



**Politecnico  
di Torino**

**Politecnico di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

A.a. 2023/2024

*Applicazioni di Fire Safety Engineering  
per l'analisi del funzionamento dei  
sistemi di smaltimento fumo e calore in  
autorimesse interrato*

Relatore:

Prof. Ing. Roberto Vancetti

Correlatore:

Ing. Emiliano Cereda

Candidato:

Giovanni Galiano

Abstract .....	4
1. INTRODUZIONE .....	5
2. LA PREVENZIONE INCENDI PER L'ATTIVITA' AUTORIMESSA .....	6
3. La Fire Safety Engineering .....	8
4. APPROCCIO METODOLOGICO .....	12
4.1 Fase preliminare.....	12
4.2 Fase di calcolo .....	15
4.3 Fase conclusiva.....	16
5. IL CASO STUDIO.....	18
5.1 Caratteristiche dell'autorimessa.....	18
5.2 Applicazione del Codice di prevenzione incendi.....	19
5.2.1 Valutazione del rischio .....	19
5.2.2 Strategie antincendio .....	23
Reazione al fuoco S.1 .....	23
Resistenza al fuoco S.2 .....	25
Compartimentazione S.3.....	28
Esodo S.4 .....	32
Gestione della sicurezza antincendio S.5 .....	40
Controllo dell'incendio S.6 .....	43
Rivelazione ed allarme S.7 .....	47
Controllo di fumo e calore S.8.....	50
Operatività antincendio S.9.....	53
Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio S.10 .....	55
5.3 Applicazione FSE.....	57
5.3.1 Identificazione dei possibili scenari di incendio.....	60
5.3.2 Selezione degli scenari di incendio di progetto .....	63
Probabili fonti di innesco.....	64
5.3.3 Modellazione dell'incendio.....	64
Definizione del dominio computazionale e durata della simulazione.....	65
Definizione della reazione chimica di combustione.....	68

Definizione della curva di rilascio di potenza termica dell'incendio.....	69
Modellazione del focolare.....	72
Impostazione dei <i>device</i> e delle <i>slice</i> .....	72
5.3.4 Modellazione dell'esodo .....	75
Profilazione e posizionamento occupanti.....	77
Calcolo RSET .....	81
$T_{det}$ : tempo di rivelazione .....	81
$T_a$ : tempo di allarme.....	82
$T_{pre}$ : tempo di pre-movimento .....	82
Ritardo iniziale complessivo e calcolo di $t_{tra}$ : tempo di movimento .....	84
6. Analisi dei risultati.....	85
6.1.1 Configurazione_2 .....	85
Configurazione_2_H_2.4.....	87
Configurazione_2_H_3.0.....	91
Configurazione_2_H_3.5.....	96
6.1.2 Configurazione_8 .....	100
Configurazione_8_H_2.4.....	101
Configurazione_8_H_3.0.....	106
Configurazione_8_H_3.5.....	110
6.1.3 Configurazione_10 .....	113
Configurazione_10_H_2.4.....	114
Configurazione_10_H_3.0.....	119
Configurazione_10_H_3.5.....	123
6.1.4 Configurazione_16 .....	126
Configurazione_16_H_2.4.....	128
Configurazione_16_H_3.0.....	132
Configurazione_16_H_3.5.....	135
7. Risultati.....	138
8. Conclusioni.....	145
9. Sviluppi futuri.....	146
10. Bibliografia e sitografia.....	147

## Abstract

La prevenzione incendi, guidata dalla costante evoluzione delle normative di settore, sta rapidamente assumendo un ruolo sempre più cruciale nei contesti civili e industriali.

Uno degli aspetti che richiede maggiore attenzione nella progettazione della sicurezza antincendio in un'attività di tipo autorimessa è la gestione dei fumi di un eventuale incendio. Tali fumi, se non correttamente gestiti, possono provocare un abbassamento della visibilità tale da ostacolare l'esodo degli occupanti.

Il presente caso studio si pone come obiettivo quello di analizzare come i fumi prodotti da un incendio in un'autorimessa interrata influenzino la visibilità, e quindi l'esodo degli occupanti, in funzione di due parametri fondamentali: la disposizione delle aperture di smaltimento e l'altezza disponibile interna. Nello specifico, l'attività è un'autorimessa interrata di pertinenza esclusivamente condominiale che si sviluppa su un unico piano e su una superficie di circa 3265 m<sup>2</sup>.

La monografia, in prima battuta, affronta la progettazione della sicurezza antincendio dell'autorimessa utilizzando le soluzioni conformi previste dal Codice di prevenzione incendi, la cui misura antincendio "S.8 Controllo di fumi e calore", in merito allo smaltimento, non pone prescrizioni sull'altezza interna.

Successivamente, viene applicato l'approccio prestazionale tipico della Fire Safety Engineering, per poter valutare l'andamento dei fumi in funzione dell'altezza interna e della posizione degli smaltitori attraverso l'analisi di quattro scenari ritenuti tra gli altri i più significativi, ottenuti variando i due parametri fondamentali.

L'analisi è stata condotta effettuando simulazioni d'incendio e di esodo negli scenari presi in considerazione, utilizzando il software FDS (Fire Dynamics Simulator) e un simulatore agent-based per la modellazione dell'esodo degli occupanti. Ottenuti i risultati delle due tipologie di simulazioni, sono stati messi a confronto per perseguire l'obiettivo sopra definito.

## 1. INTRODUZIONE

La progettazione della sicurezza antincendio per le attività soggette alle visite ed ai controlli da parte dei Vigili del fuoco, al fine di ridurre la probabilità di insorgenza di un incendio e della limitazione delle relative conseguenze, è sancita dal D.P.R. 1 agosto 2011 n. 151, invece nei luoghi di lavoro è prescritta dal D.lgs. 9 aprile 2008 n. 81 e s.m.i. (Testo Unico sulla salute e sicurezza). Si porta all'attenzione del lettore che, in linea generale oltre che per le attività che si concretizzano come luoghi di lavoro, in base al D.lgs. 8 marzo 2006 n. 139 e s.m.i., la prevenzione incendi si esplica in ogni ambito caratterizzato dall'esposizione al rischio di incendio e di esplosione nonché, in ragione della sua rilevanza interdisciplinare, nei settori del controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose, dell'energia e della protezione da radiazioni ionizzanti. Suddetta progettazione, ai sensi della normativa vigente, parte da una valutazione del rischio per poi seguire un approccio progettuale prescrittivo o di tipo prestazionale. Quest'ultimo dota il progettista di conoscenze, strumenti e metodi che permettono soluzioni tecniche oggettive, flessibili ed aderenti alle specifiche caratteristiche ed esigenze delle attività in esame. In questo contesto si interpone il D.M. 3 agosto 2015 e s.m.i, detto Codice di prevenzione incendi, recante "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 16 del D.lgs. 8 marzo 2006, n. 139". Il Codice di prevenzione incendi propone una progettazione innovativa all'insegna dell'inclusività e della flessibilità, in grado di garantire il raggiungimento degli obiettivi primari della prevenzione incendi mediante la strategia antincendio in esso individuata che porta all'attribuzione dei livelli di prestazione per ogni misura antincendio, e conseguentemente all'individuazione di soluzioni progettuali, sia conformi che alternative.

Il presente lavoro di tesi riguarda un'autorimessa interrata di pertinenza condominiale che presenta una superficie complessiva di circa 3265 m<sup>2</sup> e 97 box auto.

Nello specifico l'attività rispetta tutte le prescrizioni relative alle soluzioni conformi delle misure antincendio, ciononostante si tratta di un caso che si trova al limite in quanto, per esempio, il numero delle uscite di sicurezza e la superficie complessiva delle aperture di smaltimento del fumo e calore di emergenza è il minimo indispensabile.

Come primo passo è stata svolta una progettazione della sicurezza antincendio mediante l'utilizzo di soluzioni progettuali di tipo conformi per verificare che il caso studio rispettasse le indicazioni di prevenzione incendi contenute nel Codice.

In particolare, l'attenzione è stata posta sulla misura antincendio "S.8 Controllo di fumi e Calore" che ha come fine "l'individuazione dei presidi antincendio da installare nell'attività per consentire il controllo, l'evacuazione o lo smaltimento dei prodotti della combustione". Secondo i dettami di tale misura antincendio, per un livello II di prestazione, in cui ricade l'autorimessa in oggetto, le aperture di smaltimento fumo e calore di emergenza hanno il solo scopo di facilitare l'intervento dei

soccorritori. Da qui si intuisce che il normatore ritiene sufficienti le aperture di smaltimento al fine della salvaguardia della vita.

Le aperture devono possedere una specifica superficie minima complessiva di smaltimento ed essere distribuite uniformemente rispettando un certo raggio di copertura, denominato dalla norma come  $R_{offset}$ . Questo, pur rispettandolo, non produce un posizionamento univoco in quanto si possono ottenere diverse combinazioni di collocazioni delle aperture di smaltimento.

In aggiunta, il Codice non fa mai riferimento all'altezza interna dell'opera da costruzione come parametro da considerare per la progettazione del sistema di smaltimento dei fumi. A questo proposito, non si riscontra da parte del normatore nessuna attenzione in merito all'esposizione degli occupanti agli effetti dell'incendio.

In base a quanto detto sopra, l'obiettivo della tesi è dimostrare, in primo luogo, che l'altezza interna è un fattore che influisce molto sulla visibilità durante la fase di esodo degli occupanti, e in secondo luogo dimostrare che le diverse collocazioni delle aperture di smaltimento, concesse dalla S.8, non sono tutte allo stesso modo funzionali al miglioramento della visibilità durante l'esodo.

Una fase preliminare allo studio è stata individuare quattro configurazioni dell'autorimessa, che differiscono tra loro per il posizionamento delle aperture. Ogni configurazione genera a sua volta altre tre sotto configurazioni che differiscono per la misura dell'altezza interna.

Nella fase di analisi, è stato fatto ricorso ai metodi e agli strumenti della *Fire Safety Engineering* (nel seguito indicata con FSE). Attraverso i quali sono state sviluppate simulazioni fluidodinamiche d'incendio e modellazioni di esodo, per ogni sotto configurazione. I risultati ottenuti sono stati successivamente confrontati.

## 2. LA PREVENZIONE INCENDI PER L'ATTIVITA' AUTORIMESSA

La prevenzione incendi è l'insieme delle misure preventive e protettive, sia tecniche che gestionali, secondo criteri applicativi uniformi sul territorio nazionale, finalizzate alla sicurezza della vita umana, all'incolumità delle persone e alla tutela dei beni e dell'ambiente. I presupposti tecnico-scientifici su cui si sviluppa mirano a ridurre le probabilità dell'insorgere degli incendi e a limitarne le conseguenze.

Il Decreto Ministeriale del 3 agosto 2015 "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'art. 15 del Decreto legislativo 8 Marzo 2006, n.139", noto come Codice di prevenzione incendi, rappresenta una fase significativa nel processo di semplificazione della normativa in materia di prevenzione incendi. Oltre a snellire il corpo normativo attraverso l'introduzione di un unico testo organico e sistematico, il Codice mira a trasformare il sistema normativo da uno basato principalmente su regole rigide e prescrittive (metodo prescrittivo) a uno che favorisce un approccio basato sulle prestazioni (metodo prestazionale), in sintonia con gli sviluppi tecnologici e gli standard internazionali.

La struttura del Codice è suddivisa in una Regola Tecnica Orizzontale (RTO), composta dalle sezioni G ed S, in Regole Tecniche Verticali (RTV), sezione V, e in metodi per l'applicazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio, sezione M, in particolare:

- Sezione G (*Generalità*): contenente i principi fondamentali della sicurezza antincendio, i termini e le definizioni per una loro omogenea applicazione e le metodologie di progettazione della sicurezza antincendio. Inoltre, sono determinati i profili di rischio delle attività e i metodi per la loro definizione;
- Sezione S (*Strategia antincendio*): contenente dieci misure antincendio di prevenzione, protezione e gestionali applicabili a tutte le attività, per comporre la strategia antincendio al fine di mitigare il rischio d'incendio. Per ognuna misura antincendio sono previsti diversi livelli di prestazione (I, II, III, ...) crescenti in funzione della complessità dell'attività e delle prestazioni previste. Per ciascun livello di prestazione sono delineate specifiche soluzioni che possono essere conformi, soluzioni alternative e in deroga;
- Sezione V (*Regole tecniche verticali*): contenente le regole tecniche di prevenzione incendi specifiche per attività o a porzioni di esse, le misure tecniche previste sono integrative o complementari a quelle previste nella sezione *strategia antincendio*. Questa sezione è in continuo aggiornamento conseguentemente all'aumento di attività per le quali viene definita una RTV;
- Sezione M (*Metodi*): contenente la metodologia applicativa dell'ingegneria della sicurezza antincendio che permette una valutazione quantitativa del livello di sicurezza antincendio.

Dunque, il procedimento metodologico ai fini dell'applicazione del codice è suddiviso in quattro fasi individuate nella sezione G *Generalità*:

1. Individuazione dei pericoli d'incendio;
2. Valutazione del rischio incendio guidato dall'attribuzione dei profili di rischio;
3. Attribuzione del livello di prestazione delle relative misure antincendio;
4. Adozione di una soluzione che sia questa conforme, alternativa o in deroga, per il raggiungimento del livello di prestazione identificato.

Il progettista, applicando il Codice, ha la competenza e la responsabilità della valutazione del rischio incendio e, successivamente, libertà di scelta della soluzione progettuale più adatta alla tipologia di attività. L'utilizzo di soluzioni conformi esula il progettista dal fornire ulteriori valutazioni tecniche per dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione. L'utilizzo di soluzioni alternative, impegnano, invece, il progettista a dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione impiegando: normative o documenti tecnici anche provenienti da organismi europei e internazionali; prodotti o tecnologie innovative; i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio seguendo le procedure illustrate nella sezione M. Infine, l'utilizzo delle soluzioni in deroga è concesso esclusivamente nel caso in cui non si possano applicare efficacemente né le soluzioni conformi né le soluzioni alternative. Fermo restando che si deve comunque dimostrare il raggiungimento degli obiettivi di prevenzione incendi presenti nella sezione G.

Per più di 30 anni, il D.M. 1 Febbraio 1986 “Norme di sicurezza antincendi per la costruzione e l’esercizio di autorimesse e simili” ha disciplinato la progettazione e l’esercizio sia delle autorimesse soggette ai controlli di prevenzione incendi sia quelle con superficie inferiore a 300 m<sup>2</sup>. Tale decreto presenta la forma tradizionale delle regole tecniche verticali di prevenzione e sicurezza antincendio ante Codice, ovvero segue l’approccio prescrittivo.

Il D.M. 15 Maggio 2020 ha abrogato il suddetto decreto solo per quanto riguarda le autorimesse di nuova costruzione, lasciando, per le autorimesse preesistenti alla data di entrata in vigore, ancora il cosiddetto “doppio binario” ai fini della scelta della normativa applicabile. Inoltre, il D.M. 15 Maggio 2020 ha emanato la terza versione del capitolo V.6 – Autorimesse - della sezione V del Codice di prevenzione incendi sostituendo le precedenti.

Dunque, ad oggi, l’unico riferimento tecnico per la progettazione della sicurezza antincendio di un’attività autorimessa è rappresentato dal Codice di prevenzione incendi.

La regola tecnica verticale V.6 presenta la stessa forma delle regole presenti nella sezione V del Codice. Per quanto riguarda il capitolo relativo alla Strategia Antincendio (sezione S) presenta delle integrazioni o complementi alla RTO per le seguenti misure: reazione al fuoco; resistenza al fuoco; compartimentazione; esodo; gestione della sicurezza antincendio; controllo dell’incendio; controllo di fumi e calore; sicurezza impianti tecnologici e di servizio.

Il campo di applicazione della V.6 comprende esclusivamente le autorimesse di superficie complessiva superiore a 300 m<sup>2</sup>.

### 3. La Fire Safety Engineering

La Fire Safety Engineering (FSE), anche chiamata ingegneria della sicurezza antincendio o approccio prestazionale alla sicurezza antincendio, consiste nell’applicazione di regole e principi ingegneristici che fanno riferimento ad analisi quantitative del fenomeno della combustione, degli effetti dell’incendio e del comportamento umano. Gli obiettivi a cui risponde l’applicazione della FSE sono la tutela della vita umana, la protezione di beni materiali ed ambiente. Lo scopo del professionista antincendio riguarda la quantificazione dei rischi di incendio e relativi effetti, e la valutazione analitica delle misure antincendio necessarie a limitare, entro soglie prestabilite, le conseguenze dell’incendio. A questo proposito sono seguite le indicazioni della sezione M del Codice della Prevenzione Incendi.

La sezione M del Codice della Prevenzione Incendi descrive le procedure che l’ingegnere progettista deve seguire per la definizione di soluzioni idonee in linea con la metodologia FSE. La sezione è suddivisa in tre capitoli:

#### **Capitolo M.1 Metodologia per l’ingegneria della sicurezza antincendio**

La metodologia per l’ingegneria della sicurezza antincendio si compone di due fasi.

La prima fase, di analisi preliminare, ha come obiettivo l’individuazione delle condizioni più rappresentative del rischio dell’attività in esame e delle soglie di prestazione di riferimento in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire.

La seconda fase riguarda l'analisi quantitativa, utilizza modelli di calcolo degli effetti dell'incendio in relazione agli obiettivi assunti, successivamente si confrontano i risultati ottenuti con le soglie di prestazione e si definisce il progetto da sottoporre a successiva approvazione finale.

### **Capitolo M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale.**

Il primo passo per l'identificazione dei possibili scenari di incendio consiste nello sviluppo, da parte del professionista antincendio, di uno specifico albero degli eventi a partire da ogni evento iniziatore pertinente e credibile.

Ogni scenario di incendio identificato deve essere descritto in relazione a tre aspetti fondamentali: caratteristiche dell'incendio:

- localizzazione e tipologia del focolare;
- quantità, qualità e distribuzione spaziale del materiale combustibile;
- fonti d'innesco;
- potenza termica prodotta dal focolare al variare del tempo;
- tipologie dei prodotti della combustione.

caratteristiche dell'attività:

- caratteristiche architettoniche e strutturali;
- impiantistica;
- aspetti gestionali ed operativi;
- fattori ambientali che influenzano le prestazioni antincendio dell'attività, ad esempio una zona fortemente secca e ventosa.

caratteristiche degli occupanti:

- affollamento e distribuzione;
- tipologia degli occupanti;
- familiarità degli occupanti con l'attività;
- stato di veglia o sonno degli occupanti.

Nel secondo passo della procedura viene ridotto il numero degli scenari d'incendio considerati al minimo ragionevole. Riportando i motivi di tale scelta, il professionista antincendio estrapola un sottoinsieme contenente gli scenari di incendio di progetto, ovvero gli scenari di incendio più gravosi, le soluzioni progettuali per questi scenari d'incendio di progetto, che rispettano le soglie di prestazione richieste, garantiscono lo stesso livello di sicurezza anche nei confronti delle situazioni meno gravose.

### **Capitolo M.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale.**

La progettazione ideale di un sistema d'esodo a cui si tende dovrebbe assicurare agli occupanti il raggiungimento di un luogo sicuro e/o di permanervi senza mai incontrare gli effetti dell'incendio.

Per risolvere un'eventuale inapplicabilità del suddetto criterio la norma introduce il criterio  $ASET > RSET$  dove:

- ASET = Available Safe Escape Time, intervallo di tempo calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui le condizioni ambientali nell'attività diventano tali da rendere gli occupanti incapaci di porsi in salvo raggiungendo o permanendo in un luogo sicuro;
- RSET = Required Safe Escape Time, intervallo di tempo calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'attività raggiungono un luogo sicuro.

La differenza tra ASET e RSET rappresenta il margine di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita.

$$t_{\text{mar}} = ASET - RSET$$

Nel confronto tra diverse soluzioni progettuali, il professionista antincendio rende massimo il margine di sicurezza  $t_{\text{mar}}$  in relazione alle ipotesi assunte, al fine di considerare l'incertezza nel calcolo dei tempi di ASET ed RSET. A meno di specifiche valutazioni si assume  $t_{\text{mar}} \geq 100\% \cdot RSET$ . In caso di specifiche valutazioni sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale, è consentito assumere  $t_{\text{mar}} \geq 10\% \cdot RSET$ . In ogni caso, deve essere  $t_{\text{mar}} \geq 30$  secondi.

Il tempo ASET dipende strettamente dalle interazioni nel sistema incendio-edificio-occupanti: l'incendio si innesca, si propaga e diffonde nell'edificio i suoi effetti, fumi e calore. Gli occupanti sono esposti agli effetti dell'incendio in relazione all'attività che svolgono, alla loro posizione iniziale, al loro percorso nell'edificio ed alla loro condizione psico-fisica. Ne consegue che ciascun occupante possiede un proprio valore di ASET.

I metodi di calcolo di ASET ammessi dalle norme sono due: metodo di calcolo semplificato e metodo di calcolo avanzato. Nella presente trattazione si è preso in considerazione il metodo avanzato.

Il calcolo di ASET richiede la stima delle concentrazioni di prodotti tossici, delle temperature e delle densità del fumo negli ambienti a seguito dell'incendio e la loro variazione nel tempo, in quanto gli occupanti possono muoversi nel fumo, che nei casi complessi può essere ragionevolmente elaborata solo con modelli di calcolo fluidodinamici. Sono infatti la tipologia dell'incendio e dell'attività che determinano complessivamente l'andamento di tali variabili con il tempo.

La norma di riferimento per il calcolo ASET è la ISO 13571, in cui l'ASET globale è definito come il più piccolo tra gli ASET calcolati secondo i seguenti quattro modelli:

- modello dei gas tossici;
- modello dei gas irritanti;
- modello del calore;
- modello dell'oscuramento della visibilità da fumo.

Ogni modello precedentemente elencato prevede l'utilizzo di opportune soglie di prestazione, che determinano l'incapacitazione degli occupanti e dei soccorritori quando sottoposti agli effetti dell'incendio.

Il documento di riferimento per il calcolo di RSET è la ISO/TR 16738. RSET è calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'edificio raggiungono un luogo sicuro. Anche RSET dipende dalle interazioni del sistema incendio-edificio-occupanti: la fuga degli occupanti è fortemente condizionata dalle geometrie dell'edificio ed è rallentata dagli effetti dell'incendio.

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

dove:

- $t_{det}$  = tempo di rivelazione, tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio.
- $t_a$  = tempo di allarme generale, tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, dell'allarme generale.
- $t_{pre}$  = tempo di attività di pre-movimento, tempo necessario agli occupanti per svolgere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio verso il luogo sicuro. È composto da un tempo di riconoscimento del segnale d'allarme e da un tempo di risposta all'emergenza.
- $t_{tra}$  = tempo di movimento, tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento.

Al fine del calcolo di RSET il professionista antincendio deve sviluppare lo scenario comportamentale di progetto più appropriato per il caso specifico, perché l'attività di pre-movimento e le velocità dell'esodo dipendono dalla tipologia di popolazione considerata e dalle modalità d'impiego dell'edificio. Ne consegue che ciascun occupante possiede un proprio valore di RSET.

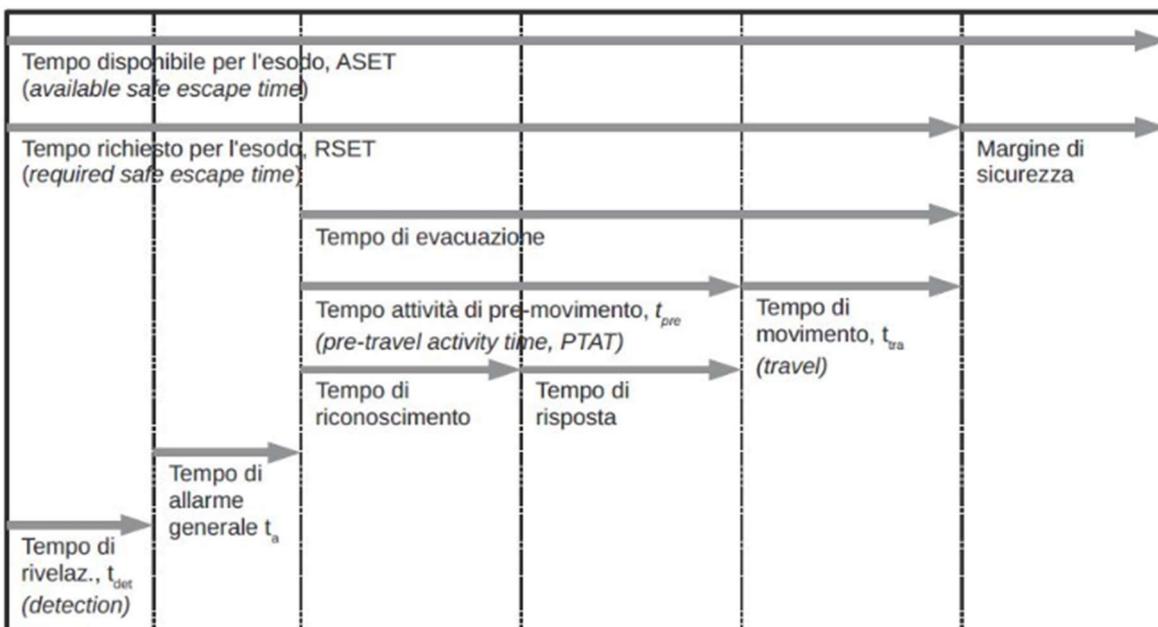


Figura 1. Schematizzazione dei tempi ASET e RSET

#### 4. APPROCCIO METODOLOGICO

Durante lo sviluppo della monografia si possono individuare tre fasi metodologiche fondamentali.

##### 4.1 Fase preliminare

Attraverso la progettazione della sicurezza antincendio, secondo il Codice di prevenzione incendi, si è potuto constatare che l'autorimessa rispetta i vincoli, seppur al limite, imposti dalle soluzioni conformi (vedasi 5.2 *Applicazione del codice di prevenzione incendi*). L'attività in questione in questione presenta un  $R_{offset}$  di 30 m e una superficie complessiva delle aperture poste a soffitto di  $82 \text{ m}^2$ , il che è il minimo concesso dalla soluzione conforme per il livello II di prestazione della S.8 e dalla regola tecnica verticale RTV V.6.

La situazione di partenza è quindi la seguente:

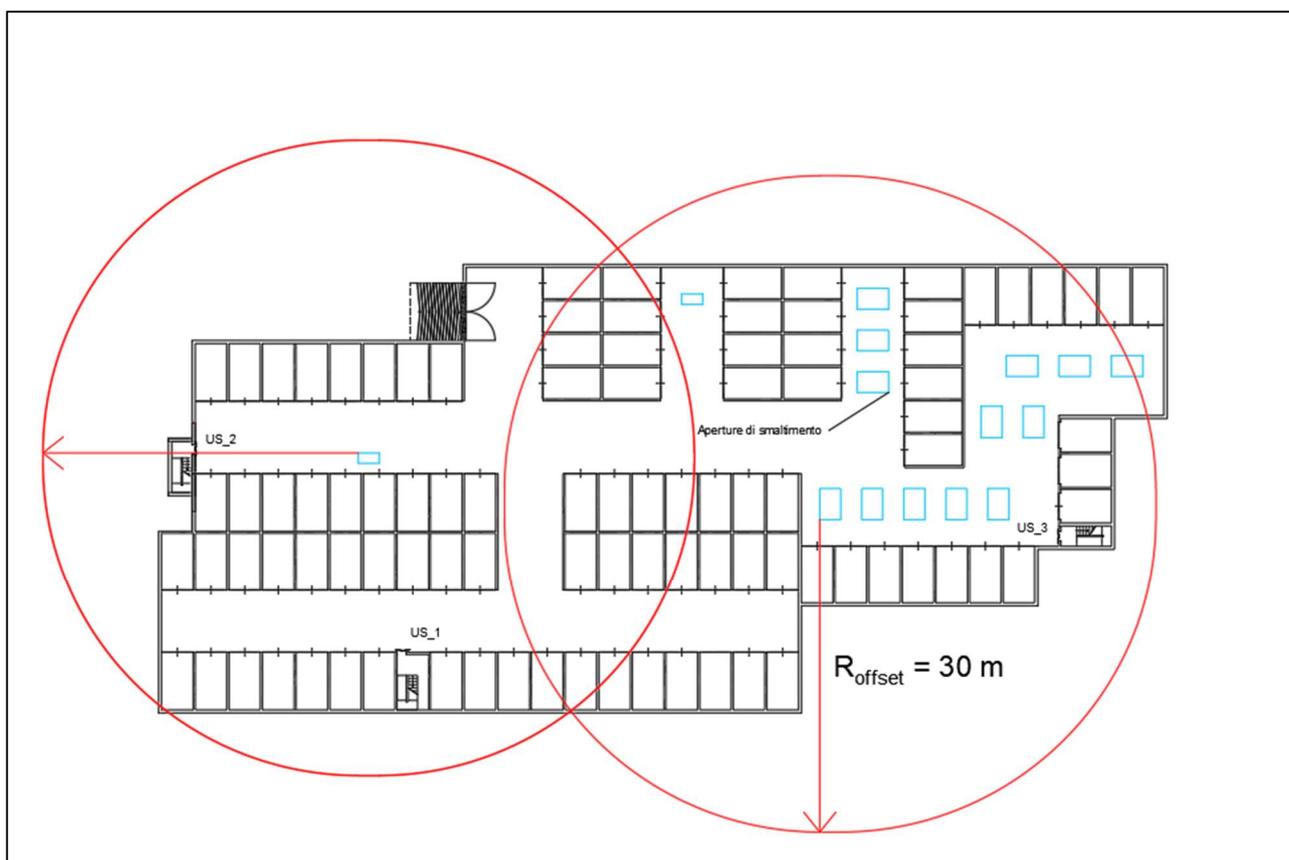


Figura 2. Layout autorimessa

La geometria dell'autorimessa permette di distinguere due macro zone, denominate ZONA NORD e ZONA SUD, collegate solo da uno snodo centrale (figura 4).

Ai fini dell'obiettivo di tesi, si è reso necessario individuare un ventaglio di situazioni, ottenibili dalla variazione dell'altezza interna e della posizione delle aperture.

Inoltre, per giungere a conclusioni che siano svincolate dall'ubicazione dell'incendio e per poter indagare l'andamento dei fumi in maniera più approfondita, sono state selezionate due posizioni differenti del focolare ed è stata considerata l'impostazione aperta o chiusa dei box auto.

Le diverse disposizioni delle aperture sono comunque ottenute rispettando l' $R_{offset}$  di 30 metri e la superficie complessiva di 82 m<sup>2</sup>.

In funzione di queste scelte ed in linea con l'approccio prestazionale della FSE, è stato prodotto il seguente schema ad albero.

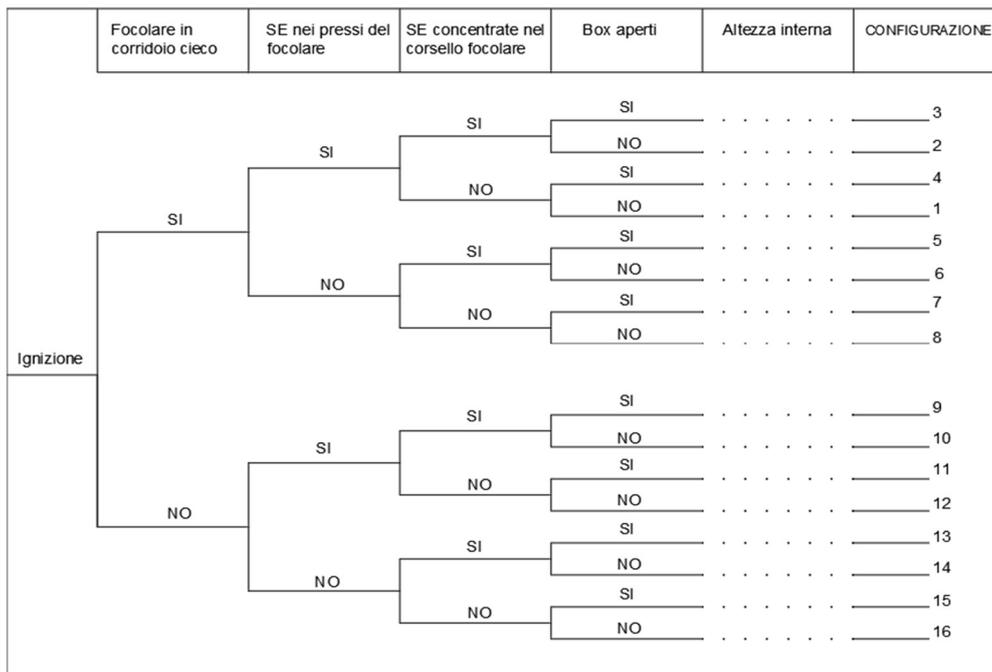


Figura 3. Albero degli eventi

I parametri identificati di cui sopra, partendo dall'evento iniziatore che delinea l'ignizione di un'automobile, sono:

- colonna "focolare in corridoio cieco" che indica situazioni in cui l'auto in fiamme sia ubicata in un corridoio cieco (SI), in particolare nel box indicato in ZONA SUD, oppure situazioni in cui non lo sia (NO), in ZONA NORD (figura 4);
- colonna "SE nei pressi del focolare" che indica se nel raggio di qualche metro rispetto all'incendio si innestino aperture di smaltimento fumo e calore di emergenza (SI), oppure no (NO). La sigla SE nel Codice è un'abbreviazione di aperture di Smaltimento fumo e calore di Emergenza;
- colonna "SE concentrate nel corsello focolare" indica la situazione in cui lungo tutto il corsello ospitante l'auto in fiamme, tranne nei pressi del focolare, siano poste delle aperture di smaltimento a distanze regolari (SI), oppure no (NO);
- colonna "box aperti" indica se tutti i serramenti che permettono l'accesso ai box auto sono aperti (SI), oppure chiusi (NO);

- colonna “altezza interna” individua l’altezza interna delle sotto configurazioni relative alla colonna “configurazioni”. Le altezze prese in considerazione sono tre: 2.4 m, 3.0 m, 3.5 m.

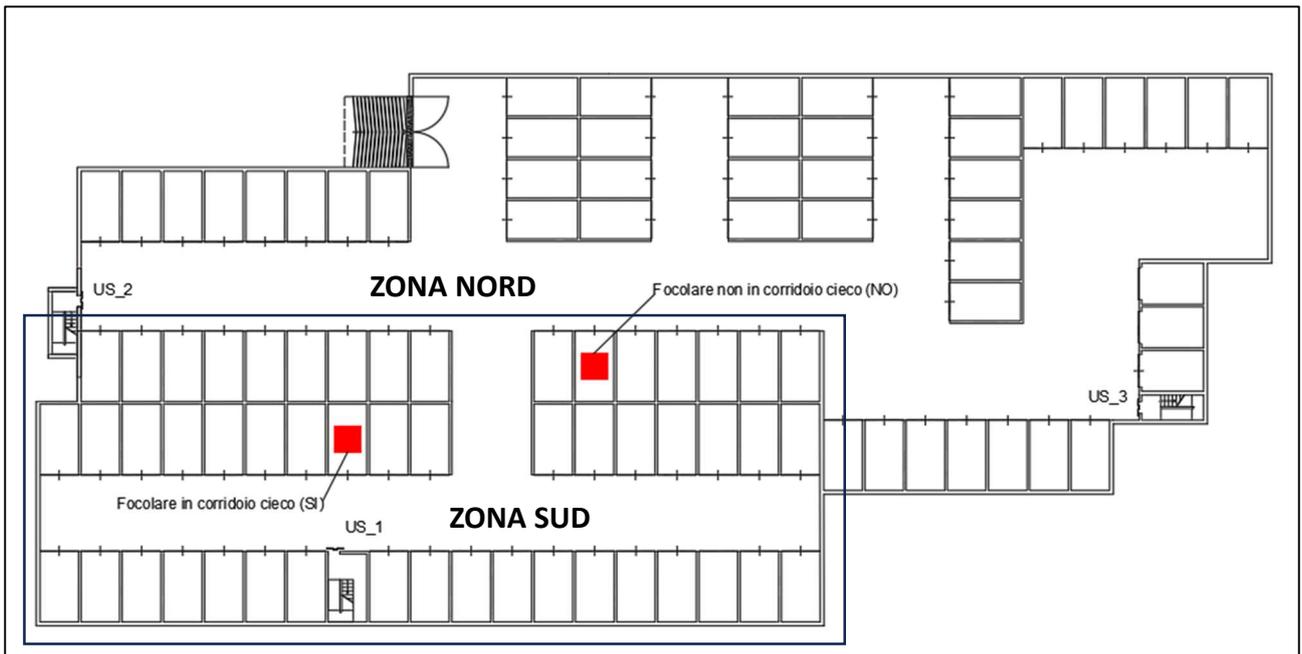


Figura 4. Possibili ubicazioni del focolare e suddivisione della geometria dell’autorimessa

Grazie alle diramazioni dello schema si possono individuare ben 16 configurazioni corrispondenti ad uno scenario di incendio, da ognuna delle quali scaturiscono tre sotto configurazioni che presentano le varie altezze.

Volendosi riferire allo specifico scenario si userà la nomenclatura tipo “configurazione\_n.ro” e per la sotto configurazione “Configurazione\_n.ro\_Altezza interna”.

## 4.2 Fase di calcolo

La presente fase di lavoro ha riguardato le configurazioni delineate nell'albero degli eventi e può essere schematizzata nei seguenti punti:

- Modellazione geometrica 3D dell'autorimessa per le tre altezze interne differenti mediante il software *Autodesk Revit*;
- Disposizione delle aperture in base alle configurazioni considerate e simulazione fluidodinamica dell'incendio e dei suoi prodotti, attraverso il Software *Pyrosim*;
- Modellazione di esodo all'interno dell'autorimessa con l'utilizzo del software *Pathfinder*.

Dopo aver esportato il modello geometrico 3D da Autodesk Revit in formato .ifc (Industry Foundation Classes) è stato importato in Pyrosim. Si è ottenuto una simulazione fluidodinamica d'incendio consistente in mappe cromatiche planari (*slice*) e grafici che mostrano l'andamento della visibilità nel tempo.

Successivamente, grazie all'interoperabilità tra Pyrosim e Pathfinder è stato possibile sovrapporre la modellazione di esodo alle mappe cromatiche planari di visibilità, permettendo una visione completa dell'interazione incendio-edificio-occupanti.

Sulla base dei risultati ottenuti da questo studio, è stato possibile comprendere quali configurazioni fossero più utili a perseguire l'obiettivo di tesi. In particolare, sono:

CONFIGURAZIONE	SOTTO CONFIGURAZIONE	ALTEZZA INTERNA
Configurazione_2	Configurazione_2_H_2.4	2.4 m
	Configurazione_2_H_3.0	3.0 m
	Configurazione_2_H_3.5	3.5 m
Configurazione_8	Configurazione_8_H_2.4	2.4 m
	Configurazione_8_H_3.0	3.0 m
	Configurazione_8_H_3.5	3.5 m
Configurazione_10	Configurazione_10_H_2.4	2.4 m
	Configurazione_10_H_3.0	3.0 m
	Configurazione_10_H_3.5	3.5 m
Configurazione_16	Configurazione_16_H_2.4	2.4 m
	Configurazione_16_H_3.0	3.0 m
	Configurazione_16_H_3.5	3.5 m

Il motivo di tale scelta sarà esplicitato nel capitolo 5.3 *Applicazione FSE*.

### 4.3 Fase conclusiva

Questa fase ha riguardato l'analisi dei risultati delle varie modellazioni sopracitate e il conseguente sviluppo delle conclusioni.

Per poter valutare l'impatto dell'altezza interna e della disposizione delle aperture di smaltimento sulla visibilità, e di conseguenza come a sua volta essa possa inficiare l'esodo delle persone, è stato fatto riferimento alla soglia di prestazione per la salvaguardia della vita, relativa al modello di calcolo avanzato "*oscuramento della visibilità da fumo*", proposta dall'approccio prestazionale alla sicurezza antincendio (FSE). Tale soglia di prestazione comporta che in condizioni di incendio e quindi in presenza di fumo, per poter considerare soddisfatta la salvaguardia della vita, la visibilità deve essere superiore a 10 m valutata ad un'altezza da terra di 1.8 m. In altri termini, la persona deve poter vedere chiaramente oltre una distanza di 10 m.

In questa monografia, il criterio di  $ASET > RSET$  proposto dalla FSE per la progettazione prestazionale della salvaguardia della vita non è stato applicato. Questa scelta deriva dalla particolare geometria del caso studio, che presenta due zone nettamente distinte, denominate ZONA NORD e ZONA SUD. Tale conformazione rende difficile un confronto sensato tra un ASET e un RSET globali. Ad esempio, se si ipotizza che l'incendio inizi nella ZONA SUD e si calcoli un certo valore di ASET, questo valore non può essere esteso automaticamente agli occupanti che si trovano nella ZONA NORD. Infatti, prima che possano essere investiti dagli effetti dell'incendio, gli occupanti nella ZONA NORD hanno ancora del tempo a disposizione. Lo stesso principio si applica se l'incendio dovesse scoppiare nella ZONA NORD.

Facendo quindi riferimento alla soglia di prestazione di 10 m, per ogni sotto configurazione presa in esame, è stato svolto un confronto qualitativo di tipo visivo nel tempo, tra le mappe cromatiche relative alla visibilità e la modellazione d'esodo, ponendo l'attenzione su degli istanti ritenuti significativi ai fini del perseguimento dell'obiettivo di tesi:

- Istante critico  $t_c$ ;
- 300 s;
- 360 s.

L'istante critico, definito così allo scopo di facilitare la trattazione, è il momento in cui almeno una via d'esodo viene resa indisponibile per via della scarsa visibilità prodotta dal fumo, ed è caratteristico di ogni sotto configurazione. Tramite l'istante critico è stato possibile evidenziare l'impatto che ha l'altezza interna sulla visibilità per ogni sotto configurazione, poi confermato anche dalle situazioni che si delineano a 300 s e 360 s.

Gli istanti fissi di 300 secondi e 360 secondi sono dei punti di riferimento comuni a tutte le sotto configurazioni. Sono stati selezionati per valutare l'impatto della disposizione degli smaltitori sulla visibilità, poiché l'efficienza delle aperture non si manifesta nei primi istanti della fase di esodo, bensì successivamente, ovvero quando il fumo ha raggiunto una certa quantità e altezza. Inoltre, sono stati presi in riferimento all'occupante più svantaggiato. Questo occupante è colui che si trova nella posizione più remota all'interno dell'attività rispetto alla prima uscita di sicurezza ancora visibile, nonostante la presenza dei fumi, e che si attiva per ultimo per intraprendere il suo percorso verso di

essa a 300 s. L'occupante più svantaggiato raggiunge mediamente la prima uscita di sicurezza ancora visibile a 360 s.

Gli istanti 300 s e 360 s sono stati estrapolati dalla modellazione d'esodo comune a tutte le configurazioni.

Quindi osservando le mappe cromatiche relative alla visibilità negli istanti sopra definiti, si è potuto analizzare come l'altezza interna e la disposizione delle aperture influiscano sull'esodo degli occupanti.

## 5. IL CASO STUDIO

### 5.1 Caratteristiche dell'autorimessa

L'attività in esame si sviluppa su un piano interrato, avente altezza interna di 2.4 m. La geometria complessiva dell'attività non presenta particolari complessità, tranne che per lo snodo centrale che collega due macroaree dell'autorimessa, identificate per facilitare il lettore e lo sviluppo dell'analisi come ZONA NORD e ZONA SUD. La superficie lorda complessiva è di circa 3265 m<sup>2</sup>, suddivisa internamente in 97 box auto e corselli di manovra larghi 6,0 m che permettono un raggio di curvatura > 7.5 m. Dei box auto, 94 hanno superficie di 16.5 m<sup>2</sup> ciascuno, mentre i restanti tre, riservati ai disabili, presentano una superficie 17.6 m<sup>2</sup>. I box auto sono provvisti di serrande le cui dimensioni sono 2 m x 2 m. I corselli di manovra presentano un raggio di curvatura >7.5 m, la rampa di accesso ha una pendenza del 16 % ed è a doppio senso di marcia con una larghezza di 5.5 m. Le uscite di sicurezza presenti sono tre, denominate US\_1, US\_2, US\_3 che adducono a dei corpi scala ritenuti luoghi sicuri temporanei. Le aperture di smaltimento sono poste a soffitto e sono di tipologia "permanentemente aperte".

Le pareti perimetrali, spesse 30 cm, sono ipotizzate in calcestruzzo armato, mentre gli elementi di separazione per box auto, spessi 20 cm, sono in laterizi forati. La copertura è realizzata mediante lastre modulari di calcestruzzo prefabbricato. L'autorimessa essendo di pertinenza condominiale, è considerata di tipo privato e ad uso esclusivo degli eventuali condomini. Inoltre, è isolata, in quanto situata in un'opera da costruzione ad esclusivo uso dell'autorimessa stessa, strutturalmente separata e non adiacente ad altre opere da costruzione.

L'autorimessa così presentata risulta essere un'attività soggetta al controllo di prevenzione incendi da parte del Corpo nazionale dei vigili del fuoco. In particolare, ai sensi del D.P.R. n. 151 del 1 agosto 2011, si specifica come attività numero 75.4.C.

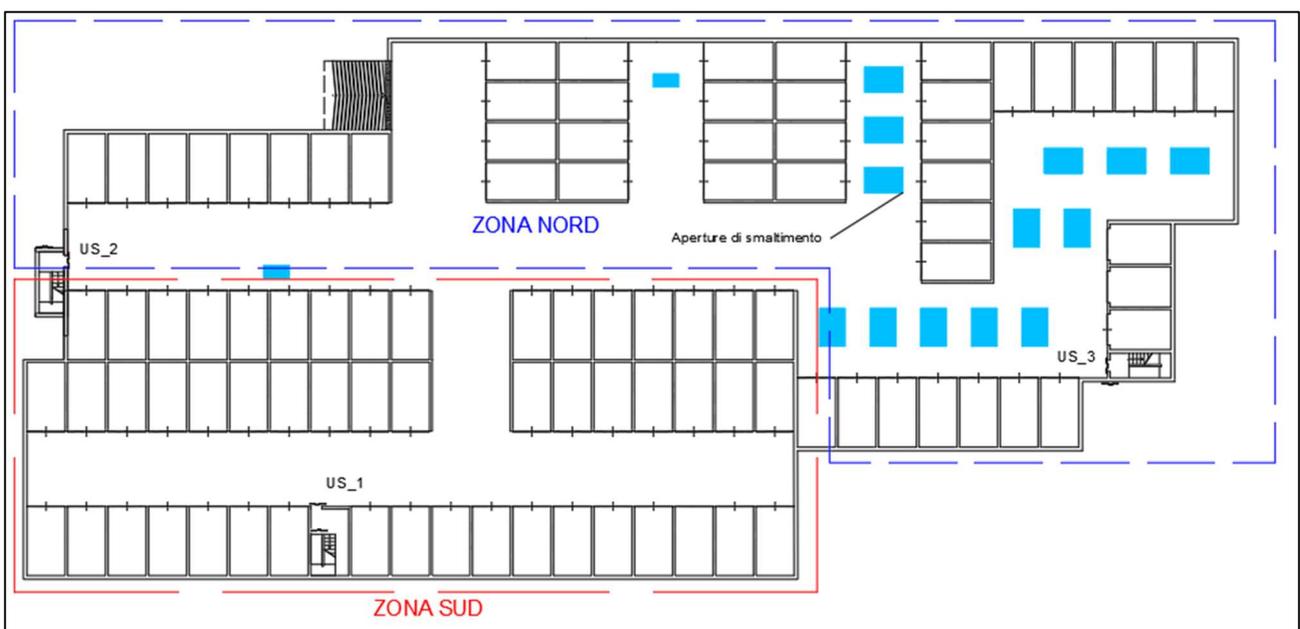


Figura 5. Planimetria autorimessa con macrozone e disposizione delle aperture

## 5.2 Applicazione del Codice di prevenzione incendi

Nel presente capitolo verrà esposta la progettazione della sicurezza antincendio dell'attività oggetto di esame mediante l'applicazione delle soluzioni conformi proposte dal Codice di prevenzione incendi-D.M. 3 agosto 2015 e s.m.i.. In particolare, i riferimenti normativi sono:

- D.M. 3 Agosto 2015 – “Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell’articolo 15 del D.lgs. 8 Marzo 2006, n.139” - Aggiornamento D.M. 18 Ottobre 2019 e D.M. 24 Novembre 2021, come aggiornate dai decreti 14 Febbraio 2020 e 6 Aprile 2020 per la sezione V;
- D.M. 15 Maggio 2020 “Approvazione delle norme tecniche di prevenzione incendi per le attività di autorimessa” (RTV V.6)

Il campo di applicazione della RTV V.6 riguarda le attività relative alle autorimesse di superficie complessiva superiore a 300 m<sup>2</sup>. In particolare, essa nello specifico riguarda anche l'autorimessa in esame, definita ai sensi dell'allegato I del D.P.R. 151 del 1 Agosto 2011 come attività numero 75.4.C, ovvero autorimesse con superficie superiore a 3000 m<sup>2</sup>.

### 5.2.1 Valutazione del rischio

Il primo passo per una progettazione antincendio secondo Il codice è la valutazione del rischio.

I *profili di rischio* (Sezione G.3) individuati sono:

- $R_{vita}$  = profilo di rischio relativo alla salvaguardia della vita;
- $R_{beni}$  = profilo di rischio relativo al valore strategico e artistico-culturale dell'attività;
- $R_{ambiente}$  = profilo di rischio relativo alla tutela dell'ambiente dagli effetti dell'incendio.

#### $R_{vita}$

Gli occupanti dell'autorimessa sono in stato di veglia e, essendo questa privata, hanno familiarità con l'edificio. Quindi  $\delta_{occ}=A$ . In merito a ciò il Codice fornisce la seguente tabella.

Caratteristiche prevalenti degli occupanti $\delta_{occ}$		Esempi
A	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	Ufficio non aperto al pubblico, scuola, autorimessa privata, centro sportivo privato, attività produttive in genere, depositi, capannoni industriali
B	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	Attività commerciale, autorimessa pubblica, attività espositiva e di pubblico spettacolo, centro congressi, ufficio aperto al pubblico, ristorante, studio medico, ambulatorio medico, centro sportivo pubblico
C	Gli occupanti possono essere addormentati: [1]	
Ci	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in attività individuale di lunga durata</li> </ul>	Civile abitazione
Cii	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in attività gestita di lunga durata</li> </ul>	Dormitorio, residence, studentato, residenza per persone autosufficienti
Ciii	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in attività gestita di breve durata</li> </ul>	Albergo, rifugio alpino
D	Gli occupanti ricevono cure mediche	Degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria
E	Occupanti in transito	Stazione ferroviaria, aeroporto, stazione metropolitana
[1] Quando nel presente documento si usa C la relativa indicazione è valida per Ci, Cii, Ciii		

Tabella 1. Caratteristiche prevalenti degli occupanti (Tabella G.3-1)

La velocità di crescita dell'incendio è stata valutata mediante la curva RHR della figura sottostante di un'automobile utilizzata nella successiva modellazione dell'incendio. Da ciò si deduce che il tempo impiegato dall'incendio per raggiungere 1000 kW ( $t_{\alpha}$ ) è di circa 300 s; pertanto, la crescita si può considerare di tipo *media*, ovvero  $\delta_{\alpha}=2$  s.

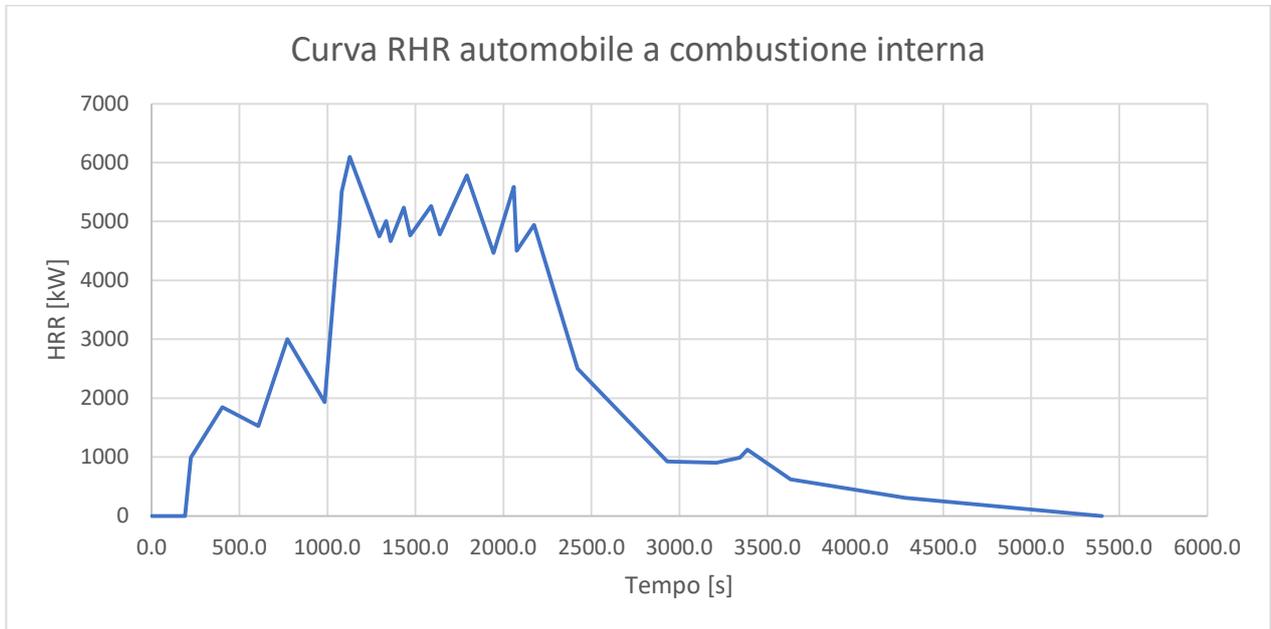


Figura 6. Curva RHR di un'automobile

In merito a quanto detto sopra, il Codice fornisce la seguente tabella.

$\delta_\alpha$	$t_\alpha$ [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.
<p>A meno di valutazioni più approfondite da parte del progettista (es. dati di letteratura, misure dirette, ...), si ritengono <i>non significative</i> ai fini della presente classificazione almeno le quantità di materiali nei compartimenti con carico di incendio specifico <math>q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2</math>.</p> <p>[1] Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio. [2] Con h altezza d'impilamento.</p>		

Tabella 2. velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio

In definitiva  $R_{vita} = A2$ :

	$\delta_{occ}$	$\delta_\alpha$	$R_{vita}$
Autorimessa privata	A	2	A2

Questa considerazione viene anche confermata dagli esempi proposti all'interno del Codice stesso nella tabella G.3-4 nel seguito proposta.

Tipologie di destinazione d'uso	R <sub>vita</sub>
Palestra scolastica	A1
Autorimessa privata	A2
Ufficio non aperto al pubblico, sala mensa, aula scolastica, sala riunioni aziendale, archivio, deposito librario, centro sportivo privato	A2-A3
Attività commerciale non aperta al pubblico (es. all'ingrosso, ...)	A2-A4
Laboratorio scolastico, sala server	A3
Attività produttive, attività artigianali, impianti di processo, laboratorio di ricerca, magazzino, officina meccanica	A1-A4
Depositi sostanze o miscele pericolose	A4
Galleria d'arte, sala d'attesa, ristorante, studio medico, ambulatorio medico	B1-B2
Autorimessa pubblica	B2
Ufficio aperto al pubblico, centro sportivo pubblico, sala conferenze aperta al pubblico, discoteca, museo, teatro, cinema, locale di trattenimento, area lettura di biblioteca, attività espositiva, autosalone	B2-B3
Attività commerciale aperta al pubblico (es. al dettaglio, ...)	B2-B4 [1]
Civile abitazione	Ci2-Ci3
Dormitorio, residence, studentato, residenza per persone autosufficienti	Cii2-Cii3
Camera d'albergo	Ciii2-Ciii3
Degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria	D2
Stazione ferroviaria, aeroporto, stazione metropolitana	E2
[1] Per raggiungere un valore ammesso fra quelli indicati alla tabella G.3-3, $\delta_a$ può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3. del paragrafo G.3.2.1.	

Tabella 3. Profili di rischio R<sub>vita</sub> per alcune tipologie di destinazioni d'uso in base alla tabella G.3-4 del Codice

### R<sub>beni</sub>

Per l'intera attività R<sub>beni</sub>=1 in quanto l'opera da costruzione non ha alcun valore strategico e tantomeno artistico-culturale, quindi priva di vincolo monumentale.

### R<sub>ambiente</sub>

Lo sviluppo dell'incendio all'interno dell'autorimessa provoca un danno ambientale assolutamente trascurabile, pertanto R<sub>ambiente</sub>= non significativo.

## Classificazione dell'autorimessa

Seguendo la regola tecnica RTV V.6 l'autorimessa viene classificata così come segue:

	Classificazione	motivazione
In relazione all'opera da costruzione	isolata	Opera da costruzione in cui è inserita l'autorimessa esclusivamente destinata a tale uso, inoltre non sono presenti opere di costruzione destinate ad altri usi in adiacenza
In relazione alla organizzazione delle aperture di smaltimento	chiusa	L'autorimessa è munita di aperture esclusivamente di aperture di smaltimento $SE_a$ la cui superficie utile complessiva è inferiore al 15% della superficie lorda del compartimento, ovvero l'intera autorimessa.
In relazione alle caratteristiche degli occupanti	SA	Gli occupanti sono in stato di veglia e hanno familiarità con l'edificio, ovvero $\delta_{occ} = A$ .
In relazione alla superficie lorda A	AB	L'autorimessa presenta una superficie lorda $A=3265 \text{ m}^2$ , pertanto $1000 \text{ m}^2 < A < 5000 \text{ m}^2$ .
In relazione alla quota di tutti i piani h	HB	L'autorimessa è interrata e presenta una quota di piano h: $- 5 \text{ m} < h < 12 \text{ m}$ .
Aree presenti all'interno dell'autorimessa	TA	Le uniche aree presenti all'interno dell'autorimessa sono quelle destinate al ricovero, alla sosta ed alla manovra di veicoli (TA), in quanto non sono previsti né locali tecnici, né cantine, né aree destinate a servizi.

### 5.2.2 Strategie antincendio

Questo capitolo mostra l'applicazione della strategia antincendio per la mitigazione del rischio incendio, in riferimento alle indicazioni contenute nel Codice di prevenzione incendi. La valutazione osserva in prima battuta le prescrizioni della RTV V.6 e successivamente integra e completa con le prescrizioni presenti nella sezione S *Strategia antincendio* con le relative misure antincendio.

#### Reazione al fuoco S.1

La reazione al fuoco (S.1) è una misura antincendio di protezione passiva, il cui impatto si manifesta principalmente nella fase iniziale dell'incendio. Il suo scopo è mitigare l'innesco e la diffusione delle fiamme limitando la partecipazione dei materiali all'incendio.

L'autorimessa, avendo un  $R_{vita} = A2$ , in base ai criteri di attribuzione di criteri di prestazione per la reazione al fuoco (S.1) ha un livello di prestazione pari a I. Tuttavia, la RTV V.6 per le aree di tipo TA non ammette il livello di prestazione I ad eccezione delle pavimentazioni. Quindi, per la

progettazione si è scelto un livello di prestazione superiore, ovvero livello II. Di seguito sono riportate le tabelle in cui sono definiti i livelli di prestazione e i criteri per la loro attribuzione che per questa strategia si dividono per le vie di esodo e per gli altri ambiti dell'attività.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Il contributo all'incendio dei materiali non è valutato
II	I materiali contribuiscono in modo significativo all'incendio
III	I materiali contribuiscono in modo moderato all'incendio
IV	I materiali contribuiscono in modo quasi trascurabile all'incendio

Per *contributo all'incendio* si intende l'energia rilasciata dai materiali che influenza la crescita e lo sviluppo dell'incendio in condizioni pre e post incendio generalizzato (flashover) secondo EN 13501-1.

Tabella 4. Livelli di prestazione reazione al fuoco S.1

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Vie d'esodo [1] non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
II	Vie d'esodo [1] dei compartimenti con profilo di rischio $R_{vita}$ in B1.
III	Vie d'esodo [1] dei compartimenti con profilo di rischio $R_{vita}$ in B2, B3, Cii1, Cii2, Cii3, Ciii1, Ciii2, Ciii3, E1, E2, E3.
IV	Vie d'esodo [1] dei compartimenti con profilo di rischio $R_{vita}$ in D1, D2.

[1] Limitatamente a vie d'esodo verticali, percorsi d'esodo (corridoi, atri, filtri, ...) e spazi calmi.

Tabella 5. criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per la S.1 alle vie di esodo dell'attività

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Locali non ricompresi negli altri criteri di attribuzione.
II	Locali di compartimenti con profilo di rischio $R_{vita}$ in B2, B3, Cii1, Cii2, Cii3, Ciii1, Ciii2, Ciii3, E1, E2, E3.
III	Locali di compartimenti con profilo di rischio $R_{vita}$ in D1, D2.
IV	Su specifica richiesta del committente, previsti da capitolati tecnici di progetto, richiesti dalla autorità competente per costruzioni destinate ad attività di particolare importanza.

Tabella 6. Criteri di attribuzione per la S.1 ad altri locali dell'attività

## SOLUZIONE CONFORME

La soluzione conforme per il livello di prestazione II prevede l'impiego di materiali compresi nel gruppo GM3.

Il codice di prevenzione incendi in merito alla partecipazione al fuoco definisce i gruppi di materiali (GM) distinguendoli con un numero da 0 a 4 con l'aumentare del contributo all'incendio. Il GM0 indica nessun contributo all'incendio, ad esempio.

## Resistenza al fuoco S.2

Lo scopo della resistenza al fuoco (S.2) è quello di garantire la capacità portante delle strutture in condizioni di incendio nonché la capacità di compartimentazione, per un tempo minimo necessario al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio. La RTV V.6 impone delle classi minime di resistenza al fuoco (vd tabella sottostante), con la possibilità di non rispettare tali valori minimi per le autorimesse *isolate*. Nonostante l'autorimessa in esame sia *isolata* è stata comunque utilizzata la classi minima da *tabella 6*, ovvero la classe di resistenza al fuoco 60.

Autorimessa	Autorimessa SA; SB	
	Aperta	Chiusa
HA	30 [1]	60 [2]
HB	60	60 [2]
HC	60	90
HD	60	90

[1] Classe 60 in caso di altezza antincendi dell'opera da costruzione di cui fa parte l'autorimessa > 24 m  
[2] Classe 90 in caso di altezza antincendi dell'opera da costruzione di cui fa parte l'autorimessa > 24 m

Tabella 7. Classe minima di resistenza al fuoco per autorimessa non isolata

Osservando la RTO, il livello di prestazione attribuito è livello II, in quanto l'autorimessa è considerata isolata ed avente un affollamento < 0.2 pers/m<sup>2</sup> (vedasi capitolo Esodo S.4).

Livello di prestazione	Descrizione
I	Assenza di conseguenze esterne per collasso strutturale
II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione.
III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la durata dell'incendio.
IV	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione.
V	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa.

Tabella 8. Descrizione livelli di prestazione per la resistenza al fuoco (S.2)

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	<p>Opere da costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti e strutturalmente separate da esse e tali che l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni ad altre opere da costruzione o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima;</li> <li>● adibite ad attività afferenti ad un solo <i>responsabile dell'attività</i> e con profilo di rischio <math>R_{beni}</math> pari ad 1;</li> <li>● non adibite ad attività che comportino presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto.</li> </ul>
II	<p>Opere da costruzione o porzioni di opere da costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti;</li> <li>● strutturalmente separate da altre opere da costruzione e tali che l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni alle stesse o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima; oppure, in caso di assenza di separazione strutturale, tali che l'eventuale cedimento della porzione non arrechi danni al resto dell'opera da costruzione o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima;</li> <li>● adibite ad attività afferenti ad un solo <i>responsabile dell'attività</i> e con i seguenti profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>R_{vita}</math> compresi in A1, A2, A3, A4;</li> <li>○ <math>R_{beni}</math> pari ad 1;</li> </ul> </li> <li>● densità di affollamento <math>\leq 0,2</math> persone/m<sup>2</sup>;</li> <li>● non prevalentemente destinate ad occupanti con disabilità;</li> <li>● aventi piani situati a quota compresa tra -5 m e 12 m.</li> </ul>
III	Opere da costruzione non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
IV, V	Su specifica richiesta del committente, previsti da capitolati tecnici di progetto, richiesti dalla autorità competente per opere da costruzione destinate ad attività di particolare importanza.

Tabella 9. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per la resistenza al fuoco (S.2)

Il carico di incendio specifico  $q_f$  è stato calcolato sulla base di una valutazione statistica, facendo riferimento ai valori con probabilità di superamento <20%. In particolare, è stato usato il *database VVF ClaRaf* messo appunto dal Corpo nazionale dei vigili del fuoco. Il quale per l'attività autorimessa interrata privata propone un valore medio di  $q_f = 200$  MJ/m<sup>2</sup>. Tale valore è stato moltiplicato per un coefficiente amplificativo pari a 1.4 (Il Codice suggerisce un coefficiente amplificativo compreso tra 1.20 e 1.50 per attività con variabilità molto limitata per riguarda il mobilio o le merci in deposito) per ottenere il frattile 80%. In definitiva si ottiene per l'autorimessa in esame  $q_f = 280$  MJ/m<sup>2</sup>.

Il valore del carico di incendio specifico di progetto  $q_{f,d}$  è determinato dalla seguente relazione:

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_{ni}$$

dove:

- $\delta_{q1}$  fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione alla dimensione del compartimento
- $\delta_{q2}$  fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento
- $\delta_{ni}$  rappresenta un insieme di fattori che tengono conto delle differenti misure antincendio.

Per l'autorimessa in esame si ha  $\delta_{q1} = 1.6$  e  $\delta_{q2} = 1.00$ . Mentre i fattori relativi alle misure antincendio  $\delta_{ni}$  sono tutti pari a 1, poiché l'autorimessa ha livelli di prestazione relativi alle misure antincendio inferiori a quelli proposti nella *tabella 11*.

Superficie lorda del compartimento [m <sup>2</sup> ]	$\delta_{q1}$	Superficie lorda del compartimento [m <sup>2</sup> ]	$\delta_{q1}$
A < 500	1,00	2500 ≤ A < 5000	1,60
500 ≤ A < 1000	1,20	5000 ≤ A < 10000	1,80
1000 ≤ A < 2500	1,40	A ≥ 10000	2,00

Tabella 10. Parametri per la definizione del fattore  $\delta_{q1}$

Classi di rischio	Descrizione	$\delta_{q2}$
I	Aree che presentano un basso rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	0,80
II	Aree che presentano un moderato rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza	1,00
III	Aree che presentano un alto rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	1,20

Tabella 11. Parametri per la definizione del fattore  $\delta_{q2}$

Misura antincendio minima		$\delta_{ni}$	
Controllo dell'incendio di livello di prestazione III (capitolo S.6)	rete idranti con protezione interna	$\delta_{n1}$	0,90
	rete idranti con protezione interna ed esterna	$\delta_{n2}$	0,80
Controllo dell'incendio di livello di prestazione IV (capitolo S.6)	sistema automatico ad acqua o schiuma e rete idranti con protezione interna	$\delta_{n3}$	0,54
	altro sistema automatico e rete idranti con protezione interna	$\delta_{n4}$	0,72
	sistema automatico ad acqua o schiuma e rete idranti con protezione interna ed esterna	$\delta_{n5}$	0,48
	altro sistema automatico e rete idranti con protezione interna ed esterna	$\delta_{n6}$	0,64
Gestione della sicurezza antincendio di livello di prestazione II [1] (capitolo S.5)		$\delta_{n7}$	0,90
Controllo di fumi e calore di livello di prestazione III (capitolo S.8)		$\delta_{n8}$	0,90
Rivelazione ed allarme di livello di prestazione III (capitolo S.7)		$\delta_{n9}$	0,85
Operatività antincendio di livello di prestazione IV (capitolo S.9)		$\delta_{n10}$	0,81
[1] Gli addetti antincendio devono garantire la presenza continuativa durante le 24 ore.			

Tabella 12. Parametri per la definizione dei fattori  $\delta_{ni}$

Pertanto il carico di incendio di progetto per l'attività è  $q_{f,d} = 280 \cdot 1.6 \cdot 1.00 \cdot 1.00 = 448 \text{ MJ/m}^2$ .

## SOLUZIONE CONFORME

La *distanza di separazione* su spazio a cielo libero verso altre opere da costruzione, al fine di limitare la propagazione dell'incendio verso altre attività non è stata prevista, in quanto l'autorimessa è interrata. La classe minima di resistenza al fuoco deve essere almeno 30. Per l'autorimessa in esame si attribuisce la classe di resistenza al fuoco pari a 60 in base alla *tabella 6*, in altre parole l'autorimessa (intesa come un unico compartimento antincendio) in caso di incendio garantisce per almeno 60 minuti la resistenza al fuoco.

### Compartimentazione S.3

La finalità della *compartimentazione* (S.3) è di limitare la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti verso altre attività, afferenti ad altro responsabile dell'attività o di diversa tipologia. La *compartimentazione* è concretizzata mediante compartimenti antincendio, ubicati all'interno della stessa opera da costruzione, e interposizione di distanze di separazione tra opere di costruzione o altri bersagli combustibili.

Per compartimento antincendio si intende una parte dell'opera da costruzione organizzata per rispondere alle esigenze della sicurezza in caso di incendio e delimitata da prodotti o elementi costruttivi idonei a garantire, sotto l'azione del fuoco e per un dato intervallo di tempo (classe di resistenza al fuoco), la resistenza al fuoco (S.2).

## Il livello di prestazione attribuito è II.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	È contrastata per un periodo congruo con la durata dell'incendio: <ul style="list-style-type: none"><li>• la propagazione dell'incendio verso altre attività;</li><li>• la propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività.</li></ul>
III	È contrastata per un periodo congruo con la durata dell'incendio: <ul style="list-style-type: none"><li>• la propagazione dell'incendio verso altre attività;</li><li>• la propagazione dell'incendio e dei fumi freddi all'interno della stessa attività.</li></ul>

Tabella 13. Livelli di prestazione per la compartimentazione (S.3)

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
III	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. attività con elevato affollamento, attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico $q_f$ , presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, ...). Si può applicare in particolare ove sono presenti compartimenti con profilo di rischio $R_{vita}$ compreso in D1, D2, Cii2, Cii3, Ciii2, Ciii3, per proteggere gli occupanti che dormono o che ricevono cure mediche.

Tabella 14. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per la compartimentazione (S.3)

## SOLUZIONE CONFORME

La RTV V.6 recita: “I locali TM1, TM2, TT e SC costituiscono compartimento distinto ad eccezione delle aree TM1 inserite in compartimenti SA, AB, HB” e inoltre “Le comunicazioni con l’autorimessa sono disciplinate come indicato nella tabella V.6-2”.

Tipologia autorimessa	Verso le pertinenze dell’autorimessa	Verso compartimenti di altre attività		Vie d’esodo comuni con altre attività	
	TM1 [1]; TM2; TT; TZ	In prevalenza non aperti al pubblico	In prevalenza aperti al pubblico	In prevalenza aperte al pubblico	In prevalenza non aperte al pubblico
SA, AB, HB [2]	Protetta come da paragrafo V.6.5.2	Filtro [3] [5]	Filtro	[4]	Filtro [5]
Altre	Come da paragrafo V.6.5.2	Filtro [3]	Filtro	[4]	
SC	Protetta come da capitolo S.2	Filtro [3]	A prova di fumo	Non ammessa alcuna comunicazione	

[1] Solo se l’area TM1 è inserita in compartimento distinto.  
 [2] In caso di altezza antincendi dell’opera da costruzione di cui fa parte l’autorimessa  $\leq 24$  m.  
 [3] Il requisito  $S_a$  per le porte non è richiesto.  
 [4] Via d’esodo a prova di fumo proveniente dall’autorimessa.  
 [5] Per autorimesse AA la comunicazione può avvenire mediante porta E 30.

Tabella 15. Caratteristiche minime delle comunicazioni tra compartimenti, tratta da Tabella V.6-2

L’autorimessa in esame presenta solo l’area classificata TA e non prevede né comunicazioni con altre attività né pertinenze.

Le soluzioni conformi previste dalla RTO per il livello II di prestazione prevedono:

1. Al fine di limitare la propagazione dell’incendio verso altre attività deve essere impiegata almeno una delle seguenti soluzioni: inserire le diverse attività in compartimenti antincendio distinti oppure interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra le diverse attività;
2. Al fine di limitare la propagazione dell’incendio all’interno della stessa attività deve essere impiegata almeno una delle seguenti soluzioni: suddividere la volumetria dell’edificio contenente l’attività in compartimenti antincendio, oppure interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra ambiti della stessa attività.

Nel presente studio non sono state attuate distanze di separazione per limitare la propagazione dell’incendio verso altre attività, poiché l’autorimessa è interrata.

La suddivisione della volumetria dell’autorimessa in compartimenti non è prevista, in quanto non sono presenti aree con diversi profili di rischio  $R_{vita}$ . Pertanto, il compartimento antincendio coincide con l’intera autorimessa. La superficie lorda del compartimento antincendio così identificato rispetta le imposizioni illustrate in tabella. La quota del compartimento, anche se sono state previste per lo svolgimento dello studio diverse altezze interne, non risulta mai inferiore ai  $-5$  m, pertanto la

superficie massima del compartimento deve essere 8000 m<sup>2</sup>. Quindi, avendo l'autorimessa una superficie lorda di 3265 m<sup>2</sup>, tale limitazione è ampiamente soddisfatta.

R <sub>vita</sub>	Quota del compartimento								
	< -15 m	< -10 m	< -5 m	< -1 m	≤ 12 m	≤ 24 m	≤ 32 m	≤ 54 m	> 54 m
A1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
A2	1000	2000	4000	8000	64000	16000	8000	4000	2000
A3	[na]	1000	2000	4000	32000	4000	2000	1000	[na]
A4	[na]	[na]	[na]	[na]	16000	[na]	[na]	[na]	[na]
B1	[na]	2000	8000	16000	64000	16000	8000	4000	2000
B2	[na]	1000	4000	8000	32000	8000	4000	2000	1000
B3	[na]	[na]	1000	2000	16000	4000	2000	1000	[na]
Cii1, Ciii1	[na]	[na]	[na]	2000	16000	8000	8000	8000	4000
Cii2, Ciii2	[na]	[na]	[na]	1000	8000	4000	4000	2000	2000
Cii3, Ciii3	[na]	[na]	[na]	[na]	4000	2000	2000	1000	1000
D1	[na]	[na]	[na]	1000	2000	2000	1000	1000	1000
D2	[na]	[na]	[na]	1000	2000	1000	1000	1000	[na]
E1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
E2	1000	2000	4000	8000	[1]	16000	8000	4000	2000
E3	[na]	[na]	2000	4000	16000	4000	2000	[na]	[na]

La massima superficie lorda è ridotta del 50% per i compartimenti con R<sub>ambiente</sub> significativo.  
 [na] Non ammesso  
 [1] Senza limitazione

Tabella 16. Massima superficie lorda dei compartimenti in m<sup>2</sup>

Poiché l'autorimessa è interrata gli occupanti per poter raggiungere il *luogo sicuro* devono intraprendere delle scale. Poiché nell'autorimessa è prevista la presenza non occasionale di occupanti aventi disabilità motorie, ai fini della misura Esodo (S.4) i corpi scala rappresentano un *luogo sicuro temporaneo*, e di conseguenza sono inseriti in compartimenti antincendio. Le cui specifiche sono trattate nel capitolo 5.2.3.4 Esodo.

I compartimenti, così identificati all'interno dell'autorimessa, e gli elementi di compartimentazione hanno una classe di resistenza al fuoco pari a 60 secondi. Le prestazioni degli elementi di compartimentazione sono le seguenti:

Simbolo	Prestazione	Criterio di impiego
R	Capacità portante	Per prodotti ed elementi costruttivi portanti
E	Tenuta	Contenimento di fumi, gas caldi e fiamme
I	Isolamento	Limitazione della possibilità di propagazione dell'incendio per contatto tra materiale combustibile e faccia dell'elemento di compartimentazione non esposta all'incendio
S	Tenuta di fumo	Contenimento di fumi e gas freddi

Le chiusure dei varchi di comunicazione tra il compartimento autorimessa e i corpi scala possiedono dispositivo di auto chiusura meccanico.

Esodo S.4

Lo scopo del sistema d'esodo è di consentire agli occupanti di raggiungere un luogo sicuro o permanere al sicuro, autonomamente oppure con assistenza, prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività in cui si trovano. Le condizioni incapacitanti si raggiungono quando un occupante diventa incapace a mettersi al sicuro autonomamente a causa degli effetti dell'incendio. Inoltre, il sistema di esodo deve garantire la prestazione richiesta a prescindere dall'intervento dei Vigili del fuoco.

Il livello di prestazione assegnato è I, in quanto l'autorimessa in esame non presenta né complessità geometriche particolari né dimensioni eccessive né vincoli architettonici.

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 17. Livelli di prestazione per la misura Esodo (S.4)

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 18. Criteri di attribuzione per i livelli di prestazione riguardanti la misura Esodo (S.4)

## SOLUZIONE CONFORME

L'unica prescrizione prevista dalla RTV V.6 è che non è ammessa nei compartimenti SC la presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto. L'autorimessa in questione è classificata SA, quindi tale prescrizione non è stata presa in considerazione.

La soluzione conforme mediante RTO prevede i seguenti step iterativi:

- Definizione dei dati di ingresso (paragrafo S.4.6 del Codice): profilo di rischio  $R_{vita}$  di riferimento e affollamento;
- Assicurare i requisiti antincendio minimi per l'esodo (paragrafo S.4.7 del Codice);
- Definizione dello schema di vie di esodo fino a luogo sicuro e conseguente dimensionamento (paragrafi S.4.8 e S.4.9 del Codice);
- Verifica della rispondenza del sistema d'esodo alle caratteristiche del sistema d'esodo (paragrafo S.4.5 del Codice). Qualora la verifica non sia soddisfatta si reitera la procedura.

Ogni componente del sistema d'esodo è dimensionato in funzione del più gravoso, ai fini dell'esodo, dei profili di rischio  $R_{vita}$  dei compartimenti serviti. L'autorimessa presenta un solo profilo di rischio vita  $R_{vita} = A2$ ; pertanto, il sistema d'esodo è progettato su questa base.

L'affollamento nell'autorimessa è determinato in ragione di 1 persona ogni veicolo parchato in base alla tabella S.4-13 del Codice. Quindi, avendo a disposizione 97 box auto l'affollamento totale è stato previsto pari a 97 persone, ovvero, essendo la superficie complessiva pari a 3265 m<sup>2</sup>, 0.03 persone/m<sup>2</sup>.

La convergenza dei flussi di occupanti da distinte vie d'esodo non è ostacolata (es. da arredi fissi o mobili, da conformazioni geometriche del sito, ..).

Per definire il sistema d'esodo il primo passo è stato individuare il numero minimo di uscite indipendenti, ritenute tali quando la probabilità che possano essere contemporaneamente rese indisponibili dagli effetti dell'incendio è minimizzata. Il numero minimo di uscite indipendenti, secondo la *tabella 17* (tratta dal Codice), per l'autorimessa in esame è 2. Nell'autorimessa il numero di uscite è 3, denominate US\_1, US\_2, US\_3, e sono tra loro indipendenti. Le coppie di vie d'esodo orizzontali per poter essere considerate indipendenti, e di conseguenza le uscite a cui adducono anch'esse indipendenti, devono formare un angolo mediante i loro percorsi rettilinei > 45°. Nella figura seguente si può apprezzare come tale condizione sia soddisfatta.

$R_{vita}$	Affollamento dell'ambito servito	Numero minimo uscite indipendenti
Qualsiasi	> 500 occupanti	3
B1 [1], B2 [1], B3 [1]	> 200 occupanti	
Altri casi		2
Se ammesso corridoio cieco secondo le prescrizioni del paragrafo S.4.8.2.		1
[1] Ambiti con densità d'affollamento > 0,4 p/m <sup>2</sup>		

Tabella 19. Numero minimo di uscite indipendenti da locale o spazio a cielo libero

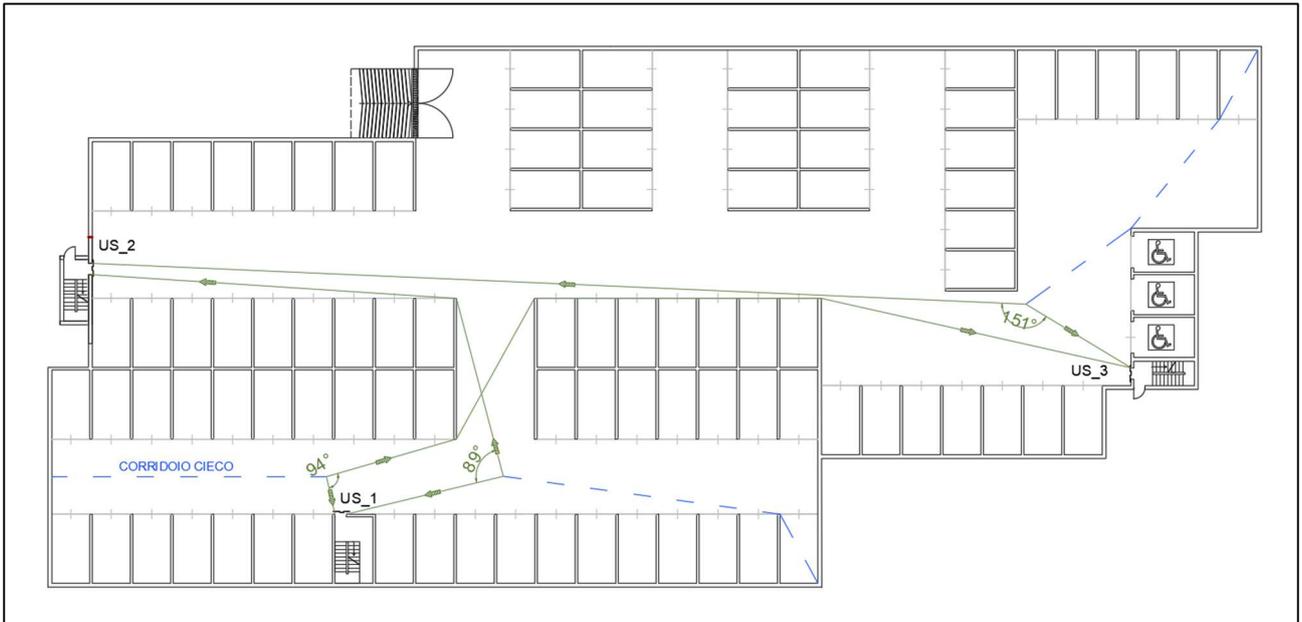


Figura 7. Determinazione uscite indipendenti

Successivamente è stata ricavata la lunghezza massima dei corridoi ciechi, prendendo come riferimento la *tabella 18*, tratta anch'essa dal Codice. Il corridoio cieco è un percorso che offre agli occupanti una sola via d'esodo senza alternative.

$R_{vita}$	Max affollamento	Max lunghezza $L_{cc}$	$R_{vita}$	Max affollamento	Max lunghezza $L_{cc}$
A1		$\leq 45$ m	B1, E1	$\leq 50$ occupanti	$\leq 25$ m
A2	$\leq 100$ occupanti	$\leq 30$ m	B2, E2		$\leq 20$ m
A3		$\leq 15$ m	B3, E3		$\leq 15$ m
A4	$\leq 50$ occupanti	$\leq 10$ m	Cii1, Ciii1		$\leq 20$ m
D1		$\leq 20$ m	Cii2, Ciii2		$\leq 15$ m
D2		$\leq 15$ m	Cii3, Ciii3		$\leq 10$ m

Tabella 20. Lunghezze massime per il corridoio cieco

In questo caso (A2) i corridoi ciechi non possono superare la lunghezza di 30 m e l'affollamento dell'ambito che servono non deve essere superiore a 100 occupanti. Questi requisiti nel caso studio sono rispettati ma non sono molto a favore di sicurezza, in quanto vi è la presenza di corridoio ciechi fino a 28.5 m.

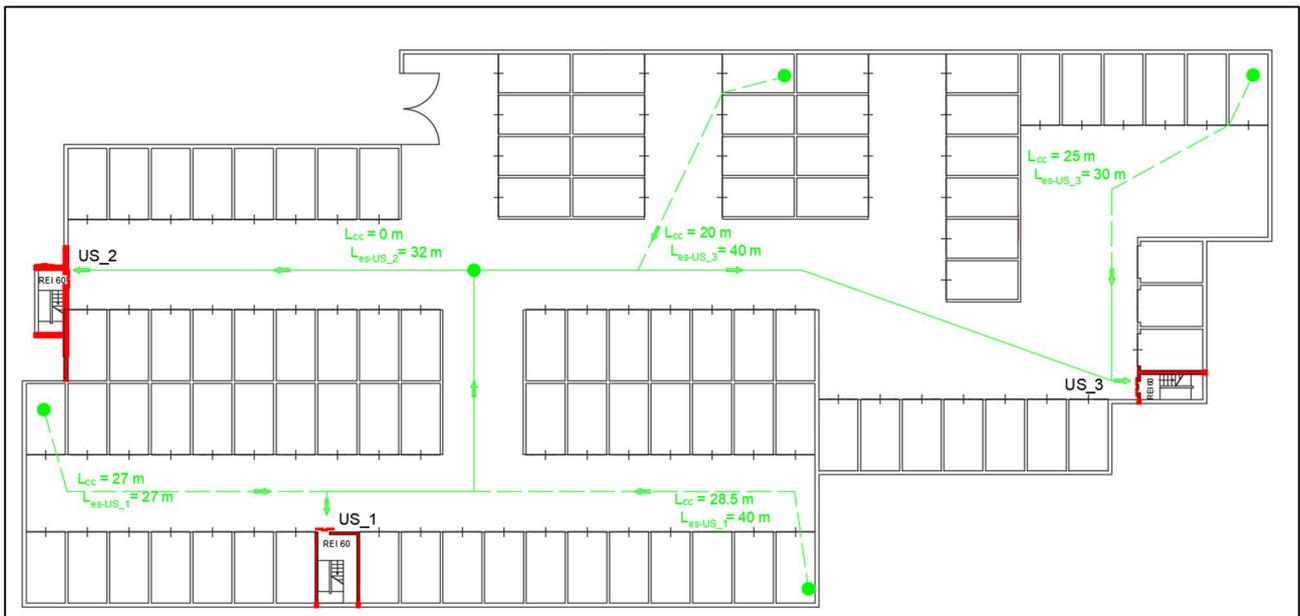


Figura 8. Verifica lunghezze d'esodo  $L_{es}$  e corridoio ciechi  $L_{cc}$

Per quanto riguarda le vie d'esodo verticali, corrispondenti alle scale che portano all'esterno, anch'esse si configurano indipendenti in quanto sono state inserite in compartimenti antincendio distinti.

Per la determinazione della lunghezza d'esodo è stata presa come riferimento la seguente *tabella 19* tratta dal Codice.

$R_{vita}$	Max lunghezza d'esodo $L_{es}$	$R_{vita}$	Max lunghezza d'esodo $L_{es}$
A1	$\leq 70$ m	B1, E1	$\leq 60$ m
A2	$\leq 60$ m	B2, E2	$\leq 50$ m
A3	$\leq 45$ m	B3, E3	$\leq 40$ m
A4	$\leq 30$ m	Cii1, Ciii1	$\leq 40$ m
D1	$\leq 30$ m	Cii2, Ciii2	$\leq 30$ m
D2	$\leq 20$ m	Cii3, Ciii3	$\leq 20$ m

Tabella 21. Massime lunghezze d'esodo

La soluzione conforme prevede che almeno una delle lunghezze d'esodo determinate da qualsiasi punto dell'attività non deve superare i valori massimi della tabella sopra, in funzione del profilo di rischio  $R_{vita}$ . Tale prescrizione nel caso studio è rispettata, ma anche in questo caso non gioca molto a favore di sicurezza, in quanto le lunghezze d'esodo sono molto vicine al limite dei 60 m.

Per quanto riguarda l'altezza utile delle vie di esodo, valutata a partire dal piano di calpestio, il Codice impone un minimo di 2 m. Questa limitazione nella progettazione è rispettata, infatti l'altezza interna dell'autorimessa è di 2.4 m.

Il calcolo delle larghezze delle vie d'esodo viene svolto separatamente per le vie d'esodo orizzontali e per quelle verticali.

### LARGHEZZA VIE D'ESODO ORIZZONTALI

La larghezza minima della via d'esodo orizzontale ( $L_o$ ) è calcolata nel seguente modo:

$$L_o = L_u \cdot n_o$$

dove:

$L_u$  larghezza unitaria per le vie d'esodo orizzontali ottenuta dalla *tabella 20* in funzione del profilo di

rischio  $R_{vita}$  di riferimento [mm/persona]

$n_o$  numero degli occupanti che impiegano tale via d'esodo orizzontale, nelle condizioni d'esodo più gravose

$R_{vita}$	Larghezza unitaria	$\Delta t_{coda}$	$R_{vita}$	Larghezza unitaria	$\Delta t_{coda}$
A1	3,40	330 s	B1, C1, E1	3,60	310 s
A2	3,80	290 s	B2, C2, D1, E2	4,10	270 s
A3	4,60	240 s	B1 [1], B2 [1], B3, C3, D2, E3	6,20	180 s
A4	12,30	90 s			

I valori delle larghezze unitarie sono espressi in mm/persona ed assicurano una durata dell'attesa in coda, per gli occupanti che impiegano la specifica via d'esodo, non superiore a  $\Delta t_{coda}$ .

[1] Per occupanti prevalentemente in piedi e densità d'affollamento  $> 0,7 \text{ p/m}^2$ .

Tabella 22. Larghezze unitarie per vie d'esodo orizzontali

Quando si parla di condizioni d'esodo più gravose si deve fare riferimento alla condizione in cui un'uscita è resa indisponibile dagli effetti dell'incendio (es. l'abbassamento della visibilità, sotto una certa soglia, a causa del fumo non permette agli occupanti di vedere l'uscita verso cui devono dirigersi), e quindi il calcolo della larghezza delle vie d'esodo è fatto in riferimento alle uscite restanti. In merito a ciò il Codice parla di *verifica di ridondanza*, ovvero verificare che rendendo indisponibile un'uscita alla volta le restanti vie d'esodo indipendenti da questa abbiano larghezza complessiva sufficiente a consentire l'esodo degli occupanti.

Rendendo indisponibile ad esempio US\_1, l'affollamento totale di 97 persone si divide in due flussi che vanno verso l'US\_2 e l'US\_3, rispettivamente di 49 e 48 persone.

	indisponibile	$n_o$ [persone]	$L_u$ [mm/persona]	$L_o$ [mm]
US_1				
US_2		49	3.8	186.2
US_3		48	3.8	182.4

Pertanto, la larghezza minima delle vie d'esodo risulta essere pari a 186.2 mm. Tuttavia, tale valore non è stato preso in considerazione poiché la soluzione conforme per la misura Esodo fornisce comunque un valore minimo da rispettare per la larghezza delle vie d'esodo orizzontali (vedasi *tabella 21*), che è pari a 900 mm per un affollamento d'ambito < 300 occupanti. Tale valore nell'autorimessa è rispettato. Si porta all'attenzione del lettore che allo stesso risultato si perviene anche rendendo indisponibili le altre uscite, tale verifica non è stata condotta, quindi, perché ritenuta superflua.

Larghezza	Criterio
≥ 1200 mm	Affollamento dell'ambito servito > 1000 occupanti oppure > 200 occupanti prevalentemente in piedi e densità d'affollamento > 0,7 p/m <sup>2</sup>
≥ 1000 mm	Affollamento dell'ambito servito > 300 occupanti
≥ 900 mm	Affollamento dell'ambito servito ≤ 300 occupanti Larghezza adatta anche a coloro che impiegano ausili per il movimento
≥ 800 mm	Varchi da ambito servito con affollamento ≤ 50 occupanti
≥ 700 mm	Varchi da ambito servito con affollamento ≤ 10 occupanti (es. singoli uffici, camere d'albergo, locali di abitazione, appartamenti, ...)
≥ 600 mm	Ambito servito ove vi sia esclusiva presenza di personale specificamente formato, oppure occasionale e di breve durata di un numero limitato di occupanti (es. locali impianti o di servizio, piccoli depositi, ...).
L'affollamento dell'ambito servito corrisponde al totale degli occupanti che impiegano ciascuna delle vie d'esodo che si dipartono da tale ambito.	

Tabella 23: Larghezze minime per vie di esodo orizzontali

### LARGHEZZA VIE D'ESODO VERTICALI

La larghezza minima della via d'esodo orizzontale ( $L_0$ ) è calcolata nel seguente modo:

$$L_v = L_u \cdot n_n$$

dove:

$L_u$  larghezza unitaria per le vie d'esodo orizzontali ottenuta dalla tabella ... in funzione del profilo di rischio  $R_{vita}$  di riferimento [mm/persona]

$n_v$  numero degli occupanti che impiegano tale via d'esodo verticale, nelle condizioni d'esodo più gravose

Il calcolo è stato fatto nell'ipotesi di Esodo simultaneo, ovvero evacuazione contemporanea di tutti gli occupanti.

R <sub>vita</sub>	Numero totale dei piani serviti dalla via d'esodo verticale										Δt <sub>coda</sub>
	1	2 [F]	3	4	5	6	7	8	9	> 9	
A1	4,00	3,60	3,25	3,00	2,75	2,55	2,40	2,25	2,10	2,00	330 s
B1, C1, E1	4,25	3,80	3,40	3,10	2,85	2,65	2,45	2,30	2,15	2,05	310 s
A2	4,55	4,00	3,60	3,25	3,00	2,75	2,55	2,40	2,25	2,10	290 s
B2, C2, D1, E2	4,90	4,30	3,80	3,45	3,15	2,90	2,65	2,50	2,30	2,15	270 s
A3	5,50	4,75	4,20	3,75	3,35	3,10	2,85	2,60	2,45	2,30	240 s
B1 [1], B2 [1], B3, C3, D2, E3	7,30	6,40	5,70	5,15	4,70	4,30	4,00	3,70	3,45	3,25	180 s
A4	14,60	11,40	9,35	7,95	6,90	6,10	5,45	4,95	4,50	4,15	90 s

I valori delle larghezze unitarie sono espressi in mm/persona ed assicurano una durata dell'attesa in coda, per gli occupanti che impiegano la specifica via d'esodo, non superiore a Δt<sub>coda</sub>.

I valori delle larghezze unitarie devono essere incrementati per le *scale* secondo le indicazioni della tabella S.4-30, oppure per le *rampe* secondo le indicazioni della tabella S.4-31.

[F] Impiegato anche nell'esodo *per fasi*

[1] Per occupanti prevalentemente in piedi e densità d'affollamento > 0,7 p/m<sup>2</sup>.

Tabella 24. Larghezze unitarie per vie d'esodo verticali

Rendendo indisponibile, ad esempio, l'uscita US\_1 di conseguenza si rende indisponibile anche la relativa via d'esodo verticale, quindi, l'affollamento totale dell'autorimessa si divide in due flussi di persone che devono intraprendere le restanti vie d'esodo verticali.

	indisponibile	n <sub>o</sub> [persone]	L <sub>u</sub> [mm/persona]	Lo [mm]
Scala_US_1				
Scala_US_2		49	4.55	222.95
Scala_US_3		48	4.55	218.4

Alla luce dei risultati ottenuti la larghezza minima delle vie d'esodo verticali deve essere di 222.95 mm. Tuttavia, anche in questo caso, il Codice comunque impone delle prescrizioni minime per la larghezza delle vie d'esodo verticali, che per un affollamento inferiore a 300 occupanti è di 900 mm (tabella 23). Tale larghezza nelle scale che portano all'esterno è rispettata ed è pari proprio a 900 mm.

Per questo valore non sono state previste maggiorazioni, in quanto i gradini delle scale presentano una pedata di 30 cm e un'alzata di 17 cm costanti. Inoltre, per evitare l'inciampo degli occupanti lungo le scale d'esodo sono presenti pianerottoli di sosta a mezza altezza.

L'apertura delle porte lungo le vie d'esodo non ostacola il deflusso degli occupanti; infatti, avviene su aree orizzontali, di profondità pari a 2 m, di gran lunga maggiore della larghezza complessiva del varco. Inoltre, tale apertura avviene nel verso dell'esodo e mediante dispositivo di apertura dettato dalla UNI EN 1125.

Larghezza	Criterio
≥ 1200 mm	Affollamento dell'ambito servito > 1000 occupanti oppure > 200 occupanti prevalentemente in piedi e densità d'affollamento > 0,7 p/m <sup>2</sup>
≥ 1000 mm	Affollamento dell'ambito servito > 300 occupanti
≥ 900 mm	Affollamento dell'ambito servito ≤ 300 occupanti
≥ 600 mm	Ambito servito ove vi sia esclusiva presenza di personale specificamente formato, oppure occasionale e di breve durata di un numero limitato di occupanti (es. locali impianti o di servizio, piccoli depositi, ...).
L'affollamento dell'ambito servito corrisponde al totale degli occupanti che impiegano ciascuna delle vie d'esodo che si dipartono da tale ambito.	

Tabella 25. Larghezza minima vie di esodo verticali

### LARGHEZZA MINIMA USCITE FINALI

Le uscite finali sono i varchi del sistema d'esodo che immettono all'esterno, ovvero per il caso in esame considerato luogo sicuro.

La larghezza minima dell'uscita finale  $L_F$  è così calcolata:

$$L_F = \sum L_{o,i} + \sum L_{v,i}$$

Con:

$L_{o,i}$  larghezza della i-esima via d'esodo orizzontale che adduce all'uscita finale, come calcolata con l'equazione precedente (*LARGHEZZA VIE D'ESODO ORIZZONTALI*)

$L_{v,i}$  larghezza della i-esima via d'esodo verticale che adduce all'uscita finale, come calcolata con l'equazione precedente (*LARGHEZZA VIE D'ESODO VERTICALI*)

Poiché gli unici percorsi che immettono su un'uscita finale sono le vie d'esodo verticali, nel calcolo della larghezza minime delle uscite finali non sono state prese in considerazione le vie d'esodo orizzontali. Inoltre, ogni scala d'esodo immette su un'uscita finale distinta.

Pertanto,  $L_F = L_v = 222.95$  mm. Tale valore, ovviamente, non è stato preso in considerazione in quanto la larghezza delle vie d'esodo verticali è stata precedentemente imposta a 900mm. In definitiva ogni uscita finale ha una larghezza effettiva di 900 mm.

Nell'autorimessa sono disponibili dei box auto per disabili, quindi nell'attività si tiene conto della presenza non occasionale di tali occupanti. Considerando che le persone con disabilità non sono in grado di raggiungere autonomamente il luogo sicuro attraverso le scale, a tal proposito esistono degli spazi calmi all'interno dei compartimenti antincendio che a loro volta ospitano le vie d'esodo verticali. Ogni spazio calmo ha dimensioni in modo da poter contenere tutti gli occupanti con disabilità ipotizzati in numero pari a tre, poichè per il caso in esame considerando che è un'autorimessa privata e che gli stalli per disabili sono tre. Un occupante su sedia a ruote in base alla tabella S.4-36 del Codice di prevenzione incendi, occupa 1.77 m<sup>2</sup>/persona, quindi ogni spazio calmo deve presentare una superficie minima di 1.77 \* 3 = 5.31 m<sup>2</sup>. Nel caso specifico ogni spazio calmo ha una superficie maggiore di 5.31 m<sup>2</sup>, quindi la prescrizione è soddisfatta.

Al fine di un acile impiego e riconoscimento del sistema d'esodo da parte degli occupanti è presente all'interno dell'attività apposita segnaletica di sicurezza.

Poiché l'autorimessa è interrata deve essere previsto un impianto di illuminazione di sicurezza lungo le vie d'esodo. Tale impianto, durante l'esodo garantirà un illuminamento al suolo orizzontale sufficiente a garantire l'esodo degli occupanti, in conformità alle indicazioni della UNI EN 1838.

Gestione della sicurezza antincendio S.5

La gestione della sicurezza antincendio (GSA) rappresenta la misura antincendio organizzativa e gestionale dell'attività atta a garantire, nel tempo, un adeguato livello di sicurezza in caso di incendio. La RTV V.6 fornisce le seguenti prescrizioni che gli occupanti dell'attività devono seguire.

Nell'autorimessa è vietato:

1. fumare;
2. l'uso di fiamme libere o l'esecuzione di lavorazioni a caldo e l'effettuazione di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio;
3. eseguire manutenzione, riparazioni dei veicoli o prove di motori, al di fuori delle aree TB (aree destinate ai servizi annessi all'autorimessa);
4. il deposito o il travaso di fluidi infiammabili o carburante;
5. la presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative;
6. il riempimento o lo svuotamento di serbatoi di carburante;
7. l'accesso o il parcheggio di veicoli con perdite di carburante;
8. il parcheggio di veicoli trasportanti sostanze o miscele pericolose se non in presenza di specifica valutazione del rischio;
9. il parcheggio di un numero di veicoli superiore a quello previsto;
10. il parcheggio di veicoli con motori endotermici non in regola con gli obblighi di revisione periodica a meno che non siano provvisti di quantitativi limitati di carburante.

Nell'autorimessa è obbligatorio:

1. individuare i posti auto per tipologia indicando l'eventuale presenza di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici o impianti similari;

Sudetti obblighi e divieti devono essere esposti mediante idonea cartellonistica.

Riferendosi alla RTO è stato attribuito all'attività il livello I di prestazione, il quale richiede una GSA per il mantenimento delle condizioni di esercizio delle condizioni di esercizio dell'attività e di risposta all'emergenza.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Gestione della sicurezza antincendio per il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza
II	Gestione della sicurezza antincendio per il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza con struttura di supporto
III	Gestione della sicurezza antincendio per il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza con struttura di supporto dedicata

Tabella 26. Livelli di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio GSA (S.5)

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Attività ove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>● profili di rischio:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>R_{vita}</math> compresi in A1, A2;</li> <li>○ <math>R_{beni}</math> pari a 1;</li> <li>○ <math>R_{ambiente}</math> non significativo;</li> </ul> </li> <li>● non prevalentemente destinata ad occupanti con disabilità;</li> <li>● tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -10 m e 54 m;</li> <li>● carico di incendio specifico <math>q_f \leq 1200 \text{ MJ/m}^2</math>;</li> <li>● non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative;</li> <li>● non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.</li> </ul>
II	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
III	Attività ove sia verificato <i>almeno una</i> delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>● profilo di rischio <math>R_{beni}</math> compreso in 3, 4;</li> <li>● se aperta al pubblico: affollamento complessivo &gt; 300 occupanti;</li> <li>● se non aperta al pubblico: affollamento complessivo &gt; 1000 occupanti;</li> <li>● numero complessivo di posti letto &gt; 100 e profili di rischio <math>R_{vita}</math> compresi in D1, D2, Ciii1, Ciii2, Ciii3;</li> <li>● si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative ed affollamento complessivo &gt; 25 occupanti;</li> <li>● si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio ed affollamento complessivo &gt; 25 occupanti.</li> </ul>

Tabella 27. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio GSA (S.5)

## SOLUZIONE CONFORME

La soluzione conforme per il livello I di prestazione impone che il responsabile dell'attività organizzi la GSA sia in esercizio che in emergenza. Le altre prescrizioni previste dalla soluzione conforme non sono state prese in considerazione in quanto l'autorimessa in esame non è un'attività lavorativa.

In ogni caso devono essere eseguite delle azioni atte a prevenire un incendio. Esse sono:

1. pulizia dei luoghi ed ordine ai fini della riduzione sostanziale della probabilità di innesco di incendi e della velocità di crescita dei focolari;
2. riduzione degli inneschi;
3. riduzione del carico di incendio;
4. sostituzione di materiale combustibile con velocità di propagazione dell'incendio rapida, con altri con velocità d'incendio più lenta;
5. controllo e manutenzione regolare dei sistemi, dispositivi, attrezzature e degli impianti rilevanti ai fini della sicurezza antincendio;
6. controllo degli accessi e sorveglianza, senza che ciò possa limitare la disponibilità del sistema d'esodo;
7. gestione dei lavori di manutenzione o di modifica dell'attività; il rischio d'incendio aumenta notevolmente quando si effettuano lavori di manutenzione ordinaria e straordinaria e di modifica, in quanto possono essere: condotte operazioni pericolose, o disattivati

temporaneamente gli impianti di sicurezza, o sospesa temporaneamente la continuità di compartimentazione, o impiegate sostanze o miscele pericolose;

8. istruzioni e segnaletica contenenti i divieti e le precauzioni da osservare.

Per una corretta progettazione della GSA deve esistere uno scambio di informazioni tra il progettista e il responsabile dell'attività. I loro compiti sono sintetizzati nella *Tabella 26*.

<b>Responsabile dell'attività</b>	<b>Progettista</b>
Fornisce al progettista le informazioni relative ai pericoli di incendio e tutti gli altri dati di input sull'attività necessari ai fini della valutazione del rischio di incendio (capitolo G.2). [1]	Riceve le informazioni dal responsabile dell'attività
Valutano congiuntamente le misure di prevenzione incendi come da paragrafo S.5.5 [1]	
Valutano il rischio di incendio dell'attività e ne definiscono la strategia antincendio [1]	
Contribuisce all'attività di progettazione della GSA. [1]	Definisce e documenta il modello della GSA.
Attua le limitazioni e le modalità d'esercizio ammesse per l'appropriata gestione della sicurezza antincendio dell'attività, al fine di limitare la probabilità d'incendio, garantire il corretto funzionamento dei sistemi di sicurezza e la gestione dell'emergenza qualora si sviluppi un incendio,	Fornisce al responsabile dell'attività le indicazioni, le limitazioni e le modalità d'esercizio ammesse per l'appropriata gestione della sicurezza antincendio dell'attività, al fine di limitare la probabilità d'incendio, garantire il corretto funzionamento dei sistemi di sicurezza e la gestione dell'emergenza qualora si sviluppi un incendio,
[1] Il committente si relaziona direttamente con il progettista nel caso in cui il responsabile dell'attività non sia noto in fase di progettazione.	

*Tabella 28. Compiti del progettista e del responsabile dell'attività in merito alla progettazione della GSA*

La gestione della sicurezza antincendio in esercizio contribuisce all'efficacia delle altre misure antincendio adottate, inoltre essa deve prevedere almeno:

1. la riduzione della probabilità di insorgenza di un incendio, adottando misure di prevenzione incendi, buona pratica nell'esercizio e programmazione della manutenzione;
2. il controllo e manutenzione di impianti e attrezzature antincendio (registro dei controlli e controllo e manutenzione di impianti ed attrezzature antincendio);
3. la preparazione alla gestione dell'emergenza, tramite la pianificazione delle azioni da eseguire in caso di emergenza, esercitazioni antincendio e prove di evacuazione periodiche.

La preparazione all'emergenza è un importante tassello della GSA, la cui descrizione per il livello di prestazione I, viene sintetizzata nella tabella seguente.

Livello di prestazione	Preparazione all'emergenza
I	<p>La preparazione all'emergenza può essere limitata all'informazione al personale ed agli occupanti sui comportamenti da tenere. Essa deve comprendere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● istruzioni per la chiamata del soccorso pubblico e le informazioni da fornire per consentire un efficace soccorso;</li> <li>● istruzioni di primo intervento antincendio, attraverso: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ azioni del responsabile dell'attività in rapporto alle squadre di soccorso;</li> <li>○ azioni degli eventuali addetti antincendio in riferimento alla lotta antincendio ed all'esodo, ivi compreso l'impiego di dispositivi di protezione ed attrezzature;</li> <li>○ azioni per la messa in sicurezza di apparecchiature ed impianti;</li> </ul> </li> <li>● istruzioni per l'esodo degli occupanti, anche per mezzo di idonea segnaletica;</li> <li>● istruzioni generali per prestare assistenza agli occupanti con specifiche necessità;</li> <li>● istruzioni specifiche per prestare assistenza agli occupanti con specifiche necessità, in caso di presenza non occasionale;</li> <li>● Istruzioni per il ripristino delle condizioni di sicurezza dopo l'emergenza.</li> </ul>

Tabella 29. Preparazione all'emergenza

La gestione della sicurezza in emergenza deve prevedere almeno l'attivazione dei servizi di soccorso pubblico, esodo degli occupanti, messa in sicurezza di apparecchiature ed impianti. Le procedure di emergenza dovrebbero partire da quando l'incendio viene rivelato.

Controllo dell'incendio S.6

La presente misura antincendio ha come scopo l'individuazione dei presidi antincendio da installare nell'attività per:

- La protezione nei confronti di un principio di incendio;
- La protezione manuale o automatica, finalizzata all'inibizione o al controllo dell'incendio;
- La protezione mediante completa estinzione di un incendio.

In questo caso il livello di prestazione è attribuito seguendo la regola tecnica verticale RTV V.6. In particolare, trattandosi di un'autorimessa classificata come HB, SA, AB è stato attribuito il livello di prestazione III.

Autorimessa	Autorimessa								
	SA				SB				SC
	AA	AB	AC	AD	AA	AB	AC	AD	
HA		II [1]							
HB	II	III	III [1]	IV	II	III	III [1]	IV	IV
HC; HD	IV				IV				

[1] Incremento di un livello di prestazione per autorimesse chiuse.

Tabella 30. Livelli di prestazione per il controllo dell'incendio

Il livello di prestazione III, in riferimento alla RTO, permette il controllo o l'estinzione manuale dell'incendio.

## SOLUZIONE CONFORME

Sono stati previsti estintori d'incendio e una rete idranti a protezione dell'intera autorimessa.

### **Estintori**

L'estintore è un presidio antincendio complementare alle altre misure di protezione attiva e di sicurezza in caso di incendio. La capacità estinguente di un estintore, determinata sperimentalmente, ne indica la prestazione antincendio convenzionale.

L'impiego di un estintore è riferibile solo ad un principio di incendio e l'entità della capacità estinguente ad esso associata fornisce un grado comparativo della semplicità nelle operazioni di estinzione.

Per garantire la protezione dell'intera attività, sono stati previsti estintori portatili lungo i percorsi di esodo e vicino le uscite. La loro posizione è ben visibile e facilmente accessibile per consentire un intervento rapido in caso di emergenza.

Un estintore è caratterizzato oltre che dalla carica e dalla capacità estinguente, anche dal tipo di estinguente contenuto. Per selezionare il tipo di estinguente e di conseguenza l'estintore da utilizzare si è fatto riferimento alla classe di fuoco (natura del combustibile) che può verificarsi in un'autorimessa. Le classi di fuoco selezionate sono:

- A: fuochi di materiali solidi;
- B: fuochi di materiali liquidi o solidi liquefacibili.

### *Estintori di classe A*

In riferimento alle caratteristiche dell'autorimessa presa in esame, con profilo  $R_{vita} = A2$ , in base alla tabella seguente tratta dal Codice si ha:

Profilo di rischio $R_{vita}$	Max distanza di raggiungimento	Minima capacità estinguente	Minima carica nominale
A1, A2	40 m	13 A	6 litri o 6 kg
A3, B1, B2, C1, C2, D1, D2, E1, E2	30 m	21 A	
A4, B3, C3, E3	20 m	27 A	

Tabella 31. Criteri di installazione degli estintori di classe A

- Massima di stanza per raggiungere l'estintore: 40 m
- Minima capacità estinguente dell'estintore: 13
- Minima carica nominale: 6 litri o 6 kg.

### *Estintori di classe B*

La determinazione della capacità estinguente e il numero degli estintori di classe B è funzione della quantità di liquidi infiammabile presente nell'attività. Inoltre, devono essere collocati ad una distanza non superiore a 15 m dalle potenziali sorgenti di incendio.

Nell'autorimessa, considerando che il serbatoio di un'auto possa contenere 40 litri di carburante, sono presenti 97 autoveicoli, per un totale di 3880 litri di carburante. In base alla seguente tabella, anch'essa tratta dal Codice, si ha:

Quantità di liquido infiammabile stoccato o in lavorazione L	Minima capacità estinguente	Numero di estintori	Minima carica nominale
$L \leq 50$ litri	70 B	1	4 kg o 3 litri, 5 kg se a CO <sub>2</sub>
$50 < L \leq 100$ litri	89 B	2	
$100 < L \leq 200$ litri	113 B	3	6 kg o 6 litri
	144 B	2	
$L \geq 200$ litri	233 B	$\geq 3$ [1]	

[1] Il numero deve essere determinato sulla base della valutazione del rischio, tenendo conto della quantità e della tipologia di liquido infiammabile stoccato o in lavorazione, della geometria dei contenitori e della superficie esposta; in queste circostanze è preferibile prevedere anche l'installazione di estintori carrellati.

Tabella 32. Criterio per l'installazione di estintori di classe B

Nell'autorimessa sono presenti 9 estintori idrici polivalenti 13A 233B, in ottemperanza a quanto affermato sopra. Nell'immagine sottostante si può notare il posizionamento e il rispetto del requisito di raggiungibilità entro i 15 m.

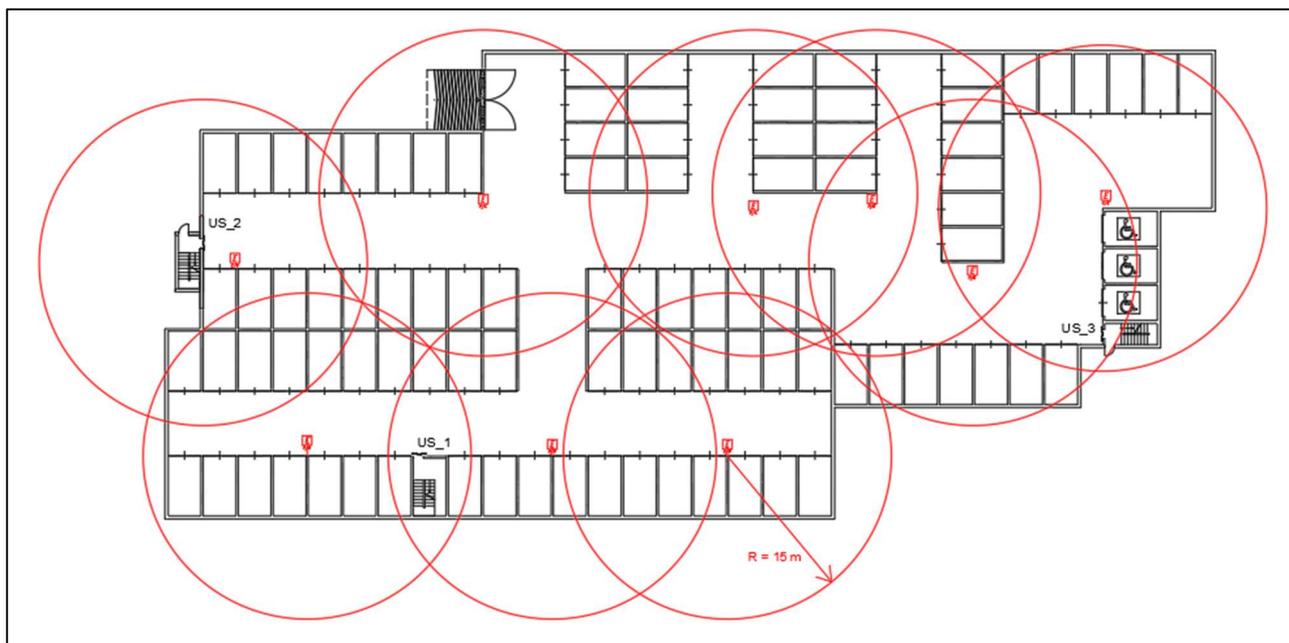


Figura 9. Disposizione e verifica di raggiungimento degli idranti all'interno dell'autorimessa

### Rete di idranti

La rete idranti (RI) è costituita da un sistema di tubazioni fisse per l'alimentazione idrica di uno o più apparecchi di erogazione. Per applicare la soluzione conforme la RTO impone di seguire la norma UNI 10779 (Impianti di estinzione incendi - Reti di idranti - Progettazione, installazione ed esercizio). Al fine dell'applicazione della norma UNI 10779, la RTV V.6 propone dei parametri minimi di progettazione riportati in *tabella 31*.

Classificazione attività		Livello di pericolosità	Protezione esterna	Caratteristiche alimentazione idrica (UNI EN 12845)
Superficie lorda	Quota dei piani			
AA	HA, HB	---	---	---
	HC, HD	1	Non richiesta	Singola [1]
AB	HA, HB, HC	1	Non richiesta	Singola [1]
	HD	2	Non richiesta	Singola superiore [2]
AC	HA, HB, HC	2	Sì [3]	Singola
	HD	2	Sì [3]	Singola superiore
AD	Qualsiasi	3	Sì [4]	Singola superiore

[1] Per le autorimesse SA è ammessa l'alimentazione promiscua.  
[2] Per le autorimesse SA è ammessa l'alimentazione singola.  
[3] Protezione esterna non richiesta se si adotta livello di pericolosità 3.  
[4] Protezione esterna non richiesta per autorimesse isolate e completamente interrrate se si adotta livello di pericolosità 3.

Tabella 33. Parametri progettuali per la rete idranti secondo UNI 10779

Pertanto, si ricade nel livello I di pericolosità che comporta l'installazione di una rete idranti ordinaria, ovvero destinata alla protezione di attività ubicate all'interno di edifici. In base alla norma UNI 10779 devono essere collocati 4 naspi avente portata di 35 l/min e pressione residua non minore di 0.2 Mpa. Anche tale prescrizione nell'autorimessa è soddisfatta con la presenza di 7 naspi, raggiungibili da ogni punto dell'attività con una distanza massima di 20 m.

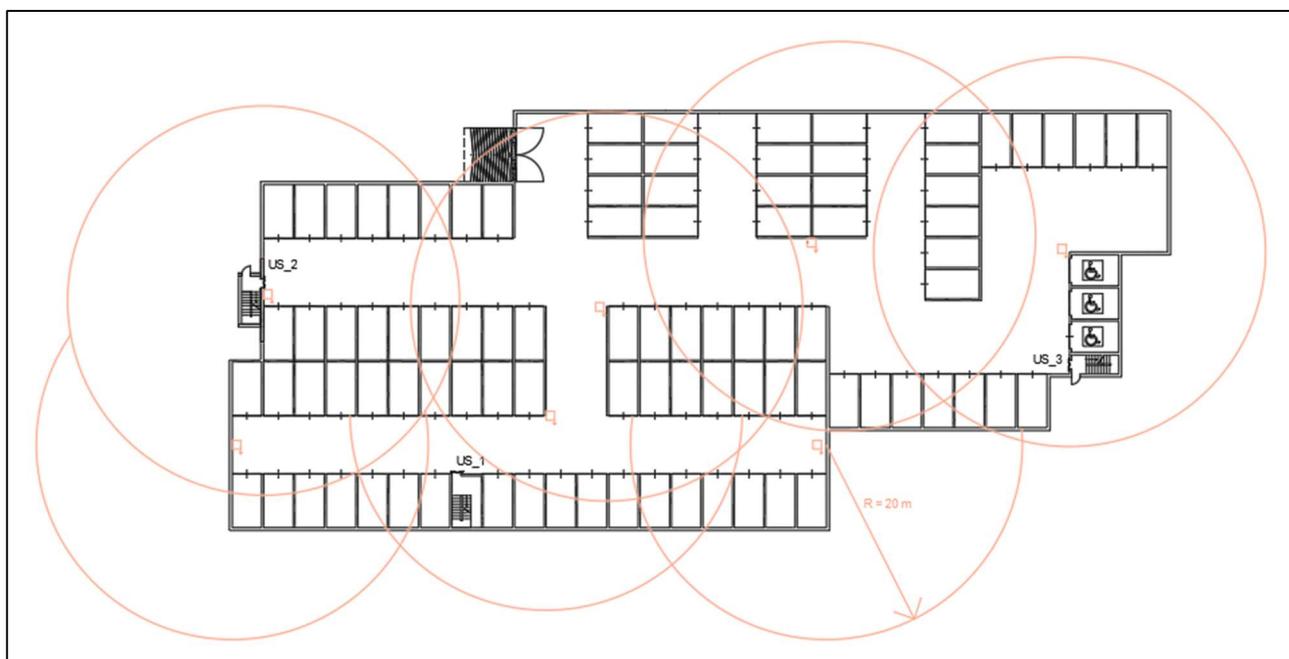


Figura 10. Disposizione e verifica di raggiungimento dei naspi all'interno dell'autorimessa

Rivelazione ed allarme S.7

Gli impianti di rivelazione incendio e segnalazione allarme incendi (IRAI) sono realizzati con l'obiettivo di sorvegliare gli ambiti di un'attività, rivelare precocemente un incendio e diffondere l'allarme al fine di attivare le misure protettive e le misure gestionali.

La RTV V.6 in merito alla rivelazione ed allarme non riporta indicazioni, pertanto la progettazione di tale misura si basa solo sulla RTO.

Dalla tabella dei criteri di attribuzione dei livelli di prestazione si ottiene un livello di prestazione I.

<b>Livello di prestazione</b>	<b>Descrizione</b>
I	Rivelazione e diffusione dell'allarme di incendio mediante sorveglianza degli ambiti da parte degli occupanti dell'attività.
II	Rivelazione manuale dell'incendio mediante sorveglianza degli ambiti da parte degli occupanti dell'attività e conseguente diffusione dell'allarme.
III	Rivelazione automatica dell'incendio e diffusione dell'allarme mediante sorveglianza di ambiti dell'attività.
IV	Rivelazione automatica dell'incendio e diffusione dell'allarme mediante sorveglianza dell'intera attività.

Tabella 34. Livelli di prestazione per Rivelazione ed allarme (S.7)

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Ambiti dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>● profili di rischio:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>R_{vita}</math> compresi in A1, A2;</li> <li>○ <math>R_{beni}</math> pari a 1;</li> <li>○ <math>R_{ambiente}</math> non significativo;</li> </ul> </li> <li>● attività non aperta al pubblico;</li> <li>● densità di affollamento <math>\leq 0,2</math> persone/m<sup>2</sup>;</li> <li>● non prevalentemente destinata ad occupanti con disabilità;</li> <li>● tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -5 m e 12 m;</li> <li>● carico di incendio specifico <math>q_f \leq 600</math> MJ/m<sup>2</sup>;</li> <li>● superficie lorda di ciascun compartimento <math>\leq 4000</math> m<sup>2</sup>;</li> <li>● non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative;</li> <li>● non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.</li> </ul>
II	Ambiti dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>● profili di rischio:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>R_{vita}</math> compresi in A1, A2, B1, B2;</li> <li>○ <math>R_{beni}</math> pari a 1;</li> <li>○ <math>R_{ambiente}</math> non significativo;</li> </ul> </li> <li>● densità di affollamento <math>\leq 0,7</math> persone/m<sup>2</sup>;</li> <li>● tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -10 m e 54 m;</li> <li>● carico di incendio specifico <math>q_f \leq 600</math> MJ/m<sup>2</sup>;</li> <li>● non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative;</li> <li>● non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.</li> </ul>
III	Ambiti non ricompresi negli altri criteri di attribuzione.
IV	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. ambiti o attività con elevato affollamento, ambiti o attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico $q_f$ , presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, presenza di inneschi significativi,...).

Tabella 35. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per Rivelazione ed allarme (S.7)

## SOLUZIONE CONFORME

La soluzione conforme per il livello di prestazione I non prevede la realizzazione di un sistema manuale o automatico di rivelazione dell'incendio e conseguente diffusione dell'allarme, ma la rivelazione e diffusione dell'allarme demandata agli occupanti dell'attività. L'allarme è trasmesso tramite segnali convenzionali codificati nelle procedure di emergenza (es. a voce, a suono di campana, accensione di segnali luminosi, ...) comunque percepibili dagli occupanti.

Per le funzioni di impianti si rimanda alle procedure operative nella pianificazione d'emergenza.

Di seguito si riportano le prescrizioni delle soluzioni conformi in base al livello di prestazione.

Livello di prestazione	Aree sorvegliate	Funzioni minime degli IRAI		Funzioni di evacuazione ed allarme	Funzioni di impianti [1]
		Funzioni principali	Funzioni secondarie		
I	-	[2]		[3]	[4]
II	-	B, D, L, C	-	[9]	[4]
III	[12]	A, B, D, L, C	E, F [5], G, H, N [6]	[9]	[4] o [11]
IV	Tutte	A, B, D, L, C	E, F [5], G, H, M [7], N, O [8]	[9] o [10]	[11]

- [1] Funzioni di avvio protezione attiva ed arresto o controllo di altri impianti o sistemi.
- [2] Non sono previste funzioni, la rivelazione e l'allarme sono demandate agli occupanti.
- [3] L'allarme è trasmesso tramite segnali convenzionali codificati nelle procedure di emergenza (es. a voce, suono di campana, accensione di segnali luminosi, ...) comunque percepibili da parte degli occupanti.
- [4] Demandate a procedure operative nella pianificazione d'emergenza.
- [5] Funzioni E ed F previste solo quando è necessario trasmettere e ricevere l'allarme incendio.
- [6] Funzioni G, H ed N non previste ove l'avvio dei sistemi di protezione attiva e controllo o arresto altri impianti sia demandato a procedure operative nella pianificazione d'emergenza.
- [7] Funzione M prevista solo se richiesta l'installazione di un EVAC.
- [8] Funzione O prevista solo in attività dove si prevedono applicazioni domotiche (*building automation*).
- [9] Con dispositivi di diffusione visuale e sonora o altri dispositivi adeguati alle capacità percettive degli occupanti ed alle condizioni ambientali (es. segnalazione di allarme ottica, a vibrazione, ...).
- [10] Per elevati affollamenti, geometrie complesse, può essere previsto un sistema EVAC secondo norma UNI ISO 7240-19.
- [11] Automatiche su comando della centrale o mediante centrali autonome di azionamento (asservite alla centrale master), richiede le funzioni secondarie E, F, G, H ed N della EN 54-1.
- [12] Spazi comuni, percorsi d'esodo (anche facenti parte di sistema d'esodo comune) e spazi limitrofi, compartimenti con profili di rischio  $R_{vita}$  in Cii1, Cii2, Cii3, Ciii1, Ciii2, Ciii3, D1 e D2, aree dei beni da proteggere, aree a rischio specifico.

Tabella 36. Soluzioni conformi per rivelazione ed allarme (S.7)

Controllo di fumo e calore S.8

La presente misura antincendio ha come scopo l'individuazione dei presidi antincendio da installare nell'attività per consentire il controllo, l'evacuazione o lo smaltimento dei prodotti della combustione in caso di incendio.

Il livello di prestazione attribuito in base alla RTO è il II.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Deve essere possibile smaltire fumi e calore dell'incendio dai compartimenti al fine di facilitare le operazioni delle squadre di soccorso.
III	Deve essere mantenuto nel compartimento uno strato libero dai fumi che permetta: <ul style="list-style-type: none"><li>• la salvaguardia degli occupanti e delle squadre di soccorso,</li><li>• la protezione dei beni, se richiesta.</li></ul> Fumi e calore generati nel compartimento non devono propagarsi ai compartimenti limitrofi.

Tabella 37. Livelli di prestazione per Controllo di fumi e calore (S.8)

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Compartimenti dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"><li>• carico di incendio specifico <math>q_f \leq 600 \text{ MJ/m}^2</math>;</li><li>• per compartimenti con <math>q_f &gt; 200 \text{ MJ/m}^2</math>: superficie lorda <math>\leq 25 \text{ m}^2</math>;</li><li>• per compartimenti con <math>q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2</math>: superficie lorda <math>\leq 100 \text{ m}^2</math>;</li><li>• non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative;</li><li>• non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.</li></ul>
II	Compartimento non ricompreso negli altri criteri di attribuzione.
III	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. attività con elevato affollamento, attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico $q_f$ , presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, ...).

Tabella 38. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per Controllo fumi e calore (S.8)

In base alla prescrizione del livello II, quindi, deve essere previsto un sistema di smaltimento fumo e calore d'emergenza con il solo scopo di facilitare l'opera di estinzione dei soccorritori a differenza dei sistemi di evacuazione, previsti per il livello III, che hanno la funzione di creare un adeguato strato libero dai fumi durante l'incendio garantendo l'esodo in sicurezza degli occupanti e dei soccorritori.

## SOLUZIONE CONFORME

La RTV V.6 fornisce le seguenti indicazioni:

- Ciascuna apertura di smaltimento deve avere superficie utile minima commisurata alla superficie lorda del compartimento, e, comunque, non inferiore a  $0.2 \text{ m}^2$ .

- Almeno il 10 % delle aperture di smaltimento deve essere di tipo SEa, SEb oppure SEc. L'uniforme distribuzione delle aperture di smaltimento può essere verificata con  $R_{\text{offset}} = 30$  m.
- In presenza di box auto privi di aperture di smaltimento, gli eventuali serramenti devono essere provvisti di aperture in alto e in basso di superficie utile complessiva non inferiore a 1/100 della superficie lorda in pianta del box.

Mentre la RTO per il livello II di prestazione impone che per ogni ambito del compartimento deve essere prevista la possibilità di effettuare lo smaltimento di fumo e calore di emergenza. Tale prescrizione deve essere rispettata dimensionando correttamente le aperture e verificando che siano distribuite uniformemente.

Tipo di dimensionamento	Carico di incendio specifico $q_f$	SE [1] [2]	Requisiti aggiuntivi
SE1	$q_f \leq 600 \text{ MJ/m}^2$	$A / 40$	-
SE2	$600 < q_f \leq 1200 \text{ MJ/m}^2$	$A \cdot q_f / 40000 + A / 100$	-
SE3	$q_f > 1200 \text{ MJ/m}^2$	$A / 25$	10% di SE di tipo SEa o SEb o SEc

[1] Con SE superficie utile delle aperture di smaltimento in  $\text{m}^2$   
 [2] Con A superficie lorda di ciascun piano del compartimento in  $\text{m}^2$

Tabella 39. Tipi di dimensionamento per le aperture di smaltimento

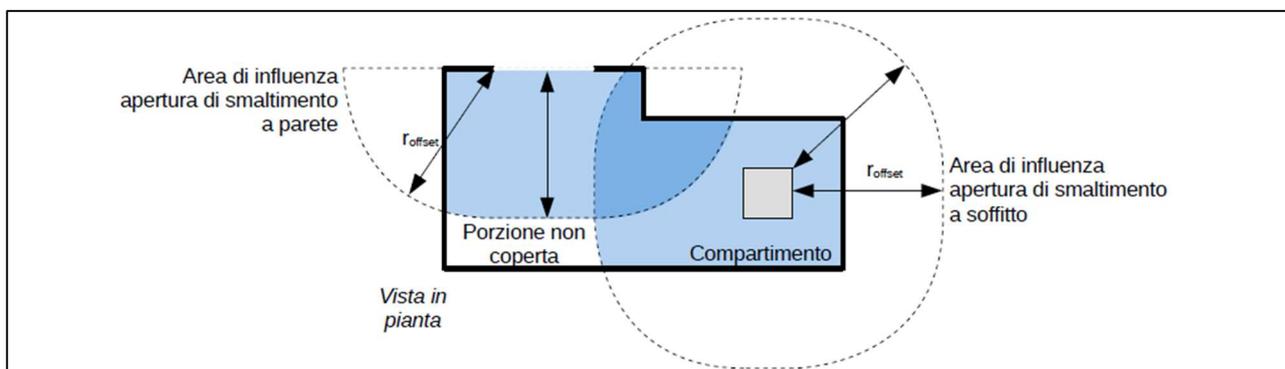


Figura 11. illustrazione esemplificativa sul significato di  $r_{\text{offset}}$  tratta dal Codice

L'autorimessa in esame avendo un  $q_f = 280 \text{ MJ/m}^2$  ricade nel dimensionamento SE1 che impone una superficie complessiva delle aperture pari  $A/40$  e la loro distribuzione uniforme può essere verificata con un  $R_{\text{offset}} = 30$  m. La superficie lorda complessiva dell'autorimessa è  $3265 \text{ m}^2$ , quindi  $A/40 = 3265/40 = 81.625 \text{ m}^2$ . Nello specifico l'attività rispetta entrambi i requisiti con delle aperture poste a soffitto, infatti:

	Dimensioni B x H	Area specifica	Quantità	Area complessiva
Aperture di smaltimento fumo e calore poste a soffitto	2m x 3m	6 m <sup>2</sup>	13	78 m <sup>2</sup>
	2m x 1m	2 m <sup>2</sup>	2	4 m <sup>2</sup>
			15	82 m <sup>2</sup>

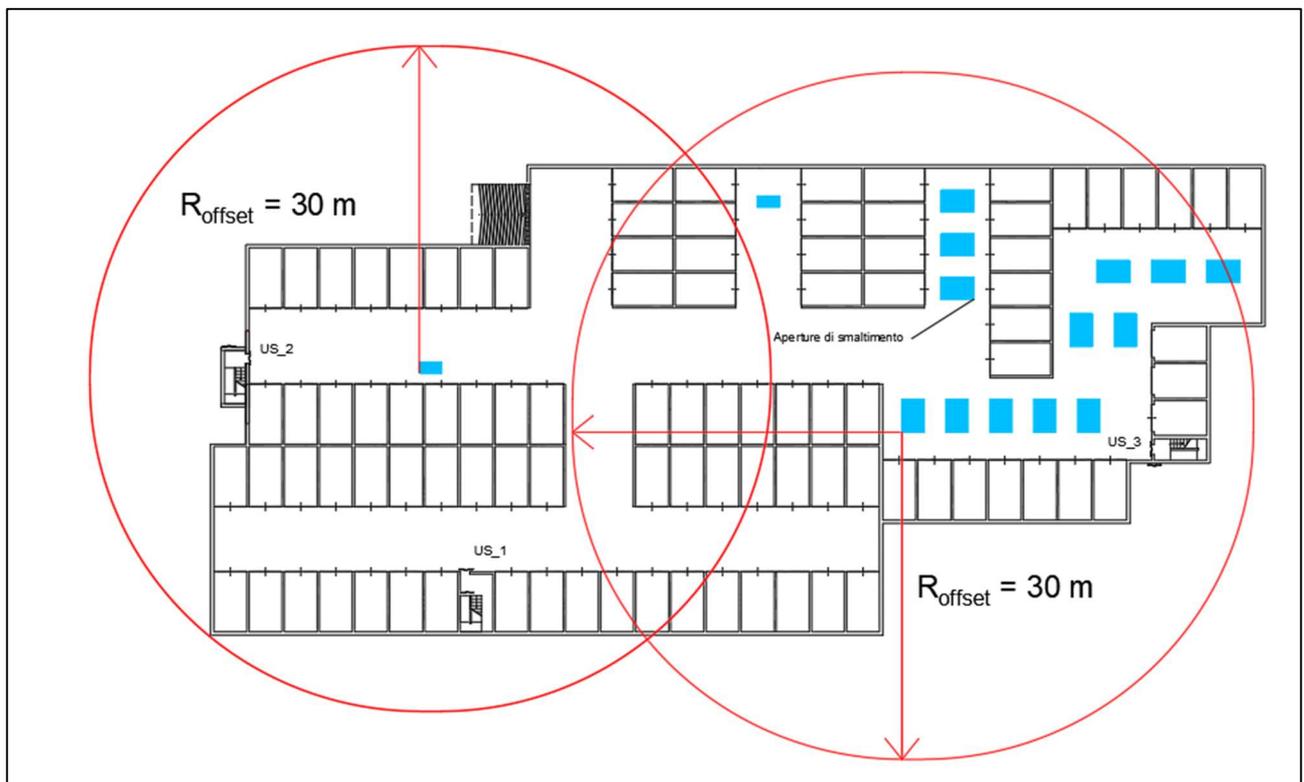


Figura 12. Verifica di distribuzione uniforme delle aperture di smaltimento fumo e calore d'emergenza all'interno dell'autorimessa

## Operatività antincendio S.9

La misura antincendio Operatività antincendio S.9 ha il fine di agevolare l'efficace conduzione degli interventi di soccorso dei vigili del fuoco.

Il livello di prestazione attribuito in base alla RTO è II.

<b>Livello di prestazione</b>	<b>Descrizione</b>
I	Nessun requisito
II	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio
III	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio Pronta disponibilità di agenti estinguenti Possibilità di controllare o arrestare gli impianti tecnologici e di servizio dell'attività, compresi gli impianti di sicurezza
IV	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio Pronta disponibilità di agenti estinguenti Possibilità di controllare o arrestare gli impianti tecnologici e di servizio dell'attività, compresi gli impianti di sicurezza Accessibilità protetta per i Vigili del fuoco a tutti i piani dell'attività Possibilità di comunicazione affidabile per soccorritori

Tabella 40. Livelli di prestazione per Operatività antincendio S.9

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	<p>Opere da costruzione dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>R_{vita}</math> compresi in A1, A2, B1, B2;</li> <li>○ <math>R_{beni}</math> pari a 1;</li> <li>○ <math>R_{ambiente}</math> non significativo;</li> </ul> </li> <li>● densità di affollamento <math>\leq 0,2</math> persone/m<sup>2</sup>;</li> <li>● tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -5 m e 12 m;</li> <li>● carico di incendio specifico <math>q_f \leq 600</math> MJ/m<sup>2</sup>;</li> <li>● per compartimenti con <math>q_f &gt; 200</math> MJ/m<sup>2</sup>: superficie lorda <math>\leq 4000</math> m<sup>2</sup>;</li> <li>● per compartimenti con <math>q_f \leq 200</math> MJ/m<sup>2</sup>: superficie lorda qualsiasi;</li> <li>● non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative;</li> <li>● non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.</li> </ul>
III	Opere da costruzione non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
IV	<p>Opere da costruzione dove sia verificata <i>almeno una</i> delle seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● profilo di rischio <math>R_{beni}</math> compreso in 3, 4;</li> <li>● se aperta al pubblico: affollamento complessivo <math>&gt; 300</math> occupanti;</li> <li>● se non aperta al pubblico: affollamento complessivo <math>&gt; 1000</math> occupanti;</li> <li>● numero totale di posti letto <math>&gt; 100</math> e profili di rischio <math>R_{vita}</math> compresi in D1, D2, Ciii1, Ciii2, Ciii3;</li> <li>● si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative ed affollamento complessivo <math>&gt; 25</math> occupanti;</li> <li>● si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio ed affollamento complessivo <math>&gt; 25</math> occupanti.</li> </ul>

Tabella 41. Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per Operatività antincendio S.9

## SOLUZIONE CONFORME

La RTV V.6 non pone indicazioni integrative o complementari in merito, quindi per la progettazione della presente misura occorre fare riferimento solo alla soluzione conforme presente nella RTO.

Deve essere permanentemente assicurata la possibilità di avvicinare i mezzi di soccorso antincendio, adeguati al rischio d'incendio, a distanza  $\leq 50$  m dagli accessi per soccorritori dell'attività. Per verificare l'accesso dei mezzi dei Vigili del fuoco dalla pubblica via, si deve far riferimento alla tabella seguente proposta dal Codice:

<p>Larghezza: 3,50 m;  Altezza libera: 4,00 m;  Raggio di volta: 13,00 m;  Pendenza: <math>\leq 10\%</math>;  Resistenza al carico: almeno 20 tonnellate, di cui 8 sull'asse anteriore e 12 sull'asse posteriore con passo 4 m.</p>
---

Tabella 42. Requisiti minimi di accessi all'attività da pubblica via per mezzi di soccorso

L'autorimessa in esame presenta i requisiti sopra riportati.

Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio S.10

Ai fini della sicurezza antincendio devono essere considerati almeno i seguenti impianti tecnologici e di servizio:

- Produzione, trasformazione, trasporto, distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica;
- Protezione contro le scariche atmosferiche;
- Sollevamento o trasporto di cose e persone;
- Deposito, trasporto, distribuzione e utilizzazione di solidi, liquidi e gas combustibili, infiammabili e comburenti;
- Riscaldamento, climatizzazione, condizionamento e refrigerazione, comprese le opere di evacuazione dei prodotti della combustione, e di ventilazione ed aerazione dei locali.

Il livello di prestazione attribuibile è unico per tutte le attività, ovvero livello di prestazione I.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Impianti progettati, realizzati, eserciti e mantenuti in efficienza secondo la regola d'arte, in conformità alla regolamentazione vigente, con requisiti di sicurezza antincendio specifici.

Tabella 43. Livelli di prestazione per Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio S.10

### SOLUZIONE CONFORME

Nella RTV V.6 vengono fornite indicazioni complementari nel caso in cui sia presente un montauto che nel caso in esame non è presente. Pertanto, le prescrizioni della RTV non sono state prese in considerazione.

La soluzione conforme prevede che gli impianti tecnologici e di servizio progettati, devono essere installati, verificati, eserciti e mantenuti a regola d'arte, in conformità alla regolamentazione vigente, secondo le norme applicabili. Inoltre tali impianti devono garantire i seguenti obiettivi di sicurezza antincendio:

1. limitare la probabilità di costituire causa di incendio o di esplosione;
2. limitare la propagazione di un incendio all'interno degli ambienti di installazione e contigui;
3. non rendere inefficaci le altre misure antincendio, con particolare riferimento agli elementi di compartimentazione;
4. consentire agli occupanti di lasciare gli ambienti in condizione di sicurezza;
5. consentire alle squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza;
6. essere disattivabili, o altrimenti gestibili, a seguito di incendio.

La gestione e la disattivazione di impianti tecnologici e di servizio, anche quelli destinati a rimanere in servizio durante l'emergenza, deve poter essere effettuata da posizioni protette, segnalate e facilmente raggiungibili, e deve essere prevista e descritta nel piano di emergenza.

Oltre a garantire i sopracitati obiettivi di sicurezza antincendio, gli impianti tecnologici e di servizio devono seguire delle specifiche prescrizioni tecniche.

Gli impianti per la produzione, trasformazione, trasporto, distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica devono possedere caratteristiche strutturali e possibilità d'intervento, individuate nel piano di emergenza, tali da non costituire pericolo durante le operazioni di estinzione dell'incendio e di messa in sicurezza dell'attività. I quadri elettrici possono essere installati lungo le vie di esodo a condizione che non costituiscano ostacolo al deflusso degli occupanti. Qualora questi siano installati in ambienti aperti al pubblico devono essere protetti almeno con una porta frontale con chiusura a chiave. Nella soluzione conforme è presente anche una tabella in cui sono riportate le autonomie minime e i tempi di interruzione dell'alimentazione elettrica di sicurezza per le diverse tipologie di impianto.

Utenza	Interruzione	Autonomia
Illuminazione di sicurezza, IRAI, sistemi di comunicazione in emergenza	Interruzione breve ( $\leq 0,5$ s)	> 30' [1]
Scale e marciapiedi mobili utilizzati per l'esodo [3], ascensori antincendio, SEFC	Interruzione media ( $\leq 15$ s)	> 30' [1]
Sistemi di controllo o estinzione degli incendi	Interruzione media ( $\leq 15$ s)	> 120' [2]
Ascensori di soccorso	Interruzione media ( $\leq 15$ s)	> 120'
Altri Impianti	Interruzione media ( $\leq 15$ s)	> 120'
[1] L'autonomia deve essere comunque congrua con il tempo disponibile per l'esodo dall'attività [2] L'autonomia può essere inferiore e pari al tempo di funzionamento dell'impianto [3] Solo se utilizzate in movimento durante l'esodo		

Tabella 44. Autonomia minima ed interruzione dell'alimentazione elettrica di sicurezza

Le prescrizioni specifiche tecniche relative ad altre tipologie di impianto, nella presente trattazione sono state omesse in quanto non sono previste per il caso in esame.

### 5.3 Applicazione FSE

All'autorimessa in questione è attribuito, per la S.8, il livello II di prestazione, richiedendo la possibilità di smaltire fumo e calore dal compartimento attraverso le aperture di smaltimento, al solo fine di agevolare le operazioni delle squadre di soccorso. L'intera autorimessa, tranne i corpi scala ritenuti luoghi sicuri temporanei, rappresenta un unico compartimento ai fini della progettazione antincendio.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Deve essere possibile smaltire fumi e calore dell'incendio dai compartimenti al fine di facilitare le operazioni delle squadre di soccorso.
III	Deve essere mantenuto nel compartimento uno strato libero dai fumi che permetta: <ul style="list-style-type: none"><li>• la salvaguardia degli occupanti e delle squadre di soccorso,</li><li>• la protezione dei beni, se richiesta.</li></ul> Fumi e calore generati nel compartimento non devono propagarsi ai compartimenti limitrofi.

Figura 13. Livelli di prestazione per la misura S.8

Poiché il tempo medio che i VVF impiegano per arrivare sul luogo dell'intervento è di 17 minuti (figura 14) e, inoltre, considerando che l'autorimessa è destinata ad un uso non lavorativo, quindi non è obbligatoria la presenza di squadre interne di soccorso, l'obiettivo di tesi si focalizza sul periodo precedente all'arrivo dei soccorritori, cruciale per la salvaguardia della vita. Nello specifico, lo scopo è analizzare come l'altezza interna e la disposizione delle aperture di smaltimento fumo e calore di emergenza impattano sulla visibilità durante la fase di esodo degli occupanti, che si esaurisce all'incirca nei primi sei minuti dallo scoppio dell'incendio.

Regione	Tempi medi in minuti di arrivo sul luogo dell'intervento (uscita sede - arrivo sul luogo)				Durate medie in minuti degli interventi di soccorso (inizio-chiusura operazioni)			
	2022	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)	2022	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)
ABRUZZO	18,4	18,9	-2,5%	-3,8%	42,6	54,7	-22,1%	-25,5%
BASILICATA	24,7	22,6	9,1%	1,6%	64,8	66,5	-2,5%	-18,7%
CALABRIA	17,7	17,6	0,6%	-4,5%	58,5	64,3	-9,0%	-16,1%
CAMPANIA	18,7	17,8	5,2%	1,1%	64,6	64,7	-0,3%	-7,6%
EMILIA ROM	18,1	17,2	5,4%	6,1%	43,3	42,8	1,2%	0,1%
FRIULI V. G.	17,0	15,7	8,5%	1,9%	56,1	49,6	13,2%	5,1%
LAZIO	19,4	18,3	6,1%	5,5%	45,9	44,8	2,4%	4,0%
LIGURIA	16,6	15,4	8,1%	6,1%	46,6	46,1	1,0%	2,0%
LOMBARDIA	16,6	15,7	5,4%	1,5%	52,5	51,2	2,6%	-0,3%
MARCHE	19,5	16,4	18,5%	12,3%	54,3	47,6	14,0%	16,5%
MOLISE	19,4	17,9	8,6%	2,2%	51,9	50,0	3,7%	-12,4%
PIEMONTE	17,1	16,6	2,6%	1,7%	47,2	48,2	-1,9%	-4,5%
PUGLIA	18,5	18,1	2,3%	-3,0%	52,9	48,8	8,4%	-1,9%
SARDEGNA	16,8	17,1	-1,5%	-5,9%	39,6	40,3	-1,6%	-8,2%
SICILIA	17,3	16,7	3,9%	-3,7%	57,7	58,5	-1,3%	-9,0%
TOSCANA	18,6	17,1	8,5%	2,0%	43,5	42,5	2,4%	-2,1%
UMBRIA	20,6	18,4	11,9%	7,9%	52,3	47,3	10,5%	9,3%
VENETO	17,9	17,8	0,5%	3,7%	54,1	54,9	-1,4%	4,5%
<b>MEDIA NAZ</b>	<b>18,0</b>	<b>17,2</b>	<b>4,9%</b>	<b>1,7%</b>	<b>51,2</b>	<b>51,1</b>	<b>0,2%</b>	<b>-3,8%</b>

(\*) Valore medio calcolato su 5 anni (dal 2017 al 2021).  
(\*\*) Variazione % riscontrata nel 2022 rispetto alla Media dei 5 anni precedenti.  
(\*\*\*) Variazione % riscontrata nel 2022 rispetto all'anno precedente (2021).

Figura 14. Tempo medio di arrivo e durata riguardo gli interventi del C.N.VV.F.

Per capire come la visibilità inficiasse l'esodo degli occupanti è stato necessario fare riferimento alle soglie di prestazione della salvaguardia della vita per il metodo di calcolo avanzato, definite nell'approccio prestazionale (FSE).

Tali soglie di prestazione determinano l'incapacitazione degli occupanti quando sottoposti agli effetti dell'incendio e nello specifico è stata utilizzata quella relativa al modello "oscuramento della visibilità da fumo", come si può apprezzare dall'immagine sottostante.

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 <sup>2</sup> : 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100m <sup>2</sup> : 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 <sup>2</sup>	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m <sup>2</sup>	[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.			

Figura 15. Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato

Gli altri modelli, in base agli output emessi sia dai *device* che dalle *slice 2d*, hanno effetti così poco incisivi sulla salvaguardia degli occupanti che non sono stati presi in esame e, inoltre, permettono di studiare altri parametri quali il calore e i gas tossici, che ai fini del presente studio sono irrilevanti. Dunque, la soglia di prestazione considerata è la visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati ad un'altezza di 1,8 m dal piano di calpestio. Di questa definizione vanno sottolineati due aspetti. Il primo è che vi è una netta differenza, secondo il Codice, tra pannelli riflettenti retroilluminati e non illuminati in quanto il valore della visibilità L è legata alla densità dei fumi attraverso la seguente legge sperimentale:

$$C = \sigma \rho L$$

dove:

L= visibilità [m]

C= costante adimensionale pari a 3 per segnaletica di esodo riflettente non illuminata oppure 8 in caso di segnaletica retroilluminata

$\rho$  = densità dei fumi [g/m<sup>3</sup>]

$\sigma$  = coefficiente massico di estinzione della luce pari a 8,7 m<sup>2</sup>/g o diverso valore adeguatamente giustificato dal progettista [m<sup>2</sup>/g]

Quindi usare pannelli retroilluminati per la segnaletica di esodo permette un notevole miglioramento della visibilità e di conseguenza una migliore compensazione del rischio che potrebbe compromettere la sicurezza degli occupanti. Per l'autorimessa in esame sono stati ipotizzati pannelli

non illuminanti, perché come precedentemente esposto lo scopo è quello di far evidenziare le criticità del progetto in esame.

L'altro aspetto da rimarcare è che la visibilità non è stata valutata a 1,8 m dal piano di calpestio bensì a 1,75 m. Il motivo di tale scelta è correlato ai vincoli di implementazione, dei parametri di input, relativi al codice di calcolo numerico utilizzato per simulare l'incendio e le sue conseguenze. Questo aspetto sarà chiarificato al lettore nel paragrafo *Modellazione dell'incendio*.

L'analisi del raggiungimento della soglia di prestazione per la visibilità pari a 10 m è stata valutata osservando nel tempo le *slice 2d*, secanti sia il piano orizzontale che il piano verticale, e gli output dei *device*, entrambi relativi alla visibilità.

### 5.3.1 Identificazione dei possibili scenari di incendio

Come già descritto nell'approccio metodologico, per poter effettuare un'analisi completa che potesse essere estesa in generale ad un'autorimessa interrata privata, è stato creato uno schema ad albero (*figura 16*). Le diramazioni dello schema permettono, partendo da un evento iniziatore, di avere un quadro di insieme, articolato e approfondito, in funzione di parametri fissi e variabili necessari per sviluppare lo scopo della monografia.

Si riporta all'attenzione del lettore che con la sigla SE si identificano le aperture di smaltimento fumo e calore di emergenza.

Dunque, il risultato dello schema sono 16 configurazioni ottenute dalla combinazione dei sopracitati parametri variabili che, in particolare, sono:

PARAMETRI VARIABILI	SPIEGAZIONE
"Focolare in corridoio cieco"	In seno all'approccio prestazionale il focolare identifica l'incendio, e in particolare questa variabile permette di valutare sia situazioni in cui l'auto in fiamme sia posta in un corridoio cieco sia il contrario.
"SE nei pressi del focolare"	Con questo parametro si tiene conto degli effetti di avere o non avere SE nelle vicinanze del focolare, in particolare in un intorno di circa 4 metri.
"SE concentrate nel corsello focolare"	Scenario che consente di esaminare come varia la visibilità concentrando, per quanto possibile, le aperture nel corsello dove si è manifestato l'incendio. Il parametro in questione prende in considerazione esclusivamente le aperture posizionate nel corsello focolare, escludendo quelle situate nelle immediate vicinanze del fuoco che sono oggetto del precedente punto.
"Box aperti"	Questo aspetto controlla i risultati dell'andamento e della concentrazione dei fumi in relazione al fatto che le serrande dei box auto siano aperte o chiuse.
"Altezza interna"	Questo parametro è di particolare rilevanza, poiché durante lo studio sarà esaminato come la visibilità possa essere influenzata positivamente o negativamente, solo variando l'altezza. Le variazioni vanno da un'altezza.

minima di 2.4 m, che, anche se un po' limitata, rimane realistica, fino ad altezze di 3,0 m e 3,5 m

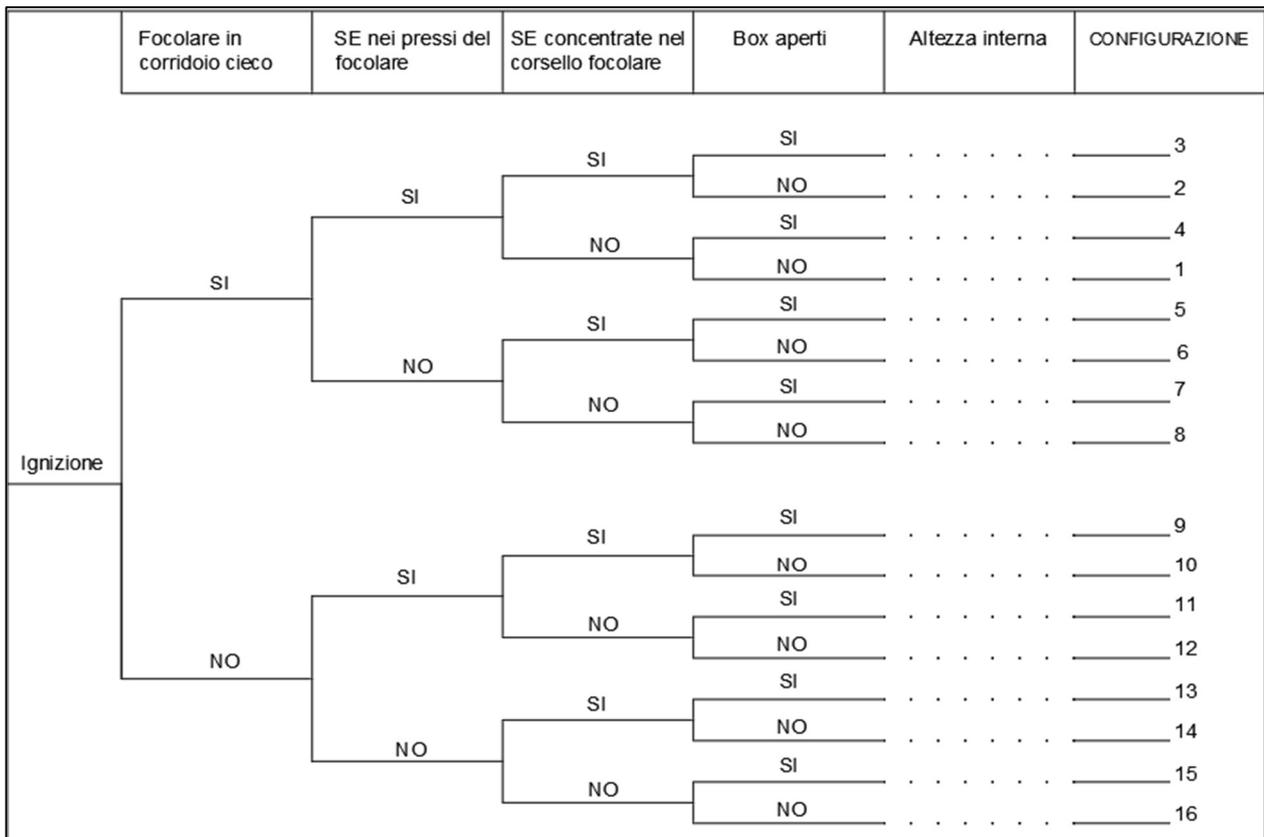


Figura 16. Albero degli eventi

Le condizioni al contorno, ovvero parametri fissi che rappresentano il comune denominatore delle configurazioni, sono:

- Planimetria dell'autorimessa;
- Numero e ubicazione delle uscite di sicurezza, nonché tutte le prescrizioni previste dalla progettazione secondo soluzioni conformi;
- Parametri di modellazione dell'incendio: dimensione delle celle elementari, posizione dei *device* e delle *slice 2d*, curva di rilascio di potenza termica nel tempo (RHR), reazione di combustione, tempo di simulazione;
- Parametri di modellazione dell'esodo: profilazione, disposizione spaziale e affollamento degli ipotetici occupanti.
- Aperture di smaltimento fumo e calore di emergenza poste a soffitto: sono di tipologia SEa, ovvero permanentemente aperte, le cui specifiche sono dettagliate nella tabella sottostante:

	Dimensioni B x H	Area specifica	Quantità	Area complessiva	
Aperture di smaltimento fumo e calore poste a soffitto	2m x 3m	6 m <sup>2</sup>	13	78 m <sup>2</sup>	
	2m x 1m	2 m <sup>2</sup>	2	4 m <sup>2</sup>	
			15	82 m <sup>2</sup>	TOTALE

Pertanto, sono state gettate le basi per realizzare un'indagine quali-quantitativa che mira ad esplorare l'interazione tra gli effetti dell'incendio e gli occupanti, considerando i parametri variabili e le condizioni al contorno.

Quindi, per le configurazioni delineate dallo schema ad albero sono stati creati modelli numerici e condotte simulazioni dell'incendio e dell'esodo.

Le configurazioni trovate corrispondono, quindi, a quelli che l'ingegneria della sicurezza antincendio chiama *scenari d'incendio*, ovvero le possibili situazioni emergenziali di incendio che possono svilupparsi durante la vita utile dell'attività e durante le condizioni di esercizio della stessa.

Ogni configurazione è stata ipotizzata relativa a una condizione di pre-flashover, ovvero prima che l'incendio sia completamente sviluppato e abbia invaso l'intera attività.

### 5.3.2 Selezione degli scenari di incendio di progetto

Dopo aver identificato e prodotto simulazioni di incendio e di esodo per i potenziali scenari, il passo successivo è stato selezionare le configurazioni più pertinenti e utili per raggiungere lo scopo prefissato di tesi, ovvero quelle che vengono definite dalla normativa *scenari di incendio di progetto*. Le configurazioni e le relative sotto configurazioni prese in esame sono:

CONFIGURAZIONE	SOTTO CONFIGURAZIONE	ALTEZZA INTERNA
Configurazione_2	Configurazione_2_H_2.4	2.4 m
	Configurazione_2_H_3.0	3.0 m
	Configurazione_2_H_3.5	3.5 m
Configurazione_8	Configurazione_8_H_2.4	2.4 m
	Configurazione_8_H_3.0	3.0 m
	Configurazione_8_H_3.5	3.5 m
Configurazione_10	Configurazione_10_H_2.4	2.4 m
	Configurazione_10_H_3.0	3.0 m
	Configurazione_10_H_3.5	3.5 m
Configurazione_16	Configurazione_16_H_2.4	2.4 m
	Configurazione_16_H_3.0	3.0 m
	Configurazione_16_H_3.5	3.5 m

La configurazione\_8 è stata scelta in quanto rappresentativa del layout originale.

La configurazione\_2 è stata scelta perché si contrappone alla Configurazione\_8 in base all'albero degli eventi e in modo da poter ottenere un confronto significativo.

Inoltre, per analizzare anche la ZONA NORD e di conseguenza ottenere risultati svincolati dalla posizione dell'incendio, sono state scelte anche la Configurazioni\_10 e la Configurazione\_16 che a loro volta, come per le precedenti, si contrappongono in base all'albero degli eventi per la posizione delle aperture.

Per tutte le configurazioni prese in esame sono stati impostati i box auto chiusi, in quanto portano ad una situazione di visibilità più critica all'interno dei corselli di manovra, dove avviene l'esodo.

Quindi le configurazioni con i box aperti non sono state prese in esame in quanto non corrispondono agli scenari più critici per la fase di esodo. Le restanti, invece, riportano una distribuzione delle aperture da cui scaturiscono dei risultati meno significativi ai fini dell'obiettivo di tesi.

Probabili fonti di innesco

Tra le fonti di incendio di autoveicoli più prevedibili e frequenti si includono:

- possibili anomali surriscaldamenti del motore;
- guasti elettrici che possono causare archi elettrici;
- scintille meccaniche;
- sovraccarichi elettrici nei cablaggi;
- superfici calde correlate al sistema di scarico del motore, ai freni, ai cuscinetti e ai turbocompressori.

Altre possibili fonti di accensione potrebbero derivare da mozziconi di sigarette non adeguatamente spenti, eventuali guasti nelle apparecchiature elettriche presenti o da una manutenzione carente o scorretta degli impianti presenti. Nell'autorimessa oggetto di studio, poiché non sono presenti cantine o locali tecnici, ci si concentra principalmente sulla presenza dei veicoli parcheggiati e sul carburante in essi contenuto in relazione ai materiali combustibili o infiammabili. Per quanto riguarda l'ignizione, si ipotizza che possa derivare da un corto circuito all'interno delle componenti elettriche dell'autoveicolo.

### 5.3.3 Modellazione dell'incendio

Per prevedere lo sviluppo e la propagazione dell'incendio in un edificio o tra gli edifici, si possono utilizzare metodi sperimentali oppure metodi che si fondano sulla modellazione automatica dell'incendio.

I metodi sperimentali prevedono la riproduzione del fenomeno incendio in laboratorio, utilizzando strutture a scala reale o ridotta. Tuttavia, tali approcci possono essere costosi, specialmente se si cerca un incendio reale a dimensioni naturali. Inoltre, sono specifici della situazione in esame e non sempre praticabili.

I metodi di modellazione automatica, invece, si basano sulla creazione di modelli matematici, rappresentazioni analitiche dei fenomeni chimico-fisici coinvolti nella simulazione dell'evoluzione dell'incendio. L'implementazione di equazioni differenziali complesse che governano la combustione, il moto dei fluidi e la conservazione della massa, dell'energia e del momento richiede il calcolo numerico, eseguibile solo tramite l'uso di elaboratori elettronici. Per questo motivo, si fa riferimento a questi approcci come "modellazione automatica".

Esistono due principali categorie di modelli matematici per la simulazione dell'incendio:

- modelli stocastici o probabilistici: questi modelli studiano lo sviluppo dell'incendio attraverso una successione di eventi o stati e non si affidano direttamente a equazioni chimico-fisico per descrivere i processi legati all'incendio. Il passaggio da un evento a un altro è governato da relazioni matematiche (ad esempio dall'ignizione alla combustione) e successivamente ad ogni stato o evento si associano delle probabilità, ottenute dall'analisi di dati sperimentali e storici;
- modelli deterministici: questi modelli seguono un approccio più preciso, valutando lo sviluppo di un incendio mediante una correlazione diretta con espressioni matematiche basate sulla fisica e sulla chimica.

I modelli deterministici si suddividono a loro volta in due sottoclassi:

- modelli a zone: sono caratterizzati dall'individuazione, in un ambiente confinato, di zone separate all'interno delle quali si ipotizza che la temperatura, la densità e la pressione siano omogenei nello spazio ma variabili nel tempo. Di norma in un modello a zone si identificano due zone omogenee: quella superiore ospitante i gas caldi e i fumi della combustione e quella inferiore, posta nella zona più bassa dell'ambiente, solitamente occupato dalle persone, che non è invasa dai fumi e ipotizza valori di temperatura notevolmente minori rispetto a quella superiore. All'interno delle due zone si svolgono separatamente le equazioni della conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto ed esse possono scambiare massa ed energia solo attraverso lo strato di interfaccia. Questi modelli presentano molte limitazioni applicative per via delle forti ipotesi di omogeneità spaziale; infatti, sono inadatti nel caso di ambienti con geometrie complesse e irregolari, ed inoltre non permettono di studiare gli effetti dell'incendio in funzione dello spazio.
- modelli di campo: sono avanzati modelli fluidodinamici di flussi in regime turbolento derivanti dalle classiche teorie della termodinamica e della fluidodinamica. Per poter risolvere le equazioni differenziali di Navier-Stokes, il volume dell'ambiente è suddiviso in una griglia tridimensionale composta da numerose piccole celle elementari cubiche, all'interno delle quali sono risolte le equazioni fondamentali di conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto, considerando le variazioni indotte dalle celle limitrofe, attraverso un processo iterativo. Questi modelli sono attualmente la soluzione più raffinata e al tempo stesso sofisticata disponibile per poter simulare un incendio, consentendo il calcolo nello spazio e nel tempo di velocità, temperature e concentrazioni dei prodotti dell'incendio. Tuttavia, presentano lo svantaggio di richiedere tempi computazionali significativi, soprattutto quando si aumenta la risoluzione della griglia per ottenere risultati più accurati.

Definizione del dominio computazionale e durata della simulazione

Per il presente lavoro, la simulazione dell'incendio è stata fatta utilizzando il *modello di campo*. In particolare, il modello "Fire Dynamics Simulator (FDS)" realizzato dal "National Institute of Standards and Technology" (NIST). Per poter utilizzare agevolmente FDS si è ricorso alla sua interfaccia grafica "Pyrosim" e per la visualizzazione degli output si è utilizzato il post processore grafico di visualizzazione "SmokeView".

Dopo aver esportato il modello geometrico 3D da Autodesk Revit in formato .ifc (Industry Foundation Classes) e importato in Pyrosim, il primo passo per configurare il modello FDS è stato definire la dimensione delle celle elementari che compongono il dominio computazionale (*mesh*). Dai suggerimenti proposti nella guida utente FDS si ha che la suddivisione della mesh può essere:

- Grossolana, quando  $D^*/dx = 4$ ;
- Moderata, quando  $D^*/dx = 10$ ;
- Fine, quando  $D^*/dx = 16$ ;

dove  $D^*$  è il diametro caratteristico del fuoco e  $dx$  è la dimensione nominale della cella.

Nel presente caso studio, per l'analisi di sensibilità del modello, utilizzando un calcolatore online e inserendo le specifiche del modello in esame, si sono ottenuti i seguenti risultati.

Enter the x, y, z dimensions (meters) and your expected HRR

X <sub>min</sub>	-0.5	X <sub>max</sub>	62
Y <sub>min</sub>	-0.5	Y <sub>max</sub>	27.5
Z <sub>min</sub>	-0.5	Z <sub>max</sub>	3.5

Heat Release Rate (Q)  kW

Density ( $\rho_a$ )  kg / m<sup>3</sup>

Specific Heat ( $c_p$ )  kJ / kg-K

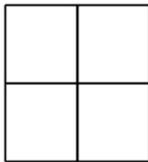
Ambient Temperature (T<sub>a</sub>)  K

Gravity (g)  m / s<sup>2</sup>

Figura 17. Dati di input del modello utilizzato per il caso studio

The characteristic fire diameter  $D^*$  is 1.977

**Coarse**



When  $D^*/dx = 4$ : the suggested coarse cell size is 49.42 cm

Your MESH line for FDS is:

**&MESH IJK=128,60,8, XB=-0.5,62,-0.5,27.5,-0.5,3.5 /**

You entered:

X<sub>min</sub>: -0.5 X<sub>max</sub>: 62  
 Y<sub>min</sub>: -0.5 Y<sub>max</sub>: 27.5  
 Z<sub>min</sub>: -0.5 Z<sub>max</sub>: 3.5  
 dx: 0.494

Figura 19. risoluzione grossolana del dominio di calcolo

**Moderate**



When  $D^*/dx = 10$ : the suggested moderate cell size is 19.77 cm

Your MESH line for FDS is:

**&MESH IJK=320,144,20, XB=-0.5,62,-0.5,27.5,-0.5,3.5 /**

You entered:

X<sub>min</sub>: -0.5 X<sub>max</sub>: 62  
 Y<sub>min</sub>: -0.5 Y<sub>max</sub>: 27.5  
 Z<sub>min</sub>: -0.5 Z<sub>max</sub>: 3.5  
 dx: 0.198

Figura 18. Risoluzione moderata del dominio di calcolo

Dalle figure soprastanti si nota che il diametro caratteristico dell'incendio ( $D^*$ ) è 1.977 metri, quindi volendo ottenere una risoluzione grossolana si può utilizzare una dimensione della cella ( $dx$ ) pari a 0.4952 metri. Mentre per ottenere una risoluzione più fine si può utilizzare una dimensione della cella ( $dx$ ) pari a 0.1977 metri.

Tuttavia, utilizzare celle da 0.2 m richiedeva tempi di calcolo troppo onerosi, considerando che per ogni scenario di incendio preso in considerazione occorreva svolgere almeno tre simulazioni computazionali per via dell'altezza interna variabile. Quindi, per la presente analisi sono state utilizzate due *mesh*, mesh 01 e mesh 02, con dimensioni delle celle rispettivamente pari a 0.5 m e 0.25 m, in modo da trovare un ragionevole compromesso tra tempi computazionali e raffinatezza dei risultati. Inoltre, per avere risultati più precisi nella zona di maggior interesse del fabbricato, dove gli occupanti sono più esposti agli effetti dell'incendio, si è scelto di far partire la mesh 02 dalla quota

di 1.5 m e conseguentemente la mesh 01 terminante a tale quota. Le due mesh sono state allineate secondo un *criterio ideale* per evitare di incorrere in errori o approssimazioni che avrebbero potuto minare l'affidabilità dei risultati. A titolo di esempio si riportano le dimensioni e suddivisioni delle mesh per la configurazione\_2\_H\_2.4.

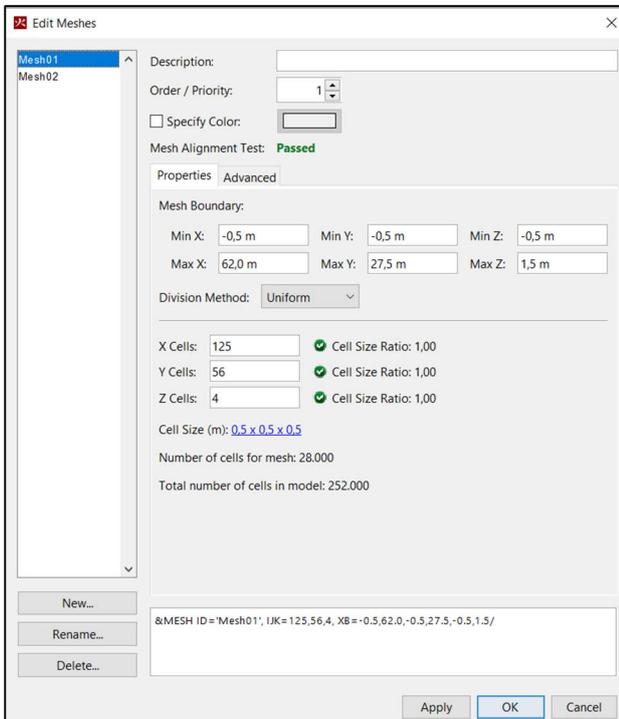


Figura 20. Dimensioni mesh01 per la Configurazione\_2\_H\_2.4

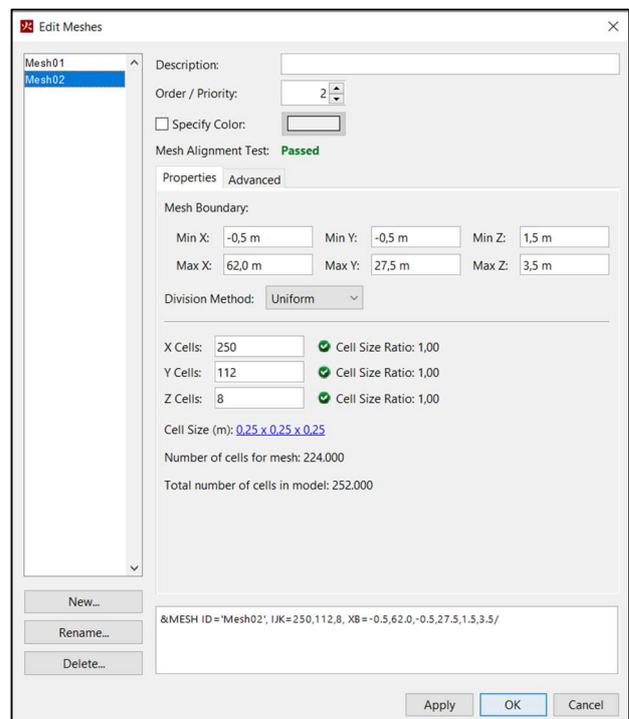


Figura 21. dimensioni mesh02 per la Configurazione\_2\_H\_2.4

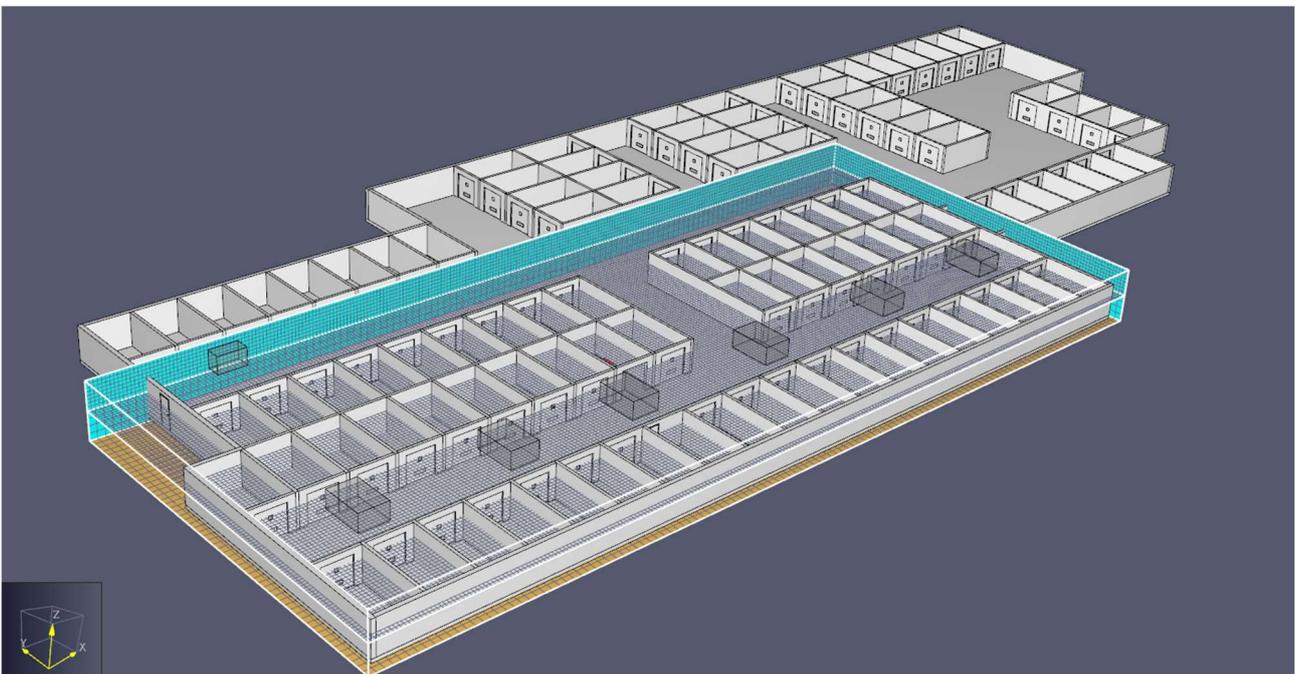


Figura 22. Suddivisione della volumetria in mesh di calcolo per la Configurazione\_2\_H\_2.4

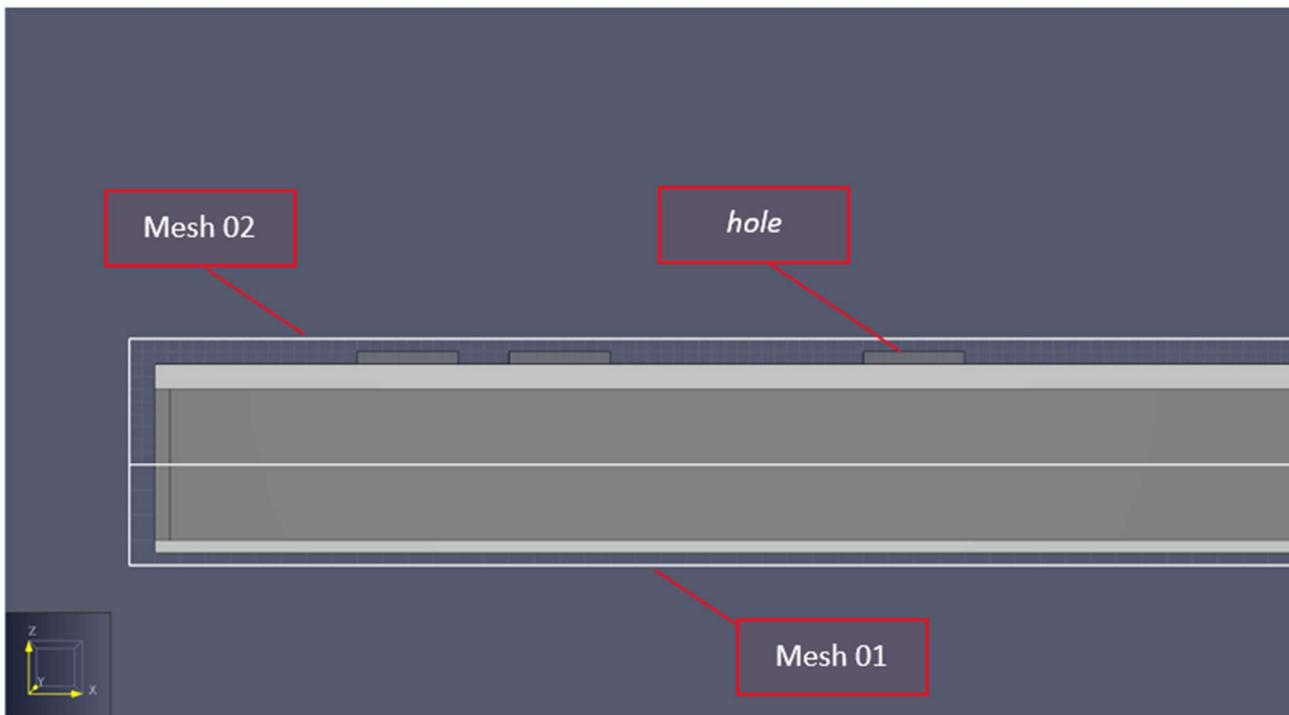


Figura 23. Dettaglio della suddivisione in mesh di calcolo e individuazione degli hole per la Configurazione\_2\_H\_2.4

L'estensione del dominio computazionale (*mesh*) è variabile, in base alle esigenze da analizzare, in ogni configurazione in esame. Quello che rimane invariato però sono la dimensione delle celle elementari e la quota di separazione delle due mesh, ovvero 1.5 m.

Facendo ancora riferimento alle figure soprastanti, si può notare che all'interno delle mesh 02 sono inseriti dei parallelepipedi. Questi sono degli *hole*, ovvero quelli che FDS usa per simulare le aperture. Quindi, per ogni configurazione analizzata, sono stati posti degli *hole* in corrispondenza e delle stesse dimensioni delle aperture di smaltimento fumo e calore di emergenza, per simularne il funzionamento.

La durata della simulazione è stata imposta a 400 s, sia perché dalla simulazione di esodo si riscontra che le persone entro quel tempo sono tutte fuori dall'autorimessa e sia perché il focus della tesi è capire l'andamento della visibilità a cui sono sottoposti gli occupanti nella fase iniziale dell'incendio, ovvero nel *pre-flashover*.

#### Definizione della reazione chimica di combustione

In un autoveicolo, generalmente, sono presenti una grande varietà di materiali combustibili che a contatto con una sorgente di ignizione possono far scaturire un incendio. Questi possono essere di tipo liquido (carburante), gassoso (carburanti alternativi) e solido (parte interne del veicolo). Per definire la reazione di combustione all'interno del modello FDS, è stata scelta la schiuma di poliuretano flessibile. Tale scelta è motivata dalla sua presenza predominante all'interno

dell'autoveicolo e della sua capacità di generare una quantità significativa di particolato, il quale ha un impatto rilevante sulla visibilità, parametro chiave oggetto del presente studio. Quindi, sono stati implementati i seguenti valori caratteristici della combustione della schiuma di poliuretano flessibile.

Combustibile utilizzato	$\text{CH}_{1.8}\text{O}_{0.35}\text{N}_{0.06}$
Resa in monossido di carbonio $Y_{\text{CO}}$	$0.031 \text{ g}_{\text{CO}}/\text{g}_{\text{fuel}}$
Resa in biossido di carbonio $Y_{\text{CO}_2}$	$1.51 \text{ g}_{\text{CO}_2}/\text{g}_{\text{fuel}}$
Resa in particolato $Y_{\text{SOOT}}$	$0.227 \text{ g}_{\text{SOOT}}/\text{g}_{\text{fuel}}$
Calore di combustione effettivo $AH_{\text{ch}}$	$19.0 \text{ kJ/g}$

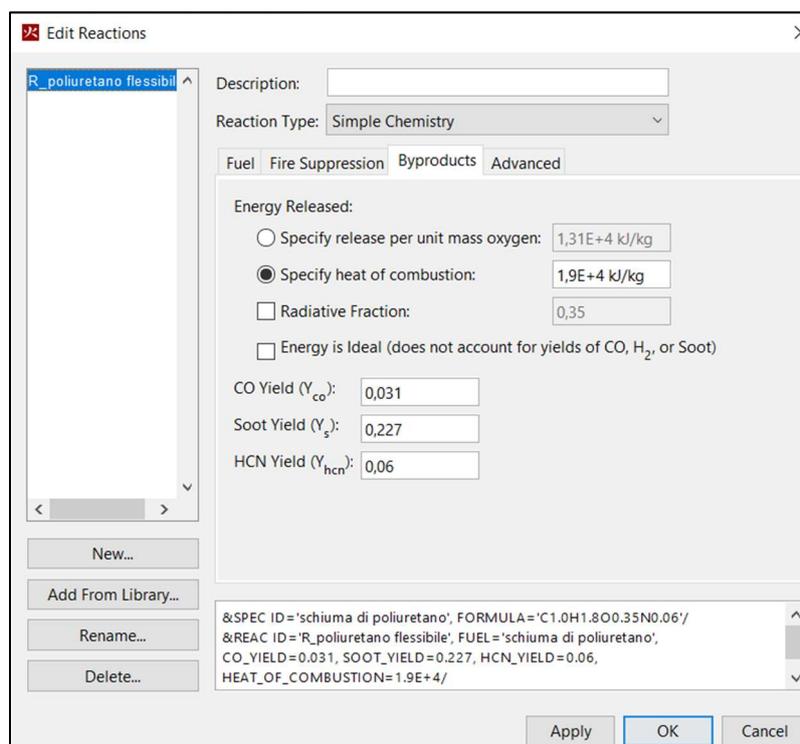


Figura 24 Parametri di reazione implementati in Pyrosim

Definizione della curva di rilascio di potenza termica dell'incendio

La curva del tasso di rilascio di potenza termica nel tempo (HRR) utilizzata è stata presa da uno studio commissionato dall'istituto INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) su un'autoveicolo a combustione interna prodotto da una casa automobilistica francese.

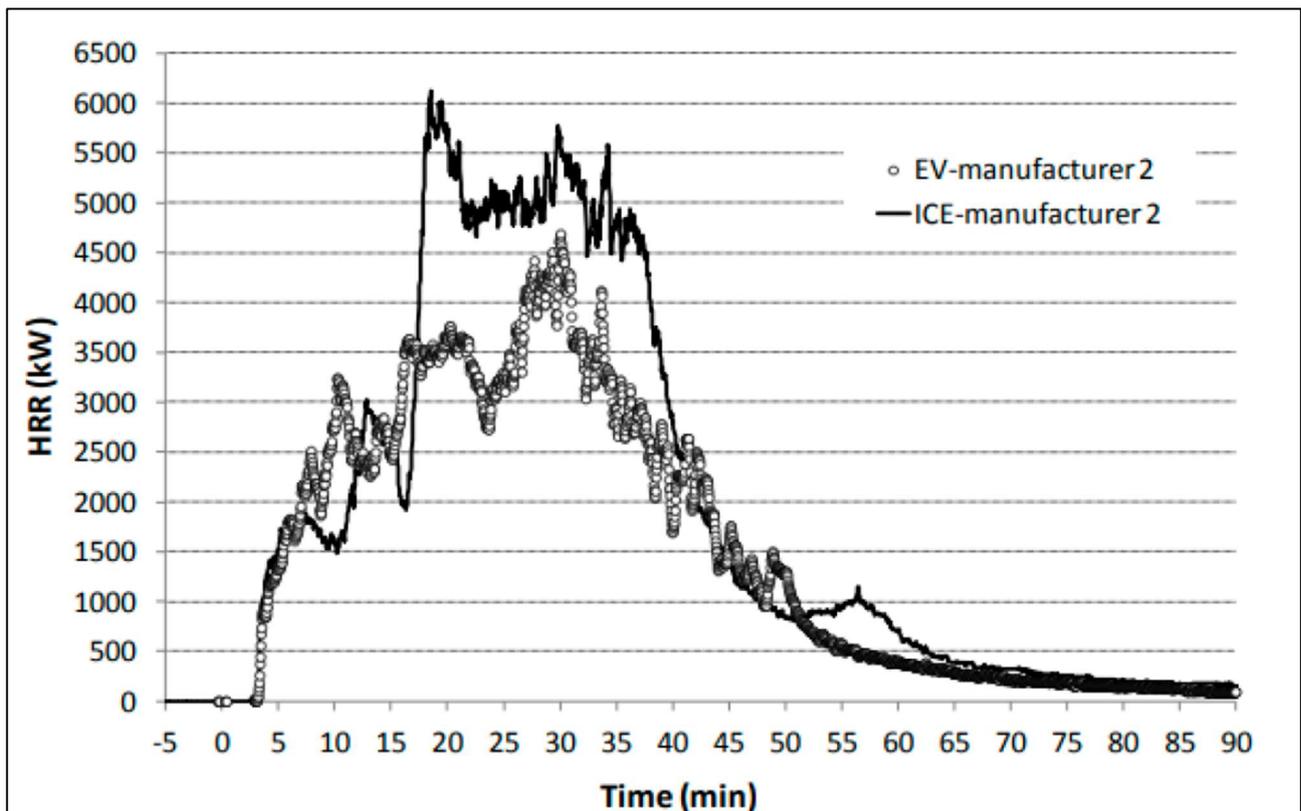


Figura 25. Curve RHR dell'INERIS relative a un veicolo elettrico EV e a un veicolo a combustione interna ICE

La figura soprastante mostra due curve prodotte dallo studio INERIS. Lo studio prevedeva di effettuare il fire test su due tipologie di veicolo: uno a combustione interna (Internal Combustion Engine, ICE) e uno elettrico (Electric Vehicle, EV). Per la presente monografia è stata presa solo la curva RHR relativa all'autoveicolo a combustione interna.

Successivamente la curva RHR scelta è stata digitalizzata e rapportata al tempo in secondi, in modo da poter essere implementato nel modello FDS. Ottenendo il seguente risultato.

Tempo[s]	RHR[kW]
0.0	0
190.9	0
222.6	989.1
402.1	1848.8
607.0	1526.8
771.4	3003.3
983.8	1936.2
1070.4	5011.3
1081.6	5504.7
1126.1	6100
1295.0	4749
1333.6	5006.4
1357.9	4664
1433.6	5235.3
1471.0	4760.1
1588.2	5262.8
1638.8	4781.2
1791.2	5779.6
1943.3	4465.7
2059.7	5585.8
2075.6	4500.5
2174.3	4941.9
2421.7	2504.6
2931.4	927.7
3211.3	906.3
3343.6	993.4
3386.6	1125.1
3631.9	623.7
4283.5	309
5400	0

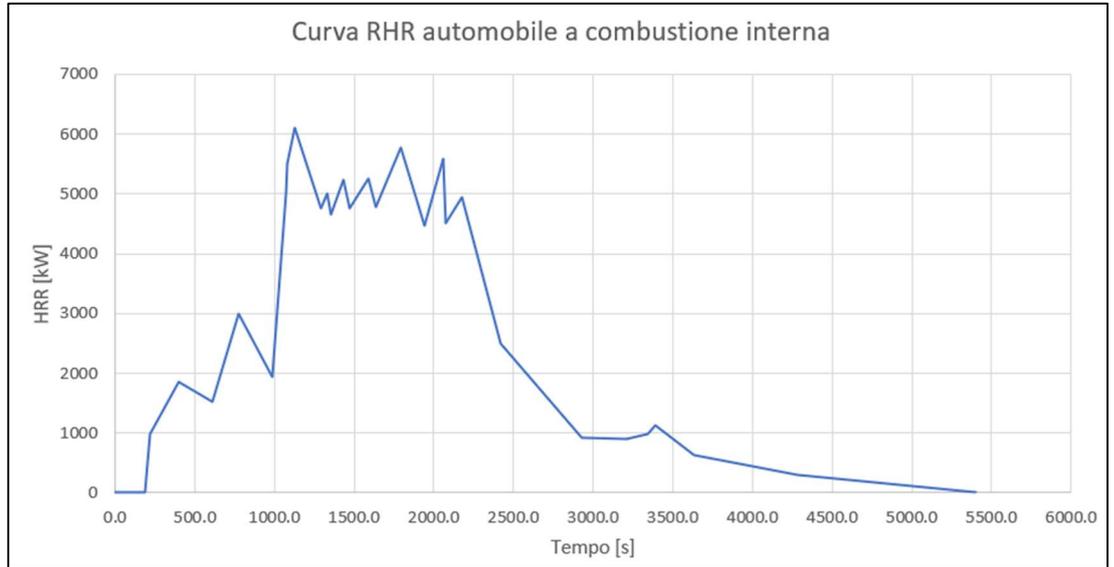


Figura 26. Curva RHR una volta digitalizzata

Per esser certi che l'implementazione sia andata a buon fine si sono sovrapposte la curva di input con la curva di output letta dal software Pyrosim. Dalla figura sottostante si evince che vi è una soddisfacente sovrapposizione tra le curve.

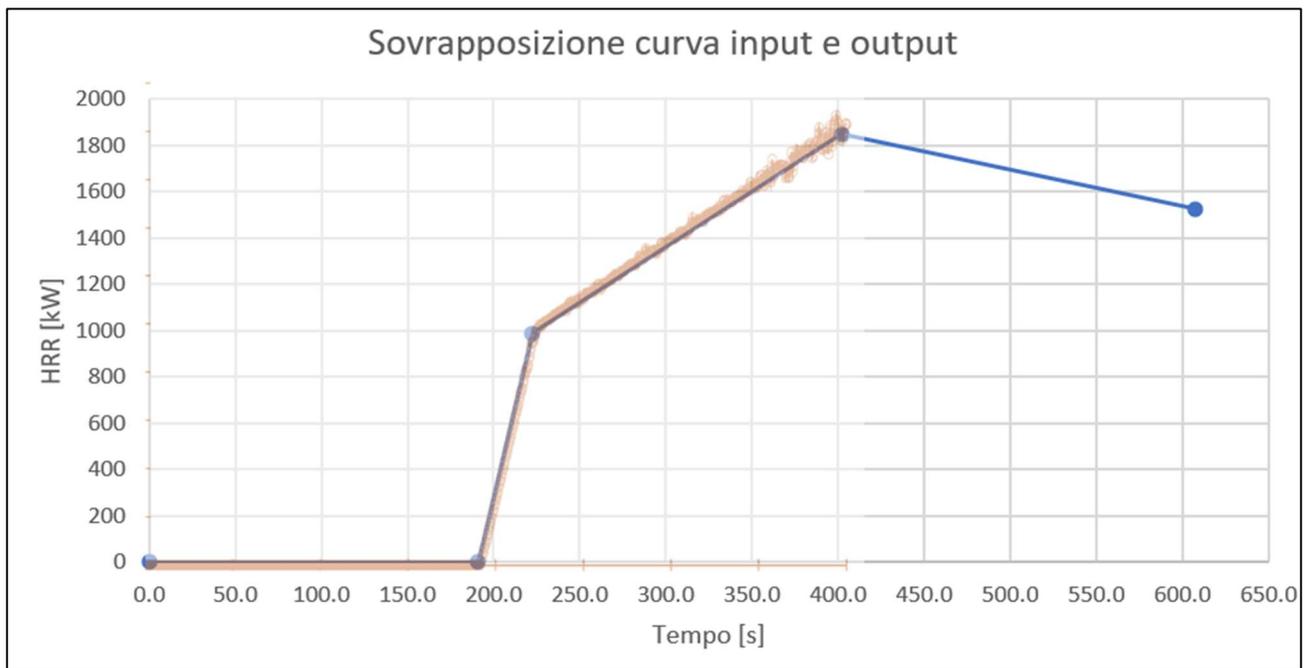


Figura 27. Confronto tra la curva RHR letta da pyrosim (in arancione) e la curva implementata (in blu)

#### Modellazione del focolare

Nel modello di campo FDS per rappresentare l'incendio si utilizza una sorgente volumetrica su cui può essere applicata una certa produzione di calore, di fumo e di specie tossiche.

Nella presente tesi la sorgente volumetrica scelta è un cubo di dimensioni 1 x 1 x 1 metri. Sulla cui faccia superiore è stata imposta la curva RHR precedentemente descritta.

#### Impostazione dei *device* e delle *slice*

Per poter ottenere dei risultati tangibili dalla simulazione di incendio, sono stati implementati all'interno del software FDS, tramite la sua interfaccia grafica Pyrosim, gli strumenti denominati *device* e *slice*.

I *device* sono delle sonde virtuali che registrano a intervalli temporali dei valori puntuali delle grandezze che si desidera analizzare (temperatura, visibilità, velocità, etc). Mentre le *slice* sono delle mappe cromatiche, corredate da opportuna legenda, che riportano anch'esse i valori delle grandezze nel tempo ma lungo un piano, che può essere verticale oppure orizzontale.

I device utilizzati sono relativi alle grandezze presenti nel metodo di calcolo avanzato per ASET: FED (Fractional Effective Dose), visibilità, temperatura e irraggiamento. Nel modello sono stati inseriti dieci tipologie di device lungo i corselli di manovra e nei pressi delle uscite. Essi sono:

Visibilità	VIS_1	VIS_2	VIS_3	VIS_4	VIS_5	VIS_6	VIS_7	VIS_8	VIS_9	VIS_10
Temperatura	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_10
FED	FED_1	FED_2	FED_3	FED_4	FED_5	FED_6	FED_7	FED_8	FED_9	FED_10
Irraggiamento	IRR_1	IRR_2	IRR_3	IRR_4	IRR_5	IRR_6	IRR_7	IRR_8	IRR_9	IRR_10

Visibilità	VIS_1	VIS_2	VIS_3	VIS_4	VIS_5	VIS_6	VIS_7	VIS_8	VIS_9	VIS_10
Temperatura	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_10
FED	FED_1	FED_2	FED_3	FED_4	FED_5	FED_6	FED_7	FED_8	FED_9	FED_10
Irraggiamento	IRR_1	IRR_2	IRR_3	IRR_4	IRR_5	IRR_6	IRR_7	IRR_8	IRR_9	IRR_10

Nella figura seguente sono indicati i dispositivi posizionati per monitorare la visibilità; i dispositivi relativi alle altre grandezze occupano la stessa posizione, ma non sono stati proposti per garantire una chiara visualizzazione al lettore.

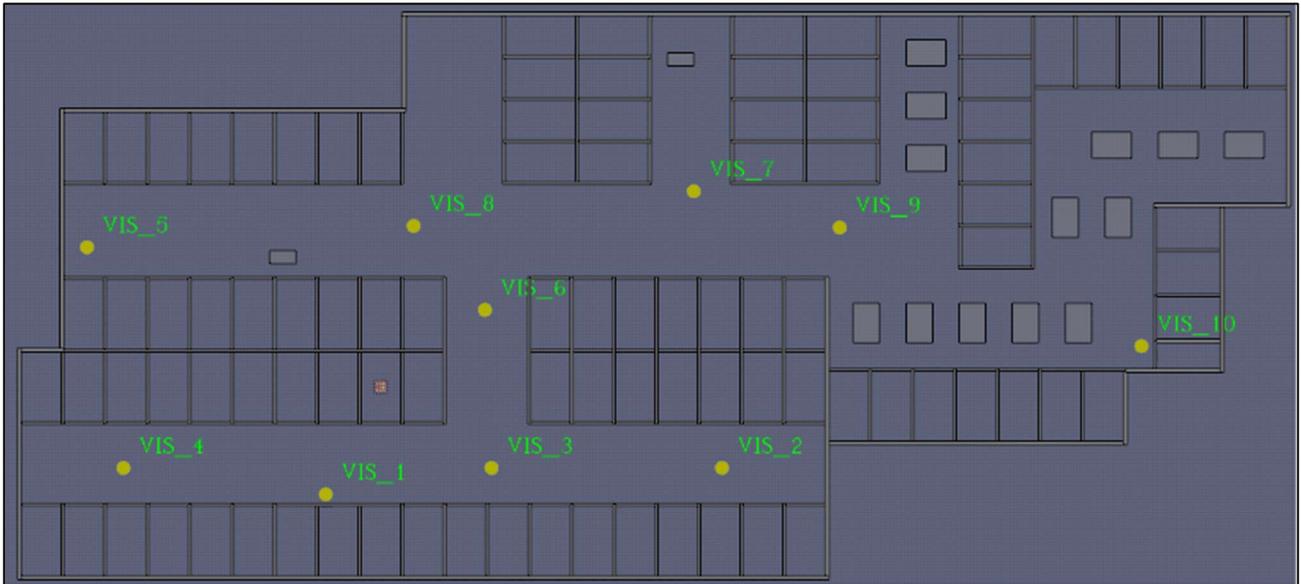


Figura 28. Posizionamento device

In aggiunta, entro un raggio di circa 1 metro dal focolare, sono stati posizionati 4 dispositivi denominati dal software *smoke detector* (codificati SD\_1, SD\_2, SD\_3, SD\_4). Questi dispositivi permettono, tramite il post-processore grafico *SmockView*, di visualizzare il fumo prodotto dall'incendio.

Le *slice* utilizzate sono solo quelle relative alla visibilità, dal momento che è il parametro chiave dello studio, posizionate lungo il piano orizzontale ad una quota di 1.75 m e lungo il piano verticale in mezz'ora del corso di manovra della macrozona di analisi.

Si sottolinea che per ogni configurazione presa in analisi la posizione delle *slice* e dei *device* rimane invariata.

Nelle figure seguenti si mostra la loro ubicazione e un esempio di output.

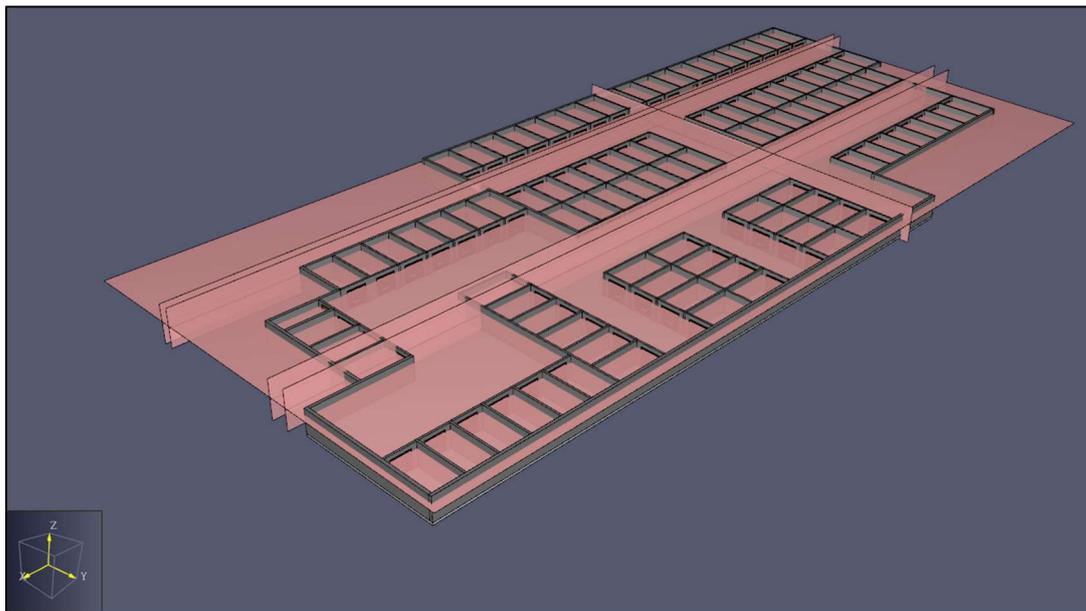


Figura 29. Collocazione delle slice di visibilità

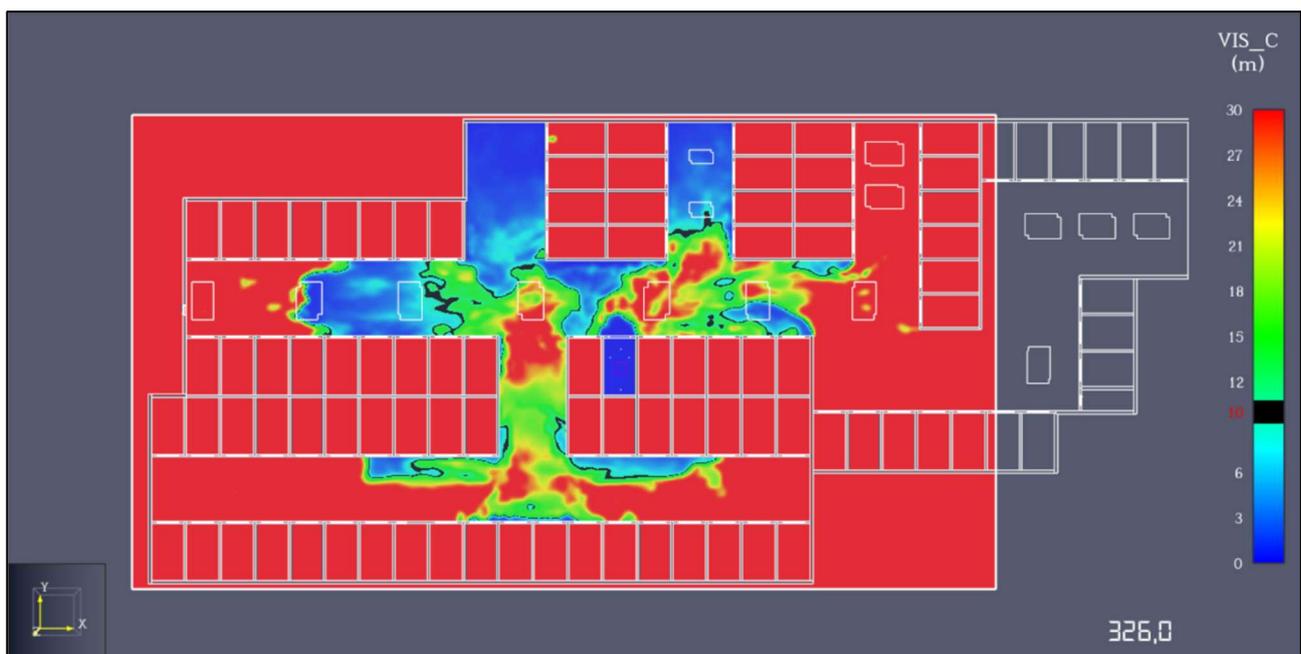


Figura 30. Esempio di output fornito dalla slice orizzontale in Z al tempo  $t=326$  secondi per la configurazione\_10\_H\_3.0, in cui il colore blu come si evince dalla legenda a destra indica una visibilità sotto i 10 m e così via, mentre il colore nero indica la demarcazione della soglia dei 10 m

La *slice* orizzontale in direzione Z, così come i *device* sono stati collocati alla quota di 1.75 metri. Il motivo di tale scelta è vincolato al fatto che la posizione e la dimensione di ogni elemento modellato o inserito all'interno di FDS devono essere multipli della cella elementare. Quindi, poiché sia la *slice* in Z sia i *device* fanno parte della *mesh 02*, avente celle elementari da 0.25 metri, per avvicinarsi il più possibile all'altezza delle soglie di prestazione di 1.8 metri non potevano che essere posizionate a 1.75 metri. Questa scelta seppur obbligata è valida ai fini dell'obiettivo di tesi, in quanto, con una

soglia a favore di sicurezza, permette comunque di valutare l'interazione tra visibilità-occupanti-edificio in relazione alla salvaguardia della vita.

#### 5.3.4 Modellazione dell'esodo

Nel presente capitolo, vengono delineate le fasi intraprese per simulare l'evacuazione degli occupanti dall'autorimessa. Lo scopo di questa simulazione è acquisire una comprensione dettagliata dei percorsi e dei tempi di evacuazione. Quindi, una volta ottenuti i risultati della modellazione di esodo, questi sono stati confrontati con gli output generati dalla modellazione di incendio, al fine di valutare in modo qualitativo l'esposizione degli occupanti alla scarsa visibilità.

Al giorno d'oggi esistono diversi software in grado di simulare le dinamiche di evacuazione sia da un ambiente confinato che da uno spazio aperto. Gli approcci alla modellazione su cui si basano tali software sono fondamentalmente due: modello macroscopico e modello microscopico.

Il modello macroscopico, chiamato anche "flow-based", tratta le persone come un collettivo di particelle che si muovono insieme con dinamiche uniformi. In questo contesto, le persone sono rappresentate come un flusso di fluido in movimento, senza fare riferimento in alcun modo alla distinzione per singolo individuo. L'approccio si basa sul concetto che lo spostamento da un punto a un altro segue le stesse leggi fondamentali della fluidodinamica. Nel contesto di questo modello, la velocità di ciascun occupante (considerato come una particella di fluido) dipende dalla densità complessiva del gruppo di occupanti, che a sua volta rappresenta il fluido in movimento. Di conseguenza, all'aumentare della densità di persone, e quindi del "fluido", la velocità diminuisce. Questi modelli risultano efficaci in situazioni in cui il comportamento della massa prevale sul comportamento individuale, ad esempio in condizioni di elevata densità di affollamento. Gli svantaggi significativi sono che non tengono conto delle interazioni sociali e della psicologia umana.

Il modello microscopico invece è strutturato in maniera radicalmente differente rispetto a quello macroscopico, in quanto non considera più le persone come semplici particelle di fluido, ma come individui con specifiche proprietà fisiche e comportamentali. Infatti, le persone nel modello di evacuazione possono seguire azioni impartite per mezzo di regole comportamentali.

In questo tipo di modello, gli occupanti sono trattati come agenti autonomi (modello *agent-based*) in grado di reagire dinamicamente agli stimoli ambientali, come la presenza di fumo o ostacoli e possono prendere decisioni individuali riguardo al percorso da seguire per esodare. Questo approccio offre la possibilità di considerare le differenze individuali nelle risposte e nell'interazione con l'ambiente contribuendo a una maggiore precisione nella simulazione del comportamento umano durante un'evacuazione di emergenza.

Per la simulazione di esodo oggetto del presente studio è stato utilizzato il modello microscopico *agent based*. Il simulatore utilizzato è Pathfinder, della software house *Thunderhead Engineering*. Esso è costituito da fondamentalmente da tre moduli: un'interfaccia grafica, un simulatore e un visualizzatore tridimensionale per i risultati.

Una volta importato il modello geometrico 3d esportato da *Autodesk Revit* in formato *.ifc*, *pathfinder* in fase di simulazione traduce gli elementi geometrici 3d importati in elementi di tipo bidimensionale.

Gli occupanti possono muoversi in uno spazio continuo tridimensionale rappresentato da una mesh triangolare e scandito da *Rooms*, *Doors* ed altri applicativi per arricchire la geometria.

Qualsiasi oggetto tridimensionale all'interno dell'ambiente di modellazione è riconosciuto dal software come uno "spazio vuoto" sul quale gli occupanti non possono transitare. Questa tecnica, quindi, impedisce agli occupanti di muoversi all'interno degli "spazi vuoti" che ospitano le varie ostruzioni (muri, arredi, oggetti, ecc..).

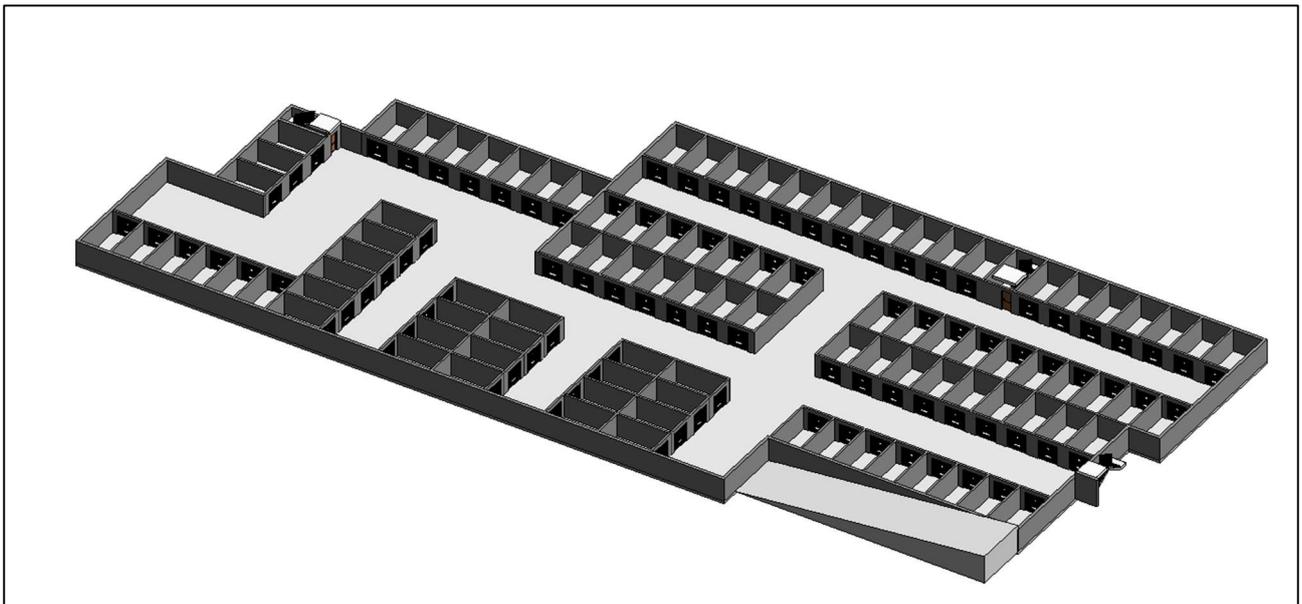


Figura 31. modello geometrico 3d importato in pathfinder

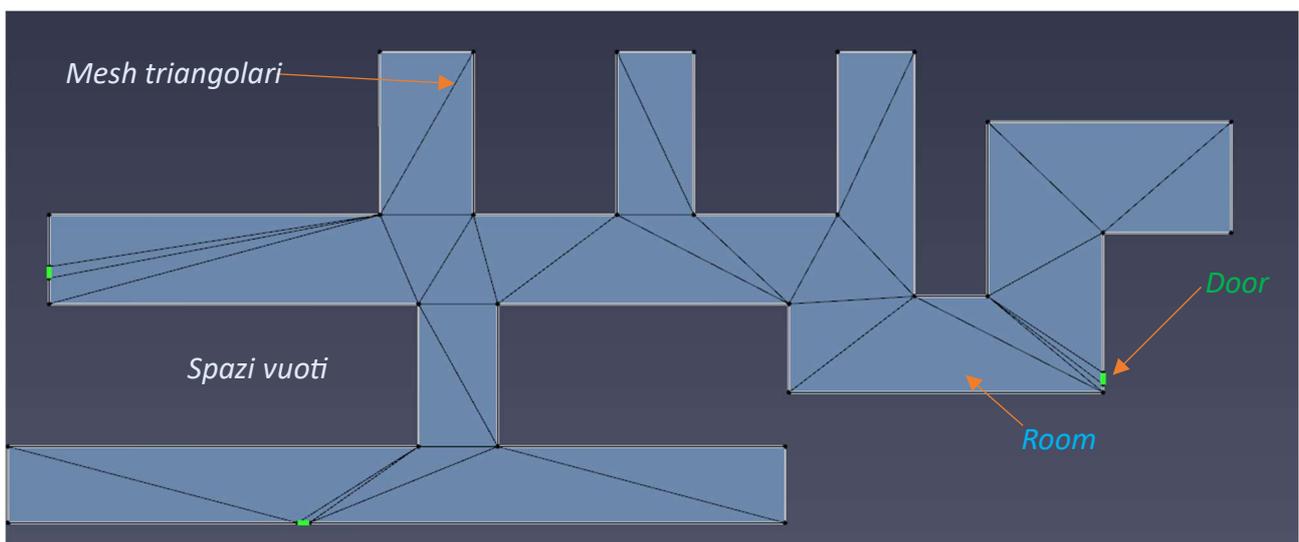


Figura 32. Visualizzazione delle mesh triangolari, della geometria lungo la quale si muoveranno gli occupanti (room) e le porte d'uscita (door)

Profilazione e posizionamento occupanti

Ponendosi come obiettivo quello di rendere quanto più realistica la modellazione dell'esodo, stabilito l'affollamento complessivo dell'attività, pari a 97 persone, il primo passo è stato quello di stabilire che tipologia di occupanti potessero esserci all'interno di un'autorimessa privata di pertinenza condominiale.

Per creare un gruppo eterogeneo e realistico sono state scelte diverse tipologie di utenti:

- Anziani
- Disabili
- Famiglie
- Utenti generici

In base ai dati ISTAT al 2023, il 16,4% della popolazione italiana ha un'età compresa tra i 65 anni e gli 80 anni. Da questo dato è stato estrapolato un numero di potenziali anziani presenti, ovvero  $97 \times 16.4\% = 16$  utenti.

Il numero di utenti disabili è stato determinato in base al numero di box auto presenti nell'autorimessa ad essi riservati, che è pari a tre. Gli utenti disabili sono stati considerati su sedia a rotelle e autonomi nella fase di evacuazione.

Sono state ipotizzate tre famiglie, di cui una composta da un genitore con un bambino nel passeggino e due da un genitore con due bambini.

Tutti gli utenti non compresi nelle precedenti tipologie sono stati considerati generici.

Successivamente, per ogni tipologia di occupante è stata assegnata una velocità, estrapolando i valori medi dalla tabella sottostante, contenuta nella norma ISO TR 16738.

Type of situation	Measured travel speeds m/s (ft/min)				
Transport terminals [51]	1,35 (265) on walkways				
Average under "normal conditions" [55]	1,0				
Experiment with disabled subjects [13]	Min.	1st quartile	3rd quartile	Max.	Mean
On horizontal surfaces:					
All disabled subjects	0,10	0,71	1,28	1,77	1,00
With locomotion disability	0,10	0,57	1,02	1,68	0,80
No aid	0,24	0,70	1,02	1,68	0,95
Crutches	0,63	0,67	1,24	1,35	0,94
Cane	0,26	0,49	1,08	1,60	0,81
Walker/rollator	0,10	0,34	0,83	1,02	0,57
Without locomotion disability	0,82	1,05	1,34	1,77	1,25
Unassisted wheelchair	0,85	—	—	0,93	0,89
Assisted ambulant	0,21	0,58	0,92	1,40	0,78
Assisted wheelchair	0,84	1,02	1,59	1,98	1,30
On upward incline:					
All disabled subjects	0,21	0,42	0,74	1,32	0,62
With locomotion disability	0,21	0,42	0,72	1,08	0,59
No aid	0,30	0,48	0,87	1,08	0,68
Crutches	0,35	—	—	0,53	0,46
Cane	0,21	0,38	0,70	1,05	0,52
Walker/rollator	0,30	—	—	0,42	0,35
Without locomotion disability	0,70	—	—	1,32	1,01
Unassisted wheelchair	0,70	—	—	—	—
Assisted ambulant	0,23	0,42	0,70	0,72	0,53
Assisted wheelchair	0,53	0,70	1,05	1,05	0,89

Figura 33 Velocità di movimento tratte dalla ISO TR 16738

In particolare, le velocità medie per gli utenti generici e per i disabili in carrozzina sono rispettivamente 1.25 m/s e 0.89 m/s.

La velocità del bambino, in quanto tale, è stata diminuita rispetto a quella dell'utente standard ad 1 m/s. Di conseguenza anche il genitore, nella fase di esodo si adatterà all'andamento del bambino. Anche per quanto riguarda gli anziani, considerato che potrebbero presentare limiti sensoriali e di mobilità per via della vecchiaia, è stata loro impostata una velocità inferiore e nello specifico di 0.95 m/s.

Durante la fase di esodo si è ipotizzato che la popolazione degli occupanti si suddivida in base al loro legame interpersonale in assistenti, assistiti ed individuali. Gli assistenti sono coloro che non si mettono direttamente in movimento per esodare ma si avvicinano al proprio assistito e lo portano con sé, mentre gli utenti con comportamento individuale sono coloro che non avendo nessun altro a cui pensare possono esodare individualmente. Di seguito è riportata una tabella riassuntiva riportante anche la codifica con cui gli occupanti sono stati implementati all'interno di *pathfinder*.

tipologia	comportamento	Numero [persone]	codifica	Velocità media [m/s]
Utenti generici	individuale		Utente_generico	1.25
anziani	individuale	16	anziano	0.95
Disabili in carrozzina	individuale	3	Disabile_SR_auto	0.89

Genitore	assistente	3	Genitore	1
bambini	assistito	4	bambino	1
Bambino nel passeggino	assistito	1	Bambino_passeggino	1

La totalità degli occupanti è stata poi distribuita randomicamente su tutta la superficie dei corselli, attraverso la funzione *Add Occupant* di *Pathfinder*:

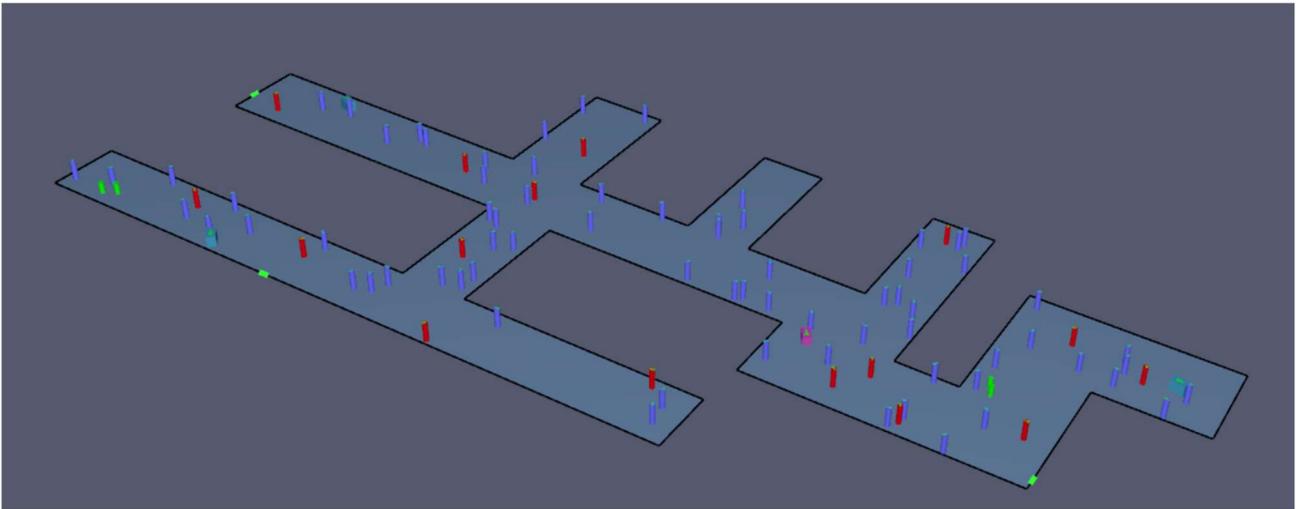


Figura 34. Disposizione degli occupanti all'interno dell'autorimessa

Dall'immagine sopra, si può notare, inoltre, che le diverse tipologie di occupanti sono state previste all'interno del software con il loro effettivo ingombro spaziale schematizzato con delle forme geometriche regolari. In particolare, sia per gli utenti in sedia a rotelle sia per il bambino nel passeggino sono stati ipotizzati gli stessi ingombri spaziali:

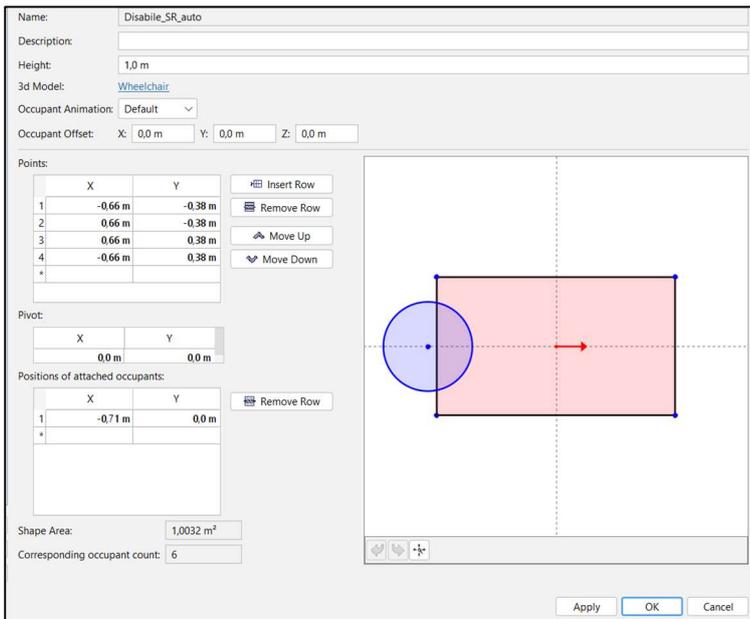


Figura 35. Ingombro spaziale utenti in sedia a rotelle e passeggero

Invece l'ingombro spaziale degli altri utenti è schematizzato all'interno del software mediante un cilindro, si riporta a titolo esemplificativo quello del profilo anziano:

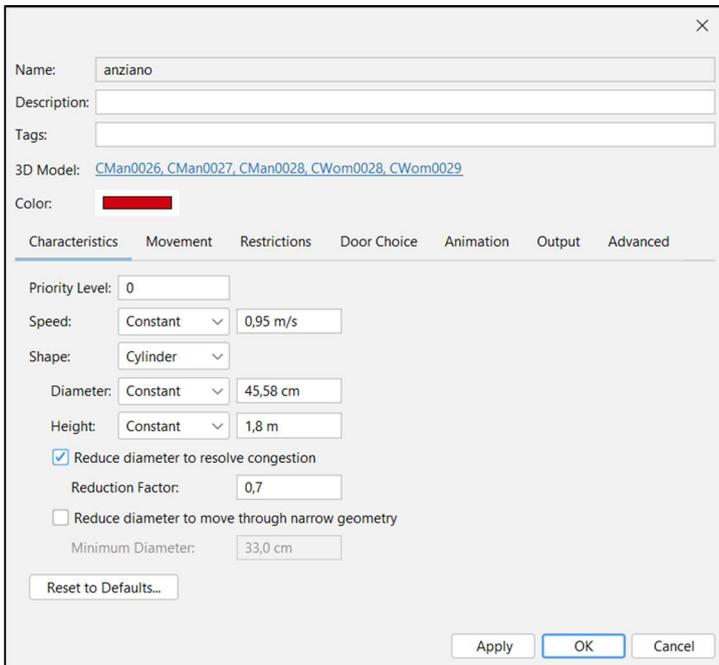


Figura 36. Ingombro spaziale delle tipologie di utenti restanti

## Calcolo RSET

Per poter ricavare il tempo necessario a ciascun occupante per potersi dirigere verso un luogo sicuro (RSET) e quindi valutare durante il suo percorso di esodo a quali rischi è esposto, occorre prima determinare gli addendi di  $RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$ . I primi tre addendi sono stati implementati in Pathfinder come ritardi iniziali (*Initial delay*) al movimento finalizzato a raggiungere un luogo sicuro. Mentre l'ultimo addendo  $t_{tra}$  viene calcolato direttamente dal software, previa implementazione dei ritardi iniziali, dei profili degli occupanti e delle loro velocità medie di movimento. Nella modellazione dell'esodo per l'autorimessa in esame il luogo sicuro si intende raggiunto quando gli occupanti varcano le soglie delle uscite di sicurezza US\_1, US\_2 e US\_3. Questa assunzione è lecita perché i corpi scale hanno funzione di luogo sicuro temporaneo.

L'impostazione dei ritardi degli occupanti è stata fatta in funzione della loro posizione rispetto al focolare d'incendio.

$T_{det}$ : tempo di rivelazione

Il tempo  $t_{det}$  rappresenta il tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio. Tuttavia, nel caso studio in esame non è previsto un sistema automatico di rivelazione dell'incendio, pertanto al tempo  $t_{det}$  è stato assegnato un valore corrispondente all'istante in cui il fumo invade il corsello di manovra contenente il focolare. In particolare,  $t_{det} = 200$  s.

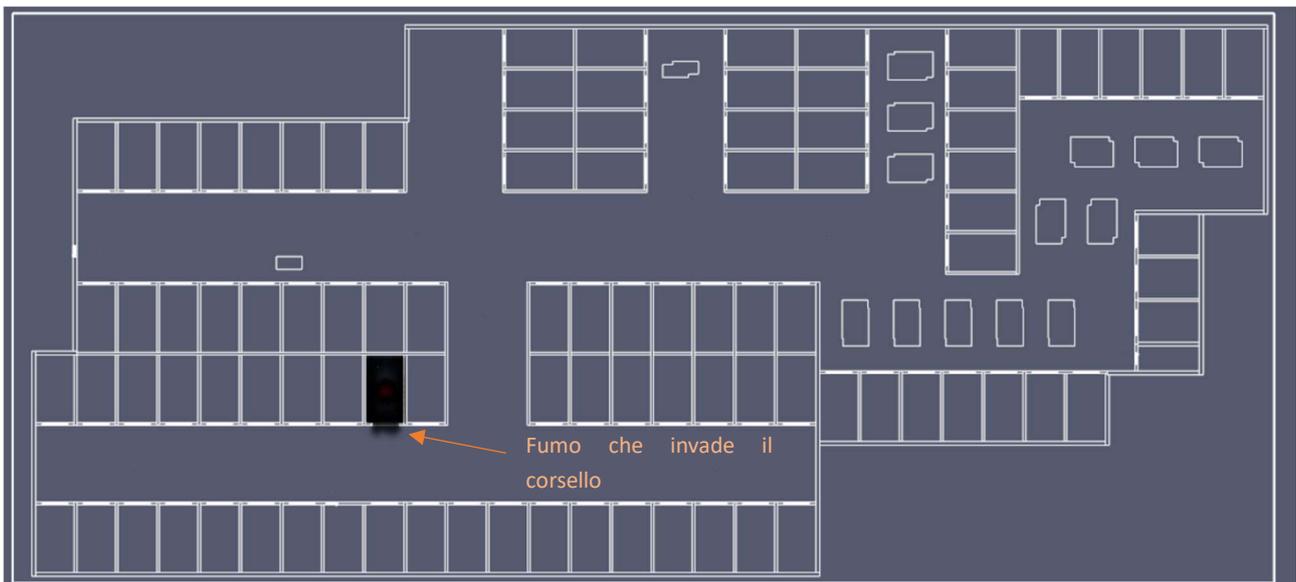


Figura 37. Fumo che invade il corsello di manovra all'istante  $t=200$  s

$T_a$ : tempo di allarme

Il tempo  $t_a$ , tempo di allarme generale, corrisponde al tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'allarme agli occupanti. Nel caso in esame non è presente un impianto IRAI e nemmeno un sistema di allarme manuale, quindi la diffusione dell'allarme è demandata agli occupanti.

Durante l'evacuazione, essi diffondono l'allarme innescando una reazione a catena e, volendo ottenere una modellazione realistica, si è ipotizzato che gli occupanti che si trovano nella macro zona critica, ovvero quella ospitante l'incendio, riescano a dare l'allarme in tempi piuttosto brevi. Mentre perché l'allarme sia recepito dalle persone che si trovano nella macro zona opposta, quindi più lontane dal focolare, è ragionevolmente necessario un tempo maggiore.

Per la zona critica, quindi, è stato scelto un  $t_a = 10$  s, invece per la zona opposta un  $t_a = 30$  s.

$T_{pre}$ : tempo di pre-movimento

Il tempo di pre-movimento, è composto dal tempo di riconoscimento (*recognition*) e di risposta (*response*). Durante il tempo di riconoscimento gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo, finché riconoscono l'esigenza di rispondere all'allarme. Nel tempo di risposta gli occupanti cessano le loro attività normali perché hanno riconosciuto l'emergenza e iniziano a dedicarsi ad attività legate all'evacuazione.

Questi aspetti sono molto aleatori in quanto dipendono molto dalla sensibilità dell'utente, dal fatto che sia formato o non formato, dalle abilità fisiche e cognitive, dalla familiarità del luogo in cui in cui si trovano ed altri innumerevoli aspetti legati alla psicologia umana in una situazione di panico ed emergenza.

Per via di questa aleatorietà la norma ISO 16738 propone la distribuzione dei tempi di pre-movimento in funzione di diversi livelli di gestione della sicurezza nell'attività.

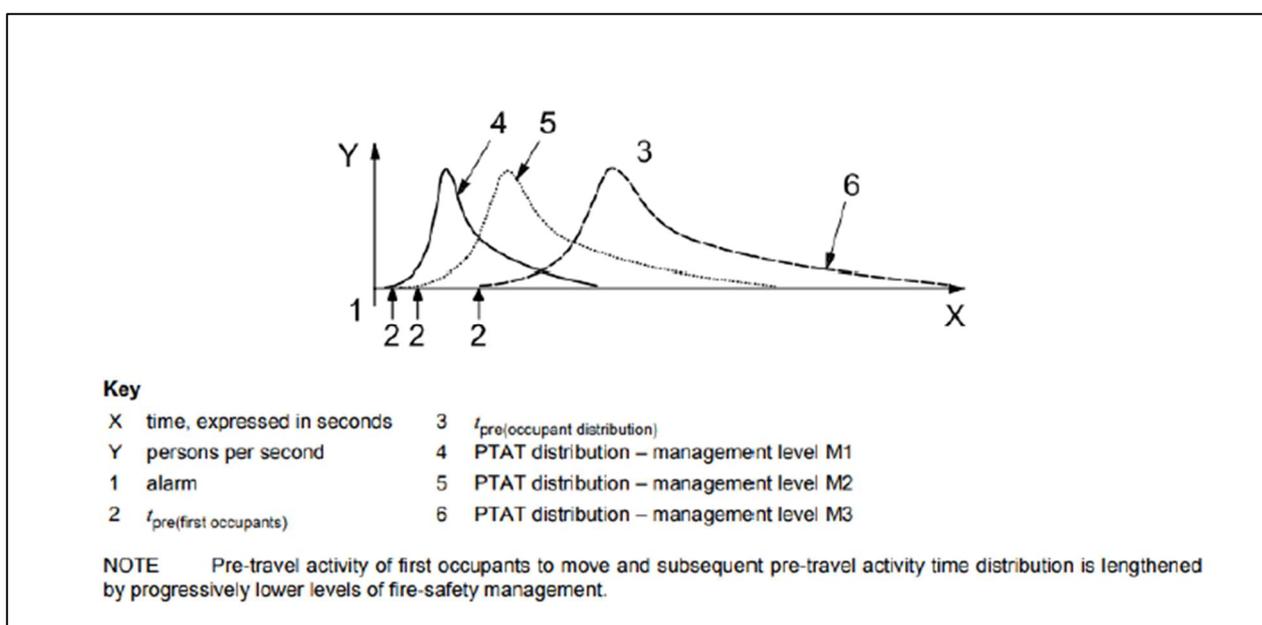


Figura 38. Grafico dei tempi di pre-movimento, tratto dalla ISO TR 16738

In particolare, si può notare come conseguentemente al movimento dei primi individui, vi è un repentino aumento del numero di persone che esodano e l'andamento dell'attivazione all'evacuazione nel tempo segue quello tipico di una distribuzione log-normale.

La sudetta norma, inoltre, offre delle stime di intervalli di tempi di pre-movimento in funzione del livello di gestione della sicurezza antincendio dell'attività (M1, M2, M3), della complessità del fabbricato (B1, B2, B3) e della qualità dell'allarme (A1, A2, A3) considerando prestazioni decrescenti dal livello 1 al livello 3.

**Table E.2 — Suggested pre-travel activity times for different design behavioural scenario categories**

Scenario category and modifier levels <sup>a</sup>	First occupants <i>t</i> <sub>pre</sub> (1st percentile)	Occupant distribution <i>t</i> <sub>pre</sub> (99th percentile)
<b>A: Awake and familiar</b>		
M1 B1 – B2 A1 – A2 <sup>a</sup>	0,5	1,5
M2 B1 – B2 A1 – A2	1	3
M3 B1 – B2 A1 – A3	> 15 <sup>b</sup>	> 30 <sup>b</sup>
For B3, add 0,5 for way-finding.	—	—
M1 normally requires a voice alarm/PA if unfamiliar visitors likely to be present.	—	—
<b>B: Awake and unfamiliar</b>		
M1 B1 A1 – A2	0,5	2,5
M2 B1 A1 – A2	1,0	4,0
M3 B1 A1 – A3	> 15 <sup>b</sup>	> 30 <sup>b</sup>
For B2, add 0,5 for way-finding.	—	—
For B3, add 1,0 for way-finding.	—	—
M1 normally requires a voice alarm/PA.	—	—
<b>Ci: Sleeping and familiar (e.g. dwellings, individual occupancy)</b>		
M2 B1 A1	5 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>
M3 B1 A3	10 <sup>b</sup>	> 40 <sup>b</sup>
For other units in a block, assume 1 h.	—	—
<b>Cii: Managed occupancy (e.g. serviced apartments, hall of residence)</b>		
M1 B2 A1 – A2	10 <sup>b</sup>	30 <sup>b</sup>
M2 B2 A1 – A2	15 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>
M3 B2 A1 – A3	> 20	> 40
<b>Ciii: Sleeping and unfamiliar (e.g. hotel, boarding house)</b>		
M1 B2 A1 – A2	15 <sup>b</sup>	30 <sup>b</sup>
M2 B2 A1 – A2	20 <sup>b</sup>	40 <sup>b</sup>
M3 B2 A1 – A3	> 20 <sup>b</sup>	> 40 <sup>b</sup>
For B3, add 1,0 for way-finding.	—	—
M1 normally requires a voice alarm/PA.	—	—

*Figura 39. Tempi di pre-movimento tratto da ISO TR 16738*

L'autorimessa in esame che ospita utenti conoscitori del luogo e svegli, in base a tali indicazioni ricadrebbe nella classificazione M3 poiché non è presente una squadra interna di soccorso, B2 poiché l'attività non presenta particolari complessità geometriche e A3 poiché non è presente un sistema di allarme. Tuttavia, gli intervalli di tempo di pre-movimento proposti per questa classificazione non stati considerati in quanto ritenuti eccessivamente lunghi e irrealistici. Considerando che si è voluta concentrare l'analisi nelle condizioni più critiche di visibilità, ovvero con i box auto chiusi, inevitabilmente la presenza delle persone va considerata esclusivamente lungo i

corselli di manovra. Inoltre, la tipologia d'incendio considerato produce una elevata quantità di fumo. Tutto ciò implica che le persone, avranno una soglia maggiore dell'attenzione e saranno più sensibili e reattivi ad eventuali emergenze.

In base a quanto detto i tempi di pre-movimento assegnati sono:

- Per gli occupanti che si trovano nelle immediate vicinanze del focolare  $t_{pre} = 0$  s;
- Per gli occupanti che si trovano nella macrozona critica, ovvero quella contenente il focolare  $t_{pre} =$  da 30 s a 90 s;
- Per gli occupanti che si trovano nella macrozona opposta, più distanti dall'incendio, sono:  $t_{pre} =$  da 60 s a 120 s.

Ritardo iniziale complessivo e calcolo di  $t_{tra}$ : tempo di movimento

Pertanto, per gli occupanti si hanno i seguenti ritardi complessivi iniziali (*initial delay*):

	MACROZONA contenente il focolare	MACROZONA non contenente il focolare	Tipologia di distribuzione dei ritardi
	Ritardo complessivo	Ritardo complessivo	
Occupanti nelle immediate vicinanze del focolare	210 s	-	costante
Occupanti non nelle immediate vicinanze del focolare	Da 240 s a 300 s	Da 290 s a 350 s	Distribuiti sugli occupanti secondo una funzione di di distribuzione log- normale

Una volta settati questi ritardi complessivi, Pathfinder da come risultato un video in cui sono visualizzabili gli occupanti 3d e il tempo che ognuno di loro impiega per spostarsi dalla posizione iniziale in un luogo sicuro, ovvero il tempo di movimento  $t_{tra}$ .

La modellazione di esodo proposta è solo una delle tante possibili, pertanto, il tempo in cui un occupante si mette in movimento nelle modellazioni di esodo che verranno presentate non è un indicatore univoco perché appunto in un'altra modellazione con un'altra distribuzione randomica e un'altra distribuzione log-normale dei tempi di pre-movimento potrebbe mettersi in movimento prima o dopo. Quello che vuole sottolineare la seguente analisi è come potenzialmente l'esodo di un occupante potrebbe essere compromesso dai fumi. Ad esempio, se un occupante si trova in un corridoio cieco e gli si palesa una barriera di fumo permanente quella è una regione critica che porta a definire l'istante critico in cui avviene ciò. Ma in un'altra modellazione di esodo potrebbe essere

che nello stesso corridoio cieco nessun occupante si trovi lì e questo non vuol dire che allora quella regione non è critica per la salvaguardia della vita.

## 6. Analisi dei risultati

Nel presente capitolo saranno sviscerate le configurazioni prese in esame, indagando sia in maniera qualitativa (*slice*) che in maniera quantitativa (*device*) l'andamento spazio-temporale dell'oscuramento della visibilità nell'autorimessa.

Per poter condurre l'analisi il fabbricato è stato diviso in due macro zone: ZONA NORD E ZONA SUD , al fine di concentrare l'analisi sulla macro zona più critica, ovvero quella contenente il focolare.

Come descritto nel paragrafo Modellazione dell'esodo, il calcolo dell'RSET prevede quattro addendi. In particolare, per la MACROZONA più critica:

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

dove

- $t_{det} = 200$  s;
- $t_a = 10$  s;
- $t_{pre} =$  da 30 s a 90 s;
- $t_{tra} =$  dipende dalla posizione iniziale dell'occupante.

In base ai tempi sopra riportati, a  $200+10+90 = 300$  s l'ultimo occupante si mette in movimento per evacuare e si è ipotizzato che in quel momento si trovi nella posizione più remota rispetto alla prima uscita di sicurezza ancora visibile.

Al tempo di 300 s è stato sommato un tempo medio di raggiungimento dell'uscita, estrapolato dalla modellazione di esodo, di 60 s.

Per analizzare in maniera completa come l'oscuramento della visibilità prodotto dal fumo possa compromettere l'esodo, è stata presa in considerazione una finestra temporale che parte da quando l'incendio inizia a manifestare i suoi effetti all'interno del corsello di manovra (200 s) a quando l'ultimo occupante che inizia l'esodo (300 s) ha raggiunto un luogo sicuro (360 s). E di conseguenza, per ogni sotto configurazione sono stati individuati dei momenti salienti:

- "istante critico" che evidenzia l'impatto dell'altezza interna
- 300 s e 360 s, che hanno lo scopo di mettere in risalto l'efficienza delle aperture di smaltimento del fumo.

Per "istante critico" si intende il momento in cui almeno una via d'esodo viene resa indisponibile dalla concentrazione dannosa del fumo che comporta una visibilità inferiore a 10 m.

### 6.1.1 Configurazione\_2

In questa configurazione, si è scelto di collocare il focolare in un corridoio cieco posto nella ZONA SUD. Lungo il corsello di manovra di tale zona sono presenti 6 aperture di smaltimento fumo e calore di emergenza (SE) poste a soffitto (denominate **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**). Nel complesso la distribuzione di tutte le aperture (15 in totale) nell'autorimessa è uniforme nel rispetto dell' $R_{offset}$  di 30 m. L'analisi si

è quindi focalizzata sulla ZONA SUD, che per via della presenza dell'incendio è la zona ragionevolmente più pericolosa. Estendere l'analisi anche alla ZONA NORD sarebbe stato superfluo.

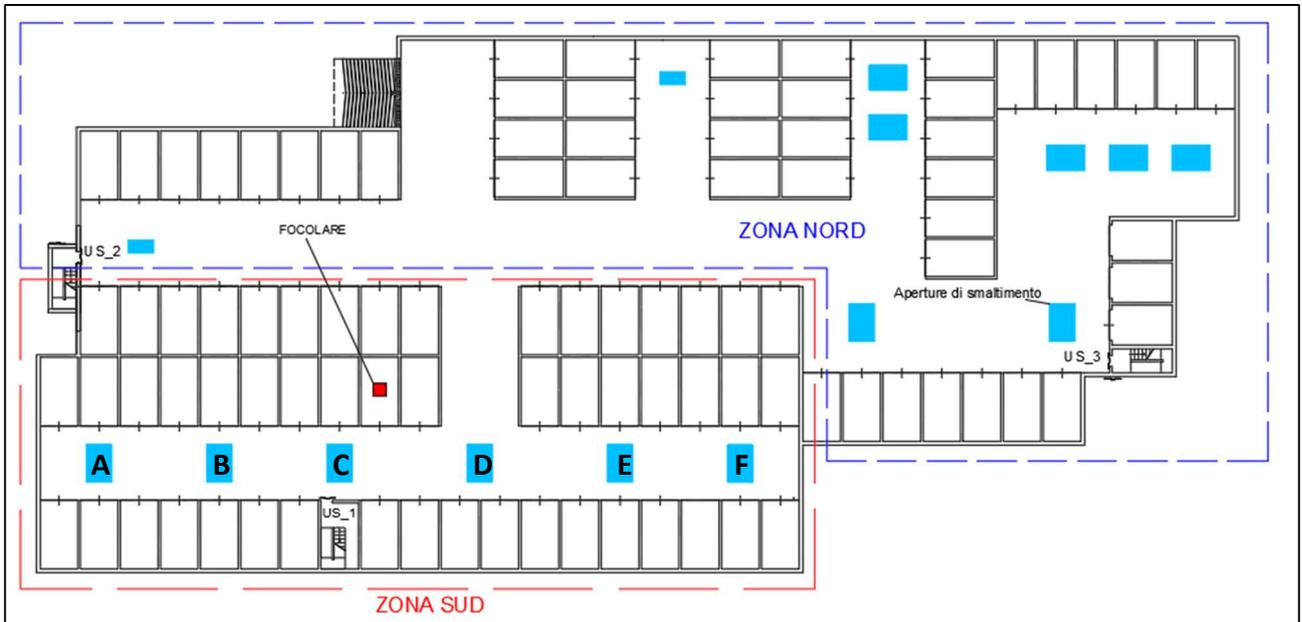


Figura 40. Layout con aperture configurazione\_2

CONFIGURAZIONE 2			
MACRO ZONA DI ANALISI	ZONA SUD		
Sotto configurazione	Configurazione 2_H_2.4	Configurazione 2_H_3.0	Configurazione 2_H_3.5
Altezza interna	2.4 m	3.0 m	3.5 m
Posizione focolare	corridoio cieco ZONA SUD		
Quantità di aperture	15		
Superficie totale aperture	82 m <sup>2</sup>		
Soddisfacimento prescrizioni soluzione conforme S.8 per livello II	SI		

## Configurazione\_2\_H\_2.4

In questa sotto configurazione l'altezza interna è pari a 2.4 m.

Come possiamo notare dall'immagine sottostante, considerando che l'incendio a 200 s inizia a manifestare i suoi effetti nel corsello di manovra, già a 215 s crea una barriera di fumo che non permette la visibilità oltre i 10 m (macchia blu in figure). Questa concentrazione critica comporta l'impossibilità dell'evacuazione per le persone provenienti dalla sinistra del focolare, sia perché la barriera di fumo che si è creata a un'altezza dal pavimento di 1.75 m (slice orizzontale) non permette loro di vedere dove andare, sia perché l'uscita US\_1 è subito diventata indisponibile in quanto oscurata dai fumi. Pertanto, in questa configurazione l'istante critico è stabilito a 215 s.

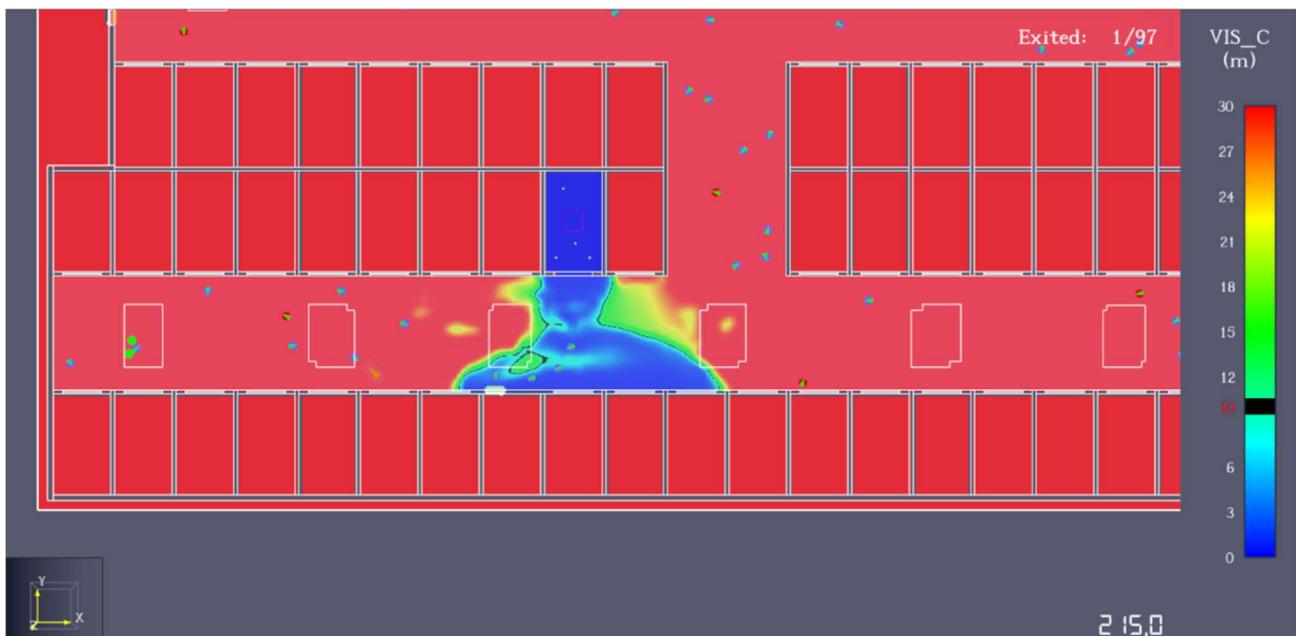


Figura 41. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità orizzontale per la Configurazione\_2\_H\_2.4, all'istante critico  $t=215$  s.

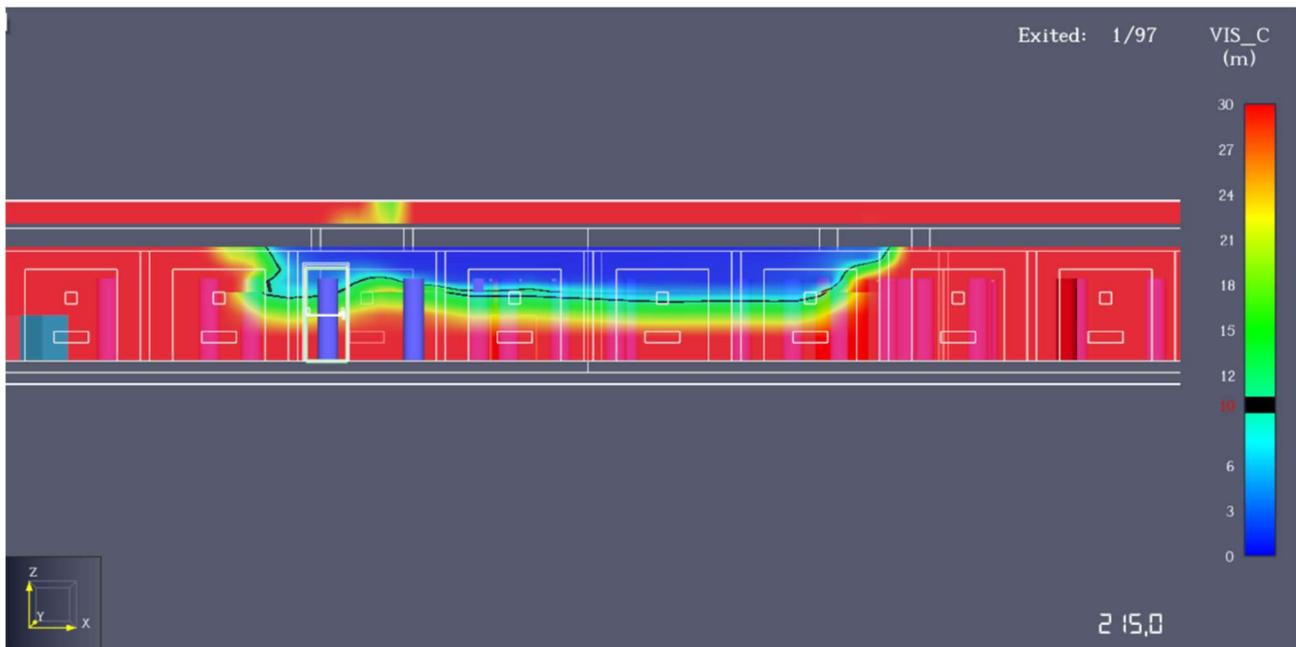


Figura 42. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità verticale per la Configurazione\_2\_H\_2.4, all'istante critico  $t=215$  s. Il fumo è sceso al di sotto dell'altezza uomo (1.8 m).

A 300 s, tutte le aperture sono in funzione, come si nota dal fumo che esce dal solaio (slice verticale), ad eccezione della A e della F che non sono ancora state investite da esso.

Ciononostante, la continua produzione di fumo e la sua concentrazione rende la visibilità all'interno del corsello sotto i valori soglia.

Un potenziale occupante che inizia a muoversi per esodare dagli estremi del corsello ha già raggiunto l'incapacitazione.

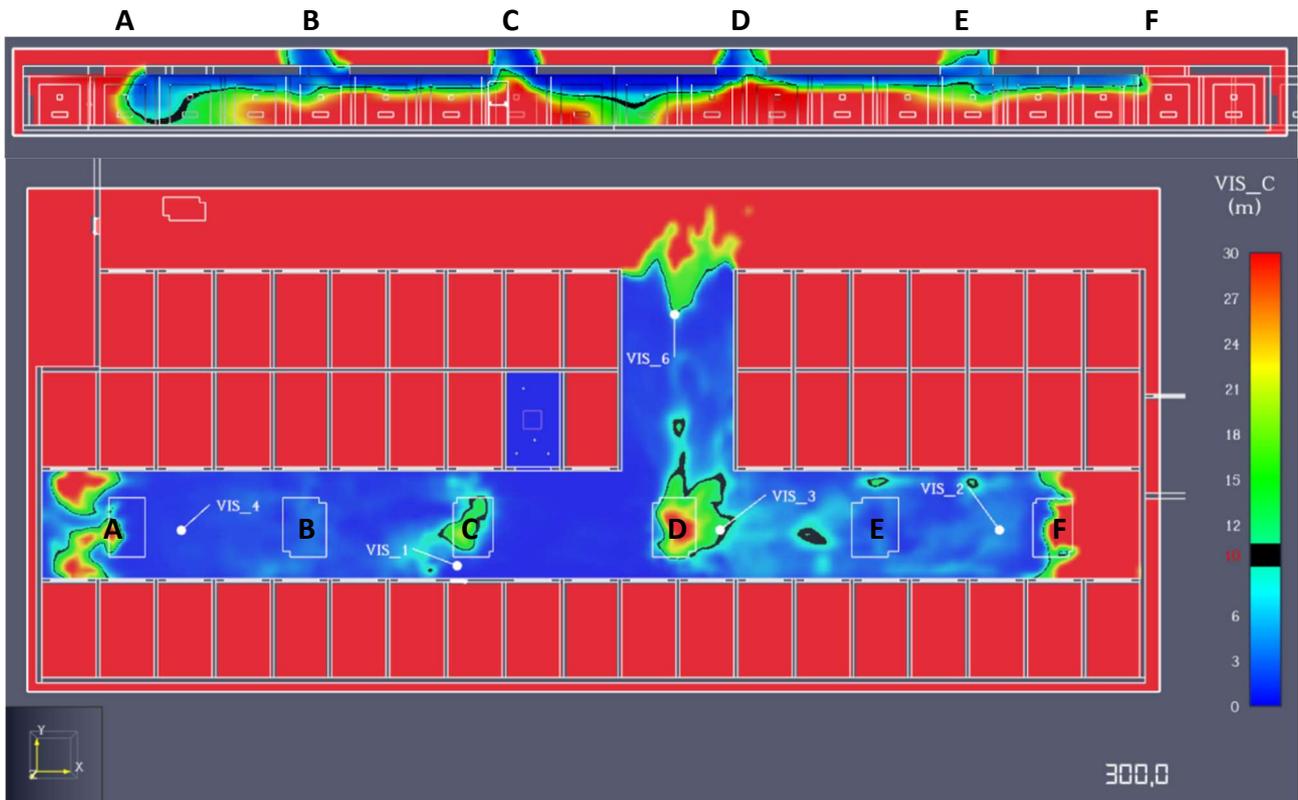


Figura 43. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=300$  s, per la Configurazione\_2\_H\_2.4

A 360 s nonostante tutte le aperture stiano smaltendo fumo rimangono inefficaci, infatti il fumo ha raggiunto la pavimentazione in più punti, come si evince dalla slice verticale.

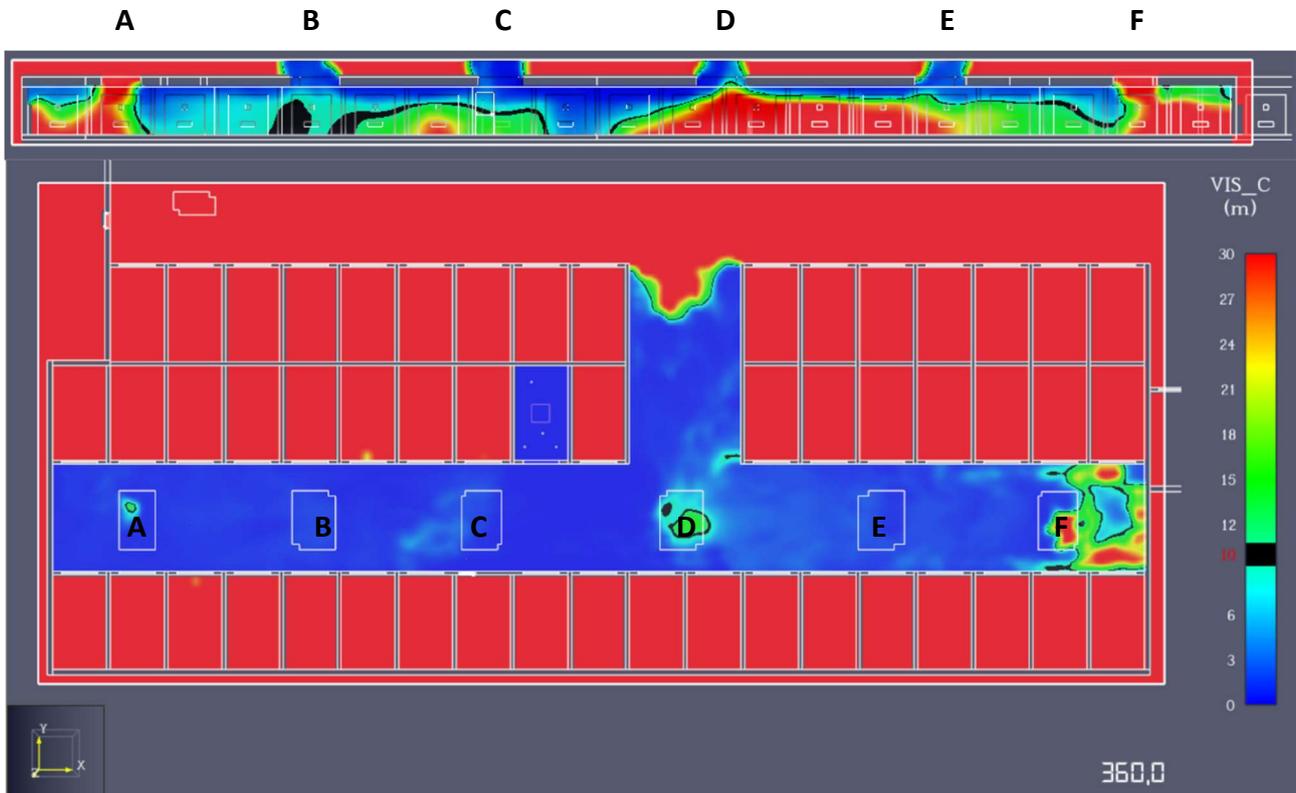


Figura 44. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_2\_H\_2.4

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle *slice*. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_1, VIS\_2, VIS\_3, VIS\_4, VIS\_6 le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

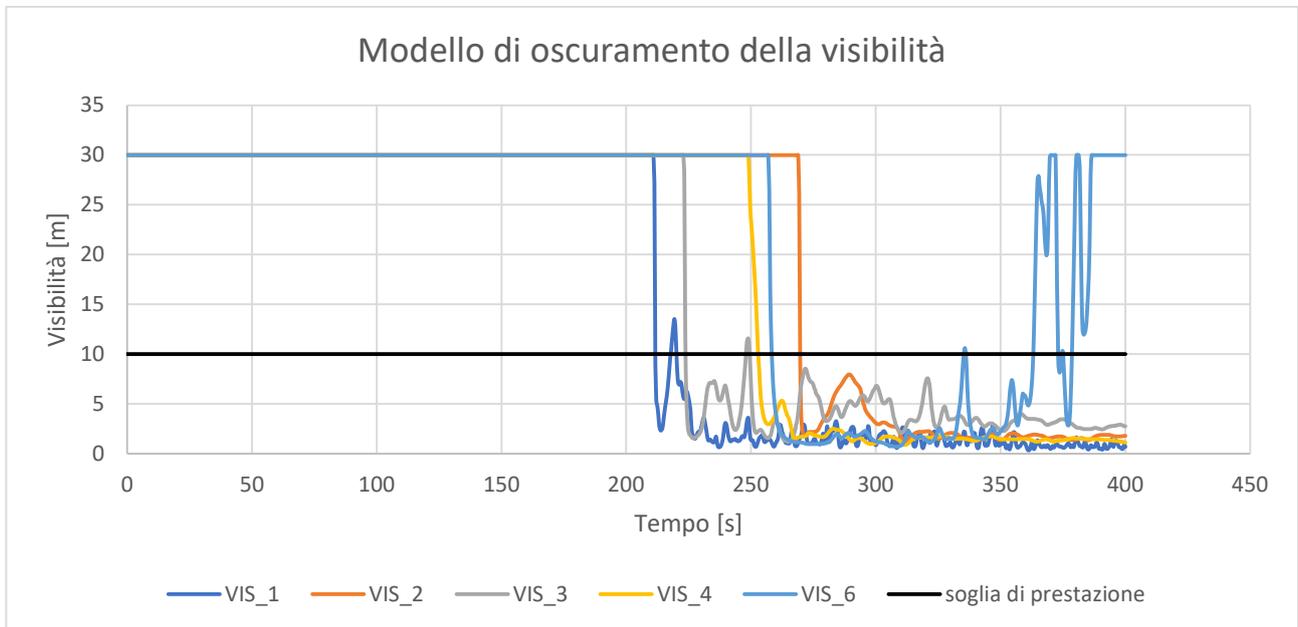


Grafico 1. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_2\_H\_2.4

### Configurazione\_2\_H\_3.0

In questa sotto configurazione in cui l'altezza interna è posta a 3.0 m, l'istante critico si raggiunge a 240 s perché da questo momento le persone provenienti da sinistra non riescono ad avere una visibilità tale da poter esodare autonomamente. Lo possiamo evincere guardando sia dall'alto (*slice* orizzontale) che nella sezione verticale (*slice* verticale), poiché nei pressi della apertura **B** il fumo si è diffuso fino a metà altezza e si concentra al punto da rendere la visibilità sotto la soglia concessa.

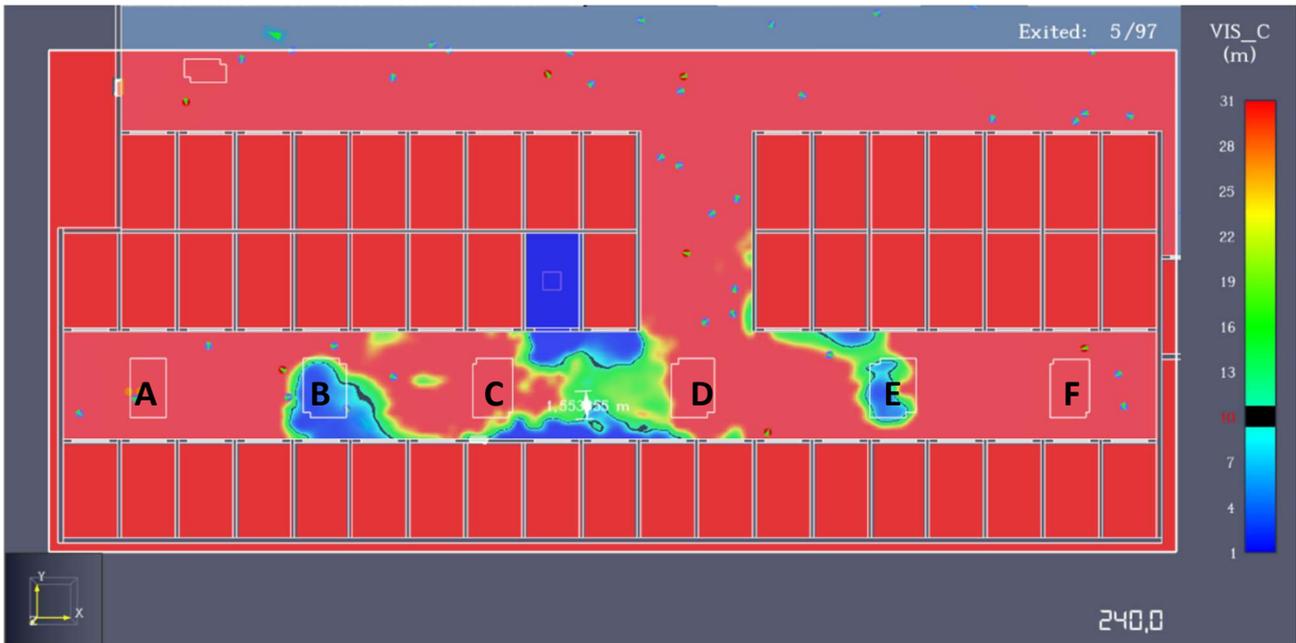


Figura 45. Configurazione\_2\_H\_3.0, confronto tra modellazione di esodo e slice orizzontale all'istante critico  $t=240$  s.

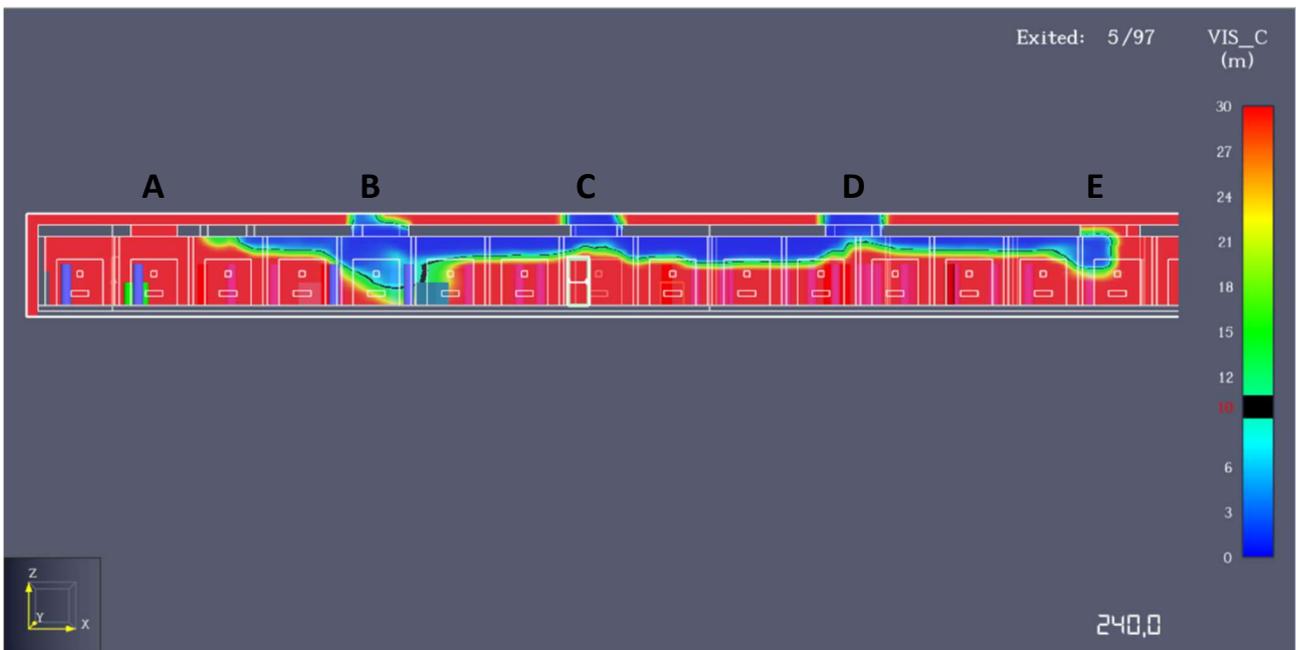


Figura 46. Configurazione\_2\_H\_3.0, confronto tra modellazione di esodo e slice verticale all'istante critico  $t=240$  s. Gli abbassamenti verso il pavimento critici del fumo a sinistra sono, coerentemente con quanto detto prima, in corrispondenza dell'apertura B.

A 300 s possiamo notare delle notevoli differenze rispetto allo stesso momento della configurazione con altezza di 2.4 m: tutte le aperture in questo caso, tranne la F dove ancora il fumo non è arrivato, stanno smaltendo fumo (come si nota dalla slice verticale), ciononostante non riescono a creare un adeguato strato libero dai fumi che permetta una evacuazione delle persone senza problemi di visibilità. Ad un'altezza dal pavimento di 1.75 m (slice orizzontale) la visibilità non è accettabile in più punti del corsello e nei pressi delle aperture B ed F il fumo ha toccato il pavimento (slice verticale).

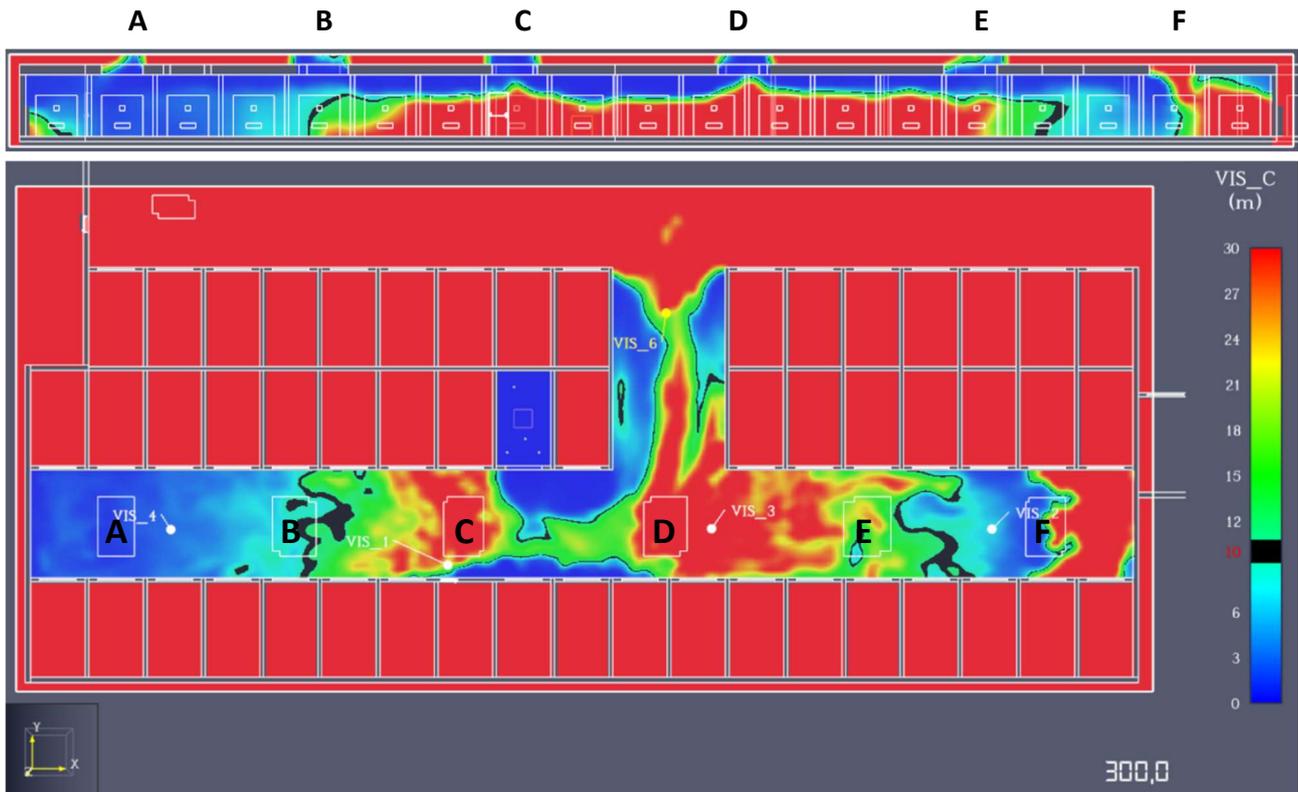


Figura 47. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=300$  s, per la Configurazione\_2\_H\_3.0

Anche in questo caso, raggiungendo i 360 s la situazione rimane comunque molto critica, sebbene mantenga le differenze legate evidentemente all'altezza interna. Le aperture stanno continuando a smaltire i fumi (evidente dalla slice verticale) ed inizia ad essere coinvolta anche la F. Ciononostante, le aree in cui la visibilità rimane accettabile si sono ristrette, come si evince dalle due slice.

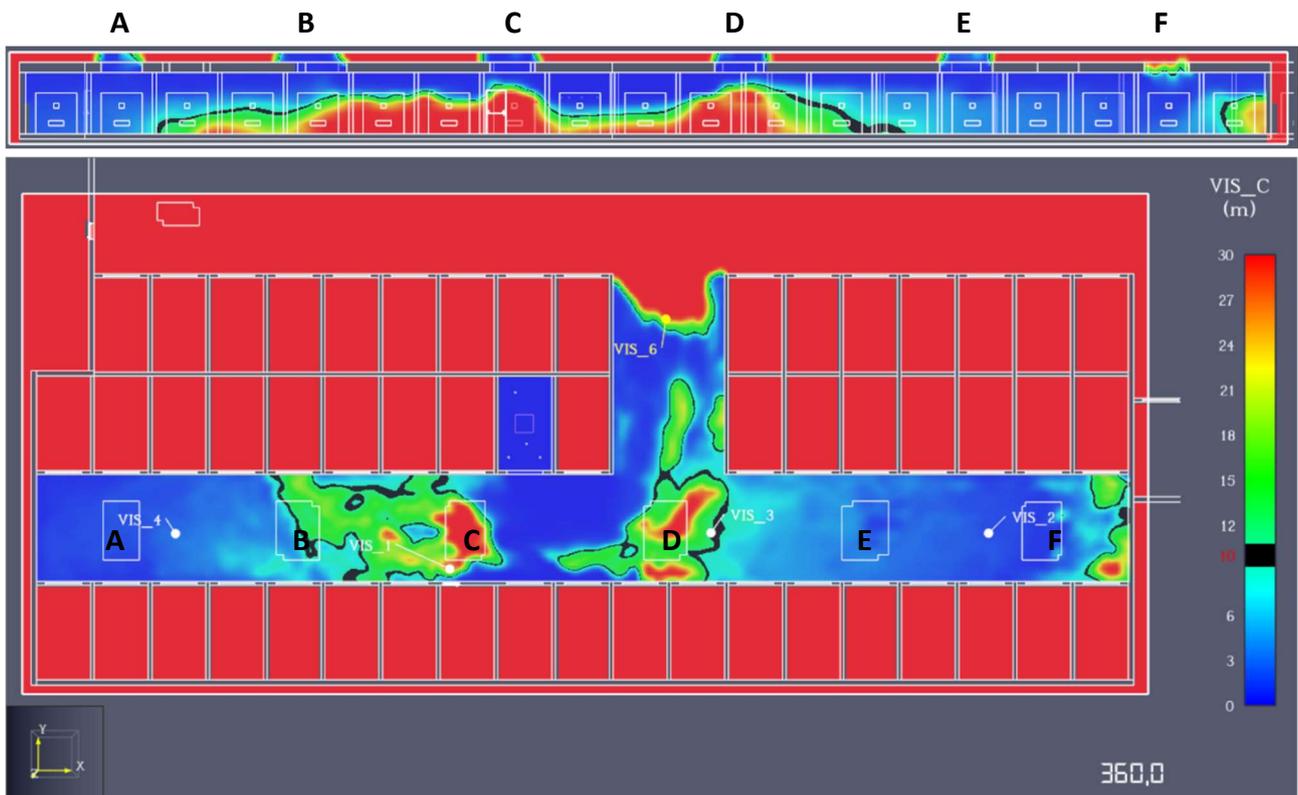


Figura 48. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_2\_H\_3.0

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle *slice*. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_1, VIS\_2, VIS\_3, VIS\_4, VIS\_6 le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

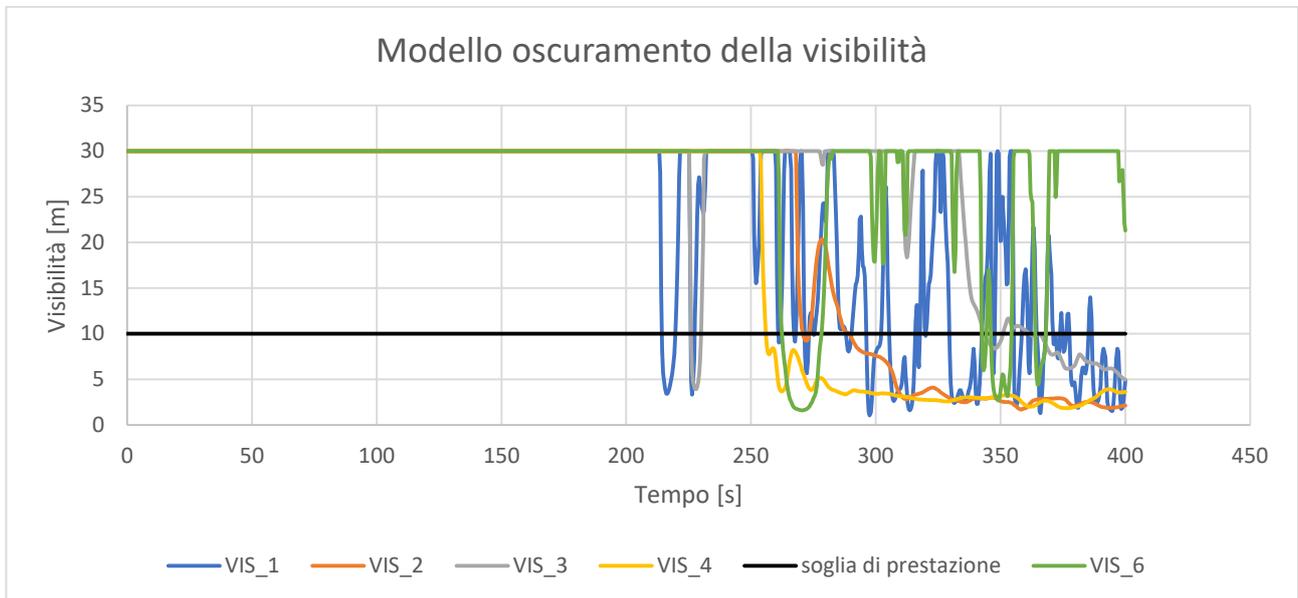


Grafico 2. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_2\_H\_3.0

### Configurazione\_2\_H\_3.5

La sotto configurazione in esame pone l'altezza interna a 3.5 m.

L'istante critico è stato fissato a 256 s perché in corrispondenza dell'apertura **A**, ben visibile nella slice orizzontale, si crea una concentrazione di fumo che ostruisce significativamente la visibilità degli occupanti che si trovano a sinistra di essa compromettendone l'evacuazione. Infatti, considerando il piano orizzontale, si nota un'estensione importante della macchia di scarsa visibilità e invece sul piano verticale si vede come scenda fino quasi a toccare il pavimento.

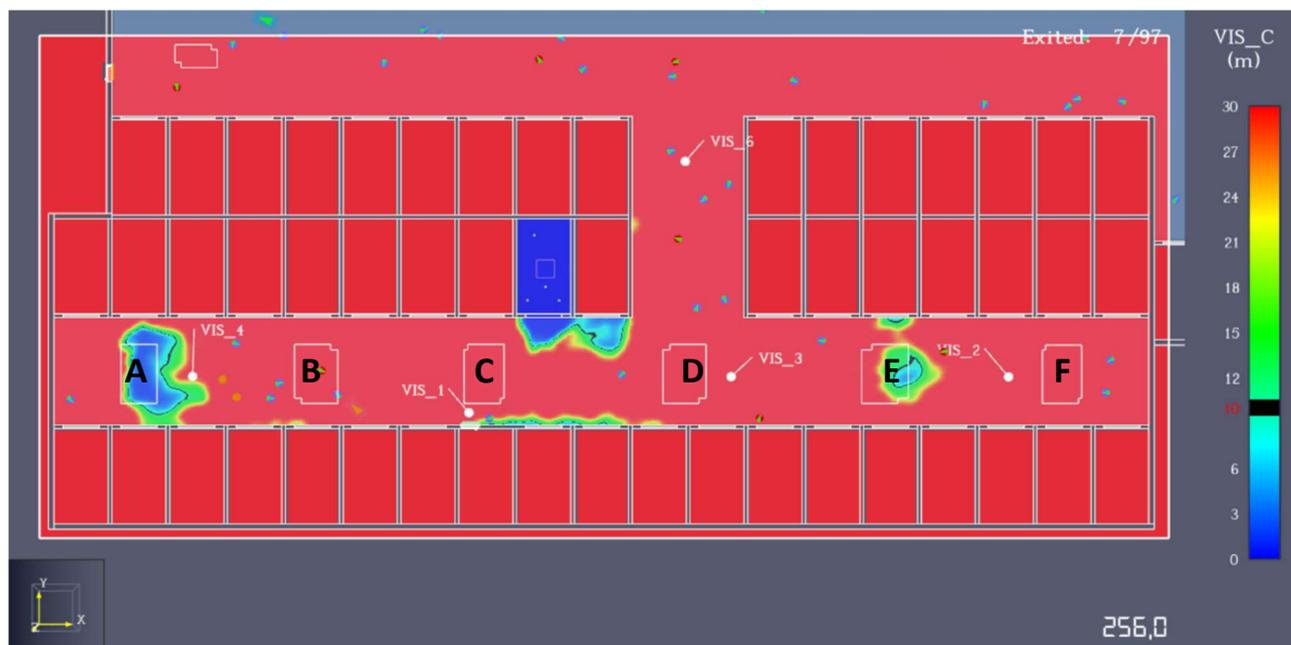


Figura 49. Confronto tra modellazione di esodo e slice orizzontale per la Configurazione\_2\_H\_3.5, all'istante critico  $t=256$  s. Inoltre, si può notare il posizionamento delle sonde virtuali (device)

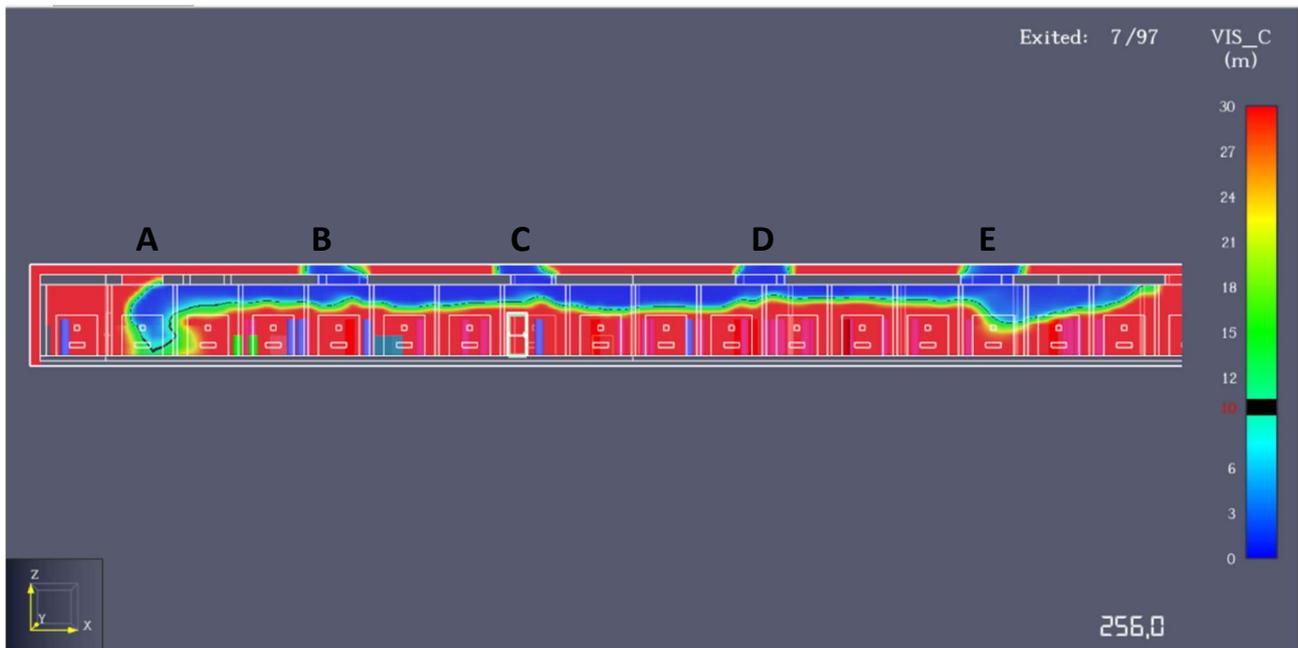


Figura 50. Confronto tra modellazione di esodo e slice verticale per la Configurazione\_2\_H\_3.5, all'istante critico  $t=256$  s. L'abbassamento critico del fumo verso il pavimento avviene a sinistra, coerentemente con quanto detto prima, in corrispondenza dell'apertura A.

Al 300 s di questa configurazione, tutte le aperture stanno smaltendo il fumo anche se la F in misura parziale. Rispetto alle altezze inferiori la porzione centrale del corsello, compreso tra le aperture B ed E, è sgombro dai fumi fino ad una quota di circa 2 m, (come osservabile nelle immagini sottostanti) il che non permette comunque all'occupante più sfavorito, che parte in questo momento e che si trova in una posizione più remota rispetto all'uscita, di poter esodare con una visibilità accettabile. Infatti, agli estremi del corsello nei pressi delle aperture A e F la concentrazione critica di fumo è arrivata a toccare perfino il pavimento creando una vera e propria barriera visiva.

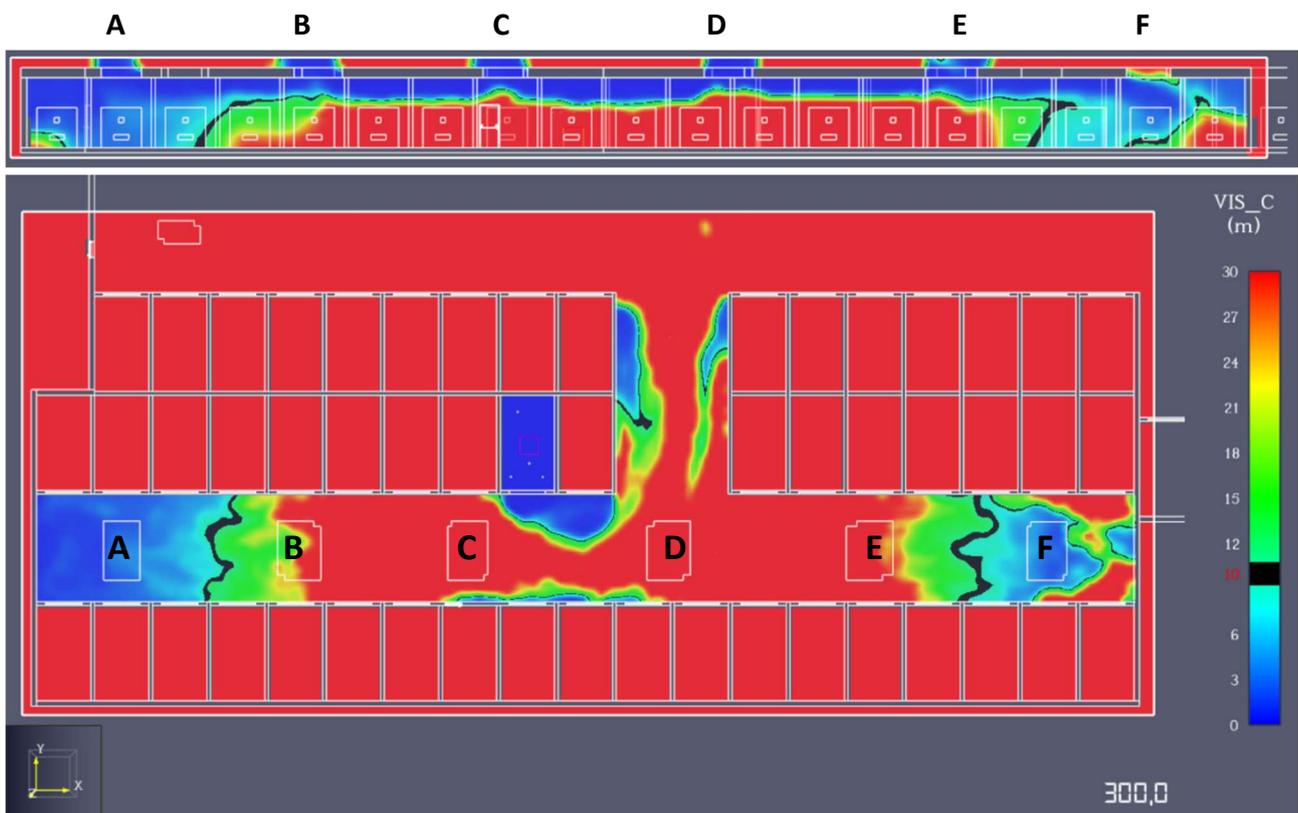


Figura 51. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=300$  s, per la Configurazione\_2\_H\_3.5

A 360 s le aperture A e B stanno funzionando molto efficientemente, al punto da diradare il fumo nei loro pressi e allontanarlo dalla pavimentazione. Complessivamente, rispetto alle altre altezze interne (2.4 e 3.0 metri) la situazione visibilità è migliorata. Anche se in un tempo non più utile all'esodo, le aperture restanti riusciranno a permettere un accettabile smaltimento.

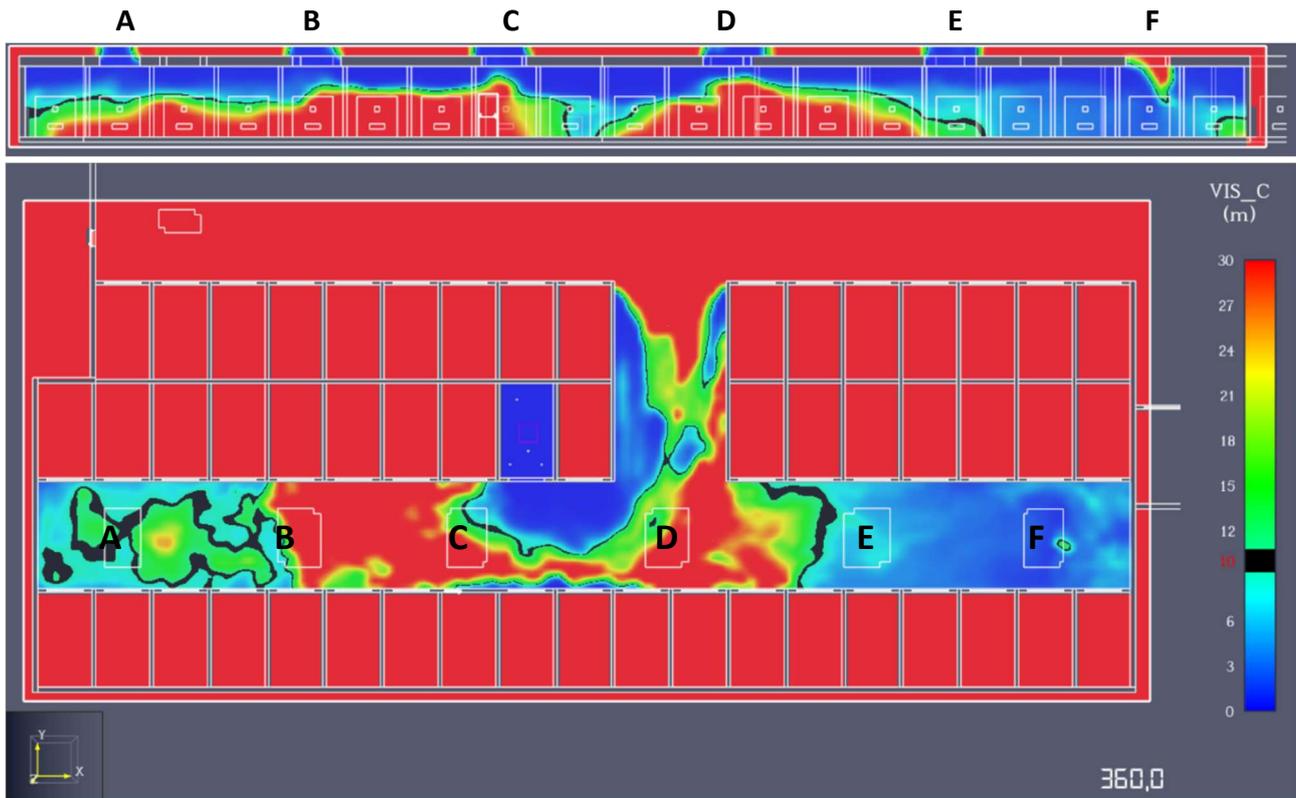


Figura 52. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_2\_H\_3.5

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle *slice*. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_1, VIS\_2, VIS\_3, VIS\_4, VIS\_6 le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

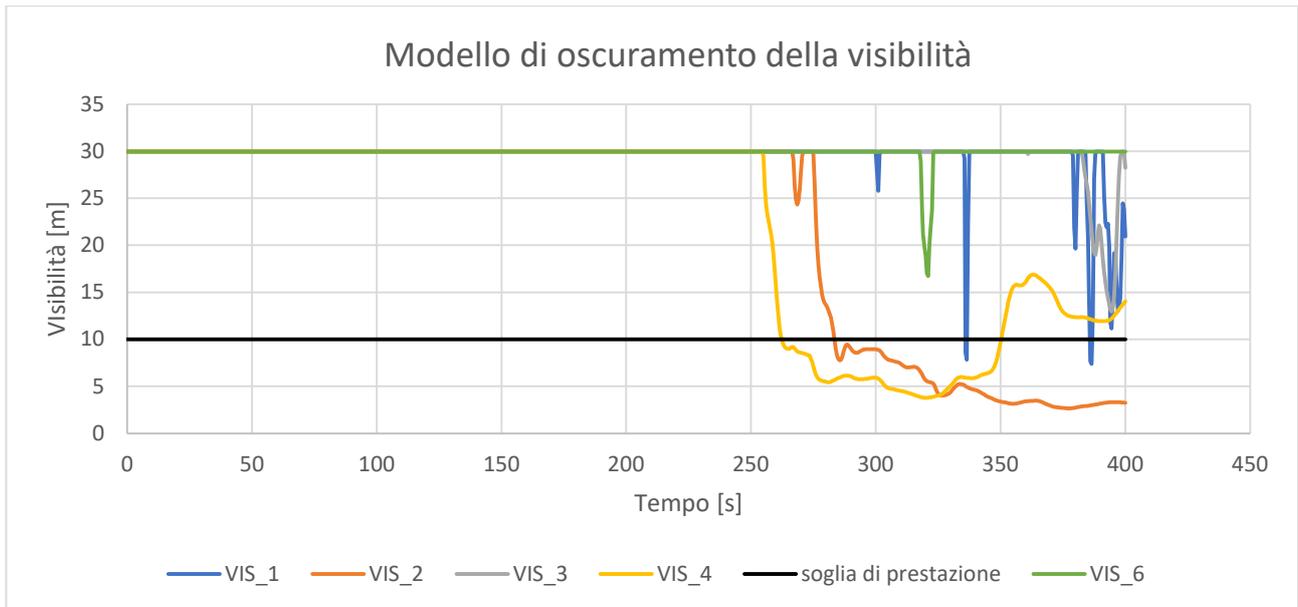


Grafico 3. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_2\_H\_3.5

### 6.1.2 Configurazione\_8

Anche in questa configurazione, si è scelto di collocare il focolare in un corridoio cieco posto nella ZONA SUD, ma, a differenza della Configurazione\_2, lungo il corsello di manovra non sono presenti aperture di smaltimento fumo e calore di emergenza (SE). Tutte le aperture (in totale 15) hanno comunque una distribuzione uniforme rispettando l' $R_{\text{offset}}$  di 30 m. L'analisi si è quindi focalizzata sulla ZONA SUD, che per via della presenza dell'incendio è la zona ragionevolmente più pericolosa. Estendere l'analisi anche alla ZONA NORD sarebbe stato superfluo.

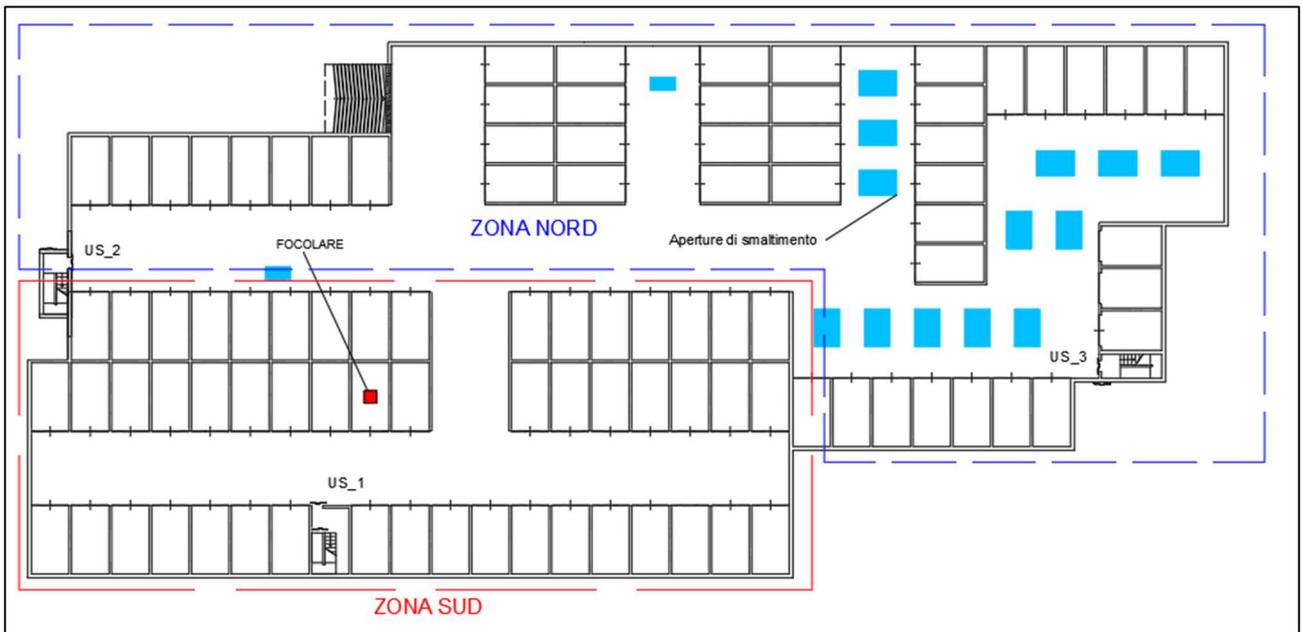


Figura 53. Layout con aperture Configurazione\_8

CONFIGURAZIONE_8			
MACRO ZONA DI ANALISI	ZONA SUD		
Sotto configurazione	Configurazione 8_H_2.4	Configurazione 8_H_3.0	Configurazione 8_H_3.5
Altezza interna	2.4 m	3.0 m	3.5 m
Posizione focolare	corridoio cieco ZONA SUD		
Quantità di aperture	15		
Superficie totale aperture	82 m <sup>2</sup>		
Soddisfacimento prescrizioni soluzione conforme S.8 per livello II	SI		

#### Configurazione\_8\_H\_2.4

In questa sotto configurazione con altezza interna a 2.4 m, a 210 s dall'inizio della simulazione, il corridoio di manovra inizia ad essere influenzato dal fumo. Entro 215 s, il fumo ha già creato una barriera che, riducendo la visibilità a meno di 10 m, crea una situazione pericolosa per la salvaguardia della vita. Le persone che occupano la parte sinistra del focolare si trovano impossibilitate ad evacuare, poiché a causa dell'oscuramento da parte dei fumi, il percorso da seguire non risulta più visibile, implicando inoltre l'inaccessibilità dell'uscita US\_1. Questo porta l'istante critico a 215 s.

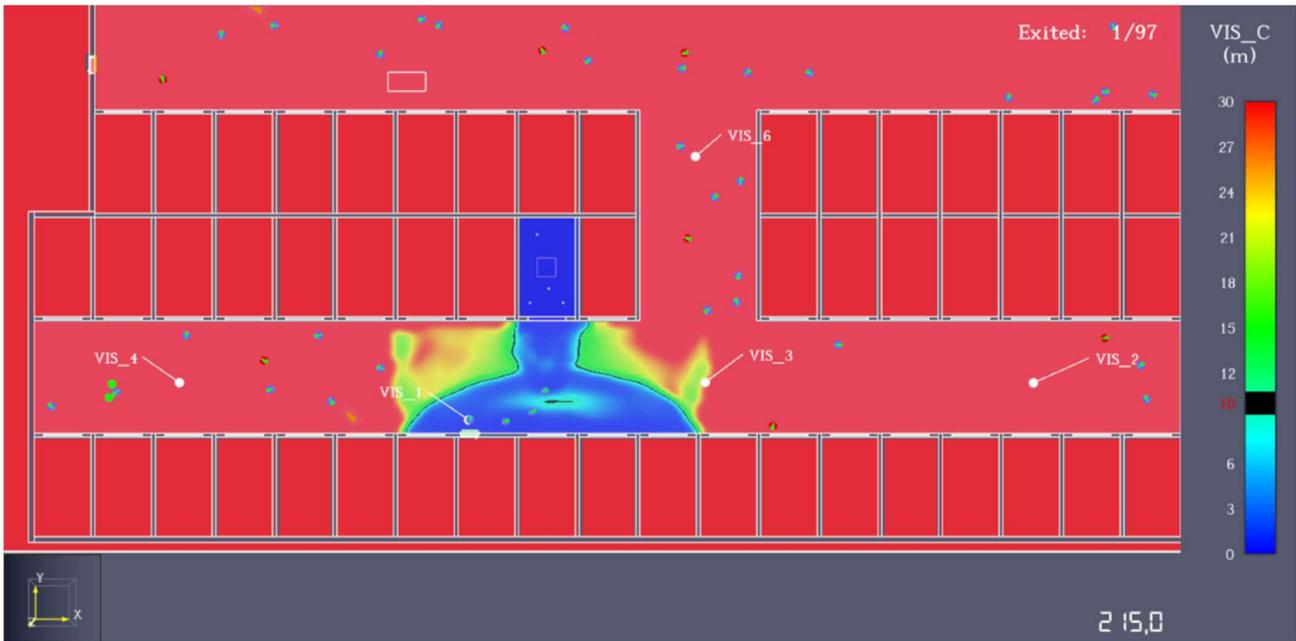


Figura 54. Configurazione\_8\_H\_2.4, confronto tra modellazione di esodo e slice orizzontale all'istante critico  $t=215$  s.

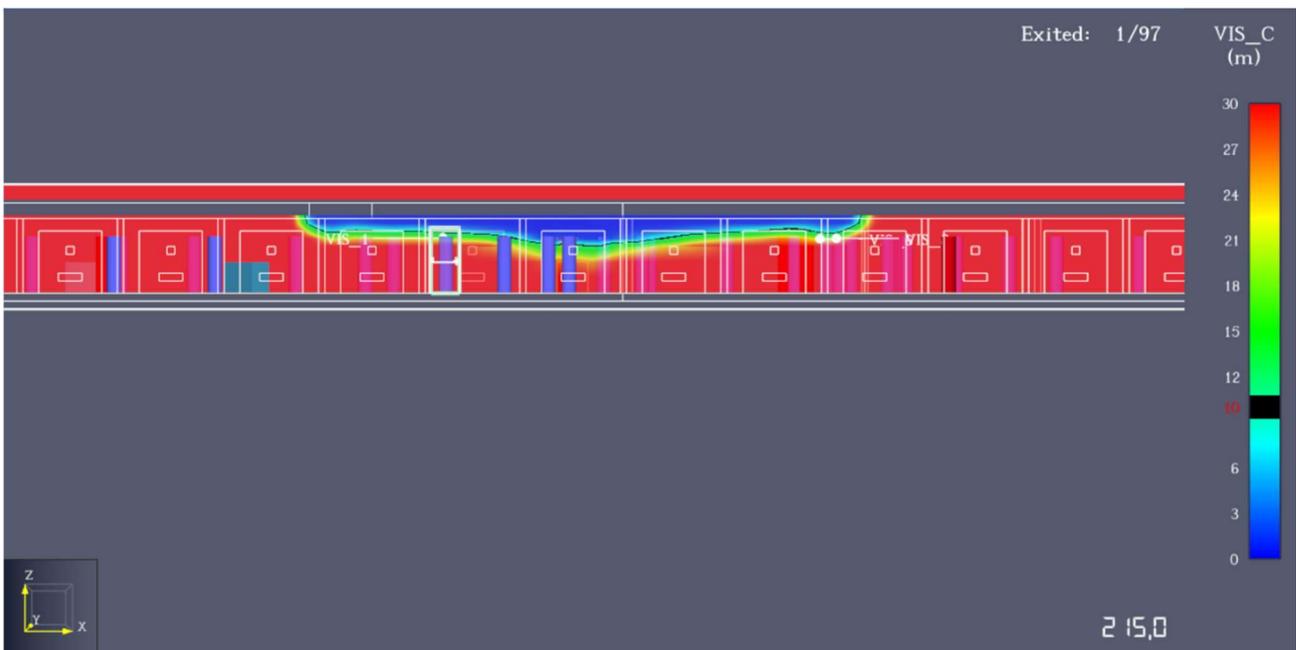


Figura 55. Configurazione\_8\_H\_2.4, confronto tra modellazione di esodo e slice verticale all'istante critico  $t=215$  s.

La totale mancanza di aperture nel corsello, a 300 s, ha permesso al fumo di invadere la quasi totalità del volume impedendone la visibilità. Il potenziale ultimo occupante che si mette in moto in questo momento risulta incapacitato.

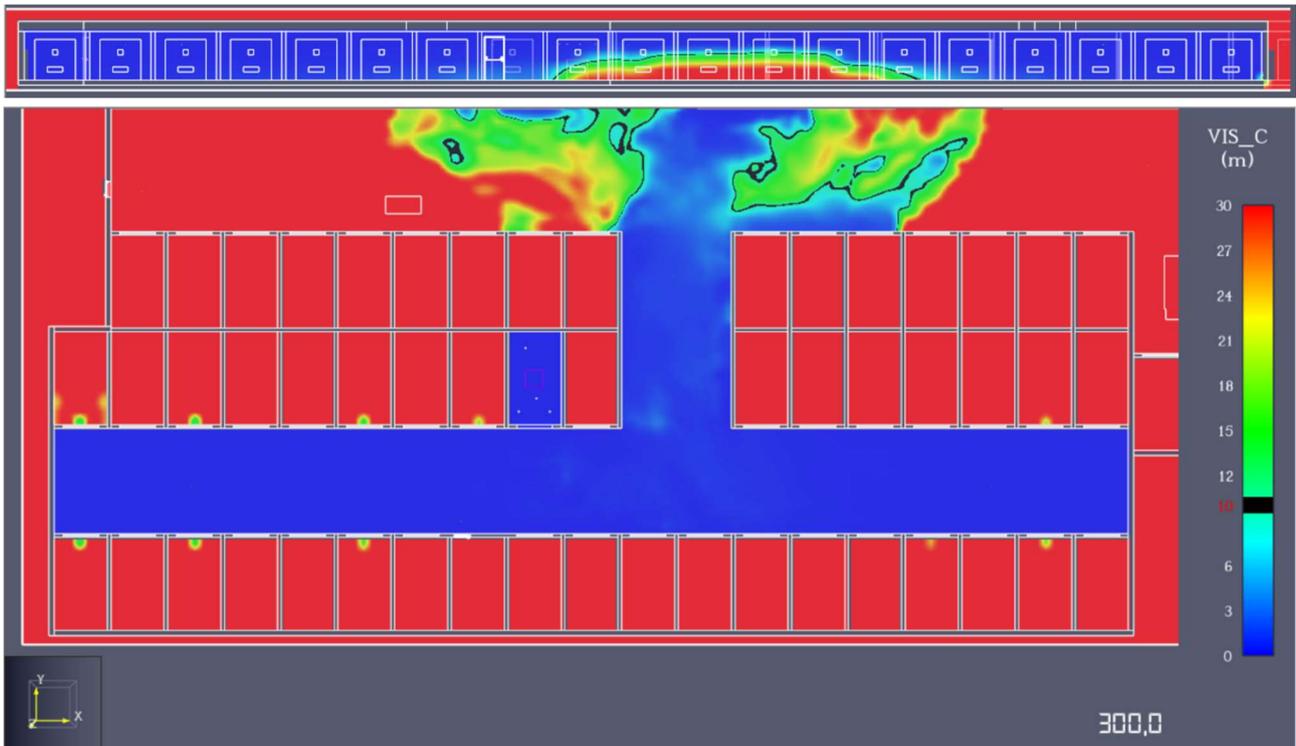


Figura 56. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=300$  s, per la Configurazione\_8\_H\_2.4

A 360 s, il fumo ha invaso completamente in volume del corsello a tal punto da iniziare ad infiltrarsi nella maggior parte dei box che ricordiamo essere stati considerati chiusi nell'analisi.

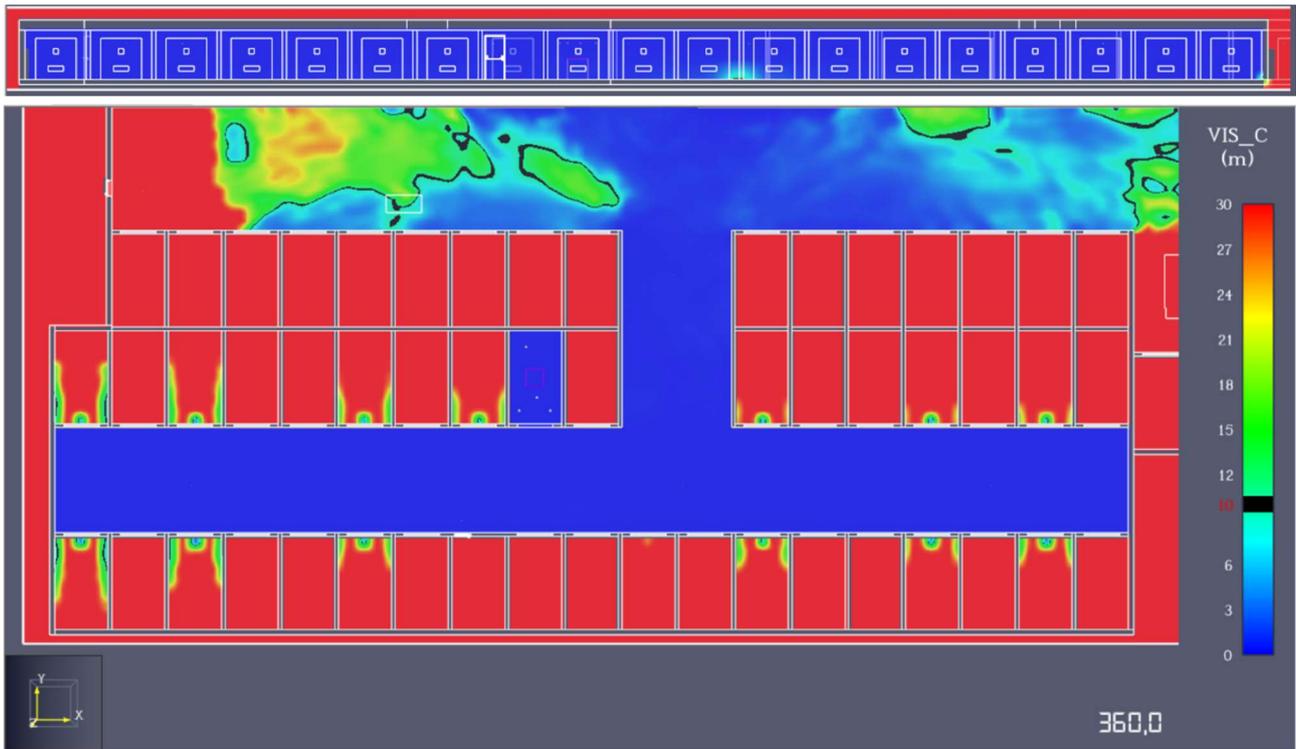


Figura 57. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_8\_H\_2.4

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle *slice*. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_1, VIS\_2, VIS\_3, VIS\_4, VIS\_6 le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

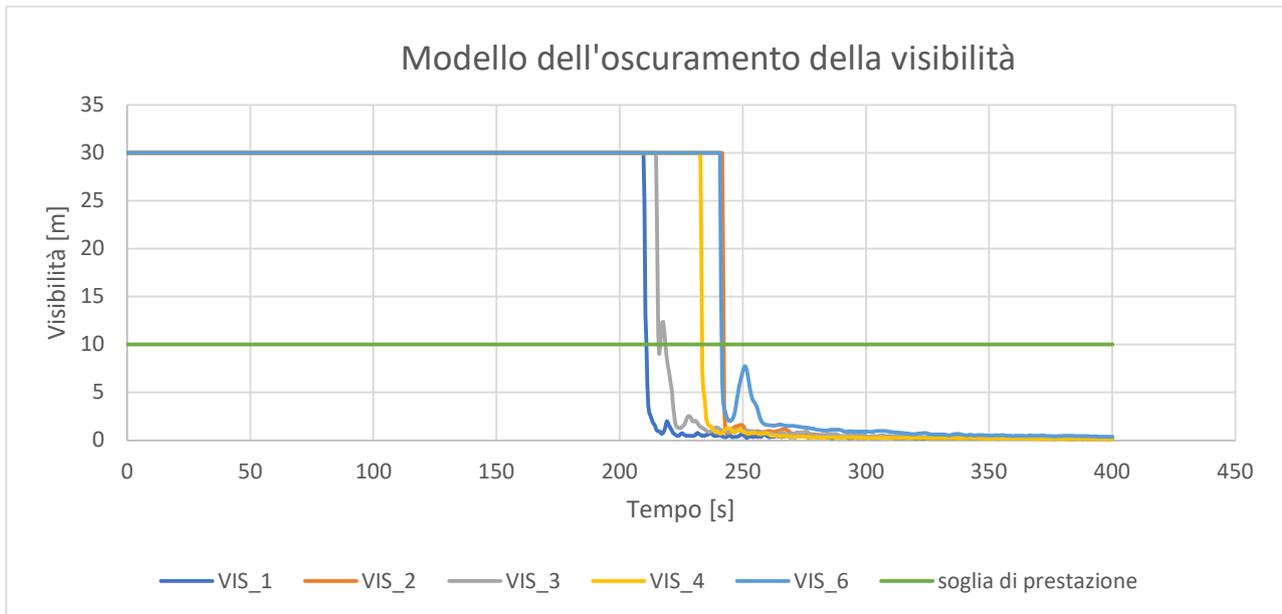


Grafico 4. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_8\_H\_2.4

### Configurazione\_8\_H\_3.0

In questa sotto configurazione con altezza interna a 3.0 m, a 252 s, identificato come “istante critico” gli occupanti della parte sinistra vengono ostacolati nel loro percorso poiché, anche se si sono accorti del fumo, non riescono a guardare oltre per capire in quale direzione continuare il loro esodo.

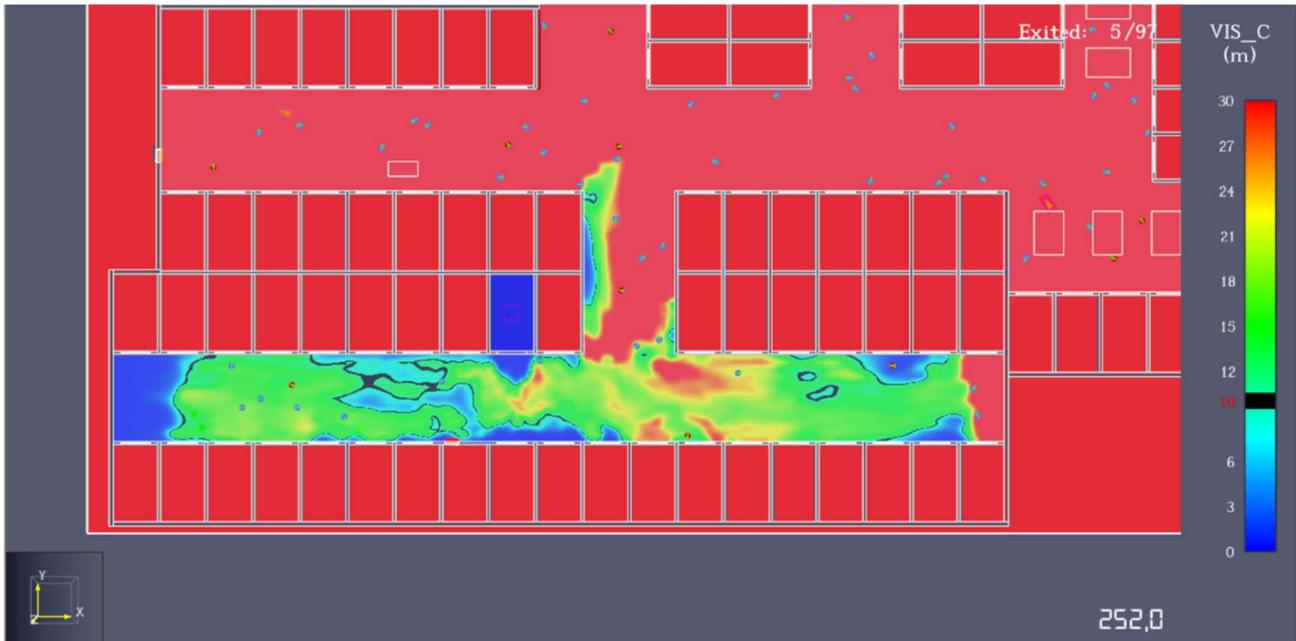


Figura 58. Confronto tra modellazione di esodo e slice orizzontale per la Configurazione\_8\_H\_3.0, all'istante critico  $t=252\text{ s}$ .

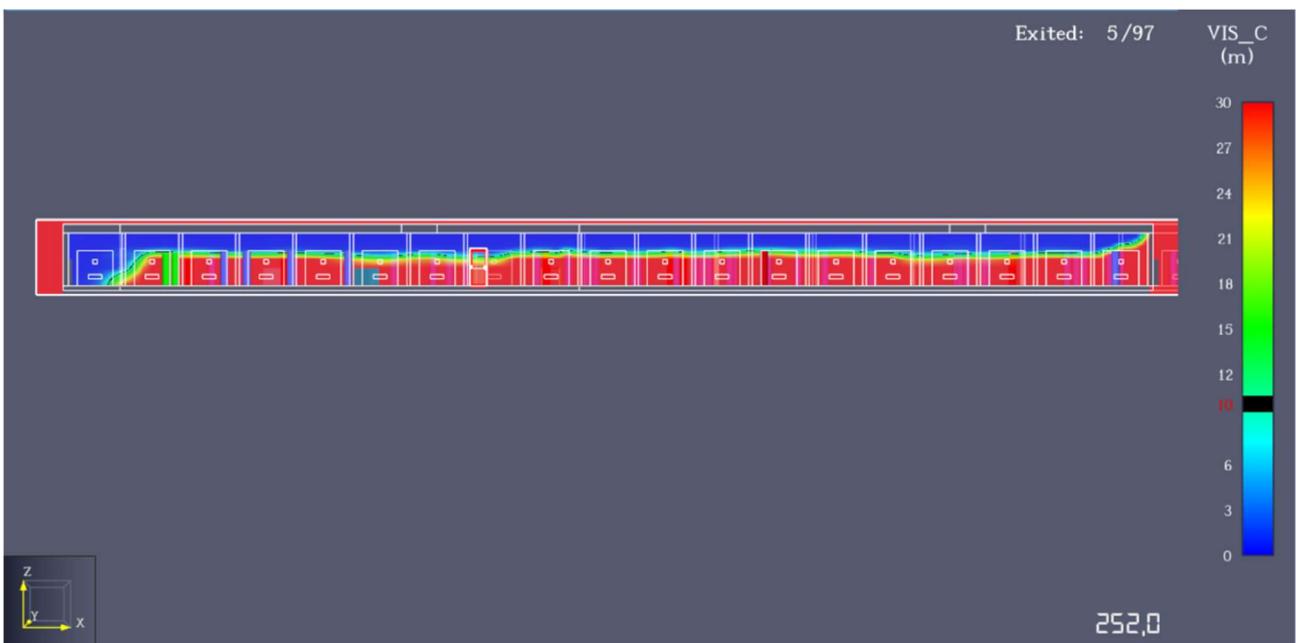


Figura 59. Confronto tra modellazione di esodo e slice verticale per la Configurazione\_8\_H\_3.0, all'istante critico  $t=252\text{ s}$ .

A 300 s, sebbene sia stata imposta un'altezza maggiore, l'assenza di aperture comporta una situazione che poco differisce da un'altezza interna di 2.4 m, si riscontra un miglioramento solo nell'area dello snodo centrale che mette in comunicazione le due macro aree dell'autorimessa. Il resto del corsello continua ad essere occupato interamente dalla concentrazione critica di fumo, il che rende completamente inaccettabile la configurazione ai fini dell'esodo.

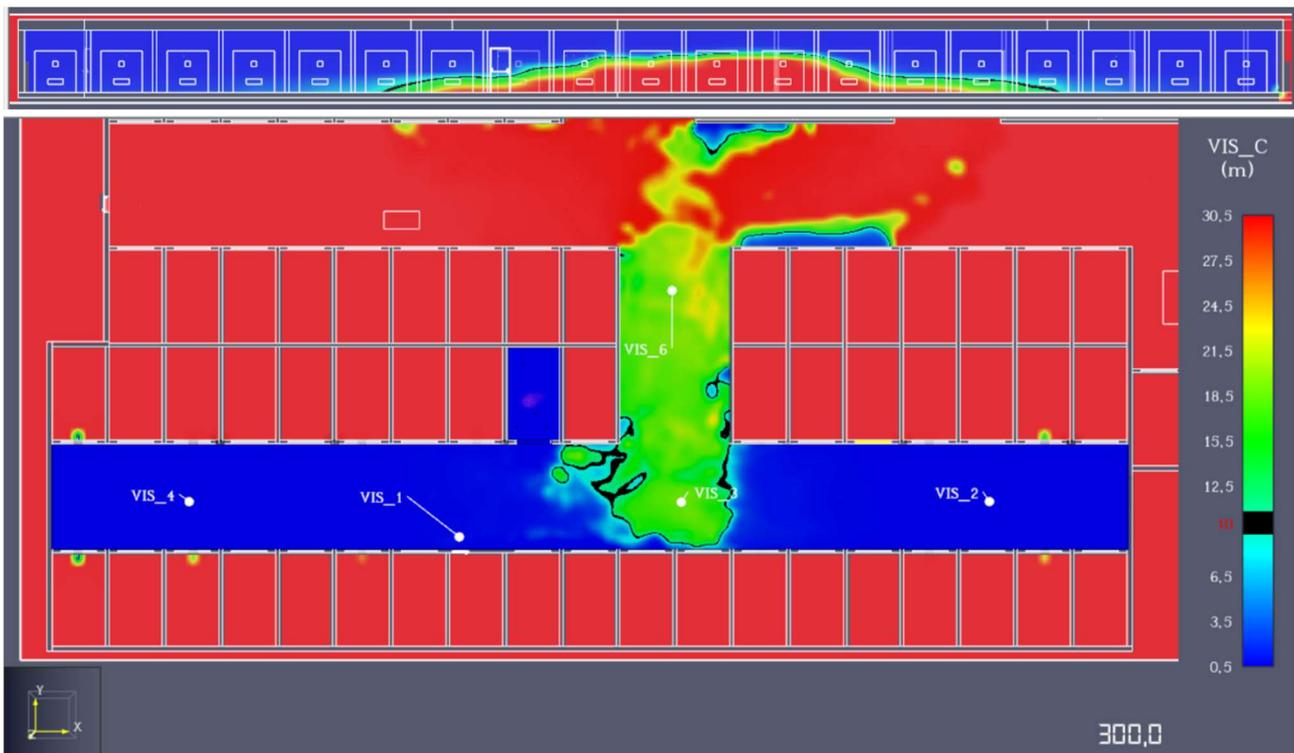


Figura 60. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=300$  s, per la Configurazione\_8\_H\_3.0

Solo per dare prova dell'inaccettabilità incontrovertibile si riporta (qui sotto) un'immagine riportante il 360 s.

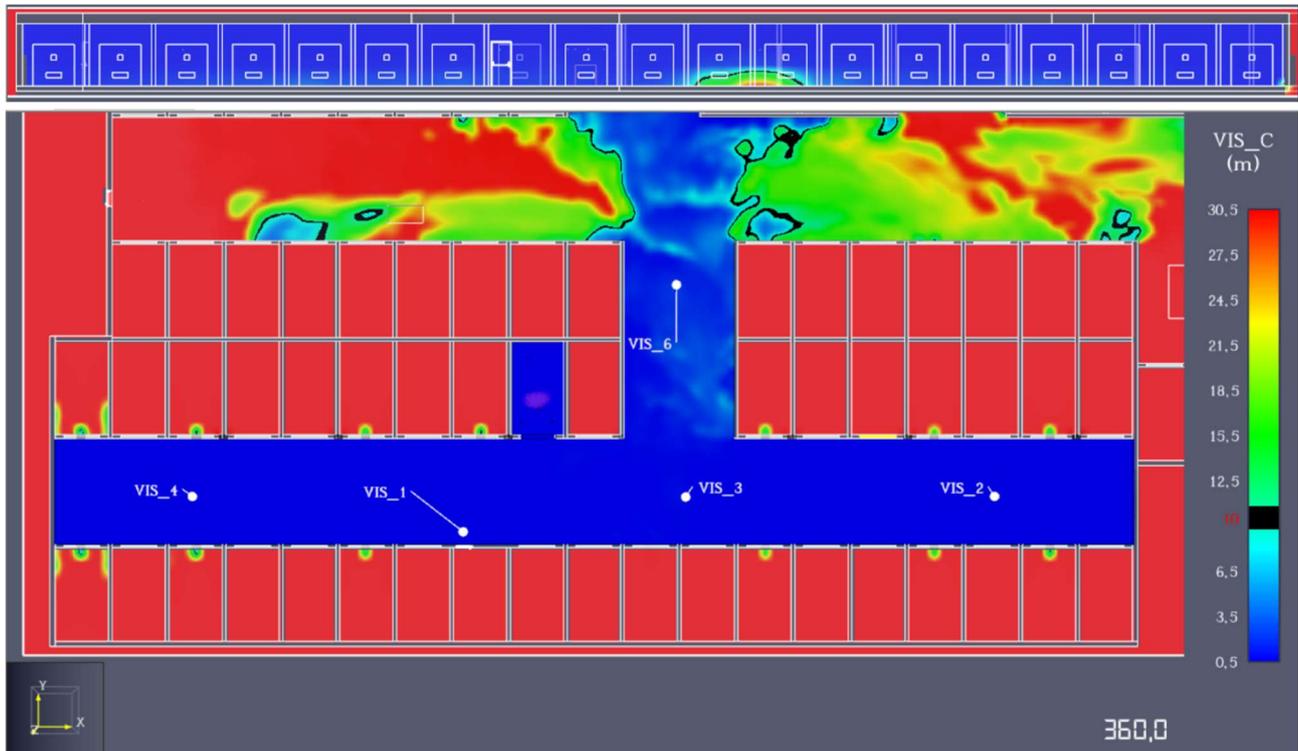


Figura 61. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_8\_H\_3.0

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle *slice*. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_1, VIS\_2, VIS\_3, VIS\_4, VIS\_6 le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

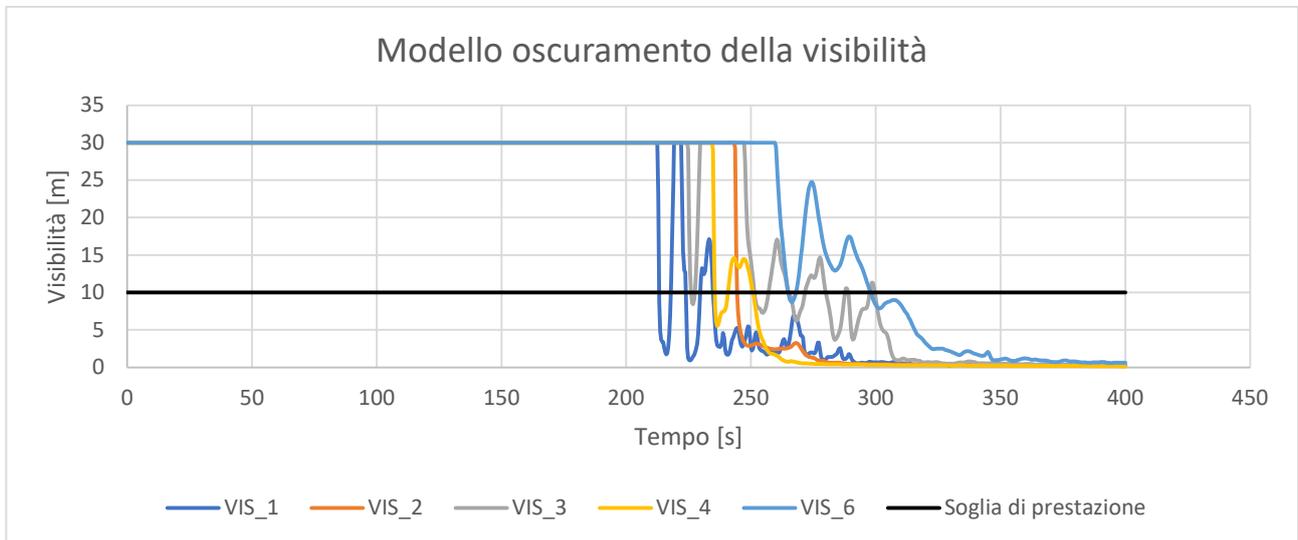


Grafico 5. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_8\_H\_3.0

### Configurazione\_8\_H\_3.5

La sotto configurazione in esame pone l'altezza interna a 3.5 m.

In questo caso non si può definire un istante critico, perché l'accumulo di fumo non ostacola mai l'esodo degli occupanti. Il fumo, nel suo moto ascensionale, lambisce il soffitto e inizia ad accumularsi criticamente a partire dalle pareti perimetrali (indicate con le frecce in giallo in figura). Nella zona evidenziata con il tratteggio giallo la presenza del fumo non dovrebbe creare problemi per l'esodo poiché le persone, per istinto, dovrebbero iniziare a fuggire lasciandolo alle loro spalle, avendo davanti a loro un percorso con una visibilità ben oltre la soglia dei 10 m.

Successivamente avanza in modo omogeneo verso il centro della ZONA SUD.

Nel seguito si riportano delle istantanee che mostrano graficamente quanto detto.

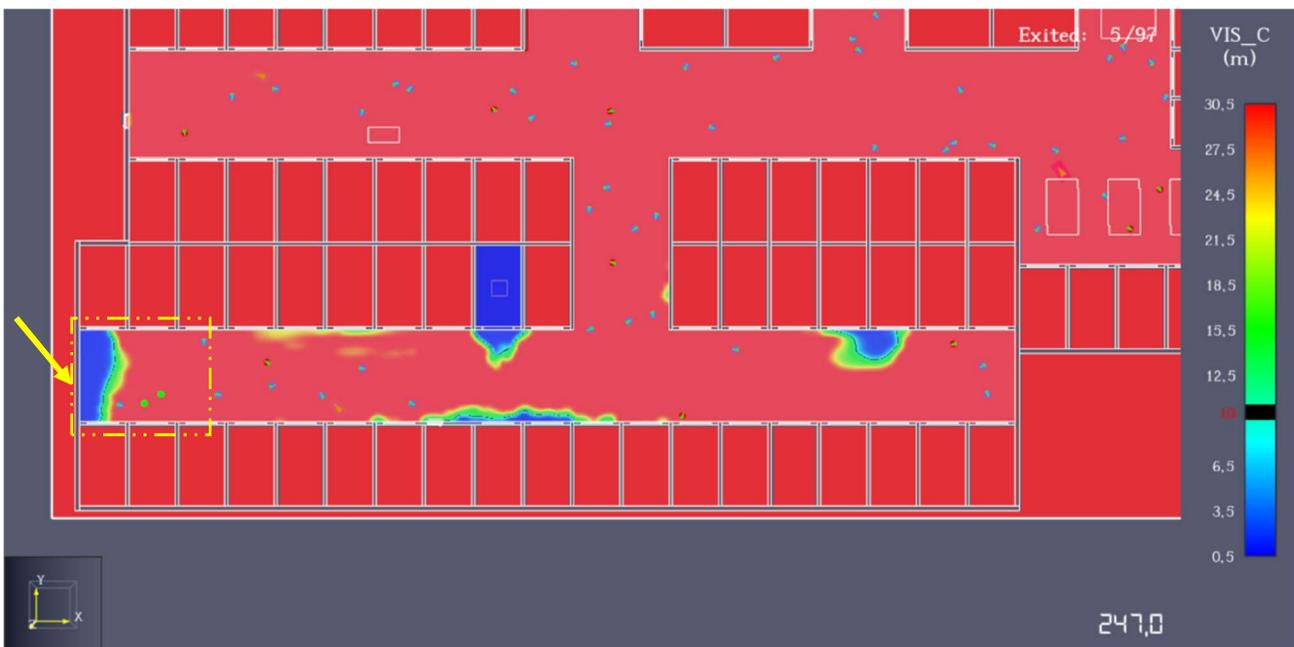


Figura 62. Confronto tra modellazione di esodo e slice orizzontale per la Configurazione\_8\_H\_3.5, all'istante  $t=247$  s. Il fumo si accumula sulle pareti perimetrali e le persone iniziano a scappare avendo una via libera.

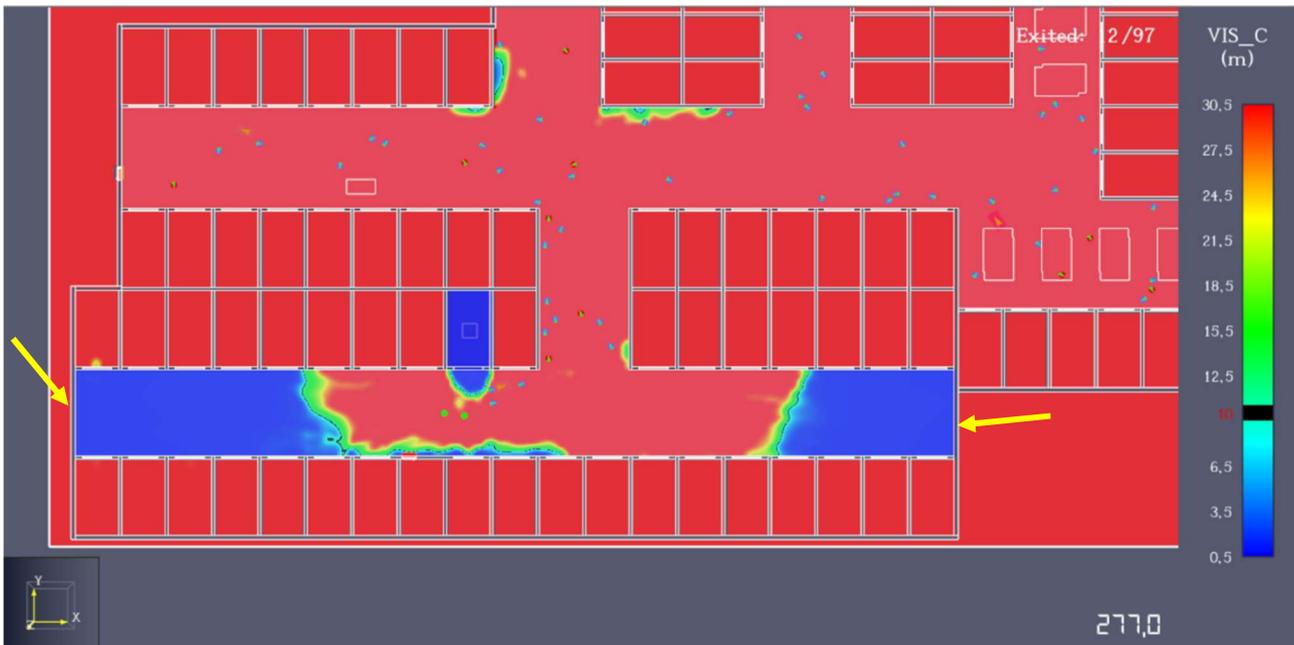


Figura 63. Confronto tra modellazione di esodo e slice orizzontale per la Configurazione\_8\_H\_3.5, all'istante  $t=277$  s. Il fumo avanza in modo omogeneo e le persone continuano il loro esodo indisturbate.

Il fattore “istinto” dell’essere umano è stato preso in considerazione a livello del tutto generale. Tuttavia, ai fini di un’analisi critica, rifacendosi allo studio svolto sul tempo di pre-movimento (par. 5.3.5 Modellazione dell’esodo), un’occupante potrebbe comunque iniziare l’esodo a 300 s e, come si evince dalle immagini sottostanti, la situazione non gli permetterebbe di mettersi in salvo in quanto il suo campo visivo sarebbe completamente occluso dalla concentrazione di fumo.

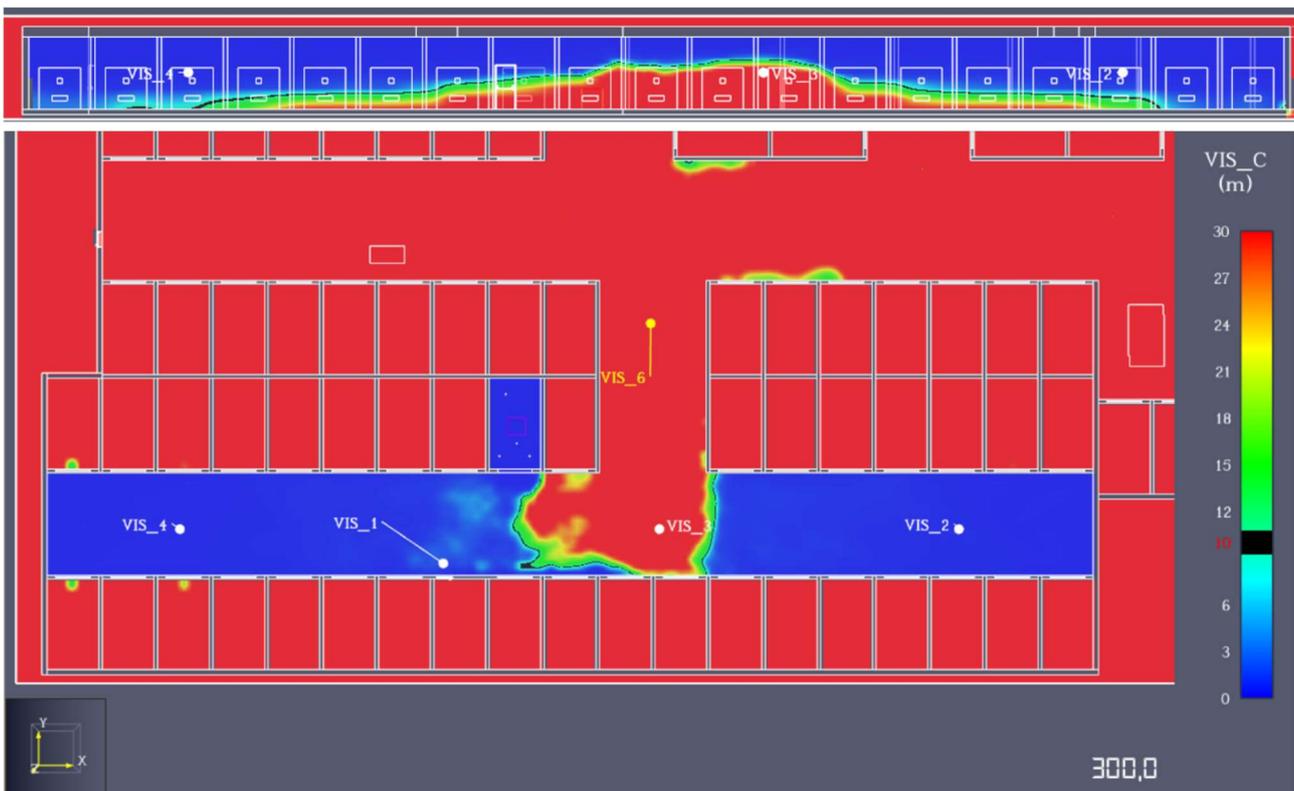


Figura 64. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=300$  s, per la Configurazione\_8\_H\_3.5

La situazione si riconferma sempre più critica, riscontrando delle differenze con le altezze interne inferiori irrisorie. Infatti, il fumo è presente fittamente lungo tutto lo spazio del corsello.

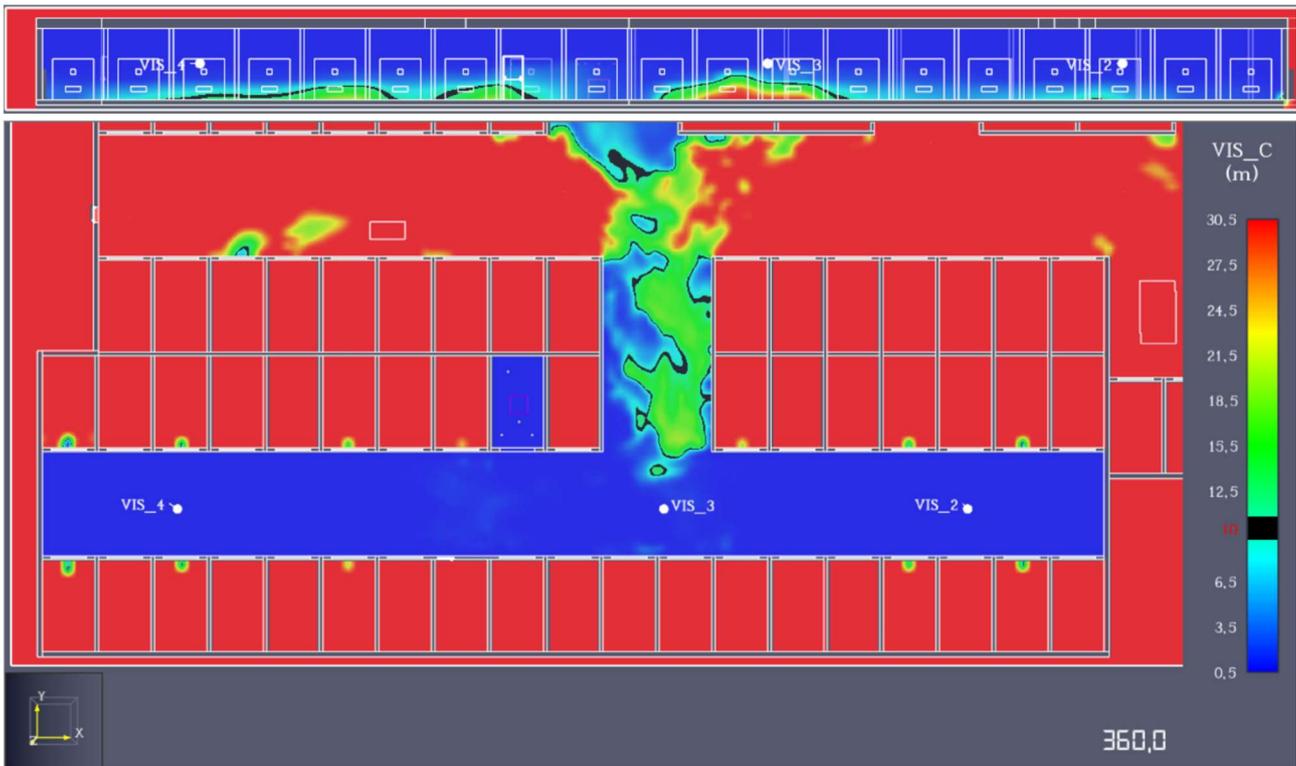


Figura 65. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_8\_H\_3.5

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle *slice*. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_1, VIS\_2, VIS\_3, VIS\_4, VIS\_6 le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

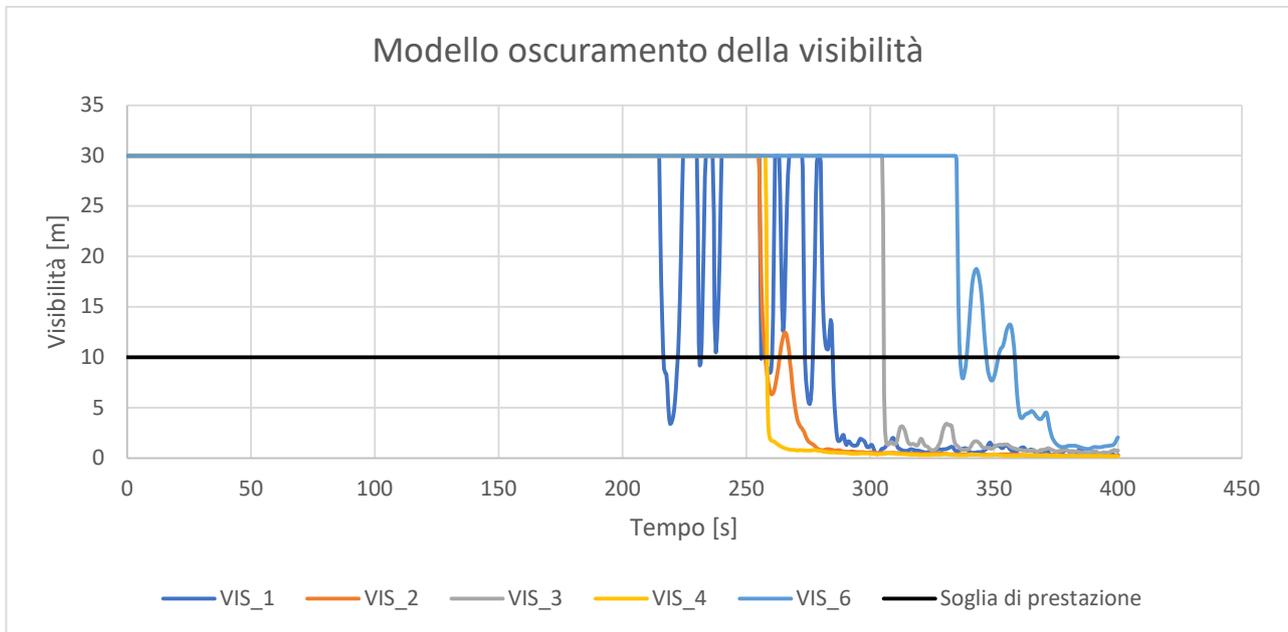


Grafico 6. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_8\_H\_3.5

### 6.1.3 Configurazione\_10

In questa configurazione, a differenza delle precedenti, si è scelto di posizionare il focolare in un box auto posto nella ZONA NORD e non in corridoio cieco. Lungo il corsello di manovra di tale zona, relativo al box auto ospitante il focolare, sono presenti 7 aperture di smaltimento fumo e calore di emergenza (SE) poste a soffitto (denominate **A, B, C, D, E, F, G**). Nel complesso la distribuzione di tutte le aperture (15 in totale) nell'autorimessa è uniforme nel rispetto dell' $R_{offset}$  di 30 m. L'analisi si

è quindi focalizzata sulla ZONA NORD, che per via della presenza dell'incendio è la zona ragionevolmente più pericolosa. Estendere l'analisi anche alla ZONA SUD sarebbe stato superfluo. Nei secondi successivi all'istante critico, i fumi si espandono ulteriormente e conseguentemente la loro concentrazione aumenta, nonostante la presenza delle aperture nel corsello. Tali aperture riescono a smaltire un volume di fumo tale da rendere la visibilità accettabile, ovvero sopra i 10 m, solo in un tempo in cui le vie d'esodo sono già state abbondantemente compromesse, che ai fini dell'obiettivo di tesi non è stato preso in considerazione.

CONFIGURAZIONE_10			
MACRO ZONA DI ANALISI	ZONA NORD		
Sotto configurazione	Configurazione 10_H_2.4	Configurazione 10_H_3.0	Configurazione 10_H_3.5
Altezza interna	2.4 m	3.0 m	3.5 m
Posizione focolare	corridoio cieco ZONA NORD		
Quantità di aperture	15		
Superficie totale aperture	82 m <sup>2</sup>		
Soddisfacimento prescrizioni soluzione conforme S.8 per livello II	SI		

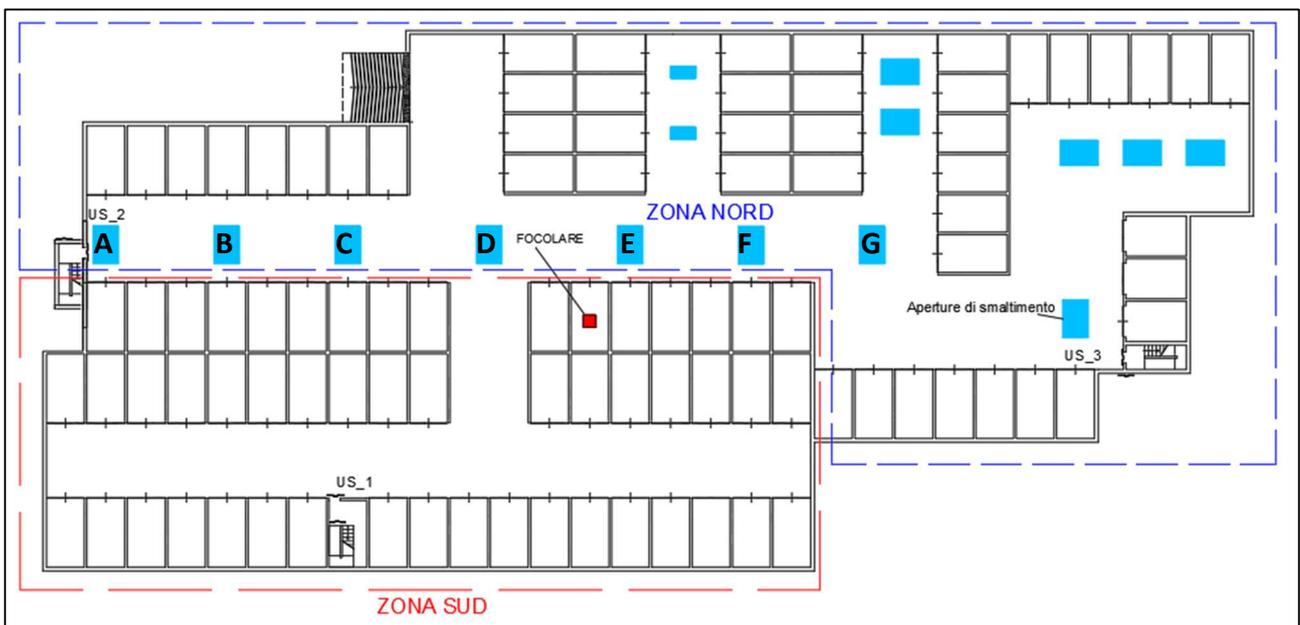


Figura 66. Layout con aperture Configurazione\_10

#### Configurazione\_10\_H\_2.4

La sotto configurazione in esame pone l'altezza interna a 2.4 m.

Considerando che l'incendio inizia a manifestare i suoi primi effetti nel corsello di manovra in cui è posto a 210 s, già a 220 s l'incendio crea una barriera di fumo tra le aperture E ed F, ad una quota dal pavimento di 1.75 m, che non permette la visibilità oltre i 10 m, ostruendone quindi il passaggio.

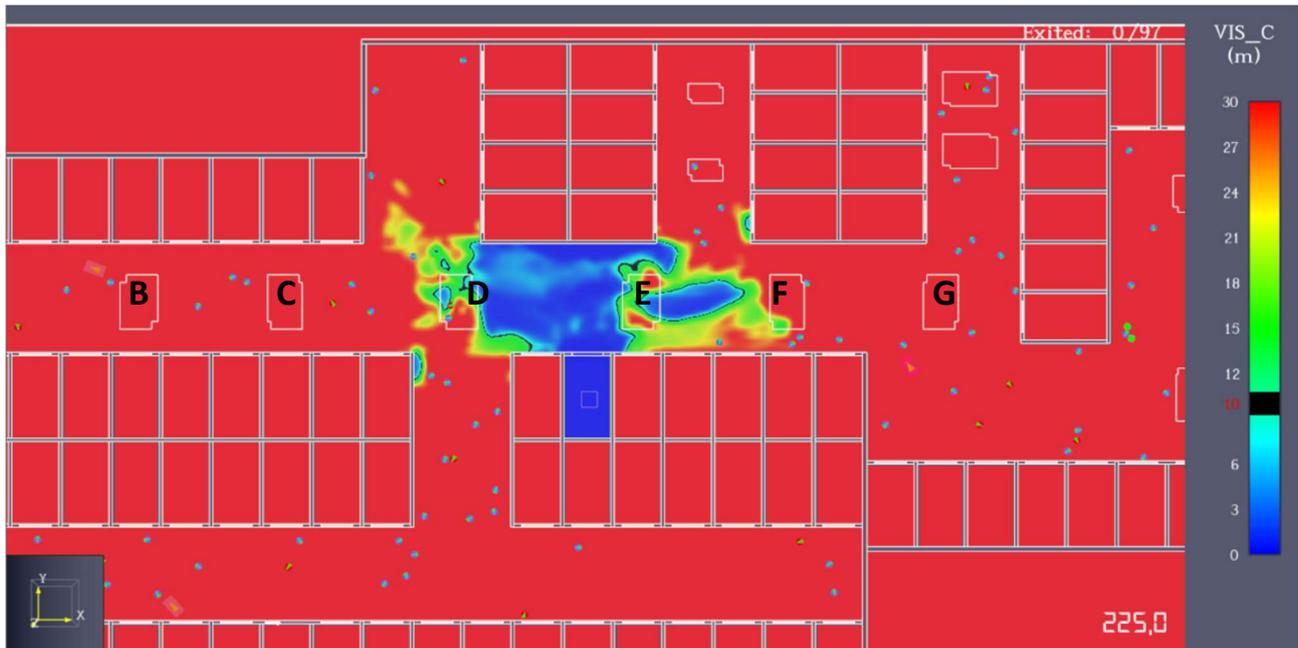


Figura 67. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità orizzontale per la Configurazione\_10\_H\_2.4, all'istante critico  $t=225$  s.

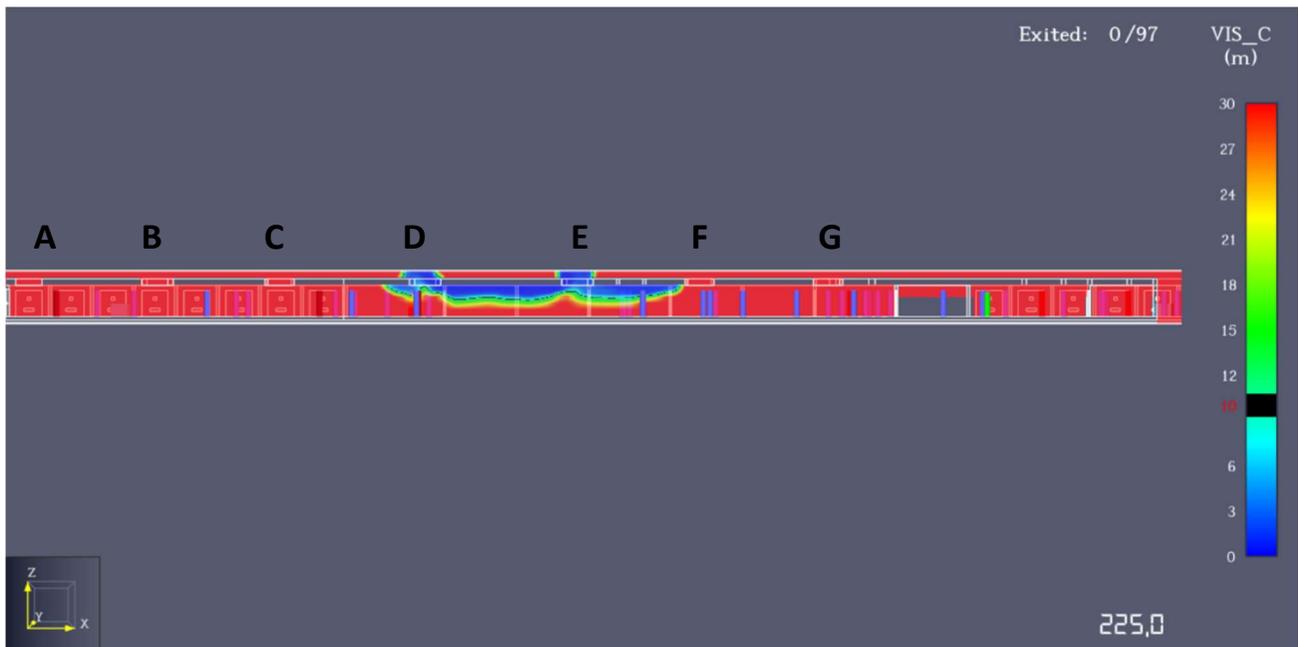


Figura 68. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità verticale per la Configurazione\_10\_H\_2.4, all'istante critico  $t=225$  s. I fumi sono scesi oltre l'altezza uomo (1.8 m)

A 300 s, come già successo nella Configurazione\_2\_H\_2.4, gli smaltitori, pur permettendo la fuoriuscita del fumo, non ottengono una visibilità accettabile al di sopra di 1.75 m. Inoltre in questo caso la concentrazione critica di fumo ha invaso anche la ZONA SUD, compromettendo l'esodo per gli occupanti di tale zona.

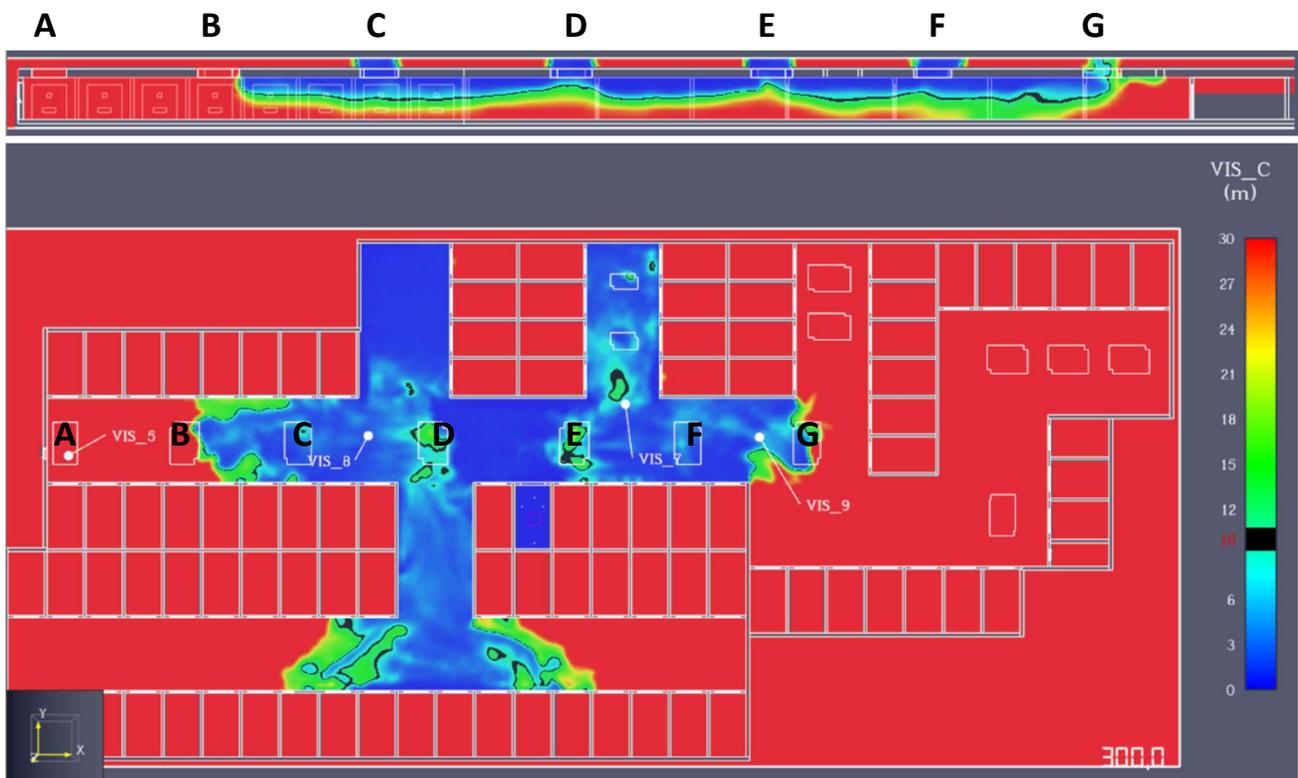


Figura 69. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=300$  s, per la Configurazione\_10\_H\_2.4

A 360 s la situazione visibilità continua a peggiorare, infatti i fumi si sono diffusi ulteriormente arrivando a toccare il pavimento nei pressi delle aperture B, C, D.

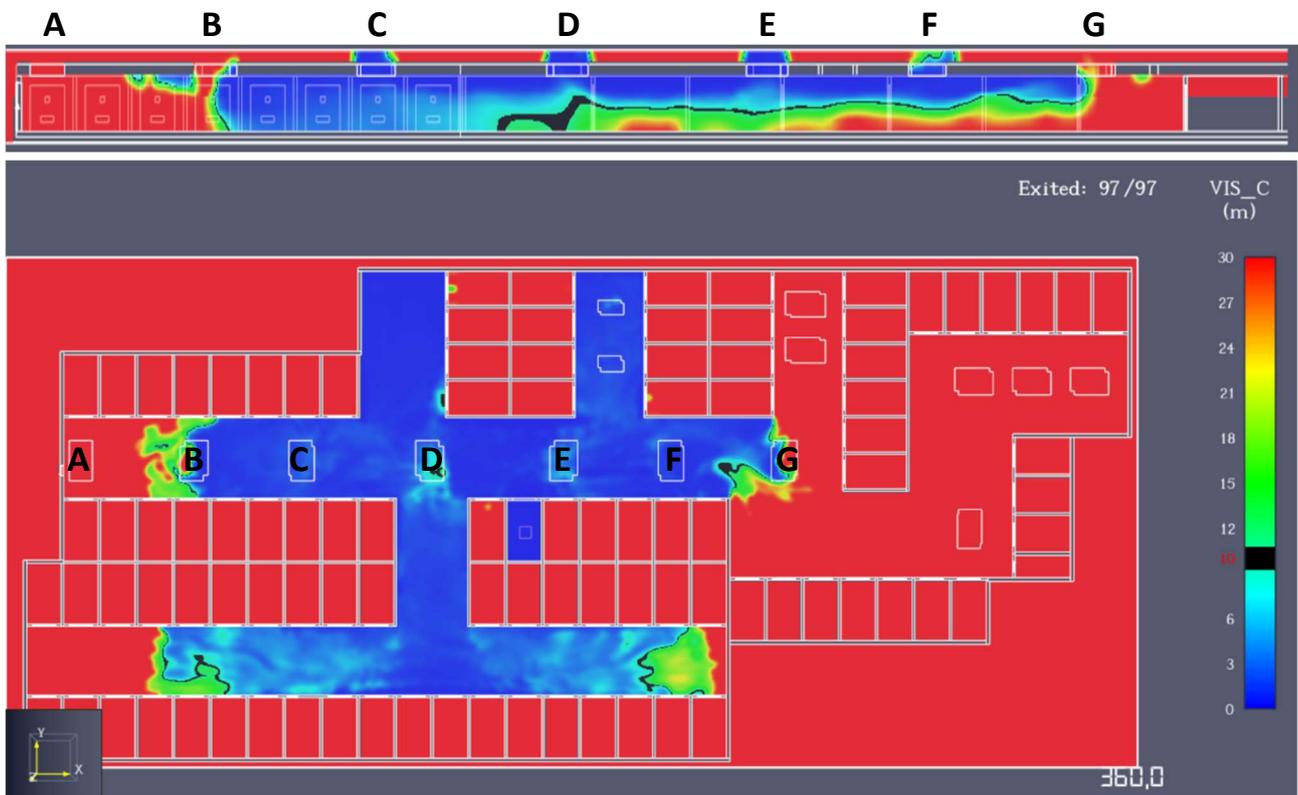


Figura 70. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_10\_H\_2.4

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle *slice*. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_5, VIS\_7, VIS\_8, VIS\_9, le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

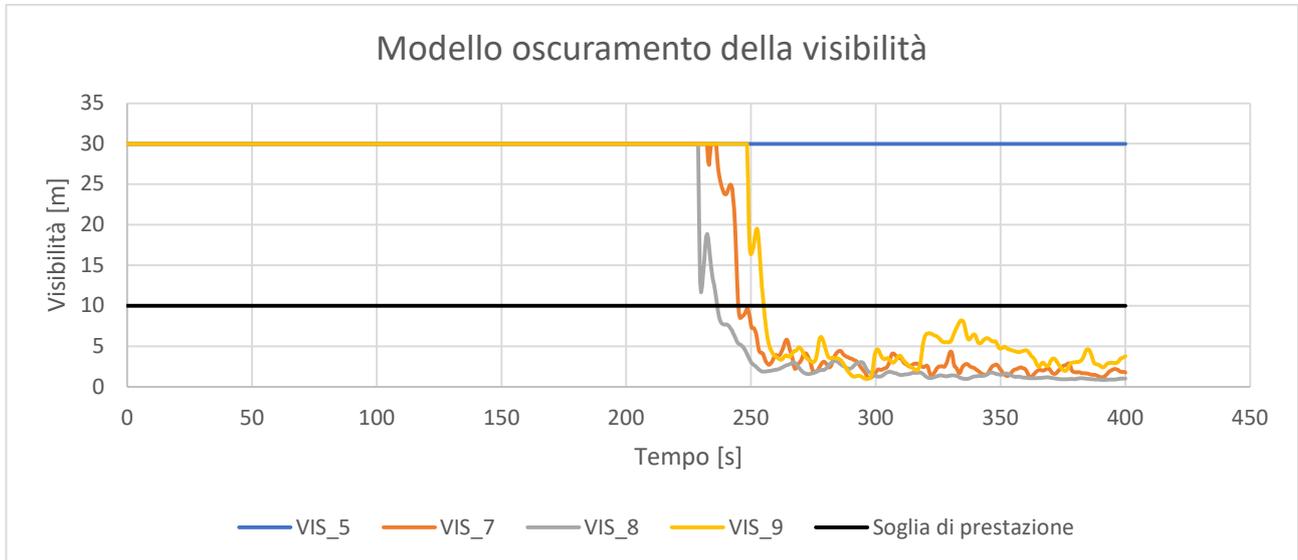


Grafico 7. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_10\_H\_2.4

### Configurazione\_10\_H\_3.0

La sotto configurazione in esame pone l'altezza interna a 3.0 m.

L'istante critico si raggiunge a 250 s. In questo momento, in corrispondenza dell'apertura **C** vi è un accumulo di fumo che non permette più la fruibilità della via d'esodo che porta all'uscita US\_2. Infatti, guardando dall'alto (slice orizzontale) si nota che in quei pressi il fumo si espanso per quasi tutta la larghezza del corsello e verticalmente per oltre mezz'altezza interna (slice verticale).

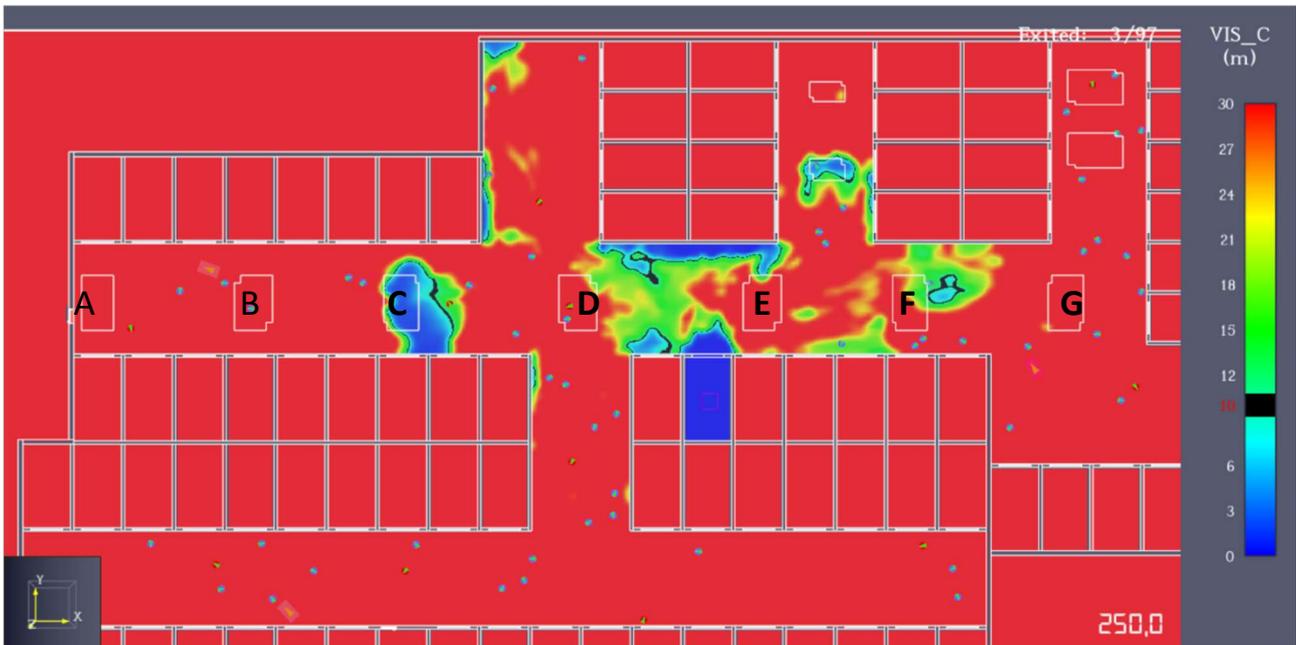


Figura 71. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità orizzontale per la Configurazione\_10\_H\_3.0, all'istante critico  $t=250$  s.

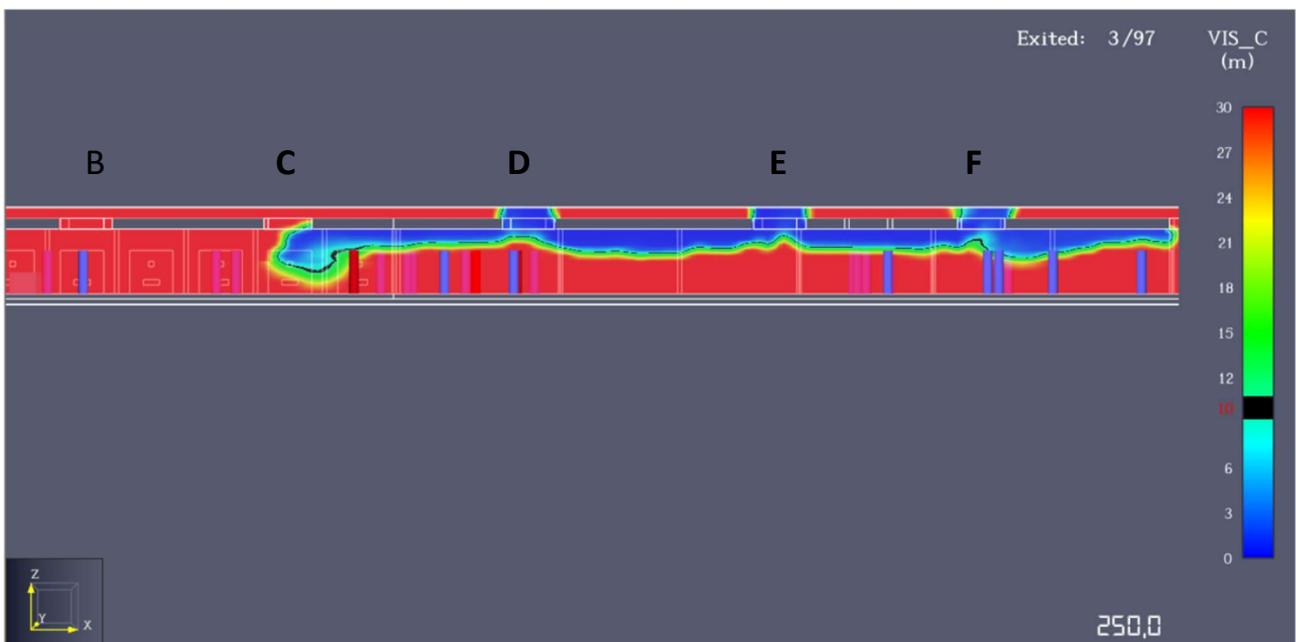


Figura 72. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità verticale per la Configurazione\_10\_H\_3.0, all'istante critico  $t=250$  s. Come si nota l'abbassamento critico dei fumi è, coerentemente con quanto affermato, in corrispondenza dell'apertura C

A 300 s, si può notare un miglioramento della visibilità complessiva del corsello rispetto all'altezza di 2.4 m, infatti le aperture C, D, E, F impediscono al fumo di concentrarsi ad altezza uomo, mentre l'apertura B si rivela inefficace. In ogni caso la situazione non può essere considerata accettabile per la salvaguardia della vita.

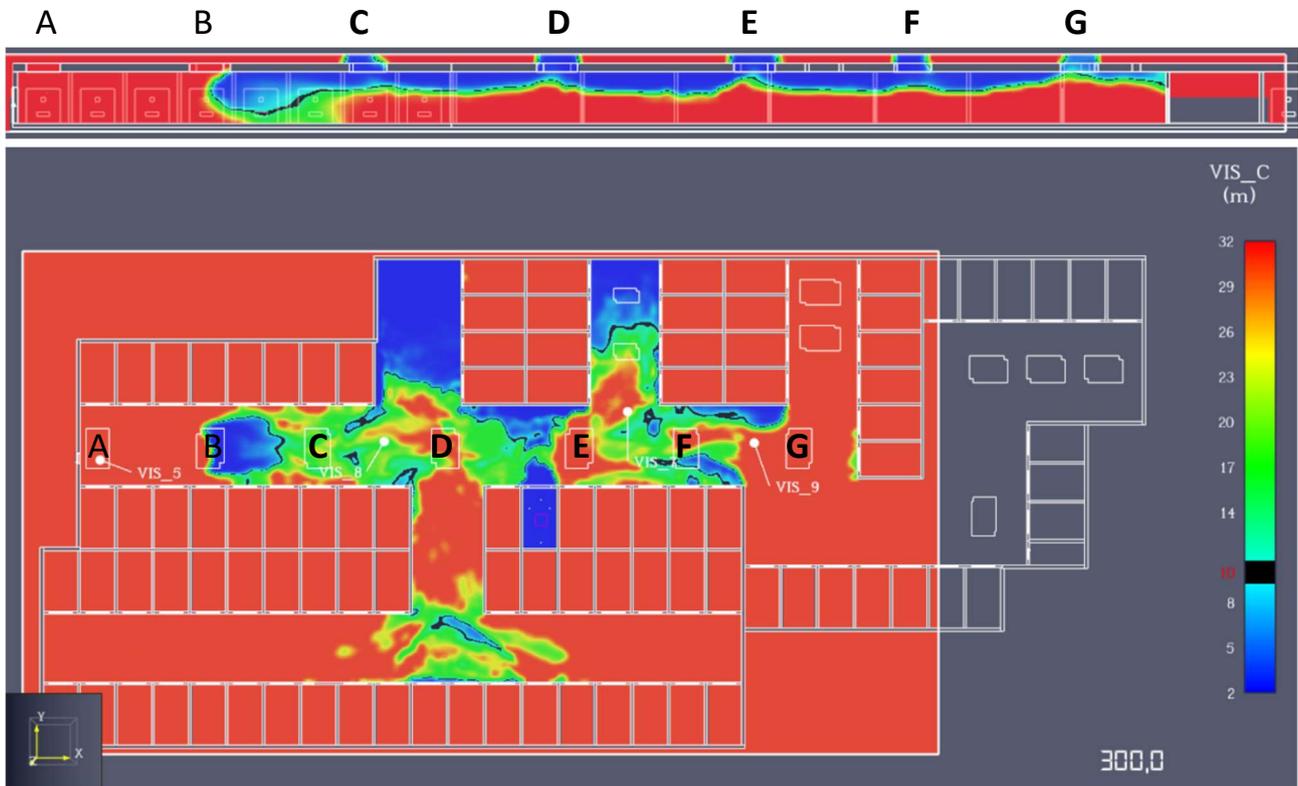


Figura 73. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=300$  s, per la Configurazione\_10\_H\_3.0

La quantità di fumo a 360 s è aumentata e gli smaltitori non riescono a gestirla adeguatamente, infatti si nota visibilità sotto i 10 m non solo ad altezza uomo, ma anche fino al piano di calpestio nei pressi delle aperture B, C, e D.

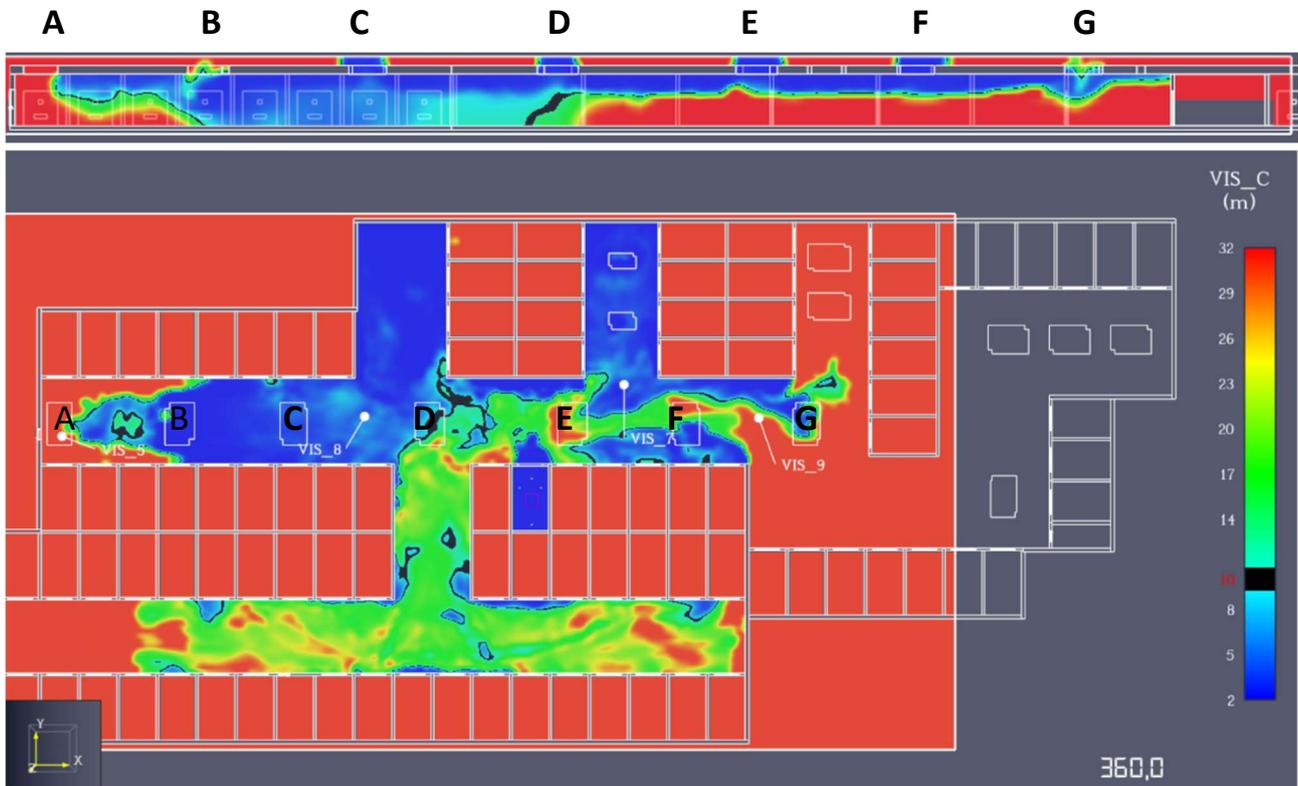


Figura 74. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_10\_H\_3.0

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle *slice*. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_5, VIS\_7, VIS\_8, VIS\_9, le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

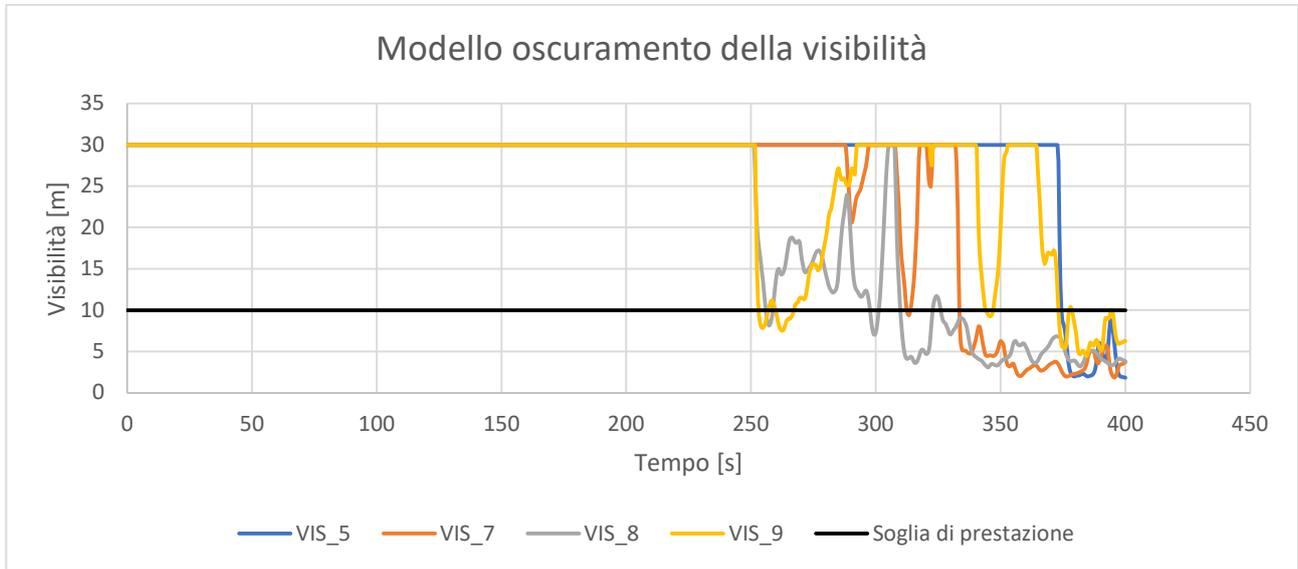


Grafico 8. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_10\_H\_3.0

### Configurazione\_10\_H\_3.5

La sotto configurazione in esame pone l'altezza interna a 3.5 m.

L'istante critico si raggiunge a 280 s. In questo momento ci sono più punti in cui la visibilità è scesa sotto i 10 m, ma il più rilevante, per questa sotto configurazione, è quello in corrispondenza dell'apertura **B**, in quanto la concentrazione di fumo che si manifesta in tale zona compromette la via d'esodo che porta alla US\_2.

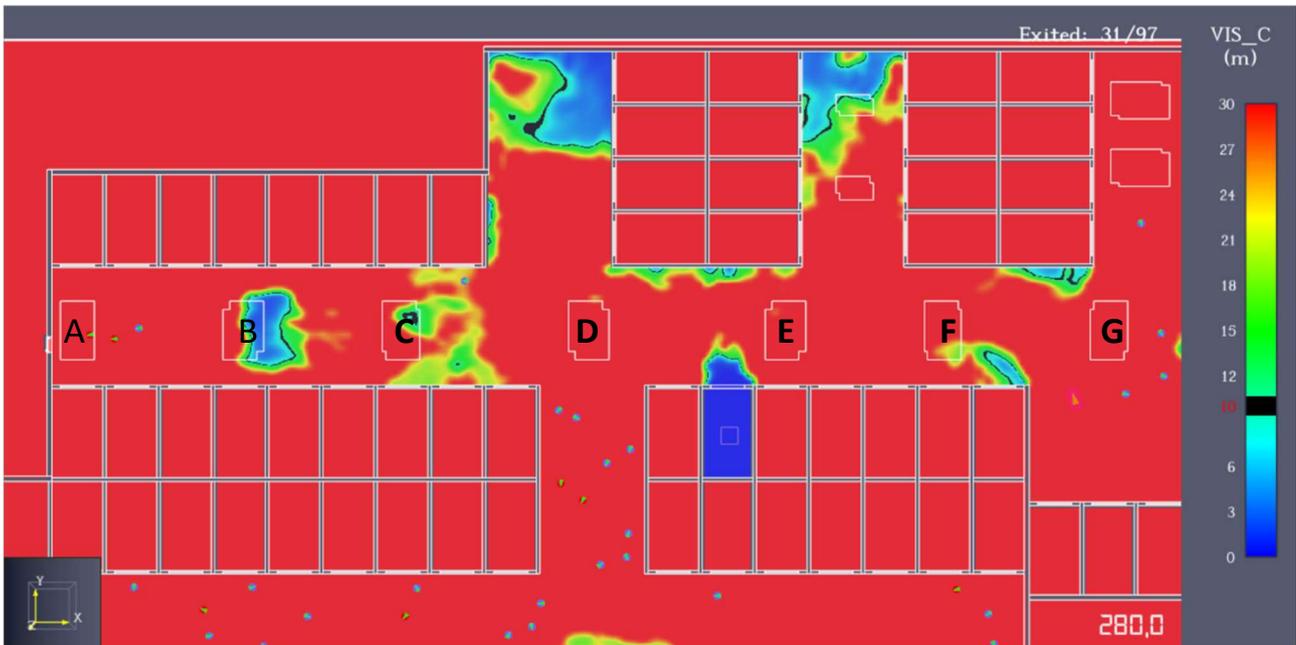


Figura 75. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità orizzontale per la Configurazione\_10\_H\_3.5, all'istante critico  $t=280$  s

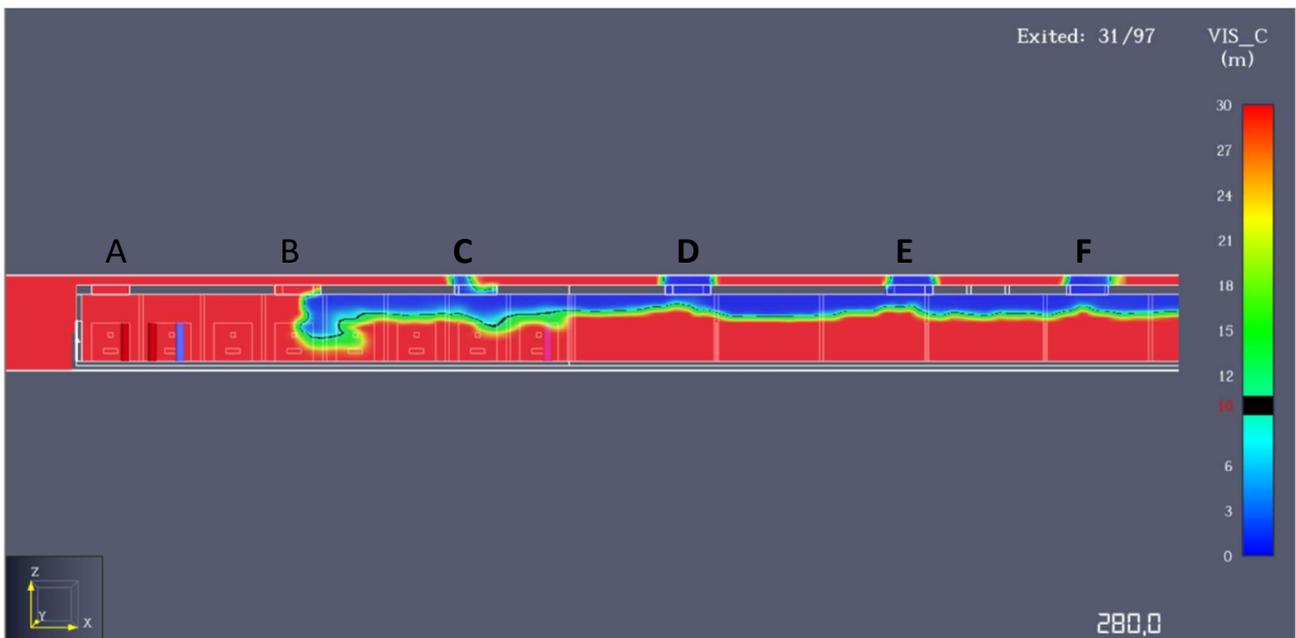


Figura 76. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità verticale per la Configurazione\_10\_H\_3.5, all'istante critico  $t=280$  s

A 300 s, rispetto alla Configurazione \_10\_H\_3.0 si nota un netto miglioramento: la concentrazione di fumo lungo il corsello è pressoché trascurabile. I corridoi ciechi antistanti le aperture D ed F meno accumuli critici di fumo.

Nei pressi dell'apertura B continua a manifestarsi una scarsa visibilità fino alla pavimentazione, perché non è ancora stata coinvolta nello smaltimento, infatti dalla slice verticale si nota che il fumo non fuoriesce dal solaio.

Pur non essendo accettabile la situazione visibilità, l'esperienza di esodo dell'ultimo occupante risulta più agevole a differenza della stessa configurazione ad altezza inferiore.

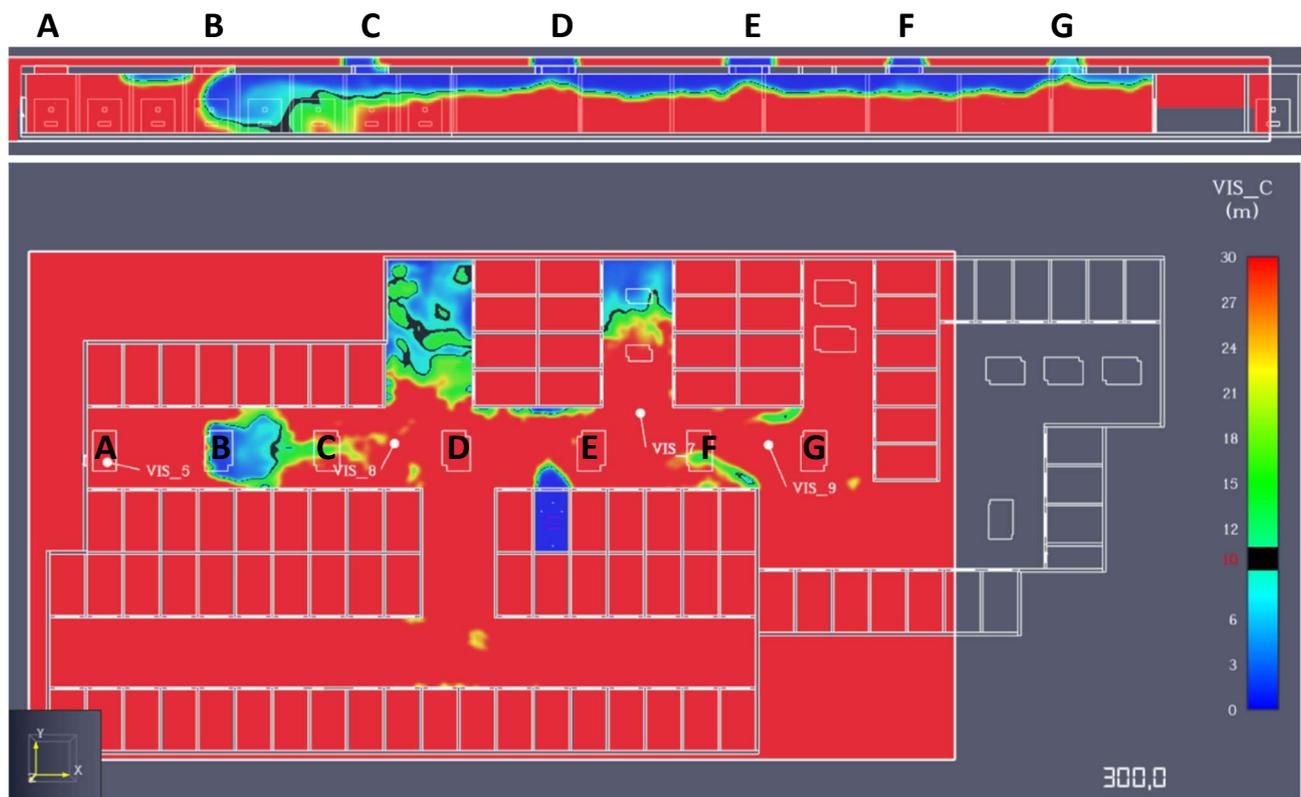


Figura 77. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=300$  s, per la Configurazione\_10\_H\_3.5

A 360 s l'apertura A non è stata ancora raggiunta dai fumi in modo da poter funzionare, mentre le altre permettono la fuoriuscita dei fumi, ma non abbastanza per la mole di produzione del fumo.

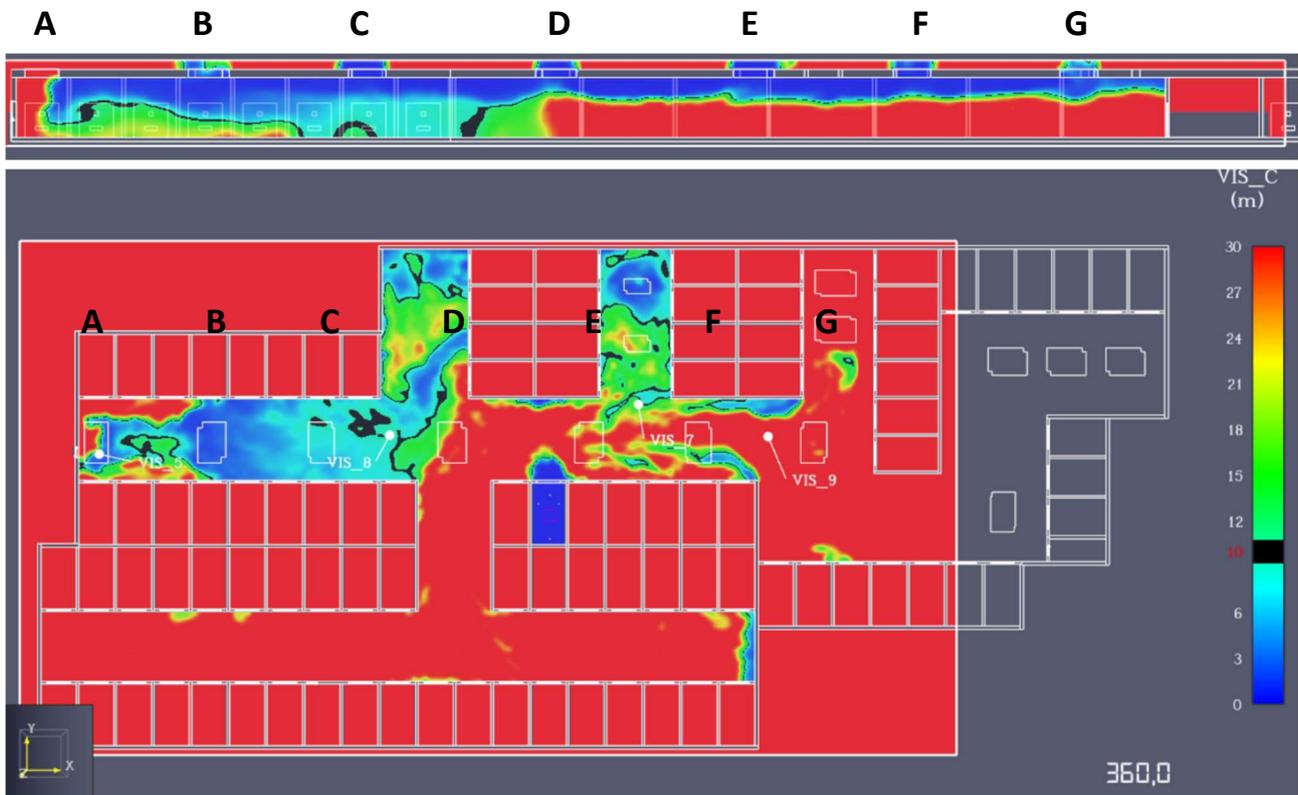


Figura 78. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_10\_H\_3.5

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle *slice*. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_5, VIS\_7, VIS\_8, VIS\_9, le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

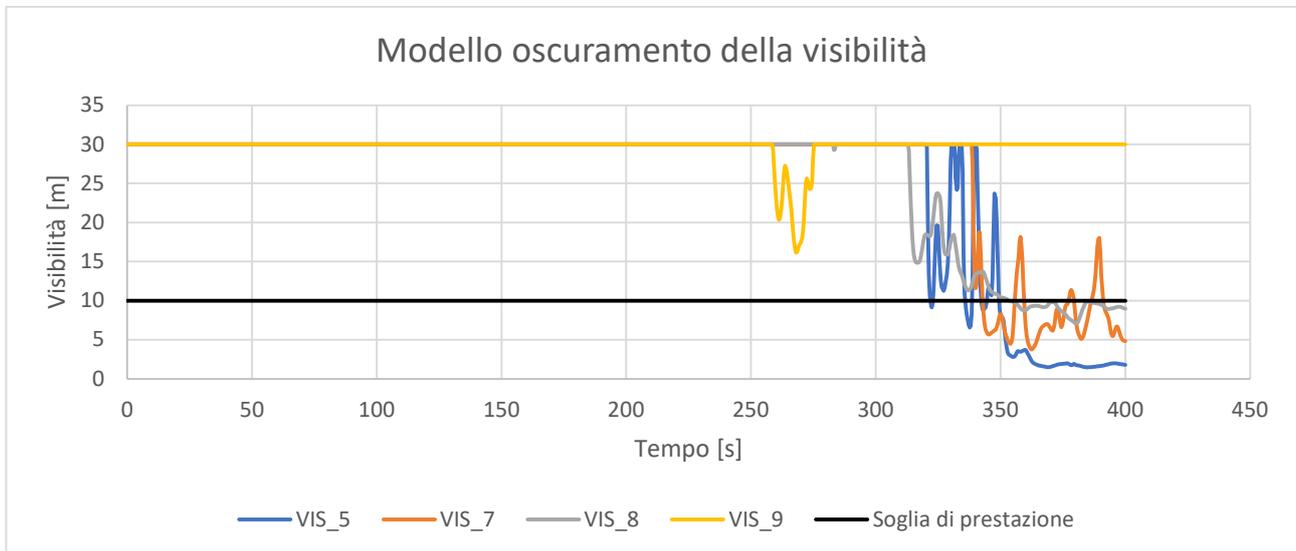


Grafico 9. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_10\_H\_3.5

#### 6.1.4 Configurazione\_16

In questa configurazione, come per la Configurazione\_10, si è scelto di posizionare il focolare in un box auto posto nella ZONA NORD e non in corridoio cieco. Lungo il corsello di manovra di tale zona, relativo al box auto ospitante il focolare, non sono presenti aperture di smaltimento. Nel complesso la distribuzione di tutte le aperture (15 in totale) nell'autorimessa è uniforme nel rispetto dell' $R_{offset}$  di 30 m. L'analisi si è quindi focalizzata sulla ZONA NORD, che per via della presenza dell'incendio è la zona ragionevolmente più pericolosa. Estendere l'analisi anche alla ZONA SUD sarebbe stato superfluo.

CONFIGURAZIONE_16			
MACRO ZONA DI ANALISI	ZONA NORD		
Sotto configurazione	Configurazione 16_H_2.4	Configurazione 16_H_3.0	Configurazione 16_H_3.5
Altezza interna	2.4 m	3.0 m	3.5 m
Posizione focolare	corridoio cieco ZONA NORD		
Quantità di aperture	15		
Superficie totale aperture	82 m <sup>2</sup>		
Soddisfacimento prescrizioni soluzione conforme S.8 per livello II	SI		

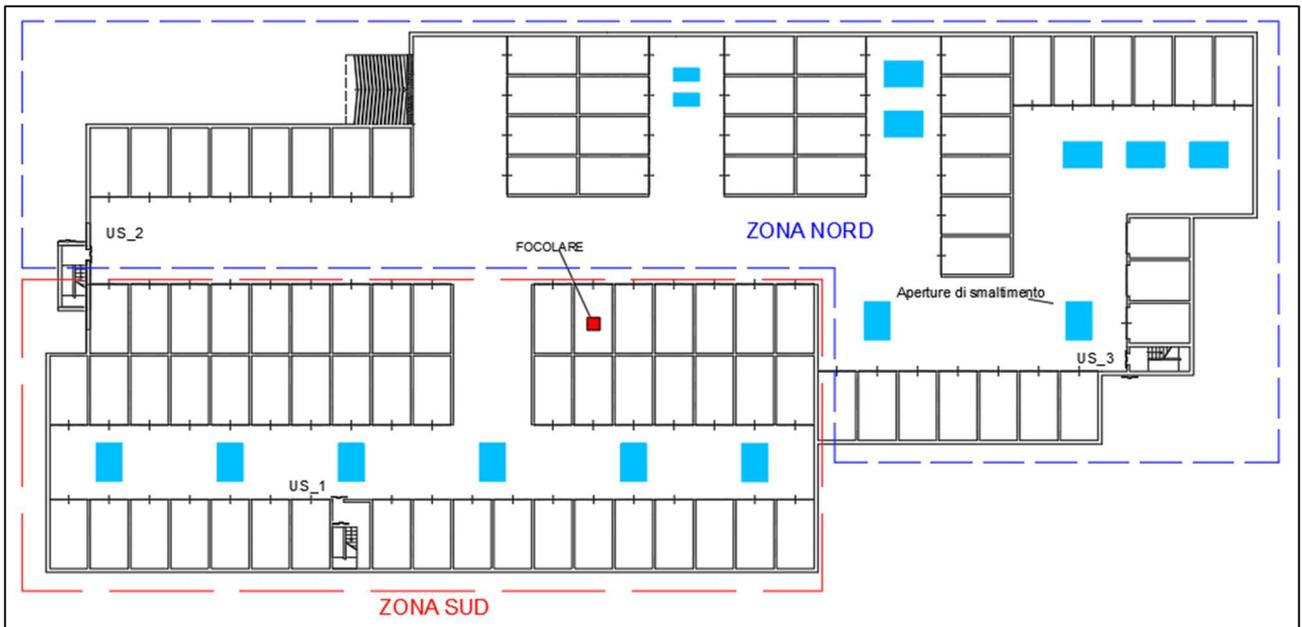


Figura 79. Layout con aperture Configurazione\_16

### Configurazione\_16\_H\_2.4

La sotto configurazione in esame pone l'altezza interna a 2.4 m.

Anche in quest'ultimo caso l'incendio inizia a manifestare i suoi effetti all'interno del corsello di manovra a 210 s. A 220 s, il fumo si è già concentrato in maniera tale da non permettere più il collegamento tra la ZONA NORD e la ZONA SUD, il che implica che gli occupanti a destra del focolare nella ZONA NORD non hanno più a disposizione le vie d'esodo che portano alla US\_2 e alla US\_1. Pertanto, l'istante critico è stato preso pari a 220 s.

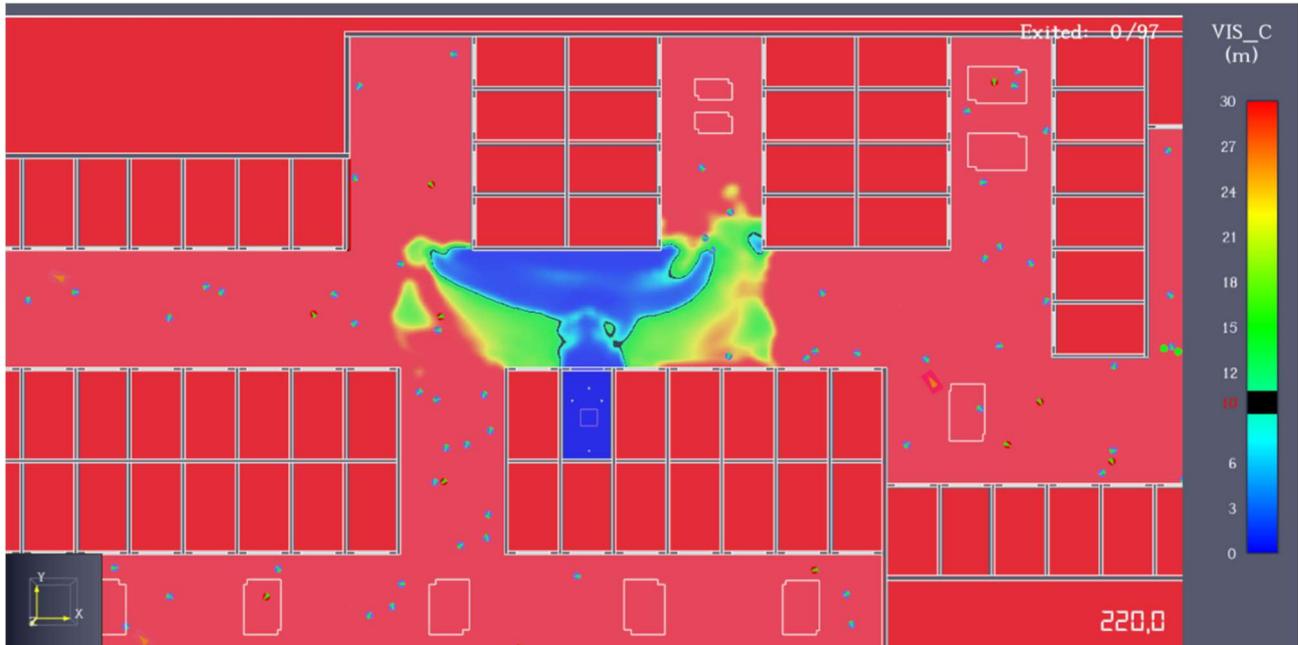


Figura 80. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità orizzontale per la Configurazione\_16\_H\_2.4, all'istante critico  $t=220$  s

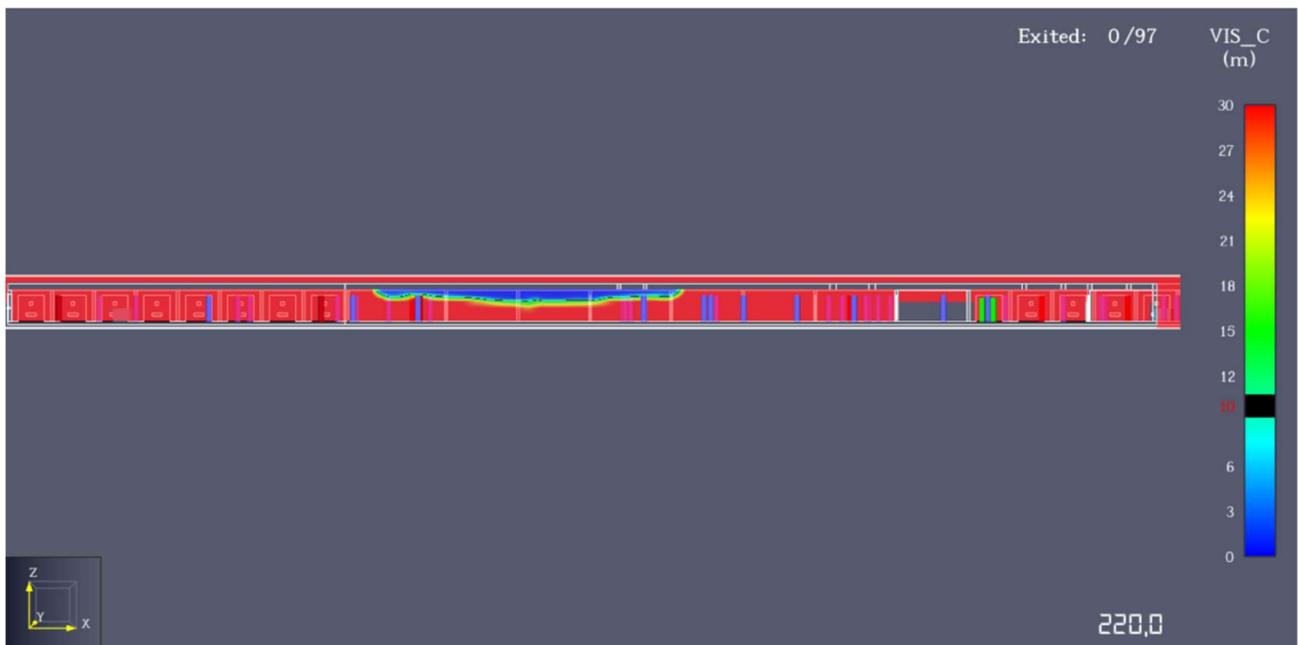


Figura 81. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità verticale per la Configurazione\_16\_H\_2.4, all'istante critico  $t=220$  s

A 300 s, la visibilità per poter esodare autonomamente è compromessa, infatti nella maggior parte della ZONA NORD i fumi sono concentrati omogeneamente ad una quota 1.75 m (slice orizzontale) e nei pressi della US\_2 sono addirittura scesi alla quota del pavimento (slice verticale). Le uscite US\_2 e US\_3 sono evidentemente impraticabili.

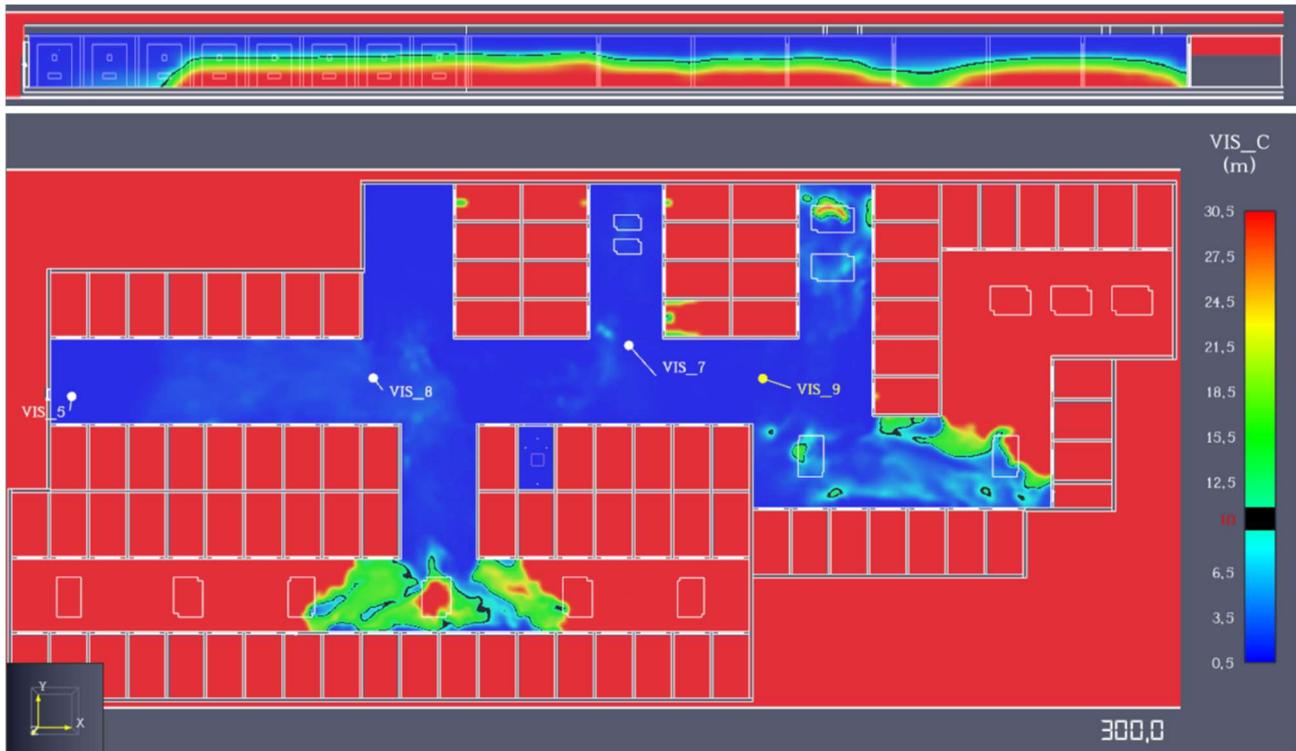


Figura 82. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante t=300 s, per la Configurazione\_16\_H\_2.4

A 360 s, la concentrazione di fumo si è intensificata, tutto il corsello di manovra non è percorribile, infatti in quasi la totalità del suo volume fumi toccano il pavimento.

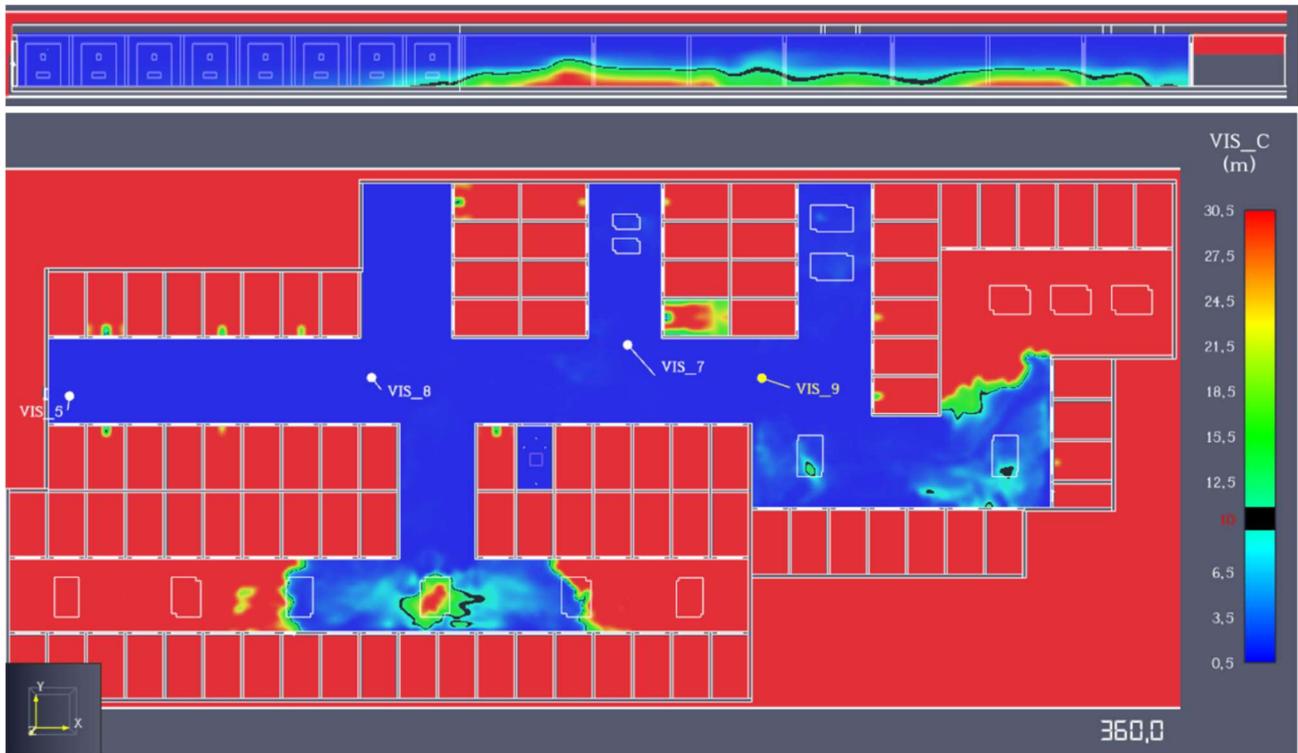


Figura 83. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_16\_H\_2.4

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle *slice*. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_5, VIS\_7, VIS\_8, VIS\_9, le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

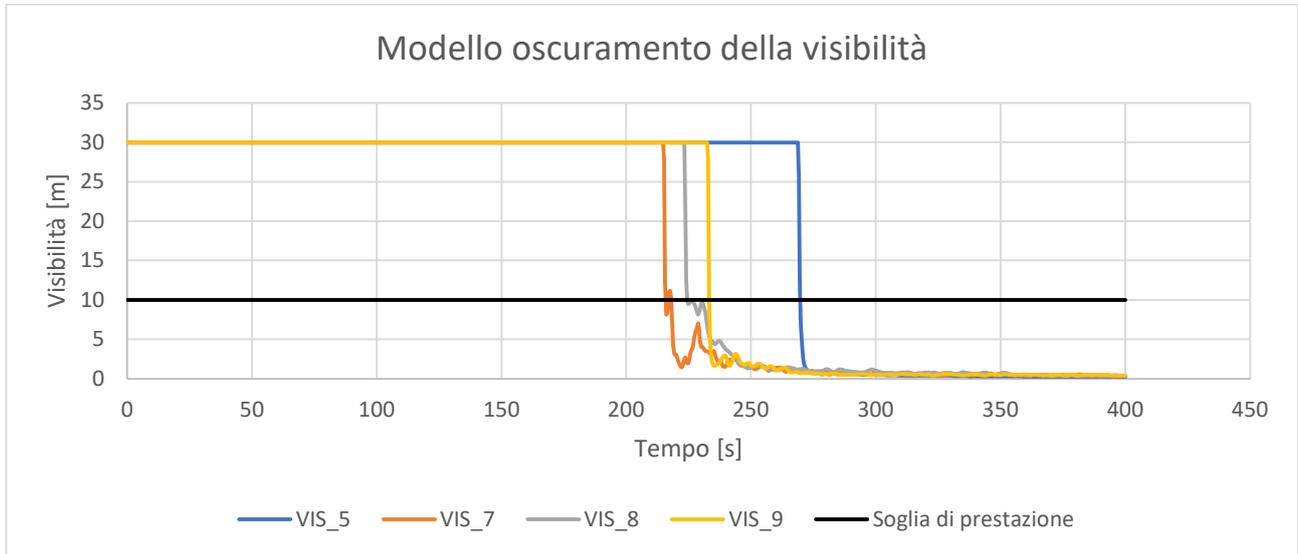


Grafico 10. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_16\_H\_2.4

### Configurazione\_16\_H\_3.0

La sotto configurazione in esame pone l'altezza interna a 3.0 m. All'istante 265 s vi sono più regioni in cui la scarsa visibilità ha determinato condizioni incapacitanti. Le zone tratteggiate in giallo sono critiche, tuttavia per la conformazione geometrica e disposizione delle uscite di sicurezza del caso studio in esame sono meno pericolose rispetto alla zona col tratteggio nero. Nelle zone in giallo il fumo inizia ad accumularsi ad altezza uomo una volta che sbatte contro le pareti perimetrali e da lì si diffonde; quindi, gli occupanti vedendolo arrivare potrebbero iniziare a scappare lasciandosi alle spalle e avendo una via di fronte libera. Mentre le persone situate nella zona col tratteggio nero si ritrovano bloccate perché prima che possano accorgersi del fumo esso ne ha già ostruito il passaggio. Pertanto, per questa sotto configurazione l'istante critico è stato individuato a 265 s.

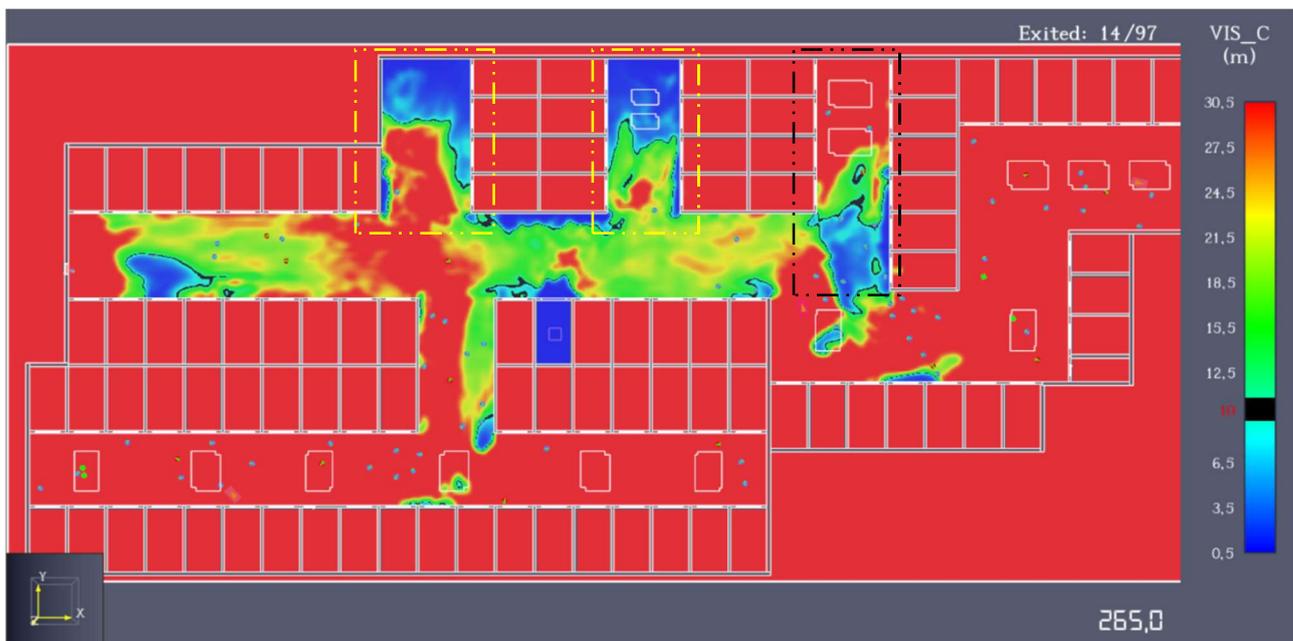


Figura 84. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità orizzontale per la Configurazione\_16\_H\_3.0, all'istante critico  $t=265$  s

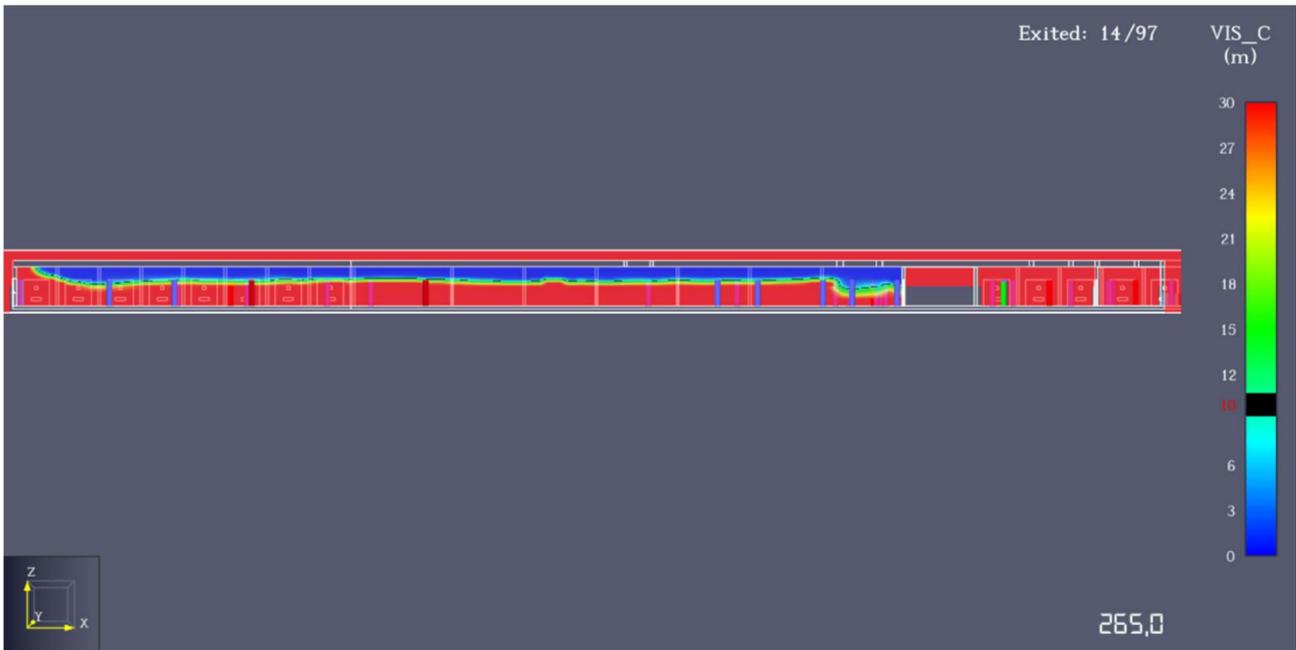


Figura 85. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità verticale per la Configurazione\_16\_H\_3.0, all'istante critico  $t=265\text{ s}$

A 300 s, anche se la salvaguardia della vita è compromessa si nota un miglioramento della visibilità rispetto alla Configurazione\_16\_H\_2.4, infatti in questo caso il corsello non è completamente invaso dai fumi ma ci sono delle regioni in cui la visibilità è ben oltre la soglia critica dei 10 m. Nella zona vicino all'uscita US\_2 continua a rivelarsi una visibilità sotto soglia non solo ad una quota di 1.75 m ma anche per tutta l'altezza interna (slice verticale).

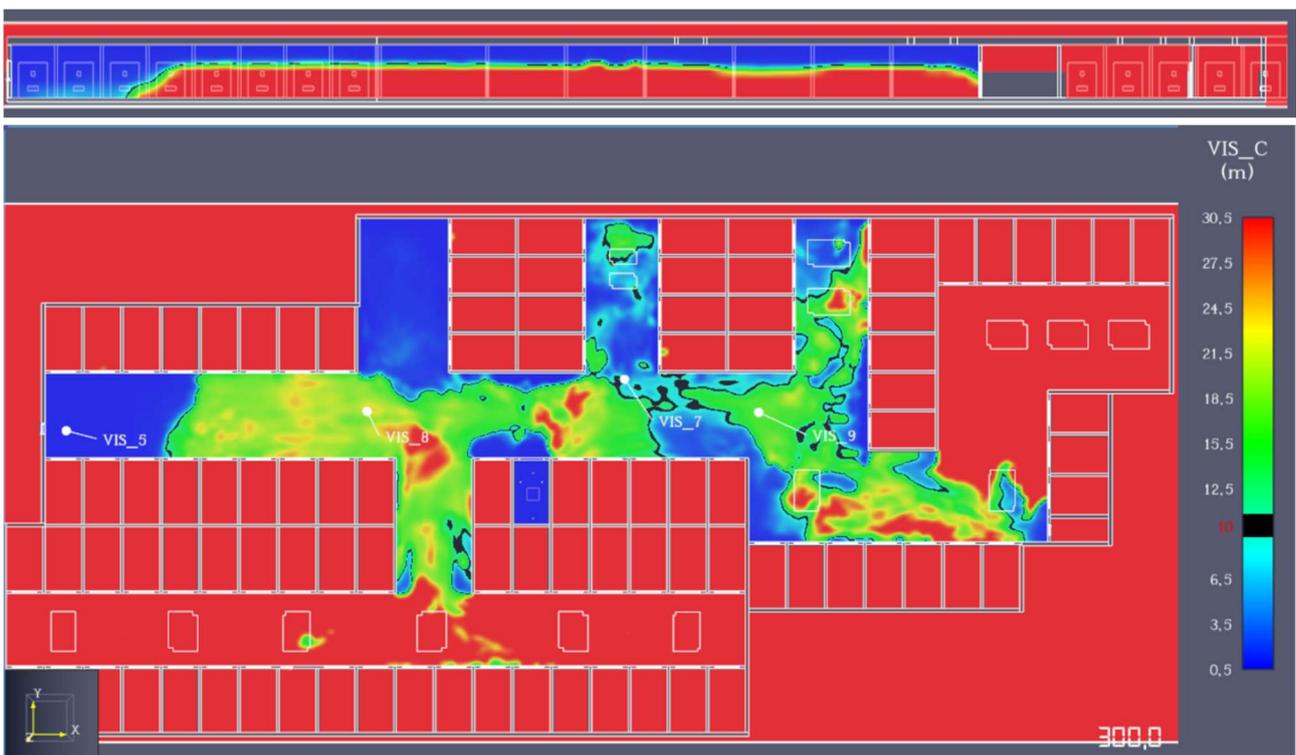


Figura 86. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=300\text{ s}$ , per la Configurazione\_16\_H\_3.0

A 360 s, la visibilità è ulteriormente peggiorata e l'intero corsello risulta impraticabile, tuttavia la situazione rimane più rosea rispetto a quella registrata ad una altezza interna di 2.4 m.

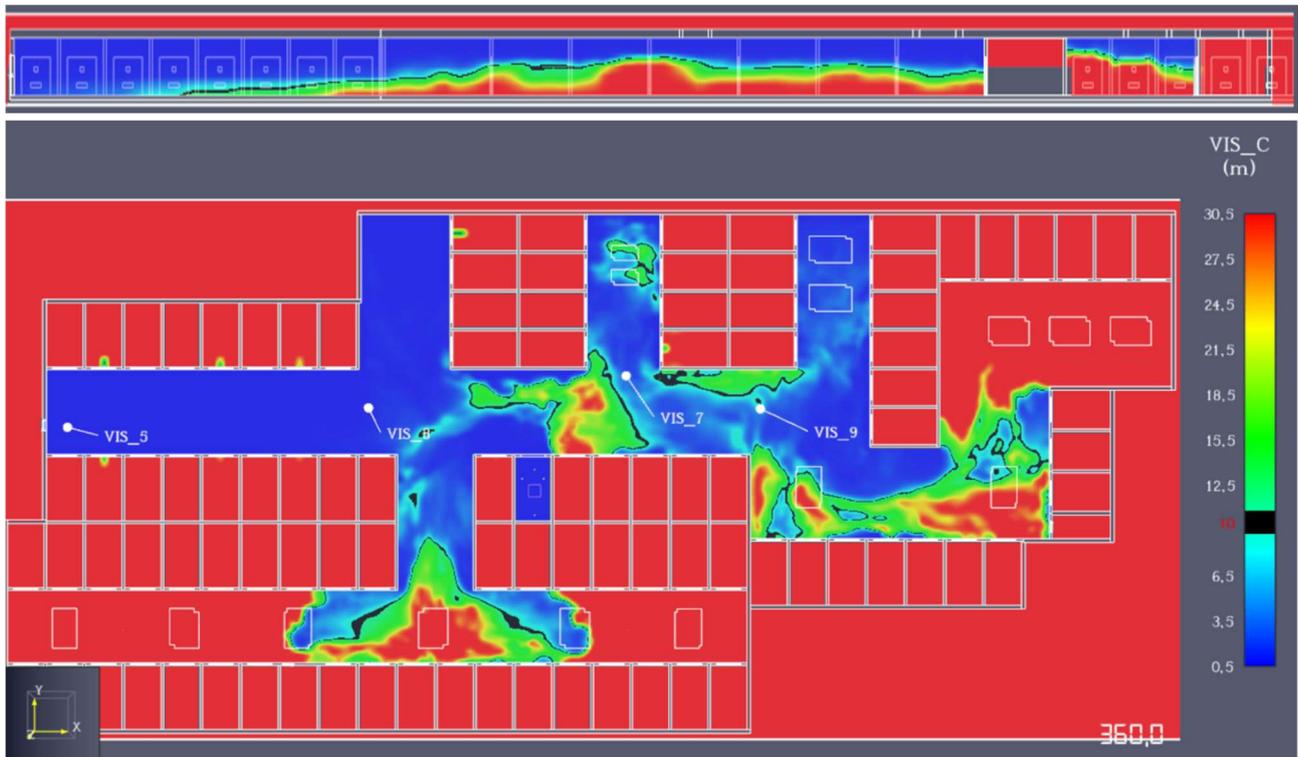


Figura 87. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_16\_H\_3.0

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle *slice*. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_5, VIS\_7, VIS\_8, VIS\_9, le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

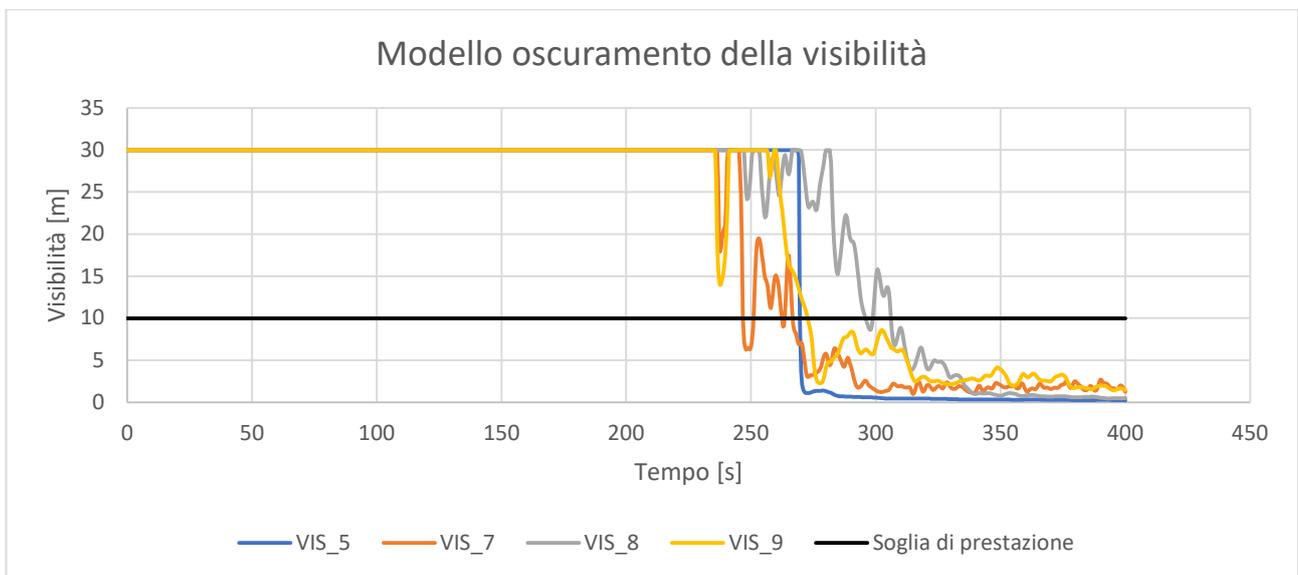


Grafico 11. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_16\_H\_3.0

### Configurazione\_16\_H\_3.5

In questa sotto configurazione l'altezza interna è pari a 3.5 m. A 275 s l'uscita US\_2 è impraticabile, infatti nei suoi pressi i fumi sono concentrati al punto da portare la visibilità sotto i 10 m, per tutta l'altezza interna (slice verticale). Di conseguenza la via d'esodo che adduce ad essa non è più fruibile, motivo per cui l'istante critico è stato preso a 275 s.

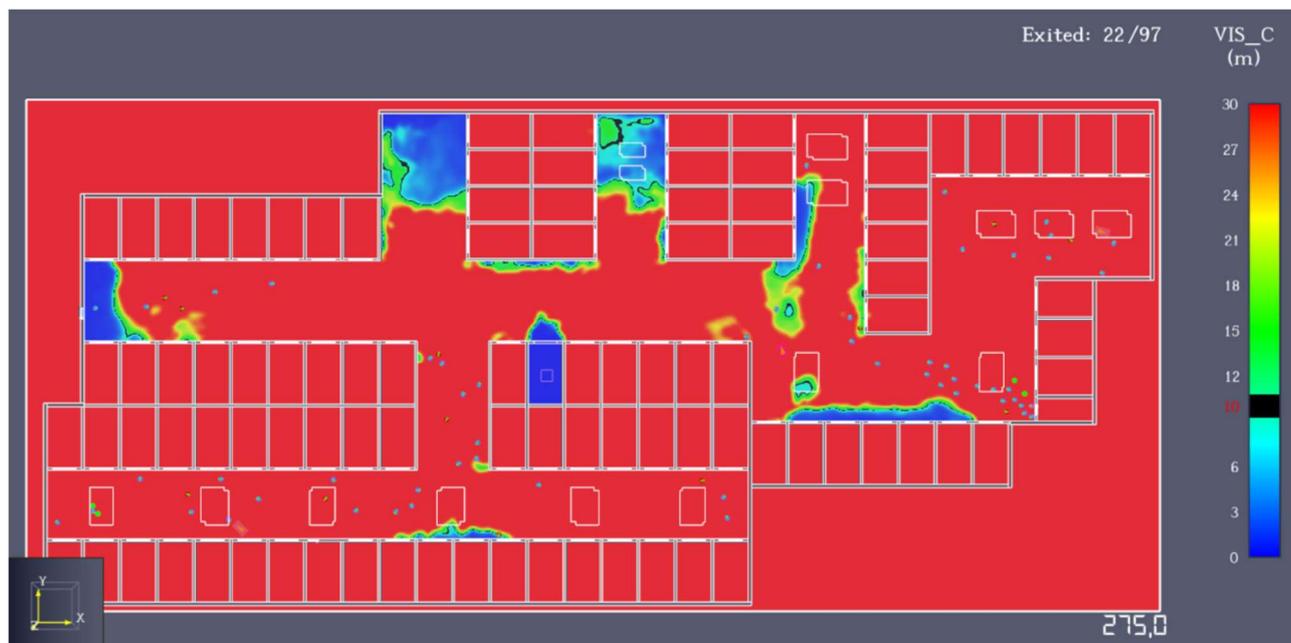


Figura 88. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità orizzontale per la Configurazione\_16\_H\_3.5, all'istante critico  $t=275$  s

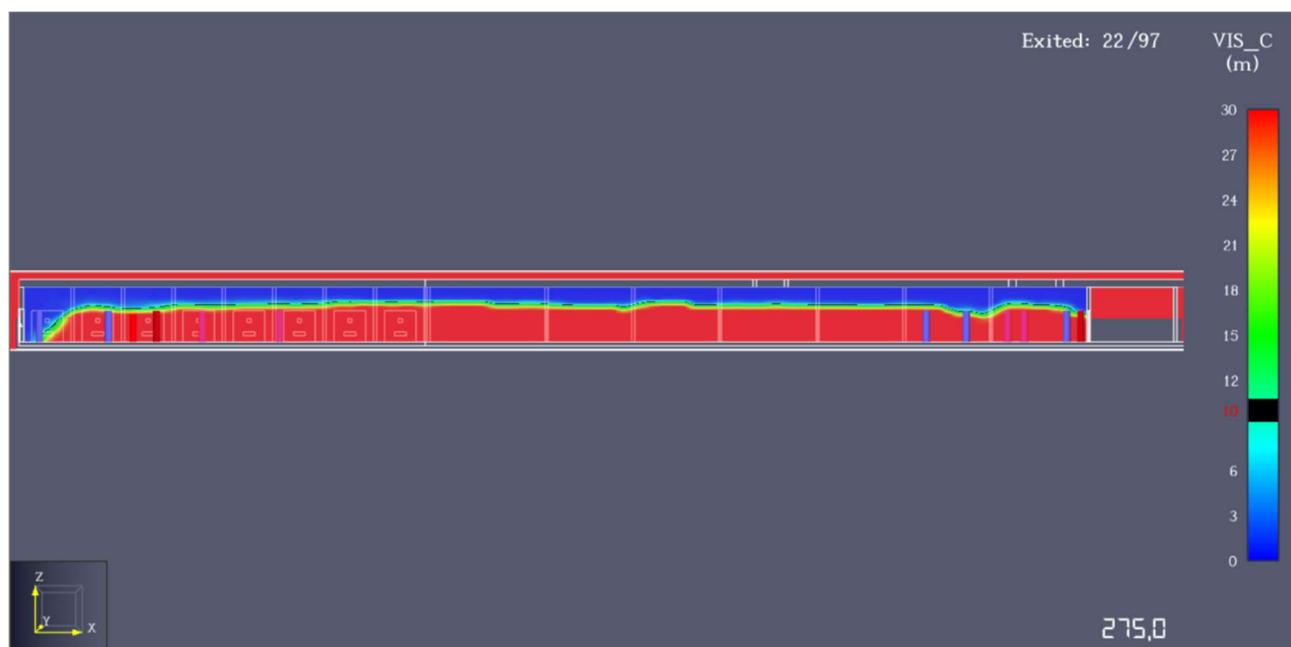


Figura 89. Confronto tra modellazione di esodo e slice di visibilità verticale per la Configurazione\_16\_H\_3.5, all'istante critico  $t=275$  s

A 300 s la situazione rispetto alla Configurazione\_16\_H\_3.0 è migliorata, infatti per la maggior parte del corsello la visibilità è ben oltre i valori soglia dei 10 m, e i corridoi ciechi antistanti le VIS\_7 e VIS\_9 sono più sgombri da fumi. Tuttavia, il fumo continua ad occupare tutto il volume terminale del

corsello che porta alla US\_2 e tutto il corridoio cieco antistante la VIS\_8, non permettendo di affermare che la salvaguardia della vita sia soddisfatta.

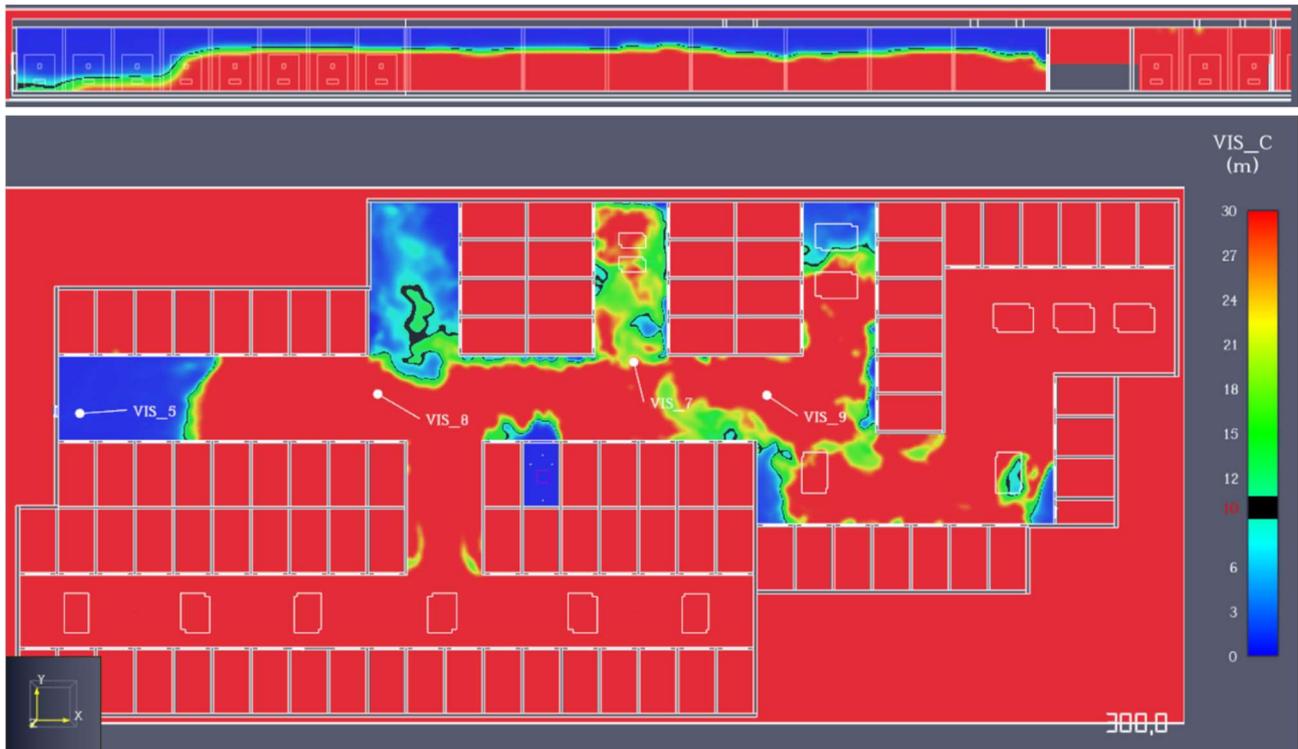


Figura 90. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=300$  s, per la Configurazione\_16\_H\_3.5

A 360 s, il fumo si è continuato ad espandere occupando ancora più volume del corsello (slice verticale), Tuttavia la situazione continua a essere migliorativa rispetto alla Configurazione\_16\_H\_3.0, infatti la regione tratteggiata in giallo risulta sensibilmente meno compromessa dalla presenza dei fumi.

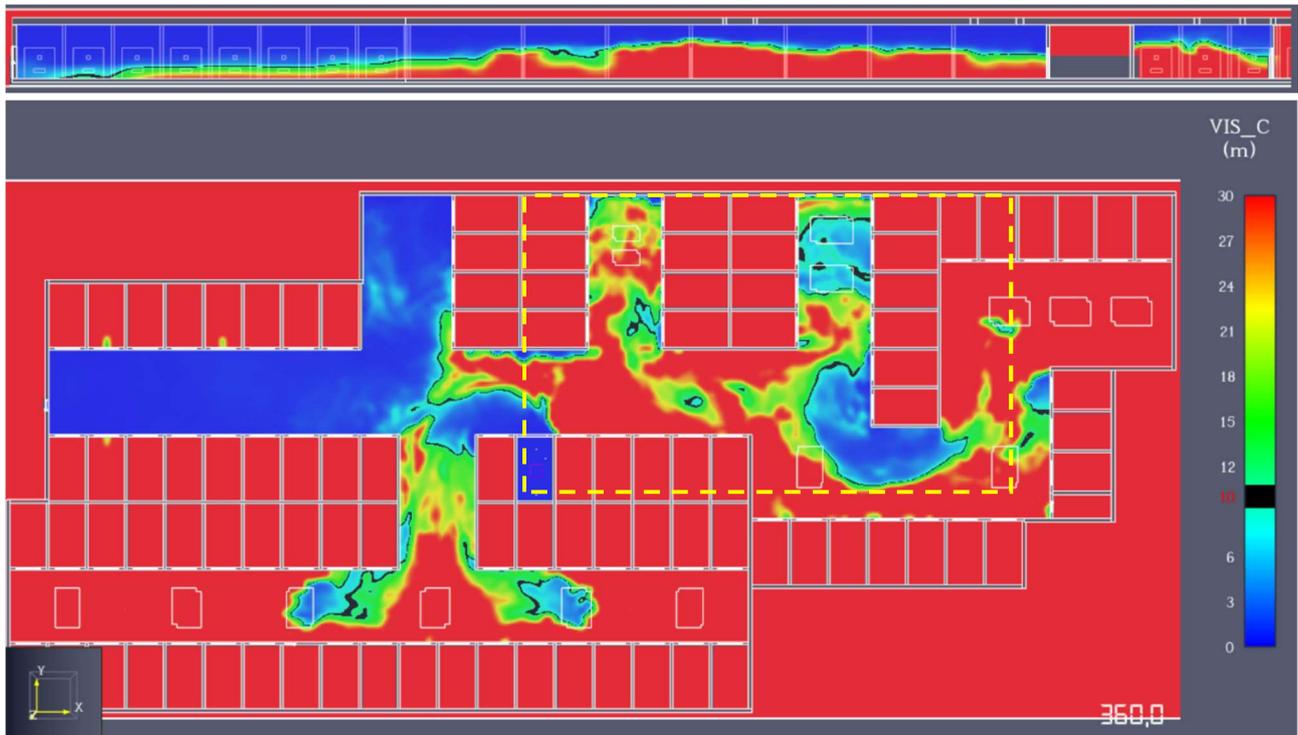


Figura 91. Slice verticale (sopra) e slice orizzontale (sotto) all'istante  $t=360$  s, per la Configurazione\_16\_H\_3.5

A dare una controprova della veridicità delle mappe cromatiche provenienti dalle slice. Si riporta di seguito il grafico generato dai valori di visibilità registrati dalle sonde virtuali (device) denominate VIS\_5, VIS\_7, VIS\_8, VIS\_9, le cui collocazioni si possono notare dagli screenshot precedentemente presentati.

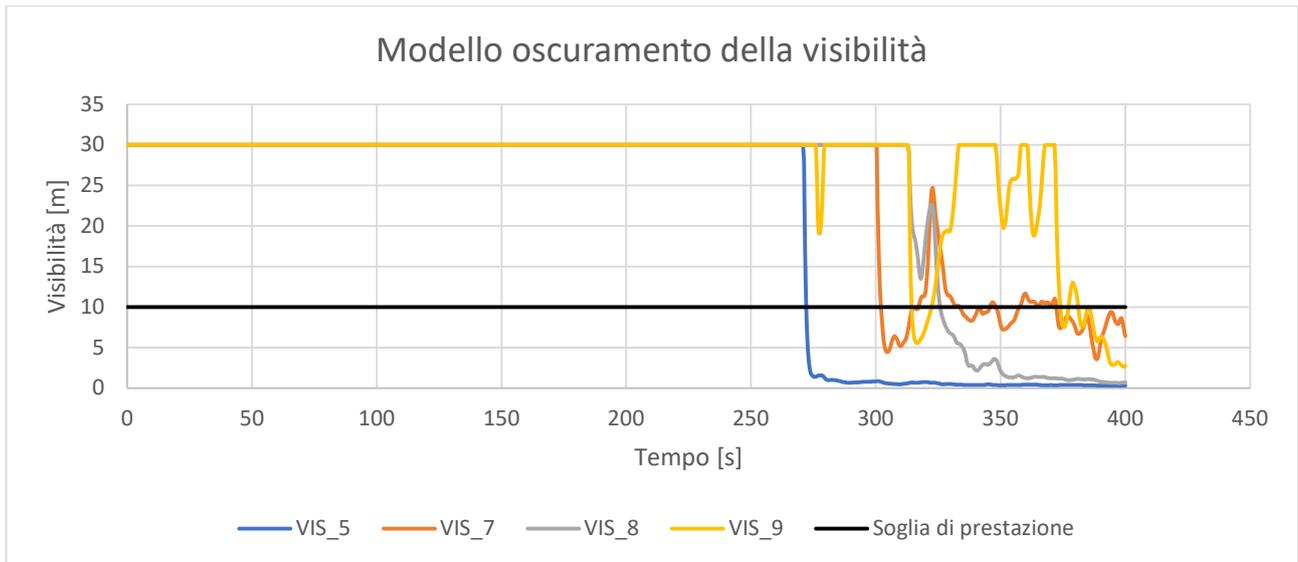


Grafico 12. Andamento della visibilità nel tempo per Configurazione\_16\_H\_3.5

## 7. Risultati

In questo capitolo sono presentate le conclusioni a cui ha portato il presente lavoro. Le tabelle sottostanti rappresentano per ogni configurazione un resoconto delle analisi svolte.

	Istante critico $t_c$	Istante 300 s	Istante 360 s
Configurazione_2			
H=2.4	215 s	Il fumo non permette una visibilità accettabile lungo la maggior parte del corsello ad una quota da terra di 1.75 m, ed è sceso fino al pavimento	La visibilità continua a non essere accettabile ad una quota da terra di 1.75 m, e in aggravio il fumo è arrivato a

		solo nei pressi dell'apertura A. L' US_1 è indisponibile.	toccare il pavimento in più punti del corsello.
H=3.0	240 s	Lungo il corsello sono presenti più regioni sgombre da fumo in cui vi è una visibilità oltre i 10 m, agli estremi del corsello la concentrazione critica di fumo arriva a toccare il pavimento. Nel complesso la situazione è migliorata rispetto ad H = 2.4 m. L'US_1 è quasi diventata indisponibile.	La situazione peggiora, sono presenti solo due regioni in cui la visibilità è accettabile, il resto del corsello è impraticabile.
H=3.5	256 s	La situazione migliora rispetto a H=3.0 m, lungo la parte centrale del corsello compresa tra le aperture B ed E la visibilità è abbondantemente sopra la soglia dei 10 m. Nei pressi delle aperture A e F la concentrazione critica di fumo è scesa fino al pavimento ma con un'estensione minore rispetto a quella riscontrata per H=3.0 m. L'US_1 è abbondantemente visibile.	La situazione nel complesso è peggiorata, nei pressi delle aperture E ed F il volume critico di fumo è aumentato, tra C e D si manifesta un passaggio molto ristretto con buona visibilità. In compenso le aperture A e B sono molto efficienti al punto da iniziare a diradare l'accumulo di fumo precedentemente creatosi (300 s).

	<b>Istante critico t<sub>c</sub></b>	<b>Istante 300 s</b>	<b>Istante 360 s</b>
Configurazione_8			

H=2.4	215 s	<p>Il fumo non permette una visibilità accettabile lungo tutto il corsello, invadendone la quasi totalità del volume disponibile. Inoltre, ha invaso anche lo snodo centrale che mette in comunicazione le due macro zone dell'autorimessa, e parte della ZONA NORD. L'US_1 non è disponibile per l'esodo in quanto completamente oscurata.</p>	<p>L'intero volume del corsello è occupato dalla concentrazione critica di fumo, al punto da iniziare a infiltrarsi nei box auto che ricordiamo essere considerati chiusi. La situazione è estremamente critica.</p>
H=3.0	252 s	<p>La situazione rispetto a H=2.4 m è migliorata, in quanto lo snodo centrale e la ZONA NORD non sono coinvolti dalla concentrazione critica di fumo. Tuttavia, il fumo permette una visibilità accettabile solo in corrispondenza dello snodo centrale. Il resto del volume del corsello è totalmente occupato dal fumo. L'US_1 continua a non essere disponibile.</p>	<p>La situazione che si manifesta è peggiorata: l'intero volume del corsello è occupato dalla concentrazione critica di fumo.</p>
H=3.5	non disponibile	<p>La situazione è migliorata, anche se di poco, rispetto all'altezza di 3.0 m, l'unica regione in cui si riscontra una visibilità accettabile è sempre in corrispondenza dello snodo centrale ma si è allargata lievemente. L'uscita US_1 non è visibile dagli occupanti e quindi non è fruibile per l'esodo.</p>	<p>La scarsa visibilità è diffusa su tutto il volume del corsello, tranne che in alcuni spazi, molto ristretti e trascurabili, dove il fumo non tocca il piano di calpestio.</p>

	Istante critico $t_c$	Istante 300 s	Istante 360 s
Configurazione_10			
H=2.4	225 s	<p>Il fumo non permette una visibilità accettabile lungo tutta la regione compresa tra le aperture B e G e nei corridoi ciechi antistanti le aperture D ed E. Inoltre, la scarsa visibilità ha invaso tutto lo snodo centrale e parte della ZONA SUD, compromettendo anche l'esodo degli occupanti ubicati in tale zona. Ciononostante, il fumo non arriva mai a toccare il piano di calpestio.</p>	<p>il fumo ha continuato ad espandersi criticamente ed omogeneamente, al punto da arrivare a toccare il pavimento nella zona compresa tra le aperture B e D e a ostruire la maggior parte della ZONA SUD.</p>
H=3.0	250 s	<p>La situazione visibilità rispetto ad H = 2.4 m è nettamente migliore, lungo il corsello si riscontrano regioni più ampie di visibilità accettabile anche se continuano ad esserci regioni in cui la presenza di fumo determina condizioni incapacitanti. Il fumo non arriva mai a toccare il piano di calpestio, scende per metà altezza interna solo nei pressi dell'apertura B. Inoltre, la ZONA SUD è intaccata dalla scarsa visibilità in maniera quasi impercettibile.</p>	<p>Il fumo ha continuato ad espandersi criticamente, al punto da arrivare a toccare il pavimento nella zona compresa tra le aperture B e D, in compenso, tale espansione non è omogenea, infatti vi sono ancora regioni a visibilità accettabile e la ZONA SUD continua a non essere intaccata criticamente dal fumo.</p>

H=3.5	280 s	La situazione rispetto a H = 3.0 m mostra sensibili miglioramenti. Per tutta la lunghezza del corsello, tranne nei pressi dell'apertura B dove il fumo si è abbassato quasi a sfiorare il pavimento, la visibilità è ben al di sopra dei 10 m, inoltre nei corridoi ciechi antistanti le aperture D ed E il fumo appare più diradato e meno concentrato. La ZONA SUD non viene minimamente coinvolta dalla concentrazione critica dei fumi.	La situazione peggiora lievemente rispetto a 300 s, sono aumentate le regioni in cui vi sono condizioni incapacitanti e il fumo nei pressi di C ha raggiunto il pavimento, tuttavia le aperture stanno riuscendo a contenere la continua produzione di fumo. Infatti, complessivamente, le regioni di spazio non intaccate dal fumo sono maggiormente estese rispetto a quelle intaccate dal fumo.
-------	-------	---	--

	Istante critico $t_c$	Istante 300 s	Istante 360 s
Configurazione_16			
H=2.4	227 s	La visibilità non è accettabile nella quasi totalità della ZONA NORD, inoltre la scarsa visibilità ha invaso tutto lo snodo centrale e parte della ZONA SUD, compromettendo anche l'esodo degli occupanti ubicati in tale zona. In corrispondenza della US_2 per un tratto di circa 7.5 m il fumo ha occupato tutto il volume a sua disposizione arrivando,	La situazione peggiora nettamente, il fumo ha invaso quasi tutto il volume del corsello centrale di manovra della ZONA NORD e ha, inoltre, compromesso l'esodo degli occupanti della ZONA SUD.

		quindi a toccare il pavimento.	
H=3.0	265 s	La situazione rispetto a H = 2.4 m è migliorata, in quanto la porzione centrale del corsello è libera dalle concentrazioni di fumo critiche e nella parte destra della ZONA NORD così come all'interno dei corridoi ciechi è più diradato. Inoltre, lo snodo centrale e la ZONA SUD sono intaccati impercettibilmente dal fumo. Tuttavia, nei pressi della US_2 il fumo continua ancora a occupare il volume del corsello per una estensione simile a quella che si ha per l'altezza di 2.4 m.	La situazione è peggiorata, la parte sinistra del corsello centrale e il primo corridoio cieco da sinistra sono totalmente occupati dalla concentrazione critica di fumo. In aggravo, la visibilità è compromessa dal fumo anche nella ZONA SUD e nello snodo centrale.
H=3.5	275 s	La situazione è sensibilmente migliorata rispetto alle altezze inferiori: il corsello centrale è completamente libero tranne la regione nei pressi della US_2, dove il fumo tocca quasi il pavimento; a partire da sinistra, il primo corridoio cieco presenta una concentrazione di fumo più diradata, gli altri	La situazione è peggiorata, la parte sinistra del corsello centrale e il primo corridoio cieco da sinistra sono quasi totalmente occupati dalla concentrazione critica di fumo. La visibilità nel secondo e terzo corridoio cieco e nella parte destra del corsello peggiora. Inoltre, la

		due corridoi ciechi sono pressoché liberi. La ZONA SUD e lo snodo centrale sono completamente liberi da una concentrazione pericolosa di fumo.	concentrazione critica di fumo ha raggiunto anche la ZONA SUD.
--	--	--	--

## 8. Conclusioni

In base ai risultati finora descritti si può quindi affermare che l'aumento dell'altezza interna comporta un miglioramento della visibilità durante l'intera fase di esodo. Osservando la colonna dell'istante critico, esso aumenta, per tutte le sotto configurazioni, all'aumentare dell'altezza interna.

Inoltre, il beneficio dell'aumento dell'altezza interna sulla visibilità è confermato anche nella fase finale dell'esodo, individuata nell'intervallo temporale tra 300 e 360 s, come evidenziato nelle ultime due colonne delle tabelle sopra riportate.

Il risultato si può generalizzare affermando che all'aumentare del volume disponibile dell'ambiente, e quindi dell'altezza interna, il fumo ha più spazio in cui diffondersi e, di conseguenza, impiegherà più tempo prima che si possa concentrare al punto da portare la visibilità sotto la soglia critica di 10 m. Questa dilazione dei tempi è fondamentale per consentire agli occupanti di mettersi in salvo autonomamente.

Le aperture di smaltimento fumo e calore di emergenza, come già esplicitato, mostrano la loro efficienza nella fase finale di esodo, ovvero quando il fumo nel suo moto ascensionale ha raggiunto una sufficiente altezza tale da permettere agli smaltitori di funzionare efficientemente.

Avvalendosi delle immagini contenute nel capitolo *6. Analisi dei risultati* e delle considerazioni nelle colonne 300 s e 360 s, si possono mettere a confronto le configurazioni che presentano la stessa posizione del focolare. Sebbene in nessun caso la salvaguardia della vita si possa ritenere soddisfatta, sia nel confronto tra la Configurazione\_2 e la Configurazione\_8, sia nel confronto tra la Configurazione\_10 e la Configurazione\_16, l'esodo dell'occupante nelle configurazioni prive di aperture è di gran lunga più difficoltoso rispetto al caso in cui lungo il corsello di manovra della ZONA critica siano presenti degli smaltitori.

Dai risultati delle analisi delle configurazioni, è emerso che le situazioni migliori in termini di visibilità durante l'esodo risultano essere la Configurazione\_2\_H\_3.5 e Configurazione\_10\_H\_3.5, in cui è presente l'altezza massima analizzata e la collocazione delle aperture nel corsello del focolare. Dunque è evidente una sinergia tra altezza e aperture.

In conclusione, è possibile asserire che, nell'applicare la soluzione conforme per il livello II di prestazione della misura antincendio S.8, non basta rispettare l' $R_{\text{offset}}$  di 30 m nell'uniforme distribuzione degli smaltitori, ma è necessario porre particolare attenzione alla superficie complessiva delle aperture di smaltimento fumo e calore di emergenza e alla loro disposizione, per fare in modo che nessuna porzione dell'attività ne sia priva.

Inoltre, nonostante non sia previsto dalla soluzione conforme, in un'adeguata progettazione della sicurezza antincendio, bisogna contemplare l'altezza interna dei locali, massimizzandola per quanto possibile.

## 9. Sviluppi futuri

Un ulteriore approfondimento interessante potrebbe essere condotto su autorimesse pubbliche.

Un possibile esempio potrebbe comportare una geometria che tende ad una forma regolare, non organizzata in box auto, bensì in stalli. È presumibile che in casi come questi, la mancanza di elementi di separazione verticale e quindi un maggiore spazio in cui diffondersi favorisca la dispersione del fumo e di conseguenza ne ritardi una concentrazione tale da diminuire la visibilità e non permettere agli occupanti di evacuare autonomamente l'attività.

Tuttavia, va considerato che il livello di rischio è nettamente maggiore rispetto ad un'autorimessa privata, in quanto presenta un affollamento previsto pari al doppio. Inoltre, bisogna tener presente che la propagazione dell'incendio alle auto contigue è molto facilitata.

Un altro aspetto utile da approfondire è quello del posizionamento delle aperture. Durante le varie simulazioni di incendio si è osservato un movimento ricorrente del fumo in zone dove non erano presenti aperture a soffitto. Il fumo nel suo moto ascensionale, lambendo il soffitto, tendeva ad espandersi orizzontalmente. Una volta incontrate delle ostruzioni verticali (es. pareti perimetrali) tendeva a scendere. Un'analisi interessante potrebbe essere quindi quella di studiare l'andamento della visibilità posizionando gli smaltitori verticalmente, dove si è notato questo fenomeno. Probabilmente, attraverso questo posizionamento, il fumo tenderà a smaltirsi più facilmente dall'ambito.

L'analisi potrebbe essere estesa facendo dei confronti tra scenari che presentano aperture a soffitto o aperture perimetrali, o ancora una combinazione di esse.

Il tema di porre le aperture verticalmente ben si sposa con la tecnologia degli SVOF contemplata dal codice di prevenzione incendi riguardante lo smaltimento di fumo e calore.

Il Sistema di Ventilazione Orizzontale del Fumo (SVOF) permette il controllo orizzontale del fumo indirizzandolo verso un punto di estrazione che può essere rappresentato da un'apertura innestata sulla parete verticale, e necessita, per il suo corretto funzionamento, di immissione d'aria da un punto opposto rispetto a quello di estrazione. Pertanto, sarebbe interessante capire in che modo la tecnologia SVOF può cooperare con le aperture di smaltimento per ottenere una situazione visibilità ottimale.

L'analisi dell'efficienza delle aperture di smaltimento nei confronti della visibilità potrebbe essere estesa anche ad altre tipologie di attività che richiedono il livello II di prestazione ma che presentano generalmente altezze interne maggiori di quelle delle autorimesse. Ad esempio, si possono considerare dei depositi, archivi, cinema, teatri ecc. e valutare se basta garantire uno smaltimento per la salvaguardia della vita oppure sarebbe necessario implementare dei sistemi di evacuazione ai sensi della norma tecnica UNI 9494.

## 10. Bibliografia e sitografia

[1] <https://www.vigilfuoco.it/asp/ReturnDocument.aspx?IdDocumento=13912>

[2] Nucleo Investigativo Antincendi Capannelle -Roma. *Indicazioni per l'attività di indagine relativa ad incendi di autoveicoli.*

[3] Raffaele Sabatino, Michele Mazzaro, Luca Nassi, Gianni Biggi, Piergiacomo Cancelliere, Andrea Marino, Elisabetta Scaglia, Vincenzo Cascioli, (2023). *Prevenzione Incendi per attività di autorimesse.*

[4] Antonio La Malfa, Salvatore La Malfa (2009). *Prevenzione incendi: approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio.*

[5] Stefano Marsella, Luca Nassi (2010). *L'ingegneria della sicurezza antincendio e il processo prestazionale: guida alla Fire Safety Engineering ed esempi applicativi.*

[6] A.P. Robbins, C.A. Wade (2008). *Study Report no.185. Soot yield values for modelling purposes - Residential occupancies.* BRANZ, Department of Building and Housing.

[7] Kevin McGrattan, Simo Hostikka, Jason Floyd, Randall McDermott, Marcos Vanella, Eric Mueller (2023). *Fire Dynamics Simulator User's Guide.*

[8] *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, NFPA.

[9] Amandine Lecocq, Marie Bertana, Benjamin Truchot, Guy Marlair (2014). *Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle.* INERIS, National Institute of Industrial Environment and Risks.

[10] [https://www.quotidianosanita.it/studi-e-analisi/articolo.php?articolo\\_id=115352#:~:text=La%20popolazione%20ultrasessantacinquenne%20aumenta%20a,per%20cento%20della%20popolazione%20totale.](https://www.quotidianosanita.it/studi-e-analisi/articolo.php?articolo_id=115352#:~:text=La%20popolazione%20ultrasessantacinquenne%20aumenta%20a,per%20cento%20della%20popolazione%20totale.)

[11] ISO/TR 16738:2009. *Fire-safety engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people, 1st edition*

[12] PD 7974-6:2004. *The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings.* British Standards

[13] Raffaele Sabatino, Daniela Freda, Antonella Pireddu, Stefano Baldassarini, Stefano Manna, Mara Lombardi, Nicolo Sciaretta, Mauro Caciolai, Piergiacomo Cancelliere, Filippo Cossi, Vincenzo Cascioli (2018). *Il codice di prevenzione incendi.*

[14] [www.firesafetyengineeringcalculators.com](http://www.firesafetyengineeringcalculators.com)

[16] D.M. 03/08/2015. *Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n.139.*

[17] [www.insic.it/prevenzione-incendi/progettazione-antincendio/autorimesse-eprogettazione-antincendio-dal-dm-1-2-1986-alla-nuova-regola-tecnica/](http://www.insic.it/prevenzione-incendi/progettazione-antincendio/autorimesse-eprogettazione-antincendio-dal-dm-1-2-1986-alla-nuova-regola-tecnica/)