



Sede Consiglio Nazionale degli Ingegneri

Impianti Fotovoltaici e BESS:

Strategie di sicurezza antincendio e inquadramento normativo

Casi Pratici di Progettazione

Approccio applicativo



Ing. Chiara Crosti, Ph.D.

componente GdL Sicurezza Prevenzione Incendi CNI



BESS: acronimo per *Battery Energy Storage System*

(Sistema di stoccaggio dell'energia a batteria).

Si tratta in sostanza di un **sistema elettrochimico modulare** per lo stoccaggio di energia di rete o proveniente da fonti distribuite in moduli di batteria ricaricabili.



IL SISTEMA BESS

COM'È FATTO E COME FUNZIONA

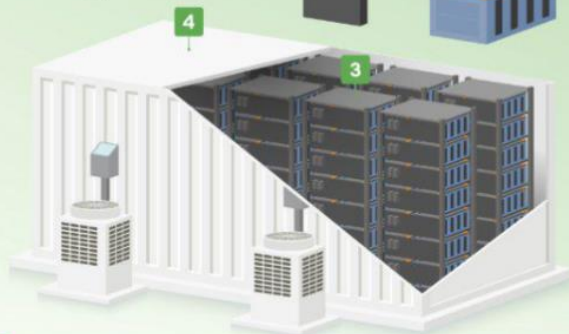
1 CELLE. Sono i dispositivi di base che compongono una BESS. **Trasformano l'energia elettrica in energia chimica** e viceversa, consentendone lo stoccaggio.

2 MODULI. Sono **insiemi di celle** assemblate in un telaio di alloggiamento, connesse elettricamente e dotate di un sistema di gestione e monitoraggio.

3 RACK. Sono **insiemi di moduli** connessi fra loro.

4 CONTAINER.

È l'alloggiamento, idoneo all'installazione all'aperto, che **contiene un certo numero di rack e tutti i dispositivi di gestione** necessari al loro funzionamento, inclusi i sistemi di sicurezza, di protezione, di gestione e di controllo.



COME FUNZIONA UNA BATTERIA

Nella fase di carica si accumulano ioni (cioè particelle elettricamente cariche) in uno dei due poli della batteria. **Nella fase di scarica poi li si lasciano fluire** verso l'altro polo. Questo movimento di ioni all'interno della cella permette agli elettroni di fluire nel circuito esterno, generando corrente elettrica.

Fonte: *EnelGreenPower*



5 SISTEMI AUSILIARI. Servono per il **raffreddamento, il controllo e la sicurezza** del sistema.

6 INVERTER. Trasforma la **corrente alternata in continua e viceversa**. Ogni inverter è collegato a uno o più container.

7 TRASFORMATORE BT/MT. Serve a **convertire la tensione di funzionamento delle BESS alla media tensione**, prima del passaggio in sottostazione.

8 ISOLA. Gruppo di container dotato di uno o più inverter, di un trasformatore e dei sistemi ausiliari. Una BESS può consistere di una o più isole.

9 SOTTOSTAZIONE. Struttura costituita da varie componenti il cui scopo è **elevare ulteriormente la tensione dalla media all'alta tensione** della rete di trasmissione. È unica per tutte le isole che formano una BESS.

ALCUNE INFORMAZIONI TECNICHE SULLE BESS

Un container in media è lungo circa 6 metri, largo 2,5 e alto 3.

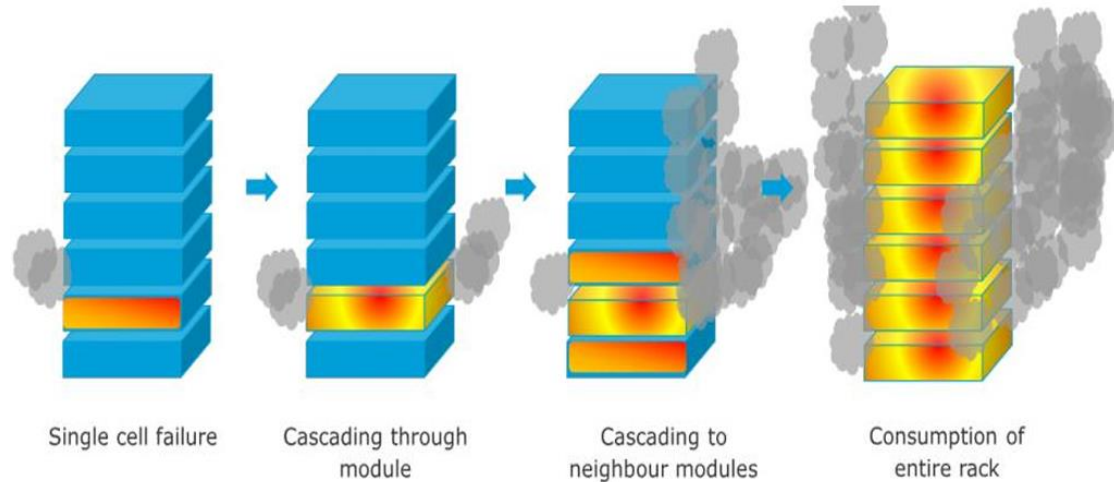
Le unità di misura utilizzate per i sistemi i BESS sono **il MWh per la capacità e il MW per la potenza**.

Il legame tra queste due è la **durata di scarica**: un impianto da 10 MW che dura 2 ore ha una capacità di 20 MWh, uno da 10 MW che dura 4 ore è da 40 MWh.

In EGP gli impianti vanno dai 5 MW/10 MWh fino ai 200 MW/800MWh.

Fonte: *EnelGreenPower*

Gli incendi nei sistemi BESS sono spesso il risultato di una **catena di eventi** che porta al cosiddetto **thermal runaway** (fuga termica), ovvero una reazione esotermica incontrollata che può propagarsi da una cella all'altra.



Una volta innescata, una cella può:

- Rilasciare **gas infiammabili** (come ossigeno, idrogeno, idrocarburi),
- Aumentare la temperatura oltre i **150–200 °C**,
- Propagare l'instabilità alle celle vicine → **effetto domino**,
- Questo processo può avvenire **in pochi minuti**, rendendo difficile intervenire in tempo.



Arizona Public Service (APS) – Surprise, Arizona, USA (2019)

- Tipo di batteria: Li-ion (LG Chem, NMC)
- Capacità: ~2 MWh
- Evento: Esplosione dopo incendio latente all'interno del contenitore
- 4 vigili del fuoco feriti (uno gravemente)
- Esplosione avvenuta durante l'apertura del container



Cause:

Evento termico in una singola cella → propagazione termica (thermal runaway)

Sensori non rilevarono con precisione la situazione interna

Moorabool BESS – Victoria, Australia (2021) (Victorian Big Battery)

Data: 30 luglio 2021

Tipo di batteria: Tesla Megapack (Li-ion)

Capacità: ~300 MW / 450 MWh (impianto completo)

Evento: Incendio in un container Tesla durante fase di testing

Durata: 3 giorni

Nessun ferito

Danni a uno o più container



Cause:

Probabile corto circuito interno durante il test

Bug nel software di controllo del BMS (Battery Management System)

→ 2. Distanze di sicurezza

Le distanze di sicurezza (interna, esterna e di protezione) devono essere calcolate tenendo conto della potenza installata all'interno dei BESS, della tipologia degli edifici presenti nelle vicinanze dell'impianto, di eventuali attività critiche o elementi sensibili posti in prossimità dell'impianto e di altre attività a rischio specifico.

Nella progettazione dei BESS, devono essere previste distanze di sicurezza e di protezione tali da:

1. evitare la propagazione di incendi ed esplosioni tra BESS adiacenti e/o danneggiamento degli impianti ausiliari;
2. evitare irraggiamento a dispositivi a corredo dei BESS come trasformatori, inverter, ecc.
3. evitare esposizioni ad agenti chimici tossici e/o cancerogeni per gli occupanti.

Le suddette distanze devono, in ogni caso, consentire l'operatività ai mezzi dei soccorritori pubblici all'interno del sito. Tali distanze devono essere computate a partire dagli elementi pericolosi.

L'area in pianta racchiusa dal perimetro del singolo container BESS non può essere maggiore di 32 m², corrispondente all'area in pianta di una container standard da 40 piedi.

Nella progettazione, sono rispettate le seguenti distanze di sicurezza:

ELEMENTO	Distanze di sicurezza (m)		
	Esterna	Protezione	Interna
CONTAINER BESS	20	6	4
ISOLE BESS	20	6	6

Tabella 1- Distanze di sicurezza

L'isola di BESS, replicata in maniera modulare, dovrà rispettare la minima distanza reciproca indicata in tabella 1.

Le suddette distanze di sicurezza dovranno essere aumentate qualora più dettagliate valutazioni di sicurezza svolte dai produttori/progettisti dei BEES impongano distanze maggiori.

S.3.8

Distanza di separazione per limitare la propagazione dell'incendio

1. L'interposizione della *distanza di separazione* d in spazio a cielo libero tra ambiti della stessa attività o verso altre attività consente di limitare la propagazione dell'incendio.
2. Ai fini della definizione di una soluzione conforme per la presente misura antincendio, il progettista impiega la procedura tabellare indicata al paragrafo S.3.11.2 oppure la procedura analitica del paragrafo S.3.11.3, imponendo ad un valore pari a $12,6 \text{ kW/m}^2$ la soglia E_{soglia} di irraggiamento termico incidente sul bersaglio prodotto dall'incendio della sorgente considerata.

Tale soglia è considerata adeguatamente conservativa per limitare l'innesco di qualsiasi tipologia di materiale, in quanto rappresenta il valore limite convenzionale entro il quale non avviene innesco del *legno* in aria stazionaria.

3. Il progettista è tenuto a verificare almeno le seguenti tipologie di *sorgenti* e *bersagli*:
 - a. opere da costruzione,
 - b. depositi di materiali combustibili, anche ubicati in *spazio a cielo libero*.
4. Qualora il carico d'incendio q_f nei compartimenti o dei depositi di materiali combustibili dell'attività sia $< 600 \text{ MJ/m}^2$, si considera *soluzione conforme* anche l'interposizione di *spazio scoperto* tra sorgente e bersaglio.

S.3.11.2

Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

1. La presente *procedura tabellare* consente di determinare la distanza di separazione che limita ad un valore E_{soglia} pari a 12,6 kW/m² l'irraggiamento termico incidente sul *bersaglio*, prodotto dall'incendio della *sorgente* considerata.
2. Il progettista determina gli *elementi radianti*, il *piano radiante* di riferimento per la distanza oggetto di analisi, le relative *piastre radianti* come descritto al paragrafo S.3.11.1.
3. Per l'i-esima piastra radiante, la distanza di separazione d_i è calcolata con la seguente relazione:

$$d_i = \alpha_i p_i + \beta_i \quad S.3-2$$

con:

d_i distanza di separazione [m]

p_i percentuale di foratura per l'i-esima piastra radiante

α_i, β_i coefficienti ricavati alternativamente dalle tabelle S.3-10 o S.3-11 in relazione al carico di incendio specifico q_f nella porzione d'edificio retrostante l'i-esima piastra radiante ed alle dimensioni della piastra radiante B_i ed H_i .

4. Qualora il compartimento retrostante l'i-esima piastra radiante sia dotato di misure di controllo dell'incendio di livello di prestazione IV (capitolo S.6), la relativa distanza di separazione d_i può essere dimezzata.
5. Ai fini della procedura tabellare, la *distanza di separazione* d in spazio a cielo libero tra sorgente e bersaglio è assunta pari al massimo dei valori delle distanze d_i ottenute per tutte le *piastre radianti* relative al *piano radiante* in esame.

S.3.11.3

Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione

3. La distanza d_i misurata tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata *separazione* se è verificata la seguente relazione:

$$F_{2-i} \cdot E_i \cdot \varepsilon_f < E_{soglia} \quad S.3-3$$

con:

F_{2-i} fattore di vista

E_i potenza termica radiante dovuta all'incendio convenzionale [kW/m²]

ε_f emissività della fiamma

E_{soglia} soglia di irraggiamento dell'incendio sul bersaglio [kW/m²]

4. Il *fattore di vista* F_{2-i} relativo a piastra radiante rettangolare e bersaglio posizionato sull'asse di simmetria normale alla piastra è calcolato secondo la seguente relazione:

$$F_{2-i} = 2/\pi \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \arctan \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \arctan \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \quad S.3-4$$

Supponendo che gli *elementi radianti* siano distribuiti verticalmente al centro della piastra radiante, si calcola:

$$X = \frac{B_i \cdot p_i}{2d_i}, Y = \frac{H_i}{2d_i} \quad S.3-5$$

con:

B_i larghezza i-esima piastra radiante [m]

H_i altezza i-esima piastra radiante [m]

p_i percentuale di foratura dell'i-esima piastra radiante

d_i distanza tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio [m]

5. La potenza termica radiante dell'incendio convenzionale E_i è imposta come segue in funzione del carico di incendio specifico q_f del compartimento retrostante l'i-esima piastra radiante:

se $q_f > 1200$ MJ/m²:

$$E_i = \sigma \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (1000 + 273,16)^4 = 149 \text{ kW/m}^2 \quad S.3-6$$

se $q_f \leq 1200$ MJ/m²:

$$E_i = \sigma \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (800 + 273,16)^4 = 75 \text{ kW/m}^2 \quad S.3-7$$

6. L'emissività della fiamma ε_f è ricavata dalla seguente relazione:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0,3 \cdot d_i} \quad S.3-8$$

CASO STUDIO

INCENDIO IN UN CONTAINER DI UN'ISOLA BESS

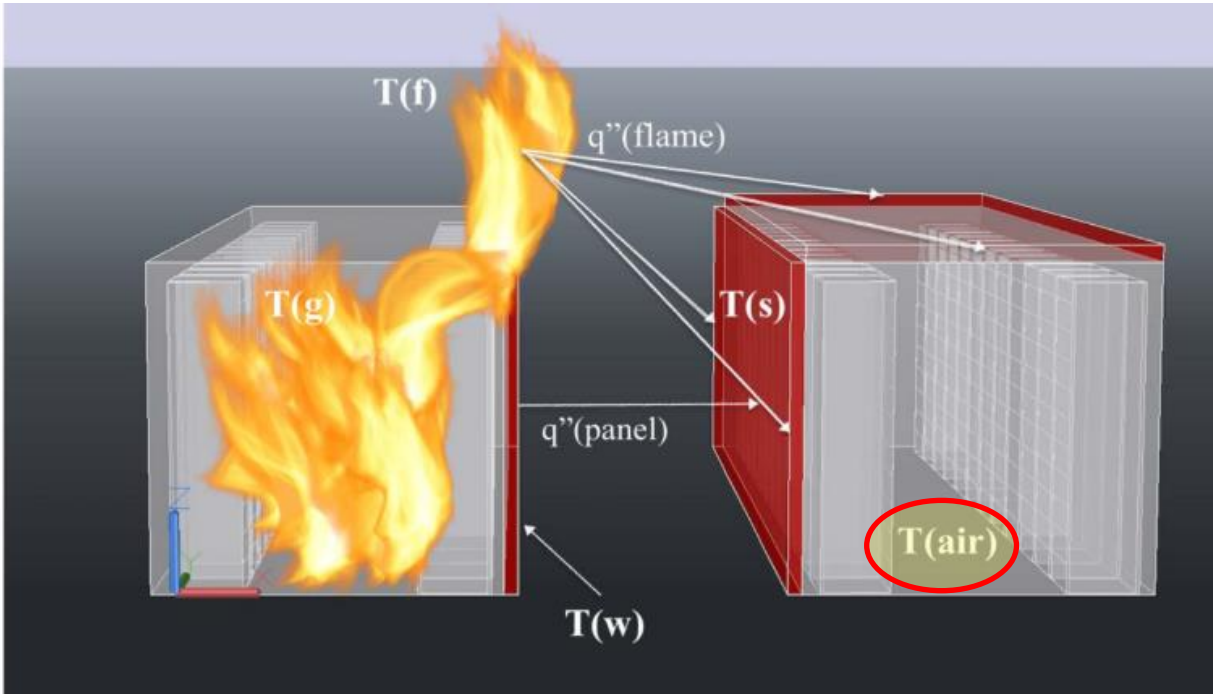


Figure 6 AES 30 MW (120 MWh) Li-Ion ESS Installation in San Diego, CA [19]



OBIETTIVO CASO STUDIO: Temperatura all'interno dei container

Il controllo della temperatura è una metodologia chiave per mitigare i rischi associati al runaway termico.



• **Intorno agli 80°C**, iniziano le prime reazioni nell'anodo (la parte negativa della batteria).

• **Tra 100°C e 120°C**, uno strato protettivo chiamato SEI si rompe. Questo fa sì che l'anodo e l'elettrolita (il liquido interno alla batteria) inizino a reagire tra loro.

• **Tra 120°C e 140°C**, il catodo (la parte positiva) entra in una fase di reazioni che producono molto calore e rilasciano ossigeno.

• **Tra 140°C e 180°C**, l'elettrolita si ossida (cioè brucia), e il catodo si decompone molto rapidamente (a una velocità di circa 100°C al minuto), peggiorando la situazione e aumentando il rischio di incendio o esplosione.

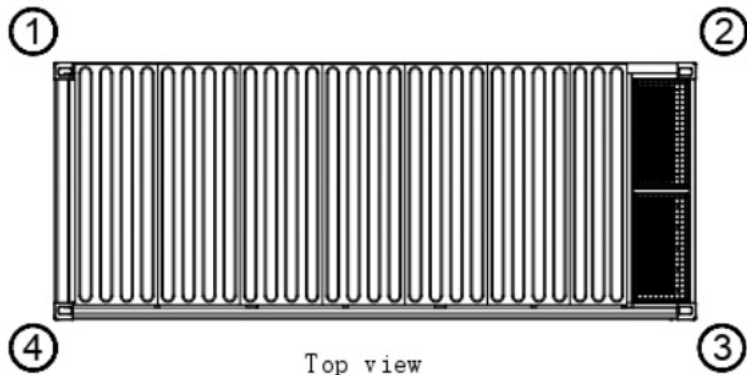
CASO STUDIO: Caratteristiche del container

Formato involucro

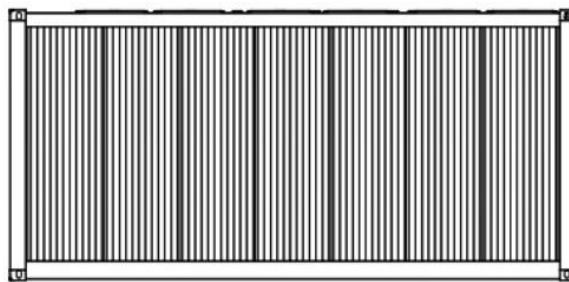
- 20 ft – high cube ISO HC; acciaio Corten verniciato RAL 9003, grado corrosione C4.
- Dimensioni esterne: **6.05 x 2.44 x 2.09 m** (20 ft)
- Peso a pieno carico: 43 t.

Batteria

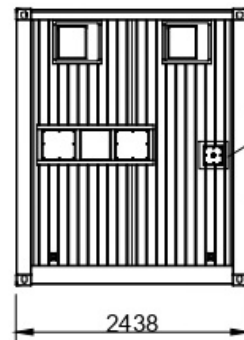
- Chimica **LFP (Litio-Ferro-Fosfato)**, celle prismatiche da **314 Ah**.
- Configurazione: 1P104S (pack) → 1P416S (rack). **12 rack, 4.7 MWh utili**.



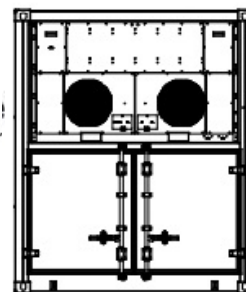
Top view



Back view



Left view



Right view

CASO STUDIO: Focolare di incendio

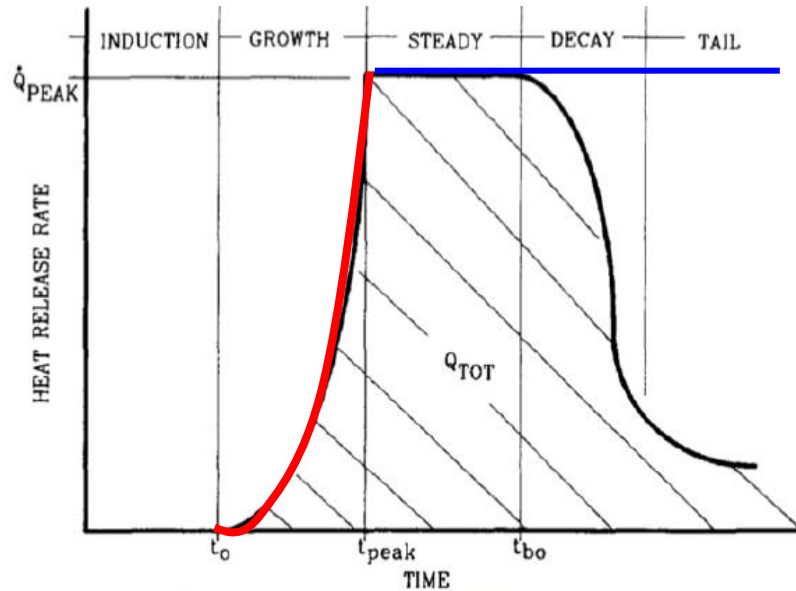
Chimica e scenario di incendio

- Innesco: **runaway termico** in una batteria.
- Rapido e incontrollato rilascio di energia (120 °C) e aumento della temperatura.
- Incendio e successiva **propagazione tra i moduli e il rack** a causa del trasferimento di calore per conduzione, convezione e irraggiamento.
- Crescita dell'incendio per superamento della temperatura che garantisce **stabilità alle batterie LFP**.
- Calore di combustione medio: **28 MJ/kg** [6].
- Tasso di perdita della massa della batteria: circa **0.0015 kg/s** [6,7].

Ventilazione e condizioni al contorno

- **Ventilazione forzata** attiva con finalità di raffreddamento.
- Tutte le batterie nel container BESS partecipano progressivamente all'incendio.
- HRR dipende anche dal rateo di ventilazione nel container.



CASO STUDIO: Focolare di incendioCella **LFP** (Litio-Ferro-Fosfato)Modalità di crescita: **media**Potenza di picco: circa **24 MW** (ventilazione forzata nel container)

Peak Heat Release Rate (Mowrer & Williamson, 1990)

System Size	$\dot{V}_{air}$	ρ_{air}	$\dot{m}_g$	$\Delta H_{c,eff}$	Peak HRR
500 kWh	0.076 m ³ /s	1.2 kg/m ³	0.0912 kg/s	28 MJ/kg	2.55 MW
1 MWh	0.151 m ³ /s	1.2 kg/m ³	0.1812 kg/s	28 MJ/kg	5.07 MW
2 MWh	0.302 m ³ /s	1.2 kg/m ³	0.3624 kg/s	28 MJ/kg	10.15 MW
3 MWh	0.453 m ³ /s	1.2 kg/m ³	0.5436 kg/s	28 MJ/kg	15.22 MW
4 MWh	0.604 m ³ /s	1.2 kg/m ³	0.7248 kg/s	28 MJ/kg	20.29 MW
5 MWh	0.755 m ³ /s	1.2 kg/m ³	0.9060 kg/s	28 MJ/kg	25.37 MW

$$\dot{Q}_{peak} = \Delta H_{c,eff} * \dot{m}$$

 $\dot{Q}_{peak}$ = Peak Heat Release Rate (kW) ΔH_c = Effective Heat of Combustion (kJ/kg) $\dot{m}$ = Mass flow rate (mixed gas layer) (kg/s)

$$\dot{m} = \dot{m}_{air} + \dot{m}_{fuel} = (\rho_{air} * \dot{V}) + MLR_{fuel}$$

 ρ_{air} = density of air (kg/m³) $\dot{V}$ = Volumetric flow rate (m³/s)

MLR = Mass loss rate of fuel (burning rate of fuel) (kg/s)

M.1.9

Criteri di scelta e d'uso dei modelli e dei codici di calcolo

1. Il professionista antincendio può optare tra i modelli di calcolo che le conoscenze tecniche di settore mettono a disposizione, sulla base di valutazioni inerenti la complessità del progetto.
2. Il professionista antincendio che adotta modelli di calcolo sofisticati, deve possedere una particolare competenza nel loro utilizzo, nonché un'approfondita conoscenza sia dei fondamenti teorici che ne sono alla base che della dinamica dell'incendio.
3. Allo stato attuale i modelli più frequentemente utilizzati sono:

a. modelli analitici,

Nota Ad esempio, le correlazioni per i modelli di incendio localizzati o *fire plumes* di Zukoski, Heskestad, McCaffrey, Thomas, Hasemi e Nishiata, Alpert, ...

b. modelli numerici tra cui:

- i. modelli di simulazione dell'incendio a zone per ambienti confinati,

Nota Ad esempio, codici di calcolo CFAST, Ozone, ...

- ii. modelli di simulazione dell'incendio di campo,

Nota Ad esempio, codici di calcolo CFX, FDS, Fluent, ...

- iii. modelli di simulazione dell'esodo,

Nota Ad esempio, codice di calcolo FDS+EVAC, ...

- iv. modelli di analisi termostrutturale.

Nota Ad esempio, codici di calcolo Abaqus, Adina, Ansys, Diana, Safir, ...

CASO STUDIO: Modelli analitici***Variazione di temperatura nella parete (Fundamentals of Fire Phenomena, Quintiere)***

$$\frac{dT_{w,1}}{dt} = \frac{1}{\rho_s c_s \Delta x A_w} [\varepsilon \sigma (T_g^4 - T_w^4) + h_{hot} A_w (T_g - T_w) - h_{\infty} A_w (T_w - T_{\infty})] \quad (21)$$

$dT_{w,1}/dt$ = change in wall temperature above ambient over time

ρ_s = density of steel panel (kg/m^3)

c_s = specific heat of steel ($kJ/kg \cdot K$)

Δx = thickness of steel panel (m)

A_w = Surface Area of Container Surfaces (m^2)

ε = emissivity (dimensionless)

σ = Stefan – Boltzman Constant ($5.67e^{-11} kW/m^2 K^4$)

T_g = Temperature of Hot Gas Layer (K)

T_w = Temperature of Heated Steel Panel (Wall) (K)

h_{hot} = heat transfer coefficient (hot) ($kW/m^2 K$)

h_{∞} = heat transfer coefficient (ambient) ($kW/m^2 K$)

$$h_{hot} = \sqrt{\frac{kpc}{t}}$$

k = thermal conductivity ($kW/m \cdot K$)

p = density of steel (kg/m^3)

c = specific heat ($kJ/kg \cdot K$)

t = time (s)

$$h_{\infty} = \frac{k}{\Delta x}$$

k = thermal conductivity

Δx = thickness of steel panel

CASO STUDIO: Modelli analitici***Variazione della temperatura nello strato di gas caldi (Metodo di McCaffrey, Quintiere e Harkleroad)***

$$\frac{\Delta T_g}{T_\infty} = \frac{\frac{\dot{Q}}{\dot{m}_g c_p T_\infty}}{1 + \frac{h_k A}{\dot{m}_g c_p}}$$

$\frac{\Delta T_g}{T_\infty}$ = Change in Temperature of the Hot Gas Layer over time

$\dot{Q}$ = Heat Release Rate (kW)

$\dot{m}_g$ = mass flow rate of gas layer (kg/s)

c_p = specific heat of air $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)$

T_∞ = Ambient Temperature (K)

h_k = heat transfer coefficient (kW/m²K)

A_T = Surface Area of Compartment Boundaries

CASO STUDIO: Risultati modelli analitici

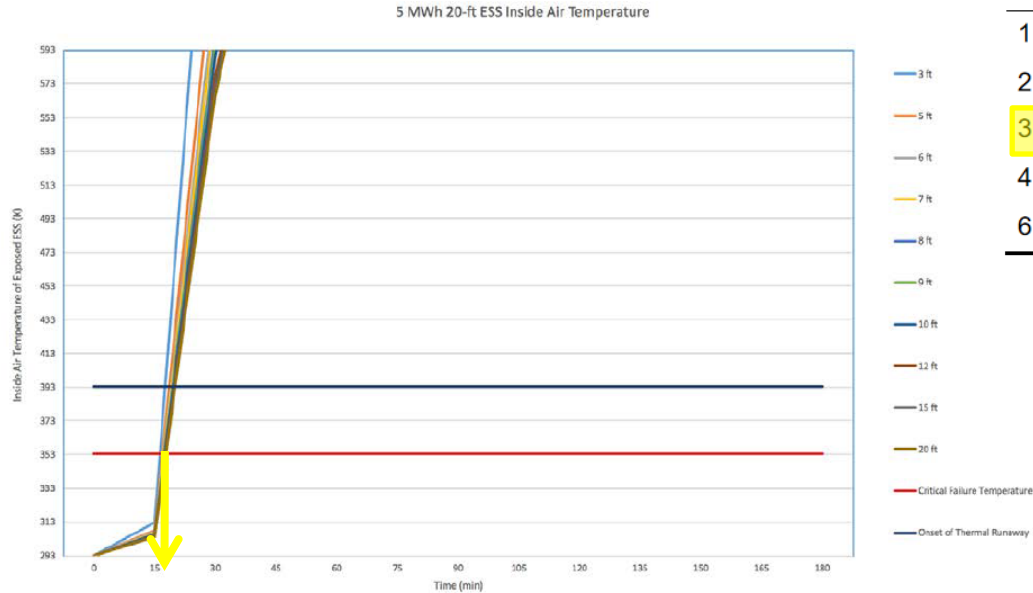


Figure 24 - Interior Temperature Profile of Exposed 20 ft ISO-Container (5 MWh)

Container con pareti in lamiera metallica

Distanza tra i container BESS da 20 ft	Tempo per raggiungere 80 °C nel container bersaglio
1 m	20 min
2 m	24 min
3 m	26 min
4.5 m	30 min
6 m	33 min

“A Graduate Independent Study Research Project”



CASO STUDIO: Costruzione modello numerico di simulazione dell'incendio

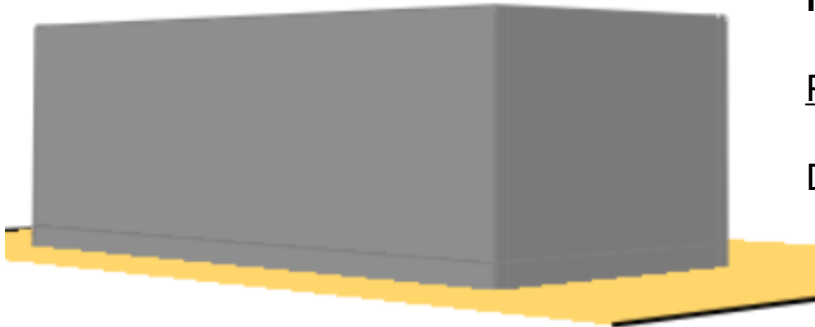


CONTAINER

20 ft – high cube ISO HC; acciaio Corten verniciato RAL 9003, grado corrosione C4.

Dimensioni esterne: 6.05 x 2.44 x 2.09 m (20 ft)

Peso a pieno carico: 43 t.

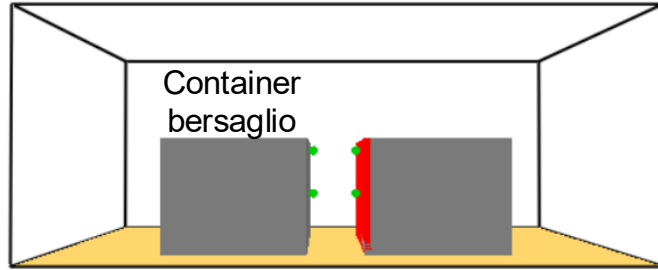


MODELLO IN FDS DEL CONTAINER

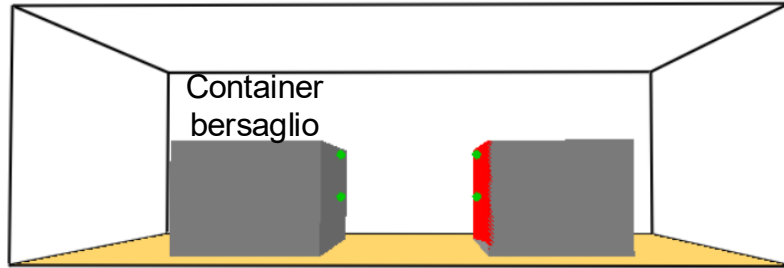
Parete sandwich (lana minerale) 10 cm

Dimensioni esterne: 6.0 x 2.5 x 2.0 m (20 ft)

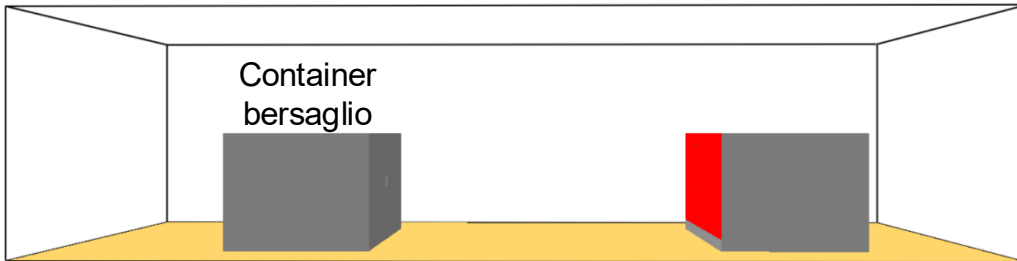
CASO STUDIO: Modello numerico di simulazione dell'incendio



Distanza di sicurezza di 1 m

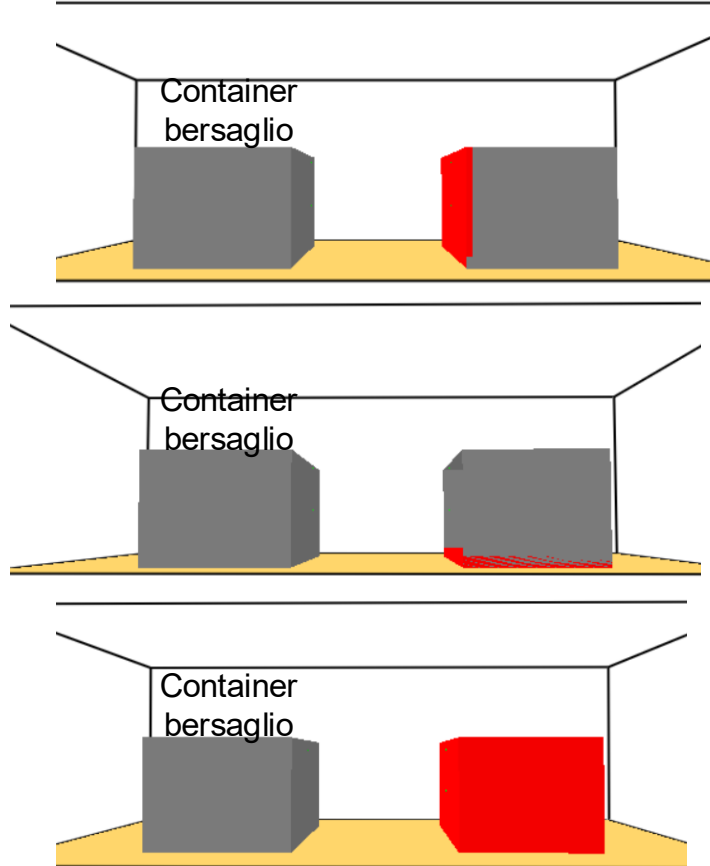


Distanza di sicurezza di 3 m



Distanza di sicurezza di 6 m

CASO STUDIO: Modello numerico di simulazione dell'incendio – analisi di sensibilità



$$\text{HRR}_{\text{MAX}} = 24 \text{ MW}$$

$$\text{HRR}_{\text{PUA}} = 2000 \text{ kW/m}^2$$

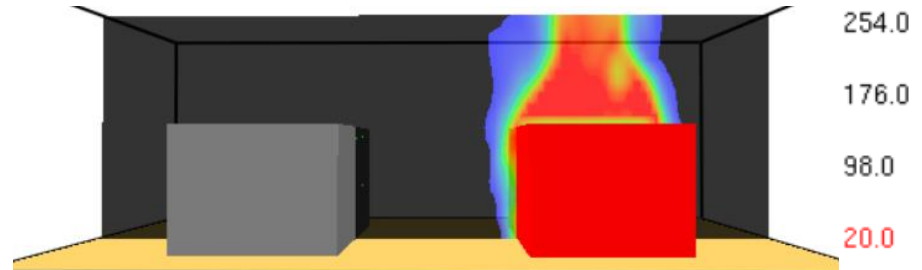
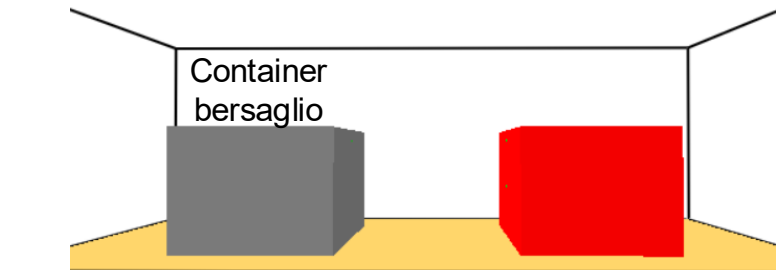
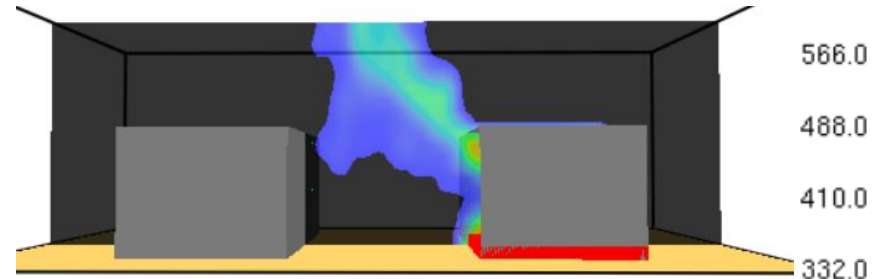
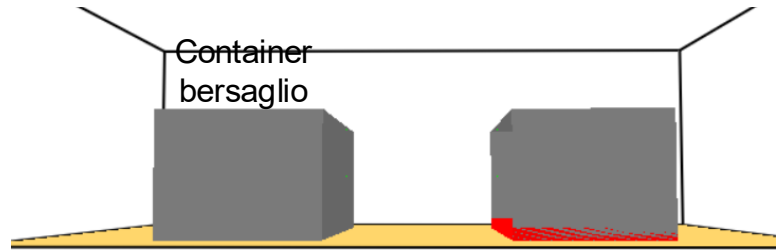
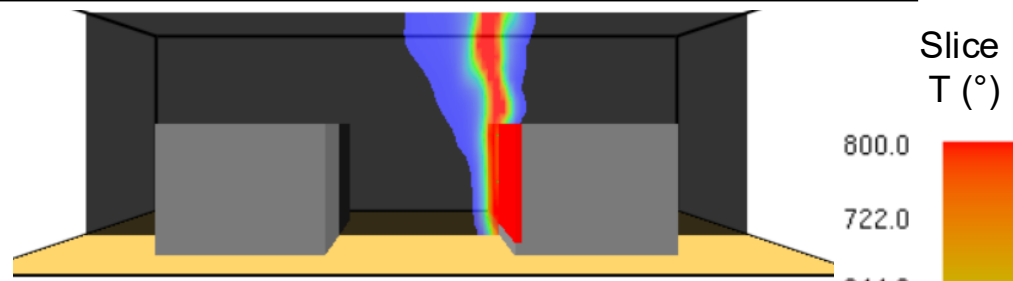
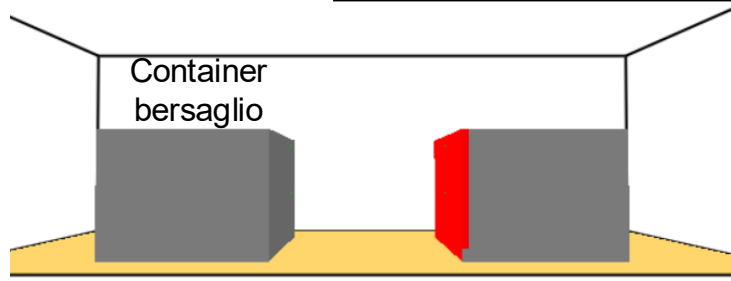
$$\text{HRR}_{\text{MAX}} = 24 \text{ MW}$$

$$\text{HRR}_{\text{PUA}} = 1600 \text{ kW/m}^2$$

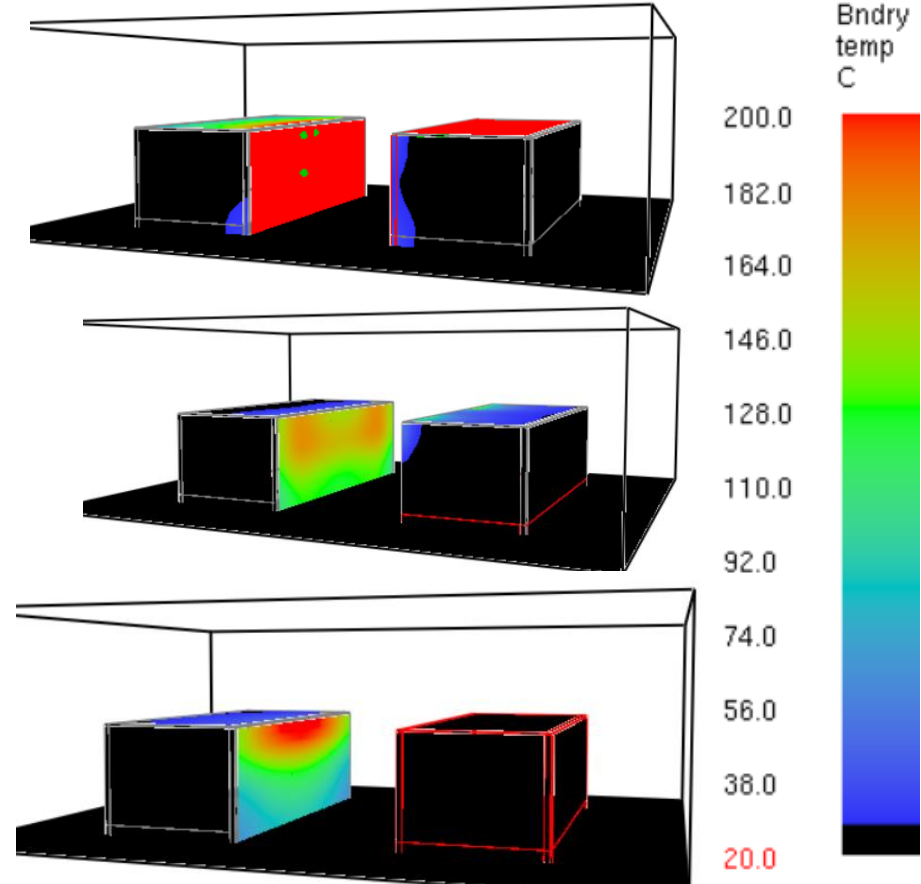
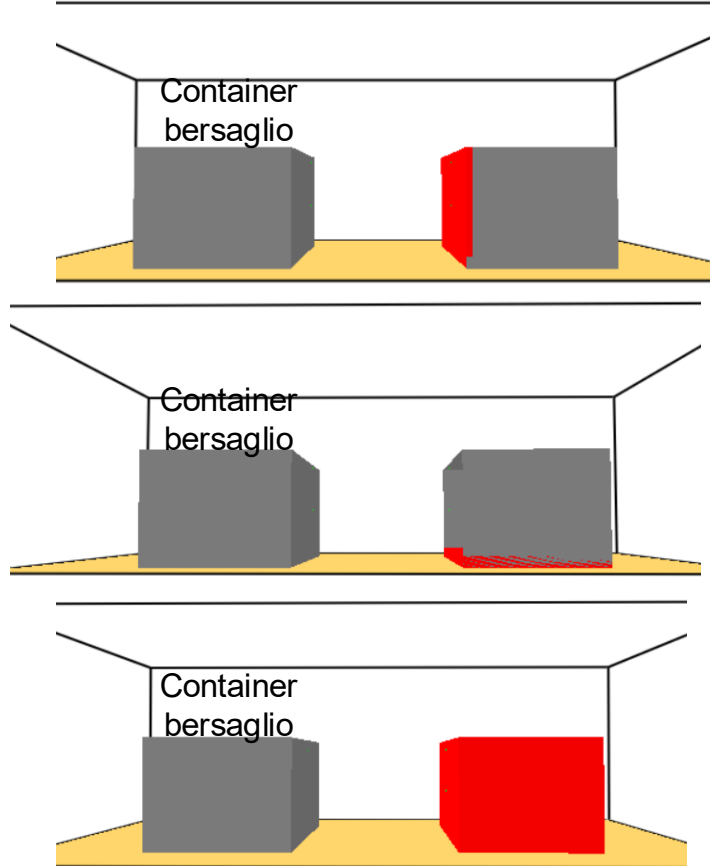
$$\text{HRR}_{\text{MAX}} = 24 \text{ MW}$$

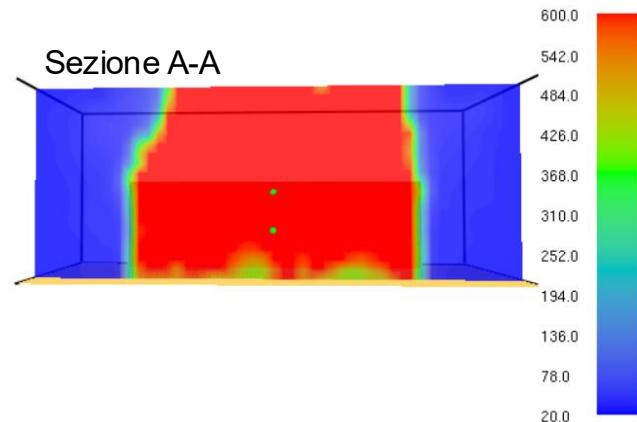
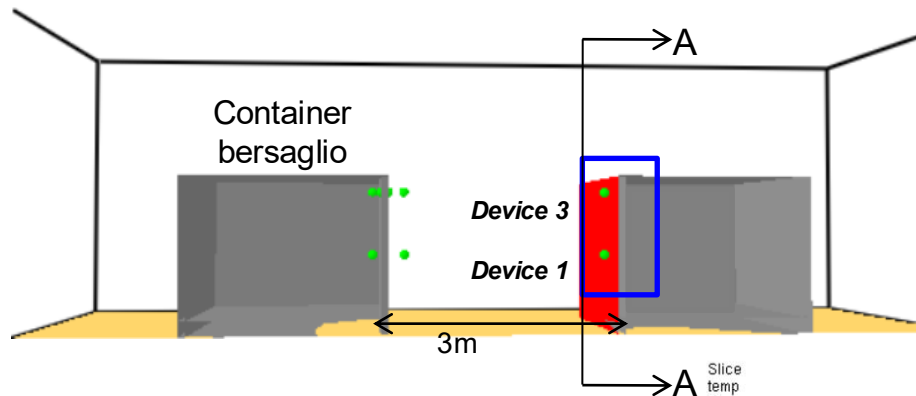
$$\text{HRR}_{\text{PUA}} = 350 \text{ kW/m}^2$$

CASO STUDIO: Modello numerico di simulazione dell'incendio – analisi di sensibilità

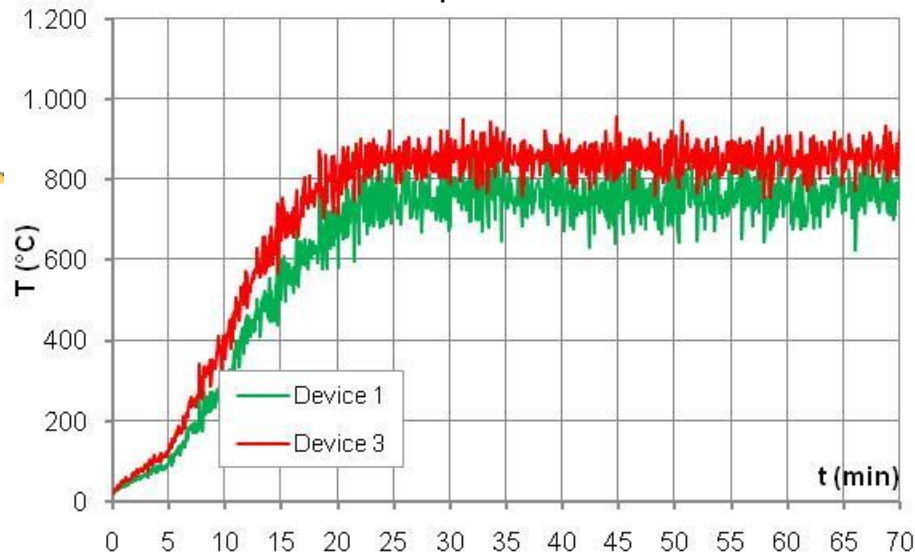


CASO STUDIO: Modello numerico di simulazione dell'incendio – analisi di sensibilità

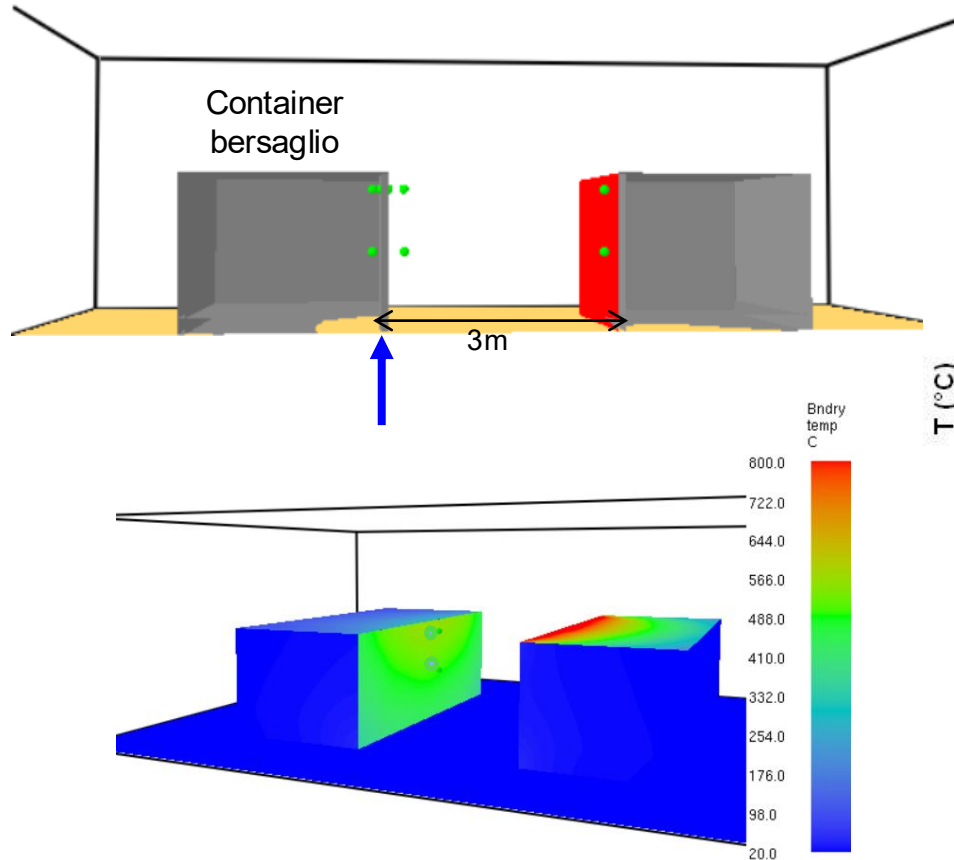


CASO STUDIO: Modello numerico di simulazione dell'incendio – Risultati

Temperatura gas caldi in prossimità della superficie emittente

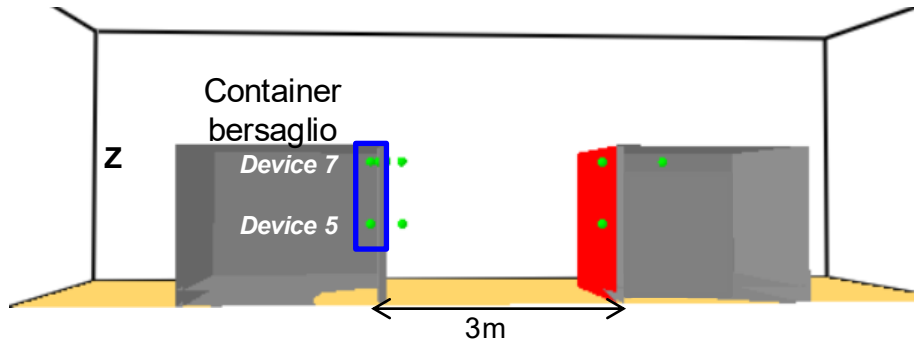


CASO STUDIO: Modello numerico di simulazione dell'incendio – Risultati

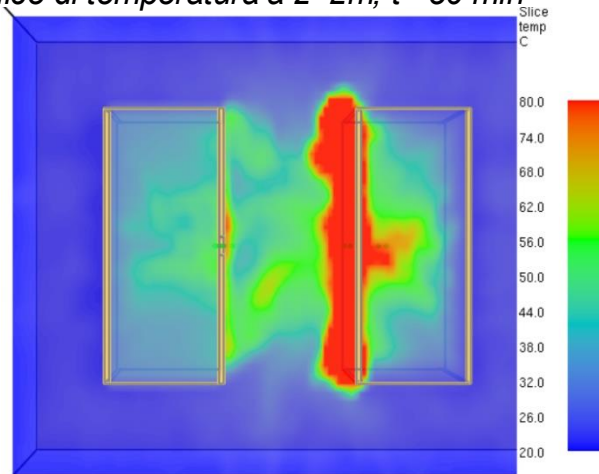


Temperatura della parete faccia esterna e interna del container bersaglio

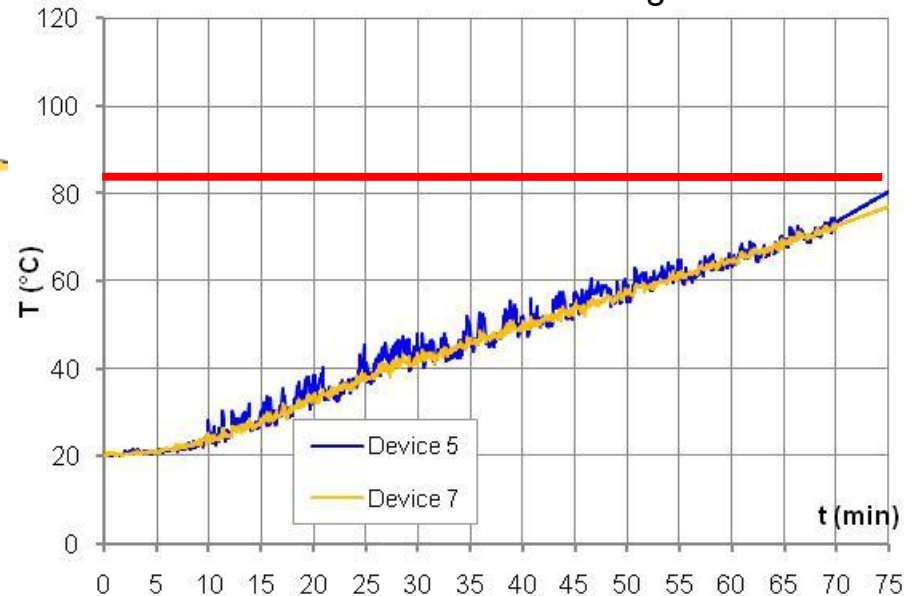


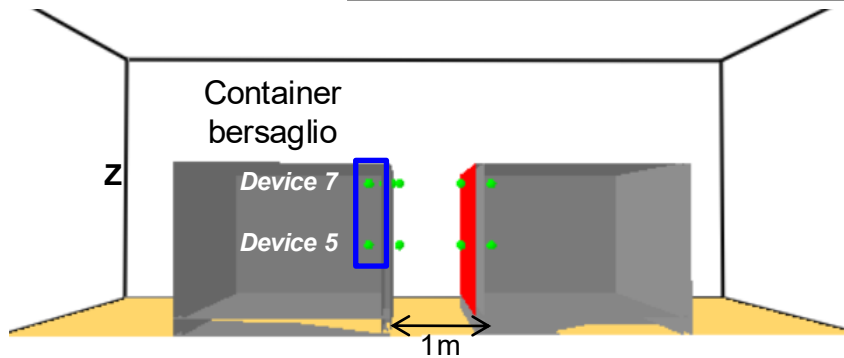
CASO STUDIO: Modello numerico di simulazione dell'incendio – Risultati

Slice di temperatura a $z=2m$, $t=50\text{ min}$

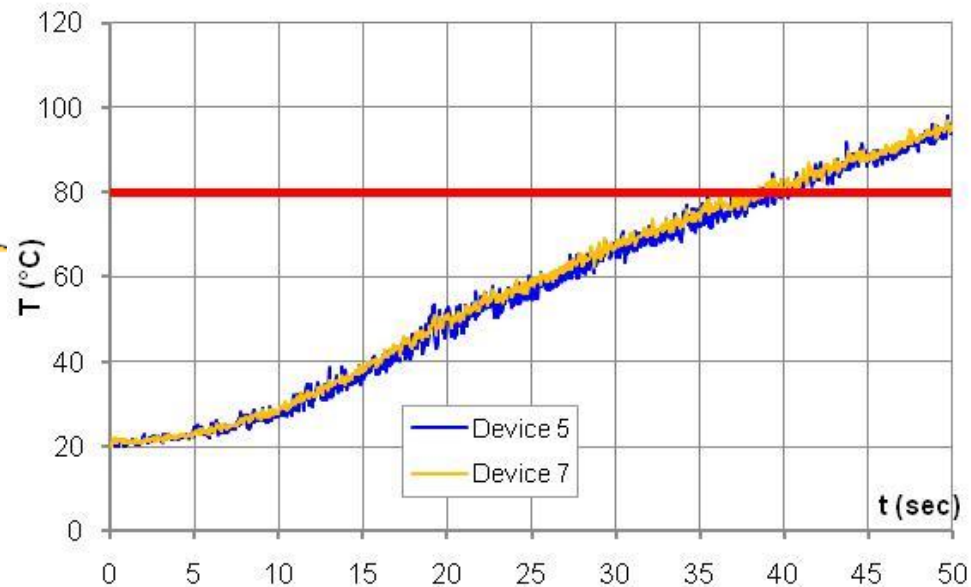
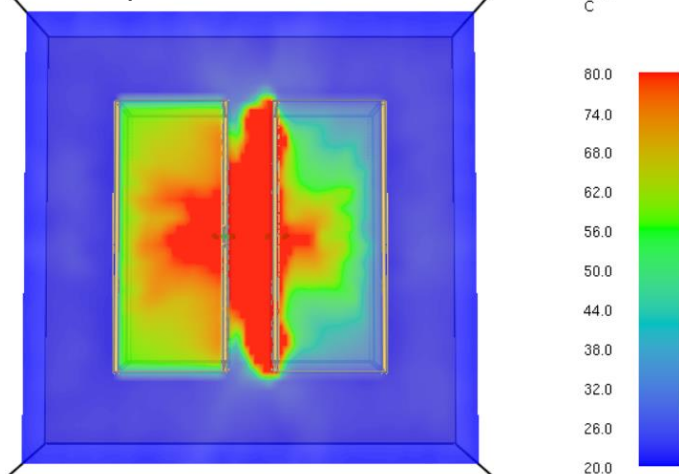


Temperatura gas caldi interni
nel container bersaglio



CASO STUDIO: Modello numerico di simulazione dell'incendio – Risultati

Slice di temperatura a $z=2m$, $t=50\text{ min}$



CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

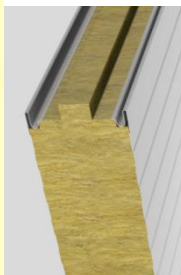
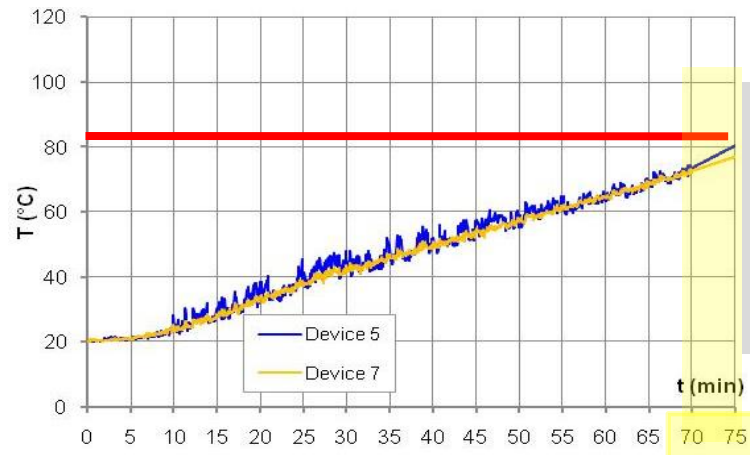
•Attraverso modelli analitici e numerici sono state stimate le **tempistiche di raggiungimento della temperatura di “warning” di 80°C all’interno di un container bersaglio**, non considerando nessuna misura attiva.

•**Modelli analitici** con pareti in lamiera metallica, forniscono una finestra temporale di intervento tra i 20 e i 33 minuti per distanze di sicurezza da 1m a 6m.

Distanza tra i container BESS da 20 ft	Tempo per raggiungere 80 °C nel container bersaglio
1 m	20 min
2 m	24 min
3 m	26 min
4.5 m	30 min
6 m	33 min



•**Modelli numerici** con codice di calcolo fluidodinamico FDS, che modellano il container composto da pareti in lana minerale (10cm), danno tempi più lunghi.



•**Le distanze di sicurezza prescritte** dalla linea guida sono **più che adeguate** nel caso in cui i container siano realizzate da **pannelli sandwich**, garantendo più di un’ora per intervenire e mantenere “confinato l’incendio”.

- **Evento termico autoalimentato**, causato da **fenomeni di runaway termico**: una reazione a catena che avviene all'interno delle celle della batteria, senza necessità di ossigeno esterno. Questo significa che **anche in assenza di aria**, una batteria può continuare ad autoalimentare l'incendio e a generare calore, rendendo estremamente difficile l'estinzione.
- Mentre gli incendi tradizionali generano prevalentemente fumo, anidride carbonica e monossido di carbonio, gli incendi BESS rilasciano anche **gas altamente tossici e infiammabili**, come idrogeno, fluoruri e solventi organici. Questo comporta un **rischio esplosivo significativo**, soprattutto in ambienti chiusi o scarsamente ventilati, dove i gas possono accumularsi.
- Dal punto di vista della **gestione dell'emergenza**, ciò che rende critici gli incendi BESS è la loro **durata e imprevedibilità**. Anche dopo l'apparente estinzione, una batteria può **riaccendersi spontaneamente** ore o giorni dopo l'evento iniziale, mettendo a rischio soccorritori e impianti.