



Problematiche di safety e contesto normativo

**D.V. Vincenzo Puccia
Comando VV.F. Padova**

Parleremo di...

1. Tipologie di autoveicoli elettrici
2. Modalità di ricarica
3. Struttura EV
4. Casistica incidentale
5. Cause di guasto delle batterie
6. Contesto normativo
7. Rischi per i soccorritori
8. Buone pratiche e sperimentazione



1.

Tipologie di autoveicoli elettrici

Le **autovetture elettriche** sono attualmente considerate una novità, ma in realtà non è affatto così.

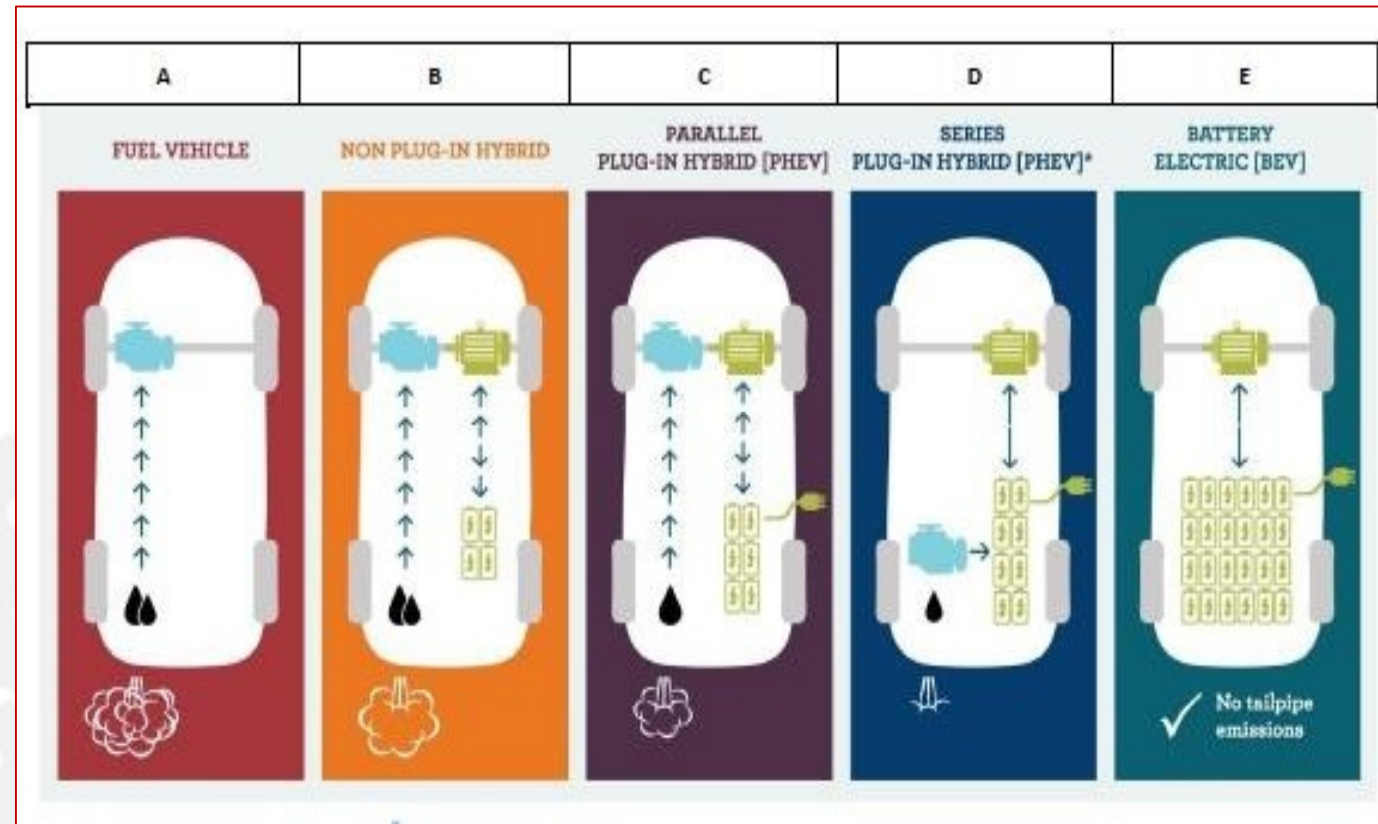
Le prime automobili erano elettriche. Fra il 1830 ed il 1840 vennero presentate alcuni modelli di “carrozze elettriche”, quindi ben una cinquantina di anni prima che nel 1886 Karl Benz presentasse la prima automobile dotata di motore a combustione interna. La gara per raggiungere i 100 km/h fu vinta nel 1899 proprio da una automobile elettrica, la *Jamais Contente*, dotata di una bizzarra carrozzeria aerodinamica.



Foto da G. Zaccarelli 2017

Due macrocategorie funzionali:

- **completamente elettrici** (*Full Electric*) (E)
- **Ibridi** (B,C,D)



Fonte: https://www.leadingthecharge.org.nz/nz_electric_car_guide

In celeste: motore a combustione interna; **in verde:** motore elettrico e sistema di accumulo elettrochimico.

- A. veicolo a motore endotermico e combustibili tradizionali
- B. veicolo ibrido autoricaricabile (HEV)
- C. veicolo ibrido plug-in (PHEV) (ricarica esterna) con configurazione in parallelo
- D. veicolo ibrido plug-in (PHEV) (ricarica esterna) con configurazione in serie
- E. Veicolo *full electric* (BEV) a ricarica esterna

In merito alle batterie (*Rechargeble Electric Energy Storage System - REESS*), le differenze tra veicoli *Full Electric* e *Hybrid*, sono:

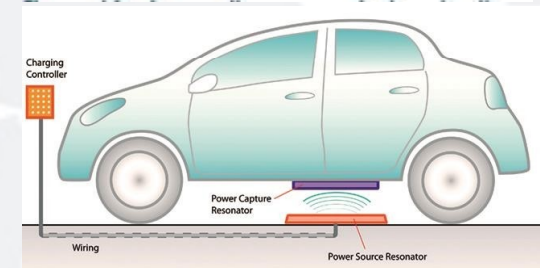
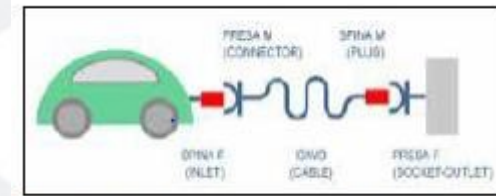
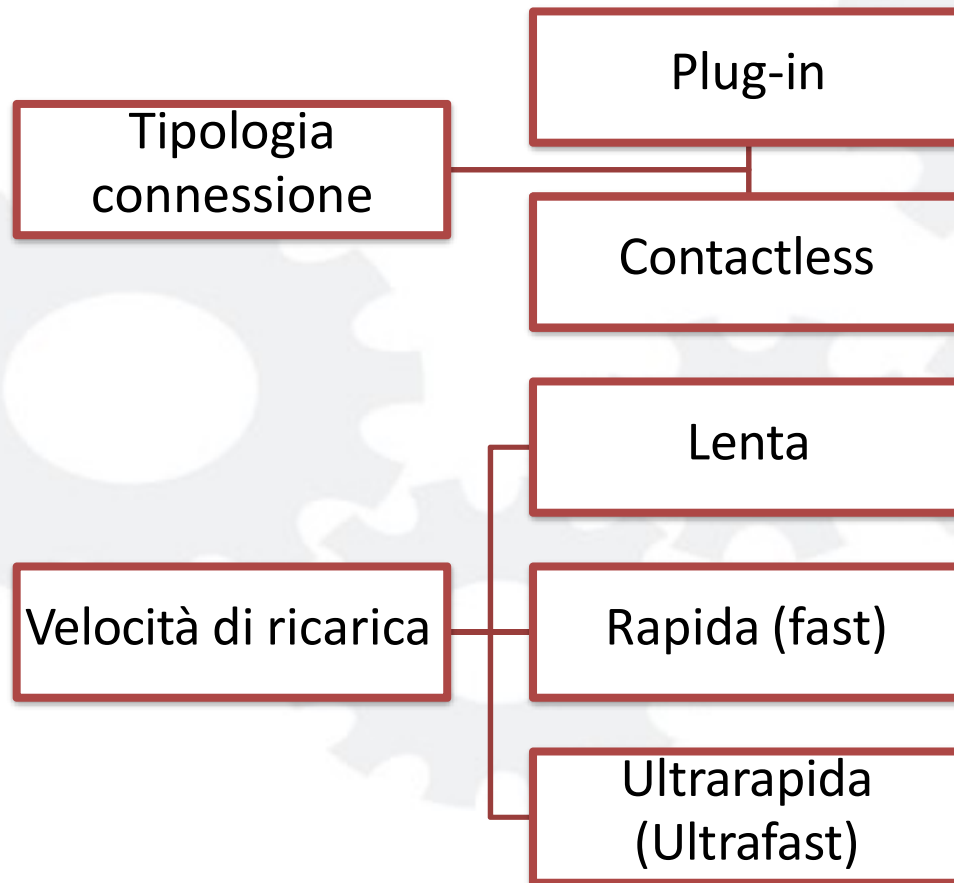
- la capacità
- la potenza elettrica
- la quantità di materiale attivo presente

2.

Modalità di ricarica



Le tipologie di ricarica possono essere classificate secondo la tipologia di connessione e la velocità con cui avviene



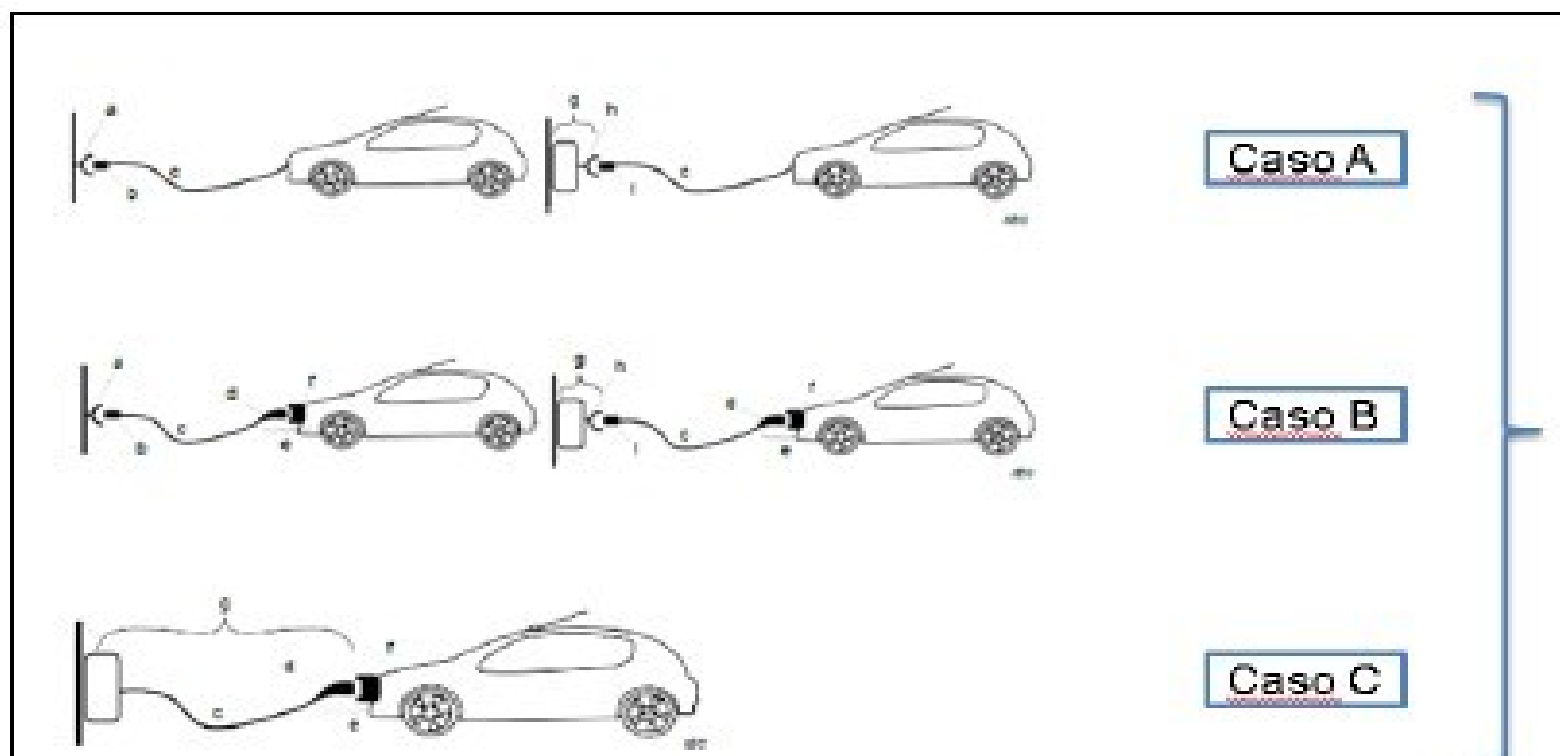
Ricarica Plug-in

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

A. il cavo è collegato stabilmente al veicolo: il veicolo elettrico è connesso al punto di carica utilizzando un cavo di alimentazione e una spina permanentemente fissati al veicolo stesso;

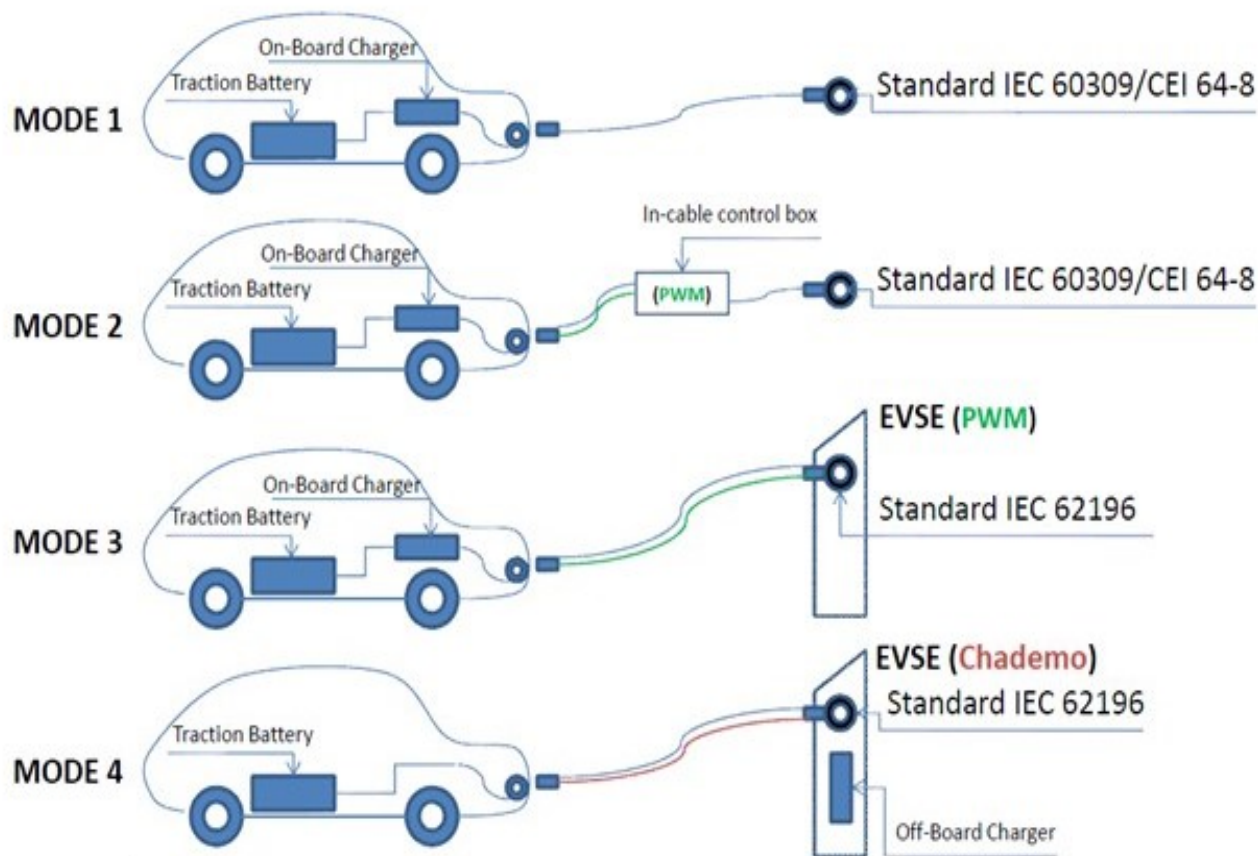
B. il cavo è scollegato sia dal veicolo che dalla colonnina: il veicolo elettrico è connesso al punto di carica utilizzando un cavo di alimentazione rimovibile provvisto di connettore mobile e spina per il collegamento alla presa di alimentazione in AC.;

C. il cavo è collegato stabilmente alla colonnina di ricarica: il veicolo elettrico è connesso al punto di carica utilizzando un cavo di alimentazione e un connettore mobile permanentemente fissati all'apparecchiatura di alimentazione.



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

Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4
	Modo 2: Ricarica lenta (6-8 h) a 16 A (corrente alternata)		



In Italia il Modo 1 e 2 non sono permessi in ambiente pubblico

Ambiente strettamente privato

In Italia il Modo 3 e 4 sono i soli permessi in ambiente pubblico

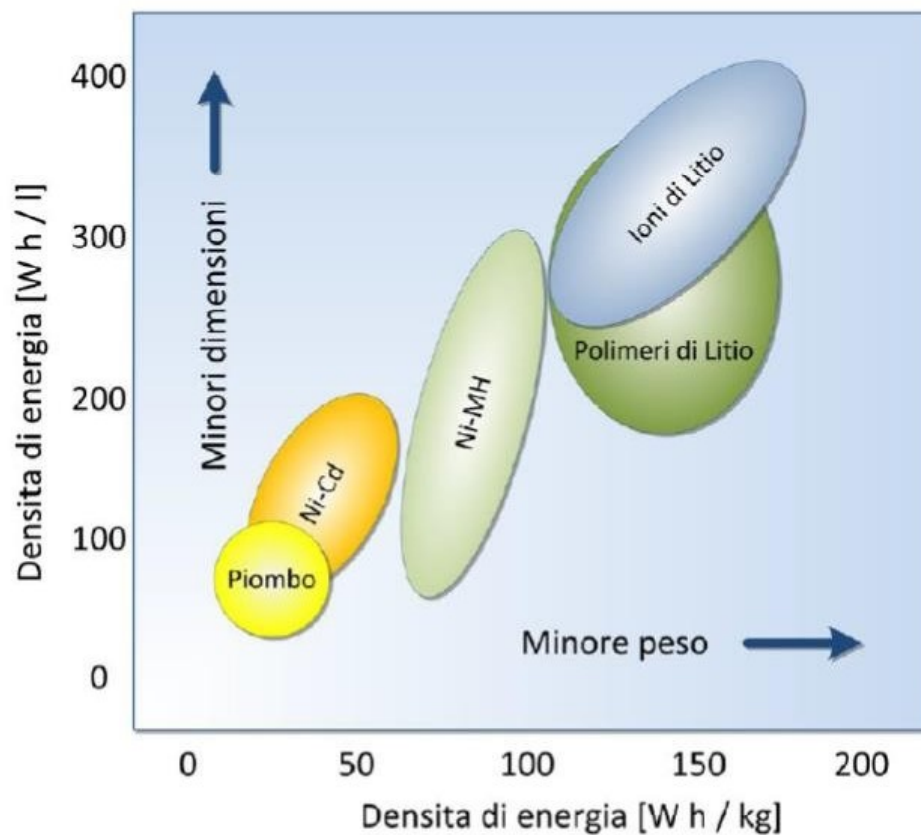
3.

Struttura BESS & EV



Perchè usiamo batterie Li-Ion?

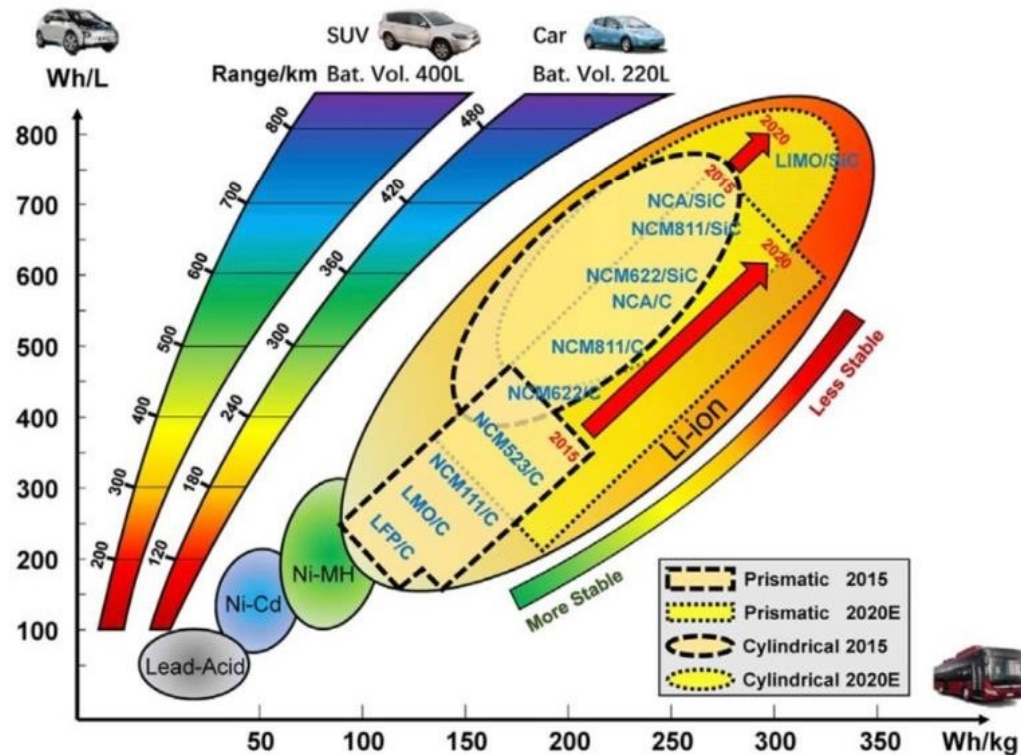
Offrono una energia specifica maggiore rispetto alle altre tipologie



[*] Images from <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>

Perchè usiamo batterie Li-Ion?

Offrono una energia specifica maggiore rispetto alle altre tipologie



[*] Images from "A review of thermal runaway prevention and mitigation strategies for lithium-ion batteries" S.Martin&A. Chaab Journal Energy Conversion and Management

Perchè usiamo batterie Li-Ion?

Offrono una energia specifica maggiore rispetto alle altre tipologie



[] Fire protection for Li-ion battery energy storage systems – Siemens White Paper 2021*

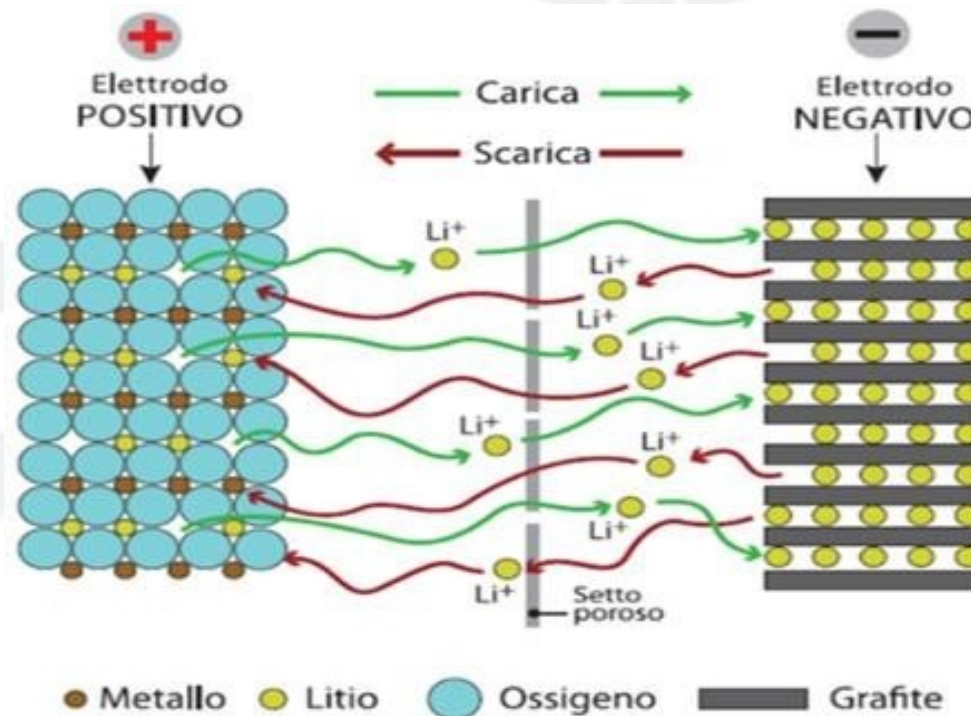
Una prima distinzione riguardo alle celle è la seguente:

-PRIMARIE: sono sistemi elettrochimici monouso che non possono (anzi **NON DEVONO**) essere ricaricati;

-SECONDARIE: dopo la scarica, possono essere ricaricate facendovi passare corrente in direzione opposta alla corrente di scarica. Si tratta in pratica di sistemi in grado di immagazzinare energia “a comando” e questo le eleva a rango di “accumulatori” veri e propri (bidirezionali);

Struttura base di una cella litio-ione:

- Anodo
- Catodo
- Elettrolita
- Setto poroso
- Collettori di corrente
- Altri componenti



È buona norma conoscere inoltre ogni componente della singola cella per permettere una trattazione più fluida successivamente dei temi oggetto di questa tesina (la descrizione è fatta considerando la fase di scarica):

- **ANODO**: elettrodo **NEGATIVO**: è l'elettrodo che si ossida, che perde elettroni fornendoli al circuito esterno;

- **CATODO**: elettrodo **POSITIVO**: è l'elettrodo che si riduce, ricevendo elettroni dal circuito esterno;

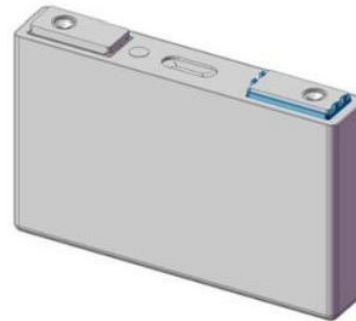
- **ELETTROLITA**: è un conduttore ionico (va sottolineato ionico e non elettronico) che costituisce il mezzo per il trasferimento di carica (sottoforma di ioni) tra anodo e catodo, permettendo così la chiusura del circuito altrimenti impossibile da ottenersi;

- **COMPONENTI VARI**: separatori, griglie, conduttori elettronici, *venting devices*, *collettori*, *involucri*, contenitori, ecc. Spesso sottovalutati, giocano ruoli chiave negli aspetti di *safety e gestione delle celle*.

- BESS

- Il contenitore (*Housing*), nelle sue parti: superiore, inferiore
- Il connettore esterno, applicato al contenitore
- La batteria, costituita da più moduli; a loro volta costituiti da celle
- Il sistema elettronico di gestione della batteria: hardware e software
- Il sistema di raffreddamento (*cooling subsystem*)
- Componenti meccanici ed elettrici, inclusi cavi di alta tensione

- Ogni costruttore opera scelte proprie, anche rispetto al posizionamento all'interno dell'EV
- Le celle possono essere: cilindriche, prismatiche o *pouch* (Ion-Li e LiPo)



Package delle celle al litio

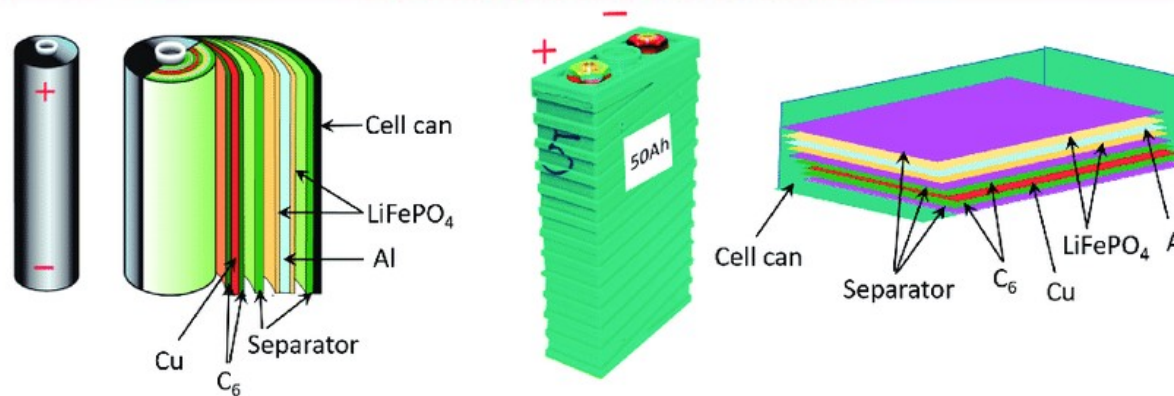
Una importante distinzione, sulle celle attualmente in commercio basate su tecnologia litio, può essere fatta a livello di package.

Cilindriche: sono costituite da celle cilindriche, di svariate dimensioni. Sono molto diffuse in pacchi per le batterie dei computer portatili. Difficoltosa dissipazione termica.

Prismatiche: sono costituite da un contenitore prismatico di alluminio o di acciaio sottile che può essere ricoperto in materiale plastico. La costruzione permette alta densità di energia, buona dissipazione del calore, ottimo impacchettamento e sfruttamento dello spazio.

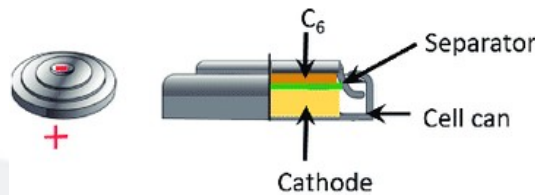
Pouch (a busta): le celle sottili fanno il miglior uso dello spazio. Non hanno contenitore rigido, il peso è molto ridotto. Alternativa a quelle prismatiche, specialmente per le auto elettriche. L'elettrolita è un polimero, per cui non ci sono perdite di liquidi. Il raffreddamento è facile in virtù delle ampie superfici. Va comunque evidenziata la bassa resistenza meccanica, che richiede un sistema di impacchettamento idoneo.



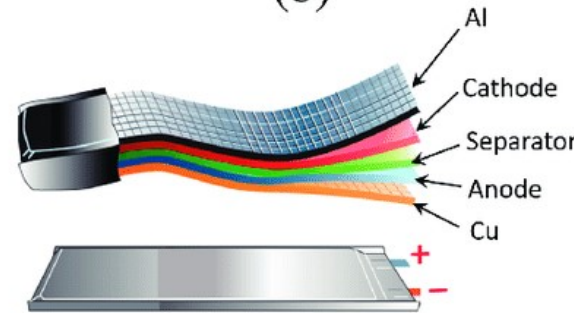


Cylindrical

Prismatic

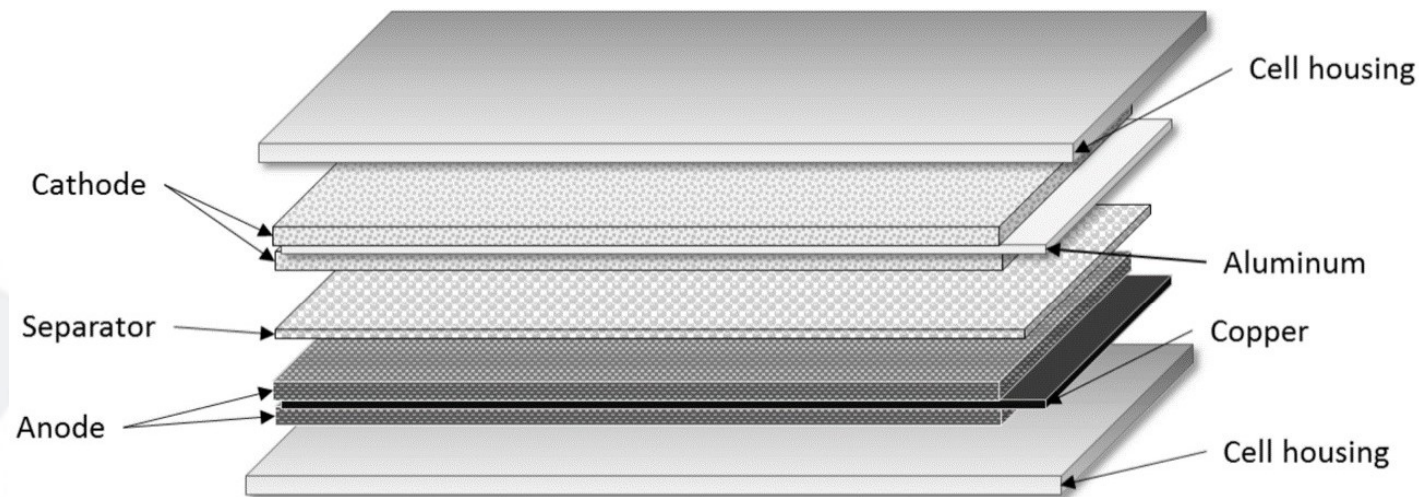


Button



Pouch

Regardless of the geometry, the internal composition does not change: anode on the metal collector, cathode on the metal collector, plastic separator and electrolytic solution.



Anode: copper current collector coated with graphite.

Cathode: aluminum current collector coated with transition metal oxides.

Membrane: porous polyethylene (PE) or polypropylene (PP) sheets.

It acts as an electrical insulation layer between the electrodes while still allowing the passage of ions during charging and discharging.

Batterie al Litio

In una **batteria agli ioni di litio**, il **catodo** è costituito da un **ossido di litio metallico**, come LiCoO_2 o LiMn_2O_4 per esempio, e l'anodo è realizzato in carbonio grafítico. L'elettrolita è normalmente una miscela liquida di solventi organici contenente sali di litio disciolti, come LiPF_6 . Nel dettaglio alcune tecnologie sono le seguenti:

- **Litio - Cobalto (LiCoO_2)**: è il tipo più diffuso per la costruzione del catodo. Viene principalmente usato per i **computer portatili** e per i **cellulari**. Soffre ancora di **problemi di riscaldamento**, come pure di qualche **instabilità in caso di perforazione del contenitore**. Per questi motivi è il meno adottato per la trazione elettrica. Ovviamente il cobalto utilizzato è l'isotopo non radioattivo;
- **Litio-Ferro-Fosfato (LiFePO_4)**: possiede una **elevata stabilità termica**. Il litio fosfato è incombustibile e sotto corto circuito non si decompone. Permette una vita ciclica alta (2000-3000 cicli). Queste batterie hanno energia specifica più bassa di quelle Litio-Cobalto, ma potenza specifica superiore. Sono **preferite nell'uso della trazione elettrica per sicurezza, costo e tossicità**;

Batterie al Litio

- **Litio-Ossido di Manganese (LiMn_2O_4):** offre una **alta tensione di cella e stabilità termica**, ma una **energia specifica inferiore alle altre tecnologie**. Il costo è basso e i materiali non sono tossici. Buone prestazioni ad alta temperatura;
- **Litio-Nichel-Cobalto-Manganese ($\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ - NCM):** rappresentano un **buon compromesso tra le varie caratteristiche** delle tecnologie;
- **Litio-Ossido di Titanio ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ - LTO):** queste celle rimpiazzano l'anodo di grafite con uno di titanato di litio. Questo è in genere usato in accoppiamento con un catodo a base di manganese. Offrono caratteristiche elettriche soddisfacenti ed **evitano i pericoli di combustione della grafite**;

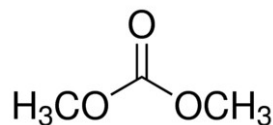
La variante **litio-polimero (Li-Po)** è **costituita da materiali compositi litio-polimero, ottenuti** inglobando soluzioni di sali di litio in opportune matrici polimeriche. Il suo grande vantaggio è dato dalla possibilità di creare facilmente batterie di qualsiasi forma e dimensione e, fatto non secondario, più sicure, in quanto l'elettrolita allo stato solido in caso di rottura accidentale delle batterie non fuoriesce.

Le batterie Li-Po presentano densità energetica maggiore del 20% rispetto alle Li-Ion, ma un ciclo di vita inferiore.

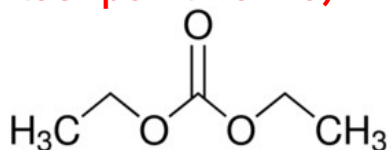
Proprietà e caratteristiche delle Li-ion batteries

Name	Abb.	Cobalt content	Market share	Properties and applications
Lithium Cobalt Oxide	LCO	60%	21%	High capacity. Mobile phones, tablets, laptops, cameras
Lithium Manganese Oxide	LMO	no Co	8%	Safest; lower capacity than LCO but specific power and long life. Power tools, e-bikes, EVs, medical devices.
Lithium Iron Phosphate	LFP	no Co	36%	
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide	NMC	10-30%	26%	
Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide	NCA	10-15%	9%	High capacity; gaining importance in electric powertrain and grid storage; industrial applications, medical devices

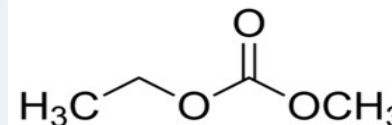
Proprietà e caratteristiche delle Li-ion batteries



Dimethyl carbonate
(DMC)
(Flashpoint=18° C)



Diethyl carbonate (DEC)
(Flashpoint=33° C)



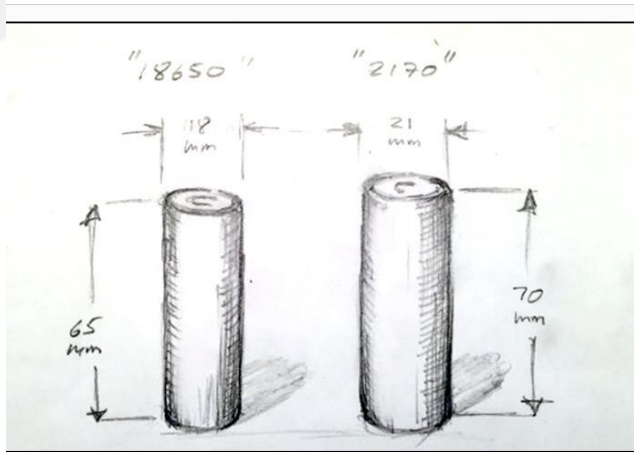
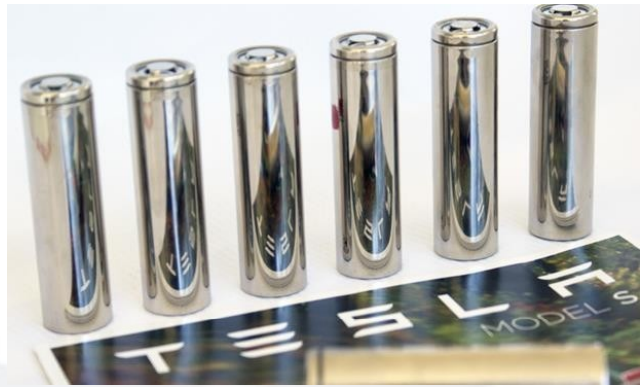
Ethylmethyl carbonate
(EMC)
(Flashpoint=24° C)



Ethylen carbonate
(EC)
(Flashpoint=150° C)

L'elettrolita funge da mezzo in cui gli ioni di litio possono fluire liberamente tra gli elettrodi. È costituito da un sale di litio (litio esafluorofosfato, LiPF₆) sospeso in un solvente organico. Il punto di infiammabilità di un combustibile è la temperatura più bassa alla quale si formano vapori in quantità tali che in presenza di ossigeno (aria) e innesco si verifica un incendio o un'esplosione.

Dalla cella alla batteria...





2010-12

TESLA



Roadster

Li-Ion
See pages 19, 22

(continued)

EXTRICATION INFORMATION



2012-14

ELECTRIC



(continued)

EXTRICATION INFORMATION



advanced automotive battery conference

High Voltage Battery Pack



AABC 2013, 3/7/2013

Copyright 2013 Advanced Automotive Batteries

© 2013 Advanced Automotive Batteries

Image by FCA © FCA reserves all rights



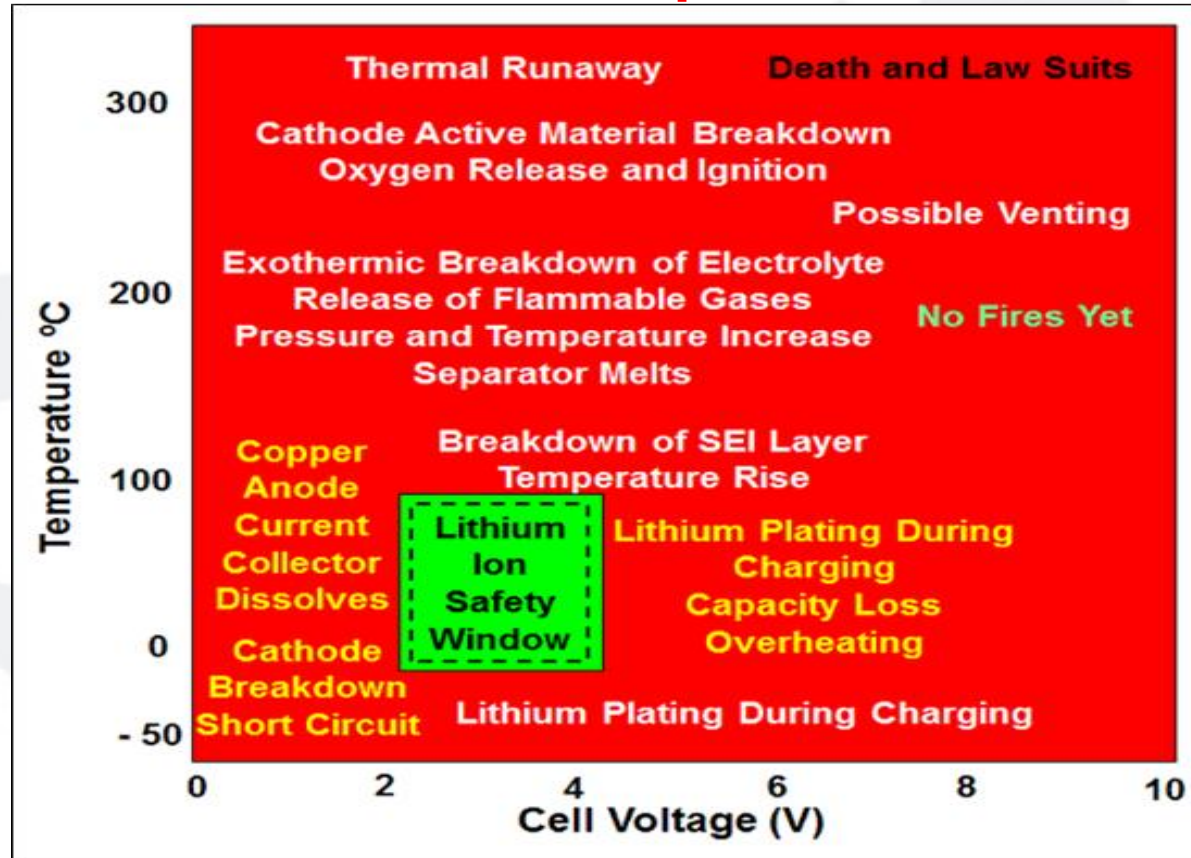
BMW i3 high voltage battery



Images by BMW © BMW reserves all rights

<https://www.press.bmwgroup.com>

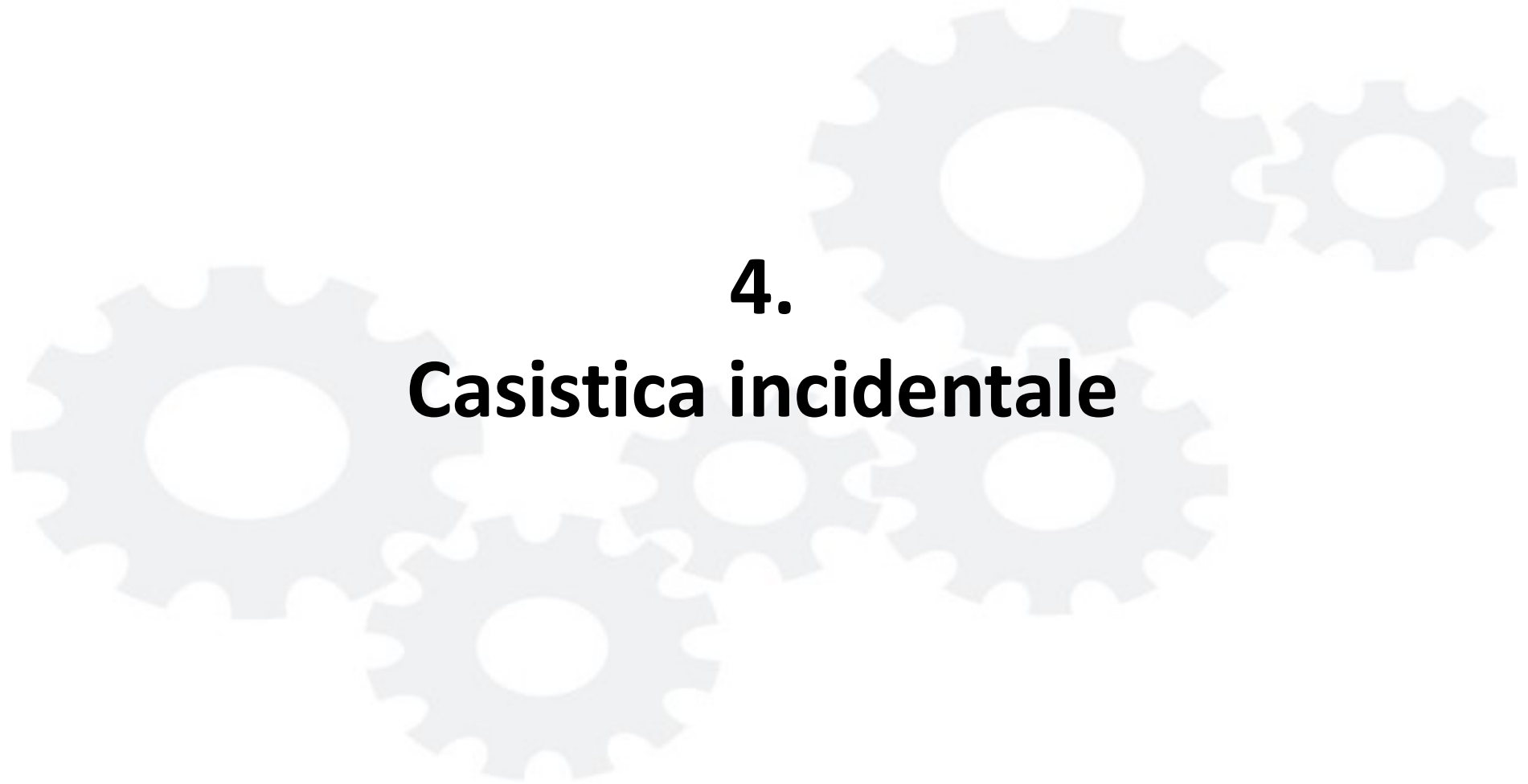
Rischio di incendio e di esplosione – finestra operativa

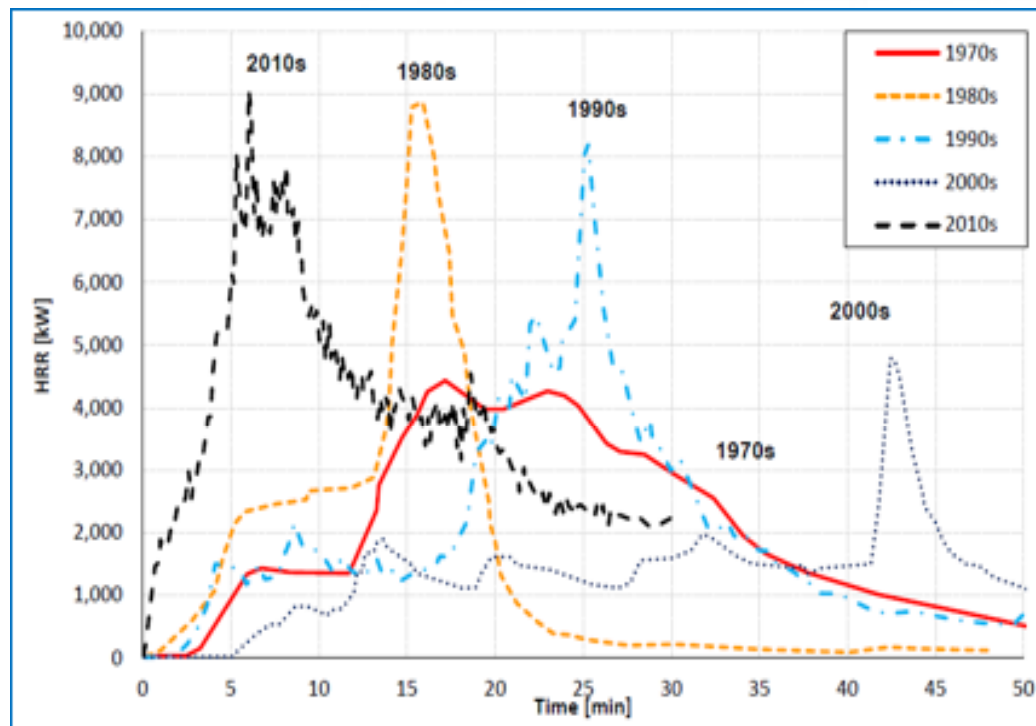


The performance of the lithium-ion cells depends both on the temperature and on the operating voltage, so much so that an "operating window" can be identified, i.e. a temperature-voltage field for correct operation, outside which a cell can be irreversibly damaged due to unwanted chemical reactions (T tra 0 e 60° C e V tra 2 e 4 V).

4.

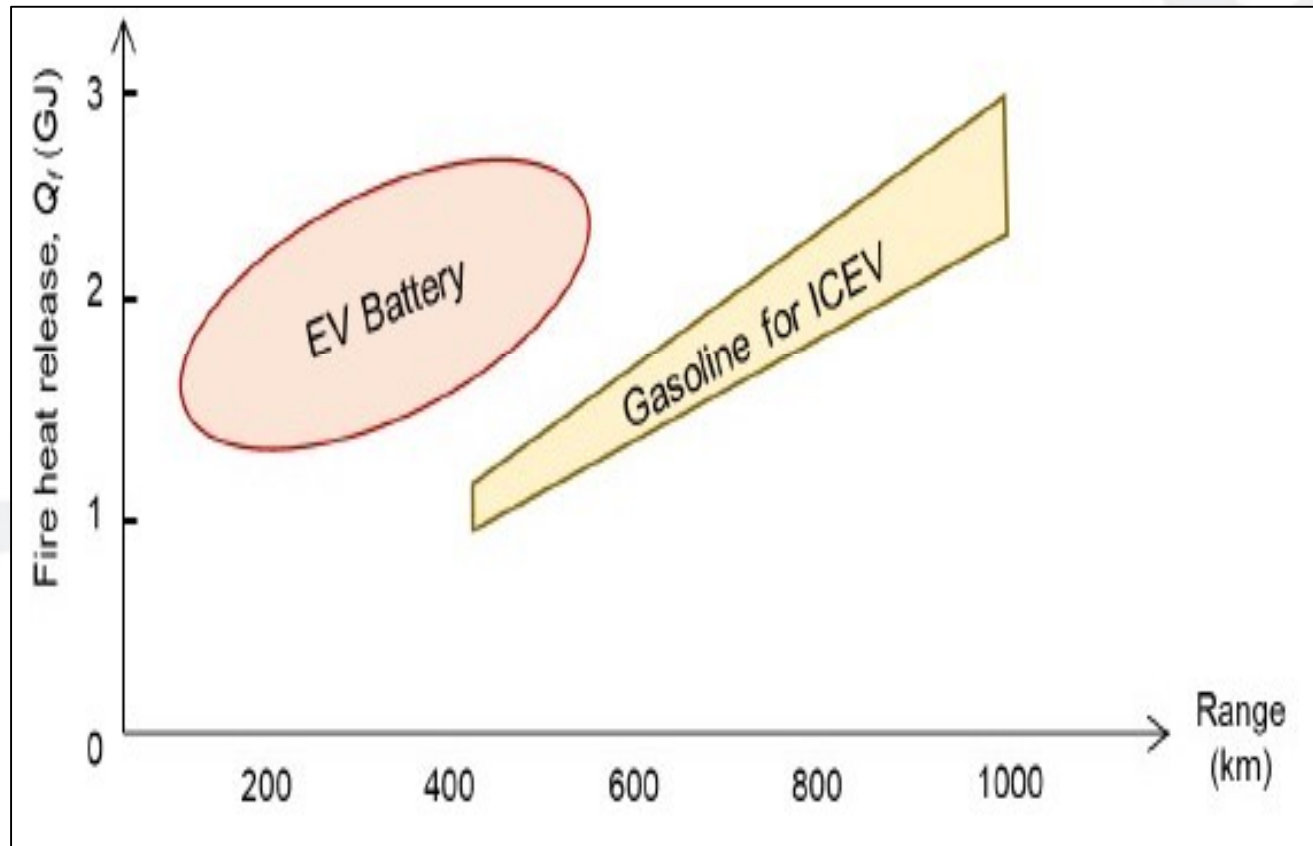
Casistica incidentale





Curve HRR tipiche per automobili, suddivise per ogni decade (Boehmer, Klassen, Olenick, 2020)

- negli ultimi anni i veicoli mediamente contengono il 91% in più di materiali plastici in massa rispetto agli anni '70 e quindi un'energia complessiva maggiore;
- i materiali plastici contenuti nelle moderne vetture conducono ad una più facile ignizione ed una più veloce propagazione delle fiamme;
- i serbatoi plastici del carburante iniziano a perdere il contenuto dopo circa 2-5 minuti di esposizione all'incendio;
- i veicoli elettrici non hanno fatto riscontrare incendi più pesanti rispetto ai veicoli a carburante ma il pacco batterie brucia diversamente dal serbatoio carburante e può essere fonte di criticità e pericolo per i soccorritori. È necessaria una grande quantità di acqua e molto tempo per raffreddare le batterie



Quantità di energia rilasciata in un incendio di veicoli EV e ICEV rapportata all'autonomia del veicolo [Sun, 2020]

Dal confronto tra le quantità di calore rilasciate dall'incendio del combustibile rispetto all'autonomia (km percorsi con un "pieno") tra EV (dimensione della batteria) e veicoli convenzionali (dimensioni del serbatoio del combustibile) si nota che nel caso di veicoli con circa 450 km di autonomia, la quantità di calore sviluppato dall'incendio di un EV è almeno il doppio di quella di un ICEV

Analisi degli incidenti

Incendi di auto tra 2011-2020

11 after collision

7 at charging station

5 parking area

2 during driving

1 after complete charge

1 after crash test

1 during test drive

1 during exhaust test

11 USA

11 Europe

4 China

2 Japan

1 Canada

1 Mexico

1 Thailandia

CarNewsChina, nel primo trimestre del 2022 sono stati registrati 640 incendi di auto elettriche.

Turkey, December 4, 2016



Norway, January 1, 2016



Rome, July 2016



- Veicoli in sosta all'aperto o in garage
- In sosta, dopo l'impiego
- Durante la ricarica (normale, contactless e ultrarapida)
- Nella catena logistica: trasporto stoccaggio presso interporti
- Eventi meteo avversi

- Utilizzare sempre il caricabatteria originale (altri caricatori potrebbero essere più potenti e caricare la batteria troppo velocemente o con la tensione errata)
- Non lasciare mai le batterie vicino ad oggetti combustibili
- Non lasciare mai le batterie incustodite durante la ricarica
- Non tentare mai di caricare una batteria deformata o danneggiata
- Smaltire le batterie rotte in un deposito di riciclaggio. Non cercare mai di ripararli o di armeggiare con loro!
- Assicurati di avere a portata di mano un rilevatore di fumo funzionante e un estintore
- Se una batteria prende fuoco o inizia a comportarsi in modo strano, non toccarla poiché le batterie agli ioni di litio possono surriscaldarsi, emettere fumo tossico e in alcuni casi possono esplodere
- Se possibile, caricare oggetti più grandi come e-scooter o e-bike all'esterno o in un'area ben ventilata

Date	Location	Vehicle	Incident	Comments
Jan [8]	Chongqing, China	Tesla, BEV	Fire in the parked vehicle	Spontaneous ignition
15 Mar [9]	Bangkok, Thailand	Porsche Panamera, PHEV	Fire while being charged	Car's charging cable plugged to socket in the living room without built-in safety systems, and fire spread to the house
18 Mar [10]	Catalonia, Spain	BMW i3 REx, PHEV	Fire in the parked vehicle	Spontaneous ignition
23 Mar [7]	California, USA	Tesla Model X, BEV	Post-crash fire	Fire extinguished on the scene but reignited twice at tow yard 5 days later
May [11]	Anhui, China	Other, BEV	Fire while being charged	
May [11]	Unknown	Yiema, BEV	Fire while being charged	
8 May [12]	Florida, USA	Tesla Model S, BEV	Post-crash fire	Fire initially extinguished quickly but reignited during loading on tow truck and once again at the tow yard.
15 May [13]	Ticino, Switzerland	Tesla, BEV	Post-crash fire	Vehicle hit a barrier, turned over and burst into flames.
20 May [11]	Hangzhou, China	Jiangling, BEV	Fire while being charged	
21 May [11]	Hubei, China	Zhong Tai, BEV	Fire while being driven	Self-ignited without traffic accident
28 May [11]	Shenzhen, China	Other, BEV	Fire while being charged	
4 Jun [11]	Shandong, China	Other, BEV	Fire while being driven	Self-ignited without traffic accident
5 Jun [11]	Beijing, China	Other, BEV	Fire while being charged	
15 Jun [14]	California, USA	Tesla Model S, BEV	Fire while being driven	Fire extinguished on the scene without reignition
12 Dec [15]	Gelderland, Netherlands	Jaguar I-Pace, BEV	Fire in the parked vehicle	The vehicle front was burned but no involvement of the battery pack.
18 Dec [16]	California, USA	Tesla Model S	Fire in the parked vehicle	Fire started at workshop parking lot, and the fire reignited twice.

P. Sun, R. Bisschop, H. Niu, X. Huang (2020) A Review of Battery Fires in Electric Vehicles,*
<https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3>



13/07/2016 - Roma, Incendio BMW i3 durante la marcia del veicolo



01/01/2016 - Incendio Tesla durante la ricarica veloce



18/10/2017 Austria – Incendio Tesla Model S



21/04/2019.
Three-year-old
Model S burst into
flames 30 minutes
after the owner
parked it for the
night



UK bus elettrico nella città di York, 2015

2 giugno 2019. Anversa – Belgio. Tesla prende fuoco durante la ricarica ad un supercharger Tesla



© De Roeck - De supercharger smolt door de hitte.



© Marc De Roeck - De Tesla blijft de hele nacht in bad liggen om er zeker van te zijn dat het vuur niet opnieuw opflakert.



Cargo ship carrying 2,000 cars catches fire in North Sea

La presenza di vetture elettriche a bordo sembrerebbe aver incrementato le problematiche dell'incendio a bordo di nave per trasporto autovetture. L'indagine circa le cause dell'incendio è tuttora in corso

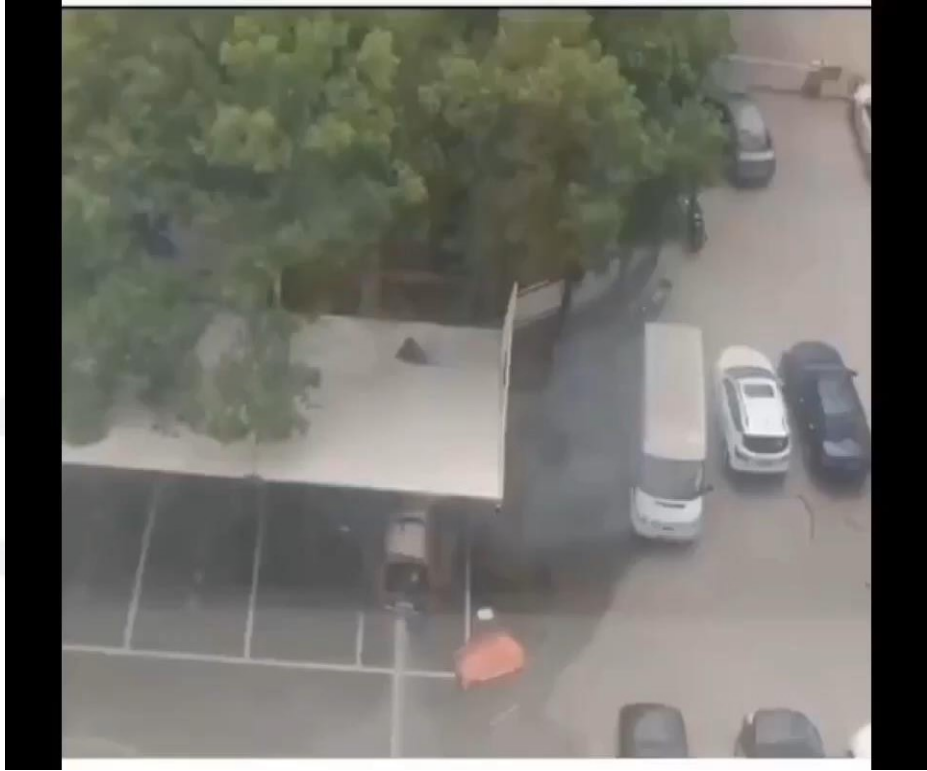
<https://www.youtube.com/watch?v=FIDj3xvGKno>



Total flooding di alcune vetture elettriche dopo l'incendio a bordo



[nt.nl/wp-content/gallery/lossen-voertuigen-van-beschadigd-vrachtschip-fremantle-highway-gaat-door-door-brand-beschadigd-elektrisch-voertuig-ontvlamt-op](https://www.rijksoverheid.nl/wp-content/gallery/lossen-voertuigen-van-beschadigd-vrachtschip-fremantle-highway-gaat-door-door-brand-beschadigd-elektrisch-voertuig-ontvlamt-op)



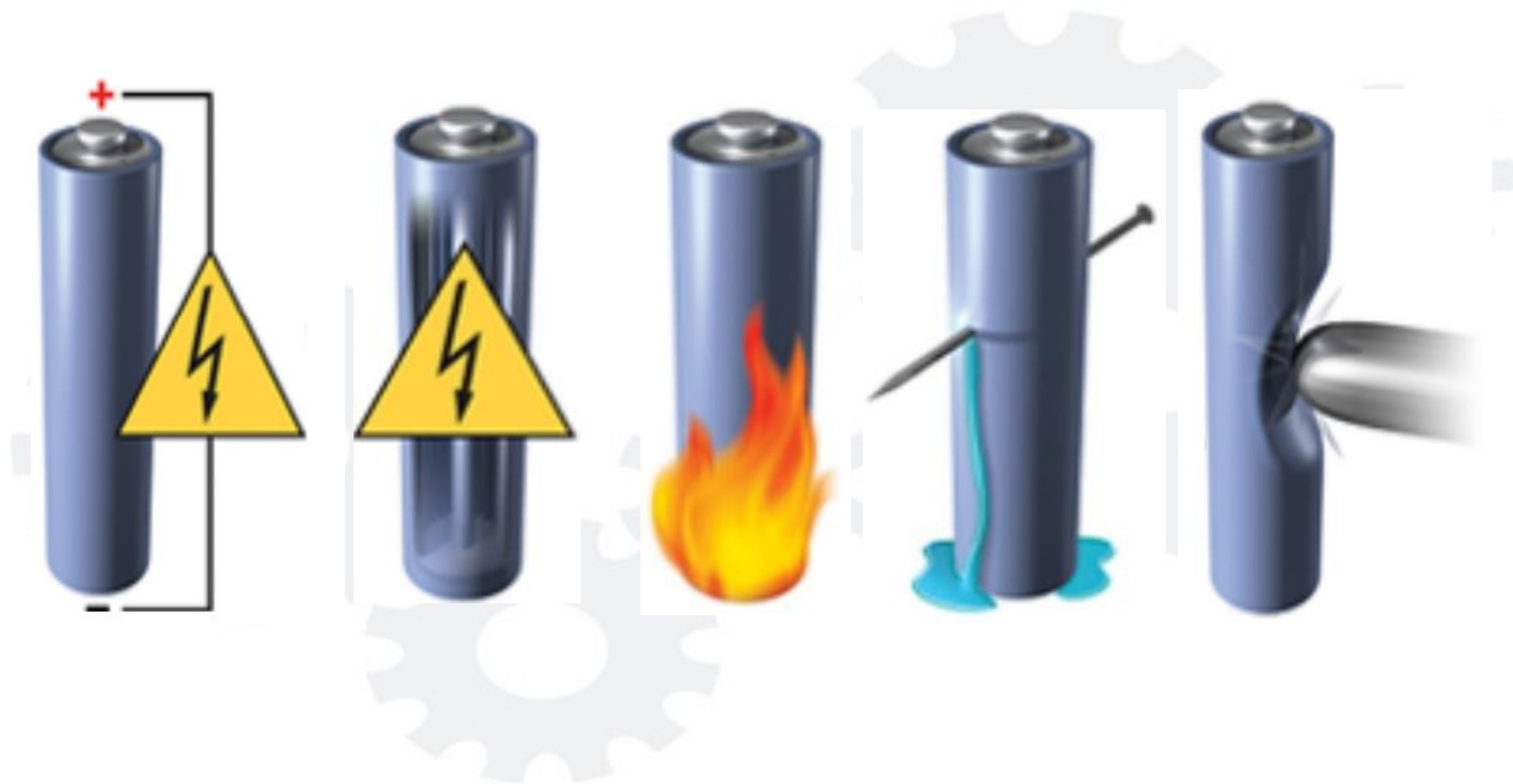
Ritiri di EV nel 2020 *(Sicurauto.it)*

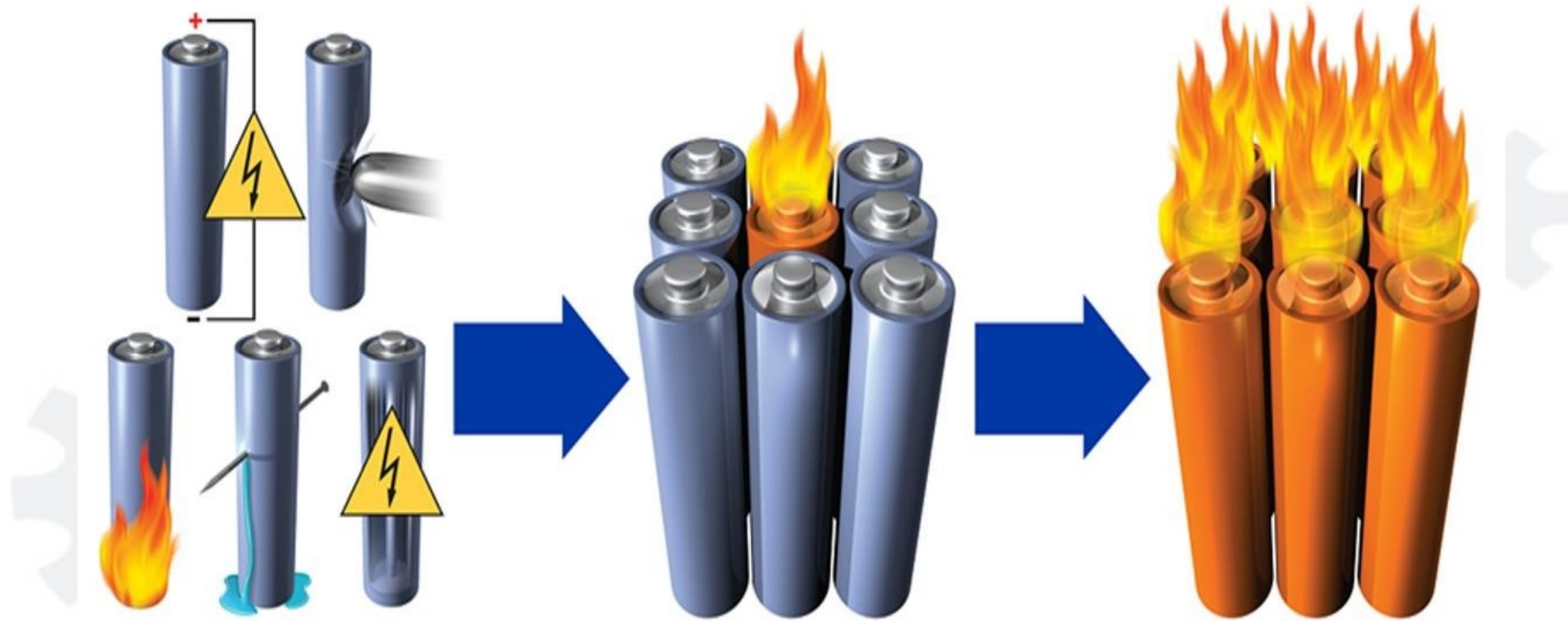
- 16 ottobre:** 9 modelli di BMW ibride plug-in per un totale di 27mila veicoli in tutto il mondo. Rischio di esplosione ed incendio in fase di ricarica dei veicoli. Presenza di impurezze all'interno delle batterie litio-ione che possono provocare corto-circuito interno. (<https://www.sicurauto.it/news/auto-elettriche-ibride/auto-ibride-bmw-richiamo-per-9-modelli-a-rischio-incendio/>)
- 13 ottobre:** Hyundai Kona Elettrica (EV), 77mila veicoli richiamati di cui 1/3 venduti in Korea e i 2/3 in Europa e US. Rischio incendio: 13 esplosioni occorse la scorsa estate in varie parti del mondo. Difetti del degli elementi della batteria introdotti durante l'assem blaggio effettuato dal produttore di EV a partire dalle celle. (esito indagini condotte dal Ministero dei Trasporti coreano e dal National Forensic Service) (<https://www.sicurauto.it/news/auto-elettriche-ibride/hyundai-kona-elettrica-77-mila-richiami-per-rischio-incendio/>)
- 11 agosto:** 20 mila nuove Ford Kuga Ibride Plug-in in Europa ed altre 7mila nel mondo. Rischio incendio batteria per corto circuito. *"Il problema ... deriverebbe dal **danneggiamento del modulo di ricarica** (quindi, parliamo della parte elettrica e elettronica) che può provocare il surriscaldamento della batteria. [...] Ford ha sconsigliato la ricarica dell'auto alla colonnina.* (<https://www.sicurauto.it/news/auto-elettriche-ibride/ford-kuga-ibrida-a-rischio-incendio-20-mila-auto-richiamate-in-europa/>)



5. Cause di guasto delle batterie



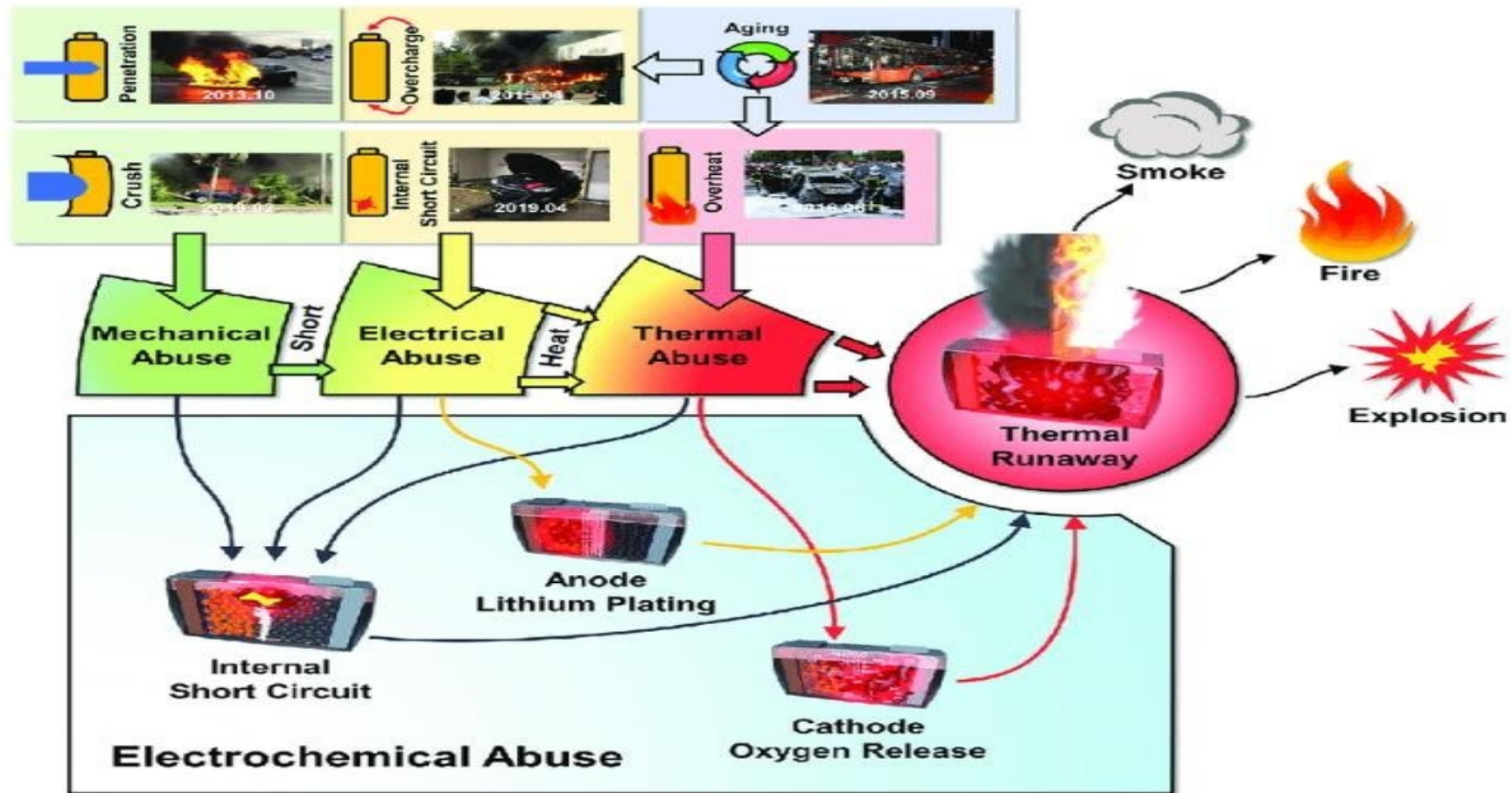




Guasto alle celle

Corsa termica

Propagazione



[*] image from Questions and Answers Relating to Lithium-Ion Battery Safety Issues
 January 2021 Cell Reports Physical Science 2(1):100285

Tipologie di abusi



Meccanico

... far cadere, schiacciare, intaccare, urtare, vibrare, urtare o penetrare una cella in modo tale che lo stress meccanico provoca il guasto del separatore.



Elettrico

...sovraccarico, scarica eccessiva, cortocircuito esterno



Termico (ambientale)

.... calore eccessivo, ricarica in un ambiente freddo ed esposizione a sostanze chimiche come l'esposizione all'acqua salata

Tipologie di abusi

Ma ci possono essere anche problem di thermal run-away a causa di:

Problematiche di progettazione e realizzazione

...parti allentate, disallineamento dell'elettrodo, sbavature, tolleranze ristrette e contaminazioni che possono alla fine causare cortocircuiti che portano al thermal run-away

Invecchiamento (aging)

destabilizzazione delle celle agli ioni di litio man mano che vengono esposte a meccanismi di degradazione come la ricarica rapida, l'uso e lo stoccaggio ad alta e bassa temperatura.

Sorgenti di innesco - celle al litio

(Rif. FM 5-33 e pubblicazione VF)

Abuso elettrico

- *Alta velocità di carica (C-rate)*

Determina un incremento pericoloso della velocità di accumulo del calore (innesco del Thermal runaway) quando la resistenza interna della cella è elevata (invecchiamento)

- *Overcharge*

Condizione in cui lo stato della carica è superiore al 100% SOC (State of Charge) di targa, determinando un valore di tensione superiore alla tensione massima dalla finestra operativa

Sorgenti di innesco - celle al litio

(Rif. FM 5-33 e pubblicazione VF)

Abuso elettrico

- *Overvoltage/Overcurrent*

Può essere considerato un caso specifico di sovraccarica e si può raggiungere nelle seguenti condizioni:

- guasto del BMS
- ricarica effettuata con dispositivi non adeguati

Sorgenti di innesco - celle al litio

(Rif. FM 5-33 e pubblicazione VF)

Abuso elettrico

- *Overvoltage/Overcurrent*

La corrente che fluisce in queste condizioni dà luogo a 2 problemi:

- Formazione di dendriti:
gli ioni di litio si depositano sulla superficie dell'anodo come litio metallico con perdita di capacità irreversibile e, al crescere delle dimensioni del deposito, cortocircuito tra gli elettrodi
- Surriscaldamento: una corrente eccessiva provoca anche un aumento del riscaldamento per effetto Joule

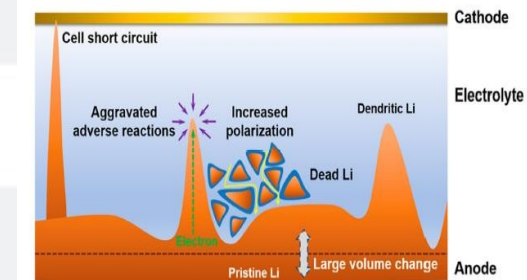


Fig 45 – Schema dei problemi derivanti dalla crescita delle dendriti. [23]

Sorgenti di innesco - celle al litio

(Rif. FM 5-33 e pubblicazione VF)

Abuso elettrico

- *Undervoltage/Overdischarge*

Per valori di tensione $< V_{\min}$ (tip. 2V), si innescano i seguenti fenomeni di danneggiamento degli elettrodi

(le celle possono scendere sotto 2V anche in caso di conservazione per un periodo prolungato)

- Anodo: il collettore in rame anodico si dissolve nell'elettrolita. Quando si carica la cella, gli ioni di rame precipitano come rame metallico causando un cortocircuito tra gli elettrodi
- Catodo: rottura graduale del catodo con rilascio di ossigeno nel caso in cui le celle scendono a tensioni $\ll 2V$ per molti cicli e per lunghi periodi

Sorgenti di innesco - celle al litio

(Rif. FM 5-33 e pubblicazione VF)

Abuso termico

- Bassa temperatura
 - L'effetto della riduzione della temperatura di esercizio è quello di ridurre la velocità di reazione nella cella. Ciò si traduce in una riduzione della capacità di trasporto di corrente della cella, sia in carica che in scarica
 - La velocità di reazione ridotta rallenta e limita il movimento degli ioni di litio con conseguente placatura dell'anodo
(*crescita di dendriti e cortocircuito interno*)

Sorgenti di innesco - celle al litio

(Rif. FM 5-33 e pubblicazione VF)

Abuso termico

- Alta temperatura
 - Aumento della velocità di reazione
 - Incremento della corrente con una maggiore dissipazione del calore per effetto jaule e quindi ulteriore incremento della temperature
 - Possibilità di fuga termica a meno che il calore non venga rimosso più velocemente di quanto non venga generato
 - Per $T > 200^{\circ}$ C: rottura del catodo con rilascio di ossigeno

Sorgenti di innesco - celle al litio

(Rif. FM 5-33 e pubblicazione VF)

Abuso meccanico

La perdita dell'involucro (guasto meccanico, caduta, perforazione) può portare all'ingresso di ossigeno/umidità causando la decomposizione dell'elettrolita

Sorgenti di innesco - celle al litio

(Rif. FM 5-33 e pubblicazione VF)

Invecchiamento

Dipende da:

- numero di cicli di carica/scarica
- profondità di scarica
- velocità di carica/scarica
- temperatura di esercizio
- In prossimità del fine del ciclo di vita
 - la capacità di una batteria agli ioni di litio si ridurrà di circa il 50%-80%
 - il valore della resistenza interna aumenta...
- Quando il valore di resistenza interna raggiunge 2 a 3 volte il valore di quella nominale la probabilità di fuga termica diventa significativa

Sorgenti di innesco - celle al litio

(Rif. FM 5-33 e pubblicazione VF)

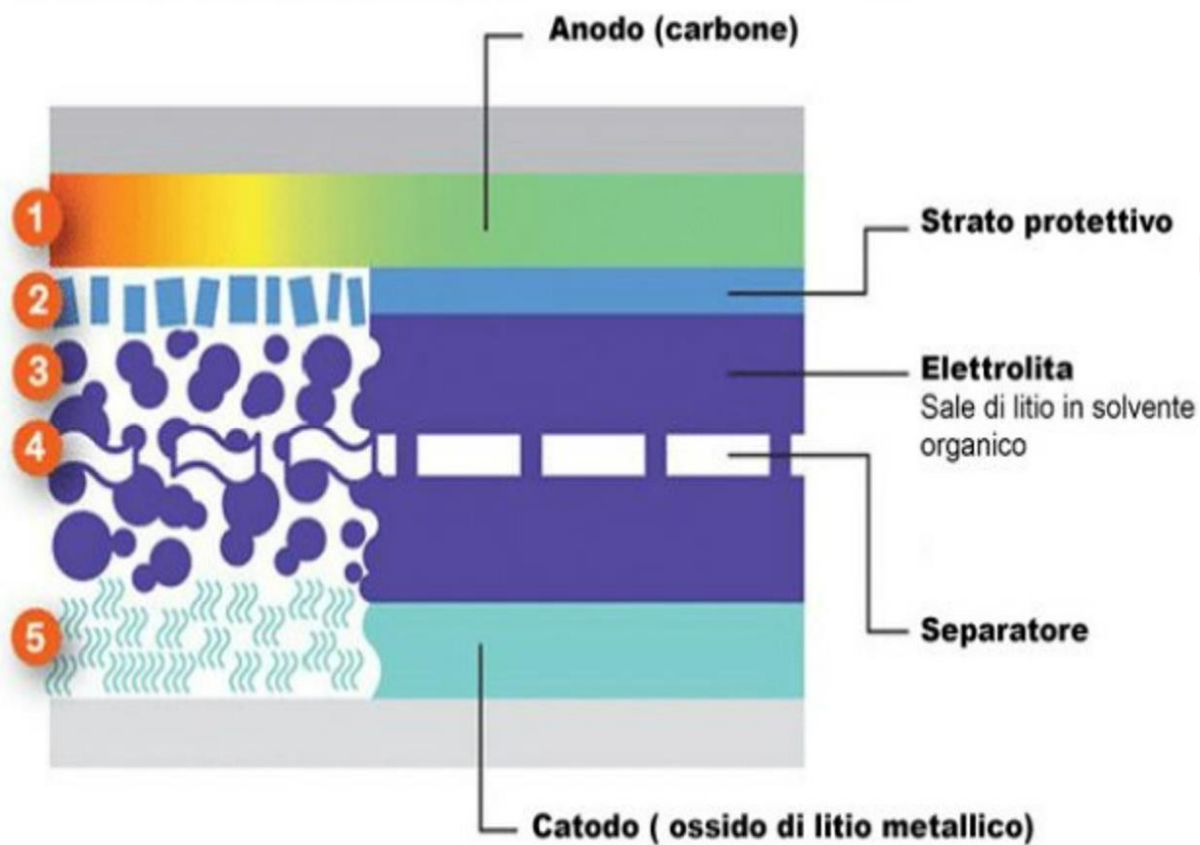
Invecchiamento

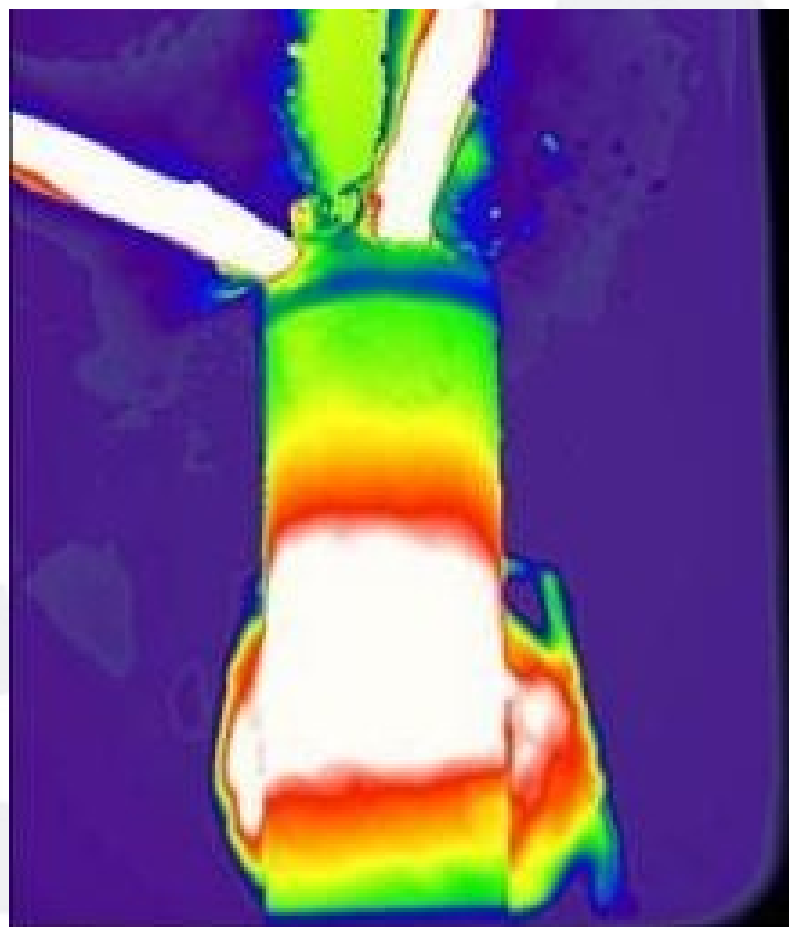
- Si può verificare la rottura del SEI (solid electrolyte interphase) a causa delle sollecitazioni cicliche sugli elettrodi (espansione e contrazione durante la carica e la scarica) oppure il rilascio di particelle che compongono gli elettrodi, con conseguente
 - aumento dell'impedenza interna
 - surriscaldamento
 - guasto a dell'isolamento tra gli elettrodi e l'involucro
- Si può verificare il deterioramento dell'elettrolita con rilascio di piccole quantità di gas e conseguente rigonfiamento della cella ed possibile rottura dell'involucro della cella

Tutte le condizioni di abuso esaminate, determinano una generazione di calore

...

1. Inizio del surriscaldamento
2. Lo strato protettivo si rompe
3. L'elettrolita si scompone in gas infiammabili
4. Si scioglie il separatore, causando un probabile corto circuito
5. Il catodo si rompe generando ossigeno



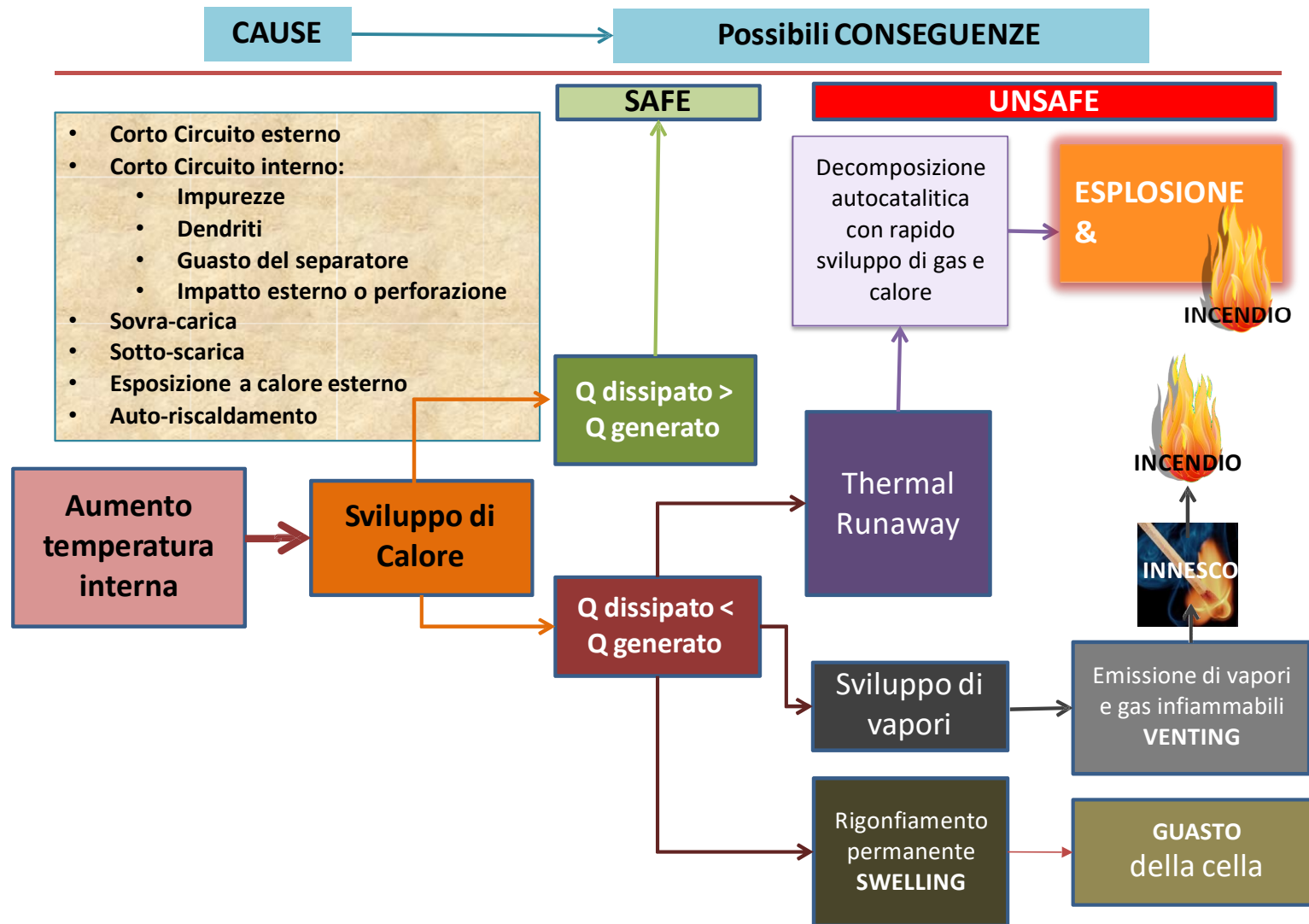


A LIVELLO DI CELLA O BATTERIA

- 1.fatica meccanica
- 2.difetti di fabbricazione
- 3.invecchiamento della cella/batteria
- 4.abuso elettrico (sovraccarica, sotto-scarica, cortocircuito esterno)
- 5.abuso termico (temperatura operativa al di sopra o al di sotto del campo di normale funzionamento)

A LIVELLO DI REESS/VEICOLO

1. Abuso meccanico: urto, caduta dall'alto, perforazione, deformazione plastica, ecc.
2. Abuso termico: esposizione a calore atmosferico esterno o fiamma
3. Malfunzionamento o cattiva progettazione dell'elettronica di controllo (BatteryManagementSystem - BMS)
4. Eventi atmosferici



Sorgenti di innesco - celle al litio

(Rif. FM 5-33 e pubblicazione VF)

BMS (*Battery Management System*)

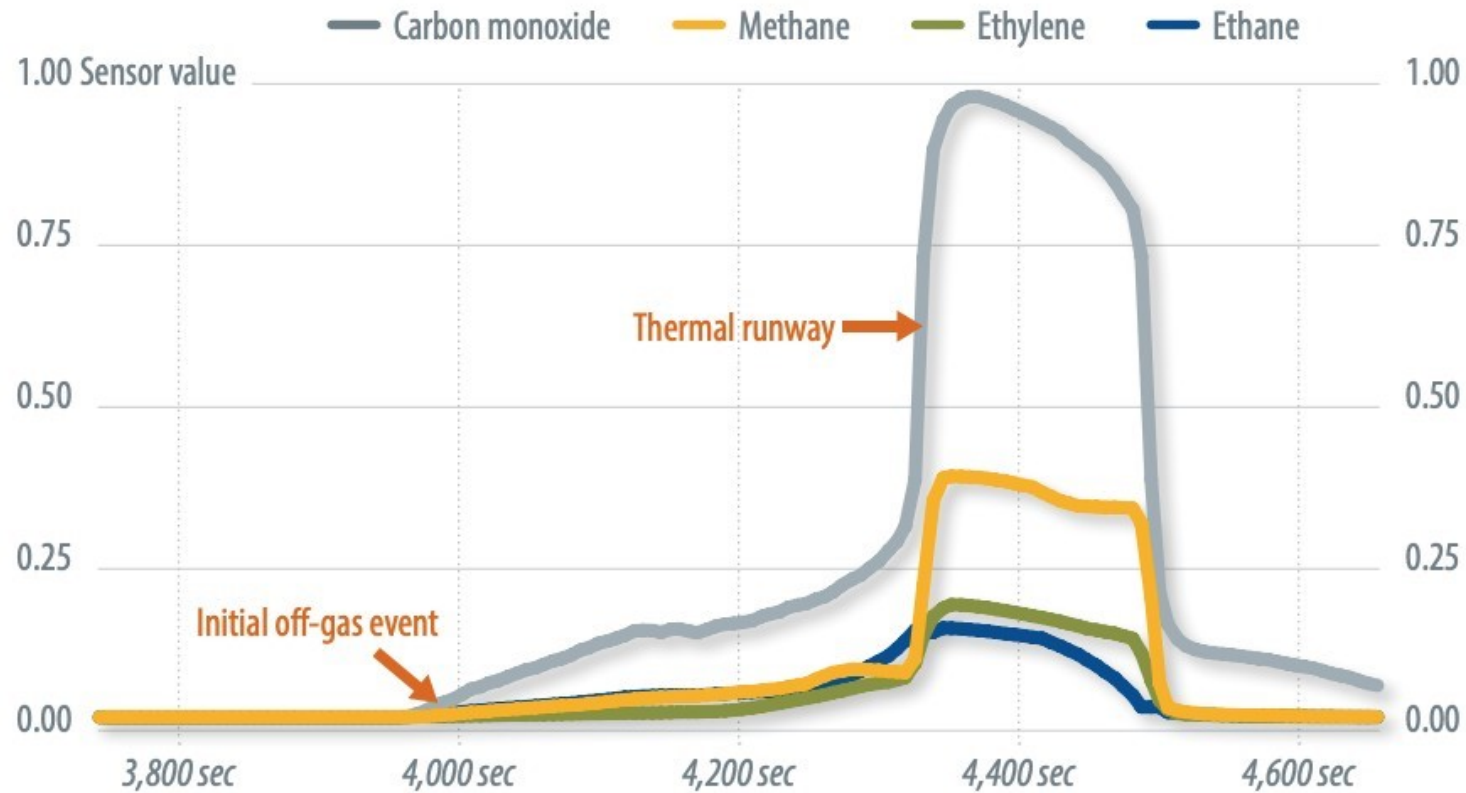
Funzioni minime:

- Calcolo SOC complessivo
- Ricarica in sicurezza le celle
- Equalizzazione pacco batteria
- Mantenimento del sistema nelle condizioni di lavoro raccomandate (V,I,T)
- Interruzione della corrente in caso di malfunzionamento o condizione operativa non gestibile in modo corretto
- Scambio di informazioni con l'esterno
- Attivazione allarme in caso di una cella in c.c.

Off gas detection

Gas release profile for a lithium ion battery cell from Initial off-gas through thermal runaway

Source: Nexceris



[*] Figure from <https://liiontamer.com/li-ion-tamer-featured-in-pv-magazine/>

Off gas detection

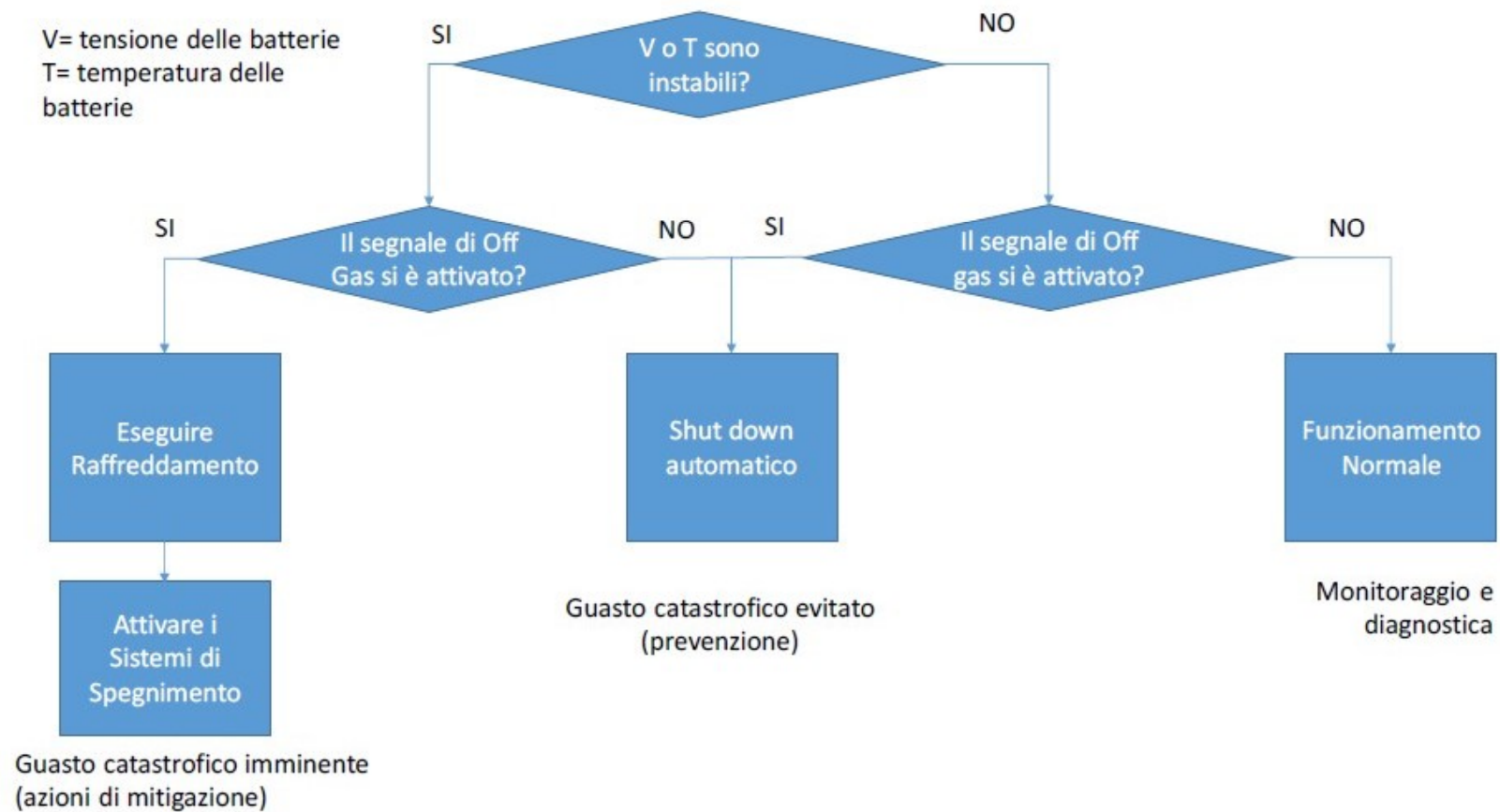



Figura 2: Logica di funzionamento di un IRAI con segnale di Gas Off detection



6.
Contesto normativo



Infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici

Stato normativo

Il progressivo aumento del numero di veicoli elettrici ed il previsto aumento delle infrastrutture di ricarica di tali veicoli, hanno reso necessaria la valutazione del possibile rischio di incendio e/o di esplosione connesso all'uso di tali infrastrutture, in particolare se installate nell'ambito di attività soggette al controllo dei vigili del fuoco.

Per tali motivi è stata emanata la Circolare 05/11/18, n. 2 - prot. n. 15000 con allegate le "Linee guida per l'installazione di infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici."

Assoggettabilità ai controlli di prevenzione incendi

Le infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici non sono attività soggette ai controlli di prevenzione incendi in quanto non compresi nell'allegato I del DPR 151/2011, ma la loro installazione, in una di esse, è da considerare modifica alle stesse.

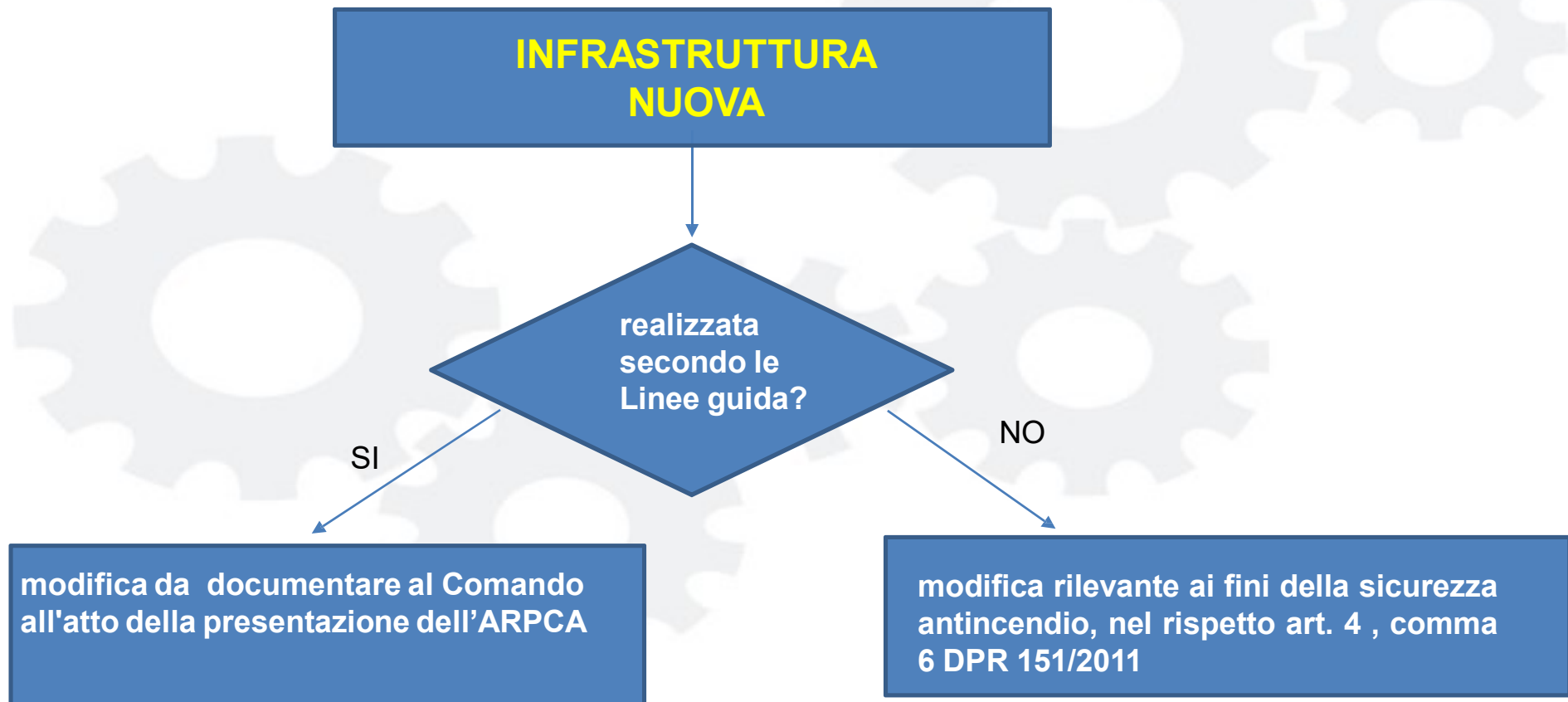
È opportuno sottolineare che l'applicazione delle linee guida è da ritenere come modifica non rilevante ai fini della sicurezza antincendio, tale modifica va dichiarata all'atto dell'attestazione di rinnovo periodico di conformità antincendio.

Qualora il professionista utilizzasse misure diverse di quelle delle linee guida, la modifica è da inquadrare in quelle previste al comma 6 dell'art. 4 del D.P.R. 1° agosto 2011, n. 151.

NB

Si deve porre cura alla lettura di alcune circolari e chiarimenti, riportate di seguito, emanate prima della pubblicazione del DPR 01/08/2011, n. 151, in quanto possono riportare argomenti superati dalla pubblicazione

Le infrastrutture di per sé **NON sono attività soggette** ai controlli di prevenzione incendi ai sensi dell'Allegato I del D.P.R. 151/2011, però.....



Le infrastrutture di per sé **NON sono attività soggette** ai controlli di prevenzione incendi ai sensi dell'Allegato I del D.P.R. 151/2011, però.....

INFRASTRUTTURA ESISTENTE

Si intende modifica **NON RILEVANTE**
(art. 4, comma 8 DM 7 agosto 2012) se:

- realizzata a regola d'arte;
- adeguate alle misure previste dalla sezione 5.

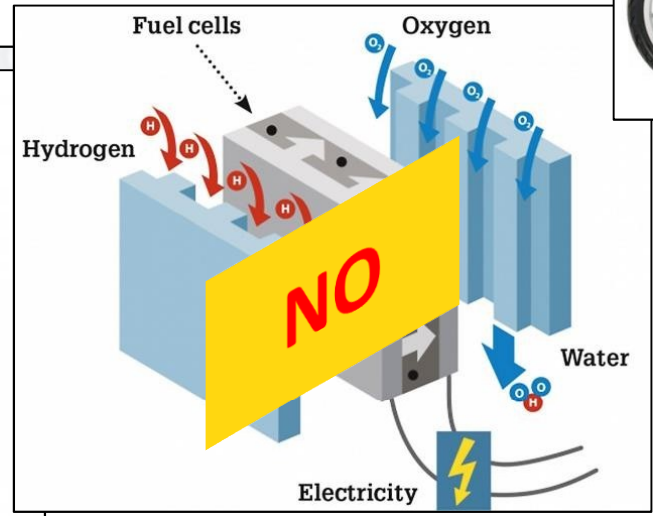
Da documentare al Comando all'atto
della presentazione dell'ARPCA

....necessità di regolarizzare le infrastrutture esistenti!

- 1. Campo di applicazione**
- 2. Termini e definizioni**
- 3. Requisiti tecnici**
- 4. Indicazioni per le autorimesse pubbliche**
- 5. Infrastrutture di ricarica esistenti**
- 6. Documentazione tecnica**
- 7. Verifiche**

Campo di applicazione

**Infrastrutture per la ricarica
conduttiva
di veicoli elettrici targati
installate nell'ambito di
attività soggette al controllo dei
VVF (nuove o esistenti)**



Campo di applicazione

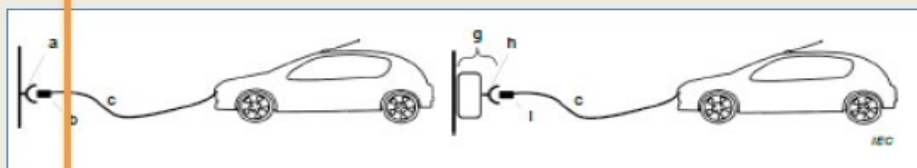


La Linea Guida si occupa di **RICARICA ELETTRICA** e quindi di **EV, PHEV (EREV)**

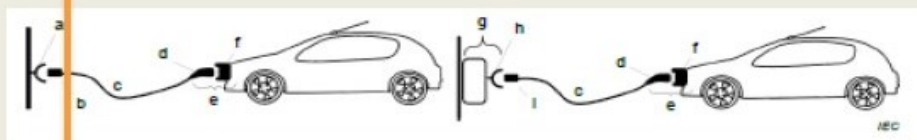
NON si occupa di:

- tutto ciò che non è targato
- veicoli tradizionali
- HEV
- fuel cell
- ricarica induttiva

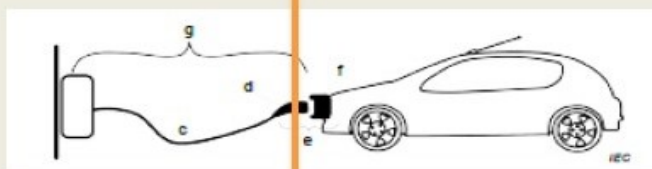
TIPI DI CONNESSIONE



Caso A



Caso B



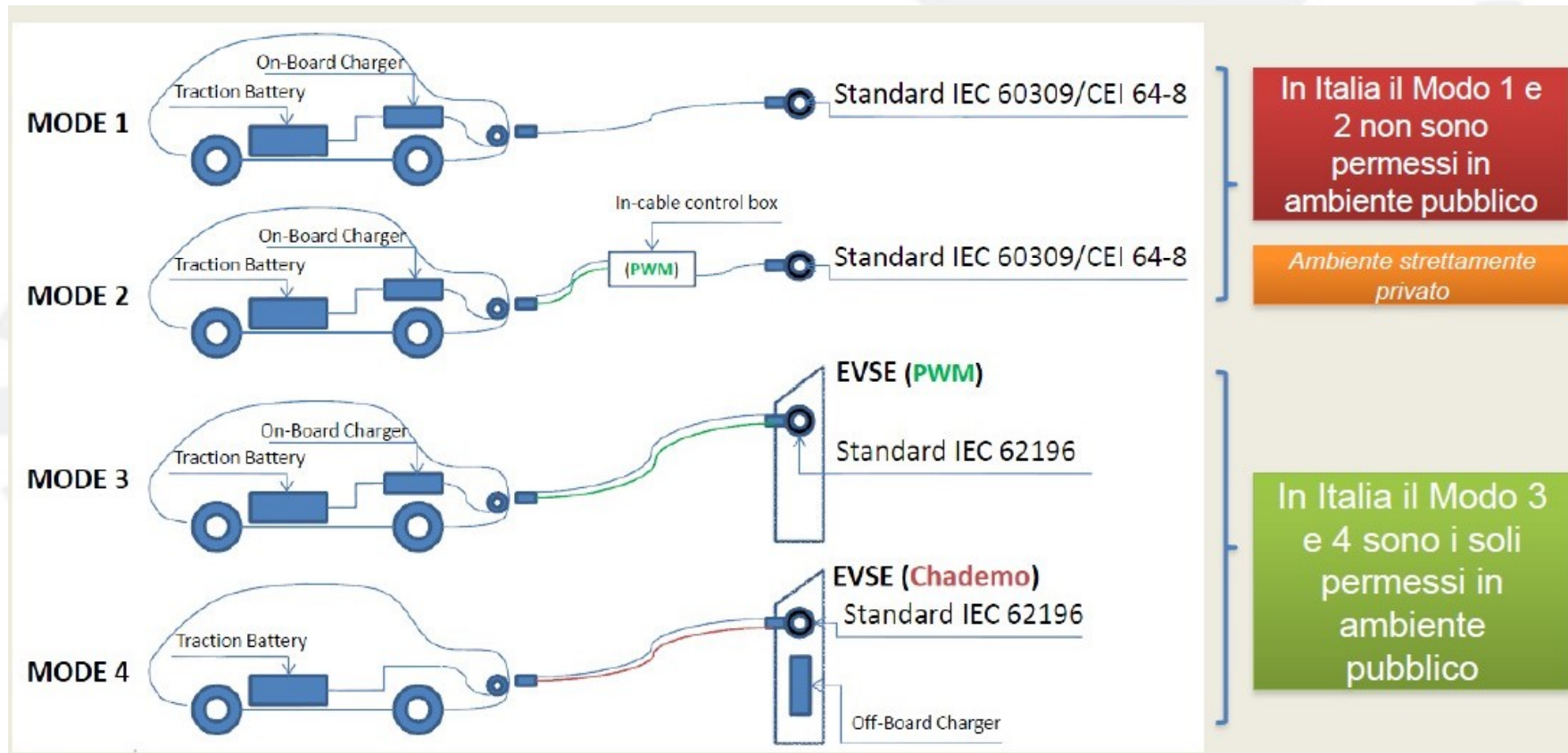
Caso C

Connessione
del VE
all'infrastruttura
di ricarica

CEI 64-8 art. 21.1
Impianto elettrico

Oltre alle ovvie ma importanti considerazioni di carattere pratico legate alla necessità di trasportare o meno il cavo di alimentazione, una differenza importante tra i vari tipi di connessione per la carica è il **confine delle responsabilità**.

MODI DI CARICA



SISTEMA DI RICARICA DEI VEICOLI ELETTRICI

veicolo + cavo di connessione + stazione di ricarica



Elementi che costituiscono il sistema di ricarica dei veicoli elettrici devono essere progettati, realizzati e mantenuti nel rispetto della regola dell'arte (ad esempio: **norma CEI 64-8 parte 7, sezione 722; norme serie CEI EN 61851 e Norme serie CEI EN 62196**).

OBIETTIVI:

1. limitare la probabilità di costituire causa di incendio o di esplosione;
2. limitare la propagazione di un incendio all'interno degli ambienti di installazione e contigui;
3. non rendere inefficaci le altre misure antincendio, con particolare riferimento agli elementi di compartimentazione, qualora presenti;
4. consentire agli occupanti di lasciare gli ambienti in condizione di sicurezza;
5. consentire alle squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza;
6. essere disattivabili, o altrimenti gestibili, a seguito di incendio.

L'osservanza delle indicazioni ... garantisce il raggiungimento degli obiettivi di prevenzione incendi; in alternativa dovrà essere effettuata una specifica valutazione del rischio da parte di un tecnico abilitato (che tiene conto, ad es., che batterie Ion-Li non gas emettono durante la ricarica) e si dovranno adottare le misure di prevenzione e protezione che garantiscono raggiungimento obiettivi

Requisiti tecnici: stazioni di ricarica

Valutare i rischi da interferenza con impianti o depositi di materiali infiammabili/combustibili (es.: distributori di carburante)...inoltre:

- a) comando di sgancio elettrico di emergenza (unico) segnalato ed accessibile;
- b) modo di carica 3 o 4;**
- c) estintori portatili idonei su impianti elettrici in aggiunta a quelli già previsti: uno ogni 5 punti di connessione o frazione;
- d) obbligo di verifica a vista del cavo per connessioni tipo C (luoghi aperti al pubblico: verifica settimanale con registro dei controlli);
- e) installazione fuori dalle zone classificate ATEX per gas, vapori, nebbie, polveri;
- f) idonea cartellonistica.

STAZIONE DI RICARICA PER VEICOLI ELETTRICI



Connessione tra stazione di ricarica e veicolo

I tipi di connessione sono A, B e C

Inoltre:

- a. isolamento del cavo resistente all'usura, per prevenire effetti termici
- b. verifica a vista del cavo prima dell'utilizzo
- c. se il cavo è dotato di schermatura metallica, deve essere messa a terra

Caratteristiche del veicolo elettrico

- a. omologato
- b. mantenuto in efficienza
- c. sottoposto con esito positivo alle revisioni di legge

- L'installazione delle infrastrutture di ricarica nelle autorimesse pubbliche, successivamente alla data di pubblicazione delle presenti Linee guida, deve essere prevista in un'unica area/settore.
- Qualora le autorimesse si sviluppino su più piani o siano suddivise in compartimenti, l'area/settore per l'installazione delle infrastrutture di ricarica deve essere localizzata nel piano e/o nel compartimento che possa garantire le condizioni migliori per l'operatività antincendio (ad esempio piano di riferimento ovvero il piano fuori terra a quota inferiore ovvero il piano interrato a quota superiore).



Infrastrutture di ricarica esistenti

1. comando di sgancio elettrico di emergenza (unico) segnalato ed accessibile;
2. idonea cartellonistica
3. estintori portatili idonei su impianti elettrici in aggiunta a quelli già previsti: uno ogni 5 punti di connessione o frazione
4. obbligo di verifica a vista del cavo per connessioni tipo C (luoghi aperti al pubblico: verifica settimanale con registro dei controlli);
5. connessione con veicolo: isolamento resistente all'usura, verifica a vista del cavo, messo a terra
6. veicolo elettrico: omologato, mantenuto, revisionato

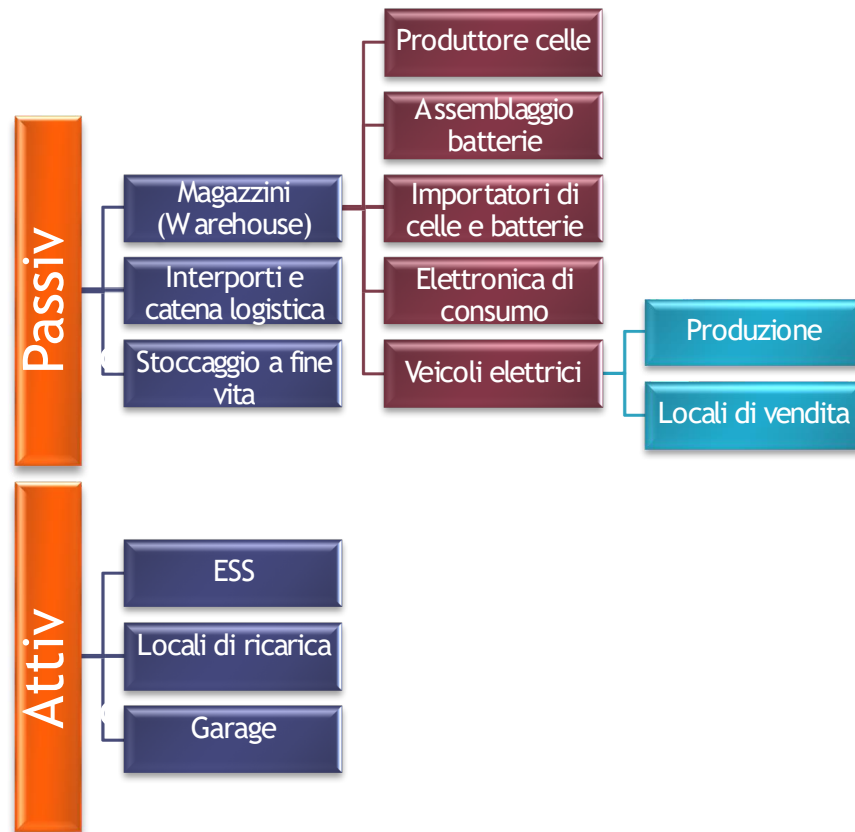
Verifiche

Periodicamente e ad ogni trasformazione, ampliamento o modifica della stazione di ricarica che determini una variazione delle caratteristiche elettriche originali della stessa dovranno essere eseguite e documentate le verifiche previste dalla normativa vigente.



Vediamo adesso un altro problema di sicurezza.....

Stoccaggio di batterie



- A potential for **mechanical damage** due to poor handling such as boxes or pallets being dropped or damaged by forklift accidents. **Crush or puncture** damage to cells or battery packs can lead to **release of electrolyte, short circuiting**, and possibly cell **thermal runaway** that can result in a fire.
- A potential for **external heating** of the cells due to a fire initially unrelated to lithium-ion battery packs that ultimately results in **venting** or **thermal runaway** of the cells.
- Storage at reduced SOC reduces the likelihood that crush, puncture, or external heating will lead to cell thermal runaway and a fire ignited by heated cell cases.

Video: Rund 13 Tonnen Lithium-Ionen-Akkus explodieren



Stoccaggio di batterie

Incendio di magazzino di batterie. Diversi pompieri sono gravemente feriti in un grande incendio a Hilden.
<https://youtu.be/vQ1cabt3jXc>

Test antincendio per conto della German Insurance Association (GDV) sull'utilizzo di impianti sprinkler
<https://www.gdv.de/de/themen/news/lager-mit-lithium-ionen-akkus-brauchen-richtigen-brandschutz---und-eine-gute-sprinkleranlage-15032>



Trasporto e interporti



**A seguito della
sequela di incidenti
che hanno riguardato
il Galaxy Note 7, le
compagnie di
trasporto navale
hanno iniziato a
porre maggiore
attenzione al carico
di batterie al Litio,
Litio ione e
apparecchi
utilizzatori**



Maersk Honam fire in the Arabian Sea.

Maersk Honamm, 2018
Trasportava batterie Ion-Li

Interporto a Shenzhen, 2017



Stoccaggio di batterie: ESS



All'aperto

Zone remote

Zone prossimali

Impianti chimici

Edifici

Ecc.

All'interno di edifici

Privati

Pubblici

Industriali

Alberghi

Ospedali

Scuole

The lithium-ion battery at Escondido, north of San Diego, can power the equivalent of 20,000 homes. Photograph: Julian Spector



7. Rischi per i soccorritori

Nel caso di incidente ad un veicolo elettrico, *full* o ibrido, i soccorritori si interfacceranno con i seguenti rischi:

Rischio chimico: rilascio di agenti chimici pericolosi

Rischio incendio ed esplosione: pericolo di esplosione e/ incendio presenza di sostanze infiammabili come combustibili, nei veicoli HV.

Rischio elettrico: presenza di sistemi ad alta tensione in corrente continua.

DPI (DI MASSIMA)

- Uniforme completa antifiamma
- Elmo con visiera di protezione + sotto elmo + autorespiratore
- Calzature di sicurezza
- Guanti da intervento e guanti isolanti a 1000 V a contatto

Procedura d'intervento

1. riconoscimento del veicolo, in termini di tipologia (convenzionale, elettrico, ibrido, ecc)
2. individuazione della marca e del modello
3. acquisire le istruzioni d'emergenza da parte del produttore (*rescue sheet*, manuale, contatti telefonici con esperti, ecc.)
4. preparazione dell'intervento e del personale (DPI)
5. evacuazione del veicolo e soccorso feriti
6. messa in sicurezza del veicolo.

**Molte fasi
sono contemporanee**

Nella Figura seguente si presenta, a titolo meramente esemplificativo, un elenco delle operazioni da svolgere.

Arriving and securing scene of accident

- Identification of the vehicle type
- Prepare rescue data sheet, request of information via license number (Silver DAT-FRS)
- Use of standard personnel protection equipment

Investigation

- Check for fire or smoke
- Imminent danger for the passenger?
- Check for leaking vehicle fluids
- Multi-gas detection
- Infrared camera to detect hot spots (overheated battery or other car components)

Fire

- Extinguish fire and spray down any smoke
- Cool down battery if necessary and continuously watch battery

Safeguard and deactivation measures

- Restrict rolling of the vehicle (put on handbrake, gear position "P")
- Turn the electric motor switch to the "LOCK" position
- Remove service disconnect, disconnect 12 V battery and follow high-voltage deactivation procedures as written in rescue data sheet

Smoke, liquids detected

- Fire danger because of flammable electrolyte
- For passenger arrange natural ventilation if necessary, avoid contact with any chemicals
- Formation of hydrogen, hydrogen fluoride and gas emission from electrolyte is possible

Handling damaged vehicle

- Observe battery temperature, if necessary cool down with water
- Never leave vehicle unattended unless inspected by experts

Agenti estinguenti



Powder



CO2



Foam



water spray



AVD

The main agents studied for Li-ion batteries are water, the microencapsulation technology called F-500, dry powders, Novec and CO2.

Agenti estinguenti

Table 3. List of fire extinguishing media suggested by various lithium-ion battery manufacturers for their products as suggested in randomly selected MSDS [116].

Company	Country	Date	Battery Chemistry	Water	CO ₂	Foam	Chemical/Dry Powder	Nitrogen	Sand	Halon*	Whatever Suitable	
Yuka energy	China	2011	Pack	LCO	×	×	×		×			
Makita	USA	2013	Pack	NCO	×	×	×					
Enertech	Korea	2017	Pack	NMC	×		×		×			
Samsung	Korea	2011	Cell	NMC	×		×					
Samsung	Korea	2016	Cell	NMO	×	×	×	×				
Saft	France	2009	Pack	LCO	×	×	×			×		
Bipower	USA	2017	Pack	LCO	×	×	×					
LG Chem	Korea	2013	Cell	NMC							×	
Motorola	USA	2017	Pack	LCO	×	×	×	×				
Ideal	USA	2010	Cell	LCO		×	×	×				
SDPT	China	2016		LCO	×	×						
Bren-Tronics	USA	2013	Pack	LCO	×	×	×	×				
Advance Energy	USA	2011		LCO							×	
Leo Energy	Singapore	2014		NMC	×		×					
IDX	Japan	2016	Pack	LMO	×	×	×	×		×		
Panasonic	USA	2015		NMC	×	×	×	×				
Total					12	10	9	12	2	2	1	2

* Note that Halon-based products deplete the ozone layer and are prohibited.

Estinguenti

Batterie primarie al litio: estintore in classe D

a Class D fire extinguisher for combustible metals shall be used. Lithium-metal contains plenty of lithium that reacts with water and makes the fire worse. A Class D fire extinguisher must not be used to put out other types of fires

Batterie secondarie al Litio: Litio-ione

The National Fire Protection Association's (NFPA) Fire Protection Research Foundation has [2.3 e 2.3] research report on a study of flammability of Li-ion batteries in bulk storage.

According to the test report, "... cartoned Li-ion batteries burn similarly when compared to other cartoned commodities in the early stages of fire growth". As a result, the researchers felt "... optimistic that water-based suppression systems, similar to those that are typically recommended for a variety of storage scenarios, are a viable option for Li-ion battery storage".

rack storage configurations up to 15 ft. high.

Estinguenti

In merito alla tipologia di estinguenti e alle tecniche di estinzione, purtroppo, a livello internazionale non si dispone di dati certi: nessuna norma giuridica impone ai produttori di batterie e dei dispositivi che le contengono, inclusi gli EV (dai monopattini alle automobili ai bus) indicazioni inequivocabili su come comportarsi. Si fa uso copioso di acqua e il mercato comincia ad essere invaso da soluzioni di estinzione, non sperimentate a livello standardizzato.

A titolo di esempio: <https://batteriesnews.com/california-firefighters-4500-gallons-uf-water-extinguish-tesla-fire-kept-reigniting/>
“According to a Facebook post from the Sacramento Metropolitan Fire District, the Tesla had been sitting in a wrecking yard for three weeks while waiting to be dismantled after an accident. No injuries were reported and the fire was completely extinguished.”

**MA C'E' ANCORA TANTO
DA FARE!!!!**

9.

**Buone pratiche e
sperimentazione**


CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO



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

INTRODUZIONE

Michele Mazzaro
Dirigente Superiore CNVVF
e
Cinzia Di Bari
Primo ricercatore ENEA


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


AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



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

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



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

ALCUNE BUONE PRATICHE

2018 - CTIF: “MANUALE OPERATIVO PER I VIGILI DEL FUOCO. LA RISPOSTA D’EMERGENZA SUI VEICOLI. FIRE SERVICE OPERATIONAL HANDBOOK”.

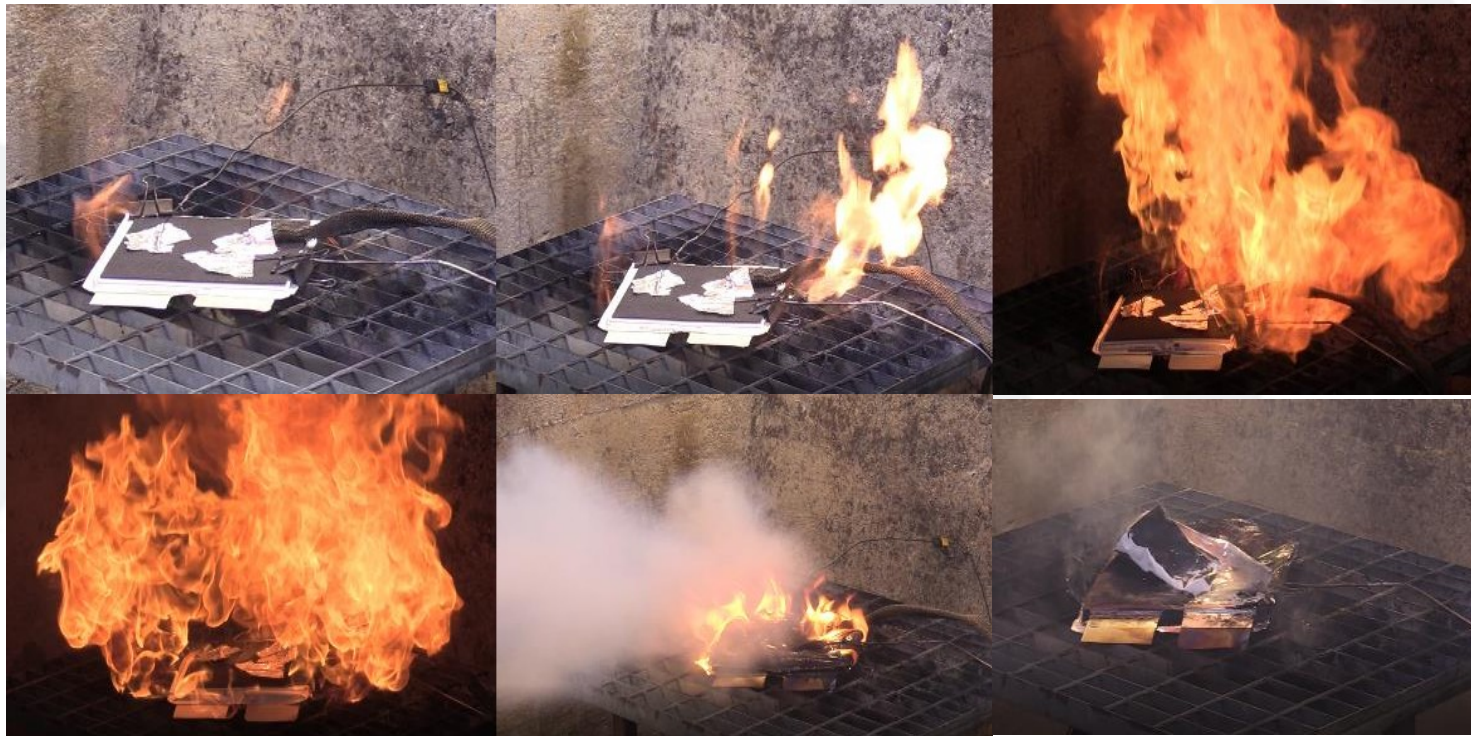
2018 - NFPA Emergency Field Guide.

<https://catalog.nfpa.org/Emergency-Field-Guide-P13872.aspx>

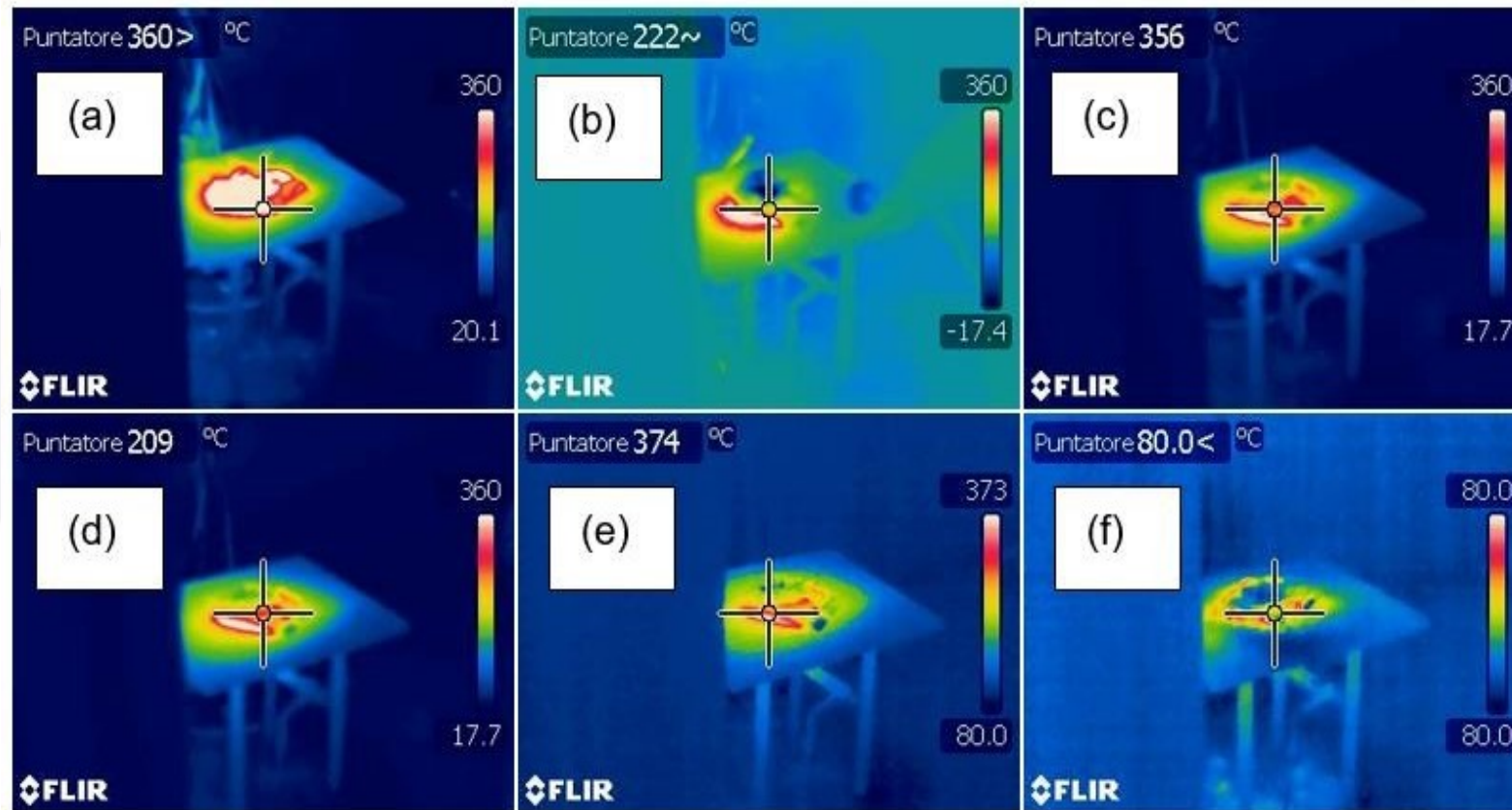
2019 - NFPA Emergency Response Guides

<https://www.nfpa.org/training-and-events/by-topic/alternative-fuel-vehicle-safety-training/emergency-response-guides>

<https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Electrical/Electric-Hybrid-Vehicle-Safety-Training-for-Emergency-Responders>



K40-P-CO₂test: (a) ignition, 0s; (b) venting, 10s; (c) swelling, 15s; (d) catastrophic rupture, 60s; (e) extinction, 65s; (f) post extinction, 75s.



thermal images of K40-C: start (a) and end (b) of I extinction phase, start (c) and end (d) of II extinction phase, start (e) and end (f) of III extinction phase.

Grazie per l'attenzione

