

RELAZIONE TECNICA - FIRE ENGINEERING

Allegata alla pratica di esame progetto

VVF – Piacenza – Ufficio Prevenzione Incendi

(Art. 7 del D.P.R. – 1 agosto 2011, n° 151 – D.M. Interno 03 agosto 2015 – Modificato dal D.M. 18 ottobre 2019)

Pratica n°: _____ – VVF Piacenza

Comune: **Castel San Giovanni (PC)**
Strada provinciale "A21"

Attività: **"DEPOSITO Y"**
Attività Principale – 70.2.C
(Locali adibiti a depositi con quantitativi di merci e materiali combustibili superiori complessivamente a 5.000 kg. di superficie lorda superiore a 3.000 mq)

Oggetto: Adozione soluzione alternativa per le seguenti strategie:
S.3 (Compartimentazione); **S.4** (lunghezze dei percorsi di esodo); **S.8** (sistema di smaltimento di fumi e calore come soluzione alternativa liv. II della S.8);
mediante approccio tecnico **Fire Engineering**

Responsabile dell'attività:
Bertola Elia
Valtidone s.p.a.
Strada 3, Palazzo B3
20090 Assago (MI)

timbro e firma

Responsabile della progettazione antincendio generale
Professionista antincendio per l'ingegneria della sicurezza antincendio:

Per. Ind. Roberto Carmassi
Iscritto al Collegio dei Periti di Pisa con il n° 473
Abilitato ai sensi della legge n° 818/84 ed iscritto
nell'elenco del Min. Interno con il n° PI 00473 P00084
Via di Tegulaia, 3/c – 56121 PISA
tel.: 050 – 982197 fax: 050 – 3161602

timbro e firma



Data: 23/11/2020

Sommario

1	SOMMARIO TECNICO	3
1.1	Informazioni richieste dal punto M.1.6 del Codice P.I.....	3
1.2	Elenco delle verifiche in progetto.....	4
2	METODOLOGIA PROGETTUALE E SOFTWARE CHE SI INTENDE UTILIZZARE	4
2.1	Software utilizzato per le modellazioni	5
2.2	Validazione del software e del modello	5
3	PARAMETRI DI PROGETTO	6
3.1	Compartimento C01 (deposito intensivo)	6
3.2	Soglie di prestazione per la salvaguardia delle persone.....	7
3.3	Stima della curva RHR	8
3.4	Prodotti della combustione.....	9
3.5	Modellazione della curva RHR.....	9
4	IMPIANTI DI PROTEZIONE ATTIVA.....	10
5	CRITERI ASET - RESET.....	11
6	CARATTERISTICHE DEL COMPARTIMENTO "C01"	15
7	SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO	18
7.1	Scenario S1.....	19
7.2	Scenario S2	33
7.3	Scenario S3	48
8	CALCOLO DEI TEMPI DI ESODO (ASET – RSET).....	63
9	CONCLUSIONI.....	64

1 SOMMARIO TECNICO

1.1 Informazioni richieste dal punto M.1.6 del Codice P.I.

Di seguito si riportano le informazioni richieste dal punto M.1.6 del Codice di P.I.

- a) Indicazione del responsabile dell'attività:
Bertola Elia - legale della Valtidone s.p.a.
Strada 3, Palazzo B3, n. 6
20090 Assago (MI)
PEC: ENG2K@LEGALMAIL.IT
- b) Individuazione del responsabile della progettazione antincendio generale:
Per. Ind. Roberto Carmassi
Soc. EPIsrl
Via Di Tegulaia 3/C
56121 Pisa
mail roberto.carmassi@episrl.com
PEC episrl@arubapec.it
- c) Individuazione del professionista antincendio che utilizza l'ingegneria della sicurezza antincendio e che definisce le specifiche misure di gestione della sicurezza antincendio:
Per. Ind. Roberto Carmassi
Soc. EPIsrl
Via Di Tegulaia 3/C
56121 Pisa
mail roberto.carmassi@episrl.com
PEC episrl@arubapec.it

Finalità per le quali è applicato il metodo prestazionale:

- **(S3)** Unico compartimento antincendio di superficie superiore a quella massima ammessa;
- **(S4)** Presenza di percorsi di esodo con lunghezza superiore a quella massima ammessa; verifica delle soglie di prestazione per la sicurezza delle persone (capitolo M.3 del Codice) durante l'incendio di progetto nei vari scenari di incendio, mediante il criterio ASET/RSET nei percorsi di esodo (di lunghezza superiore al limite delle soluzioni conformi del capitolo S.4);
- **(S8)** Valutazioni sull'efficacia delle superfici di smaltimento fumo e calore con riferimento agli obiettivi relativi alla sicurezza delle persone (strategia S.8 del Codice).

Progettazione prestazionale da applicare al solo compartimento di deposito **C01**:

con riferimento alle varie strategie del Codice P.I., saranno sviluppati con l'approccio prestazionale le strategie **S.3** (Compartimentazione); **S.4** (lunghezze dei percorsi di esodo); **S.8** (sistema di smaltimento di fumi e calore come soluzione alternativa dei liv. II della S.8).
Le restanti strategie, seppur nell'ambito di un progetto antincendio organico, non richiedono particolari verifiche con il metodo prestazionale.

1.2 Elenco delle verifiche in progetto

Le verifiche che verranno sviluppate ed illustrate nel progetto che viene sottoposto a valutazione della conformità antincendio sono quelle già elencate al paragrafo precedente.

2 METODOLOGIA PROGETTUALE E SOFTWARE CHE SI INTENDE UTILIZZARE

Il progetto è stato sviluppato secondo le regole del Codice di P.I. allegato al D.M. 3 agosto 2015, modificato dal D.M. 18 ottobre 2019.

Nella figura seguente si riporta i metodi di progettazione, che contempla la FSE tra i metodi per le soluzioni alternative.



G.2.7 Metodi di progettazione della sicurezza antincendio	
<p>1. La tabella G.2-1 elenca i metodi per la progettazione della sicurezza antincendio impiegabili da parte di <i>progettista</i> per:</p> <ol style="list-style-type: none"> la <i>verifica delle soluzioni alternative</i> al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato <i>livello di prestazione</i> (paragrafo G.2.6.5.2); la <i>verifica del livello di prestazione</i> attribuito alle <i>misure antincendio</i> al fine di dimostrare il raggiungimento dei pertinenti obiettivi di sicurezza antincendio (paragrafo G.2.6.4). 	
Metodi	Descrizione e limiti d'applicazione
Applicazione di norme o documenti tecnici	Il <i>progettista</i> applica norme o documenti tecnici adottati da organismi europei o internazionali, riconosciuti nel settore della sicurezza antincendio. Tale applicazione, fatti salvi gli obblighi connessi all'impiego di prodotti soggetti a normativa comunitaria di armonizzazione e alla regolamentazione nazionale, deve essere attuata nella sua completezza, ricorrendo a soluzioni, configurazioni e componenti richiamati nelle norme o nei documenti tecnici impiegati, evidenziandone specificatamente l'idoneità, per ciascuna configurazione considerata, in relazione ai profili di rischio dell'attività.
Soluzioni progettuali che prevedono l'impiego di prodotti o tecnologie di tipo innovativo	L'impiego di prodotti o tecnologie di tipo <i>innovativo</i> , frutto della evoluzione tecnologica, è consentito in tutti i casi in cui l'idoneità all'impiego possa essere attestata dal <i>professionista antincendio</i> , in sede di verifica ed analisi sulla base di una valutazione del rischio connessa all'impiego dei medesimi prodotti o tecnologie, supportata da pertinenti certificazioni di prova riferite a: <ul style="list-style-type: none"> • norme o specifiche di prova nazionali; • norme o specifiche di prova internazionali; • specifiche di prova adottate da laboratori a tale fine autorizzati.
Ingegneria della sicurezza antincendio	Il <i>professionista antincendio</i> applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio, secondo procedure, ipotesi e limiti indicati in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3 oppure in base a principi tecnico-scientifici riconosciuti a livello nazionale o internazionale.
Prove sperimentali	<p>Il <i>professionista antincendio</i> esegue prove sperimentali in scala reale o in scala adeguatamente rappresentativa, finalizzata a riprodurre ed analizzare dal vero i fenomeni (es. chimico-fisici e termodinamici, esodo degli occupanti, ...) che caratterizzano la problematica oggetto di valutazione avente influenza sugli obiettivi di prevenzione incendi.</p> <p>Le prove sperimentali sono condotte secondo protocolli standardizzati oppure condivisi con la Direzione centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco.</p> <p>Le prove sono svolte alla presenza di rappresentanza qualificata del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco, su richiesta del responsabile dell'attività.</p> <p>Le prove devono essere opportunamente documentate. In particolare i rapporti di prova dovranno definire in modo dettagliato le ipotesi di prova ed i limiti d'utilizzo dei risultati. Tali rapporti di prova, ivi compresi filmati o altri dati monitorati durante la prova, sono messi a disposizione del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco.</p>
Tabella G.2-1: Metodi di progettazione della sicurezza antincendio	

2.1 Software utilizzato per le modellazioni

Il software di calcolo utilizzato è un modello di campo, “*Fire Dynamics Simulator*” (FDS), sviluppato dalla Fire Research Division presso il Building and Fire Research Laboratory (BFRL) del National Institute of Standards and Technology (NIST).

Nelle valutazioni eseguite con i modelli di campo l’ambiente da esaminare viene diviso in un gran numero di volumi elementari (celle); il modello poi, per prevedere lo sviluppo dell’incendio, risolve le equazioni fondamentali dell’energia, della massa, della quantità di moto (si tratta di equazioni non lineari, parzialmente differenziali, tridimensionali e funzioni del tempo, note come equazioni di Navier-Stokes) all’interno di ciascuna cella elementare, tenendo conto delle variazioni che intervengono in ciascuna di essi per effetto di cambiamenti che si hanno in quelli limitrofi, agendo in modo iterativo.

I principali pregi della fluidodinamica computazionale risiedono nella sua estrema flessibilità che permette di trattare geometrie complesse, con la possibilità di descriverle in minuzioso dettaglio, tramite la costruzione di griglie molto particolareggiate, nonché di imporre una tipologia di condizioni al contorno molto diversificata; in aggiunta, si possono simulare i fenomeni turbolenti connessi con la propagazione e dispersione dei prodotti della combustione.

Il modello FDS è in grado di calcolare e, conseguentemente, fornire come dati di uscita i valori di tutte le variabili, scalari e vettoriali, calcolate in ciascuno dei volumi del dominio, utili alla comprensione dei fenomeni ed all’analisi degli effetti provocati dall’incendio; ad esempio, possono essere conosciuti, a prefissati intervalli di tempo, i valori di temperatura, velocità, concentrazione dei prodotti della combustione, visibilità, pressione, tempo di attivazione di erogatori sprinkler e di rivelatori di calore o di fumo, flussi di massa e di energia, ecc..

Per le modellazioni di incendio è stato utilizzato un software commerciale basato sul motore di calcolo FDS, denominato: **CPI win FSE – BM Sistemi**.

2.2 Validazione del software e del modello

Validazione generale di FDS

Il codice di calcolo FDS è ormai dotato di numerose e prestigiose conferme derivanti da prove al calorimetro e da prove in scala reale, per cui esso risulta validato e la sua affidabilità è universalmente riconosciuta, nell’ambito del campo di applicazione dello stesso.

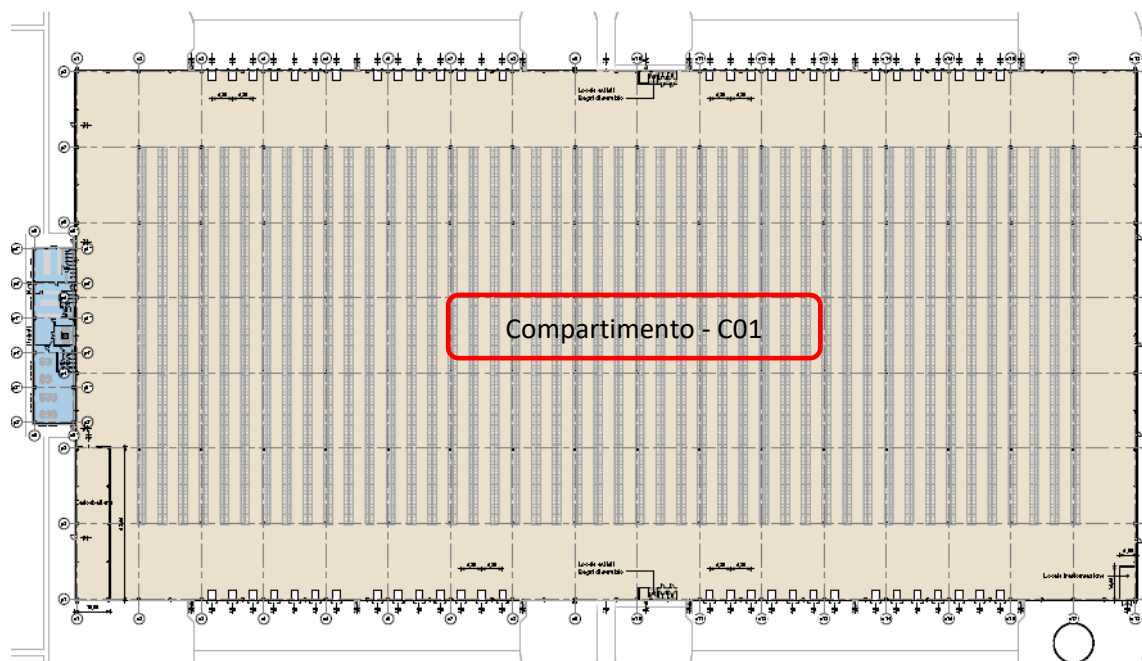
3 PARAMETRI DI PROGETTO

3.1 Compartimento C01 (deposito intensivo)

C01 Compartimento destinato a deposito e smistamento merci:

Piano terra: 44.400 mq
Altezza interna: 13,50 m (media)
Altezza stoccaggio porta pallets: 12,00 m (circa)

Strategie compartimento C01 Att. 70.2.C - deposito	Livello di prestazione	Ingegneria della sicurezza antincendio
S.1 Reazione al fuoco vie di esodo	I	
S.2 Reazione al fuoco altri locali	II	
S.3 Compartimentazione	II	X
S.4 Esodo	I	X
S.5 Gestione della sicurezza antincendio	II	
S.6 Controllo dell'incendio	IV	
S.7 Rivelazione e allarme	III	
S.8 Controllo di fumi e calore	II	X
S.9 Operatività antincendio	III	
S.10 Sicurezza impianti tecnologici	I	



Compartimento – C01 – Deposito Intensivo

3.2 Soglie di prestazione per la salvaguardia delle persone

In relazione agli obiettivi di sicurezza individuati, nella presente sezione sono indicati quali sono i parametri significativi presi a riferimento per garantire il soddisfacimento degli stessi obiettivi, espressi in valori numerici.

I parametri prevedono:

- Livelli di oscuramento della visibilità da fumo;
- Livelli di concentrazione gas tossici;
- Livelli di temperatura massima di esposizione;
- Livelli di irraggiamento termico massimo.

Di seguito si riporta la tabella relativa alle soglie di prestazione come previsto dal Nuovo Codice di Prevenzione incendi.

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m²: 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori n locali di superficie lorda < 100m²: 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571:2012, limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapaci al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	-
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m²	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m²	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.

Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato

Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato

- **Livelli di visibilità:**
la visibilità ammessa lungo le vie di esodo è stata definita per un certo periodo temporale e relativamente alla quota cui sono posizionate le segnalazioni che indicano il percorso d'esodo. Al fine della presente analisi è stata ritenuta ammissibile una visibilità di 10 m per tutto il tempo necessario al completo esodo.
- **Livelli di temperatura:**
Il livello di temperatura massima ammissibile varia in funzione degli obiettivi antincendio (esodo degli occupanti, permanenza del personale addetto per il tempo necessario alla messa in sicurezza degli impianti, intervento dei soccorritori). Il valore di riferimento assunto per considerare in sicurezza le persone è di 60 °C per il tempo di esodo.
- **Livelli di concentrazione delle specie tossiche:**
Non è stata effettuata un'analisi delle concentrazioni delle specie tossiche in quanto il modello utilizzato, come peraltro altri modelli, permette il calcolo del FED relativo alle specie tossiche, considerando esclusivamente il contributo del monossido di carbonio CO e dell'anidrite carbonica CO₂.
Cautelativamente è stata imposta, nei percorsi di esodo, un'altezza dei fumi non inferiore a 1.8 dal pavimento, indipendentemente dalla composizione dei fumi stessi. Come indicato in letteratura (rif. L.C. del M.I. DCPST n. 427 del 31 marzo 2008) impostando una visibilità non inferiore a 10 m, si può ragionevolmente trascurare la valutazione delle specie tossiche presenti.
- **Livelli di irraggiamento:**
Il livello di irraggiamento considerato è stato desunto dal contributo della sorgente di incendio, dei prodotti della

combustione (fumi, gas) e delle strutture (pareti, solai). Per quanto riguarda gli effetti sulle persone il limite massimo per lesioni reversibili è di 2,5 kW/m².

3.3 Stima della curva RHR

Per la simulazione FDS, considerato che la merce presente all'interno del compartimento è costituita principalmente da cartone, legno (*pallets*), materiali tessili naturali e sintetici, involucri e imballaggi in materiale plastico, calzature, apparecchi elettrici ed elettronici e altri prodotti finiti di varia natura, essendo in presenza di impilamenti con altezza considerevole (10,00 m circa), si ritiene cautelativo adottare una velocità di crescita dell'incendio di tipo **Ultra-Fast** (più che adeguata) come previsto nel cap. G3 di cui alla "Tabella G.3-2" del Nuovo Codice di P.I.

δ_{α}	t_{α} [1]	Criteri
1	600 s lenta	Ambiti di attività con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$, oppure ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo trascurabile all'incendio.
2	300 s media	Ambiti di attività ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo moderato all'incendio.
3	150 s rapida	Ambiti con presenza di significative quantità di materiali plastici impilati, prodotti tessili sintetici, apparecchiature elettriche e elettroniche, materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco (capitolo S.1). Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $3,0 \text{ m} < h \leq 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS3 oppure attività classificate HHP1, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti con impianti tecnologici o di processo che impiegano significative quantità di materiali combustibili. Ambiti con contemporanea presenza di materiali combustibili e lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
4	75 s ultra- rapida	Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $h > 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS4 oppure attività classificate HHP2, HHP3 o HHP4, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti ove siano presenti o in lavorazione significative quantità di sostanze o miscele pericolose ai fini dell'incendio, oppure materiali plastici cellulari/espansi o schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.

A meno di valutazioni più approfondite da parte del progettista (es. dati di letteratura, misure dirette, ...), si ritengono *non significative* ai fini della presente classificazione almeno le quantità di materiali nei compartimenti con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$.

[1] Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio.
[2] Con h altezza d'impilamento.

Tabella G.3-2: Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio

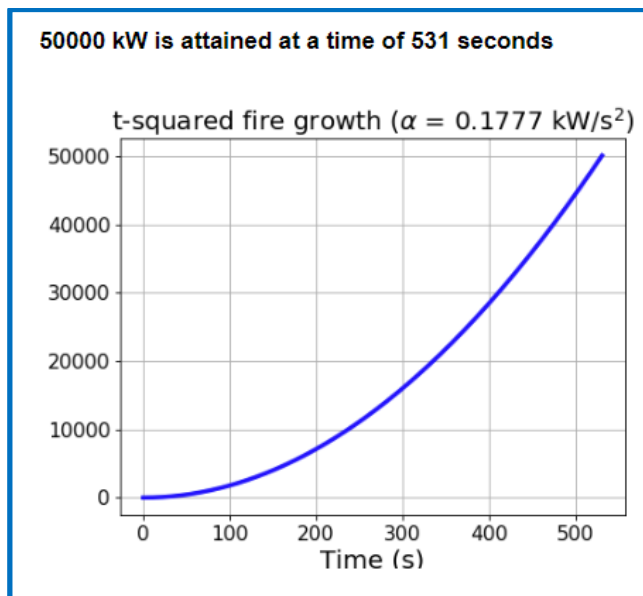
Nella la simulazione FDS si adotterà pertanto un $R_{vita} = A4$,

La velocità di crescita dell'incendio sarà di tipo ultra rapido, più che adeguata ai materiali e merci presenti nel compartimento oggetto della valutazione, consente di analizzare lo sviluppo dell'incendio nella condizione più critica.

Velocità di crescita

In considerazione del tipo di focolaio prescelto e degli elementi combustibili è ipotizzabile un tasso di crescita rapido con tempo $t_{\alpha} = 75 \text{ sec}$.

La curva HRR adottata ($HRR = \alpha \cdot t^2$) di tipo ultra rapido, sarà caratteristica con una crescita dell'incendio di 75 s con $\alpha = 0,1777 \text{ kW/s}^2$: dopo 75 s dall'innesco la potenza HRR raggiunge il valore di 1 MW.



3.4 Prodotti della combustione

Si assume che l'incendio (per tutti gli scenari) produca una notevole quantità di fumo ($Y_{\text{soot}} = 0,055$).

Il combustibile utilizzato nelle simulazioni è una miscela di al 50% di cellulosa e polipropilene, le cui proprietà sono di seguito riportate:

- Produzione fuliggine (Y_{soot}) : 5,5 %
- Produzione di CO (Y_{co}) : 2,1 %
- Potere calorifico: 20 MJ/kg

La miscela è verosimile, considerando il materiale che sarà presente nel deposito, in particolare cartone, legno (*pallets*), abiti in materiali tessili naturali e sintetici, involucri e imballaggi in materiale plastico, calzature, apparecchiature elettriche ed elettroniche, elettrodomestici e altri prodotti finiti di varia natura per il cliente finale, ecc.

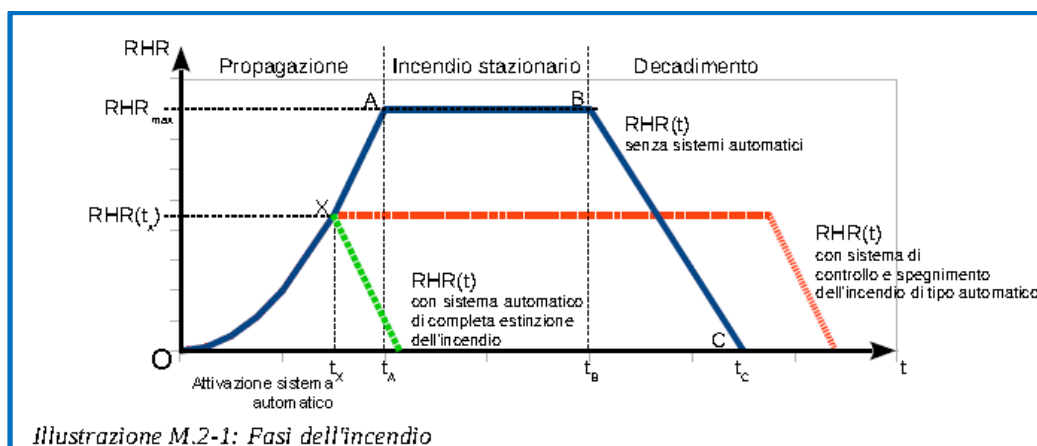
La frazione radiante è quella standard proposta da FDS (35 %).

3.5 Modellazione della curva RHR

La modellazione dell'incendio sarà sviluppata tenendo conto della riduzione degli effetti dell'incendio in presenza dell'impianto di estinzione automatico di tipo sprinkler, definito come sistema a disponibilità superiore.

La curva dell'incendio reale con un taglio e successiva soppressione della potenza HRR a seguito dell'intervento del sistema automatico di estinzione.

La modellazione della curva HRR, in presenza di un impianto di automatico di completa estinzione, viene determinata nella simulazione FDS.



Potenza termica rilasciata (RHR)

L'incendio cresce con andamento di tipo quadratico fino all'istante in cui le temperature generate innescano il sistema di spegnimento automatico, dopodiché una volta raggiunto il valore RHR massimo inizia la fase di soppressione (essendo in presenza di un impianto del tipo a soppressione dell'incendio).

Il grafico rappresenta l'andamento della curva HRR e l'istante in cui interviene l'impianto sprinkler, dopodiché inizia la fase di completa estinzione.

4 IMPIANTI DI PROTEZIONE ATTIVA

La presenza e la tipologia degli impianti di protezione attiva saranno i seguenti:

- Impianto rilevazione fumi e allarme incendio con funzione di chiusura automatica di serrande REI e disattivazione impianti; l'impianto, esteso a tutta l'attività, sarà conforme alle norme UNI 9795.
- Impianto protezione sprinkler del tipo a completa estinzione dell'incendio, conforme alle norme NFPA 13 da realizzare a livello del soffitto, con erogatori del tipo ESFR k 363 (k 25 U.S.), avente le seguenti caratteristiche:
 - Erogatori tipo: ESFR – k 363 (25.2 US ESFR);
 - Pressione: 2,8 bar;
 - Portata: 607 l/min;
 - Contemporaneità: 12 – ESFR – k 363 (25.2 US ESFR);
 - centrale idrica antincendio con 2 motopompe NFPA 20 (sistema a disponibilità superiore).
- Impianto idrico antincendio manuale, prestazione "Livello di pericolo III", come previsto dalla norma UNI 10779 ed 2014;
 - protezione esterna con idranti soprasuolo e sottosuolo UNI 70;
 - protezione interna con idranti UNI 45;
 - attacchi autopompa VVF;
 - centrale idrica antincendio a norme UNI 12845, alimentazione idrica superiore con 2 motopompe.
- Riserva idrica antincendio a servizio dell'impianto sprinkler e dell'impianto idranti, avente capacità utile di circa 700 mc, con reintegro da rete idrica locale.

5 CRITERI ASET - RESET

Per la salvaguardia della vita occorre dimostrare che:

- L'esodo in sicurezza degli occupanti è garantito dalle misure di protezione attiva antincendio adottate, ovvero impianto sprinkler, sistema di smaltimento fumo e calore di tipo **SEc**, valutato nei primi minuti dell'incendio, fino al raggiungimento del luogo sicuro.
- La sicurezza dei soccorritori è garantita dalle stesse misure di protezione attiva, e sarà valutata in base al tempo medio di intervento dei VVF di Piacenza, considerando un margine aggiuntivo di 5 minuti. Per quanto riguarda il tempo medio di intervento si assume il valore riportato nell'annuario statistico del Corpo Nazionale Vigili del Fuoco – 2019 relativo alla provincia di Piacenza (*tempo simulazione = 19 minuti*).

Il criterio utilizzato per la verifica della sicurezza degli occupanti è quello descritto nel capitolo M.3 del Codice di Prevenzione Incendi, ovvero:

$$ASET > RSET + t_{\text{margine.}}$$

Dove:

ASET è il tempo disponibile per l'esodo degli occupanti per raggiungere il luogo sicuro;

RSET Il tempo richiesto per l'esodo degli occupanti per raggiungere il luogo sicuro;

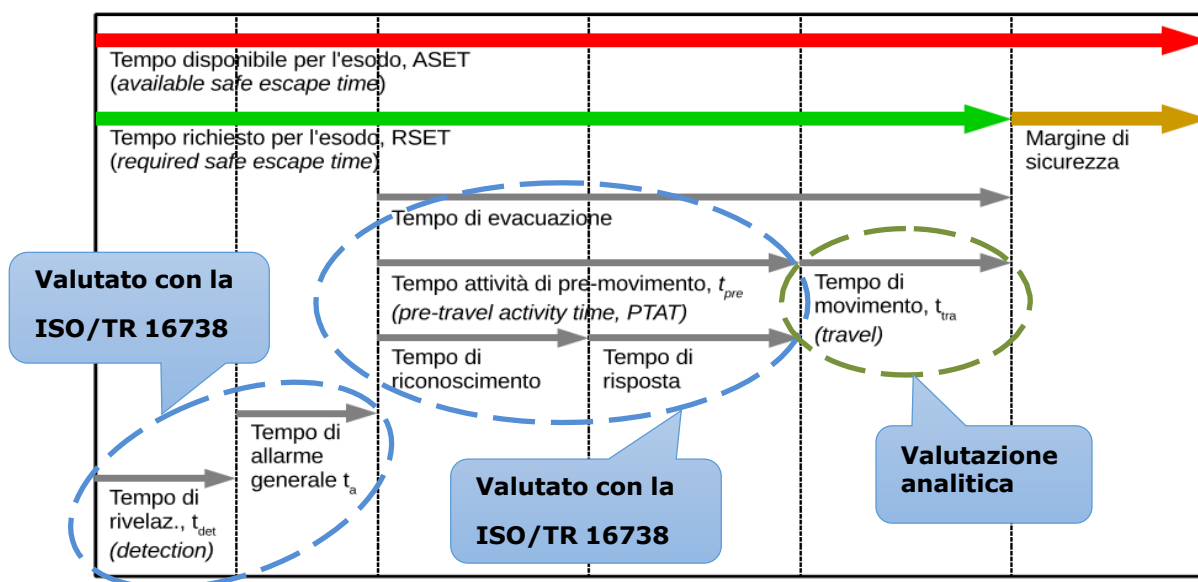
t_{margine} è il margine di sicurezza.

La verifica del criterio adottato viene eseguita attraverso calcoli e mediante la simulazione FSE utilizzando software dedicato.

Modellazione esodo

La modellazione dell'esodo è finalizzata alla valutazione del tempo **RSET** del compartimento in oggetto.

Di seguito si riportano le modalità operative adottate.



In conformità al capitolo M.3 del Codice di P.I., il tempo di evacuazione **RSET** risulta dalla somma di 4 contributi:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$$

dove:

- RSET** = intervallo di tempo totale dall'inizio dell'incendio alla messa in sicurezza di tutti gli occupanti;
- t_{det}** = tempo di rivelazione (*detection*), ovvero intervallo di tempo dall'inizio dell'incendio alla rivelazione da parte del sistema automatico di rivelazione incendi;
- t_a** = tempo di allarme generale, tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'allarme generale;
- t_{pre}** = tempo di pre-movimento, è il tempo necessario agli occupanti per svolgere e concludere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio;
- t_{tra}** = tempo di uscita (*travel*), ovvero intervallo di tempo dall'inizio dell'evacuazione fino al raggiungimento del luogo sicuro da parte di tutti gli occupanti.

Per quanto riguarda la stima della velocità di movimento adottate, sono state seguite le indicazioni della ISO/TR 16738, in particolare

TABELLA DEI VALORI DELLA VELOCITA' DI MOVIMENTO (rif. ISO/TR 16738)			
N.	Parametro	Valore	Rif. ISO/TR 16738
1	Velocità sulle superfici orizzontali, persone senza disabilità	1,19	Tab. G.2
2	Velocità lungo le scale ($H < 178$ mm), persone senza disabilità	0,95 ^(*)	Tab. G.2
3	Velocità persone su carrozzina (in piano)	0,40	Tab. G.4
4	Velocità persone su sedia di evacuazione (lungo le scale)	0,70 ^(*)	Tab. G.4

t_{det} - tempo di rivelazione

Il tempo di rivelazione **t_{det}** è il tempo che intercorre tra il momento d'innescio al momento in cui il sistema automatico di rivelazione o un occupante sono in grado di accorgersi dell'incendio. In base ai risultati delle modellazioni effettuate, il tempo di rilevazione dell'incendio è assunto pari a **30 s**, o in base ai risultati di calcolo della simulazione come nel ns. caso.

t_a - tempo di allarme generale

Il tempo di allarme generale **t_a** è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti dell'allarme generale. Il tempo di allarme generale è fissato pari a **20 s**. Questo valore è fortemente conservativo considerando che l'edificio sarà dotato di sistema rivelazione e allarme incendio automatico esteso a tutta l'attività. In realtà l'attivazione del segnale di allarme in conseguenza della rivelazione incendi, sarà immediato ed in tal caso il tempo **t_a** potrebbe essere assunto pari a zero.

t_{pre} - tempo di attività di pre-movimento

Il tempo di attività pre-movimento **t_{pre}** è il tempo necessario agli occupanti per svolgere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio verso il luogo sicuro. La letteratura indica che questa fase occupa spesso la maggior parte del tempo totale di esodo. Il tempo **t_{pre}** è composto dal tempo di riconoscimento e da quello di risposta. Durante il tempo di riconoscimento gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo prima dell'allarme generale, finché riconoscono l'esigenza di "**rispondere**" all'allarme.

Il tempo di pre-movimento viene fissato pari a **60 s**, in considerazione del fatto che il personale impiegato nell'attività in esame parteciperà a un programma regolare di esercitazioni pratiche ai fini della

sicurezza antincendio. Si assume inoltre che il personale che si trova in prossimità del focolaio di incendio abbia percezione del fuoco e del fumo quasi immediata, e risponda all'emergenza in un tempo ridotto rispetto alla media degli occupanti, pari a **30 s**.

t_{tra} - tempo di movimento

Il tempo di movimento t_{tra} è il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento. Il tempo è calcolato in riferimento alla distanza degli occupanti dalle vie d'esodo, dalla velocità d'esodo (*che dipende dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente costruito e gli effetti dell'incendio*) e dalla portata delle vie d'esodo (*dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli e ostacoli*).

Soglie di prestazione

Ai fini della verifica dei livelli di prestazione si fa riferimento al capitolo **M.3** del Codice di prevenzione incendi

Soglie di prestazione per gli occupanti

Le soglie per la sicurezza degli occupanti sono verificate al tempo RSET+10%:

$$ASET > RSET + t_{margine}.$$

Il tempo **RSET** viene determinato con i metodi dell'ingegneria antincendio

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m²: 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori n locali di superficie lorda < 100m²: 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571:2012, limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapaci al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	-
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m²	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m²	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.

Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato

Soglie di prestazione per i soccorritori

Le soglie di prestazione per la sicurezza dei soccorritori sono state verificate in base ai tempi medi di intervento, riportati nell'annuario VVF per la provincia di Piacenza:

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m ² : 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100m ² : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571:2012, limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapaci al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	-
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m ²	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m ²	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.

Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato

Durata della simulazione

Tempo medio di intervento VVF Piacenza = **13,6**

(Annuario statistico del Corpo Nazionale Vigili del Fuoco – 2019)

Regione	Provincia	Tempi Medi in minuti di Arrivo sul luogo dell'intervento (uscita sede - arrivo sul luogo)			
		2018	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)
	PIACENZA	15,4	13,6	13,3%	-6,0%

La simulazione sarà condotta per: 13,6 + 5,0 minuti (*margin*) = **19 minuti s (1.140 s)**.

6 CARATTERISTICHE DEL COMPARTIMENTO "C01"

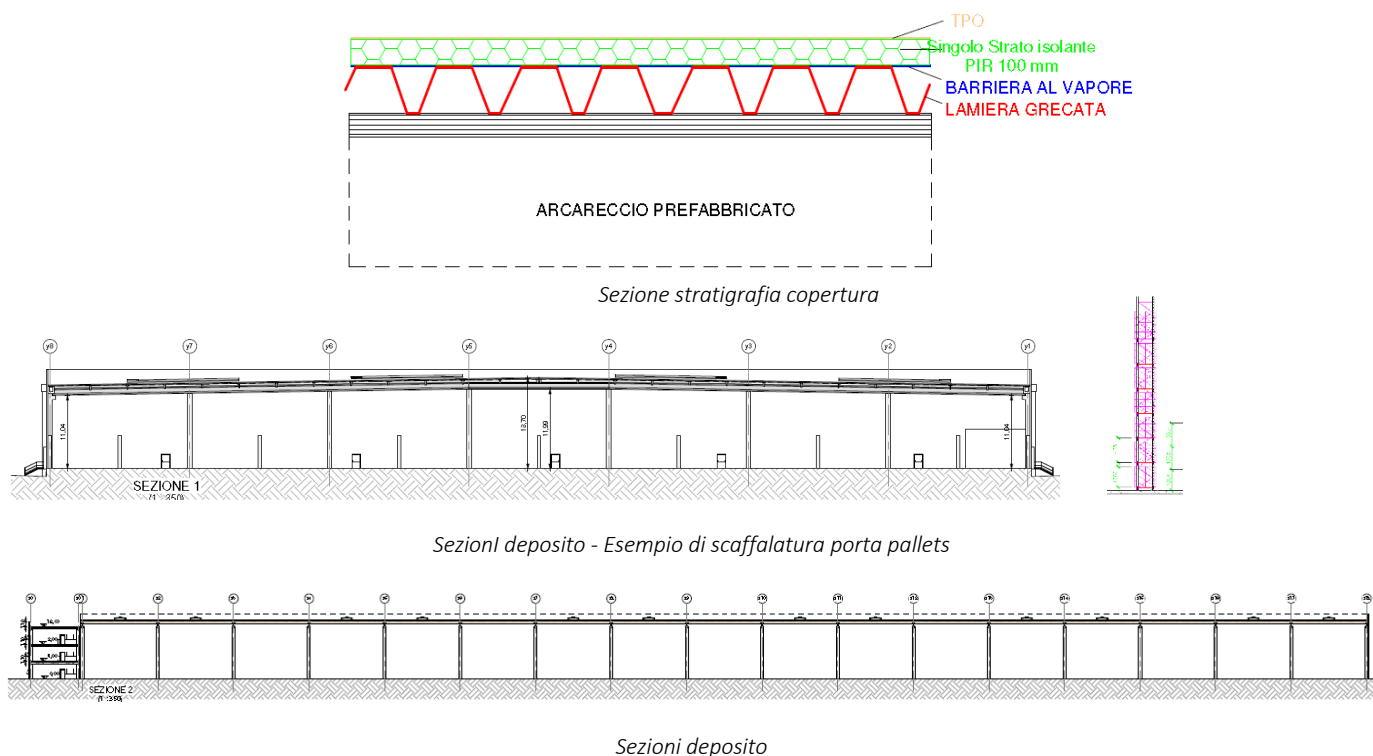
Il compartimento oggetto dello studio FSE, ha come destinazione principale quella di deposito intensivo di merci finite, disposte su apposite scaffalature porta pallets sviluppate in altezza.

Il compartimento "C01" si sviluppa su una superficie di 44.400 mq circa, unico piano con altezza media di circa 13 m.

Le strutture portanti saranno costituite da travi e pilastri in cls prefabbricato REI 120, con strutture separanti, rispetto ad altri compartimenti, in pannelli di cls REI 120.

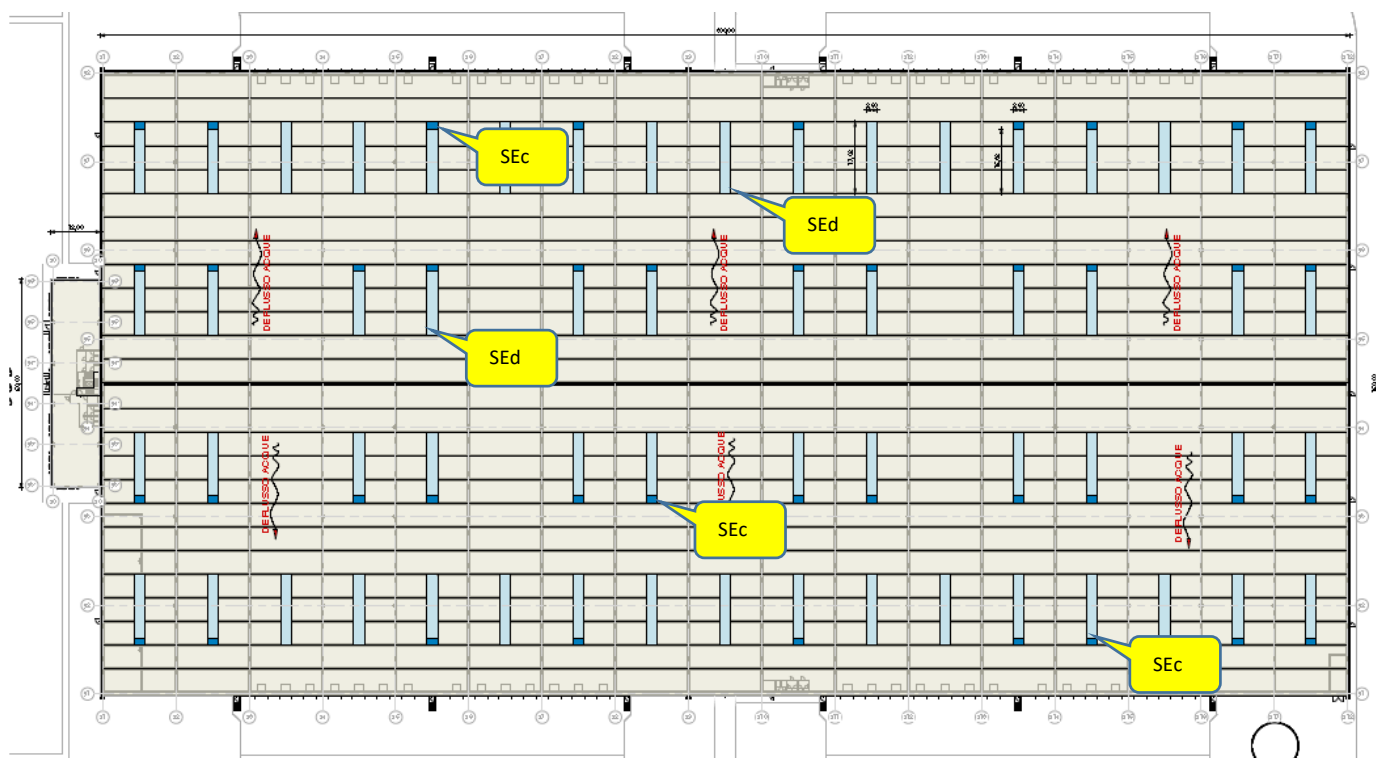
Le pareti esterne saranno costituite da pannelli in cls fino ad una altezza di circa 4,5 m, sulle quali saranno presenti anche le baie di carico, e pannelli prefabbricati sandwich per le parti rimanenti con classificazione di reazione al fuoco "A2 - s1 d0" (UNI EN 13501-1), con isolante di tipo PIR.

La copertura sarà del tipo Bacacier, costituita (partendo dall'interno) da lamiera grecata portante, strato isolante in "PIR" e manto impermeabilizzante in guaina tipo "TPO" con classificazione di reazione al fuoco "Broof - t1".



Sulla copertura del deposito saranno presenti le aperture di smaltimento fumo e calore, costituite essenzialmente da:

- Aperture SEc	n° 42	dim.	1,70 x 2,50 m	S = 4,25 m ²	Stot = 178,50 m ²
- Aperture SEd	n° 42	dim.	15,00 x 2,00 m	S = 30,00 m ²	Stot = 1.260,00 m ²
- Aperture SEd	n° 16	dim.	17,00 x 2,00 m	S = 34,00 m ²	Stot = 544,00 m ²



Copertura deposito: aperture di smaltimento fumo e calore di tipo SEc e SEd

Per il sistema di smaltimento fumi e calore del compartimento C01, si è applicato il livello di prestazione II, con aperture dimensionate secondo "SE3":

- Aperture di smaltimento di tipo **SEC** con apertura pneumatica (*oggetto di verifica FSE come soluzione alternativa*);
- Aperture di smaltimento di tipo **SED** costituite da lucernari posti in copertura con comando elettrico ad azionamento manuale da posizione non protetta;
- Aperture di smaltimento di tipo **SED** costituite dai portoni delle baie di carico ad apertura manuale.

Le aperture di smaltimento **SEC**, saranno costituite da evacuatori naturali di fumo e calore (**ENFC**), conformi alla **UNI EN 12101-2**, con apertura da IRAI e manuale da posizione protetta mediante leva di azionamento e impianto pneumatico da realizzare con tubazioni in rame.

Il sistema pneumatico garantisce l'apertura degli smaltitori in ogni condizione, anche in assenza di energia elettrica. La capacità di smaltimento del sistema è stata simulata e verificata mediante l'applicazione della "fse" (*allegata al progetto*), necessaria per la verifica dei percorsi esodo poiché, a causa della loro estensione, non è stato possibile l'applicazione di una soluzione conforme secondo il Nuovo Codice di P.I..

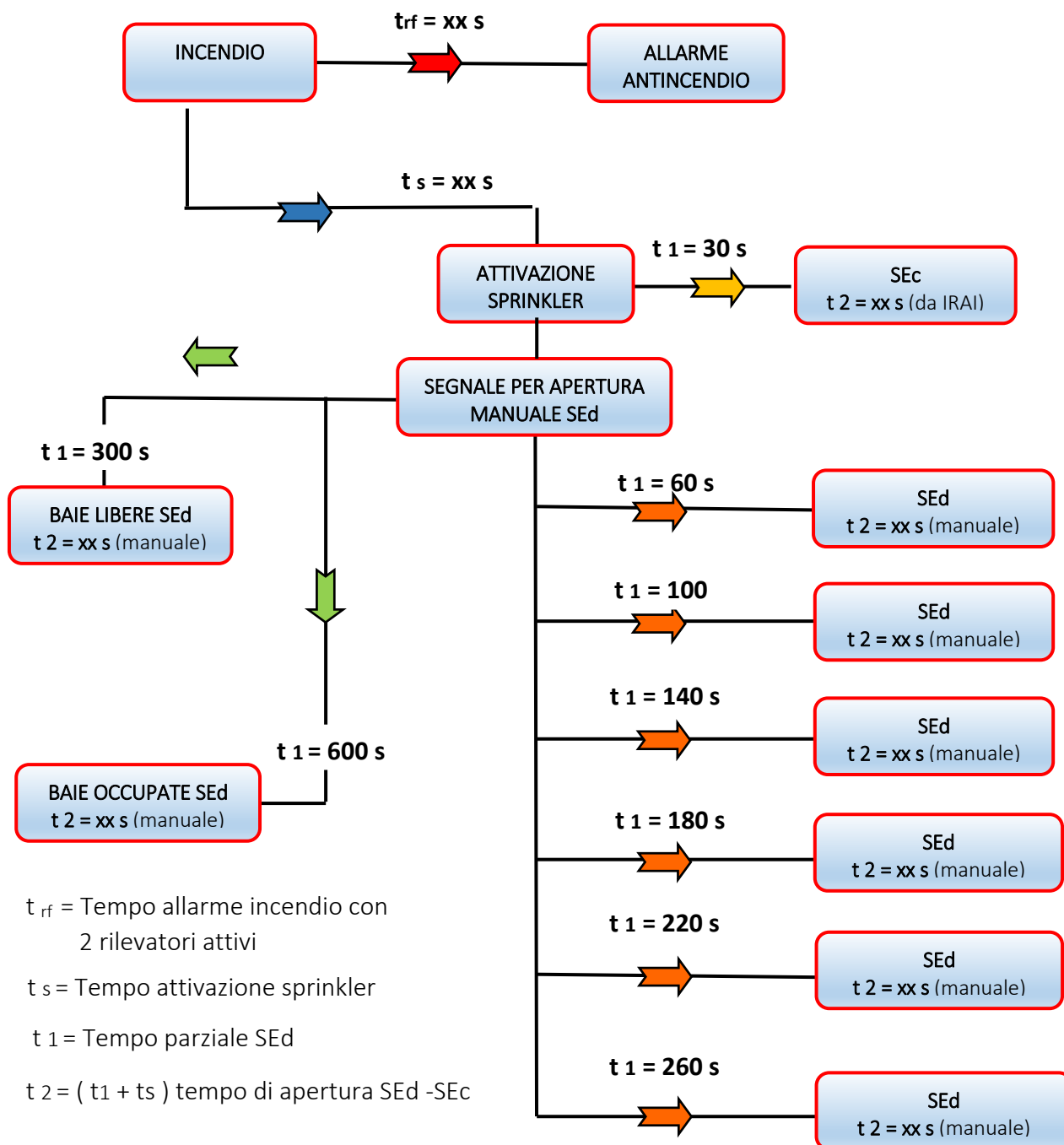
Le aperture di smaltimento **SED** saranno costituite da lucernari apribili posti in copertura.

Il sistema di apertura prevede comandi manuali elettrificati da posizione non protetta.

L'impianto elettrico sarà realizzato con conduttori resistenti all'incendio e alimentazione ausiliaria anche in mancanza di energia elettrica primaria.

I portoni della baie di carico si configurano come aperture **SED** con sola apertura manuale.

La gestione delle aperture **SEd** sarà demandata alla squadra antincendio secondo procedure codificate nel **GSA** e nel piano di emergenza. Per quanto riguarda le baie di carico, si suppone che almeno 40% delle stesse sia impegnata da mezzi in fase di carico e scarico delle merci, pertanto potranno essere liberate e tenute aperte con tempi notevolmente superiori. Di seguito si riporta l'albero degli eventi inseriti nel modulo di calcolo FSE ("xx" valori da calcolare con FSE)..



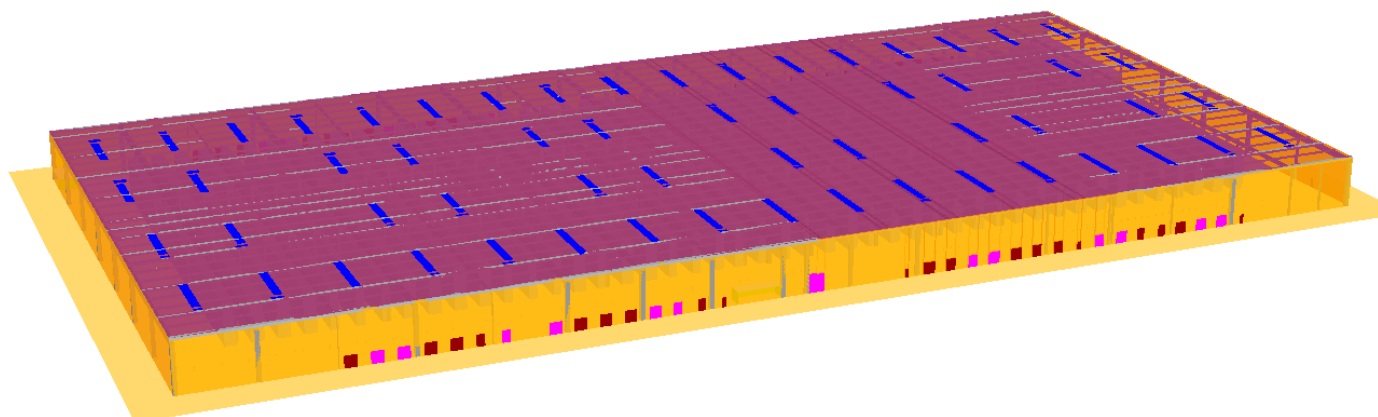
7 SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO

Si prevede lo sviluppo di tre scenari di incendio in relazione ai quali viene condotta l'applicazione dei metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio (*metodo prestazionale, fire safety engineering, FSE*): applicazione di principi ingegneristici, di regole e di giudizi esperti basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano, finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione dei rischi di incendio e dei relativi effetti ed alla valutazione analitica delle misure antincendio ottimali, necessarie a limitare, entro livelli prestabiliti, le conseguenze dell'incendio secondo le indicazioni del capitolo M.1.

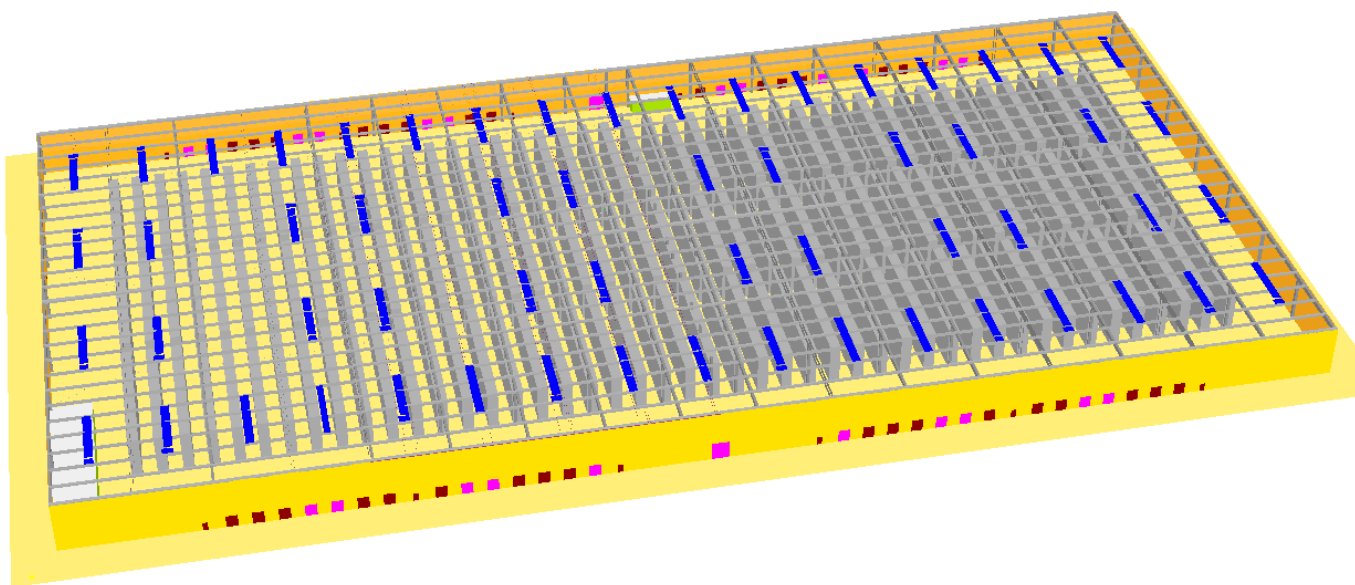
Lo studio prevede la modellazione di n° 3 scenari di incendio significativi;

- **S1, S2, S3** con sistema automatico di completa estinzione dell'incendio;

I risultati più gravosi saranno utilizzati per il calcolo dell'esodo degli occupanti – ASET.



Vista tridimensionale deposito



7.1 Scenario S1

GRIGLIA DI CALCOLO

Nell'adozione dei modelli di simulazione, è importante che il risultato dei calcoli non sia dipendente significativamente dalla variazione dei dati di input.

Nel caso in esame è stato adottato il modello di simulazione di campo FDS (*Fire Dynamics Simulator*) e, per rendere maggiormente attendibili i risultati, sono state definite 4 griglie di calcolo caratterizzate da celle di dimensioni adeguate che garantiscono risultati attendibili e dettagliati; in particolare, nella zona dell'incendio (*focolare di progetto*), è stata definita una griglia di calcolo con dimensioni ridotte al fine avere una simulazione molto dettagliata

Di seguito vengono riportate le caratteristiche dimensionali delle griglie di calcolo

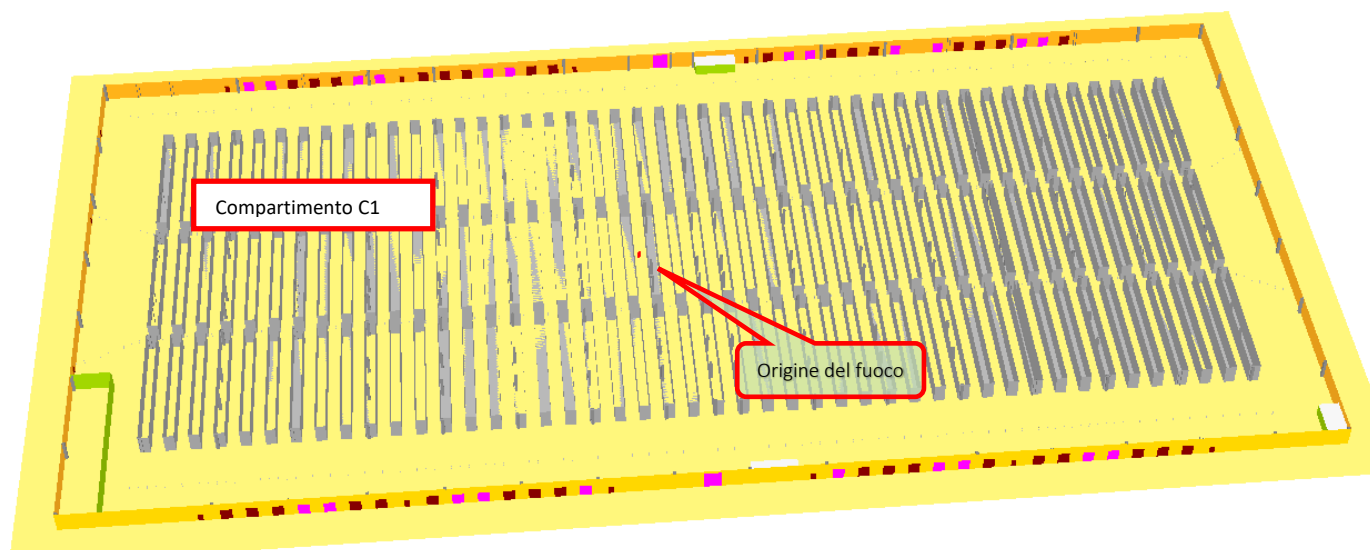
Descrizione	Griglia 01	Cambia			
Geometria della griglia					
Minima X [m]	0.000	Massima X [m]	80.000	N. celle dir. X	80
Minima Y [m]	0.000	Massima Y [m]	170.000	N. celle dir. Y	170
Minima Z [m]	0.000	Massima Z [m]	15.000	N. celle dir. Z	25
Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 1.0000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 1.0000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.6000 m					

Descrizione	Griglia 02	Cambia			
Geometria della griglia					
Minima X [m]	80.000	Massima X [m]	160.000	N. celle dir. X	160
Minima Y [m]	0.000	Massima Y [m]	170.000	N. celle dir. Y	340
Minima Z [m]	0.000	Massima Z [m]	15.000	N. celle dir. Z	50
Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 0.5000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 0.5000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.3000 m					

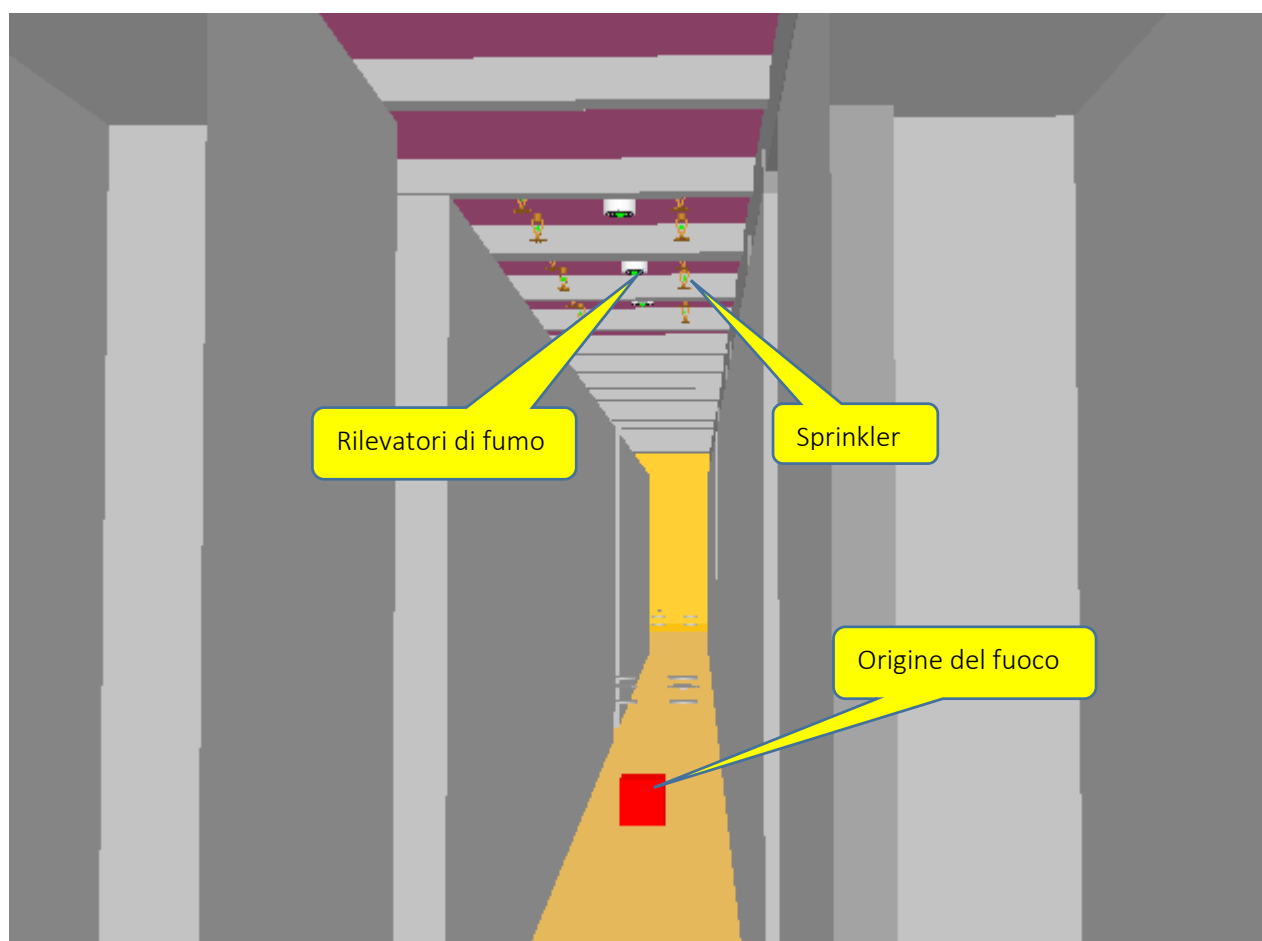
Descrizione	Griglia 03	Cambia			
Geometria della griglia					
Minima X [m]	160.000	Massima X [m]	240.000	N. celle dir. X	80
Minima Y [m]	0.000	Massima Y [m]	170.000	N. celle dir. Y	170
Minima Z [m]	0.000	Massima Z [m]	15.000	N. celle dir. Z	25
Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 1.0000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 1.0000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.6000 m					

Descrizione	Griglia 04	Cambia			
Geometria della griglia					
Minima X [m]	240.000	Massima X [m]	320.000	N. celle dir. X	80
Minima Y [m]	0.000	Massima Y [m]	170.000	N. celle dir. Y	170
Minima Z [m]	0.000	Massima Z [m]	15.000	N. celle dir. Z	25
Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 1.0000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 1.0000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.6000 m					

Come illustrato nella figura sottostante, viene modellato il focolaio di incendio descritto in precedenza come potenza e velocità di crescita, posto in questo caso in zona baricentrica del compartimento C01.



Posizione del focolare scenario S1



Sezione tridimensionale – Impianti di protezione attiva

Incendio di progetto (S1):*Tipo di incendio:*

- Incendio di merce che si sviluppa durante una fase normale di attività;

Posizione:

- **S1** al centro del compartimento come da immagine precedente;

Tipo di attività in corso nell'area dell'incendio:

- Normali operazioni di magazzino;

Tipologia di occupanti:

- Personale addetto allo stoccaggio delle merci, con ausilio di mezzi elettrici;

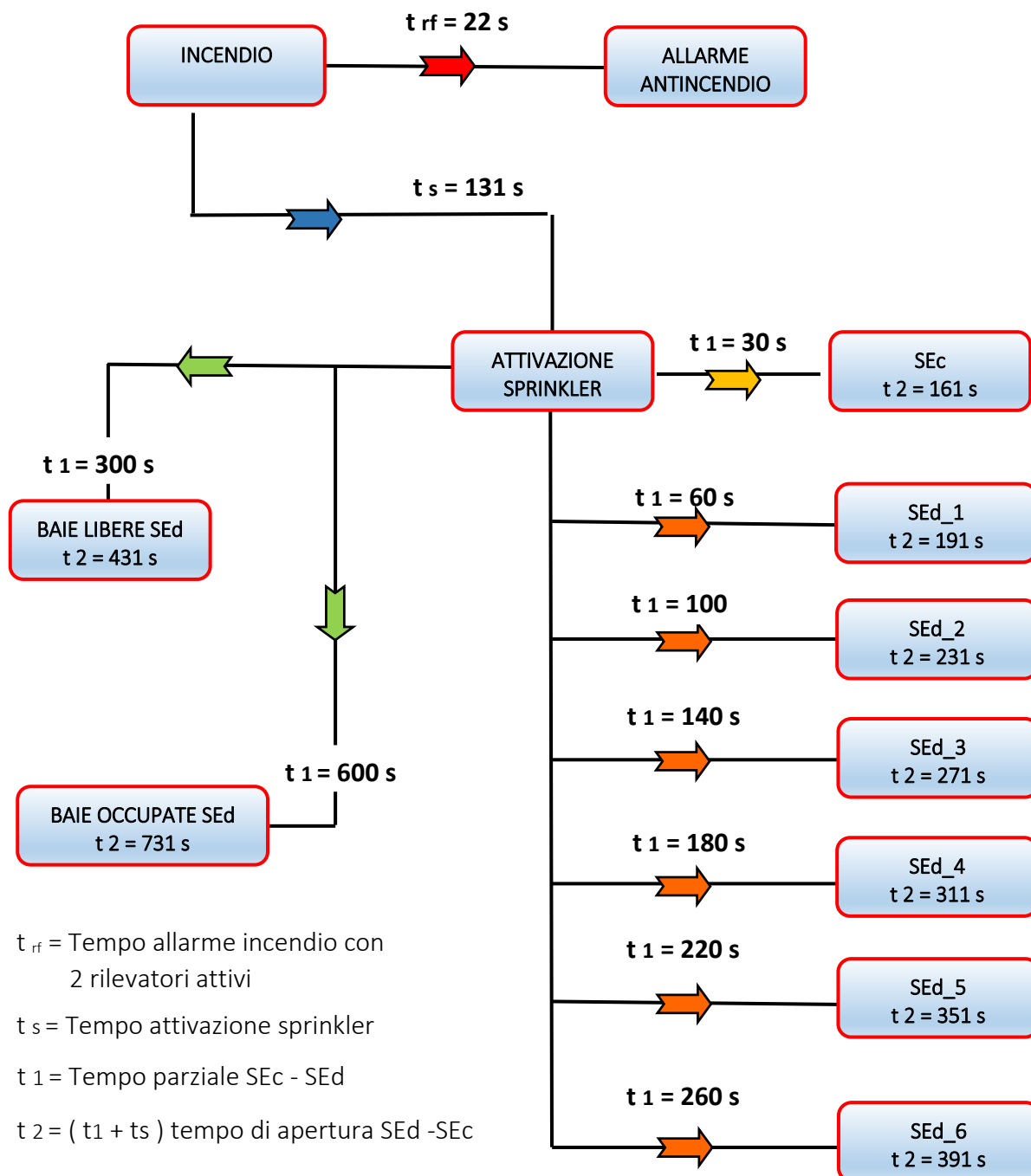
Sorgente di innesco:

- Difetto meccanico o elettrico di elementi impiantistici.

Albero degli eventi registrati nella simulazione FDS:

t = 0 s	Innesco incendio
t = 22 s	intervento impianto rilevazione fumi e allarme incendio – IRAI – 2 rilevatori attivati
t = 131 s	intervento impianto sprinkler - ESFR
t = 161 s	aperture smaltimento fumo e calore SEc (dopo 30 s attivazione impianto sprinkler)
t = 191 s	apertura smaltimento fumo e calore SEd - 1 (dopo 60 s attivazione impianto sprinkler)
t = 231 s	apertura smaltimento fumo e calore SEd - 2 (dopo 100 s attivazione impianto sprinkler)
t = 271 s	apertura smaltimento fumo e calore SEd - 3 (dopo 140 s attivazione impianto sprinkler)
t = 311 s	apertura smaltimento fumo e calore SEd - 4 (dopo 180 s attivazione impianto sprinkler)
t = 351 s	apertura smaltimento fumo e calore SEd - 5 (dopo 220 s attivazione impianto sprinkler)
t = 391 s	apertura smaltimento fumo e calore SEd - 6 (dopo 260 s attivazione impianto sprinkler)
t = 431 s	apertura del 40% delle baie di carico da parte della squadra antincendio - SEd - (dopo 300 s attivazione impianto sprinkler)
t = 731 s	apertura del 60% delle baie di carico occupate da mezzi - SEd - (dopo 600 s attivazione impianto sprinkler)

Albero degli eventi calcolati con FSE



Rivelazione e allarme incendio – Grafico generato dalla simulazione

Impianto di rilevazione e allarme incendio, il grafico sottostante indica il tempo di attivazione di n° 2 rilevatori. Il tempo di attivazione pari a 22 s, sarà adottato nel calcolo R_{set} come T_{det} .

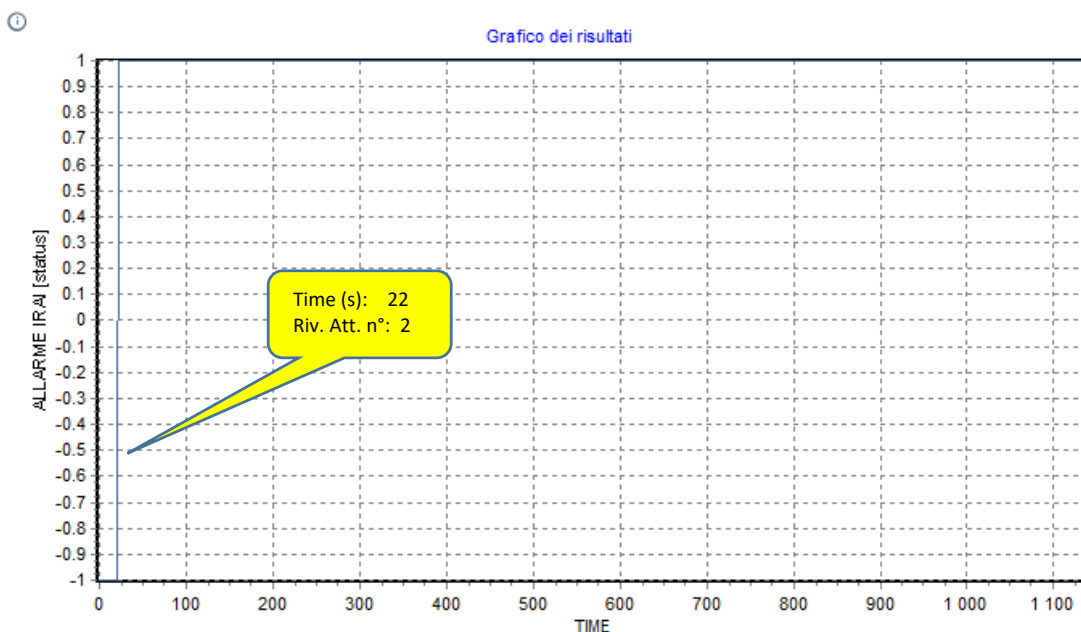


Grafico simulazione intervento impianto rilevazione fumi – 32 s.

Attivazione impianto sprinkler – Grafico generato dalla simulazione

Il grafico sottostante mostra l'istante viene attivato l'impianto sprinkler a soppressione con erogatori ESRF k363.

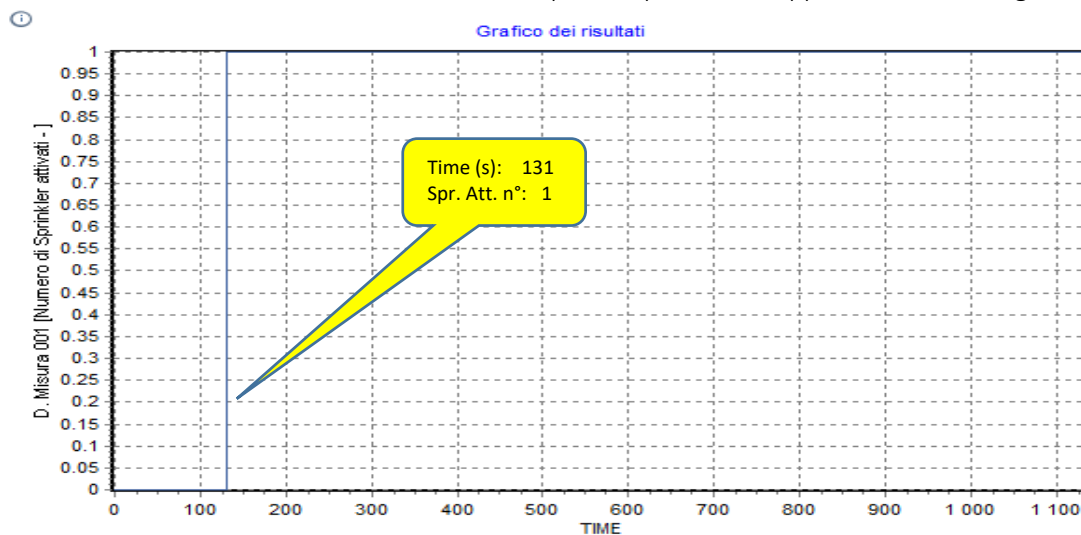


Grafico attivazione testine sprinkler

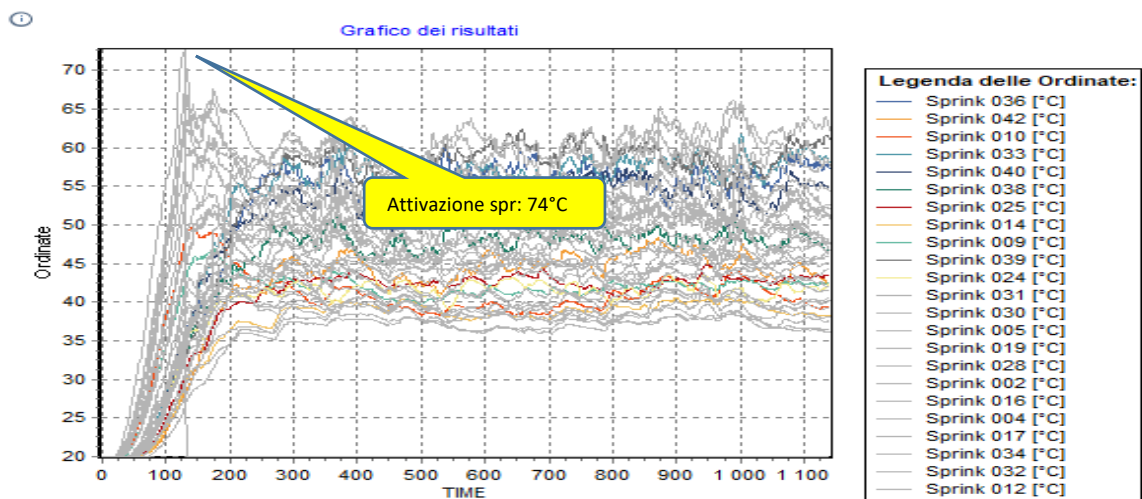


Grafico andamento temperature rilevate dalle testine sprinkler

Curva HRR

Modellazione della curva HRR in presenza di impianto sprinkler.

Il grafico sottostante mostra la crescita Ultra-Fast della curva HRR fino al tempo "t=160 s" corrispondente all'intervento dell'impianto sprinkler + 30 s (a scopo cautelativo è stato considerato il tempo effettivo di intervento dell'impianto sprinkler + 30 s, passando da una HRR di 3.000kW a una HRR di 4.600 kW). Anche se in presenza di un impianto sprinkler a soppressione dell'incendio, è stato considerato il solo appiattimento della curva HRR (il tutto a vantaggio della sicurezza poiché in presenza di situazione più severa).

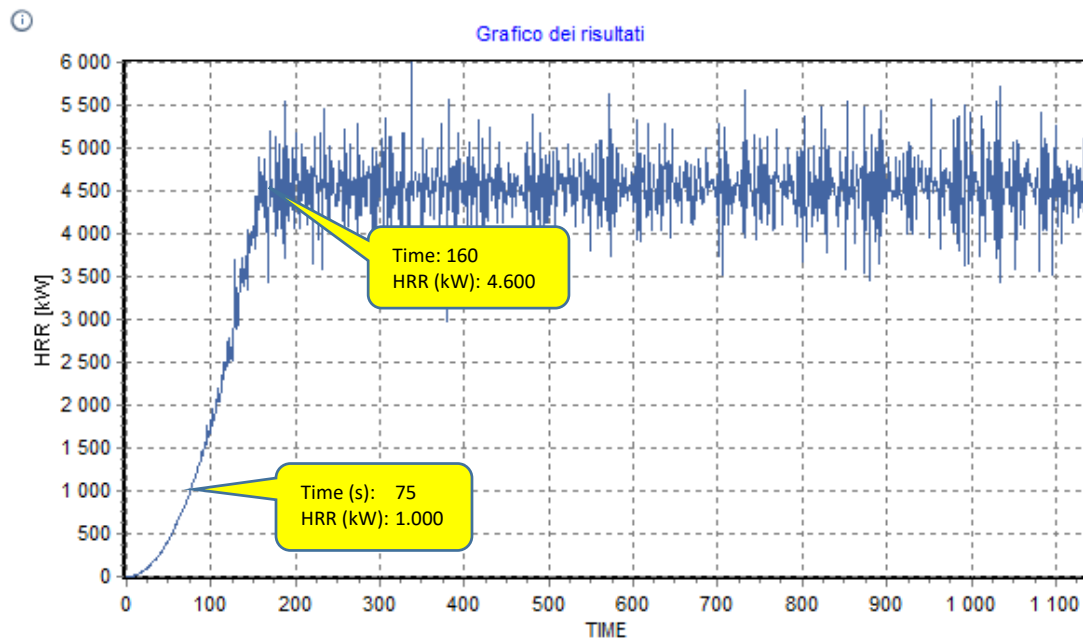
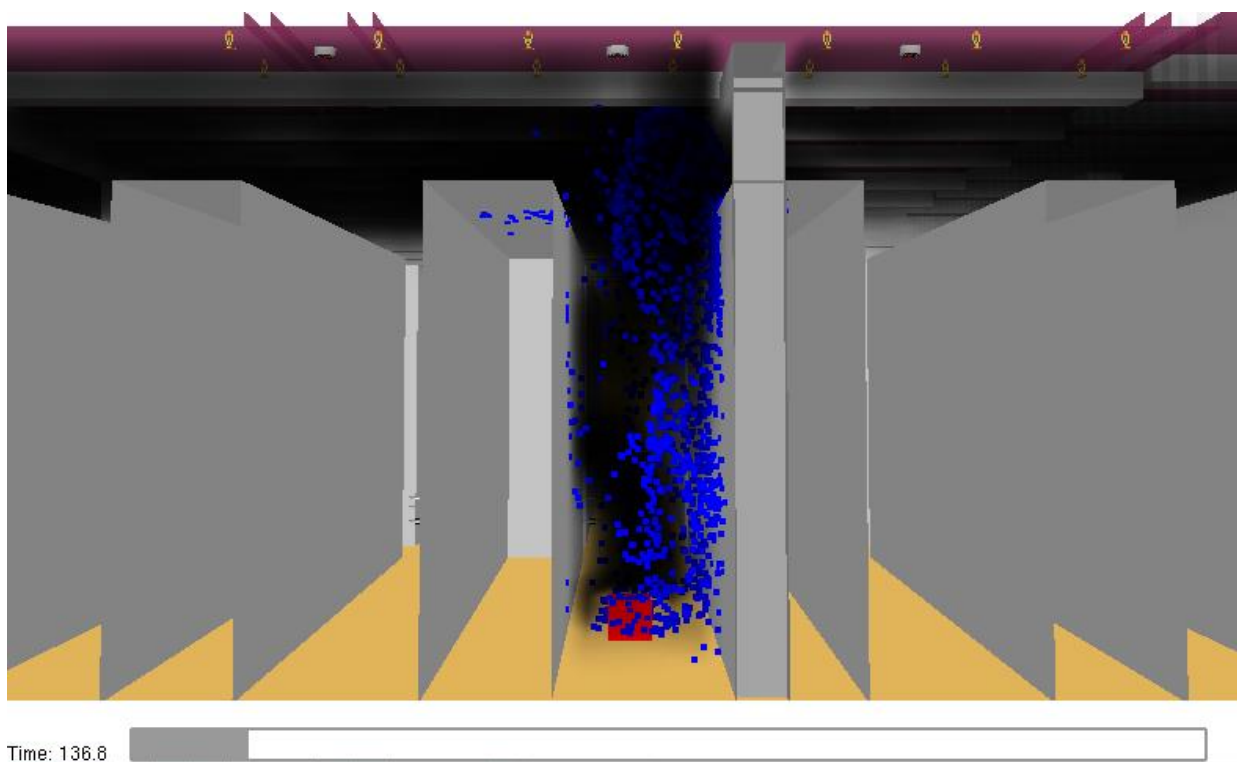
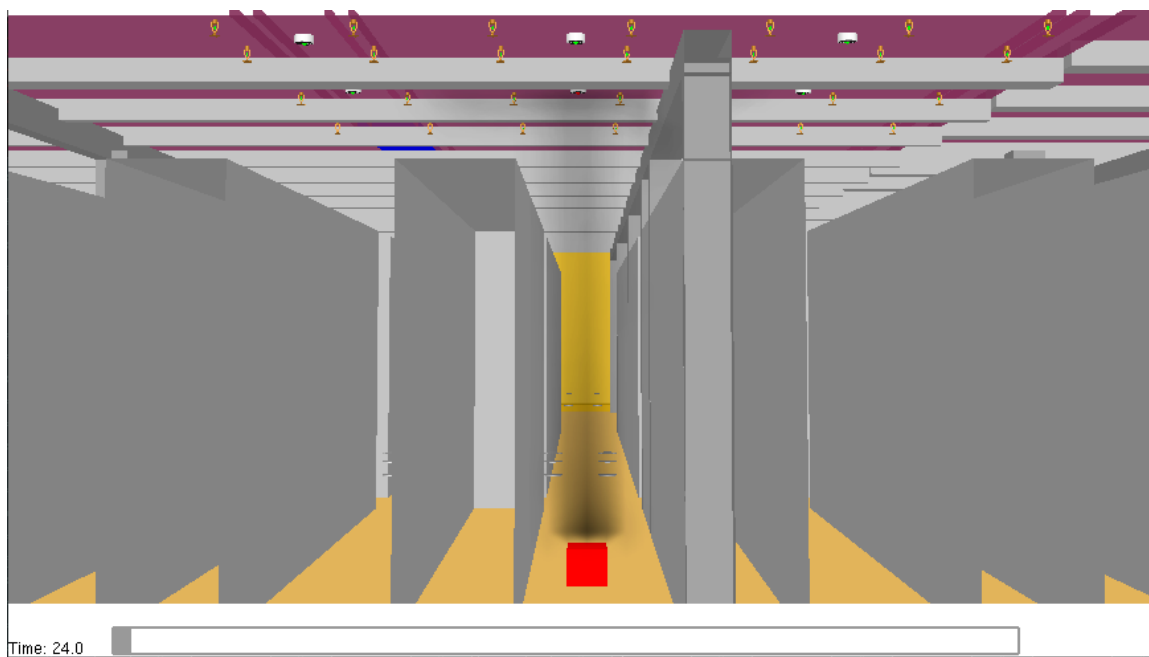
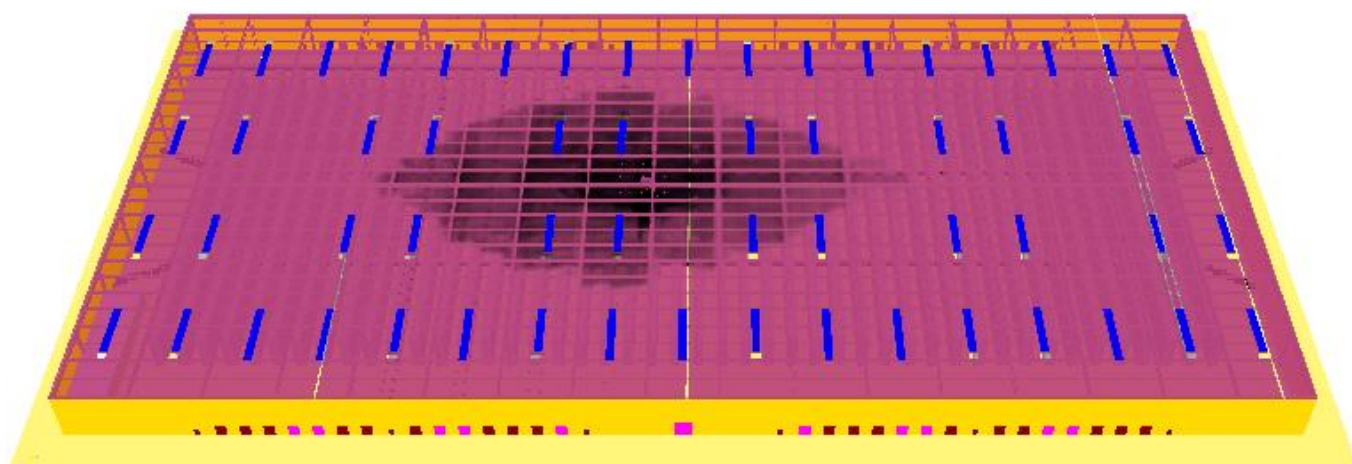


Grafico simulazione curva RHR - FDS

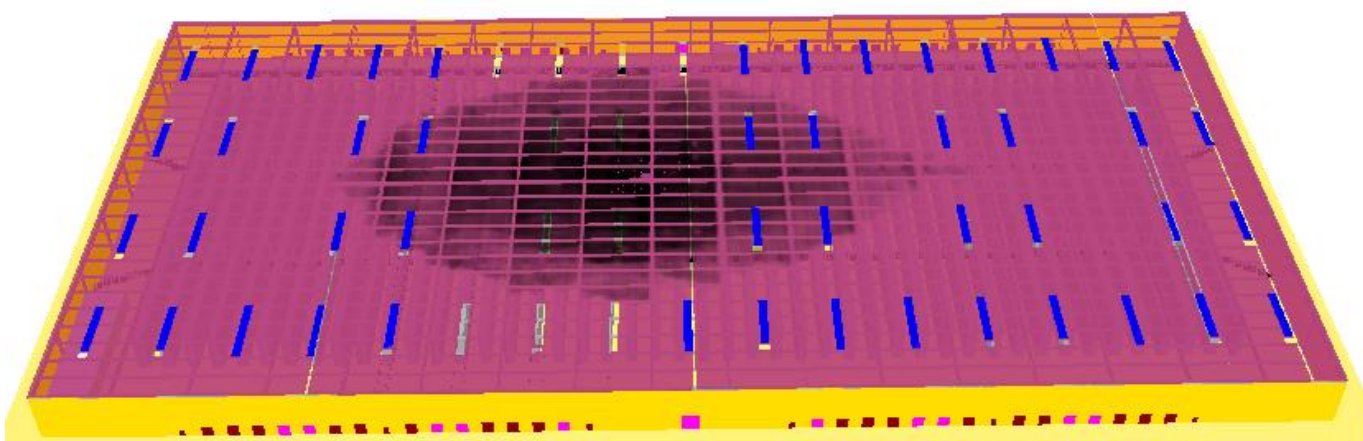
Simulazione FSE – Viste tridimensionali





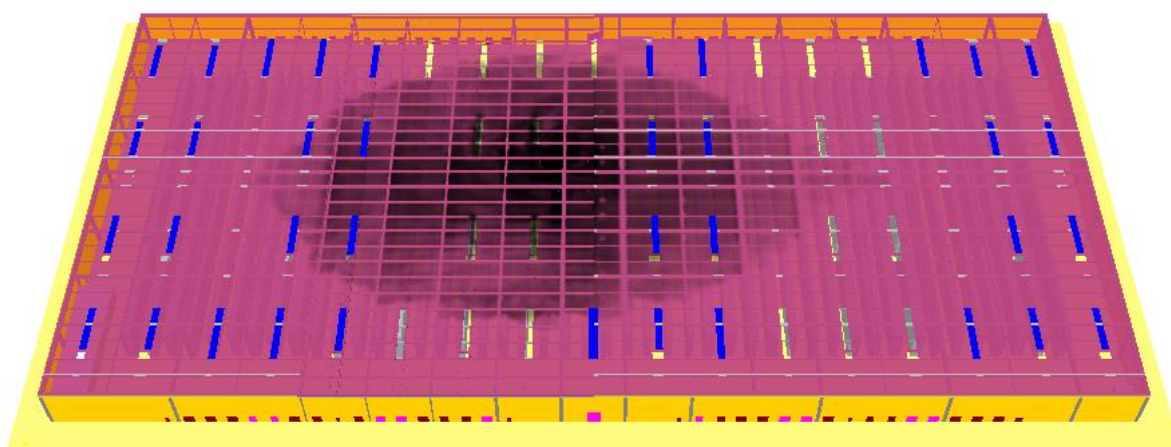
Time: 163.0

Apertura SEc dopo 161 s



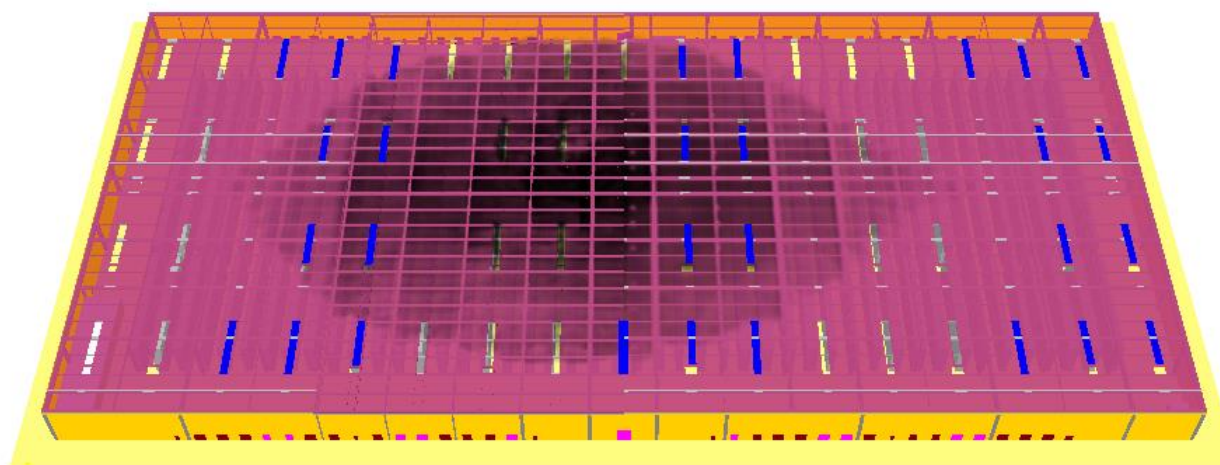
Time: 192.7

Apertura SEd dopo 191 s



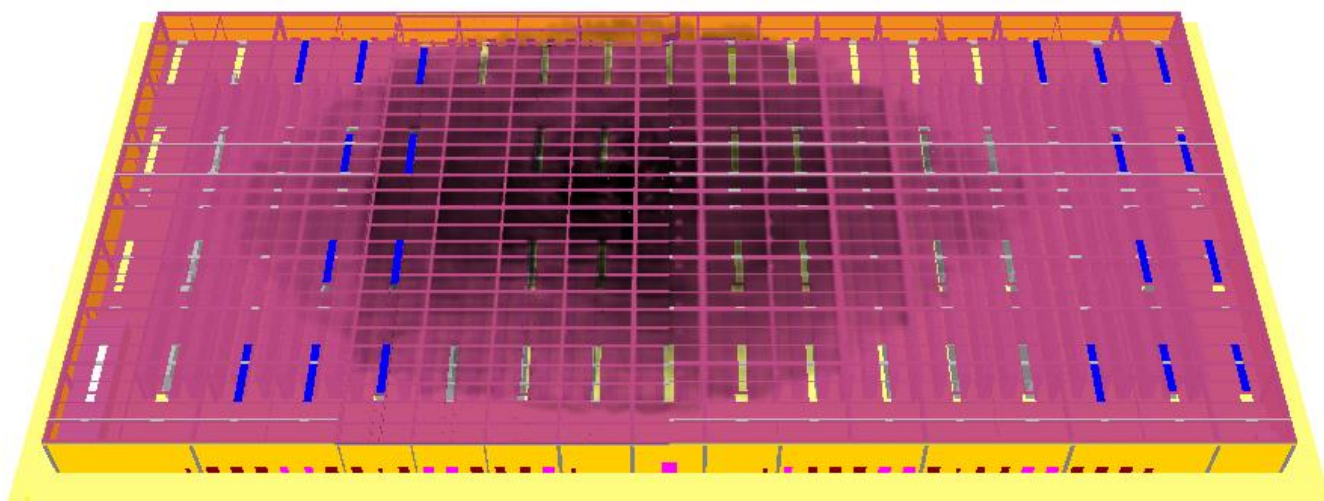
Time: 232.6

Apertura SEd dopo 231 s



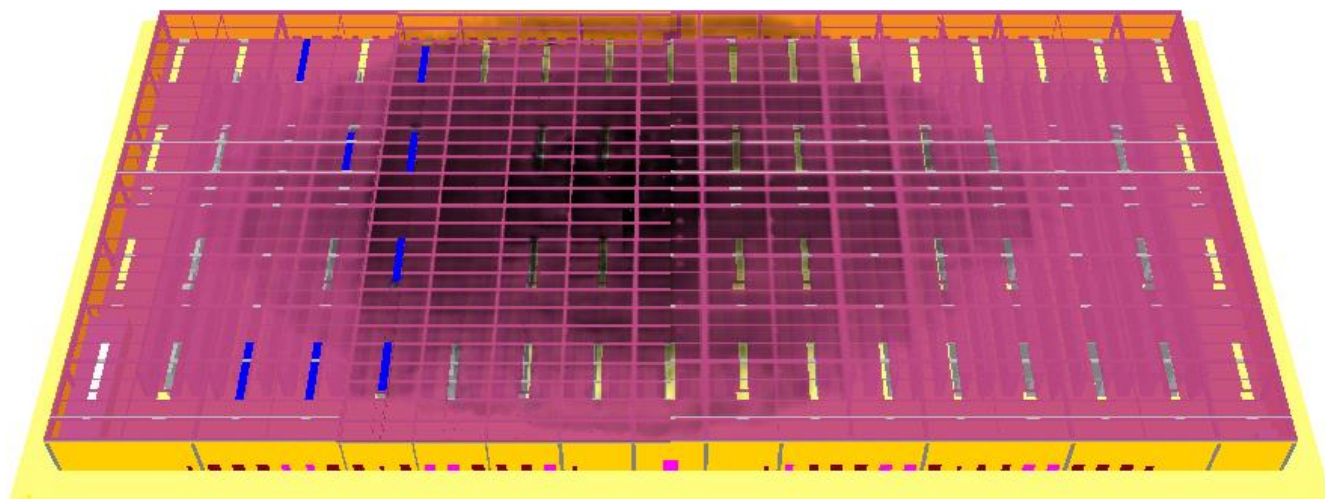
Time: 272.5

Apertura SEd dopo 271 s



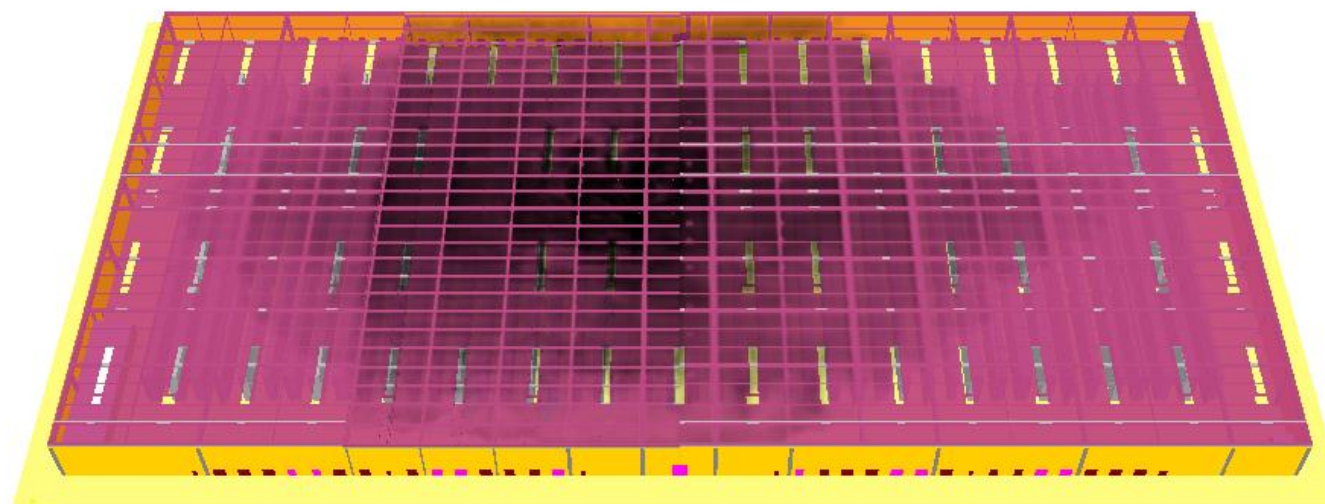
Time: 312.4

Apertura SEd dopo 311 s



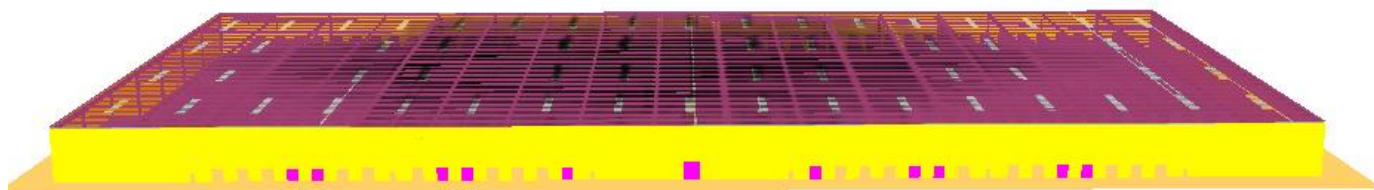
Time: 352.3

Apertura SEd dopo 351 s



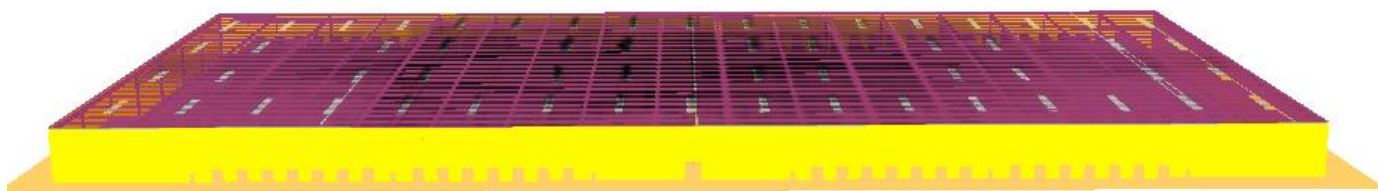
Time: 392.2

Apertura SEd dopo 391 s



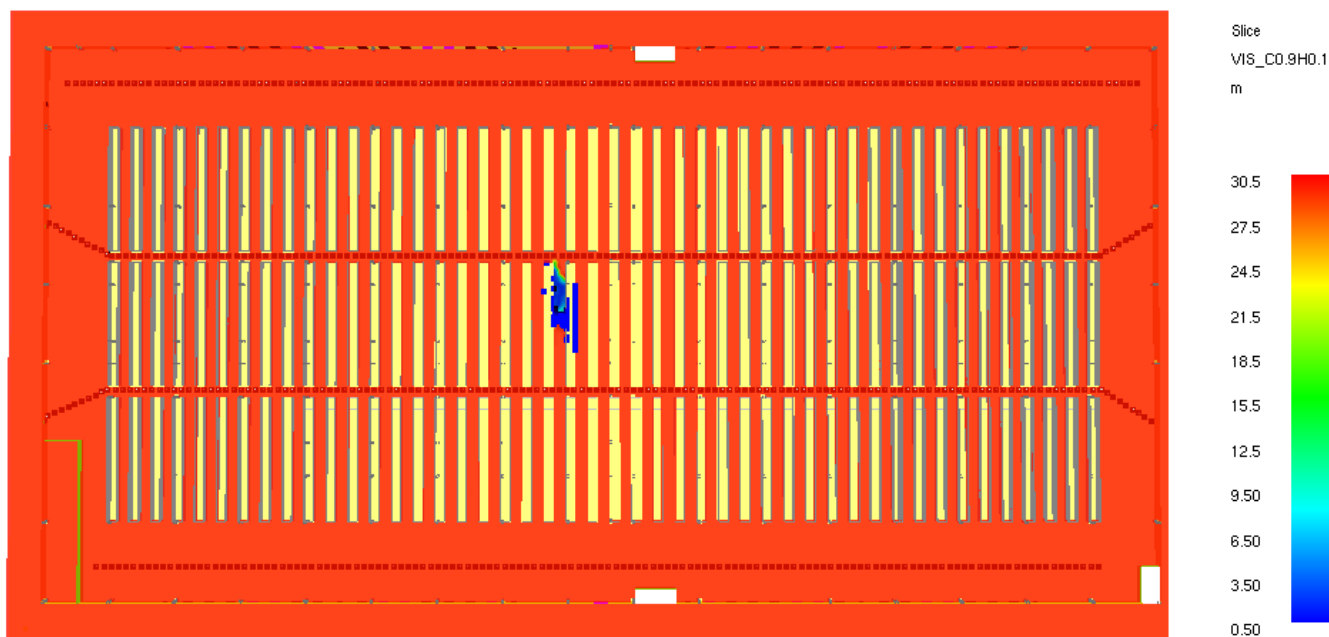
Time: 432.1

Apertura SEd dopo 431 s - Baie di carico 60%



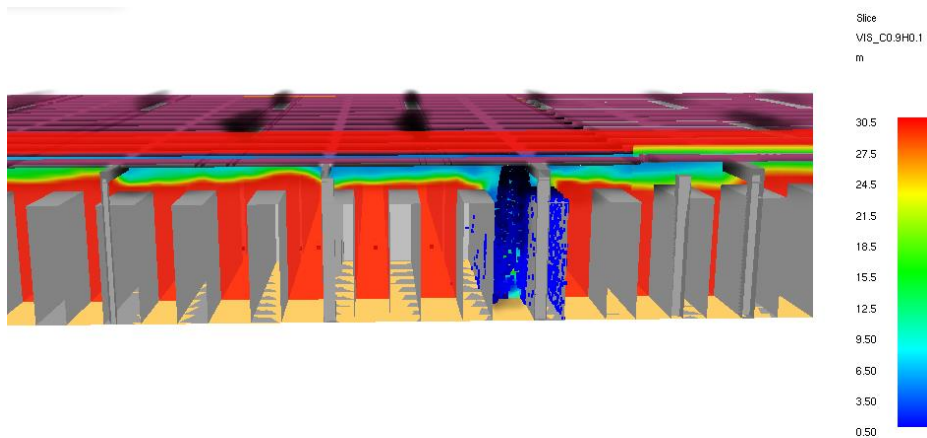
Time: 731.9

Apertura SEd dopo 731 s



Time: 360.3

Slice visibilità $h = 1,8$ m dopo 360 s – Visibilità ampiamente superiore a 10 m eccetto in prossimità dell'incendio
(la condizione resta costante per tutto il tempo della simulazione)



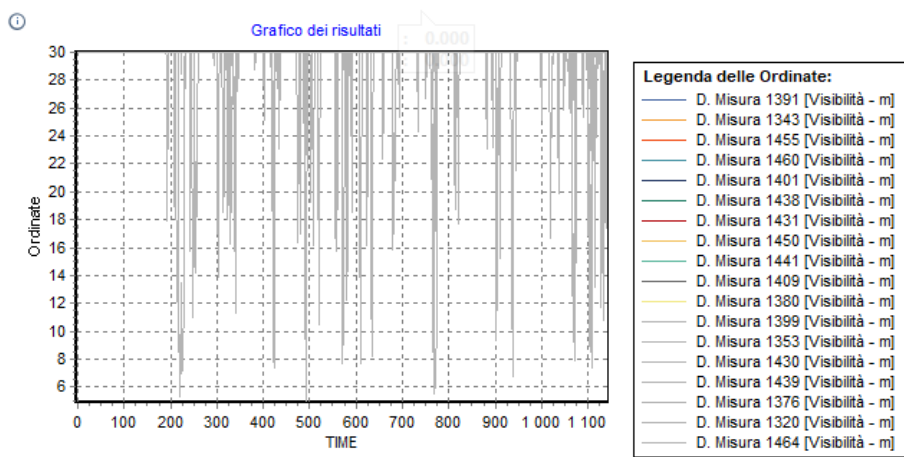
Time: 600.8

Slice visibilità verticale dopo 600 s – Visibilità ampiamente superiore a 10 m eccetto in prossimità dell'incendio

Dati rilevati nei principali percorsi di esodo

Visibilità

Il grafico sottostante rappresenta la visibilità nel percorso di esodo più critico; si tratta di un percorso di esodo molto vicino all'incendio. Nei restanti percorsi di esodo la visibilità è e sempre superiore a 30 m.

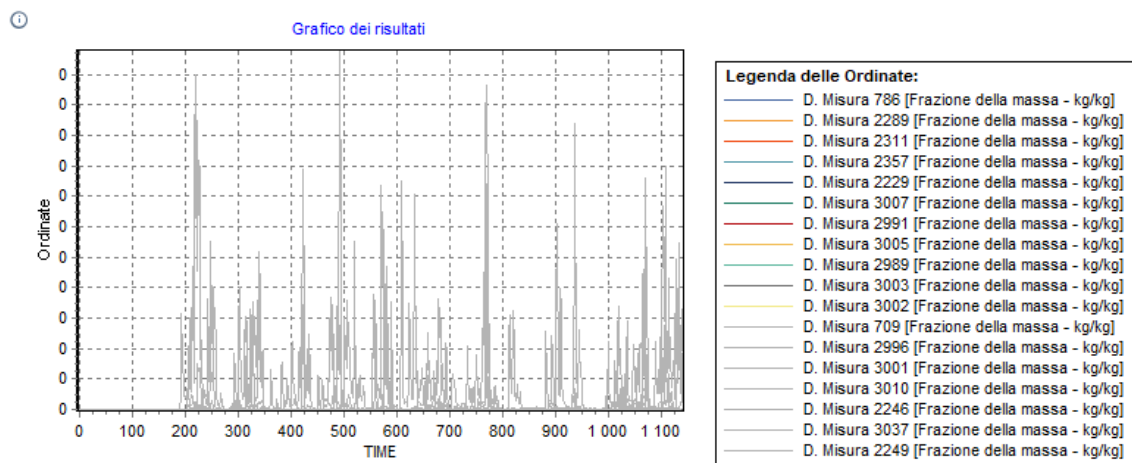


Visibilità nei principali percorsi di esodo

La visibilità non rappresenta una criticità in quanto non scende mai sotto 10 m.

Gas tossici

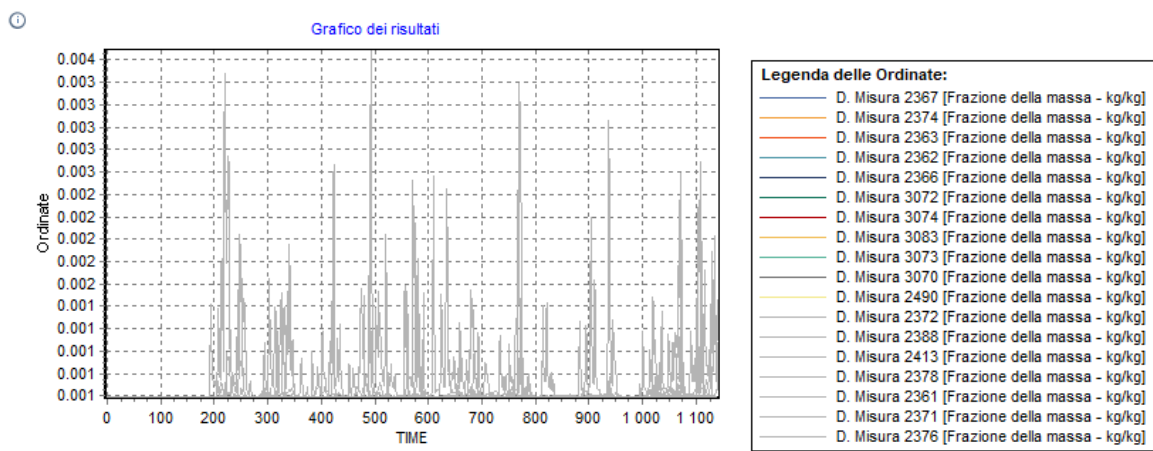
Il grafico sottostante rappresenta la concentrazione di monossido di carbonio nei principali percorsi di esodo, $h=1,8$ m.



Visibilità nei principali percorsi di esodo

La concentrazione di monossido di carbonio non rappresenta una criticità in quanto non arriva mai a 0,1 kg/kg (frazione di massa).

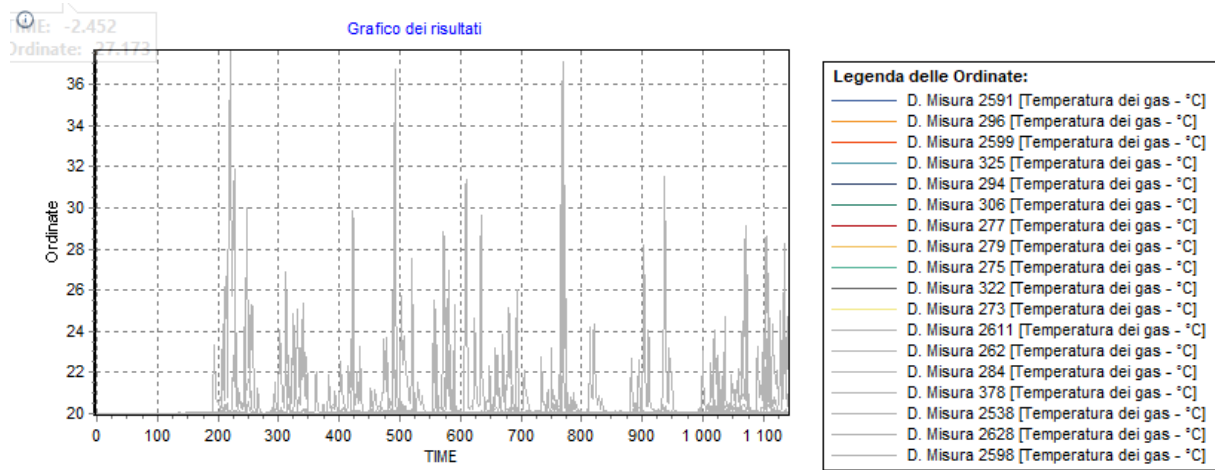
Il grafico sottostante rappresenta la concentrazione di CO₂ nei principali percorsi di esodo, h=1,8 m..



La concentrazione di CO₂ non rappresenta una criticità in quanto non arriva mai a 0,1 kg/kg (*frazione di massa*).

Calore - Temperatura

Il grafico sottostante rappresenta le temperature nei vari percorsi di esodo.

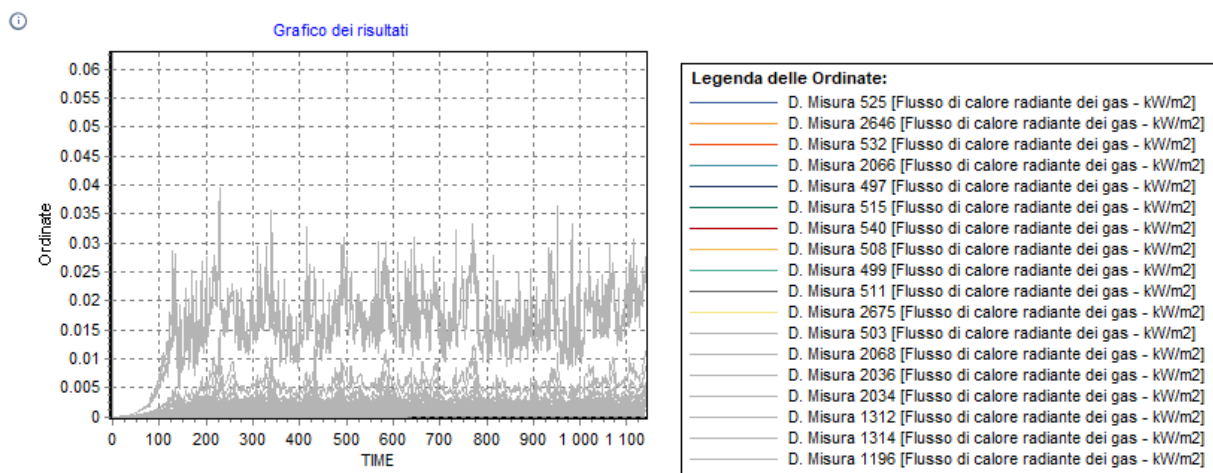


Visibilità nei principali percorsi di esodo

Le temperature non raggiungono mai valori prossimi o superiori a 60°C.

Calore – Irraggiamento termico

Il grafico sottostante rappresenta l'irraggiamento termico nei vari percorsi di esodo.



Visibilità nei principali percorsi di esodo

Il valori di irraggiamento termico nei percorsi di esodo è trascurabile, sempre inferiore $2,5 \text{ kW/m}^2$.

Per quanto riguarda la sicurezza delle squadre di soccorso, considerato che i valori sopra esposti si mantengono costanti fino alla fine della simulazione, non si manifestano situazioni di pericolo.

7.2 Scenario S2

GRIGLIA DI CALCOLO

Nell'adozione dei modelli di simulazione, è importante che il risultato dei calcoli non sia dipendente significativamente dalla variazione dei dati di input.

Nel caso in esame è stato adottato il modello di simulazione di campo FDS (*Fire Dynamics Simulator*) e, per rendere maggiormente attendibili i risultati, sono state definite 4 griglie di calcolo caratterizzate da celle di dimensioni adeguate che garantiscono risultati attendibili e dettagliati; in particolare, nella zona dell'incendio (*focolare di progetto*), è stata definita una griglia di calcolo con dimensioni ridotte al fine avere una simulazione molto dettagliata

Di seguito vengono riportate le caratteristiche dimensionali delle griglie di calcolo

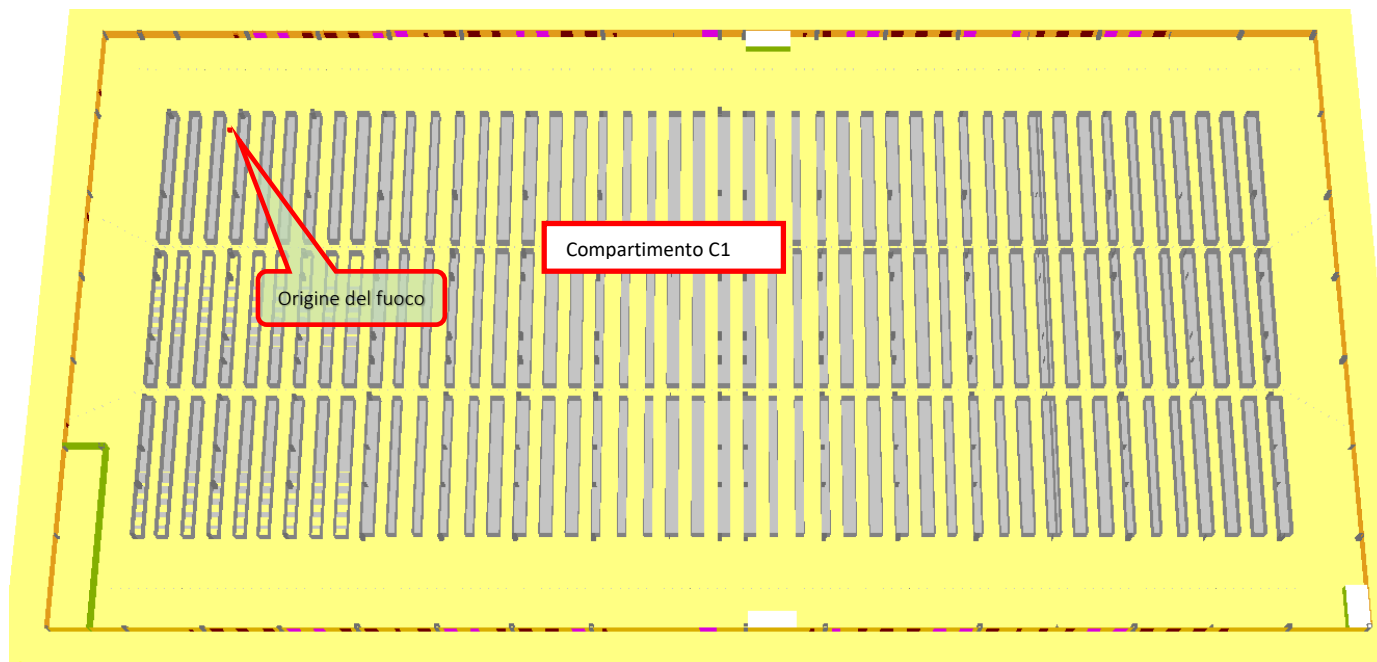
Descrizione	Griglia 001	Cambia			
Geometria della griglia	<input checked="" type="checkbox"/> Traccia rettangolo <input checked="" type="checkbox"/> Anteprima SMV <input checked="" type="checkbox"/> Ottimizza				
Minima X [m]	80.000	Massima X [m]	160.000	N. celle dir. X	80
Minima Y [m]	0.000	Massima Y [m]	170.000	N. celle dir. Y	170
Minima Z [m]	0.000	Massima Z [m]	15.000	N. celle dir. Z	25
Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 1.0000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 1.0000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.6000 m					

Descrizione	Griglia 002	Cambia			
Geometria della griglia	<input checked="" type="checkbox"/> Traccia rettangolo <input checked="" type="checkbox"/> Anteprima SMV <input checked="" type="checkbox"/> Ottimizza				
Minima X [m]	240.000	Massima X [m]	320.000	N. celle dir. X	80
Minima Y [m]	0.000	Massima Y [m]	170.000	N. celle dir. Y	170
Minima Z [m]	0.000	Massima Z [m]	15.000	N. celle dir. Z	25
Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 1.0000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 1.0000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.6000 m					

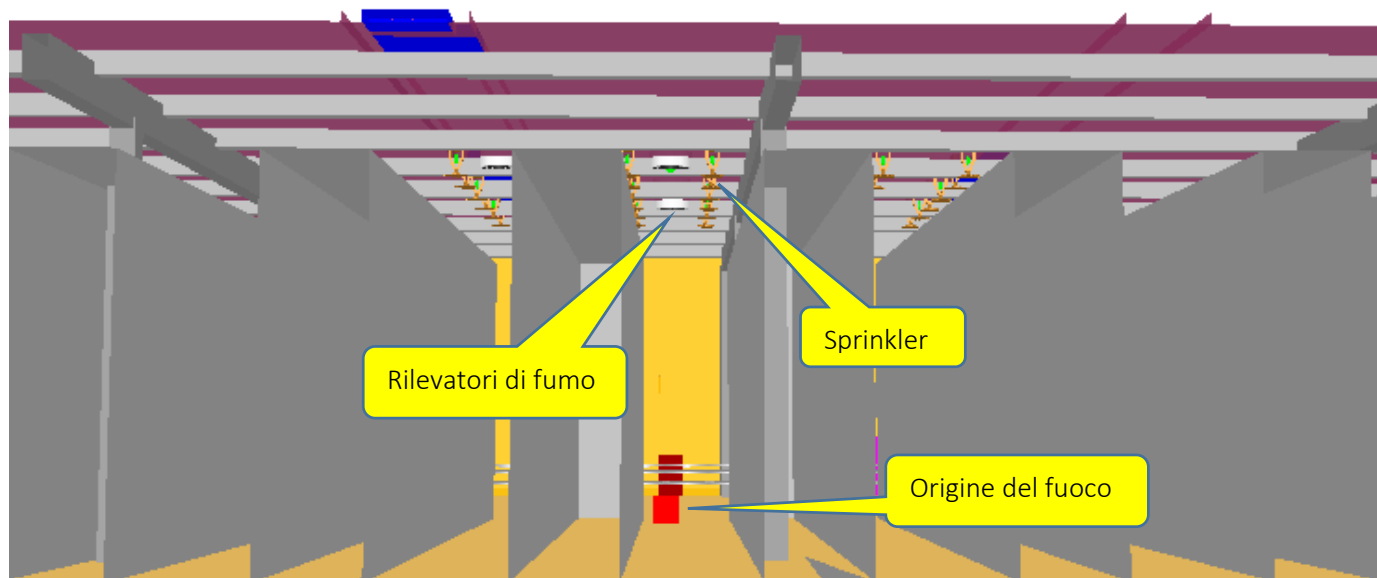
Descrizione	Griglia 003	Cambia			
Geometria della griglia	<input checked="" type="checkbox"/> Traccia rettangolo <input checked="" type="checkbox"/> Anteprima SMV <input checked="" type="checkbox"/> Ottimizza				
Minima X [m]	160.000	Massima X [m]	240.000	N. celle dir. X	80
Minima Y [m]	0.000	Massima Y [m]	170.000	N. celle dir. Y	170
Minima Z [m]	0.000	Massima Z [m]	15.000	N. celle dir. Z	25
Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 1.0000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 1.0000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.6000 m					

Descrizione	Griglia 004	Cambia			
Geometria della griglia	<input checked="" type="checkbox"/> Traccia rettangolo <input checked="" type="checkbox"/> Anteprima SMV <input checked="" type="checkbox"/> Ottimizza				
Minima X [m]	0.000	Massima X [m]	80.000	N. celle dir. X	160
Minima Y [m]	0.000	Massima Y [m]	170.000	N. celle dir. Y	340
Minima Z [m]	0.000	Massima Z [m]	15.000	N. celle dir. Z	50
Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 0.5000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 0.5000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.3000 m					

Come illustrato nella figura sottostante, viene modellato il focolaio di incendio descritto in precedenza come potenza e velocità di crescita, posto in questo caso in zona baricentrica del compartimento C01.



Posizione del focolare scenario S2



Sezione tridimensionale – Impianti di protezione attiva

Incendio di progetto (S2):*Tipo di incendio:*

- Incendio di merce che si sviluppa durante una fase normale di attività;

Posizione:

- S2 su lato sx compartimento come da immagine precedente;

Tipo di attività in corso nell'area dell'incendio:

- Normali operazioni di magazzino;

Tipologia di occupanti:

- Personale addetto allo stoccaggio delle merci, con ausilio di mezzi elettrici;

Sorgente di innesco:

- Difetto meccanico o elettrico di elementi impiantistici.

Albero degli eventi registrati nella simulazione FDS:

t = 0 s	Innesco incendio
t = 44 s	intervento impianto rilevazione fumi e allarme incendio – IRAI – 2 rilevatori attivati
t = 130 s	intervento impianto sprinkler - ESFR
t = 161 s	aperture smaltimento fumo e calore SEc (dopo 30 s attivazione impianto sprinkler)
t = 191 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 1 (dopo 60 s attivazione impianto sprinkler)
t = 231 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 2 (dopo 100 s attivazione impianto sprinkler)
t = 271 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 3 (dopo 140 s attivazione impianto sprinkler)
t = 311 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 4 (dopo 180 s attivazione impianto sprinkler)
t = 351 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 5 (dopo 220 s attivazione impianto sprinkler)
t = 391 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 6 (dopo 260 s attivazione impianto sprinkler)
t = 431 s	apertura del 40% delle baie di carico da parte della squadra antincendio
	- SED - (dopo 300 s attivazione impianto sprinkler)
t = 731 s	apertura del 60% delle baie di carico occupate da mezzi
	- SED - (dopo 600 s attivazione impianto sprinkler)

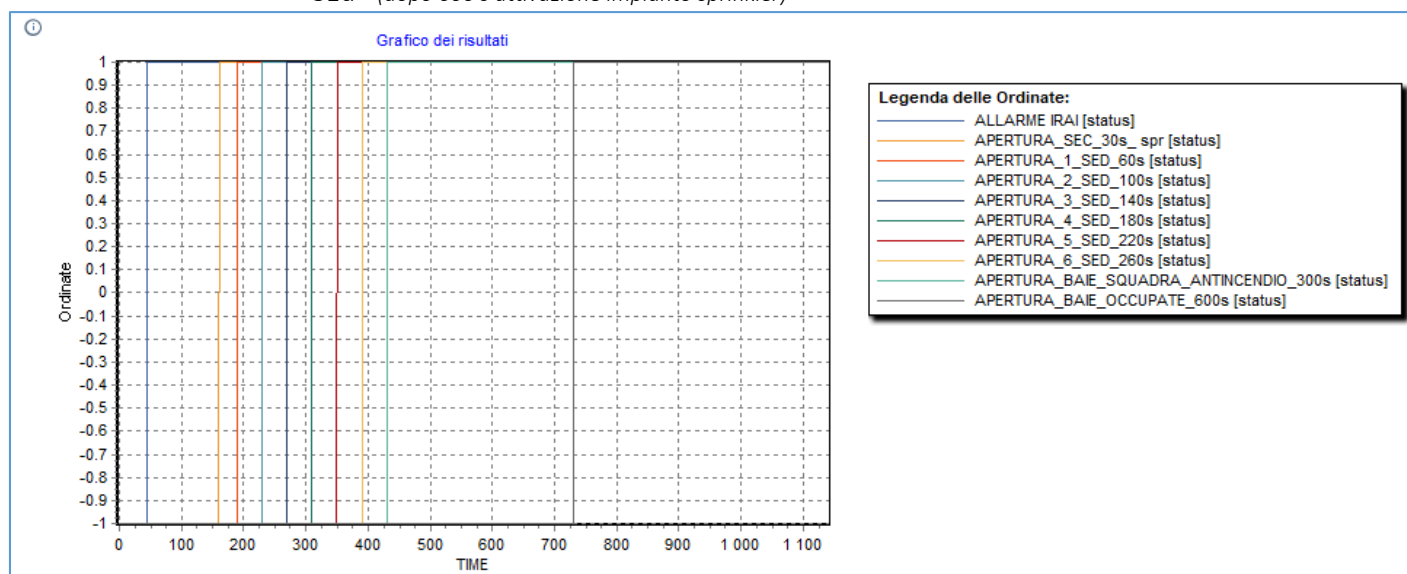
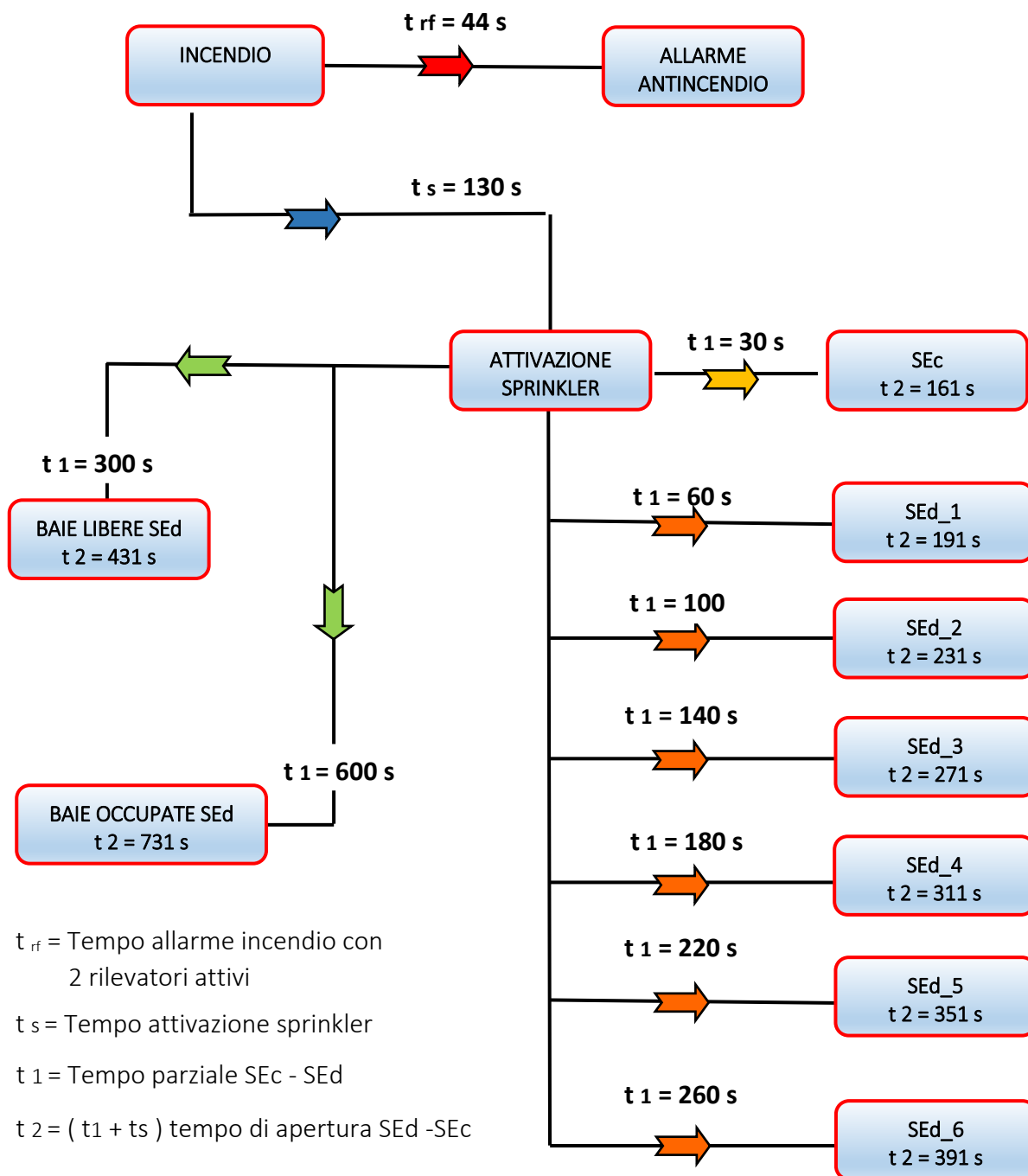


Gráfico albero degli eventi

Albero degli eventi calcolati con FSE



Rivelazione e allarme incendio – Grafico generato dalla simulazione

Impianto di rilevazione e allarme incendio, il grafico sottostante indica il tempo di attivazione di n° 2 rilevatori. Il tempo di attivazione pari a **44 s**, sarà adottato nel calcolo R_{set} come T_{det} .

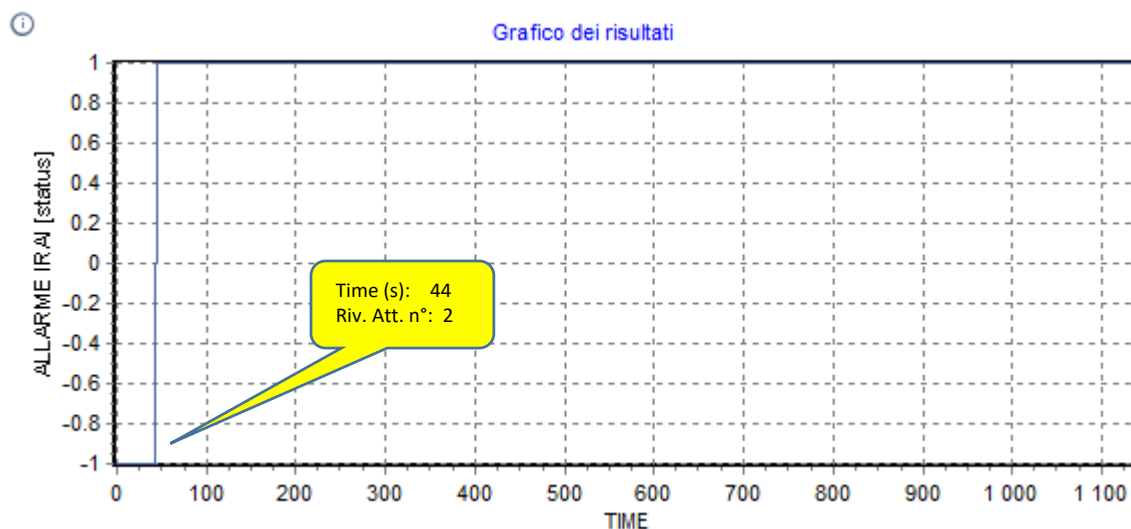


Grafico simulazione intervento impianto rilevazione fumi – 32 s.

Attivazione impianto sprinkler – Grafico generato dalla simulazione

Il grafico sottostante mostra l'istante viene attivato l'impianto sprinkler a soppressione con erogatori ESFR k363.

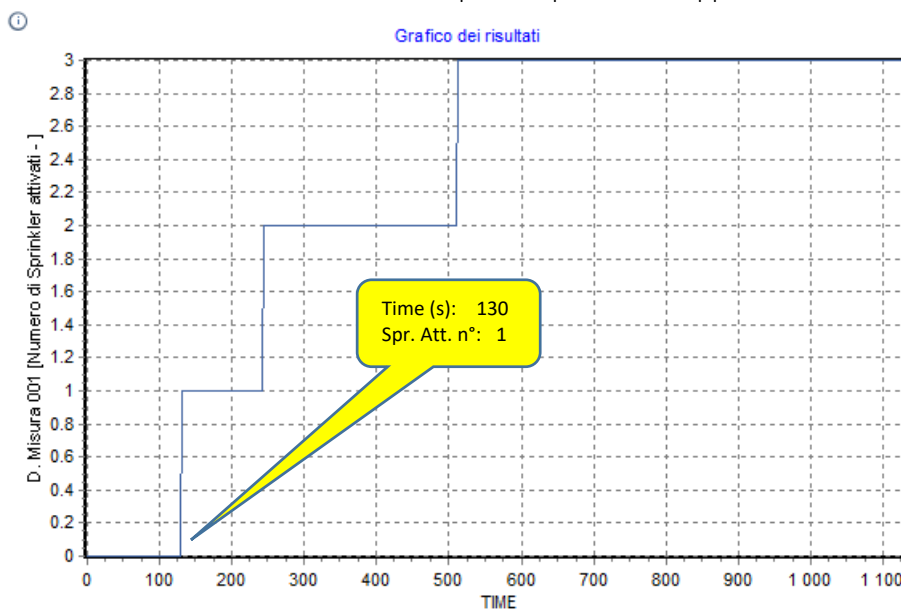


Grafico attivazione testine sprinkler _ Rispetto allo scenario S1 le testine attivate sono 3.

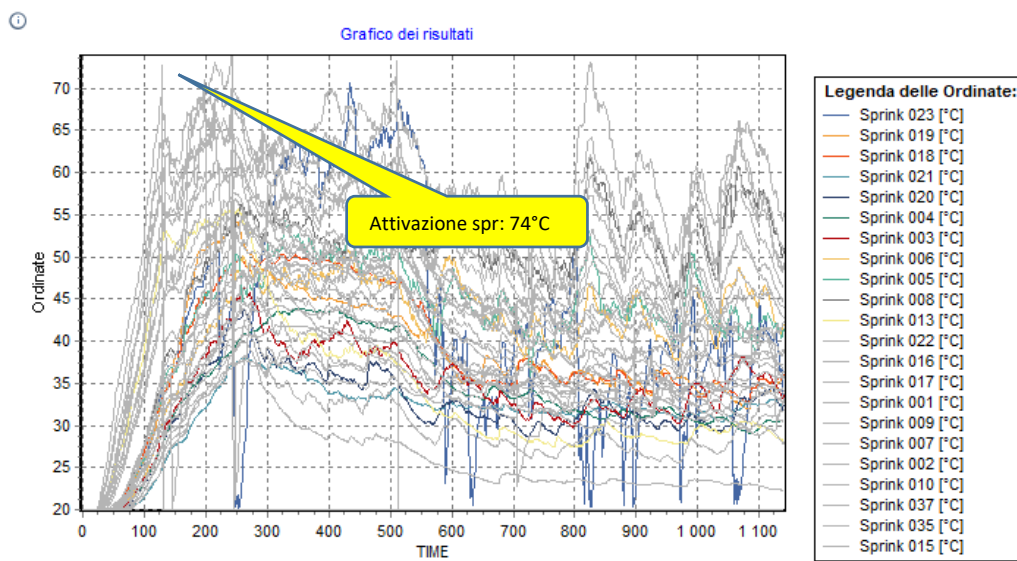


Grafico andamento temperature rilevate dalle testine sprinkler

Curva HRR

Modellazione della curva HRR in presenza di impianto sprinkler.

Il grafico sottostante mostra la crescita Ultra-Fast della curva HRR fino al tempo "t=160 s" corrispondente all'intervento dell'impianto sprinkler + 30 s (a scopo cautelativo è stato considerato il tempo effettivo di intervento dell'impianto sprinkler + 30 s, passando da una HRR di 3.000kW a una HRR di 4.600 kW). Anche se in presenza di un impianto sprinkler a soppressione dell'incendio, è stato considerato il solo appiattimento della curva HRR (il tutto a vantaggio della sicurezza poiché in presenza di situazione più severa).

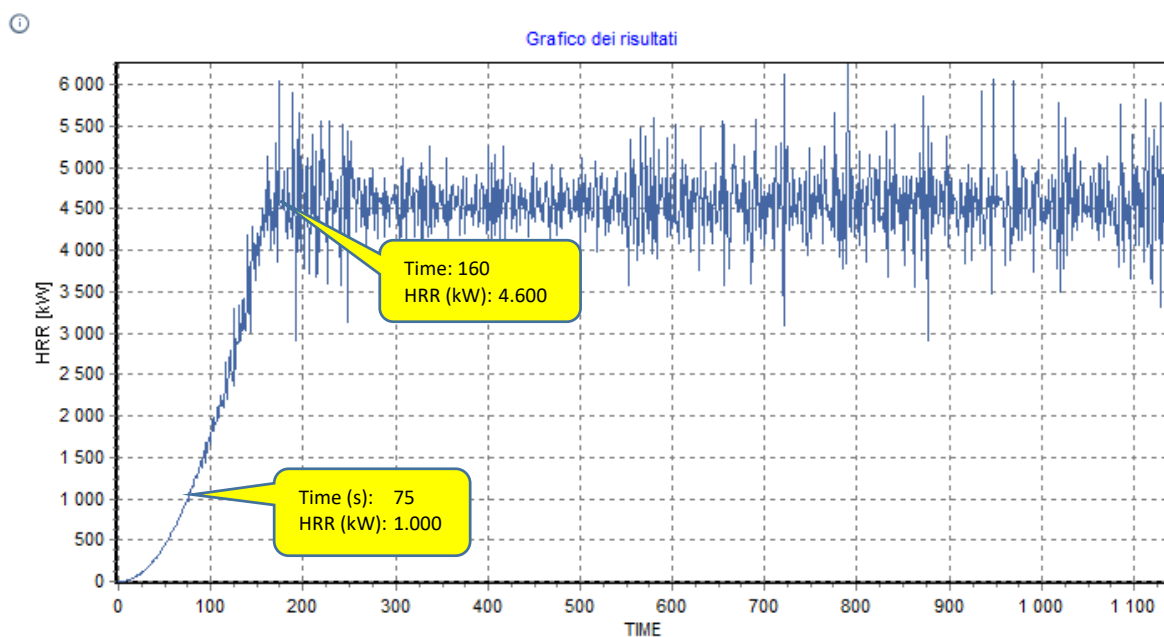
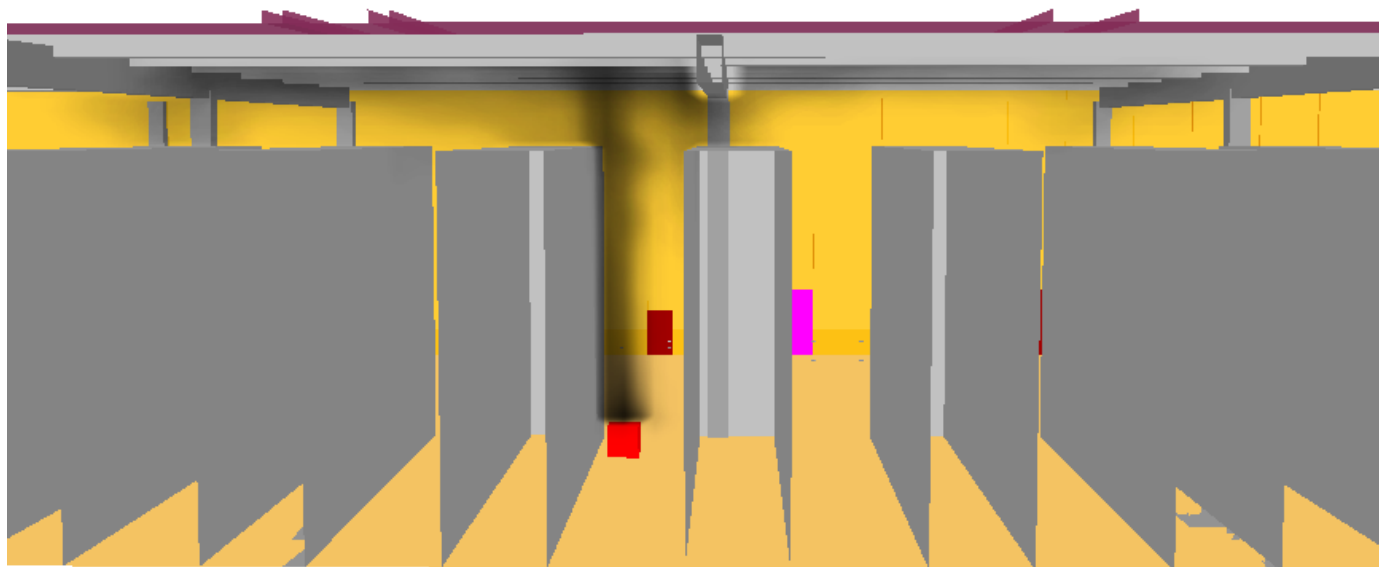


Grafico simulazione curva HRR - FDS

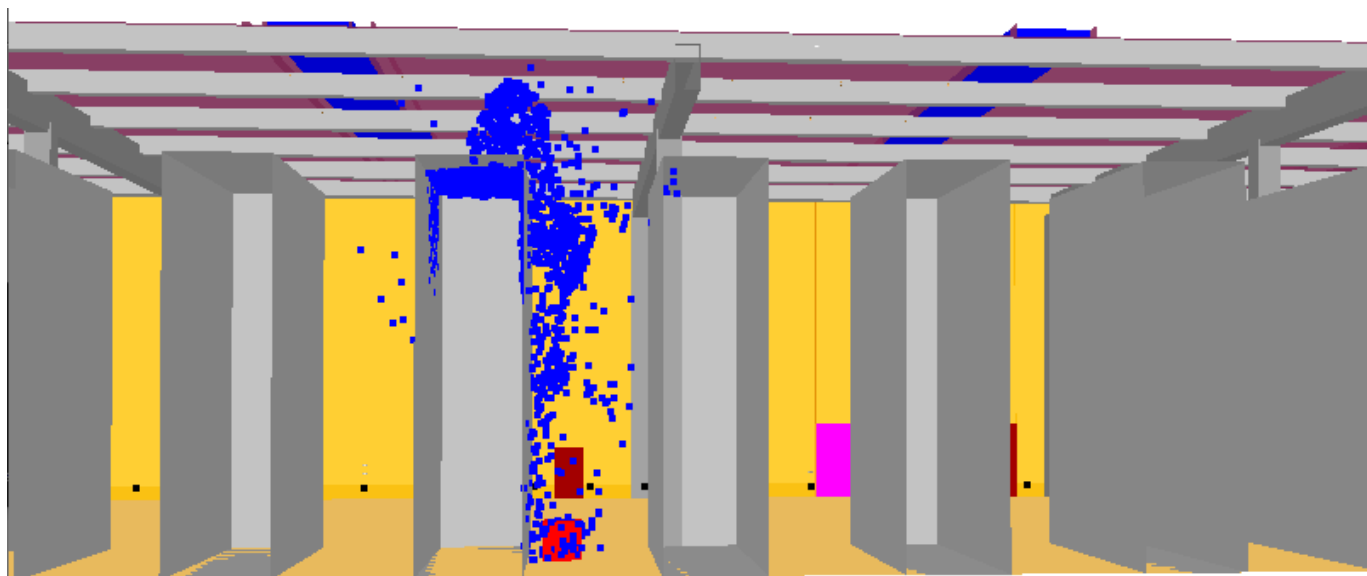
Simulazione FSE – Viste tridimensionali



Time: 45.6



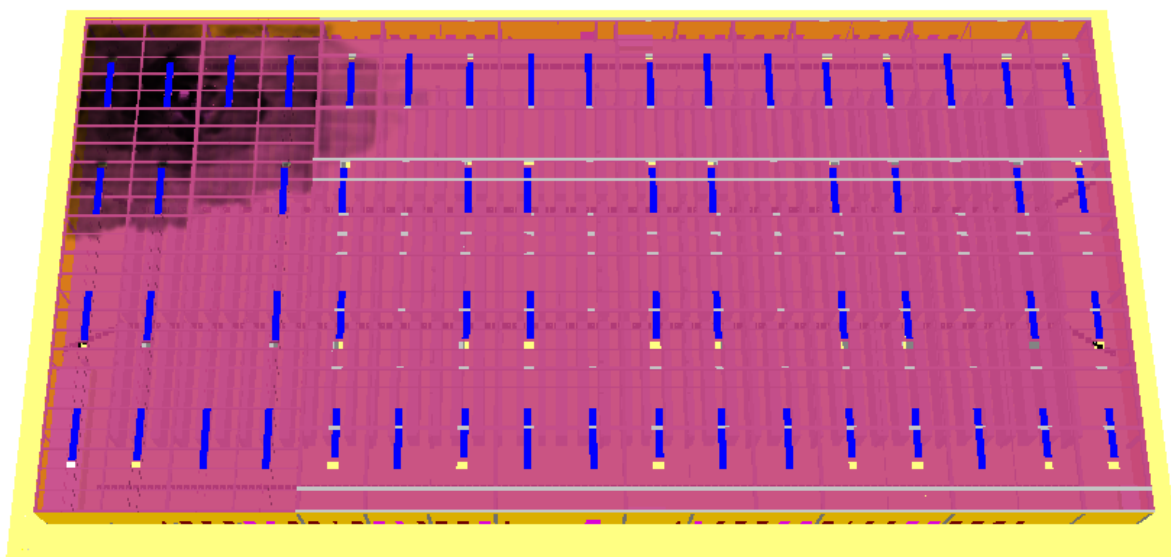
Vista dell'incendio e dei fumi dopo 44 s – Intervento IRAI



Time: 138.0

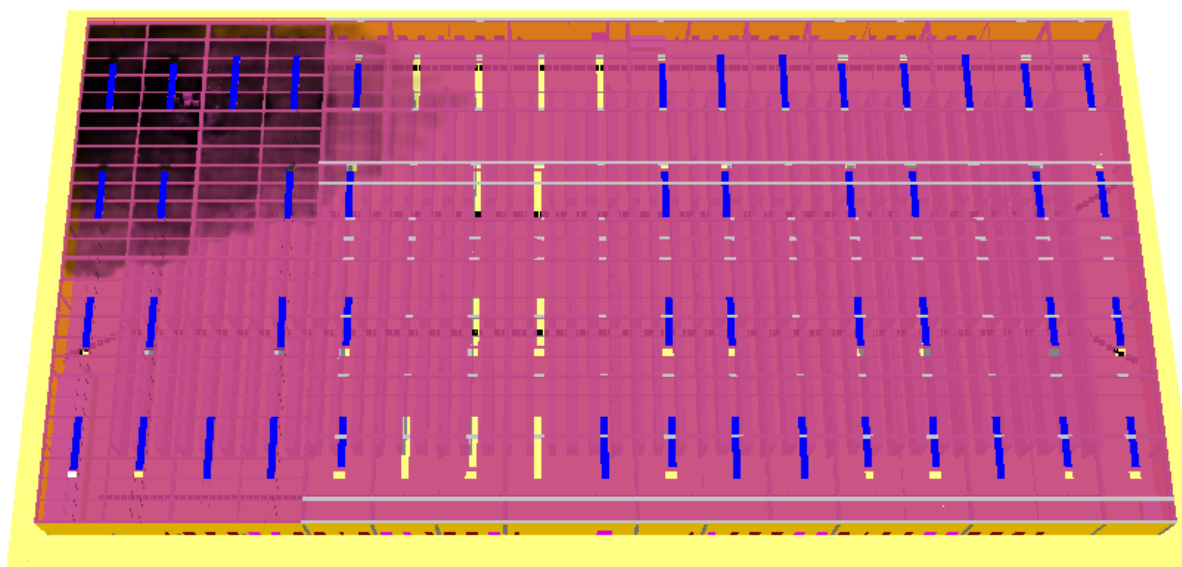


Vista dell'incendio e dei fumi dopo 130 s – Intervento impianto sprinkler



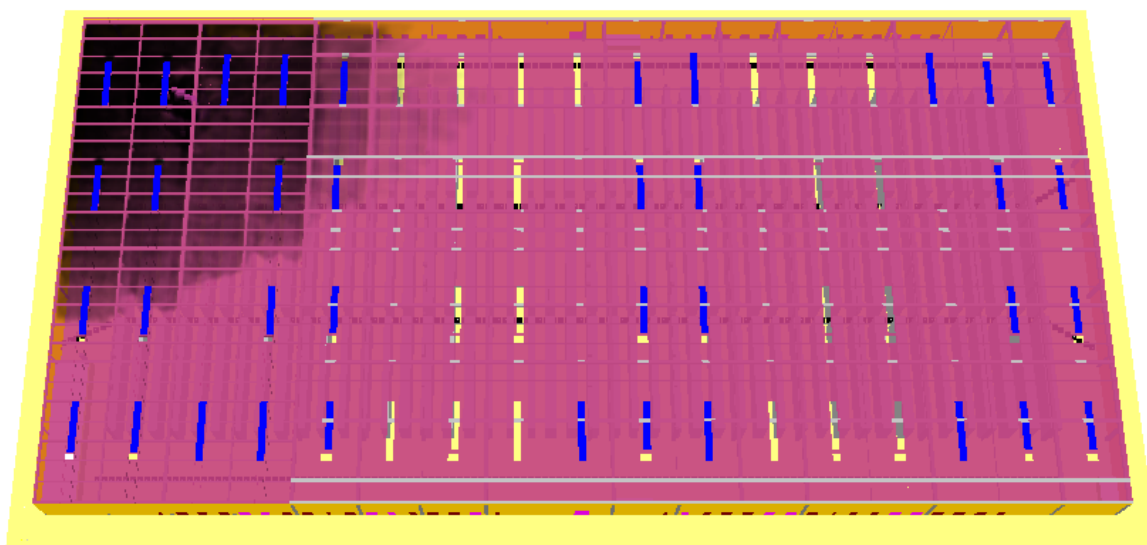
Time: 165.3

Apertura SEC dopo 161 s



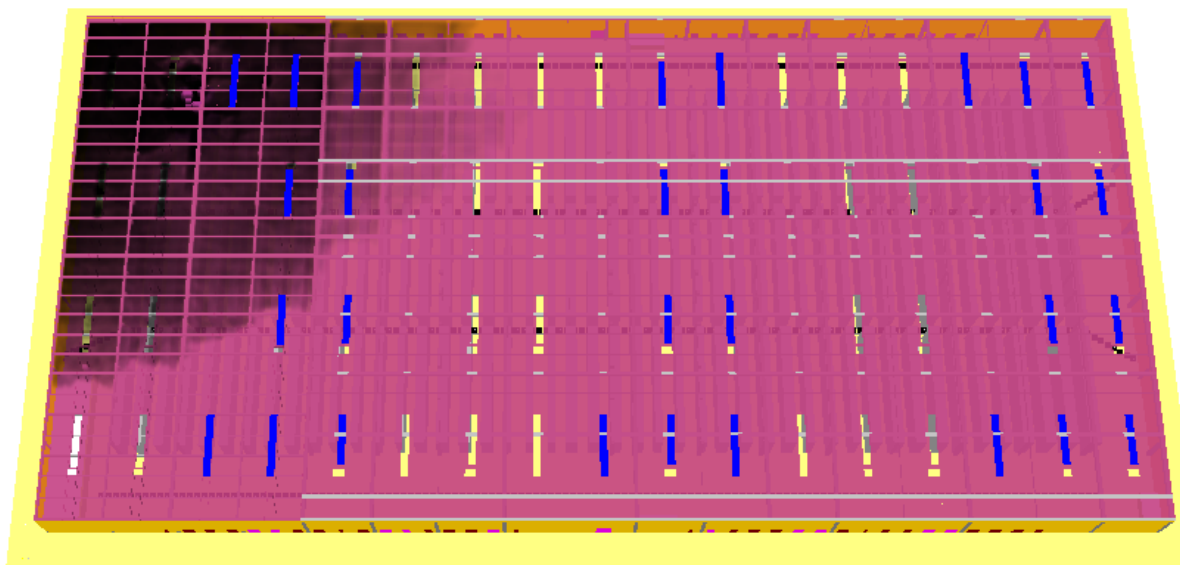
Time: 191.5

Apertura SED dopo 191 s



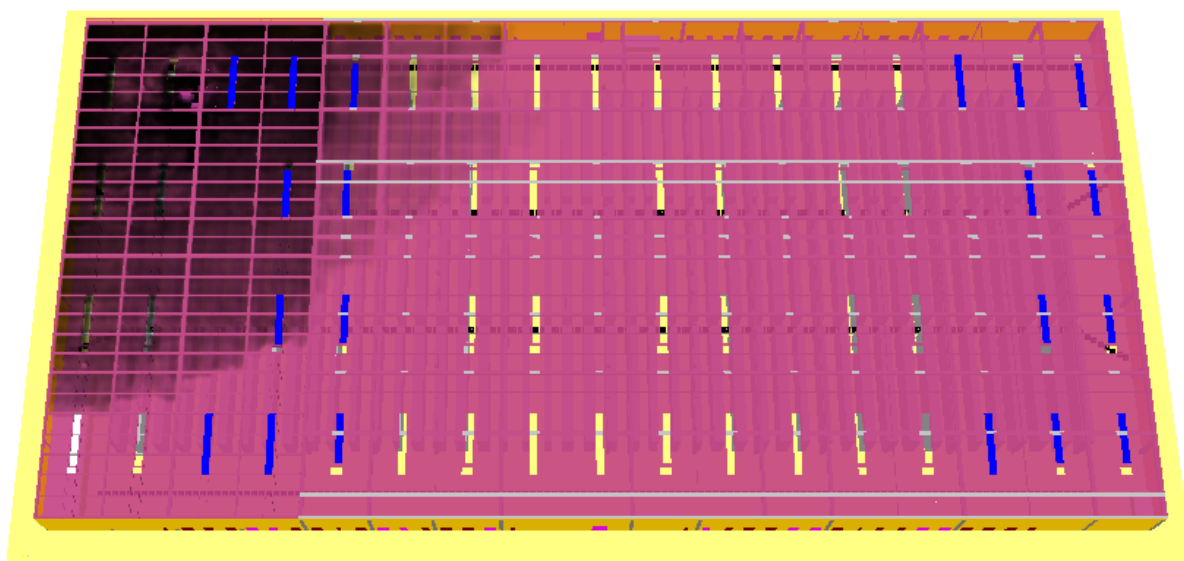
Time: 236.0

Apertura SED dopo 231 s



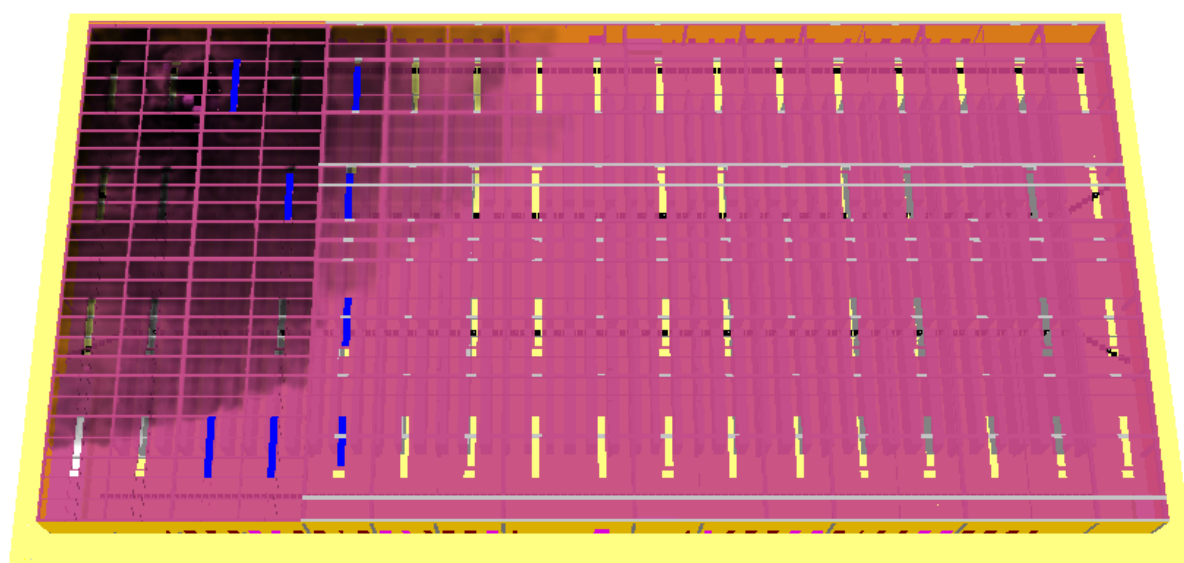
Time: 277.0

Apertura SED dopo 271 s



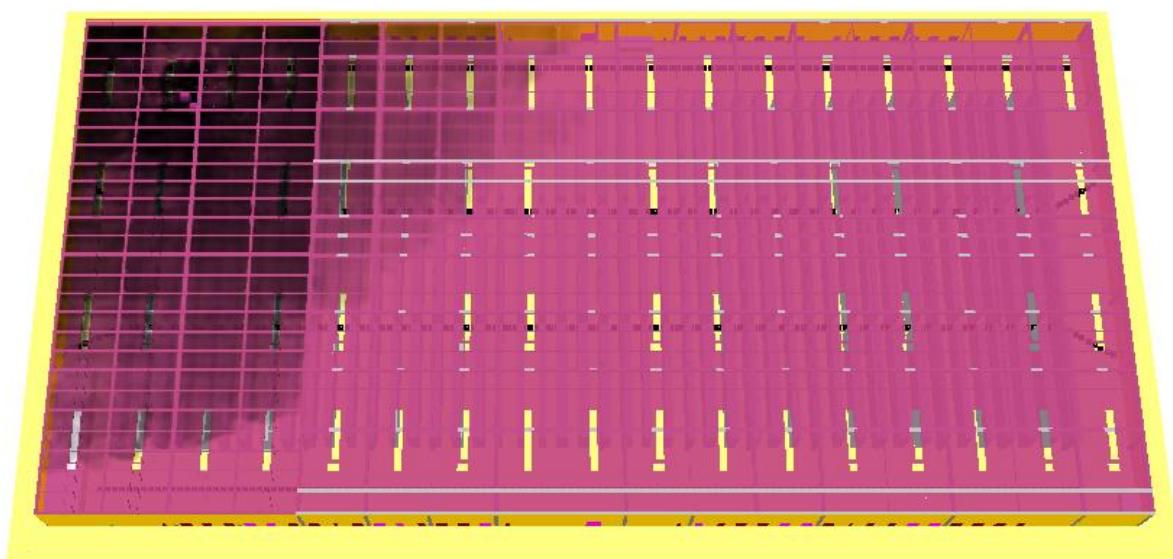
Time: 313.5

Apertura SED dopo 311 s



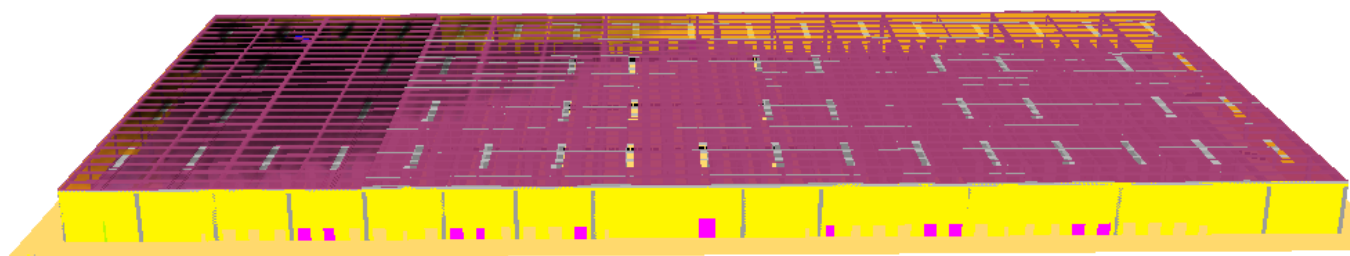
Time: 354.5

Apertura SED dopo 351 s



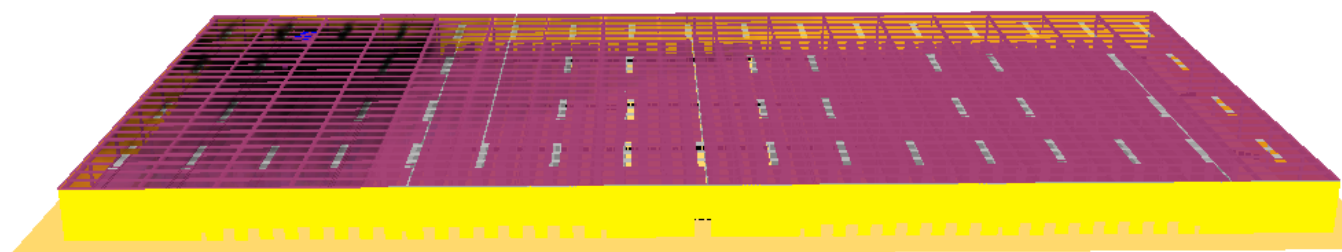
Time: 396.7

Apertura SEd dopo 391 s



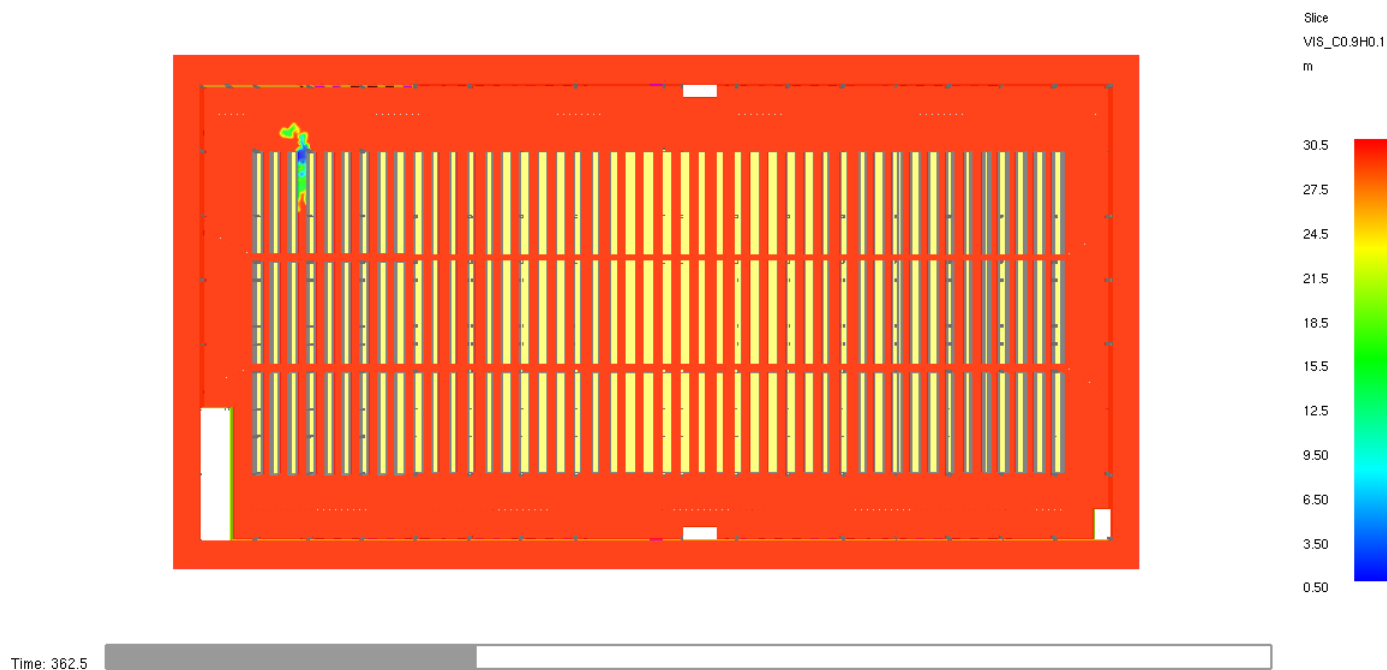
Time: 436.6

Apertura SEd dopo 431 s - Baie di carico 60%

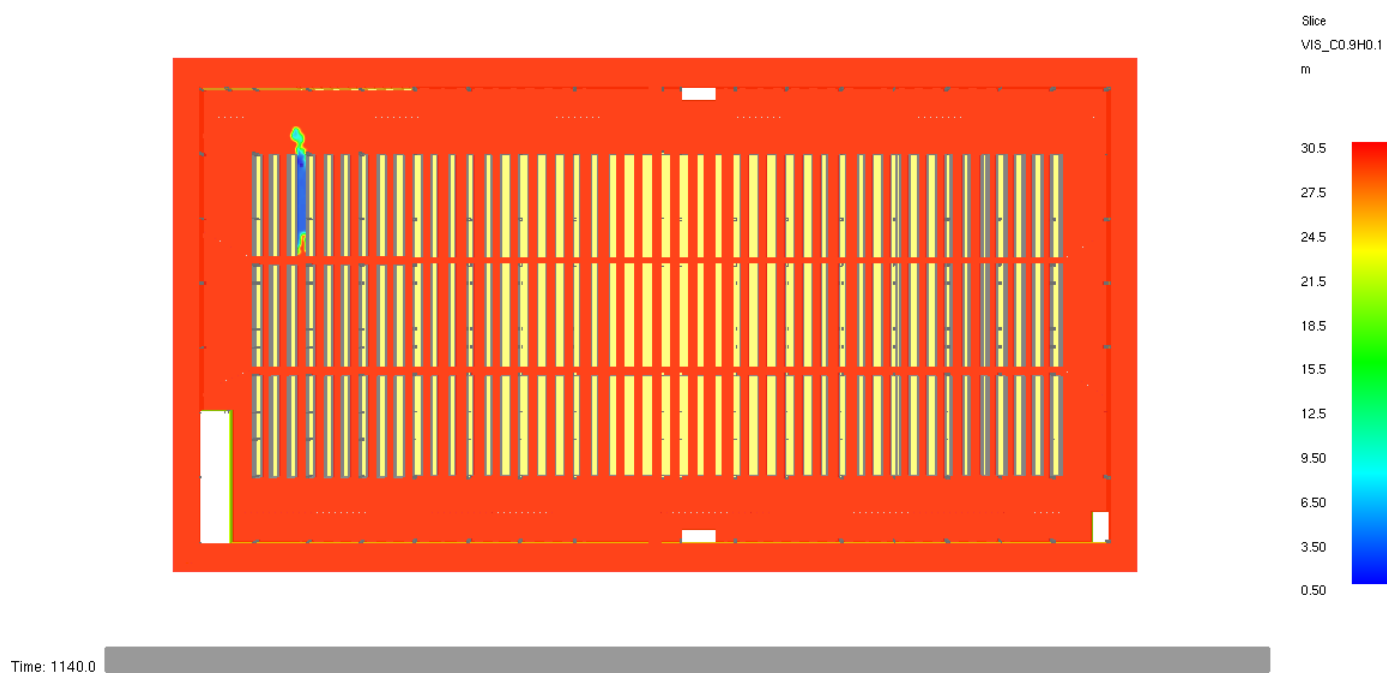


Time: 733.0

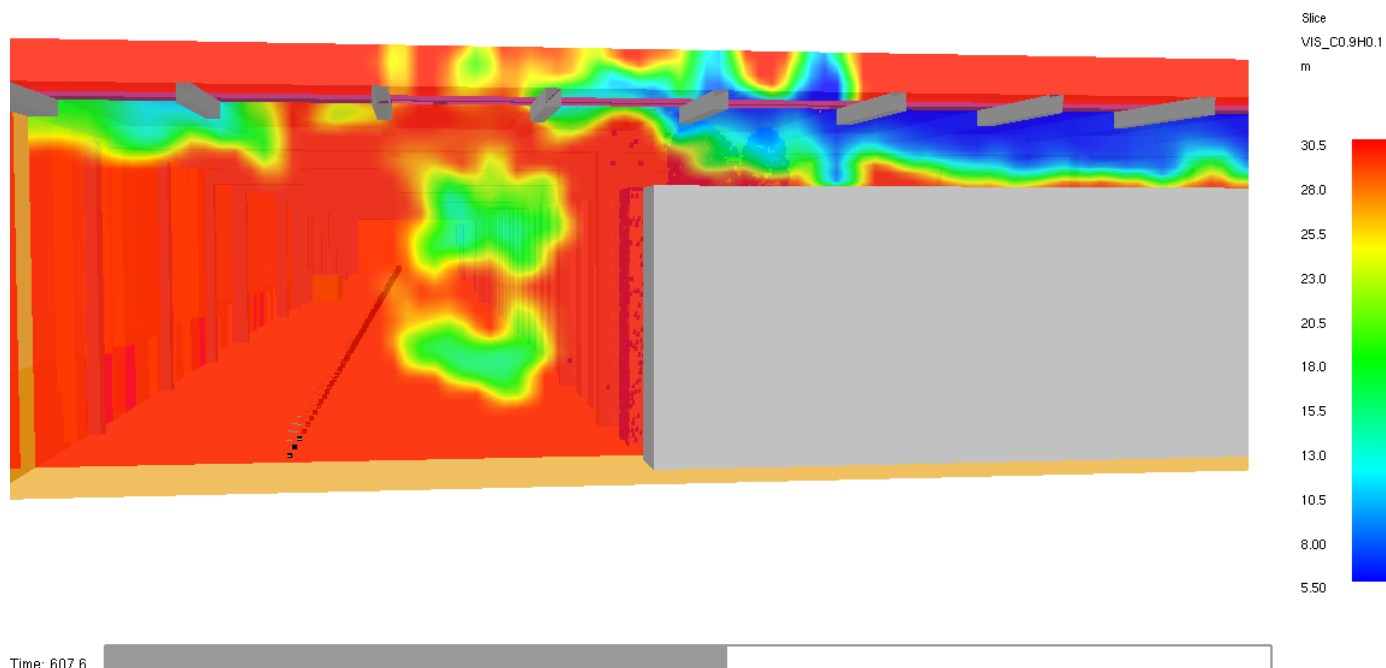
Apertura SEd dopo 731 s



*Slice visibilità $h = 1,8$ m dopo 360 s – Visibilità ampiamente superiore a 10 m eccetto in prossimità dell'incendio
(la condizione resta costante per tutto il tempo della simulazione)*



*Slice visibilità $h = 1,8$ m dopo 1140 s – Visibilità ampiamente superiore a 10 m eccetto in prossimità dell'incendio
(la condizione resta costante per tutto il tempo della simulazione)*

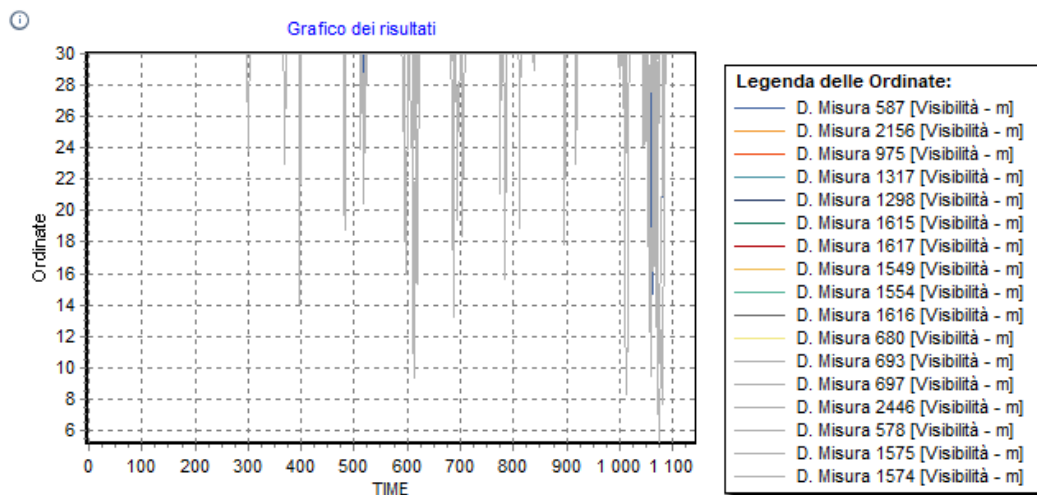


Slice visibilità verticale dopo 600 s – Visibilità ampiamente superiore a 10 m eccetto in prossimità dell'incendio

Dati rilevati nei principali percorsi di esodo

Visibilità

Il grafico sottostante rappresenta la visibilità a 1,8 m dal pavimento nel percorso di esodo più critico; si tratta di un percorso di esodo molto vicino all'incendio. Nei restanti percorsi di esodo la visibilità è e sempre superiore a 30 m.

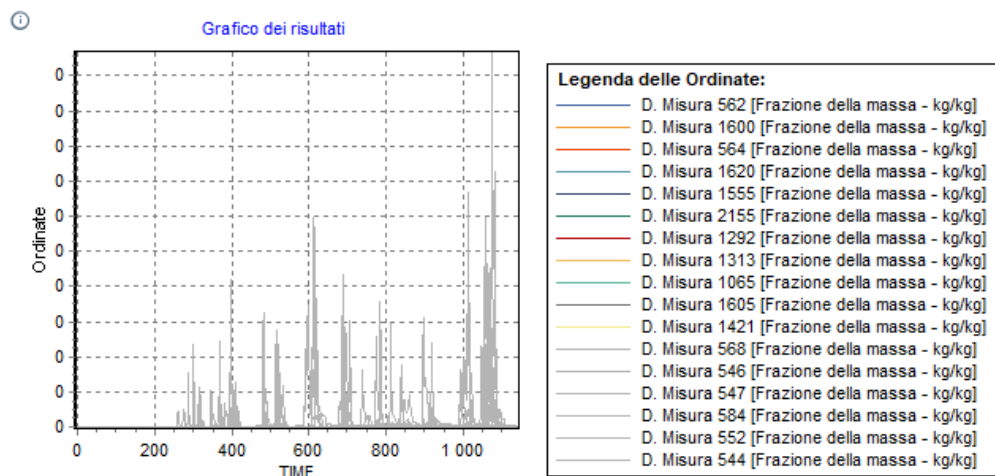


Visibilità nei principali percorsi di esodo

La visibilità non rappresenta una criticità in quanto non scende mai sotto 10 m.

Gas tossici

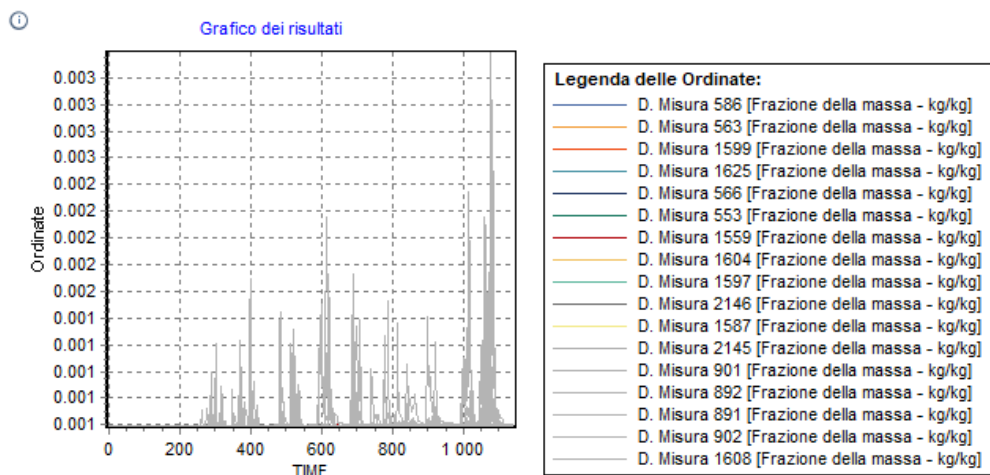
Il grafico sottostante rappresenta la concentrazione di monossido di carbonio nei principali percorsi di esodo, h=1,8 m.



Visibilità nei principali percorsi di esodo

La concentrazione di monossido di carbonio non rappresenta una criticità in quanto non arriva mai a 0,1 kg/kg (frazione di massa).

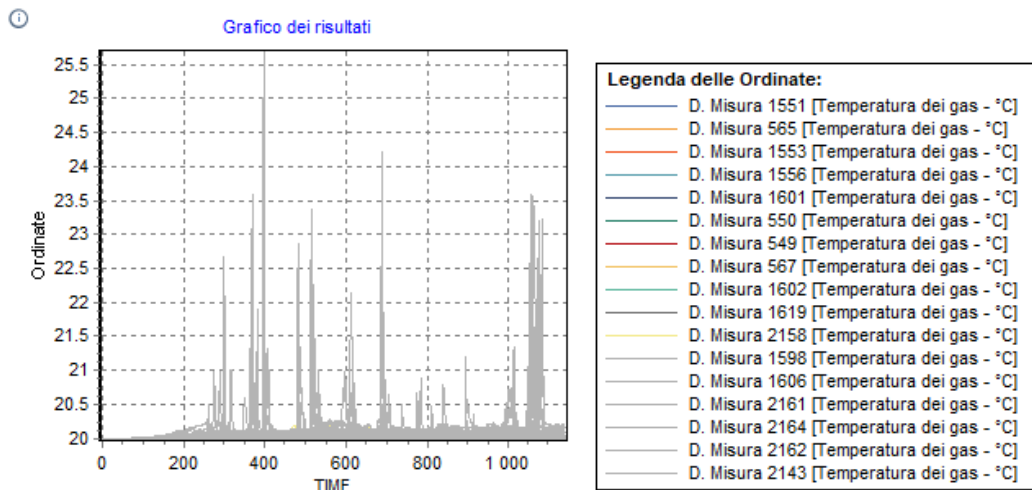
Il grafico sottostante rappresenta la concentrazione di CO₂ nei principali percorsi di esodo, h=1,8 m..



La concentrazione di CO₂ non rappresenta una criticità in quanto non arriva mai a 0,1 kg/kg (frazione di massa).

Calore - Temperatura

Il grafico sottostante rappresenta le temperature nei vari percorsi di esodo.

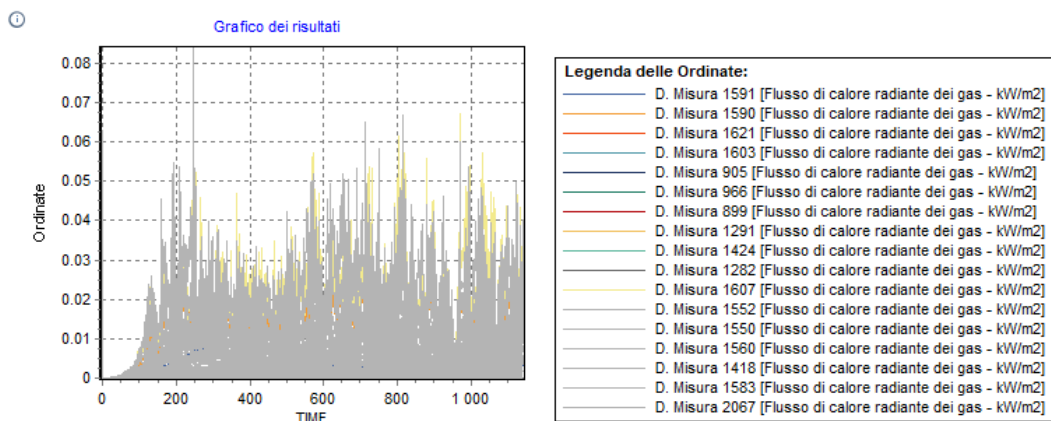


Visibilità nei principali percorsi di esodo

Le temperature non raggiungono mai valori prossimi o superiori a 60°C.

Calore – Irraggiamento termico

Il grafico sottostante rappresenta l'irraggiamento termico nei vari percorsi di esodo.



Visibilità nei principali percorsi di esodo

Il valori di irraggiamento termico nei percorsi di esodo è trascurabile, sempre inferiore 2,5 kW/m².

Per quanto riguarda la sicurezza delle squadre di soccorso, considerato che i valori sopra esposti si mantengono costanti fino alla fine della simulazione, non si manifestano situazioni di pericolo.

7.3 Scenario S3

GRIGLIA DI CALCOLO

Nell'adozione dei modelli di simulazione, è importante che il risultato dei calcoli non sia dipendente significativamente dalla variazione dei dati di input.

Nel caso in esame è stato adottato il modello di simulazione di campo FDS (*Fire Dynamics Simulator*) e, per rendere maggiormente attendibili i risultati, sono state definite 4 griglie di calcolo caratterizzate da celle di dimensioni adeguate che garantiscono risultati attendibili e dettagliati; in particolare, nella zona dell'incendio (*focolare di progetto*), è stata definita una griglia di calcolo con dimensioni ridotte al fine avere una simulazione molto dettagliata

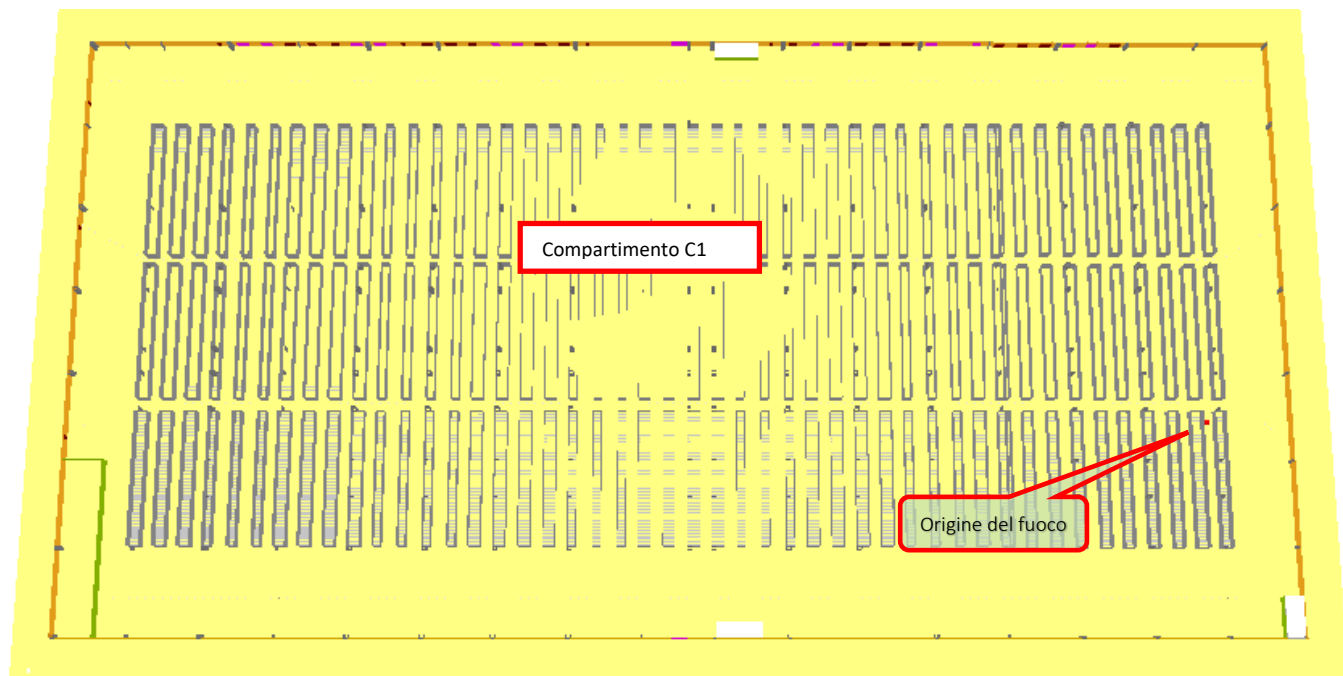
Di seguito vengono riportate le caratteristiche dimensionali delle griglie di calcolo:

Descrizione	Griglia 001	Cambia
Geometria della griglia	<p>Minima X [m] 80.000 Massima X [m] 160.000 N. celle dir. X 80</p> <p>Minima Y [m] 0.000 Massima Y [m] 170.000 N. celle dir. Y 170</p> <p>Minima Z [m] 0.000 Massima Z [m] 15.000 N. celle dir. Z 25</p> <p>Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 1.0000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 1.0000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.6000 m</p>	<p>Minima X [m] 240.000 Massima X [m] 320.000 N. celle dir. X 160</p> <p>Minima Y [m] 0.000 Massima Y [m] 170.000 N. celle dir. Y 340</p> <p>Minima Z [m] 0.000 Massima Z [m] 15.000 N. celle dir. Z 50</p> <p>Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 0.5000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 0.5000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.3000 m</p>

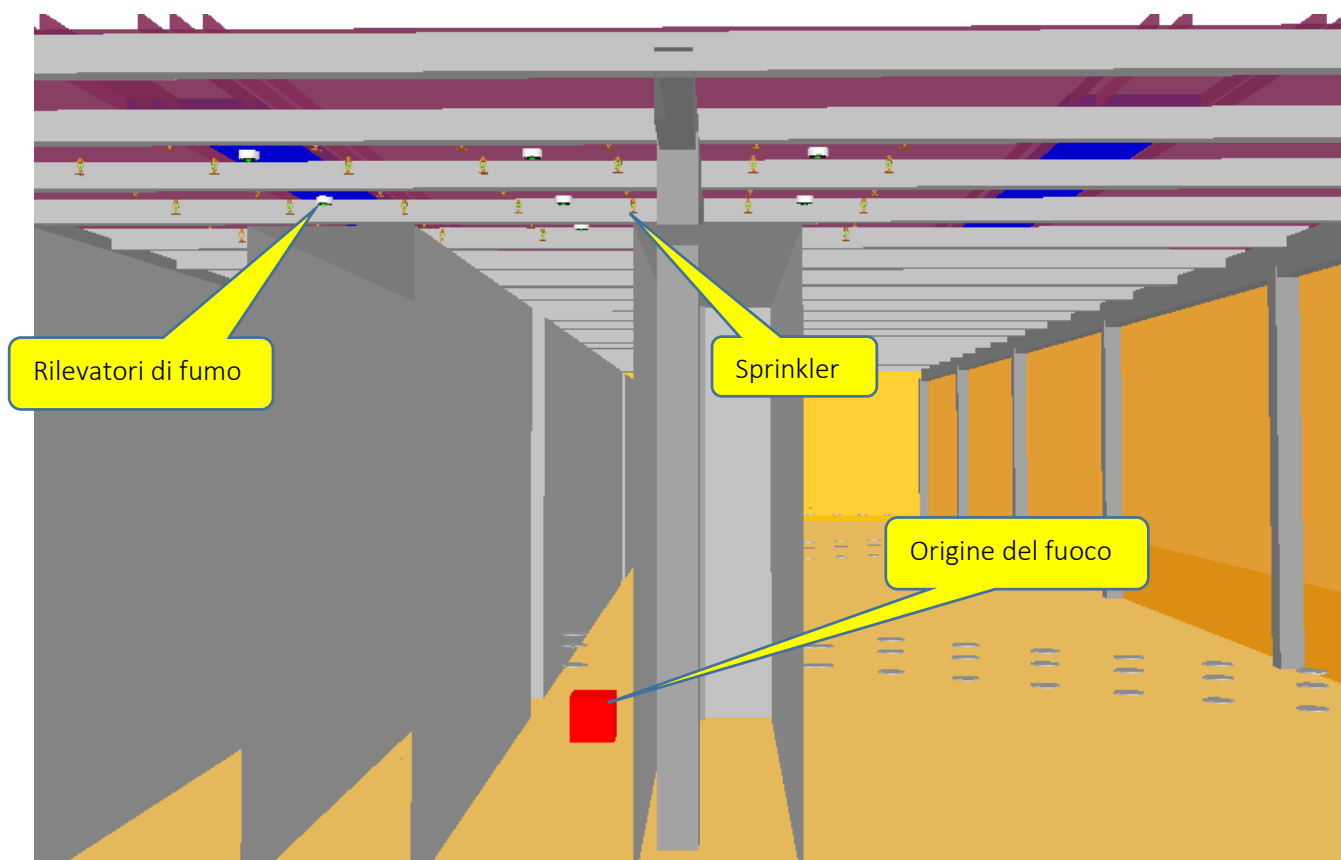
Descrizione	Griglia 003	Cambia
Geometria della griglia	<p>Minima X [m] 160.000 Massima X [m] 240.000 N. celle dir. X 80</p> <p>Minima Y [m] 0.000 Massima Y [m] 170.000 N. celle dir. Y 170</p> <p>Minima Z [m] 0.000 Massima Z [m] 15.000 N. celle dir. Z 25</p> <p>Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 1.0000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 1.0000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.6000 m</p>	

Descrizione	Griglia 004	Cambia
Geometria della griglia	<p>Minima X [m] 0.000 Massima X [m] 80.000 N. celle dir. X 80</p> <p>Minima Y [m] 0.000 Massima Y [m] 170.000 N. celle dir. Y 170</p> <p>Minima Z [m] 0.000 Massima Z [m] 15.000 N. celle dir. Z 25</p> <p>Estensione X: 80.00 m Step nella direzione X: 1.0000 m Estensione Y: 170.00 m Step nella direzione Y: 1.0000 m Estensione Z: 15.00 m Step nella direzione Z: 0.6000 m</p>	

Come illustrato nella figura sottostante, viene modellato il focolaio di incendio descritto in precedenza come potenza e velocità di crescita, posto in questo caso in zona baricentrica del compartimento C01.



Posizione del focolare scenario S3



Sezione tridimensionale – Impianti di protezione attiva

Incendio di progetto (S2):*Tipo di incendio:*

- Incendio di merce che si sviluppa durante una fase normale di attività;

Posizione:

- S2 su lato sx compartimento come da immagine precedente;

Tipo di attività in corso nell'area dell'incendio:

- Normali operazioni di magazzino;

Tipologia di occupanti:

- Personale addetto allo stoccaggio delle merci, con ausilio di mezzi elettrici;

Sorgente di innesco:

- Difetto meccanico o elettrico di elementi impiantistici.

Albero degli eventi registrati nella simulazione FDS:

t = 0 s	Innesco incendio
t = 24 s	intervento impianto rilevazione fumi e allarme incendio – IRAI – 2 rilevatori attivati
t = 135 s	intervento impianto sprinkler - ESFR
t = 165 s	aperture smaltimento fumo e calore SEc (dopo 30 s attivazione impianto sprinkler)
t = 195 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 1 (dopo 60 s attivazione impianto sprinkler)
t = 235 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 2 (dopo 100 s attivazione impianto sprinkler)
t = 275 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 3 (dopo 140 s attivazione impianto sprinkler)
t = 315 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 4 (dopo 180 s attivazione impianto sprinkler)
t = 355 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 5 (dopo 220 s attivazione impianto sprinkler)
t = 395 s	apertura smaltimento fumo e calore SED - 6 (dopo 260 s attivazione impianto sprinkler)
t = 435 s	apertura del 40% delle baie di carico da parte della squadra antincendio
	- SEd - (dopo 300 s attivazione impianto sprinkler)
t = 735 s	apertura del 60% delle baie di carico occupate da mezzi
	- SEd - (dopo 600 s attivazione impianto sprinkler)

①

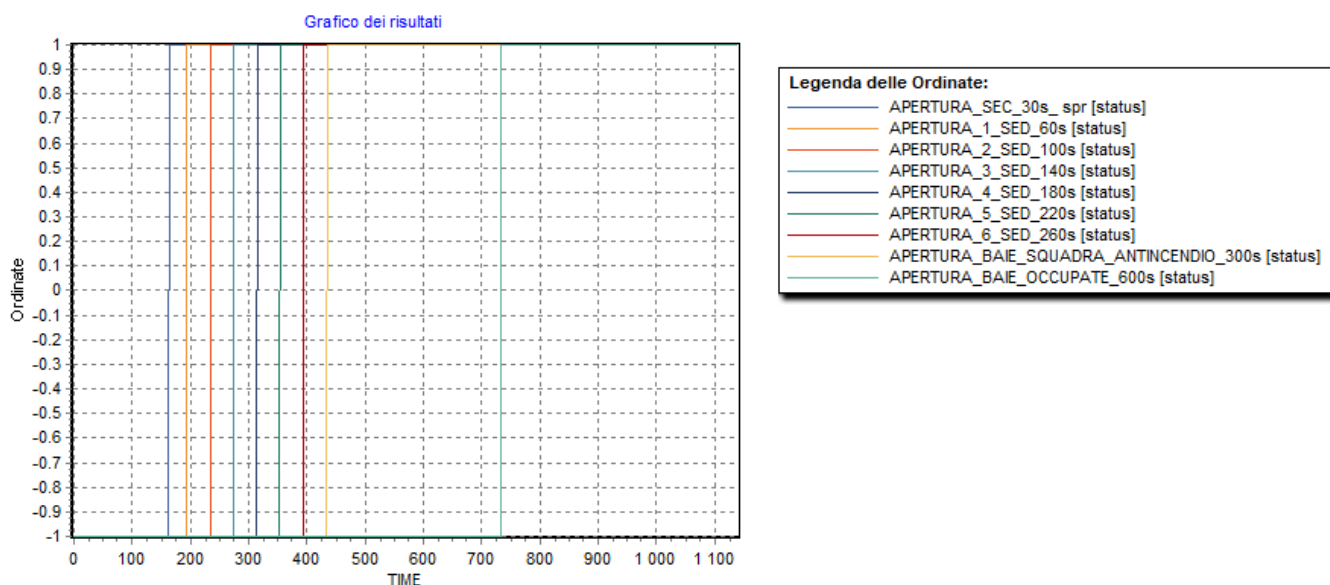
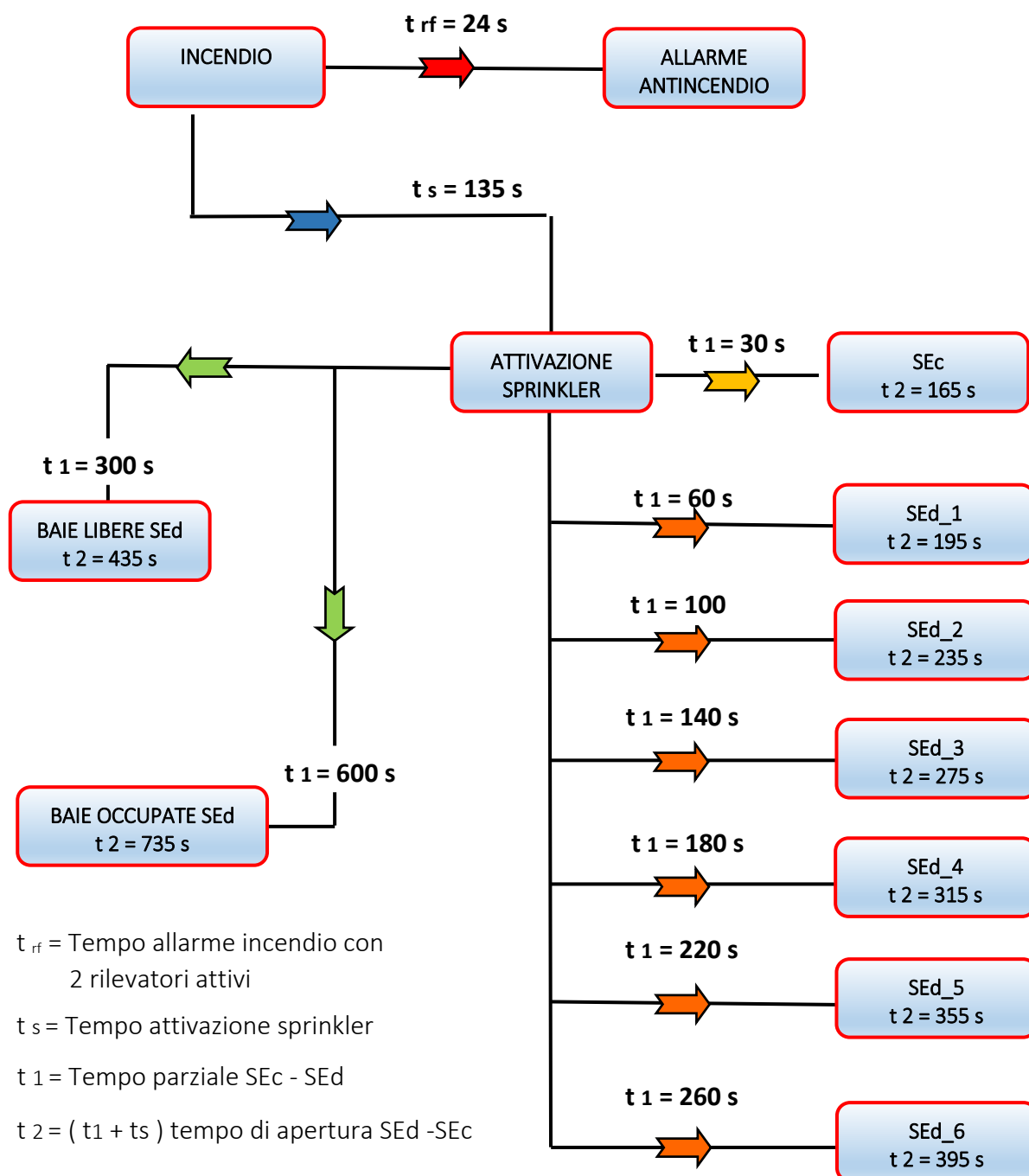


Grafico albero degli eventi

Albero degli eventi calcolati con FSE



Rivelazione e allarme incendio – Grafico generato dalla simulazione

Impianto di rilevazione e allarme incendio, il grafico sottostante indica il tempo di attivazione di n° 2 rilevatori. Il tempo di attivazione pari a **44 s**, sarà adottato nel calcolo R_{set} come T_{det} .

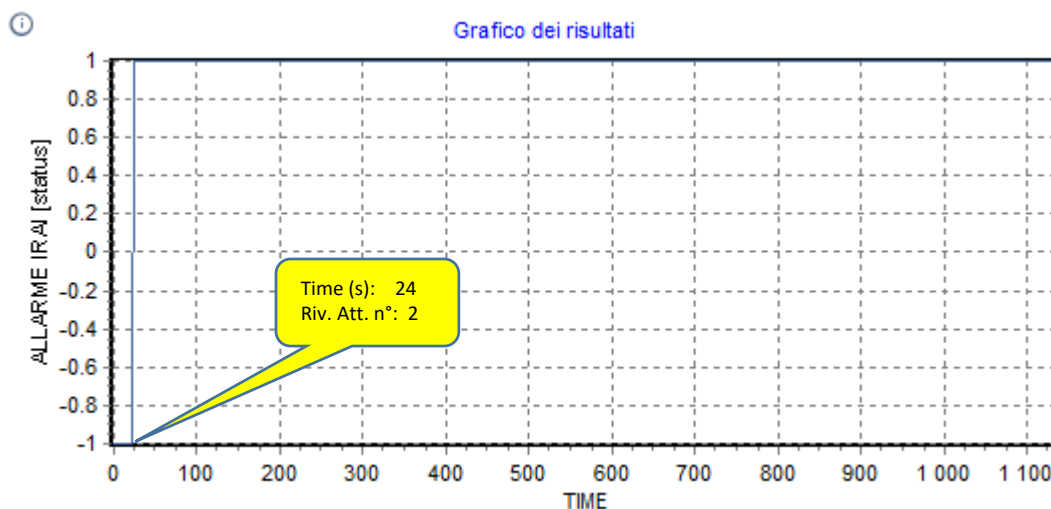


Grafico simulazione intervento impianto rilevazione fumi – 32 s.

Attivazione impianto sprinkler – Grafico generato dalla simulazione

Il grafico sottostante mostra l'istante viene attivato l'impianto sprinkler a soppressione con erogatori ESFR k363.

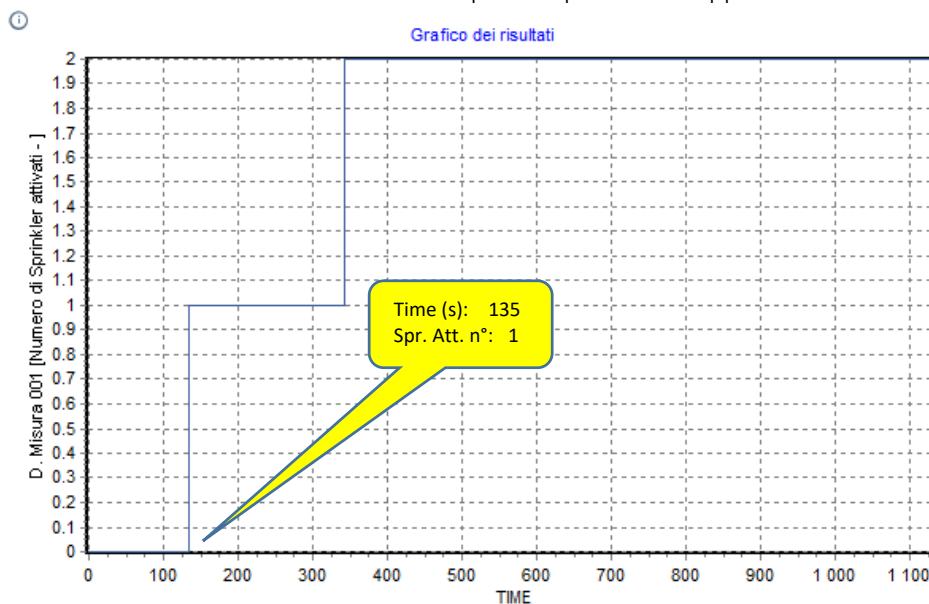


Grafico attivazione testine sprinkler _ Rispetto allo scenario S1 le testine attivate sono 2.

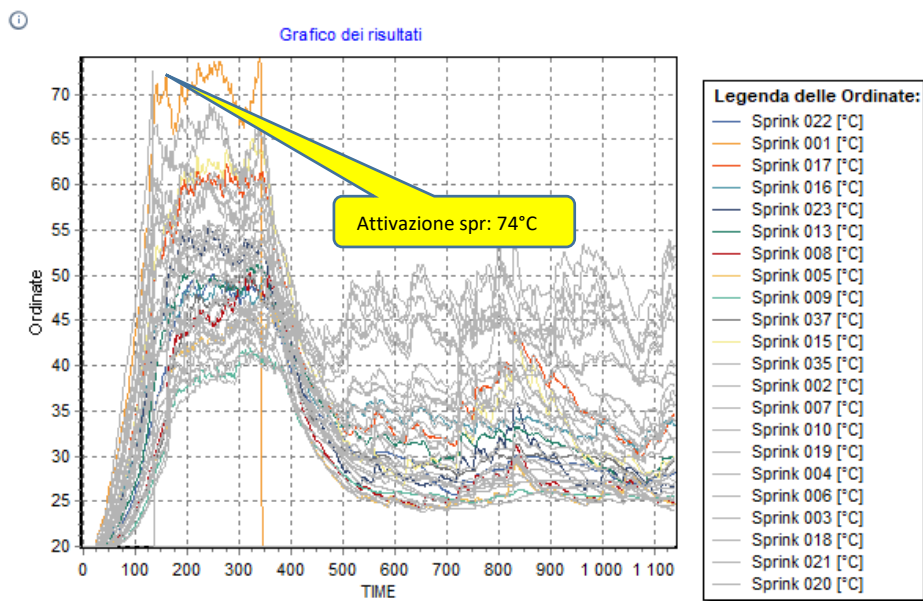


Grafico andamento temperature rilevate dalle testine sprinkler

Curva HRR

Modellazione della curva HRR in presenza di impianto sprinkler.

Il grafico sottostante mostra la crescita Ultra-Fast della curva HRR fino al tempo “t=160 s” corrispondente all’intervento dell’impianto sprinkler + 30 s (a scopo cautelativo è stato considerato il tempo effettivo di intervento dell’impianto sprinkler + 30 s, passando da una HRR di 3.000kW a una HRR di 4.600 kW). Anche se in presenza di un impianto sprinkler a soppressione dell’incendio, è stato considerato il solo appiattimento della curva HRR (il tutto a vantaggio della sicurezza poiché in presenza di situazione più severa).

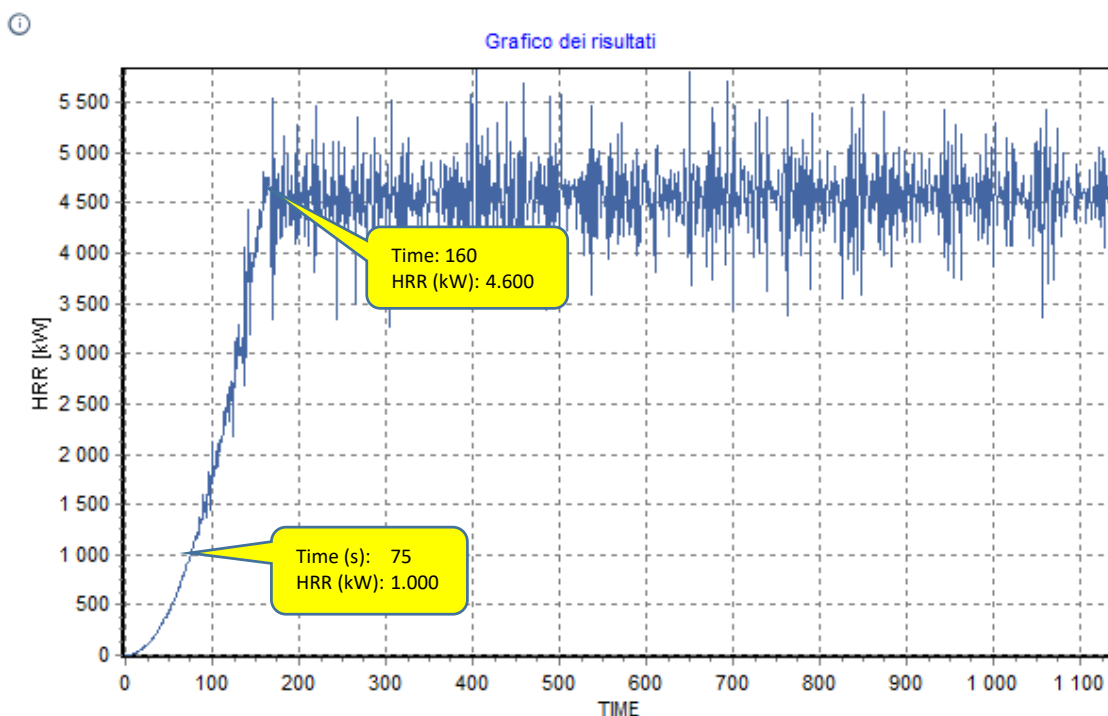
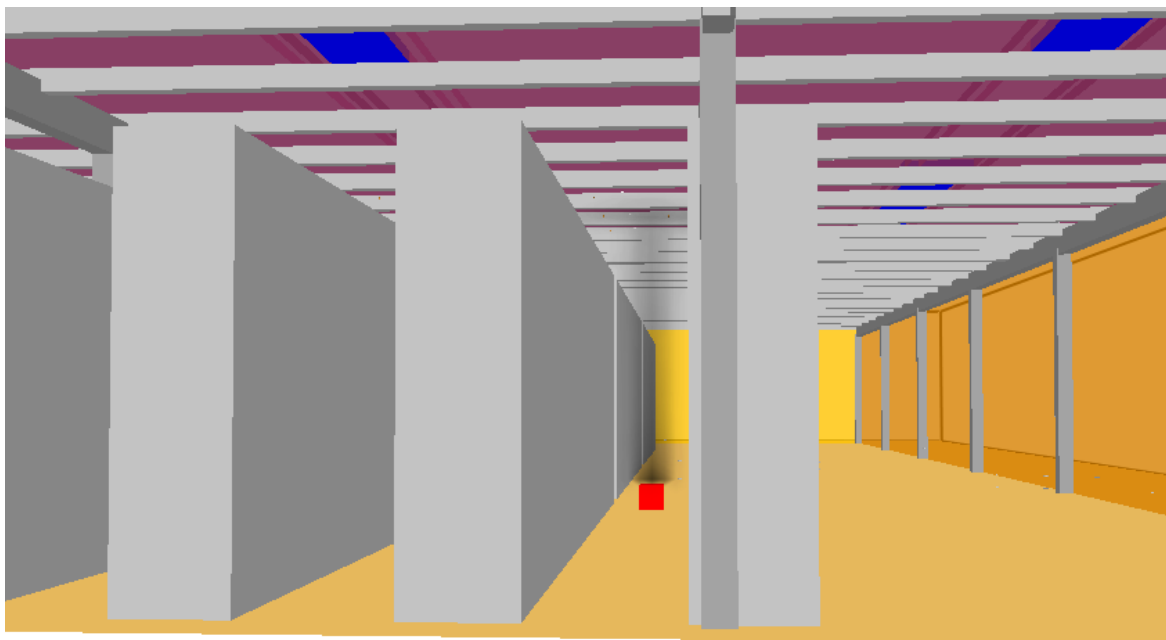


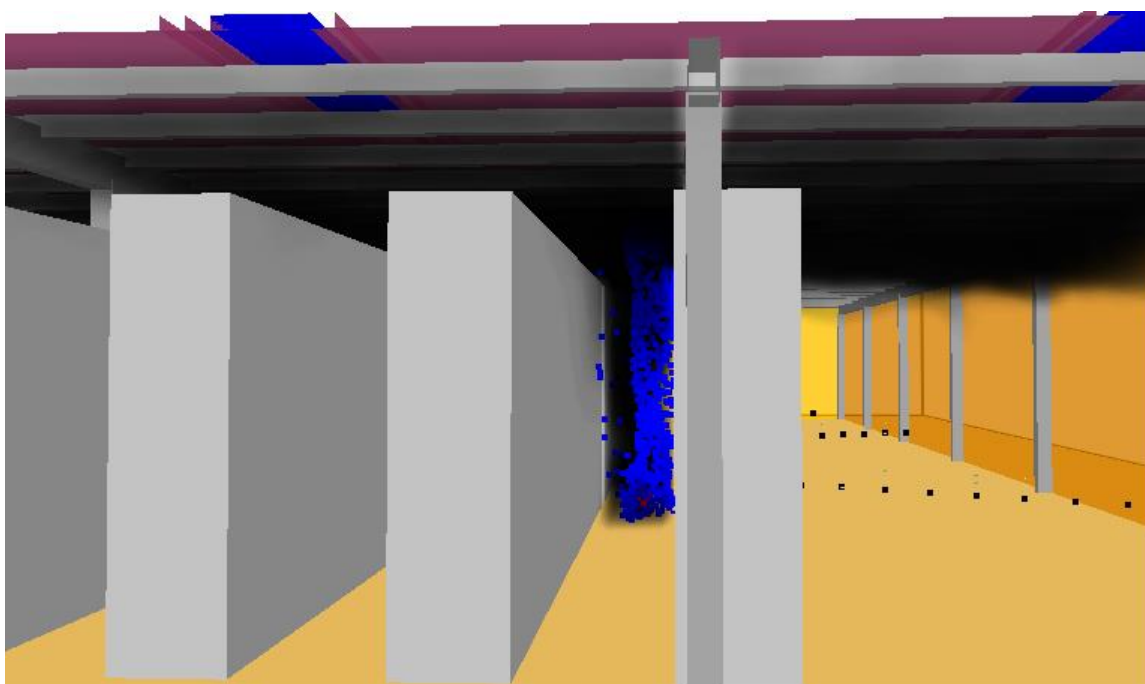
Grafico simulazione curva RHR – FDS

Simulazione FSE – Viste tridimensionali



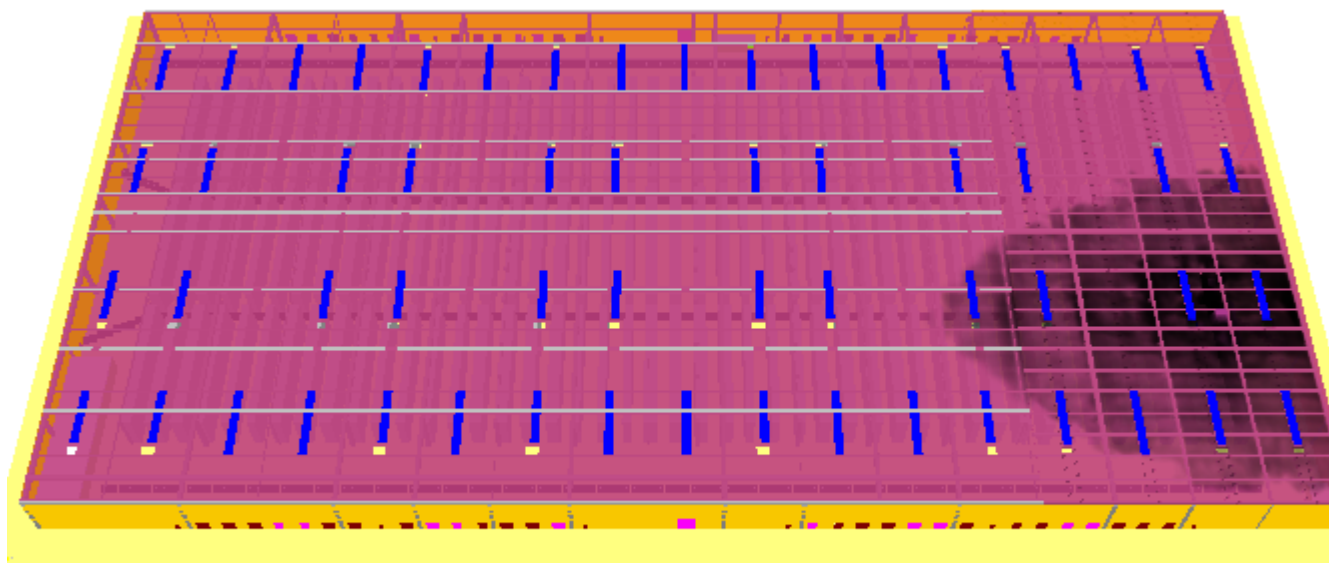
Time: 24.0

Vista dell'incendio e dei fumi dopo 44 s – Intervento IRAI



Time: 140.2

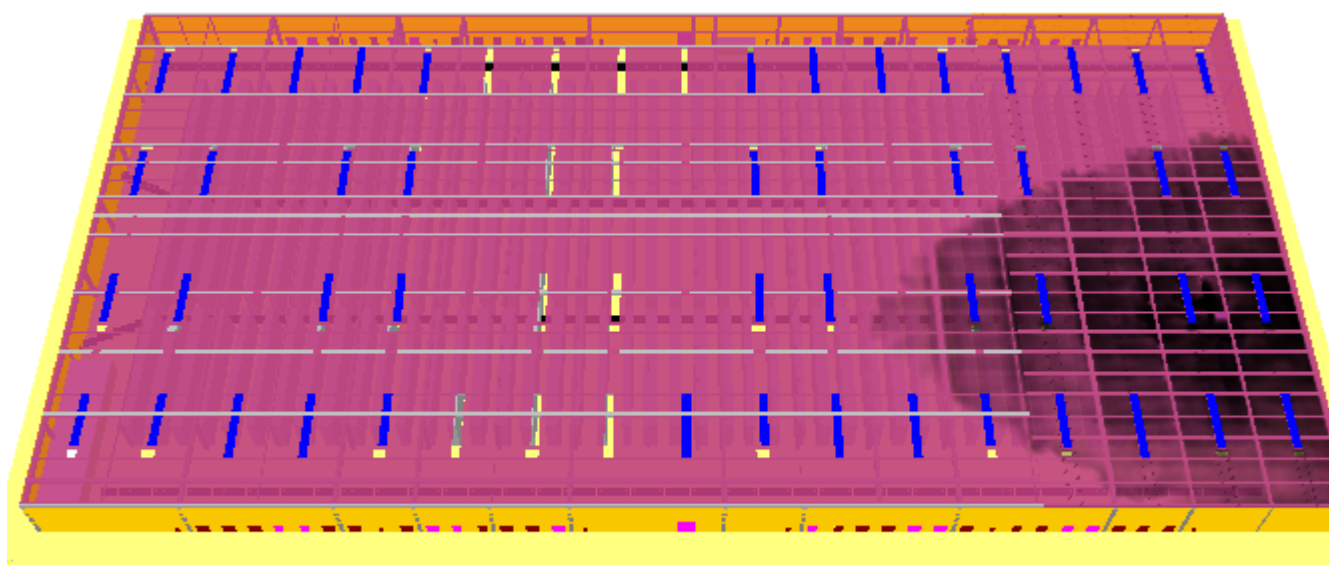
Vista dell'incendio e dei fumi dopo 135 s – Intervento impianto sprinkler



Time: 165.3



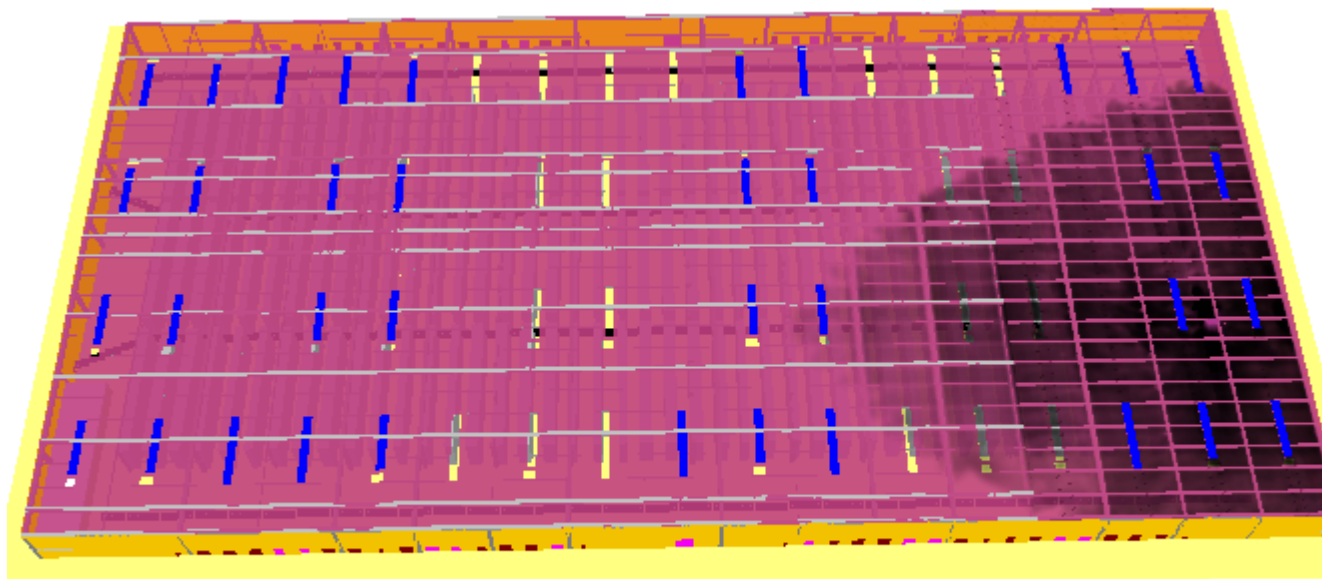
Apertura SEC dopo 165 s



Time: 196.1



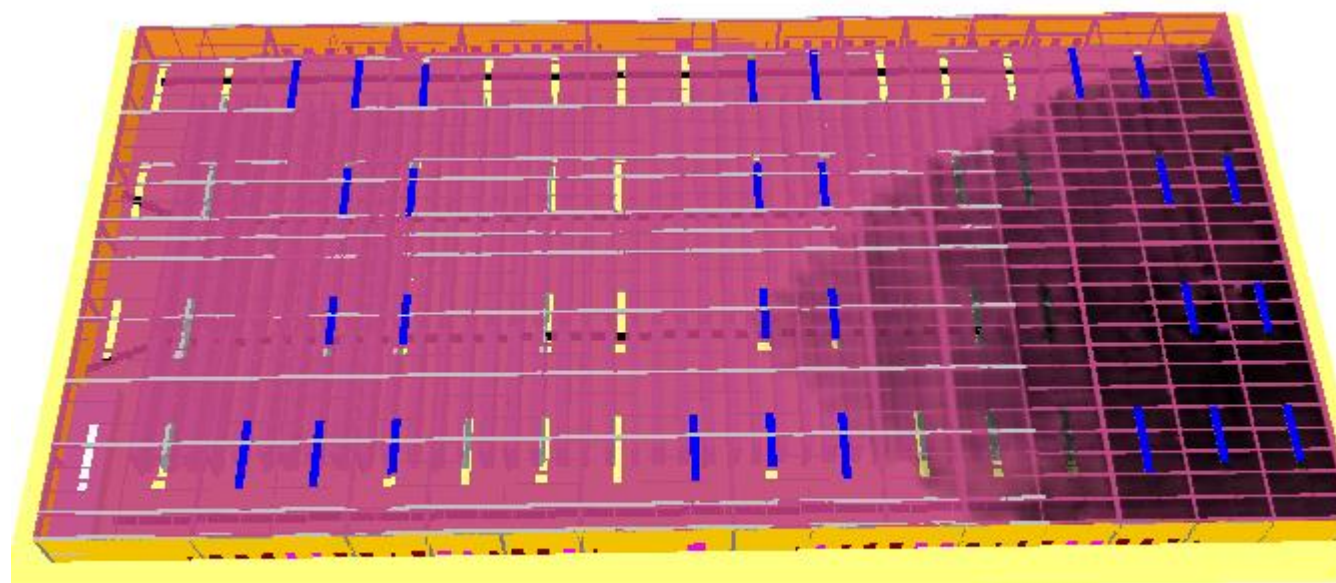
Apertura SED dopo 195 s



Time: 237.1



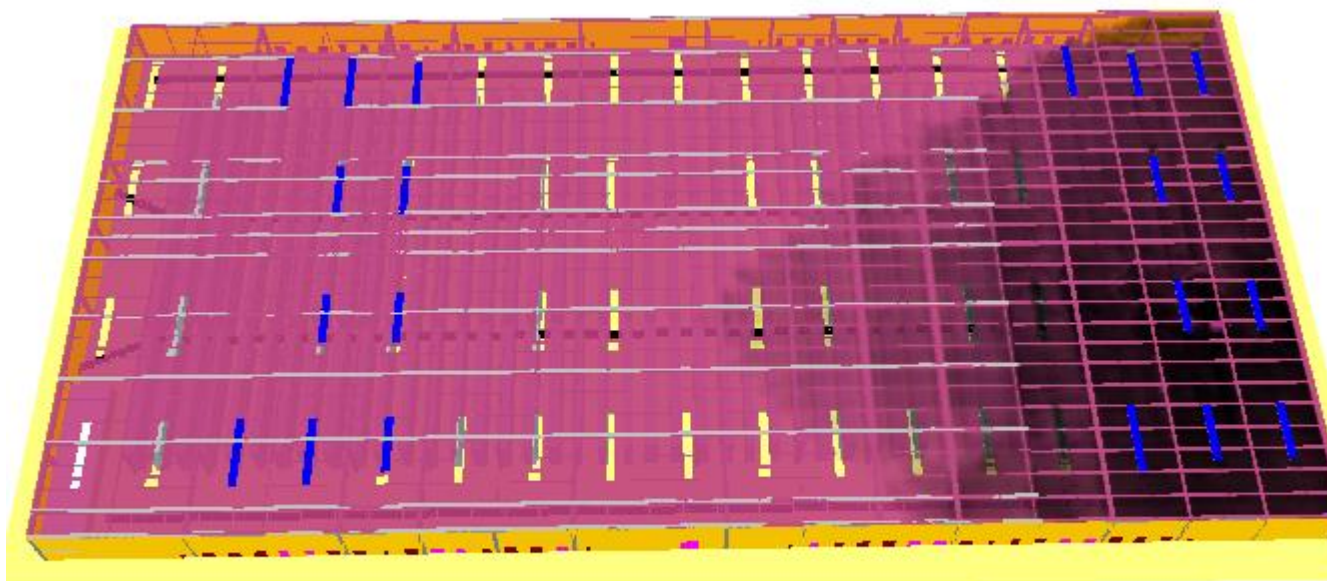
Apertura SED dopo 235 s



Time: 275.9

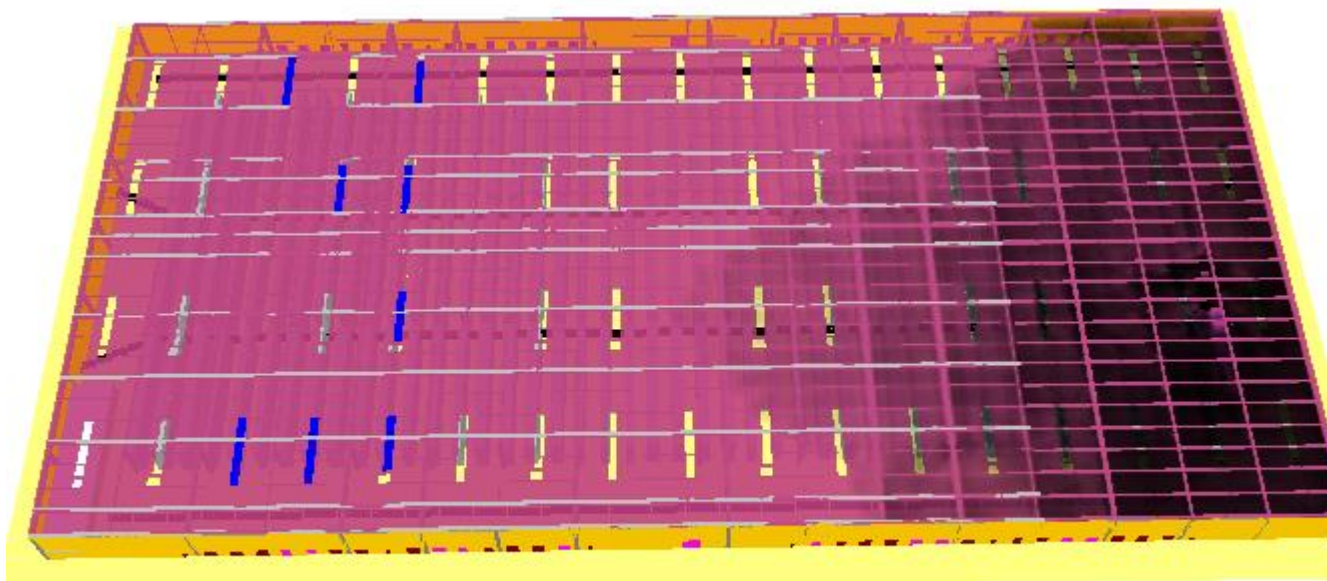


Apertura SED dopo 275 s



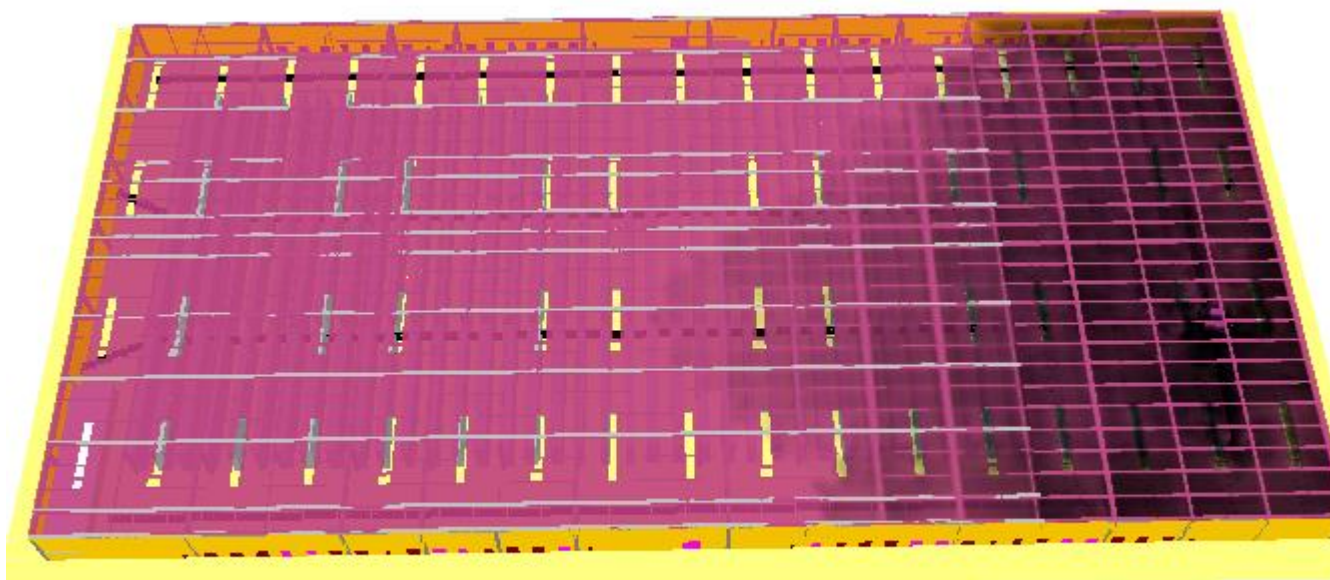
Time: 316.9

Apertura SEd dopo 315 s



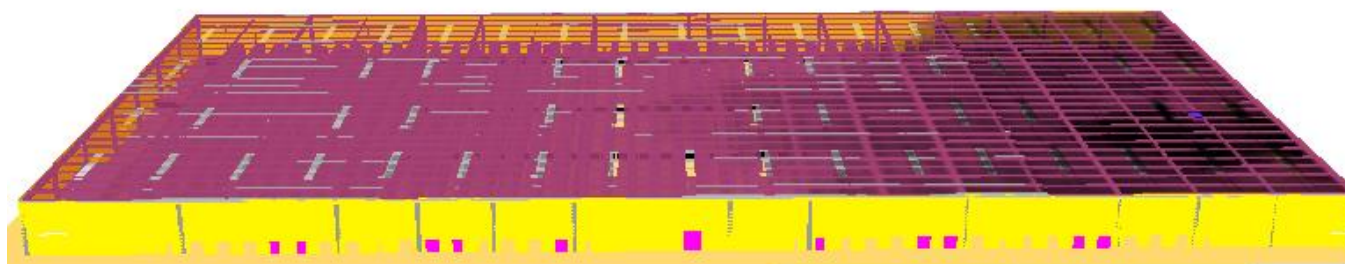
Time: 355.7

Apertura SEd dopo 355 s



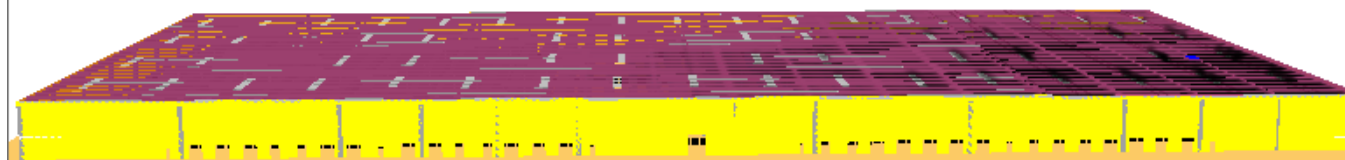
Time: 396.7

Apertura SEd dopo 395 s



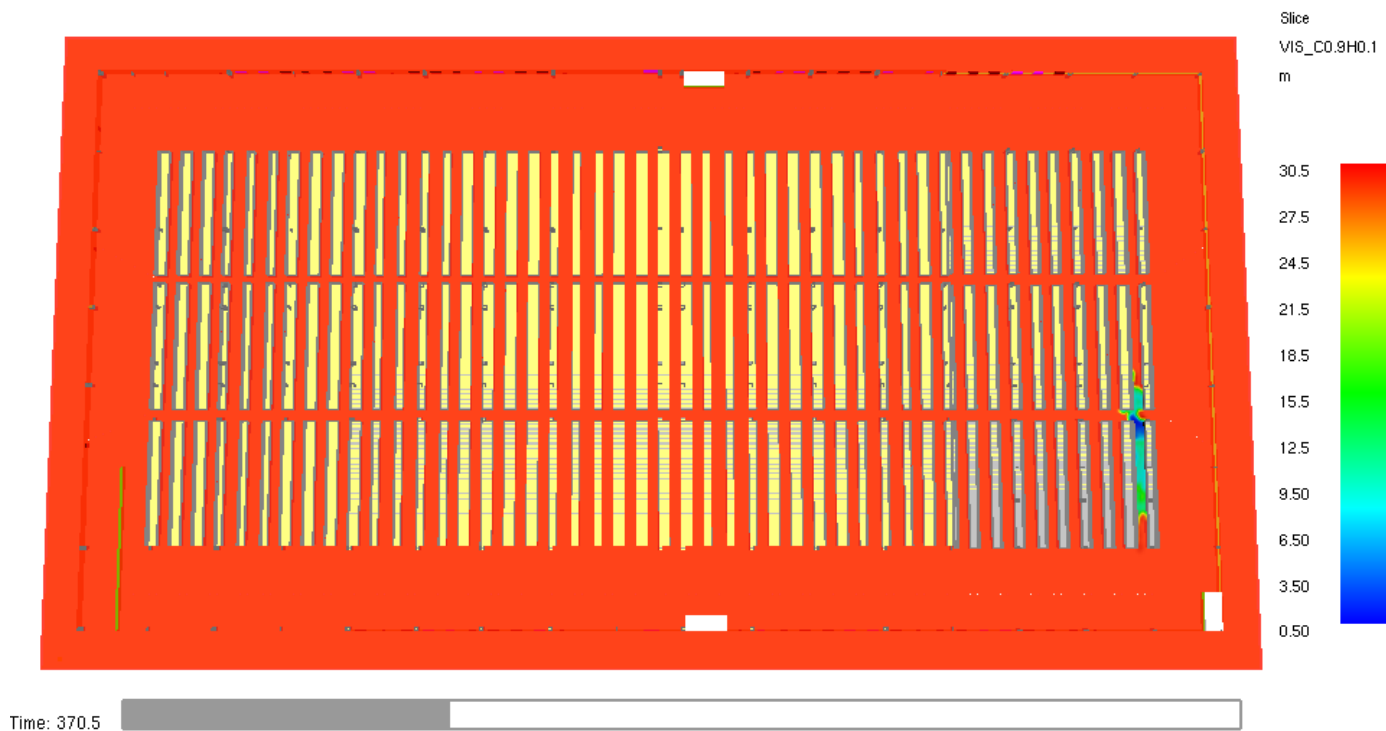
Time: 436.6

Apertura SEd dopo 435 s - Baie di carico 60%

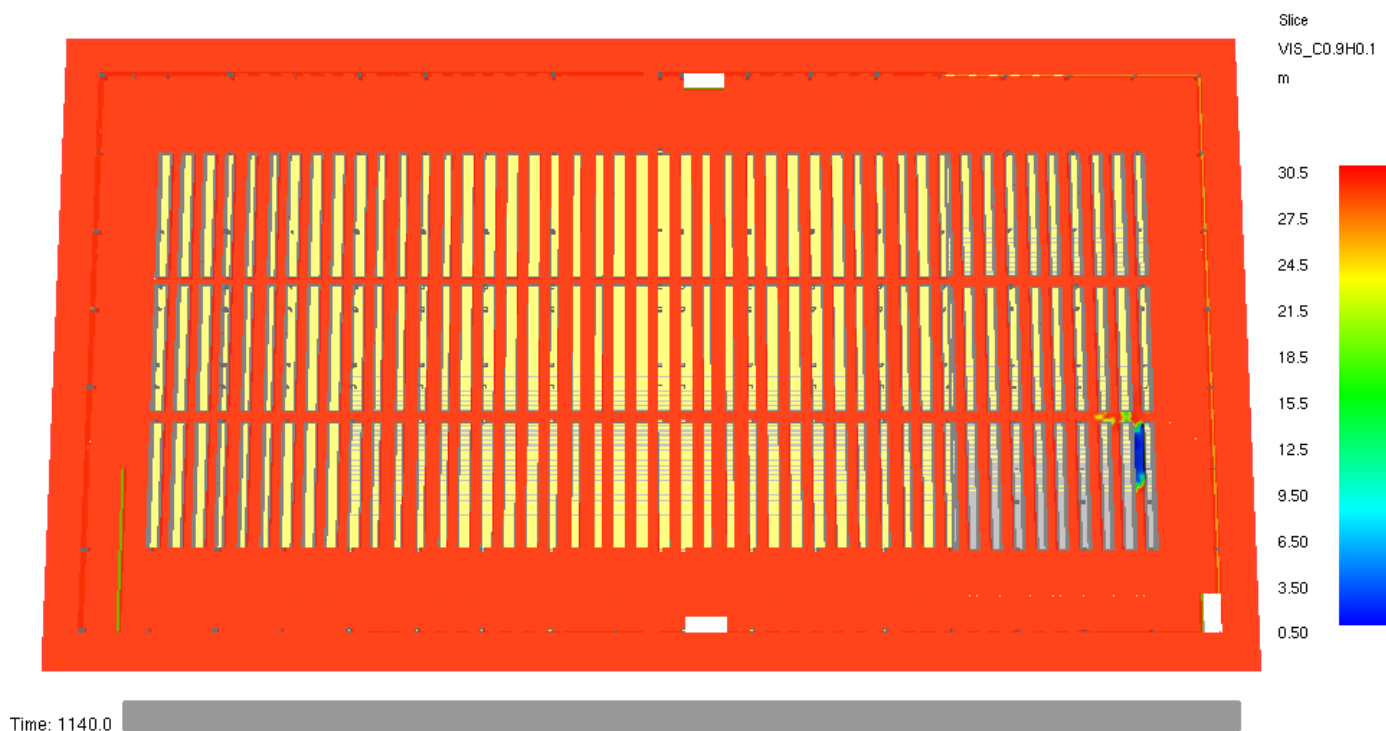


Time: 736.4

Apertura SEd dopo 735 s



*Slice visibilità $h = 1,8$ m dopo 360 s – Visibilità ampiamente superiore a 10 m eccetto in prossimità dell'incendio
(la condizione resta costante per tutto il tempo della simulazione)*

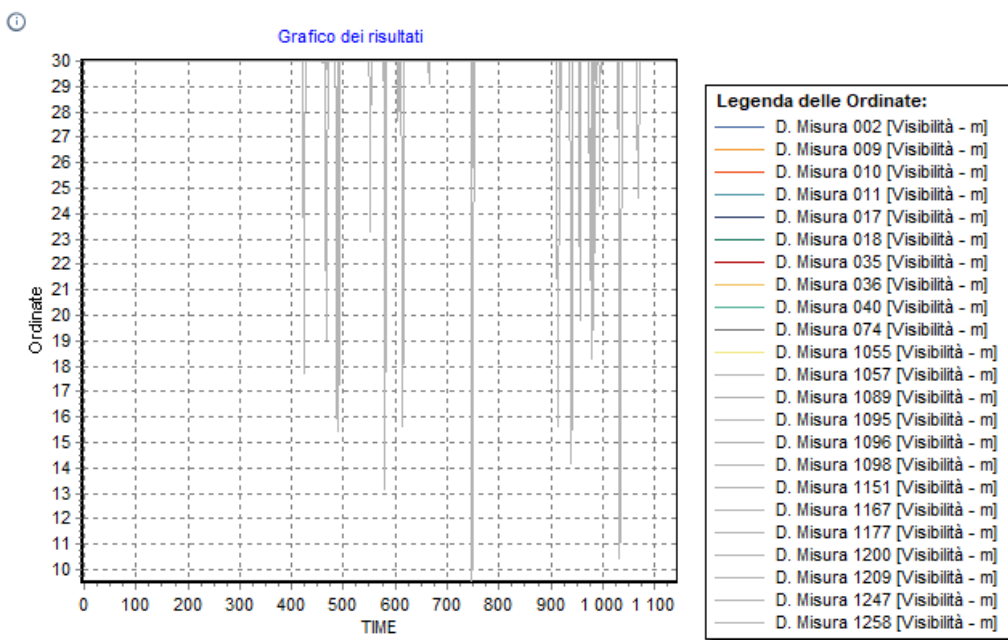


*Slice visibilità $h = 1,8$ m dopo 1140 s – Visibilità ampiamente superiore a 10 m eccetto in prossimità dell'incendio
(la condizione resta costante per tutto il tempo della simulazione)*

Dati rilevati nei principali percorsi di esodo

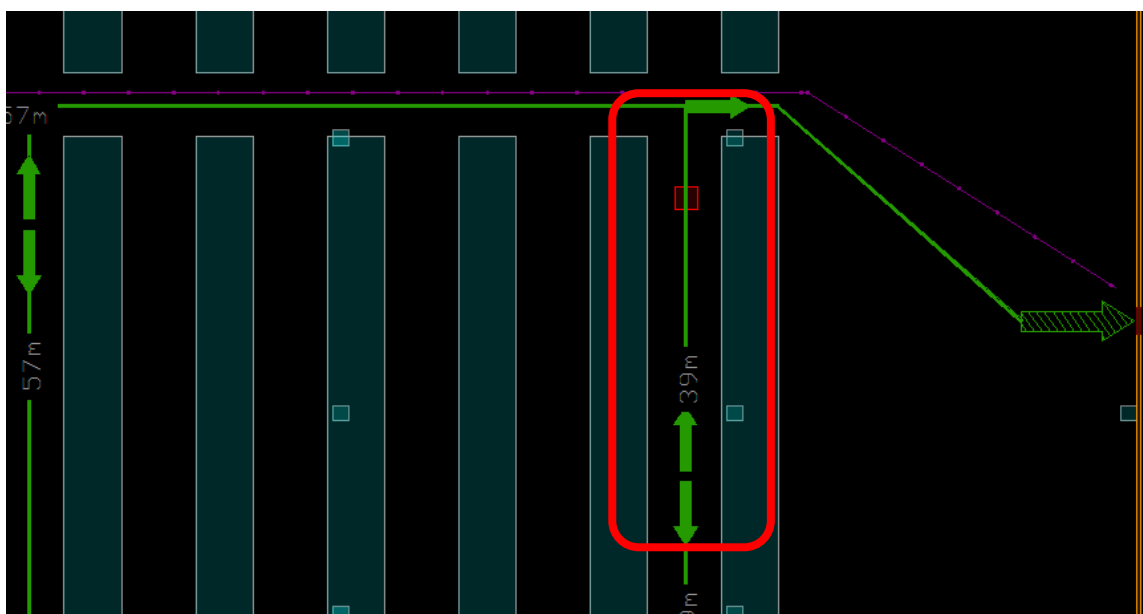
Visibilità

Il grafico sottostante rappresenta la visibilità a 1,8 m dal pavimento nel percorso di esodo più critico; si tratta di un percorso di esodo molto vicino all'incendio. Nei restanti percorsi di esodo la visibilità è e sempre superiore a 30 m.



Visibilità nel percorso di esodo più sfavorito

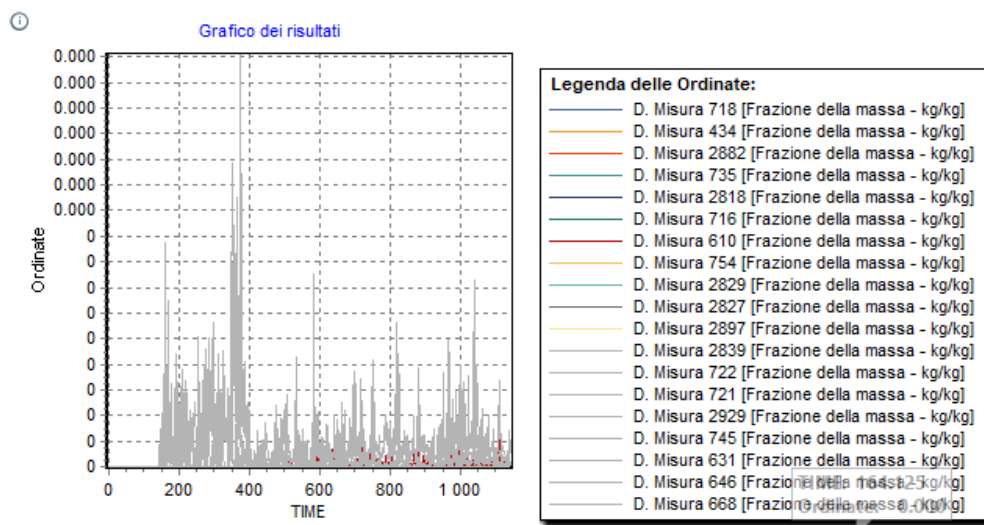
La visibilità non rappresenta una criticità in quanto non scende mai sotto 10 m.



Nel grafico sono stati omessi i risultati di alcuni sensori di visibilità poiché posti in prossimità dell'incendio, dove la percezione degli occupanti porterebbe ad un allontanamento immediato

Gas tossici

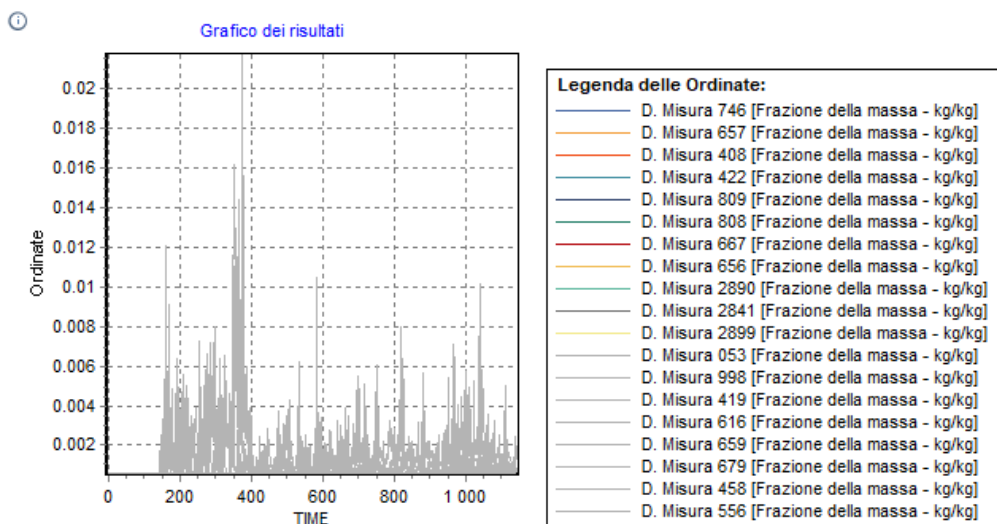
Il grafico sottostante rappresenta la concentrazione di monossido di carbonio nei principali percorsi di esodo, $h=1,8$ m.



Visibilità nei principali percorsi di esodo

La concentrazione di monossido di carbonio non rappresenta una criticità in quanto non arriva mai a 0,1 kg/kg (frazione di massa).

Il grafico sottostante rappresenta la concentrazione di CO_2 nei principali percorsi di esodo, $h=1,8$ m..

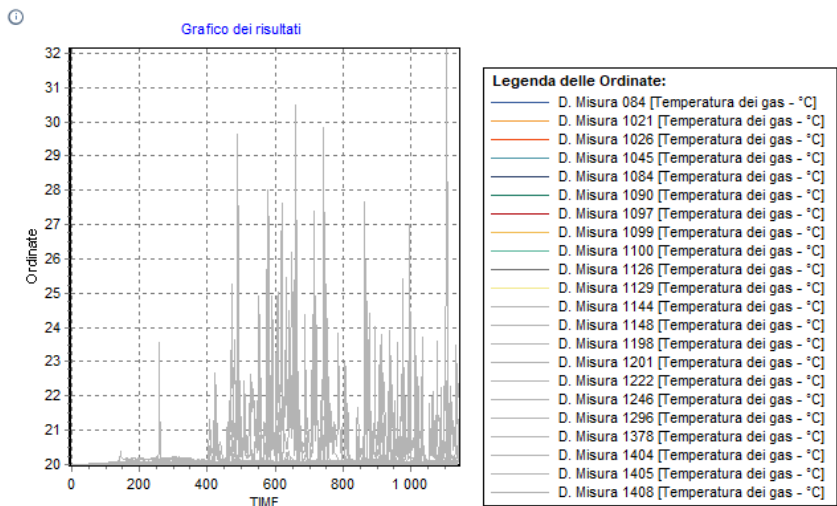


La concentrazione di CO_2 non rappresenta una criticità in quanto non arriva mai a 0,1 kg/kg (frazione di massa).

Calore - Temperatura

Il grafico sottostante rappresenta le temperature nel percorso di esodo più sfavorito.

Nel grafico sono stati omessi i risultati di alcuni sensori di temperatura poiché posti in prossimità dell'incendio, dove la percezione degli occupanti porterebbe ad un allontanamento immediato



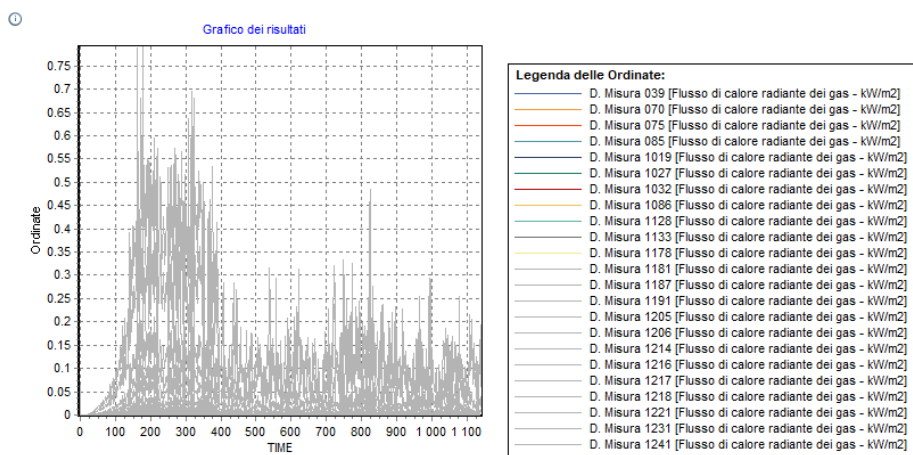
Visibilità nei principali percorsi di esodo

Le temperature non raggiungono mai valori prossimi o superiori a 60°C.

Calore – Irraggiamento termico

Il grafico sottostante rappresenta l'irraggiamento termico nel percorso di esodo più sfavorito.

Nel grafico sono stati omessi i risultati di alcuni sensori di temperatura poiché posti in prossimità dell'incendio, dove la percezione degli occupanti porterebbe ad un allontanamento immediato



Visibilità nei principali percorsi di esodo

Il valori di irraggiamento termico nei percorsi di esodo è trascurabile, sempre inferiore 2,5 kW/m².

Per quanto riguarda la sicurezza delle squadre di soccorso, considerato che i valori sopra esposti si mantengono costanti fino alla fine della simulazione, non si manifestano situazioni di pericolo.

8 CALCOLO DEI TEMPI DI ESODO (ASET – RSET)

Per quanto riguarda l'esodo, considerate le notevoli dimensioni del compartimento e alla conformazione architettonica, non potendo adottare alcuna delle soluzioni conformi previste nel capitolo **S.4** del Nuovo Codice di P.I. con $R_{vita} = A4$, si procede pertanto con la verifica delle soluzioni alternative, precedentemente descritte, mediante calcolo FSE.

Nel caso specifico, la distanza massima da prendere in considerazione è riferita alla presenza di personale all'interno del compartimento per lo svolgimento delle normali operazioni di magazzinaggio e prelievo delle merci, che corrisponde a circa **100 m** (lunghezza massima, in eccesso, da prendere in considerazione per il calcolo dei tempi di esodo).

Velocità di esodo, considerando le possibili difficoltà dovute alla presenza delle merci e degli impianti: 1,0 m/s.

Tempo di movimento considerando la persona posta nel punto più distante dall'uscita:

$$t_{tra} = 100 \text{ m} / 1,0 \text{ m/s} = 100 \text{ s}$$

Calcolo RSET:

Per quanto riguarda t_{det} , si adotta il valore più sfavorevole calcolato nelle simulazioni FSE:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$$

$$S1 \quad t_{det} = 22 \text{ s}$$

$$S2 \quad t_{det} = 44 \text{ s}$$

$$S3 \quad t_{det} = 24 \text{ s}$$

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra} = 44 \text{ s} + 20 \text{ s} + 60 \text{ s} + 100 \text{ s} = 224 \text{ s}$$

Calcolo ASET:

$$ASET = RSET + T_{marg}$$

T_{marg} è il margine di sicurezza che nella progettazione prestazionale è assunto non inferiore al 10% RSET e comunque non dovrà mai essere inferiore a 30 sec.

Nel caso specifico si assume

$$T_{marg} = 30 \text{ sec};$$

pertanto avremo:

$$ASET = 224 + 30 = \mathbf{254 \text{ s}} \text{ (RSET + 30s).}$$

9 CONCLUSIONI

Visti i risultati della simulazione FSE, viene verificato che non vi sono condizioni incapacitanti per le persone derivanti dall'incendio, controllato dall'impianto sprinkler e dal sistema di smaltimento fumo e calore, per l'intero tempo della simulazione FSE ovvero 1.114 s (*tempo massimo in cui avviene sicuramente l'intervento dei vigili del Fuoco*), per cui il valore di **ASET**, pari a 260 s, non viene mai superato.

Strategie per le quali si è applicato il metodo prestazionale (FSE) per il raggiungimento degli obiettivi mediante soluzione alternativa relativamente a:

- **(S3)** Unico compartimento antincendio di superficie superiore a quella massima ammessa;
- **(S4)** Presenza di percorsi di esodo con lunghezza superiore a quella massima ammessa;
- **(S8)** Valutazioni sull'efficacia delle superfici di smaltimento fumo e calore.
