

PROGETTO: Valutazione rischio incendio/esplosione per depositi di batterie agli ioni di litio

TRED CARPI S.r.l.

Via Remesina Esterna 27/A – 41012 Fossoli (MO)

**VALUTAZIONE RISCHIO INCENDIO/ESPLOSIONE PER I
DEPOSITI DI BATTERIE AGLI IONI DI LITIO**

SVILUPPATA SECONDO D.M. 03/08/2015 e ss.mm.ii
V.1 – AREE A RISCHIO SPECIFICO
V.2 – AREE A RISCHIO PER ATMOSFERE ESPLOSIVE

Rev. 0	Report Valutazione Rischio Incendio/Esplosione	D.M.	A.L.	P.C.	15/05/2024
Rev.00	Descrizione	Red.	Contr.	Appr.	Data

INDICE

1	SOMMARIO TECNICO	3
1.1	INFORMAZIONI GENERALI.....	3
1.2	FINALITÀ DEL DOCUMENTO	3
1.3	NORME E STANDARD DI RIFERIMENTO	4
1.4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.	ANALISI PRELIMINARE	5
2.1	DESCRIZIONE DELL'ATTIVITA' E DELL'AREA OGGETTO DI INTERESSE	5
2.2	DESCRIZIONE DEL CICLO DI LAVORAZIONE DEL SITO	7
2.3	FOCUS SUL BATTERY CENTER	9
2.4	CONDIZIONI E MODALITA' DI STOCCAGGIO	12
2.4.1	BATTERIE DI VEICOLI ELETTRICI	12
3	ANALISI DEI PERICOLI E DELLE CAUSE D'INCENDIO ED ESPLOSIONE	13
3.1	CHIMICA DELLE BATTERIE	13
3.1.1	MECCANISMI DI FALLIMENTO	14
3.1.2	THERMAL RUNAWAY – EMISSIONE SOSTANZE INFIAMMABILI	16
4	VALUTAZIONE RISCHIO ESPLOSIONE	21
4.1	FORMAZIONE ATMOSFERE ESPLOSIVE	21
5	VALUTAZIONE DEL RISCHIO INCENDIO	25
5.1	INDIVIDUAZIONE DEI PERICOLI E DEL RISCHIO INCENDIO	25
S1	PROCESSO DI SCARICA	26
S2	MOVIMENTAZIONE E URTI	27
5.2	IDENTIFICAZIONE DELLE MISURE PREVENTIVE	28
6	SINTESI	29

Sulla base delle leggi concernenti i diritti di autore, è vietata la copia o riproduzione anche parziale di questo elaborato senza preventiva autorizzazione.

Il presente documento è stato compilato sulla base delle informazioni e dei dati in entrata forniti dal cliente disponibili al momento della redazione: sono sottoscritti per accettazione i risultati e le misure adottate, applicabili esclusivamente alla progettazione in oggetto e validi a condizione di non apportare modifiche non condivise con CEA Estintori.

1 SOMMARIO TECNICO

1.1 INFORMAZIONI GENERALI

COMMITTENTE	TRED CARPI S.r.l. Via Remesina Esterna, 27/A 41012 Fossoli (MO)
UBICAZIONE DELL'ATTIVITÀ	Via Remesina Esterna, 27/A 41012 Fossoli (MO)
TIPO D'INTERVENTO	Valutazione rischio incendio/esplosione per i depositi di batterie di litio sviluppata secondo D.M. 03/08/2015 e ss.mm.ii <ul style="list-style-type: none">• V.1 – Aree a rischio specifico• V.2 – Aree a rischio per atmosfere esplosive

1.2 FINALITÀ DEL DOCUMENTO

Con la presente relazione si va a rispondere alla richiesta di integrazioni, trasmesse mediante il “Provvedimento Autorizzato Unico di VIA comprensivo del Provvedimento di VIA relativo al progetto *“revamping dell’installazione esistente e nuova sezione di recupero vetro”* localizzato a Fossoli nel Comune di Carpi (MO), proposto da TRED CARPI Srl”, emesso dall’Arpae di Modena, di cui alla pratica n. 23857/2023.

La presente relazione in particolare va a rispondere alle seguenti richieste integrative dei Vigili del fuoco di Modena, relativamente alla valutazione rischio incendio/esplosione per i depositi di batterie agli ioni di litio.

La presente analisi costituisce pertanto una fase di valutazione del rischio *incendio ed esplosione*, relativamente alla presenza di batterie agli ioni di litio all’interno del Battery Center e all’interno dell’Area 1.

Essendo, infatti, la peculiare tecnologia di questi veicoli di tipo innovativo e non prettamente annoverata nell’ambito del panorama normativo italiano rappresentato dal Codice di Prevenzione Incendi – DM 03.08.2015 e s.m.i., si rende necessaria un’analisi per l’individuazione delle modalità, dei pericoli e delle tipologie di protezione più adeguate per i tipi di pericoli riscontrabili per tali tecnologie.

La valutazione del rischio è stata condotta secondo un processo di *studi e ricerca bibliografica* che ha analizzato i meccanismi alla base di questa tecnologia ed i potenziali fenomeni connessi di incendio ed esplosione in relazione alle specifiche condizioni di stoccaggio e trattamento dell’attività TRED Carpi, e costituisce un aggiornamento rispetto alle condizioni operative, le volumetrie degli ambienti e le modalità di stoccaggio.

L’analisi proposta prende a riferimento una valutazione del rischio svolta secondo più livelli d’indagine: mediante una fase di *definizione preliminare* nel documento verranno individuate e formalizzate, sulla base di valutazioni deterministiche, le condizioni più rappresentative del rischio, l’individuazione dei pericoli e delle cause d’innescio. Mediante una successiva *fase di definizione della soluzione tecnica* verranno individuate le misure da mettere in atto ed i sistemi di protezione da considerare.

La definizione di un’adeguata strategia antincendio si basa sull’introduzione di una serie di analisi e misure che insieme concorrono alla definizione di un livello di sicurezza globale.

Lo studio del rischio connesso nello specifico alla formazione di atmosfere esplosive è stato valutato secondo le indicazioni riportate nel documento *“Fire, Explosion and Risk Assessment Topic Guidance”* – HSE – Health and

Safety Executive. La valutazione del rischio incendio è avvenuta sulla base delle specifiche tecniche quali ISO 17732 ed ISO 16733 che hanno portato alla definizione di valutazioni deterministiche alla base della valutazione degli scenari d'incendio.

In entrambi i casi, seguendo le specifiche sopra individuate l'analisi ha preso a riferimento la costruzione di schemi logici basati su processi quali:

- Hazard Identification;
- Quantified risk assessment;
- Risk evaluation and evaluation reduction.

Per la valutazione del rischio incendio ed esplosione sono stati sviluppati i seguenti processi e criteri:

- Individuazioni delle condizioni generali di pericolo;
- Individuazione delle caratteristiche delle sostanze infiammabili;
- Identificazione dei pericoli di innesco e probabilità di accadimento;
- Identificazioni di eventuali zone di pericolo e loro estensione.

Lo studio ha reso necessario una ricerca ed analisi di mercato sullo stato dell'arte delle batterie agli ioni di litio, oggetto di analisi.

Attraverso una fase di *Risk management* e *Emergency arrangements* sono state individuate inoltre le misure per la mitigazione e la gestione del rischio.

Tale fase è stata operata mediante l'applicazione di modelli semplificati tra cui NFPA 68 ha portato all'identificazione degli scenari d'incendio di progetto ritenuti ammissibili.

1.3 NORME E STANDARD DI RIFERIMENTO

L'analisi condotta ha preso a riferimento le principali norme e standard per l'ambito d'interesse, facendo riferimento in particolare a:

- D.M. 03.08.2015 e s.m.i. – *Codice di Prevenzione Incendi*;
- NFPA 1 – *Fire Code Handbook*;
- NFPA 68 – *Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting*;
- NFPA 69 – *Standard on Explosion Prevention Systems*.
- *Fire, Explosion and Risk Assessment Topic Guidance* – HSE – *Health and Safety Executive*.

1.4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Le principali fonti di letteratura utilizzate come riferimento sono le seguenti:

- H. Shen, H. Wang, M. Li, C. Li, Y. Zhang, Y. Li, X. Yang, X. Feng, M. Ouyang (2023) *"Thermal Runaway Characteristics and Gas Composition Analysis of Lithium-Ion Batteries with Different LFP and NCM Cathode Materials under Inert Atmosphere"*;
- P. Sun, R. Bishop, H. Niu, X. Huang (2020) *"A Review of Battery Fires in Electric Vehicles"*, Hong Kong Polytechnic University;
- E. Barcaro, J. Hassoun (2020) *"La sicurezza delle batterie Li-ione"*, Università di Ferrara;
- A.R. Baird, E. J. Archibald, K. C. Marr, O. A. Ezekoye (2019) *"Explosion Hazards from Lithium-Ion Battery Vent Gas"*, Sandia Laboratories;
- M. Mazzaro, C. Di Bari (2020) *"Rischi connessi con lo stoccaggio di sistemi di accumulo Li-Ion"*, ENEA, CNVVF;
- D. Sturk, L. Rosell, P. Blomqvist, A. Ahlberg Tidblad (2019) *"Analysis of Li-Ion Battery Gases Vented in an Inert Atmosphere Thermal Test Chamber"*, MDPI;
- C. Mikolajczak, M. Kahn, K. White, R. T. Long (2011) *"Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment – Final Report"*, FPRF.

2. ANALISI PRELIMINARE

Mediante una fase progettuale preliminare di valutazione bibliografica si intendono individuare e caratterizzare le batterie, i meccanismi di fallimento, gli eventuali rilasci di prodotti infiammabili e i relativi quantitativi, che verranno considerati nella successiva fase di definizione progettuale.

2.1 DESCRIZIONE DELL'ATTIVITA' E DELL'AREA OGGETTO DI INTERESSE

L'area in oggetto fa parte del sito in cui vengono svolte operazioni di recupero di rifiuti urbani e speciali, pericolosi e non pericolosi, costituiti principalmente da apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE), di proprietà della ditta Tred Carpi Srl.

In particolare, le aree in oggetto sono quelle in cui sono presenti depositi di batterie agli ioni di litio, rispetto alle quali è richiesta una valutazione del rischio incendi/esplosioni, sviluppata secondo le V.1 e V.2 del Codice di Prevenzione Incendi.

Nel complesso industriale in oggetto, l'unica area in cui sono presenti le batterie agli ioni di litio è l'area n.3, nominata **Battery Center**, evidenziata in **giallo** in Figura 1.

Per quanto concerne le altre aree dell'attività, nell'area n.1 (in **azzurro** in Figura 1) sono stoccati elettrodomestici e elettronica mista, per le quali è prevista la rimozione delle batterie presenti prima di essere stoccate all'interno dell'area.

Di seguito si riportano uno stralcio del ciclo di lavorazione dell'attività con focus sul battery center, nel quale sono stoccate le batterie agli ioni di litio.

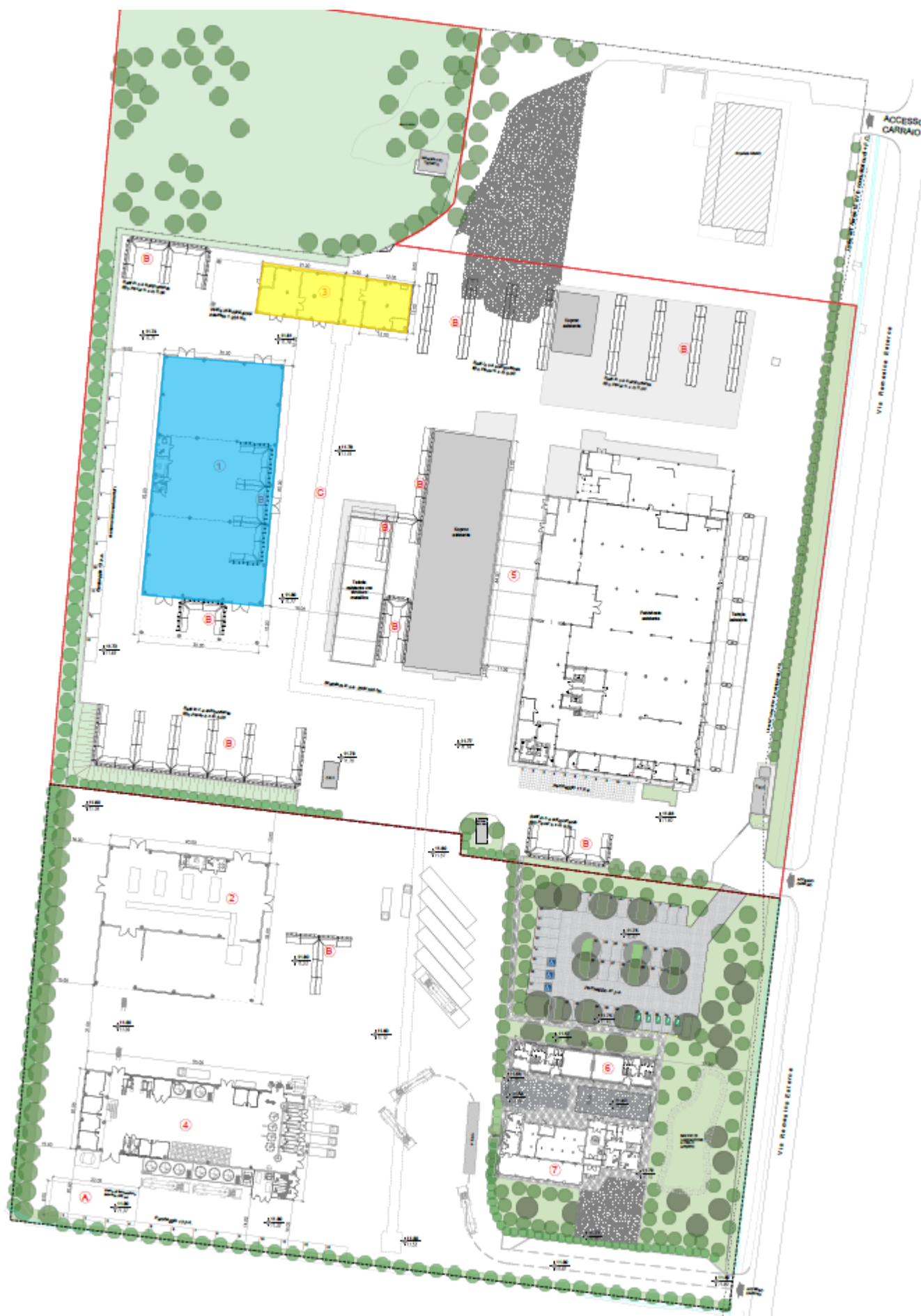


Figura 1 – Planimetria del sito di Tred Carpi, è evidenziato in **giallo** il battery center, in **azzurro** l'area n.1

2.2 DESCRIZIONE DEL CICLO DI LAVORAZIONE DEL SITO

Il ciclo di lavorazione del sito è di seguito riportato:

- 1) I camion contenenti i rifiuti accedono al sito dall'ingresso più a sud, raggiungendo il piazzale;
- 2) I prodotti a matrice vetrosa vengono inviati all'impianto di trattamento del vetro, indentificato con il numero 4, nel quale vengono trattati con acqua e soda, al fine di recuperare la matrice prima seconda costituita da silicati di sodio; i pannelli fotovoltaici vengono inviati all'edificio n. 2, nel quale i pannelli vengono smontati e macinati; dopodiché i camion proseguono il loro tragitto verso il Battery Center;
- 3) Le batterie vengono inviate al battery center (per la descrizione del processo si rimanda al seguito della trattazione);
- 4) Grandi elettrodomestici e elettronica mista vengono inviate all'edificio n. 1, dove le componenti, prive di batterie al litio, vengono stoccate separatamente. All'interno di tale area è presente la linea R4 di macinazione delle componenti elettroniche;
- 5) I camion lasciano l'attività.

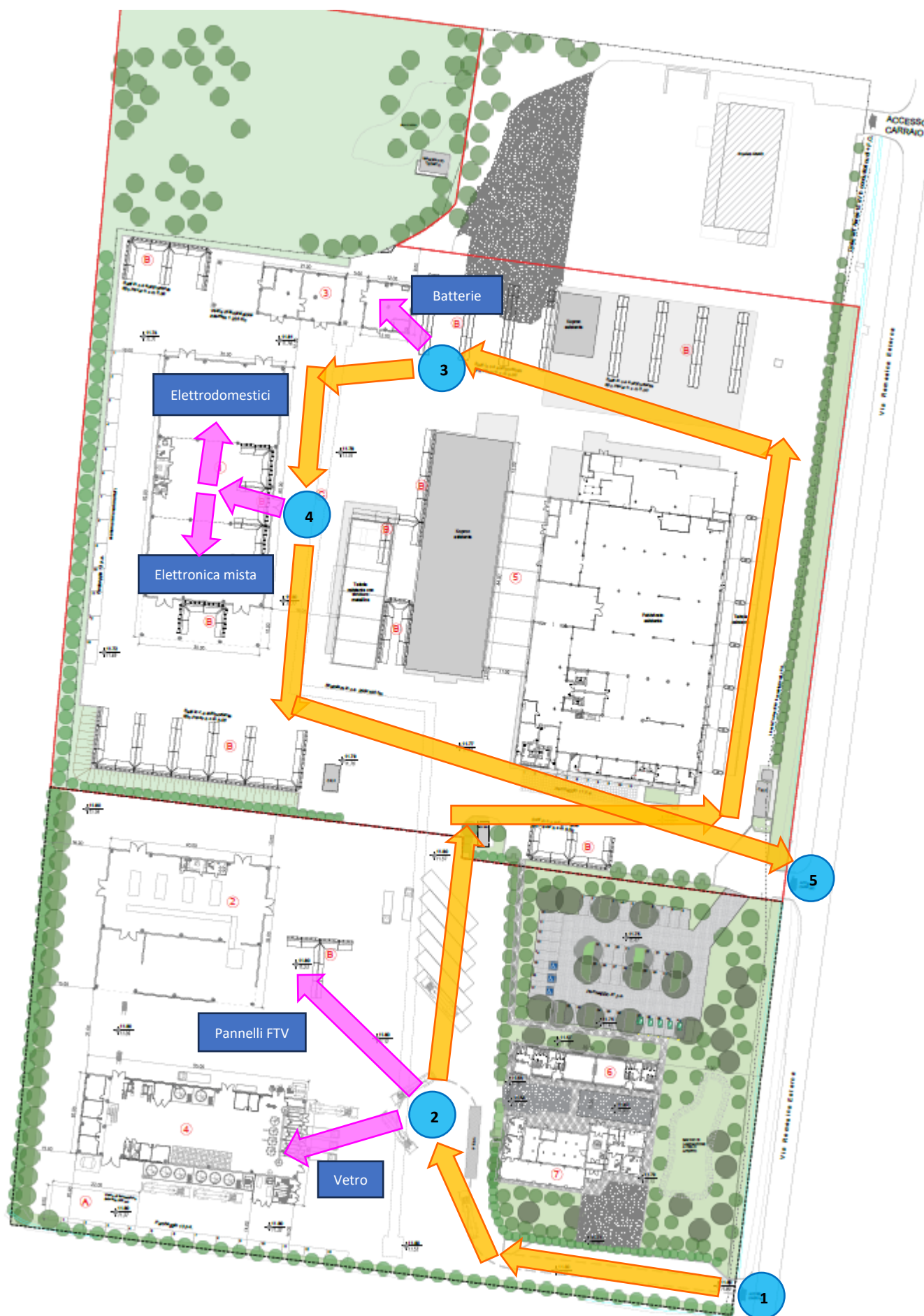


Figura 2 – Planimetria del sito di Tred Carpi, con individuazione delle fasi del ciclo di lavorazione

2.3 FOCUS SUL BATTERY CENTER

L'area adibita a battery center risulta organizzata in n. 2 edifici, aventi la stessa larghezza di 6 m e la stessa altezza, pari a 4.5m nel punto più basso e 5.5m nel punto più alto, e distanti fra loro circa 12m (Figura 3, Figura 4, Figura 5). All'interno del battery center si individuano n.3 aree, evidenziate in Figura 6:

- Un'area di stoccaggio in ingresso (*inbound storage*), di lunghezza pari a circa 18 m;
- Un'area di lavorazione (*workshop*), di lunghezza pari a circa 4 m;
- Un'area di stoccaggio in uscita (*outbound storage*), di lunghezza pari a circa 10 m.

All'interno del battery center vengono processate batterie di ogni tipo, per un quantitativo massimo pari a **20 tonnellate**.

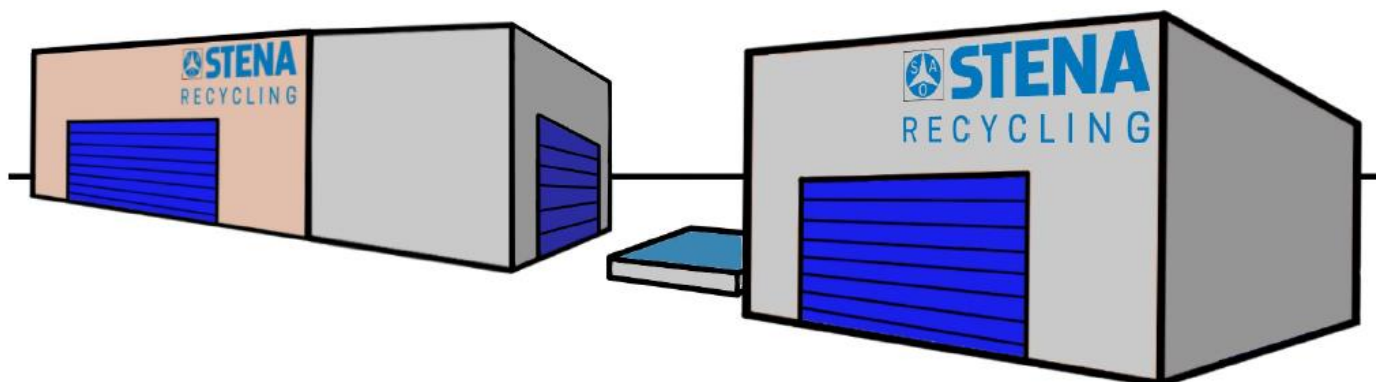


Figura 3 – Pianta esterna del battery center, isometria

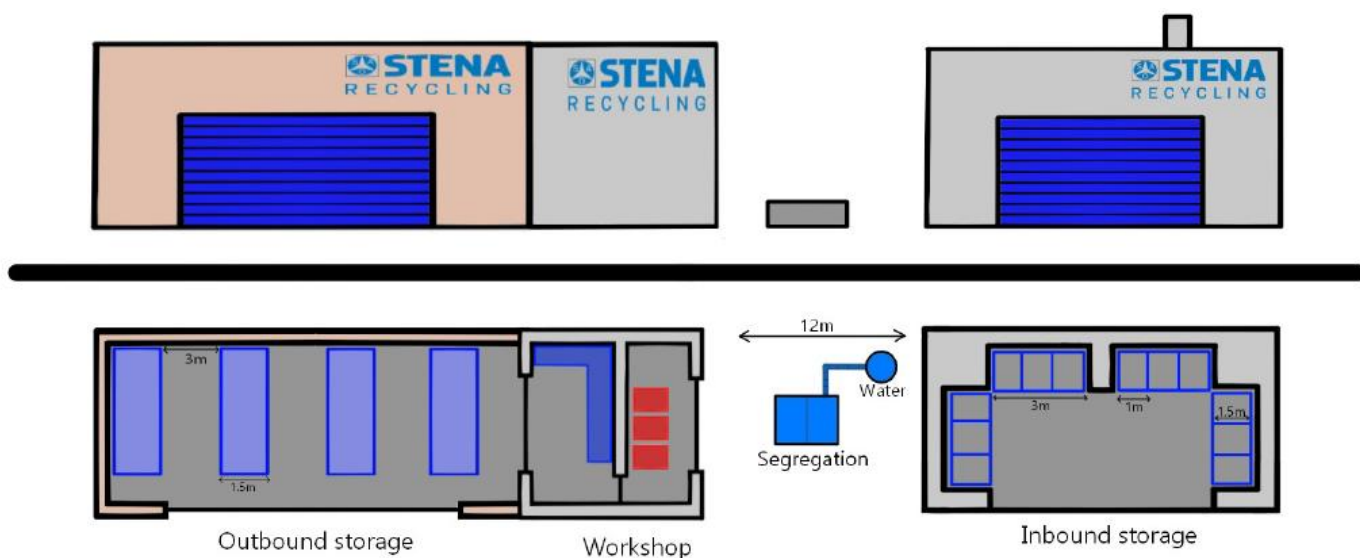


Figura 4 – Pianta esterna del battery center, proiezione ortogonale

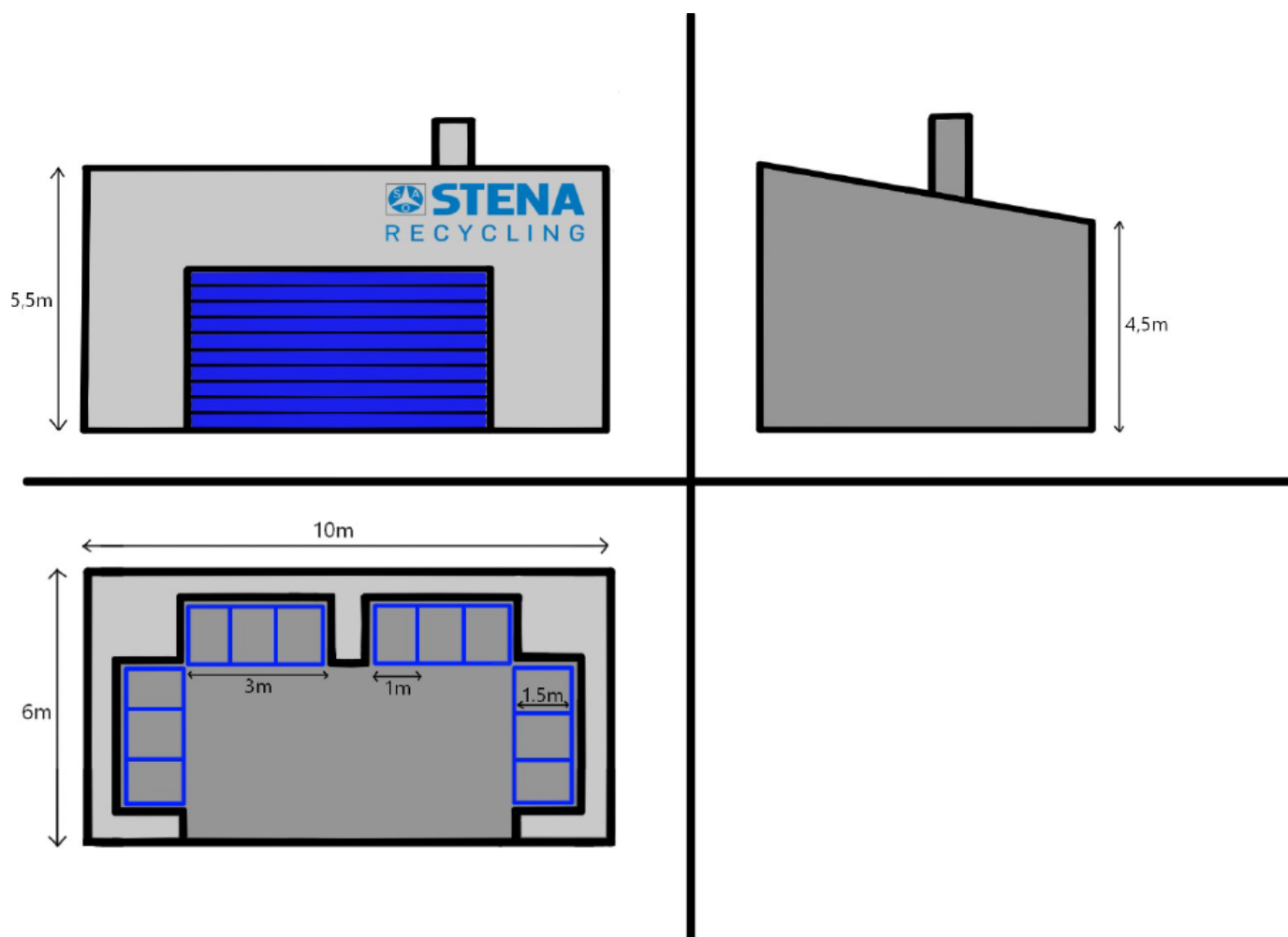


Figura 5 – Planimetria dello stoccaggio in ingresso, proiezione ortogonale

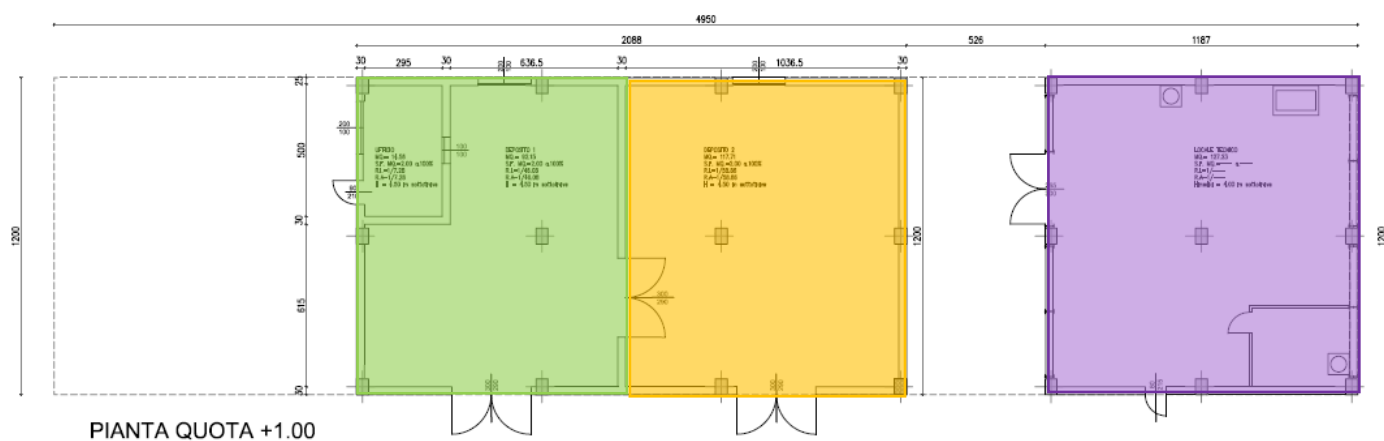


Figura 6 – Planimetria del Battery Center, con individuazione delle aree di stoccaggio in entrata (viola), lavorazione/workshop (arancione) e stoccaggio in uscita (verde)

In prossimità dell'area adibita a battery center, si eseguono le seguenti operazioni:

- Si effettua un controllo visivo dello stato delle batterie (controllo dei danni subiti, controllo della temperatura con termocamera) prima di entrare all'interno dell'area di stoccaggio in entrata;
- Le batterie vengono stoccate all'interno dell'area di stoccaggio in entrata;

- Le singole batterie vengono trasportate all'interno del workshop, dove vengono effettuate le lavorazioni, dopodiché vengono inviate al sottomarino/forno dove avviene la scarica ad un livello di carica pari a circa il 30%;
- Le batterie vengono spostate nell'area di stoccaggio in uscita.

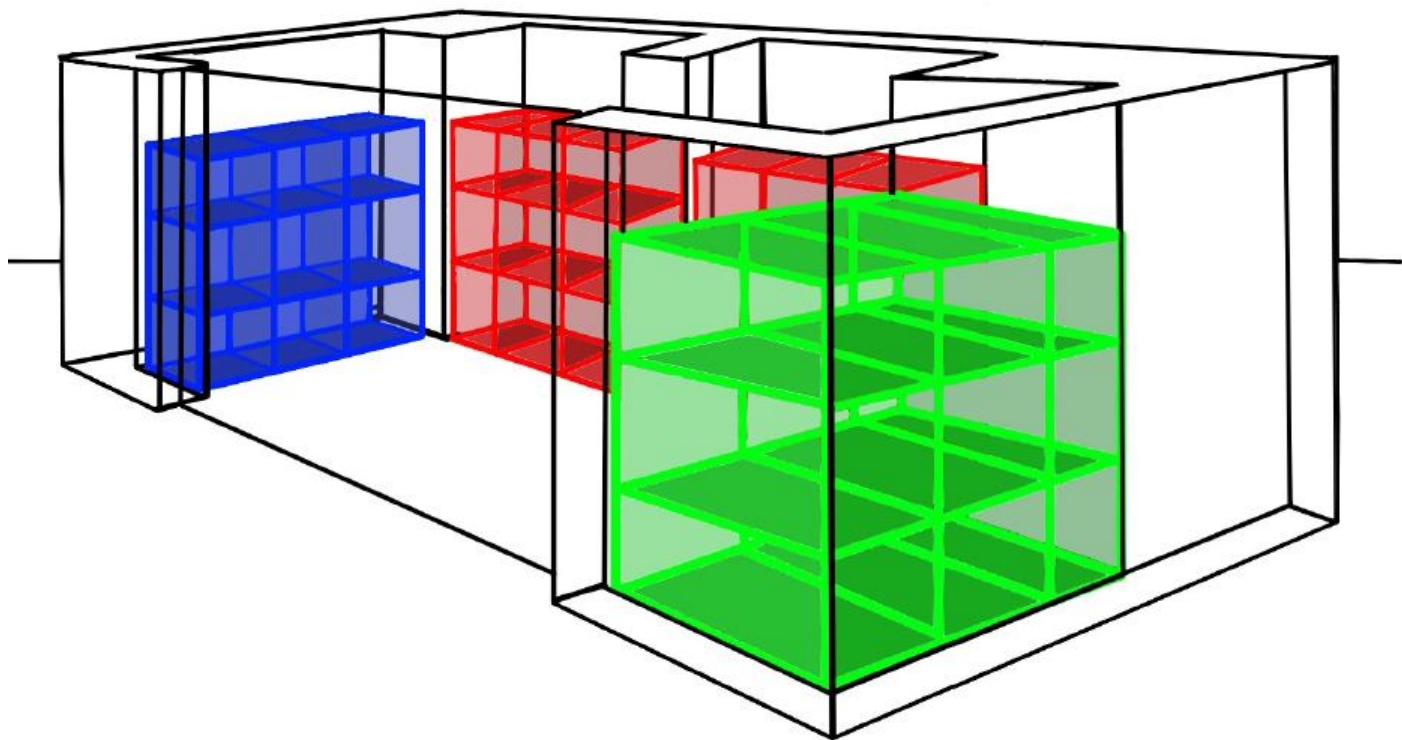


Figura 7 – Stoccaggio interno, isometria

2.4 CONDIZIONI E MODALITA' DI STOCCAGGIO

All'interno del battery center vengono trattate diverse tipologie di batterie, con tecnologie e dimensioni differenti. Potranno essere infatti presenti singole celle, moduli e pacchi batterie utilizzati per alimentare mezzi di movimentazione (es. carrelli elevatori, transpallet), veicoli sostenibili (es. monopattini elettrici) e autoveicoli a motore endotermico e elettrici.

Riguardo alle varie tipologie di batterie agli ioni di litio che possono essere presenti, le condizioni più rappresentative del rischio sono rappresentate da pacchi batterie che, se assemblate, sono capaci di fornire, oltre che elevate capacità di amperaggio (Ah), elevate condizioni di carica.

Sulla base delle modalità di stoccaggio e in funzione delle dimensioni in termini di volume, capacità e voltaggio la valutazione del rischio esplosione come evidenziato nel paragrafo 4 - VALUTAZIONE RISCHIO ESPLOSIONE, si concentrerà sulle batterie per auto elettriche stoccate all'interno del Battery Center, in quanto caratterizzanti le condizioni più gravose.

2.4.1 BATTERIE DI VEICOLI ELETTRICI

Il numero di veicoli a propulsione elettrica prodotti annualmente è in continuo aumento, a seguito di una maggiore ottimizzazione dei veicoli, incentivi per l'acquisto e limitazioni sulla produzione di emissioni nocive. I veicoli a propulsione elettrica comprendono i veicoli ibridi (HEV), quelli plug-in hybrid (PHEV) e i veicoli puramente elettrici (EV). La transizione dai veicoli tradizionali con motore endotermico (ICE) verso veicoli elettrici implica una serie di nuovi scenari di rischio in tutti gli ambiti relativi all'ambiente *automotive*. Anche relativamente alla fase di fine vita della batteria si delineano una serie di nuove sfide in termini di valutazione del rischio incendi ed esplosione.

Per poter inquadrare meglio lo stato dell'arte del panorama dei veicoli elettrici è stata effettuata una ricerca sulle caratteristiche di alcuni tra i più diffusi modelli di veicoli elettrici ed ibridi attualmente in commercio. Questa istantanea del mercato automobilistico permette di valutare quelle che saranno le caratteristiche delle batterie che verranno trattate all'interno del Battery Center di Tred Carpi.

Produttore	Modello	Tipologia	Capacità (KWh)	Capacità (Ah)	Voltaggio (V)	Fonte
Tesla	Model S	EV	100	-	407	www.tesla.com
	Model 3	EV	50-75	-	360	
Nissan	Leaf	EV	40-62	-	350	www.nissan.it
Fiat	500e	EV	23.8-42	-	364	www.fiat.it
Smart	ForTwo	EV	17.6	-	-	www.smart.mercedes-benz.com
Hyundai	Kona	EV	64	-	356	www.hyundai.com
	IONIQ	PHEV	1.6	-	240	
Audi	e-tron	EV	95	-	396	www.audi.it
	e-tron GT	EV	93	-	800	
Mercedes	EQA	EV	66.5	-	367	www.mercedes-benz.it
	EQC	EV	80	-	405	
Porsche	Taycan	EV	79.2-93.4	-	800	www.porsche.com

Tabella 1 – Caratteristiche delle batterie dei principali produttori di veicoli elettrici (dati gennaio 2022)

Come si può riscontrare dalla Tabella 1, l'analisi dei dati dei principali produttori di auto evidenzia come l'attuale segmentazione del mercato prevede una tecnologia basata su voltaggi medi in funzione delle tipologie di auto pari a 400 V:

- BEV: 800 V;
- EV: 400 V;
- HEV: 48 V.

3 ANALISI DEI PERICOLI E DELLE CAUSE D'INCENDIO ED ESPLOSIONE

3.1 CHIMICA DELLE BATTERIE

Gli accumulatori, denominati in generale anche batterie, sono apparati elettrochimici in grado di accumulare carica elettrica e di restituirla in fase di scarica.

Le batterie o accumulatori sono costituite da un insieme di *celle elementari* elettricamente collegate l'una all'altra in serie o in parallelo per raggiungere il valore desiderato di tensione (Volt) e corrente (Ah). La cella è l'elemento costruttivo elementare della batteria capace di convertire l'energia chimica in elettrica. Una cella comprende infatti due piastre definite elettrodi (catodo ed anodo) immerse in un liquido elettrolita responsabile delle reazioni elettrochimiche di ossido riduzione.

Esistono diversi modi di sfruttare la reazione chimica della cella elettrolitica: ad ognuno di questa corrisponde una diversa prestazione.

Le principali chimiche presenti sul mercato riguardano:

- Piombo acido (Pb-acido);
- Nichel Cadmio (Ni- Cd);
- Nichel Idruri Metallici (Ni-MH)

Le celle al **Litio** hanno una maggiore densità di energia rispetto alle tecnologie precedenti per tale ragione hanno trovato applicazione nell'ambito dei veicoli ibridi ed elettrici.

Batterie agli ioni di litio

Ai fini di una migliore comprensione dei pericoli d'incendio che questa nuova tecnologia può comportare, sulla base dei principali studi e fonti di letteratura consultati (*P. Sun, R. Bishop, H. Niu, X. Huang (2020) "A Review of Battery Fires in Electric Vehicles"; Hong Kong Polytechnic University, E. Barcaro, J. Hassoun (2020) "La sicurezza delle batterie Li-ione", Università di Ferrara; H. Shen, H. Wang, M. Li, C. Li, Y. Zhang, Y. Li, X. Yang, X. Feng, M. Ouyang (2023) "Thermal Runaway Characteristics and Gas Composition Analysis of Lithium-Ion Batteries with Different LFP and NCM Cathode Materials under Inert Atmosphere"*) verranno di seguito dettagliate le principali caratteristiche **delle batterie agli ioni di litio**.

La composizione delle sostanze contenute all'interno della batteria rappresenta la chimica degli elementi della cella. Nello specifico il catodo delle batterie al litio può presentare differenti composizioni chimiche, che vengono di seguito riportate:

- **Litio – Cobalto (LCO)**: uno dei tipi più diffusi per la costruzione del catodo. Presenta alcuni problemi di surriscaldamento, come pure di instabilità nel caso di perforazione del contenitore;
- **Litio – Ferro – Fosfato (LFP)**: possiede una stabilità termica superiore rispetto alle batterie LCO. Queste batterie hanno energia più bassa delle LCO, ma potenza superiore;
- **Litio – Ossido di Manganese (LMO)**: offre un'alta tensione di cella e stabilità termica, ma energia minore;
- **Litio – Nichel – Cobalto – Manganese (NMC)**: rappresenta un buon compromesso rispetto agli altri tipi di tecnologie;
- **Litio – Nichel – Cobalto – Alluminio (NCA)**: caratteristiche simili alle NMC, con l'aggiunta di alluminio che conferisce maggiore stabilità chimica.

Le casistiche incidentali indicano che i principali **trigger** (inneschi) per le batterie agli ioni di Litio (LiB) derivano da

eccessiva carica, surriscaldamento, schiacciamento, impatto meccanico e cortocircuiti (interni ed esterni). Tramite queste tipologie di inneschi, le batterie possono incorrere in **categorie di incidenti** che generano rapidi aumenti di temperatura e sfiato (*venting*), con possibili fiammate, espulsione di parti costituenti (missili primari), incendio o esplosione.

In particolare, l'effetto *venting* comporta la veloce emissione di sostanze contenute all'interno della batteria verso l'esterno. Le batterie sono progettate per contenere pressioni moderate per impedire il rilascio di gas ed elettroliti. Eventuali perdite nelle batterie possono essere associate a difetti, forze eccessive, abuso deliberato o involontario. La principale forza trainante è la pressione interna delle celle, sia che si considerino perdite lente, rotture o esplosioni.

3.1.1 MECCANISMI DI FALLIMENTO

I **meccanismi di fallimento** per questo tipo di batterie possono essere divisi nelle seguenti macro classi:

- **Abuso termico:** Prevede la generazione di calore all'interno delle batterie in risposta a test/eventi. Ad esempio, il cortocircuito surriscalda la cella per effetto Joule a seguito del passaggio di alte correnti, fino all'innesco di reazioni chimiche interne al di sopra della temperatura di auto-riscaldamento. Il calore all'interno della cella può essere anche causato da altre reazioni chimiche ossidative, ad esempio a seguito di carica eccessiva, che sono in grado portare ad una fuga termica.
- **Danno fisico:** danni fisici quali foratura, schiacciamento, vibrazione o scossa possono comportare un cortocircuito all'interno di celle o pacchi batteria, e causare un flusso improvviso di corrente. Inoltre, elettroliti o altri materiali infiammabili fuoriusciti a seguito della compromissione accidentale del contenimento possono potenzialmente produrre incendi secondari.
- **Problematiche in fase di carica/scarica:** cariche eccessivamente lunghe o scariche troppo profonde possono verificarsi in caso di malfunzionamento dell'elettronica di controllo della stazione di ricarica oppure in caso di grave squilibrio tra le celle nel pacco batteria. La risposta di celle e pacchi batteria durante una carica eccessiva dipende da vari parametri come la corrente, la massima tensione applicata, l'ambiente termico e i materiali utilizzati, ed è una funzione complessa dei numerosi meccanismi di guasto. La risposta termica delle LIB in seguito a carica eccessiva è in gran parte determinata dalla chimica del catodo.
- **Cortocircuiti:** il corto circuito esterno è il tipo più comune di condizione di abuso della batteria. Può essere causato da diversi fattori, tra cui un oggetto estraneo, guasto del separatore, cattivo design della cella (ad esempio mancanza di sufficiente separazione o isolamento degli elettrodi nella cella), cattivi processi di fabbricazione (sbavature sul bordo del collettore di corrente), o pressione esterna sulle pareti della cella. I cortocircuiti interni possono anche svilupparsi a causa di altre condizioni di abuso che portano alla generazione di gas nella cella e allo spostamento degli elettrodi che possono entrare in contatto tra loro.

Le principali **categorie di incidenti** che possono rappresentare condizioni di pericolo e meccanismi di fallimento capaci di generare, in relazione alle condizioni gestionali e di stoccaggio del Battery Center, rapidi aumenti di temperatura e sfiato (*venting*), possono verificarsi nel caso di movimentazione delle batterie e urti accidentali (*danno fisico*) e nella fase di scarica forzata delle batterie per la sola area di lavorazione/workshop (*Problematiche in fase di carica/scarica*). Dato che le operazioni di lavorazione sulle batterie vengono effettuate nel Battery Center dove non sono presenti fonti di calore, non si ravvisano condizioni incidentali da abuso termico.

Nell'iter procedurale attuale, si va ad effettuare un controllo visivo dello stato delle batterie (controllo dei danni subiti, controllo della temperatura con termocamera) all'esterno del Battery Center, prima di entrare all'interno dell'area di stoccaggio in entrata, in modo da prevenire le conseguenze da danno fisico. Le batterie vengono poi stoccate all'interno del magazzino di stoccaggio in entrata, su scaffalature, da cui poi verranno trasportate all'interno dell'area di lavorazione, dove verranno scaricate fino al valore di sicurezza di massimo 30% di carica.

La fase di scarica risulta in ogni caso un'operazione importante per la mitigazione del rischio esplosione. Infatti, lo stato di carica della batteria (SOC) è direttamente proporzionale all'intensità di un eventuale incendio ed al rilascio di infiammabili. È importante per le batterie di nuova produzione una prima carica che determini la creazione di un'interfaccia passivante sull'anodo (SEI – *Solid Electrolyte Interphase*) per stabilizzare la cella. Per lo stoccaggio di celle e batterie a fine vita invece risulta importante mantenere il livello di carica più basso possibile, in modo da minimizzare le conseguenze di eventuali rilasci di infiammabili.

Per uno stato di carica – SOC pari al 100%, è in genere possibile riscontrare alti picchi di rilascio energetico. Per livelli di carica inferiori, i cortocircuiti interni e i rilasci termici sono sostanzialmente ridotti.

Di conseguenza, il *thermal runaway* scaturito da una batteria con carica al 100% può risultare più gravoso rispetto ad altre condizioni a causa dell'energia eccessiva contenuta all'interno della batteria agli ioni di litio, e l'eccessiva destabilizzazione del catodo e il deposito degli ioni di litio sulla superficie dell'anodo.

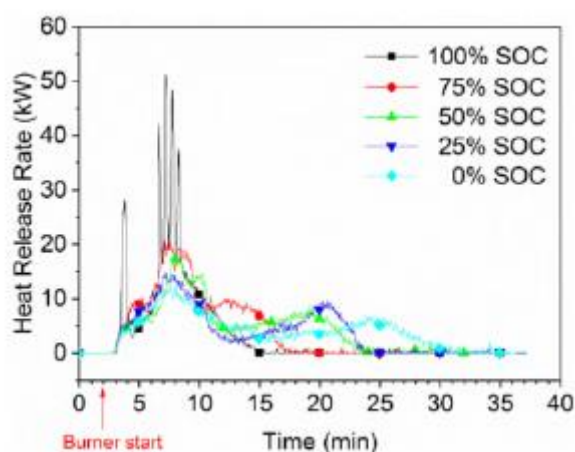


Figura 8 – Heat Release Rate (HRR) di pacchi di 5 celle EiG 7 Ah, usando un bruciatore esterno a propano, con carica delle celle SOC da 0% a 100 %.

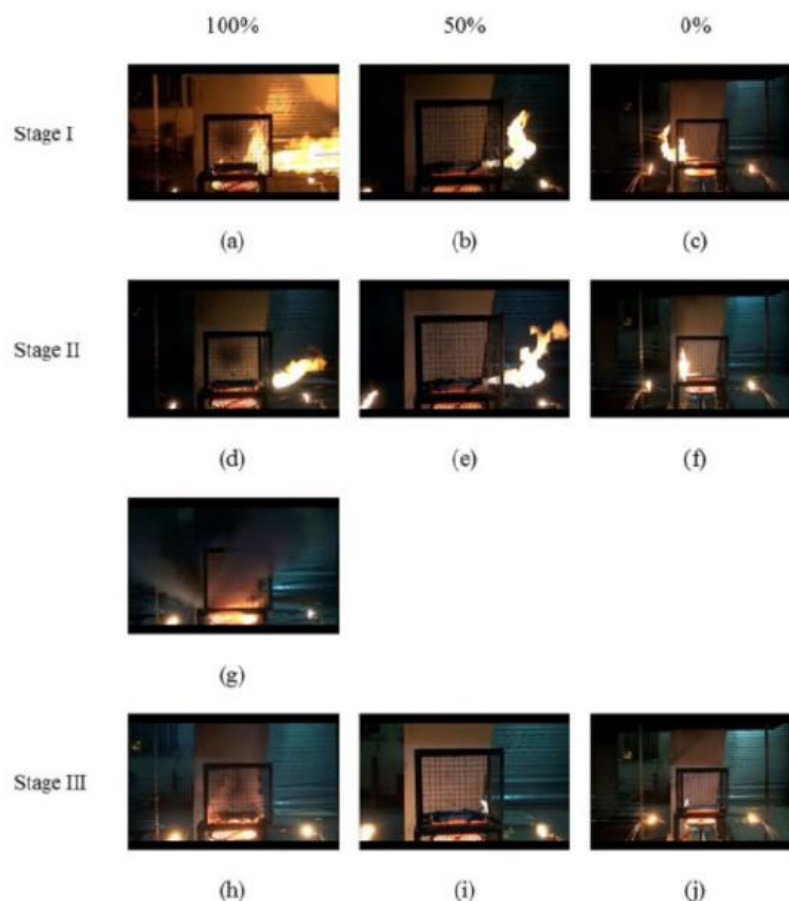


Figura 9 – comportamenti di combustione differenti per celle a differenti stati di carica (SOC 0%, 50% e 100%)

Il livello di carica risulta fondamentale anche in caso di danno accidentale di tipo meccanico. Come riportato dallo studio *C. Mikolajczak, M. Kahn, K. White, R. T. Long, "Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment – Final Report", FPRF, 2011*, esiste il potenziale rischio di danneggiamento meccanico dovuto alla movimentazione delle batterie. Caduta, schiacciamenti, perforazioni possono portare a fuoriuscita di elettrolita, corto-circuiti, e potenzialmente ad un *thermal runaway*. Lo stoccaggio a SOC ridotti diminuisce la possibilità che un danneggiamento di natura meccanica porti a rilasci termici e di gas. Anche il monitoraggio e controllo della temperatura ambientale permette di ridurre le possibilità di danno legato al surriscaldamento.

Per quanto si attiene alle operazioni di carica/scarica all'interno del Battery Center dell'attività in oggetto, vengono effettuate all'interno dell'area lavorazione/workshop, nella zona dov'è presente il sottomarino/forno e all'interno della quale non vengono effettuate altre lavorazioni se non quella di scarica, che avviene fino ad un valore di carica di massimo il 30%, che rappresenta la più attestata condizione di sicurezza delle batterie, nonché il livello di carica delle stesse durante il loro trasporto. La fase di scarica viene effettuata per ciascuna tipologia di batteria presente e avviene anche per mezzo di metodi tradizionali.

Essendo il processo di scarica la fase più delicata della lavorazione, va adeguatamente monitorata con controllo termico.

In caso si ravvisassero aumenti di temperatura e sfiati, ovvero condizioni di *thermal runaway* della batteria, è presente una vasca d'acqua all'interno della quale immergere le batterie, per impedirne fenomeni di combustione, propagazione dell'incendio (effetto domino) e produzione di fumi tossici e calore.

3.1.2 THERMAL RUNAWAY – EMISSIONE SOSTANZE INFIAMMABILI

Tra le principali cause scatenanti dei guasti relativi alle batterie al litio vi è l'eccessivo aumento di temperatura. In particolare, se la velocità di dispersione del calore della cella è inferiore a quella della sua generazione, si può

raggiungere un cosiddetto “punto di non ritorno”, che innesci il processo di *runaway*, ossia alla decomposizione di una o più sostanze presenti nella cella, innescando reazioni chimiche che aumentano ulteriormente la temperatura.

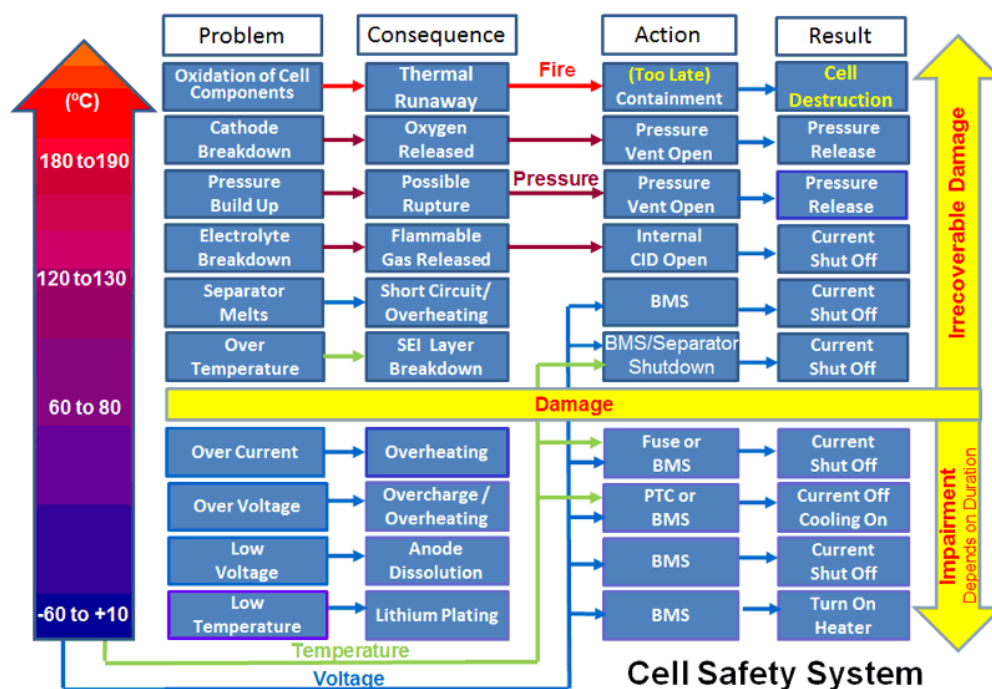


Figura 10 – Risultati delle principali condizioni di abuso per le celle agli ioni di litio

In un evento di fuga termica una serie di reazioni esotermiche aumenta la temperatura della cella con conseguente generazione di gas. Questi gas si accumulano originariamente all'interno della cella e successivamente, per via delle basse pressioni alle quali sono progettate per resistere, possono portare alla rottura della cellula e al rilascio dei gas. Secondo diversi studi la miscela di gas rilasciata è condizionata da diversi fattori quali la *chimica della cella* ed il *livello di carica della batteria*.

Da un serie di studi¹ emerge che le sostanze chimiche catodiche più tipicamente analizzate sono il litio-cobalto ossido (LCO), ossido di litio-manganese-cobalto (NMC), litio-ferro-fosfato (LFP) e ossido di litio-nichel-cobalto di alluminio (NCA), litio ferro fosfato (LFP) e litio nichel-manganese-cobalto (NMC), biossido/litio manganese oxide (LMO).

Explosion Hazards from Lithium-Ion Battery Vent Gas

Di seguito viene riportato l'analisi condotta all'interno dello studio “*Explosion Hazards from Lithium-Ion Battery Vent Gas*” di A.R. Baird, E. J. Archibald, K. C. Marr, O. A. Ezekoye, Sandia Laboratories, 2019).

Questo studio raggruppa una serie di dati provenienti da diverse fonti, al fine di calcolare in maniera analitica e tramite modelli le caratteristiche principali dei gas rilasciati, e rapportarle ad altri parametri quali la chimica delle batterie, lo stato di carica e altri parametri al fine di poter caratterizzare il potenziale rischio.

¹ “Explosion Hazards from Lithium-Ion Battery Vent Gas” di A.R. Baird, E. J. Archibald, K. C. Marr, O. A. Ezekoye, Sandia Laboratories, 2019

“Analysis of Li-Ion Battery Gases Vented in an Inert Atmosphere Thermal Test Chamber”, D. Sturk, L. Rosell, P. Blomqvist, A. Ahlberg Tidblad, MDPI, 2019

La sintesi dei dati provenienti dallo studio è riportata di seguito:

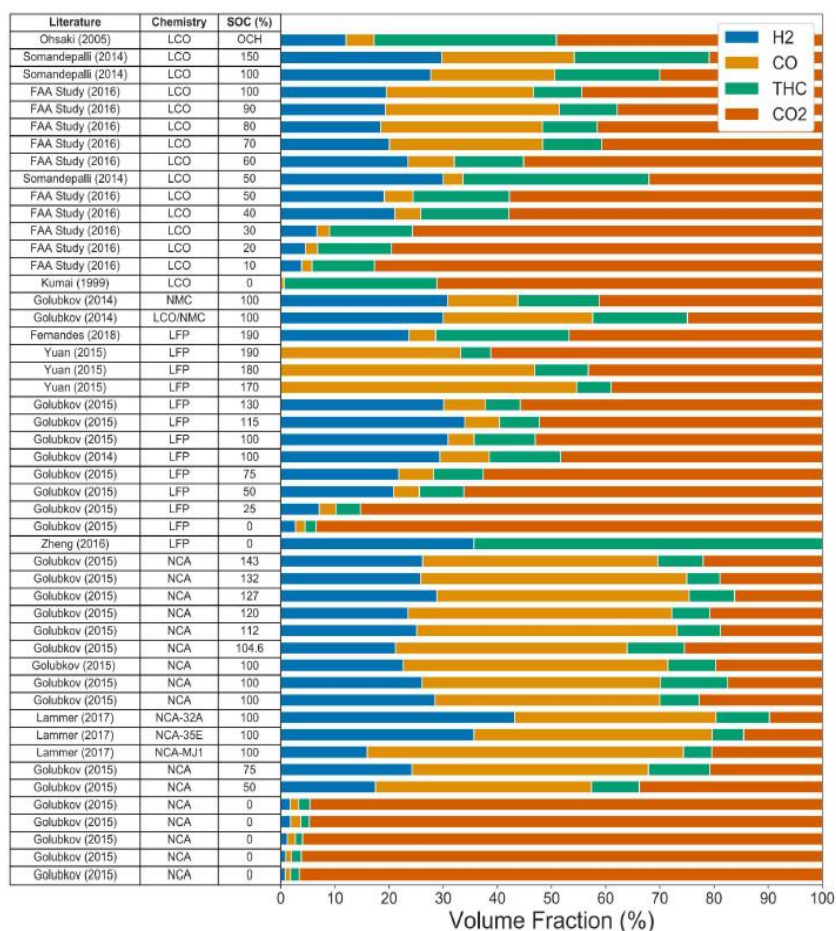
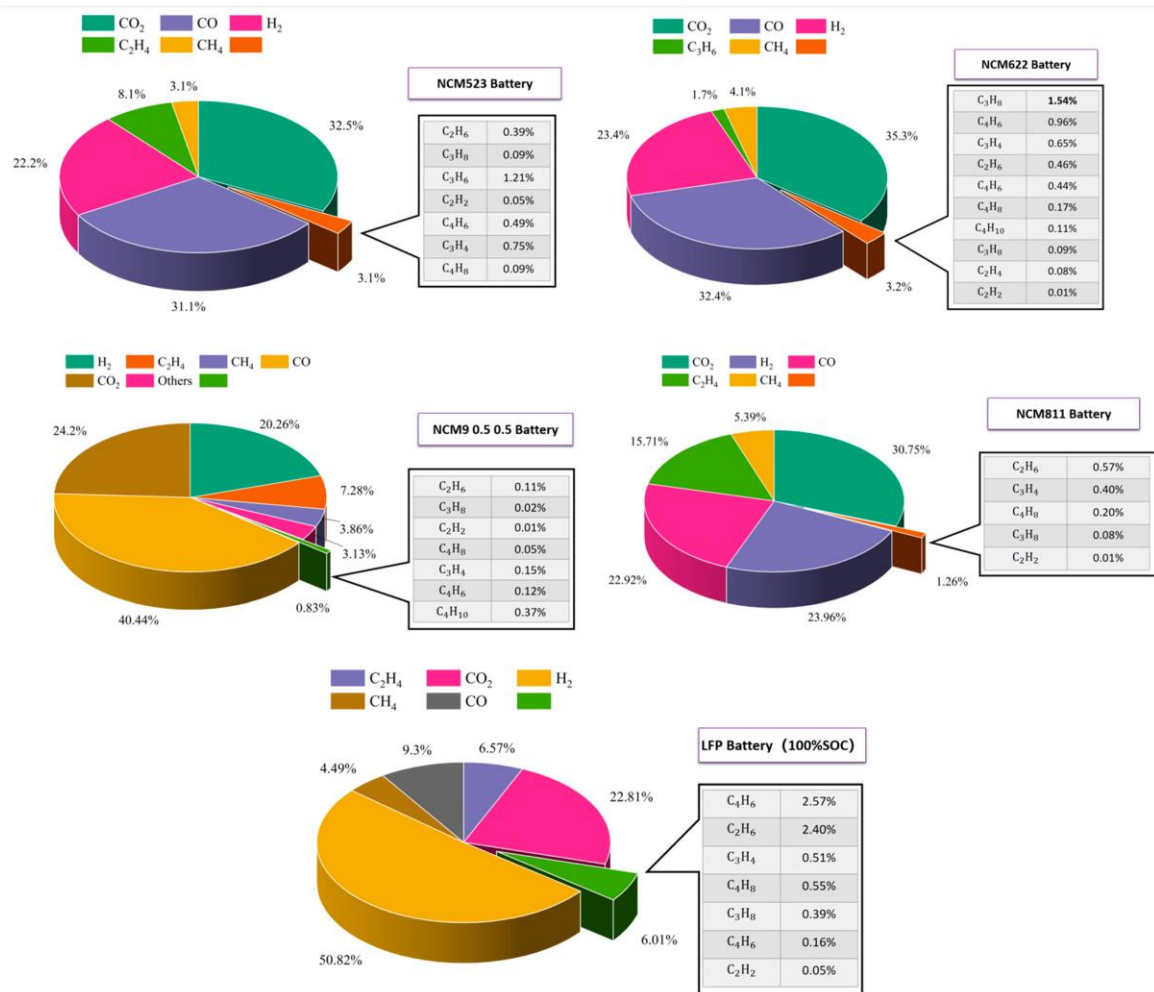


Tabella 2 – Composizione delle specie per frazione di volume.

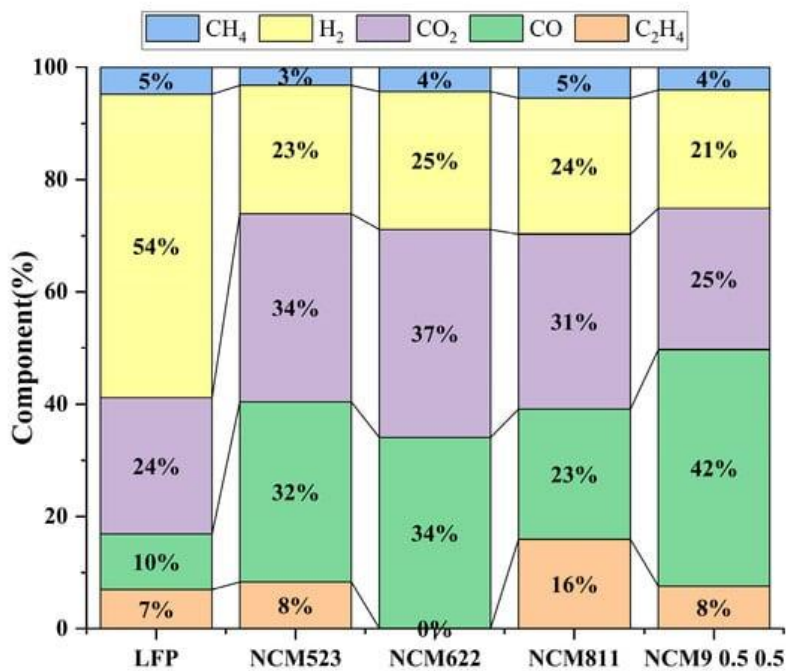
Come si può notare dalla **Tabella 2**, lo studio riporta un elevato numero di dati provenienti da celle con catodi dalle diverse composizioni chimiche, e differenti stati di carica. Le principali tipologie di batterie riportate nello studio sono LCO (Litio – Cobalto), LFP (Litio – Ferro – Fosfato) e NCA (Nichel – Cobalto – Alluminio). Le principali specie che formano il volume rilasciato sono idrogeno, monossido di carbonio, idrocarburi e anidride carbonica.

Dall'analisi dei dati è possibile anche riscontrare il legame specie ventilate – SOC: per ciascuna specie con l'aumentare dello stato di carica, infatti, aumenta anche la frazione di idrogeno e monossido di carbonio, mentre diminuisce il CO₂. Rilasci contenuti di sostanze infiammabili in termini di frazione volumetrica si verificano in casi di livelli di carica bassi o nulli.

Tali risultati sono anche in accordo con quanto rilevato dallo studio di H. Shen, H. Wang, M. Li, C. Li, Y. Zhang, Y. Li, X. Yang, X. Feng, M. Ouyang (2023) *“Thermal Runaway Characteristics and Gas Composition Analysis of Lithium-Ion Batteries with Different LFP and NCM Cathode Materials under Inert Atmosphere”*, i cui risultati sono riportati in Figura 11.



(a)



(b)

Figura 11 – Composizione delle miscele di gas prodotte in fase di *thermal runaway* dalle batterie agli ioni di litio di tipo LFP e NCM

Da una trasposizione dei dati al caso oggetto di analisi, ossia il Battery Center dell'attività Tred Carpi, le batterie verranno scaricate ad un livello di carica inferiore al 30%, in un'operazione di scarica controllata. Pertanto, la condizione che si delineerebbe comporterebbe la presenza di minime quantità di H₂ e CO, massimizzando invece il l'anidride carbonica, che è un gas inerte e non infiammabile che aiuta a ridurre il livello di rischio della miscela di gas.

Analysis of Li-Ion Battery Gases Vented in an Inert Atmosphere Thermal Test Chamber

Lo studio "Analysis of Li-Ion Battery Gases Vented in an Inert Atmosphere Thermal Test Chamber", D. Sturk, L. Rosell, P. Blomqvist, A. Ahlberg Tidblad, MDPI, 2019 di seguito riportato ha analizzato i quantitativi e la composizione dei gas emessi da cella LFP (Litio – Ferro - Fosfato) e batterie NMC (Nichel – Manganese – Cobalto) / LMO (Litio – Ossido di Manganese).

Una delle prime sostanziali differenze tra le diverse chimiche dei catodi è il quantitativo di gas emesso a causa del *thermal runaway*. Le celle LFP hanno emesso un volume totale di 50 l, contro i 1500 l di quelle NMC/LMO.

Test Number	Cell Type	Total Gas Volume	Normalized Gas Volume
1	LFP	50 L ¹	42 L/kg
2	NMC/LMO	1500 L	780 L/kg

¹ Calculated value from measured amounts of volatile organic compounds (VOCs), carbon dioxide (CO₂), and hydrogen fluoride (HF).

Tabella 3 – Volumi di gas prodotti da pacchi batteria composti da 5 celle quando riscaldati fino a raggiungere il *thermal runaway* in un ambiente privo di ossigeno

Anche il rate di emissione per le sostanze componenti il mix di gas presenta delle differenze, dovute al maggior quantitativo di sostanze emesse. Le specie considerate nei seguenti grafici sono l'anidride carbonica, l'acido fluoridrico (HF) e gli idrocarburi.

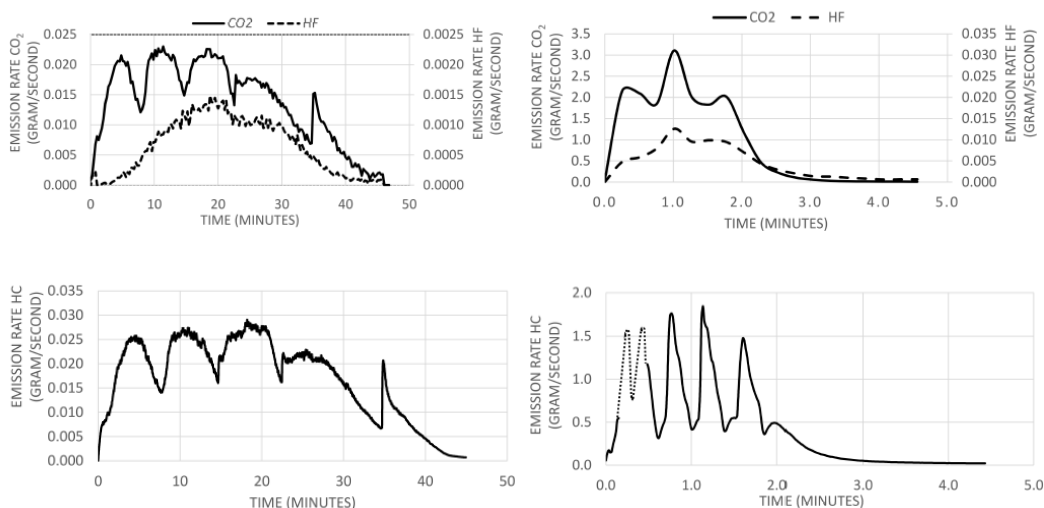


Figura 12 – rate di produzione di CO₂, HF e Idrocarburi per le celle LFP (sinistra) e NMC/LMO (destra)

Lo studio riporta successivamente i quantitativi calcolati di HF prodotto per le due tipologie di celle, che risulta paragonabile per entrambe le tecnologie. Tuttavia, considerando che il volume di gas emesso dalle celle LFP è molto inferiore rispetto a quello per le celle MNC/LMO, la concentrazione di HF per il primo risulta molto maggiore.

Cell Type	Wash Bottles ¹	FTIR	Normalized Amounts: Wash Bottles		Normalized Amounts: FTIR	
LFP	4.2 g	1.8 g	3.6 g/kg	36 g/kWh	1.5 g/kg	16 g/kWh
NMC/LMO	6.5 g	1.7 g	3.4 g/kg	23 g/kWh	0.9 g/kg	6.0 g/kWh

¹ Calculated from the total fluoride ion concentration in the solution.

Tabella 4 – quantitativo totale di HF misurato per le due tecnologie di celle usando due metodi differenti: wash bottles e FTIR

Lo studio dimostra come la tecnologia del catodo comporti reazioni differenti per le batterie al litio. Le celle NMC/LMO sono molto più reattive di quelle LFP, come riscontrabile dal periodo di venting molto più rapido (circa 2 minuti) per le prime rispetto alle seconde (45 min). Anche le temperature riscontrate sono superiori per le celle NMC/LMO.

4 VALUTAZIONE RISCHIO ESPLOSIONE

La grande diffusione di batterie agli ioni di litio ha portato allo sviluppo di numerosi studi sul tema del rischio incendio ed esplosione per questo tipo di tecnologia.

Come già riportato in precedenza, il malfunzionamento di batterie al litio può risultare da una grande varietà di fonti, inclusi difetti di fabbricazione, abuso termico o elettrico, e/o danneggiamento meccanico. In alcune circostanze questi meccanismi di fallimento possono portare ad una reazione esotermica, sottoponendo la cella al *thermal runaway*. La creazione di gas all'interno della batteria può portare alla rottura della stessa e al rilascio dei gas all'esterno.

La mix di gas infiammabili rilasciati può essere innescata e causare scenari d'incendio o, in base ai quantitativi in gioco, ad esplosioni.

La presenza di un rischio incendio o esplosione è legata all'esistenza di una potenziale fonte di innesco per i gas rilasciati in atmosfera. Nello specifico caso in analisi questa fonte di innesco può essere rappresentata dalla batteria stessa, che per effetto di un malfunzionamento o danneggiamento può aumentare la sua temperatura e rappresentare un potenziale innesco.

All'interno del Battery Center, nelle **aree di stoccaggio** non vengono effettuate lavorazioni e non sono presenti fonti di calore, pertanto l'unica condizione di pericolo è dovuta alla loro movimentazione e in particolare al rischio di urto da caduta. Nell'area di **lavorazione/workshop**, oltre al danneggiamento fisico, si ravvisa anche la condizione incidentale legata al processo di scarica della batteria.

Pertanto, si definiscono i seguenti scenari incidentali e le relative soluzioni tecniche e gestionali:

- In caso di caduta di una batteria, qualunque sia il suo livello di carica e anche in assenza di urti visibili, come procedura gestionale si richiede la tempestiva immersione in acqua della stessa per almeno 48 h;
- Durante il processo di scarica di una batteria, si deve monitorare la temperatura prima, durante e dopo il processo di scarica. Qualora si ravvisassero surriscaldamenti e fenomeni di *thermal runaway*, si richiede la tempestiva immersione in acqua della stessa per almeno 48h. Il personale dovrà inoltre essere formato all'utilizzo dei sistemi e delle procedure antincendio.

Considerato che all'interno del Battery Center non vengono svolte operazioni se non quella di scarica della batteria, non sono presenti macchinari che generino potenziali cortocircuiti, non sono presenti fonti di calore e le batterie sono scollegate dalla corrente, non si ravvisa, all'interno della suddetta area, un potenziale rischio di esplosione.

Quale ulteriore verifica di tale condizione, si riporta un approfondimento nel paragrafo 4.1 - FORMAZIONE ATMOSFERE ESPLOSIVE.

4.1 FORMAZIONE ATMOSFERE ESPLOSIVE

Normalmente, il rischio d'incendio e d'esplosione viene quantificato attraverso la valutazione sia delle probabilità che delle conseguenze dell'evento. Pur essendo la probabilità di esplosione molto bassa, le conseguenze potrebbero

essere gravi. Norme e standard internazionali, come l'NFPA 69, riportano varie strategie di mitigazione del rischio, come ad esempio valvole di sfiato, sistemi di soppressione, irrigidimento dei contenitori e aumento delle distanze di rispetto. Queste strategie richiedono la caratterizzazione di tre proprietà chiave dei gas: il limite inferiore di infiammabilità (LFL – *lower flammability limit*), la velocità laminare di fiamma e la massima sovrappressione adiabatica.

Limite inferiore di infiammabilità

Uno dei primi parametri da valutare per la valutazione del rischio incendio ed esplosione è il limite inferiore di infiammabilità.

Il limite inferiore di infiammabilità (LFL) è la concentrazione in percentuale di un dato gas o di un mix di gas oltre il quale lo stesso può essere innescato ad una data temperatura e pressione. Il range di infiammabilità è delimitato superiormente dal limite superiore di infiammabilità (UFL): oltre quella concentrazione, infatti, l'aria è troppo ricca di quello specifico gas perché si possa innescare.

A seconda del codice o della normativa consultata vengono stabiliti livelli diversi per l'LFL. Lo standard NFPA 1, per esempio, al capitolo 52 valuta necessaria l'installazione di adeguata ventilazione nel caso di concentrazione di gas superiore al 25% del LFL per quella specie o mix (che equivale ad esempio al 1% per la miscela idrogeno-aria).

Di seguito vengono riportate le considerazioni riguardo alle proprietà chiave dei gas rapportate all'interno degli studi del paragrafo 3.1.2 THERMAL RUNAWAY – EMISSIONE SOSTANZE INFIAMMABILI.

In particolare, si vuole di seguito ricalcolare il LFL per la mix di sostanze potenzialmente emesse per effetto venting all'interno del Battery Center. Per conservatività verrà considerato il quantitativo di sostanze potenzialmente emesse dalla tipologia di batterie Li-Ion caratterizzata dalla più alta emissione di sostanze infiammabili con SOC pari a circa il 30% alla Tabella 2. In termini di quantitativi di gas emesso, verrà considerato il volume che comporta la massima concentrazione di gas, come da Tabella 3.

All'interno del volume delle aree di stoccaggio, si prenderà conservativamente in considerazione il contemporaneo fallimento di n.30 batterie per EV.

Queste caratteristiche, seppure di probabilità remota, permettono di delineare il **worst case scenario** per il Battery Center dell'attività Tred Carpi, oggetto di analisi.

Lo studio "*Analysis of Li-Ion Battery Gases Vented in an Inert Atmosphere Thermal Test Chamber*", D. Sturk, L. Rosell, P. Blomqvist, A. Ahlberg Tidblad, MDPI, 2019 riporta come emissione di gas per effetto venting un quantitativo pari a 50 l per un modulo di batteria composto da 5 celle con tecnologia LFP (quindi 10 l per cella). Questo modulo presenta una capacità totale di 7 Ah, ossia 1,4 Ah/cella.

Prendendo come riferimento il valore più alto di capacità energetica dai dati riportati in Tabella 1, verrà presa a riferimento una batteria da 100 kWh a 407 V. La capacità della batteria in Ah può essere calcolata come riportato di seguito:

$$\frac{100.000 \text{ Wh}}{407 \text{ V}} = 245 \text{ Ah}$$

Di conseguenza, si può ipotizzare che tale batteria sia composta da un totale di 175 celle (245 Ah / 1,4 Ah/Cella).

È possibile quindi ipotizzare che in caso di fallimento di tutte le celle della batteria si avrebbe l'emissione di 1,75 m³ di gas (1750 l).

Volendo essere ulteriormente conservativi, si ipotizza il fallimento contemporaneo di n. 30 batterie, arrivando così al venting simultaneo di 5250 celle (pari a 52.500 l).

Il volume d'aria presente all'interno del Magazzino di stoccaggio in ingresso è di circa 300.000 l, per un totale tra volume di gas emesso ed aria già presente nell'ambiente di circa 352.500 l. Tralasciando momentaneamente le implicazioni della sovrappressione, viene di seguito preso a riferimento il limite inferiore di infiammabilità del mix di gas generatosi.

Come condizione di cautela verrà considerato il quantitativo di sostanze potenzialmente emesse dalla tipologia di batterie Li-Ion caratterizzata dalla più alta emissione di sostanze infiammabili con SOC pari al 30% rispetto alla

Tabella 2, ossia per le batterie **LCO** (FAA Study – 2016).

I valori di composizione del mix di gas emessi per le batterie **LCO** con SOC al 30% sono i seguenti:

- H₂= 6,64 %;
- CO= 2,34 %;
- THC (Idrocarburi)= 15,26 %;
- CO₂ (Inerte)= 75,76 %;

Specie	Concentrazione (%) Vent gas (su 35.000 l)	Concentrazione (%) Ambiente (su 335.000 l)
H ₂	6,64 %	0,99 %
CO	2,34 %	0,35 %
THC (Idrocarburi)	15,26%	2,27 %
CO ₂ (Inerte)	75,76 %	11,28 %
Aria	-	89,11%

La percentuale di componenti infiammabili (H₂, CO, Idrocarburi) all'interno della miscela in ambiente è dunque pari al 3,61 %.

Quando il combustibile non è un composto singolo ma una miscela di più solventi, per determinare il limite di infiammabilità si può ricorrere a calcoli che si basano su criteri di additività, partendo dai limiti dei singoli composti. Una regola molto usata è quella di Le Chatelier, nota come legge delle miscele. L'equazione è la seguente:

$$L_i = \frac{100}{\frac{c_1}{L_1} + \frac{c_2}{L_2} + \dots + \frac{c_n}{L_n}}$$

Dove L_i è il limite inferiore di infiammabilità della miscela in aria;

c_1, c_2, \dots, c_n è la percentuale di ciascun combustibile nella miscela, senza aria né gas inerti;

l_1, l_2, \dots, L_n sono i limiti inferiori di infiammabilità dei singoli componenti.

Di seguito vengono riportati i limiti di infiammabilità per alcuni gas e vapori (a temperatura e pressione ambiente e con aria come comburente).

	Li, % vol	Ls, % vol		Li, % vol	Ls, % vol
Idrocarburi			Idrocarburi		
Metano	5	15	Etilene	2,7	37
Etano	3	12,4	Propilene	2,4	11
Propano	2,1	9,5	Acetilene	2,5	100
Butano	1,8	8,4	Benzene	1,3	7,9
Pentano	1,4	7,8	Toluene	1,2	7,1
Esano	1,2	7,4	Xilene	1,1	6,4
Eptano	1,0	6,7	Stirene	1,1	6,1
Alcoli			Eteri		
A. metilico	6,7	36	E. metilico	3,4	18
A. etilico	3,3	19	E. etilico	1,9	48
A. propilico	2,2	14	E. vinilico	1,7	27
A. butilico	1,7	12	Ossido etilene	3,0	100
			Ossido propilene	2,8	37
Aldeidi			Chetoni		
Acetaldeide	4,0	60	Acetone	2,6	31
Acroleina	2,8	31	Metiletil chetone	1,9	10
Acidi/Anidridi			Esteri		
A. acetico	5,4		Acetato metile	3,2	16
An. acetica	2,7	10	Acetato etile	2,2	11
An. ftalica	1,2	9,2	Acetato vinile	2,6	13,4
Ammine			Inorganici		
Metilammina	4,2	21	Ammoniaca	15	28
Dimetilammina	2,8	14,4	Idrazina	4,7	100
Trimetilammina	2,0	12	Idrogeno	4,0	75
Etilammina	3,5	14	Ossido di carbonio	12,5	74
Dietilammina	1,6	10	Solfuro di carbonio	4,0	44

Tabella 5 – Limiti di infiammabilità per alcuni gas e vapori

Dalla tabella precedente si ricavano i seguenti valori per i limiti di infiammabilità inferiori delle singole specie:

- H_2 = 4 %;
- CO = 12,5 %;
- THC (Idrocarburi) = 1,98 % (media dei valori riportati nella Tabella 5);

Di conseguenza il Limite inferiore di infiammabilità della miscela emessa dalle batterie **LCO** è il seguente:

$$L_i = \frac{100}{\frac{0,99}{4} + \frac{0,35}{12,5} + \frac{2,27}{1,98}} = 70.28\%$$

La concentrazione di infiammabili all'interno dell'ambiente è di 3,61%, quindi inferiore al LFL determinato analiticamente per la miscela. Anche applicando il coefficiente di riduzione della norma NFPA 1 pari al 25% e riducendo l'LFL a 17,57%, la concentrazione di infiammabili risulta non abbastanza da determinare il rischio esplosione.

5 VALUTAZIONE DEL RISCHIO INCENDIO

Di seguito viene riportata la valutazione del rischio incendio per le batterie stoccate all'interno del Battery Center dell'attività Tred Carpi. Attraverso una valutazione deterministica del rischio è possibile rappresentare in maniera compiuta le caratteristiche e le varie condizioni dell'attività e individuare la strategia di controllo dell'incendio più appropriata.

Attraverso la descrizione e quantificazione probabilistica degli eventi incidentali, la cui sintesi è espressa mediante una *matrice di rischio*, si riescono a tenere in considerazione gli esiti derivanti da tutte le possibili condizioni incidentali.

Per l'area dedicata allo stoccaggio e alla scarica delle batterie, verranno dettagliate le seguenti informazioni:

- Potenziali pericoli e rischi d'incendio dovuti alla specifica attività svolta nell'area di stoccaggio;
- Individuazione dei beni e soggetti esposti al rischio;
- Individuazione dei pericoli basandosi sul tipo di materiale e processo;
- Valutazione qualitativa e quantitativa (*fire risk matrix*);
- Determinazione del rischio;
- Misure preventive per la mitigazione del rischio;

Questo processo di valutazione risulta essere particolarmente conservativo, in quanto associa la probabilità di un innesco al malfunzionamento di un componente/sistema. In altre parole, qualsiasi malfunzionamento viene conservativamente considerato come pericoloso e potenzialmente capace di scatenare un incendio.

Questa nuova valutazione costituisce un aggiornamento rispetto alle condizioni di stoccaggio, le volumetrie degli ambienti e le fasi operative.

5.1 INDIVIDUAZIONE DEI PERICOLI E DEL RISCHIO INCENDIO

Come riportato precedentemente, le principali **categorie di incidenti** che possono rappresentare condizioni di pericolo risultano essere la movimentazione delle batterie (*danno fisico*) e la fase di scarica forzata delle batterie (*Problematiche in fase di carica/scarica*).

Il principale componente infiammabile delle batterie è l'elettrolita. Seppur tutte le celle cariche contengano energia elettrica immagazzinata, anche le celle completamente scariche contengono un quantitativo di energia chimica che potrebbe essere potenzialmente rilasciata dalla combustione dell'elettrolita.

Sulla base delle precedenti considerazioni sono state individuate per ciascuno scenario di rischio n.2 matrici: la prima si riferisce alla salvaguardia degli occupanti, mentre la seconda alla protezione dei beni.

Il metodo della matrice di rischio (*fire risk matrix*) permette di combinare le probabilità di accadimento di un dato innesco con la gravità delle conseguenze; questo processo permette di definire il rischio e di analizzare il caso peggiore che potrebbe più probabilmente accadere.

La presenza di un rischio incendio/esplosione è legata all'esistenza di una potenziale fonte di innesco per i gas rilasciati in atmosfera. Nello specifico caso in analisi questa fonte di innesco può essere rappresentata dalla batteria stessa, che per effetto di un malfunzionamento o danneggiamento può aumentare la sua temperatura e rappresentare un potenziale innesco.

BATTERY CENTER

S1 - PROCESSO DI SCARICA

RISCHIO	POTENZIALE INNESCO	PROBABILITA' DI ACCADIMENTO	DANNO ALLE PERSONE	DANNO AI BENI	DANNO AMBIENTALE
Malfunzionamento della batteria durante la fase di scarica	<p>1) Malfunzionamento in fase di scarica controllata della batteria;</p> <p>2) Corto circuito interno batterie;</p>	<p>OCCASIONALE (3.453/FPMH* malfunzionamento batterie)</p> <p><i>Fonte: Tang, Q.; Shu, X.; Zhu, G.; Wang, J.; Yang, H. "Reliability Study of BEV Powertrain System and Its Components—A Case Study".</i></p> <p>* Failure Per Million Hour</p>	<p>CRITICO</p> <p>Possibile rischio per il personale presente nelle immediate vicinanze del principio d'incendio.</p>	<p>MARGINALE</p> <p>Danno localizzato nell'intorno dell'incendio. Operazione effettuata in edificio dedicato</p>	<p>NON SIGNIFICATIVO</p> <p>Possibile rilascio di sostanze tossiche in quantità modesta</p>

MATRICE DEL RISCHIO - OCCUPANTI

RISCHIO	CONSEGUENZE			
PROBABILITA'	TRASCURABILE	MARGINALE	CRITICO	CATASTROFICO
FREQUENTE				
PROBABILE				
OCCASIONALE			S1	
REMOTO				



RISCHIO BASSO




RISCHIO MEDIO





RISCHIO ALTO

MATRICE DEL RISCHIO - BENI

RISCHIO	CONSEGUENZE			
PROBABILITA'	TRASCURABILE	MARGINALE	CRITICO	CATASTROFICO
FREQUENTE				
PROBABILE				
OCCASIONALE		S1		
REMOTO				


 RISCHIO BASSO


 RISCHIO MEDIO



 RISCHIO ALTO


S2 – MOVIMENTAZIONE E URTI


RISCHIO	POTENZIALE INNESCO	PROBABILITA' DI ACCADIMENTO	DANNO ALLE PERSONE	DANNO AI BENI	DANNO AMBIENTALE
Movimentazione e della batteria, rischio caduta	1) Schiacciamento o perforamento della batteria dovuto alle operazioni di trasporto; 3) Corto circuito interno batterie;	OCCASIONALE Possibile urto da movimentazione o caduta per errore umano	CRITICO Possibile rischio per il personale presente nelle immediate vicinanze del principio d'incendio. Impatto localizzato.	CRITICO Danno localizzato nell'intorno dell'incendio. Possibile effetto a catena e innesco delle batterie adiacenti	NON SIGNIFICATIVO Possibile rilascio di sostanze tossiche in quantità modesta

MATRICE DEL RISCHIO - OCCUPANTI

RISCHIO	CONSEGUENZE			
PROBABILITA'	TRASCURABILE	MARGINALE	CRITICO	CATASTROFICO
FREQUENTE				
PROBABILE				
OCCASIONALE			S2	
REMOTO				



 RISCHIO BASSO



 RISCHIO MEDIO



 RISCHIO ALTO

MATRICE DEL RISCHIO - BENI

RISCHIO	CONSEGUENZE			
PROBABILITA'	TRASCURABILE	MARGINALE	CRITICO	CATASTROFICO
FREQUENTE				
PROBABILE				
OCCASIONALE			S2	
REMOTO				


 RISCHIO BASSO


 RISCHIO MEDIO


 RISCHIO ALTO

5.2 IDENTIFICAZIONE DELLE MISURE PREVENTIVE

Le misure preventive che si reputano necessarie per i suddetti rischi sono le seguenti:

S1 – PROCESSO DI SCARICA

Misure Preventive

SOLUZIONI GESTIONALI
1) Durante il processo di scarica di una batteria, si deve monitorare la temperatura prima, durante e dopo il processo di scarica. Qualora si ravvisassero surriscaldamenti e fenomeni di <i>thermal runaway</i> , si richiede la tempestiva immersione in acqua della stessa per almeno 48h. 2) Il personale dovrà inoltre essere formato all'utilizzo dei sistemi e delle procedure antincendio.

S2 – MOVIMENTAZIONE E URTI

Misure Preventive

SOLUZIONI GESTIONALI
1. Deve essere effettuato un controllo visivo dello stato delle batterie (controllo dei danni subiti, controllo della temperatura con termocamera) prima che vengano trasferite all'interno del Battery Center; 2. In caso di caduta di una batteria, qualunque sia il suo livello di carica e anche in assenza di urti visibili, come procedura gestionale si richiede la tempestiva immersione in acqua della stessa per almeno 48 h; 3. Il personale dovrà inoltre essere formato all'utilizzo dei sistemi e delle procedure antincendio.

6 SINTESI

La presente analisi ha costituito una fase di valutazione del rischio incendio ed esplosione per l'area denominata Battery Center dell'attività Tred Carpi, sita in via Remesina Esterna 27/A a Carpi (MO), relativamente allo stoccaggio di batterie, tra cui batterie agli ioni di litio.

All'interno del Battery Center le batterie sono stoccate in magazzini dove non vengono effettuate altre lavorazioni, non sono presenti fonti di calore e le batterie non sono collegate alla corrente. Le uniche operazioni effettuate sono quelle di scarica delle stesse fino ad un valore di carica di massimo 30%, che rappresenta la più attestata condizione di sicurezza delle batterie.

Pertanto, per la tipologia di batterie non si configura un rischio esplosione. Quale ulteriore dimostrazione, è stato proposto un calcolo del limite inferiore di infiammabilità (LEL) per la potenziale miscela che possa essere generata nella remota ipotesi di un potenziale contestuale *thermal runaway* di n.30 batterie agli ioni di litio di veicoli elettrici, dimostrando che la concentrazione di gas infiammabili nell'ambiente è ben inferiore sia al valore del limite inferiore di infiammabilità (LEL) della miscela, che al 25% di tale valore (come da NFPA1).

In sintesi, la valutazione del rischio ha individuato, per quanto riguarda il rischio esplosione, un livello di tipo *negligible presence (NP)*.

L'analisi relativa all'individuazione dei pericoli e rischi d'incendio ha portato ad una valutazione del rischio incendio di tipo medio, che può essere gestito con le misure gestionali proposte.

Bologna, 15/05/2024

IL TECNICO

Ing. Paolo Carpino