



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

Sicurezza delle batterie agli ioni di litio: analisi delle problematiche e strategie di mitigazione del rischio

Roma - 10/07/2025

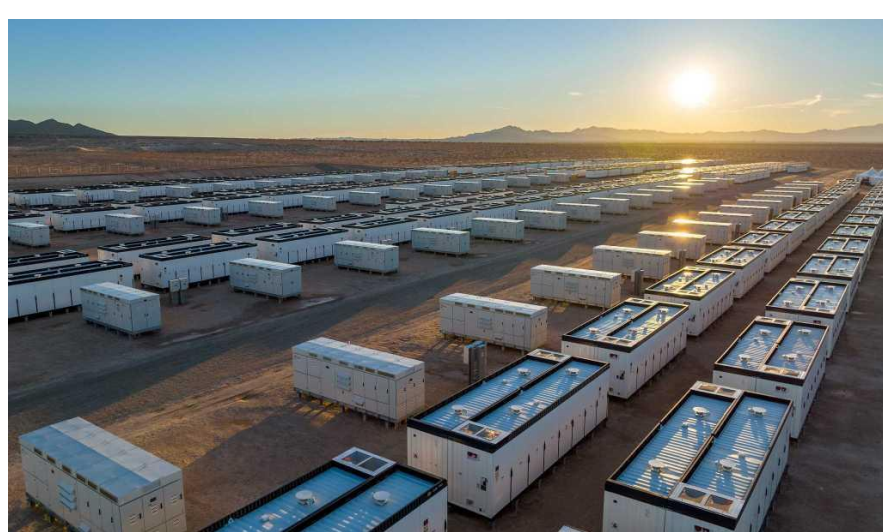
Carla Menale



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



Battery Energy Storage System



LA **CELLA** È L'UNITÀ
ELEMENTARE

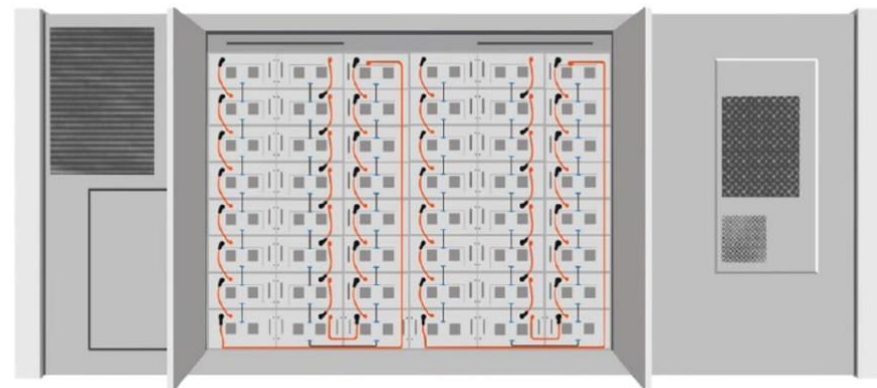


I **MODULI**
CONTENGONO LE **CELLE**



I **RACK** CONTENGONO I **MODULI**

Quando le batterie secondarie vengono organizzate per accumulare più energia, si crea quello che in gergo si chiama **BESS** (Battery Energy Storage System) o sistema di accumulo.



IL **CONTAINER** CONTIENE I **RACK**

FONTE: Explosion Control Guidance for Battery Energy Storage Systems – FIRE & RISK ALLIANCE

Batterie agli ioni di Litio



Elevata densità di energia (up to 300 Wh/kg)

Elevata densità di Potenza (up to 750 W/kg)

Cicli di vita > 1000

Separatore: Membrane microporose in polietilene oppure polipropilene o multistrati di propilene e polietilene

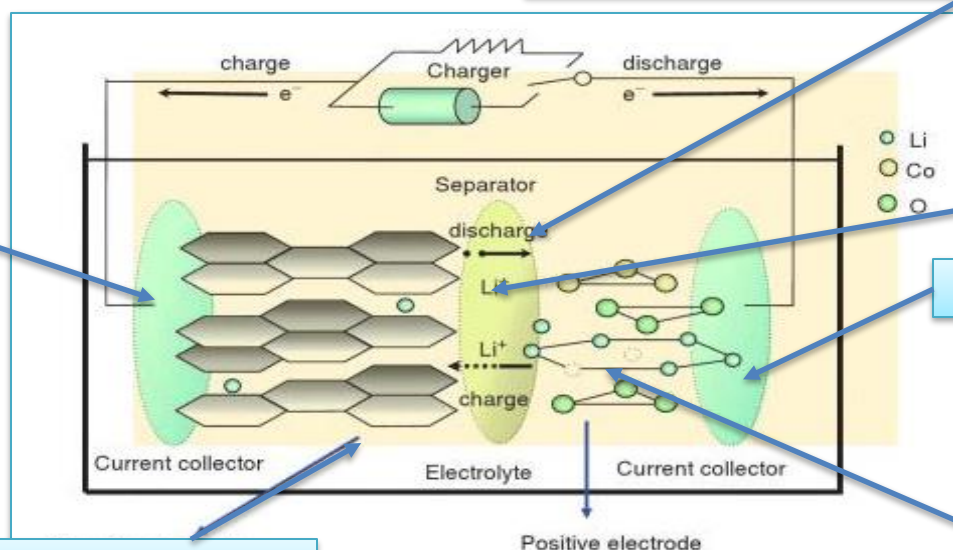
Elettrolita: Solventi organici (EC/DMC/DEC) in cui è disciolto esafluorofosfato di litio (LiPF₆)

Rame

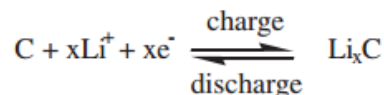
Alluminio

Anodo: si utilizza solitamente la grafite. In alternativa, si può impiegare Li₄Ti₅O₁₂

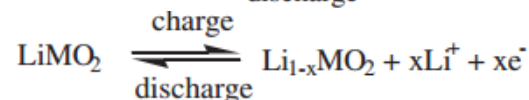
Catodo: ossidi metallici



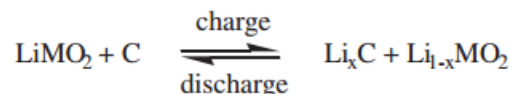
Negative:



Positive:

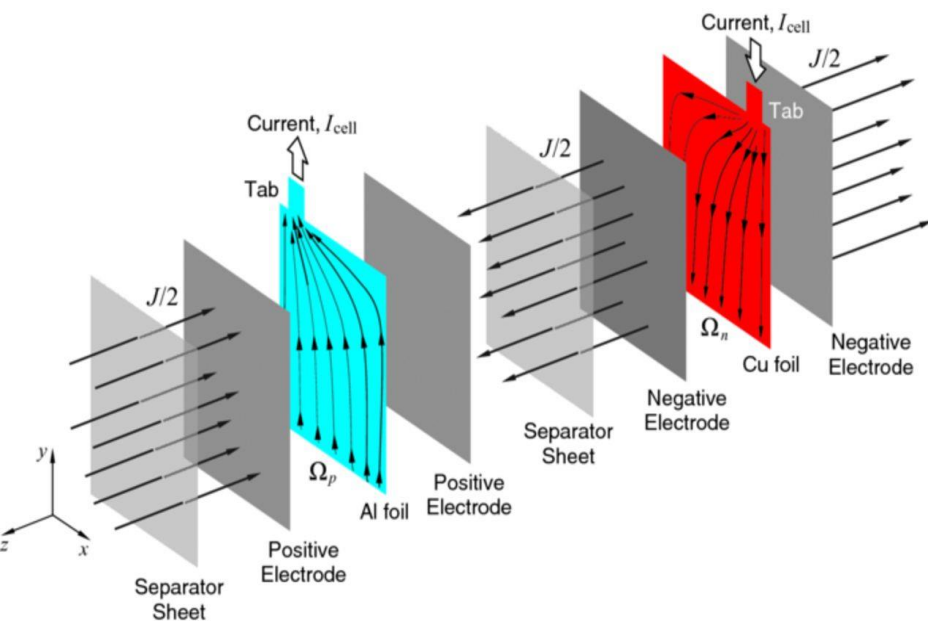


Overall:



Struttura interna di una cella

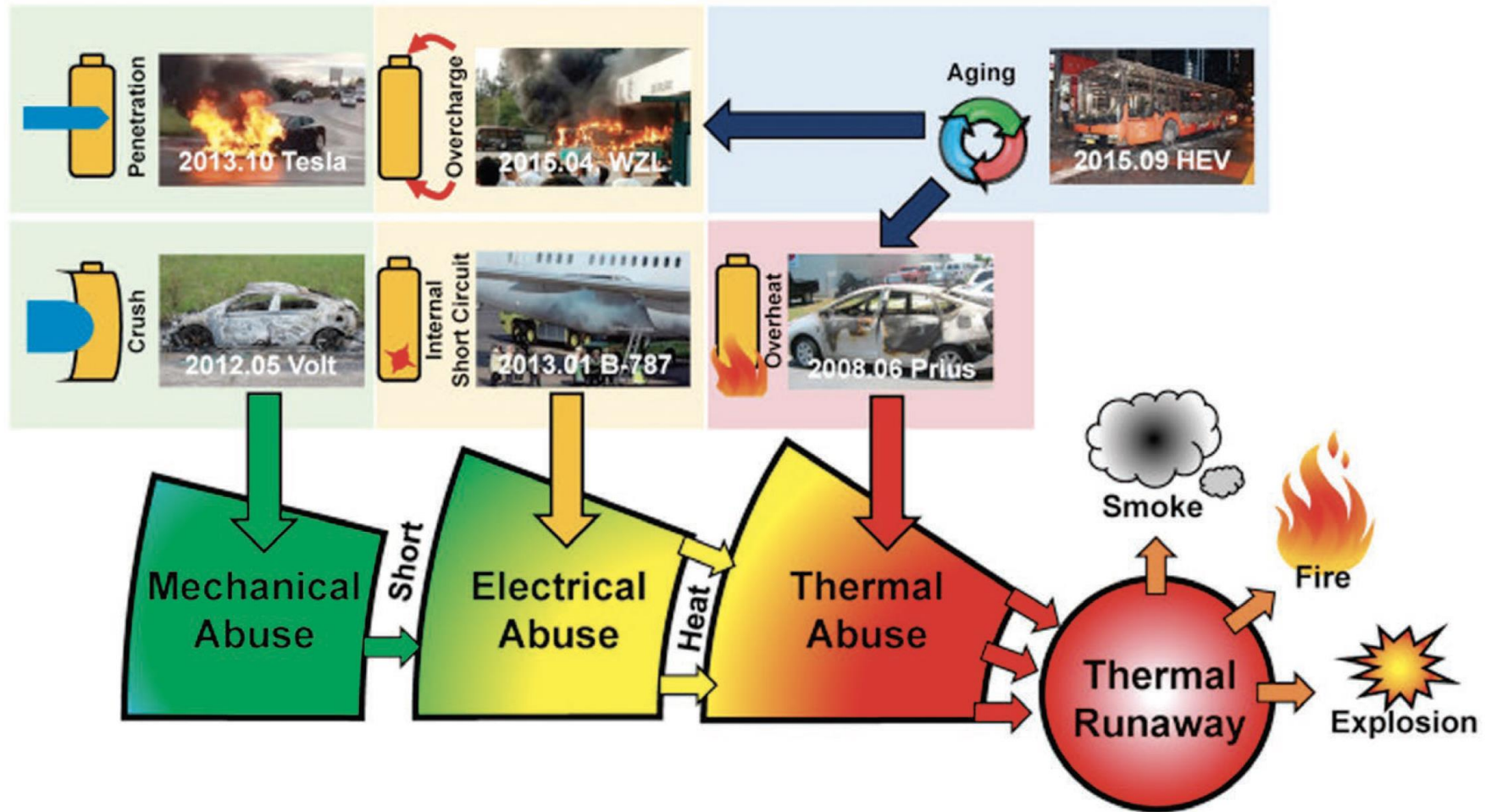
Disposizione dei diversi componenti in una cella



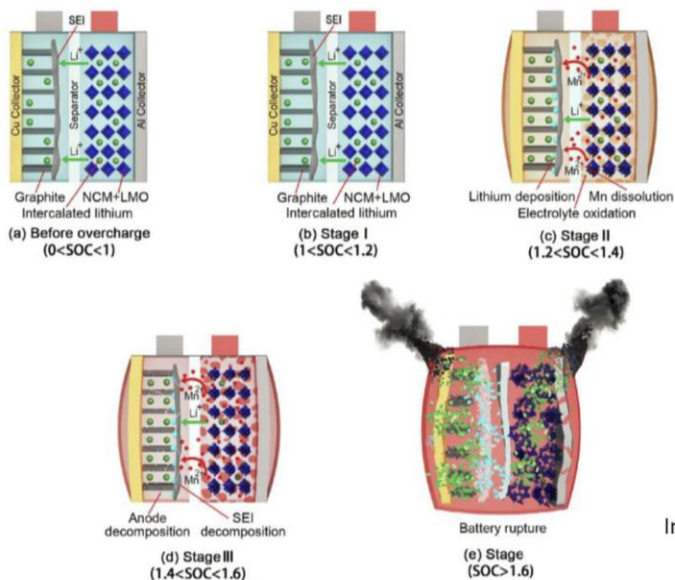
Cella NMC



Modalità di guasto



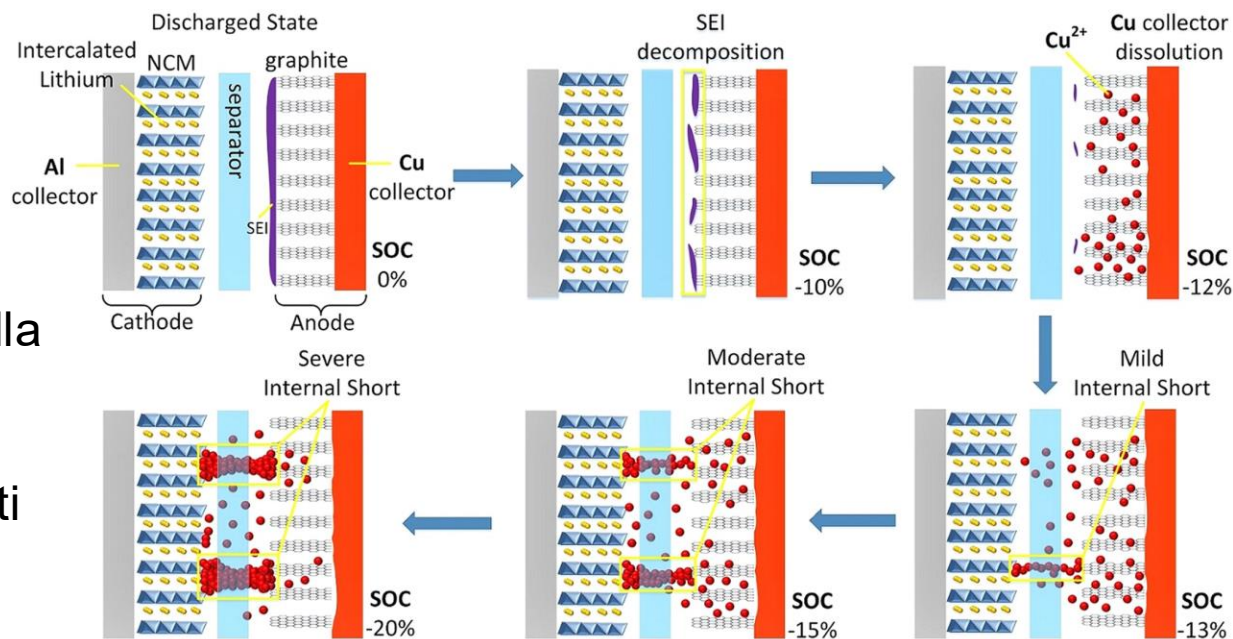
Abuso elettrico



Sovraccarica

Si carica la cella oltre la V_{max} oppure viene fatta passare una corrente $> I_{max}$.

Conseguenze: degradazione degli elettrodi -> fenomeno del plating



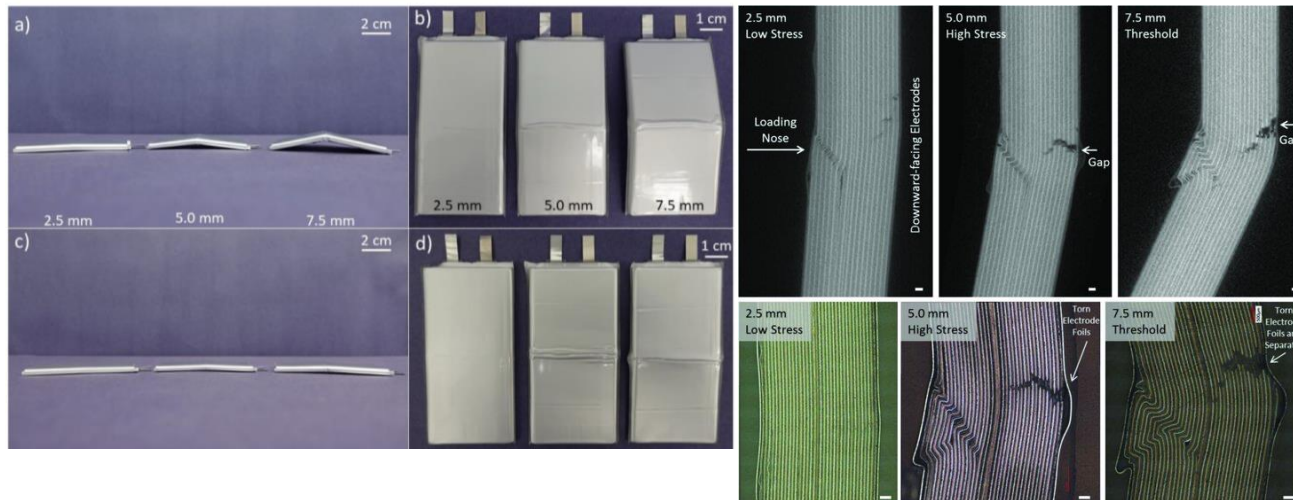
Sovra-scarica

Si scarica la cella al di sotto della V_{min} .

Conseguenze: dissoluzione del collettore di rame -> cortocircuiti interni

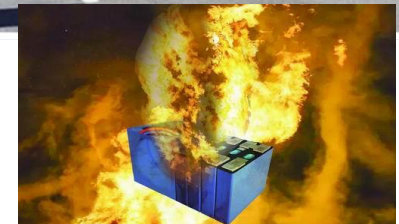
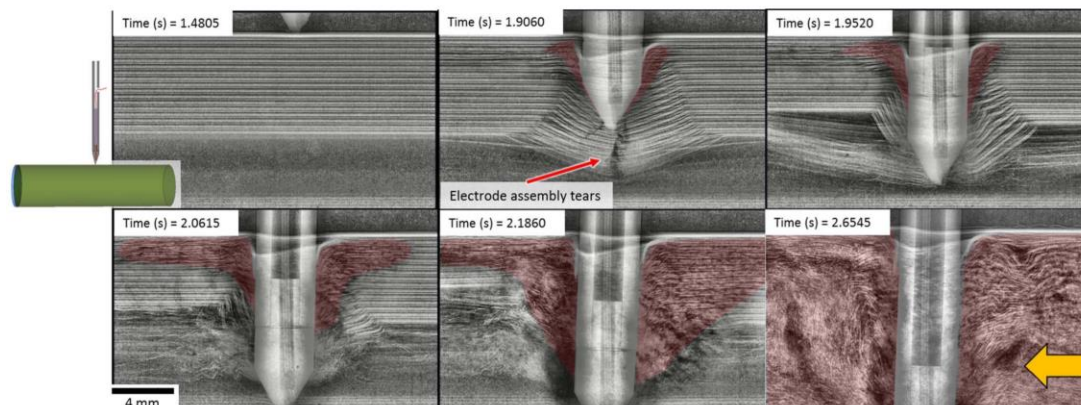
Abuso Meccanico

Collisione-Crash



Le conseguenze di un **abuso meccanico** sono la formazione di cortocircuiti interni e possibile TR della batteria

Nail Penetration



Abuso termico

Alta temperatura

Cause: mancanza di dispersione del calore interno generato, elevato flusso termico dall'esterno (ad es. per esposizione al fuoco).

Conseguenze: surriscaldamento generale o localizzato su singole aree, *runaway* termico.

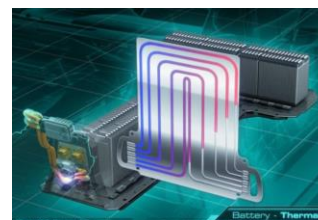


Sistemi di raffreddamento

Aria



Acqua



PCM



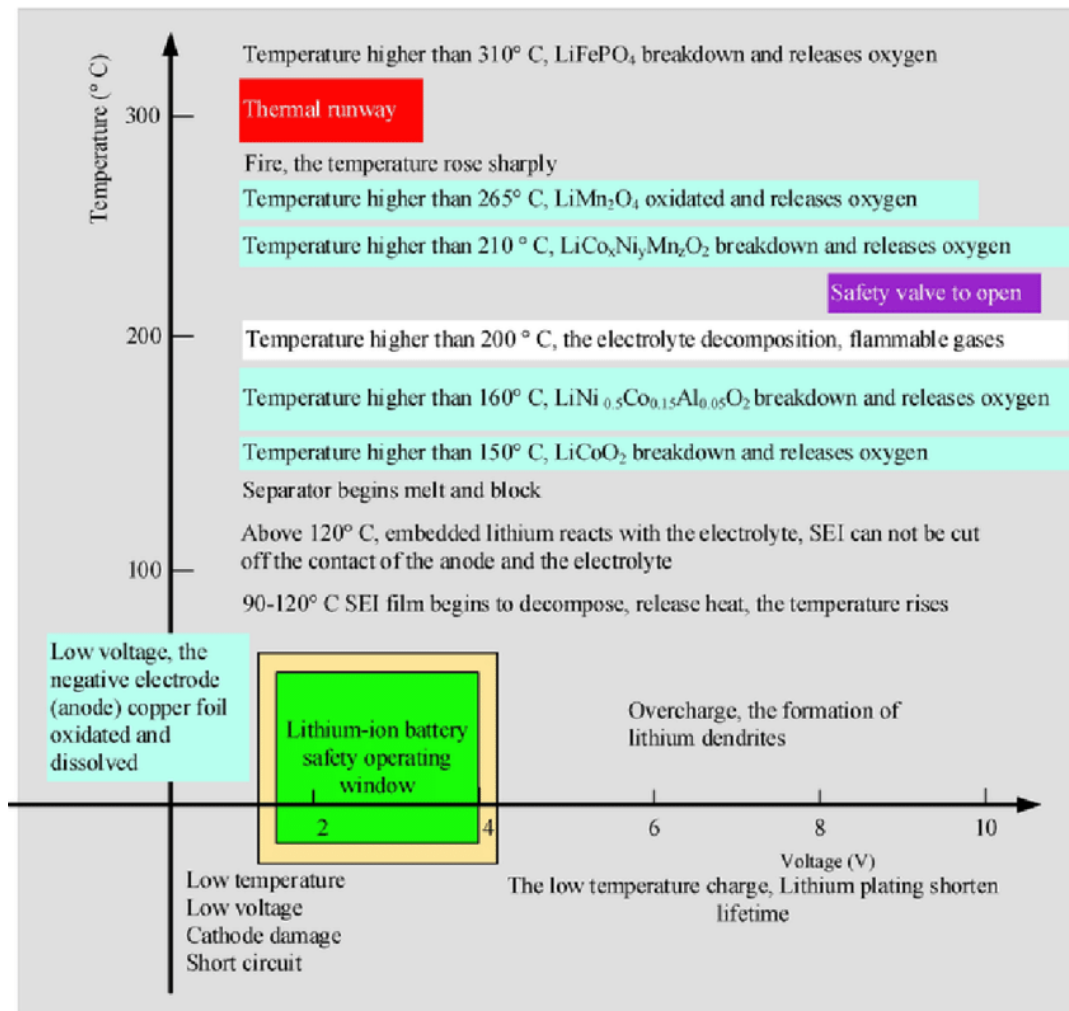
Bassa temperatura

E' una condizione meno grave del suo opposto.

Conseguenze: riduzione della velocità delle reazioni elettrochimiche e contrazione dei materiali che costituiscono gli elettrodi. Plating del litio all'anodo e perdita irreversibile di capacità.



Thermal Runaway

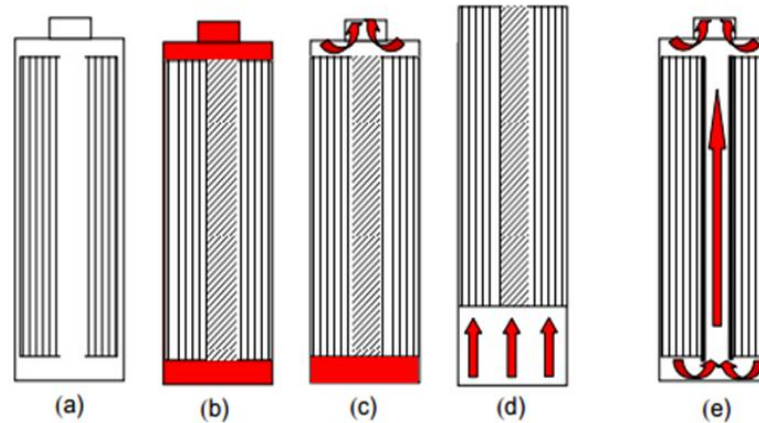


Rilascio rapidissimo e incontrollato di energia: velocità delle reazioni, globalmente esotermiche, incontrollata



Sistemi di sicurezza: dispositivi passivi

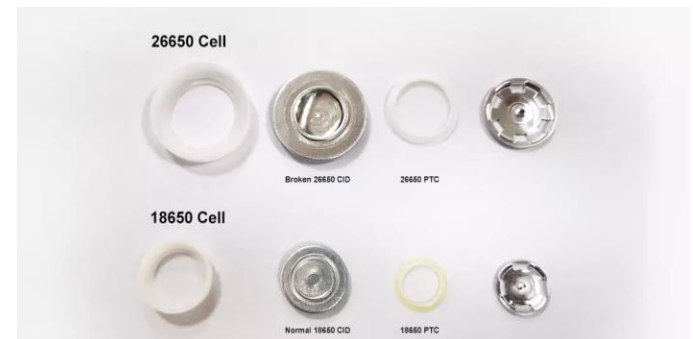
Sistemi di sfiato: Oltre determinati valori di pressione, i gas vengono fatti sfiatare verso l'esterno attraverso appositi dispositivi, evitando la rottura catastrofica della cella.



Tubo rigido
che previene
l'espulsione
del contenuto

Il **Current Interrupt Device (CID)** è un dispositivo che interrompe il passaggio di Corrente quando si supera un limite massimo di pressione.

Il **Positive Temperature Coefficient (PTC)** device è un disco di materiale ceramico posizionato all'interno della batteria che aumenta la sua resistenza quando la Corrente supera un certo limite.



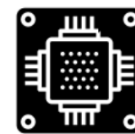
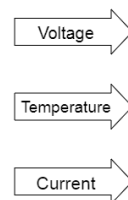
Sistemi di sicurezza: dispositivi attivi

PCB: The Battery Protection Circuit Board bilancia i parametri operativi interni di una cella contribuendo a garantirne sicurezza e performance. I.E. per prevenire una sovraccarica il PCB limita la tensione massima a 4.25 V



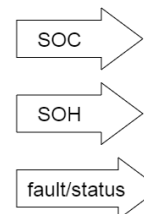
BMS: è un sistema elettronico che gestisce e monitora le prestazioni di una batteria ricaricabile per garantirne sicurezza, efficienza, longevità e prestazioni ottimali.

Input from Battery



BMS

Output To Application



Mezzi estinguenti

Company	Country	Year	Battery	Chemistry	Water	CO ₂	Foam	Powder	N ₂	Sand	Halon*	Whatever suitable
Yuka Energy	China	2011	Pack	LCO		x	x	x		x		
Makita	USA	2013	Pack	NCO	x		x	x				
Enertech	Korea	2017	Pack	NMC	x			x		x		
Samsung	Korea	2011	Cell	NMC	x			x				
Samsung	Korea	2016	Cell	NMO	x	x	x	x	x			
Saft	France	2009	Pack	LCO	x	x		x			x	
Bipower	USA	2017	Pack	LCO	x	x		x				
LG Chem	Korea	2013	Cell	NMC								x
Motorola	USA	2017	Pack	LCO	x	x	x	x				
Ideal	USA	2010	Cell	LCO		x	x	x				
SDPT	China	2016		LCO	x	x						
Bren-Tronics	USA	2013	Pack	LCO	x	x	x	x				
Advanced Energy	USA	2011		LCO								x
Leo Energy	Singapore	2014		NMC	x		x					
IDX	Japan	2016	Pack	LMO	x	x	x	x	x			
Panasonic	USA	2015		NMC	x	x	x	x				

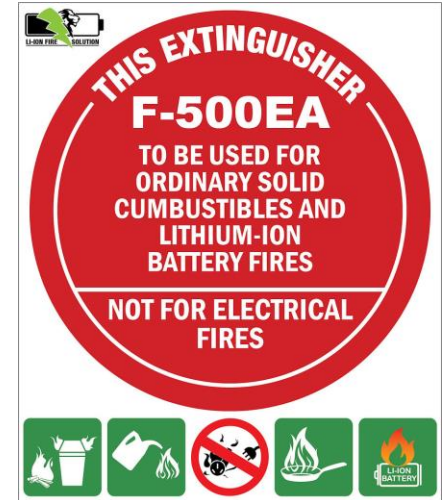
Wilkens K., Johnsen B., Bhargava A., Dragsted A., (2017). Assessment of Existing Fire Protection Strategies and Recommendation for Future Work, in Project BLUE BATTERY, Part II; Danish technological Institute.
<https://brandsikring.dk/files/Pdf/FogU/Project%20BLUE%20BATTERY%20-%20Part%20II.pdf>.

Mezzi estinguenti

Test su agenti estinguenti:

- a base d'acqua come **water mist** e **F-500**,
- agenti gassosi come **CO₂**.

La **nebbia d'acqua** e il **F-500** hanno permesso di raggiungere temperature inferiori a 100 ° C dopo l'applicazione iniziale. Al contrario, la **CO₂** ha mostrato un effetto di raffreddamento relativamente ridotto, portando a un **aumento delle temperature** in seguito alla seconda applicazione.



La discrepanza negli effetti osservati può essere attribuita alle **proprietà fisiche intrinseche** degli agenti e al **meccanismo di raffreddamento sottostante**. Infatti, poiché water mist e F-500 sono liquidi, vengono spruzzati sotto forma di **microgocce**, che possono **penetrare più facilmente all'interno della cella**, facilitando così il raffreddamento interno.

L'effetto di raffreddamento **superiore dimostrato dal F-500 rispetto alla nebbia d'acqua** può essere attribuito alla **capacità del F-500 di incapsulare i componenti soggetti a combustione all'interno di micelle**, inibendo così la combustione e, di conseguenza, il rilascio di calore.

Test di mitigazione della Thermal Runaway

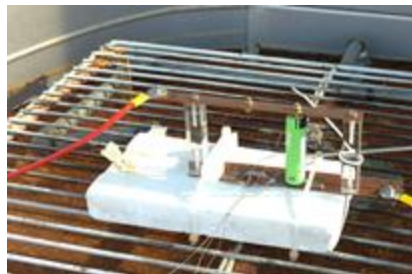


Test di abuso: set-up sperimentali

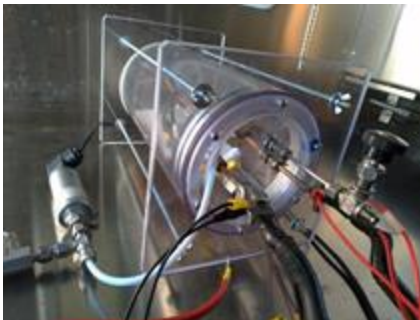
Impianto FARO



Cella sovraccaricata



Contenitore strumentato per test di abuso elettrico



Strumentazione per il monitoraggio



Ciclatore portatile Eltra E-8325



Telecamera veloce



Termocamera ad infrarossi



Frame esplosione



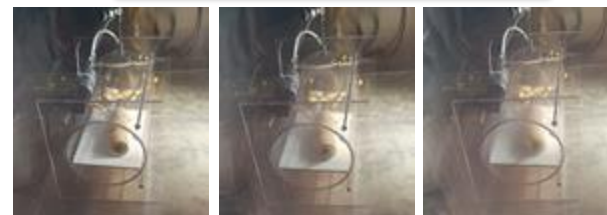
Termografie esplosione



Camera climatica per test di abuso



Sequenza del venting della cella durante la sovraccarica



Test di mitigazione della Thermal Runaway

Fluidi in diretto contatto con le celle per mitigare incendi di batterie li-ion

Sovraccarica

Thermal runaway

Principali proprietà richieste per il fluido:

- Il fluido deve essere un **isolante dielettrico**
- Il fluido deve essere **non infiammabile** o avere un **punto di infiammabilità sufficientemente alto**
- Il fluido deve possedere **elevata capacità termica specifica** e **buona conducibilità termica**
- Il fluido deve avere **basso impatto ambientale**

Fluidi selezionati

Esteri sintetici sono facilmente biodegradabili:

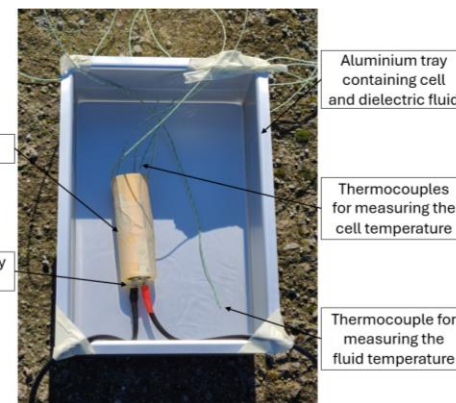
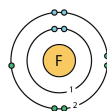
- Mivolt DF7: bassa viscosità, elevato fire point
- Mivolt DFK: massima sicurezza antincendio

Perfluoropolietteri (PFPE):
non hanno flash point e fire point.

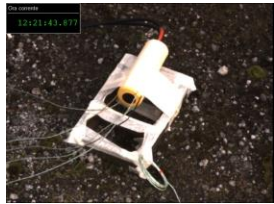
- Galden HT170: viscosità più bassa
- Galden HT270: punto di ebollizione più alto

Oli silconici: buona resistenza alla temperatura.
Clearco PM-125: high flash point, elevata rigidità dielettrica

Ozone depletion!!



Test di mitigazione della Thermal Runaway: risultati-1 cella



*Open air cell sequence a) before venting
b) loss of bottom due to venting c)
intensive venting d) explosion*

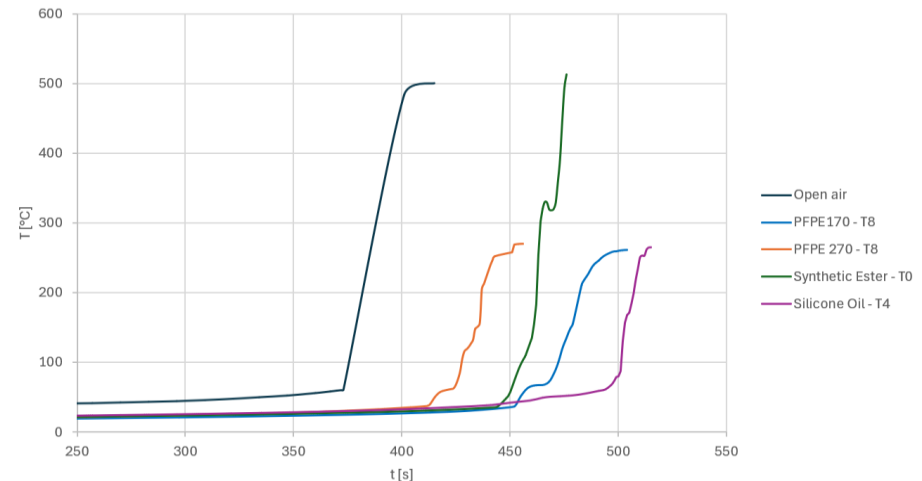


*Cell immersed in Galden HT170
sequence a) before venting b) loss of
bottom due to venting c) intensive
venting d) after intense venting.*



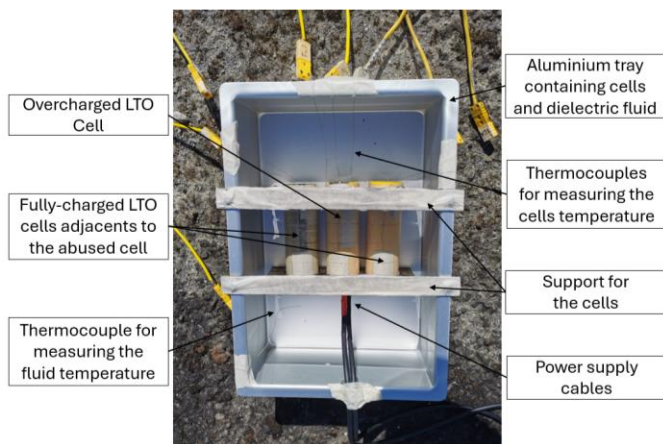
*Cell immersed in synthetic ester: (a)
before venting, (b) intensive venting, (c)
fire generation during the explosion, (d)
flames after in-tense venting.*

Tutti i liquidi testati sono riusciti a **ritardare** l'innesco della **thermal runaway**; tuttavia, il **PFPE170** si è distinto come l'unico e più efficace, dimostrando la capacità di **impedire** la generazione di fiamme.

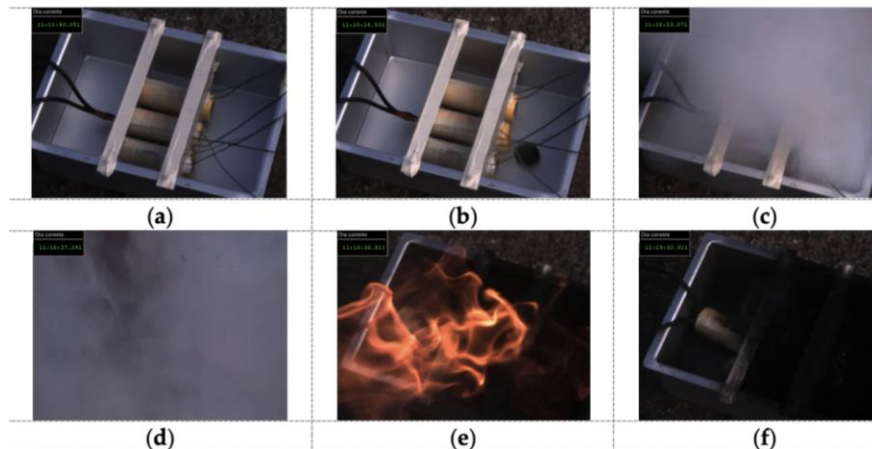


Test di mitigazione della Thermal Runaway:

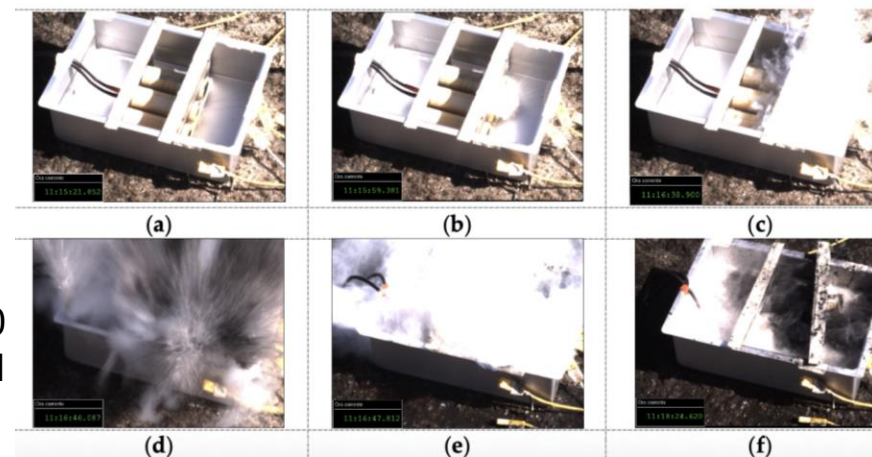
Le prestazioni del PFPE170 sono state ulteriormente validate in uno scenario semplificato di pacco batteria per valutare l'influenza della thermal runaway di una singola cella sovraccarica sulle celle adiacenti, sia in condizioni di aria aperta sia quando immerse nel PFPE170.



Aria



Galden HT170



I risultati di questi test hanno confermato che il PFPE170 offre significativi benefici di mitigazione, ritardando il thermal runaway e prevenendo la formazione di incendi.

Carla Menale
carla.menale@enea.it



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000

