



Sperimentazione su scala reale di una batteria Li-Ion: gestione efficace del soccorso nel caso di thermal runaway

Montelibretti, Italia, 14 Novembre 2022

Sandro Pelissero – CRE – Comando Vigili del Fuoco di Torino

Marco Aimò Boot – Electrification Tech. - Tertiary Safety Manager – Iveco Group



IVECO



Università degli Studi di Torino
Dipartimento di Chimica



Agenda

- Introduzione
- Fase di preparazione della prova
- Fase di estinzione
- Rilievi ambientali e termografici
- Conclusioni



IVECO

FPT
POTRANSA TECNOLOGIES

IVECO • GROUP

Introduzione

Obiettivi

A Dicembre 2021 è stato condotto un test di abuso termico severo su un **pacco batteria agli ioni di litio da 37 kWh** (16 moduli con celle pouch) presso l'area sperimentazioni del Distaccamento di Susa (TO) del **Comando dei Vigili del fuoco di Torino**. L'instabilità termica è stata indotta attraverso un surriscaldamento (da una fonte elettrica esterna) in uno dei moduli della batteria.



Valutazione del fenomeno del thermal runaway su scala reale in ambiente aperto



Verifica efficacia del thermal fuse in condizione di incendio della batteria



Valutazione dei rischi ed analisi impatto ambientale per il personale addetto al soccorso



Valutazione prestazione di un nuovo sensore di CO2 montato all'interno del pacco



IVECO

FPT
Prestazioni Tecniche

IVECO • GROUP

Introduzione

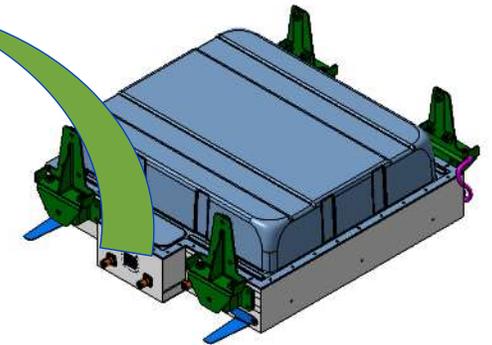
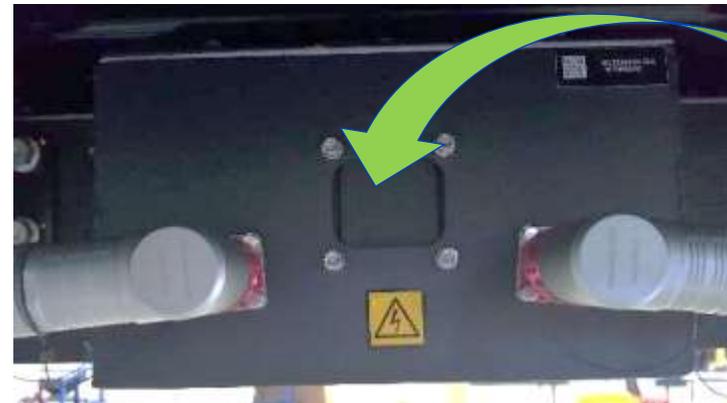
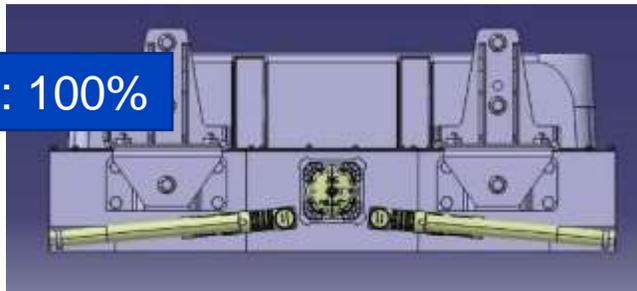
Caratteristiche della batteria in prova

Parametri	Valore
Materiale catodico	NMC
Configurazione	2P96S
Tensione operativa minima/massima	268/408 V
Capacità nominale	104 Ah
Energia nominale	37 kWh
Corrente nominale/massima in scarica	130/312 A
Dimensioni	959.5x856x300 mm
Peso	260 Kg

Batteria equipaggiata con elemento termofusibile “melting fuse” che consente:

- ✓ il raffreddamento diretto dei moduli nel caso di thermal runaway
- ✓ di mitigare il re-innesco dell’incendio (inertizzazione efficace)
- ✓ di ridurre considerevolmente il consumo idrico di estinzione

SOC batteria: 100%



IVECO

FPT
POWERTRAIN TECHNOLOGIES

IVECO • GROUP

4

Introduzione

Strumentazione di misura

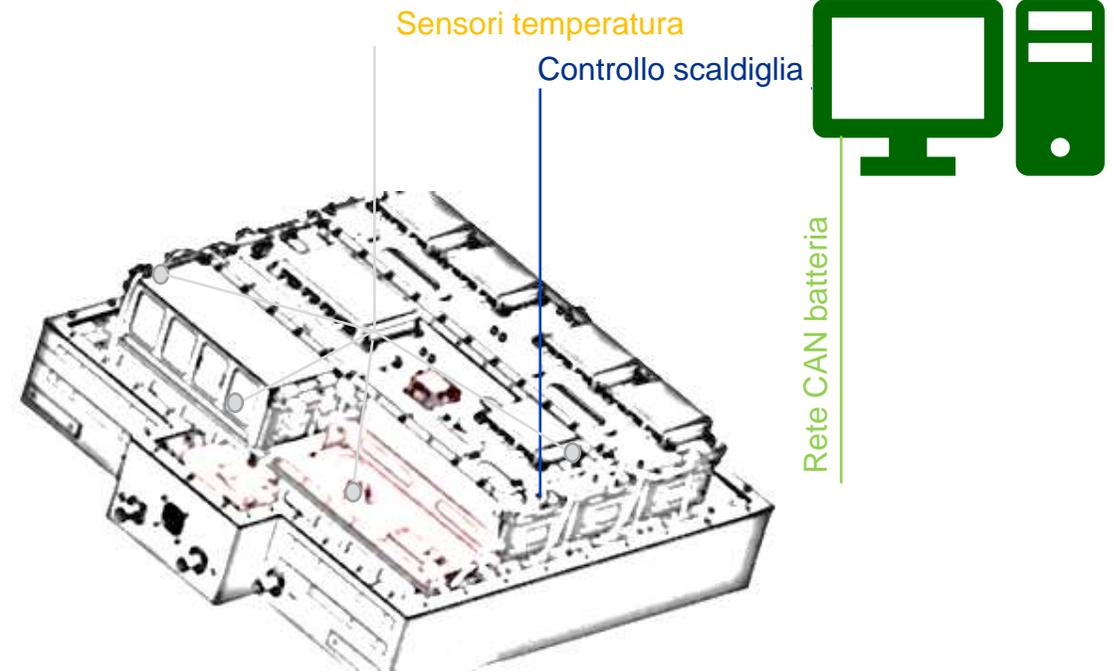
Sistema di acquisizione dati NI
Compact RIO

N° 16 termocoppie di tipo K per
alte temperature

N° 2 termocamere Flir - E54

Video camera GoPro camera -
Hero10 Black

Sensore sperimentale H₂/CO₂,
temperatura e umidità



IVECO

FPT
Prestazioni Tecniche

IVECO • GROUP

Fase di preparazione del test

Allestimento del campo prova

Gruppo di lavoro:

- Personale VVF Comando di Torino
– Distaccamento di Susa
- Nucleo NBCR Torino
- Tecnici esperti Iveco-FPT
- Personale del Dipartimento di
Chimica – Università degli Studi di
Torino
- Tecnico fornitore batteria in test



IVECO

FPT
POWERTRAIN TECHNOLOGIES

IVECO • GROUP

Avvio del prova di abuso termico

Generazione di gas e fumi

Viene innescato elettricamente il pacco batterie, dopo circa 8 minuti è avvenuta l'attivazione della valvola di sovrappressione "Vent" con il suo collasso, con una conseguente fuoriuscita di fumo e gas dall'interno del pacco batterie, aumentando gradatamente la sua densità ed intensità.



Postazione di controllo
e comando della
batteria in prova



IVECO

FPT
POWERTRAIN TECHNOLOGIES

IVECO • GROUP

7

Avvio del prova di abuso termico

Innesco dei gas

Dopo ulteriori 5 minuti è iniziata l'attivazione dell'elemento termofusibile denominato "melting fuse", posizionato sul lato opposto rispetto alla valvola di "vent", il suo collasso ha provocando la fuoriuscita dei fumi da ambo i lati. Dopo meno di un minuto, la miscelazione con l'aria ha dato modo che si generasse un dardo dalla parte della valvola termo fusibile di sovrappressione "vent". L'innesco del dardo sul lato della valvola denominata "vent", è da attribuire alla fuoriuscita in pressione di particelle incandescenti dal pacco batterie con la loro opportuna miscelazione con i fumi.



IVECO

FPT
POWERTRAIN TECHNOLOGIES

IVECO • GROUP

8

Fase pre-estinzione

Monitoraggio evoluzione incendio

Monitoraggio da parte del ROS dell'evoluzione della situazione: generazione di due dardi dalla parte della valvola di sovrappressione "Vent" e della portella termo fusibile "Melting Fuse". Prima fase di rilevazione in attesa del monitoraggio strumentale prima di iniziare le operazioni d'estinzione del pacco batterie.



IVECO

FPT
POMPEE TECNOLOGIE

IVECO • GROUP

Fase di estinzione

Approccio offensivo con tecnica del binomio

Inizio l'attacco all'incendio con la tecnica del binomio: la prima linea di attacco offensivo si avvicina con lancia DRM con una portata di 300 l/min.; avanza andando ad individuare la portella termofusibile "Melting Fuse".

L'operatore prima lancia, giunto in posizione di sicurezza riduce la portata a 150 l/min ed inizia le operazioni di allagamento e raffreddamento dell'interno del pacco batterie. La seconda linea difensiva resta in stand-by in attesa di indicazioni da parte del ROS.



IVECO

FPT
PNEUMATICI TECNOLOGICI

IVECO • GROUP

10

Fase di estinzione

Efficacia estinzione e raffreddamento

Si sospende la fase di estinzione dopo i primi 7 minuti, per un rallentamento dell'attività e una verifica termografica.

Si rileva che non immettendo acqua all'interno vi è un esponenziale aumento delle temperature indicativo dell'evoluzione del thermal runaway. Si riprendono pertanto le operazioni di estinzione.



IVECO

FPT
POWERTRAIN TECHNOLOGIES

IVECO • GROUP

11

Fase di estinzione

linea difensiva

Avvicinamento della seconda linea del binomio (linea difensiva),
per eseguire uno schermo di protezione e una ventilazione
idraulica.



Proseguimento operazioni di raffreddamento



IVECO

FPT
POMPE E MOTORI

IVECO • GROUP

12

Fase di estinzione

Termine estinzione e campionamento emissioni

- **Alle ore 12:52** → inizio delle operazioni di estinzione (dopo 20 min. dall'innescò del thermal runaway)
- **Alle ore 13:03** → termine della prima fase di estinzione; la batteria risulta sotto controllo e pronta per le operazioni di monitoraggio.
- impiegati complessivamente circa **2500÷2700 litri di acqua come attacco offensivo**, di cui **1700 litri** per le opere di **estinzione e raffreddamento direttamente all'interno del pacco batteria**.
- Come **attacco difensivo e ventilazione idraulica** sono stati impiegati circa **900 litri di acqua**.



Fase di campionamento emissioni aeree



IVECO

FPT
POMPEE TECNOLOGIE

IVECO • GROUP

13

Risultati

Analisi termografica

- 1 Hot spot su pacco batteria 23 minuti dopo l'attivazione della scaldiglia sul modulo
- 2 Distribuzione della temperatura nell'istante di massima intensità delle fiamme
- 3 Rilievo termico al termine della fase di estinzione. Hotspot di 121°C e nessun re-innesco dell'incendio.
- 4 Diminuzione della temperatura da 120°C a circa 79°C durante la fase di inertizzazione con estinguente F500.

1



2



3



4



IVECO

FPT
POWERTRAIN TECHNOLOGIES

3

4

IVECO • GROUP

14

Risultati

Analisi termografica

Dopo una prima fase di emissione di fumo, alcune particelle incandescenti sono state espulse dall'apertura di VENT. Molto probabilmente l'accensione dei gas infiammabili rilasciati dallo sfiato è dovuta alle stesse particelle incandescenti. Analoga modalità di innesco è attribuito al jet fire sul lato opposto dove è presente il melting fuse.



IVECO

FPT
Prestare Tecnologie

IVECO • GROUP

15

Risultati

Analisi VOC aria campionata durante spegnimento

Metodo **USEPA TO-15**: campionamento del gas in canisters evacuati in silcosteel (Restek), crio-concentrazione mediante “microscale purge and trap” (eliminazione dell’umidità e CO₂), analisi COV mediante gascromatografia accoppiata alla spettrometria di massa.

- Concentrazioni VOC tossici rimangono sempre < 1 ppmv e probabilmente nessuno supera i rispettivi TLV-TWA (test in ambiente outdoor).
- Tutti i campioni contengono benzene, toluene, etilbenzene e stirene (3b): decomposizione termica di polistirene, copolimeri acrilonitrile/stirene o ABS.
- Quantità relativamente alte di etanolo, che può derivare dalla decomposizione dell’etilmetilcarbonato.
- Presenza di solfuro di carbonile (COS): decomposizione di composti solforati, o dalla reazione al di sotto di 900 °C di CO e S.



Collettore raccolta fumi/gas in uscita dalla valvola di VENT



Campionamento gas/fumi con tedlar bag connesso al collettore



IVECO

FPT
Prestazioni Tecniche

IVECO • GROUP

16

Risultati

Analisi VOC e SVOC nelle acque di spegnimento

Analisi effettuate mediante gascromatografo e spettrometro di massa

- Rilevate quantità significative di **fenoli e bisfenoli** per una massa totale prodotta durante il test e migrata nell'acqua di spegnimento di 22 grammi). Probabilmente **decomposizione di resine fenoliche e policarbonati**
- Presente **etilmetilcarbonato** in quantità importanti (quantificazione non è del tutto corretta per metodo analitico non adatto per le sostanze volatili).
- Presenti **composti azotati**, in particolare nitrili alifatici e aromatici (che possono derivare da decomposizione di poliammidi (nylon) e gomme NBR) e ammidi cicliche (decomposizione di poliammidi).
- Quantità rilevanti di **etil metilcarbonato**, mentre il dietilcarbonato presente è al di sotto del limite di rivelabilità (stimato in 0.05 mg/l).



Campionamento sull'acqua di estinzione raccolta



IVECO

FPT
POWERTRAIN TECHNOLOGIES

IVECO • GROUP

17

Conclusioni

- Come prospettato, il **thermal runaway indotto per sovrariscaldamento** all'interno di un modulo ha indotto una **propogazione piuttosto rapida** a tutti gli altri 15 moduli del pacco.
- L'innnesco del **thermal runaway** tramite un elettro-riscaldatore comandando dall'esterno in anello aperto, ha evidenziato un **abuso piuttosto intenso** rispetto altri metodi o condizioni di potenziale guasto.
- L'**estinzione** dell'incendio si è conclusa **in circa 15 min.**
- Il **consumo idrico** complessivo per l'**attacco offensivo** dell'incendio (estinzione + raffreddamento) è stato di **circa 1700 litri.**
- Durante fase di combustione la **temperatura massima raggiunta** all'interno del pacco batteria è stata **superiore a 1200 °C.**
- Principali emissioni derivano da **decomposizione delle materie plastiche, solventi dell'elettrolita ed elettrodi** (celle).
- Il «**melting fuse**», introdotto per favorire l'estinzione e il raffreddamento dei moduli della batteria, **si è dimostrato efficace** favorendo il contenimento del consumo idrico rispetto
- Da questa **prima esperienza di test su scala reale** sono emerse delle **indicazioni interessanti per ottimizzare test successivi.**



IVECO



Battery Thermal Runaway Test



Pubblicazione

International Conference on Fires in vehicles (FIVE) 2023

LI-ION BATTERY FULL SCALE THERMAL RUNAWAY TEST: ENVIRONMENTAL AND PERSONNEL EXPOSURE INFLUENCE IN CASE OF RESCUE OPERATIONS

Marco Aimoboot
Electrification Technologies
Iveco Group, Italy
marco.aimoboot@ivecogroup.com

Marco Pazzi -Valter Maurino
Department of Chemistry
University of Turin, Italy
marco.pazzi@unito.it

Fabrizio Malaspina
Head of NBCR/NIAT Lab
Italian National Fire Corp, Italy
fabrizio.malaspina@vigilfuoco.it

ABSTRACT

Enhancing safety for emergency responders at electric vehicle traction battery fires is a key priority for the Public Authorities and the Manufactures at global level. Electrified vehicles are part of our transport decarbonization strategies and require the development of new and specific skills and knowledge among the different stakeholders.

Lithium-ion batteries supplying energy to different EVs are designed satisfying stringent safety criteria and respecting specific Regulation and Standard ⁽²⁾, however on the occasions an incident occurs, it presents a different challenge for rescue services. ⁽¹⁾

This paper presents a full view of the research activity conducted in an open environment with the scope to evaluate the gaseous emissions impact and the contamination of the residual water after the fire extinguishing operation, as well as the exposure for firefighters, during and after the fire as result of a thermal runaway initiation on a fully charged lithium-ion battery pack with a nominal capacity of 37 kWh based on NCM pouch cells technology.

In corso di redazione l'articolo che sarà presentato durante la conferenza **FIVE 2023 (International Conference on Fires in vehicles)** in programma dal 24 al 28 Aprile a Stavanger in Norvegia.



Abstract accettato dal Comitato Scientifico di RISE per la presentazione orale.



IVECO



Ringraziamenti

Si desidera esprimere i più vivi ringraziamenti a:

- Al **D.V.D. Ing. Pierpaolo Gentile** e al **Dir. Sup. Ing. Michele Mazzaro** per l'opportunità offerta di illustrare l'attività sperimentale svolta.
- Al Comandante dei **Vigili del Fuoco di Torino**, il **Dir. Gen. Ing. Agatino Carolo**, he ha rilasciato l'autorizzazione allo svolgimento della prova assicurato la partecipazione di un consistente e ben addestrato personale di soccorso.
- All'**Ispettore Aldo Muscatello** e a tutto il personale del **Nucleo NBCR del Comando V.V.F. di Torino** per il prezioso contributo tecnico ed operativo.
- Ai **Proff. Marco Pazzi** e **Valter Maurino** dell'**Università di Torino** per l'attività campionamento ed analisi ambientale svolta.
- Al **C.R. Sandro Pelissero** e al personale del **Distaccamento V.V.F. di Susa** per l'ospitalità e per aver messo a disposizione la sede di prova.

grazie



IVECO

FPT
Prestazioni Tecniche

IVECO • GROUP

21