

COMUNE DI BUDRIO

Progetto per
INTERVENTO UNITARIO CONVENZIONATO (IUC)
per l'ampliamento di un edificio industriale
posto a Cento di Budrio in via A. Einstein

PROPRIETA'
COMET spa
via Michelino, 105
40127 Bologna

PROGETTISTA
Ing. Stefano Marzadori
Via Gyula, 43
40054 Budrio (BO)

PROFESSIONISTA ANTINCENDIO
Ing. Claudio Gamberi

SPAZIO RISERVATO ALL'UFFICIO TECNICO

OGGETTO:			SCALA	TAVOLA N°
RELAZIONE ALTERNATIVA	TECNICA	SOLUZIONI		10.7

1°	05/08/2022	IUC COMET	N° ARCHIVIO: U/779
2°	07/11/2022	IUC COMET	
3°	14/04/2022	IUC COMET	
4°	25/06/2023	CITTA' METROPOLITANA	
5°	29/07/2023	REVISIONE DUE	
6°			
REV.	DATA	DESCRIZIONE	

Sommario

1	INFORMAZIONI GENERALI	3
2	ANALISI PRELIMINARE – SOMMARIO TECNICO	4
2.1	DEFINIZIONE DEL PROGETTO	5
2.1.1	SCOPO DELLA PROGETTAZIONE ANTINCENDIO	5
2.2	VINCOLI PROGETTUALI E FINALITÀ DELLA PROGETTAZIONE ANTINCENDIO PRESTAZIONALE	6
2.2.1	ESODO (SEZIONE S.4 DELL’RTO)	7
2.3	PERICOLI D’INCENDIO	8
2.4	CONDIZIONI AL CONTORNO	8
2.5	CARATTERISTICHE DELL’EDIFICIO	8
2.6	CARATTERISTICHE DEGLI OCCUPANTI	8
2.7	CARATTERISTICHE DEI SOCCORRITORI	9
3	OBIETTIVI DI SICUREZZA ANTINCENDIO	10
3.1	SOGLIE DI PRESTAZIONE	10
3.1.1	ESODO OCCUPANTI	10
3.2	SCENARI D’INCENDIO DI PROGETTO	12
3.2.1	IDENTIFICAZIONE DEI POSSIBILI SCENARI D’INCENDIO	12
3.2.2	DETERMINAZIONE DI RSET OCCUPANTI	26
4	ANALISI QUANTITATIVA – RELAZIONE TECNICA	30
4.1	ELABORAZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI	30
4.1.1	MODELLI DI CALCOLO UTILIZZATI	30
4.1.2	VALIDAZIONE FDS	31
4.1.3	MODELLAZIONE DELLA GEOMETRIA E ANALISI DELLA MESH DI CALCOLO	32
4.1.4	MODELLAZIONE DELL’INCENDIO	34
4.1.5	SET-UP DELLA SIMULAZIONE	34
4.1.6	MODELLAZIONI AVANZATE DI ESODO - PATHFINDER	35
5	CALCOLO RSET PER LA DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI ESODO DEGLI OCCUPANTI	38
6	INDIVIDUAZIONE DI RSET E SINTETIZZAZIONE DEI RISULTATI	42
6.1.1	SCENARIO DI PROGETTO S1	42
	VERIFICA ESODO OCCUPANTI	52

<u>7</u>	<u>CONCLUSIONI</u>	<u>53</u>
7.1	SALVAGUARDIA DELLA VITA DEGLI OCCUPANTI	53
7.2	CONDIZIONI DI ESERCIZIO E CAMPO DI VALIDITA' DELLE ANALISI SVOLTE	53
<u>8</u>	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	<u>57</u>

1 INFORMAZIONI GENERALI

COMMITTENTE	COMET S.p.A.
ATTIVITÀ VVF oggetto di progettazione FSE	Att.70.2.C – S4.Esodo – Nuovo fabbricato uso magazzino
RESPONSABILE DELL'ATTIVITÀ	Sig. Sante Cervellati
RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE ANTINCENDIO GENERALE E DELLE MISURE GSA	Ing. Claudio Gamberi
CONSULENTE DELLA PROGETTAZIONE FSE	Ing. Claudio Gamberi
FINALITÀ PER LE QUALI È APPLICATO L'APPROCCIO INGEGNERISTICO	<input type="checkbox"/> <i>Analisi dei campi termici</i> <input checked="" type="checkbox"/> <i>Analisi della diffusione dei fumi e verifica delle vie di esodo</i> <input checked="" type="checkbox"/> <i>Valutazione dei tempi di esodo</i> <input type="checkbox"/> <i>Valutazione della capacità portante delle strutture</i> <input type="checkbox"/> <i>Protezione di beni in caso d'incendio</i> <input type="checkbox"/> <i>Protezione dell'ambiente in caso d'incendio</i> <input type="checkbox"/> <i>Continuità di esercizio dell'attività</i> Tutti gli altri aspetti della progettazione antincendio rispetteranno i relativi requisiti di tipo prescrittivo e sono esclusi dalla progettazione prestazionale
IMPIANTI A DISPONIBILITÀ SUPERIORE	Non sono presenti impianti a disponibilità superiore.

Codice di calcolo utilizzato:

- **PyroSim 2023.1.0524 x64**
- **Pathfinder 2023**

2 ANALISI PRELIMINARE – SOMMARIO TECNICO

In questi capitoli viene descritta l'analisi preliminare effettuata ai sensi del D.M. 3 agosto 2015 e s.m.i.

Responsabile dell'attività:

Sig. Sante Cervellati

Responsabile della progettazione antincendio e dell'ingegneria antincendio:

Ing. Claudio Gamberi

Finalità della progettazione con metodo prestazionale:

- Verifica del sistema di esodo;

Il responsabile dell'attività inoltre dichiara che all'esercizio dell'attività verrà attuata la SGSA.

Sig. Sante Cervellati

__Documento firmato digitalmente__

Ing. Claudio Gamberi,

2.1 DEFINIZIONE DEL PROGETTO

2.1.1 SCOPO DELLA PROGETTAZIONE ANTINCENDIO

Lo scopo della presente relazione, redatta ai sensi del D.M. 18/10/2019, è quello di fornire gli elementi necessari per la valutazione del progetto di prevenzione incendi relativo ai locali che, nell'ambito dell'intervento in oggetto, saranno destinati a Depositi.

Si tratta nello specifico di un'attività di logistica, ovvero di un deposito a servizio di varie attività ed esercenti che sarà costantemente rifornito di materiale e dal quale le merci saranno poi trasportate agli utenti finali. Nel periodo compreso fra l'approvvigionamento e la spedizione, le merci saranno stoccate all'interno.

Il progetto si compone quindi di n.1 attività, così come classificate secondo il D.P.R. 01/08/2011 n.151:

- Attività 70.2.C: "Locali adibiti a depositi di superficie lorda superiore a 1000 mq con quantitativi di merci e materiali combustibili superiori complessivamente a 5000 kg (oltre 3000 mq).

L'attività non è stata normata con un Decreto Ministeriale preposto e, dunque, viene oggi progettata ricorrendo al Codice di Prevenzione Incendi, D.M. 03/08/2015 e s.m.i.

Sotto queste ipotesi, note dalla valutazione del progetto, si procede con lo studio in soluzione alternativa per la strategia S4.

2.2 VINCOLI PROGETTUALI E FINALITÀ DELLA PROGETTAZIONE ANTINCENDIO PRESTAZIONALE

La progettazione delle misure di sicurezza antincendio dell'edificio in esame è eseguita nel rispetto delle seguenti regole tecniche di prevenzione incendi:

- D.M. 18/10/2019, recante "Modifiche all'allegato 1 al decreto del Ministro dell'interno 3 agosto 2015, recante «Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139»".

Il rischio d'incendio previsto nell'attività è mitigato tramite l'applicazione di una strategia antincendio composta da misure antincendio di prevenzione, di protezione e gestionali. Effettuata la valutazione del rischio d'incendio per l'attività e stabiliti i profili di rischio R_{vita} , R_{beni} e $R_{ambiente}$ nei pertinenti ambiti, a ciascuna misura antincendio viene attribuito il relativo livello di prestazione. Per tutte le misure antincendio sono stati rispettati i criteri generalmente accettati per l'attribuzione dei singoli livelli di prestazione. Per la maggior parte delle misure antincendio il raggiungimento del livello di prestazione richiesto è garantito dall'applicazione delle soluzioni progettuali conformi. Per alcune misure antincendio si è deciso di ricorrere a soluzioni progettuali alternative più adatte alle peculiarità dell'attività in esame. Per tutti i dettagli si rimanda alla relazione tecnica di prevenzione incendi di cui questa relazione costituisce un allegato.

2.2.1 ESODO (Sezione S.4 dell’RTO)

Sarà attuato un esodo di tipo *simultaneo*.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Tutte le attività
II	Ambiti per i quali non sia possibile assicurare il livello di prestazione I (es. a causa di dimensione, ubicazione, abilità degli occupanti, tipologia dell’attività, caratteristiche geometriche particolari, vincoli architettonici, ...)

Tabella S.4-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

A seguito della valutazione Rvita e i criteri di attribuzione della tabella S.4-2 si definisce per l’esodo, il livello di prestazione seguente:

Livello di prestazione	Descrizione
I	Gli occupanti raggiungono un <i>luogo sicuro</i> prima che l’incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell’attività attraversati durante l’esodo.
II	Gli occupanti sono protetti dagli effetti dell’incendio nel luogo in cui si trovano.

Tabella S.4-1: Livelli di prestazione

Livello di prestazione I: Esodo degli occupanti verso luogo sicuro

Si segue la **soluzione alternativa** per il livello di prestazione I. Al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato *livello di prestazione* si impiega uno dei metodi di cui al paragrafo G.2.6, ovvero l’Ingegneria della sicurezza antincendio tramite metodi, procedure, ipotesi e limiti indicati nei capitoli M.1, M.2 e M.3 del D.M. 03/08/2015 e s.m.i.

2.3 PERICOLI D'INCENDIO

Per l'individuazione dei pericoli d'incendio ci si riferisce alla relazione tecnica di prevenzione incendi, cui la presente relazione costituisce allegato.

Le sorgenti di innesco e le fonti di calore rappresentative per l'attività, che costituiscono cause potenziali d'incendio o che possono favorire la propagazione di un incendio, sono potenziali difetti meccanici o elettrici di eventuali attrezzature/macchine utilizzate durante l'attività lavorativa, che prendendo fuoco possono propagare le fiamme ai materiali stoccati.

2.4 CONDIZIONI AL CONTORNO

Per la descrizione del contesto e dell'ambiente nel quale i pericoli sono inseriti – in funzione delle condizioni di accessibilità e viabilità, layout, distanziamenti, separazioni, isolamento, caratteristiche degli edifici, tipologia edilizia, complessità geometrica, volumetria, superfici, altezza, piani interrati, articolazione plano-volumetrica, compartimentazione, aerazione, ventilazione e superfici utili allo smaltimento di fumi e calore – ci si riferisce alla relazione tecnica di prevenzione incendi, di cui la presente relazione costituisce allegato.

Di seguito sono riportate le caratteristiche principali degli ambiti oggetto di analisi.

2.5 CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO

Si rimanda alla relazione di valutazione del progetto antincendio.

2.6 CARATTERISTICHE DEGLI OCCUPANTI

Per la descrizione generale delle caratteristiche degli occupanti ci si riferisce alla relazione tecnica di prevenzione incendi, cui la presente relazione costituisce allegato.

Nello specifico, negli ambiti oggetto di analisi, le persone esposte al rischio d'incendio sono gli addetti dell'attività che lavorano nella zona di deposito, ovvero occupanti in stato di veglia e che hanno familiarità con l'edificio. **Non è prevista la presenza, seppur occasionale, di persone la cui mobilità, udito o vista sia limitata.**

I lavoratori saranno formati per l'emergenza antincendio e conosceranno le procedure di primo intervento, e avranno cura di rispettare anche quanto imposto dal capitolo S5 del DM 18/10/19.

È possibile che vi sia presenza occasionale di manutentori e prestatori d'opera, per cui saranno prese appropriate misure di sicurezza che saranno individuate nel sistema di gestione della sicurezza antincendio. Nelle aree oggetto di analisi è prevista la presenza del solo personale addetto e formato, in via precauzionale si considera la presenza contemporanea di **100 occupanti**.

Le caratteristiche previste per gli occupanti delle aree del deposito sono:

- Adulti abili 100 %

2.7 CARATTERISTICHE DEI SOCCORRITORI

Parte dei lavoratori ricoprirà un ruolo attivo di addetto al servizio antincendio. Gli addetti al servizio antincendio saranno presenti in modo permanente durante lo svolgimento dell'attività.

I componenti delle squadre con ruolo di soccorritore saranno opportunamente protetti e addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità ed elevata temperatura.

Gli addetti al servizio antincendio avranno il compito di attuare la GSA in emergenza. Le azioni da eseguire in caso di emergenza potranno comprendere.

Operazioni da svolgersi all'interno del compartimento di primo innesco:

- valutazione dell'entità dell'emergenza;
- spegnimento di un principio d'incendio;
- diffusione dell'ordine di evacuazione;
- assistenza degli occupanti nell'evacuazione.

Operazioni conducibili da posizione protetta rispetto alla localizzazione del focolare, se non già eseguite in maniera automatica su comando della centrale di rivelazione incendi:

- attivazione dello spazio presidiato per le emergenze;
- comunicazione interna e verso gli enti di soccorso pubblico;
- messa in sicurezza di apparecchiature e impianti;

3 OBIETTIVI DI SICUREZZA ANTINCENDIO

Dopo aver stabilito lo scopo del progetto, in particolare la destinazione e le modalità di impiego dell'attività, si specificano gli obiettivi di sicurezza antincendio, tra quelli previsti nel presente documento, in relazione alle specifiche esigenze dell'attività in esame ed alle finalità della progettazione.

- **Esodo degli occupanti verso un luogo sicuro;**

3.1 SOGLIE DI PRESTAZIONE

3.1.1 ESODO OCCUPANTI

Il passo successivo consiste nella traduzione degli obiettivi antincendio in soglie di prestazione (performance criteria). Si tratta di soglie di tipo quantitativo e qualitativo rispetto, le quali si può svolgere la valutazione oggettiva di sicurezza antincendio.

Salvaguardia della vita (S.4):

Per svolgere la verifica relativa alla salvaguardia della vita degli occupanti si adotta il criterio $ASET > RSET$, verificando che il tempo disponibile per l'esodo ASET in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti sia superiore al tempo richiesto per l'esodo RSET necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro, non soggetto a tali condizioni ambientali sfavorevoli dovute all'incendio.

La verifica si ritiene soddisfatta se il margine di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita $t_{\text{marg}} = ASET - RSET$ risulta $\geq 10\% \cdot RSET$ e comunque ≥ 30 secondi.

Per la maggior parte degli occupanti dell'attività, il tempo disponibile per l'esodo ASET viene determinato con metodo di calcolo semplificato.

In accordo alla ISO/TR 16738, **invece di procedere alla verifica di tutti i modelli di calcolo avanzato** – gas tossici, gas irritanti, calore, visibilità – si utilizza l'ipotesi semplificativa della **esposizione zero**, impiegando soglie di prestazione molto conservative.

Per gli occupanti (S.4):

Altezza dei fumi stratificati dal piano di calpestio

$h \geq 2 \text{ m}$

Temperatura media dello strato di fumi caldi

$T \leq 200 \text{ °C}$

Questi criteri permettono agli occupanti la fuga in aria indisturbata, non inquinata dai prodotti della combustione, e un valore dell'irraggiamento dai fumi cui sono esposti inferiore a $2,5 \text{ kW/m}^2$ per gli occupanti.

Il metodo di calcolo semplificato risulta applicabile avendo verificato, tramite i modelli numerici, che la potenza del focolare rapportata alla geometria dell'ambiente è sufficiente a garantire la formazione dello strato di fumi caldi superiore.

Per gli occupanti che si trovano nelle vicinanze del focolare d'incendio, talvolta, non è possibile assicurare la possibilità di raggiungere un luogo sicuro senza mai incontrare gli effetti dell'incendio.

Oppure, in accordo alla ISO 13571, ASET globale è definito come il più piccolo tra gli ASET calcolati secondo quattro modelli per il **calcolo avanzato**.

Per gli occupanti (S.4):

- | | | |
|-------------------------|--|---------------------------|
| • Modello gas tossici | Fractional effective dose ¹ | FED ≤ 0,1 |
| • Modello gas irritanti | Fractional effective concentration ² | Non rilevante |
| • Modello calore | Irraggiamento termico ³ | E ≤ 2,5 kW/m ² |
| Temperatura ambiente | | T ≤ 60 °C |
| • Modello visibilità | Visibilità di pannelli riflettenti, non retroilluminati ⁴ | L ≥ 10 m |

Il tempo richiesto per l'esodo RSET è calcolato tra l'innesco dell'incendio e il momento in cui tutti gli occupanti dell'edificio raggiungono un luogo sicuro.

In accordo alla ISO/TR 16738, RSET è determinato da varie componenti, come il tempo di rivelazione, il tempo di allarme generale, il tempo di pre-movimento, il tempo di movimento, il tempo di coda.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva degli obiettivi di sicurezza del progetto e delle relative soglie di prestazione:

OBIETTIVI DI SICUREZZA		SOGLIE DI PRESTAZIONE	
Salvaguardia della vita umana e incolumità delle persone	Occupanti (S4)	Metodo semplificato	h ≥ 2 m
			T ≤ 200 °C
		Metodo avanzato	FED ≤ 0,1
			E ≤ 2,5 kW/m ²
			T ≤ 60 °C
			L ≥ 10 m

¹ La ISO 13571 prevede la valutazione di tale grandezza ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio. A favore di sicurezza, la valutazione è eseguita a 2 m dal piano di calpestio.

² Vedasi nota 1

³ Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti: incendio, effluenti dell'incendio, struttura, ecc.

⁴ Vedasi nota 1

3.2 SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO

3.2.1 IDENTIFICAZIONE DEI POSSIBILI SCENARI D'INCENDIO

Gli scenari di incendio rappresentano la schematizzazione dei più gravosi eventi che possono ragionevolmente verificarsi nell'attività (credible worst-case scenarios), in relazione alle caratteristiche del focolare, dell'edificio e degli occupanti. La procedura di identificazione, selezione e quantificazione degli scenari di incendio di progetto è descritto nel capitolo M.2.

In relazione alla valutazione del rischio d'incendio vengono identificati tutti i possibili scenari d'incendio che possono svilupparsi durante la vita utile dell'attività, in relazione a tutte le condizioni di esercizio ragionevolmente prevedibili.

Tra i **possibili eventi iniziatori** si identificano:

- Guasto elettrico/meccanico: malfunzionamento di impianti elettrici, di impianti meccanici, sorgenti di calore causate da attriti, ecc.
- Innesco accidentale: malfunzionamento di carrelli elevatori o transpallet, fiamme o scintille dovute a processi di manutenzione quali saldature, malfunzionamento di batterie, macchine ed apparecchiature in cui si produce calore non installate ed utilizzate secondo le norme di buona tecnica es. apparecchiature per stiro, confezionamento, ecc.

Tra le **possibili localizzazioni del focolare** si identificano:

- zona preparazione e smistamento;
- zona stoccaggio su scaffali;
- zona stoccaggio a terra.

Tra le **possibili distribuzioni e comportamento degli occupanti** si identificano:

- fase ordinaria dell'attività con distribuzione uniforme degli occupanti;
- fase non ordinaria dell'attività (es. pausa pranzo) con concentrazione degli occupanti nelle aree break;
- fase di chiusura dell'attività.

Il primo passo della procedura consiste nell'identificare tutti possibili scenari di incendio che possono svilupparsi durante la vita utile dell'attività. In relazione a ciò si considerano tutte le condizioni di esercizio ragionevolmente prevedibili.

Gli scenari di incendio analizzati sono stati individuati secondo quanto previsto nelle specifiche tecniche ISO TR 13387-2 e ISO TS 16733, tramite la costruzione di un albero degli eventi che considera diversi inneschi iniziatori e diversi sviluppi nella gestione dell'emergenza.

Dall'analisi delle possibili distribuzioni degli occupanti si ritiene più gravoso l'incendio che divampa in una fase ordinaria dell'attività, con distribuzione uniforme degli occupanti all'interno degli ambienti.

Per quanto riguarda i possibili eventi iniziatori, dall'analisi delle statistiche VV.F. relative al triennio 2020-2018 si evidenzia che tra le cause di incendio pertinenti l'attività in esame, il guasto elettrico ha una probabilità pari al 56,6 %, mentre l'innesco accidentale è pari al 43.4 %.

Le suddette percentuali sono ricavabili come segue.

Di seguito viene riportata per l'anno 2020 la tabella tipo d'intervento "incendi ed esplosioni" – "causa" – "dettaglio causa" in cui figurano soltanto le cause per le quali si ha una frequenza maggiore o uguale a 0,3%. In particolare, il filtro applicato ha ristretto il numero delle cause da 81 a 17, consentendo comunque la rappresentazione del 98,2% degli interventi. La percentuale è stata calcolata rispetto al numero totale di interventi per il tipo incendi ed esplosioni (n° 242.205).

Interventi di soccorso tecnico urgente effettuati dal C.N.VV.F. inerenti le cause con frequenza > 0.3% rispetto al totale degli "incendi ed esplosioni"

CAUSA	DETTAGLIO CAUSA	INCENDI ED ESPLOSIONI (ANNO 2020)	
		N° INTERVENTI	%
Cause di innesco di incendio	Cause elettriche	11.037	4,6%
	Camino e/o canna fumaria	10.710	4,4%
	Mozzicone di sigaretta e fiammiferi	3.033	1,3%
	Autocombustione	1.835	0,8%
	Non corretta o mancata adozione di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza	1.741	0,7%
	Surriscaldamento di motori e macchine varie	1.282	0,5%
	Elettrodomestici	858	0,4%
	Fulmine	506	0,3%
	Altre	16127	6,7%
Dolose	Probabile dolo	10.403	4,3%
	Probabile colpa	2.401	1,0%
Cause che determinano altri tipi di interventi	Cause impreviste	2.908	1,2%
	Disattenzione generale	2.361	1,0%
	Funzionamento difettoso di impianti e/o macchinari	917	0,4%
	Altre	5.463	2,3%
Non potute accertare nell'immediatezza dell'evento	Non potute accertare nell'immediatezza dell'evento	148.101	61,1%
>	>	17.936	7,4%
TOTALE			98,2%

(*) scheda d'intervento anagrafica aperta, dati parzialmente inseriti.

Tabella 2

Figura 1: Fonte: Annuario statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco periodo di riferimento 01/01/2020 – 31/12/2020

Di seguito viene riportata per l'anno 2019 la tabella "dettaglio causa" – tipo d'intervento "incendi ed esplosioni" in cui figurano soltanto le cause per le quali si ha una frequenza maggiore o uguale a 0,1%. In particolare, il filtro applicato ha ristretto il numero delle cause da 80 a 22, consentendo comunque la rappresentazione del 98,9% degli interventi. La percentuale è stata calcolata rispetto al numero totale di interventi per il tipo incendi ed esplosioni (n° 252.384).

Interventi di soccorso tecnico urgente effettuati dal C.N.VV.F. inerenti le cause con frequenza $\geq 0,1\%$ rispetto al totale degli "incendi ed esplosioni"			
CAUSA	DETTAGLIO CAUSA	INCENDI ED ESPLOSIONI (ANNO 2019)	
		N° INTERVENTI	%
Cause che determinano soccorso a persone	Non potute accertare	863	0,3%
Cause di incidenti di mezzi di trasporto	Disattenzione	273	0,1%
Cause di innesco di incendio	Cause elettriche	12.169	4,8%
	Camino e/o canna fumaria	11.571	4,6%
	Mozzicone di sigaretta e fiammiferi	3.675	1,5%
	Mancata adozione di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza	1.562	0,6%
	Surriscaldamento di motori e macchine	1.450	0,6%
	Autocombustione	1.448	0,6%
	Elettrodomestici	938	0,4%
	Fulmine	669	0,3%
	Faville da sfregamento di parti meccaniche	557	0,2%
	Guasti ad impianti di produzione di calore	324	0,1%
	Altre	16617	6,6%
Dolose	Probabile dolo	11.595	4,6%
	Probabile colpa	2.351	0,9%
Cause che determinano altri tipi di interventi	Cause impreviste	2.946	1,2%
	Disattenzione generale	2.400	1,0%
	Funzionamento difettoso di impianti e/o macchinari	1.025	0,4%
	Mancata adozione di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza	268	0,1%
	Altre	5.893	2,3%
Non potute accertare	Non potute accertare	151.963	60,2%
*	*	19.067	7,6%
TOTALE			98,9%

(*) scheda d'intervento ancora aperta, dati parzialmente inseriti.

Tabella 2

Figura 2: Fonte: Annuario statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco periodo di riferimento 01/01/2019 – 31/12/2019

Di seguito viene riportata per l'anno 2018 la tabella "Dettaglio Causa" – Tipo intervento "Incendi ed esplosioni" in cui figurano soltanto le cause per le quali si ha una frequenza maggiore o uguale a 0,1%. In particolare il filtro applicato ha ristretto il numero delle cause da 86 a 23, consentendo comunque la rappresentazione del 98,7% degli interventi. La percentuale è stata calcolata rispetto al numero totale di interventi per il tipo Incendi ed esplosioni (n° 213.116).

Interventi di soccorso tecnico urgente effettuati dal C.N.VV.F. inerenti le cause con frequenza $\geq 0,1\%$ rispetto al totale degli "incendi ed esplosioni"			
CAUSA	DETTAGLIO CAUSA	INCENDI ED ESPLOSIONI (ANNO 2018)	
		N° INTERVENTI	%
Cause che determinano soccorso a persone	Non potute accertare	686	0,3%
Cause di incidenti di mezzi di trasporto	Disattenzione	259	0,1%
Cause di innesco di incendio	Cause elettriche	12.029	5,6%
	Camino e/o canna fumaria	11.809	5,5%
	Mozzicone di sigaretta e fiammiferi	3.332	1,6%
	Mancata adozione di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza	1.443	0,7%
	Surriscaldamento di motori e macchine	1.431	0,7%
	Autocombustione	1.414	0,7%
	Elettrodomestici	1.032	0,5%
	Fulmine	698	0,3%
	Faville da sfregamento di parti meccaniche	530	0,2%
	Guasti ad impianti di produzione di calore	339	0,2%
	Scintille provocate da operazioni di saldatura	214	0,1%
	Altre	14.770	6,9%
Dolose	Probabile dolo	10.306	4,8%
	Probabile colpa	1.857	0,9%
Cause che determinano altri tipi di interventi	Cause impreviste	2.753	1,3%
	Disattenzione generale	2.139	1,0%
	Funzionamento difettoso di impianti e/o macchinari	944	0,4%
	Mancata adozione di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza	229	0,1%
	Altre	5.303	2,5%
Non potute accertare	Non potute accertare	120.524	56,6%
*	*	16.395	7,7%
TOTALE			98,7%
(*) scheda d'intervento ancora aperta, dati parzialmente inseriti.			

Tabella 2

Figura 3: Fonte: Annuario statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco periodo di riferimento 01/01/2018 – 31/12/2018

Dalle tabelle 1, 2 e 3 si prendono in considerazione solo le cause di innesco di incendio, escludendo gli altri interventi, il dolo e le cause non accertate nell'immediatezza. Nella tabella che segue sono riportate solo le cause di innesco di incendio con le relative medie nell'arco del triennio.

CAUSE DI INNESCO DI INCENDIO	N.INTERVENTI			MEDIA TRIENNIO
	2018	2019	2020	2018-2020
Altre	2.5%	2.3%	2.3%	2.4%
Autocombustione	0.7%	0.6%	0.8%	0.7%
Camino e/o canna fumaria	5.5%	4.6%	4.4%	4.8%
Cause elettriche	5.6%	4.8%	4.6%	5.0%
Elettrodomestici	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%
Funzionamento difettoso di impianti e/o macchinari	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
Fulmine	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%
Mozziconi di sigaretta e fiammiferi	1.6%	1.5%	1.3%	1.5%
Non corretta o mancata adozione di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza	0.7%	0.6%	0.7%	0.7%
Surrisaldamento di motori e macchine varie	0.7%	0.6%	0.5%	0.6%

3.2.1.1 Analisi storica

In questa fase si tiene conto degli incendi che hanno interessato edifici o attività simili a quella in esame mediante analisi storica e si descrive, ove le informazioni sono disponibili:

- evento iniziatore caratterizzato da un focolaio di incendio e dalle condizioni dell'ambiente circostante;
- propagazione dell'incendio e dei prodotti della combustione;
- azione degli impianti tecnologici e di protezione attiva contro l'incendio;
- azioni eseguite dai componenti della squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio presenti nell'ambiente;
- distribuzione e comportamento degli occupanti.

PIACENZA

- evento iniziatore: innesco elettrico, avvenuto in orario di apertura dell'attività;
- propagazione dell'incendio e dei prodotti della combustione: il rogo ha sprigionato una colonna di fumo e non è rimasto confinato all'interno del compartimento di primo innesco, interessando locali limitrofi;
- azione degli impianti tecnologici e di protezione attiva contro l'incendio: non era presente la rivelazione, né impianto di protezione attiva;
- azioni eseguite dai componenti della squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio presenti nell'ambiente: informazioni non presenti;
- distribuzione e comportamento degli occupanti: nessun ferito e/o intossicato, si deduce quindi che l'esodo sia avvenuto sufficientemente in modo corretto.

PORDENONE

- evento iniziatore: innesco elettrico, avvenuto intorno alle 05:00 in orario di apertura dell'attività;
- propagazione dell'incendio e dei prodotti della combustione: il rogo ha sprigionato una colonna di fumo ma è rimasto confinato all'interno del compartimento di primo innesco;
- azione degli impianti tecnologici e di protezione attiva contro l'incendio: era presente la rivelazione, ma non l'impianto di protezione attiva;
- azioni eseguite dai componenti della squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio presenti nell'ambiente: prontissimo è stato l'intervento dei dipendenti, con capiturno e manutentori che si sono subito accorti della gravità della situazione e hanno attivato le corrette procedure di evacuazione e di sicurezza;
- distribuzione e comportamento degli occupanti: nessun ferito e/o intossicato, si deduce quindi che l'esodo sia avvenuto sufficientemente in modo corretto.

SALERNO

- evento iniziatore: innesco di un automezzo parchato all'interno, avvenuto in orario di chiusura dell'attività;
- propagazione dell'incendio e dei prodotti della combustione: il rogo ha sprigionato una colonna di fumo ma è rimasto confinato all'interno del compartimento di primo innesco, rischiando di coinvolgere altri edifici nella zona;
- azione degli impianti tecnologici e di protezione attiva contro l'incendio: era presente la rivelazione, ma non l'impianto di protezione attiva;
- azioni eseguite dai componenti della squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio presenti nell'ambiente: nessuna informazione;
- distribuzione e comportamento degli occupanti: sei le persone che risultano intossicate, una delle quali è stata trasportata al pronto soccorso.

VICENZA

- evento iniziatore: innesco elettrico, avvenuto in orario di apertura dell'attività;
- propagazione dell'incendio e dei prodotti della combustione: il rogo ha sprigionato una colonna di fumo che si è alzata per centinaia di metri, visibile da chilometri di distanza. Le fiamme hanno coinvolto i capannoni dell'azienda per una lunghezza di oltre 250 metri e una larghezza di circa 40, sprigionando altissime concentrazioni di benzene;
- azione degli impianti tecnologici e di protezione attiva contro l'incendio: nessuna informazione;
- azioni eseguite dai componenti della squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio presenti nell'ambiente: nessuna informazione;
- distribuzione e comportamento degli occupanti: Non risultano conseguenze per gli operai o altre persone residenti nell'area;

Andando ad individuare solo le cause riferibili al contesto della modellazione, possiamo distinguere tra cause plausibili e non plausibili.

PLAUSIBILI:

- Cause elettriche
- Surriscaldamento di motori e macchine varie
- Muletti

NON PLAUSIBILI:

- Altre
- Camino e/o canna fumaria
- Elettrodomestici
- Fulmine (edificio protetto da impianto di messa a terra e protezione contro le scariche atmosferiche)
- Fuochi d'artificio e giochi pirotecnici
- Mozziconi di sigaretta e fiammiferi (divieto di fumo e di utilizzo di fiamme libere)
- Non corretta o mancata adozione di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza (GSA, personale formato)

Ridistribuendo le probabilità solo sulle cause plausibili dell'attività si ottengono i dati riportati nella seguente tabella:

CAUSE DI INNESCO DI INCENDIO	N.INTERVENTI			MEDIA TRIENNIO	CAUSE PLAUSIBILI PER L'ATTIVITA'	RIDISTRIBUZIONE SU CAUSE PLAUSIBILI
	2018	2019	2020	2018-2020		
Altre	2.5%	2.3%	2.3%	2.4%	x	x
Autocombustione	0.7%	0.6%	0.8%	0.7%	0.7%	7.9%
Camino e/o canna fumaria	5.5%	4.6%	4.4%	4.8%	x	x
Cause elettriche	5.6%	4.8%	4.6%	5.0%	5.0%	56.6%
Elettrodomestici	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%	x	x
Funzionamento difettoso di impianti e/o macchinari	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	4.5%
Fulmine	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	x	x
Mozziconi di sigaretta e fiammiferi	1.6%	1.5%	1.3%	1.5%	1.5%	16.6%
Non corretta o mancata adozione di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza	0.7%	0.6%	0.7%	0.7%	0.7%	7.5%
Surriscaldamento di motori e macchine varie	0.7%	0.6%	0.5%	0.6%	0.6%	6.8%
				16.8%	8.8%	100.0%

Il raggruppamento in macro-cause consente infine di ricavare le seguenti percentuali:

Cause elettriche: 56.6%

Cause accidentali: 43.3%

L'evento iniziatore più probabile è il malfunzionamento di elementi impiantistici e/o muletti.

In quanto a localizzazione, poiché il materiale stoccato è ben definito in planimetria di valutazione progetto è credibile che un incendio si sviluppi in queste zone.

L'evento iniziatore più probabile va dall'innescò accidentale per il malfunzionamento di muletti, a malfunzionamenti di apparecchiature che potrebbero produrre surriscaldamento o faville, ad incidenti durante eventuali attività di manutenzione.

È possibile che tale evento iniziatore avvenga in tutte le zone della struttura, anche all'interno delle aree di stoccaggio e prossime al materiale combustibile. Pertanto, nonostante la minor probabilità di accadimento, è ragionevole assumere che tale tipo di incendio sia caratterizzato da un rilascio di energia termica e da una velocità di propagazione più elevati rispetto al primo caso, con un maggior coinvolgimento di materiale combustibile e una maggior produzione di fumo e calore.

A favore di sicurezza, tutte le modellazioni previste nella presente analisi, simuleranno questa seconda tipologia di incendio.

Le ipotesi suddette sono tradotte in termini quantitativi nell'albero degli eventi riportato di seguito. Nel diagramma vengono rappresentate, a partire da ciascun evento iniziatore, le possibili sequenze di eventi e le relative probabilità di accadimento.

3.2.1.2 Albero degli eventi qualitativo

Al fine di individuare correttamente gli scenari di incendio, viene di seguito riportato l'albero degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi all'interno dell'attività.

Esso è stato impostato sulla base della documentazione internazionalmente riconosciuta ISO 16732-1 "Fire Safety Engineering - Fire risk assessment".

Vengono analizzati i due principi di innesco caratteristici del magazzino, ovvero l'innesco riconducibile da carrello elevatore, ovvero del macchinario adibito alla movimentazione automatica dei carichi, e l'innesco elettrico di pallet stoccato.

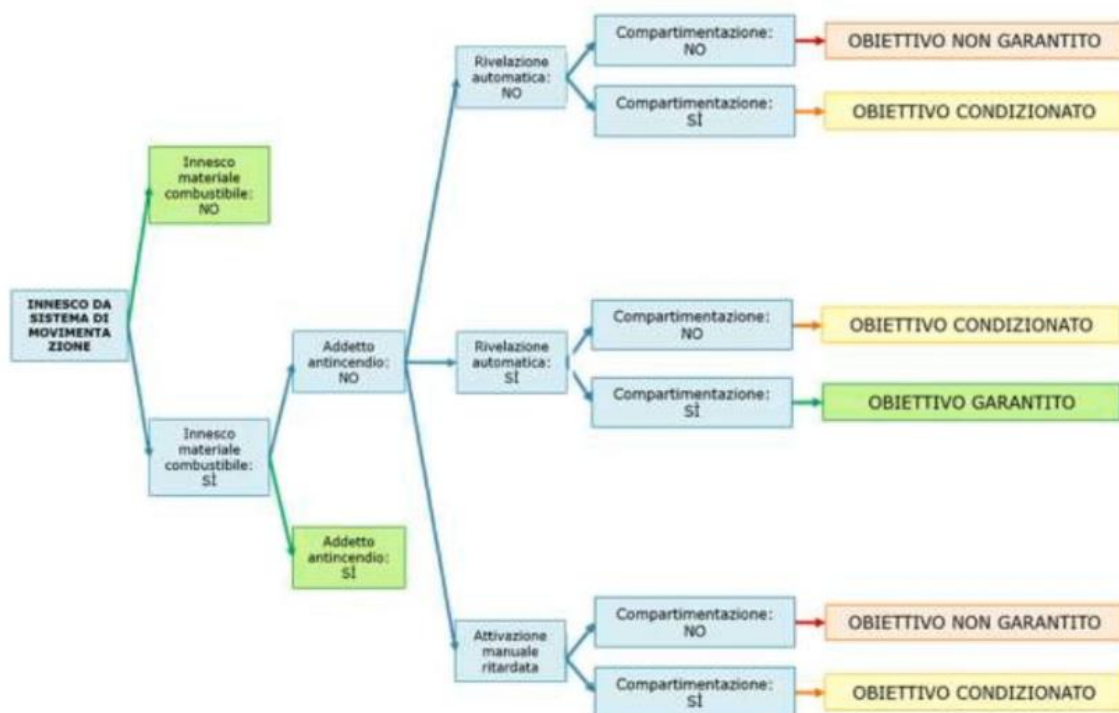


Figura 2: Albero dei guasti qualitativo – Innesco da carrello elevatore/elettrico

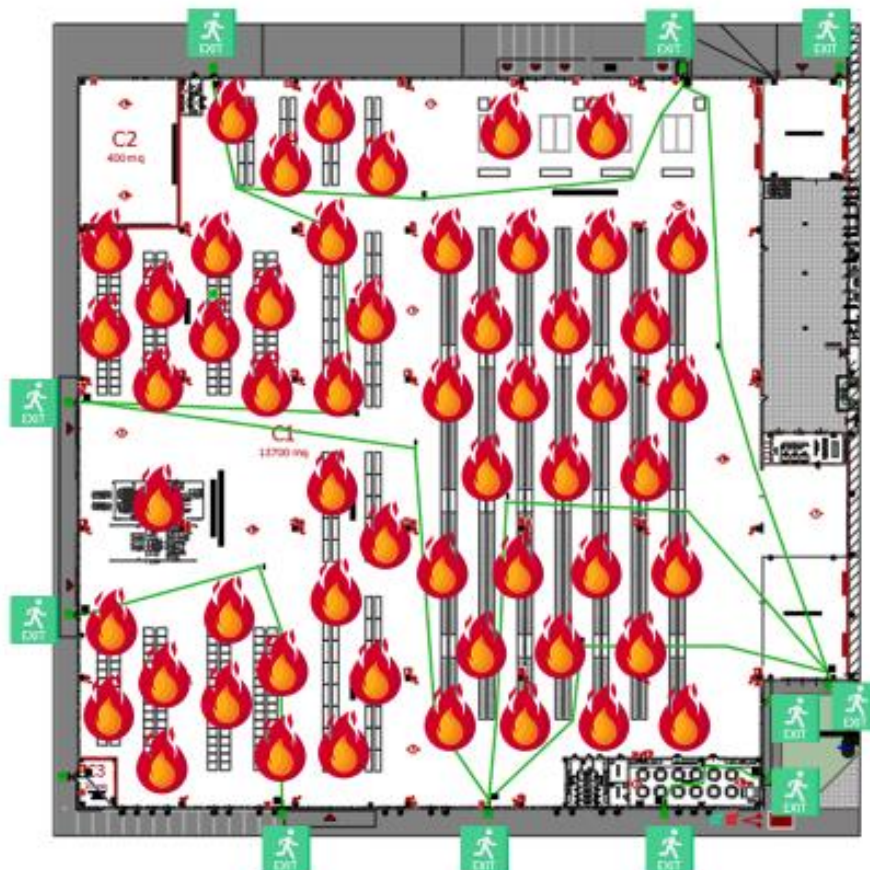


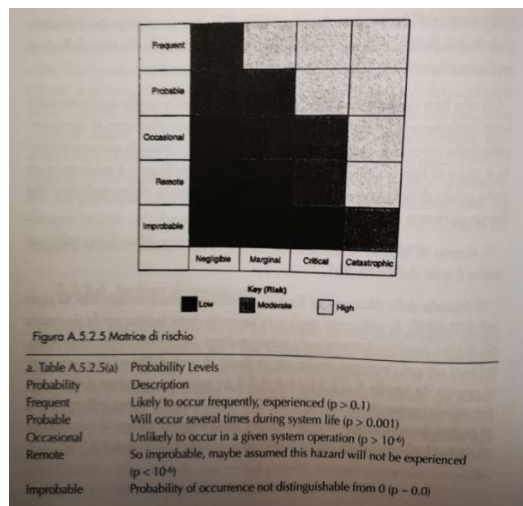
Figura 4-Possibili scenari di incendio al piano z=0.00

Per l'attività in esame il rischio più rappresentativo risulta essere un incendio che si sviluppa nel seguente modo:

- L'incendio divampa durante una fase di ordinario esercizio dell'attività;
- L'evento iniziatore è un focolare d'incendio dovuto a un corto circuito di un'apparecchiatura elettrica;
- Il focolare d'incendio si sviluppa con fiamma e ha inizio la propagazione dei prodotti della combustione;
- Gli occupanti vedendo l'incendio diramano l'emergenza in modo da avviare le procedure di emergenza per l'esodo (anche dei capannoni limitrofi) e per il controllo del principio di incendio e la chiamata dei soccorsi;
- Gli occupanti non riescono a intervenire efficacemente sul principio d'incendio;
- Il focolare si propaga progressivamente interessando il materiale combustibile adiacente;
- Entro 5 minuti dall'innesco sopraggiungono i referenti formati alla lotta antincendio;
- Entro 15-16 minuti dall'innesco sopraggiungono i Vigili del Fuoco.

All'interno dell'Appendice A della NFPA 551 paragrafo A.5.2.5 viene illustrato estesamente il metodo della Matrice di Rischio.

Ciò alla luce del fatto che tale metodologia risulta quella maggiormente applicata nelle valutazioni di rischio incendio.



PROBABILITÀ	DESCRIZIONE
Frequente	Probabile che accada frequentemente, con probabilità $p > 0.1$
Probabile	Si verificherà molte volte durante la vita del sistema ($p > 0.001$)
Occasionale	Improbabile che accada durante l'operatività del sistema ($p > 10^{-6}$)
Remoto	Così improbabile, che forse si può ipotizzare che questo pericolo non si caratterizzerà ($p < 10^{-6}$)
Improbabile	La probabilità che accada non è distinguibile da 0 ($p \approx 0$)

(*) Table A.5.2.5(b) Severity Categories

Severity	Impact
Negligible	The impact of loss will be so minor that it would have no discernible effect on the facility, its operations, or the environment.
Marginal	The loss will have impact on the facility, which may have to suspend some operations briefly. Some monetary investments may be necessary to restore the facility to full operations. Minor personal injury may be involved. The fire could cause localized environmental damage.
Critical	The loss will have a high impact on the facility, which may have to suspend operations. Significant monetary investments may be necessary to restore to full operations. Personal injury and possibly deaths may be involved. The fire could cause significant reversible environmental damage
Catastrophic	The fire will produce death or multiple deaths or injury or impact on operations will be disastrous, resulting in long term or permanent closing. The facility would cease to operate immediately after the fire occurred. The fire could cause significant irreversible environmental damage.

GRAVITÀ	IMPATTO
Trascurabile	L'impatto delle perdite sarebbe così poco rilevante da non produrre alcuna conseguenza significativa
Marginale	La perdita causerà un impatto sull'impianto, il quale potrebbe dover sospendere brevemente l'attività. Per riportare l'impianto alla piena operatività, potrebbero rendersi necessari alcuni investimenti in denaro. Potrebbero verificarsi danni di poca rilevanza alle persone. L'incendio potrebbe provocare un danno ambientale localizzato.
Critico	La perdita causerà un notevole impatto sull'impianto, il quale potrebbe dover sospendere le operazioni. Per riportare l'impianto alla piena operatività, potrebbero verificarsi danni alle persone con possibile perdita di vite. L'incendio potrebbe causare un danno ambientale significativo ma reversibile.
Catastrofico	L'incendio causerà la perdita di una o più vite umane, oppure avrà un impatto disastroso sulle operazioni e porterà ad una chiusura lunga o definitiva. L'impianto cesserebbe immediatamente di operare al divampare dell'incendio. L'incendio potrebbe provocare un danno ambientale irreversibile e significativo.

	Magnitudo				
Probabilità		Trascurabile	Marginale	Critico	Catastrofico
	Frequente				
	Probabile				
	Occasionale				
	Remoto				
	Improbabile				

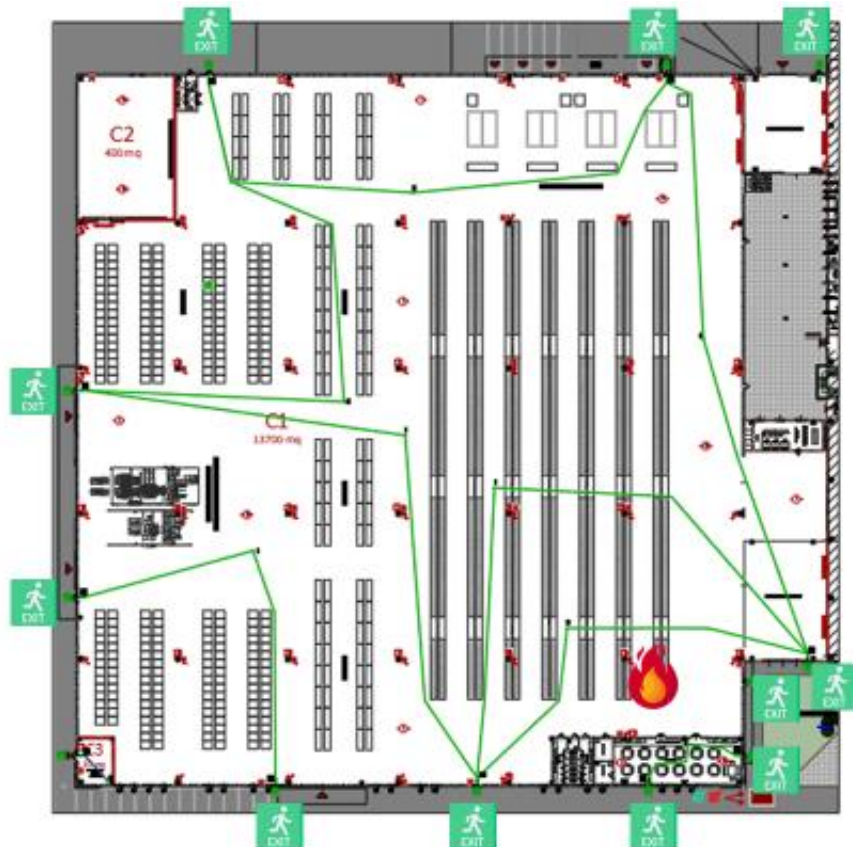


Per l'esodo degli occupanti

	Magnitudo				
Probabilità		Trascurabile	Marginale	Critico	Catastrofico
	Frequente				
	Probabile				
	Occasionale		Tutti gli scenari		
	Remoto				
	Improbabile				

Viste le analisi del rischio di incendio e dei tempi di possibile spegnimento dell'incendio si conclude nell'individuare i seguenti scenari di incendio di progetto:

- **Scenario di incendio di progetto denominato S1 per la strategia S4:** Incendio localizzato per massimizzare le lunghezze di esodo.



Tra tutti gli altri scenari di incendio si è scelto lo scenario denominato S1 come quello di progetto in quanto avendo come obiettivo quello di verificare le lunghezze dei percorsi di esodo, un incendio con questa configurazione massimizza tali lunghezze. Inoltre avendo un incendio di materiale stoccato in altezza si massimizza la velocità di crescita del focolare (ultra fast) e la potenza liberata nel tempo. In questo modo verranno prodotti maggiori prodotti della combustione a favore di sicurezza per l'individuazione di ASET (tempo disponibile per l'esodo). Per tale motivo vengono esclusi tutti gli scenari con altezze di stoccaggio inferiori.

L'incendio inoltre è descritto con la reazione chimica proposta dal codice in fase di POST FLESH OVER per altre attività (a favore di sicurezza) al fine di massimizzare i prodotti della combustione. Per tale motivo la descrizione della tipologia di merce modellata come burner risulta influente in quanto il focolaio modellato è il più gravoso tra quelli proposti dal DM 18.10.2019

3.2.1.3 SCENARIO DI PROGETTO S1 (Esodo degli occupanti)

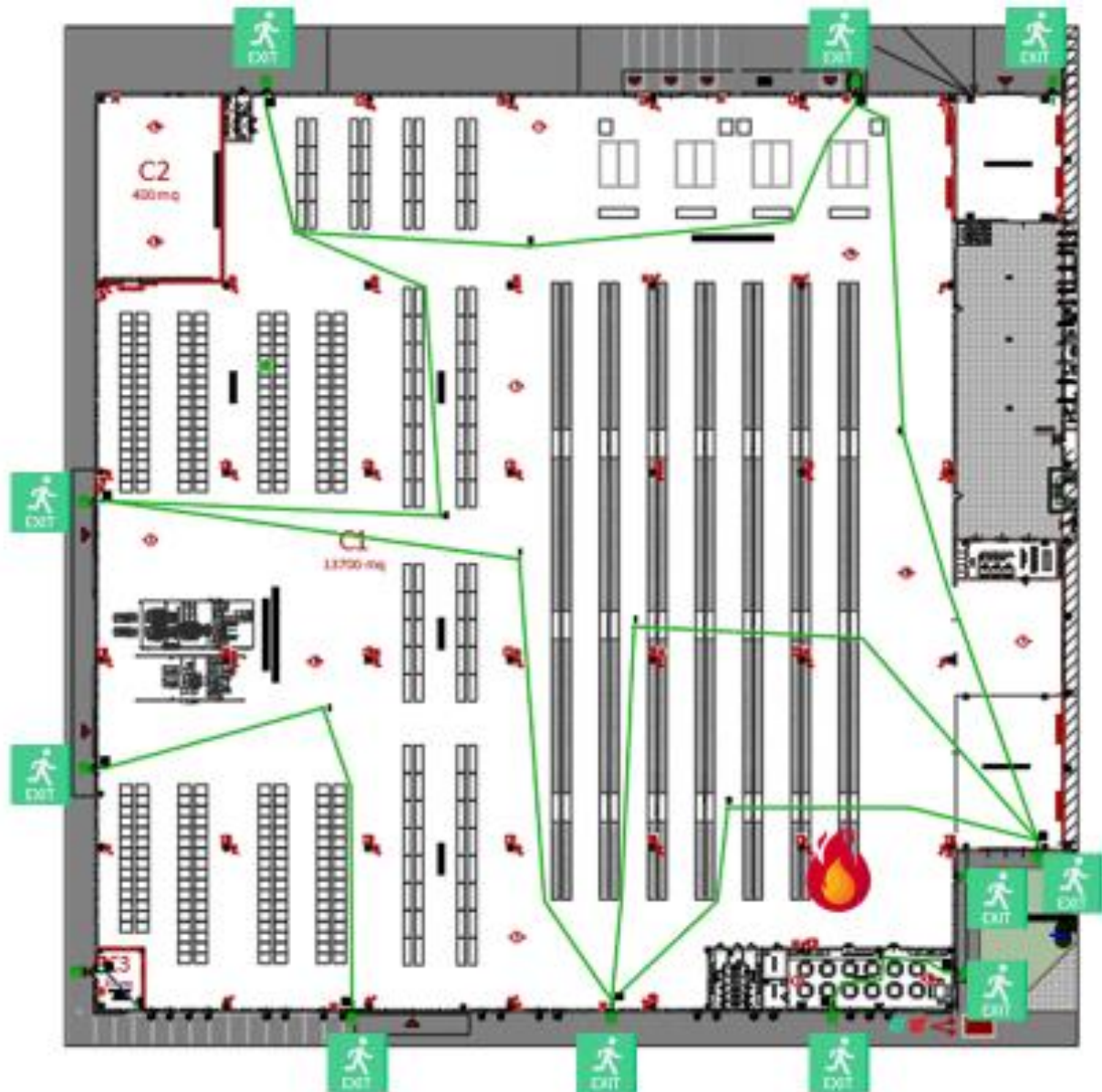


Figura 5-Pianta piano terra con deposito oggetto di analisi

CARATTERISTICHE DELL'INCENDIO	
LOCALIZZAZIONE FOCOLARE	S1
TIPOLOGIA FOCOLARE	Con fiamma – Pre-flashover
MATERIALE COMBUSTIBILE	Materiali stoccati in altezza
FONTI D'INNESCO	Corto circuito muletto e propagazione verso merce in deposito
CURVA RHR	Per individuare la curva RHR più idonea si utilizza una curva con fase iniziale di crescita Ultra Fast
PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE	Combustibile: $\text{CH}_2\text{O}_{0,5}$

	$Y_{\text{soot}} = 0,36 \text{ kg/kg}$ $Y_{\text{CO}} = 0,40 \text{ kg/kg}$
CARATTERISTICHE DELL'AMBITO	
AMBITO MODELLATO	<ul style="list-style-type: none"> <u>Deposito</u>
GEOMETRIA E DIMENSIONI	forma poligonale
TIPOLOGIA STRUTTURALE E COSTRUTTIVA	Strutture portanti orizzontali e verticali in cls
COMPARTIMENTAZIONE	Conforme verso altro fabbricato
ESODO	Esodo simultaneo quando viene diramato vocalmente l'allarme dagli occupanti prossimi all'incendio
GSA	Nessun intervento
CONTROLLO DELL'INCENDIO	Non presente
RIVELAZIONE ED ALLARME	Si assume in media $t_{\text{det}} + t_a = 120 \text{ s}$ (vedasi paragrafo)
CONTROLLO DI FUMI E CALORE	Conforme
CARATTERISTICHE DEGLI OCCUPANTI	
AFFOLLAMENTO	Si ipotizza un totale di 100 occupanti adulti totalmente autosufficienti
TIPOLOGIA	Adulti
FAMILIARITÀ	Si
STATO DI ALLERTA	Veglia
CAPACITÀ PSICOFISICHE	Pienamente autosufficienti
FORMAZIONE	Si (non è considerata nella simulazione)
INTERVENTO	Si (non è considerata nella simulazione)

Di seguito una tabella riepilogativa degli scenari:

Obiettivo	Scenario	Velocità crescita	Potenza massima el tempo di 2*RSET [kW]
Esodo occupanti	S1	Ultra fast	28.670

Figura 6: Tabella riassuntiva scenari di incendio di progetto

3.2.2 DETERMINAZIONE DI RSET OCCUPANTI

Il tempo richiesto per l'esodo RSET, calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'edificio raggiungono un luogo sicuro, è determinato come somma delle seguenti componenti.

Table 1 – Time line model and decisions

Time Line Model			
Required Safe Egress Time (RSET)			
Alarm Time (AT)	Evacuation Time (ET)		
	Pre-Evacuation Time (PET)		Movement Time (MT)
	Recognition Time (RecT)	Response Time (ResT)	
Decisions			
-	to start investigating ^a to start evacuating ^a	Plan pre-movement activities ^a Path and exit choice ^b	Path and exit choice ^b Local interaction ^c

^astrategic level; ^btactical level; ^coperational level.

Figura 7-ISO TR 13387-1 - application of fire performance concepts to design objectives ISO TR

3.2.2.1 TEMPO DI RILEVAZIONE t_{det}

Il tempo t_{det} è determinato dalla tipologia di sistema di rilevazione e dallo scenario di incendio. È il tempo necessario al sistema di rilevazione automatico per accorgersi dell'incendio. Viene calcolato analiticamente o con apposita modellazione numerica degli scenari di incendio e del sistema di rilevazione.

3.2.2.2 TEMPO DI ALLARME GENERALE t_a

Il tempo t_a è quello che intercorre tra la rilevazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, dell'allarme generale.

Il tempo di allarme generale sarà dunque:

- a) pari a zero, quando la rilevazione attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio;
- b) pari al ritardo valutato dal professionista antincendio, se la rilevazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.

Negli edifici grandi e complessi si deve tenere conto della modalità di allarme che può essere diversificata, ad esempio, nel caso di una evacuazione per fasi multiple.

R_{vita}	$t_{det} + t_a$ (s)	Descrizione
A1	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio
A2	180	Attività probabilmente provviste di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio
A3	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni
A4	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni
B1	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B2	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B3	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
Ciii1	360	Attività a basso rischio probabilmente sprovviste di IRAI basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
Ciii2	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
Ciii3	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
D1	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato., compartimenti di ridotte dimensioni
D2	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti; presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
E1	600	Attività probabilmente dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, elevata complessità geometrica
E2	360	Attività probabilmente dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, elevata complessità geometrica
E3	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, elevata complessità geometrica

$$t_{det} + t_a = 120 \text{ s}$$

3.2.2.3 TEMPO DI ATTIVITÀ DI PRE-MOVIMENTO t_{pre}

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 uno 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. Nel tempo di risposta gli occupanti cessano le loro attività normali e si dedicano ad attività legate allo sviluppo dell'emergenza, quali: raccolta di informazioni sull'evento, arresto e messa in sicurezza delle apparecchiature, raggruppamento del proprio gruppo (lavorativo o familiare), lotta all'incendio, ricerca e determinazione della via d'esodo appropriata ed altre attività a volte anche errate ed inappropriate. A seconda dello scenario comportamentale questi tempi possono durare anche alcune decine di minuti (vedasi anche ISO TR 16738).

Nel caso specifico il tempo di pre-movimento per l'attività in esame si assume:

R _{vita}	t _{pre(1°)}	t _{pre(99°)}	Descrizione (tab. E.2 ISO/TR 16738)
A1	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A2	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A3	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
A4	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
B1	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B2	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B3	30	150	B: Awake and unfamiliar, M1 B1 A1-A2
Ciii1	1200	2400	C: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
Ciii2	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
Ciii3	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
D1	600	1200	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
D2	300	600	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
E1	120	300	E: Awake and unfamiliar, M2 B3 A1-A3
E2	90	240	E: Awake and unfamiliar, M1 B3 A1-A3
E3	90	240	E: Awake and unfamiliar, M1 B3 A1-A3

t_{pre(1°)} tempo di pre-evacuazione dei primi occupanti a muoversi

A tipologia sistema di allarme

t_{pre(99°)} tempo di pre-evacuazione degli ultimi occupanti a muoversi

B complessità edificio

M efficacia gestione sicurezza

A: tipologia sistema di allarme; B: complessità edificio; M: efficacia gestione sicurezza:

Tipologia sistema di allarme	Livello A1	Rivelazione automatica estesa a tutto l'edificio in grado di attivare un immediato allarme generale in ogni parte dell'edificio (t _a = 0). Se viene utilizzato un sistema di segnalazione verbale il tempo del messaggio dovrà essere aggiunto al tempo di allarme.
	Livello A2	Il sistema di rivelazione è collegato con un pre-allarme indirizzato in un luogo presidiato, che può quindi attivare l'allarme generale; t _a ha un certo ritardo (2 - 5 min). Se viene utilizzato un sistema di segnalazione verbale il tempo del messaggio dovrà essere aggiunto al tempo di allarme.
	Livello A3	Sistema di rivelazione ed allarme solo nelle vicinanze del luogo in cui si è verificato l'incendio, con attivazione manuale dell'allarme; t _a risulta difficilmente stimabile.
Complessità edificio	Livello B1	Edificio a pianta semplice ed un solo piano, semplice layout ed un buon accesso visivo alle condizioni interne, moderate distanze per raggiungere uscite di sicurezza che conducono direttamente all'esterno.
	Livello B2	Semplice edificio in cui sono presenti più ambienti su piani diversi, con caratteristiche rispondenti alle indicazioni prescrittive e semplice layout interno.
	Livello B3	Rappresenta un edificio complesso. Questa tipologia considera complessi costituiti da più edifici tra loro integrati (centri commerciali, aeroporti, ecc.). Per la complessità e le dimensioni possono presentare difficoltà nel <i>wayfinding</i> durante una evacuazione e la gestione dell'emergenza presenta comunque particolari necessità.
Efficacia gestione sicurezza	Livello M1	Gli occupanti sono normalmente addestrati ad un buon livello di gestione della sicurezza antincendi e nella gestione della prevenzione e manutenzione. Esiste un piano di emergenza ben strutturato con prove effettuate regolarmente. Qualora siano presenti persone che non hanno familiarità con l'ambiente, esiste un buon rapporto tra il personale addestrato ed i visitatori.
	Livello M2	Come il livello M1 ma con uno staff meno articolato e personale di vigilanza non sempre presente.
	Livello M3	Rappresenta standard con un livello minimo di gestione della sicurezza. Non viene effettuato alcun audit. Non è disponibile alcun progetto ingegneristico relativamente al rischio incendio e vengono attuate misure di prevenzione incendi derivanti da altre considerazioni. Alto livello di protezione attiva e/o passiva.

In base ai parametri assunti per l'attività in esame, il tempo di pre-movimento è stimato variare in base a R_{vita}=A3 come da tabella 2-10 (testo di rif. Codice di prevenzione incendi commentato), ovvero:

$$\begin{cases} t_{pre} (1st\ percentile) = 30\ s \\ t_{pre} (99th\ percentile) = 90\ s \end{cases}$$

Nelle analisi si terrà conto dell'andamento statistico di tipo normale ai fini dell'esodo.

3.2.2.4 TEMPO DI MOVIMENTO E DI DEFLUSSO ATTRAVERSO LE USCITE $t_{tra} + t_{coda}$

Il tempo di movimento t_{tra} è il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento appena descritte.

Il t_{tra} è calcolato in riferimento ad alcune variabili:

- a) la distanza degli occupanti o gruppi di essi dalle vie di esodo;
- b) le velocità di esodo, che dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente costruito e gli effetti dell'incendio. È dimostrato che la presenza di fumi e calore rallenta notevolmente la velocità di esodo in funzione delle condizioni di visibilità;
- c) la portata delle vie d'esodo, dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli ed ostacoli.

Nella realtà, quando gli occupanti di edifici decisamente affollati fuggono lungo le vie di esodo, si formano lunghe file nei restringimenti, inoltre secondo lo sviluppo degli scenari di incendio di progetto presi in esame, alcuni percorsi possono diventare impercorribili o bloccati.

Il calcolo del t_{tra} deve tenere conto di questi fenomeni.

Attualmente si impiegano comunemente due famiglie di modelli per il calcolo del tempo di movimento: *modelli idraulici* e *modelli agent based*. I modelli idraulici predicono con ragionevole precisione alcuni aspetti del movimento degli occupanti (es. flussi attraverso le uscite), ma non includono fattori importanti del comportamento umano, come la familiarità con l'edificio, le interazioni persona-persona e l'effetto del fumo sul movimento. Altri tipo di modelli sono oggetto di intensa ricerca scientifica e di sperimentazione, i risultati devono essere valutati con cautela.

Si riportano le velocità degli agenti

- | | |
|-------------------|---------|
| • Adulti gruppo 1 | 0.7 m/s |
| • Adulti gruppo 2 | 1.2 m/s |

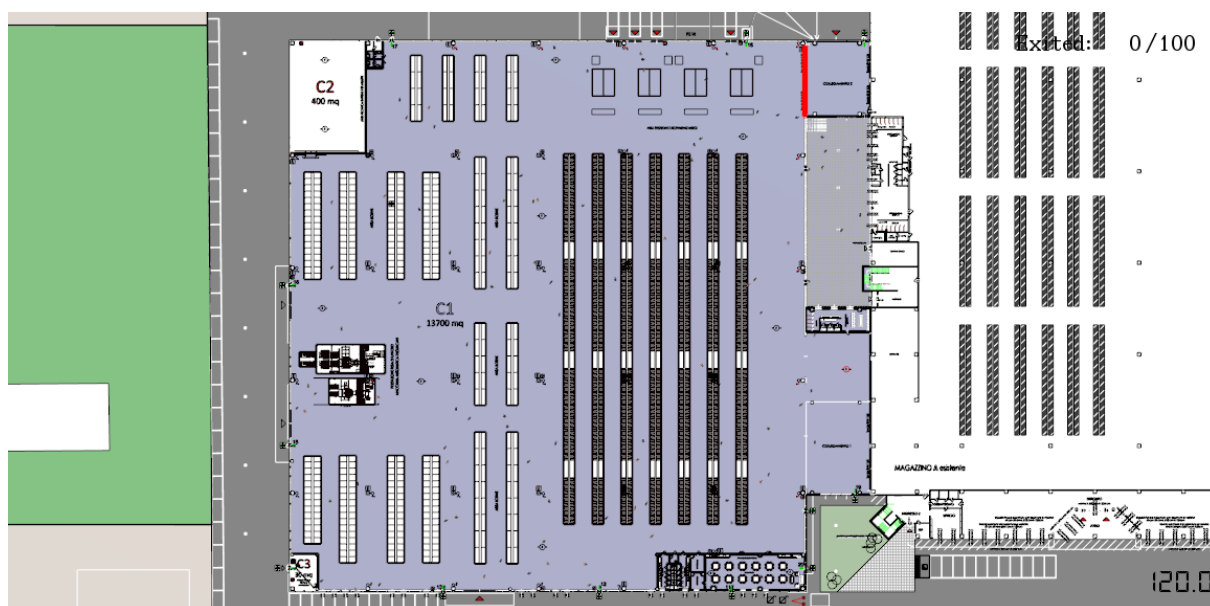


Figura 8-Modello Esodo

4 ANALISI QUANTITATIVA – RELAZIONE TECNICA

4.1 ELABORAZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI

4.1.1 MODELLI DI CALCOLO UTILIZZATI

Per l'analisi del problema si impiegano modelli di campo della fluidodinamica computazionale (CFD – Computational Fluid Dynamics) sviluppati per lo studio dell'incendio e dei suoi effetti (FDS – Fire Dynamics Simulator) dal BFRL (Building and Fire Research Laboratory) del NIST (National Institute of Standards and Technology, U.S.A.).

Il processo di progettazione prevede:

- la creazione di un modello geometrico dell'ambito in cui si vuole simulare lo sviluppo dell'incendio, l'inserimento dei parametri caratterizzanti l'incendio e dei dispositivi di controllo delle grandezze che si vogliono studiare, tramite un pre-processore dedicato all'inserimento dei dati di input (Pyrosim);
- la risoluzione numerica delle equazioni che modellano la reazione di combustione ed i fenomeni di trasporto, tramite il programma di calcolo (FDS - Pyrosim);
- l'interpretazione dei risultati, tramite un post-processore dedicato alla visualizzazione dei dati di output (CPI WIN FSE di Namirial, Smokeview o Pyrosim results).

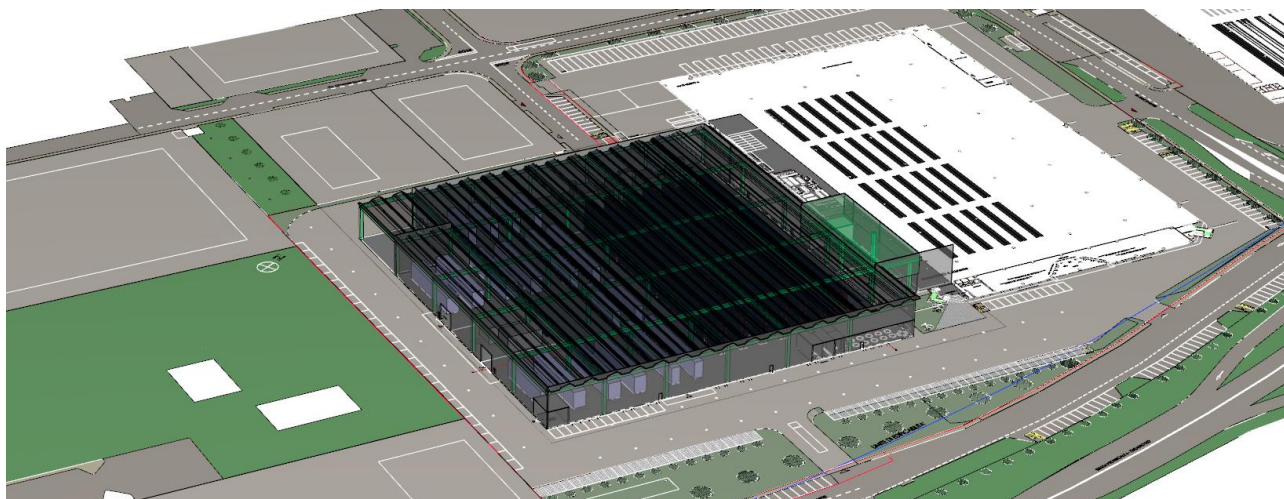


Figura 15 modello 3D FDS

4.1.2 VALIDAZIONE FDS

Il codice ASTM E 1355 “Standard Guide for Evaluating the Predictive Capability of Deterministic Fire Models” definisce la validazione di un modello di simulazione di incendio come: “il processo relativo alla determinazione della precisione dei risultati ottenuti da un modello quando applicato per un uso specifico”. Il processo di validazione del modello è costituito da due procedure fondamentali: la verifica e la convalida. La verifica è un processo utilizzato per valutare la correttezza della soluzione delle equazioni che governano il modello. Ai fini della verifica non importa che le equazioni che governano il modello siano appropriate, ma solo che le equazioni siano risolte correttamente. La convalida è un processo per determinare l'adeguatezza delle equazioni che governano il modello matematico relativo ai fenomeni fisici trattati. In genere, la convalida si ottiene confrontando i risultati del modello con i dati sperimentali misurati durante gli esperimenti. Piccole differenze che non possono essere spiegate in termini di errori numerici nel modello o di incertezza nelle misure sperimentali sono attribuite alle ipotesi di base e alle semplificazioni introdotte nel modello fisico. La validazione è fondamentale per stabilire il campo di utilizzo e le limitazioni di un modello definito accettabile. Durante le fasi dello sviluppo di FDS sono state eseguite varie forme di validazione, sia dal NIST che da altri enti e laboratori.

Il processo di validazione può essere riassunto in 3 passi:

1. confrontare le risultanze della modellazione con i risultati della sperimentazione;
2. quantificare le differenze in funzione delle incertezze sia delle misurazioni che nei dati di input del modello;
3. decidere se il modello è appropriato per la specifica analisi.

Il manuale di FDS relativo alla validazione “Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation” tratta esclusivamente i punti 1 e 2. La decisione di cui al punto 3 è responsabilità dell'utente finale.

È possibile affermare che FDS è “Validato” in quanto è stata quantificata l'incertezza del modello per questa applicazione e lo si ritiene appropriato.

FDS può essere utilizzato per modellare la maggior parte degli scenari d'incendio e determinare quasi qualsiasi quantità di interesse (prodotti della combustione, trasmissione del calore, ecc.).

NIST Special Publication 1018-3
Sixth Edition

Fire Dynamics Simulator
Technical Reference Guide
Volume 3: Validation

Pertanto, per il caso in oggetto si ritiene validato il software utilizzato in quanto utilizzato all'interno del campo di applicazione per il quale è stato sviluppato.

4.1.3 MODELLAZIONE DELLA GEOMETRIA e ANALISI DELLA MESH DI CALCOLO

La modellazione geometrica ha inizio con la definizione del dominio di calcolo, cioè la porzione di spazio che si intende simulare, e la suddivisione dello stesso in elementi tridimensionali più piccoli, chiamati celle. L'insieme di tali celle prende il nome di griglia di calcolo (mesh), all'interno della quale vengono risolte le equazioni di conservazione.

FDS utilizza una griglia di calcolo di tipo cartesiano e gli ambiti modellati sono stati divisi in celle cubiche. Il volume attorno all'incendio è stato analizzato con una griglia a maglie di 20 cm senza che ciò infici la trasmissione dei dati tra le varie zone del dominio. Il calcolo di dimensionamento viene effettuato con applicativo personale (<https://firesafetyengineeringcalculators.com/>)

Al fine di dimensionare adeguatamente la mesh di calcolo in FDS, è stato eseguito il calcolo proposto dal manuale di FDS, al capitolo 6.3.6.

6.3.6 Mesh Resolution

A common question asked by new FDS users is, “What should my grid spacing be?” The answer is not easy because it depends considerably on what you are trying to accomplish. In general, you should build an FDS input file using a relatively coarse mesh, and then gradually refine the mesh until you do not see appreciable differences in your results. This is referred to as a mesh sensitivity study.

For simulations involving buoyant plumes, a measure of how well the flow field is resolved is given by the non-dimensional expression $D^*/\delta x$, where D^* is a characteristic fire diameter

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (6.1)$$

and δx is the nominal size of a mesh cell¹. The quantity, \dot{Q} , is the total heat release rate of the fire. If it changes over time, you should consider the corresponding change in resolution. The quantity $D^*/\delta x$ can be thought of as the number of computational cells spanning the characteristic (not necessarily the physical) diameter of the fire. The more cells spanning the fire, the better the resolution of the calculation. It is better to assess the quality of the mesh in terms of this non-dimensional parameter, rather than an absolute mesh cell size. For example, a cell size of 10 cm may be “adequate,” in some sense, for evaluating the spread of smoke and heat through a building from a sizable fire, but may not be appropriate to study a very small, smoldering source.

The FDS Validation Guide [4] contains a table of the values of $D^*/\delta x$ used in the simulation of the validation experiments. The table is near the end of the chapter that describes all the experiments. These values range over two orders of magnitude and were chosen based on a grid resolution study and the particular attributes of the given fire scenario. It would be inappropriate to take any of these values as an “acceptable” minimum.

There are a number of special output quantities that provide local measures of grid resolution. See Section 16.10.21 for details.

Analisi della Mesh

Di seguito si riporta l’analisi della dimensione della mesh, tale valore verrà adottato in prossimità del focolare.

ANALISI DELLA MESH					
Scenario	Dimensione [m*m*m]	Potenza a 2*RSET [kW]	D*	Cell size moderate D*/dx=16 [cm]	Cell [cm]
S1	125*135*12	28.670	3.671	22.94	20

4.1.4 MODELLAZIONE DELL'INCENDIO

Per massimizzare gli effetti dell'incendio all'interno degli ambienti, tutti gli elementi costruttivi vengono considerati inerti, mentre al materiale combustibile sono attribuite le caratteristiche di materiali plastici.

In FDS il fuoco è controllato dalla curva RHR, pertanto sono inserite le curve di rilascio del calore riportate nel Sommario Tecnico.

Le caratteristiche dei prodotti della combustione sono tratte dal focolare predefinito indicate dalla tabella M.2-2 del D.M. 18/10/2019:

Resa in particolato Y_{soot}	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio Y_{CO}	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo ΔH_c	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio Y_{CO2}	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y_{H2O}	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR in irraggiamento (Radiative fraction)	35% [3]	

4.1.5 SET-UP DELLA SIMULAZIONE

Viene effettuato il set-up della simulazione inserendo piani (slice) e i punti (device) in cui si vuole monitorare la variazione dei parametri ambientali in funzione del tempo.

In merito alla scelta dei *time step*, il modello CFD riduce automaticamente il valore durante l'analisi per garantire che ogni particella all'interno del dominio non si muova di una distanza maggiore alla dimensione della cella e se l'interazione diventa troppo piccola l'analisi si interrompe per instabilità numerica. Pertanto, la convergenza a valori misurabili è sinonimo di correttezza delle valutazioni.

La durata della simulazione invece è stata scelta con metodo iterativo cioè valutando il tempo più significativo in relazione agli obiettivi fissati, ovvero il momento in cui i risultati raggiungono o un valore di stazionamento o addirittura una riduzione progressiva.

In base a questi dati si lancia il motore di calcolo per l'analisi fluidodinamica dell'incendio e dei prodotti della combustione: **FDS** risolve numericamente il problema tramite integrazione numerica delle equazioni differenziali rappresentative dei bilanci accoppiati di quantità di moto, energia e materia (equazioni di Navier – Stokes).

Conseguentemente, il programma fornisce come dati di uscita i valori di tutte le variabili, scalari e vettoriali, calcolate in ciascuna delle celle del dominio, utili alla comprensione dei fenomeni ed alla analisi degli effetti dell'incendio, quali distribuzioni delle temperature, pressioni, velocità dei gas e fumi, valori di visibilità, valori di irraggiamento, concentrazioni delle specie chimiche, ecc.

A FDS è associato un post-processore grafico dedicato alla visualizzazione dei dati, con il quale vengono infine analizzati i risultati prodotti dal simulatore di incendio.

4.1.6 MODELLAZIONI AVANZATE DI ESODO - PATHFINDER

La simulazione di esodo è condotta con metodologia avanzata mediante l'utilizzo di modelli fluidodinamici. L'edificio è caratterizzato da occupanti che sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio. In funzione degli scenari di incendio si sono rese indisponibili le vie di esodo.

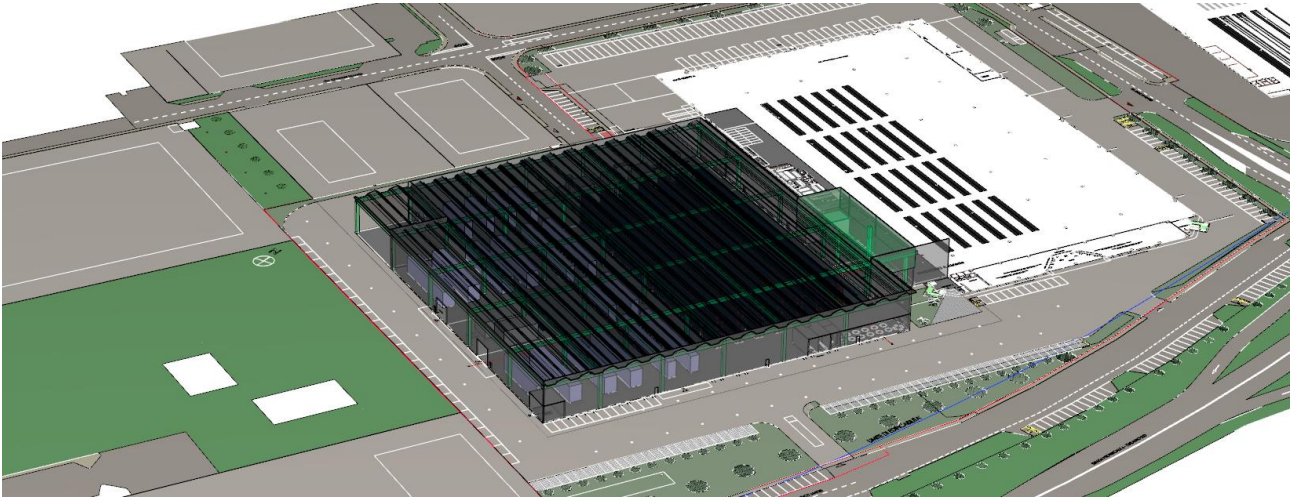


Figura 19: Modello di Esodo

Compartimento n°	Affollamento	Tipologia occupanti
Deposito	100	A

Tipologia	Velocità (m/s)	Larghezza bacino (m)	Altezza (m)
adulti	0.70	0,46	1,83
adulti	1.20	0,46	1,83

Le dimensioni medie degli occupanti tengono in conto quanto riportato da NFPA 101 – Annex A:

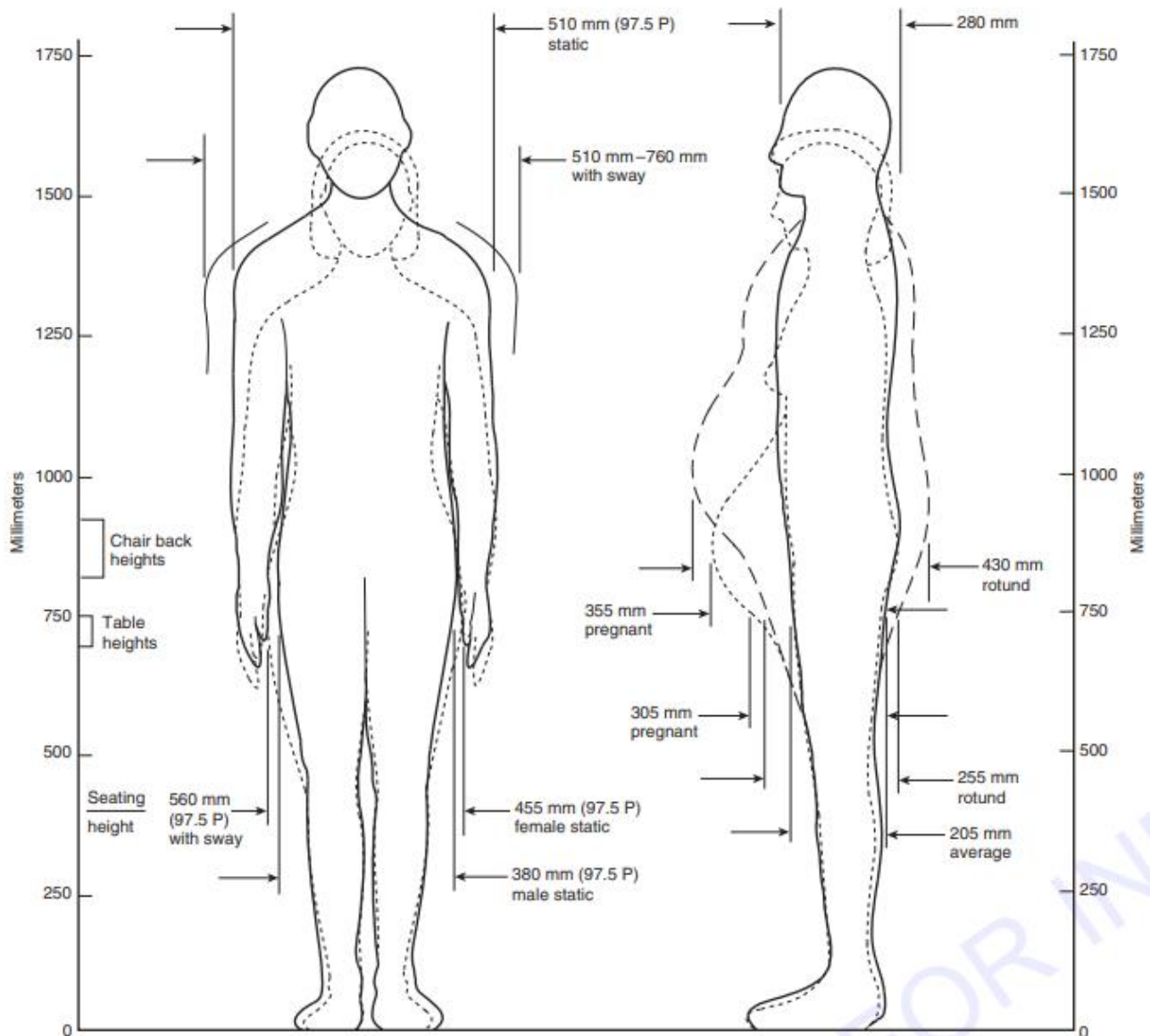


FIGURE A.7.3.4.1.1(b) Anthropometric Data (in mm) for Adults; Males and Females of Average, 50th Percentile, Size; Some Dimensions Apply to Very Large, 97.5 Percentile (97.5 P), Adults.

A seguito di analisi del rischio si è deciso di posizionare il focolaio nelle zone più sfavorevoli per i tempi di esodo.

Di seguito si riporta la configurazione dello scenario di incendio di progetto.



5 CALCOLO RSET PER LA DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI ESODO DEGLI OCCUPANTI

Lo scenario di esodo prevede l'indisponibilità delle uscite di sicurezza in posizione limitrofa all'incendio di progetto, pertanto gli occupanti utilizzeranno le vie restanti.

Il documento di riferimento per il calcolo di RSET è la ISO/TR 16738.

RSET è determinato da varie componenti, come il tempo di rivelazione (detection) t_{det} , il tempo di allarme generale t_a , il tempo di pre-movimento (pre-travel activity time, PTAT) t_{pre} , il tempo di movimento (travel) t_{tra} :

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

Tempo di rivelazione:

Il t_{det} è il tempo necessario al sistema di rilevazione automatico per accorgersi dell'incendio. Nel nostro edificio è installato l'impianto di rilevazione automatica esteso all'intero compartimento deposito, si assume come valore il seguente:

$$t_{det} = 60 \text{ s}$$

Tempo di allarme generale:

Il tempo t_a è quello che intercorre tra la rilevazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, dell'allarme generale. Nell'edificio è previsto che la rivelazione attivi automaticamente l'allarme generale.

Il tempo di allarme generale sarà dunque:

$$t_a = 60 \text{ s}$$

Tempo di attività pre-movimento:

Il tempo 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 dell'esodo.

Il comportamento degli occupanti, in questa fase è rappresentabile in funzione dei seguenti 3 parametri fondamentali (tratti dalla norma ISO/TR 16738):

- Qualità del sistema di allarme (da A1 ad A3)

- Complessità dell'edificio (da B1 a B3)
- Qualità della gestione dell'emergenza in caso di incendio (da M1 a M3)

Effetti del sistema di allarme sul tempo t_{pre} :

- Livello A1 sistema d'allarme: Rilevazione automatica in tutto l'edificio, con attivazione dell'allarme generale istantaneo;
- Livello A2 sistema d'allarme a 2 passaggi: Rilevazione automatica in tutto l'edificio che genera un segnale di preallarme che deve essere convalidato manualmente da un addetto.
- Livello A3 sistema d'allarme: Rilevazione automatica locale con allarme nella sola area soggetta ad incendio, oppure senza rilevazione automatica, con attivazione manuale dell'allarme generale.

Effetti della complessità dell'edificio sul tempo t_{pre} :

- Livello B1: (ad esempio semplice supermercato) rappresenta un semplice edificio al piano terra di forma rettangolare, con un layout semplice, buon accesso visivo, progettato con distanze d'esodo brevi, e un buon livello di prestazione in termini di sfollamento direttamente all'esterno dell'edificio;
- Livello B2: (ad esempio blocco di uffici a più piani), caratterizzato dalla maggior parte delle caratteristiche prescrittivamente ben progettate e semplici layout interni;
- Livello B3: Comprende grandi edifici complessi con l'eventuale integrazione di una serie di edifici esistenti sullo stesso sito, tipico di edifici storici come hotel o grandi magazzini, ma anche grandi complessi moderni quali centri ricreativi, centri commerciali e aeroporti. Caratteristiche importanti sono il layout interno complesso che rende agli occupanti difficoltoso il wayfinding durante l'evacuazione. La gestione dell'evacuazione presenta pertanto problemi particolari.

Effetti della qualità della gestione dell'emergenza in caso di incendio sul tempo t_{pre} :

- Livello M1: gli occupanti tipici (personale o residenti) sono addestrati ad un alto livello di gestione della sicurezza antincendio, un ben sviluppato piano di emergenza con l'esecuzione di esercitazioni regolari. Per lo stato di "sveglia e non familiare" deve esserci un alto rapporto di personale qualificato per numero di visitatori, ed essere presente un controllo di accesso all'edificio. Il sistema e le procedure sono soggetti a certificazione indipendente, tra cui una revisione regolare con evacuazioni monitorate per le quali il rendimento deve corrispondere alle prestazioni assunto in fase di progettazione. Videocassette di sicurezza da eventuali incidenti o allarmi indesiderati devono essere messi a disposizione. Se utilizzato dal pubblico, dovrebbe essere previsto un sistema di allarme vocale.

- Livello M2: simile al livello 1, ma con un più basso rapporto personale qualificato per numero di visitatori, e il controllo di accesso all'edificio non può essere sempre garantito. Non ci può essere alcuna verifica indipendente. Le caratteristiche dell'edificio possono essere di livello B2 o B3 e il livello di allarme A2. I tempi di evacuazione saranno più conservativi rispetto a un sistema di livello M1.
- Livello M3: rappresenta i servizi standard di gestione della sicurezza antincendio. Non vi è alcuna verifica indipendente. L'edificio può essere livello B3 e sistema di allarme di livello A3. Questo non è adatto per un progetto di ingegneria prestazionale a meno che non vengano adottate altre misure per garantire la sicurezza, quali restrizioni del carico d'incendio, elevati livelli di protezione passiva e/o di sistemi attivi.

Nel nostro edificio individuiamo i seguenti livelli:

- A1-A2
- B1-B2
- M1

Il tempo di pre-movimento è fissato pari a:

$$\begin{cases} t_{pre} = 90 \text{ sec (99° percentile)} \\ t_{pre} = 30 \text{ sec (1° percentile)} \end{cases}$$

Tempo di movimento:

Il tempo t_{tra} è il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento appena descritte.

Si impiega per il calcolo del tempo di movimento il *modello idraulico* modellando l'edificio in 3D in scala reale all'interno del software, ed inserendo il reale affollamento (sia in termini di numero che di layout) all'interno dell'edificio.

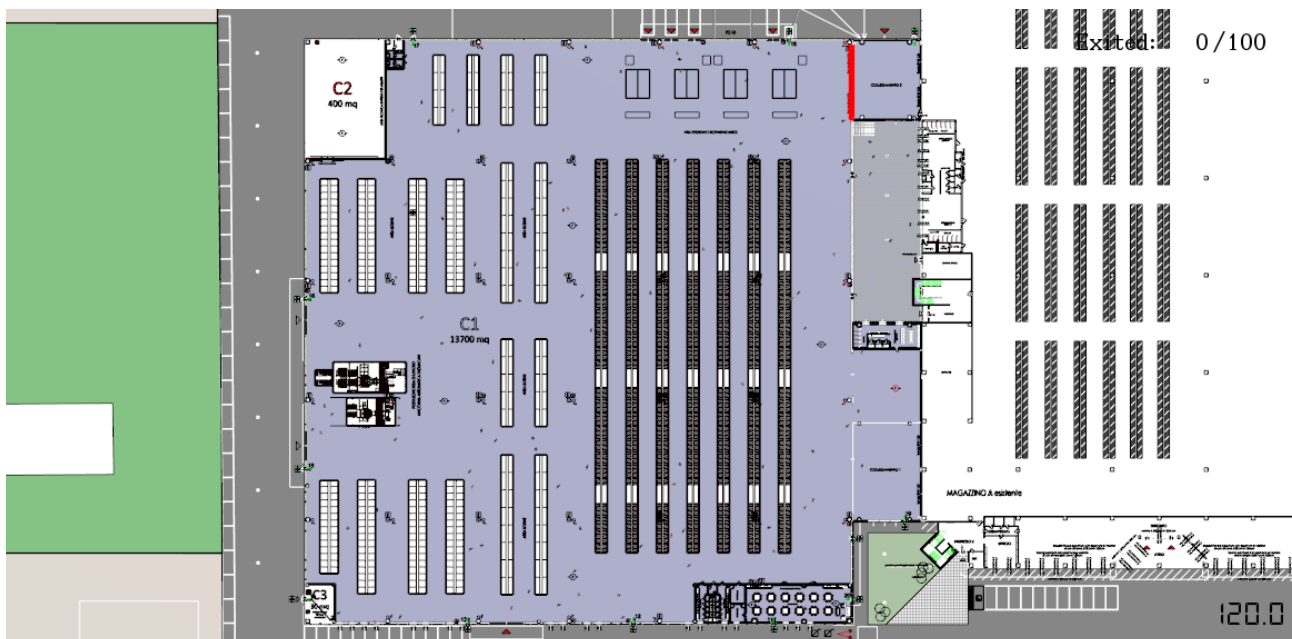


Figura 9: Modello di esodo a 120 s

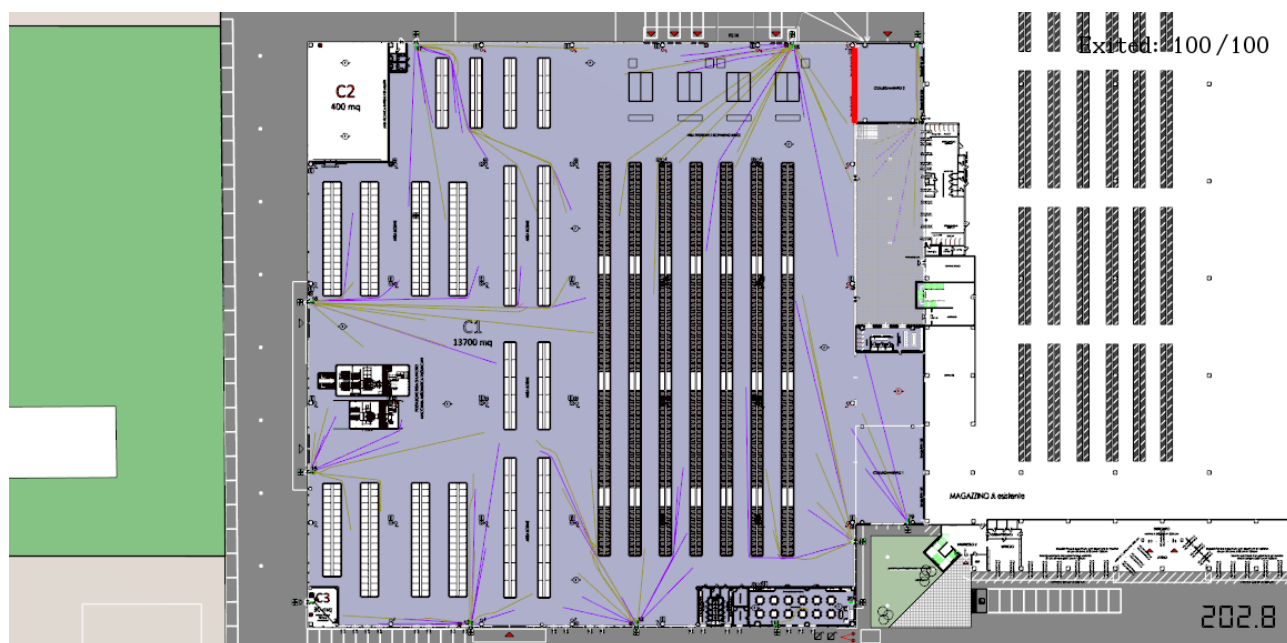
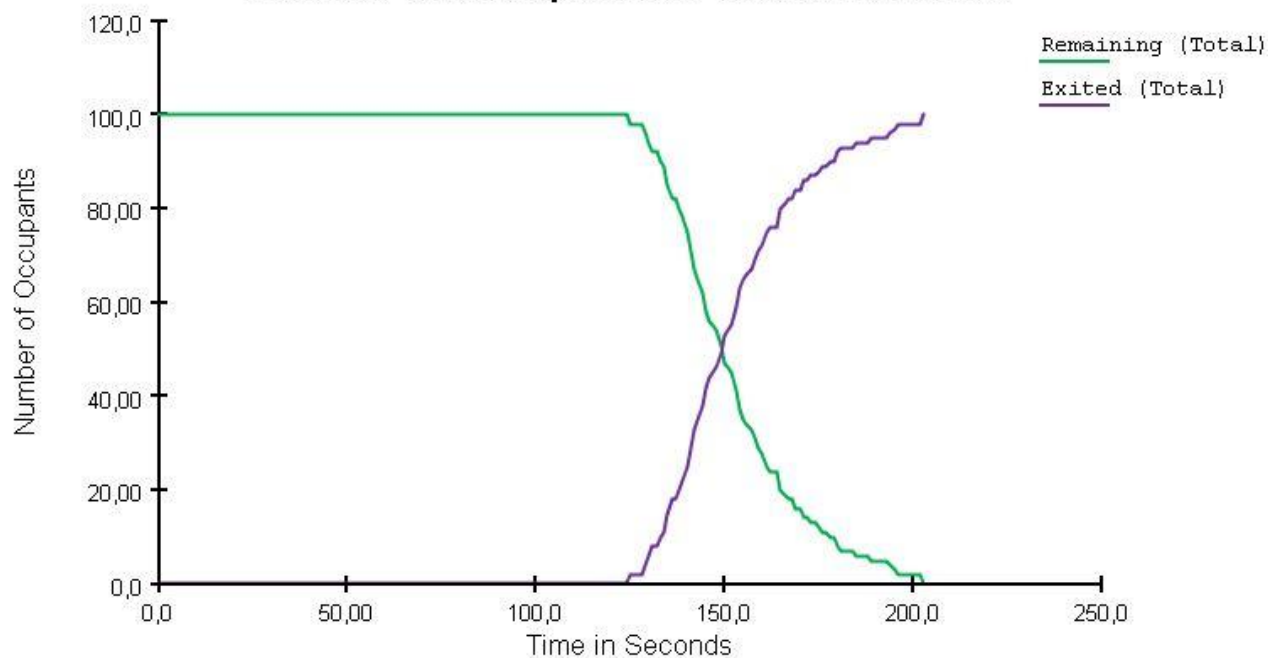


Figura 10: Modello di esodo a 203 s

Ai fini della determinazione dei tempi di percorrenza si avvia la simulazione fluidodinamica e si ottiene quanto segue (tempo – esodo) al cui interno sono già stati inseriti i tempi di rivelazione e ricognizione:

Number of Occupants in Selected Rooms



A seguito di quanto detto e calcolato, si definisce quanto segue:

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

$$RSET = 203 \text{ s}$$

Le verifiche per l'esodo degli occupanti (S4) dovranno durare almeno

$$RSET = 2 * RSET = 406 \text{ s oppure } RSET=203*1.1=253 \text{ s}$$

6 INDIVIDUAZIONE DI RSET E SINTETIZZAZIONE DEI RISULTATI

6.1.1 SCENARIO DI PROGETTO S1

Livello di prestazione: Esodo degli occupanti

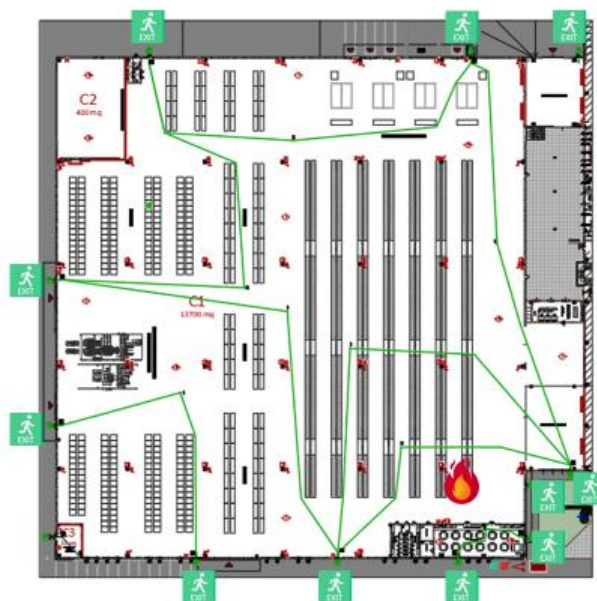


Figura 11: Posizione Burner

Sono stati inseriti i dati di input precedentemente descritti, che hanno generato la seguente curva di rilascio termico:

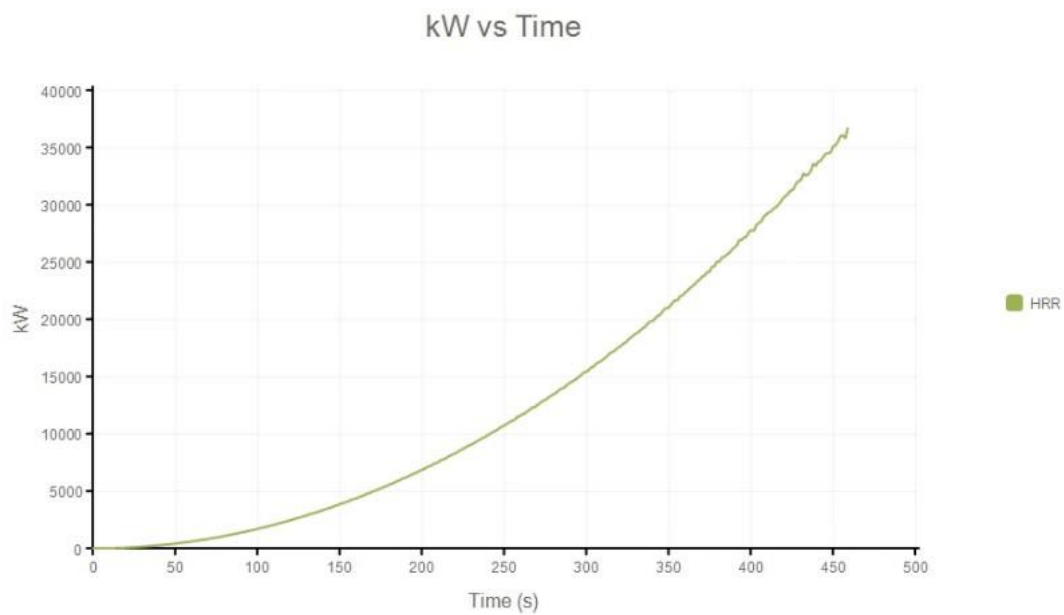
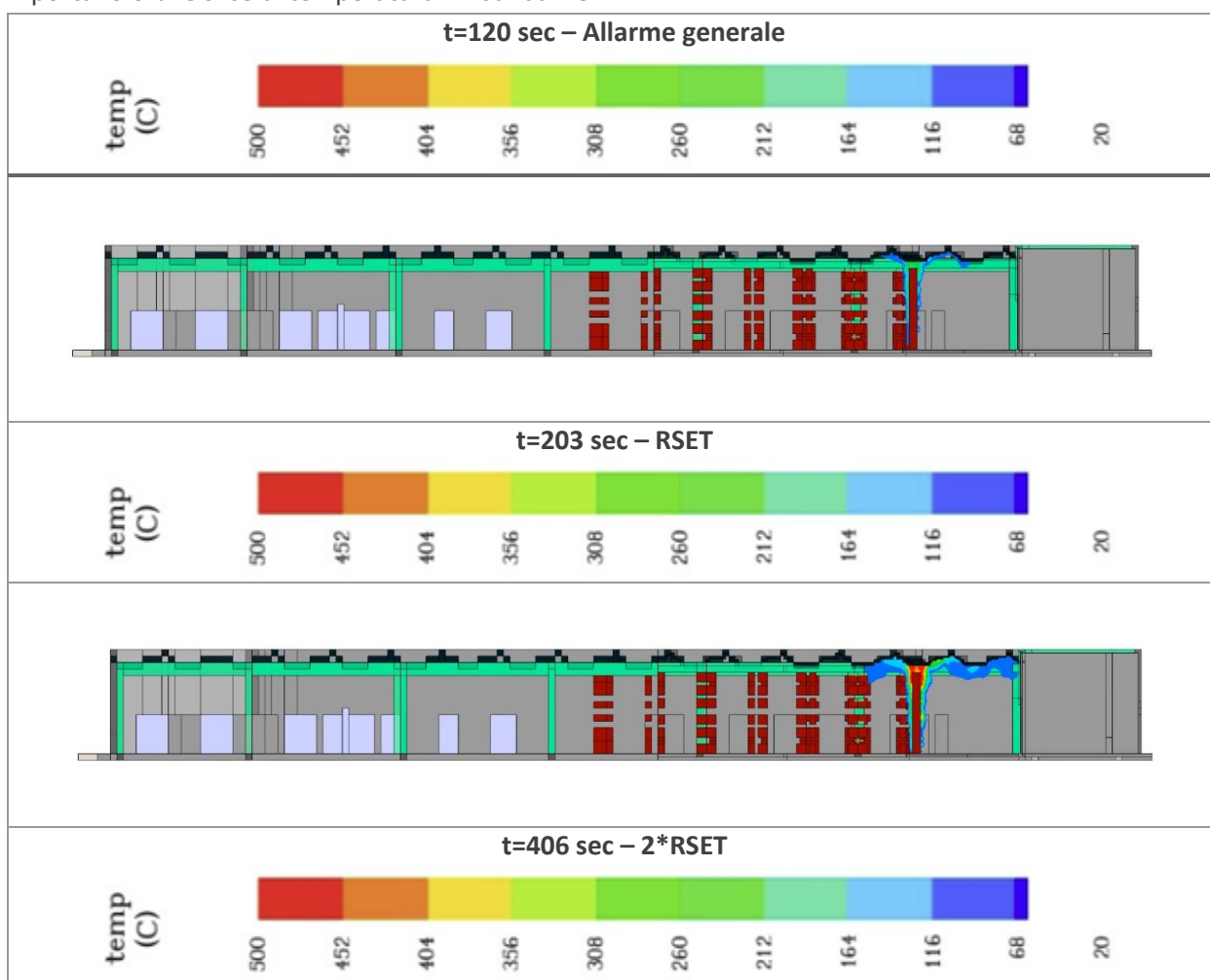


Figura 12- HRR

Si riportano ora le slice di temperatura 2D sul burner:



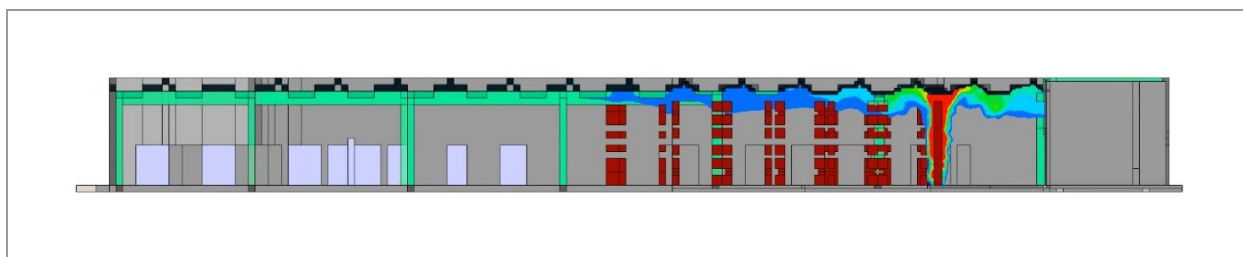


Figura 13: Slice 2D temperatura su sezione longitudinale

Con riferimento all'obiettivo di sicurezza dell'esodo degli occupanti si riportano le soglie di prestazione:

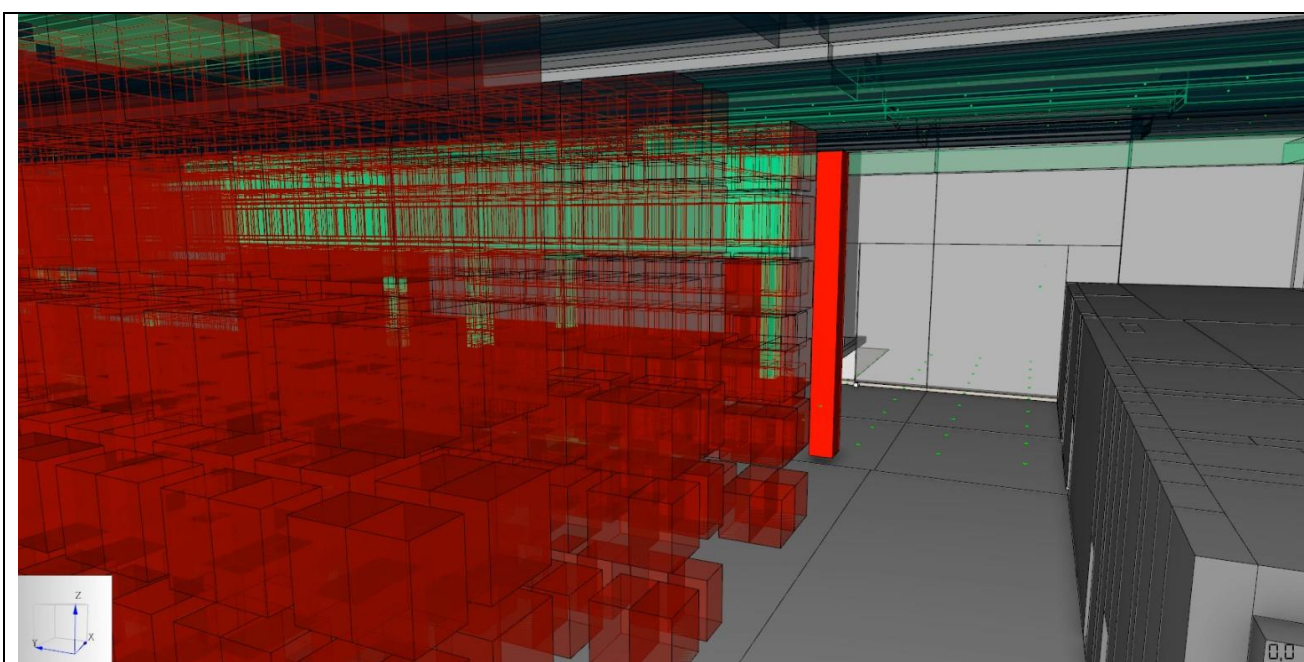
OBIETTIVI DI SICUREZZA		SOGLIE DI PRESTAZIONE	
Salvaguardia della vita umana e incolumità delle persone	Occupanti	Metodo semplificato	$h \geq 2 \text{ m}$
			$T \leq 200 \text{ °C}$
		Metodo avanzato	$FED \leq 0,1$
			$E \leq 2,5 \text{ kW/m}^2$
			$T \leq 60 \text{ °C}$
			$L \geq 10 \text{ m}$

Sono state posizionate in punti sensibili delle sonde che leggono le grandezze oggetto di studio in modo puntuale, mentre dalle "slice" è possibile, tramite una scala cromatica, studiare l'andamento qualitativo delle predette grandezze.

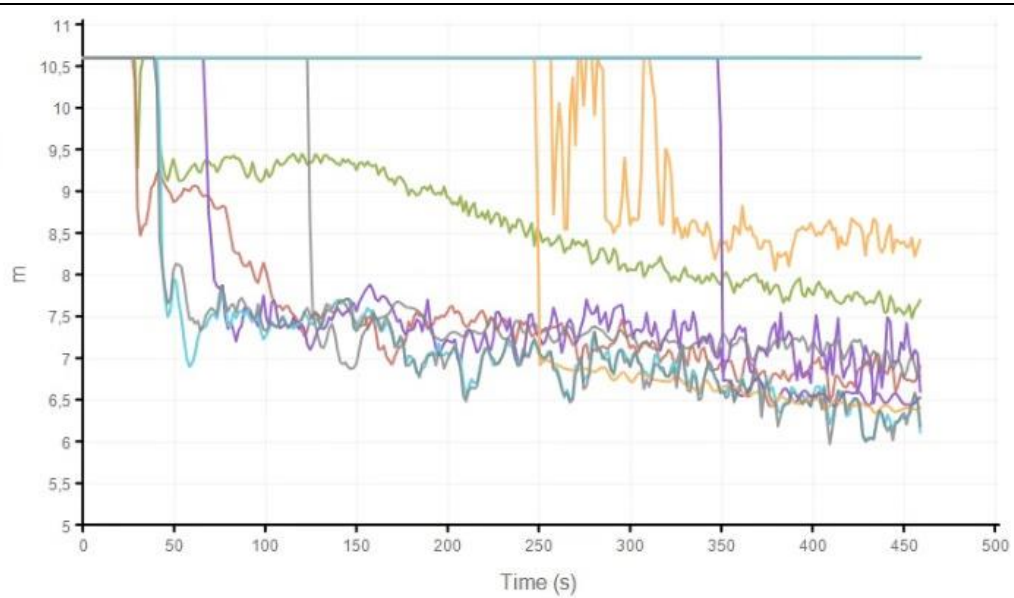
Altezza fumi

Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbato		
Occupanti	2,00	m

Altezza fumi dal calpestio

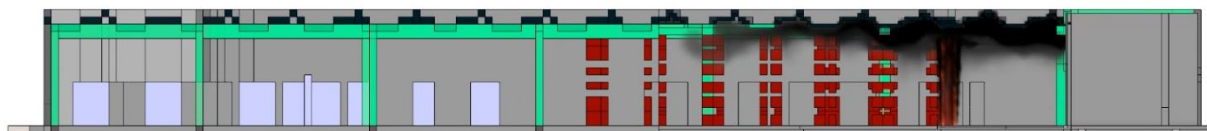


Altezza
fumi
lungo le
US e a
distanza
di 4
metri dal
focolare



A supporto di quanto precedentemente esposto, si riporta un time-lapse dei fumi prodotti:

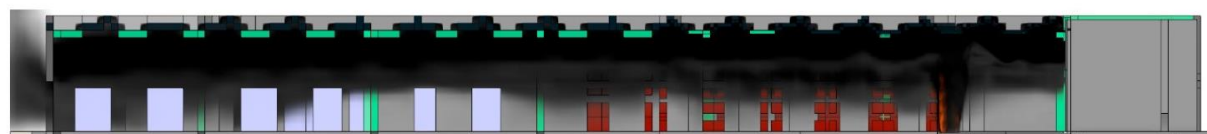
t=120 sec – Allarme generale



t=203 sec - RSET



t=406 sec – 2*RSET



Temperatura media dei gas caldi

Temperatura media dello strato di fumi caldi		
Occupanti	200	°C

A seguire si riporta una slice 3D inerente la temperatura dei gas:

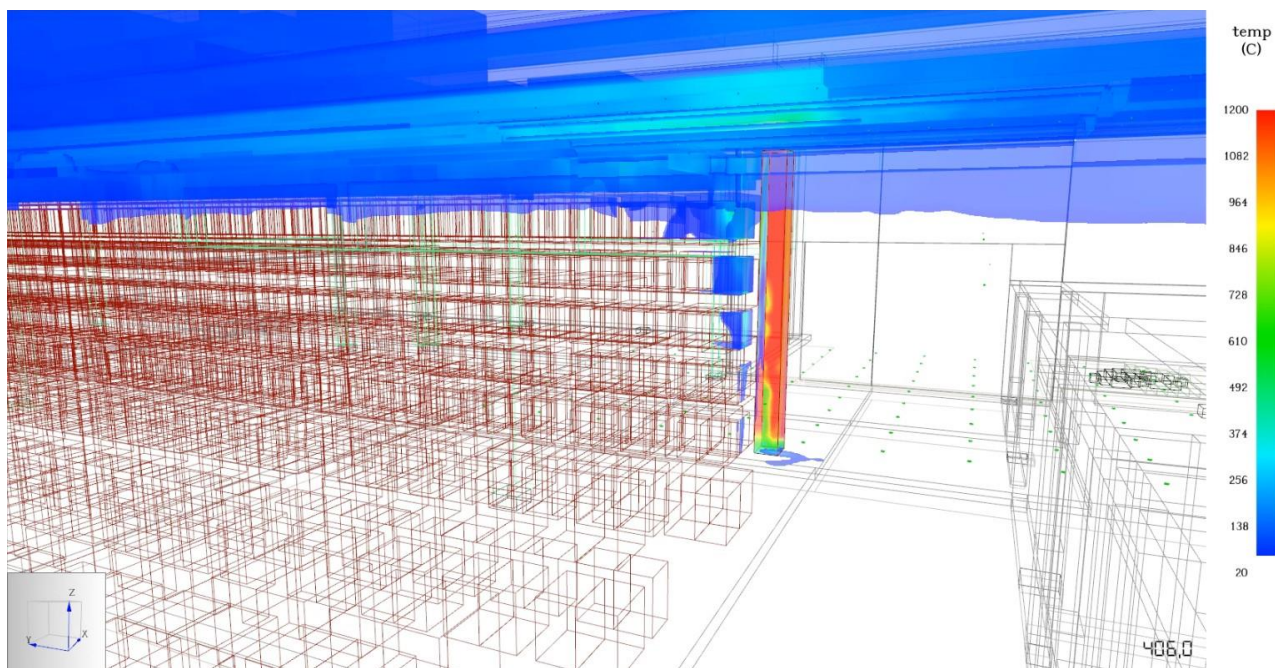


Figura 14: Slice 3D di temperatura a 406 s

A seguire si riporta una slice 3D inerente la temperatura delle superfici:

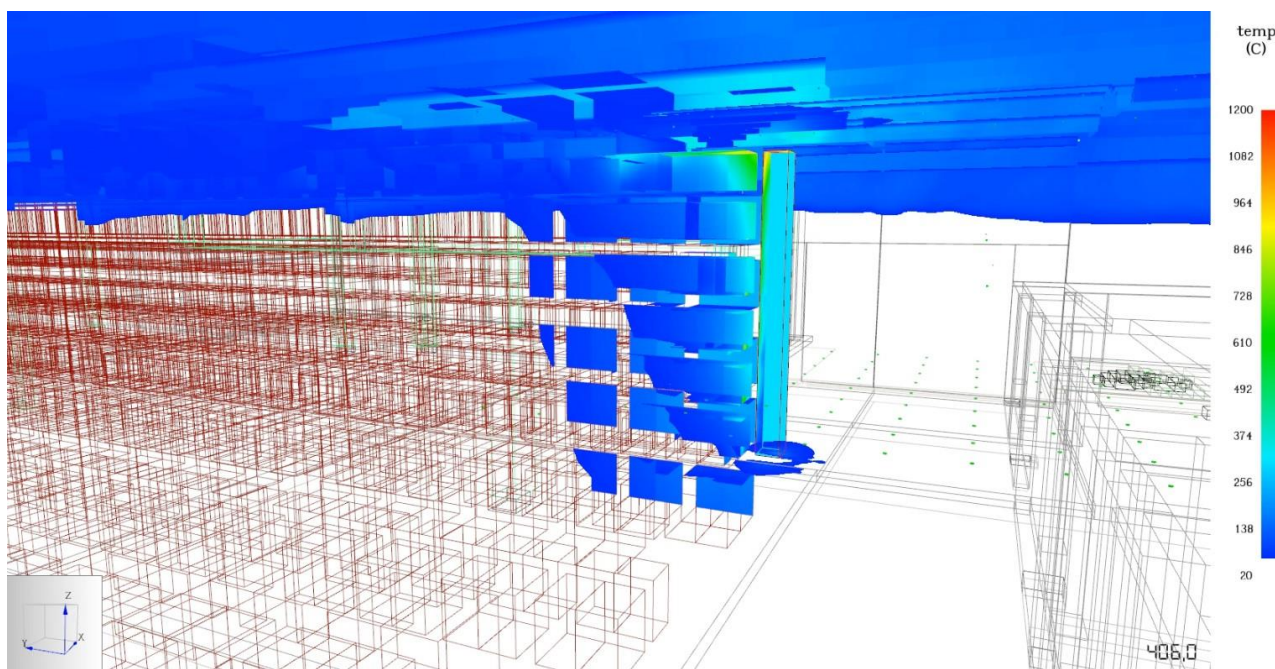


Figura 15: Slice 3D di temperatura delle superfici a 406 s

A seguire si riporta la lettura di alcune delle sonde delle temperature raggiunte vicino al focolare:

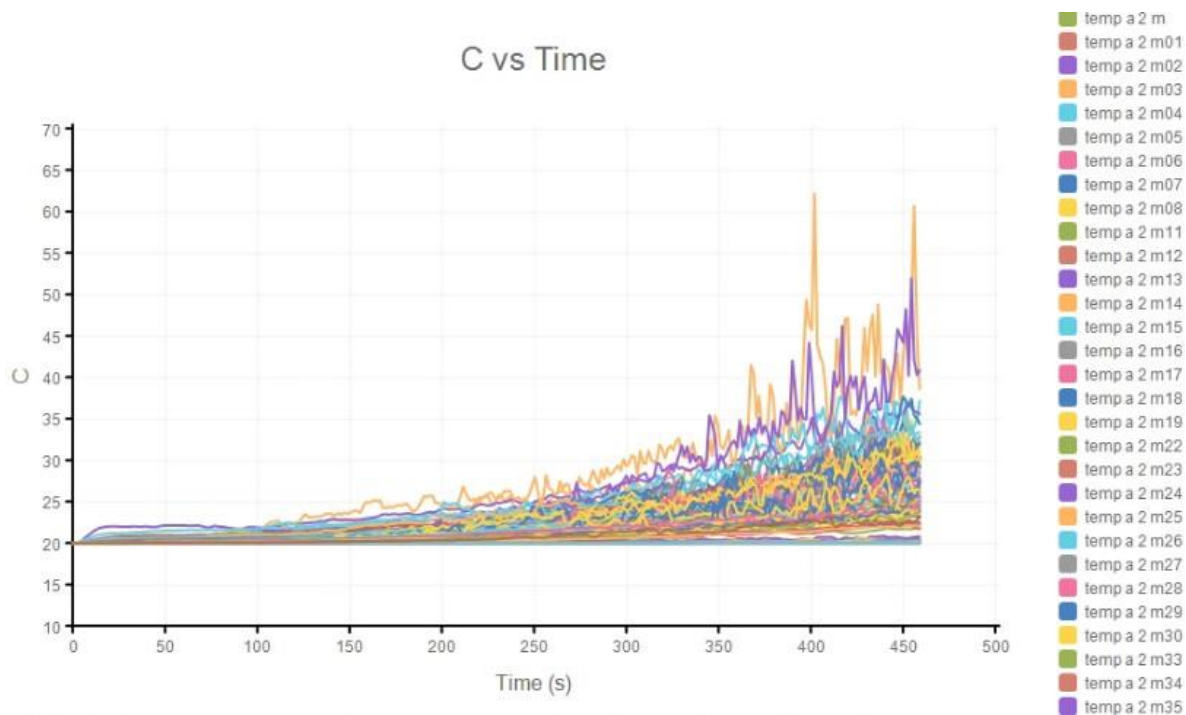


Figura 16: Temperature sonde a 2 m

E le temperature raggiunte lungo le US:

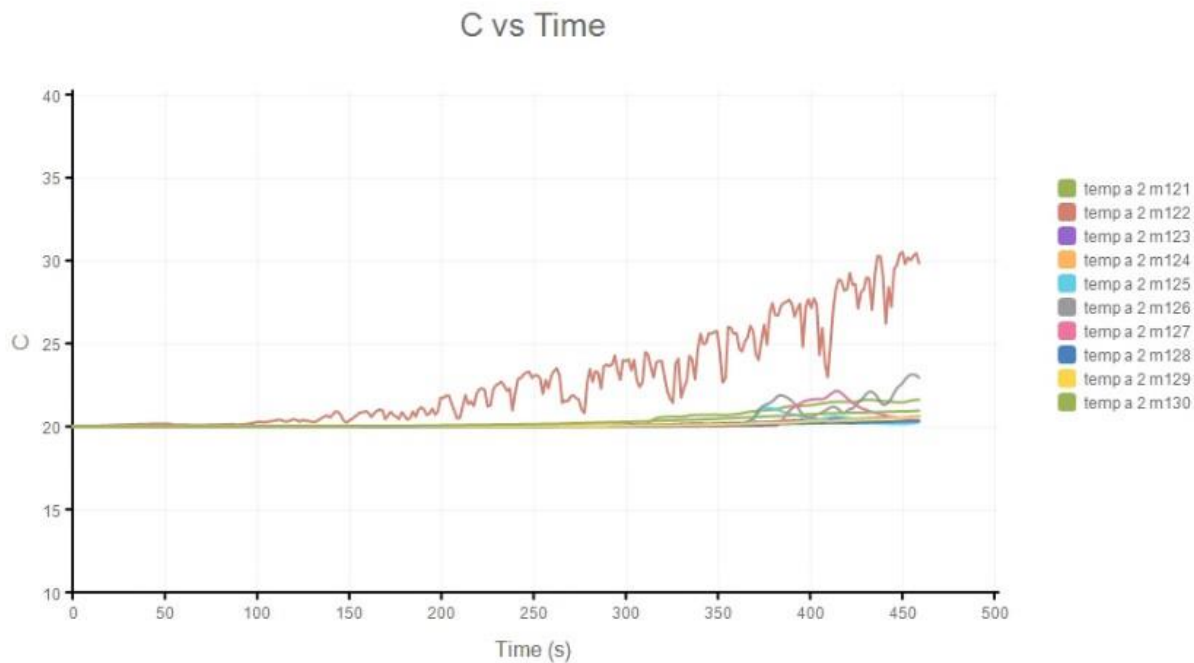


Figura 17: temperature lungo le US

Come si evince dai grafici sopra le temperature medie dei gas rimangono sotto i 200°C a 2,00 m di altezza.

Irraggiamento, FED, Visibilità e Temperature di esposizione degli occupanti

Si riportano i valori di soglia oggetto di verifica a z=2,00m dal calpestio		
Irraggiamento	2,50	kW/m ²
FED	0,1	-
Visibilità	10	m
Temperatura di esposizione	60	°C

Le verifiche risultano già concluse con metodo zero exposure, ma a favore di sicurezza, sono stati verificati anche i livelli di FED, visibilità, irraggiamento e temperatura di esposizione (già verificata precedentemente) in aggiunta alle precedenti analisi.

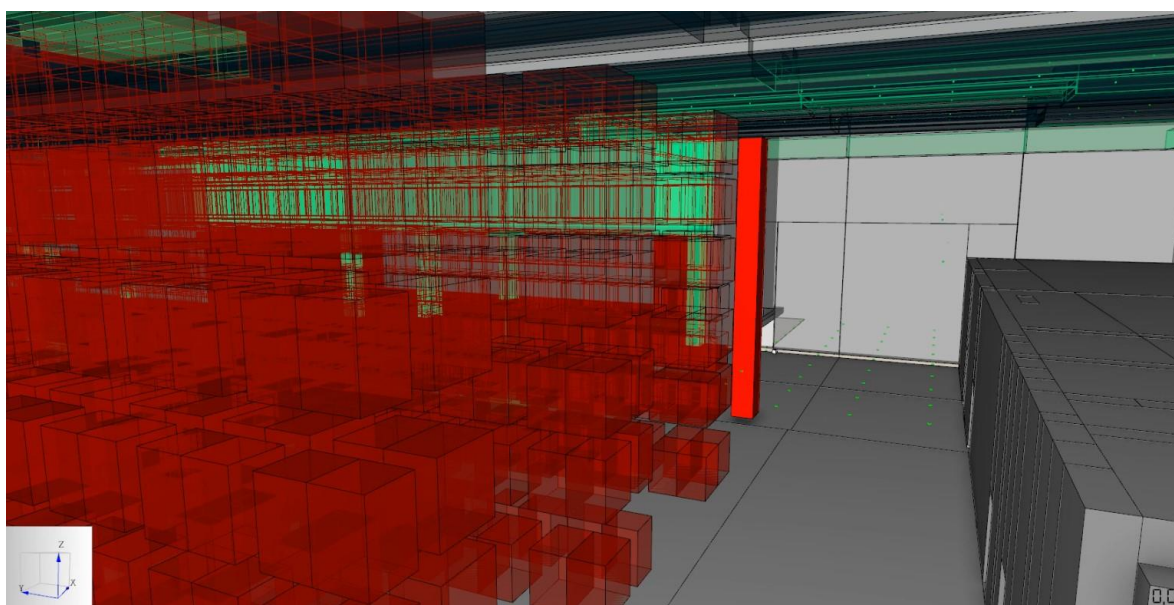


Figura 18: Posizione device a z=2,00m dal calpestio

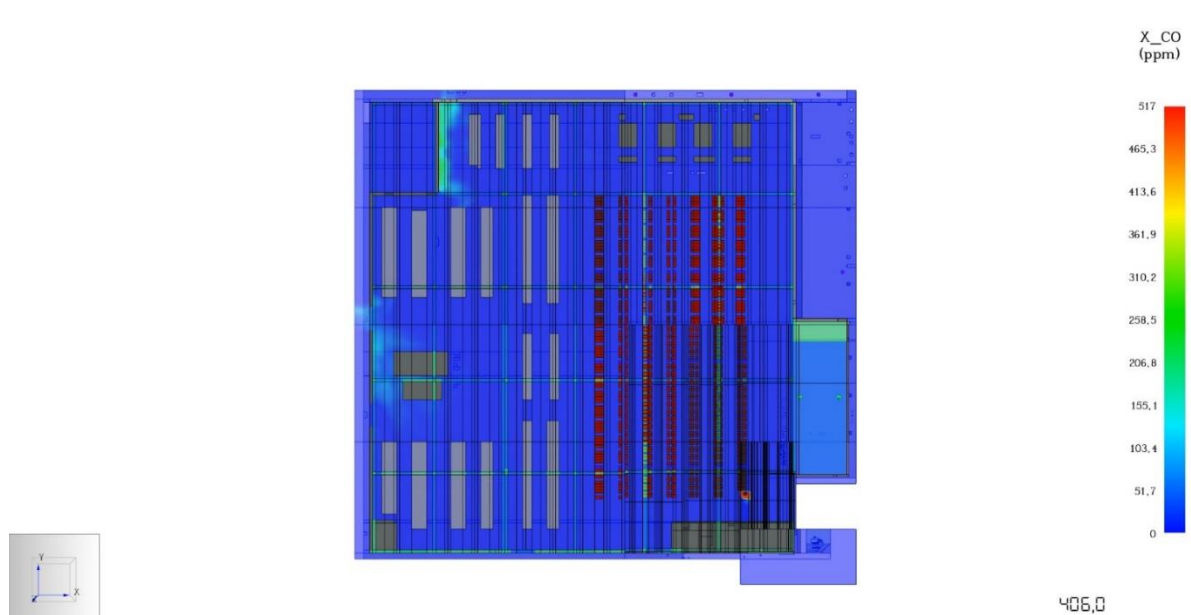


Figura 19: Slice 2D di concentrazione di CO in ppm a 406 s

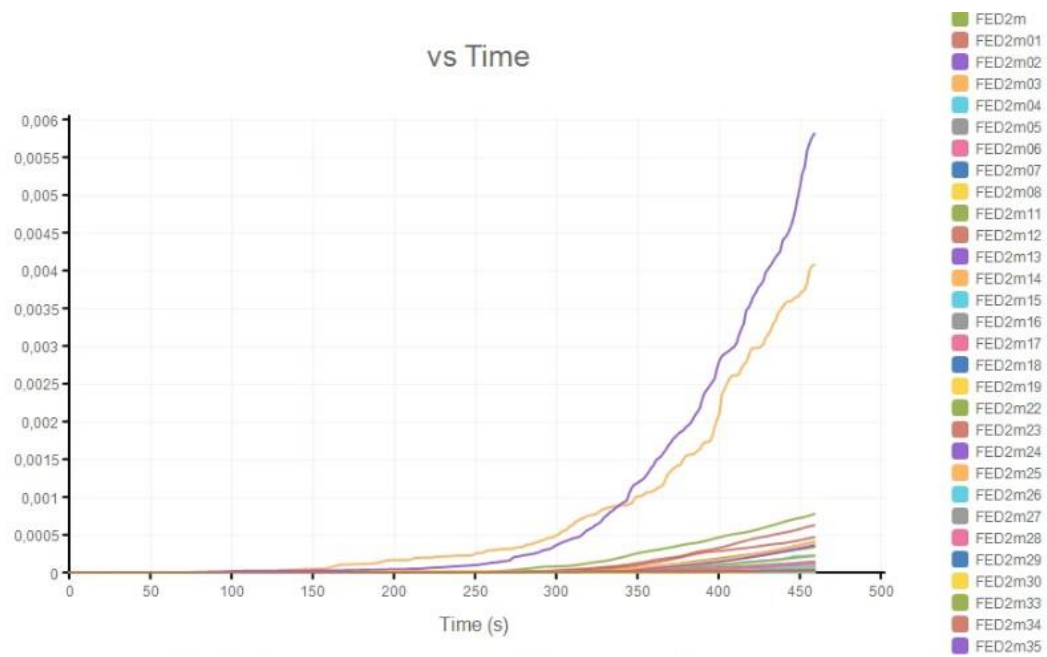


Figura 20: FED a piano terra z=2,00m

Si riportano delle sezioni della visibilità:

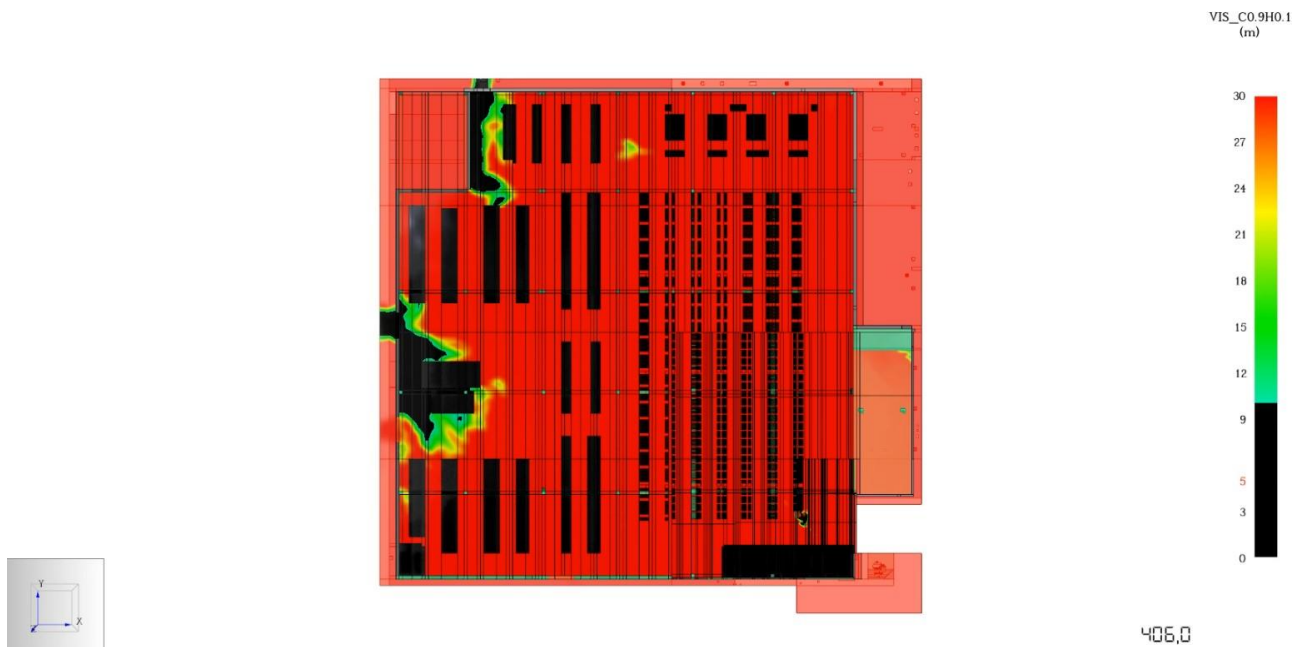


Figura 21: Visibilità a 406 s a terra z=2,00m

Si riportano le soglie di irraggiamento:

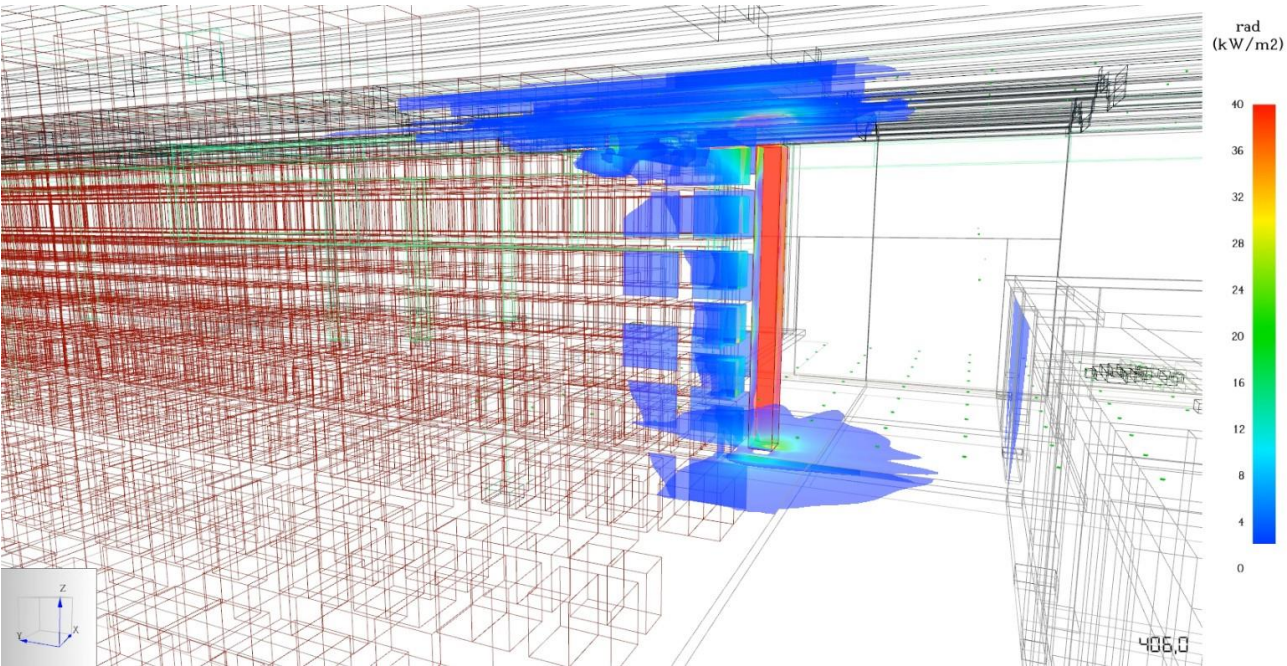


Figura 22: Irraggiamento 3D a 406 s

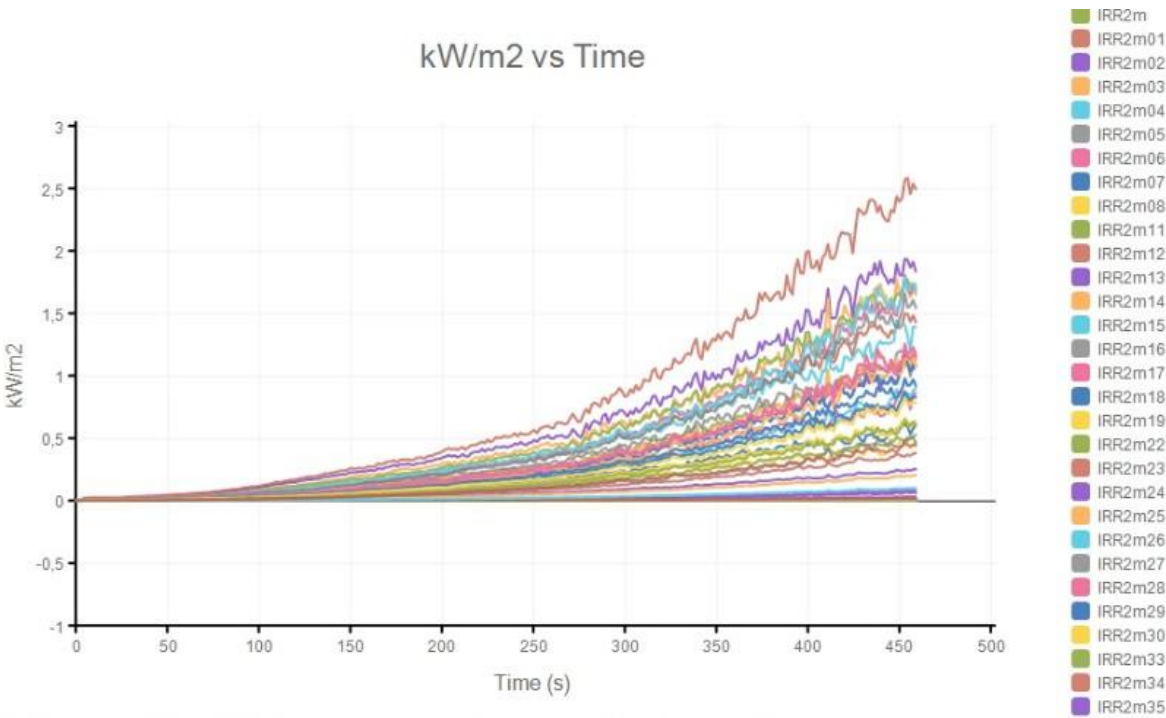


Figura 23: Irraggiamento raggiunto a 5.00m dal focolaio

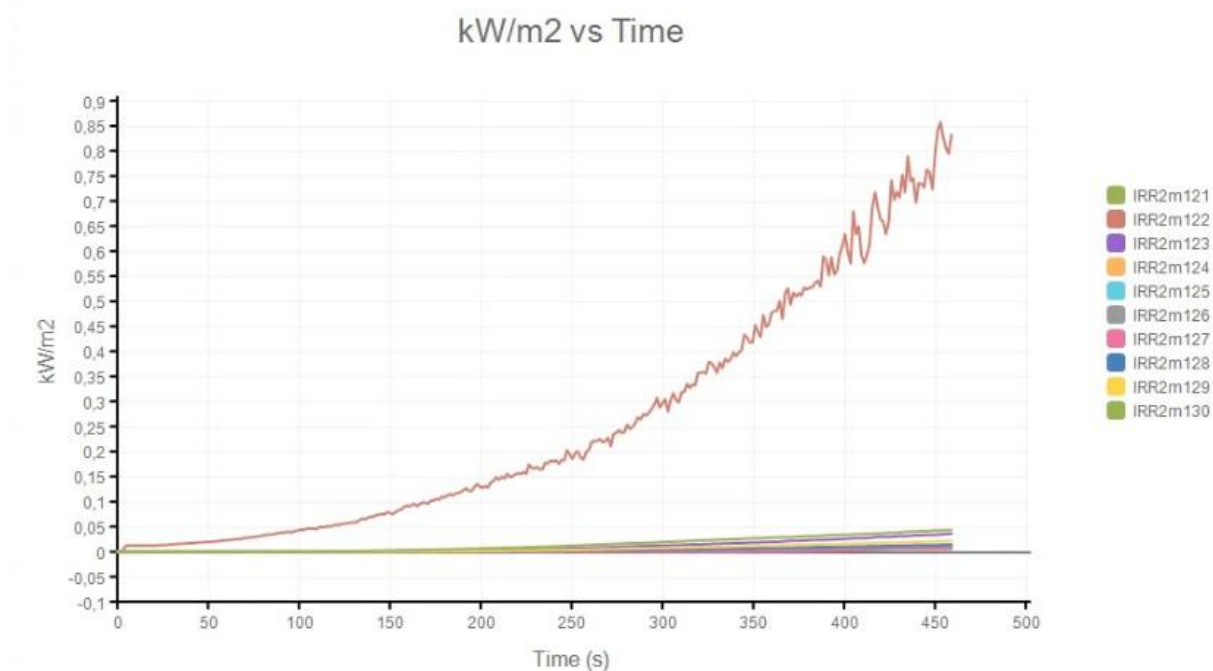


Figura 24: Valori di irraggiamento lungo le US

Visti i valori dei grafici si ritengono soddisfatti per tutta la durata dell'incendio le ulteriori soglie di prestazione individuate pari a:

- Oscuramento della visibilità da fumo: 10 m
- Gas tossici (FED): 0,1
- Temperatura di esposizione degli occupanti: 60°C
- Irraggiamento: 2,5 kW/m²

VERIFICA ESODO OCCUPANTI

In definitiva la simulazione condotta ha consentito di quantificare le grandezze che regolano le condizioni di sostenibilità utili ad agevolare l'esodo. Nello specifico a seguito del confronto di tali grandezze con le soglie di prestazioni impiegate nell'ambito del metodo avanzato è possibile constatare quanto segue:

$$ASET = 406$$

Verifica $ASET > RSET$ scenario di progetto S1

A seguito delle valutazioni fatte in termini di ASET e di RSET la verifica prestazionale per l'esodo completo degli occupanti si riconduce a:

$$ASET(406) > RSET(203 \text{ sec})$$

$$t_{\text{marg}} \Rightarrow 100\%$$

METODO APPLICATO:

ZERO EXPOSURE

7 CONCLUSIONI

7.1 SALVAGUARDIA DELLA VITA DEGLI OCCUPANTI

L'analisi del campo di temperatura e del campo termico e di visibilità, porta a constatare che permangono condizioni favorevoli per il tempo necessario per l'esodo degli occupanti in tutti gli scenari di incendio analizzati, come riscontrabile dalla tabella riportata di seguito.

A favore di sicurezza, per la determinazione del tempo disponibile per l'esodo ASET relativo a ciascuno scenario, è stato imposto come limite massimo l'istante in cui il fumo rende indisponibili tutte le US di piano. Pertanto, si ammette che alcune uscite di sicurezza siano bloccate dai prodotti della combustione nella misura in cui altre uscite siano ancora disponibili per l'esodo.

SCENARI	RSET	ASET	t_{marg}	$t_{\text{marg}} / \text{RSET}$
S1	203	406	203	100%

In tutti gli scenari, gli occupanti hanno a disposizione un tempo per mettersi in salvo almeno pari a $\text{ASET} > \text{RSET}$. Pertanto, la sicurezza della vita umana e l'incolumità delle persone sono garantite per tutto il tempo necessario al raggiungimento di un luogo sicuro, con un opportuno margine di sicurezza t_{marg} .

Le ipotesi iniziali sulla scelta degli scenari di incendio, così come quelle sugli scenari di progetto analizzati sono supportati da considerazioni ingegneristico-gestionali coordinate con i responsabili dell'attività, i quali avranno la responsabilità di adottare tutte le misure di gestione individuate nel GSA, al fine di garantire il mantenimento nel tempo dei livelli di sicurezza antincendio individuati.

Nel caso ci fossero modifiche nel layout o nelle quantità dei materiali stoccati e numero di occupanti, saranno necessarie ulteriori modellazioni avanzate di incendio al fine di valutare un eventuale rischio aggiuntivo, proponendo quindi le relative azioni compensative.

7.2 CONDIZIONI DI ESERCIZIO E CAMPO DI VALIDITA' DELLE ANALISI SVOLTE

Lo studio dimostra che i requisiti minimi di sicurezza sono rispettati per consentire l'evacuazione sicura degli occupanti nell'ipotesi in cui:

- Il materiale venga stoccato come rappresentato nella seguente analisi (per quantità e geometria);
- In caso di lavorazioni che comportino uso di fiamme libero e/o scintille si consiglia di liberare l'area dal materiale combustibile e di attuare un'opportuna procedura di sicurezza ai fini antincendio (valutata da RSPP);
- Sia presente un corretto flue spacing tra i materiali stoccati;
- Vi sia il divieto di fumo all'interno ma anche all'esterno della struttura;

- Tutti i luoghi siano sempre tenuti puliti da possibili polveri dovute alle lavorazioni;
- I componenti delle squadre di soccorso siano opportunamente addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree e ad operare in condizioni di scarsa visibilità nonché di conoscere ed effettuare tempestivamente tutte le azioni necessarie per l'esodo in sicurezza degli occupanti e la repentina allerta del più vicino Comando dei Vigili del Fuoco.
- Siano presenti tutte le indicazioni necessarie ai fini dell'esodo degli occupanti.
- Nelle indicazioni di emergenza siano codificate idonee procedure finalizzate al rapido e sicuro allontanamento degli occupanti in caso di incendio.
- Siano presenti tutte le indicazioni di buona norma utili per evitare l'innescio di un principio di incendio.
- Siano tenute sgombrare le vie di esodo in modo da favorire l'esodo in sicurezza di tutti gli occupanti.
- Venga eseguita la manutenzione periodica di tutti i dispositivi antincendio e di tutti gli impianti elettrici.
- Venga eseguita periodicamente (6 mesi) la revisione del rischio incendio;
- Sia rispettata e attuata integralmente la strategia S.5 come espresso dal D.M. 18.10.2019 a cura di RSPP

Dovranno essere ripetute le seguenti analisi in caso di:

- Modifica layout di stoccaggio
- Modifica carico incendio
- Rinnovo SCIA antincendio
- Inserimento di nuovi macchinari
- Modifica carico di incendio rispetto a quanto analizzato (per quantitativo o materiale)

Il riferimento tecnico della presente relazione è da intrattenersi con:

Ing Gamberi Claudio	PROFESSIONISTA ANTINCENDIO (valutazione progetto)
---------------------	--

IL CONSULENTE FSE

Ing. Gamberi Claudio

IL PROFESSIONISTA

ANTINCENDIO

Ing. Gamberi Claudio

NB

- **è vietata la riproduzione anche parziale del presente documento**

- **è vietata la riproduzione e/o uso delle immagini del presente documento senza autorizzazione scritta da Ing. Gamberi Claudio**

8 BIBLIOGRAFIA

- 1) Fire engineering CIBSE Guide E 2003. Editor Ken Butcher
- 2) NFPA 130 – Standard for fixed guideway transit and passenger rail system (Quincey, MA: National Fire Protection Association) 2000
- 3) BS 7974-6:2004 – The application of fire safety engineering principles to the design of building. Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition.
- 4) Principle of smoke management by John H. Klotz & James A. Milke 2002
- 5) BS 7974-1: 2003 – The application of fire safety engineering principles to the design of building. Part 1: Initiation and development of fire within the enclosure of origin
- 6) BRE 368 – Design methodologies for smoke and heat exhaust ventilation (HP Morgan, BK Ghosh, G Garrad, Dipl Ing R Pamlichka, J-C De Smedt, Ing L R Schoonbaert. 1999
- 7) BS 5588-12:2004 – Fire precautions in the design, construction and use of building Part 12: Managing fire safety
- 8) SFPE Handbook, 5th Edition
- 9) NFPA 101, Life Safety
- 10) D.M. 18/10/19 - Modifiche all'Allegato I al decreto del Ministro dell'Interno 3 agosto 2015, recante "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139"
- 11) Annuario statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco periodo di riferimento 01/01/2018 – 31/12/2018
- 12) Annuario statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco periodo di riferimento 01/01/2019 – 31/12/2019
- 13) Annuario statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco periodo di riferimento 01/01/2020 – 31/12/2020