

# Metodologie di analisi di rischio incendio e esplosione (BOW-TIE e LOPA) già utilizzate nella fase di installazione dei nuovi parchi batterie

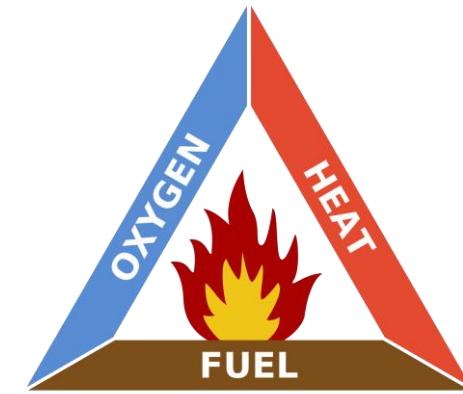
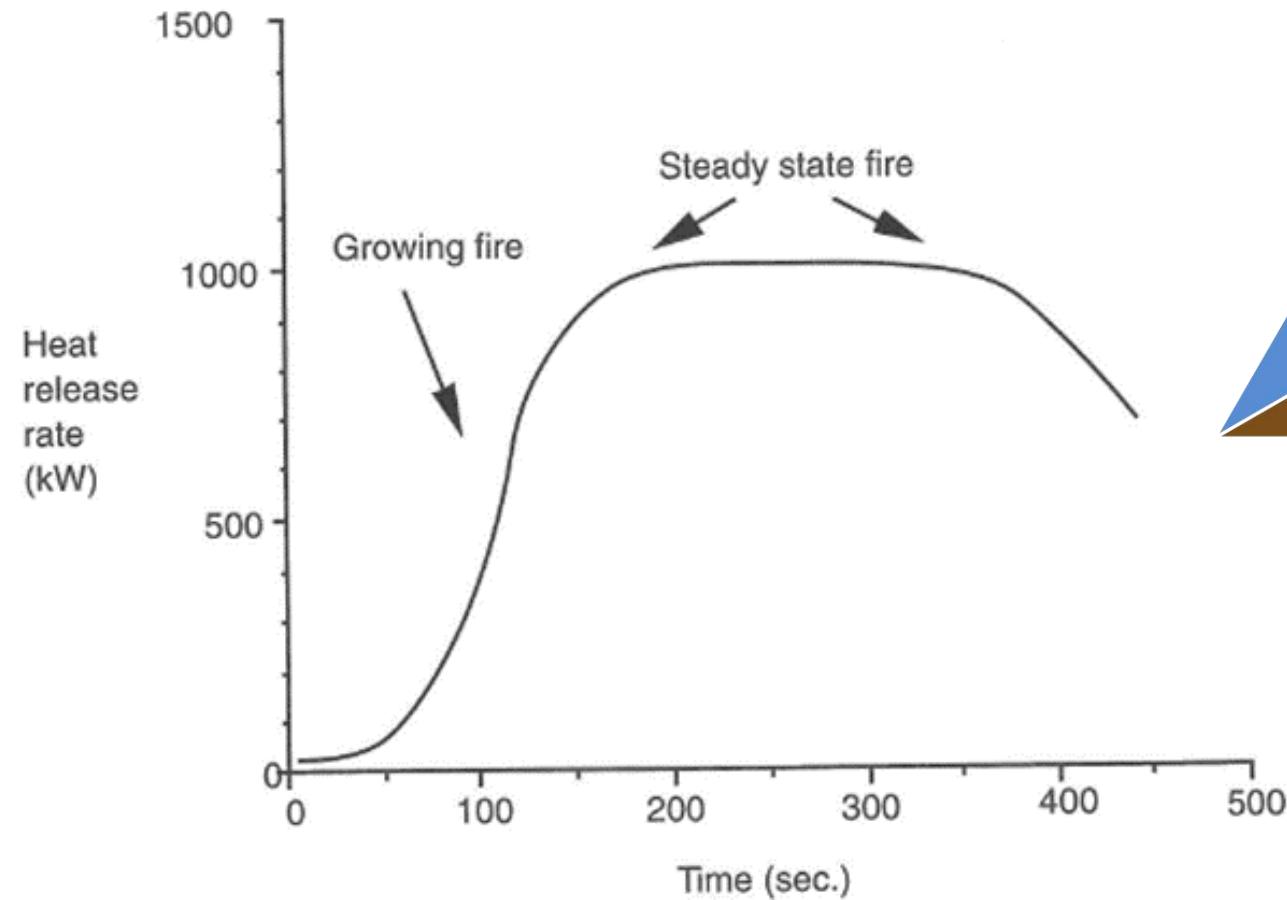
Prof. Ing. **Luca Fiorentini**

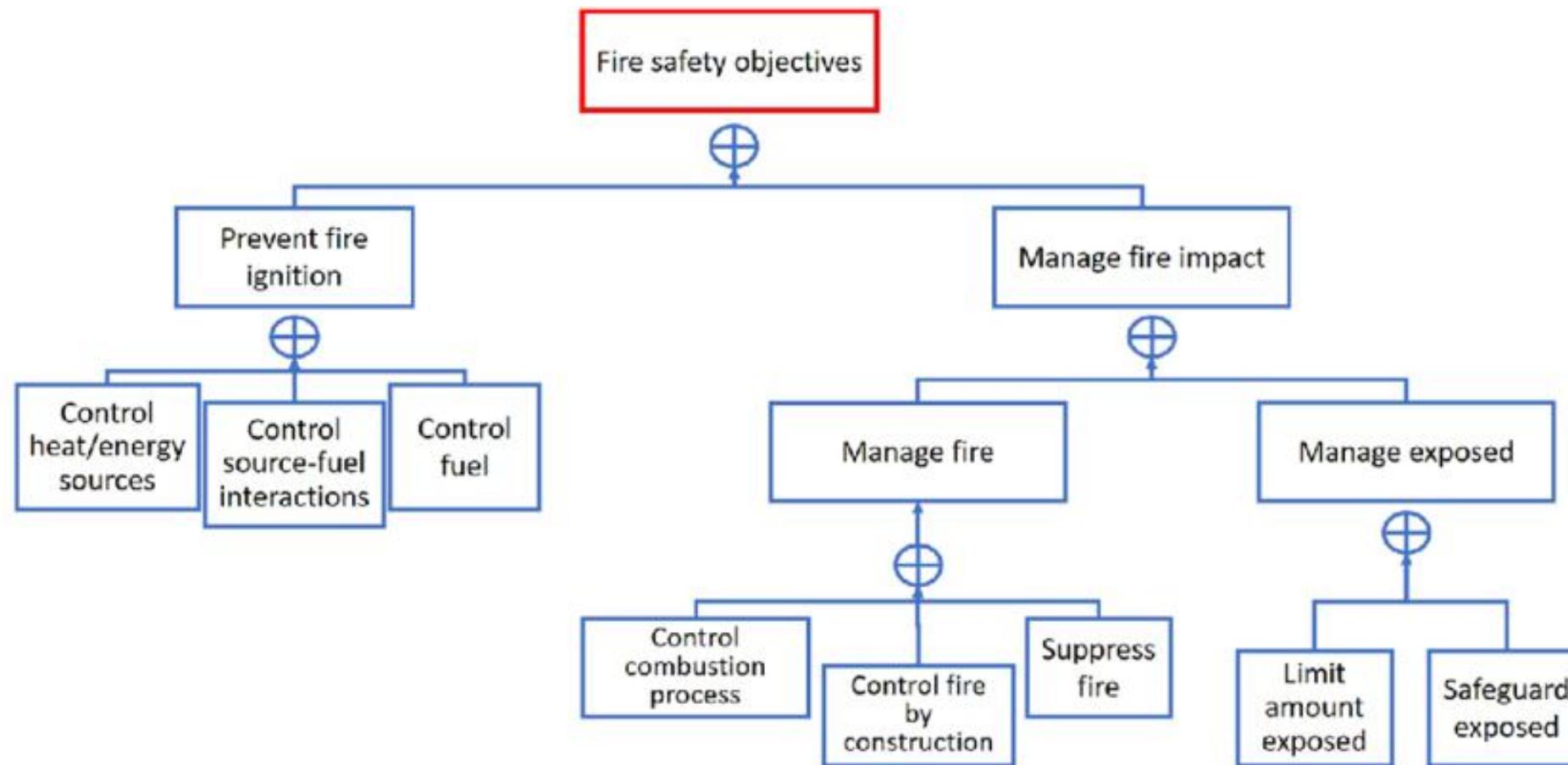
TECSA S.r.l.  
Loss Prevention & Fire Engineer // Fire & Explosion Forensic Engineer  
Vice President Society of Fire Protection Engineering (SFPE) - Italy  
"Safety and Reliability" Journal Associate Editor



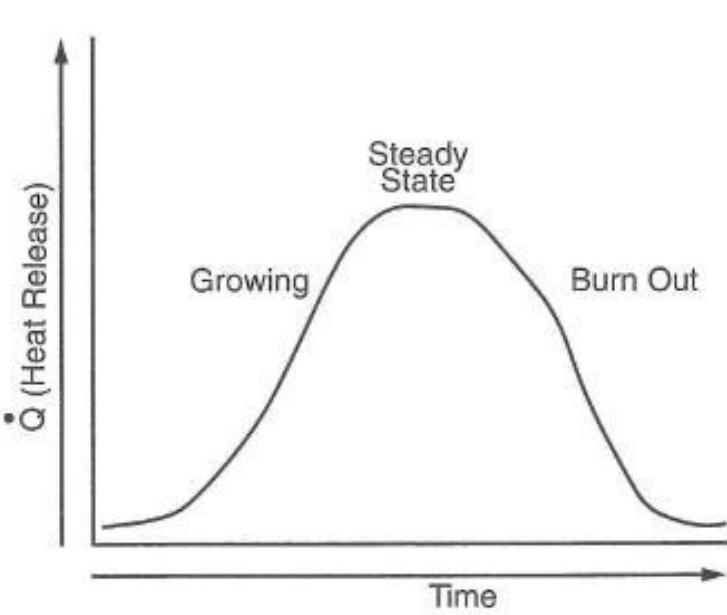
- Da quanto sono riuscita ad approfondire io, non siamo obbligati a fare la procedura Hazop, ma visto che questo è il nostro primo impianto ad idrogeno che andremo a realizzare, ci sembrava doveroso porci a favore di sicurezza e fare l'Hazop. Pertanto, mi verrebbe da dire che è sufficiente un'analisi di operabilità 'semplice'

L'unico altro progetto in cui abbiamo dovuto fornire una analisi di questo tipo fu fatto tramite calcolo della disponibilità con simulazione Montecarlo dell'RBD, mediante l'utilizzo del programma RAMP; non è un requisito stringente di progetto. Visto il livello di disponibilità richiesto e il fatto che il progetto è ormai in stadio avanzato e non è più possibile aggiungere o modificare componenti, ci interessa l'uso di un metodo che consenta di ottenere valori di affidabilità più alti possibili.

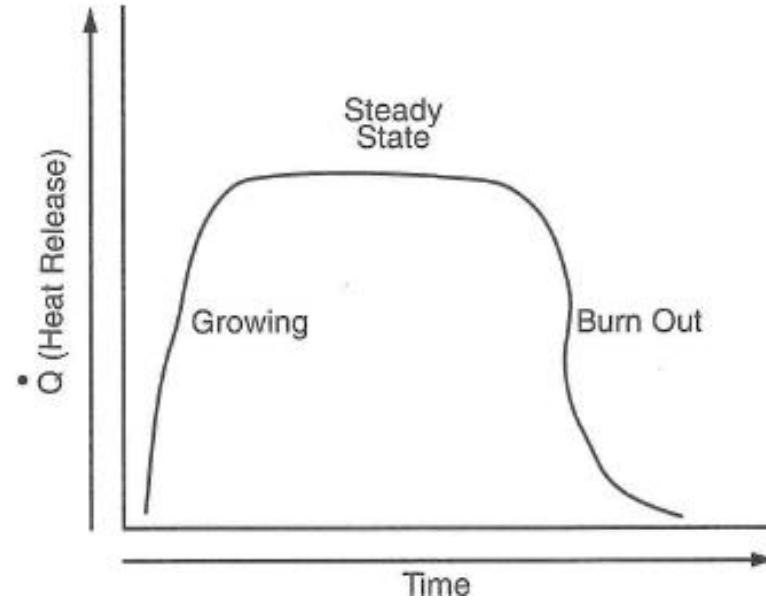




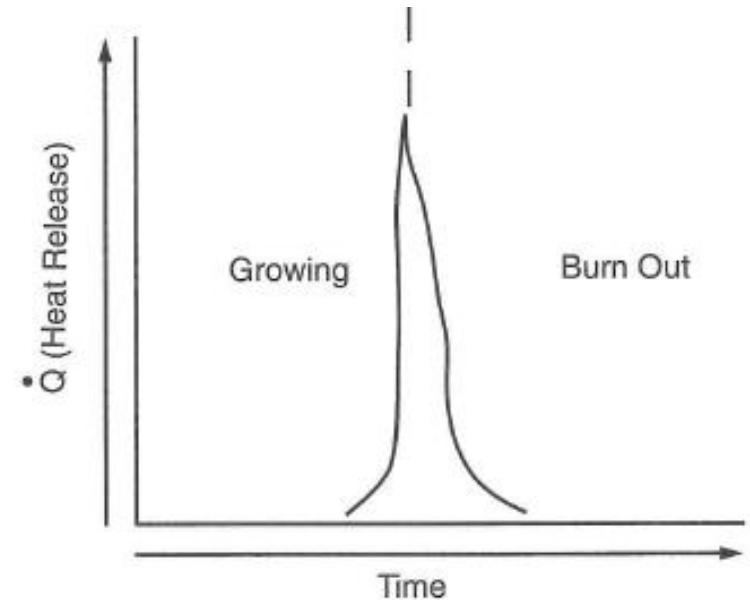
Introduction to performance-based fire safety – Richard L.P. Custer, Brian J. Meacham, NFPA, 1997  
Figure 5-1/A/B/C



*General fire growth curve*



*Liquid pool fire growth curve*



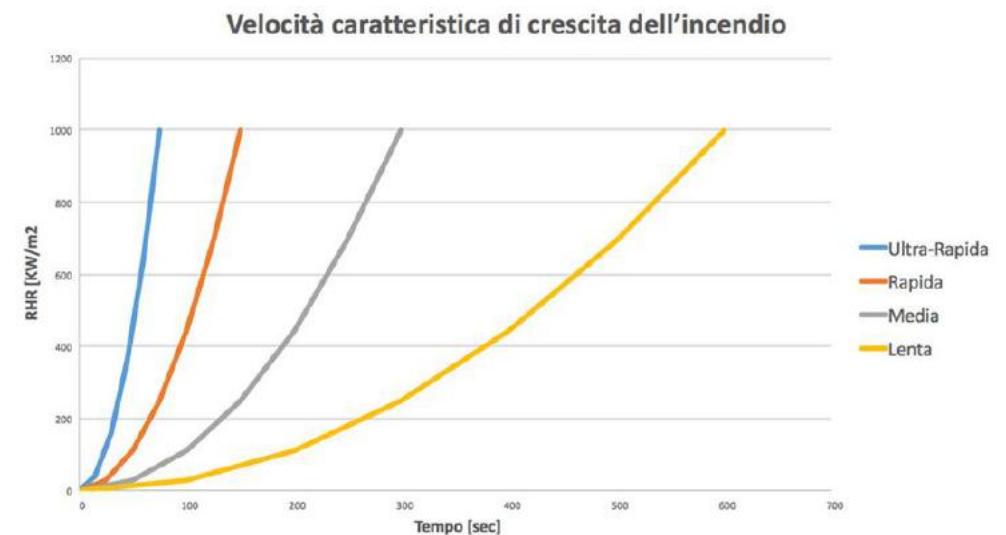
*Vapor flash fire*

Il rischio tiene conto di un fattore specifico:...

- $\delta_\alpha$ : velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio, riferita al tempo  $t_\alpha$  in secondi, impiegato dalla potenza termica per raggiungere il valore di 1000 kW.

"prevalente": caratteristica rappresentativa del rischio di incendio in qualsiasi condizione d'esercizio.

Es: limitate quantità di prodotti infiammabili per la pulizia, adeguatamente stoccati, non è significativa e dunque neanche prevalente.



## Fires



*Compartment fire*

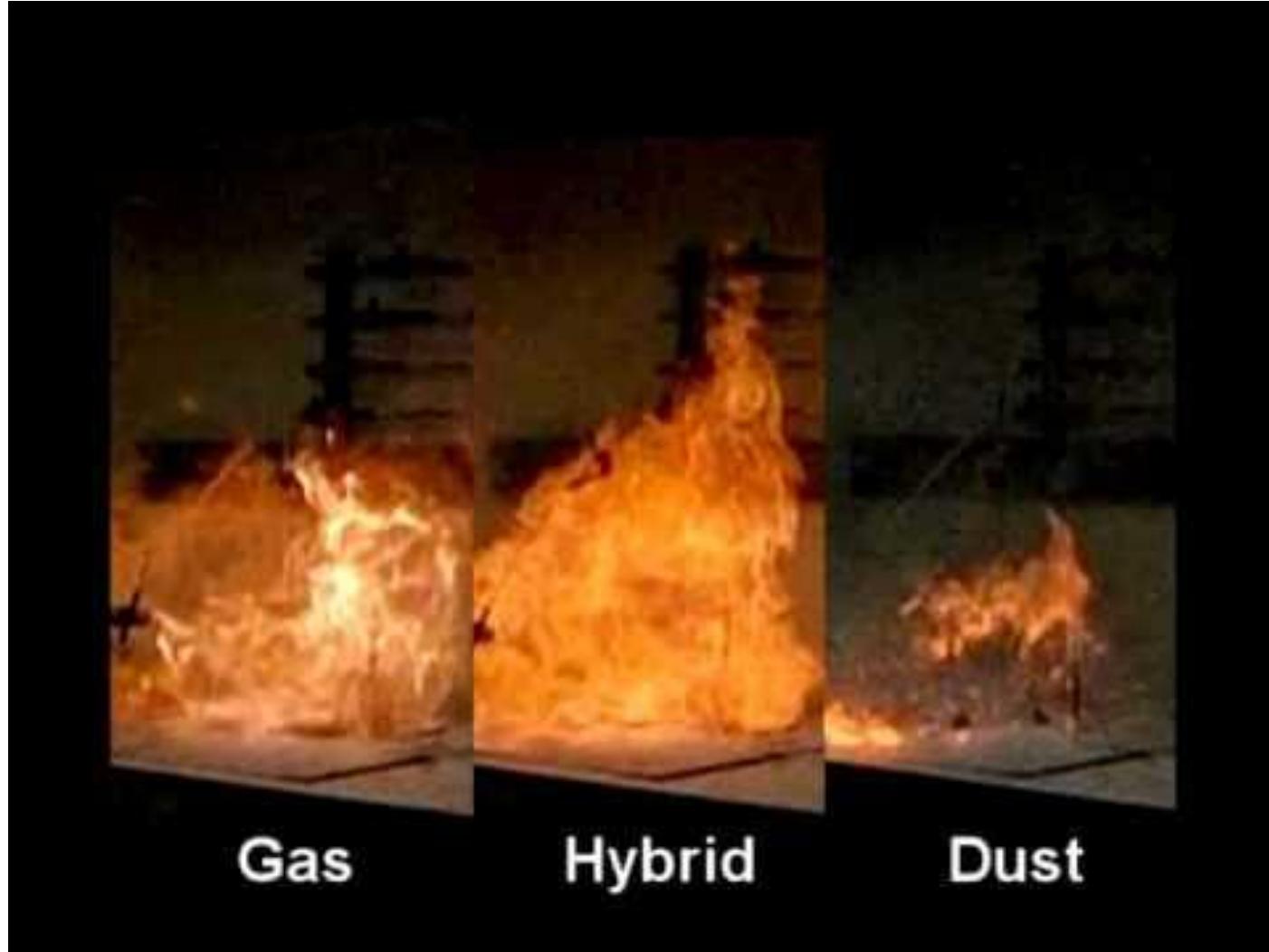


*Liquid pool fire*



*Vapor flash fire*

## Flashes



# specifico

«preciso»

«fondato su dati di fatto, precisato nei particolari»

«determinato da azione particolarmente differenziata»



Tu

rispondi a questa domanda: "perchè avete scritto la regola V1 sulle aree a rischio specifico?"

Perché e' il complemento a 1 per la valutazione del rischio

19:08

# Codice Versione 1

V.1.1

## Scopo e campo di applicazione

1. La presente regola tecnica reca le indicazioni di prevenzione incendi che si applicano alle aree a rischio specifico.
2. Le aree a rischio specifico sono individuate dal progettista sulla base dei seguenti criteri o fissate dalla specifica regola tecnica verticale:
  - a. aree in cui si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose, materiali combustibili o infiammabili, in quantità significative;
  - b. aree in cui si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio o dell'esplosione;
  - c. aree in cui vi è presenza di impianti o loro componenti rilevanti ai fini della sicurezza antincendio di cui al capitolo S. 10.
  - d. aree con carico di incendio specifico  $q_i > 1200 \text{ MJ/m}^2$ , non occupate o con presenza occasionale e di breve durata di personale addetto.
3. Lo stoccaggio di *limitate quantità* di liquidi infiammabili in armadi metallici per impieghi funzionali all'attività principale non è generalmente considerato *rischio specifico*.
4. Eventuali aree, a servizio dell'attività principale, in cui vi è presenza degli impianti di cui al punto 2 lettera c, già regolati da specifiche regole tecniche di prevenzione incendi, non sono considerate *aree a rischio specifico*

V.1.2

## Strategia antincendio

1. In relazione alle risultanze della valutazione del rischio di incendio ed alle caratteristiche delle aree a rischio specifico, il progettista valuta, almeno, l'applicazione delle seguenti misure:
  - a. inserimento delle aree a rischio specifico in compartimento antincendio autonomo (Capitolo S.3), interposizione di distanze di separazione, riduzione delle superfici lorde di compartimento, ubicazione fuori terra o su piani poco profondi;
  - b. installazione di impianti di controllo o estinzione dell'incendio con livello di prestazione non inferiore a II (Capitolo S.6);
  - c. installazione di un impianto IRAI con livello di prestazione III (Capitolo S.7);
  - d. predisposizione di sistemi per il controllo fumi e calore con livello di prestazione non inferiore a II (Capitolo S.8);
  - e. predisposizione di idonee misure di gestione della sicurezza antincendio (Capitolo S.5);
  - f. effettuazione della valutazione del rischio di esplosione (Capitolo V.2).
2. Nel caso di compartimentazione multipiano dell'attività (Capitolo S.3), le aree a rischio specifico devono comunque essere inserite in compartimento autonomo.

# Codice Versione 2 (+100%)

V.1.1

## Scopo e campo di applicazione

- La presente regola tecnica reca le indicazioni di prevenzione incendi che si applicano alle aree a rischio specifico.
- Le aree a rischio specifico possono essere fissate dalle regole tecniche verticali applicabili all'attività. Sono inoltre individuate dal progettista sulla base della *valutazione del rischio d'incendio* e dei seguenti criteri:
  - aree in cui si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose, materiali combustibili, in quantità significative;
  - aree in cui si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio;
  - aree in cui vi è presenza di impianti o loro componenti rilevanti ai fini della sicurezza antincendio di cui al capitolo S.10;
  - aree con carico di incendio specifico  $q_r > 1200 \text{ MJ/m}^2$ , non occupate o con presenza occasionale e di breve durata di personale addetto;
  - aree in cui vi è presenza di impianti ed attrezzature con fluidi di processo in pressione o ad alta temperatura;
  - aree in cui vi è presenza di superfici esposte ad elevate temperature o fiamme libere;
  - aree in cui vi è presenza di reazioni chimiche pericolose ai fini dell'incendio;
  - ambiti dell'attività con  $R_{antincendio}$  significativo.
- Lo stoccaggio di *limate quantità* di liquidi infiammabili in armadi metallici per impieghi funzionali all'attività principale non è generalmente considerato *rischio specifico*.
- Eventuali aree, a servizio dell'attività principale, in cui vi è presenza degli impianti di cui al punto 2 lettera c, già regolati da specifiche regole tecniche di prevenzione incendi, non sono considerate *aree a rischio specifico*.

V.1.2

## Strategia antincendio

- Per la valutazione del rischio e delle caratteristiche delle aree a rischio specifico, devono essere considerate almeno le informazioni desumibili dalle seguenti documentazioni:
  - schede di sicurezza di sostanze o miscele pericolose;
  - norme applicabili;
  - specifiche e manuali dei fabbricanti degli impianti e delle macchine.
- In relazione alle risultanze della valutazione del rischio di incendio ed alle caratteristiche delle aree a rischio specifico, il progettista valuta, almeno, l'applicazione delle seguenti misure:
  - inserimento delle aree a rischio specifico in compartimenti distinti per ambiti aventi caratteristiche di rischio omogenee, interposizione di distanze di separazione, riduzione delle superfici lorde di compartimento, ubicazione fuori terra o su piani poco intirriti;
  - controllo dell'incendio con livello di prestazione III (capitolo S.6);

- installazione di sistemi manuali o automatici di inibizione, controllo o estinzione dell'incendio *a bordo macchina* per la protezione specifica degli impianti e delle apparecchiature a rischio specifico di incendio;
- installazione di un impianto IRAI con livello di prestazione III (capitolo S.7);
- installazioni di sistemi *a bordo macchina* per il rilevamento automatico di anomalie o guasti che comportino la deviazione dai parametri di funzionamento ordinario degli impianti e delle attrezzature di processo, con le funzioni automatiche di allarme ed intercettazione delle alimentazioni elettriche e dei fluidi pericolosi;
- effettuazione della valutazione del rischio per atmosfere esplosive (capitolo V.2);
- adozione di accorgimenti impiantistici e costruttivi per limitare e confinare i rilasci di sostanze o miscele pericolose;

Nota Ad esempio: bacini di contenimento, disponibilità di polveri o dispositivi assorbenti, inserimento di valvole di eccesso di flusso, intercettazioni automatiche e manuali dei sistemi di distribuzione, incamiciatura delle tubazioni, ...

- adozione di accorgimenti per limitare l'impatto esterno di eventuali rilasci di sostanze o miscele pericolose;

Nota Ad esempio: discariche di separazione che tengano conto della propagazione degli effluenti nelle matrici ambientali, ...

- adozione di sistemi di rilevazione ed allarme, di procedure gestionali per la sorveglianza ed il controllo dei parametri critici dei processi;

Nota Ad esempio: allarmi di massimo livello per i serbatoi, ...

- formazione, informazione ed addestramento degli addetti alla gestione delle lavorazioni e dei processi pericolosi;

Nota Tale formazione, informazione ed addestramento deve prevedere nozioni riguardanti i parametri critici di funzionamento delle lavorazioni e dei processi pericolosi, le modalità e le procedure di avvio e ferma degli impianti in sicurezza, la gestione degli stati di allarme e di emergenza, ...

- disponibilità di specifiche attrezzature di soccorso, dispositivi di protezione collettiva ed individuale;

3. Nel caso di compartimentazione multipiano dell'attività (capitolo S.3), le aree a rischio specifico devono comunque essere inserite in compartimento distinto.

- Le risultanze della specifica valutazione del rischio e le relative misure preventive, protettive e gestionali adottate devono essere considerate ai fini della gestione della sicurezza dell'attività (capitolo S.5).

# Troviamo le differenze...o meglio le integrazioni

## CARATTERISTICHE

## INFORMAZIONI E DATI

V.1.1

### Scopo e campo di applicazione

1. La presente regola tecnica reca le indicazioni di prevenzione incendi che si applicano alle aree a rischio specifico.
2. Le aree a rischio specifico possono essere fissate dalle regole tecniche verticali applicabili all'attività. Sono inoltre individuate dal progettista sulla base della *valutazione del rischio d'incendio* e dei seguenti criteri:
  - a. aree in cui si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose, materiali combustibili, in quantità significative;
  - b. aree in cui si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio;
  - c. aree in cui vi è presenza di impianti o loro componenti rilevanti ai fini della sicurezza antincendio di cui al capitolo S.10;
  - d. aree con carico di incendio specifico  $q_r > 1200 \text{ MJ/m}^2$ , non occupate o con presenza occasionale e di breve durata di personale addetto;
  - e. aree in cui vi è presenza di impianti ed attrezzature con fluidi di processo in pressione o ad alta temperatura;
  - f. aree in cui vi è presenza di superfici esposte ad elevate temperature o fiamme libere;
  - g. aree in cui vi è presenza di reazioni chimiche pericolose ai fini dell'incendio;
  - h. ambiti dell'attività con  $R_{ambiente}$  significativo.
3. Lo stoccaggio di *limitate quantità* di liquidi infiammabili in armadi metallici per impieghi funzionali all'attività principale non è generalmente considerato *rischio specifico*.
4. Eventuali aree, a servizio dell'attività principale, in cui vi è presenza degli impianti di cui al punto 2 lettera c, già regolati da specifiche regole tecniche di prevenzione incendi, non sono considerate *aree a rischio specifico*.

V.1.2

### Strategia antincendio

1. Per la valutazione del rischio e delle caratteristiche delle aree a rischio specifico, devono essere considerate almeno le informazioni desumibili dalle seguenti documentazioni:
  - a. schede di sicurezza di sostanze o miscele pericolose;
  - b. norme applicabili;
  - c. specifiche e manuali dei fabbricanti degli impianti e delle macchine.
2. In relazione alle risultanze della valutazione del rischio di incendio ed alle caratteristiche delle aree a rischio specifico, il progettista valuta, almeno, l'applicazione delle seguenti misure:
  - a. inserimento delle aree a rischio specifico in compartimenti distinti per ambiti aventi caratteristiche di rischio omogenee, interposizione di distanze di separazione, riduzione delle superfici lorde di compartimento, ubicazione fuori terra o su piani poco intirriti;
  - b. controllo dell'incendio con livello di prestazione III (capitolo S.6);

- c. installazione di sistemi manuali o automatici di inibizione, controllo o estinzione dell'incendio *a bordo macchina* per la protezione specifica degli impianti e delle apparecchiature a rischio specifico di incendio;

d. installazione di un impianto IRAI con livello di prestazione III (capitolo S.7);

- e. installazioni di sistemi *a bordo macchina* per il rilevamento automatico di anomalie o guasti che comportino la deviazione dai parametri di funzionamento ordinario degli impianti e delle attrezzature di processo, con le funzioni automatiche di allarme ed intercettazione delle alimentazioni elettriche e dei fluidi pericolosi;

f. effettuazione della valutazione del rischio per atmosfere esplosive (capitolo V.2);

- g. adozione di accorgimenti impiantistici e costruttivi per limitare e confinare i rilasci di sostanze o miscele pericolose;

Nota Ad esempio: banchi di contenimento, disponibilità di polveri o dispositivi assorbenti, inserimento di valvole di eccesso di flusso, intercettazioni automatiche e manuali dei sistemi di distribuzione, incamiciatura delle tubazioni, ...

h. adozione di accorgimenti per limitare l'impatto esterno di eventuali rilasci di sostanze o miscele pericolose;

Nota Ad esempio: distanze di separazione che tengano conto della propagazione degli effluenti nelle matrici ambientali, ...

i. adozione di sistemi di rilevazione ed allarme, di procedure gestionali per la sorveglianza ed il controllo dei parametri critici dei processi;

Nota Ad esempio: allarmi di massimo livello per i serbatoi, ...

j. formazione, informazione ed addestramento degli addetti alla gestione delle lavorazioni e dei processi pericolosi;

Nota Tale formazione, informazione ed addestramento deve prevedere nozioni riguardanti i parametri critici di funzionamento delle lavorazioni e dei processi pericolosi, le modalità e le procedure di avvio e ferma degli impianti in sicurezza, la gestione degli stati di allarme e di emergenza, ...

k. disponibilità di specifiche attrezzature di soccorso, dispositivi di protezione collettiva ed individuale;

3. Nel caso di compartmentazione multipiano dell'attività (capitolo S.3), le aree a rischio specifico devono comunque essere inserite in compartimento distinto.

4. Le risultanze della specifica valutazione del rischio e le relative misure preventive, protettive e gestionali adottate devono essere considerate ai fini della gestione della sicurezza dell'attività (capitolo S.5).

## GSA (elementi critici)

## V.1.1 – Scopo e campo di applicazione

La presente regola tecnica verticale, **applicabile ad una specifica attività o ad ambiti di essa**, con specifiche indicazioni, complementari o sostitutive di quelle previste nella regola tecnica orizzontale, reca le indicazioni di prevenzione incendi che si applicano alle **aree a rischio specifico**, la cui definizione è riportata al **Punto G.1.16**:

«ambito dell'attività **caratterizzato** da rischio di incendio **sostanzialmente differente rispetto a quello tipico dell'attività**».

Sostanziale = Non Marginale / Non Trascurabile (RB)

→ 1° STEP: identificare le attività, ovvero «il complesso delle azioni organizzate svolte in un luogo delimitato, che può presentare pericolo di incendio o esplosione», e la tipologia di rischio atteso per ciascuna di esse.

## V.1.1 – Scopo e campo di applicazione

Le aree a rischio specifico possono essere fissate dalle regole tecniche verticali applicabili all'attività. Sono inoltre individuate dal progettista sulla base della valutazione del rischio d'incendio e di alcuni criteri forniti dalla V1.

Il PROGETTISTA....VALUTA:

- 1) Esprimere un giudizio
- 2) Accettare in misura



«fondato su dati di fatto, precisato nei particolari»

# Individuazione delle aree a rischio specifico

V.1.1 c. 2 Individuate dal progettista sulla base della valutazione del rischio di incendio e dei seguenti criteri:



- a. aree in cui si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose, materiali combustibili, in quantità significative;
- b. aree in cui si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio;
- c. aree in cui vi è presenza di impianti o loro componenti rilevanti ai fini della sicurezza antincendio di cui al capitolo S.10;
- d. aree con carico di incendio specifico  $q_f > 1200 \text{ MJ/m}^2$ , non occupate o con presenza occasionale e di breve durata di personale addetto;
- e. aree in cui vi è presenza di impianti ed attrezzature con fluidi di processo in pressione o ad alta temperatura;
- f. aree in cui vi è presenza di superfici esposte ad elevate temperature o fiamme libere;
- g. aree in cui vi è presenza di reazioni chimiche pericolose ai fini dell'incendio;
- h. ambiti dell'attività con  $R_{ambiente}$  significativo.

# Impianti

- a. aree in cui si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose, materiali combustibili, in quantità significative;
- b. aree in cui si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio;
- c. aree in cui vi è presenza di impianti o loro componenti rilevanti ai fini della sicurezza antincendio di cui al capitolo S.10;
- d. aree con carico di incendio specifico  $q_f > 1200 \text{ MJ/m}^2$ , non occupate o con presenza occasionale e di breve durata di personale addetto;
- e. aree in cui vi è presenza di impianti ed attrezzature con fluidi di processo in pressione o ad alta temperatura;
- f. aree in cui vi è presenza di superfici esposte ad elevate temperature o fiamme libere;
- g. aree in cui vi è presenza di reazioni chimiche pericolose ai fini dell'incendio;
- h. ambiti dell'attività con  $R_{ambiente}$  significativo.



**Impianti per la produzione, trasformazione, trasporto, distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica**

**Impianti fotovoltaici**

**Infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici**

**Protezione contro le scariche atmosferiche**

**Impianti di sollevamento e trasporto di cose e persone**

**Impianti di distribuzione gas combustibili**

**Deposito di combustibili**

**Impianti di distribuzione di gas medicali**

**Opere di evacuazione dei prodotti della combustione**

**Impianti di climatizzazione e condizionamento**

# Sostanze e processo (+ reazioni)



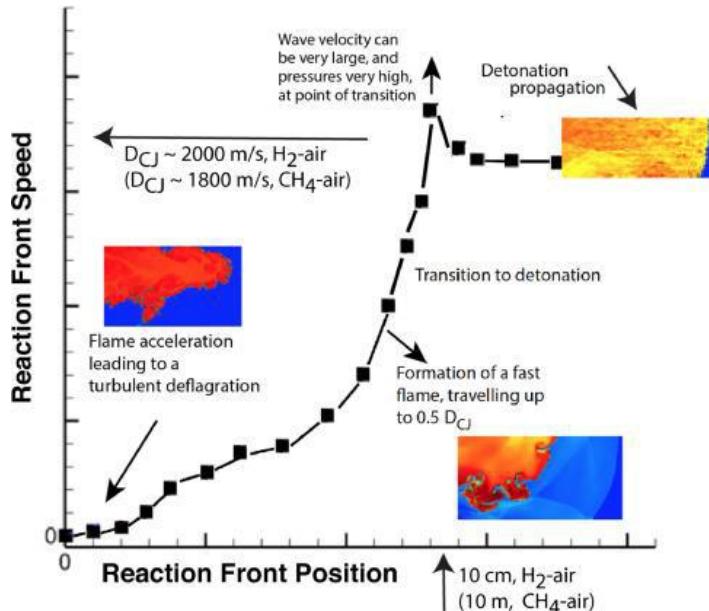
G.1.17

## Sostanze e miscele pericolose

1. Sostanza o miscela pericolosa: sostanza o miscela classificata come pericolosa ai sensi del regolamento (CE) n. 1272/2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio (*Classification, Labelling and Packaging, CLP*) delle sostanze e delle miscele.

## Reazioni chimiche....

- a. aree in cui si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose, materiali combustibili, in quantità significative;
- b. aree in cui si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio;
- c. aree in cui vi è presenza di impianti o loro componenti rilevanti ai fini della sicurezza antincendio di cui al capitolo S.10;
- d. aree con carico di incendio specifico  $q_f > 1200 \text{ MJ/m}^2$ , non occupate o con presenza occasionale e di breve durata di personale addetto;
- e. aree in cui vi è presenza di impianti ed attrezzature con fluidi di processo in pressione o ad alta temperatura;
- f. aree in cui vi è presenza di superfici esposte ad elevate temperature o fiamme libere;
- g. aree in cui vi è presenza di reazioni chimiche pericolose ai fini dell'incendio;
- h. ambiti dell'attività con  $R_{ambiente}$  significativo.



...ma anche fisiche.... (n.d.r.): «pensiamo alle sostanze solide che sono liquefattibili come cere e paraffine»

## Verso V.2

**Attività:** complesso delle azioni organizzate svolte in un luogo delimitato, che può presentare pericolo d'incendio o esplosione.

# Impianti

- a. aree in cui si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose, materiali combustibili, in quantità significative;
- b. aree in cui si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio;
- c. aree in cui vi è presenza di impianti o loro componenti rilevanti ai fini della sicurezza antincendio di cui al capitolo S.10;
- d. aree con carico di incendio specifico  $q_f > 1200 \text{ MJ/m}^2$ , non occupate o con presenza occasionale e di breve durata di personale addetto;
- e. aree in cui vi è presenza di impianti ed attrezzature con fluidi di processo in pressione o ad alta temperatura;
- f. aree in cui vi è presenza di superfici esposte ad elevate temperature o fiamme libere;
- g. aree in cui vi è presenza di reazioni chimiche pericolose ai fini dell'incendio;
- h. ambiti dell'attività con  $R_{ambiente}$  significativo.



**Impianti per la produzione, trasformazione, trasporto, distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica**

**Impianti fotovoltaici**

**Infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici**

**Protezione contro le scariche atmosferiche**

**Impianti di sollevamento e trasporto di cose e persone**

**Impianti di distribuzione gas combustibili**

**Deposito di combustibili**

**Impianti di distribuzione di gas medicali**

**Opere di evacuazione dei prodotti della combustione**

**Impianti di climatizzazione e condizionamento**

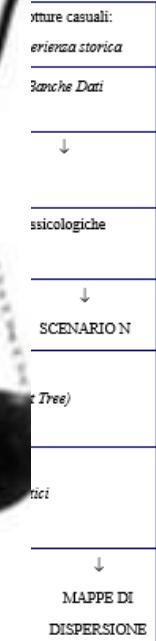




N° -- R.G.N.R.

REZZA

e sinteticamente



Procura della Repubblica presso il Tribunale di Lamezia Terme, Procedimento N° -- R.G.N.R.

Tale flusso di lavoro risulta congruente con le modalità con cui, a livello internazionale, vengono condotti i medesimi studi in impianti chimici di processo. Per ogni passaggio dell'analisi di sicurezza è previsto l'utilizzo di una o più metodologie, eventualmente alternative. La selezione della metodologia maggiormente indicata è funzione della tipologia e della complessità dell'impianto da analizzare oltre che delle sostanze presenti, delle loro modalità e condizioni di impiego ed ancora degli eventuali eventi incidentali che possono accadere, incluso l'accadimento di incidenti rilevanti. Tale aspetto è sancito anche dal recente D.M. 3 agosto 2015, conosciuto anche come "Codice di Prevenzione Incendi" applicabile alle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi da parte del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, ma esplicitamente indicato come riferimento tecnico per attività non incluse nel campo di applicazione, che infatti indica: **"Il progettista impiega uno dei metodi di regola dell'arte per la valutazione del rischio d'incendio, in relazione alla complessità dell'attività trattata"**. Vale la pena inoltre sottolineare come tale recente decreto indichi anche chiaramente che **"negli ambiti delle attività in cui sono presenti sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri combustibili, la valutazione del rischio d'incendio deve includere anche la valutazione del rischio per atmosfere esplosive"**, ricongiungendo i requisiti con quelli propri di altri corpi normativi, in primis il D.Lgs. 81/2008 di generale applicazione a tutti i luoghi di lavoro.

Nei seguenti paragrafi si riporta una sintesi dei principali elementi che costituiscono l'analisi di sicurezza e delle tecniche maggiormente impiegate, per come essa viene tradizionalmente svolta nel nostro Paese, utili ad evidenziare le tecniche che saranno utilizzate per approfondimenti successivi.


## 12 IL RUOLO DELLA PROGETTAZIONE

Appare evidente che la progettazione di impianti chimici possa essere considerata una attività complessa e che essa incida in modo particolarmente importante sul livello di sicurezza futura dell'impianto.

Il grado di sicurezza è funzione sia dell'attività di progettazione sia dell'attività di gestione dell'impianto da parte dell'utilizzatore.

Ciò è evidenziato anche dal D.Lgs. 81/2008 che afferma all'Art. 22 *"I progettisti dei luoghi e dei posti di lavoro e degli impianti rispettano i principi generali di prevenzione in materia di salute e sicurezza sul lavoro al momento delle scelte progettuali e tecniche e scelgono attrezzi, componenti e dispositivi di protezione rispondenti alle disposizioni legislative e regolamentari in materia".*

Inoltre, con specifico riferimento all'industria di processo è possibile affermare che *"Tutti i serbatoi, le apparecchiature, i macchinari e le relative tubazioni di collegamento (componenti essenziali di un impianto) che contengono o che processano sostanze pericolose, ed in particolare quelle che possono portare a perdita di contenimento a seguito di un singolo evento oppure quelle critiche per il processo, devono essere progettate, costruite, installate, esercite e manutenute in modo da controllare il rischio di rilascio e/o altri incidenti. In tal senso devono essere compresi anche la strumentazione e i sistemi di sicurezza critici per il processo, il cui malfunzionamento possa compromettere, anche indirettamente, l'integrità fisica dell'impianto e quindi la sua capacità di contenimento."* (UNI, 1997a).

Ciò è evidenziato anche dal D.Lgs. 81/2008 che afferma all'Art. 22 *"I progettisti dei luoghi e dei posti di lavoro e degli impianti rispettano i principi generali di prevenzione in materia di salute e sicurezza sul lavoro al momento delle scelte progettuali e tecniche e scelgono attrezzi, componenti e dispositivi di protezione rispondenti alle disposizioni legislative e regolamentari in materia".*

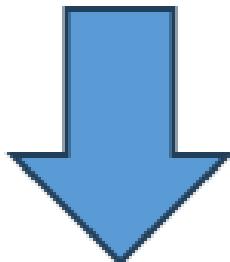

# Battery Energy Storage System (BESS)

Qualunque sistema in cui l'energia elettrica può essere stoccatata ed utilizzata quando necessario (definizione tratta da FM-DS-05-33).

In particolare le considerazioni esposte sono riferite a sistemi BESS basati su celle agli ioni di litio.

## Li-ion BESS

- Tecnologie recenti, con ridotta esperienza operativa
- Sistemi complessi
- Evidenza di un significativo numero di incidenti occorsi negli ultimi anni



**Rischi emergenti – richiedono analisi specifiche**



## CONTESTO NORMATIVO

Lo stoccaggio di merci pericolose è sottoposto alle norme giuridiche:

- di tutela ambientale (**TU Ambiente**),
- di tutela dei lavoratori addetti (**D.Lgs. 81/08** e smi),
- di prevenzione del rischio incendio (Attività soggette) e di prevenzione dei rischi di incidente rilevante (Direttiva "Seveso III", in vigore in Italia attraverso il **D.Lgs. 105/2015**)

la prevenzione dei rischi è affidata alla **individuazione sistematica dei pericoli e alla loro gestione**, tra cui le misure per la prevenzione delle incompatibilità chimico-fisiche con sostanze, miscele o articoli → aggravamenti del rischio.

**BESS** possono essere



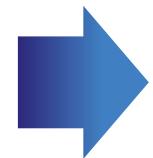
- nucleo centrale di impianti che, per altri asset necessariamente presenti (es. i trasformatori), sono soggetti alla disciplina della normativa in materia di prevenzione incendi (**D.P.R. 151/2011**)
- installati a servizio o all'interno del perimetro di Stabilimenti nuovi ed esistenti essi stessi soggetti a normative specifiche (ad. esempio siti soggetti all'applicazione della **Direttiva "Seveso"**)

E' fondamentale osservare che la sicurezza  
**deve essere garantita in tutte le fasi costituenti il ciclo di vita dell'installazione**

# SITI “SEVESO” E GESTIONE DEI BESS

**Incidenti particolarmente significativi** anche in termini di effetti:

- Incendi
- Esplosioni da run-away termico



È necessario **valutare tutti i pericoli dati dalla presenza, reale o prevista** (ivi incluse le condizioni di emergenza), **di sostanze pericolose** che è ragionevole prevedere possano essere generate, in caso di perdita di controllo dei processi (per incendio o per deriva termica)



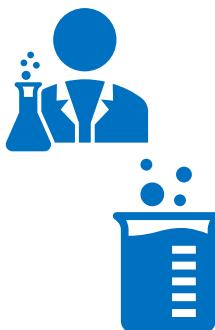
**NON** è assolutamente possibile escludere nella fase di incidente lo **sviluppo di dispersioni tossiche e infiammabili** nella fase di pianificazione e risposta all'emergenza la necessità di gestire una **protezione adeguata sia per gli operatori della squadra interna, sia del CNVVF**, compresa la raccolta e smaltimento delle acque derivanti dalle azioni di spegnimento ai fini della tutela ambientale

Quando una batteria agli ioni di litio si guasta e prende fuoco  
**l'elettrolita diventa il combustibile principale**



- i sottoprodoti che si generano sono tipicamente **infiammabili**
- viene liberato il fluoro che proviene dal sale di litio che si scioglie nell'elettrolita
- idrogeno reagisce con fluoro → acido fluoridrico (HF).
- produzione di gas HF è **direttamente proporzionale** all'energia elettrica immagazzinata nella cella o nella batteria

Sulla base di alcuni test sperimentali:



- rilevate significative quantità di acido fluoridrico (HF), comprese tra 20 e 200 mg/Wh di capacità energetica nominale della batteria
- misurati 15-22 mg/Wh di un gas potenzialmente tossico, il trifluoruro di fosforile (POF<sub>3</sub>)
- analizzate emissioni di gas quando si utilizza l'acqua nebulizzata come agente estinguente → gas fluoruro (minaccia tossica)

Per quanto riguarda gli

## **STABILIMENTI SOGGETTI ALLA DIRETTIVA SEVESO**

considerata la difficoltà di determinare in maniera esatta la quantificazione delle emissioni di acido fluoridrico e di altri gas tossici durante l'incendio,

**È BENE NON SOTTOSTIMARE,**

durante la fase di analisi dei rischi e di predisposizione dei Piani di Emergenza Interna

**LE CONSEGUENZE DI SURRISCALDAMENTI,**

che possono portare anche reazioni esotermiche incontrollate, con rilascio di fumi tossici e presenza di apprezzabili quantità di sostanze pericolose,  
tra cui anche l'acido fluoridrico,

**NON LIMITANDOSI**

ai primi, pur molto severi,

**EFFETTI DELL'EVENTUALE ESPLOSIONE RISULTANTE**

In assenza di informazioni affidabili, risulta pertanto fondamentale

## **la predisposizione di apprestamenti prevenzione e mitigazione adeguati**

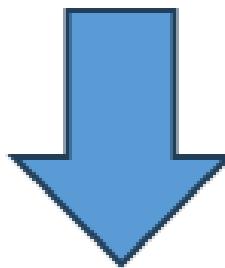
come la dotazione di DPI per fronteggiare le situazioni di emergenza (per la  
squadra di intervento e di conseguenza  
per gli operatori del CNVVF)

commisurati ai pericoli individuati, siano essi incendi, esplosioni o rilasci di  
sostanze tossiche

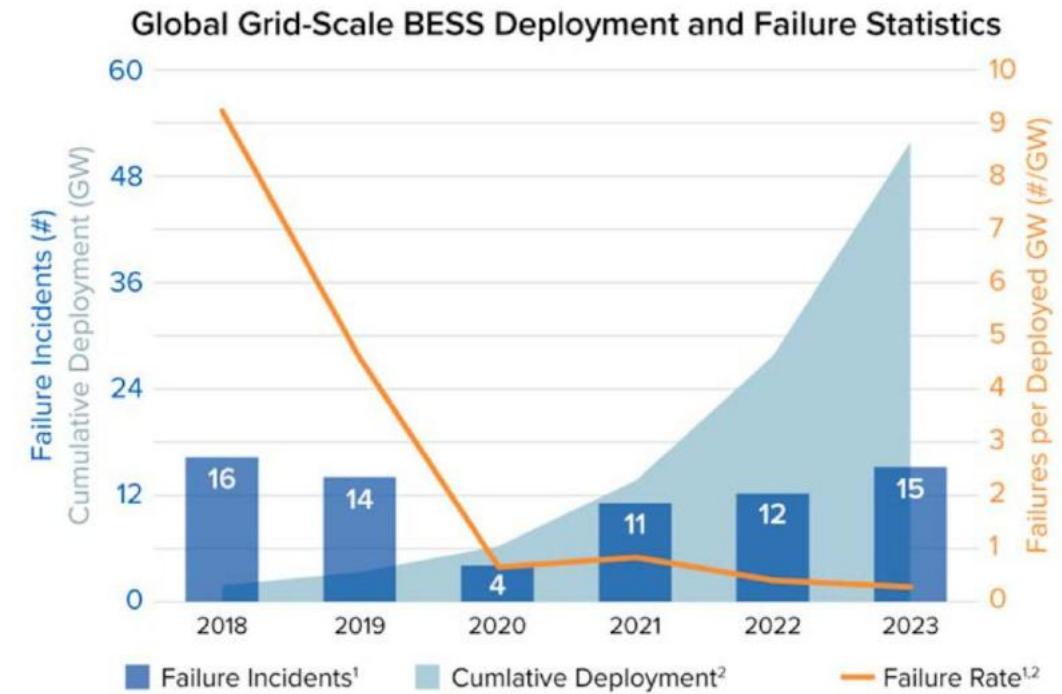
# BESS INCIDENT STATISTICS

Dal White Paper EPRI 2024:

*"While recent fires afflicting some of these BESS have garnered significant media attention, the overall rate of incidents has sharply decreased, as lessons learned from early failure incidents have been incorporated into new designs and best practices. Between 2018 and 2023, the global grid-scale BESS failure rate has dropped 97%."*



**Emerge la necessità di gestire la complessità dei nuovi sistemi e di comprendere i nuovi rischi emergenti ad essi connessi.**



Sources: (1) EPRI Failure Incident Database. (2) Wood Mackenzie. Data as of 12/31/23.

Il **BESS Failure Event Database** fornisce un esempio in cui l'esposizione all'HF ha provocato diverse ospedalizzazioni dei primi soccorritori

Esempi, con l'esclusione della Corea del Sud (che ha registrato 29 eventi nel periodo 2018-2022).

Location	Capacity (MWh-MW)	Application	Installation	Event date	System age (y)	status
US, CA <i>Landing</i>	1,200-300	Solar Integr. (SI)	Power Plant	09-4-2021	0.8	
Australia, <i>Moorabool</i>	450-300	Grid Stability (GS)	Rural	07-30-2021	0	Construction/ commissioning
Germany <i>Neuhardenberg</i>	5-5	SI/ frequency reg. (FR)	Indoor/ hangar	07-18-2021	5	
China, Beijing	25- ?	SI+ other services	Mall	04-16-2021		Construction/ commissioning
France <i>Perles-de-Castelet, Arège</i>	0.5-0.5	Local demand mgt	substation	12-1-2020	0	testing
UK, Liverpool	10-20	FR	substation	09-15-2020	1.5	
US AZ, Surprise	2-2	Volt Reg, PQ, SI		04-19-2019	2	
SK,N.Geyongsang, <i>Chilgok</i>	3.7-?	SI	Mountains	05-04-2019	2.2	Charged, inactive
Australia, Brisbane		SI	Indoor, elevated floor	03-17-2020	6.7	
Belgium, <i>Drogenbos</i>	6(1;5)-4(1)	Test Center	Gas power plant	11-11-2017	0	

# LATEST NEWS

Failure database available at <https://storagewiki.epri.com/>

Failure Event - South Korea, Hwaseong - 24 Jun 2024

## Overview

Event Details	
Location:	South Korea, Hwaseong
Setting:	Manufacturing
Capacity (MWh):	
Capacity (MW):	
Battery Module:	
Operator / Integrator:	Aricell
Application:	
Installation:	
Enclosure Type:	
Event Date:	24 June 2024
System Age (yr):	
Extent of Damage:	22 deaths and 8 injured among factory workers. Destruction of factory.
State During Accident:	
Description:	A single battery cell in the factory caught fire and spread to the 35,000 battery cells stored on the factory's second floor, producing a series of explosions. 22 workers were killed and 8 were injured in the fire.
Source:	<a href="#">New York Times</a>
Additional Resources:	

A single battery cell in the factory caught fire and spread to the 35,000 battery cells stored on the factory's second floor, producing a series of explosions. 22 workers were killed and 8 were injured in the fire.

## The Korea Herald

Foreign Affairs Defense North Korea Diplomatic Circuit K-Wellness

Latest news > What we know about the reported suspect behind apparent Trump...

## Battery factory safety measures proposed

By Lee Jung-joo

Published : Sept. 10, 2024 - 17:27



Deputy Minister to the Ministry of Interior and Safety's Societal Disaster Management Office Hong Jong-wan (center) speaks during a press briefing on the government's safety management standards set to prevent mass fires and explosions in battery factories at Government Complex Sejong, Tuesday. (Newsis)

The South Korean government announced a set of measures to prevent fires and explosions in battery production factories by proposing specific safety management standards for such

Gli eventi incidentali che coinvolgono BESS (Battery Energy Storage System) basati sulla tecnologia al litio sono registrati nel database di EPRI (Electric Power Research Institute).



Giappone, Kagoshima, Isa - 27 March 2024 (fonte [fnn.jp](#))

L'evento: I vigili del fuoco intervenuti per monitorare la temperatura hanno aperto una porta del comparto batterie ed una esplosione si è sviluppata mentre i soccorritori tentavano di utilizzare il sistema di estrazione fumi. 4 Vigili del fuoco sono rimasti coinvolti e l'incendio è stato estinto il giorno seguente.

Esplosione di un Sistema BESS da 25 MW in un impianto solare a Hainan (China).

Durante le operazioni di commissioning il 20/10/2022 uno dei dieci container è stato distrutto da una esplosione di gas infiammabili generatisi a seguito di Thermal Runaway.



China, Hainan - 20 Oct 2022  
(fonte [china5e.com](http://china5e.com))



Moss Landing, CA - 20 Sept 2022 (<https://www.youtube.com/watch?v=f0srRxoWz0&t=7s>)

Il 20/09/2022, presso l'impianto da 730 MWh di Moss Landing (California), un incendio si è verificato in una unità megapack alla PG&E Elkhorn battery facility. Il thermal runaway è stato causato dall'infiltrazione di acqua piovana all'interno dell'unità a causa di una impropria installazione delle paratie di protezione durante l'implementazione di un nuovo componente. L'incendio ha coinvolto un singolo megapack, con sviluppo di fiamme per circa 6 ore e generazione di fumi ed off-gas per altre 12 ore.



Neermoor, Northern Germany

# Case Analysis - Accident in Beijing Dahongmen Energy Storage Plant



Accident in Beijing Dahongmen energy storage plant

- **Location:** No. 14 A, Dahongmen Xima Factory, Yongwai, South 4th Ring Road, Beijing Fengtai District
- **Background:** In April 2019, the first phase of the project was put into operation, including the 1.4 MW rooftop distributed PV plant, 4 MW/12 MWh energy storage plant, and charging piles.
- **Specifications:** The system uses the 720 V 189 Ah (225S18P) LFP cylindrical cells (10.5 Ah per cell) from Gotion High-tech.
- **Account of the accident:** A fire alarm was reported from the southern area at 12:27 on April 16, 2021. When firefighters arrived at the site, the ESS in the northern area exploded at 14:15 without warning, causing casualties.
- **Conclusion:** The direct cause of the explosion in the north building was that **a lithium iron phosphate battery in the south building was short-circuited**. As a result, the battery and battery module caught on fire due to thermal runaway. The flammable and explosive components spread to the energy storage room in the north building through the outdoor underground cable trench and mixed with air to form explosive gas, causing the explosion triggered by electric sparks.

# Case Analysis: Accident in Australia Tesla Energy Storage Plant



Accident in Australia Tesla energy storage plant

- **Location:** Moorabool near Geelong, Victoria, Australia
- **Background:** Tesla and Neoen, a French renewable energy developer, launched the largest battery energy storage project in Australia. This project aims to provide supplementary power for the major power transmission lines between New South Wales and Victoria during peak hours. It was planned to be put into operation in December 2021.
- **Specifications:** The capacity of the energy storage project is 300 MW/450 MWh, using Tesla Megapacks (about 3 MWh per Megapack).
- **Account of the accident:** At about 10:00 local time on July 30, 2021, during the commissioning of Victorian Big Battery (VBB), 13 tons of lithium batteries in a container were all on fire. The fire lasted for four days before it was put out, although no casualty was caused.
- **Conclusion:** **The leakage in the Megapack cooling system caused a battery short circuit.** As a result, electronic components were on fire, causing thermal runaway. The fire occurred in the adjacent battery compartment of a Megapack and then spread to the next Megapack, eventually to the entire energy storage system. It is also worth noting that the monitoring system did not run 24 x 7 as required.

# Case Analysis: Accident in South Korea LG Energy Storage Plant



Multiple energy storage plant accidents in South Korea

- **Defects in the battery system:** Defects exist in the battery manufacturing process and battery aging causes deterioration in the ESS safety protection.
- **External factors:** inrush current and external short circuit caused by insulation failure, thermal shock caused by heat generated by components other than batteries, and thermal runaway of a battery and its subsequent damages
- **Poor management:** The initial electric and heat management design, BMS/PCS/EMS, and air conditioning system are not properly managed and controlled, resulting in poor reliability of batteries and the system.
- **Lack of a comprehensive management system:** The status of the management systems such as the BMS, PCS, EMS, and corresponding response control logic cannot be monitored. In addition, human factors such as improper management regulations should also be considered.

# Le problematiche connesse con gli scenari di Thermal Runaway in sistemi BESS

Sono coinvolti almeno 3 ambiti:

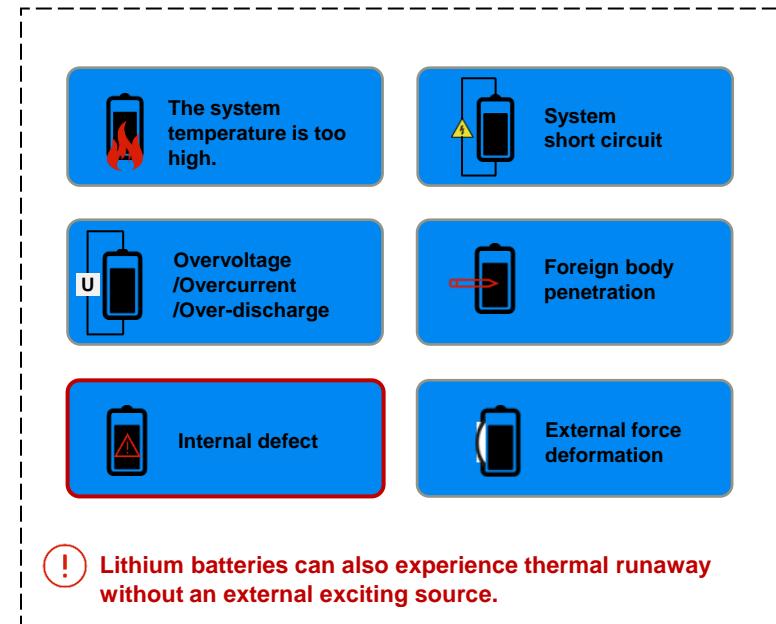
Perdita/danno degli asset

Continuità di business

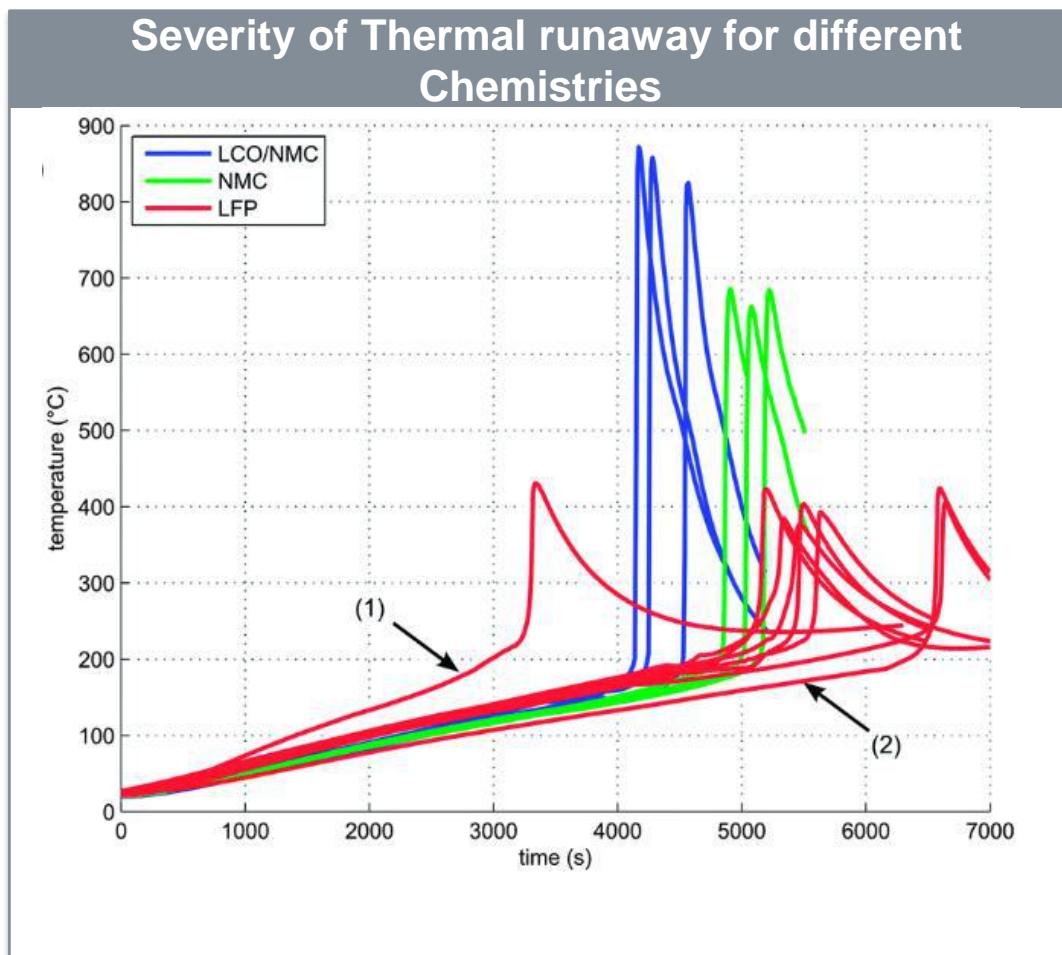
Sicurezza dei soccorritori

# Le principali cause di guasto in sistemi BESS

Sono riconducibili a molteplici fattori interni ed esterni che in ultima istanza inducono la condizione di Thermal Runaway delle batterie:



# Principale meccanismo di guasto delle celle agli ioni di litio



**Thermal runaway:** reazione esotermica incontrollata, che si autosostiene ed in grado di generare più calore di quanto il sistema di raffreddamento delle batterie è in grado di asportarne.

La condizione di Thermal runaway conduce alla degenerazione dell'elettrolita delle celle, producendo prodotti volatili di decomposizione (gas, vapori) infiammabili.

Gli off-gas così generati contengono una significativa percentuale di **VOCs (Volatile Organic Compounds)**, responsabili delle proprietà infiammabili che caratterizzano la miscela di gas.

Le celle basate sulla chimica **LFP** (lithium ferrophosphate) sono meno soggette allo sviluppo di thermal runaway.

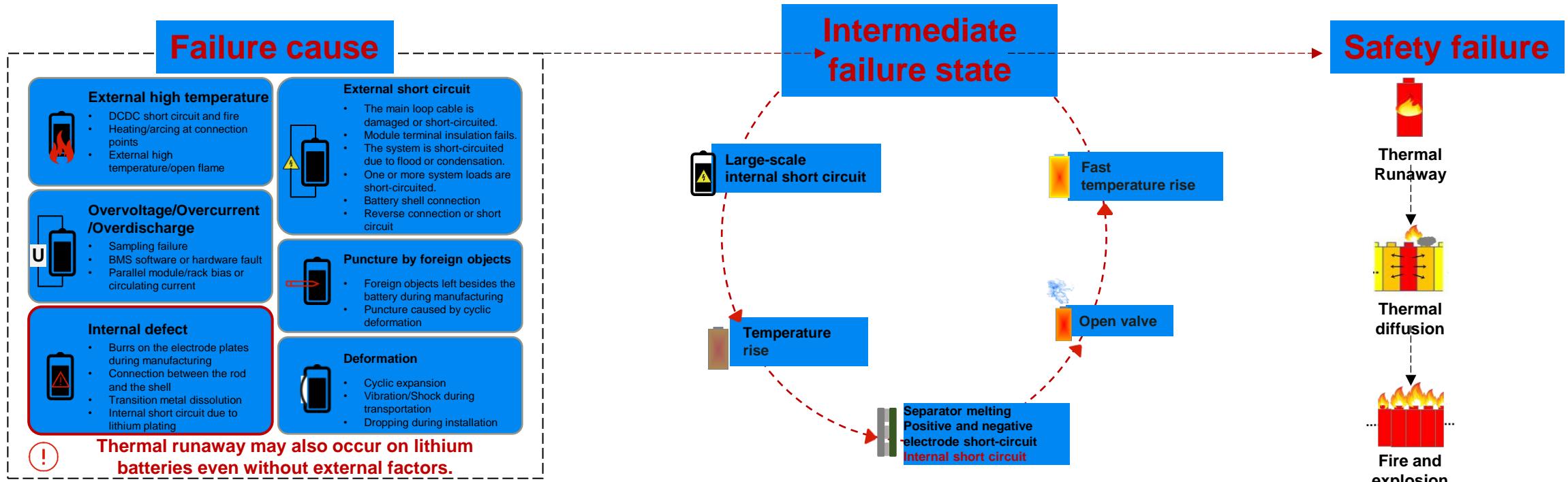
Le principali cause che determinano il Thermal Runaway:

- Abuso elettrico
- Abuso termico
- Danneggiamento fisico delle celle

Gli scenari incidentali generati a seguito di fallimento dei sistemi BESS possono includere incendi ed esplosioni.

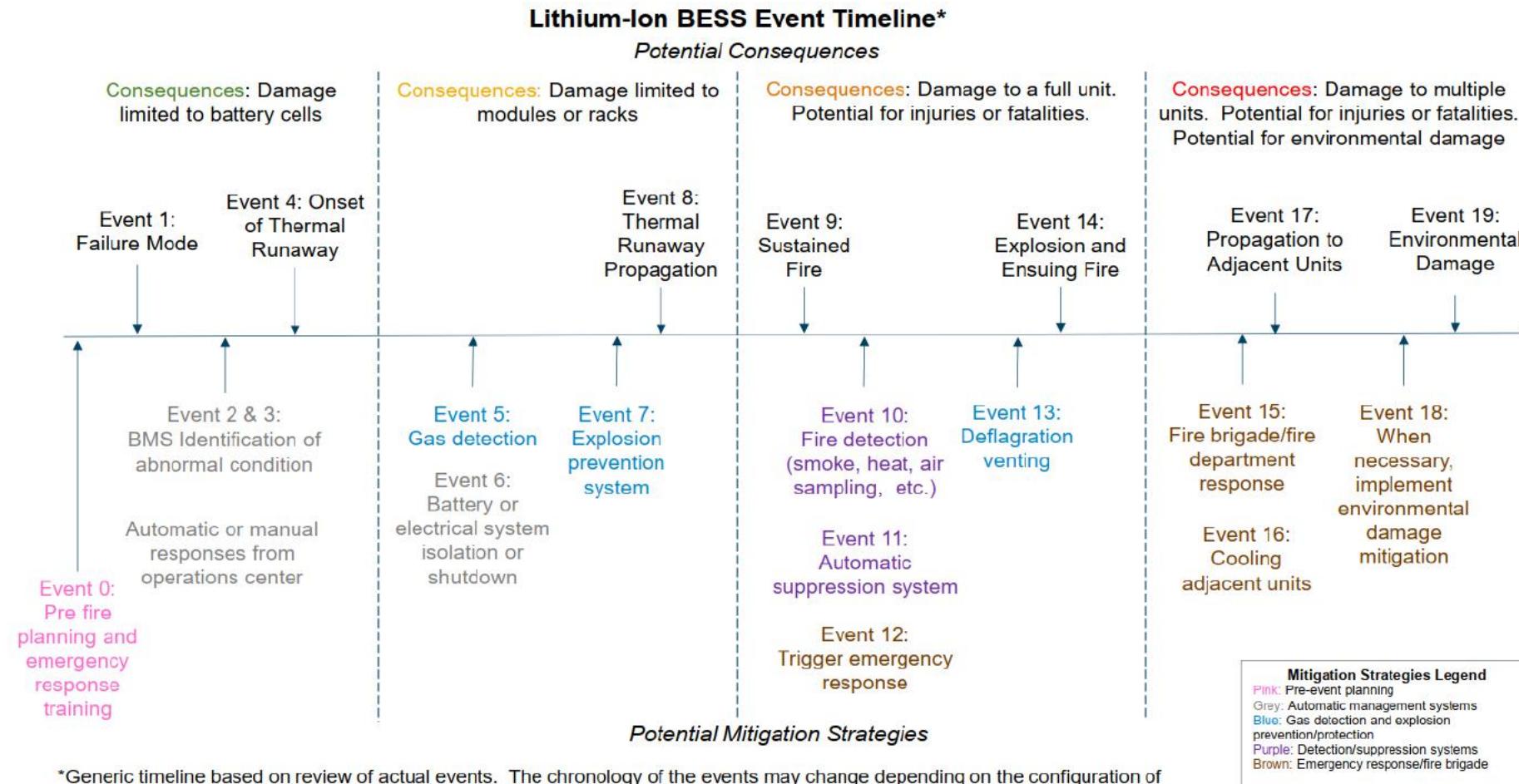
# Principale meccanismo di guasto delle celle agli ioni di litio

Evoluzione del meccanismo di guasto:

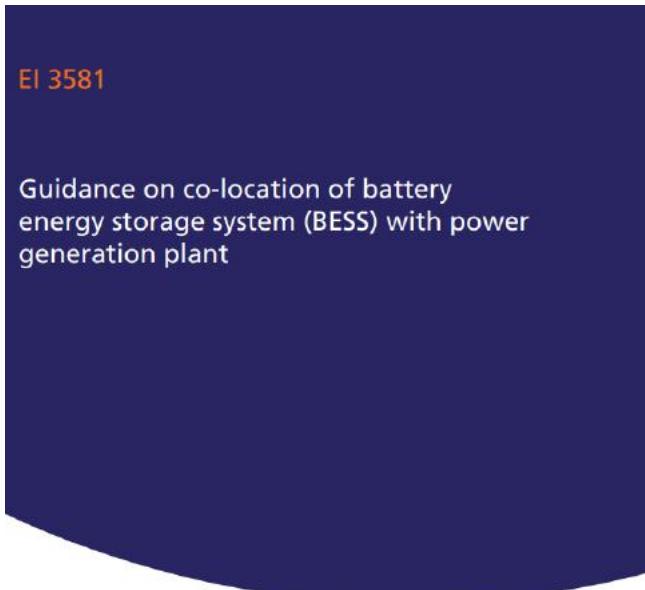


# Timeline della condizione di guasto per runaway

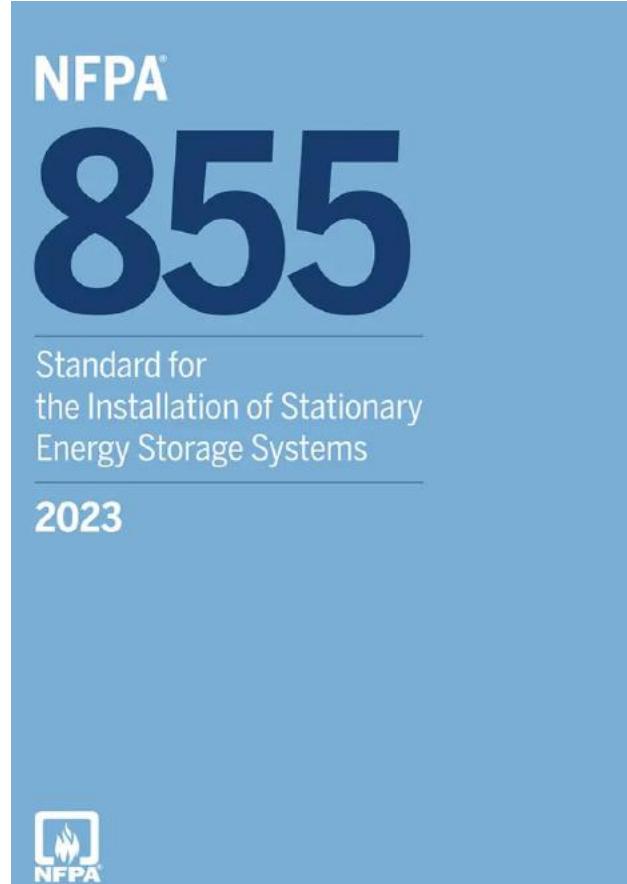
Con riferimento inoltre ad un recente articolo pubblicato da SFPE ("Landscape of Battery Energy Storage System Hazards and Mitigation Strategies" di V. Hutchison), la figura seguente illustra la successione temporale di eventi correlati allo sviluppo di uno scenario di thermal runaway e le misure mitigative potenzialmente implementabili nelle varie fasi di sviluppo dello scenario emergenziale:



# La risposta normativa internazionale



43



FM Property Loss Prevention Data Sheets 5-33

January 2017

Interim Revision January 2024

Page 1 of 25

## LITHIUM-ION BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEMS

### Table of Contents

Page

1.0 SCOPE	3
1.1 Changes	3
1.2 Hazards	3
1.2.1 Thermal Runaway	3
1.2.2 Electrical Fire	4
2.0 LOSS PREVENTION RECOMMENDATIONS	4
2.1 FM Approved Equipment	4
2.2 Lithium-Ion Battery Energy Storage System (LIB-ESS) Selection	4
2.3 Construction and Location	4
2.3.1 Location	4
2.3.2 Outdoor LIB-ESS Enclosures and Containers	4
2.3.3 Dedicated LIB-ESS Building or Enclosure Larger Than 500 ft <sup>2</sup> (46.5 m <sup>2</sup> )	5
2.3.4 LIB-ESS Cutoff Rooms	6
2.3.5 Separation Distances for Indoor LIB-ESS Racks	6
2.4 Protection	6
2.5 Equipment and Processes	7
2.5.1 Electrical System Protection	7
2.5.2 Equipment Protection	7
2.5.3 Battery Management System Safety Functions	8
2.5.4 Power Conversion Equipment	10
2.5.5 Air Circulation/Mechanical Ventilation	10
2.6 Operation and Maintenance	10
2.6.1 Operation	10
2.6.2 Equipment Maintenance	10
2.7 Training	11
2.8 Human Factors	11
2.8.1 Housekeeping	11
2.8.2 Emergency Response and Pre-Incident Planning	11
2.9 Utilities	12
3.0 SUPPORT FOR RECOMMENDATIONS	12
3.1 Construction and Location	12
3.1.1 Spatial Separation Between Exterior Enclosures	12
3.2 Fire Protection and Minimum Separation Distances for Indoor Installations	12
3.3 Gasoline Protection Systems	13
3.4 Electrical	13
3.4.1 Battery and LIB-ESS Service Aging	13
3.4.2 Early Intervention Devices	13
4.0 REFERENCES	14
4.1 FM	14
4.2 Other	14
APPENDIX A GLOSSARY OF TERMS	14
APPENDIX B DOCUMENT REVISION HISTORY	16
APPENDIX C REFERENCE INFORMATION	16
C.1 Introduction	17
C.2 LIB-ESS Components	18
C.2.1 Cells	18

©2017-2024 Factory Mutual Insurance Company. All rights reserved. No part of this document may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in whole or in part, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without written permission of Factory Mutual Insurance Company.



40<sup>TH</sup>  
ANNIVERSARY  
1979 • 2019

# La risposta normativa dell'Italia

m\_it.COM-LT.REGISTRO  
UFFICIALE\_E.0022190.23-12-2024

m\_it.DCPREV.REGISTRO  
UFFICIALE\_U.0021002.23-12-2024



## Ministero dell'Interno

DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO, DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE  
DIREZIONE CENTRALE PER LA PREVENZIONE E LA SICUREZZA TECNICA, ANTINCENDIO ED ENERGETICA

Alle Direzioni Regionali/Interregionale dei vigili del fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile

Ai Comandi dei vigili del fuoco

E, p.c. Alle Direzioni Centrali del Dipartimento dei vigili del fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile

All' Ufficio del Capo del Corpo Nazionale dei Vigili del fuoco

**OGGETTO:** Linee guida per la progettazione, realizzazione e l'esercizio di Sistemi di Accumulo di Energia Elettrica ("Battery Energy Storage System - BESS").

Con riferimento all'oggetto, si comunica che nell'ambito delle attività del Comitato Centrale per la sicurezza tecnica della transizione energetica e per la gestione dei rischi connessi ai cambiamenti climatici di cui al decreto-legge 24 febbraio 2023, n. 13 e s.m.i., sono state predisposte le linee guida di prevenzione incendi per l'individuazione delle metodologie per l'analisi del rischio e delle misure di sicurezza antincendio da adottare per la progettazione, la realizzazione e l'esercizio di sistemi di accumulo di energia elettrica, i c.d. BESS, alla cui stesura hanno fattivamente partecipato anche qualificati rappresentanti di Amministrazioni ed Enti a vario titolo interessati dalla materia ( D.P.C., MASE, MIMIT, MLPS, MIT, MUR, CNR, ENEA, ISPRA).

Ciò posto, sentito anche il Comitato Centrale tecnico scientifico per la prevenzione incendi, si trasmettono in allegato le citate le linee guida che forniscono un utile strumento tecnico alle strutture territoriali del C.N.V.V.F. qualora chiamate ad esprimere il parere di competenza nell'ambito delle attività istituzionali.

IL CAPO DEL CORPO NAZIONALE  
DEI VIGILI DEL FUOCO  
(MANNINO)  
*Documento firmato digitalmente*

GB/TM

**tecsa**

**40<sup>th</sup>**  
ANNIVERSARY  
1979 • 2019

# Principali punti di attenzione

- Requisiti per la Prevenzione di formazione di miscele potenzialmente esplosive (titolo II, p.to 2.3)



*Con riferimento al Capitolo V.2 del Codice di Prevenzione Incendi (DM 03/08/2015 e smi)*

- Misure contro la propagazione del thermal runaway (titolo II, p.to 2.5)
- Misure per la gestione dei gas esplosivi (titolo II, p.to 2.6)
- Misure di protezione attiva (titolo III)
- Valutazione del rischio e distanze di sicurezza (titolo IV)



*Approccio risk-based sia per la valutazione del rischio che per la determinazione delle distanze di sicurezza*

# Il Codice di Prevenzione Incendi

## Capitolo V.1

### REGOLE TECNICHE VERTICALI Aree a rischio specifico

Campo di applicazione  
Strategia antincendio

Gli strumenti per la valutazione del rischio messi a disposizione dal Codice di Prevenzione Incendi (DM 05/08/2015 e smi) – richiamati anche dalle Linee Guida VVF per i sistemi BESS – sono costituiti principalmente dalle sezioni V.1 (Aree a rischio specifico) e V.2 (Aree a rischio per atmosfere esplosive)

## Capitolo V.2

### REGOLE TECNICHE VERTICALI Aree a rischio per atmosfere esplosive

Campo di applicazione

#### Valutazione del rischio di esplosione

Individuazione delle condizioni generali di pericolo di esplosione  
Identificazione delle caratteristiche delle sostanze infiammabili o polveri combustibili  
Classificazione delle zone con pericolo di esplosione  
Identificazione dei potenziali pericoli di innesco  
Valutazione dell'entità degli effetti prevedibili di un'esplosione  
Quantificazione del livello di protezione

#### Misure di prevenzione, protezione e gestionali

Prodotti  
Impianti  
Opere da costruzione progettate per resistere alle esplosioni

#### Riferimenti

# La sicurezza dei soccorritori

Indicazioni per la protezione dei soccorritori durante gli interventi su sistemi BESS sono state recentemente predisposte dall'American Clean Power Association (ACP):

Le principali raccomandazioni comprendono:

- L'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale;
- La valutazione del rischio di incendio;
- La valutazione del rischio di esplosione;
- La valutazione del rischio di elettrrocuzione;
- La valutazione del rischio di esposizione a composti tossici.



# Problematiche ambientali

## 2.10 Gestione delle acque

In funzione delle scelte progettuali, che spaziano dalla tecnologia delle batterie utilizzate alla soluzione costruttiva di impianto BESS (e.g. greenfield, brownfield), e alle caratteristiche del layout (container, cubo, edificio), gli impianti BESS saranno dotati di adeguate misure che assicurino una corretta gestione delle diverse tipologie di acque, in ottemperanza a tutte le normative ambientali vigenti. Tali misure possono comprendere, ad esempio, l'utilizzo di vasche, sistemi di raccolta, disoleatori ecc.

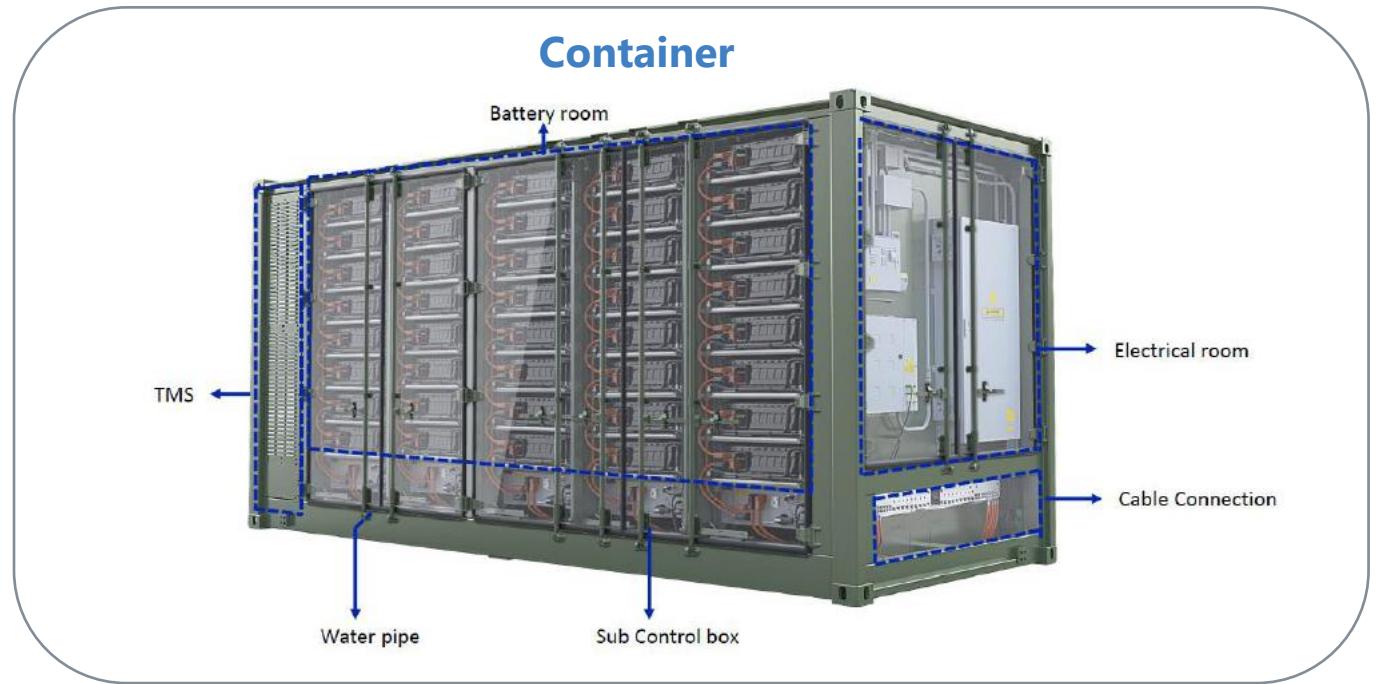
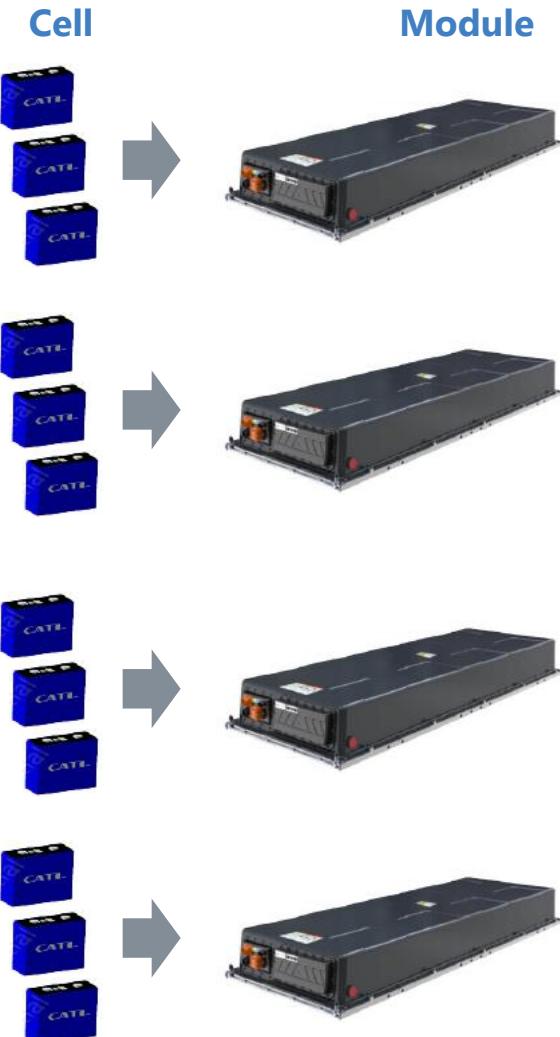
Appendice 2 (Linee guida VVF) – Metodologie per la valutazione del rischio

*«Nella fase di identificazione dei pericoli devono essere compresi almeno i seguenti potenziali fattori di pericolo:»*

*«prossimità degli elementi pericolosi costituenti il BESS rispetto a recettori ambientali sensibili quali corsi d'acqua, falde, etc.»*

# Sistemi di accumulo BESS a ioni di litio

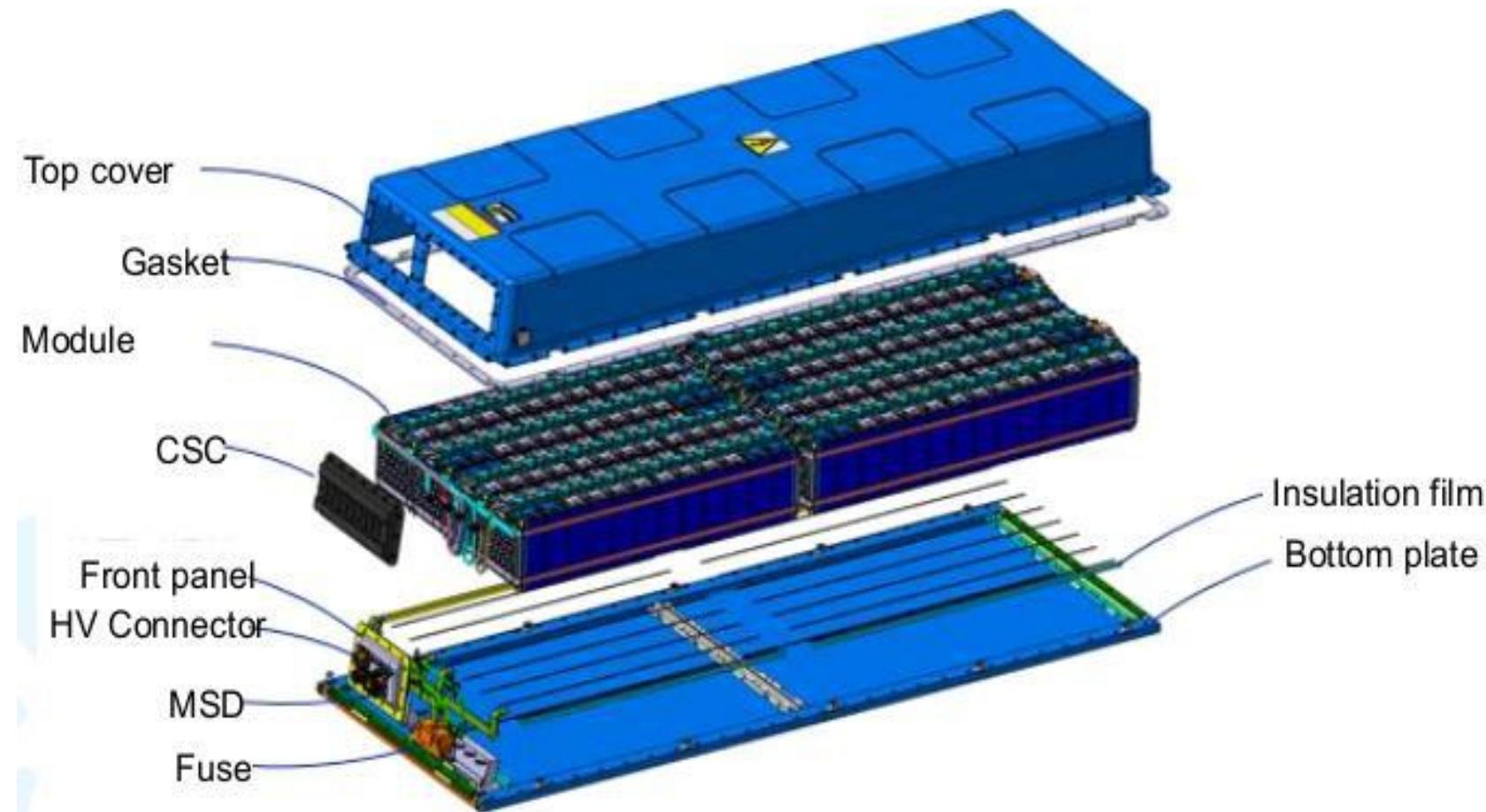
## Componenti principali, composizione e assemblaggio



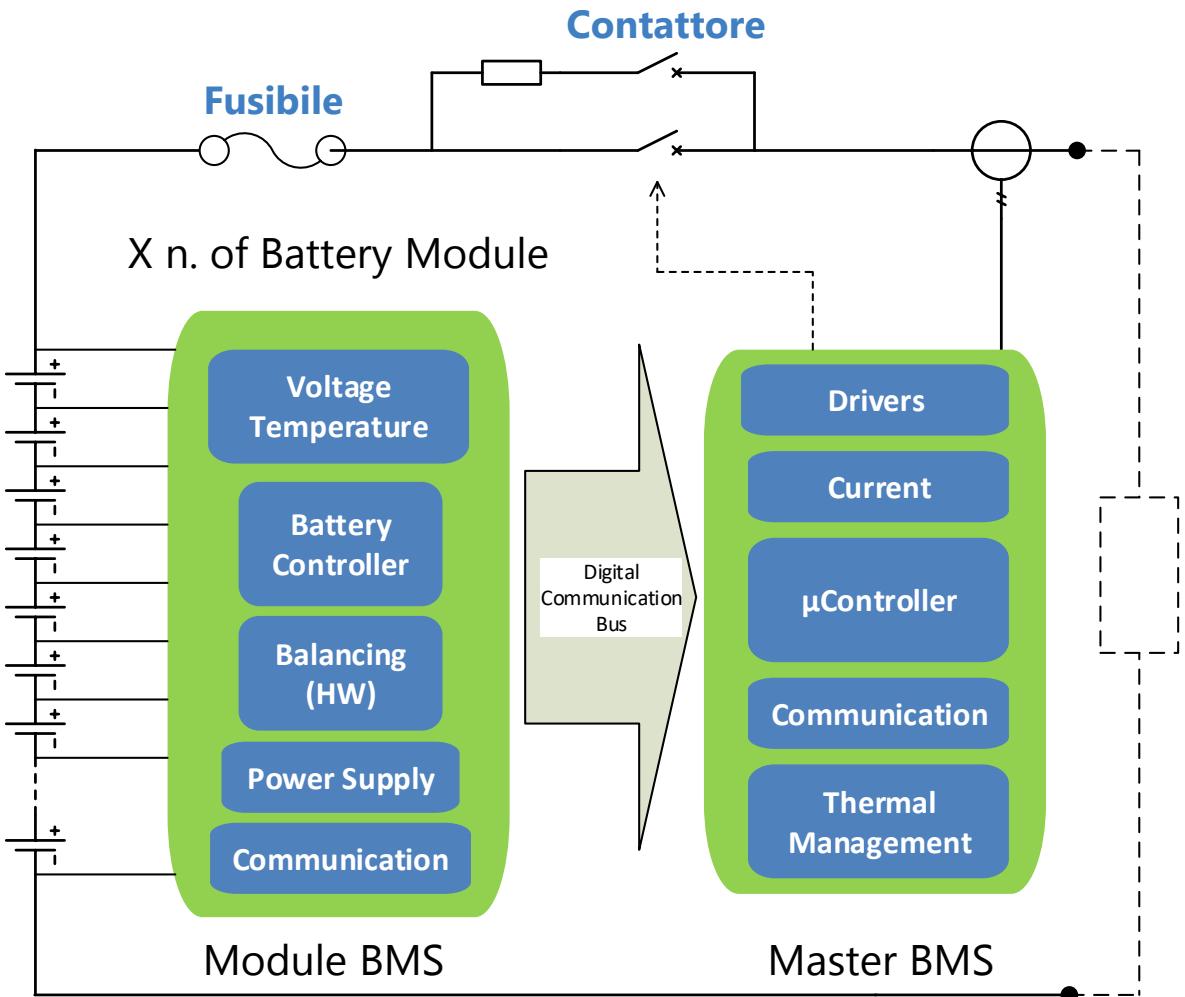
	Cell	Module	Container
<b>Dimensions</b> (W x D x H) [mm]	174 x 207 x 72	830 x 2235 x 250	2438 x 6058 x 2896
<b>Weight</b> [kg]	$5.36 \pm 0.3$	$630 \pm 5$	$\sim 36000$
<b>Rated Voltage</b> [V]	3.2	166.4	1331.2
<b>Rated Energy</b> [kWh]	0.896	93.18	3727.36

# Sistemi di accumulo BESS a ioni di litio

## Modulo Batteria – Dettaglio Costruttivo



# Battery Management System (BMS)



Il BMS è un **insieme di elementi HW/SW preposti alla corretta gestione** tecnica/funzionale del sistema batteria (**BESS**)

Il suo principale servizio è quello **monitorare** ogni elemento del sistema (cella elettrochimica) al fine di garantirne il corretto funzionamento nei range nominali di **Tensione, Corrente e Temperatura**.

Il BMS **disconnette** i relativi elementi del sistema batteria (attraverso **Interruttore/Contattore**) nel caso ci siano **anomalie** rilevanti nei parametri di funzionamento del sistema.

**Il BMS interrompe il flusso di energia** in celle potenzialmente guaste **prevenendo** l'enneso del **thermal runaway**

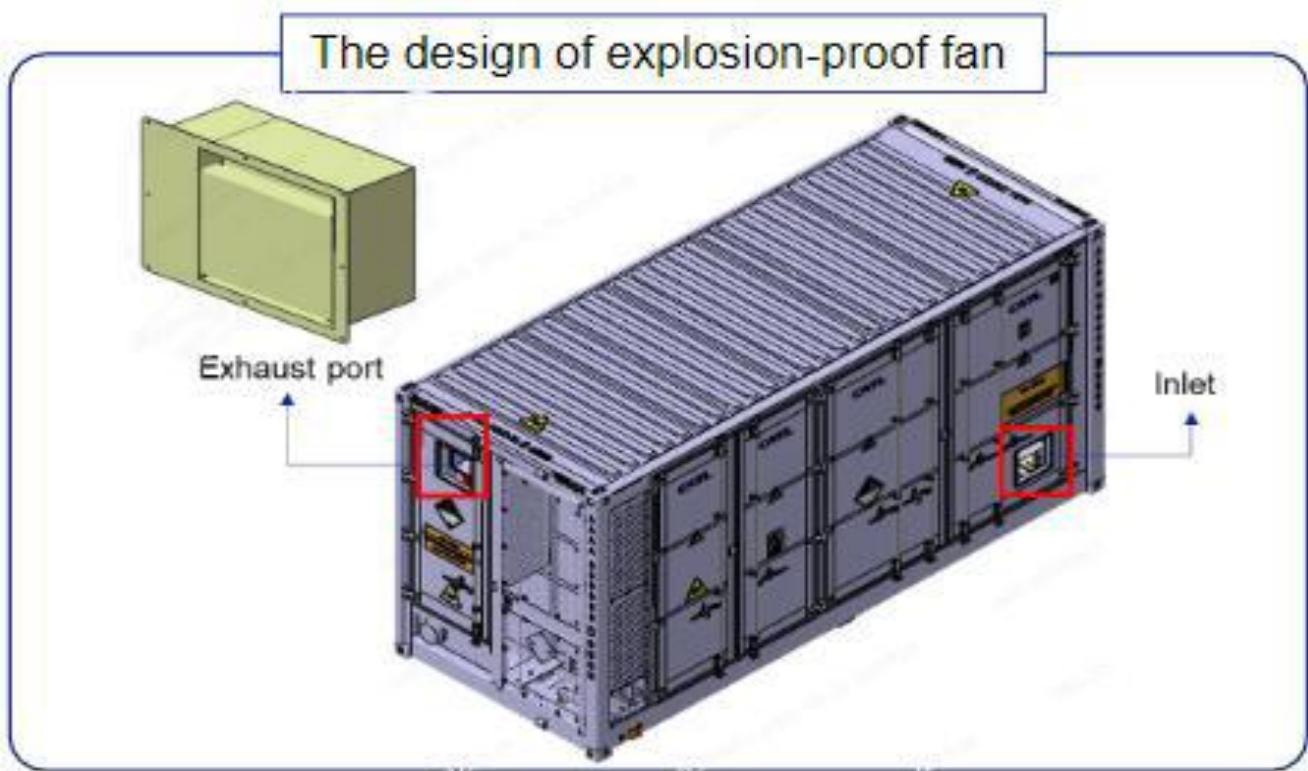
# Misure per gestione miscele esplosive

Durante il normale esercizio dell'impianto non c'è alcuna possibilità di rilascio di gas infiammabili o esplosivi.

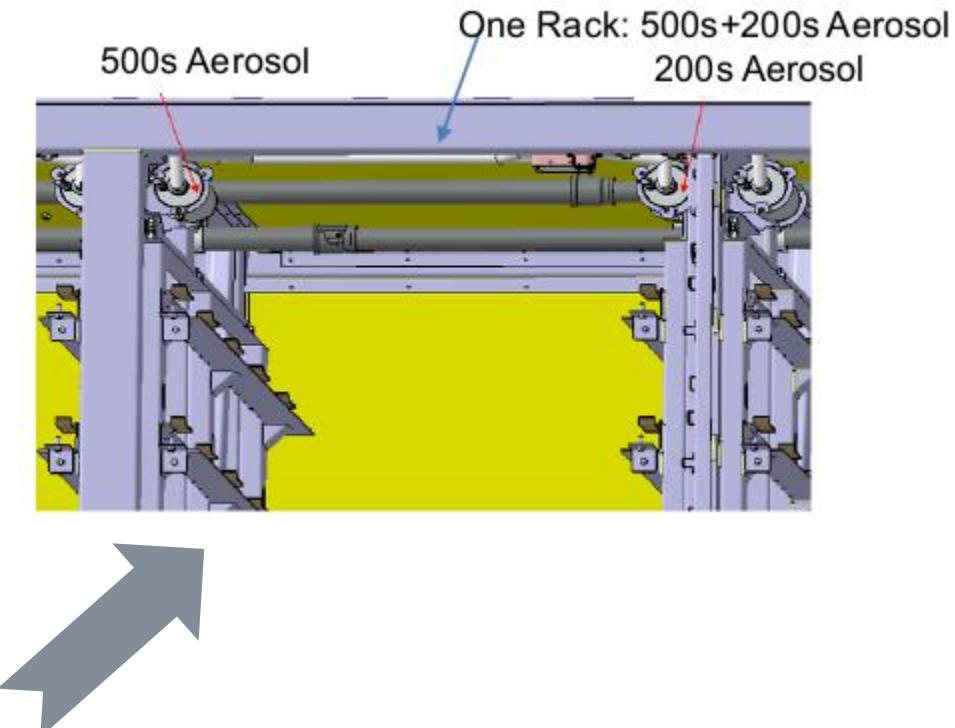
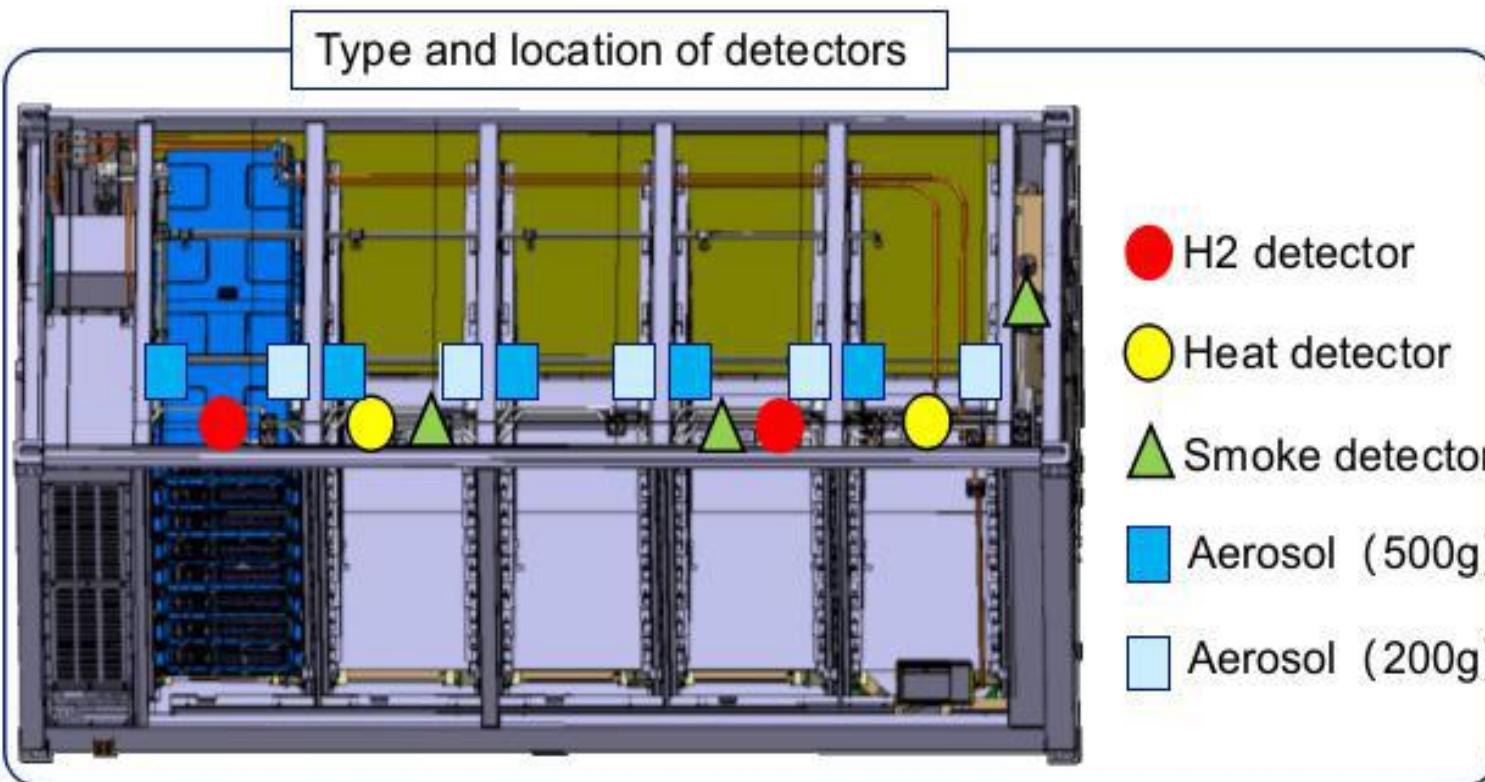
Solo in caso di malfunzionamento grave può esserci una potenziale emissione di questo tipo di gas. Per limitare il rischio abbiamo applicato le norme NFPA 68 "Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting" e NFPA 69 "Standard on Explosion Prevention System".

La nostra soluzione prevede:

- installazione di un impianto rivelazione gas H<sub>2</sub> e di un ventilatore estrattore Atex per evitare di raggiungere il livello di esplosione all'interno del container.
- Il ventilatore verrà attivato dal sistema di rivelazione gas in caso di allarme e verrà spento dallo stesso sistema prima della scarica di aerosol (in caso di presenza di fiamme).



# Sistema di rilevamento ed evacuazione Gas Infiammabili



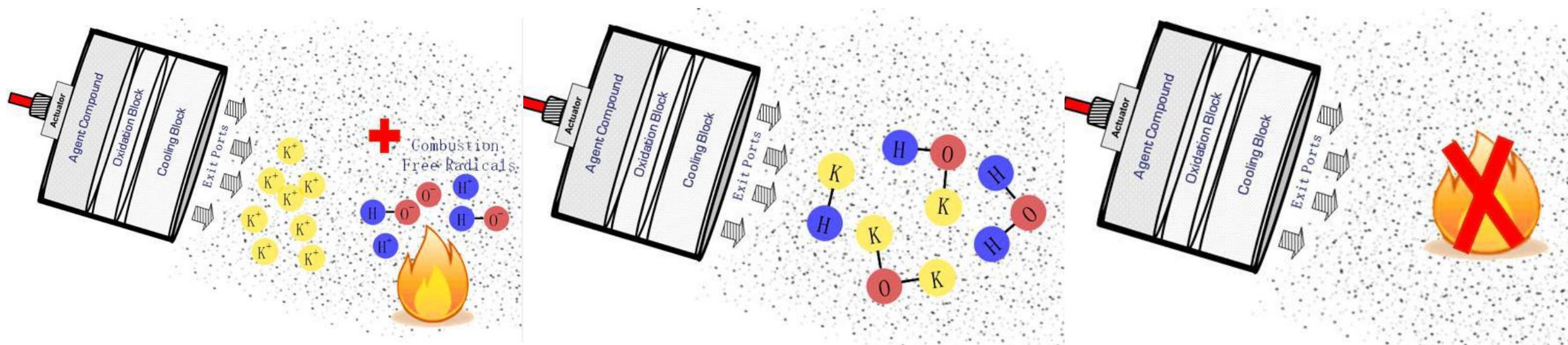
# Il Sistema ad Aerosol

Il Sistema di estinzione del fuoco utilizza un aerosol che non interferisce direttamente con la reazione chimica che dà origine alle fiamme.

L'azione estinguente avviene tramite interferenza chimica con i radicali liberi essenziali alla propagazione del fuoco.

I radicali liberi (OH, H e O) sono molecole altamente reattive e di breve vita con un elettrone di valenza spaiato.

Il sistema ad aerosol libera nell'ambiente protetto particelle a base di radicali di potassio del diametro di 1-2 micron che si mischiano con i radicali liberi generati dalla combustione. Gli ioni di potassio si legano ai radicali liberi interrompendo la reazione di combustione e creando molecole stabili. In questo modo la catena di combustione si spezza ed il fuoco si spegne.



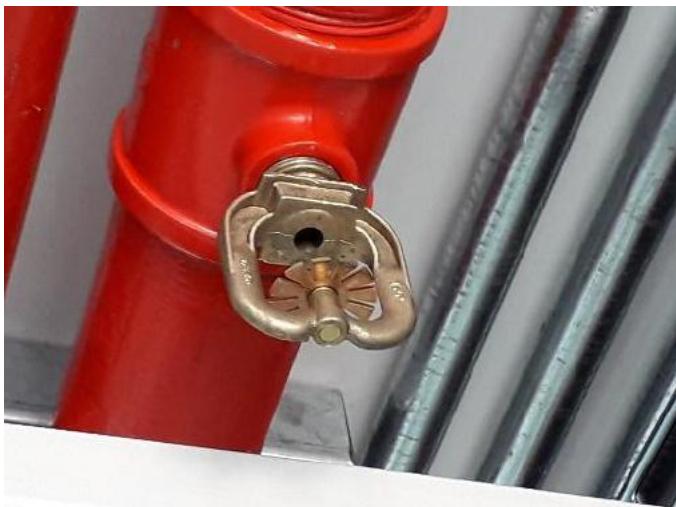
# Ultima barriera: Dry Pipe

- **Capacity Market 24 (CATL)**

Il sistema Dry Pipe nasce in accordo a quanto concordato 4 anni fa tra utilities del settore e i VVF della Città di New York, successivamente implementato nella NFPA 855.

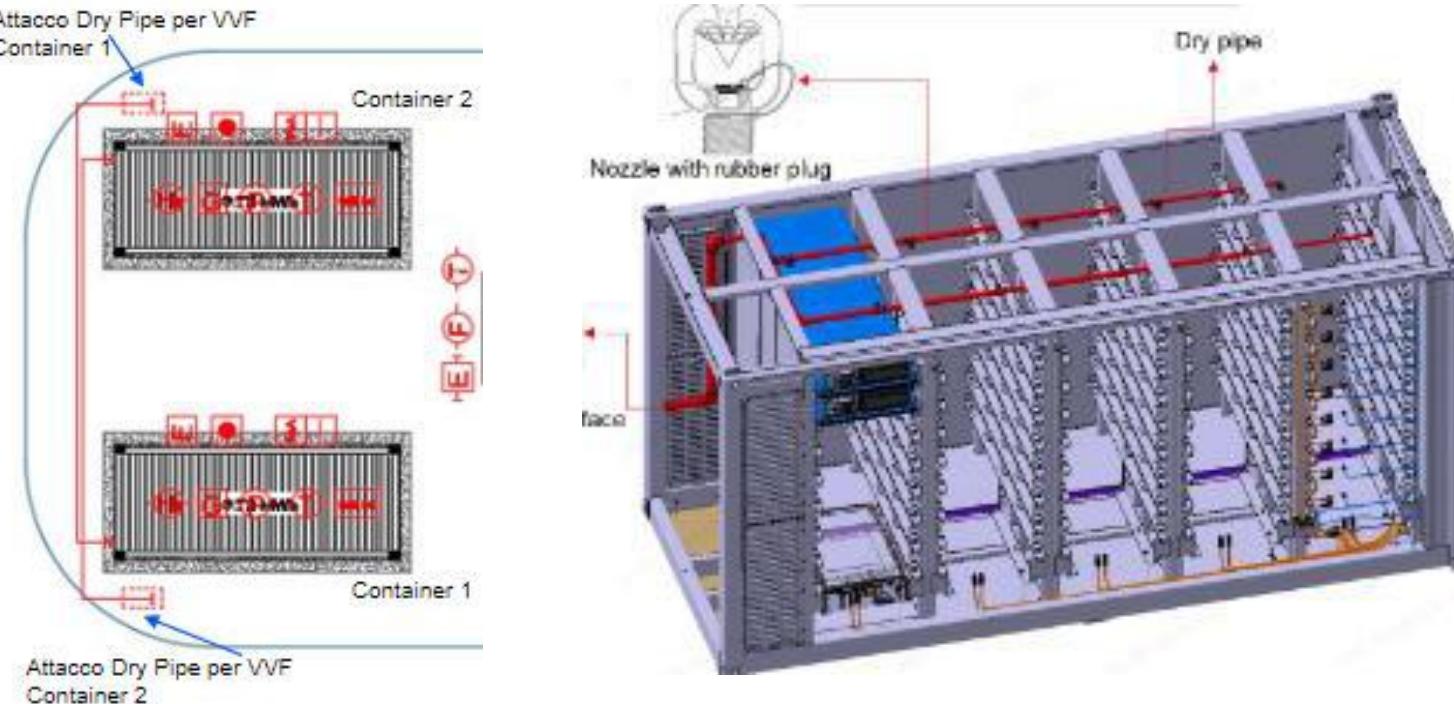
I VVF ritenevano molto più efficace l'utilizzo di un sistema che iniettasse acqua direttamente nei locali dove le batterie erano presenti invece che bagnarne le pareti con l'utilizzo di idranti a colonna o a muro. Originariamente si era ipotizzato un sistema a sprinkler, ma Enel ha ritenuto che il sistema diluvio fosse ancora più efficace.

Il sistema che Enel propone e che è già stato installato nei gruppi BESS 2-3-4 della centrale di TVN, è un sistema formato da elementi certificati: ugelli UL-FM, tubazioni API 5L Sch 40 e connessioni/attacchi motopompa VVF.



# Ultima barriera: Dry Pipe

Tramite un attacco è possibile collegare una sorgente di acqua alla rete idranti all'interno del container per effettuare uno spegnimento efficace senza pericoli. Negli impianti CM24 il sistema sfrutta la presenza degli altri container per schermare ulteriormente l'operatore

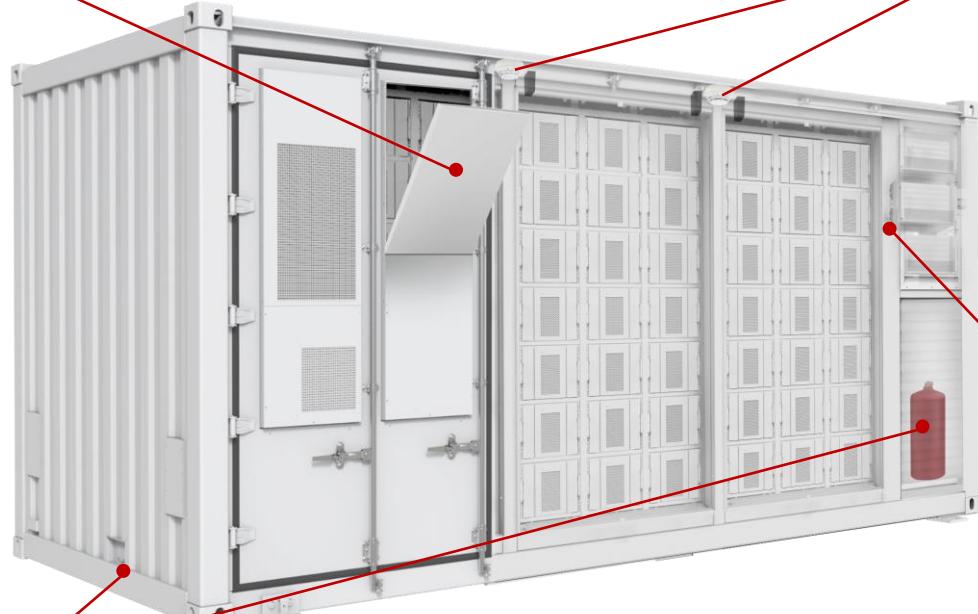


Il dry pipe permette l'allagamento del container mediante una connessione manuale della manichetta acqua all'attacco predisposto L'acqua viene iniettata nel container attraverso ugelli di tipo aperto con tappo in gomma  
È l'ultima barriera per controllare la propagazione del «Thermal Runaway» e raffreddare i moduli batterie e le celle

# ULTERIORI SOLUZIONI IMPIANTISTICHE

## Directional Deflagration Panel

Explosion relief is 2m higher than the ground, quickly releasing pressure to reduce safety risks



## Gas fire extinguishing + water spray

Novec1230 Clean Gas Fire Extinguishing + Water Sprinkler  
System safety guarantee

## Real-time awareness of environment status

Heat detector, smoke detector, and CO sensor  
Real-time monitoring of system operating environment

## Precise emission of combustible gases

Spoiler fan + exhaust fan  
Discharge of combustible gas in the battery cabin outward direction

# Approccio generale alla Sicurezza

## I principali rischi

**RISCHIO ELETTRICO:** Rischio legato alle Tensioni ed alle Correnti che circolano nel Sistema BESS

**RISCHIO INCENDIO:** In caso di guasto severo nelle batterie si può innescare il fenomeno del thermal runaway, che rilascia rapidamente quantità di energia significative.

- Il fenomeno, preceduto dal rilascio di gas e infiammabili, può essere seguito da un incendio e, se non controllato, la sua propagazione può portare al completo danneggiamento della porzione di impianto interessata, con possibili conseguenze significative sull'ambiente circostante.

**RISCHIO CHIMICO:** Le batterie agli ioni di litio in caso di guasto severo possono rilasciare sostanze chimiche, a causa di

- Caratteristiche potenzialmente corrosive e infiammabili dell'elettrolita in caso di perdita di integrità delle celle
- Potenziale infiammabilità ed esplosività dei gas rilasciati in caso di thermal runaway

# Approccio generale alla Sicurezza

- **Misure di sicurezza implementate**

- 1) In caso di anomalia il Sistema BMS disalimenta il componente affetto dal guasto comandando l'intervento di un contattore di disconnessione.
- 2) L'adozione di fusibili garantisce la protezione con corto circuiti esterni.

Se si innesca il thermal runaway:

- 3) I componenti del sistema batteria sono selezionati e testati per prevenire e limitare thermal runaway, in particolare l'innesto e la propagazione di fiamma, (test secondo UL 1973, IEC 62619, UL9540A). La cella danneggiata può comunque generare gas (venting)
- 4) Fire and gas detection system disalimenta il sistema
- 5) Extraction Fan (ATEX) si avvia per gestione delle miscele potenzialmente esplosive nel container
- 6) Attivazione estinguente aerosol per tentare di spegnere eventuali inneschi di fiamma
- 7) Non-propagazione del fuoco tra rack e l'adiacente mediante opportuna progettazione, dimostrata secondo test UL9540A.
- 8) Distanza tra container, sebbene non richiesta passando il test UL9540A, come ulteriore misura aggiuntiva per evitare propagazione tra container vicini
- 9) Tubo a secco (Drypipe) come ulteriore ridondanza ai sistemi di spegnimento.

# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## Metodologia

Valutazione del rischio di incendio ed esplosione:

- 1° semi-quantitativa
- 2° quantitativa per i top-event di riferimento

per una installazione generica e tipica di un sistema di accumulo di energia a batteria (BESS)

---

### MACROFASI

Applicazione del **metodo Bow-Tie** per l'analisi del rischio

---

Applicazione dell'analisi **LOPA** per la quantificazione in frequenza, secondo un approccio semi-quantitativo, dei risultati dell'analisi Bow-Tie

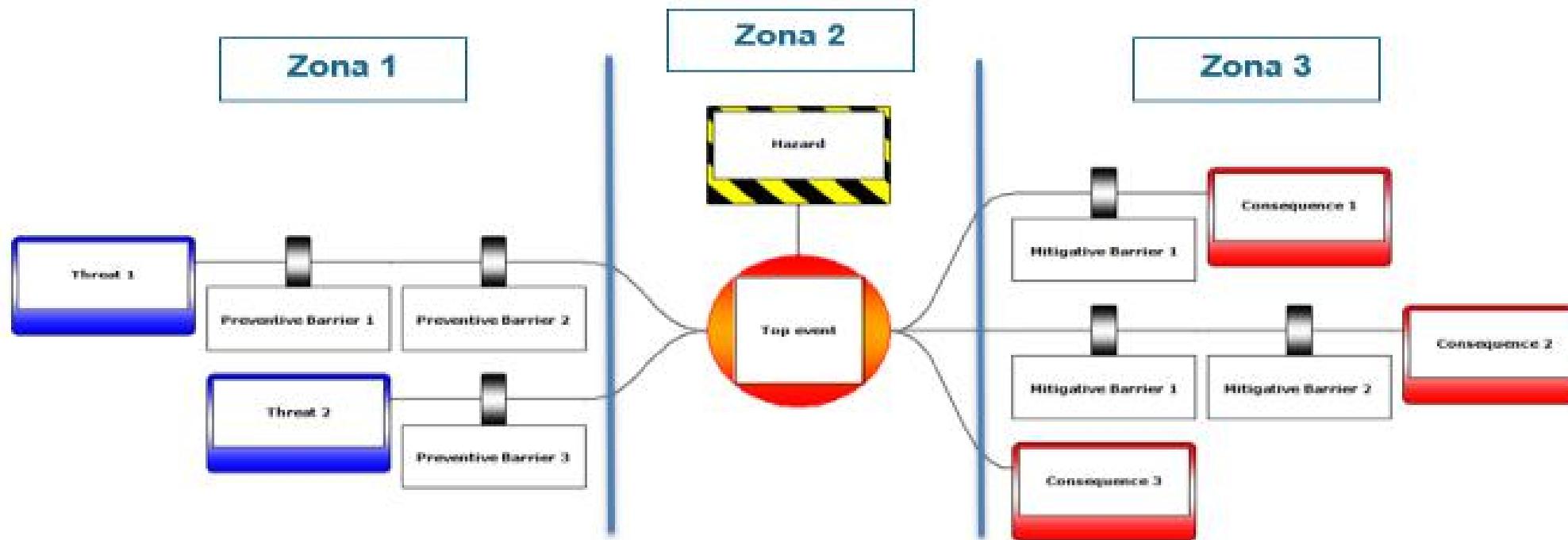
---

**Valutazione del rischio**, per comparazione con le soglie di accettabilità del rischio

---

# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## Il metodo Bow-Tie



La **Zona 1 (Prevenzione)** identifica tutte le cause (rettangoli blu) dell'evento indesiderato e, per ognuna, evidenzia le barriere di protezione. È l'equivalente di un albero dei guasti semplificato;

La **Zona 2 (Top Event)** identifica il pericolo considerato e l'evento incidentale primario detto Top Event che può evolvere in scenari incidentali alternativi.

La **Zona 3 (Protezione)** identifica tutti gli scenari incidentali e la combinazione di tutti gli elementi che ne consentono lo sviluppo, includendo tutti i sistemi di protezione che possano mitigare gli effetti. È l'equivalente di un albero degli eventi semplificato.

# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## Il metodo Bow-Tie

Un diagramma di tipo Bow-Tie risulta **completamente definito** quando vengono specificati:

- l'evento da prevenirsi (il top event);
- le cause che possono determinare l'insorgere della problematica;
- le conseguenze dell'evento nel caso in cui questo si manifesti;
- le misure di prevenzione;
- le misure di protezione

In un diagramma di tipo Bow-Tie

vengono rappresentate **cause e possibili conseguenze di eventi indesiderati** (in questo caso gli eventi relativi alla perdita di contenimento di gas asfissianti in pressione in spazio chiuso) **ed allo stesso tempo le misure** (in essere/prevedibili) **di prevenzione** e successiva **mitigazione** (limitazione delle conseguenze attese).

individuando le **misure effettivamente esistenti** si **identificano gli anelli mancanti o inadeguati nella catena logica cause-top event-conseguenze** e si determinano le **azioni di miglioramento** più urgenti per garantire il minimo assoluto di sicurezza, in accordo alle soglie di accettabilità del rischio più avanti specificate

# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## Il metodo Bow-Tie

La tecnica Bow-Tie permette di identificare e valutare le frequenze e le conseguenze associate agli scenari e di quantificare il contributo dei sistemi protettivi e mitigativi (barriere) attraverso l'analisi LOPA.



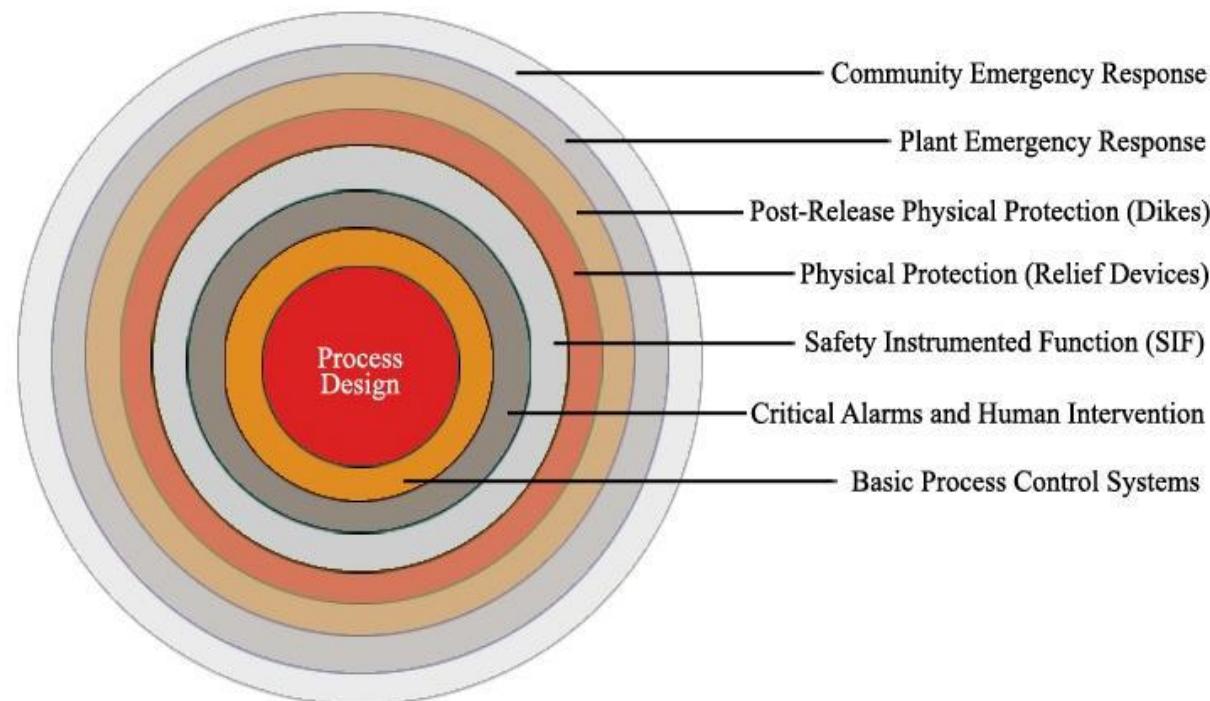
Per ulteriori approfondimenti sul metodo, si rimanda integralmente alla bibliografia di riferimento:

- CCPS. Bow Ties in Risk Management: A Concept Book for Process Safety; Wiley, 2018;
- Fiorentini L., Sicari R. Analisi, valutazione e gestione operativa del rischio; EPC, 2020;
- Fiorentini L. Bow-Tie. Industrial risk management across sectors; Wiley, 2021.

# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## L'analisi LOPA

Per una corretta definizione dell'**efficacia di riduzione del rischio** è importante che nell'ambito dell'analisi siano considerate le protezioni associabili a layer di protezione indipendenti (così come previsto dall'analisi conosciuta come LOPA – Layers Of Protection Analysis elaborata dall'AIChE).



# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## L'analisi LOPA

Scopo dell'analisi LOPA è di analizzare l'efficacia delle barriere (livelli di protezione) presenti/proposte, confrontando il livello di rischio del sistema ipotizzato privo di barriere con il livello di rischio del sistema equipaggiato con le barriere, sempre avendo come riferimento un criterio di tollerabilità del rischio.

L'analisi LOPA può utilizzare anche solo ordini di grandezza sia della frequenza degli eventi iniziatori che per la probabilità di fallimento di un **livello di protezione indipendente (IPL – Independent Protection Layer)**, determinando così che le barriere esistenti sono sufficienti o meno per mitigare il livello di rischio

Le barriere possono essere classificate in:

- **attive o passive,**
- **preventive**
- **mitigative.**

Deve tuttavia essere chiaro che mentre **tutti gli IPL sono barriere**, non tutte le barriere sono IPL

Una barriera è un qualunque sistema, strumento o azione che può arrestare la catena di eventi conseguente ad un evento iniziatore.

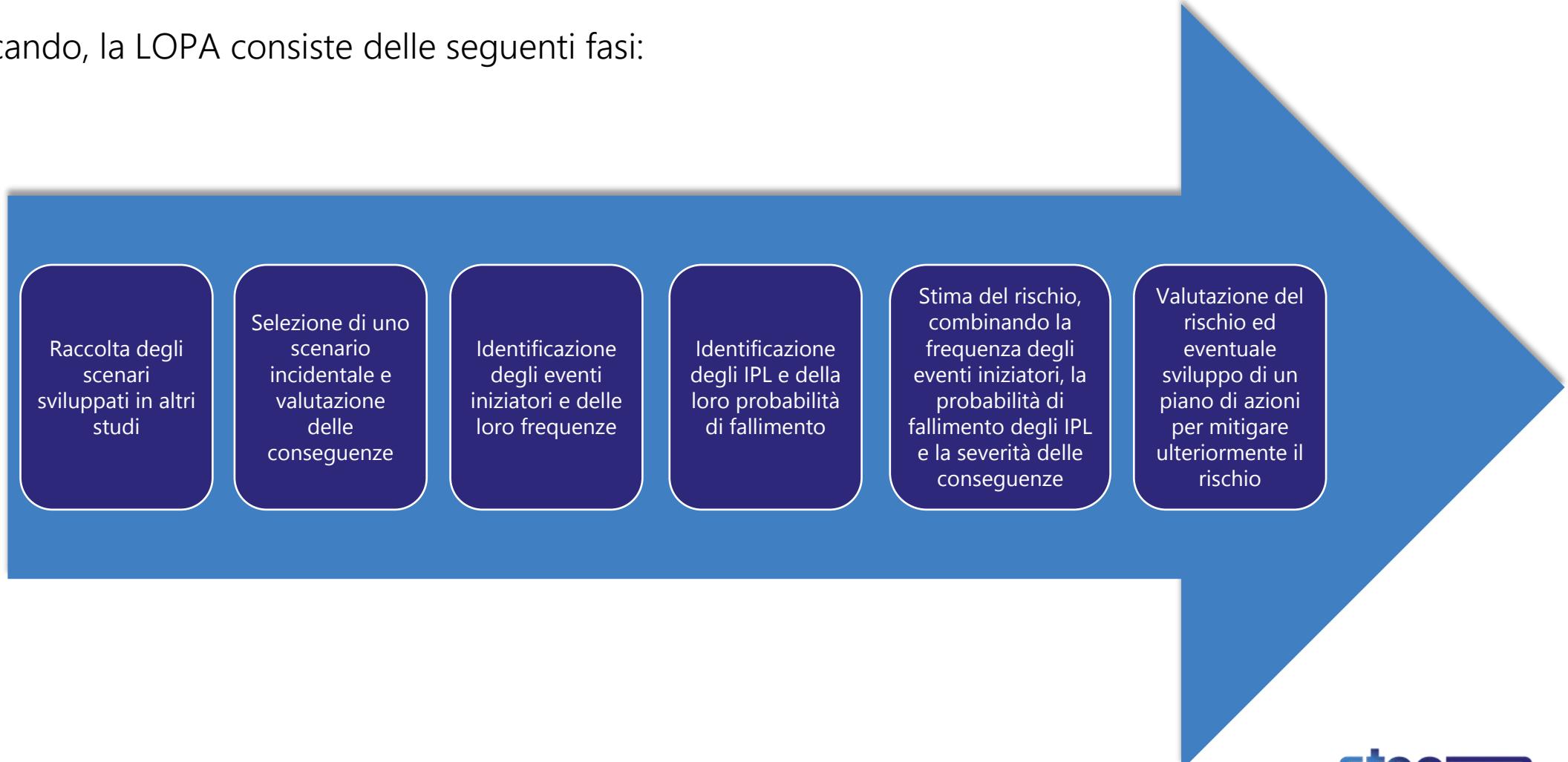
Per essere anche un IPL, una barriera deve essere:

- **efficace** (avere la capacità di intervenire in tempo),
- **indipendente** (non condividere cause comuni di guasto con altre barriere),
- **valutabile** (per dimostrare che essa soddisfi i requisiti di mitigazione del rischio)

# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## L'analisi LOPA

Semplificando, la LOPA consiste delle seguenti fasi:



# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## L'analisi LOPA

La riduzione del rischio avviene associando ad ogni misura di protezione un valore in base all'affidabilità del sistema

Per ulteriori approfondimenti sul metodo, si rimanda integralmente alla bibliografia di riferimento:



- CCPS. Guidelines for enabling conditions and conditional modifiers in layers of protection analysis. Wiley; 2013;
- CCPS. Guidelines for initiating events and independent protection layers in layer of protection analysis. Wiley; 2015;
- CCPS. Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment. New York: Wiley; 2011.

# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## Modificatori condizionali e fattori abilitanti

La valutazione del rischio per la sicurezza degli operatori deve necessariamente tenere conto della effettiva presenza del personale presso l'area in cui si ipotizzano gli scenari incidentali di seguito rappresentati.

Ciò viene computato all'interno dell'analisi attraverso due distinti fattori, come sotto esplicitati:



### Time to risk

Il fattore "time to risk" è un valore probabilistico che viene utilizzato ai fini della quantificazione del tempo di esposizione al rischio da parte del bersaglio oggetto di analisi, ovvero i lavoratori



### Spatial occupancy

Il fattore "spatial occupancy" è un valore probabilistico che tiene conto della effettiva presenza di personale all'interno dell'area di danno ovvero dell'area potenzialmente impattata dagli scenari incidentali.

Si vuole quindi considerare non solo la ridotta probabilità di esposizione legata alle tempistiche, ma anche all'effettivo coinvolgimento diretto del personale che potrà subire gli effetti di uno scenario incidentale solo se sufficientemente vicino al BESS che ne è causa (ovvero all'interno dell'area di danno).



Il riferimento documentale utilizzato per la determinazione di fattori abilitanti e modificatori condizionali è il seguente:

- CCPS. Guidelines for enabling conditions and conditional modifiers in layers of protection analysis. Wiley; 2013

# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## Assunzioni e limitazioni/1

Scopo della analisi del rischio non è individuare e/o progettare soluzioni ingegneristiche specifiche per la risoluzione delle criticità riscontrate, ma bensì evidenziare i possibili interventi mitigativi in termini di misure di controllo del rischio e proporre delle azioni migliorative, per una ulteriore riduzione del rischio, sia sul piano gestionale/procedurale che sul piano tecnico/impiantistico

La valutazione della probabilità di fallimento di una barriera comportamentale o socio-tecnica, ovvero una barriera in tutto o in parte affidata all'azione dell'uomo, è ipotizzabile sia fatta assegnando, a favore di sicurezza, una PFD pari a 0,1.

Ciò in linea, tra l'altro, con lo standard IEC 62682. Si è quindi ipotizzato che i requisiti per una risposta efficace dell'operatore siano i seguenti:

- Sono disponibili procedure;
- L'operatore è sempre;
- L'operatore ha una indicazione del problema;
- L'operatore ha sufficiente tempo per agire;
- L'operatore ha ricevuto informazione, formazione ed addestramento;
- Esiste un programma di refresh periodico delle attività di informazione, formazione ed addestramento.

Elemento **qualificante** è rappresentato da celle conformi ai requisiti definiti da UL 9540A "Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems". Tale standard predisposto dall'ente statunitense UL (Underwriters Laboratories) definisce requisiti e metodi di test con particolare riferimento agli scenari di thermal runaway che, se non adeguatamente gestito, può condurre ad incendio e/o esplosione delle installazioni BESS, con implicazioni su scala crescente a livello di cella, modulo, unità e intera installazione

# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## Assunzioni e limitazioni/2

La seguente tabella riassume i parametri e le informazioni di interesse richieste da UL 9540A, la cui definizione deve essere affrontata durante la conduzione dei test da parte del produttore e documentata in apposito dossier/report,

Ambito di test	Parametri/informazioni di interesse
Cella	Metodologia di test per l'induzione del thermal runaway
	Temperatura della superficie della cella all'inizio del thermal runaway e dello sfato degli off-gas
	Composizione, volume e parametri di esplosività del gas emesso
Modulo	Numero di celle iniziatrici necessarie per la propagazione del thermal runaway
	Heat Release Rate (HRR) sviluppato e calore totale sviluppato
	Tasso di sviluppo dei fumi di combustione e quantitativo complessivo generato
	Tasso di sviluppo di gas infiammabili e loro composizione
	Osservazioni dell'estensione delle fiamme all'esterno
	Osservazioni dei rischi di deflagrazione e di proiezione di frammenti

Ambito di test	Parametri/informazioni di interesse
Unità	Estensione del fenomeno di thermal runaway
	Heat Release Rate (HRR) sviluppato e calore totale sviluppato
	Tasso di sviluppo dei fumi di combustione e quantitativo complessivo generato
	Tasso di sviluppo di gas infiammabili e loro composizione
	Osservazioni dell'estensione delle fiamme all'esterno
	Osservazioni dei rischi di deflagrazione e di proiezione di frammenti
	Esposizione termica (temperatura delle pareti, temperatura dei bersagli esterni, flusso di calore verso i bersagli e vie di fuga)
Installazione	Osservazione dei fenomeni di re-ignizione dell'incendio
	Valutazione della strategia di protezione antincendio
	Controllo dello sviluppo dell'incendio
	Estensione del fenomeno di thermal runaway
	Caratteristiche di progetto relative al contenimento del gas generati dal thermal runaway e del calore che possono determinare pericolo di eslosione
	Sistemi di protezione da fenomeni di deflagrazione
	Protezione delle vie di fuga/uscita
Installazione	Esposizione termica (temperatura delle pareti, temperatura dei bersagli esterni, flusso di calore verso i bersagli e vie di fuga)
	Osservazioni dell'estensione delle fiamme all'esterno
	Osservazione dei fenomeni di re-ignizione dell'incendio
	Osservazioni dei rischi di deflagrazione e di proiezione di frammenti

# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## **Correlazioni tra barriere e strategie antincendio**

Pur non essendo comprese tra le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi da parte del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco - elencate nell'Allegato I al DPR 151/11 - le installazioni BESS si configurano in ogni caso come luogo di lavoro ai sensi del D.Lgs. 81/08 e smi

Considerando le barriere preventive e mitigative individuate nell'ambito dell'analisi Bow-tie condotta, è possibile definire una correlazione tra tali barriere e le Strategie introdotte dal Codice di Prevenzione Incendi DM 18/10/2019. La Figura seguente illustra la corrispondenza tra le tipologie esemplificative di barriere afferenti alla tecnologia BESS e Strategie antincendio di cui al DM 18/10/2019

- Battery Management System (BMS)
- Rilevazione off-gas
- Shut-down BESS
- Impianti fissi antincendio
- Venting off-gas

ad es.



- Strategia S.5 ed S.10 «Gestione sicurezza antincendio», «Sicurezza impianti tecnologici»
- Strategia S.7 «Rilevazione»
- Strategia S.5 «Gestione sicurezza antincendio»
- Strategia S.6 «Controllo incendio»
- Strategia S.8 «Controllo fumi e calore»

# Valutazione del rischio di incendio/esplosione

## Soglie di accettabilità del rischio

Non esistendo un riferimento normativo o alcuno standard tecnico per la definizione delle soglie di accettabilità per questa tipologia di rischi emergenti, è possibile utilizzare quale riferimento, la linea guida della Society of Fire Protection Engineering (SFPE) "Guide to Fire Risk Assessment", nella sua seconda edizione a cui si rimanda integralmente.

Table 7-5: Quantitative Risk Matrix

		Consequence				
		Negligible	Marginal	Major	Critical	Catastrophic
Frequency		1.0E-06	1.0E-04	1.0E-02	5.0E-01	1.0E+00
Frequent	1.0E+00	1.0E-06	1.0E-04	1.0E-02	5.0E-01	1.0E+00
Probable	1.0E-01	1.0E-07	1.0E-05	1.0E-03	5.0E-02	1.0E-01
Occasional	1.0E-02	1.0E-08	1.0E-06	1.0E-04	5.0E-03	1.0E-02
Remote	1.0E-04	1.0E-10	1.0E-08	1.0E-06	5.0E-05	1.0E-04
Improbable	1.0E-06	1.0E-12	1.0E-10	1.0E-08	5.0E-07	1.0E-06
Incredible	1.0E-08	1.0E-14	1.0E-12	1.0E-10	5.0E-09	1.0E-08

Tale matrice di rischio, in relazione agli scenari incidentali ipotizzati, identifica:

- la soglia di accettabilità a 1.0E-06 occ/anno
- la soglia di tollerabilità è invece pari a 1.0E-04

Rimane in ogni caso in capo al Datore di Lavoro (ex D.Lgs. 81/2008) la valutazione del rischio, la definizione di un livello di accettabilità ed i criteri per l'individuazione ed il mantenimento di misure di riduzione del rischio.

# Battery Management System (BMS) – condizioni particolari

In ambito automotive sono note, sia alla comunità scientifica che ai produttori di tali sistemi, circostanze – seppur rare – in cui tali sistemi di Battery Management System **non sono stati in grado di prevenire, rilevare e gestire le condizioni che hanno determinato l'incendio del veicolo.**

Si citano di seguito alcuni recenti articoli:

- *"Battery safety: Fault diagnosis from laboratory to real world"*, di Jingyuan Zhao, Xuning Feng, Manh-Kien Tran, Michael Fowler, Minggao Ouyang e Andrew F. Burke, pubblicato a Febbraio 2024 sul Journal of Power Sources;
- *"Vehicle-cloud-collaborated prognosis and health management for lithium-ion batteries: Framework, technics and perspective"*, di Zhou Sida, Gao Zichao, Dong Honglei, Zhou Xinan, Zheng Yifan, Ma Tianyi, Ming Hai, Lian Yubo, Chen Fei, Yang Shichun, pubblicato a Giugno 2024 su Energy Storage Materials.

**Potenzialmente possono presentarsi condizioni di anomalia dei sistemi di batterie al litio che – qualora si verificano – non sono efficacemente rilevate e gestite dai sistemi di controllo (BMS) che equipaggiano le batterie al litio.**

# APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO ESEMPLIFICATIVO

# Scenari e Conseguenze

I Bow-Tie "tipo" identificati e sviluppati sono i seguenti:

- BT-001 – Battery Energy Storage System (BESS) agli ioni di Litio - Operations
- BT-002 - Battery Energy Storage System (BESS) agli ioni di Litio - Precommissioning

Tale distinzione si rende necessaria al fine di tenere conto della diversa configurazione delle installazioni nelle fasi di operation e precommissioning, con particolare riferimento all'assenza del dry pipe nella fase di precommissioning, ipotizzata come unica differenza tra le due configurazioni.

Sono state analizzate le seguenti conseguenze:

1. Incendio incontrollato confinato al singolo BESS - Safety
2. Incendio incontrollato che coinvolge altri BESS - Safety
3. Esplosione e conseguente proiezione di frammenti - Safety
4. Incendio controllato da attivazione dry pipe e conseguente contaminazione – Ambiente

# Barriere inserite nella simulazione

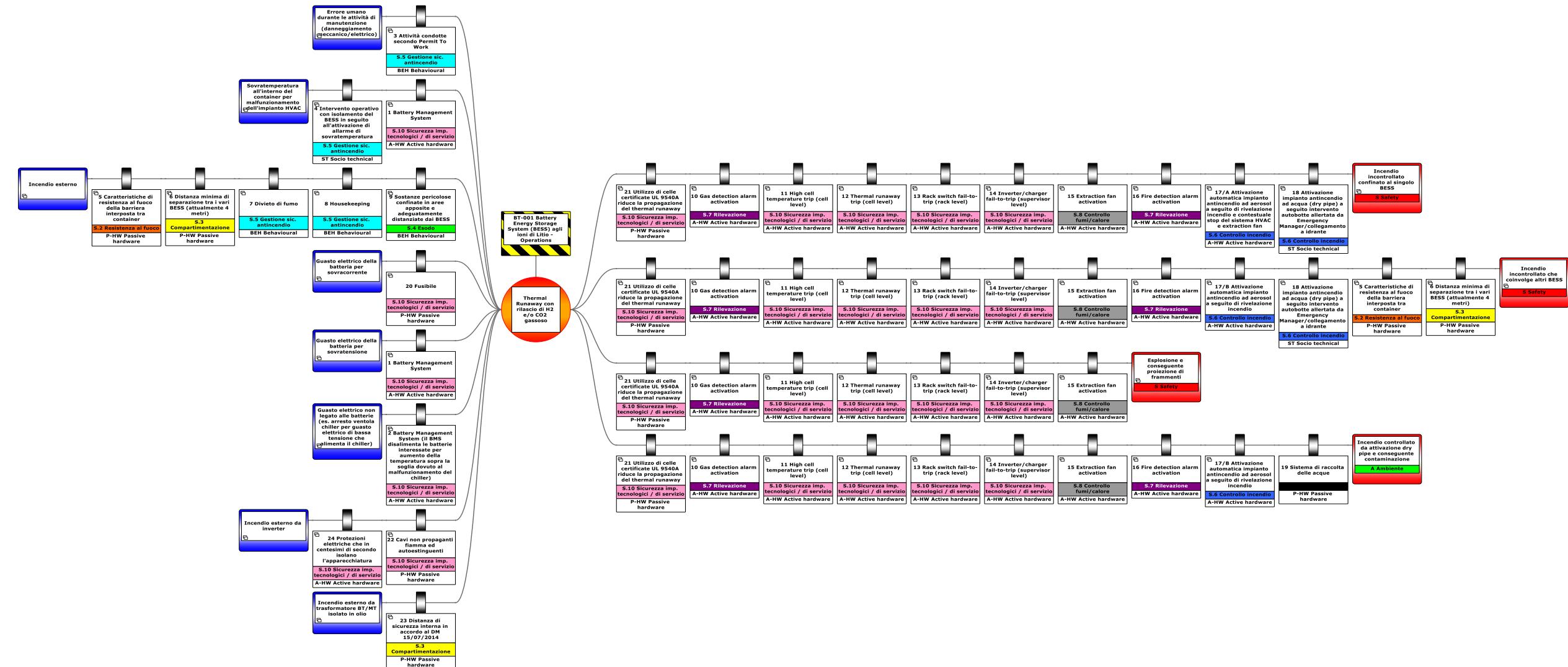
## Classificate secondo strategie antincendio (DM 3 agosto 2015)

Barriera Bow-tie	Strategia Antincendio DM 18/10/2019 e smi
Battery Management System	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Battery Management System (il BMS disalimenta le batterie interessate per aumento della temperatura sopra la soglia dovuto al malfunzionamento del chiller)	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Attività condotte secondo Permit To Work	S-5 – Gestione della sicurezza antincendio
Intervento operativo con isolamento del BESS in seguito all'attivazione di allarme di sovratemperatura	S-5 – Gestione della sicurezza antincendio
Caratteristiche di resistenza al fuoco della barriera interposta tra container	S-2 – Resistenza al fuoco
Distanza minima di separazione tra i vari BESS (attualmente 4 metri)	S-3 - Compartimentazione
Divieto di fumo	S-5 – Gestione della sicurezza antincendio
Housekeeping	S-5 – Gestione della sicurezza antincendio
Sostanze pericolose confinate in aree apposite e adeguatamente distanziate dai BESS	S-4 - Esodo
Gas detection alarm activation	S-7 – Rivelazione ed allarme
High cell temperature trip (cell level)	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Thermal runaway trip (cell level)	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Rack switch fail-to-trip (rack level)	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio

Barriera Bow-tie	Strategia Antincendio DM 18/10/2019 e smi
Inverter/charger fail-to-trip (supervisor level)	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Extraction fan activation	S-8- Controllo di fumi e calore
Fire detection alarm activation	S-7 – Rivelazione ed allarme
Attivazione automatica impianto antincendio ad aerosol a seguito di rivelazione incendio e contestuale stop del sistema HVAC e extraction fan	S-6 – Controllo dell'incendio
Attivazione automatica impianto antincendio ad aerosol a seguito di rivelazione incendio	S-6 – Controllo dell'incendio
Attivazione impianto antincendio ad acqua (dry pipe) a seguito intervento autobotte allertata da Emergency Manager/collegamento a idrante	S-6 – Controllo dell'incendio
Fusibile	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Utilizzo di celle testate secondo la UL 9540A riduce la propagazione del thermal runaway	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Cavi non propaganti fiamma ed autoestinguenti	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Distanza di sicurezza interna in accordo al DM 15/07/2014	S-3 - Compartimentazione
Protezioni elettriche che in centesimi di secondo isolano l'apparecchiatura	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio

# Bow Tie

## Applicazione al caso BESS



# Risultati

## Frequenze di accadimento degli scenari incidentali

<b>Conseguenza</b>	<b>Installazione tipo Brownfield</b>	<b>Installazione tipo Greenfield</b>
	<b>Frequenza di accadimento attuale</b> <i>Current frequency</i> [occ/anno]	<b>Frequenza di accadimento attuale</b> <i>Current frequency</i> [occ/anno]
Incendio incontrollato confinato al singolo BESS	2.23E-10	2.23E-11
Incendio incontrollato che coinvolge altri BESS	2.23E-10	2.23E-11
Esplosione e conseguente proiezione di frammenti	2.23E-7	2.23E-8
Incendio controllato da attivazione dry pipe e conseguente contaminazione	2.23E-9	2.23E-10
Incendio incontrollato confinato al singolo BESS in precomm.	2.23E-9	2.23E-10
Incendio incontrollato che coinvolge altri BESS in precomm.	2.23E-9	2.23E-10
Esplosione e conseguente proiezione di frammenti in precomm.	2.23E-7	2.23E-8

I valori di frequenza di accadimento degli scenari incidentali di tipo "safety" sono stati corretti con i modificatori condizionali e fattori abilitanti

(1) CCPS. Guidelines for enabling conditions and conditional modifiers in layers of protection analysis. Wiley; 2013;

# Misure per evitare Thermal Runaway

## 1) Normative di riferimento UL9540 A:

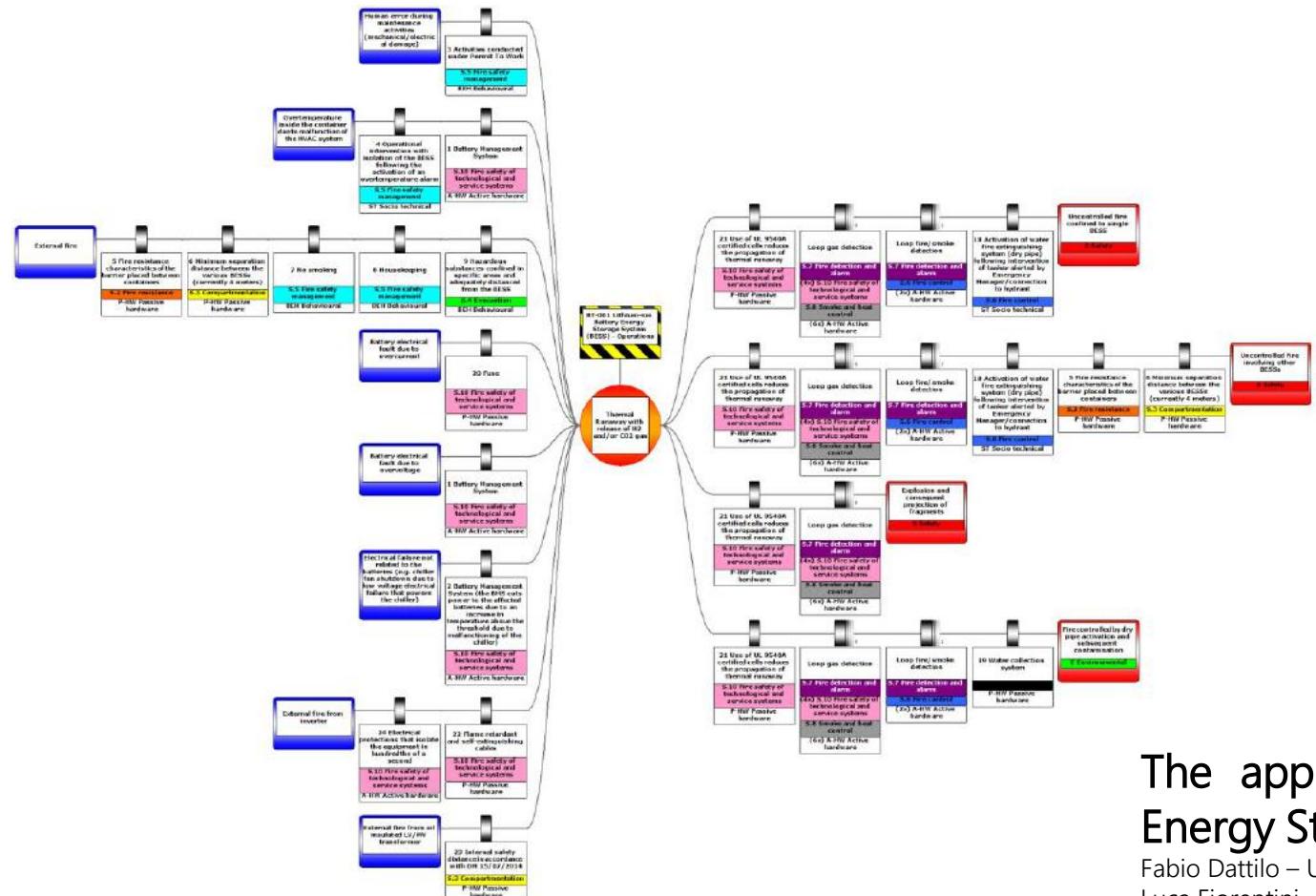
UL 9540A include una serie di test ad estensione progressiva, partendo dal livello della singola cella per passare al modulo, all'unità ed infine all'installazione complessiva

Ciascuno dei test dà un risultato specifico che viene usato per valutare:

- Innesco e caratteristiche del thermal runaway
- Eventuale propagazione delle fiamme, se risultanti dal thermal runaway.

	<b>INSTALLATION TEST REPORT</b> <b>UL 9540A</b> <b>Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation</b> <b>in Battery Energy Storage Systems (AACD)</b>
Project Number.....	4790241738
Date of issue .....	2022.03.29
Total number of pages.....	43
UL Report Office .....	UL(Changzhou) Quality Technical Service Co., LTD
Applicant's name.....	CONTEMPORARY AMPEREX TECHNOLOGY CO., LIMITED
Address .....	No.2 Xingang Road, Zhangwan Town, Jiaocheng District Ningde, Fujian, 352100 CN
Test specification:	4 <sup>th</sup> Edition, Section 10, November 12, 2019
Standard.....	UL 9540A, Test Method for Evaluating Thermal Runaway Fire Propagation in Battery Energy Storage Systems
Test procedure .....	10.1 – 10.8
Non-standard test method .....	Requirements for the container test are not established in UL 9540A 4 <sup>th</sup> edition, however, the requirements for the container system BESS in 10.6.2 in this report were proposed by UL and have not yet gone through the Standard Technical Panel's voting. No temperature at the ceiling was measured during the test. No heat flux was measured on the target units. Only two thermocouples were instrumented instead of having the interval of 6 inches. No gas was measured by Fourier-Transform Infrared Spectrometer
Copyright © 2021 UL All Rights Reserved.	
<b>General disclaimer:</b> The test results presented in this report relate only to the sample tested in the test configuration noted on the list of the attachments.  UL did not select the sample(s), determine whether the sample(s) was representative of production samples, witness the production of the test sample(s), nor were we provided with information relative to the formulation or identification of component materials used in the test sample(s).  The issuance of this report in no way implies Listing, Classification or Recognition by UL and does not authorize the use of UL Listing, Classification or Recognition Marks or any other reference to UL on the product or system. UL authorizes the above named company to reproduce this Report provided it is reproduced in its entirety. UL's name or marks cannot be used in any packaging, advertising, promotion or marketing relating to the data in this Report, without UL's prior written permission.  UL, its employees, and its agents shall not be responsible to anyone for the use or non-use of the information contained in this Report, and shall not incur any obligation or liability for damages, including consequential damages, arising out of or in connection with the use of, or inability to use, the information contained in this Report.	

# BowTie - BESS



# The application of the Italian Fire Code (IFC) to Battery Energy Storage Systems (BESS)

Fabio Dattilo – University of Padova, past Head of National Fire Brigade – Ministry of the Interior (Rome) Italy  
Luca Fiorentini – Director of Tecsa S.r.l. (Milan) Italy  
Da Fire Protection Engineering Magazine (FPE) No. 30/2023 – Society of Fire Protection Engineers, (SFPE)

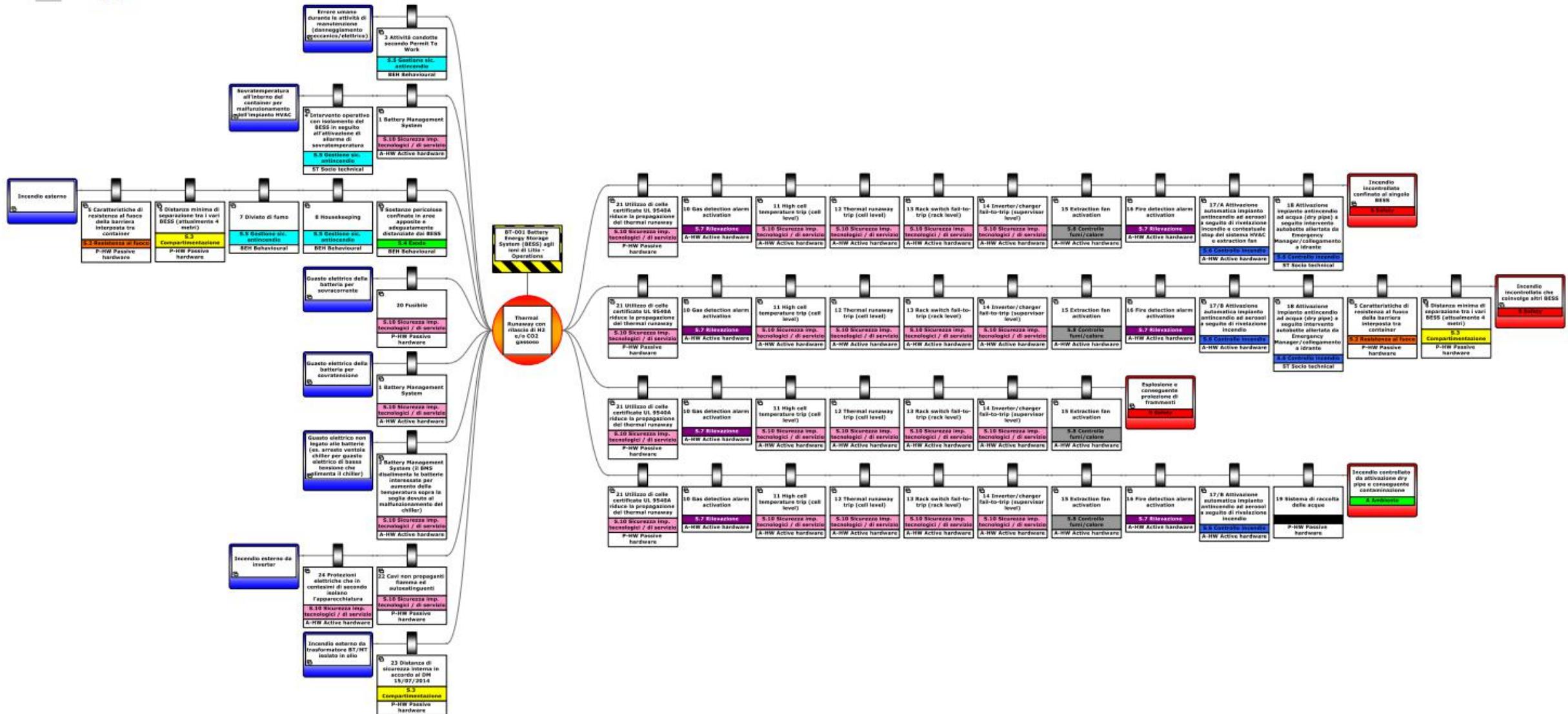
# Cause del *top event* Thermal Runaway

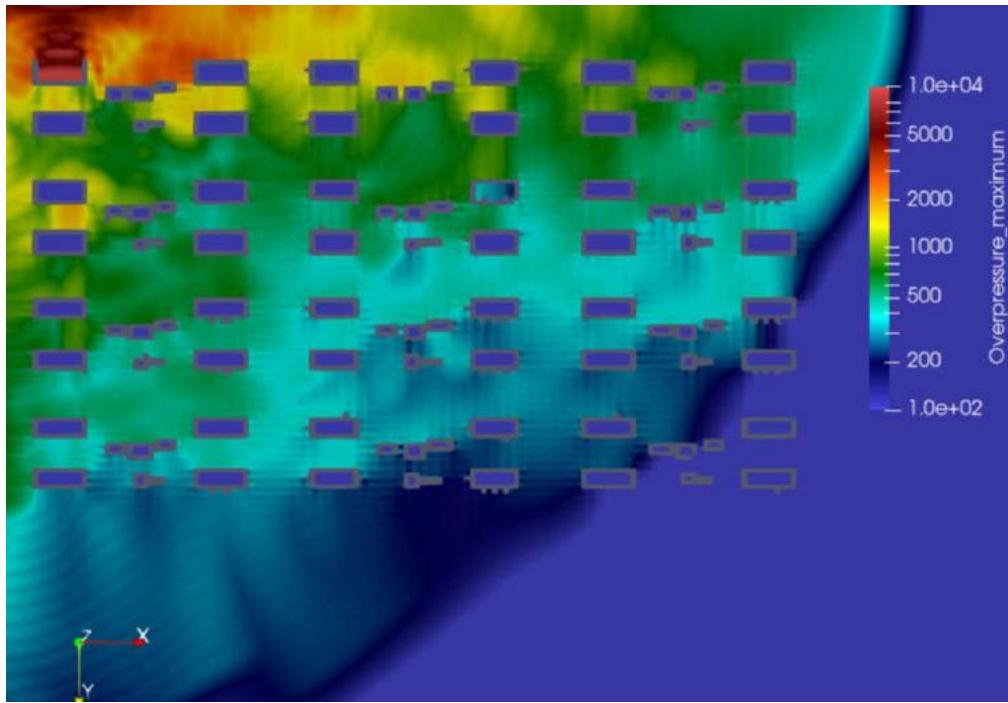
ID Causa	Causa
1	Errore umano durante le attività di manutenzione (danneggiamento meccanico/elettrico)
2	Sovratemperatura all'interno del container per malfunzionamento dell'impianto HVAC
3	Incendio esterno
4	Guasto elettrico della batteria per sovraccorrente
5	Guasto elettrico della batteria per sovratensione
6	Guasto elettrico non legato alle batterie (es. arresto ventola chiller per guasto elettrico di bassa tensione che alimenta il chiller)
7	Incendio esterno da inverter
8	Incendio esterno da trasformatore BT/MT isolato in olio

# Barriere considerate nell'analisi

Barriera Bow-tie	Strategia Antincendio DM 18/10/2019 e smi
Battery Management System	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Battery Management System (il BMS disalimenta le batterie interessate per aumento della temperatura sopra la soglia dovuto al malfunzionamento del chiller)	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Attività condotte secondo Permit To Work	S-5 – Gestione della sicurezza antincendio
Intervento operativo con isolamento del BESS in seguito all'attivazione di allarme di sovratesteratura	S-5 – Gestione della sicurezza antincendio
Caratteristiche di resistenza al fuoco della barriera interposta tra container	S-2 – Resistenza al fuoco
Distanza minima di separazione tra i vari BESS (attualmente 4 metri)	S-3 - Compartimentazione
Divieto di fumo	S-5 – Gestione della sicurezza antincendio
Housekeeping	S-5 – Gestione della sicurezza antincendio
Sostanze pericolose confinate in aree apposite e adeguatamente distanziate dai BESS	S-4 - Esodo
Gas detection alarm activation	S-7 – Rivelazione ed allarme
High cell temperature trip (cell level)	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Thermal runaway trip (cell level)	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Rack switch fail-to-trip (rack level)	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio

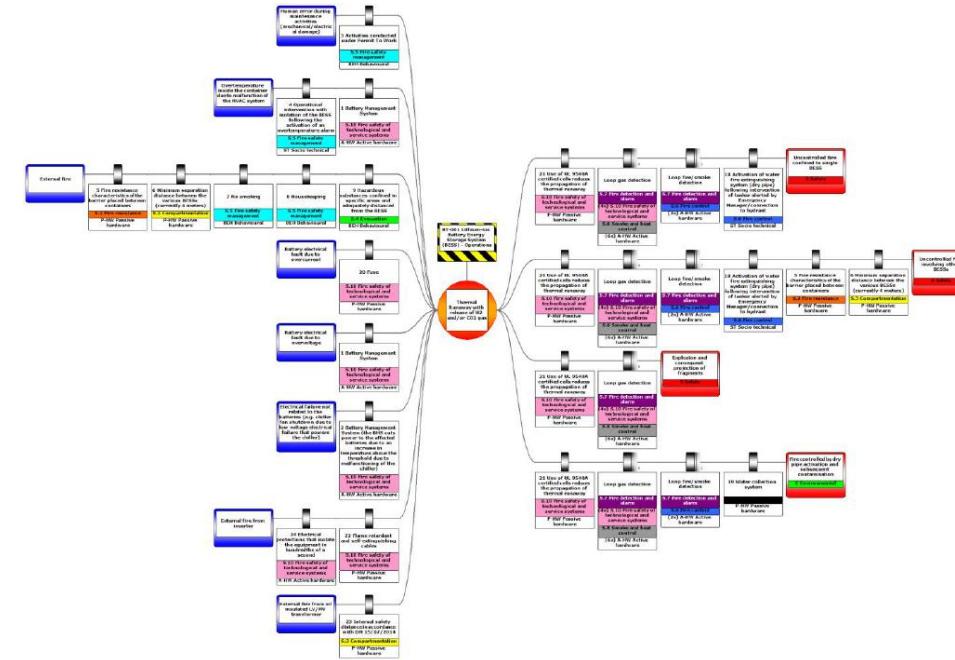
Barriera Bow-tie	Strategia Antincendio DM 18/10/2019 e smi
Inverter/charger fail-to-trip (supervisor level)	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Extraction fan activation	S-8- Controllo di fumi e calore
Fire detection alarm activation	S-7 – Rivelazione ed allarme
Attivazione automatica impianto antincendio ad aerosol a seguito di rivelazione incendio e contestuale stop del sistema HVAC e extraction fan	S-6 – Controllo dell'incendio
Attivazione automatica impianto antincendio ad aerosol a seguito di rivelazione incendio	S-6 – Controllo dell'incendio
Attivazione impianto antincendio ad acqua (dry pipe) a seguito intervento autobotte allertata da Emergency Manager/collegamento a idrante	S-6 – Controllo dell'incendio
Fusibile	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Utilizzo di celle testate secondo la UL 9540A riduce la propagazione del thermal runaway	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Cavi non propaganti fiamma ed autoestinguenti	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio
Distanza di sicurezza interna in accordo al DM 15/07/2014	S-3 - Compartimentazione
Protezioni elettriche che in centesimi di secondo isolano l'apparecchiatura	S-10 – Sicurezza imp. tecnologici e di servizio





Results from numerical simulation of overpressure due to BESS explosion. Values in Pascal [Pa].

Frequency for BESS explosion scenario: 2,23E-7 occ/yr



Risk matrix taken from the SFPE "Guide to Fire Risk Assessment"

Table 7-5: Quantitative Risk Matrix

		Consequence				
		Negligible	Marginal	Major	Critical	Catastrophic
Frequency		1.0E-06	1.0E-04	1.0E-02	5.0E-01	1.0E+00
Frequent	1.0E+00	1.0E-06	1.0E-04	1.0E-02	5.0E-01	1.0E+00
Probable	1.0E-01	1.0E-07	1.0E-05	1.0E-03	5.0E-02	1.0E-01
Occasional	1.0E-02	1.0E-08	1.0E-06	1.0E-04	5.0E-03	1.0E-02
Remote	1.0E-04	1.0E-10	1.0E-08	1.0E-06	5.0E-05	1.0E-04
Improbable	1.0E-06	1.0E-12	1.0E-10	1.0E-08	5.0E-07	1.0E-06
Incredible	1.0E-08	1.0E-14	1.0E-12	1.0E-10	5.0E-09	1.0E-08

# VALUTAZIONE DELLE CONSEGUENZE MEDIANTE MODELLAZIONE COMPUTAZIONALE DELLO SCENARIO DI ESPLOSIONE

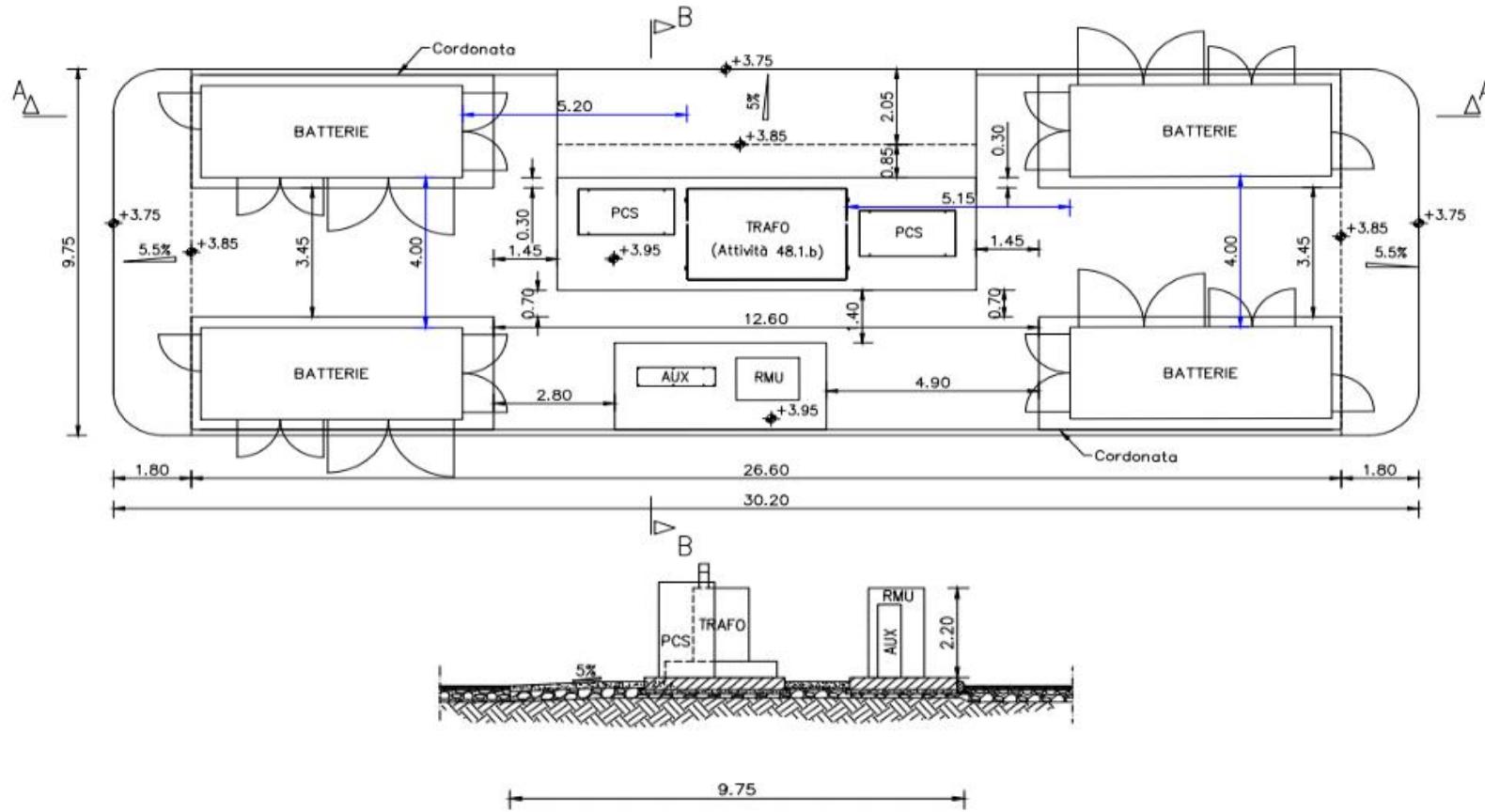
# Simulazioni computazionali delle conseguenze per lo scenario di esplosione di un container BESS

In caso di guasto di una cella elettrochimica, l'aumento della pressione all'interno della cella o il danneggiamento dell'involucro esterno della cella possono causare la perdita di contenimento ed il degrado dell'elettrolita della batteria, con conseguente produzione di gas infiammabili e lo sviluppo di scenari di incendio od esplosione. Un meccanismo di guasto ben noto, chiamato "thermal runaway", è una delle principali cause di incendi ed esplosioni dei BESS ed è particolarmente grave nei sistemi di accumulo di energia a batteria su larga scala, caratterizzati da elevata densità energetica.



Le slide seguenti analizzano gli scenari di esplosione della miscela di off-gas infiammabili formatisi a seguito di thermal runaway all'interno di un container BESS con celle di tipo LFP, considerando differenti configurazioni tipiche dei layout di impianto ritenuti rappresentativi. Le valutazioni degli effetti fisici conseguenti le esplosioni modellate sono state condotte riferendosi a bersagli selezionati

## Layout tipico dell'isola BESS considerata



Modello dell'isola BESS tipo, composta dai seguenti elementi:

- n°4 container batterie BESS da 3.72 MWh;
- n°2 **PCS** (raddrizzatori/inverter);
- n°1 **TR** (trasformatore MT/BT isolato in olio, senza conservatore);
- n°1 **RMU** (Quadro di media tensione);
- n°1 quadro per servizio ausiliari **AUX**.

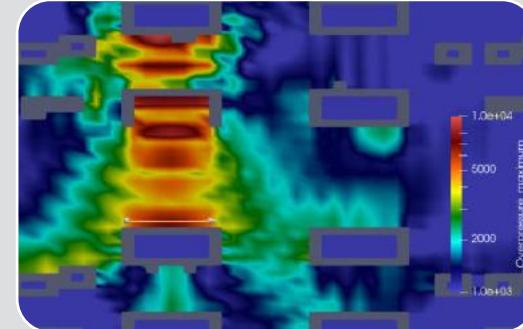
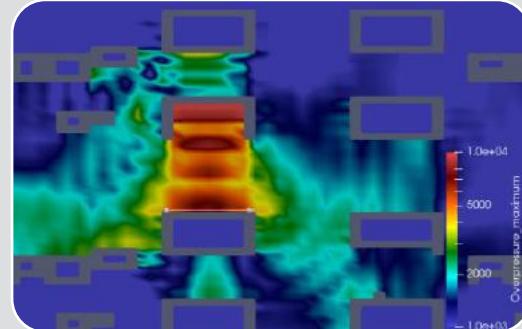
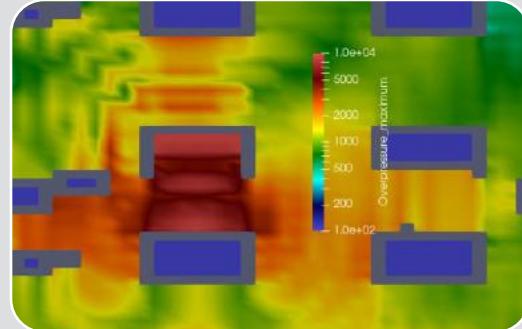
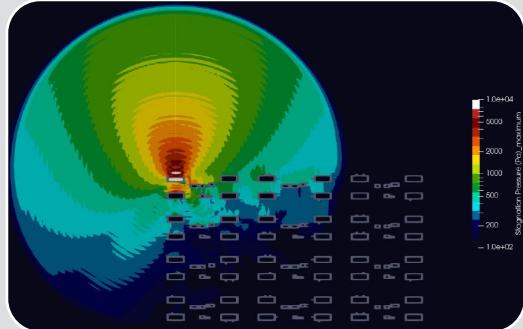
## **Resistenza meccanica dei componenti dell'involucro del container**

Al fine di caratterizzare la resistenza meccanica dell'involucro del container BESS alle sollecitazioni indotte dalla sovrapressione generata dall'esplosione, sono stati considerati i dati desunti dalla letteratura tecnica disponibile; in particolare "*Explosion protection for prompt and delayed deflagrations in containerized lithium-ion battery energy storage systems*" (A. Barowy et al., 2022) in cui sono definiti i seguenti valori considerati rappresentativi:

- 2-4 kPa, sovrapressione che causa il cedimento delle porte del container;
- 40-60 kPa, sovrapressione che causa deformazioni permanenti alle pareti ed al soffitto del container;
- >70 kPa, sovrapressione che causa la proiezione delle porte del container ed altri frammenti massicci.

# SCENARI DI RIFERIMENTO

## Layout di impianto



**Scenario A:** esplosione di n°1 container BESS in posizione perimetrale con propagazione della sovrapressione in direzione esterna all'impianto. In questo scenario è stata eseguita una simulazione senza la presenza di ostacoli (recinzione solida) al fine di indagare l'evoluzione della sovrapressione in funzione della distanza.

**Scenario B:** esplosione di n°1 container BESS con impatto sul BESS opposto (ubicato a 4 m) all'interno della stessa isola. La comprensione di questo scenario è essenziale per valutare l'impatto localizzato e la potenziale propagazione delle esplosioni all'interno di un'isola BESS.

**Scenario C:** esplosione di n°1 container BESS con impatto sul BESS opposto dell'isola adiacente, considerando 6 m di distanza tra isole. Questa analisi ha la finalità di valutare la potenziale diffusione di danni e pericoli tra impianti BESS vicini.

**Scenario D:** esplosione di n°1 container BESS con impatto sul BESS opposto dell'isola adiacente, considerando 8 m di distanza tra isole. Questa analisi ha la finalità di valutare la potenziale diffusione di danni e pericoli tra impianti BESS vicini.

# SCENARI DI RIFERIMENTO

## Caratterizzazione degli off-gas generati a seguito di thermal runaway

Il protocollo di test in accordo ad UL 9540A (stabilito dall'organizzazione internazionale Underwriters Laboratories) fornisce un approccio strutturato per valutare il rischio e l'impatto degli incendi da thermal runaway nelle installazioni BESS. Questo metodo è inoltre fondamentale per comprendere e mitigare i potenziali rischi associati ai sistemi di accumulo di energia a batteria.

Sinteticamente, il protocollo di test UL9540A prevede:

- **Setup di prova:** Viene creato un set di prova rappresentativo della configurazione reale implementata in impianto, compresa la disposizione dei container BESS, delle apparecchiature centrali e dell'infrastruttura circostante. In questo modo si garantisce che l'ambiente di prova rifletta accuratamente le condizioni operative.
- **Induzione del thermal runaway:** Vengono utilizzati metodi controllati per innescare il thermal runaway, simulando fonti di innesco realistiche come il sovraccarico o il riscaldamento esterno. Vengono utilizzate apparecchiature di monitoraggio per acquisire le variazioni di temperatura ed i parametri elettrici che descrivono il comportamento della batteria durante il testo.
- **Monitoraggio della propagazione del fuoco:** Viene condotto un monitoraggio continuo per valutare la propagazione dell'incendio all'interno del setup di prova. Vengono utilizzate termocamere, rilevatori di fiamma e altri sensori per valutare l'intensità e la diffusione delle fiamme.
- **Raccolta e analisi dei dati:** Vengono raccolti e analizzati i dati acquisiti.

Sulla base dei suddetti test eseguiti in accordo ad UL 9540<sup>o</sup> sono determinate anche alcune proprietà degli off-gas generati a seguito del thermal runaway indotto

## Caratterizzazione degli off-gas generati a seguito di thermal runaway

**Esempio di composizione chimica degli off-gas generati a seguito di thermal runaway (da test UL)**

Sostanza		Composizione [% mol/mol]
Monossido di carbonio	CO	11.086
Anidride carbonica	CO <sub>2</sub>	33.29
Idrogeno	H <sub>2</sub>	35.698
Metano	CH <sub>4</sub>	10.075
Acetilene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.164
Etilene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	5.259
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1.089
Propene	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.571
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.232
C <sub>4</sub> (totale)		0.382
C <sub>5</sub> (totale)		0.091
C <sub>6</sub> (totale)		0.06
C <sub>7</sub> (totale)		0.005
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.023
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.002
Dimetilcarbonato	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	1.879
Carbonato di etile e metile	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	0.091

**Esempio di proprietà degli off-gas generati a seguito di thermal runaway (da test UL).**

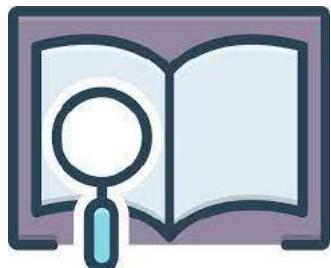
Proprietà	Valore
Volume del gas [l]:	221.3
Limite inferiore di infiammabilità (LFL), % in volume in aria a temperatura ambiente:	7.85
Limiti inferiori di infiammabilità (LFL), % in volume in aria alla temperatura di emissione:	6.47
Velocità del fronte di fiamma (Su) [cm/s]	64
Pressione massima (Pmax) [psig] – [barg]	103 – 7.10

## Pressione di stagnazione

È importante descrivere le differenze tra le diverse definizioni di pressione che caratterizzano gli effetti di un'esplosione, nello specifico pressione statica, dinamica e di stagnazione.

La pressione di stagnazione è definita come di seguito:

$$P_{\text{stag}} = P_{\text{stat}} + \frac{1}{2} \rho u^2$$



La pressione di stagnazione è la pressione che un ostacolo, sia esso una persona, un veicolo o una struttura, subisce se ostruisce **completamente** il flusso d'aria in movimento a partire dal punto di origine dell'esplosione. Quando un ostacolo viene posto nel campo del flusso, quest'ultimo si arresta e la pressione sulla superficie dell'ostacolo aumenta fino ad assumere valori che al limite possono essere prossimi alla pressione di stagnazione.

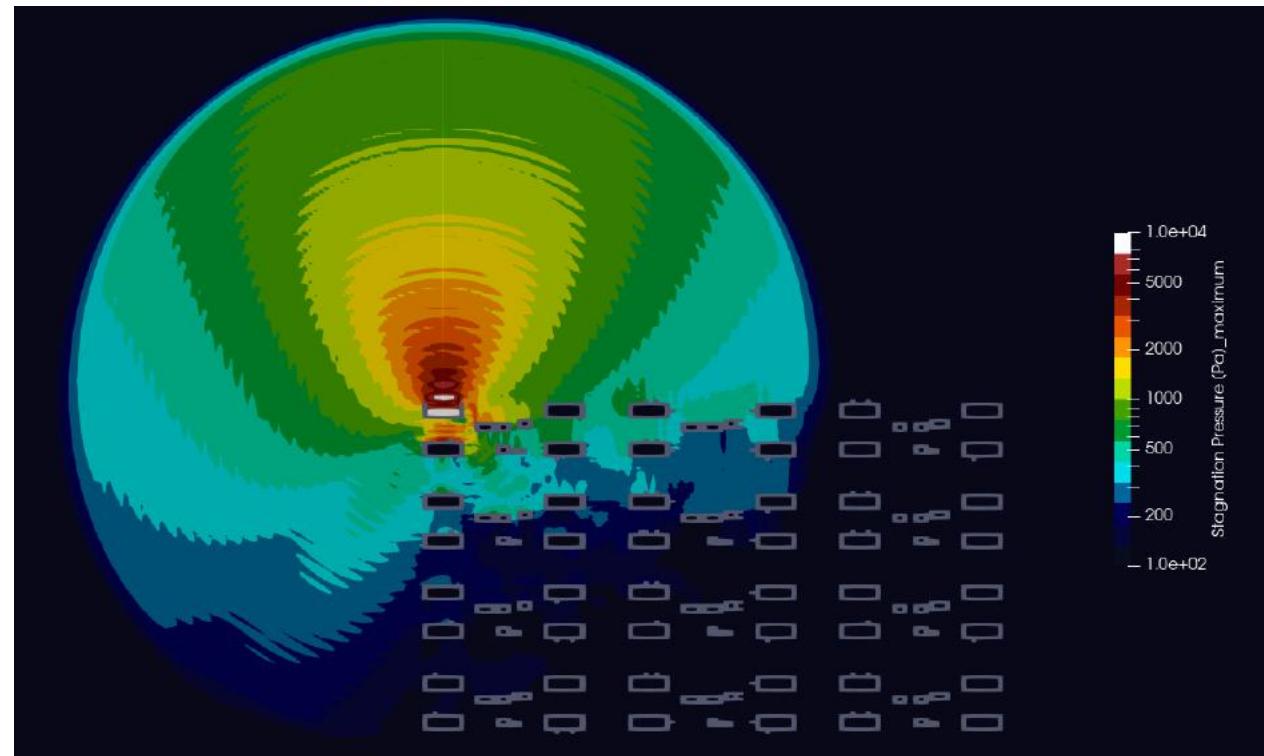
## Pressione di stagnazione

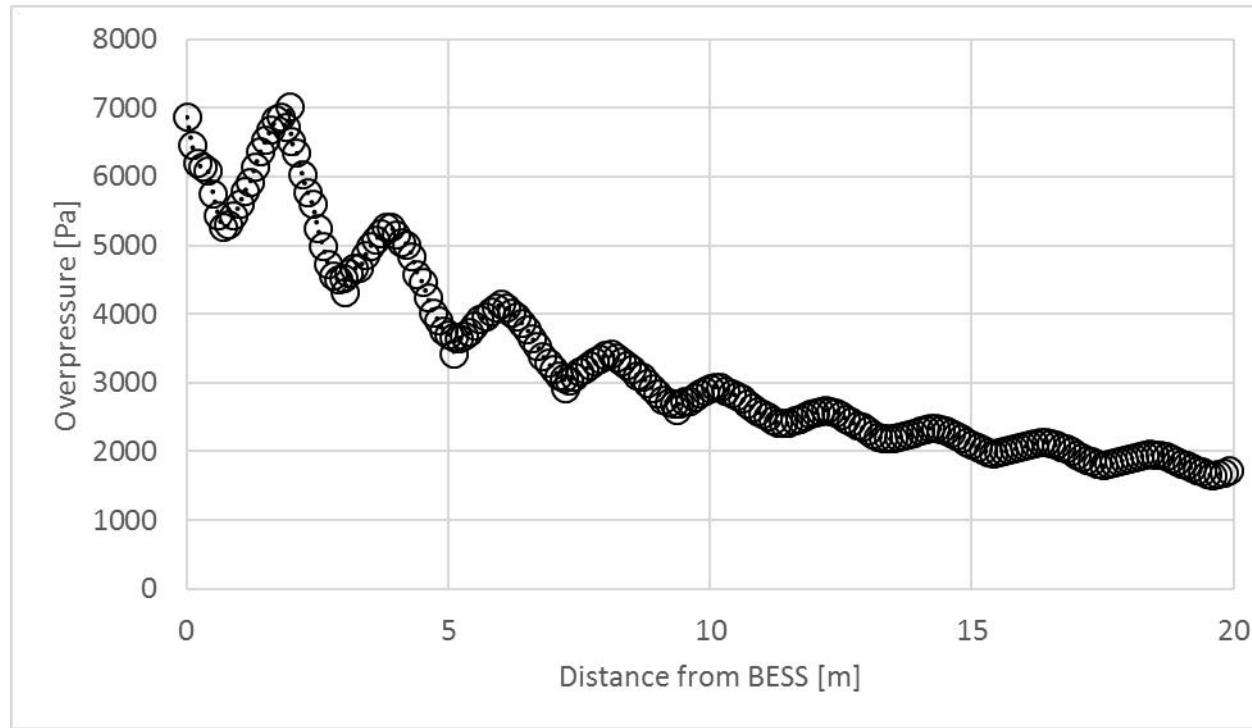
In assenza di bersagli, lo spazio è **soggetto al livello di pressione statica**; ciò in quanto la pressione di stagnazione è pari alla somma della pressione statica e della pressione dinamica, la quale è funzione della velocità di spostamento dell'aria in cui si propaga l'esplosione. Nel momento in cui un ostacolo viene investito dall'onda di sovrapressione, la velocità dell'aria localmente si azzera e conseguentemente l'energia cinetica viene convertita in energia di pressione agente sull'ostacolo.

Eventuali bersagli, a seconda della loro forma, non subiscono necessariamente l'intera pressione di stagnazione, ma subiscono comunque un aumento di pressione tale che la pressione totale a cui sono sottoposti risulta compresa tra la pressione statica come limite inferiore e la pressione di stagnazione come limite superiore.

I risultati presentati nel seguito sono da intendersi esemplificativi per installazioni BESS basate su unità da 3,7 kWh, di tipo non walk-in, con celle di tipo LFP, in struttura containerizzata da 20 ft di lunghezza

I risultati per lo **Scenario A** sono illustrati nella seguente figura che evidenzia la propagazione (in direzione esterna all'impianto) della sovrapressione di stagnazione generata dall'esplosione del container BESS, ubicato nella posizione più vicina al confine d'impianto (posizione angolare).





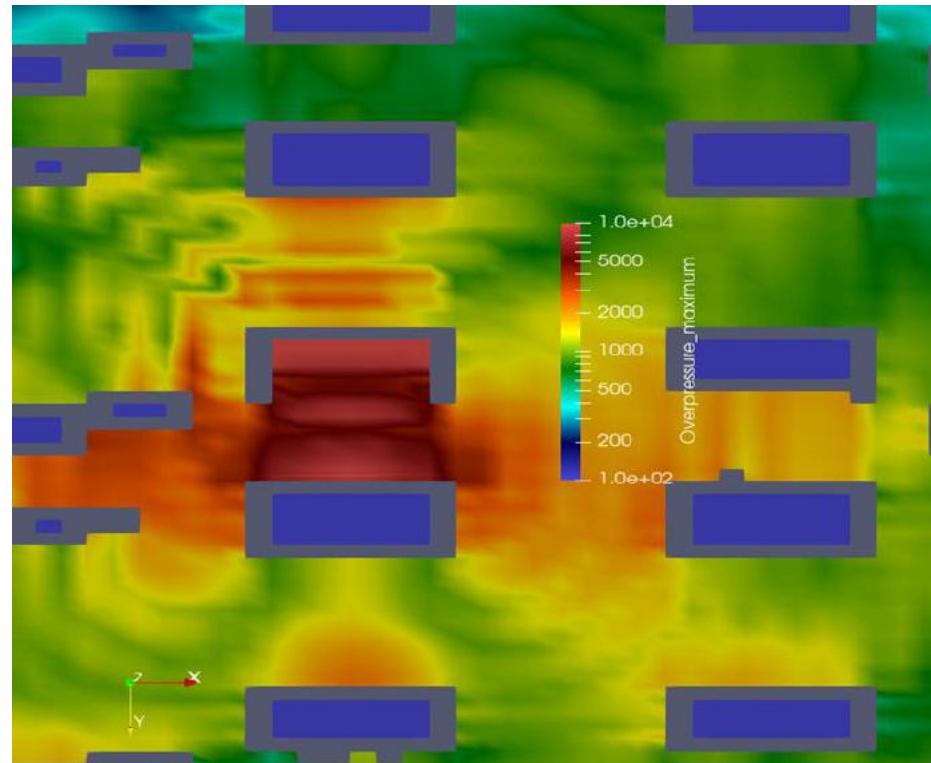
Nel grafico si evidenzia che nell'intorno di 8 m (tra ~7,3 m e ~9,0 m) di distanza dal BESS la pressione di stagnazione varia tra 2,9 kPa e 3,5 kPa .

Si noti che la pressione di stagnazione è la somma delle pressioni statiche e dinamiche e rappresenta l'entità della sovrapressione massima a cui è sottoposto un ostacolo, come un'auto o una persona, posizionato nello spazio aperto oltre la recinzione, nella direzione di propagazione dell'onda di sovrapressione.

Si può notare inoltre che la pressione scende al di sotto di 2000 Pa a circa 17 m dalla recinzione e quindi presenta un rischio minimo per l'ambiente circostante da quel punto in avanti

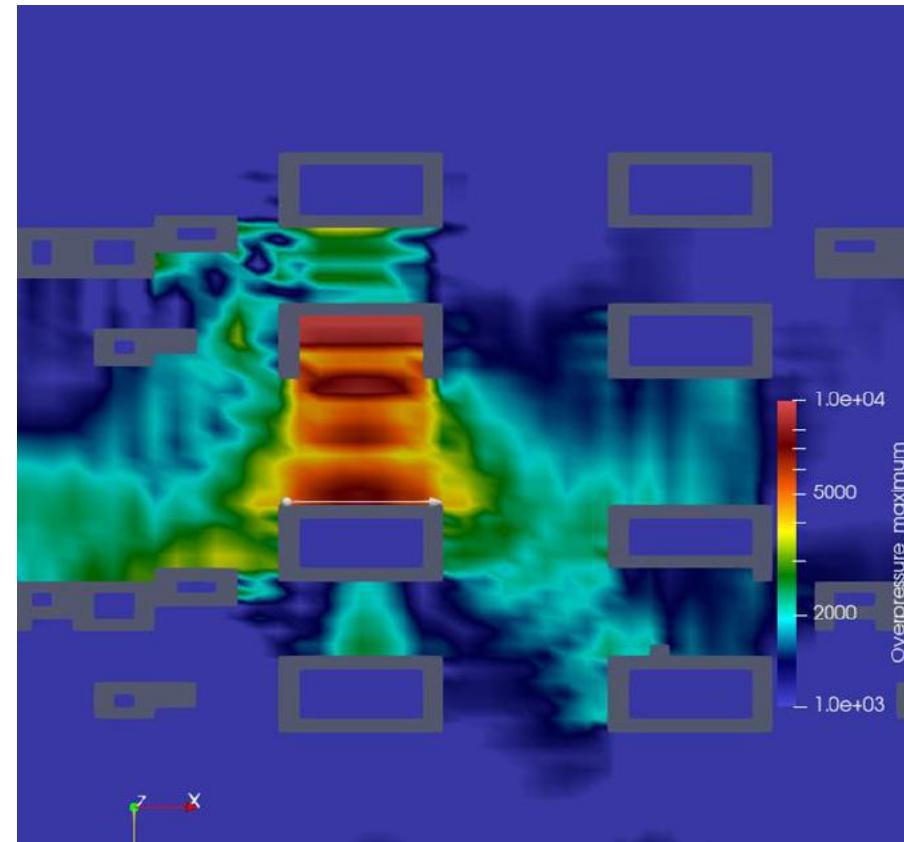
## Scenario B

Lo scenario evidenzia la propagazione della sovrapressione generata dall'esplosione di un container BESS con impatto sul container BESS opposto (ubicato a 4 m) all'interno della stessa isola. La sovrapressione massima di circa 9.2 kPa agisce sul container BESS opposto e diminuisce in direzione degli altri container BESS.



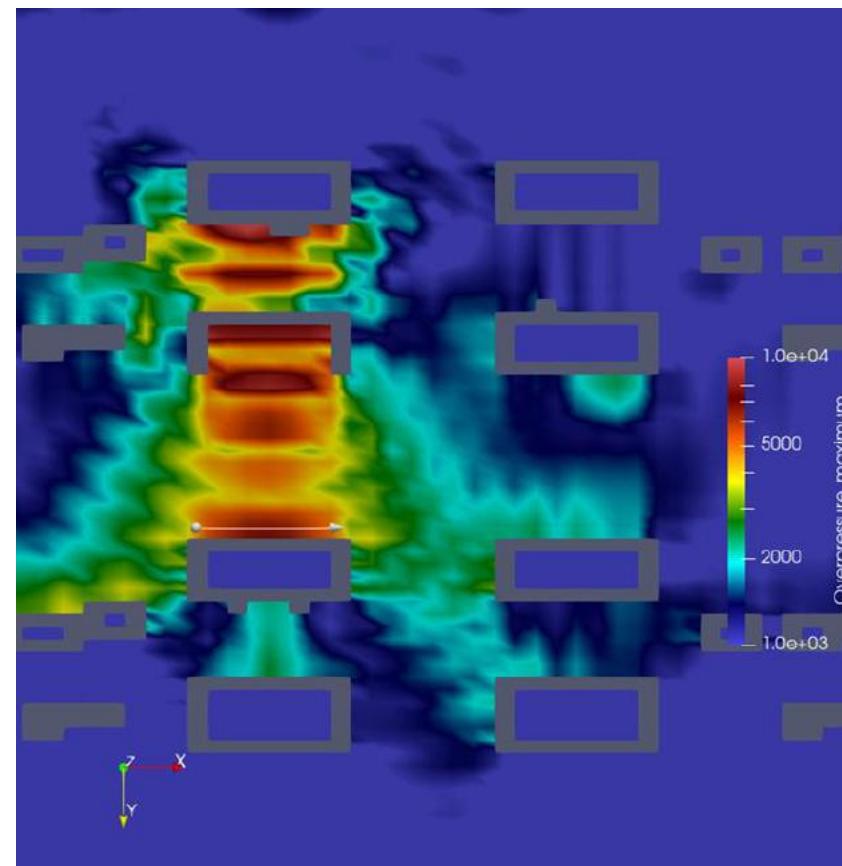
## Scenario C

Lo scenario evidenzia la propagazione della sovrapressione generata dall'esplosione di un container BESS con impatto sull'isola BESS opposta (ubicata a 6 m). La sovrapressione che si sviluppa sul container BESS dell'isola opposta è pari a circa 7.5 kPa, con valori decrescenti sia sugli altri container BESS.



## Scenario D

Lo scenario evidenzia evidenzia la propagazione della sovrapressione generata dall'esplosione di un container BESS con impatto sull'isola BESS opposta, nel caso di distanziamento tra isole pari a 8 m. Si può notare che la sovrapressione è di circa 6.5 kPa sul container BESS opposto e che la sovrapressione che agisce sugli altri container BESS è di entità inferiore.



## Effetti termici delle esplosioni

Come accade spesso nei casi di esplosioni di gas, gli effetti termici sono relativamente modesti. Sebbene la temperatura iniziale della nube di gas che esplode sia elevata, nel momento in cui raggiunge uno dei bersagli (come la recinzione o un altro BESS) la nube di gas si è espansa di circa 20-40 volte, subendo una diminuzione di temperatura a causa della sua espansione. Inoltre, durante tale espansione, i gas caldi si mescolano con l'aria ambiente raffreddandosi ulteriormente.

Inoltre, indipendentemente dalla temperatura, la durata dell'impulso e quindi del tempo di esposizione dei bersagli ad alte temperature è molto ridotto, nell'ordine dei centesimi di secondo. Pur considerando quindi elevate temperature iniziali dei gas innescati, la quantità totale di calore trasferita, cioè il carico termico dipendente dal tempo di esposizione, è di ridotta entità

# CONCLUSIONI

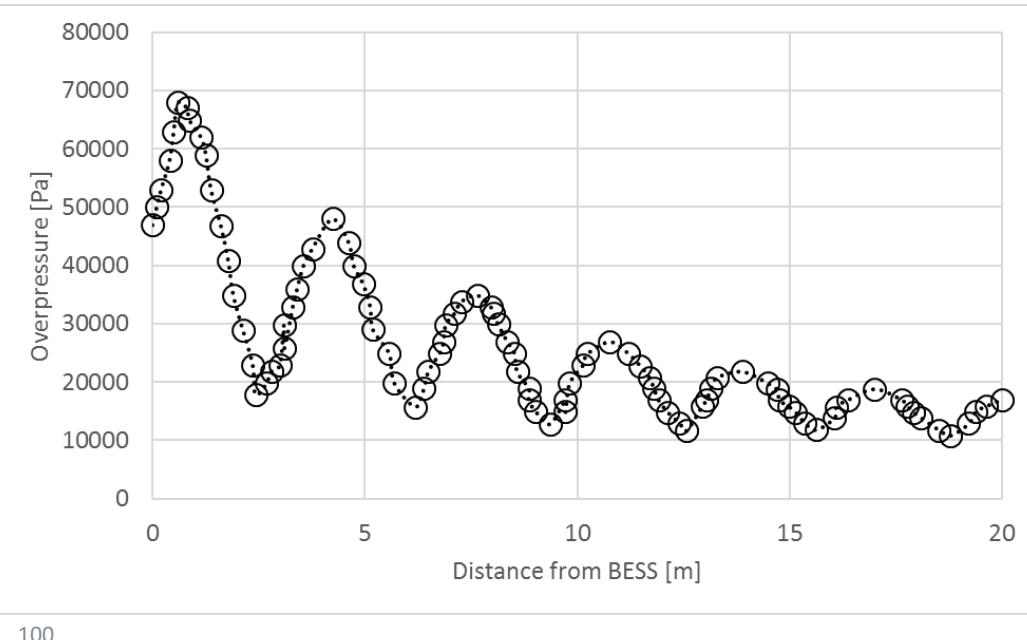
## Conseguenze all'esterno (fence) dell'impianto

I valori di sovrapressione (pressione di stagnazione) calcolati nei pressi del confine di impianto (Scenario A) in funzione della distanza dal BESS sono rappresentati dai grafici seguenti, rispettivamente rappresentativi della condizione "peggiorativa" e della condizione "operativa".

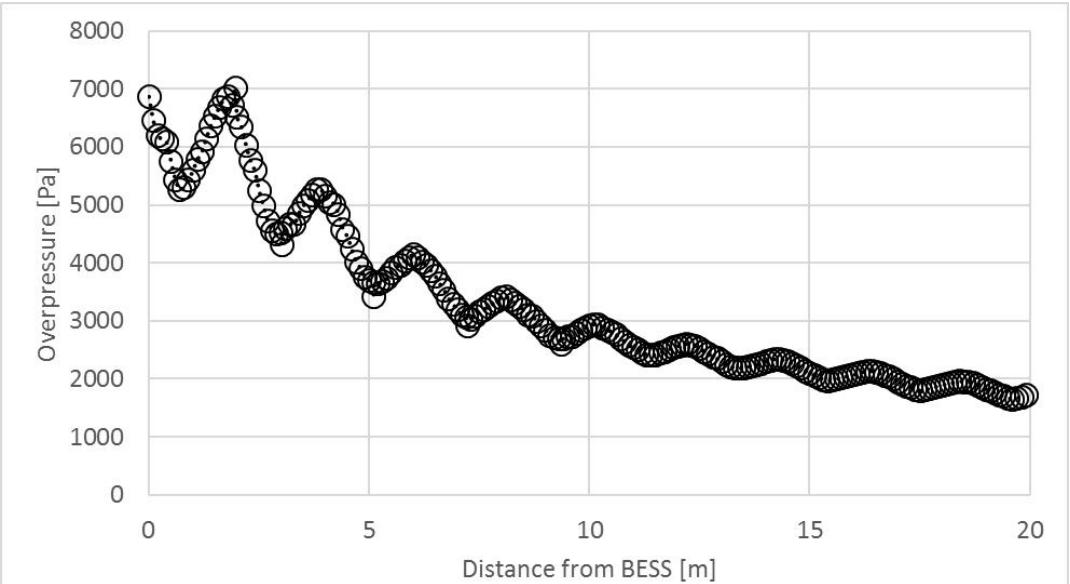
Sebbene gli impianti di cui trattasi non sono compresi nel campo di applicazione del D.Lgs. 105/2015 (cd. Seveso), quale utile riferimento si considerano i valori soglia per le sovrapressioni di picco riportati nella tabella 2 del D.M. 9/05/2001 "Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante.".

Per quanto riguarda la soglia di elevata letalità in campo aperto, si osserva che nella condizione "peggiorativa" essa è raggiunta a circa 2 m di distanza dal BESS sorgente dell'esplosione, mentre per la condizione "operativa", non viene mai raggiunta

**Scenario A, condizione peggiorativa, grafico sovrapressione di stagnazione vs. distanza**



**Scenario A, condizione operativa - Grafico della sovrapressione di stagnazione in funzione della distanza**



# CONCLUSIONI

## Conseguenze all'interno dell'impianto

Scenario	Bersaglio	Sovrapressione [kPa]
A	<i>Confine del sito posto ad 8 m</i>	2.9-3.5 (NOTA 8)
B	<i>Container BESS opposto all'interno della stessa isola</i>	9.2
C	<i>Container BESS opposto all'interno dell'isola adiacente.</i> <i>Distanza tra isole 6 m.</i>	7.5
D	<i>Container BESS opposto all'interno dell'isola adiacente.</i> <i>Distanza tra isole 8 m.</i>	6.5

L'intervallo di valori indicato è dovuto al contributo di diverse concause, quali fluttuazioni nei valori di pressione che si verificano effettivamente nel fenomeno reale alle quali si aggiungono approssimazioni numeriche dovute alle dimensioni finite sia del timestep che degli elementi che costituiscono la mesh di calcolo

Attraverso l'analisi CFD effettuata, negli Scenari B, C, D modellati si verifica pertanto il raggiungimento di valori di sovrapressione tali da danneggiare almeno il container BESS più vicino all'origine dell'esplosione ed appartenente alla medesima isola BESS (Scenario B) o all'isola adiacente (Scenario C e D), oltre al danneggiamento del container BESS che origina l'evento.

Verosimilmente tali effetti non sono in grado di innescare una reazione di thermal runaway in uno dei container bersaglio per abuso meccanico, considerando le resistenze meccaniche tipiche del container come indicate in precedenza, rendendo improbabile il verificarsi di un effetto domino.

Si precisa che in considerazione dell'aleatorietà di alcuni parametri in ingresso e dell'approssimazione insita nella determinazione dei valori di riferimento per i danneggiamenti, è da ritenere verosimile un livello di danneggiamento per il container bersaglio più vicino la cui entità è affetta da un livello di incertezza non determinabile

# LE RISPOSTE DEL MERCATO A FAVORE DI SICUREZZA

## Cell safety

Over 100 cell performance tests and 5 core tests better than industry standards, Ensure the safe and reliable use of cells

## Structural safety

Isolation of different compartments IP55 protection level + C5 corrosion protection + drop test High protection brings high reliability



## Electrical safety

4-layer active shutdown + 2-level physical isolation AC/DC insulation monitoring Ensure system electrical safety

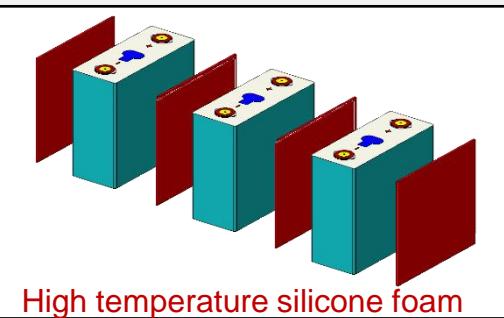
## System safety

Multi-environment sensor + gas fire extinguishing + water spray + directional deflagration panel E2E system fire suppression protection



# Structure of BESS Fire Suppression and protection

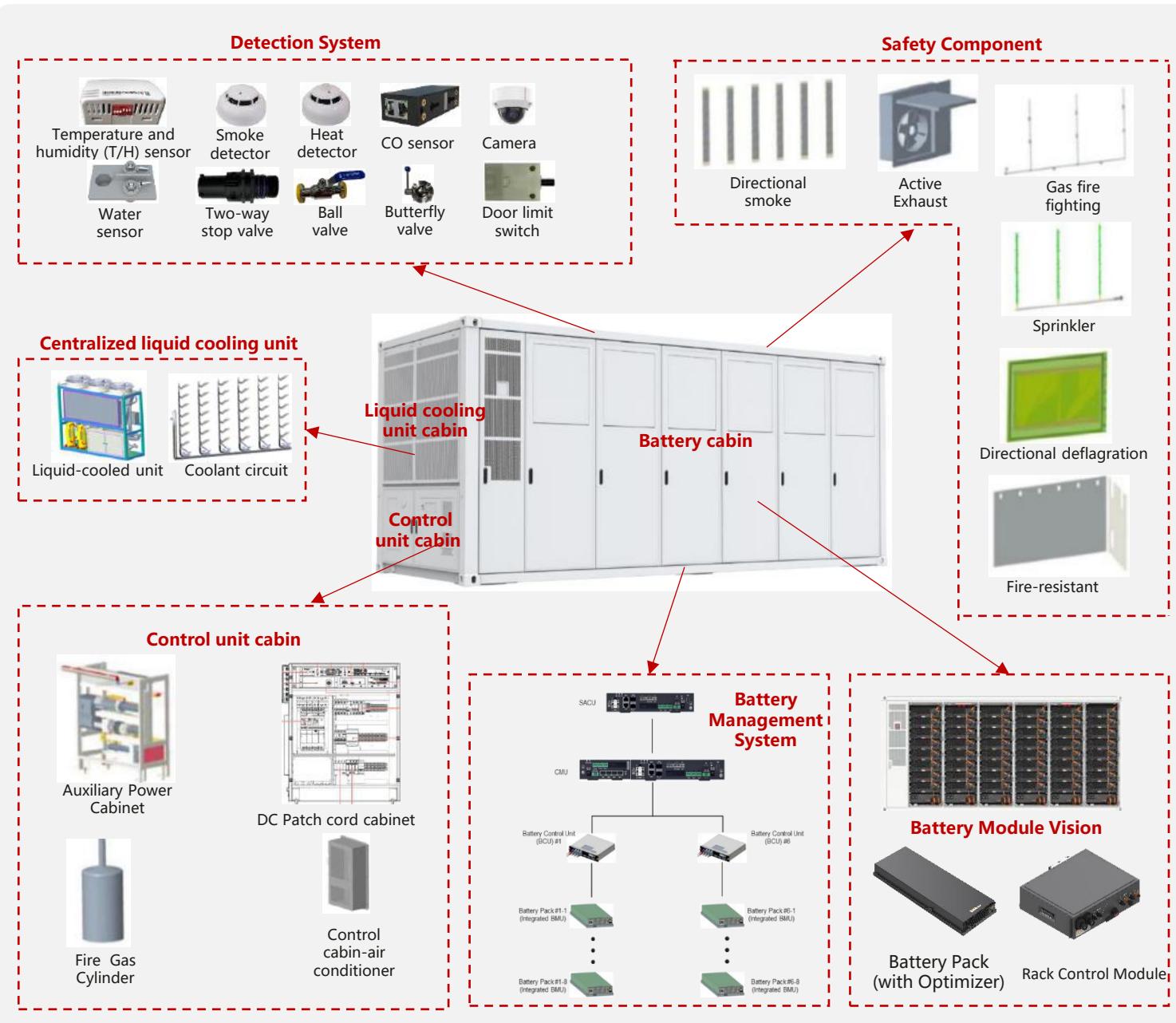
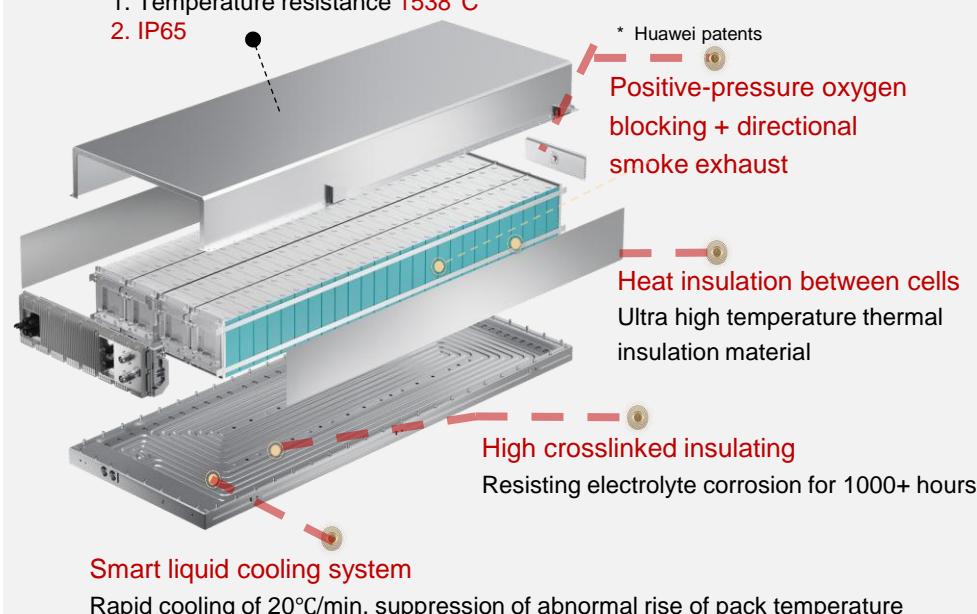
## Cell-level isolation over 450°C resistance



## Pack-level Thermal Runaway non-diffusion

Metal shell:

1. Temperature resistance **1538°C**
2. IP65



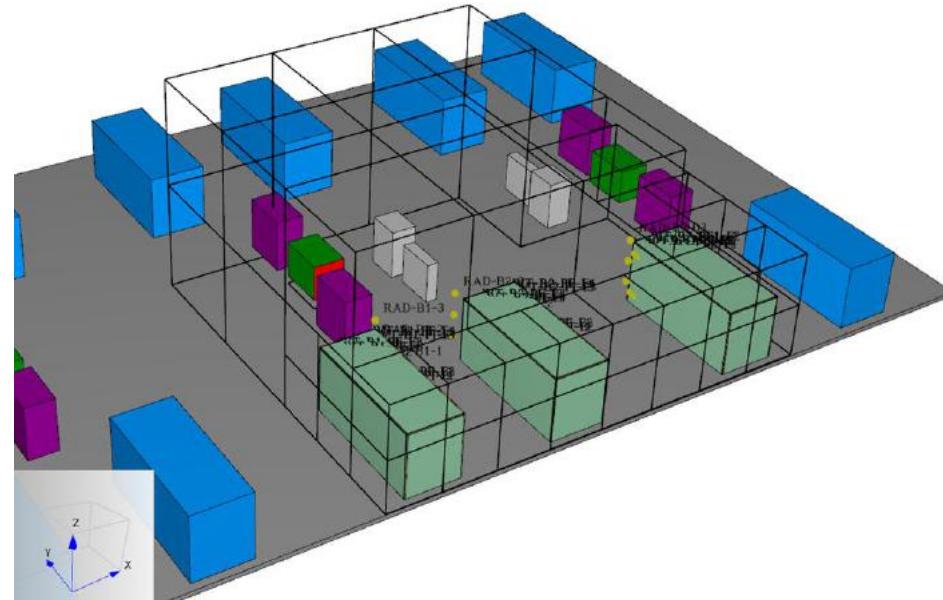
# VALUTAZIONE DELLE CONSEGUENZE MEDIANTE MODELLAZIONE COMPUTAZIONALE DELLO SCENARIO DI INCENDIO

# Incendio del trasformatore di isola

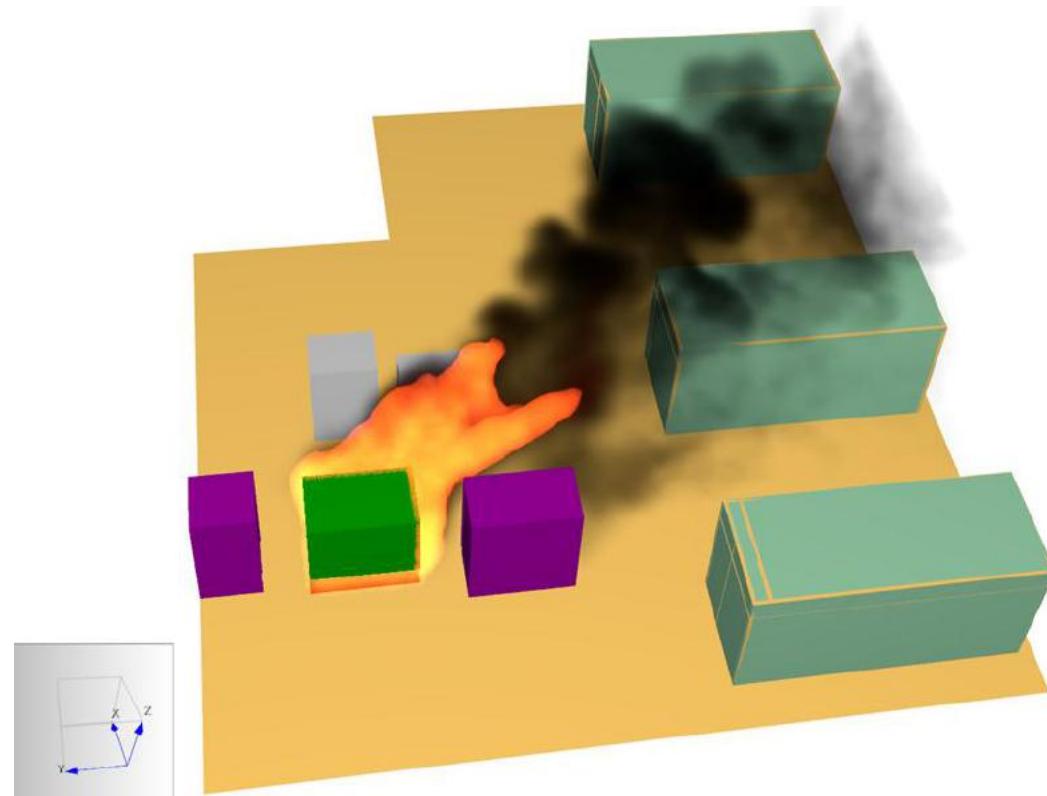
L'incendio del trasformatore a seguito di perdita di contenimento dell'olio dielettrico è stato modellato considerando sia il contributo della pozza a terra, sia il contributo dovuto all'incendio delle superfici laterali verticali al fine di modellare la tridimensionalità dell'incendio

Quindi l'incendio dell'olio è stato descritto in accordo ai dati riportati dal CIGRE' in *"WG A2.33 – Guide for Transformer Fire Safety Practices"*

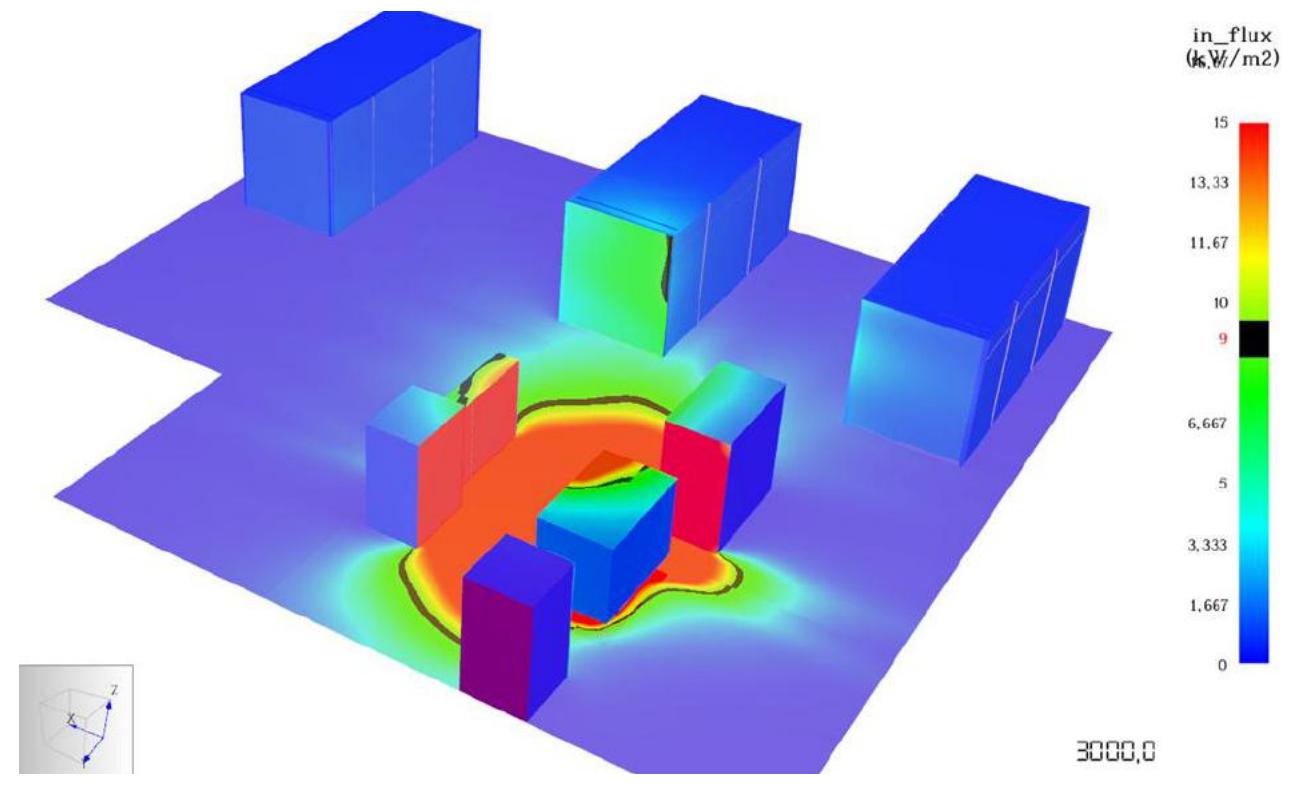
La durata dello scenario di incendio ipotizzato è stata definita sulla base del quantitativo di olio presente all'interno del trasformatore, pari a 1805 kg.



## CONSEGUENZE ALL'INTERNO DELL'ISOLA BESS



Rappresentazione del fumo e delle fiamme a 3000 secondi



Rappresentazione del flusso radiante

Si osserva che il valore massimo, pari a circa  $9 \text{ kW/m}^2$ , viene raggiunto solo sulla porzione superiore prossima allo spigolo del container BESS più sfavorito (soggetto all'irraggiamento maggiore).

## **CONSEGUENZE ALL'INTERNO DELL'ISOLA BESS**

Si osserva che il valore massimo, pari a circa **9 kW/m<sup>2</sup>**, viene raggiunto solo sulla porzione superiore prossima allo spigolo del container BESS più sfavorito (soggetto all'irraggiamento maggiore).

In esito alle simulazioni di incendio effettuate per lo **scenario di incendio del trasformatore MT-BT (in cui il combustibile rappresentativo è costituito dall'olio dielettrico del trasformatore)**, le temperature registrate all'interno del vano ove sono ubicati i rack batterie del container BESS bersaglio appartenente alla medesima isola, al termine della durata dell'incendio simulato (5200 secondi), hanno subito un incremento da 20°C a 30°C, **il che fa ritenere non verosimile l'innesto di thermal runaway a causa dell'aumento di temperatura.**

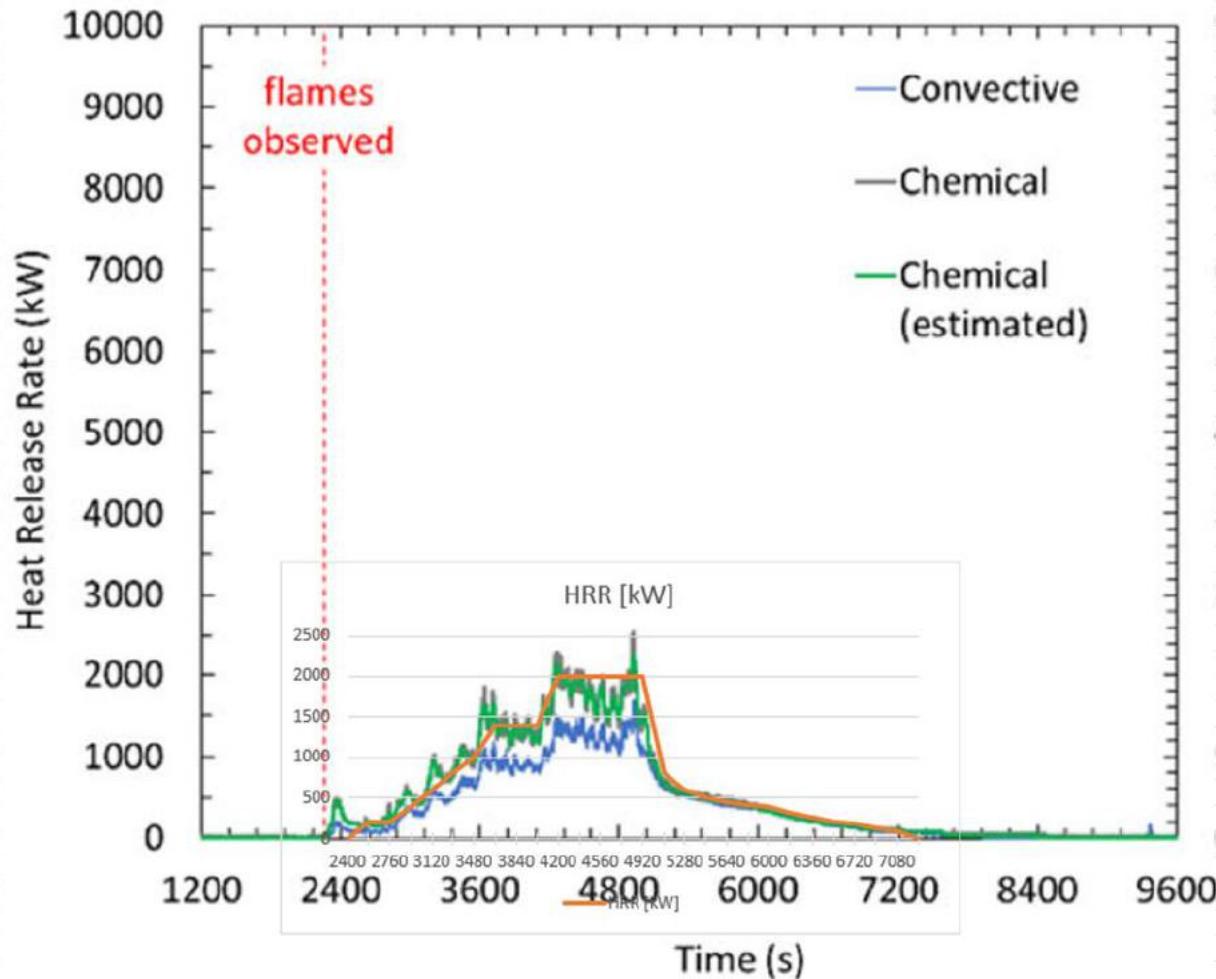
Tale prestazione è determinata dal contributo dello strato isolante costituito dai pannelli in lana di roccia che caratterizzano la configurazione modellata.

## **CONSEGUENZE SULE ISOLE BESS LIMITROFE**

A seguito di incendio del trasformatore isolato in olio, nella valutazione dell'irraggiamento subito dai bersagli (container BESS) appartenenti alle isole limitrofe a quella di origine dello scenario, è stata considerata la configurazione geometrica caratterizzata da distanza di separazione pari a 6 m.

Con riferimento al bersaglio costituito dal container BESS dell'isola adiacente, ubicata ad una distanza di separazione pari a 6 m, l'irraggiamento incidente su tale bersaglio risulta largamente inferiore al valore precedentemente determinato per bersagli ubicati all'interno della stessa isola ( $10.6 \text{ kW/m}^2$ ). Conseguentemente anche l'incremento di temperatura all'interno del vano batterie del container bersaglio risulta inferiore al caso precedente. Pertanto, anche in questo caso, non si ritiene verosimile l'ipotesi di innesco di thermal runaway all'interno di un altro container BESS appartenente ad un'isola contigua.

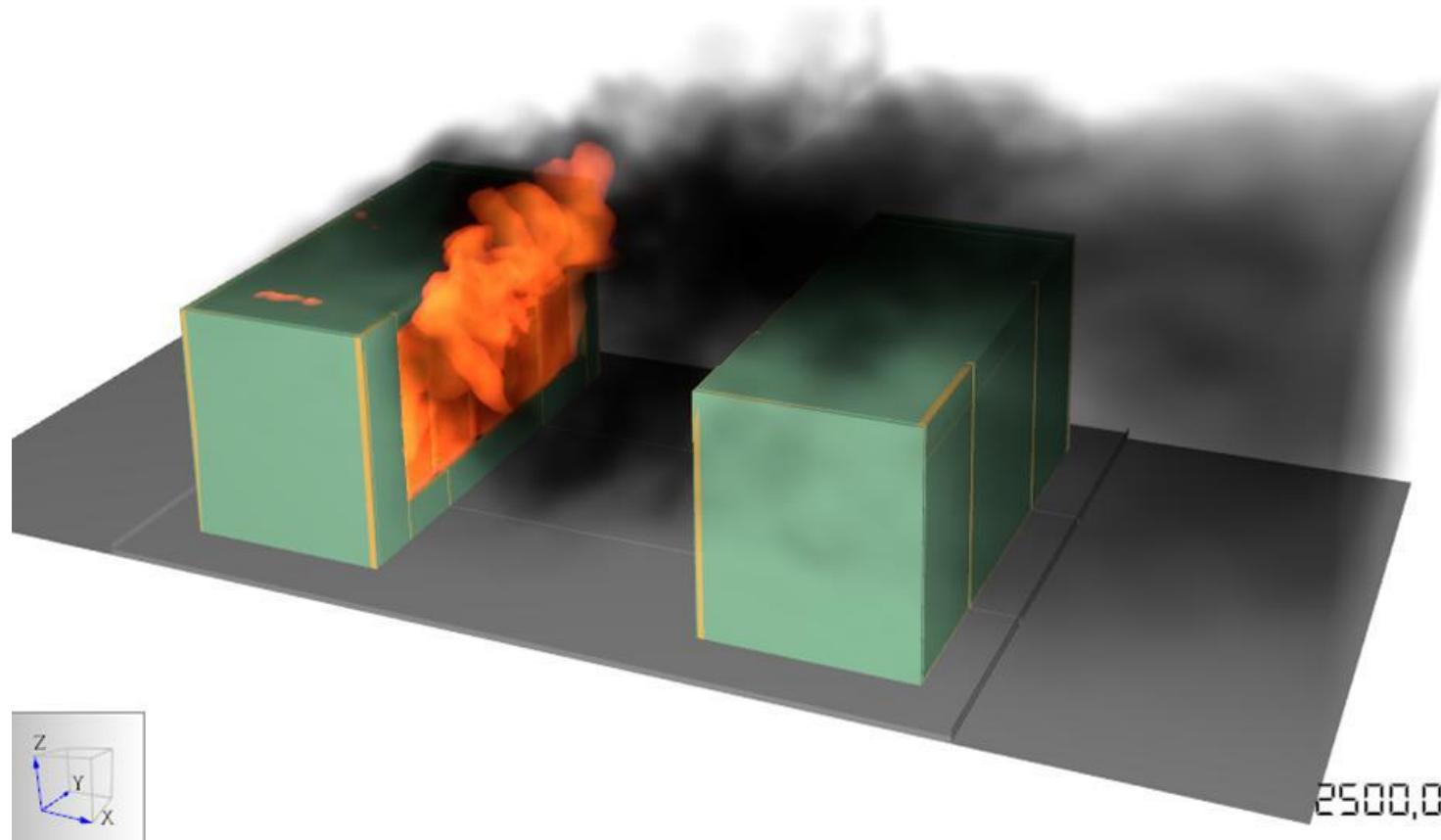
# Incendio di un container BESS



E' stato analizzato lo scenario di incendio di un container BESS, caratterizzato a partire dai dati sperimentali riportati in dalla recente letteratura scientifica quale *"Fire Hazard of Lithium-ion Battery Energy Storage Systems: 1. Module to Rack-scale Fire Tests"*, all'interno del quale sono riassunti i risultati di diverse prove sperimentali di incendio di batterie al litio.

Tra questi, è stato preso come riferimento il test relativo all'incendio di un rack composto da 16 moduli costituiti da celle LFP, avente dimensioni di 660x770x1760 mm (larghezza x profondità x altezza) e capacità di 83,6 kWh.

# Incendio di un container BESS



**Incendio BESS con container contiguo, rappresentazione delle fiamme e del fumo**

# Incendio di un container BESS

Per quanto concerne lo scenario di incendio di un container BESS (in cui il combustibile rappresentativo è costituito dalle batterie agli ioni di litio di tipo LFP), le simulazioni effettuate hanno determinato valori di irraggiamento massimo incidente sul container BESS più vicino pari a circa  $5 \text{ kW/m}^2$ , quindi tali da ritenere non verosimile l'innesto di thermal runaway a causa dell'irraggiamento subito, il che è in linea con le conclusioni dell'analisi del rischio di incendio/esplosione effettuata con metodo Bow-Tie

L'analisi delle temperature instauratesi presso il container BESS bersaglio evidenziano - sul lato interno della parete esposta – un valore massimo di circa  $40^\circ\text{C}$ , mentre la temperatura dell'aria all'interno si attesta a circa  $30^\circ\text{C}$ .



# Thank you!

---

**TECSA S.R.L.**

Via Figino, 101 // 20016 Pero (Milano) ITALY

 t +39 02 33910484 // fax +39 02 33910737

 [tecsa@tecsasrl.it](mailto:tecsa@tecsasrl.it)

 [www.tecsasrl.it](http://www.tecsasrl.it)

---

FOLLOW US ON



40<sup>TH</sup>  
ANNIVERSARY  
1979 • 2019