the fire behaviors of lithium-ion batteries", J Therm Anal Calorim, 129 (2017), 181-188.

## 7 Abbreviazioni ed acronimi

ASTM American Society for Testing and Materials

CA Corrente alternata

CC Corrente continua

CEI Comitato Elettrotecnico italiano

EV Electric Vehicle

HEV Hybrid Electric Vehicle

HRR Heat release rate

ICE internal combustion engine

IEC International Electrotechnical Commission

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers

INERIS Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

ISO International Organization for Standardization

JIS Japanese Industrial Standards

LFP Litio ferro fosfato

LIB Lithium ion battery

$q^\circ$  flusso di calore incidente

SAE Society of Automotive Engineers

SOC State of charge

THR Total heat release

UL Underwriters Laboratories

## Appendice: curriculum scientifico del gruppo di lavoro

**Paola Russo** è Professore Associato di Chimica Industriale e Tecnologica (SSD ING-IND/27) presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente dell'Università di Roma "La Sapienza".

Ha conseguito l'abilitazione scientifica a professore ordinario il 28 marzo 2017.

È membro dei Consigli d'Area di Ingegneria Chimica e di Ingegneria della Sicurezza della Facoltà di Ingegneria civile e industriale, e membro del Collegio dei Docenti del Dottorato in Ingegneria Chimica. Dall'aa 2012-2013 tiene il corso di Sicurezza di Prodotto e di Processo nell'Industria Chimica nell'ambito dei corsi di Laurea Magistrale in Ingegneria Chimica e Ingegneria della Sicurezza e Protezione Civile e dall'a.a. 2013- 2014 il corso di Chimica Industriale Organica per il Corso di Laurea in Ingegneria Chimica. Dall'a.a. 2008/2009 svolge seminari su "Caratteristiche principali dei materiali infiammabili: gassosi, liquidi e solidi" e "Dinamiche di propagazione degli incendi" nell'ambito dell'insegnamento di Incendi ed Esplosioni del Master di secondo livello in Ingegneria Forense presso l'Università di Napoli "Federico II";

Nel 2016 è stata Componente del Gruppo di Lavoro istituito dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco per la ricerca su "Algoritmi per l'individuazione delle distanze di sicurezza antincendio in installazioni per l'erogazione dei combustibili alternativi per l'autotrazione"

Nel 2016 è stata inoltre Responsabile della ricerca dal titolo "Studio di sistemi di prevenzione e protezione da incendi ed esplosioni in silos per polveri combustibili" nell'ambito dell'accordo di collaborazione con la Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

Svolge attività di revisore per diverse riviste scientifiche internazionali e per l'Elsevier del libro "Dust Explosion Dynamics" di Russell A. Ogle (2014).

Nel 2016 è stata Co-Chair del Colloquium "Detonations, explosions and supersonic combustion" per il Thirty-sixth International Symposium on Combustion Seoul, Korea, 31 July- 5 August, 2016 e Co-Chair del Symposium on Computational Combustion per l' ICCMSE 2016 - 12th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering, Athens, Greece, 17-20 March 2016. Nel 2014 è stata Membro del Scientific Advisory Board e del Best Paper Award Committee per il X ISHPMIE-Tenth International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions, Bergen, Norway, 10-14 June 2014

L'attività di ricerca è svolta su temi principalmente nel campo della sicurezza e protezione ambientale, quali:

- analisi e prevenzione di fenomeni esplosivi derivanti dall'uso di gas, polveri e miscele ibride;
- studio di sistemi di mitigazione e di protezione di apparecchiature industriali dagli effetti di esplosioni di gas e di polveri;
- studio del rischio di incendio in gallerie stradali attraverso l'impiego di modelli di calcolo CFD;
- studio della propagazione di incendi boschivi.

L'attività di ricerca è documentata da oltre 170 pubblicazioni di cui 92 su riviste internazionali e convegni internazionali peer review (Scopus, HI=19) e dal Brevetto N. 0001417526 (2015) "Apparato per le prove di infiammabilità ed esplosività di polveri uniformemente disperse".

**Pierluigi Papillo** è laureando in Ingegneria della Sicurezza e Protezione Civile presso la Facoltà di Ingegneria civile e industriale dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", dove sta svolgendo una tesi sulla sicurezza delle batterie a litio-ione.

## 8 Allegato 1 - Elenco Norme

| NORME IEC                             |                  |          |                    |           |                    |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------|------------------|----------|--------------------|-----------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Argomento                             | Numero           | Edizione | Data pubblicazione | Stato     | Classificazione TC | Titolo                                                                                                                                                               | Lingua Sommario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| AGEING TESTS                          | IEC 62660-1      | 1,0      | 16/12/2010         | IN VIGORE | TC 21              | Performance testing for Lithium-ion cells                                                                                                                            | EN-FR-SP<br>IEC 62660-1:2010 specifies performance and life testing of secondary lithium-ion cells used for propulsion of electric vehicles including battery electric vehicles (BEV) and hybrid electric vehicles (HEV).                                                                                                                                                                                               |
| AGEING TESTS                          | IEC 62660-2      | 1,0      | 16-dic-10          | IN VIGORE | TC 21              | Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles - Part 2: Reliability and abuse testing                                                     | EN-FR-SP<br>IEC 62660-2:2010 specifies test procedures to observe the reliability and abuse behaviour of secondary lithium-ion cells used for propulsion of electric vehicles including battery electric vehicles (BEV) and hybrid electric vehicles (HEV).                                                                                                                                                             |
| AGEING TESTS                          | IEC 62660-3      | 1,0      | 29-ago-16          | IN VIGORE | TC 21              | Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles - Part 3: Safety requirements                                                               | EN-FR<br>IEC 62660-3:2016 specifies test procedures and the acceptance criteria for safety performance of secondary lithium-ion cells and cell blocks used for the propulsion of electric vehicles (EV) including battery electric vehicles (BEV) and hybrid electric vehicles (HEV).                                                                                                                                   |
| BATTERY MANAGEMENT SYSTEM             | IEC 61508-1      | 2,0      | 30-apr-10          | IN VIGORE | TC 65/SC 65A       | Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 1: General requirements                                             | EN-FR-SP<br>IEC 61508-1:2010 covers those aspects to be considered when electrical/electronic/programmable electronic (E/E/PE) systems are used to carry out safety functions.                                                                                                                                                                                                                                          |
| BATTERY SWAP SYSTEM                   | IEC TS 62840-1   | 1,0      | 12-lug-16          | IN VIGORE | TC 69              | Electric vehicle battery swap system - Part 1: General and guidance                                                                                                  | EN<br>IEC TS 62840-1:2016(E) gives the general overview for battery swap systems, for the purposes of swapping batteries of electric road vehicles (EVs) when the vehicle powertrain is turned off and when the battery swap system is connected to the supply network at standard supply voltages according to IEC 60038 with a rated voltage up to 1 000 V AC and up to 1 500 V DC.                                   |
| BATTERY SWAP SYSTEM                   | IEC 62840-2:2016 | 1,0      | 04-ott-16          | IN VIGORE | TC 69              | Electric vehicle battery swap system - Part 2: Safety requirements                                                                                                   | EN-FR<br>IEC 62840-2:2016 provides the safety requirements for a battery swap system, for the purposes of swapping swappable battery system (SBS) of electric vehicles. The battery swap system is intended to be connected to the supply network. The power supply is up to 1 000 V AC or up to 1 500 V d.c., in accordance with IEC 60038.                                                                            |
| DUBLE-LAYER CAPACITORS FOR USE IN HEV | 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                                        | EN-FR<br>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.                                                                                                                                                                                  |
| EV CONDUCTIVE CHARGING                | IEC 61851-1      | 3,0      | 07-feb-17          | IN VIGORE | TC 69              | Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements                                                                                           | EN-FR<br>It applies to EV supply equipment for charging electric road vehicles, with a rated supply voltage up to 1 000 V AC or up to 1 500 V DC and a rated output voltage up to 1 000 V AC or up to 1 500 V DC. Electric road vehicles (EV) cover all road vehicles, including plug-in hybrid road vehicles (PHEV), that derive all or part of their energy from on-board rechargeable energy storage systems (RESS). |
| EV CONDUCTIVE CHARGING                | IEC 61851-21     | 1,0      | 04 May 2001        | IN VIGORE | TC 69              | Electric vehicle conductive charging system - Part 21: Electric vehicle requirements for conductive connection to an a.c./d.c. supply                                | EN-FR<br>This part of IEC 61851 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 1 000 V, when the electric vehicle is connected to the supply network.                                                                                                               |
| EV CONDUCTIVE CHARGING                | IEC 61851-21-1   | 1,0      | 19/06/2017         |           | TC 69              | Electric vehicle conductive charging system - Part 21-1 Electric vehicle onboard charger EMC requirements for conductive connection to a.c./d.c. supply              | EN<br>IEC 61851-21-1:2017(E), together with IEC 61851-1:2010, gives requirements for conductive connection of an electric vehicle (EV) to an AC or DC supply. It applies only to on-board charging units either tested on the complete vehicle or tested on the charging system component level (ESA - electronic sub assembly).                                                                                        |
| EV CONDUCTIVE CHARGING                | IEC 61851-23     | 1        | 11-mar-14          | IN VIGORE | TC 69              | Electric vehicle conductive charging system - Part 23: DC electric vehicle charging station                                                                          | EN-FR-SP<br>It gives the requirements for d.c. electric vehicle (EV) charging stations, herein also referred to as "DC charger", for conductive connection to the vehicle, with an a.c. or d.c. input voltage up to 1 000 V a.c. and up to 1 500 V d.c. according to IEC 60038.                                                                                                                                         |
| EV CONDUCTIVE CHARGING                | IEC 61851-24     | 1,0      | 07-mar-14          | IN VIGORE | TC 69              | Electric vehicle conductive charging system - Part 24: Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of d.c. charging | EN-FR-SP<br>IEC 61851-24:2014, together with IEC 61851-23, applies to digital communication between a d.c. EV charging station and an electric road vehicle (EV) for control of d.c. charging, with an a.c. or d.c. input voltage up to 1 000 V a.c. and up to 1 500 V d.c. for the conductive charging procedure.                                                                                                      |

| Argomento                                 | Numero      | Edizione | Data pubblicazione | Stato     | Classificazione TC | Titolo                                                                                                                                                                                                                                       | Lingua   | Sommario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------|-------------|----------|--------------------|-----------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EV WIRELESS CHARGING                      | IEC 61980-1 | 1,0      | 24-lug-15          | IN VIGORE | TC 69              | Electric vehicle wireless power transfer (WPT) systems - Part 1: General requirements                                                                                                                                                        | EN-FR-SP | IEC 61980-1:2015 applies to the equipment for the wireless transfer of electric power from the supply network to electric road vehicles for purposes of supplying electric energy to the RESS (Rechargeable energy storage system) and/or other on-board electrical systems in an operational state when connected to the supply network, at standard supply voltages ratings per IEC 60038 up to 1 000 V a.c. and up to 1 500 V d.c.          |
| LI-ION BATTERY                            | IEC 61960   | 1,0      | 07-feb-17          | IN VIGORE | TC 21/SC 21A       | Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Secondary lithium cells and batteries for portable applications - Part 3: Prismatic and cylindrical lithium secondary cells and batteries made from them  | EN-FR    | IEC 61960-3:2017 specifies performance tests, designations, markings, dimensions and other requirements for secondary lithium single cells and batteries for portable applications. The objective of this document is to provide the purchasers and users of secondary lithium cells and batteries with a set of criteria with which they can judge the performance of secondary lithium cells and batteries offered by various manufacturers. |
| NiCd PRISMATIC                            | IEC 60622   | 3,0      | 10/10/2002         | IN VIGORE | TC 21/SC 21A       | Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Sealed nickel-cadmium prismatic rechargeable single cells                                                                                                 | EN-FR-SP | Specifies tests and requirements for sealed nickel-cadmium prismatic rechargeable single cells.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| NiCd PRISMATIC                            | IEC 60623   | 5,0      | 23/01/2017         | IN VIGORE | TC 21/SC 21A       | Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Vented nickel-cadmium prismatic rechargeable single cells                                                                                                 | EN       | IEC 60623:2017 specifies marking, designation, dimensions, tests and requirements for vented nickel-cadmium prismatic secondary single cells. When there exists an IEC standard specifying test conditions and requirements for cells used in special applications and which is in conflict with this document, the former takes precedence.                                                                                                   |
| PLUGS AND CONNECTORS                      | IEC 62196-1 | 3,0      | 19-giu-14          | IN VIGORE | TC 23/SC 23H       | Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 1: General requirements                                                                                                       | EN-FR-SP | IEC 62196-1:2014 is applicable to plugs, socket-outlets, vehicle connectors, vehicle inlets and cable assemblies for electric vehicles, herein referred to as "accessories", intended for use in conductive charging systems which incorporate control means, with a rated operating voltage not exceeding: - 690 V a.c. 50 Hz to 60 Hz, at a rated current not exceeding 250 A;                                                               |
| PLUGS AND CONNECTORS                      | IEC 62196-2 | 2,0      | 18-feb-16          | IN VIGORE | TC 23/SC 23H       | Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories                    | EN-FR    | IEC 62196-2:2016 applies to plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets with pins and contact-tubes of standardized configurations, herein referred to as accessories. They have a nominal rated operating voltage not exceeding 480 V a.c., 50 Hz to 60 Hz, and a rated current not exceeding 63 A three-phase or 70 A single phase, for use in conductive charging of electric vehicles.                                    |
| PLUGS AND CONNECTORS                      | IEC 62196-3 | 1,0      | 21-giu-14          | IN VIGORE | TC 23/SC 23H       | Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 3: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for d.c. and a.c./d.c. pin and contact-tube vehicle couplers | EN-FR-SP | IEC 62196-3:2014 is applicable to vehicle couplers with pins and contact-tubes of standardized configuration, herein also referred to as "accessories", intended for use in electric vehicle conductive charging systems which incorporate control means, with rated operating voltage up to 1 500 V d.c. and rated current up to 250 A, and 1 000 V a.c. and rated current up to 250 A.                                                       |
| PORTABLE SEALED RECHARGEABLE SINGLE CELLS | IEC 61951-1 | 4,0      | 07/03/2017         | IN VIGORE | TC 21/SC 21A       | Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Secondary sealed cells and batteries for portable applications - Part 1: Nickel-Cadmium                                                                   | EN-FR    | IEC 61951-1:2017 specifies marking, designation, dimensions, tests and requirements for secondary sealed nickel-cadmium small prismatic, cylindrical and button cells and batteries, suitable for use in any orientation, for portable applications.                                                                                                                                                                                           |
| PORTABLE SEALED RECHARGEABLE SINGLE CELLS | IEC 61951-2 | 4,0      | 22/03/2017         | IN VIGORE | TC 21/SC 21A       | Secondary cells and batteries containing alkaline or other non acid electrolytes - Secondary sealed cells and batteries for portable applications - Part 2: Nickel-metal hydride                                                             | EN-FR    | IEC 61951-2:2017 specifies marking, designation, dimensions, tests and requirements for secondary sealed nickel-metal hydride small prismatic, cylindrical and button cells and batteries, suitable for use in any orientation, for portable applications.                                                                                                                                                                                     |
| PRIMARY AND SECONDARY CELLS AND BATTERIES | IEC 62281   | 3,0      | 06/12/2016         | IN VIGORE | TC 35              | Safety of primary and secondary lithium cells and batteries during transport.                                                                                                                                                                | EN       | IEC 62281:2016 specifies test methods and requirements for primary and secondary (rechargeable) lithium cells and batteries to ensure their safety during transport other than for recycling or disposal.                                                                                                                                                                                                                                      |

| Argomento                                   | Numero                                  | Edizione | Data pubblicazione | Stato     | Classificazione TC | Titolo                                                                                                                                                                               | Lingua   | Sommario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|--------------------|-----------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SAFETY                                      | IEC 61140 RLV                           | 4,0      | 07-gen-16          | IN VIGORE | TC 64              | Protection against electric shock - Common aspects for installation and equipment                                                                                                    | EN       | IEC 61140:2016 applies to the protection of persons and livestock against electric shock. The intent is to give fundamental principles and requirements which are common to electrical installations, systems and equipment or necessary for their coordination, without limitations with regard to the magnitude of the voltage or current, or the type of current, and for frequencies up to 1 000 Hz.                                                                                                                       |
| SAFETY                                      | IEC 60529:1989+AMD 1:1999+AMD2:2013 CSV | 2,2      | 29-ago-13          | IN VIGORE | TC 70              | Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)                                                                                                                               | EN-FR    | IEC 60529:1989+A1:1999+A2:2013 Applies to the classification of degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment with a rated voltage not exceeding 72,5 kV.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| SAFETY                                      | IEC 60364-7-722                         | 1,0      | 25-feb-15          | IN VIGORE | TC 64              | Low-voltage electrical installations - Part 7-722: Requirements for special installations or locations - Supplies for electric vehicles                                              | EN-FR    | IEC 60364-7-722:2015 applies to<br>- circuits intended to supply energy to electric vehicles,<br>- circuits intended for feeding back electricity from electric vehicles into the supply network.<br>The requirements for feeding back electricity from electric vehicles into the supply network are under consideration. Inductive charging is not covered.                                                                                                                                                                  |
| SAFETY REQUIREMENTS                         | IEC 62619                               | 1,0      | 13/02/2017         | IN VIGORE | TC 21/SC 21A       | Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications | EN-FR    | IEC 62619:2017 specifies requirements and tests for the safe operation of secondary lithium cells and batteries used in industrial applications including stationary applications.<br>When there exists an IEC standard specifying test conditions and requirements for cells used in special applications and which is in conflict with this document, the former takes precedence                                                                                                                                            |
| SAFETY REQUIREMENTS FOR SECONDARY BATTERIES | IEC 62485-1                             | 1,0      | 15/04/2015         | IN VIGORE | TC 21              | Safety requirements for secondary batteries and battery installations - Part 1: General safety information                                                                           | EN-FR    | IEC 62485-1:2015 specifies the basic requirements for secondary batteries and battery installations. The requirements regarding safety, reliability, life expectancy, mechanical strength, cycle stability, internal resistance, and battery temperature, are determined by various applications, and this, in turn, determines the selection of the battery design and technology                                                                                                                                             |
| SAFETY REQUIREMENTS FOR SECONDARY BATTERIES | IEC 62485-3                             | 2,0      | 10/07/2014         | IN VIGORE | TC 21              | Safety requirements for secondary batteries and battery installations - Part 3: Traction batteries                                                                                   | EN-FR-SP | IEC 62485-3:2014 applies to secondary batteries and battery installations used for electric vehicles, e.g. in electric industrial trucks (including lift trucks, tow trucks, cleaning machines, automatic guided vehicles), in battery powered locomotives, in electric vehicles (e.g. goods vehicles, golf carts, bicycles, wheelchairs), and does not cover the design of such vehicles. It provides requirements on safety aspects associated with the installation, use, inspection, maintenance and disposal of batteries |
| SAFETY REQUIREMENTS FOR SECONDARY BATTERIES | IEC 62485-4                             | 1,0      | 20-01-2015         | IN VIGORE | TC 21              | Safety requirements for secondary batteries and battery installations - Part 4: Batteries for use in portable appliances                                                             | EN-FR    | IEC 62485-4:2015 applies to the safety aspects associated with the accommodation, the arrangements of circuits and the operation of secondary valve-regulated lead-acid cells and batteries in portable appliances.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| SECONDARY CELLS AND BATTERIES               | IEC 62620                               | 1,0      | 25/11/2014         | IN VIGORE | TC 21/SC 21A       | Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Secondary lithium cells and batteries for use in industrial applications                          | EN-FR    | IEC 62620:2014 specifies marking, tests and requirements for lithium secondary cells and batteries used in industrial applications including stationary applications                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SECONDARY CELLS AND BATTERIES FOR REES      | IEC 61427-1                             | 1,0      | 23/04/2013         | IN VIGORE | TC 21              | Secondary cells and batteries for Renewable Energy Storage - General Requirements and methods of test - Part 1: Photovoltaic Off grid application                                    | EN-FR-SP | IEC 61427-1:2013 is part of a series which gives general information relating to the requirements for the secondary batteries used in photovoltaic energy systems (PVES) and to the typical methods of test used for the verification of battery performances.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| SECONDARY CELLS AND BATTERIES FOR REES      | IEC 61427-2                             | 1,0      | 28/08/2015         | IN VIGORE | TC 21              | Secondary cells and batteries for Renewable Energy Storage - General Requirements and methods of test - Part 2: On-grid application                                                  | EN-FR    | IEC 61427-2:2015 relates to secondary batteries used in on-grid Electrical Energy Storage (EES) applications and provides the associated methods of test for the verification of their endurance, properties and electrical performance in such applications.                                                                                                                                                                                                                                                                  |

| NORME CEI                               |                |                    |               |                                                                                                      |                                                                                                                                                                   |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------|----------------|--------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Argomento                               | Numero         | Data pubblicazione | Stato         | Classificazione CT-CEI                                                                               | Titolo                                                                                                                                                            | Lingua   | Sommario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| BATTERIE AL LITIO                       | CEI EN 61960   | 01 May 2014        | IN VIGORE     | Classificazione CEI: 21-50 CT: 21/35                                                                 | Elementi e batterie di accumulatori contenenti elettroliti alcalini o altri non acidi - Elementi e batterie di accumulatori al litio per applicazioni portatili   | EN       | La Norma in oggetto sostituisce completamente la Norma CEI EN 61960:2006-01, che rimane applicabile fino al 21-07-2014.<br>La presente Norma recepisce il testo originale inglese della Pubblicazione IEC.                                                                                                                      |
| BATTERIE AL LITIO                       | CEI EN 62281   | 01 May 2014        | IN VIGORE     | Classificazione CEI: 21-51 CT: 21/35                                                                 | Sicurezza delle pile, degli elementi e delle batterie di accumulatori al litio durante il trasporto                                                               | EN       | La Norma in oggetto sostituisce completamente la Norma CEI EN 62281:2006, che rimane applicabile fino al 09-01-2016. La presente Norma viene pubblicata dal CEI nella sola lingua inglese in quanto trova diffusione in un ambito tecnico-scientifico di elevata specializzazione.                                              |
| BATTERIE AL LITIO PER VEICOLI ELETTRICI | CEI EN 62660-2 | 01-mag-14          | IN VIGORE     | 21-61                                                                                                | Accumulatori a litio-ioni per la propulsione di veicoli elettrici stradali Parte 2: Prove di affidabilità e abuso                                                 | EN       | La presente Norma viene pubblicata dal CEI nella sola lingua inglese in quanto trova diffusione in un ambito tecnico-scientifico di elevata specializzazione.                                                                                                                                                                   |
| BATTERIE AL LITIO PER VEICOLI ELETTRICI | CEI EN 62660-3 | 01-apr-17          | IN VIGORE     | 21-73                                                                                                | Batterie a litio-ioni per la propulsione di veicoli elettrici stradali Parte 3: Requisiti di sicurezza                                                            | EN       | La presente Norma specifica le procedure di prova e i criteri di accettazione per le prestazioni di sicurezza delle batterie a litio-ioni e di blocchi di batterie utilizzate per la propulsione di veicoli elettrici (EV), compresi i veicoli elettrici a batteria (BEV) ed i veicoli elettrici ibridi (HEV).                  |
| CORRENTE ACCUMULATORI                   | CEI EN 61434   | 01-nov-97          | IN VIGORE     | Classificazione CEI: 21-26 CT: 21/35                                                                 | Accumulatori e pile contenenti elettroliti alcalini od altri non acidi. Guida per la designazione della corrente nelle Norme per accumulatori e batterie alcaline | EN-IT    | La presente Norma è una guida per la designazione della corrente nelle norme per accumulatori e pile alcaline.                                                                                                                                                                                                                  |
| IMPIANTI VEICOLI ELETTRICI              | CEI 69-1       | 01-apr-98          | IN VIGORE     | Classificazione CEI: 69-1 CT: 69 Comitato Tecnico Macchine elettriche dei veicoli stradali elettrici | Impianti dei veicoli stradali ad accumulatori Norma generale                                                                                                      | Italiano | La Norma si applica agli impianti elettrici dei veicoli stradali con ruote gommate con conducente a bordo, azionati da batterie di accumulatori elettrici installati a bordo. Sono esclusi gli impianti elettrici di trazione dei carrelli e dei trattori ad accumulatori destinati a servizio nell'interno degli stabilimenti. |
| SICUREZZA PER BATTERIE DI ACCUMULATORI  | CEI EN 50272-1 | 01/05/2014         | IN VIGORE     | 21-58                                                                                                | Prescrizioni di sicurezza per batterie di accumulatori e loro installazioni Parte 1: Informazioni generali di sicurezza                                           | EN       | La presente Norma viene pubblicata dal CEI nella sola lingua inglese in quanto trova diffusione in un ambito tecnico-scientifico di elevata specializzazione.                                                                                                                                                                   |
| SICUREZZA PER BATTERIE DI ACCUMULATORI  | CEI EN 50272-2 | 01/08/2002         | IN VIGORE     | 21-39                                                                                                | Prescrizioni di sicurezza per batterie di accumulatori e loro installazioni Parte 2: Batterie stazionarie                                                         | EN-IT    | La presente Norma si applica alle batterie di accumulatori stazionarie, al piombo e al nichel-cadmio, ed alle loro installazioni con tensione massima di 1500 V in c.c. (nominale). Essa descrive le misure di protezione contro i rischi elettrici, le emissioni di gas e lesioni da elettrolita.                              |
| SICUREZZA PER BATTERIE DI ACCUMULATORI  | CEI EN 50272-3 | 01/04/2003         | NON IN VIGORE | 21-42                                                                                                | "Requisiti di sicurezza per batterie di accumulatori e loro installazione".                                                                                       | EN-IT    | La presente Norma si applica alle batterie di accumulatori ed alle loro installazioni usate per veicoli elettrici, per esempio nei carrelli industriali elettrici, nelle locomotive alimentate da batterie, nei veicoli elettrici stradali.                                                                                     |
| SICUREZZA PER BATTERIE DI ACCUMULATORI  | CEI EN 50272-4 | 01/07/2007         | IN VIGORE     | 21-53                                                                                                | Prescrizioni di sicurezza per batterie di accumulatori e loro installazioni Parte 4: Batterie per applicazioni portatili                                          | EN-IT    | La presente Norma riguarda gli elementi e le batterie ricaricabili per apparecchi portatili. Essa ha lo scopo di prescrivere aspetti di sicurezza correlati al posizionamento, alla disposizione dei circuiti e al funzionamento degli elementi e delle batterie ricaricabili negli apparecchi portatili.                       |

| Argomento                              | Numero              | Data pubblicazione | Stato     | Classificazione CT-CEI | Titolo                                                                                                                                                     | Lingua | Sommario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------|---------------------|--------------------|-----------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SICUREZZA PER BATTERIE DI ACCUMULATORI | CEI EN 62485-3      | 01/05/2016         | IN VIGORE | 21-64                  | Prescrizioni di sicurezza per batterie di accumulatori e loro installazioni Parte 3: Batterie di trazione                                                  | EN     | <u>La presente Norma sostituisce completamente la Norma CEI EN 50272-3:2003-04</u> che rimane applicabile fino al 14-08-2017. Questa Norma viene pubblicata dal CEI nella sola lingua inglese in quanto particolarmente mirata a settori specialistici. La presente Norma recepisce il testo originale inglese della Pubblicazione IEC.                                                                                     |
| SISTEMI DI RICARICA CONDUTTIVA         | CEI EN 61851-1      | 01-mag-12          | IN VIGORE | 69-7                   | Sistema di ricarica conduttiva dei veicoli elettrici Parte 1: Prescrizioni generali                                                                        | EN-IT  | La presente Norma si applica alle apparecchiature per la ricarica di veicoli elettrici stradali, a bordo e fuori-bordo, alle tensioni di alimentazione normalizzate in c.a. (come da IEC 60038) fino a 1 000 V, e a tensioni in c.c. fino a 1 500 V, nonché alla fornitura di energia elettrica per tutti i servizi supplementari sul veicolo, se richiesta, durante il collegamento alla rete di alimentazione.            |
| SISTEMI DI RICARICA CONDUTTIVA         | CEI EN 61851-21     | 01-mar-03          | IN VIGORE | 69-8                   | Ricarica conduttiva dei veicoli elettrici Parte 21: Requisiti dei veicoli elettrici per il loro collegamento conduttivo all'alimentazione in c.a. o in c.c | EN-IT  | La presente Parte della Norma EN 61851, congiuntamente alla Parte 1, stabilisce le prescrizioni per il collegamento conduttivo di un veicolo elettrico di Classe I ad alimentazioni in c.a. o in c.c. per tensioni fino a 690 V in c.a. e 1000 V in c.c., quando il veicolo è collegato alla rete di alimentazione. La presente parte non ricopre tutti gli aspetti di manutenzione non stradale.                           |
| SISTEMI DI RICARICA CONDUTTIVA         | CEI EN 61851-22     | 01-mar-03          | IN VIGORE | 69-9                   | Ricarica conduttiva dei veicoli elettrici Parte 22: Stazioni di ricarica in c.a. per veicoli elettrici                                                     | EN-IT  | La presente Parte della Norma EN 61851, congiuntamente alla Parte 1, stabilisce le prescrizioni per le stazioni di carica in c.a. per il collegamento conduttivo ai veicoli elettrici per tensioni fino a 690 V. La presente Parte non copre tutti gli aspetti relativi alla manutenzione.                                                                                                                                  |
| SISTEMI DI RICARICA CONDUTTIVA         | CEI EN 61851-23     | 01-ott-15          | IN VIGORE | 69-14                  | Carica conduttiva dei veicoli elettrici Parte 23: Stazione di carica in c.c. dei veicoli elettrici                                                         | EN-IT  | La presente Norma, insieme alla Norma EN/IEC 61851-1:2010, fornisce i requisiti per le stazioni di carica in c.c. di un veicolo elettrico (EV). Essa fornisce i requisiti generali per la comunicazione di controllo tra una Stazione di carica EV in c.c. e un EV                                                                                                                                                          |
| SISTEMI DI RICARICA CONDUTTIVA         | CEI EN 61851-23/EC1 | 01-mar-17          | IN VIGORE | 69-14;EC1              | Carica conduttiva dei veicoli elettrici Parte 23: Stazione di carica in c.c. dei veicoli elettrici                                                         | IT     | La presente Errata Corrige contiene modifiche ad alcuni articoli della Norma CEI EN 61851-23:2015-10. La presente Norma riporta la traduzione completa della EN 61851-23/EC; la versione inglese è riportata nel fascicolo 15364E di febbraio 2017                                                                                                                                                                          |
| SISTEMI DI RICARICA CONDUTTIVA         | CEI EN 61851-24     | 01-ott-15          | IN VIGORE | 69-15                  | Carica conduttiva dei veicoli elettrici Parte 24: Comunicazione digitale tra stazione di carica in c.c. e veicolo elettrico per il controllo della carica  | EN-IT  | La presente Norma, insieme alla Norma EN/IEC 61851-23, si applica per la comunicazione digitale tra una stazione di carica EV in c.c. ed un veicolo elettrico stradale (EV) per il controllo della carica.                                                                                                                                                                                                                  |
| SISTEMI DI RICARICA CONDUTTIVA         | CEI EN 61851-24/EC1 | 01-feb-16          | IN VIGORE | 69-15;EC1              | Carica conduttiva dei veicoli elettrici Parte 24: Comunicazione digitale tra stazione di carica in c.c. e veicolo elettrico per il controllo della carica  | EN-IT  | La presente Errata Corrige contiene modifiche ad alcuni articoli della Norma IEC 61851-24:2014.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| SPINE, PRESE E CONNETTORI              | CEI EN 62196-1      | 01-nov-15          | IN VIGORE | 23-88                  | Spine, prese fisse, connettori mobili e fissi per veicoli - Carica conduttiva dei veicoli elettrici Parte 1: Requisiti generali                            | EN-IT  | La presente Norma si applica alle spine, alle prese fisse, ai connettori e cavi assemblati per veicoli elettrici e destinati ad essere utilizzati nei sistemi per la carica conduttiva che incorporano dispositivi di controllo, con una tensione nominale non superiore a: 690 V in c.a., frequenza 50 Hz - 60 Hz, e corrente nominale non superiore a 250 A; - 1 500 V in c.c. e corrente nominale non superiore a 400 A. |

| Argomento                | Numero         | Data pubblicazione | Stato     | Classificazione CT-CEI | Titolo                                                                                                                                                                                                                        | Lingua | Sommario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------|----------------|--------------------|-----------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SPINE,PRESE E CONNETTORI | CEI EN 62196-2 | 01-feb-15          | IN VIGORE | 23-127                 | Spine, prese fisse, connettori mobili e fissi per veicoli - Carica conduttiva dei veicoli elettrici Parte 2: Compatibilità dimensionale e requisiti di intercambiabilità di attacchi a spina e alveoli per corrente alternata | EN-IT  | La presente Norma si applica a spine, prese fisse, connettori per veicoli, con attacchi a spina e alveoli, con configurazioni standardizzate e destinati alla carica conduttiva dei veicoli elettrici. Tali apparecchi devono avere tensione nominale non superiore a 500 V c.c., frequenza da 50 Hz a 60 Hz e corrente nominale non superiore a 63 A (per componenti trifase) e 70 A (per componenti monofase). |
| SPINE,PRESE E CONNETTORI | CEI EN 62196-3 | 01-ott-16          | IN VIGORE | 23-131                 | Spine e prese per veicoli elettrici - Carica conduttiva dei veicoli elettrici Parte 3: Prescrizioni dimensionali per compatibilità e intercambiabilità di apparecchi con alveoli e spinotti cilindrici per c.c. e c.a./c.c.   | EN-IT  | La presente Norma si applica ai connettori per veicoli con attacchi a spinotti cilindrici e ad alveoli, con configurazioni standardizzate e destinati ai sistemi di carica conduttiva dei veicoli elettrici che incorporano mezzi di controllo, con tensione e corrente nominale rispettivamente fino a 1 500 V e 250 A nei sistemi in c.c., e fino a 1 000 V e 250 A nei sistemi in c.a.                        |

## NORME ISO

| Argomento                               | Numero          | Edizione | Data pubblicazione | Stato     | Classificazione TC | Titolo                                                                                                                                                                             | Sommario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------|-----------------|----------|--------------------|-----------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ELECTRICALLY PROPELLED ROAD VEHICLES    | ISO 17409       | 1,0      | nov-15             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Electrically propelled road vehicles<br>- Connection to an external electric power supply -- Safety requirements                                                                   | It applies to electrically propelled road vehicles with voltage class B electric circuits. In general, it may apply to motorcycles and mopeds if no dedicated standards for these vehicles exist.<br>It applies only to vehicle power supply circuits.                                                                                                                            |
| ELECTRICALLY PROPELLED ROAD VEHICLES    | ISO/PAS 16898   | 1,0      | dic-12             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Electrically propelled road vehicles<br>-- Dimensions and designation of secondary lithium-ion cells                                                                               | ISO/IEC PAS 16898:2012 specifies a designation system as well as the shapes and dimensions for secondary lithium-ion cells for integration into battery packs and systems used in electrically propelled road vehicles including the position of the terminals and any over-pressure safety device (OPSD). It is related to cylindrical, prismatic and pouch cells.               |
| ELECTRICALLY PROPELLED ROAD VEHICLES    | ISO 6469-1      | 2,0      | set-09             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Electrically propelled road vehicles<br>- Safety specifications -- Part 1: On-board rechargeable energy storage system (RESS)                                                      | ISO 6469-1:2009 specifies requirements for the on-board rechargeable energy storage systems (RESS) of electrically propelled road vehicles, including battery-electric vehicles (BEVs), fuel-cell vehicles (FCVs) and hybrid electric vehicles (HEVs), for the protection of persons inside and outside the vehicle and the vehicle environment.                                  |
| ELECTRICALLY PROPELLED ROAD VEHICLES    | ISO 6469-2      | 2,0      | set-09             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Electrically propelled road vehicles<br>- Safety specifications -- Part 2: Vehicle operational safety means and protection against failures                                        | ISO 6469-2:2009 specifies requirements for operational safety means and protection against failures related to hazards specific to electrically propelled road vehicles, including battery-electric vehicles (BEVs), fuel-cell vehicles (FCVs) and hybrid electric vehicles (HEVs), for the protection of persons inside and outside the vehicle and the vehicle environment.     |
| ELECTRICALLY PROPELLED ROAD VEHICLES    | ISO 6469-3      | 2,0      | nov-12             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Electrically propelled road vehicles<br>- Safety specifications -- Part 3: Protection of persons against electric shock                                                            | ISO 6469-3:2011 specifies requirements for the electric propulsion systems and conductively connected auxiliary electric systems, if any, of electrically propelled road vehicles for the protection of persons inside and outside the vehicle against electric shock.                                                                                                            |
| ELECTRICALLY PROPELLED ROAD VEHICLES    | ISO/TR 8713     | 1,0      | mag-12             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Electrically propelled road vehicles<br>- Vocabulary                                                                                                                               | ISO/TR 8713:2012 establishes a vocabulary of terms and the related definitions used in ISO TC22/SC21 standards. These terms are specific to the electric propulsion systems of electrically propelled road vehicles, i. e. battery electric vehicles (BEV), hybrid electric vehicles (HEV, PHEV), and (pure and hybrid electric) fuel cell vehicles (FCV, FCHEV)                  |
| ELECTRICALLY PROPELLED ROAD VEHICLES    | ISO 8714        | 1,0      | nov-02             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Electric road vehicles -- Reference energy consumption and range -- Test procedures for passenger cars and light commercial vehicles                                               | This International Standard specifies test procedures for measuring the reference energy consumption and reference range of purely electrically propelled passenger cars and commercial vehicles of a maximum authorized total mass of 3 500 kg and maximum speed greater than or equal to 70 km/h                                                                                |
| ELECTRICALLY PROPELLED ROAD VEHICLES    | ISO 8715        | 1,0      | giu-01             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Electric road vehicles -- Road operating characteristics                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| ELECTRICALLY PROPELLED ROAD VEHICLES    | ISO 12405-1     | 1,0      | ago-11             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Electrically propelled road vehicles<br>- Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems<br>- Part 1: High-power applications                               | ISO 12405-1:2011 specifies test procedures for lithium-ion battery packs and systems for use in electrically propelled road vehicles. The specified test procedures enable the determination of the essential characteristics of performance, reliability and abuse of lithium-ion battery packs and systems.                                                                     |
| ELECTRICALLY PROPELLED ROAD VEHICLES    | ISO 12405-2     | 1,0      | lug-12             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Electrically propelled road vehicles<br>- Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems<br>- Part 2: High-energy applications                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| ELECTRICALLY PROPELLED ROAD VEHICLES    | ISO 12405-3     | 1,0      | mag-14             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Electrically propelled road vehicles<br>- Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems<br>- Part 3: Safety performance requirements                       | ISO 12405-3:2014 specifies test procedures and provides acceptable safety requirements for voltage class B lithium-ion battery packs and systems, to be used as traction batteries in electrically propelled road vehicles. Traction battery packs and systems used for two-wheel or three-wheel vehicles are not covered by ISO 12405-3:2014.                                    |
| REACTION TO FIRE TESTS                  | ISO 5660-1      | 3,0      | 01-mar-15          | IN VIGORE | ISO/TC 92/SC 1     | Reaction-to-fire tests -- Heat release, smoke production and mass loss rate -- Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement) | ISO 5660-1:2015 specifies a method for assessing the heat release rate and dynamic smoke production rate of specimens exposed in the horizontal orientation to controlled levels of irradiance with an external igniter.                                                                                                                                                          |
| ROAD VEHICLES                           | ISO 26262-1     | 1,0      | nov-11             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 32    | Road vehicles -- Functional safety -- Part 1: Vocabulary                                                                                                                           | ISO 26262 is intended to be applied to safety-related systems that include one or more electrical and/or electronic (E/E) systems and that are installed in series production passenger cars with a maximum gross vehicle mass up to 3 500 kg. ISO 26262 does not address unique E/E systems in special purpose vehicles such as vehicles designed for drivers with disabilities. |
| VEHICLE-TO-GRID COMMUNICATION INTERFACE | ISO/IEC 15118-1 | 1,0      | apr-13             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 31    | Road vehicles - Vehicle to grid communication interface - Part 1: General information and use-case definition                                                                      | ISO 15118-1:2013 specifies terms and definitions, general requirements and use cases as the basis for the other parts of ISO 15118. It provides a general overview and a common understanding of aspects influencing the charge process, payment and load levelling.                                                                                                              |
| VEHICLE-TO-GRID COMMUNICATION INTERFACE | ISO/IEC 15118-2 | 1,0      | apr-14             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Road vehicles - Vehicle-to-Grid Communication Interface - Part 2: Technical protocol description and Open Systems Interconnections (OSI) layer requirements                        | ISO 15118-2:2014 specifies the communication between battery electric vehicles (BEV) or plug-in hybrid electric vehicles (PHEV) and the Electric Vehicle Supply Equipment. The application layer message set defined in ISO 15118-2:2014 is designed to support the energy transfer from an EVSE to an EV                                                                         |
| VEHICLE-TO-GRID COMMUNICATION INTERFACE | ISO/IEC 15118-3 | 1,0      | mag-15             | IN VIGORE | ISO/TC 22/SC 37    | Road Vehicles - Vehicle to grid communication interface - Part 3: Physical layer and Data Link layer requirements                                                                  | ISO 15118-3:2015 specifies the requirements of the physical and data link layer for a high-level communication, directly between BEV or PHEV, termed as EV [ISO-1], based on a wired communication technology and the fixed electrical charging installation [Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE)] used in addition to the basic signalling, as defined in [IEC-1].          |

| NORME SAE                 |               |          |                    |           |                                             |                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------|---------------|----------|--------------------|-----------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Argomento                 | Numero        | Edizione | Data pubblicazione | Stato     | Comitato                                    | Titolo                                                                                                                | Sommario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| AGEING TEST               | SAE J2288     | 2,0      | 30/06/2008         | IN VIGORE | Battery Standards Testing Committee         | Life Cycle testing of Electric Vehicle Battery Modules Outside automotive                                             | This SAE Recommended Practice defines a standardized test method to determine the expected service life, in cycles, of electric vehicle battery modules. It is based on a set of nominal or baseline operating conditions in order to characterize the expected degradation in electrical performance as a function of life and to identify relevant failure mechanisms where possible. Accelerated aging is not included in the scope of this procedure, although the time compression resulting from continuous testing may unintentionally accelerate battery degradation unless test conditions are carefully controlled.                                                                                             |
| BATTERY MODULES           | J1797         | 3,0      | 02-ago-16          | IN VIGORE | Battery Cell Size Standardization Committee | Recommended Practice for Packaging of Electric Vehicle Battery Modules                                                | This SAE Recommended Practice provides for common battery designs through the description of dimensions, termination, retention, venting system, and other features required in an electric vehicle application. The document does not provide for performance standards. Performance will be addressed by SAE J1798. This document does provide for guidelines in proper packaging of battery modules to meet performance criteria detailed in J1766.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| CHARGING TOPOLOGY         | SAE J2836/1   | 1,0      | 08-apr-10          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                         | Use Cases for Communication between Plug-in Vehicles and the Utility Grid                                             | This SAE Information Report J2836 establishes use cases for communication between plug-in electric vehicles and the electric power grid, for energy transfer and other applications.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| CHARGING TOPOLOGY         | SAE J2836/2   | 1,0      | 15-set-11          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                         | Use Cases for Communication between Plug-in Vehicles and Off-Board DC Charger                                         | This SAE Information Report SAE J2836/2TM establishes use cases and general information for communication between plug-in electric vehicles and the DC Off-board charger. Where relevant, this document notes, but does not formally specify, interactions between the vehicle and vehicle operator.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| CHARGING TOPOLOGY         | SAE J2836/3   | 2,0      | 18-gen-17          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                         | Use Cases for Plug-In Vehicle Communication as a Distributed Energy Resource                                          | This SAE Information Report establishes use cases for a Plug-in Electric Vehicle (PEV) communicating with an Energy Management System (EMS) as a Distributed Energy Resource (DER) which must be supported by SAE J2847/3. This document also provides guidance for updates to SAE J2847/2 to allow an inverter in an EVSE to use the PEV battery when operating together as either a DER or as a power source for loads which are not connected in parallel with the utility grid. Beyond these two specific communication objectives, this document is also intended to serve as a broad guide to the topic of reverse power flow.                                                                                      |
| CHARGING TOPOLOGY         | SAE J2836/5   | 1,0      | 07-mag-15          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                         | Use Cases for Customer Communication for Plug-In Electric Vehicles                                                    | This SAE Information Report J2836/5™ establishes the use cases for communications between Plug-In Electric Vehicles (PEV) and their customers. The use case scenarios define the information to be communicated related to customer convenience features for charge on/off control, charge power curtailment, customer preference settings, charging status, EVSE availability/access, and electricity usage. Also addresses customer information resulting from conflicts to customer charging preferences. This document only provides the use cases that define the communications requirements to enable customers to interact with the PEV and to optimize their experience with driving a Plug-In Electric Vehicle. |
| EV CRASH TEST             | J3040         | 1,0      | 17-dic-15          | IN VIGORE | Impact and Rollover Test proced Stds Comm   | Electric Vehicle (E-Vehicle) Crash Test Lab Safety Guidelines                                                         | The special risks associated with conducting crash tests on E-Vehicles can be divided into two main categories; 1) thermal activity inside the battery (resulting from electrical or mechanical abuse) may lead to energetic emission of harmful and/or flammable gases, thermal runaway, and potentially fire, and 2) the risk of electrocution.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| GAS EMISSION              | J1718         | 3,0      | 00/11/2008         | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                         | Measurement of Hydrogen Gas Emission from Battery-Powered Passenger Cars and Light Trucks During Battery Charging     | The purpose of this procedure is to determine what concentrations of hydrogen gas an electric vehicle together with its charger will generate while being charged in a residential garage. Gaseous emissions are measured during a sequence of vehicle tests and laboratory tests that simulate normal and abnormal conditions during operational use. The results of this test may be used to determine whether or not forced air ventilation is required when a particular electric vehicle and its associated battery and charging system are used in a residential garage.                                                                                                                                            |
| HAZARDS                   | J2990         | 1,0      | 19-nov-12          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                         | Hybrid and EV First and Second Responder Recommended Practice                                                         | xEVs involved in incidents present unique hazards associated with the high voltage system (including the battery system). These hazards can be grouped into 3 categories: chemical, electrical, and thermal. The potential consequences can vary depending on the size, configuration and specific battery chemistry.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| HEV & EV TERMINOLOGY      | SAE J1715     | 4,0      | 06-ott-14          | IN VIGORE | Battery Safety Standards Committee          | Hybrid Electric Vehicle (HEV) and Electric Vehicle (EV) Terminology                                                   | This SAE Information Report contains definitions for HEV and EV terminology. It is intended that this document be a resource for those writing other HEV and EV documents, specifications, standards, or recommended practices.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| HIGH VOLTAGE SAFETY IN EV | J3108         | 1,0      | 02-mar-17          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                         | xEV Labels to Assist First and Second Responders, and Others                                                          | This recommended practice prescribes clear and consistent labeling methodology for communicating important xEV high voltage safety information. Examples of such information include identifying key high voltage system component locations and high voltage disabling points. These recommendations are based on current industry best practices identified by the responder community. Although this recommended practice is written for xEVs with high voltage systems, these recommendations can be applied to any vehicle type.                                                                                                                                                                                     |
| INDUCTIVE CHARGING SYSTEM | SAE TIR J2954 | 1,0      | 26-mag-16          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                         | Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-In/ Electric Vehicles and Alignment Methodology                           | SAE TIR J2954 establishes an industry-wide specification guideline that defines acceptable criteria for interoperability, electromagnetic compatibility, minimum performance, safety and testing for wireless charging of light duty electric and plug-in electric vehicles. The current version addresses unidirectional charging, from grid to vehicle, but bidirectional energy transfer may be evaluated for a future standard. The specification defines various charging levels that are based on the levels defined for SAE J1772 conductive AC charge levels 1, 2 and 3, with some variations.                                                                                                                    |
| INTEROPERABILITY          | SAE J2953/1   | 1,0      | 07-ott-13          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                         | Plug-In Electric Vehicle (PEV) Interoperability with Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE)                         | This SAE Recommended Practice J2953/1 establishes requirements and specification by which a specific Plug-In Electric Vehicle (PEV) and Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) pair can be considered interoperable. The test procedures are further described in J2953/2.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| INTEROPERABILITY          | SAE J2953/2   | 1,0      | 07-gen-14          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                         | Test Procedures for the Plug-In Electric Vehicle (PEV) Interoperability with Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) | This SAE Recommended Practice SAE J2953/2 is intended to define the test procedures for levels of compatibility between the PEV and EVSE of different vendors outlined in SAE J2953/1. By using the AC Level1, AC Level2, and DC Level1, DC Level2 charging with a cord set and an in cable EVSE, a AC charging station with both analogue and digital communications and a DC off board charger, if equipped.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

| Argomento            | Numero      | Edizione | Data pubblicazione | Stato     | Comitato                           | Titolo                                                                                                                | Sommario                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------|-------------|----------|--------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PLUGS AND CONNECTORS | SAE J1772   | 6,0      | 03-feb-16          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                | SAE Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler                                    | This SAE Standard covers the general physical, electrical, functional and performance requirements to facilitate conductive charging of EV/PHEV vehicles in North America. This document defines a common EV/PHEV and supply equipment vehicle conductive charging method including operational requirements and the functional and dimensional requirements for the vehicle inlet and mating connector.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| REESS                | SAE J2464   | 2,0      | 06-nov-09          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                | Electric and Hybrid Electric Vehicle Rechargeable Energy Storage System (RESS) Safety and Abuse Testing               | This SAE Recommended Practice is intended as a guide toward standard practice and is subject to change to keep pace with experience and technical advances. It describes a body of tests which may be used as needed for abuse testing of electric or hybrid electric vehicle batteries to determine the response of such batteries to conditions or events which are beyond their normal operating range                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| SAFETY               | SAE J2929   | 2,0      | 11-feb-13          | IN VIGORE | Battery Safety Standards Committee | Safety Standard for Electric and Hybrid Vehicle Propulsion Battery Systems Utilizing Lithium-based Rechargeable Cells | This SAE Standard defines a minimum set of acceptable safety criteria for a lithium-based rechargeable battery system to be considered for use in a vehicle propulsion application as an energy storage system connected to a high voltage power train. While the objective is a safe battery system when installed into a vehicle application, this Standard is primarily focused, wherever possible, on conditions which can be evaluated utilizing the battery system alone. As this is a minimum set of criteria, it is recognized that battery system and vehicle manufacturers may have additional requirements for cells, modules, packs and systems in order to assure a safe battery system for a given application. |
| WIRELESS CHARGING    | SAE J2836/6 | 1,0      | 03-mag-13          | IN VIGORE | Hybrid-EV Committee                | Use Cases for Wireless Charging Communication for Plug-in Electric Vehicles                                           | This SAE Information Report SAE J2836/6™ establishes use cases for communication between plug-in electric vehicles and the EVSE, for wireless energy transfer as specified in SAE J2954. It addresses the requirements for communications between the on-board charging system and the Wireless EV Supply Equipment (WEVSE) in support of detection of the WEVSE, the charging process, and monitoring of the charging process.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

| NORME ASTM                  |                   |                  |                  |                                                                                                                                                                              |              |
|-----------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Argomento                   | Numero            | Anno di adozione | ultima revisione | Titolo                                                                                                                                                                       | Subcommittee |
| AIRCRAFT                    | F3005 - 14a       | 2014             | 2014             | Standard Specification for Batteries for Use in Small Unmanned Aircraft Systems (sUAS)                                                                                       | F38.01       |
| BINARY CHART                | E2012 - 06(2012)  | 2006             | 2012             | Standard Guide for the Preparation of a Binary Chemical Compatibility Chart                                                                                                  | E27.02       |
| CALORIMETER                 | E1474 - 14        | 2013             |                  | Standard Test Method for Determining the Heat Release Rate of Upholstered Furniture and Mattress Components or Composites Using a Bench Scale Oxygen Consumption Calorimeter | E05.21       |
| CALORIMETER                 | E1623 - 16        | 2016             |                  | Standard Test Method for Determination of Fire and Thermal Parameters of Materials, Products, and Systems Using an Intermediate Scale Calorimeter (ICAL)                     | E05.21       |
| CALORIMETER                 | E2067 - 15        | 2015             |                  | Standard Practice for Full-Scale Oxygen Consumption Calorimetry Fire Tests                                                                                                   | E05.21       |
| EVALUATING THERMAL          | F433 - 02(2014)e1 | 2002             | 2014             | Standard Practice for Evaluating Thermal Conductivity of Gasket Materials                                                                                                    | F03.10       |
| FIRE HAZARD ASSESSMENT      | E2061 - 15        | 2015             |                  | Standard Guide for Fire Hazard Assessment of Rail Transportation Vehicles                                                                                                    | E05.17       |
| FIRE PROPAGATION APPARATUES | E2058 - 13a       | 2013             | 2013             | Standard Test Methods for Measurement of Material Flammability Using a Fire Propagation Apparatus (FPA)                                                                      | E05.22       |
| FMEA                        | D7874 - 13        | 2013             |                  | Standard Guide for Applying Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to In-Service Lubricant Testing                                                                          | D02.96.04    |
| HEAT FLUX MEASUREMENTS      | C 177 - 13        | 2013             |                  | Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus                                 | C16.30       |
| MEASUREMENT OF GASES        | E800 - 13         | 2013             |                  | Standard Guide for Measurement of Gases Present or Generated During Fires                                                                                                    | E05.21       |
| PENETROMETER TESTS          | D6067 - 10        | 2010             |                  | Standard Practice for Using the Electronic Piezocone Penetrometer Tests for Environmental Site Characterization                                                              | D18.21       |
| ROOM FIRE EXPERIMENTS       | E603 - 13         | 2013             |                  | Standard Guide for Room Fire Experiments                                                                                                                                     | E05.21       |
| TERMINOLOGY OF FIRE         | E 176 – 15ae1     | 2015             | 2015             | Standard Terminology of Fire Standards                                                                                                                                       | E05.31       |

## 9 Allegato 2 - Elenco incidenti di veicoli elettrici

| Incidenti Auto Elettriche |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                         |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DATA                      | LUOGO                 | DESCRIZIONE INCIDENTE                                                                                                                                                                                                                                                                                    | VEICOLO                                 | BATTERIE                          | CAUSE                                                                                                                                                                                                                                                 | DANNI A PERSONE O COSA                                                                                               | SITO WEB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| giu-11                    | Hangzhou (Cina)       | Un taxi della Zotye ha preso fuoco quando a bordo erano presenti il conducente e due passeggeri. nessuna persona è rimasta ferita ma l'auto è andata distrutta. Il rapporto conferma che le celle della batteria sull'auto, non erano responsabili dell'incidente, ma erano impiegate in modo improprio. | Zotye M300 EV                           | LiFePO4 100Ah 32.5kWh             | Danno dell'isolamento tra le celle di batteria e le pareti del contenitore di alluminio in cui le cellule sono state impilate; cortocircuiti avvenuti all'interno dei contenitori che coinvolgono parti di supporto e di collegamento delle batterie. | Nessun ferito                                                                                                        | <a href="http://chinaautoweb.com/2011/04/hangzhou-halts-all-electric-taxis-as-a-zotye-langyue-multipla-ev-catches-fire/">http://chinaautoweb.com/2011/04/hangzhou-halts-all-electric-taxis-as-a-zotye-langyue-multipla-ev-catches-fire/</a><br><a href="http://chinaautoweb.com/2011/06/battery-pack-defects-blamed-for-zotye-ev-fire/">http://chinaautoweb.com/2011/06/battery-pack-defects-blamed-for-zotye-ev-fire/</a>       |
| giu-11                    | USA                   | La Volt che ha preso fuoco era stata distrutta in un impatto laterale durante un crash test NHTSA, ruotata di 360 gradi sottosopra, e poi conservata in un deposito all'aperto. Tre settimane dopo il crash test, la vettura ha preso fuoco.                                                             | Chevrolet Volt (P-HEV)                  | A ioni di litio da 16 kWh (58 MJ) | Danneggiamento del circuito di raffreddamento                                                                                                                                                                                                         | Nessun ferito                                                                                                        | <a href="http://www.electrictomotornews.com/veicoli-ecologici/automobili/chevrolet/chius-e-le-indagini-sull'incendio-della-batteria-della-volt">http://www.electrictomotornews.com/veicoli-ecologici/automobili/chevrolet/chius-e-le-indagini-sull'incendio-della-batteria-della-volt</a><br><a href="http://www.forum.clubvolvoitalia.it/index.php?topic=4627.0">http://www.forum.clubvolvoitalia.it/index.php?topic=4627.0</a> |
| mag-12                    | Shenzhen (Cina)       | Un Taxi della BYD e6 si è incendiata dopo essersi scontrata frontalmente con un'altra auto                                                                                                                                                                                                               | BYD e6                                  | 75 kWh (LiFePO4)<br>92 celle      | Incendio innescato dopo l'impatto                                                                                                                                                                                                                     | 3 Morti (tutti nell'auto elettrica) + 1 ferito nell'altra macchina                                                   | <a href="http://chinaautoweb.com/2012/05/t-hree-byd-e6-passengers-killed-in-fiery-crash-spurring-ev-safety-concern/">http://chinaautoweb.com/2012/05/t-hree-byd-e6-passengers-killed-in-fiery-crash-spurring-ev-safety-concern/</a>                                                                                                                                                                                              |
| mag-12                    | Texas                 | Un nuovo veicolo elettrico pulg-in ibrido si è incendiato dopo pochi minuti che è stato parcheggiato nel garage.                                                                                                                                                                                         | Fisker Karma P-HEV                      |                                   | L'incendio è stato innescato stesso dall'auto elettrica                                                                                                                                                                                               | Nessun ferito, ma si è incendiata una parte della casa ed altre due auto                                             | <a href="http://autoweek.com/article/car-news/official-claims-fisker-karma-blame-texas-house-fire-update-statement-fisker-karma">http://autoweek.com/article/car-news/official-claims-fisker-karma-blame-texas-house-fire-update-statement-fisker-karma</a>                                                                                                                                                                      |
| ago-12                    | Woodside - California | Un auto ha preso fuoco mentre era parcheggiata. Secondo gli ingegneri Fisker, la zona di origine del fuoco era determinata all'esterno del vano motore, poiché il fuoco era situato all'angolo anteriore dell'autista                                                                                    | Fisker Karma P-HEV                      |                                   | Un guasto ha causato il non funzionamento della ventola di raffreddamento a bassa temperatura, quindi il surriscaldamento ha avviato un incendio lento.                                                                                               | Nessun ferito                                                                                                        | <a href="https://www.engadget.com/2012/08/18/fisker-completes-investigation-of-latest-karma-ev-fire-issues-c/">https://www.engadget.com/2012/08/18/fisker-completes-investigation-of-latest-karma-ev-fire-issues-c/</a>                                                                                                                                                                                                          |
| ott-12                    | New Jersey            | L'uragano Sandy ha causato l'alluvione di un porto a Newark. Le inondazioni sono durate diverse ore e, in seguito, 16 Fisker Karma e una Toyota Prius PHEV nuove di zecca sono stati distrutti da un incendio                                                                                            | 16 Fisker Karma P-HEV<br>1 Toyota Prius |                                   | Le macchine erano completamente coperte con acqua salata durante l'alluvione, una situazione estrema in cui è probabile che si verificano cortocircuiti elettrici si verificano                                                                       | 17 auto incendiate                                                                                                   | <a href="http://www.greenstart.it/lo-strano-caso-delle-fisker-karma-incendiate-durante-luragano-sandy-499">http://www.greenstart.it/lo-strano-caso-delle-fisker-karma-incendiate-durante-luragano-sandy-499</a>                                                                                                                                                                                                                  |
| mar-13                    | Giappone              | La batteria agli ioni di litio di un i-MiEV ha infiammato l'impianto di assemblaggio della batteria Mizushima mentre è collegato ad un dispositivo di prova di scarico                                                                                                                                   | Mitsubishi i-MiEV                       |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                       | Non si è verificato un danneggiamento del personale o u dell'impianto e delle attrezzature principali dell'impianto. | <a href="http://www.greenstart.it/ancora-noie-dalle-batterie-al-litio-ora-tocca-a-mitsubishi-702">http://www.greenstart.it/ancora-noie-dalle-batterie-al-litio-ora-tocca-a-mitsubishi-702</a>                                                                                                                                                                                                                                    |
| mar-13                    | Giappone              | La batteria di un Outlander P-HEV in una concessionaria a Yokohama ha surriscaldato e fuso alcune delle celle di batteria, dopo che il veicolo era stato completamente caricato per un giorno. Il conducente ha rilevato un odore, che è stato ricondotto alla fusione di parte della batteria.          | Mitsubishi Outlander                    |                                   | La fusione si è generata dal surriscaldamento di alcune delle celle della batteria.                                                                                                                                                                   | Nessun ferito                                                                                                        | <a href="http://www.greencarcongress.com/2013/03/mmc-20130327.html">http://www.greencarcongress.com/2013/03/mmc-20130327.html</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| ott-13                    | Washington            | Una Tesla Model S prende fuoco dopo aver investito un corpo metallico in autostrada                                                                                                                                                                                                                      | Tesla Model S                           | 18650 panasonic                   | Incendio innescato dopo l'urto                                                                                                                                                                                                                        | Nessun ferito                                                                                                        | <a href="http://www.veicolielettricinews.it/incendio-della-tesla-model-s-ecco-i-primi-chiarimenti/">http://www.veicolielettricinews.it/incendio-della-tesla-model-s-ecco-i-primi-chiarimenti/</a>                                                                                                                                                                                                                                |
| ott-13                    | Messico               | L'auto colpisce un albero ad un'elevata velocità e dopo si incendia                                                                                                                                                                                                                                      | Tesla Model S                           | 18650 panasonic                   | Incendio innescato dopo l'urto ad alta velocità                                                                                                                                                                                                       | Nessun ferito                                                                                                        | <a href="http://www.auto-blog.com.mx/funcionario-de-hacienda-cho-ca-e-incendia-un-tesla">http://www.auto-blog.com.mx/funcionario-de-hacienda-cho-ca-e-incendia-un-tesla</a>                                                                                                                                                                                                                                                      |
| nov-13                    | Smyrna Tennessee- USA | L'incendio è avvenuto dopo che l'auto ha colpito un gancio di traino nei pressi di una ferrovia.                                                                                                                                                                                                         | Tesla Model S                           | 18650 panasonic                   | Incendio innescato dopo l'urto ad alta velocità                                                                                                                                                                                                       | Nessun ferito                                                                                                        | <a href="http://www.greenstyle.it/auto-elettriche-una-altra-tesla-model-s-prende-fuoco-negli-usa-60453.html">http://www.greenstyle.it/auto-elettriche-una-altra-tesla-model-s-prende-fuoco-negli-usa-60453.html</a>                                                                                                                                                                                                              |
| feb-14                    | Toronto Canada        | Il fuoco si è sviluppato durante la sosta. la vettura elettrica era stata posteggiata dal proprietario a fianco di una Lexus nel proprio garage, ma sembra che non fosse collegata alla rete elettrica per la ricarica                                                                                   | Tesla Model S                           | 18650 panasonic                   | Non accertate                                                                                                                                                                                                                                         | Nessun ferito                                                                                                        | <a href="http://www.greenstyle.it/auto-elettriche-una-tesla-model-s-ha-preso-fuoco-a-toronto-73355.html">http://www.greenstyle.it/auto-elettriche-una-tesla-model-s-ha-preso-fuoco-a-toronto-73355.html</a>                                                                                                                                                                                                                      |

| DATA   | LUOGO                    | DESCRIZIONE INCIDENTE                                                                                                                                                                                                            | VEICOLO                                        | BATTERIE        | CAUSE                                                                                                                                                             | DANNI A PERSONE O COSA                                                                                                    | SITO WEB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| gen-16 | Brokelandsh eia Norvegia | L'auto prende fuoco durante la ricarica in una stazione supercharge                                                                                                                                                              | Tesla Model S                                  | 18650 panasonic | L'incendio ha avuto origine nella scatola di distribuzione elettrica contenuta nella Model S                                                                      | Nessun ferito                                                                                                             | <a href="http://www.electricmotornews.com/veicoli-ecologici/automobili/tesla-automobili/corto-circuito-in-auto-incendio-una-tesla-model-s-in-norvegia">http://www.electricmotornews.com/veicoli-ecologici/automobili/tesla-automobili/corto-circuito-in-auto-incendio-una-tesla-model-s-in-norvegia</a>                                                                                                                                                                                                                                    |
| mag-16 | Olanda                   | Lo scontro è avvenuto ad alta velocità: quando i soccorsi sono arrivati, il conducente era già deceduto. Stando ad alcune fonti, l'incendio si sarebbe propagato dai moduli usciti dal pacco batterie, danneggiato nello scontro | Tesla Model S                                  | 18650 panasonic | Incendio innescato dopo l'urto ad alta velocità                                                                                                                   | Morte del conducente                                                                                                      | <a href="https://www.quattroruote.it/news/eventi/2016/09/07/tesla_incidente_mortale_in_olanda_una_model_s_prinde_fuoco.html">https://www.quattroruote.it/news/eventi/2016/09/07/tesla_incidente_mortale_in_olanda_una_model_s_prinde_fuoco.html</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| lug-16 | Roma                     | L'auto avrebbe preso fuoco dalla parte posteriore ed è andata bruciata                                                                                                                                                           | BMW i3                                         |                 | Non accertate                                                                                                                                                     | Nessun ferito                                                                                                             | <a href="https://www.alvolante.it/news/bmw-i3-della-polizia-va-fuoco-347618">https://www.alvolante.it/news/bmw-i3-della-polizia-va-fuoco-347618</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| ago-16 | Biarritz (Francia)       | Una Model S prende fuoco durante un test drive in Francia                                                                                                                                                                        | Tesla Model S 90D                              | 18650 panasonic | L'incendio è scoppiato per via di un errato collegamento elettrico                                                                                                | Nessun ferito                                                                                                             | <a href="http://www.ilfattoquotidiano.it/2016/08/16/tesla-una-model-s-prende-fuoco-durante-un-test-drive-in-francia-illesi-i-passeggeri/2977046/">http://www.ilfattoquotidiano.it/2016/08/16/tesla-una-model-s-prende-fuoco-durante-un-test-drive-in-francia-illesi-i-passeggeri/2977046/</a><br><a href="http://www.motorionline.com/2016/09/15/tesla-model-s-90d-chiuse-le-indagini-sullincendio-avvenuto-in-francia/">http://www.motorionline.com/2016/09/15/tesla-model-s-90d-chiuse-le-indagini-sullincendio-avvenuto-in-francia/</a> |
| nov-16 | Indianapolis             | Una Tesla Model S è stata avvolta da un furioso incendio in seguito ad un terribile incidente a Indianapolis (USA).                                                                                                              | Tesla Model S                                  | 18650 panasonic | L'elettrica procedeva ad alta velocità e le fiamme si sono sprigionate in seguito all'impatto contro un albero, facendo esplodere le batterie della Tesla Model S | 2 morti. Il conducente (una donna di 27 anni morta sul colpo) che il passeggero (un uomo di 44 anni deceduto in ospedale) | <a href="http://motorblog.net/auto/10623/tesla-model-s-due-persone-uccise-un-violento-incidente">http://motorblog.net/auto/10623/tesla-model-s-due-persone-uccise-un-violento-incidente</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| feb-17 | Guangzhou (Cina)         | Un Modello X della tesla, con a bordo tre persone, viaggiava a 75 km/h sull'autostrada di Guangzhou (Cina). L'auto si è schiantata contro un guard rail e ha perso il controllo. Dopo l'impatto l'elettrica si è incendiata.     | Tesla SUV Model X                              |                 | L'incendio si è verificato dopo la collisione                                                                                                                     | 3 persone sono rimaste ferite                                                                                             | <a href="http://www.bestchinanews.com/Science-Technology/9525.html">http://www.bestchinanews.com/Science-Technology/9525.html</a><br><a href="http://www.bestchinanews.com/1ydzxing/0GBCKVJp2P">http://www.bestchinanews.com/1ydzxing/0GBCKVJp2P</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| mar-17 | Shangai (Cina)           | Un modello S di Tesla preso fuoco a Jinqiao in una stazione di ricarica veloce a Shanghai, in Cina. Il veicolo ha preso fuoco quando non era collegato alla colonnina di ricarica.                                               | Tesla Model S P85                              | 18650 panasonic | Non è chiaro se l'incendio abbia avuto origine dal veicolo stesso o da qualcosa all'interno della cabina                                                          | Nessun ferito                                                                                                             | <a href="https://electrek.co/2017/03/04/tesla-model-s-fire-shanghai/">https://electrek.co/2017/03/04/tesla-model-s-fire-shanghai/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| giu-17 | Svizzera                 | L'auto sportiva si è incendiata dopo l'uscita fuori strada durante una registrazione di una scena di un film                                                                                                                     | Rimac Concept One (vettura sportiva elettrica) |                 | Incendio dopo capovolgimento dell'auto                                                                                                                            | Il conducente si è ferito                                                                                                 | <a href="http://www.wheels24.co.za/Fuel_Focus/richard-hammonds-crash-why-did-his-ev-catch-fire-20170614">http://www.wheels24.co.za/Fuel_Focus/richard-hammonds-crash-why-did-his-ev-catch-fire-20170614</a><br><a href="https://www.youtube.com/watch?v=hc9yul_TtU">https://www.youtube.com/watch?v=hc9yul_TtU</a>                                                                                                                                                                                                                         |
| ott-17 | Austria                  | Una donna di 19 anni alla guida di una Tesla Model S sulla Arlberg Expressway si è schiantata contro una barriera di cemento armato ad alta velocità                                                                             | Tesla Model S                                  | 18650 panasonic | Un incendio apparentemente iniziato nella batteria nella parte anteriore del veicolo in cui ha colpito il muro di cemento.                                        | Il conducente si è leggermente ferito                                                                                     | <a href="https://electrek.co/2017/10/18/tesla-model-s-fire-high-speed-crash-video-impressive-operation/">https://electrek.co/2017/10/18/tesla-model-s-fire-high-speed-crash-video-impressive-operation/</a><br><a href="https://www.facebook.com/802617813183804/videos/1297901856988728/">https://www.facebook.com/802617813183804/videos/1297901856988728/</a>                                                                                                                                                                           |

### Data base Incidenti e-bike

| DATA   | LUOGO                      | DESCRIZIONE INCIDENTE                                                                                                                                                                                                                                       | CAUSE                                                                               | DANNI A PERSONE O COSE                                                                         | SITI WEB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| mar-17 | Newport Beach (California) | Un uomo e una donna avevano parcheggiato le loro biciclette elettriche appena acquistate sulla spiaggia e stavano sedute accanto a loro quando la batteria in una delle bici è esplosa e poi si è incendiata. Le fiamme hanno investito anche l'altra bici. | Malfunzionamento della batteria                                                     | Nessun ferito, una bici distrutta e un'altra danneggiata                                       | <a href="http://www.ocregister.com/2017/03/21/electric-bike-catches-fire-in-newport-beach/">http://www.ocregister.com/2017/03/21/electric-bike-catches-fire-in-newport-beach/</a><br><a href="http://www.ocregister.com/2017/03/21/electric-bike-catches-fire-in-newport-beach/">http://www.ocregister.com/2017/03/21/electric-bike-catches-fire-in-newport-beach/</a>                                                                         |
| ago-17 | Bolzano (Via della Vigna)  | L'incendio di una e-bike, durante la ricarica, sviluppatosi nell'atrio ha invaso di fumo tutto l'appartamento, impedendo alle due persone anziani di fuggire.                                                                                               | L'incendio è stato provocato da un difetto del caricabatterie di una bici elettrica | Due persone hanno riportato una lieve intossicazione mentre l'appartamento è stato danneggiato | <a href="https://www.pressreader.com/italy/corriere-dellalto-adige/20170819/281509341300981">https://www.pressreader.com/italy/corriere-dellalto-adige/20170819/281509341300981</a><br><a href="http://www.provincia.bz.it/servizi/0antincendi/service/interventi.asp?einsatz action=4&amp;einsatz article id=595424">http://www.provincia.bz.it/servizi/0antincendi/service/interventi.asp?einsatz action=4&amp;einsatz article id=595424</a> |
| ago-17 | Bolzano (Via Bari)         | Furioso incendio in un'abitazione di Bolzano, all'ultimo piano di una palazzina. L'edificio è stato gravemente compromesso dalle fiamme che si sarebbero diffuse a partire da un dispositivo per caricare le batterie di una bicicletta elettrica.          | Incendio innescato durante la ricarica di una e-bike                                | Nessun ferito ma l'appartamento è stato completamente distrutto                                | <a href="http://www.ildolomiti.it/cronaca/bolzano-un-appartamento-va-fuoco-colpa-della-batteria-di-una-e-bike">http://www.ildolomiti.it/cronaca/bolzano-un-appartamento-va-fuoco-colpa-della-batteria-di-una-e-bike</a>                                                                                                                                                                                                                        |
| set-17 | Porto d'Ascoli             | E' stato causato da un malfunzionamento all'impianto elettrico di una bici alimentata a batteria il principio di incendio che ha interessato all'interno di un garage a Porto d'Ascoli.                                                                     | Malfunzionamento all'impianto elettrico di una e-bike                               | Nessun ferito                                                                                  | <a href="https://www.lanuovaviviera.it/categoria/cronaca/cortocircuito-da-una-bici-elettrica-fuoco-in-un-garage-a-porto-dascoli/">https://www.lanuovaviviera.it/categoria/cronaca/cortocircuito-da-una-bici-elettrica-fuoco-in-un-garage-a-porto-dascoli/</a>                                                                                                                                                                                  |

| Data base Incidenti e-bike |                            |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DATA                       | LUOGO                      | DESCRIZIONE INCIDENTE                                                                                                                                                                                                                                       | CAUSE                                                                               | DANNI A PERSONE O COSE                                                                         | SITI WEB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| mar-17                     | Newport Beach (California) | Un uomo e una donna avevano parcheggiato le loro biciclette elettriche appena acquistate sulla spiaggia e stavano sedute accanto a loro quando la batteria in una delle bici è esplosa e poi si è incendiata. Le fiamme hanno investito anche l'altra bici. | Malunzionamento della batteria                                                      | Nessun ferito, una bici distrutta e un'altra danneggiata                                       | <a href="http://www.ocregister.com/2017/03/21/electric-bike-catches-fire-in-newport-beach/">http://www.ocregister.com/2017/03/21/electric-bike-catches-fire-in-newport-beach/</a><br><br><a href="http://www.ocregister.com/2017/03/21/electric-bike-catches-fire-in-newport-beach/">http://www.ocregister.com/2017/03/21/electric-bike-catches-fire-in-newport-beach/</a>               |
| ago-17                     | Bolzano (Via della Vigna)  | L'incendio di una e-bike, durante la ricarica, sviluppatosi nell'atrio ha invaso di fumo tutto l'appartamento, impedendo alle due persone anziani di fuggire.                                                                                               | L'incendio è stato provocato da un difetto del caricabatterie di una bici elettrica | Due persone hanno riportato una lieve intossicazione mentre l'appartamento è stato danneggiato | <a href="https://www.pressreader.com/italy/corriere-dellalto-adige/20170819/281509341300981">https://www.pressreader.com/italy/corriere-dellalto-adige/20170819/281509341300981</a><br><br><a href="http://www.provincia.bz.it/servizi/0antincendi/service/interventi.asp?einsatz_id=595424">http://www.provincia.bz.it/servizi/0antincendi/service/interventi.asp?einsatz_id=595424</a> |
| ago-17                     | Bolzano (Via Bari)         | Furioso incendio in un'abitazione di Bolzano, all'ultimo piano di una palazzina. L'edificio è stato gravemente compromesso dalle fiamme che si sarebbero diffuse a partire da un dispositivo per caricare le batterie di una bicicletta elettrica.          | Incendio innescato durante la ricarica di una e-bike                                | Nessun ferito ma l'appartamento è stato completamente distrutto                                | <a href="http://www.ildolomiti.it/cronaca/bolzano-un-appartamento-va-fuoco-colpa-della-batteria-di-una-e-bike">http://www.ildolomiti.it/cronaca/bolzano-un-appartamento-va-fuoco-colpa-della-batteria-di-una-e-bike</a>                                                                                                                                                                  |
| set-17                     | Porto d'Ascoli             | E' stato causato da un malfunzionamento all'impianto elettrico di una bici alimentata a batteria il principio di incendio che ha interessato all'interno di un garage a Porto d'Ascoli.                                                                     | Malfunzionamento all'impianto elettrico di una e-bike                               | Nessun ferito                                                                                  | <a href="https://www.lanuovariviera.it/categoria/cronaca/cortocircuito-da-una-bici-elettrica-fuoco-in-un-garage-a-porto-dascoli/">https://www.lanuovariviera.it/categoria/cronaca/cortocircuito-da-una-bici-elettrica-fuoco-in-un-garage-a-porto-dascoli/</a>                                                                                                                            |