



**Politecnico  
di Torino**

## Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile  
A.a. 2023/2024  
Sessione di Laurea Marzo 2024

# **Prevenzione incendi in soluzione alternativa**

applicazioni e verifiche con gli strumenti della Fire Safety Engineering in  
autorimesse interrato multipiano

Relatore:

Prof. Roberto Vancetti

Candidato:

Edoardo Panattoni

Correlatori:

Ing. Emiliano Cereda

Ing. Giulio Burzio



# Abstract

L'evoluzione normativa e tecnologica nel campo della sicurezza antincendio consente attualmente di progettare e verificare anche i casi studio più complessi e di difficile gestione. Con l'emanazione del Testo Unico di Prevenzione Incendi, il D.M. 3 agosto 2015, la prevenzione incendi in Italia ha adottato un nuovo paradigma nella progettazione antincendio, abbracciando un approccio semi-prescrittivo e allontanandosi in parte dai rigidi dettami delle normative precedenti.

Si sta assistendo ad una graduale transizione da approcci prevalentemente prescrittivi a metodologie performance-based. In questo contesto, il progettista assume un ruolo cruciale, avendo la capacità e l'opportunità di guidare le decisioni relative alle misure antincendio da implementare nel progetto.

Nel contesto così delineato, l'obiettivo di questo elaborato è valutare la conformità alla sicurezza antincendio del caso studio analizzato sia in termini semi-prescrittivi sia in termini ingegneristici, esaminando le soluzioni progettuali che conducono a risultati preferibili nell'ottica della salvaguardia della vita umana.

In particolare, viene affrontata la progettazione antincendio di un'autorimessa esistente a due piani interrati, confrontandone gli esiti risultanti, sia mediante l'antecedente D.M. 01 febbraio 1986 che secondo l'attuale regola tecnica verticale V.6, che integra le indicazioni fornite dalla regola tecnica orizzontale costituita dal Codice.

La metodologia applicativa della Fire Safety Engineering è impiegata per dimostrare la fattibilità delle soluzioni alternative proposte nello specifico per la misura S.6 - Controllo dell'Incendio e, contemporaneamente, ottimizzare il rapporto costi-benefici dell'intero processo di progettazione.





# Indice

1. Introduzione.....	1
2. La prevenzione incendi.....	3
2.1 La prevenzione incendi in Italia.....	3
2.2 La Fire Safety Engineering.....	7
2.3 L'evoluzione normativa per le autorimesse.....	10
3. Criticità delle autorimesse interrattate.....	11
3.1 Rischi e statistiche sugli incendi.....	11
3.2 Esempi da cronaca recente.....	17
4. Il caso studio.....	21
4.1 Descrizione del progetto.....	21
4.2 Iter normativo.....	24
4.3 D.M. 01/02/1986.....	26
4.4 D.M. 03/08/2015.....	36
4.4.1 Classificazione.....	36
4.4.2 Determinazione dei profili di rischio.....	38
4.4.3 Strategia antincendio.....	40
4.5 Differenze e criticità normative.....	68
5. Fire Safety Engineering Soluzione alternativa.....	71
5.1 Analisi preliminare.....	71
5.2 Definizione dei valori di ASET e RSET.....	75
5.3 Individuazione degli scenari d'incendio di progetto.....	77
5.4 Modellazione d'incendio.....	85
5.4.1 Modello geometrico.....	86
5.4.2 Curve RHR e reazioni chimiche.....	91
5.5 Modellazione d'esodo.....	99
5.5.1 Profili di occupazione.....	101
5.5.2 Comportamenti.....	103
5.6 Analisi degli scenari d'incendio di progetto.....	107

6. Soluzioni alternative e misure compensative.....	171
6.1 Il sistema water mist.....	171
6.2 Misure compensative.....	174
6.3 Analisi dei risultati.....	180
7. Conclusioni.....	189
Bibliografia.....	193
Allegati.....	195

# 1 Introduzione

L'attuale sviluppo normativo e tecnologico nel settore della sicurezza antincendio ha aperto la strada alla progettazione e alla verifica di scenari sempre più complessi e difficili da gestire.

Il Testo Unico di Prevenzione Incendi, emanato con il D.M. del 3 agosto 2015, ha introdotto un nuovo approccio alla prevenzione incendi in Italia, combinando aspetti semi-prescrittivi e allontanandosi, almeno in parte, dai rigidi dettami normativi del passato.

Recentemente, si è verificata una graduale transizione da approcci basati principalmente su normative prescrittive a metodologie incentrate sulle prestazioni. In questo nuovo contesto, il ruolo del progettista è diventato centrale, consentendogli di guidare le decisioni relative alle misure antincendio da implementare nel progetto con maggiore flessibilità e adattabilità.

L'evoluzione delle tecnologie computazionali e il prezioso contributo della ricerca scientifica hanno permesso negli ultimi anni di introdurre e utilizzare in modo sempre più accurato gli strumenti dell'Ingegneria della Sicurezza Antincendio (Fire Safety Engineering), in grado di fornire dimostrazioni sull'efficacia di tali misure progettuali.

Sebbene il percorso indicato sia proficuo la legislazione italiana talvolta pone il progettista dinnanzi a regole tecniche di complicata applicazione e/o con esborsi economici non indifferenti. In questo frangente, l'adozione di un approccio prestazionale può contribuire significativamente a ottimizzare il rapporto tra costi e benefici, mantenendo al centro dell'attenzione l'elemento cruciale della prevenzione incendi: la salvaguardia della vita.

Nel contesto delineato, il presente studio si propone di valutare la conformità della sicurezza antincendio sia secondo approcci prescrittivi e semi-prescrittivi, sia dal punto di vista ingegneristico. L'analisi si focalizza sulle discrepanze normative e sulle soluzioni progettuali che garantiscono i risultati migliori per la tutela della vita umana.

Per raggiungere tali obiettivi, viene impiegata la metodologia della Fire Safety Engineering, che consente di valutare la fattibilità delle soluzioni alternative proposte e, al contempo, di ottimizzare il rapporto costi-benefici del processo di progettazione.

Il caso oggetto di studio è un'autorimessa privata, sviluppata in due piani interrati, di pertinenza di un complesso residenziale situato a Torino, più precisamente nell'isolato tra via Viberti e via Monte Ortigara.

Tale progetto, che necessita di revisione del permesso rilasciato in passato dai Vigili del Fuoco, è stato scelto e analizzato poiché esemplificativo sia per quel che riguarda l'approccio prescrittivo sia per sperimentare l'efficacia degli strumenti di simulazione di un approccio ingegneristico.

Il seguente elaborato presenta nei capitoli introduttivi una base teorica e panoramica sull'evoluzione legislativa italiana in termini di prevenzione incendi con un focus sull'approccio prestazionale e sulle normative specifiche per le autorimesse.

In seguito, si concentra sulle peculiarità e criticità di quest'ultime tramite una valutazione dei rischi con rimandi statistici e a casi di cronaca recente.

Il nucleo dell'elaborato vede la dimostrazione dell'ottemperanza della normativa di prevenzione incendi per ottenere il parere di conformità antincendio favorevole individuando le soluzioni progettuali conformi o alternative ammesse da ambo le normative di riferimento, il D.M. 01/02/1986 e la RTV.6 del D.M. 03/08/2015.

Attraverso un processo progettuale iterativo e con retroazione, la progettazione della sicurezza antincendio mostra diverse difficoltà nell'essere conforme riscontrata con entrambe le normative di cui, le differenti soluzioni cercano di essere sviluppate e dimostrate dall'approccio prestazionale in accordo con la sezione M del D.M. 03/08/2015. Per tale motivo, la ricerca introduce gli strumenti dell'Ingegneria della Sicurezza Antincendio in particolare per dimostrare la fattibilità della soluzione alternativa proposta per la misura S.6 – Controllo dell'Incendio.

Attraverso uno sviluppo in chiave BIM, il caso studio viene analizzato individuando gli scenari d'incendio più probabili e gravosi simulando l'evoluzione dell'incendio così come l'esodo degli occupanti attraverso cinque differenti scenari.

In accordo con il capitolo M.3 del D.M. 03/08/2015, la ricerca vede la sua conclusione valutando l'ottemperanza della salvaguardia della vita degli occupanti e dei soccorritori esaminando quali soluzioni progettuali apportano i benefici più consistenti.

Si mettono in luce le peculiarità e i vantaggi che l'approccio ingegneristico porta alla progettazione con l'auspicio che questo continui la sua ascesa nella professione.

Oltre al presente scritto, si allegano elaborati grafici come planimetria generale e piante in scala 1:100 con presidi antincendio, indicazione dei compartimenti, verifica delle lunghezze di esodo, utili ad una più completa comprensione del progetto.

## **2 La Prevenzione Incendi**

Il presente capitolo descrive l'evoluzione normativa italiana in merito alla Prevenzione Incendi, fino alla pubblicazione del Testo Unico di Prevenzione Incendi, il D.M. 3 agosto 2015 e relativi aggiornamenti. Vengono esaminati i contenuti di quest'ultimo evidenziandone le caratteristiche distintive attraverso un approfondimento sulla sezione M, introducendo i metodi legati alla Fire Safety Engineering. Infine, si delinea la legislazione vigente per le autorimesse impiegata nei capitoli successivi.

### **2.1 La prevenzione incendi in Italia**

Come contenuto nell'art. 2 del D.P.R. n. 577 del 29 luglio 1982 e reinserto nel paragrafo G.1.3 al D.M. 03 agosto 2015:

*“La prevenzione incendi è la funzione di preminente interesse pubblico diretta a conseguire, secondo criteri applicativi uniformi sul territorio nazionale, gli obiettivi di sicurezza della vita umana, di incolumità delle persone e di tutela dei beni e dell'ambiente attraverso la promozione, lo studio, la predisposizione e la sperimentazione di norme, misure, provvedimenti, accorgimenti e modi di azione intesi ad evitare l'insorgenza di un incendio e degli eventi ad esso comunque connessi o a limitarne le conseguenze”.*

Il quadro normativo italiano relativo alla Prevenzione Incendi è frutto di un processo durevole e complesso, contraddistinto da frequenti modifiche e integrazioni, attraverso numerosi decreti e documenti legislativi.

La sua sfera di applicazione riguarda la prevenzione degli incendi e degli eventi ad esso connessi, o la limitazione delle conseguenze ad essi correlate.

Questa disciplina giuridica entra in gioco in ogni contesto in cui gli occupanti sono potenzialmente esposti al rischio di incendio. Infatti, la legislazione italiana impone la valutazione del rischio incendio per tutti gli ambienti identificati come luoghi di lavoro ai sensi del D. Lgs. n. 81 del 09 aprile 2008.

Inoltre, la prevenzione incendi assume un ruolo di rilievo interdisciplinare, estendendosi alla sicurezza nei luoghi di lavoro, al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti associati a specifiche sostanze pericolose, all'energia e ai prodotti da costruzione.

Sebbene l'aspetto normativo abbia radici che risalgono al 1939, anno dell'istituzione del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco attraverso il Regio Decreto-legge, le procedure di prevenzione incendi hanno una storia più recente.

A partire dagli inizi degli anni '60, in concomitanza con lo sviluppo industriale italiano, è emersa la necessità di una politica di prevenzione e controllo delle attività a rischio incendi. La prima legge che ha istituito i primi obblighi della suddetta materia è la n. 966 del 1965, nella quale nasce il C.P.I. (Certificato di Prevenzione Incendi) e ove viene stilata una prima lista di 100 attività soggette a precisi requisiti antincendio.

Successivamente, il D.P.R. n. 577 del 1982 ha perfezionato la normativa precedente, introducendo l'obbligo di sottoporre il progetto delle attività ai controlli di prevenzione incendi.

Il tragico evento accaduto a Torino, l'incendio del cinema Statuto del 13 febbraio 1983, ha portato alla definizione della legge 7 dicembre 1984 n. 818.

Questa legislazione ha introdotto il N.O.P. (Nulla Osta Provvisorio) per le attività prive del C.P.I. In cambio del N.O.P., il titolare dell'attività garantiva di conformarsi alle richieste e di adeguare almeno gli aspetti antincendio più urgenti, stabilendo sanzioni penali in caso di mancata conformità. Inoltre, questa legge ha regolamentato la figura del professionista abilitato alla prevenzione incendi, figura successivamente sostituita dal "Professionista antincendio" in conformità al D.M. 5 agosto 2011.

Alla fine degli anni '90, il panorama legislativo è stato arricchito dal D.P.R. n. 37 del 12 gennaio 1998, mirato a snellire ulteriormente le procedure amministrative inerenti alla prevenzione incendi. Tra le innovazioni, spiccano le nuove tempistiche di risposta del Comando dei Vigili del Fuoco in merito all'esame progetto e l'introduzione della D.I.A. (Dichiarazione di Inizio Attività).

Con il D. Lgs. n. 139 08 marzo 2006, che abroga la precedente legge n. 818 del 1984, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ha assunto il ruolo di struttura dello Stato ad ordinamento civile, incardinata nel Ministero dell'Interno Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile.

### **D.P.R. n° 151 01/08/2011**

Al fine di ottimizzare e semplificare l'azione amministrativa, è stato emanato il Decreto del Presidente della Repubblica n. 151 dell'01 agosto 2011.

Questo regolamento si contraddistingue per le seguenti modifiche: semplificazione delle procedure, abolizione del C.P.I., introduzione della Segnalazione Certificata di Inizio Attività (SCIA) e dell'asseverazione da parte del professionista antincendio, nonché la

riorganizzazione delle attività soggette a controllo, riducendole da 97 a 80.

Le procedure preesistenti presentavano notevoli limiti, come la mancanza di un sistema di proporzionalità tra il livello di rischio di un'attività e gli adempimenti di prevenzione incendi, e l'esecuzione dell'esame progetto e sopralluogo di verifica in modo indiscriminato su tutte le 97 attività.

Il D.P.R. 151/2011 introduce il principio di proporzionalità, differenziando gli adempimenti amministrativi in base alle caratteristiche di ciascuna attività.

Il principio suddivide le attività in tre categorie (A, B, C), considerando dimensioni dell'impresa, settore, esistenza di specifiche regole tecniche verticali e tutela della salvaguardia della vita. Ciascuna categoria presenta iter procedurali e amministrativi distinti.

In particolare, per la categoria A (attività semplici) si applica il principio della SCIA con controlli a campione successivi, per la B (attività mediamente complesse) è obbligatorio presentare l'esame progetto e la SCIA con sopralluoghi a campione, mentre per la categoria C (attività complesse) è necessario sottoporsi all'esame progetto, presentare la SCIA con un sopralluogo obbligatorio entro 60 giorni.

Con l'entrata in vigore del D.P.R. 151/2011, il Certificato di Prevenzione Incendi non rappresenta più il provvedimento finale di un procedimento amministrativo, ma assume il ruolo di "Attestato del Rispetto delle prescrizioni previste dalla normativa di prevenzione incendi e della sussistenza dei requisiti di sicurezza antincendio".

Successivamente alle semplificazioni nei procedimenti amministrativi, nel 2015 è stata avviata un'ulteriore revisione e semplificazione delle norme tecniche di prevenzione incendi, con l'obiettivo di renderle non solo più semplici ma anche più coerenti con lo sviluppo produttivo e sociale del Paese.

### **Il Codice di prevenzione incendi: D.M. 03/08/2015**

In linea con il processo di semplificazione amministrativa avviato con l'introduzione della SCIA, il Decreto Ministeriale del 03 agosto 2015 nasce dall'idea di un "testo unico", ossia un documento modulare e soggetto ad aggiornamenti in base all'evoluzione delle tecnologie nel settore antincendio, con l'obiettivo di sostituire numerose regole tecniche preesistenti.

Il Codice, fondato sugli obiettivi principali di salvaguardare la vita umana, tutelare i beni e preservare l'ambiente, regola la materia organizzandola in quattro sezioni:

- G (Generalità): contiene i principi sui quali si fonda la progettazione della sicurezza antincendio. Si compone di tre capitoli che definiscono termini, definizioni e simboli grafici, la progettazione per la sicurezza antincendio e la determinazione dei profili di rischio delle attività.
- S (Strategia antincendio): in cui vengono descritte le dieci misure antincendio e i rispettivi livelli di prestazione, ed illustrate le possibili soluzioni progettuali.

Per ciascun livello di prestazione vengono proposte le corrispondenti soluzioni conformi, che non necessitano una verifica specifica, e le possibili soluzioni alternative, di cui il progettista è tenuto a dimostrarne l'efficienza.

Con la sezione precedente forma le cosiddette regole tecniche orizzontali RTO.

- V (Regole tecniche verticali): contiene le regole tecniche specifiche per determinate attività o sue porzioni. Queste regole tecniche, in continuo aggiornamento, sono da assumere come un'integrazione di quelle generali illustrate nella sezione S.
- M (Metodi): contiene la metodologia di applicazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio. Questa sezione verrà ripresa nel paragrafo successivo e sarà fondante dell'elaborato di tesi.

Con l'emanazione dell'aggiornamento al D.M. 12/04/2019, è divenuto obbligatorio l'utilizzo del Codice di prevenzione incendi per tutte quelle attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco e non normate, ovvero prive di una regola tecnica verticale di riferimento.

Tuttavia, per attività soggette e normate in presenza simultanea di una RTV del Codice e un decreto prescrittivo antecedente, è lasciata al progettista la facoltà di selezionare a quale normativa fare riferimento, dando vita a un regime di doppio binario. Per le attività soggette, il Codice delinea un iter per eseguire tale valutazione e minimizzare i fattori che concorrono alla definizione di rischio: frequenza e conseguenze su beni e persone.

Il processo metodologico è articolato in quattro fasi, descritte nella sezione G del Codice:

1. individuazione dei pericoli di incendio;
2. valutazione del rischio incendio mediante tre profili di rischio  $R_{vita}$ ,  $R_{beni}$ ,  $R_{ambiente}$ ;
3. definizione delle misure antincendio e attribuzione dei corrispondenti livelli di prestazione;
4. adozione di una soluzione per ogni misura antincendio, che questa sia conforme, alternativa o in deroga.

La logica procedurale di utilizzo del testo unico verrà svolta ed analizzata nel dettaglio successivamente con l'introduzione del caso studio.

La progettazione della sicurezza antincendio delle attività si delinea così come un processo iterativo e strutturato, affrontabile con due approcci distinti.

Il primo, semi-prescrittivo, permette al progettista di eseguire la valutazione del rischio ed individuare le soluzioni tra quelle proposte nel Codice.

Questo approccio metodologico risulta essere rigido, è il legislatore che guida il progettista per mezzo di prescrizioni e standard fissati a priori. Il progettista è tenuto ad osservare procedure e metodi di calcolo ben specificati e dettagliati aspetti costruttivi.

Il secondo, prestazionale, concede più libertà nell'analisi degli occupanti, dell'ambiente e dello sviluppo dell'incendio e dei suoi effetti, al fine di configurare soluzioni atte a



perseguire gli obiettivi della sicurezza antincendio.

Alla luce di queste distinzioni, le sezioni G, S e V possono essere utilizzate per affrontare la progettazione con l'approccio semi-prescrittivo, più diffuso e guidato, mentre la sezione M è dedicata all'approccio prestazionale, più flessibile ma anche più complesso sia nelle metodologie che nei suoi strumenti.

## 2.2 La Fire Safety Engineering

La Fire Safety Engineering consta di diversi sinonimi a seconda del documento in cui è trattata: metodo ingegneristico, approccio prestazionale, ingegneria della sicurezza antincendio, approccio Performance Based.

Tale disciplina è stata presentata per la prima volta nel documento ISO/TR 13387 del 1999. La normativa ISO/TR13387, in particolare, fornisce la seguente definizione per illustrare la metodologia prestazionale:

*“L'applicazione di principi ingegneristici, di regole e di giudizi esperti basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano, finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione dei rischi d'incendio e dei relativi effetti nonché alla valutazione analitica delle misure di protezione ottimali, necessarie a limitare, entro livelli prestabiliti, le conseguenze dell'incendio”.*

Essa può essere descritta come una materia che, attraverso il metodo scientifico, assiste il progettista nella selezione delle misure di sicurezza più adeguate finalizzate alla protezione delle persone, dei beni e dell'ambiente dagli effetti dell'incendio. L'aspetto scientifico coinvolge la realizzazione di simulazioni di incendio mediante metodi di calcolo, offrendo una rappresentazione accurata degli eventi in un ambiente prescelto.

Il concetto fondamentale di questa metodologia è la definizione di prestazioni che la struttura deve essere in grado di raggiungere, consentendo una valutazione quantitativa del livello di sicurezza antincendio rispetto a soglie prestabilite e a scenari d'incendio determinati in precedenza dal professionista. Per implementare questo concetto, il progettista deve avvalersi di modelli di calcolo appropriati in grado di prevedere gli effetti di eventi specifici e delle relative misure adottate.

Sebbene questo approccio offra notevoli vantaggi, come flessibilità e adattabilità a situazioni complesse e risparmi economici nei materiali e nella gestione, va notato che comporta un aumento significativo dei tempi e dei costi della progettazione. Pertanto, per casi di facile applicazione, spesso si preferisce il più convenzionale approccio tradizionale.

La Fire Safety Engineering è stata introdotta in Italia con l'articolo 1 del D.M. del 9 maggio 2007, proponendosi come alternativa alle disposizioni del decreto del Ministro dell'Interno datato 4 maggio 1998, in particolare per quanto riguarda le soluzioni in deroga.

Tale approccio risultava applicabile in due contesti specifici: nel caso di richiesta di deroga, finalizzata all'individuazione di misure di sicurezza equivalenti, e per determinare le migliori misure da adottare per ottenere il Certificato di Prevenzione Incendi nel caso in cui l'attività considerata non fosse regolamentata da disposizioni specifiche.

Tuttavia, il D.M. sopra menzionato presentava lacune significative, in quanto non forniva indicazioni sul numero di scenari da considerare, sui modelli automatici concessi e sulle relative modalità di validazione. Inoltre, non conteneva informazioni sui valori numerici da assumere per i livelli di prestazione e non offriva dettagli sulla progettazione dell'esodo.

Per colmare queste lacune, il documento suggeriva di trarre i valori mancanti dalla letteratura, facendo riferimento alle norme ISO/TR 13387 e BS7974.

La principale conseguenza dell'incompletezza di questo D.M. è stata la sua limitata adozione da parte dei progettisti. Il reale ingresso della Fire Safety Engineering nel contesto professionale è stato ritardato di otto anni, avvenendo con l'entrata in vigore del D.M. del 3 agosto 2015 e della sua sezione M.

## **Sezione M**

La sezione M del Codice di Prevenzione Incendi ha l'obiettivo di dettagliare le fasi principali della metodologia, comprendendo la trattazione degli aspetti più tecnici.

Questa sezione è suddivisa in tre capitoli: M1, M2, M3.

Il capitolo M1 fornisce indicazioni sul procedimento da seguire per determinare le soluzioni adeguate mediante l'applicazione della Fire Safety Engineering (FSE).

La metodologia delineata si articola in due fasi: una fase di analisi preliminare e una fase di analisi quantitativa. Nella prima, si individuano le condizioni di rischio più rappresentative dell'attività e si definiscono i livelli di prestazione in relazione agli obiettivi di sicurezza. Nella seconda, si effettuano i calcoli degli effetti dell'incendio confrontando poi i risultati ottenuti con i livelli di prestazione precedentemente identificati.

Durante la fase iniziale, vengono definiti gli scopi della progettazione, evidenziando possibili elementi critici, vincoli di progetto, condizioni al contorno e caratteristiche degli occupanti. Vengono evidenziate eventuali discordanze rispetto alle norme vigenti e si fornisce una motivazione all'adozione della Fire Safety Engineering nella progettazione. Successivamente, si specificano gli obiettivi di sicurezza antincendio, i quali vengono tradotti in livelli di prestazione mediante l'assegnazione di valori numerici quantitativi. L'ultima sottofase dell'analisi preliminare consiste nell'individuazione degli scenari di progetto, argomento approfondito nel successivo capitolo M2.

Il capitolo M2, strutturato in tre sottofasi, fornisce indicazioni per l'applicazione del metodo, delineando le fasi necessarie per individuare gli scenari da impiegare nell'analisi quantitativa.

Nella sottofase di "Identificazione", il professionista, al fine di definire i potenziali scenari, deve ipotizzare tutte le condizioni operative plausibili per l'attività. In questo contesto, può essere utile creare un albero degli eventi, uno strumento che qualitativamente individua ed esamina le diverse opzioni, oltre a fare riferimento a indagini storiche.

Gli scenari devono essere descritti attraverso tre caratteristiche fondamentali: attività, tipo di incendio e tipologia di occupanti.

Nella sottofase di "Selezione" degli scenari d'incendio di progetto, si effettua una scrematura degli scenari precedentemente individuati. Il criterio adottato in questo passo è di ridurli al numero minimo possibile, facendo attenzione che gli scenari prescelti abbiano un livello di rischio non inferiore a quello di tutti gli altri scenari.

Nell'ultima sottofase, il professionista associa una valenza quantitativa alla descrizione qualitativa precedentemente svolta.

Vengono introdotti i parametri numerici da inserire negli input delle modellazioni, riferiti alle tre caratteristiche sopra citate (attività, incendio e occupanti).

Per analizzare l'evoluzione dell'incendio e gli effetti su strutture, occupanti e ambiente, è necessario utilizzare modelli di calcolo analitici o numerici adeguati. Una volta ottenuti i dati di output, si verifica il rispetto delle soglie di prestazione prefissate per le soluzioni adottate e per ciascun scenario di progetto ipotizzato. Infine, si procede alla selezione della soluzione più idonea tra quelle che hanno superato positivamente le verifiche.

Il capitolo M3 fornisce dettagli inerenti alla tutela della vita umana, in particolare, si concentra sull'approccio ingegneristico allo studio dell'esodo.

In sintesi, mentre le regole tecniche standard affrontano l'esodo focalizzandosi sugli elementi fisico-geometrici, in particolare sui moduli di uscita, la progettazione prestazionale dell'esodo prende in considerazione gli aspetti comportamentali e ambientali, oltre a quelli puramente geometrici.

Questo approccio considera la presenza o l'assenza di fumi e gli effetti generali dell'incendio. Il metodo prestazionale consiste nella verifica temporale, assicurandosi che il tempo disponibile per l'esodo (ASET) sia superiore al tempo richiesto per l'esodo (RSET), in riferimento a tutti gli occupanti della struttura analizzata.

Una trattazione più approfondita di queste tematiche sarà presentata nella sezione 5.5 del presente elaborato.

## 2.3 L'evoluzione normativa per le autorimesse

Fino al 2020, il decreto di riferimento per la progettazione antincendio delle autorimesse è stato il D.M. 1° febbraio 1986, noto come "Norme di sicurezza antincendi per la costruzione e l'esercizio di autorimesse e simili". Inquadrandosi nelle regole tecniche verticali ante codice, caratterizzate da un approccio prescrittivo, questo atto normativo è strutturato in dodici capitoli, di cui il terzo articolato in dieci punti.

La corretta osservanza di tali punti risulta essenziale per dimostrare la conformità del progetto antincendio alle disposizioni normative.

Va notato che questo decreto ministeriale è stato integrato dalla Circolare del 5 novembre 2018, n. 2, prot. n. 15000, intitolata "Linee guida per l'installazione di infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici". Tale integrazione è stata introdotta per affrontare le nuove esigenze e tecnologie emergenti, in particolare in relazione alla ricarica dei veicoli elettrici. Il D.M. 01/02/1986 è rimasto in vigore fino al 18 novembre 2020, quando è stato abrogato dal D.M. 15 maggio 2020. Da tale data, per le autorimesse con superficie coperta superiore a 300 m<sup>2</sup>, è divenuto obbligatorio applicare il codice di prevenzione incendi del D.M. 3 agosto 2015, facendo riferimento alla specifica regola tecnica verticale di cui al Capitolo V.6, approvata con il citato D.M. 15 maggio 2020.

Il Capitolo V.6 allegato al D.M. 15 maggio 2020 ha sostituito il precedente testo introdotto dal D.M. 21 febbraio 2017 e successivamente modificato dal D.M. 14 febbraio 2020.

Fino al 18 novembre 2020, il Codice poteva essere utilizzato in alternativa al D.M. 01/02/1986. Attualmente, il Codice rappresenta l'unico riferimento tecnico per la progettazione della sicurezza antincendio delle autorimesse con superficie superiore a 300 m<sup>2</sup>, facendo decadere il cosiddetto doppio binario.

L'abrogazione del D.M. 01/02/1986 ha rimosso anche i riferimenti normativi per le autorimesse con superficie non superiore a 300 m<sup>2</sup> (cosiddette sottosoglia). Ciò ha portato il C.N.VV.F. a emanare la Circolare 17496 del 18 dicembre 2020, in collaborazione con le rappresentanze nazionali delle categorie dei professionisti antincendio, fornendo indicazioni utili per tali tipologie di autorimesse a beneficio dei tecnici della sicurezza.

Nessun decreto ha imposto l'obbligo di adeguamento per le attività esistenti, che possono rimanere in esercizio rispettando le norme di sicurezza in vigore al momento della realizzazione.

Il capitolo 4 del presente elaborato analizzerà sia il D.M. 01/02/1986 che la V.6 al D.M. 15/05/2020, approfondendone le criticità.

## **3 Criticità delle autorimesse interrato**

Con il presente capitolo, si intende condurre un'analisi preliminare sulle questioni connesse al rischio incendio nelle autorimesse interrato, in conformità con il caso studio selezionato. Verranno esaminate le principali criticità associate alle autorimesse interrato e si riporteranno le statistiche rilevanti ai fini antincendio tratte dall'Annuario Statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco 2023.

In aggiunta, saranno illustrati casi di cronaca recente relativi a incendi verificatisi in autorimesse, offrendo spunti di riflessione in merito.

### **3.1 Rischi e statistiche sugli incendi**

Le principali criticità associate alle autorimesse interrato sono multifattoriali, con il rischio incendio che emerge come uno degli aspetti più rilevanti.

L'analisi dettagliata di questo rischio richiede un'esplorazione approfondita delle variabili proprie di queste strutture sotterranee, evidenziando le specificità comuni che contribuiscono all'insorgenza di eventi critici.

La valutazione del rischio nella progettazione antincendio rappresenta il primo passo per una comprensione più chiara del processo progettuale, risultando utile anche per comprendere le scelte proposte nel capitolo 5 del presente elaborato.

In primo luogo, la configurazione sotterranea delle autorimesse interrato introduce la sfida della ventilazione limitata, rappresentando un elemento cruciale nella gestione del rischio incendio. Tale limitazione impedisce la dispersione efficiente di gas infiammabili e fumi tossici, creando un ambiente favorevole alla propagazione del fuoco.

L'efficacia di questo sistema dipende dalla capacità di garantire un adeguato ricambio d'aria, contribuendo così a limitare la concentrazione di sostanze infiammabili e a migliorare le condizioni di evacuazione.

Contestualmente, la ventilazione deve essere considerata parte integrante di un sistema

complessivo di sicurezza antincendio. La scelta di tecnologie avanzate, come sistemi di aspirazione del fumo e dispositivi di rilevamento automatico, può migliorare significativamente la gestione delle condizioni incapacitanti durante un incendio, proteggendo gli occupanti e facilitando le operazioni di soccorso.

Inoltre, la progettazione della ventilazione deve tenere conto della struttura specifica dell'autorimessa interrata, considerando la disposizione degli accessi, la presenza di rampe e l'orientamento dei percorsi di fuga, non trascurando le compartimentazioni.

Questa prospettiva integrata contribuisce a ottimizzare l'efficacia della ventilazione in relazione alla sicurezza complessiva della struttura.

In secondo luogo, la presenza di veicoli, con serbatoi di carburante e altri materiali infiammabili, aumenta ulteriormente il rischio di accumulo di agenti combustibili.

In condizioni di temperature elevate, queste sostanze possono diventare fonti di combustione, generando incendi che, in ambienti confinati, possono evolvere rapidamente. Oltre ai carburanti e ai lubrificanti, le autorimesse possono ospitare una varietà di prodotti automobilistici come batterie, liquidi refrigeranti, olii e altri materiali che possono diventare potenziali agenti combustibili se esposti a temperature elevate.

La gestione accurata di queste sostanze, considerando il corretto stoccaggio e la prevenzione di dispersioni accidentali, è fondamentale per ridurre il rischio incendi in queste strutture.

Un altro aspetto significativo nella valutazione delle criticità delle autorimesse è rappresentato dall'accessibilità limitata, intrinseca a tali strutture e in grado di impattare notevolmente sulla sicurezza durante situazioni di emergenza. La presenza di veicoli, ostacoli strutturali e l'organizzazione stessa dello spazio possono compromettere la velocità e l'efficacia delle operazioni di evacuazione. Per affrontare le sfide legate all'accessibilità limitata, è cruciale adottare un approccio di progettazione attento e mirato. Le vie di fuga devono essere concepite tenendo conto di una facile accessibilità, minimizzando gli ostacoli e garantendo la massima efficienza nelle operazioni di esodo.

L'implementazione di tecnologie quali segnalazioni sonore luminose, dispositivi di comunicazione di emergenza affidabili è un elemento chiave per guidare gli occupanti attraverso percorsi sicuri, superando le limitazioni imposte dalla conformazione dell'ambiente stesso. Inoltre, la presenza di mappe di evacuazione chiare e ben posizionate può fornire aiuti visivi per orientarsi durante l'evacuazione.

Analizzando le indagini dell'Annuario Statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco 2023, emergono dati significativi in merito agli incendi in autorimesse, permettendo di identificare tendenze, frequenze e possibile impatto.

L'Annuario costituisce un compendio dettagliato di report statistici relativi agli interventi del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco nell'anno precedente, nel caso specifico, il 2022. All'interno della sezione 4.2.1 dedicata agli "incendi ed esplosioni," emergono dati rilevanti: gli incendi nelle autorimesse private rappresentano lo 0,7% del totale, con un numero di

1919 casi in rapporto al numero totale di interventi (270068).

Dalla tabella n. 1 emerge chiaramente che i luoghi più frequentemente coinvolti in interventi di soccorso per "incendi ed esplosioni" sono gli appartamenti e i locali di civile abitazione nelle aree residenziali, i campi nelle località agricole, le strade e le piazze cittadine nelle zone di sosta e traffico. Questi tre luoghi emergono come i più suscettibili a eventi simili, rappresentando quasi la metà di tutti i casi totali di incendi.

Inoltre, va sottolineato che, nonostante l'attenzione mediatica generalmente concentrata su altre destinazioni d'uso come le scuole (che rappresentano lo 0,2% del totale), le autorimesse private manifestano una frequenza di incidenti maggiore, nonostante il minor affollamento medio. Dunque, a differenza di quanto si potrebbe immaginare considerata la rarità di notizie in merito, le autorimesse presentano rischi decisamente non trascurabili.

Nel medesimo rapporto, risulta opportuno esaminare la tabella n. 2 al fine di condurre un'analisi più approfondita degli scenari d'incendio più verosimili. Quest'ultima si propone di investigare l'origine di un incendio o esplosione che richiede l'intervento dei vigili del fuoco, con particolare attenzione alle cause scatenanti e ai dettagli correlati.

In questa categoria, le cause di natura elettrica e i camini emergono come fattori preponderanti, rappresentando oltre l'8% del totale degli inneschi.

La natura elettrica del fenomeno può essere attribuita a un possibile malfunzionamento della batteria di un'autovettura, pertanto, tale fattore di rischio, merita particolare attenzione nell'ambito del caso studio. Dalla tabella emerge altresì che più del 60% delle cause degli incendi ed esplosioni in Italia rimane non identificato.

Merita ulteriore considerazione il fatto che la tabella rivela come oltre 10.000 incendi all'anno siano attribuibili a cause dolose, mentre quasi 4.000 sono classificabili come colpose. Si sottolinea che, ai fini della valutazione del rischio, l'intenzionalità nella progettazione della sicurezza antincendio non è presa in considerazione in quanto imprevedibile e inqualificabile.

Oltre alle già menzionate tabelle, nelle pagine successive è riportata la tabella n. 3. Quest'ultima riepiloga le sostanze per le quali la probabilità di innesco è più elevata, con una frequenza pari o superiore allo 0,2%. A fianco di sterpaglie e rifiuti, le autovetture emergono come elemento di rischio non trascurabile, contribuendo al 5,4% del totale degli incendi, con oltre 14.000 casi documentati. Tale constatazione conduce a una valutazione immediata delle autovetture quale principale fonte di innesco e di rischio per il caso studio esaminato, con l'autorimessa rappresentativa il luogo ideale di manifestazione di tali eventi. Successivamente, sono riportate le tabelle sopracitate per una più completa comprensione del capitolo.

### 3 - Criticità delle autorimesse interraste

Tabella 1 - Tab. n.1 tratta da Annuario Statistico del C.N.VV.F.

Interventi di soccorso tecnico urgente effettuati dal C.N.VV.F. inerenti ai luoghi con frequenza  $\geq 0.2\%$  rispetto al totale degli "incendi ed esplosioni"

LUOGO	DETTAGLIO LUOGO	INCENDI ED ESPLOSIONI (ANNO 2022)	
		N°	%
Ambienti ad uso particolare	Scuole di ogni ordine e grado	654	0,2%
	Strutture ricettive turistico alberghiere	547	0,2%
	Altri	1.245	0,5%
Luoghi di civile abitazione	Appartamenti e locali di abitazione	39.061	14,5%
	Edifici in genere	10.664	3,9%
	Autorimesse private	1.919	0,7%
	Campi nomadi	980	0,4%
	Costruzioni provvisorie (dormitori di opera, baracche, ecc)	857	0,3%
	Locali quadri elettrici	674	0,2%
	Altri	5.354	2,0%
	Zone di montagna in genere	Altre	651
Località agricole o per allevamento	Campi	36.942	13,7%
	Zone rurali	22.218	8,2%
	Boschi	11.850	4,4%
	Zona alberata	3.393	1,3%
	Fabbricati agricoli	1.489	0,6%
	Capannoni	1.237	0,5%
	Altre	3.582	1,3%
	Zona di sosta e traffico	Strade e/o piazze cittadine	43.553
Strade extraurbane		21.370	7,9%
Autostrade e tangenziali		5.337	2,0%
Cortili		3.291	1,2%
Parcheggi all'aperto		2.519	0,9%
Giardini		2.196	0,8%
Sedi ferroviarie		613	0,2%
Altre		774	0,3%
Altri luoghi		Fiumi, corsi d'acqua, zone fluviali	1.197
	Zone costiere (di mare)	730	0,3%
	Non considerato	1.405	0,5%
	Altre	2.743	1,0%
Aziende varie	Altre	541	0,2%
Depositi di combustibili solidi	Depositi di foraggi, paglia e simili	874	0,3%
	Depositi di rifiuti	809	0,3%
Esercizi commerciali	Ristoranti, mense e simili	1.135	0,4%
	Altri	553	0,2%
*	*	20.241	7,5%
<b>Totale</b>			93,8%

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



### 3.1 - Rischi e statistiche sugli incendi

Tabella 2 - Tab. n.2 tratta da Anuario Statistico del C.N.VV.F.

Interventi di soccorso tecnico urgente effettuati dal C.N.VV.F. inerenti alle cause con frequenza  $\geq 0.2\%$  rispetto al totale degli "incendi ed esplosioni"

CAUSA	DETTAGLIO CAUSA	INCENDI ED ESPLOSIONI (ANNO 2022)	
		N° INTERVENTI	%
Cause di innesco di incendio	Cause elettriche	11.468	4,2%
	Camino e/o canna fumaria	11.252	4,2%
	Mozzicone di sigaretta e fiammiferi	4.431	1,6%
	Non corretta o mancata adozione di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza	2.002	0,7%
	Autocombustione	1.788	0,7%
	Surriscaldamento di motori e macchine varie	1.425	0,5%
	Elettrodomestici (TV, Lavatrice, lavastoviglie, Computer, ecc.)	914	0,3%
	Fulmine	763	0,3%
	Faville generate dallo sfregamento di parti meccaniche	609	0,2%
	Altre	16.354	6,1%
	Dolose	Probabile dolo	10.790
Probabile colpa		3.807	1,4%
Cause che determinano altri tipi di interventi	Cause impreviste	3.149	1,2%
	Disattenzione generale	2.463	0,9%
	Funzionamento difettoso di impianti e/o macchinari in genere	915	0,3%
	Altre	4.593	1,7%
Cause che determinano soccorso a persone	Non potute accertare nell'immediatezza dell'evento	901	0,3%
Non considerato	Non considerato	4.698	1,7%
Non potute accertare nell'immediatezza dell'evento	Non potute accertare nell'immediatezza dell'evento	163.462	60,5%
*	*	20.406	7,6%
<b>TOTALE</b>			<b>98,6%</b>

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

### 3 - Criticità delle autorimesse interraste

Tabella 3 - Tab. n.3 tratta da Annuario Statistico del C.N.VV.F.

Interventi di soccorso tecnico urgente effettuati dal C.N.VV.F. inerenti alle sostanze con frequenza  $\geq 0.2\%$  rispetto al totale degli "incendi ed esplosioni"

SOSTANZA	DETTAGLIO SOSTANZA	INCENDI ED ESPLOSIONI (ANNO 2022)	
		N° INTERVENTI	%
Combustibili solidi	Sterpaglie	73.892	27,4%
	Rifiuti	21.055	7,8%
	Arbusti e macchia mediterranea	10.864	4,0%
	Legno e sughero	9.147	3,4%
	Alberi	8.726	3,2%
	Fuliggine	8.517	3,2%
	Fieno, paglia e simili	7.631	2,8%
	Arredamenti	5.938	2,2%
	Cellulosa e carta	3.925	1,5%
	Plastica	3.332	1,2%
	Piantagioni in genere	3.268	1,2%
	Strutture portanti in legno	1.654	0,6%
	Stoffe, abbigliamento e fibre	1.239	0,5%
	Polveri di legno e simili	820	0,3%
	Carbone naturale e vegetale	566	0,2%
	Altri	18.669	6,9%
Elementi da costruzioni	Camini, canne fumarie, comignoli	6.686	2,5%
	Tetti	3.302	1,2%
	Copertura in genere	628	0,2%
	Altri	1.308	0,5%
Mezzi di trasporto	Autovetture	14.658	5,4%
	Autocarri - autosnodati, rimorchi, semi-rimorchi	2.897	1,1%
	Mezzi d'opera - macchine operatrici (trattori escavatori etc.)	874	0,3%
	Motoveicoli - ciclomotori	740	0,3%
	Altri	732	0,3%
Altri infiammabili e combustibili	Gas di petrolio liquefatto (GPL)	722	0,3%
Altri	Quadri elettrici parti d'impianto elettrico	3.981	1,5%
	Bidone ecologico o cassonetto	2.392	0,9%
	Apparecchi elettrici utilizzatori	2.372	0,9%
	Palo elettrico	1.045	0,4%
	Macchinari in genere	1.029	0,4%
	Non considerato	10.383	3,8%
	Altri	9.385	3,5%
*	*	20.049	7,4%
<b>TOTALE</b>			97,2%

(\*) scheda d'intervento a ruota aperta, dati parzialmente inseriti.

## 3.2 Esempi da cronaca recente

Nella presente sezione sono presentati alcuni esempi di cronaca eclatanti riguardanti incendi verificatisi in parcheggi, prevalentemente di natura interrata, allo scopo di mettere in luce la potenziale pericolosità di tali eventi dal punto di vista economico, dei danni alle strutture circostanti, ambientale e non solo.

### **Incendio del parcheggio interrato dell'Hotel Ritz (Parigi) 08/03/2012**

Il seguente incendio ha avuto origine nel secondo piano interrato dell'hotel Ritz, verosimilmente scaturito da una perdita di carburante di un'automobile parcheggiata al secondo dei cinque livelli sotterranei. Questo sito si trova precisamente al di sotto della celebre Place Vendome, avvolta dal fumo e prontamente evacuata grazie all'intervento tempestivo dei Vigili del Fuoco.

Una persona è stata lievemente intossicata ma non si sono registrate vittime o feriti gravi. In termini di danni materiali, più di 30 veicoli sono stati completamente distrutti, mentre altri 50 hanno subito danneggiamenti.

L'intervento di soccorso ha richiesto la mobilitazione di centinaia di Vigili del Fuoco, considerando che le strutture circostanti fanno parte del patrimonio storico di Parigi.

La struttura dell'Hotel Ritz stessa risale al XVIII secolo, attribuendo a questi beni un valore storico e culturale significativo.

### **Incendio del parcheggio interrato del Sindika Market (Mosca)**

**08/10/2017**

L'incendio che ha coinvolto l'intero centro commerciale ha avuto origine nel parcheggio interrato, dove alcune autovetture hanno preso fuoco e sono esplose, avvolgendo nelle fiamme l'intera autorimessa. Stime indicano che circa 400 metri quadri della struttura sono crollati a causa dell'incendio. L'intervento dei Vigili del Fuoco ha richiesto l'impiego straordinario di elicotteri per domare l'estensione delle fiamme, con la partecipazione di oltre 300 operatori. A causa del vento, una densa nuvola nera si è diffusa su un'ampia area, causando disagi alla circolazione stradale e generando lunghe code di veicoli sulle principali arterie intorno a Mosca.

Grazie alla prontezza delle squadre di soccorso, più di 3000 persone sono state evacuate; nonostante non siano stati registrati decessi, diverse persone sono rimaste gravemente ferite, principalmente per intossicazione da fumi.

Inizialmente considerata l'ipotesi dolosa, questa è stata scartata in favore dell'ipotesi più verosimile di un cortocircuito alla batteria di un'auto. La complessità dell'evento ha richiesto una risposta rapida ed efficace da parte delle autorità e dei soccorritori,

sottolineando l'importanza di protocolli di emergenza ben strutturati per gestire situazioni di tale complessità.

### **Incendio di un parcheggio multipiano (Liverpool) 31/12/2017**

L'incendio, generato da un'automobile parcheggiata al terzo piano della struttura, ha coinvolto rapidamente l'intero edificio, un parcheggio multipiano di tipo aperto. Circa 1400 autovetture sono state distrutte, causando danni materiali considerevoli, rendendo l'intero fabbricato inagibile e successivamente demolito a causa del cedimento di alcuni solai sotto l'azione delle fiamme.

L'impatto ambientale derivante dai fumi e dalle sostanze prodotte è stato rilevante. La rapida progressione del fuoco, sfuggito al controllo nonostante l'intervento tempestivo dei Vigili del Fuoco, ha destato perplessità e preoccupazione. Questa veloce propagazione potrebbe essere attribuita alla mancanza di adeguate misure protettive e contenitive.

Nonostante la gravità dell'evento, non sono state riportate vittime né feriti, soprattutto considerando la concomitanza con l'evento di Capodanno.

Oltre al riferimento di cronaca, questo caso è esemplificativo per il presente elaborato poiché analizzato dall'ingegner Filippo Cosi attraverso l'applicazione degli strumenti della Fire Safety Engineering, come riportato dal portale Teknoring.

Il professionista antincendio, considerando lo stato del fabbricato, ha effettuato una valutazione preliminare evidenziando diversi fattori critici:

- Assenza di suddivisione in compartimenti antincendio su ogni piano, che avrebbe potuto limitare l'entità del danno.
- Comunicazione diretta tra tutti i piani del parcheggio, accentuata dal crollo parziale delle pavimentazioni e dei solai.
- Mancanza di parapetti ciechi di adeguata altezza in facciata, che avrebbero potuto limitare la propagazione dell'incendio ai piani superiori attraverso le facciate.
- I solai, ceduti in parte a causa delle alte temperature (ipotizzate intorno ai 800-1.000°C), non hanno garantito né la resistenza al fuoco né la tenuta a fiamme e fumi, permettendo la rapida propagazione dell'incendio verso l'alto e verso il basso.
- Assenza di un impianto automatico di controllo degli incendi, come un sistema idrico con testine sprinkler, che avrebbe ridotto significativamente la potenza dell'incendio e consentito un intervento più efficace dei Vigili del Fuoco.

Successivamente, l'ingegnere ha modellato l'intero edificio e simulato le fasi dell'incendio, sviluppando due scenari: uno con la presenza di un impianto di spegnimento sprinkler e uno senza. Dalle sue simulazioni è emerso che l'impianto di estinzione automatico garantisce il raggiungimento delle soglie di prestazione della salvaguardia della vita per l'intero sviluppo dell'evento, ad eccezione della soglia di prestazione relativa alla visibilità,

non garantita in nessuno dei due scenari.

Lo studio ha dimostrato che, durante i primi 30 minuti, non si sono verificate le condizioni di flashover, inteso come un incendio generalizzato in cui tutto il materiale combustibile presente si infiamma simultaneamente. Al contrario, sembra che la notevole superficie di aerazione naturale abbia contribuito a generare un incendio generalizzato con rapida progressione e nessuna interruzione, il cui impatto finale è paragonabile a quello di un incendio con flashover.

### **Incendio del Douglas Village Shopping Centre (Cork) 02/09/2019**

L'incendio ha avuto origine da un'automobile parcheggiata nel primo livello del parcheggio multipiano del Douglas Village Shopping Centre. Le fiamme si sono propagate rapidamente coinvolgendo numerose automobili anche al secondo livello, causando danni significativi ai componenti strutturali dell'edificio. Per domare l'incendio è stato necessario l'intervento di dodici mezzi antincendio, e alcuni Vigili del Fuoco sono rimasti gravemente feriti.

L'ufficiale dei Vigili del Fuoco di Cork ha dichiarato che le temperature raggiunte, comprese tra 600 e 1000 °C, hanno causato la deformazione plastica di alcune travi in acciaio, rendendo necessaria la demolizione del complesso.

I costi previsti per demolizione e ricostruzione del parcheggio, l'interruzione delle attività commerciali e altri aspetti della riparazione avrebbero superato i 30 milioni di sterline.

Nonostante l'assenza di feriti durante l'incendio, è stata avviata un'analisi delle questioni di responsabilità per gestire le richieste di risarcimento da parte dei proprietari del centro commerciale e dei veicoli danneggiati, un processo ancora in corso.

I querelanti affermano che l'incendio è stato causato dalla difettosa fabbricazione di un'auto Opel Zafira, con particolare riferimento al sistema di climatizzazione. Questa accusa si estende oltre la casa di produzione coinvolgendo anche il proprietario del veicolo.

### **Incendio del parcheggio interrato di Villars-sur-Glâne (Friburgo) 15/05/2021**

In questo caso, si è verificato un incendio nel parcheggio interrato di un edificio ad uso civile. Le fiamme hanno avuto origine da un'automobile, e l'allarme è stato segnalato intorno alle 00.30. Le squadre dei Vigili del Fuoco sono intervenute con prontezza, riuscendo a contenere e spegnere l'incendio. Dopo l'evacuazione di circa una trentina di persone e l'adeguata aerazione degli ambienti, è stato consentito il rientro degli abitanti nell'edificio. Fortunatamente, non si sono registrati decessi o feriti gravi.

Anche il numero di veicoli danneggiati è stato limitato, con i resoconti che indicano quattro auto coinvolte dall'incendio e qualche altro veicolo danneggiato.

### **Incendio del parcheggio interrato Santo Stefano (Torino) 07/10/2022**

L'incendio si è scatenato al secondo piano interrato del parcheggio Santo Stefano, in prossimità del Comune di Torino. L'attivazione automatica di un sistema di rilevamento incendi ha prontamente allertato i Vigili del Fuoco. Sul luogo dell'incidente, è stato avvertito un evidente odore di materiale in combustione, accompagnato da esplosioni di pneumatici provenienti dal garage sotterraneo, creando sorpresa tra i passanti che hanno notato il fumo fuoriuscire dalle grate del marciapiede.

Le squadre dei Vigili del Fuoco sono intervenute tempestivamente, eseguendo azioni mirate per contenere e limitare i danni; l'intervento immediato è stato fondamentale per prevenire la diffusione delle fiamme.

L'auto coinvolta nell'incendio è stata identificata come una FIAT Punto, anche se la causa scatenante dell'evento non è stata ufficialmente confermata.

La narrazione degli eventi di cronaca delineati precedentemente ha contribuito a consolidare i dati statistici precedentemente esposti, conferendo un contesto tangibile ai numeri presentati. Gli episodi, variabili nelle dimensioni dei danni, nelle località coinvolte e nei periodi di manifestazione, forniscono un'illustrazione vivida degli effetti devastanti che un incendio può provocare nel contesto delle autorimesse.

In conclusione, la complessità del rischio legato agli incendi nelle autorimesse interrato richiede un approccio olistico, che abbracci l'intero processo, dalla fase iniziale di progettazione fino alla gestione operativa. Solo attraverso una valutazione completa delle variabili coinvolte e l'implementazione di misure preventive avanzate si può garantire la massima sicurezza e ridurre in modo significativo la probabilità di incidenti gravi in tali ambienti particolari.

## **4 Il caso studio**

Il presente capitolo si propone di presentare il caso studio offrendo un inquadramento generale sul progetto e sulla sua conformità normativa per la prevenzione incendi.

A tale scopo, verrà esaminato il parere di conformità rispetto a entrambe le normative di riferimento, il D.M. 01/02/1986 e la V.6 al D.M. 15/05/2020.

Saranno illustrate le proposte di progettazione in accordo con le diverse normative, evidenziando le criticità e le possibili alternative.

### **4.1 Descrizione del progetto**

Il caso studio analizzato consiste in un'autorimessa interrata di esclusiva pertinenza di un complesso di civile abitazione, ubicato tra le vie Delleani, Viberti e Monte Ortigara, nella zona Pozzo Strada del comune di Torino.

Il fabbricato, licenziato all'anno 1971, si sviluppa su due piani interrati con una superficie complessiva di più di 3000 m<sup>2</sup>. L'accesso al primo piano interrato avviene tramite due rampe carrabili che si affacciano su via Delleani e via Monte Ortigara. L'accesso al secondo piano interrato è garantito attraverso la continuazione della rampa di via Monte Ortigara e una seconda rampa interna con univoco senso di marcia.

Il primo piano interrato, rispetto a quello di riferimento (livello stradale), ha quota - 3,50 m ed un'egual altezza netta interna; il secondo piano interrato si trova a quota - 6,60 m e possiede un'altezza netta interna pari a 280 cm.

All'interno dell'autorimessa sono presenti 118 posti auto, di cui 43 al primo piano interrato e 75 nel secondo. Il fabbricato è organizzato in box auto in numero pari a 41 per il primo piano interrato di cui uno doppio e 56 per il secondo interrato di cui 17 doppi, ovvero con una superficie interna abbastanza grande da poter contenere due auto.

Oltre alle corsie di manovra, ai box auto e alle rampe carrabili, l'autorimessa include locali cantinati al secondo interrato, locali tecnici e nove magazzini al primo interrato. Tra questi,

solo il magazzino S1\_32 è di proprietà del negozio situato sulla pubblica via, mentre gli altri sono di proprietà ed uso esclusivo degli inquilini.



Figura 1 - Inquadramento del contesto

Dalla Figura 1, rappresentativa il lotto d'interesse in grigio, si può notare l'ampio cortile verde, dove sono presenti le griglie di aerazione per lo smaltimento dei fumi dai piani interrati e dalla rampa aperta.

I piani interrati sono collegati ai piani fuori terra tramite otto rampe di scale. Tre di queste sono pertinenti del condominio che si affaccia su via Delleani detto "DI LEA" mentre le restanti del condominio ad angolo tra via Viberti e Monte Ortigara detto "ORIZZONTE".

A tutte le rampe di scale è associato un ascensore che dal secondo piano interrato arriva fino all'ultimo piano dell'edificio residenziale.

Gli edifici del complesso immobiliare sono costituito da cinque piani fuori terra e, in riferimento alle indicazioni del Codice di Prevenzione Incendi presentano altezze antincendio inferiori a 24 metri, per cui non rientrano nelle attività soggette di cui all'allegato I del D.P.R. 151/2011.

I locali dell'autorimessa risultano in parte prevalente sottostanti i cortili interni e le aree a verde condominiale, e solo una parte di box (11 al primo interrato e 22 al secondo interrato)



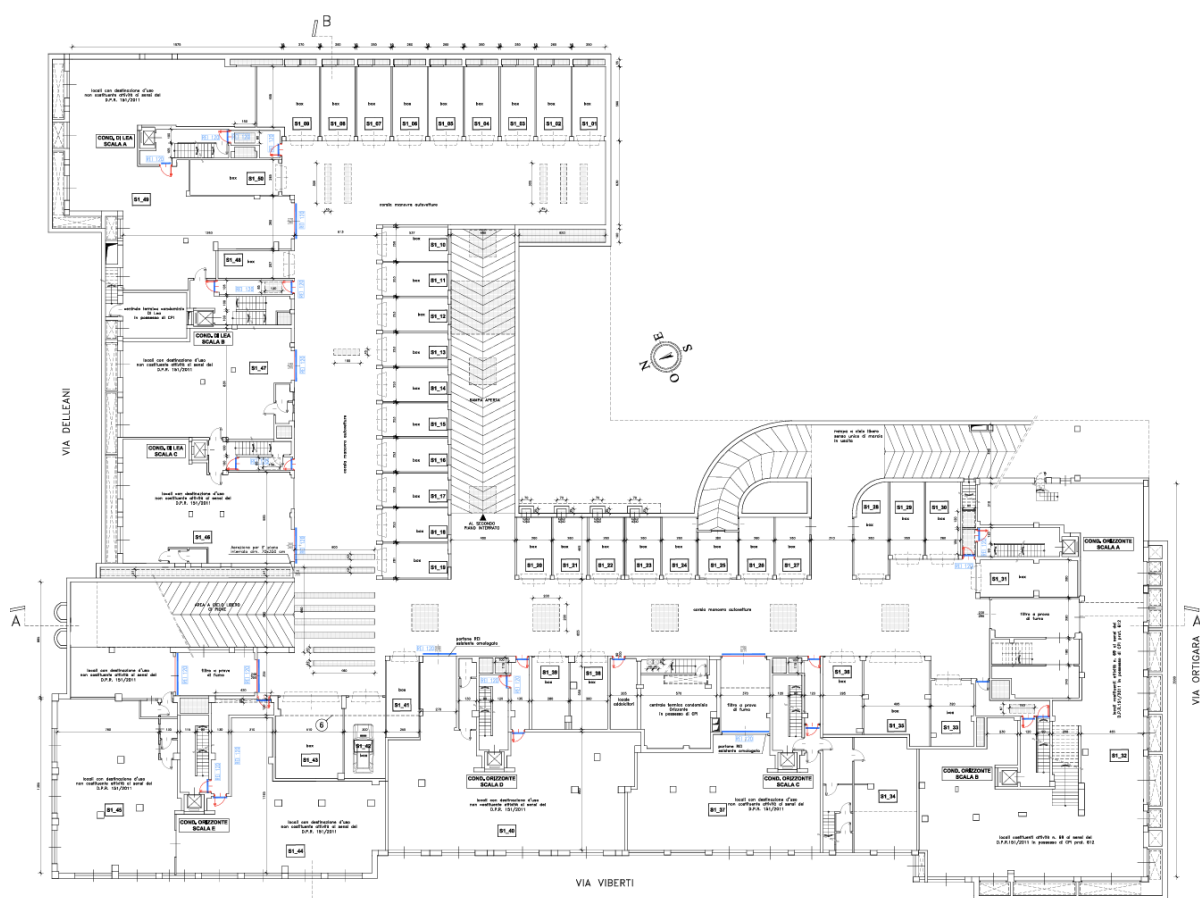
#### 4.1 - Descrizione del progetto

sono sottostanti gli edifici di civile abitazione.

Dal punto di vista architettonico e strutturale, l'autorimessa presenta una struttura standard in calcestruzzo armato con solai in laterocemento di spessore pari a 30 cm.

Nella pagine seguenti sono riportate le piante dei due piani interrati, per una comprensione più dettagliata si consiglia di consultare gli allegati al capitolo 9 della presente relazione.

La consultazione degli allegati risulta utile anche per acquisire una chiara comprensione della nomenclatura impiegata nella descrizione dei diversi vani del fabbricato.



*Figura 2 - Pianta primo piano interrato*

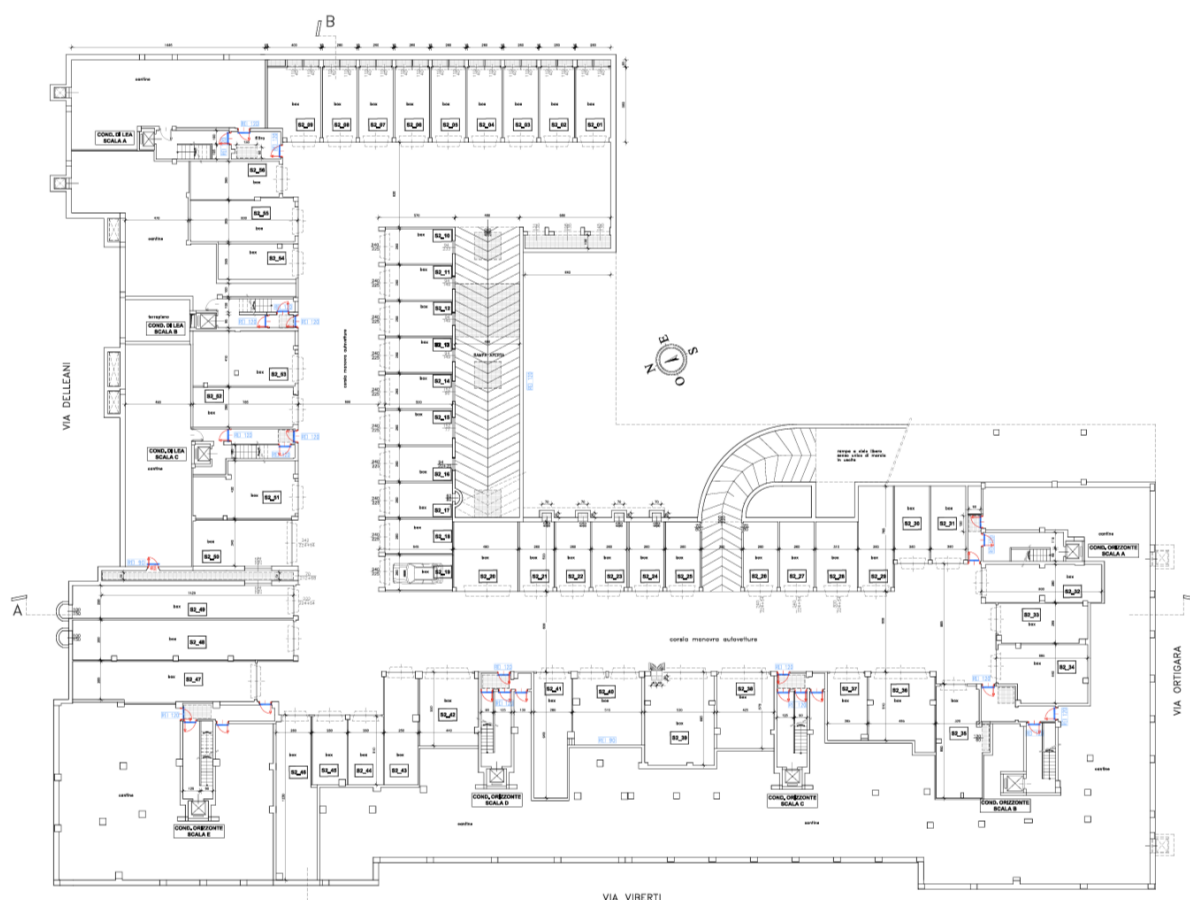


Figura 3 - Pianta secondo piano interrato

## 4.2 Iter normativo

Il progetto consiste nell'adeguamento antincendio dell'autorimessa interrata e, come dettagliato nella sezione successiva, illustra un iter normativo di complessa evoluzione. Inizialmente, l'autorimessa in oggetto, avendo superficie coperta superiore a 3000 m<sup>2</sup>, rientra nelle attività soggette a controllo di prevenzione incendi di cui all'allegato 1 del D.P.R. 151/2011 al n° 75.4.C "Autorimesse private di superficie complessiva superiore a 3.000 m<sup>2</sup>".

Si premette che l'autorimessa condominiale risulta già censita presso il Comando provinciale VV.F. di Torino, con rilascio di parere favorevole rilasciato in data 22/01/2003 e di cui è stato richiesto l'aggiornamento.

In secondo luogo, al momento della prima presentazione del progetto di adeguamento di conformità antincendio, non era ancora in vigore l'obbligo di adottare la V.6, divenuta

vincolante in data 18 novembre 2020. La pratica, inviata nel 2017 e sottoposta a verifica da parte del C.N.VV.F., ha seguito le disposizioni normative del D.M. 01/02/1986, poiché la RTV.6 era disponibile solo in formato bozza.

La prima soluzione progettuale ha comportato, oltre alla riqualificazione delle murature di compartimentazione ed alla sostituzione dei serramenti con modelli tagliafuoco di tipo omologato, l'ampliamento delle superfici di aerazione. Questi ultimi interventi richiedono lavorazioni di demolizione di strutture murarie e modifiche strutturali di cavedi di aerazione esistenti. A seguito di sopralluoghi e verifiche eseguite si è redatto un progetto esecutivo atto a definire i singoli interventi di adeguamento con annesso computo metrico estimativo, e in considerazione dell'elevato costo è stato richiesto di valutare eventuali soluzioni alternative.

Si è proceduto di conseguenza a sottoporre ai tecnici VV.F. la possibilità di realizzare la superficie di ventilazione mediante l'utilizzo di camini di aerazione, ai sensi del paragrafo 3.9.1 del D.M. 01/02/1986. La prima soluzione proposta non è stata ritenuta accettabile poiché i camini di ventilazione svolgono funzione di smaltimento di eventuali fumi causati dall'incendio e non garantiscono il requisito di aerazione, oltre a richiedere uno sbocco sulla copertura degli edifici residenziali.

Si è pertanto concordato con il tecnico incaricato di procedere con l'aggiornamento del progetto di adeguamento prevedendo la realizzazione di aerazioni naturali, escludendo i camini.

L'aggiornamento successivo, sottoposto al tecnico del C.N.VV.F., ha evidenziato che le soluzioni proposte non rispettavano completamente le prescrizioni di sicurezza del D.M. 01/02/1986, relativamente a:

- Uscite di sicurezza: in caso di due o più uscite di sicurezza è consentito che solo una uscita abbia larghezza inferiore a 120 cm; nel caso in esame le uscite di sicurezza verso i vani scala presentano larghezze di 90 cm.
- Comunicazioni con locali non destinati a box: poiché il numero di autoveicoli parcheggiati è superiore a 40 la comunicazione con detti locali può essere consentita solo mediante filtri a prova di fumo.

Per evitare di dover eseguire interventi di adeguamento particolarmente onerosi (nuova uscita dal secondo piano interrato sul giardino condominiale e realizzazione di locali filtro a prova di fumo all'interno dei magazzini) il tecnico ha suggerito di inoltrare istanza di deroga ministeriale per il mancato rispetto delle succitate prescrizioni.

L'istanza di deroga ministeriale ha comportato la realizzazione di misure alternative e compensative, consistenti in:

- punto 3.5 del D.M. 01/02/1986: installazione di impianto di spegnimento automatico nei magazzini al primo piano interrato sprovvisti di comunicazione tramite filtri con la corsia di manovra dell'autorimessa;

- punto 3.6.2. del D.M. 01/02/1986: installazione di illuminazione di sicurezza lungo la rampa coperta su via Monte Ortigara causa promiscuità tra veicoli e persone in caso di esodo;
- punto 3.10.4 del D.M. 01/02/1986: installazione di illuminazione di sicurezza nelle corsie di manovra dell'autorimessa causa uscite di sicurezza di larghezza non superiore a 90 cm in numero superiore ad uno.

La proposta di deroga conclusiva è stata formalmente accettata da parte del Comando provinciale VV.F e successivamente dalla direzione Regionale pur vedendo dilatare ulteriormente i tempi tecnici.

Nonostante l'accettazione formale del progetto di adeguamento, la proprietà dell'autorimessa ha manifestato insoddisfazione, principalmente a causa dei costi sostenuti. Questa situazione ha ulteriormente protratto i tempi di realizzazione, arrivando fino al giorno attuale in cui l'oggetto è rimasto non esercito.

Il presente elaborato vuole rispondere alle nuove prescrizioni normative sulla base del Codice di Prevenzione Incendi al D.M. 15/05/2020 sviluppato in soluzione alternativa con i metodi dell'Ingegneria Antincendio.

Detta normativa, come primo esempio, richiede una superficie di aerazione almeno pari ad 1/40 della superficie in pianta, rispetto al valore di 1/25 richiesto con il D.M. 01/02/1986 e di conseguenza consentirebbe l'esecuzione di lavori di adeguamento con un notevole risparmio di spesa. Inoltre, l'utilizzo della FSE incrementerebbe ulteriormente il rapporto di costi benefici come sviluppato nel capitolo 5 del seguente elaborato.

I benefici del diverso approccio sono molteplici e saranno il fulcro del presente elaborato.

### **4.3 D.M. 01/02/1986**

Per garantire una comprensione completa, la sezione successiva presenterà il progetto di adeguamento con l'istanza di deroga relativa al D.M. 01/02/1986.

Questo approccio consentirà in seguito di esaminare dettagliatamente le criticità e le differenze rispetto al Codice di Prevenzione Incendi.

Per la corretta individuazione delle singole prescrizioni di sicurezza si riportano di seguito i paragrafi del D.M. 01/02/1986, applicabili all'attività in oggetto, con successiva descrizione degli interventi di adeguamento previsti in variante e della verifica relativa alle prescrizioni normative.

## Classificazione dell'autorimessa

L'autorimessa in esame è classificabile di tipo "mista", ricompresa nell'ambito di un complesso di edifici per civile abitazione.

L'autorimessa in oggetto dispone di due piani interrati ed è suddivisa in box, di cui 41 al primo interrato e 56 al secondo interrato. Al primo piano interrato sono presenti sei locali con destinazione d'uso non costituente attività ai sensi del D.P.R. 151/2011 e un locale costituente attività n. 69 ai sensi del D.P.R. 151/2011 (dotato di C.P.I.), comunicanti con la corsia di manovra.

Anche se l'autorimessa è preesistente all'entrata in vigore del D.M. 01/02/1986 saranno adottate le prescrizioni del suddetto decreto. Le norme da applicare nel presente caso studio sono quelle contenute al punto 3 del D.M. 01/02/1986 (autorimesse aventi capacità di parcheggio superiore a nove autoveicoli).

Si classifica l'autorimessa di tipo "interrata" poiché i piani di parcheggio rispetto al piano di riferimento dell'accesso da via Delleani e da via Monte Ortigara sono a quota - 350 cm e - 660 cm.

Si classifica l'autorimessa di tipo "chiuso" non essendo garantiti i valori percentuali di aerazione rispetto alle pareti ed alla superficie in pianta.

Inoltre, la stessa si classifica come "non sorvegliata".

In definitiva, l'autorimessa, ai sensi del punto 1 del D.M. 01/02/1986, è identificabile come:

Tabella 4 - Classificazione punto 1 al D.M. 01 febbraio 1986

	punto 1.0	punto 1.1	punto 1.2	punto 1.3	punto 1.4
<b>Tipo</b>	mista <sup>18</sup>				
<b>Ubicazione piani</b>		interrata <sup>19</sup>			
<b>Configurazione pareti</b>			chiusa <sup>20</sup>		
<b>Caratteristiche di esercizio</b>				non sorvegliata <sup>21</sup>	
<b>Organizzazione spazi interni</b>					a box <sup>22</sup>

## Isolamento

Si fa riferimento al punto 3.1; l'autorimessa in oggetto è sottostante ad aree private a cielo libero e edifici di civile abitazione a cinque piani fuori terra, non rientranti nelle attività soggette a controllo da parte del C.N.VV.F.

Le murature di separazione dell'autorimessa con locali condominiali garantiranno il requisito di resistenza al fuoco richiesto pari a REI 120, mentre quelli confinanti con il locale destinato alla produzione del calore e quelli confinanti con locali adibiti ad esposizione e vendita (attività 69 del D.P.R. 151/2011) garantiranno il requisito di resistenza al fuoco REI 180.

### **Altezza dei locali**

Si fa riferimento al punto 3.2; l'autorimessa in esame presenta altezza netta interna minima di 350 cm al primo interrato e di 280 cm al secondo interrato, valori superiori al minimo consentito di 240 cm.

### **Superficie specifica di parcheggio**

Si fa riferimento al punto 3.3; l'autorimessa è suddivisa al primo piano interrato in 41 box, per una capacità ricettiva di 43 veicoli; considerato che la superficie del primo piano è pari a 1345 m<sup>2</sup> risulta rispettato il valore di 20 m<sup>2</sup> per autoveicolo ( $1.345/43 = 31,28$  m<sup>2</sup>).

L'autorimessa è suddivisa al secondo piano interrato in 56 box, per una capacità ricettiva di 75 veicoli; considerando che la superficie del secondo piano è pari a 1811 m<sup>2</sup> risulta rispettato il valore di 20 m<sup>2</sup> per autoveicolo ( $1.811/75 = 24,14$  m<sup>2</sup>).

Complessivamente la capacità ricettiva dell'autorimessa è pari a 118 autovetture.

### **Strutture dei locali**

Si fa riferimento al punto 3.4; alla luce del punto 3.4.1 entrambi i piani dell'autorimessa sono contornati, in tutto il loro sviluppo, da murature parte contro terra e parte no, realizzate in calcestruzzo armato.

La struttura portante dell'autorimessa è realizzata con struttura in calcestruzzo armato, con solai misti latero cemento e muri di tamponamento a cassa vuota.

Le murature di divisione dei box sono state realizzate in muratura di mattoni in particolare con strutture non separanti e non combustibili di tipo R 90.

Tutte le strutture di separazione con altri locali dell'edificio sono tali da garantire il requisito REI 120. Il solaio di separazione tra il primo e secondo piano dell'autorimessa garantirà il requisito REI 120. Le murature di delimitazione con la centrale termica condominiale ed i locali destinati ad attività commerciale (attività 69 del D.P.R. 151/2011) garantiranno il requisito di resistenza REI 180.

### **Comunicazioni**

Si fa riferimento al punto 3.5.3; la comunicazione tra l'autorimessa ed i locali commerciali al primo interrato, individuati con la sigla S1\_32 (attività 69 del D.P.R. 151/2011), avviene tramite filtro, come definito al D.M. 30/11/83.

Non esiste comunicazione diretta con gli impianti di calore condominiale, alimentati da teleriscaldamento, mentre l'autorimessa comunica con gli otto vani scala dei sovrastanti edifici con filtri a prova di fumo, come definiti al D.M. 30/11/83, con porte con caratteristiche di resistenza al fuoco non inferiori a REI 120, dotate di congegni di autochiusura ed areazioni dirette di superficie pari a 1 m<sup>2</sup>.

Al primo piano interrato per i locali non destinati al ricovero di autoveicoli le cui destinazioni d'uso sono tali da non costituire attività rientranti nell'Allegato 1 del D.P.R. 151/2011 si prevedono le seguenti comunicazioni:

- per i locali individuati con le sigle S1\_37 e S1\_45 a mezzo di filtro come definito dal D.M. 30/11/83 con doppio portone di tipo REI 120 omologati con congegno di autochiusura;
- per i locali individuati con le sigle S1\_40, S1\_46, S1\_47 e S1\_49 a mezzo di portoni di tipo REI 120 omologati con congegno di autochiusura. Per tali locali si richiede deroga prevedendo come misura alternativa l'installazione di impianto di spegnimento automatico ad acqua.

## Sezionamenti

Si fa riferimento al punto 3.6; l'autorimessa è suddivisa, per ciascuno dei due piani, in compartimenti aventi superfici non superiori a quelle previste nella seguente tabella di cui al punto 3.6.1:

Tabella 5 - Sezionamenti punto 3.6.1 al D.M. 01 febbraio 1986

Piano	Fuori terra				Sotterranee			
	Miste		Isolate		Miste		Isolate	
	Aperte	Chiuse	Aperte	Chiuse	Aperte	Chiuse	Aperte	Chiuse
P -1	5500	3500	7500	5500	5000	2500	7000	3000
P -2	5500	3500	7500	5500	3500	2000	5500	2500

L'autorimessa prevede due compartimenti aventi superficie pari a 1345 m<sup>2</sup> per il primo piano interrato e 1811 m<sup>2</sup> per il secondo; pertanto, i limiti della citata tabella sono rispettati. I due compartimenti comunicano a mezzo di una rampa interna di tipo aperta e di una seconda rampa a cielo libero.

La rampa interna ha una superficie calpestabile di circa 104 m<sup>2</sup> ed è classificabile come "rampa aperta", ai sensi del paragrafo 0 del D.M. 01/02/1986, poiché si prevede la realizzazione di griglie di aerazione di superficie libera complessiva pari a 31,2 m<sup>2</sup> valore superiore rispetto al minimo richiesto. Le griglie saranno realizzate ad una distanza dagli edifici maggiore di 10 m. La seconda rampa a cielo libero su via Monte Ortigara sarà a senso unico di marcia verso l'uscita ed essendo prevista anche come via di fuga pedonale si richiede deroga alla prescrizione di cui al punto 3.6.2. (compartimentazione con strutture REI 120), prevedendo come misura alternativa l'installazione di illuminazione di sicurezza di tipo antipanico lungo tutta la rampa coperta.

Le corsie di manovra interne presentano una larghezza non inferiore a 6 m.

## Accessi

Si fa riferimento al punto 3.7; l'autorimessa dispone di accesso da via Delleani tramite una rampa rettilinea a cielo libero, a doppio senso di marcia e di larghezza pari a 4,8 m, e di un secondo accesso da via Monte Ortigara, tramite una rampa a senso unico e di larghezza non inferiore a 3 m. La comunicazione tra i due piani è inoltre assicurata da una "rampa aperta" rettilinea, di larghezza non inferiore a 4,8 m.

Tutte le rampe presentano pendenze massime in asse inferiori al 20% e sono rettilinee, ad eccezione della rampa da via Monte Ortigara che presenta un raggio minimo di curvatura misurato sul filo esterno della curva non superiore a 7 m.

## Pavimenti

Si fa riferimento al punto 3.8; la pavimentazione dell'autorimessa è realizzata in asfalto e con materiali antisdrucchiolevoli ed impermeabili.

Presenta una pendenza adeguata a convogliare le acque verso collettori e alla loro raccolta in un dispositivo per la separazione dei liquidi infiammabili dalle acque residue. Poiché non sono presenti stazioni di lavaggio o aree destinate a riparazioni meccaniche, non saranno installate canaline di raccolta tra le rampe e i compartimenti dell'autorimessa, collegate all'impianto fognario.

## Ventilazione

Si fa riferimento al punto 3.9.0; l'autorimessa è munita di un sistema di aerazione naturale le cui aperture sono distribuite in modo uniforme ed a una distanza reciproca non superiore a 40 m. La superficie di ventilazione richiesta per ogni piano interrato deve essere superiore ad 1/25 della superficie in pianta del compartimento.

L'aerazione complessiva del primo piano sarà pari a 88,17 m<sup>2</sup>, valore superiore al minimo normativo richiesto ( $1345/25 = 53,80$  m<sup>2</sup>) e mediante le seguenti superfici di aerazione:

Tabella 6 - Aerazioni previste al primo piano interrato

Piano -1	1. Cinque griglie su corsia di manovra cortile interno	Superficie utile = 6,86 m <sup>2</sup>
	2. Una griglia su corsia di manovra via Delleani	Superficie utile = 0,88 m <sup>2</sup>
	3. Ingresso su rampa a cielo libero via Delleani	Superficie utile = 38,60 m <sup>2</sup>
	4. Cinque griglie su corsia di manovra via Viberti	Superficie utile = 20,00 m <sup>2</sup>
	5. Ingresso su rampa a cielo libero via Monte Ortigara	Superficie utile = 10,85 m <sup>2</sup>
	6. Serramenti box S1_43, S1_42, S1_41	Superficie utile = 10,00 m <sup>2</sup>
	7. Canne aerazione box S1_20, S1_21, S1_22, S1_23	Superficie utile = 0,98 m <sup>2</sup>

Si specifica che i box contenenti le griglie di aerazione saranno dotati di basculanti aventi griglie di sezione almeno pari a quella della griglia affacciante all'interno del medesimo. Nei box dell'autorimessa, l'aerazione naturale sarà implementata individualmente, garantendo almeno un rapporto di 1/100 rispetto alla superficie in pianta di ciascun box.



L'aerazione complessiva del secondo piano sarà pari a 73,80 m<sup>2</sup>, valore superiore al minimo normativo richiesto ( $1811/25 = 72,44 \text{ m}^2$ ) e mediante le seguenti superfici di aerazione:

Tabella 7 - Aerazioni previste al secondo piano interrato

Piano -2	1. Tre serramenti grigliati su intercapedine	Superficie utile = 6,40 m <sup>2</sup>
	2. Accesso su rampa aperta	Superficie utile = 13,44 m <sup>2</sup>
	3. Nove canne aerazione box su cortile interno	Superficie utile = 6,93 m <sup>2</sup>
	4a. Serramento box S2_10 su rampa aperta	Superficie utile = 2,17 m <sup>2</sup>
	4b. Serramenti box S2_10, S2_11, S2_12; S2-13 su rampa aperta	Superficie utile = 3,95 m <sup>2</sup>
	4c. Serramento box S2_14 su rampa aperta	Superficie utile = 1,35 m <sup>2</sup>
	4d. Serramento box S2_15 su rampa aperta	Superficie utile = 0,68 m <sup>2</sup>
	4e. Serramento box S2_16 su rampa aperta	Superficie utile = 0,26 m <sup>2</sup>
	4f. Serramento box S2_17 su rampa aperta	Superficie utile = 0,16 m <sup>2</sup>
	5. Griglia su intercapedine tra i 2 condominii	Superficie utile = 7,27 m <sup>2</sup>
	5a. Serramento grigliato intercapedine tra i 2 condominii	Superficie utile = 2,45 m <sup>2</sup>
	6. Griglia box S2_35	Superficie utile = 0,24 m <sup>2</sup>
7. Griglie box S2_49, S2_48	Superficie utile = 1,76 m <sup>2</sup>	
8. Canne aerazione box S2_21, S2_22, S2_23, S2_24	Superficie utile = 0,98 m <sup>2</sup>	
9. Ingresso rampa a cielo libero via Monte Ortigara	Superficie utile = 6,60 m <sup>2</sup>	
10a. Griglie su soletta in prossimità ingresso via Delleani	Superficie utile = 5,04 m <sup>2</sup>	
10b. Griglie su soletta in prossimità ingresso via Delleani	Superficie utile = 3,86 m <sup>2</sup>	
11. Griglia su soletta ex ventilatore	Superficie utile = 0,24 m <sup>2</sup>	
12. Serramento box S2_26, S2_27 su cavedio	Superficie utile = 9,55 m <sup>2</sup>	

Infine, non essendo previsto un impianto di ventilazione meccanica, una frazione di tale superficie, non inferiore a 0,003 m<sup>2</sup> per metro quadrato di pavimento, deve essere priva di serramenti (aperture di ventilazione permanenti).

Rispetto al progetto originale approvato, la presente istanza di deroga modifica la distribuzione delle superfici di aerazione, perché quelle previste nel progetto originale comporterebbero interventi su parti strutturali di difficile realizzazione.

### Misure per lo sfollamento delle persone in caso di emergenza

Si fa riferimento al punto 3.10; in relazione alla densità di affollamento per le autorimesse non sorvegliate, il parametro da utilizzare per il calcolo è di una persona ogni 10 m<sup>2</sup> di superficie lorda di pavimento (0,1 persone/m<sup>2</sup>), di conseguenza si ottiene:

- Primo piano interrato:  $1345 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ persone/m}^2 = 135 \text{ persone}$ .
- Secondo piano interrato:  $1811 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ persone/m}^2 = 182 \text{ persone}$ .

In relazione alla capacità di deflusso, si è considerato, per ciascun modulo di uscita, il valore di 37,5 persone, come prescritto al punto 3.10.1.

Entrambi i piani dell'autorimessa saranno provvisti di un sistema organizzato di vie di fuga per il deflusso rapido ed organizzato verso luoghi sicuri in caso di emergenza.

Al primo piano interrato si prevedono le seguenti uscite:

- Uscita su rampa a cielo libero e cancello su via Delleani da 120 cm : 2 moduli = 75 persone;

- Uscita su rampa a cielo libero e cancello su via Monte Ortigara da 120 cm : 2 moduli = 75 persone;
- Uscita su filtro vano scala "A" via Delleani da 90 cm: 1 moduli = 37 persone.

Il sistema delle vie di fuga sarà in grado di assicurare un esodo di 187 persone, valore superiore al massimo affollamento ipotizzabile di 135 utenti.

Il massimo percorso per raggiungere un'uscita di sicurezza sarà pari a 29,00 m.

Al secondo piano interrato si prevedono le seguenti uscite:

- Uscita su rampa a cielo libero e cancello su via Monte Ortigara da 120 cm : 2 moduli = 75 persone;
- Uscita su filtro vano scala "A" via Delleani da 90 cm : 1 moduli = 37 persone;
- Uscita su filtro vano scala "B" via Viberti da 90 cm: 1 moduli = 37 persone;
- Uscita su filtro vano scala "D" via Viberti da 90 cm: 1 moduli = 37 persone.

Il sistema delle vie di fuga sarà in grado di assicurare un esodo di 187 persone, valore superiore al massimo affollamento ipotizzabile di 182 utenti.

Il massimo percorso per raggiungere un'uscita di sicurezza sarà pari a 39,70 m.

Il sistema delle vie di fuga prevede l'uscita verso filtri a prova di fumo di comunicazione con i vani scala condominiali di larghezza pari a 90 cm in numero complessivo pari a 4, valore superiore a quanto consentito dalla prescrizione del paragrafo 3.10.4 per cui si richiede deroga, prevedendo come misura alternativa l'installazione di illuminazione di sicurezza di tipo antipanico lungo tutte le corsie di manovra dell'autorimessa e lungo le sue vie d'esodo. Tutti i vani scala saranno dotati di porte di tipo REI/EI 120, munite di dispositivo di autochiusura. All'interno di ogni scala sarà prevista l'installazione di un impianto ascensore a funzionamento oleodinamico, il cui vano corsa sarà costituito da pareti in calcestruzzo armato dello spessore di 20 cm. I vani scala e i vani ascensore saranno realizzati con strutture incombustibili e della resistenza al fuoco pari a 120 min.

### **Impianti tecnologici**

Si fa riferimento al punto 4; l'autorimessa non dispone di un impianto di riscaldamento e non è prevista una sua installazione.

### **Impianti elettrici**

Si fa riferimento al punto 5; nell'autorimessa, gli impianti e le apparecchiature elettriche saranno realizzati in conformità con le prescrizioni normative di cui alla legge n. 168 del 1° marzo 1968 ed in conformità alle norme CEI-EN (CEI 648/7).

L'impianto, ai fini della prevenzione incendi, garantirà le seguenti condizioni di base:

- Non costituirà causa primaria di incendio o esplosione;
- Non fornirà alimento o via privilegiata di propagazione degli incendi;

- Sarà suddiviso in modo tale che un eventuale guasto non provochi la messa fuori servizio dell'intero sistema;
- Disporrà di apparecchi di manovra ubicati in posizioni protette i quali dovranno presentare indicazioni chiare riguardo ai circuiti a cui si riferiscono.

Tutti i materiali, le apparecchiature, i macchinari, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici saranno realizzati e costruiti a regola d'arte.

L'impianto sarà provvisto di uno o più interruttori generali (pulsante di sgancio protetto) ubicati in posizione segnalata esterna all'autorimessa, a fianco delle uscite di sicurezza, muniti di protezione contro le correnti di sovraccarico e di corto circuito, manovrabili sotto carico e atti a porre fuori tensione l'impianto elettrico in tutta l'attività.

Inoltre, verrà installata regolare messa a terra di tutte le parti metalliche presenti.

Il quadro elettrico generale sarà ubicato in posizione facilmente accessibile, segnalata e protetta dall'incendio; le linee principali in partenza dal quadro di distribuzione saranno protette da dispositivi contro le sovracorrenti.

Si prevede, come misura alternativa al mancato rispetto delle prescrizioni di cui ai paragrafi 3.6.2 e 3.10.4 l'installazione di impianto di illuminazione di sicurezza di tipo antipánico, con sorgente indipendente da quella ordinaria, ad inserzione automatica ed immediata.

Detto impianto sarà costituito da singole lampade con alimentazione autonoma installate principalmente in prossimità delle vie di fuga, delle uscite di sicurezza, della rampa a senso unico e dei filtri di comunicazione.

Le lampade assicureranno una funzionalità continua di almeno 60 minuti, garantendo un livello di illuminazione non inferiore a 5 lux.

A lavori eseguiti sarà rilasciata da parte dell'installatore dichiarazione di conformità ai sensi del D.M. 22/01/2008 n. 37.

### **Mezzi ed impianti di protezione ed estinzione degli incendi**

Si fa riferimento al punto 6 e, più specificatamente, al punto 6.1 "Impianti idrici antincendio"; l'autorimessa sarà protetta da un impianto di spegnimento incendi ad idranti, con collegamento diretto all'acquedotto comunale.

A protezione dei singoli piani si prevede l'installazione dei seguenti idranti:

- Primo piano interrato: n° 5 idranti UNI 45;
- Secondo piano interrato: n° 5 idranti UNI 45.

Ogni idrante con attacco UNI 45 sarà adeguatamente corredato da tubazione flessibile, costituita da un tratto di tubo, di tipo approvato, con caratteristiche di lunghezza tali da consentire di raggiungere col getto ogni punto dell'area protetta e lancia di tipo omologato a tre effetti.

In prossimità della rampa di accesso di via Delleani sarà installato un gruppo motopompa per il collegamento dei mezzi VV.F.

L'alimentazione idrica sarà in grado di assicurare alla metà più uno degli idranti idraulicamente più sfavoriti di ogni compartimento la portata di 120 l/m con una pressione residua di 2,0 bar per un tempo di 60 minuti. A detta imposizione normativa corrisponde una portata complessiva di 360 l/m.

Le perdite di carico saranno calcolate prendendo in considerazione gli idranti posti nella posizione idraulicamente più sfavorita, coincidente con quelli a maggiore distanza dalla presa stradale dell'acquedotto, in modo tale da comprendere il tronco di impianto che presenterà le maggiori perdite di carico.

Le tubazioni dell'impianto saranno minimo PN 16 in acciaio non legato, conformi alla UNI 8863 (serie media) se filettati oppure alla UNI 6363. Le tubazioni saranno posizionate in modo tale da permettere il completo svuotamento dell'impianto; le stesse saranno protette con appositi ripari in acciaio da possibili urti e vibrazioni.

Si prevede, come misura alternativa al mancato rispetto delle prescrizioni di cui al paragrafo 3.6, l'installazione di impianto di spegnimento automatico a sprinkler all'interno dei locali non destinati al ricovero di autoveicoli, ubicati al primo piano interrato la cui comunicazione con la corsia di manovra è costituita da un unico portone tagliafuoco REI 120. L'impianto sarà progettato e realizzato in conformità alla norma UNI EN12845, con classe di pericolo OH2. Sarà del tipo ad umido, con tubazioni a valle della stazione di controllo permanentemente piene d'acqua in pressione.

L'impianto sarà alimentato direttamente dall'acquedotto cittadino, prevedendo l'installazione di un dispositivo di misurazione della portata e della pressione, oltre ad un pressostato che azioni un allarme qualora la pressione scenda al di sotto del valore predeterminato di progetto. La pressione di esercizio dell'impianto sarà minore di 12 bar.

Gli erogatori saranno installati a soffitto, mantenendo uno spazio libero sottostante di almeno 100 cm. L'area massima di copertura per sprinkler a soffitto con classe di pericolo OH2 sarà inferiore a 12 m<sup>2</sup> e la distanza massima fra gli erogatori sarà inferiore a 4 m mentre quella minima a 2 m.

Si fa riferimento al punto 6 e, più specificatamente, al punto 6.2 "Mezzi di estinzione portatili"; pertanto, si considera l'installazione di estintori portatili di tipo approvato per fuochi delle classi "A" e "B" e "C" con capacità estinguente non inferiore a "21 A" e "89 B".

In ragione del suddetto paragrafo, saranno installati i successivi estintori portatili di capacità estinguente non inferiore 21A-113BC di tipo approvato dal Ministero dell'Interno:

- Primo piano interrato: n° 9 estintori;
- Secondo piano interrato: n° 10 estintori.

Detti estintori saranno installati in prossimità degli ingressi e delle vie di esodo, in posizione segnalata, ben visibile e di facile accesso. Rispetto alla tabella successiva si è scelto di aumentarne il numero al primo interrato, in coerenza con l'ampia superficie in questione.

Tabella 8 - Mezzi di estinzione portatili punto 6.2 al D.M. 01 febbraio 1986

Riepilogo del numero minimo di estintori da installare nell'autorimessa			
Prescrizioni punto 6.2		Autoveicoli protetti	Estintori da installare
Piano -1	da 1 a 20	20	(1 ogni 5 autoveicoli) = 4
	da 20 a 43	23	(1 ogni 10 autoveicoli) = 3
Piano -2	da 1 a 20	20	(1 ogni 5 autoveicoli) = 4
	da 20 a 75	55	(1 ogni 10 autoveicoli) = 6

### Norme di esercizio

Si riferimento al punto 10; nell'autorimessa sarà fatto divieto di fumare e di usare fiamme libere, oltre a depositare sostanze infiammabili o combustibili, eseguire riparazioni o prove di motori e parcheggiare autoveicoli con perdite anomali di carburanti o lubrificanti.

L'autorimessa sarà corredata di adeguata segnaletica di sicurezza ai sensi del D.lgs. 81/2008, che consenta l'individuazione delle vie di uscita, dei mezzi antincendio e le norme comportamentali. All'ingresso dell'autorimessa sarà installata cartellonistica idonea a segnalare gli eventuali divieti derivanti dalle limitazioni al parcheggio di autoveicoli alimentati a gas di petrolio liquefatto.

I pavimenti dell'autorimessa dovranno essere periodicamente lavati mentre i sistemi di raccolta delle acque di lavaggio ispezionati e puliti.

Le vie di uscita saranno tenute costantemente sgombre da qualsiasi materiale considerato il divieto di compromettere l'agevole apertura e funzionalità dei serramenti delle stesse.

Le attrezzature e gli impianti di sicurezza saranno controllati periodicamente in modo da assicurarne la costante efficienza nel rispetto delle vigenti norme di buona tecnica.

A cura del titolare dell'attività sarà predisposto un registro dei controlli periodici ove saranno annotati tutti gli interventi ed i controlli relativi all'efficienza degli impianti elettrici, dei presidi antincendio, dei dispositivi di sicurezza e di controllo, delle aree a rischio specifico e dell'osservanza della limitazione dei carichi d'incendio nei vari ambienti dell'attività. Tale registro sarà mantenuto costantemente aggiornato e disponibile per i controlli da parte dell'autorità competente. Il titolare dell'attività provvederà affinché nel corso della gestione non vengano alterate le condizioni di sicurezza.

## 4.4 D.M. 03/08/2015

Con la presente sezione, si mira a dimostrare l'ottemperanza alla normativa di prevenzione incendi al fine di ottenere il parere favorevole di conformità antincendio dal C.N.VV.F.

Si consiglia la consultazione degli allegati grafici al capitolo 9, quali planimetrie generali e piante in scala 1:100 con presidi antincendio, indicazioni dei compartimenti e verifica delle lunghezze di esodo.

Nella situazione precedentemente descritta, si identificano le soluzioni progettuali conformi o alternative ammesse dal D.M. 03/08/2015 (G+S+V) attraverso un processo progettuale iterativo e con retroazione.

Nei paragrafi successivi, verrà esplicitata la classificazione dell'attività con la successiva determinazione dei profili di rischio. Infine, mediante una strategia antincendio precisa, saranno applicate tutte le misure della Regola Tecnica Orizzontale, assegnando per ciascuna di esse i livelli di prestazione secondo i criteri definiti nella sezione S, integrate dalle indicazioni complementari o sostitutive del capitolo V.6.

L'obiettivo della progettazione è preservare l'incolumità degli occupanti e proteggere i beni e l'ambiente circostante dal rischio d'incendio. Come precedentemente menzionato, l'autorimessa presenta alcune discordanze rispetto al parere di conformità sul progetto rilasciato dai VV.F. e lo stato dell'arte rendendo necessaria una riprogettazione alla luce della normativa vigente.

I riferimenti normativi applicati sono i seguenti:

- 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).

### 4.4.1 Classificazione

L'autorimessa in argomento è classificabile come segue (punto 1 del par. V.6.3):

- a) in relazione alle caratteristiche prevalenti degli occupanti, in SA ( $\delta_{occ} = A$  occupanti in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio);
- b) in relazione alla superficie lorda A, in AB (essendo  $1000 \text{ m}^2 < A \leq 5000 \text{ m}^2$ );
- c) in relazione alla quota di tutti i piani h, in HC (essendo  $-10 \text{ m} \leq h \leq 24 \text{ m}$ ).

Come riferito al punto 2 del paragrafo V.6.3, l'autorimessa *non* rientra nella classificazione HB pur presentando due piani di parcheggio poiché il limite inferiore è pari a -6,6 m

eccedendo il limite prescrittivo di 60 cm. Tale limitazione sarà particolarmente influente per il proseguo della relazione e il successivo utilizzo della Fire Safety Engineering in soluzione alternativa.

Nell'autorimessa sono presenti le seguenti tipologie di aree (punto 3 del par. V.6.3):

- TA: aree destinate al ricovero, alla sosta ed alla manovra di veicoli;
- TM2: depositi di materiale combustibile con carico di incendio specifico  $q_f \leq 1200$  MJ/m<sup>2</sup> e superficie lorda  $\leq 300$  m<sup>2</sup>;
- TT: locali tecnici rilevanti ai fini della sicurezza antincendio.

Circa le pertinenze dell'autorimessa sono infatti presenti, al primo interrato, otto locali deposito, di cui cinque con accesso diretto dalla corsia di manovra, ciascuno di superficie lorda compresa tra 100 m<sup>2</sup> e 300 m<sup>2</sup>. Di questi, i locali con le sigle S1\_37 e S1\_45 sono collegati per mezzo di filtro come definito dal D.M. 30/11/83.

Al secondo piano interrato sono presenti otto blocchi cantine, ognuno relativo al vano scala di riferimento, rispettivamente di superficie lorda compresa tra 80 m<sup>2</sup> e 175 m<sup>2</sup>.

Si specifica che, i blocchi cantine TM2, presentano un carico di incendio limite minore di 300 MJ/m<sup>2</sup> (limite imposto al punto 3 del par. V.6.3), ma non rientrano nella classificazione TM1 data la superficie maggiore di 25 m<sup>2</sup>.

Al primo piano interrato sono inoltre presenti delle pertinenze TT, ovvero le centrali termiche di ambo i condomini e il locale addolcitori.

Per quanto concerne le aree TM2 e TT, considerate blocchi compartimentati rispetto all'autorimessa, si evita l'inclusione di tali superfici nel calcolo della superficie lorda dell'autorimessa, conformemente a quanto stabilito nel punto 2 del paragrafo V.6.2.

Si segnala che, secondo il punto G.1.7.9, per superficie lorda di un ambito si intende la superficie in pianta compresa entro il perimetro interno che delimita l'ambito.

In basso si allegano tabelle rappresentative gli ambiti e le diverse superfici dell'autorimessa.

*Tabella 9 - Aree presenti al primo interrato secondo par. V.6.3*

Nome	Classificazione	Superficie lorda
Ricovero e manovra veicoli	TA	1345 m <sup>2</sup>
Deposito S1_49	TM2	178 m <sup>2</sup>
Deposito S1_47	TM2	98 m <sup>2</sup>
Deposito S1_46	TM2	98 m <sup>2</sup>
Deposito S1_45 (con filtro)	TM2	143 m <sup>2</sup>
Deposito S1_44	TM2	112 m <sup>2</sup>
Deposito S1_40	TM2	168 m <sup>2</sup>
Deposito S1_37 (con filtro)	TM2	106 m <sup>2</sup>
Deposito S1_34	TM2	40 m <sup>2</sup>
Centrale termica DI LEA	TT	16 m <sup>2</sup>
Centrale termica ORIZZONTE	TT	27 m <sup>2</sup>
Locale addolcitori	TT	11 m <sup>2</sup>

Tabella 10 - Aree presenti al secondo interrato secondo par. V.6.3

Nome	Classificazione	Superficie lorda
Ricovero e manovra veicoli	TA	1811 m <sup>2</sup>
Blocco cantina DI LEA_A	TM2	81 m <sup>2</sup>
Blocco cantina DI LEA_B	TM2	84 m <sup>2</sup>
Blocco cantina DI LEA_C	TM2	81 m <sup>2</sup>
Blocco cantina ORIZZONTE_A	TM2	94 m <sup>2</sup>
Blocco cantina ORIZZONTE_B	TM2	160 m <sup>2</sup>
Blocco cantina ORIZZONTE_C	TM2	160 m <sup>2</sup>
Blocco cantina ORIZZONTE_D	TM2	166 m <sup>2</sup>
Blocco cantina ORIZZONTE_E	TM2	175 m <sup>2</sup>

#### 4.4.2 Determinazione dei profili di rischio

Al fine di descrivere sinteticamente la tipologia di rischio di incendio dell'attività occorre definire i profili di rischio relativi alla salvaguardia della vita umana, alla salvaguarda dei beni economici e alla tutela dell'ambiente secondo la metodologia esposta al capitolo G.3.

##### Profilo di rischio $R_{vita}$

Il profilo di rischio relativo alla salvaguardia della vita umana viene definito in base alle caratteristiche prevalenti degli occupanti  $\delta_{occ}$  e alla velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio  $\delta_{\alpha}$  riferita al tempo  $t_{\alpha}$  in secondi, impiegato dalla potenza termica per raggiungere il valore di 1000 kW.

Le tabelle G.3-1 e G.3-2 al D.M 03/08/2015 guidano il progettista nella selezione dei fattori  $\delta_{occ}$  e  $\delta_{\alpha}$ . Per la tabella G.3-1, le caratteristiche prevalenti degli occupanti  $\delta_{occ}$  possono riferirsi ad un valore di A: "Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio". Per la tabella G.3-2, la velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio  $\delta_{\alpha}$  assume un valore di 2: "Ambiti di attività ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo moderato all'incendio" ( $t_{\alpha}$  300 s media).

Per l'attività in questione, considerate le caratteristiche prevalenti degli occupanti e la tipologia dei materiali combustibili presenti, il profilo di rischio  $R_{vita}$  è definito come la combinazione dei fattori  $\delta_{occ}$  e  $\delta_{\alpha}$ , come indicato nella tabella G.3-3.

Tutte le misure antincendio adottate saranno verificate in relazione al profilo di rischio A2. È importante notare che questa classificazione è coerente con quella specificata per un'autorimessa privata nella tabella G.3-4.

Si sottolinea che le note al punto 1 del paragrafo G.3.2.1 evidenziano il carattere "prevalente" dei fattori considerati per la definizione del profilo di rischio  $R_{vita}$ . Pertanto, la presenza occasionale di occupanti non residenti nel condominio non implica automaticamente l'assegnazione del profilo B2.



Inoltre, confrontando la tabella G.3-4, relativa ai profili di rischio  $R_{vita}$  per alcune tipologie di destinazione d'uso, si osserva la corrispondenza del valore individuato con quello appena definito.

Tabella 11 - Tab. 3-3: Determinazione di  $R_{vita}$  al D.M. 03/08/2015

Caratteristiche prevalenti degli occupanti $\delta_{occ}$		Velocità caratteristica prevalente dell'incendio $\delta_{\alpha}$			
		1 lenta	2 media	3 rapida	4 ultra-rapida
<b>A</b>	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	A1	A2	A3	A4
<b>B</b>	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	B1	B2	B3	Non ammesso [1]
<b>C</b> <b>Ci</b> <b>Cii</b> <b>Ciii</b>	Gli occupanti possono essere addormentati: [2]	C1	C2	C3	Non ammesso [1]
	• in attività individuale di lunga durata	Ci1	Ci2	Ci3	Non ammesso [1]
	• in attività gestita di lunga durata	Cii1	Cii2	Cii3	Non ammesso [1]
	• in attività gestita di breve durata	Ciii1	Ciii2	Ciii3	Non ammesso [1]
<b>D</b>	Gli occupanti ricevono cure mediche	D1	D2	Non ammesso [1]	Non ammesso
<b>E</b>	Occupanti in transito	E1	E2	E3	Non ammesso [1]

[1] Per raggiungere un valore ammesso,  $\delta_{\alpha}$  può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3 del paragrafo G.3.2.1.  
[2] Quando nel presente documento si usa il valore C1 la relativa indicazione è valida per Ci1, Cii1 e Ciii1. Se si usa C2 l'indicazione è valida per Ci2, Cii2 e Ciii2. Se si usa C3 l'indicazione è valida per Ci3, Cii3 e Ciii3.

### Profilo di rischio $R_{beni}$

Il profilo di rischio relativo alla salvaguardia dei beni economici, determinato con riferimento all'intera attività, è funzione del carattere strategico dell'intera attività o degli ambiti che la costituiscono e dell'eventuale valore storico, culturale, architettonico o artistico delle stessa e dei beni in essa contenuti.

Per la tabella G.3-5 dell'allegato al D.M. 03/08/2015 si è scelto un valore pari a 1 in considerazione che l'edificio non risulta essere né vincolato per arte e storia, né strategico, né oggetto di particolari pianificazioni di soccorso pubblico e difesa civile.

Tabella 12 - Tab. G.3-5: Determinazione di  $R_{beni}$  al D.M. 03/08/2015

		Attività o ambito vincolato	
		No	Si
Attività o ambito strategico	No	$R_{beni} = 1$	$R_{beni} = 2$
	Si	$R_{beni} = 3$	$R_{beni} = 4$

### **Profilo di rischio $R_{ambiente}$**

Il profilo di rischio relativo alla tutela dell'ambiente può essere ritenuto *non significativo* trattandosi di attività civile, come indicato nel paragrafo G3.4 comma 3 lettera b.

### **4.4.3 Strategia antincendio**

Saranno applicate tutte le misure antincendio della Regola Tecnica Orizzontale (RTO) attribuendo per ciascuna di esse i livelli di prestazione secondo i criteri definiti nella sezione S dell'allegato al D.M. 03/08/2015, integrate dalle indicazioni complementari o sostitutive del capitolo V.6.

#### **REAZIONE AL FUOCO (S.1 - V.6.5.1)**

La seguente sezione esprima il comportamento di un materiale che, con la sua decomposizione, partecipa al fuoco al quale è stato sottoposto in specifiche condizioni.

Per ambo i piani dell'autorimessa, dal paragrafo S.1.3, e in particolare alle tabelle S.1-2 e S.1-3, sarebbe possibile assegnare un livello di prestazione pari a I sia per le vie d'esodo che per gli altri locali dell'attività. Di conseguenza, non sarebbe richiesta la valutazione del contributo all'incendio dei materiali.

Tuttavia, in conformità al paragrafo V.6.5.1, per le aree TA, il livello di prestazione I non è consentito, ad eccezione delle pavimentazioni.

Di conseguenza, nelle aree destinate al ricovero, alla sosta ed alla manovra di veicoli vengono utilizzati materiali appartenenti almeno al gruppo GM3 di reazione al fuoco, garantendo un livello di prestazione II tramite l'impiego di materiali che contribuiscono in modo significativo all'incendio.

Conseguentemente, seguendo una *soluzione conforme*, la struttura e le partizioni dell'autorimessa sono realizzate con materiali appartenenti al gruppo G<sub>M0</sub>, che include tutti i materiali con classe 0 di reazione al fuoco secondo la normativa italiana o classe A1 di reazione al fuoco secondo la normativa europea (anche denominati materiali incombustibili).

#### **RESISTENZA AL FUOCO (S.2 - V.6.5.2)**

La resistenza al fuoco ha come obiettivo quello di garantire la capacità portante delle strutture in condizioni di incendio e la capacità di compartimentazione, per il tempo minimo necessario al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza di prevenzione incendi.

Come indicato in tabella V.6-1, l'autorimessa in argomento, classificata come chiusa e HC in relazione alla quota h dei piani, deve garantire una classe minima di resistenza al fuoco non inferiore a 90 minuti.

Tabella 13 - Tab. V.6-1: Classi minime di resistenza al fuoco per autorimesse non isolate

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

Nel contesto del paragrafo S.2.3 e in base alle risultanze della valutazione del rischio, si assegna all'opera il livello di prestazione III secondo la tabella S.2-2 garantendo il mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la durata dell'incendio. In conformità con le disposizioni del paragrafo S.2.4.3, inerente alle *soluzioni conformi* per il livello di prestazione III, è necessario effettuare la verifica delle prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni considerando gli incendi convenzionali di progetto, come previsto al paragrafo S.2.5.

Per ciascun compartimento, è imprescindibile determinare il carico di incendio specifico di progetto,  $q_{f,d}$ , (massimo ipotizzabile, come specificato di seguito), e in funzione di tale parametro stabilire la classe minima di resistenza al fuoco, come indicato nella tab. S.2-3. Si sottolinea che, nonostante il valore fornito dalla tabella V.6-1 sopra riportata, è necessario calcolare il  $q_{f,d}$  per confrontarlo con la classe minima richiesta.

Tabella 14 - Tab. S.2-3: Classe minima di resistenza al fuoco

Carico di incendio specifico di progetto	Classe minima di resistenza al fuoco
$q_{f,d} \leq 200 \text{ MJ/m}^2$	Nessun requisito
$q_{f,d} \leq 300 \text{ MJ/m}^2$	15
$q_{f,d} \leq 450 \text{ MJ/m}^2$	30
$q_{f,d} \leq 600 \text{ MJ/m}^2$	45
$q_{f,d} \leq 900 \text{ MJ/m}^2$	60
$q_{f,d} \leq 1200 \text{ MJ/m}^2$	90
$q_{f,d} \leq 1800 \text{ MJ/m}^2$	120
$q_{f,d} \leq 2400 \text{ MJ/m}^2$	180
$q_{f,d} > 2400 \text{ MJ/m}^2$	240

Al primo interrato, l'autorimessa sarà compartimentata con muratura REI 90 lungo tutto il confine con i locali deposito e saranno installati portoni EI 90 di comunicazione tra gli stessi e la corsia di manovra.

Saranno, installate porte EI 90 di comunicazione con i locali tecnici (aree TT) e sarà compartimentato tutto il confine degli stessi con l'autorimessa o i locali deposito.

In ciascun vano scala di comunicazione con il condominio sovrastante sarà prevista una compartimentazione con muratura EI 90 e porte EI 90 e sarà creato un filtro a prova di fumo di caratteristiche REI/EI 90, ovvero con porte EI 90 e muratura EI 90.

Al secondo interrato, l'autorimessa sarà compartimentata con muratura REI 90 lungo tutto il confine con i blocchi cantina mentre saranno installati portoni EI 90 di comunicazione tra gli stessi e ciascun vano scala di riferimento.

Come visibile dal calcolo dei carichi di incendio specifici di progetto successivamente proposto, la classe di resistenza al fuoco pari a 90 minuti risulta soddisfare tutti i requisiti.

### Calcolo del carico di incendio specifico di progetto (par. S.2.9)

Il carico d'incendio specifico di progetto  $q_{f,d}$ , ovvero il carico d'incendio specifico  $q_f$  corretto in base ai parametri indicatori del rischio di incendio e dei fattori relativi alle misure di protezione presenti, sarà pari a:

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

dove:

- $q_{f,d}$  è il carico d'incendio specifico di progetto [MJ/m<sup>2</sup>];
- $\delta_{q1}$  è il fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione alla dimensione del compartimento e i cui valori sono definiti nella tabella S.2-6;
- $\delta_{q2}$  è il fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento e i cui valori sono definiti nella tabella S.2-7;
- $\delta_n$  è il fattore che tiene conto delle differenti misure antincendio del compartimento ed i cui valori sono definiti nella tabella S.2-8;
- $q_f$  è il valore nominale del carico d'incendio specifico [MJ/m<sup>2</sup>].

A tema esemplificativo viene ora proposta la procedura di calcolo del carico d'incendio specifico  $q_{f,d}$  delle aree TA al primo e secondo piano interrato; la stessa è stata effettuata per ogni compartimento.

Considerata l'organizzazione spaziale dell'autorimessa si assume per la superficie in pianta di uno dei due piani interrati (1345 m<sup>2</sup> al primo e 1811 m<sup>2</sup> al secondo) il coefficiente  $\delta_{q1}$  come sotto riportato.

Tabella 15 - Tab. S.2-6: Parametri per la definizione del fattore  $\delta_{q1}$

Superficie in pianta lorda del compartimento (m <sup>2</sup> )	$\delta_{q1}$	Superficie in pianta 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

Le aree adibite ad attività di autorimessa presentano un moderato rischio di incendio in termini di probabilità d'innescio, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza; pertanto, come da previsione del punto S.2.9.1, per il coefficiente  $\delta_{q2}$  si assume il, valore di 1.

Tabella 16 - Tab. S.2-7: Parametri per la definizione del fattore  $\delta_{q2}$ 

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

Tenuto conto delle misure di protezione e gestione antincendio che si prevede di adottare, per il coefficiente  $\delta_n$  si ottiene il valore di 0,90 come sotto riportato.

Tabella 17 - Tab. S.2-8: Parametri per la definizione dei fattori  $\delta_{ni}$ 

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]		$\delta_{n7}$	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.			

Il valore del carico d'incendio specifico  $q_f$ , riferito all'autorimessa, è stato determinato rispetto alla valutazione statistica del carico di incendio orientativo per la specifica attività, facendo riferimento a valori con probabilità di superamento < 20%.

Si è ottenuto il frattile 80% così come il carico d'incendio specifico di progetto  $q_{f,d}$  utilizzando il programma di calcolo del Ministero dell'Interno CLARAF.

Tuttavia, essendo il carico d'incendio di progetto funzione della tipologia di autoveicoli che possono essere parchati all'interno dell'autorimessa, verrà svolta, nel capitolo successivo, un'analisi approfondita in relazione alla curva RHR adoperata.

Si è così ottenuto un valore di carico d'incendio specifico  $q_f$  orientativo per attività (autorimessa interrata privata), considerato il suo frattile 80%, pari a 350 MJ/m<sup>2</sup>.

Moltiplicato tale valore per i coefficienti prima riportati si è ottenuto un valore di carico

d'incendio specifico di progetto  $q_{f,d}$  pari a 441 MJ/m<sup>2</sup>. Tale valore può essere riferito ad ambo i piani dell'attività di autorimessa dal momento che essi presentano gli stessi coefficienti moltiplicativi. In basso, vi si riporta il calcolo.

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f = 1,40 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot 350 \text{ MJ/m}^2 = 441 \text{ MJ/m}^2$$

Confrontando tali valori con i presenti in tabella S.2-3, indicata in tabella V.6-1 viene ritenuta congrua con la durata dell'incendio e con la possibilità di evacuare tutti gli occupanti all'esterno dell'attività.

I requisiti di resistenza al fuoco degli elementi strutturali e di compartimentazione, nonché delle porte e degli altri elementi di chiusura, sono stati valutati in base alle prescrizioni dei paragrafi S.2.10, S.2.11 e S.2.12 e secondo i metodi di cui ai paragrafi S.2.13, S.2.14 e S.2.15. Per i locali deposito è stato seguito lo stesso iter orientativo per attività (deposito per vecchi oggetti diversi), variando i coefficienti  $\delta_{q1}$  e  $\delta_n$  a causa della minore superficie e misura antincendio aggiuntiva proposta. Si è così ottenuto un valore di carico d'incendio specifico di progetto  $q_{f,d}$  pari a 673,75 MJ/m<sup>2</sup>. In basso, vi si riporta il calcolo.

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 0,77 \cdot 875 \text{ MJ/m}^2 = 673,75 \text{ MJ/m}^2$$

Ai fini del calcolo del valore del carico di incendio specifico di progetto, a favore di sicurezza, si considera la classe minima di resistenza al fuoco REI90 dell'autorimessa anche per tali locali deposito.

Infine, in riferimento agli otto blocchi cantina, presenti al secondo piano interrato dell'autorimessa e non compartimentati l'uno rispetto all'altro, il carico di incendio nominale è stato imposto, come da classificazione di cui al par. V.6.3 e sulla base di misure gestionali da imporre agli utilizzatori, pari a  $q_f = 200 \text{ MJ/m}^2$ .

### **COMPARTIMENTAZIONE (S.3 - V.6.5.3)**

La finalità della compartimentazione è di limitare la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti verso altre attività o all'interno della stessa attività.

Per l'attività in esame, tenendo conto che il D.M. 15/05/2020 ha fornito alcune indicazioni complementari e integrative del D.M. 03/08/2015, in applicazione di quanto prescritto al paragrafo S.3.3, viene attribuito per la compartimentazione un livello di prestazione II e sarà adottata una *soluzione progettuale conforme* seguendo le indicazioni contenute nel paragrafo S.3.4.1. Dovrà pertanto essere contrastata, per un periodo congruo con la durata dell'incendio, la propagazione dello stesso all'interno dell'attività e verso altre attività.

A seguito dell'emanazione della RTV V.6, più precisamente al punto V.6.5.3, viene specificato che i locali TM1, TM2, TT ed SC devono sempre costituire compartimento distinto ad eccezione delle aree TM1 inserite in compartimenti SA,AB,HB.

Inoltre, risulta che le comunicazioni con l'autorimessa sono disciplinate come indicato nella tabella successiva.

Tabella 18 - Tab. V.6-2: Caratteristiche minime delle comunicazioni tra compartimenti

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 aperti al pubblico	In prevalenza non aperti 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 e 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 Sa 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.

L'autorimessa oggetto di studio ricade nella tipologia "Altre", quindi verso i locali TM1, TM2, TT e TZ sarà compartimentata con la stessa classe prevista nel capitolo relativo alla resistenza al fuoco ovvero almeno pari a 90; verso compartimenti di altre attività, considerando la voce "in prevalenza non aperti al pubblico", deve essere presente un filtro, mentre le vie di esodo comuni con altre attività devono essere protette tramite un filtro a prova di fumo proveniente dall'autorimessa.

Nel caso in esame, per entrambi i piani interrati, l'autorimessa sarà compartimentata con muratura EI 90 lungo tutto il confine con i locali deposito e blocchi cantina, e saranno installate porte e portoni EI 90 di comunicazione tra i depositi e l'autorimessa e i blocchi cantina e i vani scala di riferimento. In particolare, le comunicazioni con l'autorimessa e i locali deposito S1\_37 e S1\_45 saranno garantite per mezzo di filtro come definito dal D.M. 30/11/83 pur non espressamente richiesto; la comunicazione con i locali commerciali al primo interrato, individuati con la sigla S1\_32 (attività 69 del D.P.R. 151/2011), avviene tramite filtro come previsto nella tab. V.6-2.

Saranno, inoltre, installate porte EI 90 di comunicazione con i locali tecnici TT e sarà compartimentato tutto il confine degli stessi con l'autorimessa e i locali deposito.

Le comunicazioni con i vani scala avverranno con filtro a prova di fumo proveniente dall'autorimessa di classe 90 (realizzato tramite griglie di aerazione su spazio a cielo libero), dal momento che le vie di esodo dell'autorimessa sono in comune con quelle degli edifici di civile abitazione.

Al fine di limitare la propagazione dell'incendio all'interno dell'attività in esame, come da soluzioni conformi per il livello di prestazione II, la volumetria dell'opera da costruzione sarà suddivisa in compartimenti antincendio distinti.

All'interno dell'attività, in base alla tab. S.3-6 si individua la massima superficie lorda dei compartimenti in m<sup>2</sup>; essendo Rvita A2 risulta:

- Piano -1: quota del compartimento pari a -3,50 m ne consegue una superficie lorda

massima di 4000 m<sup>2</sup> verificata dal momento che presenta un'area di 1345 m<sup>2</sup>.

- Piano -2: quota del compartimento pari a -6,60 m ne consegue una superficie lorda massima di 4000 m<sup>2</sup> verificata dal momento che presenta un'area di 1811 m<sup>2</sup>.

Entrambi i piani hanno dunque una superficie inferiore a tali valori e, pertanto, non risulta necessario suddividere gli stessi in ulteriori diversi compartimenti.

Tuttavia, non è ammessa la presenza di compartimenti multipiano poiché non si soddisfano le condizioni alla tabella S.3-7.

I due piani saranno separati da spazio scoperto per quanto riguarda la rampa di via Monte Ortigara e da adeguate aperture che rendono la seconda rampa considerabile "aperta" avente caratteristiche di spazio scoperto come da paragrafo S.3.5.1 al D.M. 03/08/2015.

Si sottolinea, in relazione alle chiusure dei varchi di comunicazione fra i compartimenti, che porte e portoni tagliafuoco dovranno garantire la stessa classe di resistenza al fuoco dei compartimenti stessi ed essere dotate di dispositivo di autochiusura.

In relazione alle porte tagliafuoco, installate lungo le principali vie di esodo degli occupanti, queste dovrebbero essere preferibilmente munite di fermo elettromagnetico in apertura, asservito ad IRAI, implementando la funzione N della tab. S.7.3.

In riferimento alle compartimentazioni orizzontali e verticali, esse debbono formare una barriera continua ed uniforme contro la propagazione degli effetti dell'incendio.

Per il mantenimento delle caratteristiche di resistenza al fuoco delle pareti EI e della continuità dei compartimenti antincendio, tutti gli attraversamenti di cavidotti, passerelle e tubazioni dovranno essere protetti con l'installazione di idonei dispositivi di ripristino come collari intumescenti, sacchetti, schiume e intonaci.

Infine, ai sensi delle prescrizioni del paragrafo S.3.8, essendo  $q_f < 600 \text{ MJ/m}^2$ , basta verificare che sia interposto uno spazio scoperto tra ciascun compartimento e i bersagli esterni. Nel presente progetto, oltre a non necessitarne, non si possono attuare soluzioni che prevedano distanze di separazione su spazio a cielo libero, in quanto l'autorimessa è di natura interrata.

#### **ESODO (S.4 - V.6.5.4)**

La finalità del sistema d'esodo è di assicurare che gli occupanti dell'attività possano raggiungere un luogo sicuro o permanere al sicuro, autonomamente o con assistenza, prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività ove si trovano.

Tale misura antincendio è stata analizzata e verificata nel capitolo successivo utilizzando una soluzione alternativa per la misura S.6 tramite i metodi dell'ingegneria antincendio.

Tuttavia, per completezza si analizza tale misura ugualmente in *soluzione conforme*.

A tal riguardo, la RTV V.6 non fornisce alcuna ulteriore specifica prescrizione in riferimento al caso in oggetto.



In applicazione di quanto prescritto al paragrafo S.4.3, viene attribuito per l'esodo un livello di prestazione I e saranno applicate le prescrizioni contenute nel paragrafo S.4.4.1, essendo possibile garantire per tutti gli occupanti il raggiungimento del luogo sicuro prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività attraversati durante l'esodo. In caso di emergenza sarà attivata la modalità d'esodo simultaneo di tutti gli occupanti verso luogo sicuro.

Ai sensi del paragrafo S.4.4.1 dell'allegato al D.M. 03/08/2015, il sistema d'esodo deve essere progettato iterativamente come segue:

1. si definiscono i dati di ingresso di cui al paragrafo S.4.6 ovvero profilo di rischio  $R_{vita}$  di riferimento ed affollamento;
2. si assicurano i requisiti antincendio minimi del paragrafo S.4.7;
3. si definisce lo schema delle vie d'esodo fino a luogo sicuro e lo si dimensiona secondo le indicazioni dei paragrafi S.4.8 e S.4.9, ovvero numero di vie d'esodo ed uscite, corridoi ciechi, luoghi sicuri temporanei e lunghezze d'esodo, larghezza di vie d'esodo ed uscite finali, superficie dei luoghi sicuri e degli spazi calmi;
4. si verifica la rispondenza del sistema d'esodo alle caratteristiche di cui al paragrafo S.4.5 e, qualora la verifica non sia soddisfatta, si reitera la procedura.

I dati di ingresso della progettazione antincendio sono i profili di rischio  $R_{vita}$  definiti per ciascun compartimento e l'affollamento massimo di ogni locale come al paragrafo S.4.6.1 e S.4.6.2. Pertanto, ciascun componente del sistema d'esodo è dimensionato in funzione del più gravoso dei profili di rischio  $R_{vita}$ , nel caso in esame identico e pari ad A2.

Per quanto concerne l'affollamento, esso sarà pari a 118 persone di cui 43 al primo piano interrato e 75 al secondo piano interrato. In basso, si riporta la tabella S.4-13.

Non è previsto affollamento nei locali deposito TM2 e nei locali tecnici TT se non di breve durata e di conseguenza non considerato ai fini della progettazione.

Si segnala come il valore di affollamento ottenuto risulti sensibilmente inferiore, quasi del 65%, a quello determinato secondo la metodologia tradizionale del D.M. 01/02/1986, pari a 317 persone.

Tabella 19 - Tab. S.4-13: Criteri per tipologia di attività

Tipologia di attività	Criteri
Autorimesse pubbliche	2 persone per veicolo parchato
<b>Autorimesse private</b>	<b>1 persona per veicolo parchato</b>
Degenza	1 degente e 2 accompagnatori per posto letto + addetti
Ambiti con posti a sedere o posti letto (es. sale riunioni, aule scolastiche, dormitori, ...)	Numero posti + addetti
Altri ambiti	Numero massimo presenti (addetti + pubblico)

Il numero minimo di vie d'esodo verticali e orizzontali per ciascun ambito dell'attività sarà determinato in relazione ai vincoli imposti dal paragrafo S.4.8.1 per il numero minimo di vie d'esodo e dal paragrafo S.4.8.2 per l'ammissibilità dei corridoi ciechi.

Ai sensi del paragrafo S.4.7.3 e al fine di evitare la diffusione degli effluenti dell'incendio alle vie d'esodo fuori terra, esistendo piani a quota < -5 m, le vie d'esodo interrato saranno di tipo protetto e inserite in compartimento distinto dalle vie d'esodo fuori terra per mezzo di chiusure tagliafuoco EI 90 dei varchi di comunicazione.

La progettazione del sistema delle vie di esodo parte dall'individuazione del numero minimo delle uscite indipendenti, ritenute tali quando è minimizzata la probabilità che possano essere contemporaneamente rese indisponibili dagli effetti dell'incendio.

In funzione del profilo di rischio  $R_{vita}$  A2 e in considerazione della presenza di piani a quota inferiore a quella prevista in tabella S.4-14 (- 5 m), tutti i piani interrati saranno serviti da almeno due vie d'esodo indipendenti.

Lo stesso requisito viene richiesto alla tabella S.4-15 in funzione del profilo di rischio  $R_{vita}$  di riferimento e dell'affollamento dell'ambito servito, pertanto, il numero minimo di uscite indipendenti da ciascun ambito dell'attività dovrà essere pari a due.

Nel caso in oggetto, l'autorimessa è dotata di otto vie d'esodo indipendenti per ciascun piano, ovvero pari al numero di vani scala condominiali.

L'indipendenza tra vie d'esodo orizzontali e tra uscite è sempre garantita come al paragrafo S.4.8.1.3. I vani scala, inseriti in compartimenti distinti, garantendo l'indipendenza tra vie d'esodo verticali, soddisfano le prescrizioni di cui al paragrafo S.4.8.1.4. Si consiglia la visione degli elaborati grafici in allegato.

In base alla seguente tabella S.4-18, la massima lunghezza dei corridoi ciechi ammessa per  $R_{vita}$  A2, con un affollamento massimo minore di 100 occupanti, risulta pari a  $L_{cc} \leq 30$  m.

Si segnala la presenza di 2 corridoi ciechi per ogni piano dell'autorimessa di lunghezza, rispettivamente pari a 22 metri che risulta minore rispetto a quella ammessa.

I locali deposito che presentano una sola uscita indipendente rientrano nelle casistiche di cui alla tabella S.4-15 rispettando in contemporanea le prescrizioni del corridoio cieco.

Tabella 20 - Tab. S.4-18: Condizioni per il corridoio cieco

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

I valori delle massime lunghezze di corridoio cieco di riferimento  $L_{cc}$  possono essere incrementati in relazione a requisiti antincendio aggiuntivi, secondo la metodologia del paragrafo S.4.10.

Si rammenta che, per la definizione del paragrafo G.1.9 punto 16, la lunghezza del corridoio cieco  $L_{CC}$  termina nel punto in cui è possibile l'esodo in più di una direzione.

Secondo il comma 1 del paragrafo S.4.8.3, al fine di limitare il tempo necessario agli occupanti per abbandonare il compartimento di primo innesco dell'incendio, almeno una delle lunghezze d'esodo determinate da qualsiasi punto dell'attività non deve superare i valori massimi  $L_{es}$  della seguente tabella S.4-25.

In funzione del profilo di rischio  $R_{vita}$  A2, è prescritta una lunghezza d'esodo massima pari a 60 m; come illustrato negli elaborati grafici, la lunghezza massima d'esodo sarà sempre inferiore alle prescrizioni qui riportate con un valore massimo di 29 m per ambo i piani.

Nel calcolo è stata omessa la porzione di lunghezza delle scale d'esodo protette con caratteristiche di filtro come da paragrafo S.4.8.3.3.

Tabella 21 - Tab. S.4-25: Massime lunghezze d'esodo

$R_{vita}$	Max lunghezza $L_{es}$	$R_{vita}$	Max lunghezza $L_{es}$
A1	≤ 70 m	B1, E1	≤ 60 m
<b>A2</b>	<b>≤ 60 m</b>	B2, E2	≤ 50 m
A3	≤ 45 m	B3, E3	≤ 40 m
A4	≤ 30 m	Cii1, Ciii1	≤ 40 m
D1	≤ 30 m	Cii2, Ciii2	≤ 30 m
D2	≤ 20 m	Cii3, Ciii3	≤ 20 m

Risulta soddisfatta la prescrizione di cui al par. S.4.8.4.1 in quanto l'altezza delle vie d'esodo sarà sempre superiore a 2 m (3,50 m per il primo piano interrato e 2,80 m per il secondo piano interrato).

In riferimento al paragrafo S.4.8.7. la larghezza minima  $L_O$  della via d'esodo orizzontale (es.: corridoio, porta, uscita, ecc.), che consente il regolare esodo degli occupanti che la impiegano, è calcolata come segue:

$$L_O = L_U \cdot n_O$$

dove:

- $L_O$  è la larghezza minima della via d'esodo orizzontale [mm];
- $L_U$  è la larghezza unitaria per le vie d'esodo orizzontali determinata dalla tabella S.4-27 in funzione del profilo di rischio  $R_{vita}$  di riferimento [mm/persona];
- $n_O$  è il numero degli occupanti che impiegano tale via d'esodo orizzontale, nelle condizioni d'esodo più gravose (paragrafo S.4.8.6).

La larghezza  $L_O$  può essere suddivisa tra più percorsi.

Tale calcolo si sviluppa in relazione al profilo di rischio  $R_{vita}$  che è pari a A2 ove la lunghezza unitaria  $L_U$  è pari 3,80 mm/persona corrispondente ad un tempo di attesa in coda  $\Delta t_{coda}$  di 290 s e al massimo ad un affollamento  $n_O$  di 118 persone.

Vengono proposti relativi calcoli per ogni piano interrato completi di verifica di ridondanza.

Tabella 22 - Larghezze vie d'esodo orizzontali

Livello	Occupanti	$L_U$ [mm/persona]	$L_O$ Larghezza minima [mm]	Larghezza totale uscite dal piano [mm]	Verifica ridondanza
Piano -1	43	3,80	163,40	7200	163,4 < 6300
Piano -2	75	3,80	275,00	7200	275 < 6300

Nella tabella S.4-28 sono presenti i valori di larghezza minima per le vie d'esodo orizzontali. Per l'autorimessa in esame tale larghezza risulta essere pari a 900 mm in corrispondenza delle porte situate nelle vie di fuga. Tale larghezza è accettata in quanto, in base alla tabella S.4-28, è ammissibile per un affollamento compreso tra i 50 e 300 occupanti e adatta anche a coloro che impiegano ausili per il movimento.

Il paragrafo S.4.8.6 stabilisce che, in caso di presenza di più di una via d'esodo in un determinato ambito, si ipotizzi che l'incendio possa renderne indisponibile una. Al fine di verificare la ridondanza, è necessario renderne indisponibile una via d'esodo alla volta e accertare che le vie d'esodo rimanenti, indipendenti da quella resa indisponibile, abbiano una larghezza complessiva sufficiente a garantire l'esodo degli occupanti.

In tale procedimento, non è richiesta un'ulteriore verifica dei corridoi ciechi e delle lunghezze d'esodo. La tabella precedentemente riportata evidenzia che la verifica della ridondanza delle vie d'esodo orizzontali è ampiamente soddisfatta.

Si fa riferimento al par. S.4.8.6. Se un ambito è servito da più di una via d'esodo, si ipotizza che l'incendio ne possa rendere indisponibile una.

In funzione della modalità d'esodo adottata la larghezza minima  $L_V$  della via d'esodo verticale che consente il regolare esodo degli occupanti che la impiegano è calcolata come specificato nei paragrafi S.4.8.8.1.

Nella modalità d'esodo simultaneo, le vie d'esodo verticali devono essere in grado di consentire l'evacuazione contemporanea di tutti gli occupanti in evacuazione da tutti i piani serviti.

$$L_V = L_U \cdot n_V$$

dove:

- $L_V$  è la larghezza minima della via d'esodo verticale [mm];
- $L_U$  è la larghezza unitaria determinata dalla seguente tab. S.4-29 in funzione del profilo di rischio  $R_{vita}$  di riferimento e del numero totale dei piani serviti dalla via d'esodo verticale [mm/persona];
- $n_V$  è il numero degli occupanti che impiegano tale via d'esodo verticale, nelle condizioni d'esodo più gravose (paragrafo S.4.8.6).

Anche in questo caso la larghezza  $L_V$  può essere suddivisa tra più percorsi.

Vengono proposti relativi calcoli per ogni piano interrato completi di verifica di ridondanza.

Tabella 23 - Larghezze vie d'esodo verticali

Livello	Occupanti	$L_U$ [mm/persona]	$L_V$ Larghezza minima [mm]	Larghezza totale uscite dal piano [mm]	Verifica ridondanza
Piano -1	43	4,00	172,00	7200	-
Piano -2	75	4,00	300,00	7200	-
Totale	118	4,00	472,00	7200	472 < 6300

Le scale d'esodo, caratterizzate da un'alzata dei gradini inferiore a 17 cm e una pedata di 30 cm, non richiedono alcun incremento della larghezza unitaria, conformemente alle disposizioni della tabella S.4-30. La verifica della ridondanza delle vie d'esodo verticali è altresì soddisfacente.

Nel caso specifico dell'autorimessa in questione, la larghezza del vano scala tipo è di 900 mm, valore accettato poiché, in base alla tabella S.4-32, è ammissibile per un affollamento inferiore a 300 occupanti. Va notato che nel computo delle larghezze delle vie d'esodo verticali non sono state considerate le rampe di collegamento con il primo piano interrato e con le pubbliche vie.

Questa scelta è giustificata dalla potenziale presenza di veicoli lungo le rampe, dall'assenza di marciapiedi o corsie preferenziali per i pedoni. Inoltre, la pendenza delle rampe (> 8%) non sarebbe di aiuto per gli occupanti che utilizzano ausili per il movimento.

Come successivamente riportato nell'opportuno paragrafo dell'operatività antincendio (S.9), la maggiorazione di 500 mm alla larghezza minima delle vie d'esodo per il passaggio dei soccorritori risulta ampiamente soddisfatta.

In riferimento al paragrafo S.4.8.9. la larghezza minima dell'uscita finale  $L_F$ , che consente il regolare esodo degli occupanti provenienti da vie d'esodo orizzontali o verticali, è calcolata come segue:

$$L_F = \sum L_{O,i} + \sum L_{V,j}$$

dove:

- $L_F$  è la larghezza minima dell'uscita finale [mm];
- $L_{O,i}$  è la larghezza della i-esima via d'esodo orizzontale che adduce all'uscita finale, come calcolata con l'equazione S.4-1 [mm];
- $L_{V,j}$  è la larghezza della j-esima via d'esodo verticale che adduce all'uscita finale, come calcolata con le equazioni S.4-2 [mm];

La larghezza  $L_F$  può essere suddivisa tra più percorsi e rispettare i criteri della tab. S.4-28.

La convergenza dei flussi di occupanti dalle vie d'esodo orizzontali e verticali verso l'uscita finale non sarà ostacolata dalla presenza di arredi fissi o mobili.

La larghezza minima dell'uscita finale a piano terra  $L_F$  è stata determinata sommando i soli contributi delle vie d'esodo verticali  $L_V$  provenienti dagli interrati, gli unici che convergono a piano terra.

Per  $L_O$ , infatti, considerate la geometria e le destinazioni d'uso presenti nell'opera da costruzione, non ci sono contributi.

In definitiva, per  $L_F$  si ottiene:

$$L_F = \Sigma L_O + \Sigma L_V = 0 + 472 = 472 \text{ mm}$$

L'uscita finale del vano scala tipo, posta al piano terra, avrà larghezza pari a 900 mm, dimensione che soddisfa la verifica.

In conclusione, nell'analisi della misura antincendio S.4, è necessario verificare la conformità del sistema d'esodo alle caratteristiche indicate nel paragrafo S.4.5.

In relazione al paragrafo S.4.5.1, i luoghi sicuri saranno individuati nell'area condominiale, in prossimità delle uscite finali; ciascun luogo sicuro sarà contrassegnato con il cartello UNI EN ISO 7010-E007.

Per quanto riguarda il paragrafo S.4.5.2, relativamente a un compartimento, si considera luogo sicuro temporaneo qualsiasi altro compartimento o spazio scoperto attraversabile dagli occupanti per raggiungere il luogo sicuro tramite il sistema d'esodo, senza dover rientrare nel compartimento di partenza. Nel sistema d'esodo adottato, i vani scala costituiranno luoghi sicuri temporanei per tutti i locali serviti.

Nel contesto del paragrafo S.4.5.3, è rilevante notare che le vie d'esodo avranno un'altezza minima di 2 m e non includeranno scale portatili e alla marinara, ascensori, rampe, scale e marciapiedi mobili. Le superfici di calpestio saranno non sdruciolevoli, e il fumo e il calore dell'incendio non interferiranno con il sistema delle vie d'esodo.

In relazione al paragrafo S.4.5.7, le porte lungo le vie d'esodo saranno conformi alle prescrizioni, inclusi i requisiti specificati nella tabella S.4-6 riportata alla pagina seguente in base alle caratteristiche del locale e al numero di occupanti che utilizzano ciascuna porta. Nell'autorimessa tutte le porte lungo le vie d'esodo nelle aree TA seguiranno le indicazioni presenti al par. S.4.5.7, presentando opportuno dispositivo di apertura conforme alle norme UNI EN 1125 con verso di apertura nel senso dell'esodo.

Inoltre, secondo il paragrafo S.4.5.9, il sistema d'esodo dovrà essere progettato per essere facilmente riconoscibile e utilizzabile dagli occupanti, grazie all'installazione di segnaletica di sicurezza adeguata, come pannelli retroilluminati e planimetrie orientative.

Infine, lungo le vie d'esodo sarà installato un impianto di illuminazione di sicurezza, garantendo un illuminamento orizzontale sufficiente per l'esodo degli occupanti, in conformità alla norma UNI EN 1838 e di almeno 1 lx lungo la linea centrale della via d'esodo. L'impianto di illuminazione di sicurezza dovrà anche soddisfare i requisiti della successiva misura S.10.

Tabella 24 - Tab. S.4-25: Caratteristiche delle porte ad apertura manuale lungo le vie d'esodo

Ambito servito	Caratteristiche della porta		
	Occupanti serviti [1]	Verso di apertura	Dispositivo di apertura
Ambiti dell'attività non aperti al pubblico	n > 50 occupanti	Nel senso dell'esodo [2]	UNI EN 1125 [3]
Ambiti dell'attività aperti al pubblico	n > 25 occupanti		
Aree a rischio specifico	n > 10 occupanti		
	n > 5 occupanti		UNI EN 179 [3] [4]
Altri casi		Secondo risultanze della valutazione del rischio [5]	

[1] Numero degli occupanti che impiegano la singola porta nella condizione d'esodo più gravosa, considerando anche la verifica di ridondanza di cui al paragrafo S.4.8.6.

[2] Qualora l'esodo possa avvenire nelle due direzioni devono essere previste specifiche misure (es. porte distinte per ciascuna direzione, porte apribili nelle due direzioni, porte ad azionamento automatico, segnaletica variabile, ...). Sono escluse dal verso di apertura le porte ad azionamento automatico del tipo a scorrimento.

[3] Oppure dispositivo per specifiche necessità, da selezionare secondo risultanze della valutazione del rischio (es. EN 13633, EN 13637, ...).

[4] I dispositivi UNI EN 179 sono progettati per l'impiego da parte di personale specificamente formato.

[5] Ove possibile, e preferibile che il verso di apertura sia comunque nel senso dell'esodo, anche qualora si mantenga il dispositivo di apertura ordinario.

## GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO (S.5 - V.6.5.5)

La Gestione della Sicurezza Antincendio (GSA) costituisce la misura antincendio organizzativa e gestionale dell'attività, finalizzata a garantire nel tempo un adeguato livello di sicurezza in caso di incendio.

Nel contesto esaminato, conformemente a quanto stabilito nel paragrafo S.5.3 dell'allegato al D.M. 03/08/2015, è stata identificata una Gestione della Sicurezza Antincendio per il mantenimento delle condizioni di esercizio e di risposta all'emergenza, attribuendo un livello di prestazione I. Trattasi di un'attività di autorimessa non aperta al pubblico con un affollamento complessivo di 118 occupanti, si applicano le *soluzioni conformi* al livello di prestazione I. Questo comporta l'adozione delle specifiche operazioni indicate nel paragrafo S.5.4.1, come dettagliato nella tabella S.5-3.

In particolare, risulta che la struttura organizzativa minima, in questo caso priva di dipendenti e quindi non configurabile come attività lavorativa, prevede il Responsabile dell'attività individuato nelle figure degli amministratori di condominio.

In particolare, la struttura organizzativa minima, considerando che in questo caso non sono presenti dipendenti e l'attività non si configura come attività lavorativa, prevede la sola figura del Responsabile dell'attività, ruolo ricoperto dagli amministratori di condominio.

Il responsabile dell'attività dovrà organizzare la GSA in esercizio:

- predisporre un registro dei controlli da mantenere costantemente aggiornato ed a disposizione degli organi preposti ai controlli (par. S.5.7.1);
- garantire il controllo degli impianti e delle attrezzature antincendio (par. S.5.7.3);

- preparazione all'emergenza in base alla tab. S.5-9 (par. S.5.7.4, S.5.7.5 e S.5.7.8).

Organizzare la GSA in emergenza e, non trattandosi di attività lavorativa, secondo il punto b del par. S.5.8 tramite:

- attivazione dei servizi di soccorso pubblico;
- esodo degli occupanti;
- messa in sicurezza delle attrezzature e degli impianti.

Conformemente a quanto previsto nel paragrafo V.6.5.5, è obbligatoria l'installazione della cartellonistica relativa ai divieti e alle limitazioni di esercizio all'interno dell'autorimessa.

Nel dettaglio, nell'autorimessa sarà vietato:

- a) fumare;
- b) l'uso di fiamme libere o l'esecuzione di lavorazioni a caldo (es.: saldatura, taglio smerigliatura, ecc.) e l'effettuazione di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio;
- c) eseguire manutenzione, riparazioni dei veicoli o prove di motori, al di fuori delle aree TB;
- d) il deposito o il travaso di fluidi infiammabili o carburante;
- e) la presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative;
- f) il riempimento o lo svuotamento di serbatoi di carburante;
- g) l'accesso o il parcheggiamento di veicoli con perdite di carburante;
- h) il parcheggiamento di veicoli trasportanti sostanze o miscele pericolose se non in presenza di specifica valutazione del rischio;
- i) il parcheggiamento di un numero di veicoli superiore a quello previsto;
- j) il parcheggiamento di veicoli alimentati a GPL privi del sistema di sicurezza conforme al regolamento ECE/ONU 67-01;
- k) il parcheggiamento di veicoli alimentati a GPL muniti del sistema di sicurezza conforme al regolamento ECE/ONU 67-01 ai piani a quota inferiore a -6 m;
- l) il parcheggiamento 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 sarà obbligatorio individuare i posti auto in modo distinto per tipologia, intervenendo prontamente sulle perdite di carburante liquido mediante l'uso di materiale assorbente per contenere la fuoriuscita.

È fatto divieto ai condomini di oscurare i sopraluce dei basculanti con fogli di plastica o simili, e di rimuovere tali rivestimenti anomali, se presenti.

La corretta progettazione della gestione della sicurezza implica uno scambio di informazioni tra il progettista ed il responsabile dell'attività, secondo quanto previsto dalla tabella S.5-7, in cui sono riassunti i loro compiti i termini di progettazione della GSA.

Considerando le interazioni reciproche tra l'autorimessa e i condomini sovrastanti, si richiamano le disposizioni fornite dal D.M. 25/01/2019, che sono rilevanti anche per la progettazione e la gestione della sicurezza antincendio nell'autorimessa in questione.



Ai fini del presente decreto, il responsabile dell'attività deve attenersi al corrispondente livello di prestazione, che per i due edifici condominiali è individuato come L.P. = 0, attribuito per edifici di civile abitazione con altezza antincendio compresa tra 12 e 24 metri. Si ricorda, infine, che i condomini sovrastanti l'autorimessa, con un'altezza antincendio inferiore ai 24 metri, non rientrano nel campo di applicazione del D.M. 19/05/2022, RTV V. 14 (Edifici di civile abitazione). In ogni caso, la Gestione della Sicurezza Antincendio dovrà considerare le specificità dei condomini, cercando di semplificare al massimo le indicazioni per garantire la sicurezza dell'attività di autorimessa e degli edifici stessi.

### CONTROLLO DELL'INCENDIO (S.6 - V.6.5.6)

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 e la protezione mediante completa estinzione di un incendio.

Nel contesto delle autorimesse, con l'entrata in vigore della RTV V.6, la misura di controllo degli incendi è regolamentata dal paragrafo V.6.5.6. In particolare, questa deve fare riferimento alla tabella V.6-3 sotto riportata, che fornisce i livelli di prestazione richiesti in base alla classificazione dell'attività:

Tabella 25 - Tab. V.6-3: Livelli di prestazione per il controllo dell'incendio

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

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

In questa situazione, la RTV guida il progettista nell'assegnazione del livello di prestazione, indicando che, avendo classificato l'autorimessa come SA/AB/HC, è necessario prevedere un livello di prestazione IV.

Si rammenta che l'autorimessa non rientra nella classificazione HB pur presentando due piani di parcheggio poiché il limite inferiore è pari a -6,6 m eccedendo il limite prescrittivo di 60 cm. Tale condizione impedisce di ottenere il livello di prestazione III secondo la tabella sopra menzionata. Di conseguenza, è necessario prevedere un sistema automatico di inibizione, controllo o estinzione dell'incendio a protezione di ambiti dell'attività, seguendo le indicazioni fornite nel paragrafo S.6.9 per sistemi sprinkler o altre tipologie impiantistiche.

Considerando che la spesa da effettuare per l'installazione del sistema di inibizione a sprinkler in tutte le aree TA sarebbe sostenuta e che soprattutto i condòmini non hanno intenzione di intervenire per la sua messa in opera, si seguirà l'ipotesi della soluzione

alternativa per la misura in questione, attribuendone un livello di prestazione III.

Con l'obiettivo di dimostrare la corretta attribuzione del livello di prestazione III della misura S.6, si adotterà una soluzione alternativa in conformità al paragrafo S.6.4.5, che consente l'ammissibilità di soluzioni alternative per ogni livello di prestazione, seguendo le modalità progettuali della tabella S.6-3 e impiegando uno dei metodi del paragrafo G.2.7.

In particolare, attraverso l'ingegneria della sicurezza antincendio, si cercherà di dimostrare il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza per occupanti e soccorritori utilizzando i metodi del Capitolo M.3. Questo coinvolgerà la previsione di scenari di incendio di progetto specifici nelle aree dove non sia installato il sistema automatico di inibizione a sprinkler.

L'approccio progettuale mira a verificare se l'installazione del sistema automatico è effettivamente necessaria o se esiste una possibile misura compensativa che possa fornire risultati comparabili o superiori. Questa valutazione si concentrerà su scenari di incendio generati, ad esempio, dal rogo di un autoveicolo in un box singolo o doppio e in ambo i piani di parcheggio. I dettagli delle modellazioni eseguite e dell'intero processo progettuale saranno discussi nei capitoli successivi.

A titolo di completezza e in conformità con il livello di prestazione III, verrà ora proposta la soluzione conforme per il controllo o l'estinzione manuale dell'incendio.

In virtù delle prescrizioni di cui al par. S.6.4.3, inerente alle soluzioni conformi per il livello di prestazione III:

- devono essere installati estintori d'incendio a protezione dell'intera attività, secondo le indicazioni del paragrafo S.6.6;
- in relazione alle risultanze della valutazione del rischio effettuata, deve essere installata una rete idranti a protezione dell'intera attività, secondo le indicazioni del par. S.6.8 e della tab. V.6-4.

L'estintore rappresenta un presidio di base complementare alle altre misure di protezione attiva e sicurezza in caso d'incendio. La sua capacità estinguente, determinata attraverso prove sperimentali, indica la prestazione antincendio convenzionale. L'utilizzo di un estintore è pertinente solo per principi di incendio di dimensioni limitate, e la sua capacità estinguente fornisce un grado comparativo della facilità nelle operazioni di estinzione.

Per garantire la protezione dell'intera attività, si prevede l'installazione di estintori portatili. Questi saranno posizionati lungo i percorsi d'esodo e in prossimità delle uscite, in posizioni ben visibili e di facile accesso.

In base alle indicazioni del par. S.6.6.2:

- In ambienti chiusi, soprattutto in presenza di principi di incendio di classe A o classe B, è consigliabile utilizzare estintori a base d'acqua. L'impiego di estintori a polvere in ambienti chiusi può provocare una repentina riduzione della visibilità, compromettendo potenzialmente l'orientamento degli occupanti nell'evacuazione.

- Gli estintori devono essere sempre disponibili per l'uso immediato e devono essere collocati in una posizione facilmente visibile e raggiungibile, lungo i percorsi di esodo in prossimità delle uscite dei locali, di piano o finali.
- Le impugnature dei presidi manuali dovrebbero essere collocate ad una quota pari a circa 110 cm dal piano di calpestio.
- Laddove sia necessario installare estintori efficaci per più classi di fuoco, è preferibile utilizzare estintori polivalenti.

Dalla tabella S.6-5, in riferimento alle caratteristiche dell'autorimessa in esame con profilo Rvita A2, per estintori di classe A si ottiene:

Tabella 26 - Tab. S.6-5: Criteri per l'installazione degli estintori di classe A

Profilo di rischio R <sub>vita</sub>	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	

Per la scelta del numero di estintori di classe B da installare si fa riferimento ad una stima della quantità di carburante presente all'interno dei veicoli parchati.

All'interno dell'autorimessa sono presenti, 118 veicoli con una presumibile quantità di carburante pari a circa 40 l ciascuno, per un totale massimo ipotizzabile di 4720 l.

In base alla tab. S.6-6 risulta:

Tabella 27 - Tab. S.6-6: Criterio per l'installazione degli estintori di classe B

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

Nell'autorimessa, pertanto, saranno quindi installati nove estintori polivalenti 21A 233B da 6 litri al primo piano interrato dell'area TA e otto al secondo nella medesima area.

Saranno inoltre installati estintori polivalenti 21A 233B da 6 litri nei blocchi cantina e in ogni locale deposito TM2 in relazione ad opportuna valutazione del rischio.

La massima distanza di raggiungimento risulta ampiamente soddisfatta; gli estintori saranno segnalati grazie ad appositi segnali UNI EN ISO 7010.

Il fabbricato sarà dotato di un sistema fisso antincendio manuale di tipo idrico, come misura antincendio secondo il livello di prestazione III ai sensi del paragrafo S.6.4.2.

Il progetto dell'impianto antincendio a idranti sarà sviluppato ai sensi della UNI 10779 e UNI 12845.

Come indicato in tabella V.6-4 sotto riportata, il livello di pericolosità per l'attività classificata AB e con quota dei piani HC è stabilito pari a 1, ovvero non è necessaria la protezione esterna, non prevista, mentre l'alimentazione idrica sarà di tipo singolo, con collegamento diretto alla rete d'acquedotto.

Tabella 28 - Tab. V.6-4: Parametri progettuali per la rete idranti secondo UNI 10779

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	Si [3]	Singola
	HD	2	Si [3]	Singola superiore
AD	Qualsiasi	3	Si [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 interrato se si adotta livello di pericolosità 3.

L'alimentazione idrica sarà conforme alle determinate caratteristiche di flusso e di pressione specificate all'articolo 7 della norma UNI 12845.

Di seguito si illustrano le modalità per la progettazione della rete idranti conforme alla norma UNI 10779 ai sensi del paragrafo S.6.8.2:

- ogni punto dell'area protetta disti al massimo 20 m (distanza geometrica) dall'idrante a muro;
- gli idranti devono essere installati in posizione ben visibile e facilmente raggiungibile soprattutto in prossimità di uscite di emergenza o vie di esodo, in posizione tale da non ostacolare, anche in fase operativa, l'esodo dei locali;
- copertura con il metodo del filo teso considerando una lunghezza di 25 m per le manichette degli idranti UNI 45.

Saranno posizionati complessivamente quattordici idranti a muro, sette all'interno della superficie del primo piano interrato e sette al secondo; gli elaborati grafici allegati riportano la posizione di tutti gli idranti.

La posizione degli idranti sarà individuata da idonea segnaletica di sicurezza conforme alla norma UNI EN ISO 7010.

## **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 una attività, rivelare precocemente un incendio e diffondere l'allarme al fine di attivare le misure protettive e gestionali.

Per questa strategia antincendio non è presente nessuna indicazione nella RTV V.6, pertanto, l'analisi è stata effettuata sulla base della sola RTO.

In relazione alle risultanze della valutazione del rischio, si attribuisce agli ambiti dell'attività il livello di prestazione III e sarà adottata una *soluzione progettuale conforme*.

Nonostante sia possibile attribuire il livello di prestazione II per le aree TA, le risultanze della valutazione del rischio, considerata anche come misura compensativa vista l'assenza dell'impianto sprinkler, suggeriscono di incrementare volontariamente il livello di prestazione richiesto. Tale processo decisionale sarà adeguatamente dettagliato nei capitoli successivi e dimostrato tramite i metodi dell'ingegneria antincendio.

La dotazione del conseguente IRAI consente di gestire in tempi rapidi qualunque condizione di allarme, permettendo la rivelazione precoce e la diffusione istantanea della comunicazione di esodo agli occupanti, riducendo il  $t_{det}$  (time detection).

Nelle aree TM2 quali i depositi il livello di prestazione III sarebbe stato comunque vincolante in funzione del carico d'incendio specifico  $q_f \geq 600 \text{ MJ/m}^2$ .

In virtù delle prescrizioni di cui al par. S.7.4.3, inerente alle soluzioni conformi per il livello di prestazione III, deve essere installato un IRAI progettato secondo le indicazioni del paragrafo S.7.5, implementando la funzione principale D (segnalazione manuale di incendio da parte degli occupanti), la funzione principale C (allarme incendio) estesa a tutta l'attività e la funzione principale A (rivelazione automatica dell'incendio) estesa a porzioni dell'attività.

Devono inoltre essere soddisfatte le prescrizioni aggiuntive indicate nella tabella S.7-3 riportata successivamente, ove pertinenti, secondo valutazione del rischio d'incendio.

Tutte le aree destinate ad autorimessa saranno protette da IRAI con le seguenti funzioni principali :

- A: Rivelazione automatica dell'incendio; l'impianto sarà di tipo automatico con l'installazione di dispositivi di rivelazione di tipo velocimetro-differenziale con sensori posizionati a soffitto all'interno dei box e all'interno dei magazzini TM2;
- B: Funzione di controllo e segnalazione estesa a tutti gli ambienti delle attività di autorimessa, di tipo automatico.
- C: Funzione di allarme incendio estesa a tutti gli ambienti delle attività di autorimessa, con dispositivi ottico acustici;
- D: Funzione di segnalazione manuale estesa a tutti gli ambienti delle attività di autorimessa, di tipo manuale demandata agli occupanti;
- L: Funzione di alimentazione estesa a tutti gli ambienti delle attività di autorimessa.

#### 4 - Il caso studio

*Tabella 29 - Tab. S.7-3: Soluzioni conformi per rivelazione ed allarme incendio*

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], 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, vie 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.

In riferimento al paragrafo S.7.5, si riportano le indicazioni da seguire per la corretta progettazione degli IRAI.

Gli impianti di rivelazione ed allarme incendio saranno progettati ed installati secondo la norma UNI 9795 e i componenti verificati secondo la norma UNI EN 54-13.

L'impianto IRAI sarà dotato di pulsanti manuali di allarme lungo le vie d'esodo principali, di dispositivi di allarme ottici ed acustici, di rivelatori puntiformi indirizzati e di una centralina di controllo e allarme, con invio e ricezione dei segnali di allarme.

L'intervento di ogni dispositivo (automatico o manuale) installato in uno dei piani dell'autorimessa sarà avvertibile anche nell'altro.

I dispositivi di segnalazione manuale per esaurire la funzione D saranno di Tipo A, ad azionamento diretto e in conformità alla norma UNI 9795.

L'installazione dovrà essere eseguita in modo tale che l'altezza del pulsante sia a circa 1,20 m dal pavimento, in posizione protetta da eventuali urti e danneggiamenti.

La posizione d'installazione dovrà essere inoltre vicina alle uscite di sicurezza e in maniera tale che almeno uno possa essere raggiungibile da ogni parte della zona stessa con un percorso non maggiore di 40 m.

Ogni impianto di rivelazione e/o pulsante di allarme manuale attiverà almeno un pannello ottico acustico (autoalimentato) posto nell'ambiente protetto/sorvegliato.

I rivelatori puntiformi saranno di tipo termovelocimetrico, idonei alle caratteristiche degli ambienti da sorvegliare, indirizzabili, a norma UNI EN 54-5; saranno installati nei box singoli e doppi e in tutti i depositi, ai sensi della norma UNI 9795.

Per il posizionamento dei dispositivi di rivelazione automatici e manuali vedasi la planimetria allegata.

L'impianto avrà un tempo di autonomia in stand-by di 24 ore, garantendo che anche in caso di interruzione dell'alimentazione principale, tutti i segnalatori di allarme rimangano operativi per almeno 30 minuti dalla loro attivazione attraverso la presenza di un'alimentazione di riserva.

I presidi antincendio devono essere indicati da segnaletica di sicurezza UNI EN ISO 7010.

### **CONTROLLO FUMI E CALORE (S.8 - V.6.5.7)**

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

In relazione alle risultanze della valutazione del rischio, si attribuisce ai compartimenti dell'attività il livello di prestazione II ovvero deve essere possibile smaltire fumi e calore dell'incendio dai compartimenti al fine di facilitare le operazioni delle squadre di soccorso e pertanto sarà adottata una *soluzione conforme*.

Nel caso delle autorimesse, con la presenza della RTV V.6, la misura controllo fumi e calore è disciplinata al paragrafo V.6.5.7 e nello specifico prevede che:

1. Ciascuna apertura di smaltimento deve avere superficie utile minima commisurata alla superficie lorda del compartimento e, comunque, non inferiore a 0,2 m<sup>2</sup>.
2. Almeno il 10% di SE deve essere di tipo SEa, SEb o SEc. L'uniforme distribuzione di tali aperture di smaltimento può essere verificata con  $R_{\text{offset}} = 30$  m.
3. Nel caso di autorimesse con aperture esclusivamente di tipo SEa ed aventi altezza media  $h_m$  dei locali non inferiore a 3,50 m,  $R_{\text{offset}}$  può essere calcolato con la formula:  
$$R_{\text{offset}} = 30 + 10 \cdot (h_m - 3,50) \text{ [m]}, \text{ con } h_m \leq 5 \text{ m}$$
4. Se previsto, si considera soluzione conforme uno SVOF progettato ed installato in conformità al *Technical Specification prCEN/TS 12101-11* o equivalente.
5. 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.

In merito alle prescrizioni di cui al paragrafo S.8.4.1, inerente alle soluzioni conformi per il livello di prestazione II, deve essere prevista la possibilità di effettuare lo smaltimento di fumo e calore d'emergenza secondo quanto indicato al paragrafo S.8.5.

A differenza dei SEFC, lo smaltimento di fumo e calore d'emergenza non ha la funzione di creare un adeguato strato libero dai fumi durante lo sviluppo dell'incendio, ma solo quello

di facilitare l'opera di estinzione dei soccorritori.

Lo smaltimento di fumo e calore d'emergenza può essere realizzato per mezzo di aperture di smaltimento dei prodotti della combustione verso l'esterno dell'autorimessa.

Secondo le prescrizioni del par. S.8.5.1 le aperture di smaltimento devono essere realizzate in modo che sia possibile smaltire fumo e calore da tutti gli ambiti del compartimento e che fumo e calore smaltiti non interferiscano con il sistema delle vie d'esodo, non propaghino l'incendio verso altri locali, piani o compartimenti.

Le aperture di smaltimento devono essere salvaguardate da possibili ostruzioni accidentali durante l'esercizio dell'attività includendo nella GSA una procedura che preveda la verifica periodica per garantire che tali aperture non siano mai ostruite.

Nell'autorimessa sono presenti aperture di smaltimento, in entrambi i piani, dotate di griglie di aerazione del tipo SEa come da tabella S.8-4, ovvero permanentemente aperte, indipendenti per ciascun piano e poste al piano terra con affaccio sul cortile condominiale. La superficie utile minima complessiva SE delle aperture di smaltimento è calcolata in funzione del carico d'incendio  $q_f$  specifico, come indicato nel paragrafo S.8.5.2 comma 1, ed è pari ad una frazione della superficie lorda di ciascun piano del compartimento.

Poiché il valore del carico d'incendio specifico determinato calcolato è inferiore a 600 MJ/m<sup>2</sup> per tutti i compartimenti ad eccezione dei depositi (aree TM2), la superficie delle aperture di smaltimento, in funzione della tabella S.8-5 deve almeno risultare pari a:

- Autorimessa 1° piano interrato (TA):  $SE_1 = 1345/40 = 33,63 \text{ m}^2$
- Deposito S1\_49 (TM2):  $SE_2 = 178*875/40000 + 178/100 = 5,68 \text{ m}^2$
- Deposito S1\_47 (TM2):  $SE_2 = 98*875/40000 + 98/100 = 3,13 \text{ m}^2$
- Deposito S1\_46 (TM2):  $SE_2 = 98*875/40000 + 98/100 = 3,13 \text{ m}^2$
- Deposito S1\_45 (TM2):  $SE_2 = 143*875/40000 + 143/100 = 4,57 \text{ m}^2$
- Deposito S1\_44 (TM2):  $SE_2 = 112*875/40000 + 112/100 = 3,57 \text{ m}^2$
- Deposito S1\_40 (TM2):  $SE_2 = 168*875/40000 + 168/100 = 5,36 \text{ m}^2$
- Deposito S1\_37 (TM2):  $SE_2 = 106*875/40000 + 106/100 = 3,38 \text{ m}^2$
- Deposito S1\_34 (TM2):  $SE_2 = 106*875/40000 + 106/100 = 1,28 \text{ m}^2$
- Autorimessa 2° piano interrato (TA):  $SE_1 = 1811/40 = 45,28 \text{ m}^2$
- Blocco cantina DI LEA\_A (TM2):  $SE_1 = 81/40 = 2,03 \text{ m}^2$
- Blocco cantina DI LEA\_B (TM2):  $SE_1 = 84/40 = 2,10 \text{ m}^2$
- Blocco cantina DI LEA\_C (TM2):  $SE_1 = 81/40 = 2,03 \text{ m}^2$
- Blocco cantina ORIZZONTE\_A (TM2):  $SE_1 = 94/40 = 2,35 \text{ m}^2$
- Blocco cantina ORIZZONTE\_B (TM2):  $SE_1 = 160/40 = 4,00 \text{ m}^2$
- Blocco cantina ORIZZONTE\_C (TM2):  $SE_1 = 160/40 = 4,00 \text{ m}^2$
- Blocco cantina ORIZZONTE\_D (TM2):  $SE_1 = 166/40 = 4,15 \text{ m}^2$
- Blocco cantina ORIZZONTE\_E (TM2):  $SE_1 = 175/40 = 4,37 \text{ m}^2$



Come visibile in basso, le dimensioni delle aperture di smaltimento di fumo e calore d'emergenza presenti all'interno di entrambi i compartimenti (griglie di smaltimento fumi di tipo SEa) presentano superficie superiori alle dimensioni minime prescritte, di conseguenza lo smaltimento di fumi e calore risulta assicurato.

Si precisa che le dimensioni ottenute sono state ottenute sommando le aperture di aerazione esistenti nell'autorimessa, le stesse precedentemente riportate nel paragrafo "Ventilazione" al D.M.01/02/1986; tali superfici soddisfano il precedente decreto con un valore superiore ad 1/25 a maggior ragione vengono rispettate le prescrizioni del Codice.

Si precisa che i box contenenti le griglie di aerazione saranno dotati di basculanti aventi griglie di sezione almeno pari a quella della griglia affacciante all'interno del box.

Nei restanti box l'aerazione naturale sarà realizzata singolarmente per ciascuno, con almeno 1/100 di quella in pianta del box stesso (apertura sovrastante la porta metallica di dimensioni pari a 0,15 x 1,00 m per box singoli e 0,20 x 1,30 m per box doppi).

Tabella 30 - Superfici di smaltimento di tipo SEa previste

Piano -1	TA	Rampe di accesso Via Delleani e Via Ortigara	Superficie utile: = 49,45 m <sup>2</sup>
		Griglie di aerazione su corsia di manovra	Superficie utile: = 27,74 m <sup>2</sup>
		Serramenti box S1_43,S1_42,S1_41	Superficie utile: = 10,00 m <sup>2</sup>
		Intercapedini	Superficie utile: = 0,98 m <sup>2</sup>
	TM2	Serramenti deposito S1_49	Superficie utile: = 6,10 m <sup>2</sup>
		Serramenti deposito S1_47	Superficie utile: = 3,25 m <sup>2</sup>
		Serramenti deposito S1_46	Superficie utile: = 5,24 m <sup>2</sup>
		Serramenti deposito S1_45	Superficie utile: = 9,10 m <sup>2</sup>
		Serramenti deposito S1_44	Superficie utile: = 7,80 m <sup>2</sup>
		Serramenti deposito S1_40	Superficie utile: = 6,50 m <sup>2</sup>
		Serramenti deposito S1_37	Superficie utile: = 4,64 m <sup>2</sup>
Serramenti deposito S1_34	Superficie utile: = 2,47 m <sup>2</sup>		
Piano -2	TA	Rampe di accesso "aperta" e Via Ortigara	Superficie utile: = 20,04 m <sup>2</sup>
		Griglie di aerazione su spazio scoperto	Superficie utile: = 21,84 m <sup>2</sup>
		Serramenti box	Superficie utile: = 18,12 m <sup>2</sup>
		Intercapedini	Superficie utile: = 14,31 m <sup>2</sup>
	TM2	Serramenti cantina DI LEA_A	Superficie utile: = 2,10 m <sup>2</sup>
		Serramenti cantina DI LEA_B	Superficie utile: = 2,10 m <sup>2</sup>
		Serramenti cantina DI LEA_C	Superficie utile: = 4,00 m <sup>2</sup>
		Serramenti cantina ORIZZONTE_A	Superficie utile: = 4,20 m <sup>2</sup>
		Serramenti cantina ORIZZONTE_B	Superficie utile: = 7,06 m <sup>2</sup>
		Serramenti cantina ORIZZONTE_C	Superficie utile: = 4,06 m <sup>2</sup>
		Serramenti cantina ORIZZONTE_D	Superficie utile: = 4,20 m <sup>2</sup>
		Serramenti cantina ORIZZONTE_E	Superficie utile: = 4,69 m <sup>2</sup>

Le aperture di smaltimento dovrebbero essere disposte in modo uniforme nella parte superiore di tutti i locali, seconde le indicazioni del paragrafo S.8.5.3. Questa disposizione mira ad agevolare il processo di smaltimento dei fumi caldi dai vari compartimenti.

Per garantire un'adeguata distribuzione in pianta, si impone che l'intero compartimento sia completamente coperto dalle aree di influenza delle relative aperture di smaltimento.

In questa valutazione, viene utilizzato un raggio di influenza  $R_{offset}$  di 30 metri.

L'esame degli elaborati grafici conferma che la distribuzione delle aperture di smaltimento è regolare lungo le pareti perimetrali dell'autorimessa e al centro delle corsie di manovra, soddisfacendo quindi i requisiti richiesti.

### **OPERATIVITÀ ANTINCENDIO (S.9)**

L'operatività antincendio ha lo scopo di agevolare l'efficace conduzione di interventi di soccorso dei Vigili del fuoco in tutte le attività.

In relazione alle risultanze della valutazione del rischio, si attribuisce ai compartimenti dell'attività il livello di prestazione III pertanto, attraverso una *soluzione conforme*, sarà garantita l'accessibilità dalla pubblica via per i mezzi di soccorso antincendio, la pronta disponibilità di agenti estinguenti e la possibilità di controllare o arrestare gli impianti tecnologici e di servizio dell'attività, compresi gli impianti di sicurezza.

Il secondo piano dell'attività, infatti, non rientra nelle quote previste dal livello di prestazione precedente (comprese tra i -5 e i 12 m).

A tal riguardo, la RTV V.6 non fornisce alcuna ulteriore specifica prescrizione.

In virtù delle prescrizioni di cui al par. S.9.4.2, inerente alle soluzioni conformi per il livello di prestazione III, deve 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.

Il progettista può impiegare i criteri di cui alla tab. S.9-5, quali parametri di riferimento per l'accesso dei mezzi dei Vigili del fuoco.

Nel caso in esame sono stati verificati tutti i criteri richiesti nella tab. S.9-5, ovvero i requisiti minimi di accesso all'attività da pubblica via per i mezzi di soccorso:

- larghezza: 3,50 m;
- altezza libera: 4,00 m;
- raggio di volta: 13,00 m;
- pendenza:  $\leq 10\%$ ;
- resistenza al carico: almeno 20 tonnellate, di cui 8 sull'asse anteriore e 12 sull'asse posteriore con passo 4 m.

Inoltre, deve essere disponibile almeno un idrante, derivato dalla rete interna oppure collegato alla rete pubblica, raggiungibile con un percorso massimo di 500 m dai confini dell'attività; tale idrante deve assicurare un'erogazione minima di 300 litri/min per una durata  $\geq 60$  minuti.

I sistemi di controllo e comando dei servizi di sicurezza destinati a funzionare in caso di incendio (es. degli IRAI) devono essere ubicati in posizione segnalata e facilmente raggiungibile durante l'incendio.

Gli organi di intercettazione, controllo, arresto e manovra degli impianti tecnologici e di processo al servizio dell'attività rilevanti ai fini dell'incendio (es. l'impianto elettrico)

devono essere ubicati in posizione segnalata e facilmente raggiungibile durante l'incendio. La posizione e le logiche di funzionamento devono essere considerate nella gestione della sicurezza antincendio anche ai fini di agevolare l'operato delle squadre dei Vigili del fuoco. Tutti i requisiti vengono rispettati in quanto l'attività si affianca a tre pubbliche vie dove possono sostare i mezzi dei Vigili del Fuoco.

Inoltre, i quadri elettrici e i pulsanti di sgancio sono posti in posizioni strategiche, protette e facilmente raggiungibili.

La loro posizione, così come quella dell'attacco autopompa previsto, può essere visionata negli elaborati grafici.

### **SICUREZZA IMPIANTI TECNOLOGICI E DI SERVIZIO (S.10 - V.6.5.8)**

Sono presenti i seguenti impianti tecnologici e di servizio rilevanti ai fini della sicurezza antincendio:

- distribuzione, trasporto e utilizzazione dell'energia elettrica;
- protezione contro le scariche atmosferiche;
- sollevamento o trasporto di cose e persone;

Per tali impianti viene garantito il livello di prestazione I previsto al paragrafo S.10.2 pertanto, adottando una *soluzione conforme* e viste le indicazioni contenute nel paragrafo S.10.4.1, essi saranno progettati, realizzati, eserciti e mantenuti in efficienza secondo la regola d'arte, in conformità alla regolamentazione vigente, con requisiti di sicurezza antincendio specifici, al fine di conseguire gli obiettivi di sicurezza antincendio enunciati al paragrafo S.10.5 ed essere altresì conformi alle prescrizioni tecniche riportate al par. S.10.6 per la specifica tipologia dell'impianto.

Tali impianti saranno realizzati in modo da limitare la probabilità che possano costituire causa o propagazione d'incendio all'interno degli ambiti in cui sono installati ed a quelli contigui; essi consentiranno altresì agli occupanti di lasciare gli ambienti e alle squadre di soccorso di poter operare in condizioni di sicurezza.

La RTV V.6 fornisce alcune indicazioni riguardanti le autorimesse con accesso tramite montauto. Tale soluzione tecnologica non è presente nell'autorimessa oggetto di studio, pertanto, si è considerata la sola RTO.

Considerati gli impianti presenti nell'autorimessa, gli elementi da valutare attraverso un'analisi del rischio sono quelli riferiti al paragrafo S.10.6.1 (impianti per la produzione, trasformazione, trasporto, distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica), S.10.6.4 (protezione contro le scariche atmosferiche) e S.10.6.5. (impianti di sollevamento e trasporto di cose e persone).

Tutti gli impianti elettrici saranno realizzati in conformità alle norme CEI vigenti ed applicabili e dotati di regolare dichiarazione di conformità (D. M 22 gennaio 2008, n. 37).

Tutti gli impianti tecnologici e di servizio saranno disattivabili e la relativa manovra potrà

effettuarsi da posizioni segnalate, protette dall'incendio e facilmente raggiungibili, che saranno descritte nel piano di emergenza.

In particolare, l'impianto elettrico sarà dotato di un pulsante di sgancio generale posto in corrispondenza dell'ingresso principale di via Delleani, in posizione segnalata, in modo da non costituire pericolo durante le operazioni di estinzione dell'incendio di messa in sicurezza dell'attività.

I sistemi di protezione attiva antincendio (IRAI) e l'illuminazione di sicurezza saranno dotati di alimentazione elettrica di sicurezza con autonomia pari a 30 min, congrua con il tempo disponibile per l'esodo dall'attività, ad interruzione breve (interruzione di durata  $t \leq 0,5$  s) per l'impianto di illuminazione di sicurezza e l'IRAI.

Gli impianti elettrici saranno suddivisi in più circuiti terminali e i dispositivi di protezione ne garantiranno la corretta selettività.

Il quadro elettrico generale sarà ubicato in posizione segnalata e protetta.

I circuiti di sicurezza saranno chiaramente identificati; su ciascun dispositivo di protezione del circuito o impianto elettrico di sicurezza sarà apposto un segnale riportante la dicitura "Non manovrare in caso d'incendio", come indicato al paragrafo S.10.6.1 comma 7.

Per quanto riguarda l'impianto di illuminazione di sicurezza saranno presenti singole lampade, o gruppi di lampade, con alimentazione autonoma a, in grado di garantire l'esodo ordinato da parte degli occupanti.

Il dispositivo di carica degli accumulatori sarà di tipo automatico e consentirà la ricarica completa degli stessi entro 12 h.

Le costruzioni elettriche saranno realizzate tenendo conto della classificazione del rischio elettrico dei luoghi di installazione, utilizzando cavi a bassa emissione di fumi, gas acidi e corrosivi. Tutti gli impianti saranno dotati di regolare sistema di messa a terra.

Tutti gli impianti saranno corredati di progetto esecutivo, schemi unifilari e dichiarazioni di conformità alla regola dell'arte.

Per l'autorimessa deve essere eseguita una valutazione del rischio dovuto ai fulmini.

Sulla base dei risultati di tale valutazione, gli impianti di protezione contro le scariche atmosferiche dovranno essere realizzati nel rispetto delle relative norme tecniche; nello specifico si dovrà far riferimento alla norma CEI EN 62305-2 per verificare che la struttura sia protetta contro le fulminazioni.

All'interno dell'autorimessa sono presenti otto vani corsa degli ascensori situati all'interno dei vani scala.

Tali impianti di sollevamento, non specificatamente progettati per funzionare in caso di incendio, dovranno essere dotati di accorgimenti gestionali, organizzativi e tecnici che ne impediscano l'utilizzo in caso di emergenza.

L'analisi degli ascensori secondo la RTV V.3 sarà condotta di seguito.

Ai fini dell'applicazione della RTV V.3. i vani degli ascensori in esame sono classificati di tipo SC, vano a prova di fumo.

Tutti gli ascensori installati risponderanno alle prescrizioni di cui al par. V.3.3.3; in particolare pareti, porte di accesso, setti di separazione e intelaiatura di sostegno della cabina saranno costituiti da materiali appartenenti al gruppo GMO di reazione al fuoco.

La classe minima di resistenza al fuoco dei vani ascensore sarà pari a REI 90, in accordo alle classi dei compartimenti serviti.

Le pareti, il pavimento e il tetto della cabina devono essere costituiti da materiali appartenenti al gruppo GM2 di reazione al fuoco. Il vano degli ascensori di tipo SC sarà inserito in un vano scale a prova di fumo proveniente dall'attività.

Per i vani degli ascensori deve essere soddisfatto il livello di prestazione II della misura controllo di fumi e calore; a tal fine, sulla sommità dei vani ascensore sarà prevista una apertura di smaltimento di fumo e calore in emergenza.

In caso di incendio, gli ascensori, essendo a servizio dei compartimenti protetti da IRAI, saranno programmati in modo da essere portati al piano di riferimento principale (piano terra) e successivamente arrestati. Inoltre, in tale evenienza, l'utilizzo degli ascensori è vietato; saranno installati appositi segnali di divieto in corrispondenza dello sbarco ai piani, in posizione facilmente visibile attraverso cartelli UNI EN ISO 7010:2012 - P020.

Tabella 31 - Risultanze delle misure costituenti la strategia antincendio

Misura Antincendio	Livello di prestazione richiesto	Livello di prestazione previsto	Tipologia di soluzione
S.1 Reazione al fuoco	II	II	Conforme
S.2 Resistenza al fuoco	III	III	Conforme
S.3 Compartimentazione	II	II	Conforme
S.4 Esodo	I	I	Conforme
S.5 Gestione sicurezza antincendio	I	I	Conforme
S.6 Controllo dell'incendio	IV	III	Alternativa
S.7 Rivelazione ed allarme	II (per le aree TA)	III	Conforme
	III (per le aree TM2)	III	
S.8 Controllo fumi e calore	II	II	Conforme
S.9 Operatività antincendio	III	III	Conforme
S.10 Sicurezza impianti tecnologici	I	I	Conforme

## 4.5 Differenze e criticità normative

Nonostante il mantenimento del decreto ministeriale tradizionale per oltre trent'anni, si sono manifestate numerose criticità e problematiche nel tempo, non sempre risolte da un vasto numero di quesiti interpretativi e circolari esplicative. Questo ha portato, fino alla sua abrogazione, a un frequente ricorso alla procedura di deroga per superare le prescrizioni rigide del decreto, spesso relative ad aspetti di scarsa o nessuna rilevanza ai fini antincendio. Questa procedura è stata utilizzata anche per progetti di nuove attività, con un sovraccarico del lavoro delle Direzioni Regionali VV.F. e un allungamento dei tempi di risposta dei procedimenti decisionali. Infatti, anche nel caso studio analizzato in questo elaborato, è stata seguita tale procedura.

Segue un quadro riassuntivo e schematico delle criticità e differenze nell'applicazione della normativa precedente al Codice, il D.M. 01/02/1986 e il Codice stesso con le prescrizioni contenute nella RTV V.6 del D.M. 15/05/2020, in relazione alla progettazione antincendio dell'autorimessa esaminata:

- Al D.M. 1986 disposizioni e definizioni espresse in modo poco chiaro, come la stessa definizione di autorimessa e assenza di definizioni sulle aeree pertinenti; al Codice suddivisione dell'autorimessa in base a tipologia, superficie e altezza e chiara distinzione di tutti i possibili locali pertinenti potenzialmente presenti.
- Al D.M. 1986 presenza di disposizioni non strettamente attinenti con i temi della sicurezza antincendio come le indicazioni progettuali relative alle caratteristiche geometriche e funzionali quali la larghezza minima delle rampe, la loro pendenza massima, la larghezza dei corselli e la superficie di parcheggio degli autoveicoli.
- Al D.M. 1986 assenza di qualsiasi disposizione e indicazione prescrittiva in relazione alla reazione al fuoco dei materiali; al Codice diversificazione della stessa in funzione dell'area di appartenenza.
- Il D.M. 1986, in relazione alla resistenza al fuoco delle strutture portanti e separanti, prescrive valori altamente prestazionali e in contraddizione tra loro (i solai REI180 possono essere sorretti da una struttura portante R90); al contrario, nel Codice viene richiesto un livello di prestazione più adeguato in relazione al carico d'incendio previsto. Ciò si riflette nel fatto che con il Codice si è ottenuta una classe di resistenza al fuoco pari a REI90, con il primo una classe pari a REI120.
- Al D.M. 1986 è prevista una realizzazione di compartimenti antincendio generalmente ridotti, tranne rari casi (autorimesse aperte, isolate, fuori terra), con conseguente riduzione di funzionalità e attrattiva dell'autorimessa; al contrario, nel Codice, la superficie lorda dei compartimenti inclusi nell'autorimessa è stata aumentata da un valore di 2500 m<sup>2</sup>, come previsto nella legislazione tradizionale, ad

un valore di 4000 m<sup>2</sup>, consentendo una maggiore flessibilità e funzionalità nell'organizzazione degli spazi.

- Al D.M. 1986, viene prescritta una densità di affollamento molto elevata per le autorimesse non sorvegliate (0,1 persone/m<sup>2</sup>), che porta a una capacità di affollamento di 378 persone; al contrario, il Codice prevede una densità di affollamento di una persona per veicolo parchato nelle autorimesse ad uso privato, risultando in una capacità di affollamento di 118 persone, sensibilmente inferiore, quasi del 65%, rispetto a quella determinata secondo la metodologia tradizionale. Inoltre, il Codice, abbandonando la metodologia dei moduli e delle capacità di deflusso, amplia le lunghezze d'esodo consentendo valori fino a 60 m, rispetto ai 40 m prescritti dalla legislazione precedente.
- Nel D.M. 1986 si richiede l'installazione di un impianto di spegnimento automatico solo oltre il secondo piano interrato; nel Codice questa prescrizione è relativa all'area del compartimento e alla sua quota di calpestio, come applicato al caso studio esaminato.
- Al D.M. 1986 assenza di qualsiasi disposizione e indicazione prescrittiva in relazione alla rivelazione e allarme dell'incendio; al Codice diversificazione della stessa in funzione del carico d'incendio e profilo di rischio vita del compartimento esaminato.
- Il D.M. 1986 richiede aperture di aerazione naturale con superfici molto elevate, corrispondenti a 1/25 della superficie del compartimento. Tuttavia, non chiarisce se queste aperture siano destinate allo smaltimento del fumo in caso di incendio o dei gas di scarico delle vetture in manovra, o entrambi; in contrasto, il Codice richiede aperture di aerazione naturale con superfici decisamente inferiori, pari a 1/40 della superficie del compartimento.
- Al D.M. 1986 assenza di qualsiasi disposizione e indicazione prescrittiva in relazione all'operatività antincendio a differenza del Codice.

In conclusione, il Codice di prevenzioni incendi ed in particolare la RTV V.6 di cui al D.M. 15/05/2020, si presenta come un quadro normativo più completo e pertinente agli obiettivi di sicurezza antincendio. Le disposizioni contenute sono più dettagliate e mirate, offrendo una maggiore chiarezza e aderenza alle reali esigenze di prevenzione.

Pur richiedendo un impegno maggiore in fase di progettazione, le sue misure offrono un equilibrio più bilanciato tra costi e benefici, garantendo una maggiore flessibilità e adattabilità alla valutazione del rischio specifico di ogni contesto.

La transizione normativa ha portato una serie di miglioramenti e aggiornamenti che contribuiscono a rafforzare la sicurezza antincendio nelle autorimesse, integrando nuovi standard, tecnologie al passo con la loro evoluzione e le esperienze accumulate nel settore. Inoltre, la possibilità di presentare soluzioni alternative attraverso i metodi

#### *4 - Il caso studio*

---

dell'ingegneria antincendio ha ridotto la necessità di ricorrere frequentemente al procedimento di deroga, alleggerendo il carico di lavoro delle Direzioni Regionali VV.F e semplificando i processi decisionali.



## **5 Fire Safety Engineering**

### **Soluzione alternativa**

Con il presente capitolo, si mira a verificare se sia effettivamente necessaria la presenza di un impianto di spegnimento automatico nell'attività di autorimessa. Attraverso i metodi dell'ingegneria antincendio, si definiranno gli obiettivi e le soglie di prestazione al fine di adottare una soluzione alternativa. Saranno analizzate cinque diverse ipotesi di potenziali scenari d'incendio di progetto all'interno dell'attività. Questo sarà seguito da una dettagliata simulazione degli incendi mediante un modello geometrico appropriato e l'applicazione di un'adeguata curva RHR (Rate of Heat Release). Sarà quindi effettuata una simulazione d'esodo, considerando il profilo degli occupanti e il loro comportamento in situazioni di pericolo. Infine, i risultati saranno descritti e valutati in conformità con la metodologia illustrata nel capitolo M.3 del Codice di prevenzione incendi e qui riportata.

#### **5.1 Analisi preliminare**

Come già anticipato in precedenza, in questa prima fase vengono formalizzati i passaggi che conducono all'individuazione delle condizioni più rappresentative del rischio al quale l'attività è esposta e quali sono le soglie di prestazione a cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire.

Si ricorda che si adotta una soluzione alternativa per quanto riguarda la misura antincendio S.6 (Controllo dell'incendio), con l'obiettivo di dimostrare che gli standard di sicurezza antincendio possono essere soddisfatti anche senza l'installazione di un impianto di spegnimento automatico all'interno della struttura. Questa decisione è motivata dal costo elevato di installazione e gestione dell'impianto sprinkler, che i condomini non vogliono assumersi, e per l'esiguo dislivello per cui non si rientra in classificazione HB (60cm) per il quale non ve ne sarebbe necessità.

Come citato al comma 2 del paragrafo S.6.4.5 al fine di dimostrare il raggiungimento del livello di prestazione III della misura S.6, il progettista deve impiegare uno dei metodi del paragrafo G.2.7; tra questi è ivi presente l'ingegneria della sicurezza antincendio ora proposta.

L'obiettivo individuato come più coerente e a favore di sicurezza con la progettazione è quello della *salvaguardia della vita dei soccorritori*; con l'intento di facilitare le operazioni delle squadre di soccorso si cercherà di garantire la loro accessibilità protetta a tutti i piani dell'attività e la disponibilità in prossimità di attrezzature e dispositivi di protezione antincendio.

La dimostrazione della salvaguardia della vita dei soccorritori sarà il fulcro della valutazione; tuttavia, si presterà particolare attenzione affinché le condizioni iniziali delle simulazioni non siano sfavorevoli durante il primo stadio dell'esodo degli occupanti. Infatti, gli stessi non dovranno comunque essere esposti a condizioni incapacitanti per riduzione della visibilità, esposizione a fiamme libere o a temperature elevate e intossicazione da fumi e gas tossici. Essa sarà possibile, per il modello esaminato, attraverso l'utilizzo del criterio  $ASET > RSET$ , con il quale si dimostrerà che, nello scenario d'incendio considerato, il tempo disponibile per gli occupanti, prima che si creino condizioni incapacitanti, è superiore, con un certo margine di sicurezza, al tempo richiesto agli occupanti stessi per uscire in sicurezza dal compartimento di primo innesco.

La tabella M.2-1 del Codice stabilisce che gli scenari di incendio di progetto devono essere pianificati in modo tale da coprire un periodo che va dall'innesco dell'incendio fino a 5 minuti dopo il completamento delle operazioni di soccorso, nel caso in cui i soccorritori siano presenti, o fino all'arrivo delle squadre dei Vigili del Fuoco, se previsto.

Tabella 32 - Tab. M.2-1: Durata minima degli scenari d'incendio di progetto

Obiettivo di sicurezza antincendio	Durata minima degli scenari di incendio di progetto
Salvaguardia della vita degli occupanti	Dall'evento iniziatore fino al momento in cui tutti gli occupanti dell'attività raggiungono o permangono in un luogo sicuro. Se il luogo sicuro è prossimo o interno all'opera da costruzione, devono essere valutate eventuali interazioni tra il mantenimento della capacità portante dell'opera da costruzione ed il luogo sicuro.
Salvaguardia della vita dei soccorritori	Dall'evento iniziatore fino a 5 minuti dopo il termine delle operazioni previste per i soccorritori o l'arrivo delle squadre dei Vigili del fuoco presso l'attività. Il tempo di riferimento per l'arrivo dei Vigili del fuoco può essere assunto pari alla media dei tempi d'arrivo desunti dall' <i>Annuario statistico dei Vigili del fuoco</i> ( <a href="http://www.vigilfuoco.it">http://www.vigilfuoco.it</a> ), considerando i dati dell'ultimo anno disponibile, riferiti all'ambito provinciale.
Mantenimento della capacità portante in caso d'incendio	Dall'evento iniziatore fino all'arresto dell'analisi strutturale, in fase di raffreddamento, al momento in cui gli effetti dell'incendio sono ritenuti non significativi in termini di variazione temporale delle caratteristiche della sollecitazione e degli spostamenti

## 5.1 - Analisi preliminare

Poiché l'autorimessa non è considerata un luogo di lavoro con personale addestrato per rispondere alle emergenze, si è stabilito che il termine degli scenari sia fissato all'arrivo delle squadre dei Vigili del Fuoco. Questa decisione è stata presa seguendo le indicazioni del Codice, che consiglia di basarsi sull'Annuario statistico dei Vigili del Fuoco, utilizzando i dati relativi all'ultimo anno disponibile (nel nostro caso, il 2023), specificatamente riferiti all'ambito provinciale in questione.

Dall'Annuario statistico dei Vigili del fuoco 2023 (dati riferiti all'anno 2022), considerando i dati dell'ultimo anno disponibile e la provincia di appartenenza del progetto ovvero Torino, si ottiene un valore di 18,6 minuti.

A questi, bisogna aggiungere i 5 minuti di cui parla il Codice alla tabella M.2-1.

Si ottiene quindi un valore pari a 23,6 minuti come fine ultimo degli scenari di incendio di progetto; trasformando questo valore in secondi, tutti gli scenari di incendio di progetto avranno una durata pari a 1416 secondi.

Tabella 33 - Tempi di riferimento per l'arrivo dei VV.F da Annuario statistico 2023

Regione	Provincia	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 % (***)
MOLISE	CAMPOBASSO	18,9	18,1	4,5%	-1,8%	49,4	50,6	-2,3%	-22,6%
	ISERNIA	20,1	17,6	14,0%	7,7%	55,0	49,3	11,5%	4,6%
PIEMONTE	ALESSANDRIA	14,0	13,7	2,3%	2,0%	37,2	36,5	2,1%	0,0%
	ASTI	14,1	14,3	-0,9%	-6,7%	48,2	41,0	17,6%	4,4%
	BIELLA	16,2	15,6	3,5%	2,2%	61,0	60,8	0,3%	1,2%
	CUNEO	17,2	16,0	7,1%	3,5%	49,4	53,3	-7,4%	-2,7%
	NOVARA	16,3	16,7	-2,4%	-1,3%	47,0	44,5	5,6%	3,0%
	TORINO	18,6	18,4	1,3%	1,2%	45,9	49,3	-7,1%	-9,4%
	VERBANO-C. O.	18,4	16,3	12,8%	10,5%	63,8	51,4	24,2%	0,6%
	VERCELLI	15,6	14,5	7,2%	4,9%	45,9	45,7	0,5%	-2,2%

Una volta scelto l'obiettivo e definita la durata degli scenari d'incendio di progetto, il passo successivo è stato quello di tradurlo in soglie prestazionali, ovvero soglie di tipo quantitativo e qualitativo, in modo tale da rendere quantitativi gli effetti termici sulle strutture, la propagazione dell'incendio, i danni agli occupanti, ai beni ed all'ambiente.

Si tratta delle soglie impiegate per definire il momento in cui gli occupanti esposti al fuoco ed ai suoi effetti si trovano in condizioni incapacitanti per l'esodo in sicurezza.

Per definizione, gli occupanti raggiungono l'incapacità quando diventano inabili a mettersi al sicuro autonomamente; a tale condizione segue, in breve tempo, il decesso del soggetto. Alla pagina successiva si riportano le soglie di prestazione riferite al metodo di calcolo avanzato, adottato in tale elaborato.

La norma ISO 13571 è il riferimento per il calcolo del valore di ASET, definito come il piccolo minore di quelli calcolati secondo i quattro modelli.

Tabella 34 - Tab. M.3-2: Soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscureamento 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.

Si individuano quindi le seguenti soglie di prestazione in accordo al paragrafo M.3.5 al D.M 03/08/2015 e in riferimento alla ISO 13571:2012 :

- Visibilità minima → Occupanti: 10 m; Soccorritori: 5 m.
- Gas Tossici, FED → Occupanti: 0,1; Soccorritori: nessuna valutazione.
- Temperatura massima di esposizione → Occupanti: 60°C; Soccorritori: 80°C.
- Irraggiamento termico massimo → Occupanti: 2,5 kW/m<sup>2</sup>; Soccorritori: 3 kW/m<sup>2</sup>.

Come più avanti descritto, nel caso in esame, il parametro che maggiormente necessita particolari attenzione sarà quello relativo alla visibilità.

Prima di riportare gli scenari d'incendio di progetto esaminati è utile richiamare in breve la metodologia ASET > RSET.

## 5.2 Definizione dei valori di ASET e RSET

Idealmente, la progettazione di un sistema di evacuazione dovrebbe garantire agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro o di rimanervi, senza mai essere esposti agli effetti diretti dell'incendio. Tuttavia, vi sono circostanze in cui questo requisito non può essere completamente soddisfatto, soprattutto per gli occupanti presenti nel compartimento in cui ha avuto origine l'incendio.

Per affrontare questa problematica nella progettazione prestazionale del sistema d'esodo, vengono calcolati e confrontati due intervalli di tempo cruciali: ASET ed RSET.

L'ASET (Available Safe Escape Time) rappresenta il tempo disponibile per l'evacuazione, ovvero l'intervallo di tempo calcolato tra l'insacco dell'incendio e il momento in cui le condizioni ambientali nell'edificio diventano tali da mettere gli occupanti in pericolo, impedendo loro di raggiungere o rimanere in un luogo sicuro.

Il calcolo dell'ASET richiede la stima delle concentrazioni di prodotti tossici, delle temperature e delle densità del fumo negli ambienti dopo l'insacco dell'incendio, nonché la loro evoluzione nel tempo. La norma ISO 13571 rappresenta il riferimento più autorevole per questo tipo di calcolo. Nel contesto di questa progettazione, l'ASET globale è definito come il valore minimo tra gli ASET calcolati utilizzando quattro modelli differenti:

- modello dei gas tossici: impiega il concetto di dose di aria inalata (exposure dose) e di FED (fractional effective dose); la exposure dose è definita come la misura della dose di un gas tossico disponibile per inalazione mentre la FED è il rapporto tra questa exposure dose e la dose del gas tossico che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto.
- modello dei gas irritanti: impiega il concetto di FEC (Fractional effective concentration); la FEC è il rapporto tra la concentrazione di un gas irritante disponibile per inalazione e la concentrazione dello stesso gas che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto. La verifica di questo modello viene spesso omessa qualora negli scenari di incendio di progetto non siano identificati nel focolare materiali combustibili suscettibili di costituire specifica sorgente di gas irritanti.
- modello del calore: per semplificare il modello del calore si assumono due soglie di prestazione che corrisponderebbero ad un ASET oltre i 30 minuti per qualsiasi condizione di abbigliamento, ovvero un valore di irraggiamento sugli occupanti  $\leq 2,5$  kW/m<sup>2</sup> ed un valore di temperatura ambiente sugli occupanti  $\leq 60^{\circ}\text{C}$ .
- modello dell'oscuramento della visibilità da fumo: è basato sul concetto del minimo contrasto percettibile, cioè la minima differenza di luminosità visibile tra un oggetto e lo sfondo.

L'RSET (Required Safe Escape Time) è il tempo richiesto per l'esodo, ovvero il tempo che gli occupanti impiegano per uscire dal compartimento e raggiungere un luogo sicuro.

Anche RSET dipende dalle interazioni del sistema incendio-edificio-occupanti, ove la fuga degli occupanti è fortemente condizionata dalle geometrie dell'edificio ed è rallentata dagli effetti dell'incendio. Il documento di riferimento per il calcolo di RSET è la ISO/TR 16738. Il tempo di evacuazione RSET, come è possibile vedere nell'illustrazione M.3-1 successivamente riportata, risulta essere la somma di quattro contributi:

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

Nello specifico:

- $t_{det}$  : tempo di rilevazione (detection time), tempo che intercorre tra l'inizio del processo di combustione e la sua rilevazione tramite un sistema automatico o manuale; il suo valore varia in funzione delle caratteristiche degli impianti di rivelazione, se presenti, o della capacità delle persone di rilevare l'incendio e segnalarlo.
- $t_a$  : tempo di allarme generale (alarm time), tempo che intercorre tra l'inizio dell'incendio e la sua segnalazione tramite un sistema di allarme.
- $t_{pre}$  : tempo di pre-movimento (pre-movement time), tempo che intercorre dal momento in cui viene percepito l'allarme fino a quando la prima persona comincia a muoversi verso l'uscita; viene solitamente rappresentato come somma del tempo di riconoscimento e del tempo di risposta.
- $t_{tra}$  : tempo di uscita (travel time), tempo necessario alle persone per spostarsi dal posto in cui si trovano al luogo sicuro.

Il criterio per verificare se nello scenario di incendio il tempo in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti è superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro, consiste nella seguente disequazione:

$$ASET > RSET$$

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

$$t_{marg} = ASET - RSET$$

Nel processo di confronto tra varie soluzioni progettuali, il professionista antincendio cerca di massimizzare il margine di sicurezza  $t_{marg}$  in base alle supposizioni fatte, allo scopo di considerare l'incertezza nei calcoli di ASET e RSET.

In mancanza di valutazioni specifiche, si assume che il margine di sicurezza  $t_{marg}$  sia maggiore o uguale al 100% di RSET. Tuttavia, qualora si effettuino valutazioni specifiche sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale, è lecito considerare il margine di sicurezza come maggiore o uguale al 10% di RSET.

Indipendentemente da queste considerazioni, è imprescindibile che il margine di sicurezza sia sempre superiore o uguale a 30 secondi.

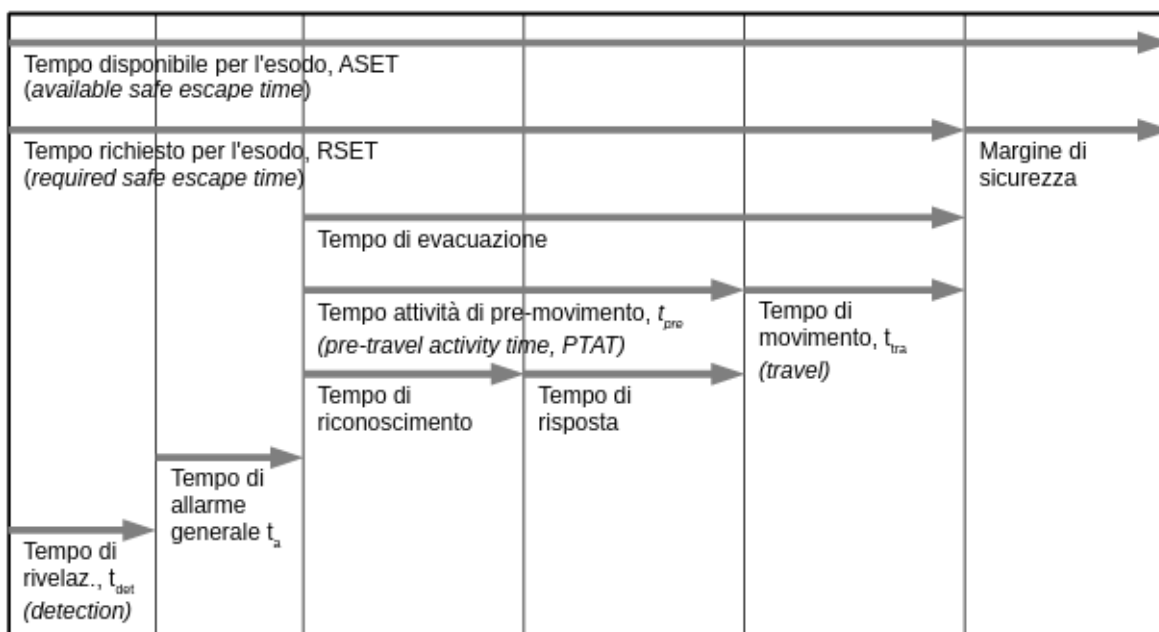


Figura 4 - Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET

### 5.3 Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

L'individuazione degli scenari d'incendio è fondamentale per la verifica del raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Nel capitolo M.2 al D.M. 03/08/2015 viene descritta la procedura di identificazione, selezione e quantificazione degli scenari di incendio che tiene conto di tre caratteristiche fondamentali quali la tipologia d'incendio, l'attività e gli occupanti.

Inizialmente, si elabora un elenco esaustivo dei possibili scenari, seguito da una selezione mirata al fine di ridurre il numero di potenziali scenari da considerare i quali non devono avere un livello di rischio inferiore a quelli esclusi. Questo processo di scrematura mira a semplificare l'analisi senza comprometterne la sicurezza.

Durante la selezione degli scenari, si presta particolare attenzione alle condizioni più estreme per quanto riguarda la propagazione e lo sviluppo delle fiamme, la conseguente sollecitazione strutturale e la sicurezza delle persone coinvolte.

Gli scenari successivamente identificati sono elencati tenendo conto della fase pre-flashover (punto di ignizione simultanea di tutti i materiali combustibili nell'ambiente), condizione rivolta proprio alla stima dei danni causati dall'incendio sugli occupanti poiché è la fase in cui vi è la formazione di strati di fumi e gas caldi che ne compromettono l'esodo.

Prima di elencare gli scenari ipotizzati è utile descrivere il processo di valutazione del rischio che ha evidenziato e individuato le principali cause scatenanti l'incendio.

Si specifica che gli scenari individuati escludono situazioni particolari e straordinarie come calamità naturali o principi di dolo; nel caso in cui si verificasse un evento straordinario sarà necessario effettuare analisi specifiche.

Innanzitutto, si è cercato di comprendere quale potesse essere il movente principale d'incendio nell'autorimessa per scremare all'origine i possibili multipli scenari ipotizzati.

Trattasi di autorimessa e, sebbene presenti locali pertinenti con diversa destinazione d'uso, viene facile dimostrare che ogni autovettura, a prescindere dal tipo di alimentazione, costituisce il principale fattore di incendio.

Le auto provocano degli incendi per varie motivazioni, la maggioranza dei quali può ricondursi a perdite di carburante e, a causa di cortocircuiti, all'incendio di cavi e batterie.

Le perdite di carburante possono essere causate dalle conseguenze di un incidente ovvero a causa di una riparazione dell'auto, eseguita in maniera errata o proprio per l'impatto dello stesso. Trattandosi di un'autorimessa interrata privata con spazi limitati e velocità generalmente moderate viene difficile ipotizzare che un incidente tra due autoveicoli nelle corsie di manovra abbia un tale impeto da originare un innesco; per tale motivazione questa ipotesi non è stata considerata.

Fatti salvi gli eventi dolosi, la causa di un incendio di un'autovettura parcheggiata è quasi sempre riconducibile a quella elettrica. Così come riportato al capitolo 3 della presente relazione, la causa elettrica è la principale causa d'innesco così come avvalorato dalle indicazioni statistiche (Tab. n.2 tratta da *Annuario Statistico del C.N.VV.F 2023*).

Le principali cause elettriche che possono scatenare un incendio in un'automobile comprendono cortocircuiti o sovraccarichi elettrici, malfunzionamenti del sistema di ricarica della batteria, guasti nei circuiti di illuminazione, difetti nei sistemi di riscaldamento e condizionamento dell'aria, problemi nei sistemi di gestione del motore, come cavi o connettori danneggiati, usura o danni ai componenti elettrici nel vano motore o nel cruscotto, e surriscaldamento dei componenti elettrici dovuto a un utilizzo prolungato o a un'installazione non corretta.

Se la batteria dell'auto mostra un calo di tensione, come evidenziato da un avvio rallentato del motore, ciò potrebbe indicare la presenza di anomali assorbimenti. In presenza di un fondato sospetto di danni potenziali alla batteria, è essenziale isolare immediatamente l'automobile. Nei principali scenari ipotizzati e potenzialmente più probabili il guasto elettrico della batteria sarà il movente principe dell'innesco.

Tuttavia, è necessario distinguere il comportamento in caso d'incendio dell'autoveicolo in funzione della sua alimentazione.

All'interno dell'autorimessa e fino a nuova segnalazione dei responsabili dell'attività non sono presenti wallbox di ricarica degli autoveicoli elettrici (EV); ciò non esclude la possibile



presenza di veicoli full electric, ibridi o alimentati a combustibili quali GPL (Gas di Petrolio Liquefatto) e GNC (Gas Naturale Compresso, metano CH<sub>4</sub>).

L'unica tipologia di veicolo non considerato ai fini della valutazione del rischio è quello alimentato ad idrogeno, poiché non ancora commercializzato in territorio italiano.

In un'autorimessa, se si prevede di lasciare parcheggiata un'auto elettrica per diversi giorni, è consigliabile scollegare la batteria. Questo eviterà il rischio di scaricamento della batteria dovuto agli assorbimenti dei dispositivi alimentati. Tuttavia, è importante considerare che, sebbene i casi di incendio delle auto elettriche siano relativamente rari, le batterie agli ioni di litio (LIB) presentano materiali attivi altamente energetici ed elettroliti organici infiammabili, richiedendo procedure d'intervento più complesse rispetto alle auto alimentate con combustibili tradizionali. Questo fattore è amplificato dalle caratteristiche intrinseche delle autorimesse interrata, che presentano spazi e accessi più complessi.

Nella maggior parte dei casi, se la batteria è esposta a calore eccessivo o subisce una penetrazione, si verifica un cortocircuito interno. Questo fenomeno provoca un effetto Joule, con l'elettricità che genera calore più velocemente di quanto possa essere dissipato, accelerando le reazioni chimiche e portando all'instabilità termica, che può culminare con l'incendio o l'esplosione della batteria.

L'alimentazione a GPL costituisce un elevato fattore di rischio in caso di fuoriuscita, poiché il gas tende a stratificarsi a pavimento, aumentando il potenziale di incendio o esplosione in un'autorimessa interrata. Al contrario, le auto alimentate a metano non presentano limitazioni simili, poiché il gas tende a salire verso l'alto in caso di dispersione. Conseguentemente, le auto con tale alimentazione non sono soggette a limitazioni nelle autorimesse in regola anche in termini di ventilazione.

In relazione alla possibilità di formazione di atmosfere esplosive all'interno dell'autorimessa, è essenziale condurre una valutazione specifica, la quale, per motivi probabilistici, viene qui omessa. Tuttavia, è possibile ipotizzare che, in via preliminare, l'autorimessa rappresenti un ambiente in cui è improbabile la formazione di atmosfere esplosive durante il normale funzionamento e nel caso in cui si verifichi tale situazione, essa è probabile che persista solo per un breve e limitato periodo di tempo, smorzata dalla notevole percentuale di superfici di aerazione naturale presenti.

Infine, l'obsolescenza del veicolo gioca un ruolo significativo nella valutazione degli scenari. I guasti elettrici risultano essere significativamente più frequenti all'interno di un parco auto con un'età superiore ai 15 anni. Questo fenomeno è particolarmente rilevante per le auto a combustione interna (ICE) diffuse in tutto il territorio nazionale. Nel 2023, le nuove auto elettriche immesse sul mercato rappresentano solo il 4,3% del totale, mentre quelle circolanti in Italia costituiscono solo lo 0,3%. I veicoli alimentati con combustibili alternativi mostrano tassi ancora più bassi.

Di conseguenza, sebbene le auto elettriche e quelle alimentate con combustibili alternativi possano comportare rischi potenzialmente più elevati, la loro limitata presenza sulle strade

italiane, insieme alla manutenzione adeguata e alla minore età media, contribuiscono a ridurre la probabilità di potenziale innesco.

Come sarà descritto nel successivo paragrafo 5.4.2, la curva RHR scelta terrà conto delle considerazioni appena proposte.

Una volta individuata la fonte d'innesco più grave e potenzialmente probabile, è cruciale valutare le condizioni al contorno, considerando la posizione più critica e il livello di affollamento previsto. Per valutare tutti gli scenari d'incendio di progetto selezionati, è stato ipotizzato il massimo affollamento in conformità con la misura S.4, ovvero negli orari di punta serali al rientro nelle abitazioni, quando si presume che la maggior parte dei box auto sia occupata. In particolare, il box auto è stato scelto come origine degli scenari in quanto l'autoveicolo trascorre la maggior parte del tempo al suo interno.

Fra i diversi scenari ipotizzati, sono stati selezionati quelli più critici al fine di ridurre il numero al minimo ragionevole e di alleggerire il lavoro di verifica delle soluzioni progettuali. Sono stati esclusi scenari non particolarmente gravosi, come quelli con il focolare posizionato all'interno di locali compartimentati in conformità alle normative antincendio.

Sono stati esclusi scenari localizzati all'interno delle vie d'esodo protette, poiché in queste aree il carico d'incendio deve essere nullo.

In caso di scenari simili, è stato selezionato solo il più rappresentativo e gravoso tra di essi. Gli scenari d'incendio selezionati rappresentano un livello di rischio non inferiore a quello derivante da tutti gli scenari d'incendio considerati. Le soluzioni progettuali rispettano le prestazioni richieste per gli scenari selezionati e garantiscono lo stesso grado di sicurezza anche per gli altri scenari d'incendio.

La selezione degli scenari d'incendio è stata influenzata dall'obiettivo prioritario della salvaguardia della vita: in particolare, sono stati considerati più critici gli incendi di breve durata con rapida crescita, accompagnati da una forte produzione di fumo e gas combustibili rispetto a quelli con maggiore potenza termica ma con crescita più lenta. Inoltre, sono stati considerati più pericolosi gli incendi di dimensioni limitate che si sviluppano vicino alle vie di fuga in luoghi ad alta densità di affollamento, rispetto a quelli con maggiore potenza termica ma originati in ambienti confinati e distanti dalle zone di occupazione previste.

Una volta effettuata la scrematura di tutti i possibili focolari presenti si andranno ora a presentare i cinque scenari d'incendio selezionati, con la numerazione e posizione visibile nelle planimetrie riportate nelle pagine successive.

Si ricorda che ogni scenario sarà successivamente analizzato sia in presenza che in assenza di impianto di spegnimento automatico a sprinkler.

### 5.3 - Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

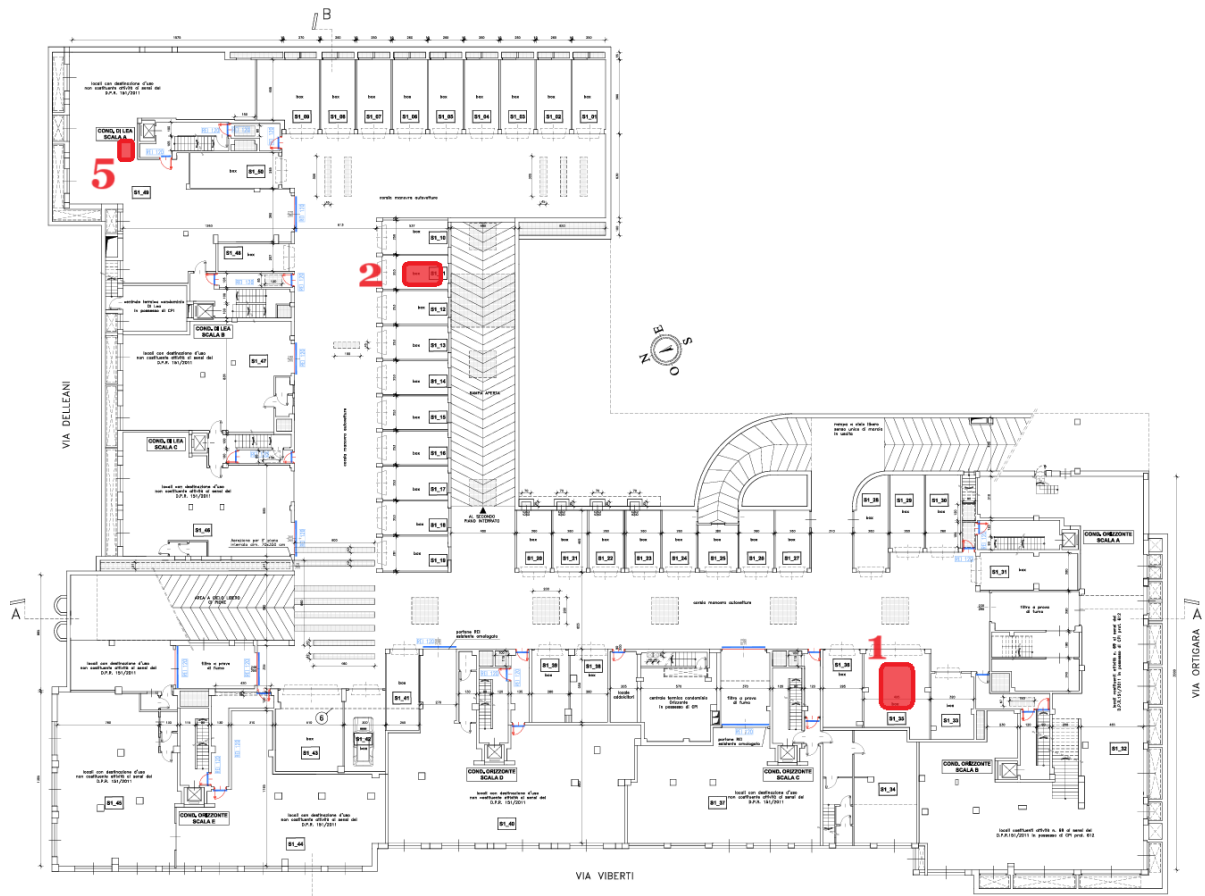


Figura 5 - Scenari d'incendio di progetto al primo piano interrato

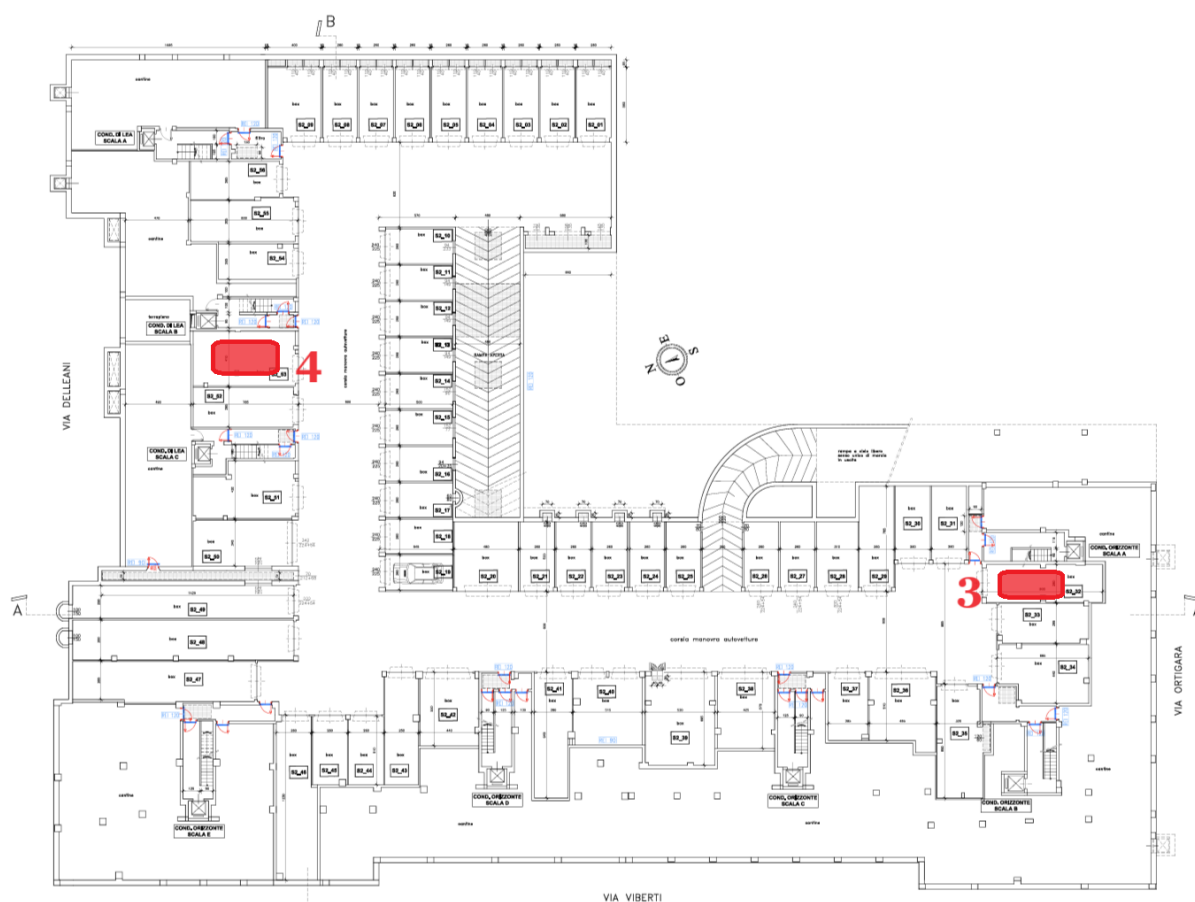


Figura 6 - Scenari d'incendio di progetto al secondo piano interrato

### SCENARIO 1

Lo scenario numero 1 prevede un focolaio innescato per un guasto elettrico di un autoveicolo situato nel box auto doppio S1\_35 al primo piano interrato.

Questo specifico box è stato individuato come potenzialmente critico poiché l'unico al piano che ospita due veicoli, ossia presentando un carico d'incendio maggiore.

Inoltre, il box doppio S1\_35 è considerato critico in quanto non dispone di un'aerazione diretta verso l'esterno, ma esclusivamente verso la corsia di manovra, il che potrebbe velocizzare la diffusione di fumo e calore nel piano. Al fine di simulare le condizioni più sfavorevoli, si è supposto che il basculante fosse completamente aperto, sottolineando la sua mancanza di resistenza al fuoco. Si è sempre tenuto conto, per quanto riguarda i restanti box, della possibilità di parziale rientro dei fumi negli stessi tramite i basculanti di ciascuno. Come sarà descritto nel paragrafo sulla curva RHR, il secondo veicolo prenderà fuoco con uno sfasamento temporale di 12 minuti rispetto al primo.

Il focolare, con fiamma, è stato posizionato al centro del locale in modo da riflettere.

realisticamente la presenza delle due auto. La posizione critica di questo box è evidenziata dalla sua vicinanza a tre vie di fuga, ossia i tre vani scala protetti A, B, C del condominio Orizzonte. In caso di incendio, queste vie di fuga potrebbero diventare rapidamente inaccessibili, mettendo a rischio la sicurezza delle persone presenti.

Le azioni che potrebbero essere intraprese dai presenti includono la fuga, l'utilizzo degli estintori o meno versomilmente degli idranti a muro per cercare di contrastare l'incendio e l'allerta delle altre persone presenti attraverso segnalazioni vocali e manuali tramite l'impianto di allarme antincendio.

## **SCENARIO 2**

Lo scenario numero 2 prevede l'innescò di un incendio a causa di un guasto elettrico in un'autovettura situata nel box auto singolo S1\_11 al primo piano interrato.

Questo specifico box è stato identificato come potenzialmente critico poiché si trova adiacente all'unico corridoio cieco presente nell'area. Tale posizione è stata valutata sia per comprendere l'effetto dell'incendio sui percorsi di fuga del condominio Di Lea non considerati in precedenza, sia perché, a differenza della fila di box S\_01 e S1\_09, potrebbe rendere le porte d'esodo inaccessibili in un tempo minore.

Infatti, la criticità di questo box è sottolineata dalla sua vicinanza a tre vie di fuga, ovvero i tre vani scala protetti antistanti A, B, C del condominio Di Lea.

Inoltre, il box singolo S1\_11 è considerato critico perché non dispone di una ventilazione diretta verso l'esterno, ma solo verso la corsia di manovra, il che potrebbe accelerare la propagazione di fumo e calore nel piano. Anche in questo caso, per simulare le condizioni peggiori, si è ipotizzato che il basculante fosse completamente aperto.

Il focolaio, con la fiamma, è stato posizionato al centro del locale per riflettere realisticamente la presenza del veicolo.

È importante sottolineare che anche questo scenario è stato simulato considerando il massimo affollamento, pertanto il comportamento degli occupanti sarà simile a quello descritto nello scenario 1 precedentemente illustrato.

## **SCENARIO 3**

Lo scenario numero 3 prevede un focolaio innescato per un guasto elettrico di un autoveicolo situato nel box auto doppio S2\_32 al secondo piano interrato.

Questo box è considerato critico principalmente perché non dispone di una ventilazione diretta verso l'esterno, ma solo verso la corsia di manovra; in secondo luogo, essendo posizionato ad angolo, potrebbe favorire la rapida propagazione di fumo e calore nel piano. Anche in questo caso, per simulare le condizioni peggiori, si è ipotizzato che il basculante fosse completamente aperto.

Per quanto riguarda il secondo piano interrato, sono stati valutati solo box doppi poiché il

picco della curva RHR è significativamente maggiore rispetto a quello corrispondente ad un incendio di un solo veicolo. Il focolaio, con la fiamma, è stato posizionato al centro del locale per riflettere realisticamente la presenza dei due veicoli.

La posizione critica di questo box è evidenziata dalla sua notevole vicinanza a due vie di fuga, ovvero i due vani scala protetti A e B del condominio Orizzonte. In caso di incendio, queste vie di fuga potrebbero diventare rapidamente inaccessibili, mettendo a rischio anche la fruizione delle successive presenti nella medesima via d'esodo.

Anche per il secondo piano interrato è stata simulata la massima affluenza, pertanto il comportamento degli occupanti sarà simile a quello descritto negli scenari precedenti.

#### **SCENARIO 4**

Lo scenario numero 4 prevede un focolaio innescato per un guasto elettrico di un autoveicolo situato nel box auto doppio S2\_53 al secondo piano interrato.

Questo box è considerato critico principalmente perché non dispone di una ventilazione diretta verso l'esterno, ma solo verso la corsia di manovra; in secondo luogo, è situato in posizione centrale rispetto al condominio Di Lea e nel mezzo di più percorsi d'esodo tale da rischiare di renderne impraticabili una moltitudine. Anche in questo caso, per simulare le condizioni peggiori, si è ipotizzato che il basculante fosse completamente aperto.

Il focolaio, con la fiamma, è stato posizionato al centro del locale per riflettere realisticamente la presenza dei due veicoli.

Anche per codesto scenario, la posizione critica è evidenziata dalla sua prossima vicinanza a due vie di fuga, ovvero i due vani scala protetti B e C del condominio Di Lea. In caso di incendio, queste vie di fuga potrebbero diventare rapidamente inaccessibili, mettendo a rischio anche la fruizione delle successive presenti nella medesima via d'esodo.

Anche per il secondo piano interrato è stata simulata la massima affluenza, pertanto il comportamento degli occupanti sarà simile a quello descritto negli scenari precedenti.

Tuttavia, inizialmente, le rampe del secondo piano interrato non verranno considerate utilizzabili dagli occupanti per l'evacuazione, come stabilito dalla misura S.4 del D.M. 03/08/2015.

#### **SCENARIO 5**

Lo scenario numero 5 può essere considerato come uno scenario bonus poiché non riguarda direttamente il compartimento dell'autorimessa, con le relative caratteristiche degli scenari precedenti, ma prevede un incendio nel deposito S1\_49 al primo piano interrato.

La scelta di includere questo locale nella valutazione del rischio è motivata dal desiderio di valutare condotta in caso d'incendio di uno dei locali adiacenti all'autorimessa.

In particolare, si è scelto il deposito S1\_49 poiché è il più ampio, presenta una lunghezza di corridoio cieco maggiore e non dispone di un filtro a prova di fumo che lo separi dalla corsia

di manovra. Il deposito è completamente compartimentato rispetto all'autorimessa e dispone di due vie di fuga verso i vani scala protetti A e B del condominio Di Lea, oltre a una via d'uscita che conduce all'autorimessa tramite un portone REI 90 omologato con dispositivo di autochiusura. Tuttavia, si ricorda che per questo tipo di locali, in assenza di un filtro, è stata richiesta una deroga in conformità con il D.M. 01/02/1986. Anche se il Codice di prevenzione incendi non richiede soluzioni così stringenti, attraverso l'approccio dell'ingegneria antincendio si intende avvalorare la strategia antincendio adottata, in particolare la misura S.3.

L'incendio in questo locale è scatenato da un guasto elettrico, nello specifico da una scintilla provocata da un corto circuito di una presa nelle vicinanze dei materiali stoccati.

La posizione del focolare ritenuta più critica è quella situata al termine del corridoio cieco, che potrebbe ostacolare la fuga degli occupanti dalla parte posteriore del locale. Questa ipotesi è stata valutata come la più credibile in base ai dati statistici dell'Annuario Statistico VV.F 2023; inoltre, considerando l'affollamento sporadico di persone in questo tipo di locali, si è esclusa l'incuria umana, come il non rispetto del divieto di fumo.

Nonostante ciò, si è comunque considerato un affollamento di 3 persone contemporaneamente presenti nel magazzino. Le azioni che potrebbero essere intraprese dai presenti includono la fuga, l'utilizzo degli estintori per contrastare l'incendio e l'allerta delle altre persone presenti nell'autorimessa tramite segnalazioni vocali e manuali mediante l'impianto di allarme antincendio.

## 5.4 Modellazione d'incendio

La modellazione dell'incendio riveste un ruolo fondamentale nel calcolare l'ASET (Available Safe Escape Time) secondo la metodologia delineata nel capitolo M.3 del D.M. 03/08/2015. Per comprendere l'evoluzione dinamica dell'incendio, è stato impiegato il modello di calcolo di fluidodinamica computazionale noto come "Fire Dynamics Simulator" (FDS), sviluppato e distribuito pubblicamente dal NIST (National Institute of Standards and Technology) e, in particolare, è stata utilizzata l'interfaccia grafica Pyrosim, sviluppata da Thunderhead Engineering.

Nei paragrafi successivi, verrà presentato il processo di modellazione geometrica, qualitativa e quantitativa dell'incendio con l'obiettivo di rappresentare attraverso un modello il più possibile realistico gli scenari di incendio precedentemente descritti.

### 5.4.1 Modello geometrico

La procedura di modellazione d'incendio ha avuto inizio con la creazione dell'apposito modello BIM. Nell'ottica di una sempre più permeabile interoperabilità tra software, partendo dalle planimetrie CAD, è stato realizzato il modello tridimensionale dell'edificio con le sue informazioni geometrico-spaziali utilizzando il software Autodesk Revit.

L'interoperabilità tra gli strumenti BIM e FDS attraverso il file in formato .ifc (Industry Foundation Classes) ha permesso di integrare le informazioni del modello digitale con i dati relativi alla caratterizzazione e simulazione dell'incendio su Pyrosim.

Per quanto riguarda la geometria del modello, si è resa necessaria qualche modifica al fine di renderlo adatto all'elaborazione sull'interfaccia grafica di Pyrosim:

- Realizzazione di blocchi di ostruzione denominati “obstruction” al posto delle aperture presenti in luogo delle porte EI nei casi in cui si trattava di un ambito compartimentato.
- Realizzazioni di fori denominati “hole” in luogo di tutte le aperture di ventilazione naturale in ambo i piani; la corrispondenza di questi con le dimensioni e posizioni delle celle della mesh ha reso significativa la loro funzione di smaltimento fumi.
- Semplificazione del modello ed eliminazione di dettagli architettonici non funzionali alla simulazione come i basculanti dei box auto.
- Ottimizzazione del modello geometrico con le geometrie imposte dalle dimensioni e dalle informazioni processate dalle celle della mesh.



Figura 7 - Workflow di modellazione impiegato



Il precedente termine "mesh" si riferisce a un dominio di calcolo costituito da un certo numero di celle, le cui dimensioni sono stabilite dal progettista e sono funzionali alla computazione fluidodinamica. In pratica, FDS risolve le equazioni fondamentali dell'energia, della massa e della quantità di moto, conosciute come equazioni di Navier-Stokes, ovvero equazioni non lineari, parzialmente differenziali, tridimensionali e dipendenti dal tempo. Queste equazioni vengono risolte all'interno di ciascuna cella in cui viene diviso il dominio di calcolo, tenendo conto delle variazioni che intervengono in ciascuno di esse per effetto di cambiamenti che si hanno in quelle adiacenti, agendo in modo interattivo.

È essenziale che le celle della mesh abbiano approssimativamente le stesse dimensioni lungo tutte e tre le direzioni e che ogni elemento della simulazione sia conforme alla mesh. Nel caso in cui le dimensioni delle celle della mesh siano diverse, è necessario garantire che siano disposte in modo tale da poter comunicare tra loro in maniera continua e senza interruzioni. Questo assicura un flusso fluido e coerente dei dati attraverso la mesh durante la simulazione. La scelta delle dimensioni della mesh influisce sui tempi di calcolo e sull'accuratezza dei risultati finali: all'infittimento della mesh corrisponde un maggior grado di dettaglio dei risultati ma anche uno sforzo computazionale superiore da parte dell'hardware con relativo allungamento dei tempi simulativi. È quindi fondamentale trovare il giusto equilibrio tra i tempi e la precisione, in funzione degli obiettivi.

Nel caso in esame si è scelto di realizzare mesh con celle di 0,5 x 0,5 x 0,5 m.

Questa dimensione è conseguenza del miglior compromesso tra precisione dei risultati e tempi di calcolo in proporzione alla dimensione del modello analizzato.

Per ogni scenario è stata estesa, nelle tre direzioni, allo spazio strettamente necessario ad includere l'ingombro della struttura così da ridurre il più possibile il dominio di calcolo.

Per la precisione l'intero modello è stato suddiviso in 6 macro-blocchi approssimativamente di simile dimensione per un totale di circa 250000 celle. Questo per sfruttare il comando "Run FDS Parallel" ovvero un'istruzione utilizzata per avviare l'esecuzione del software di simulazione FDS in modalità parallela. Ciò significa che il processo di simulazione viene suddiviso in più task, ognuno eseguito da un core separato del processore del computer. Utilizzando questa modalità parallela, è possibile ridurre significativamente il tempo necessario per completare la simulazione soprattutto quando si affrontano modelli complessi o simulazioni con una grande quantità di dati. Inoltre, consente di sfruttare al massimo le risorse computazionali disponibili, migliorando l'efficienza complessiva del processo di simulazione (6 core del pc utilizzato per il calcolo di 6 mesh).

Un altro aspetto cruciale nella configurazione del modello è l'apertura delle superfici che lo racchiudono, che vengono opportunamente modificate da adiabatiche a superfici ventilate o di tipo "vent". Questa trasformazione consente uno scambio più efficace di massa ed energia con l'ambiente esterno, contribuendo a rendere la simulazione più fedele alla realtà. È da notare che tale modifica non coinvolge la superficie al livello del piano di calpestio.

Per tutti gli scenari d'incendio di progetto sono stati impiegati gli stessi 6 macro-blocchi e la stessa dimensione di cella, ad eccezione dello scenario 5, ove la dimensione è stata ridotta a 0,25 x 0,25 x 0,25 m. Tale scelta è stata motivata dalla necessità di aumentare la precisione computazionale, considerando che l'area da esaminare in questo specifico scenario è limitata al solo deposito S1\_49. Qui di seguito è riportato il modello 3D analizzato in Pyrosim, suddiviso nelle 6 mesh, per una migliore comprensione visiva. Si possono notare le "obstruction" in arancione, gli "hole" trasparenti e le superfici di tipo "vent" in blu.

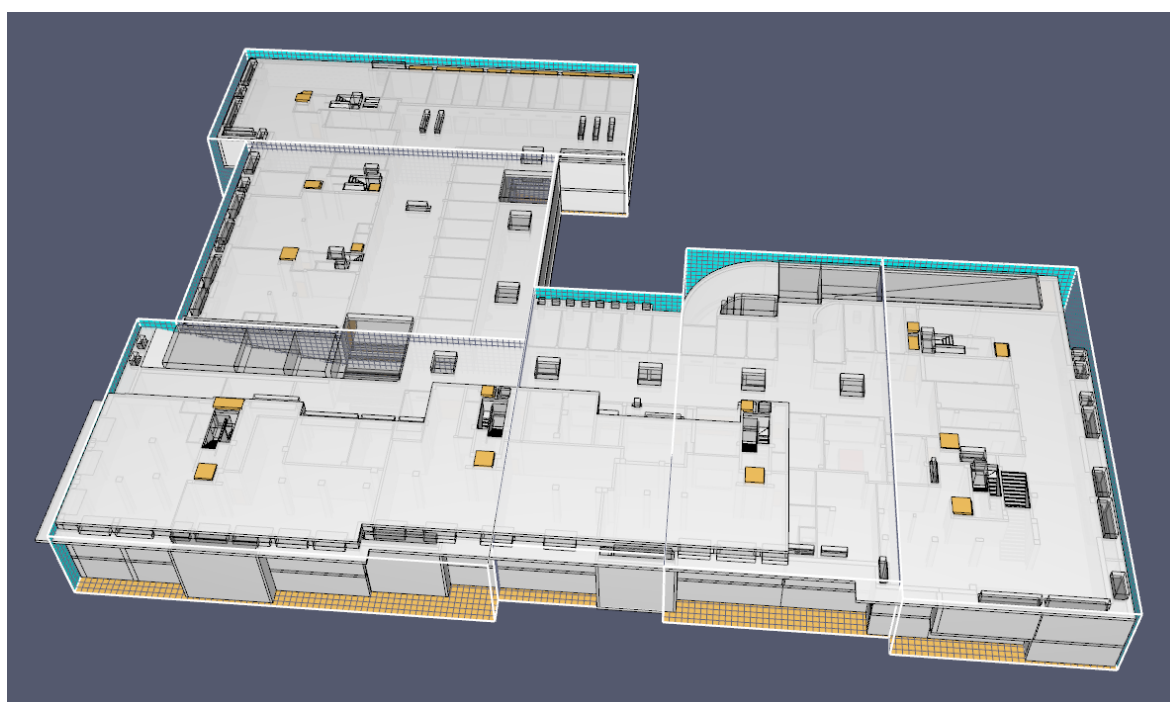


Figura 8 - Modello 3D Pyrosim dell'autorimessa

Il passo successivo è rappresentato dalla caratterizzazione del focolare in termini di reazione, combustibile, prodotti e potenza sprigionata; inizialmente attraverso la creazione di un elemento di forma parallelepipedica per riprodurre il focolare.

Il parallelepipedo è stato progettato con dimensioni 3 x 2 x 1 m e la superficie superiore è stata impostata come "burner" e associata alla curva RHR di riferimento per ogni scenario; tutte le altre superfici dello stesso invece sono state caratterizzate come inerti.

Il software richiede che la potenza di picco venga divisa per l'area della superficie utilizzata come burner e che tutte le potenze che rappresentano l'andamento nel tempo vengano rapportate alla potenza massima come sua frazione. Nel paragrafo successivo sarà esplicitata nel dettaglio la modellazione della curva RHR e della reazione di combustione associata ad ogni focolare. La dimensione di 6 m<sup>2</sup> per modellare la superficie burner è stata scelta per meglio rappresentare le dimensioni medie di un autoveicolo di classe A in pianta.

Infine, il cubo è stato posizionato nel punto designato per il focolare in relazione allo specifico scenario analizzato.

Un ultimo aspetto cruciale nella configurazione del modello riguarda la caratterizzazione e il posizionamento dei dispositivi e strumenti di controllo al fine di estrapolare i dati di output. I Devices, le Slices e le Isosurfaces sono stati configurati per acquisire valori di temperatura, visibilità, irraggiamento e FED in punti specifici del modello.

I Devices sono utilizzati per registrare le quantità nel modello o per simulare sensori più avanzati, come rilevatori puntiformi di fumo o testine erogatrici di un impianto sprinkler.

I dati raccolti da questi dispositivi consentono di generare grafici utili per l'analisi della simulazione e per definire valori più accurati di ASET.

Le Slices sono dei piani passanti per il dominio computazionale, fissata una coordinata x, y o z, in grado di rappresentare, mediante una scala cromatica, informazioni relative a molteplici parametri.

Le Isosurfaces, invece, mostrano la distribuzione volumetrica delle quantità gassose in base a specifici valori soglia impostati.

In ogni scenario, sono stati posizionati diversi gruppi di Device, contenenti sonde di FED, temperatura, visibilità e irraggiamento, che corrispondono a tre dei quattro modelli per le verifiche di incendio avanzate e per il di ASET. Questi dispositivi sono stati distribuiti privilegiando le vie di esodo orizzontali, verticali e le relative uscite dal compartimento.

Nello specifico, i Devices sono stati posizionati nella mezzeria di ogni corsia di manovra, equidistanti l'uno dall'altro, e di fronte a tutte le porte d'esodo al fine di monitorare l'evoluzione delle grandezze sopracitate nei punti strategici per l'evacuazione; sono stati collocati ad un'altezza di 2 metri dal piano di calpestio per massimizzare l'efficacia dello scambio di informazioni lungo l'interfaccia tra le celle e quelle sovrastanti.

Un aspetto significativo riguarda la modellazione dei Devices che simulano le testine erogatrici dell'impianto sprinkler. Questi dispositivi sono stati posizionati in prossimità del focolare per ciascuno scenario, tenendo conto delle disposizioni della norma UNI EN 12845. Conformemente alla normativa, è stata valutata la classe di pericolo OH2 dell'autorimessa e la sua area operativa corrispondente; ogni ugello erogatore di tipo pendent è stato collocato ad una distanza di 15 cm dall'intradosso del solaio e ad una distanza compresa tra 2 e 4 m dall'ugello erogatore più vicino. La densità di scarico considerata è stata di 5 mm/min, mentre è stata cruciale per la simulazione l'impostazione della rottura dell'ampollina a una temperatura di 68°C. Questo valore ha consentito di determinare il momento esatto in cui sono state attivate le prime testine erogatrici, aspetto che sarà oggetto di ulteriori considerazioni nei paragrafi successivi.

Altrettanto importante è stata la modellazione dei dispositivi che simulano i rivelatori puntiformi di fumo, posizionati anch'essi in prossimità del focolare e conformemente alla normativa UNI 9795. Considerando un'altezza dei locali inferiore a 6 metri, è stato

rispettato il raggio di copertura di ciascun rivelatore, pari a 6,5 m, e impostata la soglia di allarme in base alla percentuale di oscuramento, fissata al 3,24 %.

Inoltre, sono state posizionate Slices di visibilità e temperatura a quote z diverse (1,5 e 2 metri da entrambi i piani di calpestio) e in direzione x e y, secanti la mezzeria di ogni corsia di manovra e i percorsi di evacuazione.

Infine, sono state impostate le Isosurfaces di temperatura, visibilità e FED per le soglie di occupanti e soccorritori, rispettivamente, di 60 – 80 °C, 10 - 5 m e 0,1.

In conclusione, per i primi 4 scenari d'incendio è stato impostato un tempo di simulazione pari a 1416 secondi, in accordo con gli obiettivi prefissati al paragrafo 5.1 della presente relazione; tuttavia, per lo scenario numero 5, è stato determinato un tempo di simulazione di 400 secondi, più attinente agli scopi della stessa.

In basso è possibile notare una rappresentazione grafica del modello Pyrosim per lo scenario 1, con il focolare in colore rosso, i Devices identificati dai punti ocre e relativa nomenclatura in verde e le Slices, secanti gli spazi di manovra e le vie d'esodo, in giallo.

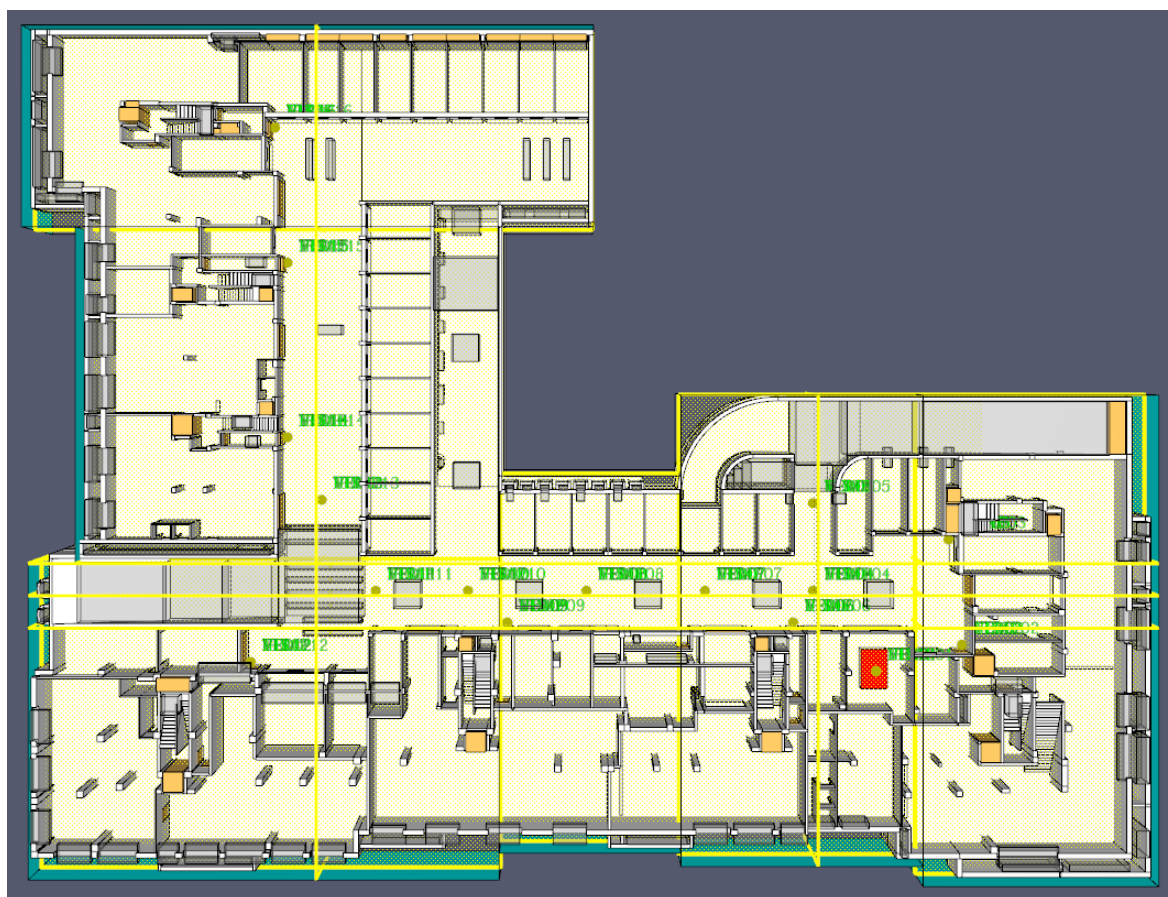


Figura 9 - Rappresentazione di devices e slices (scenario 1)

### 5.4.2 Curve RHR e reazioni chimiche

Il primo passo per caratterizzare ciascun focolare è stato associargli una curva RHR (Rate of Heat Release) verosimile. Questa curva rappresenta la variazione nel tempo della potenza termica sprigionata dall'incendio, fornendo informazioni cruciali sulla sua dinamica e intensità, consentendo così una valutazione dettagliata delle fasi di sviluppo dell'incendio. Poiché la curva RHR influisce fortemente sui risultati della simulazione, è fondamentale avere una conoscenza approfondita della materia per attribuire correttamente la curva di rilascio termico. È importante notare che il paragrafo M.2.7.2 del D.M. 03/08/2015 esclude l'utilizzo dei focolari predefiniti (come quelli elencati nella tabella M.2-2) nei casi in cui si ritenga che i focolari attesi siano più gravosi di quelli previsti nella medesima tabella.

Per attribuire una potenza di rilascio termico al focolare di un'autovettura, sono state esaminate diverse pubblicazioni accademiche e ricerche sperimentali al fine di elaborare un input il più accurato e rappresentativo possibile di una situazione reale.

Il Codice di Prevenzione incendi, alla RTV.6, par. V.6.6.1 consiglia l'attribuzione di una curva alla tabella V.6-5 sotto riportata.

Tabella 35 - Tab. V.6-5: Curva RHR(t) per autoveicolo (primo innesco; qf pari a 6789 MJ)

<b>Tempo dopo l'innesco [s]</b>	0	240	960	1440	1500	1620	2280	4200
<b>RHR(t) [kW]</b>	0	1400	1400	5500	8300	4500	1000	0

L'origine di tale curva rimanda ad una sperimentazione su scala reale, condotta dal CTICM (Departement Incendie et Essais France); in tale sperimentazione risalente alla fine degli anni 90' le auto sono state equipaggiate al completo con olio, quattro pneumatici più uno di scorta e serbatoio del carburante riempito per due terzi della sua capacità.

Nei suddetti test che coinvolgevano due auto di produzione francese di categoria europea 3, per studiare la possibile propagazione del fuoco da un'auto all'altra, è emerso che la seconda auto, posizionata a circa 70 cm dalla vettura incendiata (distanza media nei parcheggi europei), si è infiammata in tutti i casi dopo circa 12 minuti l'innesco della prima auto. Questo secondo innesco è stato causato sia dagli pneumatici che dalla plastica attorno alle portiere. Numerosi test di settore hanno individuato la ricorrenza di tale tempistica che verrà considerata anche nel presente elaborato.

Inoltre, vale comunque la pena notare che la propagazione del fuoco può essere influenzata dalla ventilazione impostata durante il test e dal metodo di accensione utilizzato.

Tuttavia, risulta evidente che la quantità di potenza sprigionata dall'incendio di un autoveicolo dipende da una moltitudine di fattori quali: la sua massa, la quantità e tipologia di carburante presente nel serbatoio, la percentuale di materie plastiche e materiale combustibile presente al suo interno, la posizione della stessa e relativa quantità di ossigeno a disposizione (auto situata in box auto chiuso o all'aperto e rottura di un finestrino).

La letteratura riporta una vasta gamma di valori per il tasso di rilascio di calore di un singolo veicolo passeggeri a motore a combustione interna, che varia da 1,5 a 8 MW in base alle dimensioni del veicolo. Tuttavia, la maggior parte dei test condotti e riportati mostra che per le automobili di dimensioni medie, i valori di RHR si attestano generalmente al di sotto dei 5 MW.

Va notato che i dati tratti dalla letteratura sono influenzati dalle condizioni specifiche dei test effettuati, nonché dal modello e dall'anno di produzione del veicolo oggetto di studio.

A titolo di esempio, il rapporto *Department of Building and Housing of BRANZ* indica che il picco di rilascio di calore RHR è aumentato da 4 MW a 8 MW passando da auto più vecchie a più recenti, principalmente a causa dell'aumento della quantità di materiali combustibili presenti al loro interno, che è cresciuta mediamente da 9 kg a 90 kg.

Data la grande variabilità dei dati presenti in letteratura, risulta arduo selezionare una curva che rappresenti con precisione il caso specifico oggetto di analisi.

Spesso, si tende a prendere decisioni estremamente conservative e prudenti, accentuate dalla preoccupazione del progettista o per le opinioni delle autorità locali. Tuttavia, si ritiene che questa prassi non dia tipicamente luogo a soluzioni sufficientemente coerenti e pienamente ponderate, specialmente considerando la crescente tendenza verso la sostenibilità e l'ottimizzazione; la scelta di non utilizzare la curva fornita dal Codice di Prevenzione incendi alla tab. V.6-5 ricade in quest'ottica di ottimizzazione.

A sostegno di tale ragionamento si è considerato il report scientifico "*Design car fire size based on fire statistics and experimental data. Fire and Materials*" pubblicato dalla rivista Wiley nell'anno 2020.

L'articolo, presentando le medesime problematiche di cui sopra, cerca di offrire un supporto alla progettazione, in particolare per approcci performance-based, valutando un paniere di curve RHR e fornendo al lettore una rappresentazione statistica delle stesse.

Considera 44 test su scala reale condotti tra il 1994 e il 2008 da dipartimenti del settore come il precedente CTICM, BS, NFPA, VTT, FM e NRIPS al fine di trovare un valore medio di curva RHR ed una sua Deviazione Standard con completa estinzione dopo 2400 secondi. I parametri di test menzionati in precedenza non sono stati considerati singolarmente, poiché gli incendi reali delle automobili presentano una notevole variazione sia nella combustione dei materiali dell'auto che nella posizione dell'incendio. Di conseguenza, tutte le curve sono state mediamente valutate in ciascun intervallo di tempo per fornire una curva RHR realistica e utilizzabile per il progetto. Inoltre, nei casi in cui l'incendio si sia estinto prima dei 2400 secondi, le curve sono state mediamente estese fino al punto di estinzione. Lo studio non si è limitato all'analisi dei test d'incendio su singoli veicoli, ma ha considerato anche l'ipotesi che l'ignizione del secondo veicolo avvenga dopo 12 minuti, fornendo così una curva mediata anche per gli incendi che coinvolgono due autovetture.

Inoltre, questo approccio risulta particolarmente utile in quanto tiene conto delle curve di incendio dei veicoli elettrici (EV) e di quelli con combustibili alternativi.

Il risultato di tale studio viene proposto nella seguente figura: il tratto nero rappresenta la curva RHR mediata, la curva tratteggiata la curva mediata a cui viene sommata la sua DS.

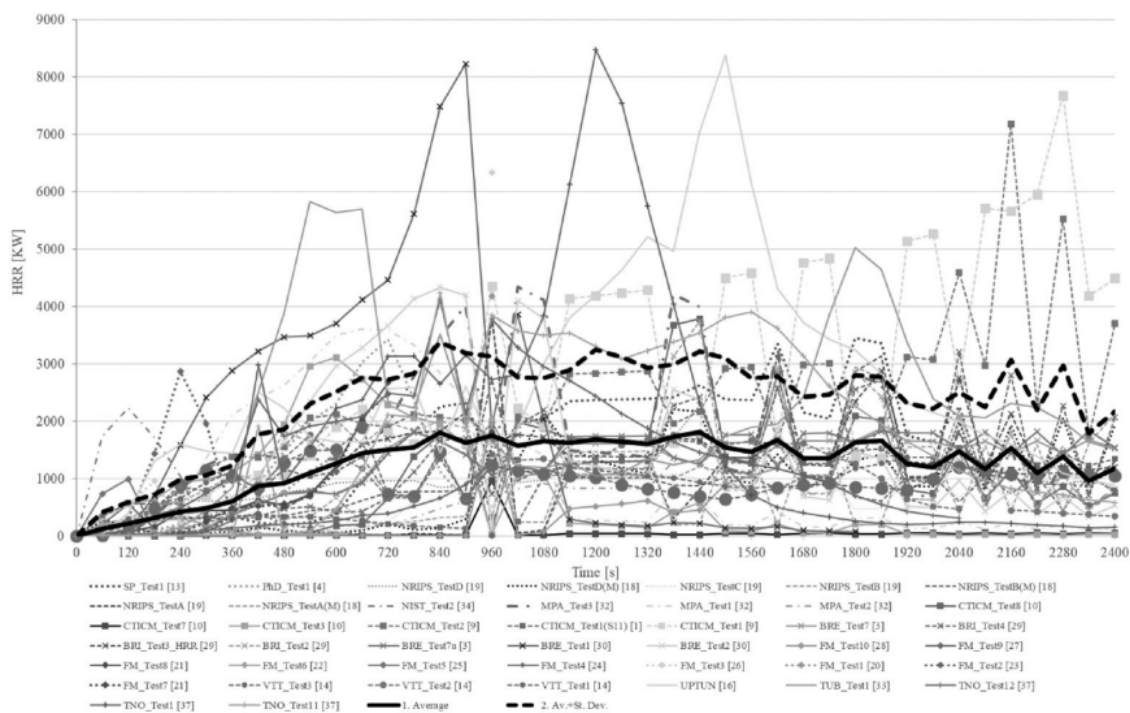


Figura 10 - Curve RHR di 44 test su scala reale con media e Dev. St. (Wiley)

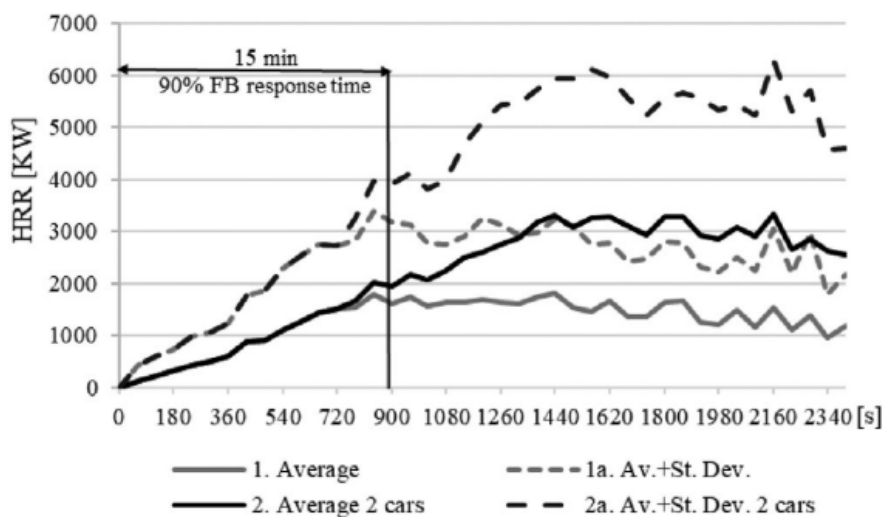


Figura 11 - Curve RHR medie e relative Dev. St di 1 o 2 veicoli (Wiley)

Le curve presenti nella figura 11 sono state adottate come punto di riferimento in quanto contribuiscono in parte a risolvere le problematiche precedentemente evidenziate. Infatti, il picco della curva è significativamente inferiore rispetto alla curva di riferimento del Codice, ciò considerando automobili di varie dimensioni e carichi d'incendio.

Tuttavia, si osserva che la crescita dell'incendio nella fase iniziale è notevolmente più rapida. Questo costituisce una sfida più critica dal punto di vista della salvaguardia della vita e consente di adottare un approccio prudente, ponendosi in condizioni ragionevolmente sfavorevoli.

Per lo scenario d'incendio di progetto numero 2, relativo al box auto S1\_11, è stata scelta la curva RHR media più la deviazione standard di una singola automobile (curva tratteggiata in grigio), mentre per gli altri scenari (ad eccezione del numero 5) è stata utilizzata la curva RHR media più la deviazione standard di due automobili (curva tratteggiata in nero).

Tali curve sono state discretizzate in un numero appropriato di punti e inserite nel software Pyrosim come una frazione opportuna del valore di picco al tempo corrispondente per la durata della simulazione.

Di seguito vengono riportate le immagini che sintetizzano tale processo. Nella curva che mostra la potenza generata da due auto è possibile notare come dopo 12 minuti (720 s) ci sia un incremento della stessa dato dal secondo innesco.

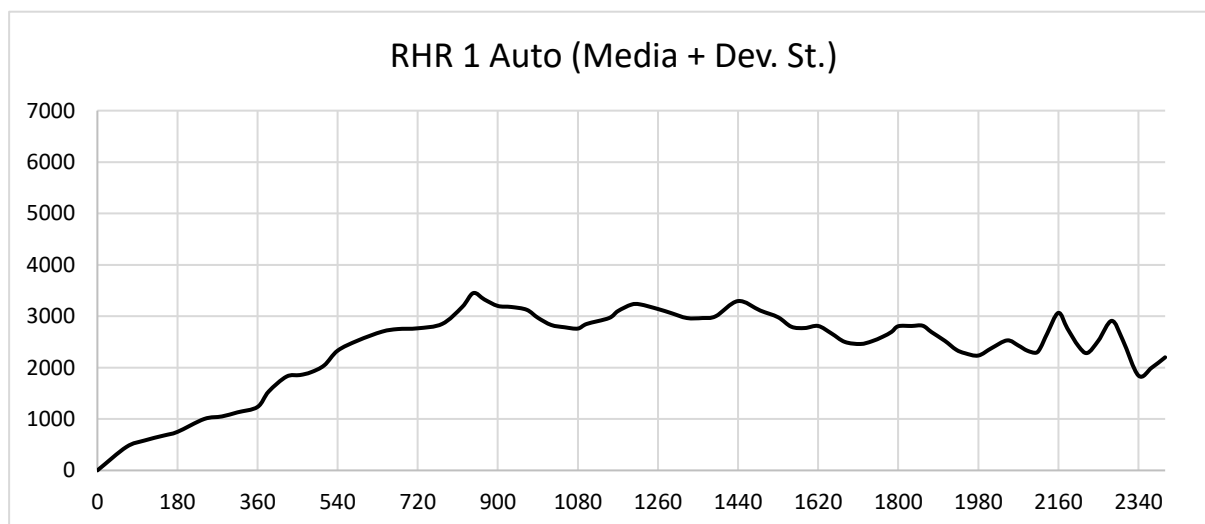


Figura 12 - Curva RHR discretizzata (Scenario 2)



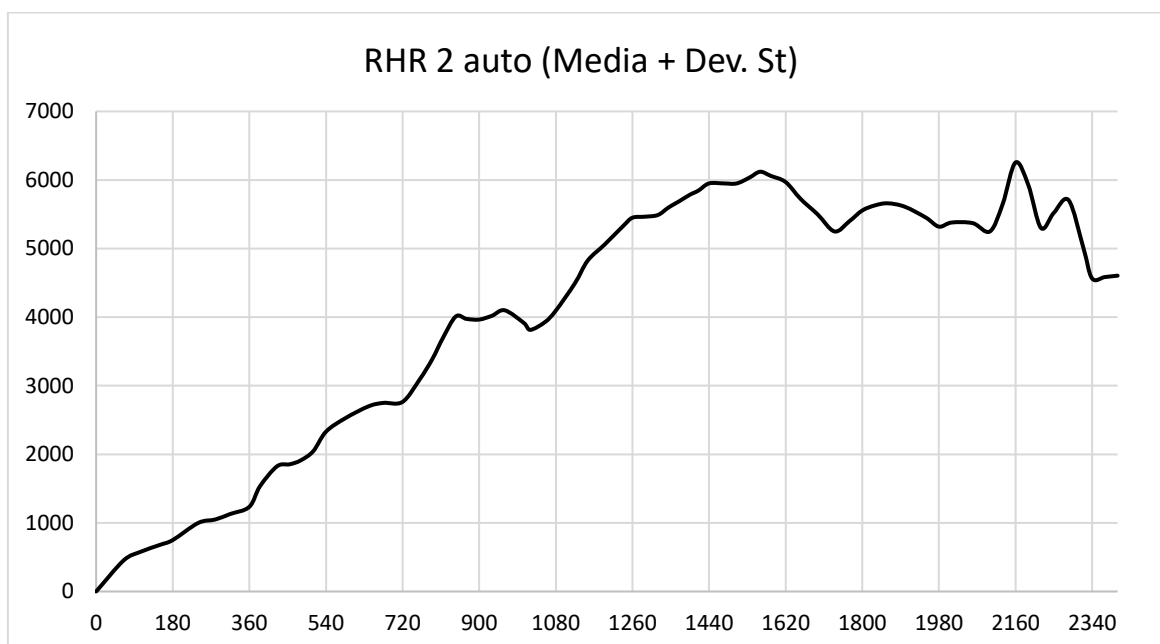


Figura 13 - Curva RHR discretizzata (Scenario 1 - 3 - 4)

Per la prima curva si ottiene un valore di picco pari a 3455 kW dopo 845 secondi mentre per la seconda un valore di picco pari a 6555 kW dopo 2160 secondi dall'innescio.

Si rammenta che, avendo rappresentato in Pyrosim superfici burner pari a 6 m<sup>2</sup> il valore di picco RHR per area (HRRPUA) da associare sarà diviso per sei.

Per la curva RHR in presenza di impianto di spegnimento automatico a sprinkler si è effettuata un'ulteriore analisi.

Come citato dalla RTV.6 al par. V.6.6.1 comma 9 e al par. 4.2 dalla norma BS EN 12101-11 la curva RHR, al tempo  $t_x$  di attivazione dell'impianto sprinkler, si riduce del 50% mantenendo un analogo andamento temporale e può essere escluso l'effetto di propagazione dell'incendio verso altri autoveicoli.

Infatti, rispetto agli incendi di materiali stoccati in deposito, la carrozzeria delle autovetture incendiate può influenzare notevolmente l'efficacia dei sistemi automatici di controllo dell'incendio; pertanto, la curva di rilascio della potenza termica non può essere limitata esclusivamente al valore raggiunto dall'incendio all'istante  $t_x$  di attivazione di tali sistemi. Tuttavia, è possibile ridurre proporzionalmente i valori della potenza termica rilasciata, mantenendone comunque lo stesso andamento nel tempo.

Come sarà dettagliato nei paragrafi successivi, l'istante di attivazione  $t_x$  delle testine erogatrici è stato determinato utilizzando gli appositi Devices posizionati nel modello. Questi dispositivi hanno rilasciato un segnale al raggiungimento di una temperatura di 68°C, indicando così il momento di attivazione  $t_x$ . Una volta ottenuto questo istante dalle prime simulazioni e per ciascuno scenario d'incendio, è stata modificata la curva RHR

corrispondente e inserita nello scenario che prevede la presenza di impianto automatico. A titolo esemplificativo si propone la curva RHR in presenza di impianto di sprinkler. L'istante di attivazione  $t_x$  si è sempre ottenuto in un range di 80/90 secondi dall'innesco del focolare; da tale istante la curva è stata dimezzata del 50% mantenendo lo stesso andamento temporale e non prevedendo un secondo innesco anche nei box auto doppi.

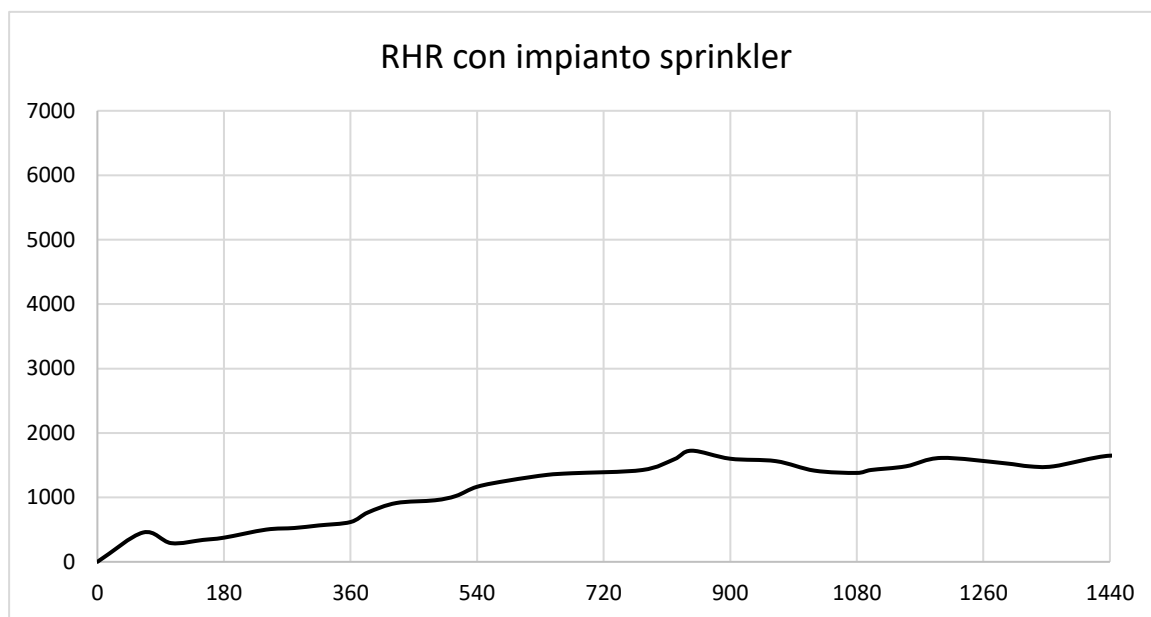


Figura 14 - Curva RHR con imp. Sprinkler discretizzata (Scenario 1 - 2 - 3 - 4)

Per lo scenario numero 5, previsto al deposito S1\_49, si è effettuato un diverso ragionamento andando ad utilizzare per la simulazione il focolare predefinito da Codice al paragrafo M.2.7. Tale focolare prevede una curva  $RHR_{max}$  totale di 5 MW ed una velocità caratteristica di crescita dell'incendio  $t_\alpha$  rapida pari a 150 secondi per attività civili.

La curva riportata dal Codice è di tipo cautelativo e da utilizzarsi ove la descrizione quantitativa del focolare risulta complessa. Infatti, nel deposito privato vi è un'incertezza tale sulla tipologia di materiale presente (ad esclusione dei materiali combustibili ed infiammabili di cui è vietato lo stoccaggio) sulla sua disposizione e sulla possibilità che questo sia spostato o rimosso che rende la curva predefinita quella che permette una più prudente valutazione del rischio.

Considerando il valore di  $t_\alpha$  e  $RHR_{max}$  fornito dal Codice alla tabella M.2-2 è stata così ottenuta la curva RHR applicando la formula:

$$RHR(t) = 1000 (t/t_\alpha)^2$$

Alla pagina successiva viene riportata la curva RHR utilizzata nel simulare lo scenario n° 5.

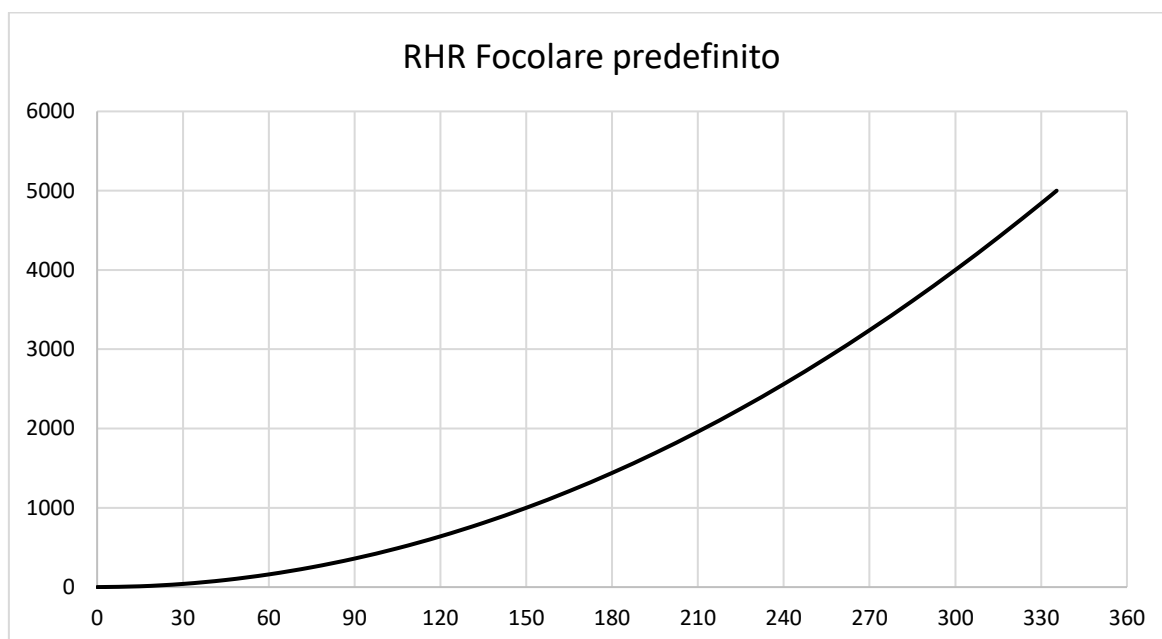


Figura 15 - Curva RHR focolare predefinito (Scenario 5)

Definite la curve RHR (t), è quindi necessario, al fine di descrivere quantitativamente i focolari, definire i parametri caratteristici dei medesimi attraverso le loro reazioni di combustione. Questi includono la quantità di particelle solide prodotte durante la combustione (resa in particolato), la quantità di monossido di carbonio generata (resa in monossido di carbonio), il calore effettivamente prodotto durante la combustione (calore di combustione effettivo), la composizione chimica ipotizzata del principale combustibile coinvolto e la frazione della potenza termica sprigionata dall'incendio manifestata sotto forma di radiazione termica (frazione di RHR in irraggiamento).

Questi parametri sono fondamentali per una valutazione completa e accurata dei focolari e consentono una descrizione quantitativa approfondita degli incendi considerati.

Dato il vasto assortimento di materiali combustibili potenzialmente presenti nell'autoveicolo, è cruciale selezionare i parametri sopra menzionati basandosi su quelli che sono presenti in maggior quantità. Inoltre, il software Pyrosim consente di attivare una sola reazione alla volta, il che richiede all'utente di scegliere la reazione più probabile e più critica per la salvaguardia della vita.

Nel settore automobilistico, si è assistito a un costante aumento nell'utilizzo di materiali polimerici o plastici. Questi materiali, rispetto a quelli tradizionali che spesso sostituiscono, come i metalli, presentano generalmente un calore di combustione superiore, generando così una maggiore energia chimica per peso del materiale e un'energia potenziale maggiore nello stesso volume. Inoltre, le plastiche tendono ad infiammarsi più facilmente e a sostenere un incendio con maggiore facilità, oltre a favorire una propagazione più rapida

delle fiamme e a produrre una quantità maggiore di fumo tossico.

All'interno dei veicoli, vengono impiegati numerosi tipi di plastica per diverse componenti come imbottiture, pannelli, cablaggi, cruscotto, sedili. Secondo l'associazione European Plastics Converters, possono essere presenti fino a tredici diversi polimeri in un'auto, tra cui i principali sono il polipropilene, il poliuretano e il polivinilcloruro.

Ogni tipo di materiale presenta caratteristiche specifiche che possono essere più o meno critiche in relazione ai diversi fattori da considerare nel modello. Ad esempio, il polipropilene ha un alto calore di combustione, il poliuretano tende a produrre una maggiore quantità di particolato, ma non emette significative quantità di gas irritanti; il PVC può generare una maggiore quantità di gas irritanti, ma produce meno particolato.

Il polipropilene è presente in quasi tutte le componenti elencate del veicolo, rappresentando circa il 30,73% del peso totale dei polimeri. Questo materiale è ampiamente utilizzato grazie alle sue eccellenti proprietà, tra cui la resistenza agli agenti chimici, la leggerezza (con una densità di circa 0,905 g/cm<sup>3</sup>), l'impermeabilità all'acqua e la resistenza alle alte temperature. Il polipropilene non solo è il materiale polimerico più diffuso nei veicoli di nuova produzione, ma domina anche nei veicoli destinati alla demolizione.

Per queste ragioni, è stato scelto il polipropilene PP come materiale rappresentativo per la reazione nel modello. In riferimento al polipropilene sono stati utilizzati i seguenti valori ottenuti dal volume *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - 5th edition - Springer ed. 2016 - Table A.39, pag. 3467*.

Tabella 36 - Parametri di riferimento per il polipropilene PP (Scenario 1 - 2 - 3 - 4)

Parametro	Definizione del focolare
Resa in particolato $Y_{soot}$	0,059 g <sub>soot</sub> /g <sub>fuel</sub>
Resa in monossido di carbonio $Y_{CO}$	0,024 g <sub>CO</sub> /g <sub>fuel</sub>
Resa in biossido di carbonio $Y_{CO2}$	2,79 g <sub>CO2</sub> /g <sub>fuel</sub>
Calore di combustione effettivo $\Delta H_r$	43,4 kJ/g
Frazione di HRR(t) in irraggiamento (Radiative fraction)	35%
Combustibile di riferimento: polipropilene PP	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>

Per i primi quattro scenari, dove il focolare è rappresentato da un'auto in fiamme, è stata configurata la reazione utilizzando il polipropilene come materiale di riferimento.

Per lo scenario numero 5, dove il deposito presenta una varietà di materiali di stoccaggio rendendo difficile individuare quello prevalente, si è optato per un approccio simile a quello utilizzato per definire la curva RHR. Data la complessità nella determinazione del materiale predominante, si è fatto riferimento ai valori della tabella M.2-2 del D.M. 03/08/2015, rappresentanti un combustibile generico con formula CH<sub>2</sub>O<sub>0,5</sub>.

Alla pagine successiva viene riportata per completezza la tabella sopracitata. I suoi valori sono stati quindi inseriti nel software Pyrosim per modellare la reazione chimica.

Tabella 37 - Tab. M.2-2: Focolari predefiniti (scenario 5)

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio $t_d$	150 s ( <i>fast</i> )	75 s ( <i>ultra-fast</i> )
RHR <sub>max</sub> totale RHR <sub>max</sub> per m <sup>2</sup> di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m <sup>2</sup> [1]	50 MW 500 -1000 kW/m <sup>2</sup> [1]
Resa in particolato Y <sub>soot</sub>	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio Y <sub>CO</sub>	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo ΔH <sub>c</sub>	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio Y <sub>CO2</sub>	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y <sub>H2O</sub>	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR in irraggiamento (Radiative fraction)	35% [3]	
<p>[1] Da impiegare in alternativa all'RHR<sub>max</sub> totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico di incendio uniformemente distribuito, ma che può essere un valore inferiore nel caso d'incendio localizzato.</p> <p>[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report no 185 "Soot Yield Values for Modelling Purposes - Residential Occupancies", BRANZ, 2008</p> <p>[3] "C/VM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code</p> <p>[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4<sup>th</sup> ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da <i>polyurethane flexible foams</i>.</p> <p>[5] Stec AA, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con <math>\Phi = 1,25</math> (<i>underventilated fire</i>)</p> <p>[6] In alternativa alle rese Y<sub>CO2</sub> e Y<sub>H2O</sub>, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico CH<sub>2</sub>O<sub>0,5</sub>.</p>		

## 5.5 Modellazione d'esodo

La simulazione dell'esodo è stata eseguita con il software Pathfinder, sviluppato da Thunderhead Engineering, il quale tiene conto dei comportamenti degli occupanti in base alle loro caratteristiche e interazioni con l'ambiente circostante.

L'obiettivo principale della simulazione è determinare il valore di RSET, considerando l'occupante che raggiunge per ultimo il luogo sicuro nei cinque scenari considerati.

Il primo passo per modellare l'evacuazione è stato definire le geometrie: Pathfinder utilizza geometrie tridimensionali distinte tra pavimenti calpestabili e spazi vuoti, rappresentando le zone in cui gli occupanti non possono muoversi fisicamente; queste geometrie vengono poi tradotte in elementi bidimensionali durante la simulazione.

Gli occupanti si muovono in uno spazio continuo suddiviso in Rooms, Doors e elementi di accesso come rampe e scale utili a superare i dislivelli.

Importando il modello 3D da Pyrosim a Pathfinder, è stato possibile definire i pavimenti

calpestabili dei vari ambienti, i quali sono stati poi successivamente collegati tra loro tramite porte. Per l'autorimessa, sono state create due Rooms principali, una per ogni piano interrato, distinguendo le rampe carrabili poiché, almeno inizialmente, non considerate vie di esodo. Non sono stati modellati i vani scala in quanto, in conformità con la misura S.4, la lunghezza d'esodo dell'occupante si può considerare terminata quando questo giunge verso il filtro a prova di fumo che separa l'autorimessa dagli stessi vani scala protetti. Di riflesso, gli ascensori che collegano i piani interrati con quelli superiori non sono stati modellati perché non utilizzabili durante un incendio e non rilevanti ai fini simulativi.

Le Doors sono elementi cruciali nel modello, poiché consentono agli occupanti di uscire e poiché Pathfinder consente di impostare la loro chiusura in un istante specifico; questa funzione, a seguito delle prime simulazioni di prova, consente di rendere alcune porte d'uscita inaccessibili per ottenere una simulazione più realistica. Non sono state considerate le basculanti dei box al fine di mantenere una coerenza con il modello di Pyrosim.

Nell'immagine sottostante è visibile il modello utilizzato in Pathfinder. Le aree blu rappresentano le Rooms che corrispondono al piano dell'autorimessa, le aree nere indicano le stanze di deposito, le Doors sono rappresentate da linee rosse mentre gli occupanti da cilindri colorati in relazione al loro profilo.

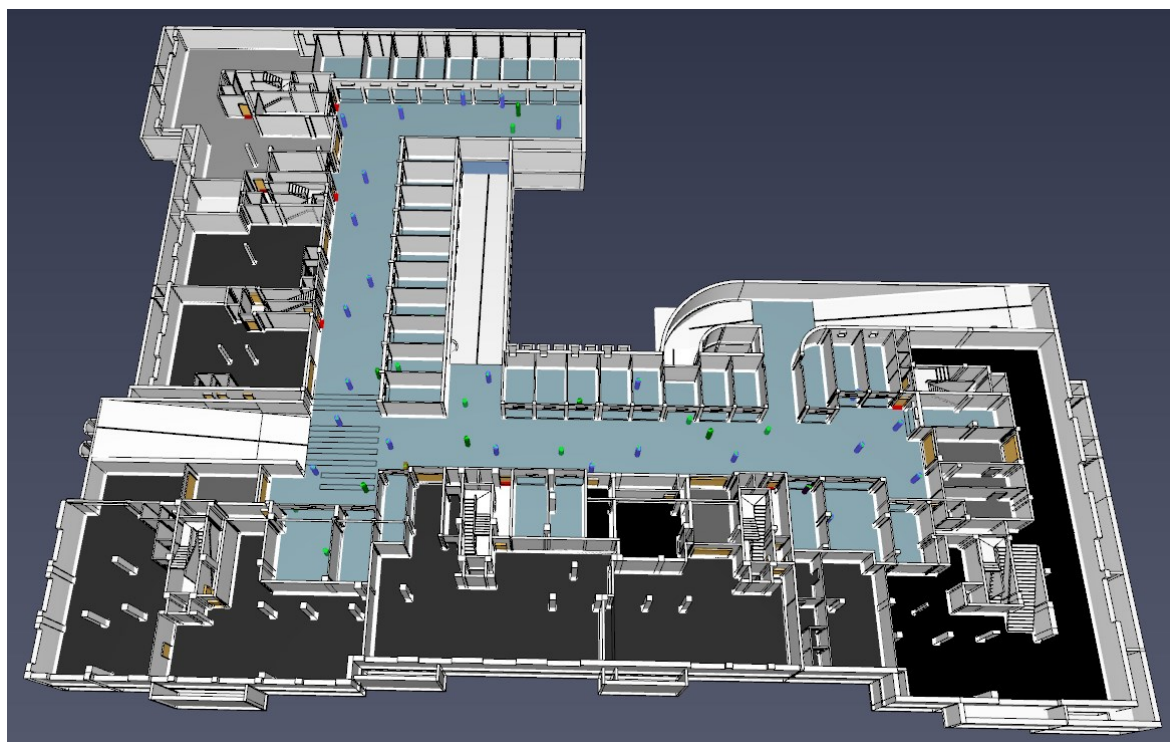


Figura 16 - Modello 3D Pathfinder (primo piano interrato)

Oltre alla modellazione geometrica, è essenziale acquisire informazioni sull'affollamento e sui profili e comportamenti degli occupanti.

Come da Codice, nell'autorimessa sono presenti 118 occupanti divisi tra il primo (43) e il secondo (75) piano interrato. Gli occupanti sono stati posizionati casualmente utilizzando il comando "Random", specificando solo il numero totale di persone per piano e le percentuali di tipologia di profilo presenti. In questo modo il software posiziona le persone in modo del tutto casuale sfruttando l'interrezza della superficie a disposizione della Rooms. Una volta inseriti gli occupanti è fondamentale caratterizzarli con profili ("Profiles") e comportamenti ("Behaviors") come specificato nei successivi paragrafi.

### 5.5.1 Profili di occupazione

La modellazione degli occupanti inizia con la definizione dei profili di occupazione, che permettono di distinguere diverse tipologie di individui in base alle loro caratteristiche fisiche e ai parametri di movimento, come altezza, ingombro e velocità.

Inizialmente si è ipotizzata una gamma eterogenea di occupanti che potrebbero trovarsi nell'autorimessa, considerando che si tratta di un'area adibita a un'attività privata.

Di conseguenza, sono stati creati profili standard al fine di garantire un approccio inclusivo, in grado di rappresentare un'ampia varietà di tipologie di occupanti.

Sono stati definiti i seguenti profili di occupazione:

- Adulto: tipologia di occupante pari al 60% del totale (26 occupanti al P-1, 46 al P-2);
- Anziano: tipologia di occupante pari al 6% del totale (2 occupanti al P-1, 4 al P-2);
- Bambino: tipologia di occupante pari al 18% del totale (8 occupanti al P-1, 14 al P-2);
- Genitore: tipologia di occupante pari al 14% del totale (6 occupanti al P-1, 10 al P-2);
- Utente con infortunio motorio: tipologia di occupante pari al 2% del totale (1 singolo occupante al P-1, 1 singolo occupante al P-2).

A tutti gli occupanti sono stati associati gli ingombri cilindrici predefiniti del software, con un diametro di 45,58 cm e un'altezza di 1,82 m. Tuttavia, sono state apportate delle eccezioni per i bambini, a cui è stata assegnata un'altezza di 1,20 m, e per gli anziani, con un'altezza pari a 1,70 m.

Al fine di garantire un approccio inclusivo nella progettazione, sono stati modellati anche gli utenti con difficoltà temporanee nel movimento; per questi individui, gli ingombri sono stati ampliati e le velocità di movimento sono state ridotte. Inoltre, anziché utilizzare la forma cilindrica standard, sono stati adottati poligoni per rappresentare l'ingombro di una coppia di stampelle.

Le velocità di movimento adottate sono state ricavate dalla norma ISO/TR 16738:2009, in particolare consultando la tabella G.4 ("travel speeds reported in the referenced literature").

Sulla base di questa tabella, per gli adulti e per i bambini è stato assunto un valore di movimento su superfici orizzontali pari a 1,19 m/s. Per gli anziani è stata impostata una velocità pari a 1,0 m/s, mentre per gli utenti con infortuni motori è stato considerato il valore medio di occupanti con disabilità locomotoria, pari a 0,80 m/s.

Inoltre, per un più rapido riconoscimento in fase di valutazione delle simulazioni, è stato associato un colore identificativo a ciascun profilo di occupazione: il blu per l'adulto, il viola per l'anziano, il verde scuro per il genitore, il verde chiaro per il bambino e il marrone per l'utente con infortunio motorio.

A titolo esemplificativo, nell'immagine seguente viene illustrato il profilo dell'utente con infortunio motorio e la modellazione del suo ingombro.

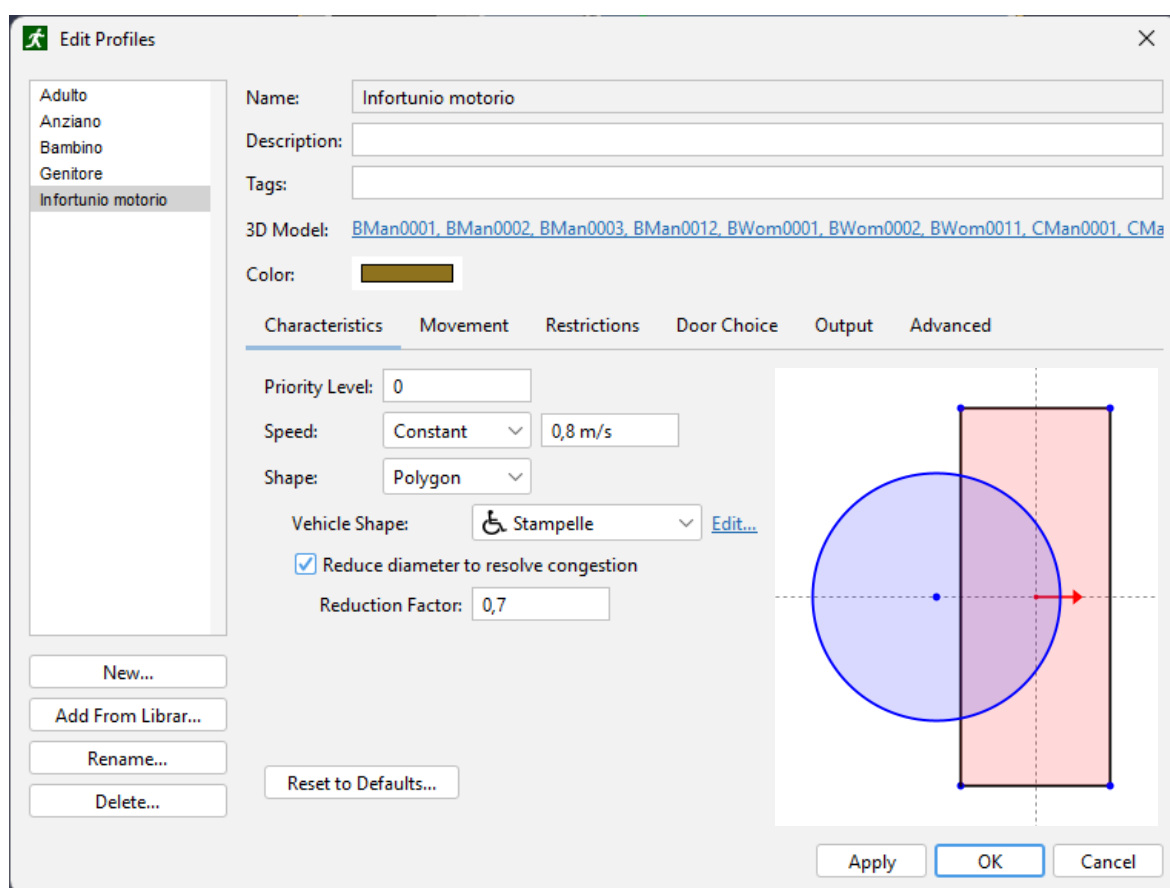


Figura 17 - Profile "Infortunio motorio" e relativo ingombro su Pathfinder



## 5.5.2 Comportamenti

Il secondo passaggio per caratterizzare gli occupanti riguarda la definizione degli itinerari comportamentali, noti come Behaviors, con cui si stabilisce una sequenza di azioni affinché gli utenti raggiungano il luogo sicuro.

La modellazione dei comportamenti è stata concepita in base ai percorsi che gli occupanti dovrebbero seguire e ai tempi di rilevazione  $t_{det}$ , di allarme generale  $t_a$  e di pre-movimento  $t_{pre}$ . Riassumendo, il tempo di rilevazione  $t_{det}$  rappresenta il tempo necessario affinché l'occupante si accorga dell'incendio, mentre il tempo di allarme generale  $t_a$  è l'intervallo di tempo tra la rilevazione dell'incendio e la diffusione del segnale di allarme agli occupanti.

Il tempo di pre-movimento  $t_{pre}$  indica invece il tempo necessario agli occupanti per compiere una serie di attività preparatorie all'esodo; infatti, in seguito al rilancio dell'allarme, è necessario tenere conto del fatto che ogni occupante necessita di un tempo di riconoscimento dell'allarme e di risposta ad esso, in cui si rende conto del pericolo e quindi si organizza prima di mettersi in movimento. La somma di questi due tempi (riconoscimento e risposta) fornisce il tempo di pre-movimento  $t_{pre}$ .

Per stimare tale tempo si è fatto uso della norma ISO/TR 16738, che fornisce una guida per valutare il tempo di pre-movimento  $t_{pre}$  su base statistica, in base al tipo di allarme (livelli A1, A2, A3), al livello di management della sicurezza (M1, M2, M3) e alla complessità dell'edificio (B1, B2, B3).

Il valore relativo alla tipologia di allarme risulta il più complesso da stabilire per tale caso studio analizzato. In prima battuta, il sistema di rilevamento automatico è presente solo nei depositi, l'attivazione manuale è estesa a tutta l'attività. In seguito alle risultanze della valutazione del rischio e degli scenari analizzati mediante simulazioni fluidodinamiche il rilevamento automatico verrà esteso anche al compartimento autorimessa. Pertanto, in prima battuta e a favore di sicurezza, si assegna il livello A2.

Il livello di management della sicurezza è medio, in quanto nell'attività non è presente un sistema di videosorveglianza, né un sistema di GSA di tipo avanzato, che preveda audit indipendenti. Pertanto, dal punto di vista di management della sicurezza, è possibile assegnare il livello M2.

Dal punto di vista della complessità dell'edificio, l'edificio presenta una certa linearità e, pertanto, è possibile assegnare il livello B1.

Date le valutazioni precedentemente esposte, per una situazione in cui gli occupanti sono svegli, che hanno familiarità con l'edificio, con livelli M2 B1 A2, la norma ISO/TR 16738 (alla tabella E.2 dopo riportata) suggerisce un tempo di pre-movimento con una distribuzione in cui il valore minimo è pari a 60 s (1° percentile) e il massimo è pari a 180 s (99° percentile). Questa valutazione risulta inoltre coerente con il profilo di rischio  $R_{vita}$  previsto, identificato come A2.

Tabella 38 - Tab. E.2: Estratto dalla norma ISO/TR 16738

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
<b>M2 B1 – B2 A1 – A2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
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.	—	—

Nel modello, al tempo di pre-movimento sono stati aggiunti anche il tempo di rilevazione  $t_{det}$  e di allarme  $t_a$ ; questi valori, in assenza di impianto di rivelazione automatico che ne permette il calcolo tramite modellazione fluidodinamica, risultano particolarmente complessi da attribuire. La letteratura italiana ed internazionale in merito non fornisce chiare e intuitive valutazioni, se non in ambiente e destinazioni d'uso che troppo si discostano dal caso esaminato. Tali valori presentano dunque una forte aleatorietà.

Basandosi sulle informazioni riportate nel libro di settore " *Metodi per l'ingegneria della sicurezza antincendio, INAIL, 2019*" per il caso in questione, è stato considerato un tempo totale  $t_{det} + t_a$  di 180 secondi, coerentemente all'attività ed al profilo di rischio  $R_{vita}$  A2.

Queste difficoltà, come si vedrà nel capitolo conclusivo del presente elaborato verranno meno una volta analizzate le misure compensative attuate nella progettazione.

La determinazione di questi tempi non si è solo limitata alle indicazioni normative e bibliografiche sopracitate. In relazione all'articolo di settore " *Gissi E. Soluzioni progettuali alternative per l'esodo, procedure analitiche di base e flessibilità progettuale*", i tempi, ad eccezione del  $t_{tra}$ , sono stati modellati in seguito alle preliminari simulazioni d'esodo effettuate al fine di rendere le stesse più realistiche.

Per ogni scenario considerato, sono state identificate distinzioni tra le aree prossime al focolare dell'incendio e quelle più distanti. Questo approccio tiene conto del fatto che i tempi di rivelazione e allarme sono notevolmente ridotti nelle aree vicine all'origine dell'incendio. Ad esempio, è stato ipotizzato che il rumore generato dall'evacuazione dei primi occupanti che rilevano l'incendio potrebbe attirare l'attenzione degli occupanti nelle vicinanze, accelerando così il loro processo di evacuazione. Inoltre, basandosi sulle prime simulazioni effettuate con Pathfinder integrate dai risultati ottenuti da Pyrosim, è stato possibile modellare i tempi tenendo conto della visibilità all'interno dell'autorimessa.

In particolare, considerando la propagazione dei fumi nelle vicinanze degli occupanti, si è ipotizzato che i tempi di rivelazione, allarme e reazione diminuiscano per coloro che percepiscono il pericolo come imminente e visibile.

Per implementare le considerazioni precedenti nel software Pathfinder, si è scelto di distinguere il comportamento degli occupanti in base alla loro posizione e alla distanza relativa dall'origine dell'incendio. Pertanto, per ciascuno scenario di incendio, si è associato un comportamento specifico ad ogni occupante, utilizzando la regola del filo teso per approssimare la loro distanza dal focolare; questa scelta è stata affinata in base ai risultati delle prime simulazioni.

La somma dei tempi di rilevazione, allarme e pre-movimento è stata assegnata a ciascun occupante utilizzando una distribuzione di probabilità log-normale. Questo approccio consente agli occupanti di iniziare a muoversi in momenti diversi, riflettendo una situazione realistica, ma sempre entro un intervallo temporale definito da un tempo iniziale e finale. Segue un elenco dei comportamenti inclusi nella modellazione dell'esodo, con relativa nomenclatura e caratteristiche:

- Go to any exit:  $[t_{det} + t_a + t_{pre}] = 240 : 360$  s, associato agli occupanti situati nel piano opposto al focolare e sufficientemente lontani dallo stesso per non accorgersi significativamente dei suoi effetti;
- Vicino innesco 3:  $[t_{det} + t_a + t_{pre}] = 120 : 180$  s, associato agli occupanti situati ad una distanza indicativa dal focolare in un range di 30/50 m;
- Vicino innesco 2:  $[t_{det} + t_a + t_{pre}] = 90 : 120$  s associato agli occupanti situati ad una distanza indicativa dal focolare in un range di 15/30 m;
- Vicino innesco 1:  $[t_{det} + t_a + t_{pre}] = 60 : 90$  s, associato agli occupanti situati ad una distanza indicativa dal focolare in un range di 10/15 m;
- Vicino innesco 0:  $[t_{det} + t_a + t_{pre}] = 30$  s (costante), associato all'occupante all'interno del box auto ove presente il focolare;
- Genitore-figlio:  $[t_{det} + t_a + t_{pre}]$  in funzione della distanza dal focolare come sopra. Tale comportamento si differenzia dai precedenti dal momento che i relativi occupanti si muoveranno come gruppo in modo da simulare il comportamento gregario di una famiglia; questa dinamica è stata resa possibile attraverso l'impostazione di "Movement groups" nel software, che consente di associare un movimento collettivo a ciascun gruppo famiglia creato.

I tempi precedentemente definiti, attribuiti tramite distribuzione log-normale e associati a ciascun comportamento, rappresentano un "Initial Delay", ossia un ritardo iniziale prima dell'inizio effettivo dell'evacuazione. È importante ricordare che il software di simulazione d'esodo calcolerà l'RSET per ogni occupante, che sarà dato dalla somma dell'Initial Delay considerato e del tempo di uscita  $t_{tra}$  calcolato dal software stesso mediante ogni specifica simulazione.

Per ciascun comportamento descritto, è stato configurato il comando "Any Exit", attraverso il quale gli individui effettuano l'esodo seguendo il criterio del percorso più veloce, ossia

dirigendosi verso l'uscita di sicurezza più vicina alla loro posizione.

Al fine di migliorare tale condotta e rendere ogni scenario verosimile sono stati impostati dei controlli sugli elementi porte. Attraverso il comando "Controls", è stato possibile gestire l'apertura e la chiusura delle porte d'esodo in base a intervalli temporali prestabiliti e scelti dall'utente. Valutando le simulazioni preliminari tramite slices e devices si sono ricavati gli istanti nei quali ogni uscita di sicurezza diventa impraticabile per l'esodo degli occupanti. Individuato tale istante, si è impostato il relativo controllo in modo che la porta rimanesse permanentemente chiusa, costringendo gli occupanti a dirigersi via via verso la successiva uscita disponibile e praticabile per la fuga.

Questo processo ha permesso di raffinare il modello d'esodo per creare scenari più critici e realistici, in cui gli occupanti reagiscono dinamicamente all'intensità e agli effetti dell'incendio.

In basso viene riportata un'immagine raffigurante gli occupanti presenti nel modello.

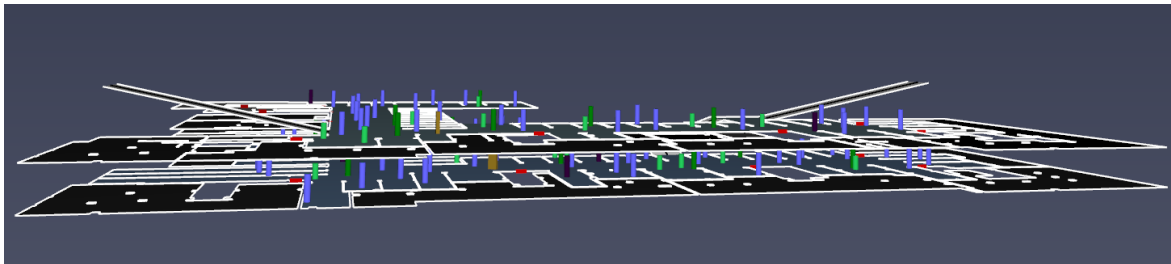


Figura 18 - Modello Pathfinder complessivo (vista assonometrica)

## 5.6 Analisi degli scenari d'incendio di progetto

Al presente paragrafo verranno esaminati e commentati i risultati delle analisi degli scenari d'incendio precedentemente introdotti. Per ciascuno di essi, verranno esposti gli output relativi all'incendio, a partire dal confronto tra la curva RHR inserita e quella generata dal software in base all'andamento della combustione; successivamente verranno proposti e sintetizzati alcuni dei valori numerici estrapolati dai Devices per le 4 soglie di prestazione e i risultati grafici relativi a Slices di visibilità e temperatura.

In particolare, verranno analizzate: Slices alle quote significative per il piano in esame (1,5 e 2 m dal piano di calpestio) e Slices in diverse direzioni x-y, secanti i percorsi e le vie di esodo; Isosurfaces e output numerici (elaborati sottoforma di diagrammi) di Devices significativi e rappresentativi il modello di calcolo avanzato.

È opportuno notare che, per i primi quattro scenari, verranno forniti gli esiti sia con che senza impianto di spegnimento automatico a sprinkler. Per semplificare il riferimento, gli scenari con impianto sprinkler verranno indicati con il suffisso ".S".

Per raggiungere gli obiettivi delineati nella tesi, è fondamentale condurre un'analisi approfondita degli effetti dell'incendio e della conseguente evacuazione degli occupanti all'interno dell'autorimessa interrata.

L'interoperabilità tra i software sviluppati da Thunderhead Engineering consente la visualizzazione dell'esodo degli occupanti su Pathfinder integrata con gli output grafici di Pyrosim. Di conseguenza, i valori di visibilità e temperatura saranno rappresentati mediante apposite scale di colori, consentendo al contempo una valutazione delle relative posizioni degli occupanti.

Successivamente, saranno estrapolati e giustificati i valori di ASET e RSET per ciascuno scenario, con particolare attenzione alla salvaguardia della vita degli occupanti.

Infine, sarà valutato il rispetto della salvaguardia della vita dei soccorritori come da obiettivi prefissati. Si ricorda che le simulazioni hanno una durata di 1416 secondi, pertanto, saranno riportate solo le istantanee di momenti critici e rappresentativi.

In basso vengono riproposti sinteticamente i diversi scenari analizzati:

- SCENARIO 1: focolare con fiamma nel box auto doppio al 1° piano interrato S1\_35, curva RHR associata → 2 auto (media + dev. st.) / (RHR con imp. sprinkler).
- SCENARIO 2: focolare con fiamma nel box auto singolo al 1° piano interrato S1\_11, curva RHR associata → 1 auto (media + dev. st.) / (RHR con imp. sprinkler).
- SCENARIO 3: focolare con fiamma nel box auto doppio al 2° piano interrato S2\_32, curva RHR associata → 2 auto (media + dev. st.) / (RHR con imp. sprinkler).
- SCENARIO 4: focolare con fiamma nel box auto doppio al 2° piano interrato S2\_53, curva RHR associata → 2 auto (media + dev. st.) / (RHR con imp. sprinkler).

- SCENARIO 5 (Extra): focolare con fiamma nel deposito al 1° piano interrato S1\_49, curva RHR associata → focolare predefinita.

### SCENARIO 1

Nel primo scenario, si è considerata l'ipotesi di un incendio all'interno del box auto doppio S1\_35 situato nel primo piano interrato. In questa situazione, l'incendio si sviluppa gradualmente, principalmente coinvolgendo la corsia di manovra del box antistante il condominio Orizzonte. Come evidenziato dalle immagini fornite di seguito, questo scenario presenta minori criticità per quanto riguarda l'evacuazione degli occupanti, consentendo un esodo in sicurezza sia in presenza che in assenza di un impianto sprinkler.

Per questo e per i successivi scenari, la principale criticità riguarda la propagazione dei fumi e la conseguente riduzione della visibilità, considerata la principale sfida del caso studio analizzato.

La curva RHR ottenuta dal software rispecchia quasi perfettamente quella inserita in fase di programmazione della simulazione; le uniche differenze riscontrabili riguardano l'estensione nel tempo della curva inserita, maggiore di quella estrapolata, la quale invece dipende dalle impostazioni di durata della simulazione.

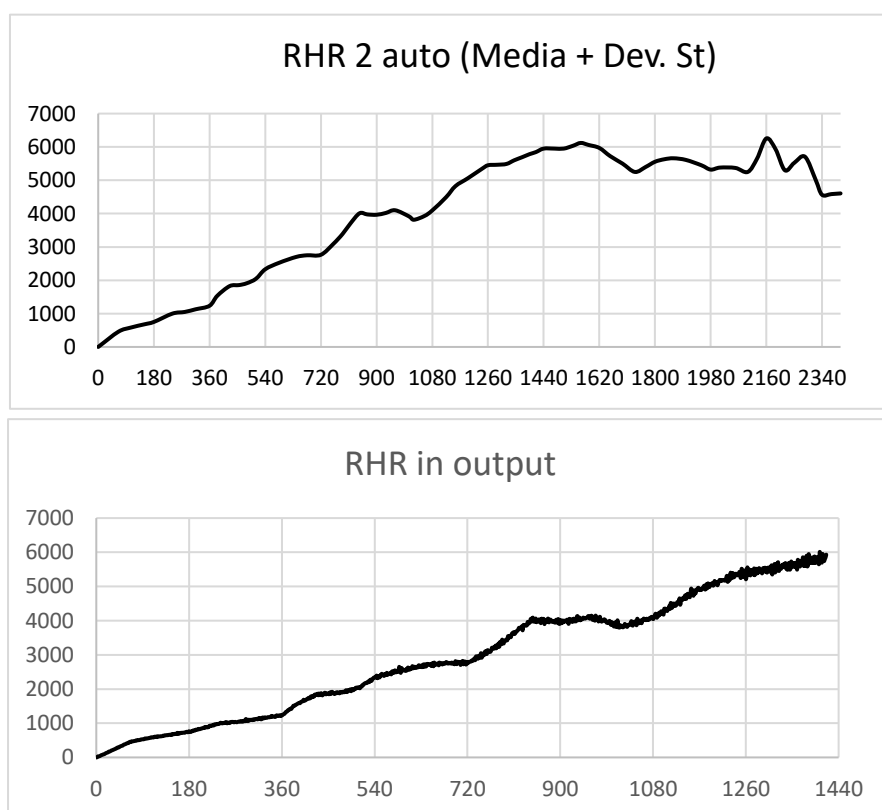


Figura 19 - Confronto tra curva RHR inserita ed estrapolata

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

Saranno ora presentate le immagini delle slice di visibilità, catturate a un'altezza di 2 metri dal piano di calpestio del primo piano interrato, in istanti significativi per la salvaguardia della vita degli occupanti. In ogni immagine sarà riportata la scala di colori nella quale sarà evidenziata in grigio la soglia di prestazione a 10 metri. Seguiranno le immagini riportanti sinteticamente le slice di temperatura ad analoga quota di calpestio.

In seguito, verranno riportate le slice sull'asse y utili a visualizzare l'occupante che rappresenta l'RSET; per lo stesso, la visione sarà ampliata dalla relativa isosurface.

Si ricorda che in primis verrà analizzato lo scenario in assenza di impianto sprinkler nel compartimento autorimessa.

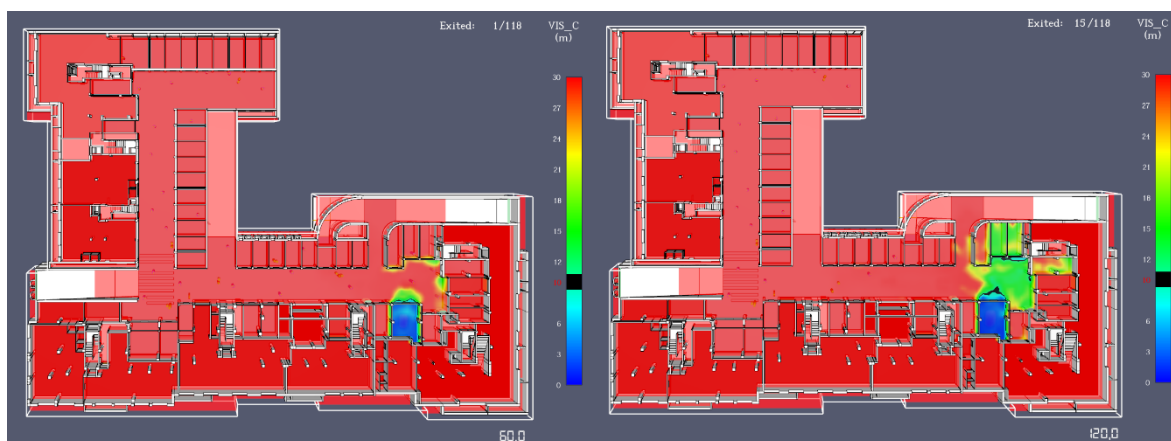


Figure 20/21 - Slice di visibilità a 60 s (sx) e 120 s (dx) SCENARIO 1

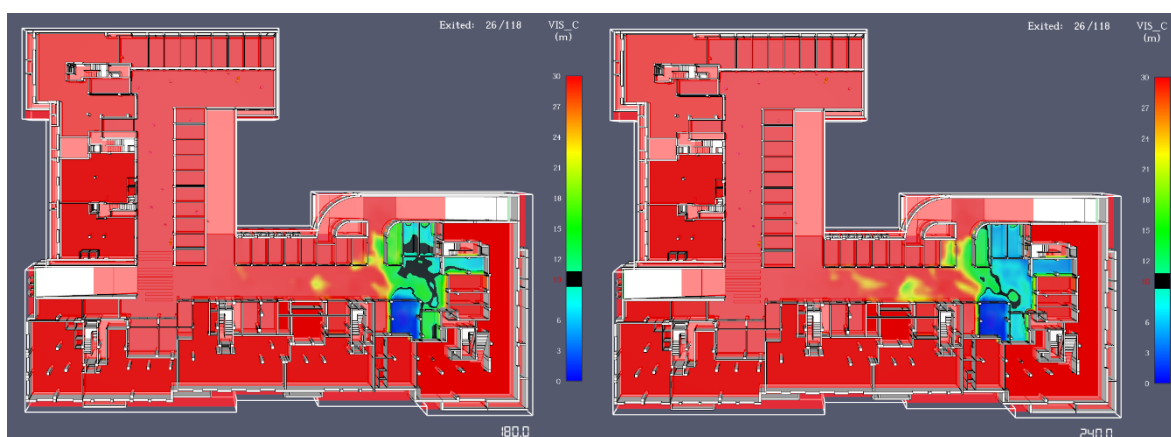


Figure 22/23 - Slice di visibilità a 180 s (sx) e 240 s (dx) SCENARIO 1

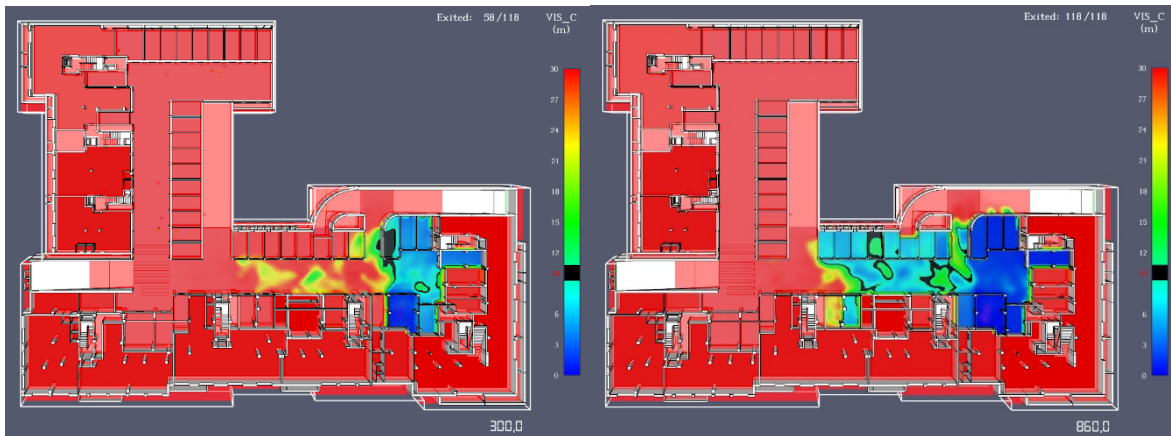


Figure 24/25 - Slice di visibilità a 300 s (sx) e 860 s [ASET] (dx) SCENARIO 1

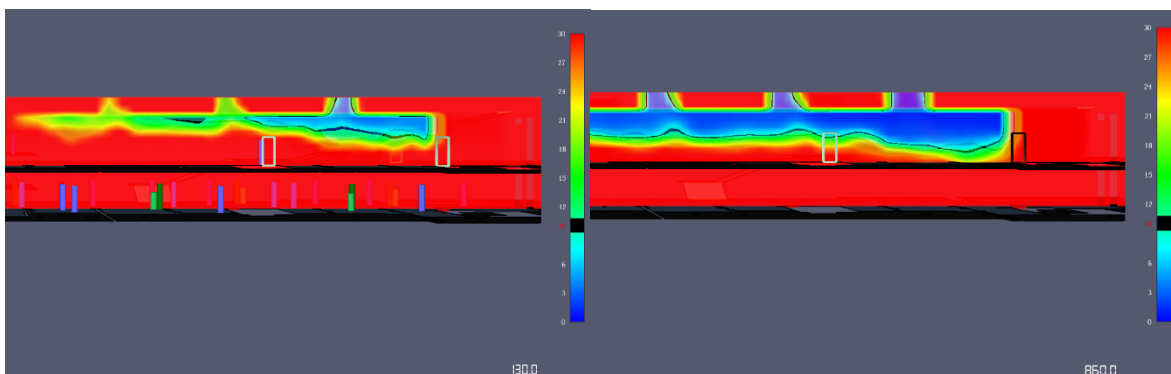


Figure 26/27 - Slice di visibilità lungo y a 130 s (sx) e 860 s [ASET] (dx) SCENARIO 1

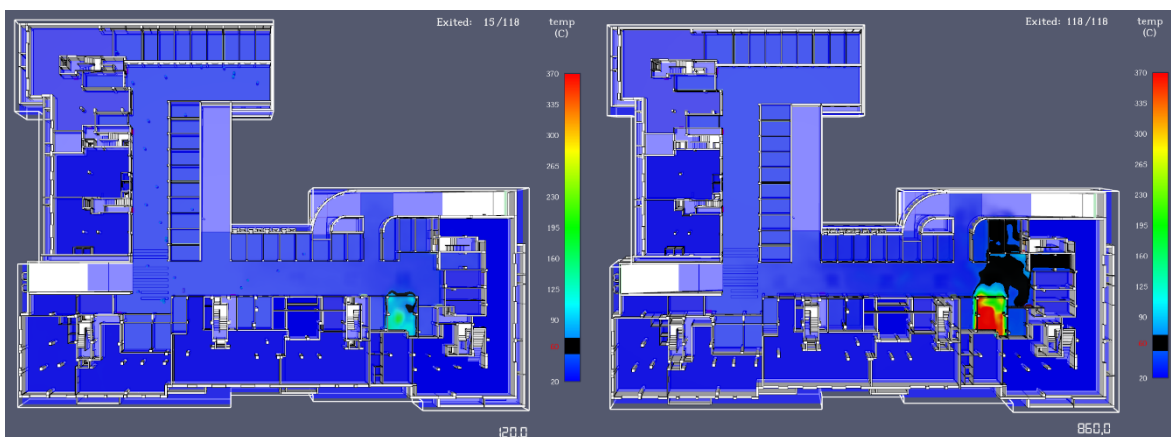


Figure 28/29 - Slice di temperatura a 120 s (sx) e 860 s [ASET] (dx) SCENARIO 1

Le immagini precedenti evidenziano che, in questo scenario d'incendio, la propagazione dei fumi e la conseguente diminuzione della visibilità rappresentano la principale criticità.



Dopo i primi 60 secondi, il box auto in cui si è verificato l'incendio diventa completamente impraticabile; l'occupante all'interno di questo box non verrà considerato ai fini della valutazione dell'RSET. Dopo 120 secondi, il fumo inizia a diffondersi nell'area antistante il box; tuttavia, le vie d'uscita rappresentate dai vani scala protetti A e B del condominio Orizzonte rimangono ancora accessibili. Queste vie d'uscita diventano impraticabili dopo 240 secondi, ma, entro questa tempistica, tutti gli occupanti nelle vicinanze dell'incendio risultano già messi in salvo. Si ricorda che gli occupanti sono stati modellati secondo i comportamenti al paragrafo 5.5.2 della presente relazione.

Come visibile dalle figure 26/27, risultano essenziali per smaltire i fumi le 5 griglie di aerazioni su spazio a cielo libero presenti in mezzeria di tutta la corsia di manovra. Infatti, dall'analisi emerge che sin dai primi minuti di simulazione i fumi si accumulano verso l'estremità destra dell'area di manovra; stratificano in alto per poi discendere lungo le pareti fino alla quota di imposta di porte e basculanti: da quel punto in poi, muovendosi verso sinistra evacuano grazie alle prime due aperture di smaltimento nel corridoio e verso l'apertura data dalla rampa su via Monte Ortigara. Dopo 300 secondi, il fumo non ha invaso ulteriori spazi di manovra e si inizia ad espandere verso sinistra. Si nota raggiunto il valore di ASET all'istante di 860 s: a tale tempistica, infatti, le 3 uscite di sicurezza dell'area limitrofa il box auto contenente il focolare risultano impraticabili; inoltre, gli stessi passaggi d'esodo tramite l'area di manovra si notano completamente invasi dal fumo. Tale considerazione sarà ulteriormente supportata dalle figure contenenti gli output dei devices. Il valore di RSET è stato calcolato considerando l'ultimo occupante che lascia in sicurezza l'area di manovra antistante il box auto S1\_35. Questa situazione si verifica all'istante di 130 secondi, quando lo stesso esce dal compartimento utilizzando la porta d'esodo del vano scala C del condominio Orizzonte. Tutti gli altri occupanti ad esodare successivamente escono senza essere influenzati in alcun modo dagli effetti incendio. L'ultimo occupante abbandona la struttura dal secondo piano interrato al secondo 420 senza mai essere investito in alcun modo dagli effetti dell'incendio.

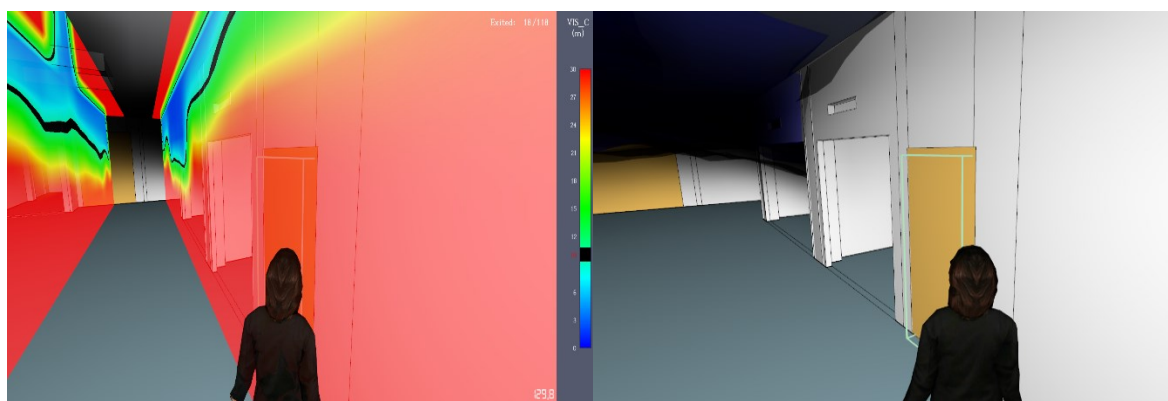


Figure 30/31 - RSET [130 s] con slice di visibilità a (sx) e isosurface di visibilità (dx) SCENARIO 1

Per valutare e consolidare il valore di ASET si sono inoltre analizzati almeno tre modelli, di oscuramento della visibilità, del calore e dei gas tossici. Si valuta il superamento delle soglie di prestazione riportati alla tabella 34 e segnati attraverso una linea rossa in ogni tabella.

La prima figura (n° 32) analizzata riguarda il modello di oscuramento della visibilità, che risulta essere fondamentale in questa analisi in quanto il più significativo tra i tre.

Il primo dispositivo a registrare valori di visibilità inferiori alla soglia di prestazione, fissata a 10 metri per gli occupanti, è il dispositivo VIS01 posizionato all'interno del box auto. Seguono un andamento analogo i dispositivi posizionati nell'area destra della corsia di manovra, rispettivamente dinnanzi all'uscita B e A, denominati VIS02 e VIS03. Tuttavia, tali dispositivi non sono stati considerati per l'ASET in quanto troppo vicini al focolare.

I dispositivi posizionati nella mezzeria dell'area di manovra (VIS04, VIS05, VIS07, VIS08) mostrano un andamento altalenante, influenzato dalle cinque grandi aperture di aerazione che consentono un adeguato ricambio d'aria e lo smaltimento dei fumi.

I dispositivi considerati per definire il valore dell'ASET, insieme alle slice precedentemente analizzate, sono il VIS06 e VIS07, posizionati rispettivamente dinnanzi all'uscita C del condominio Orizzonte e subito nell'area antistante. Si osserva che dopo circa 860 secondi tali dispositivi scendono sotto la soglia di prestazione e rimangono al di sotto di essa fino al termine della simulazione, indicando che l'area risulta impraticabile per eventuali occupanti ancora presenti all'interno dell'autorimessa.

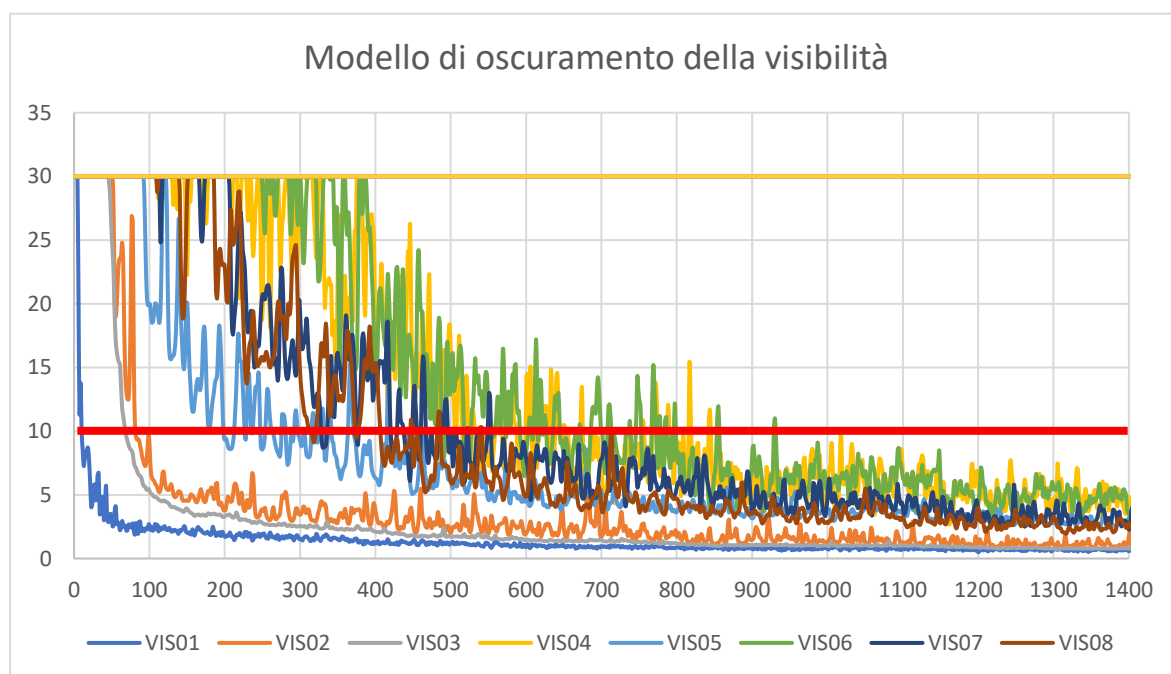


Figura 32 - Modello di oscuramento della visibilità SCENARIO 1

Il modello del calore analizza due grandezze: temperatura e irraggiamento.

Per quanto riguarda la temperatura, osservando la figura 33, si nota che solo tre dispositivi registrano temperature superiori alla soglia di prestazione, fissata a 60°C.

Tuttavia, questi dispositivi (TEMPO1, TEMPO2 e TEMPO3), situati nelle stesse posizioni dei dispositivi di visibilità precedentemente esaminati, non sono considerati per determinare il valore di ASET.

Per quanto riguarda l'irraggiamento, si osserva la figura 34. In questo caso, solo il dispositivo IRR01, posizionato sopra il focolare, supera la soglia di prestazione (pari a 2,5 kW/m<sup>2</sup>) entro i 1416 secondi. È evidente, grazie al modello del calore, che tali quantità rimangono confinate all'interno del box auto interessato dal focolare delle due auto.

Per l'analisi del modello dei gas tossici, si riporta il grafico in figura 35.

L'unico dispositivo che registra valori superiori alla soglia di prestazione (fissata a 0,1) è il FED01 all'interno del box S1\_35.

Tuttavia, si ribadisce che i valori registrati da tali dispositivi vengono esclusi dal calcolo dell'ASET, poiché le soglie di prestazione sono raggiunte nettamente in precedenza nel modello della visibilità, che risulta essere il più critico all'interno dell'autorimessa.

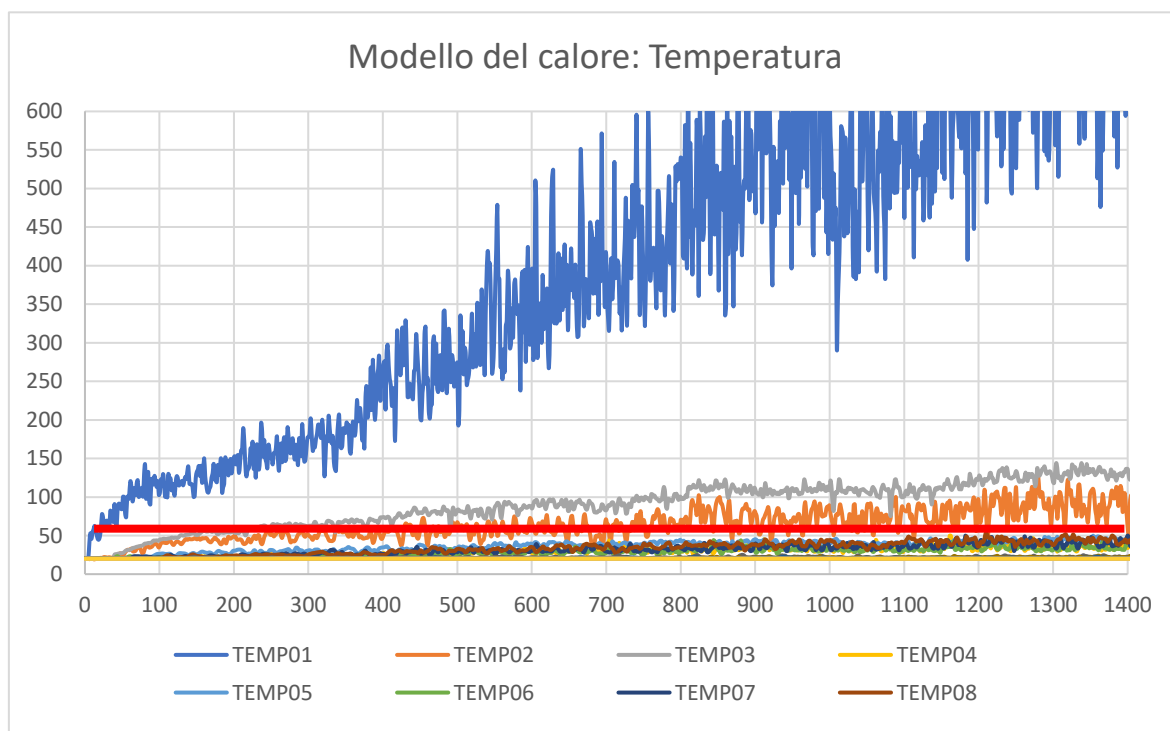


Figura 33 - Modello del calore, temperatura SCENARIO 1

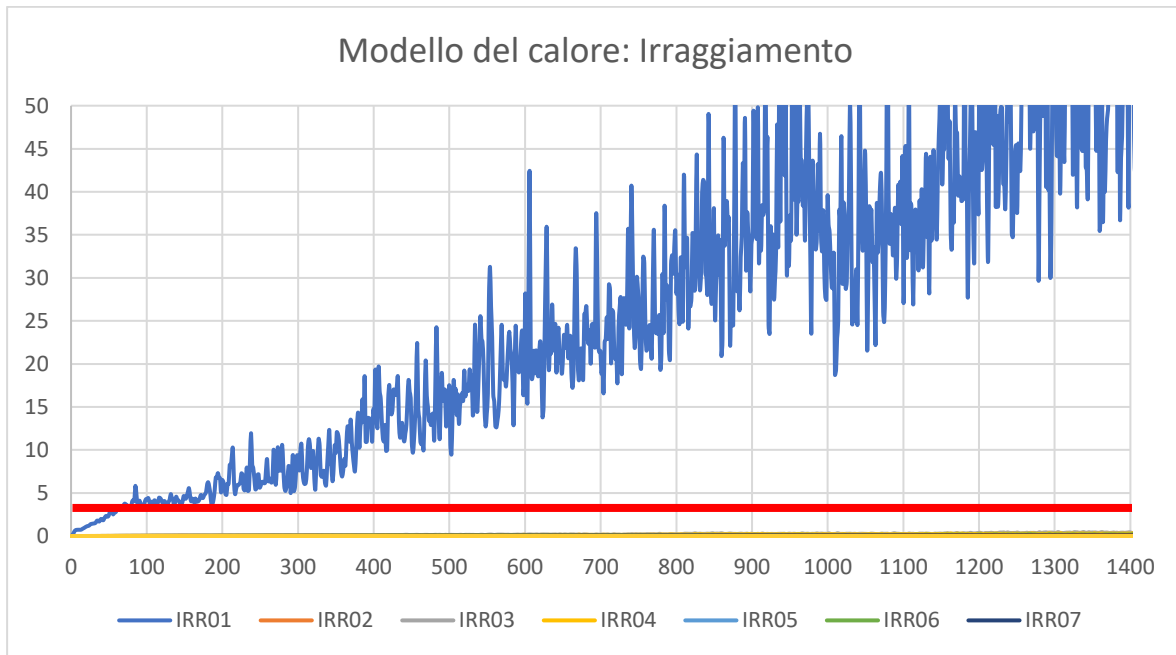


Figura 34 - Modello del calore, irraggiamento SCENARIO 1

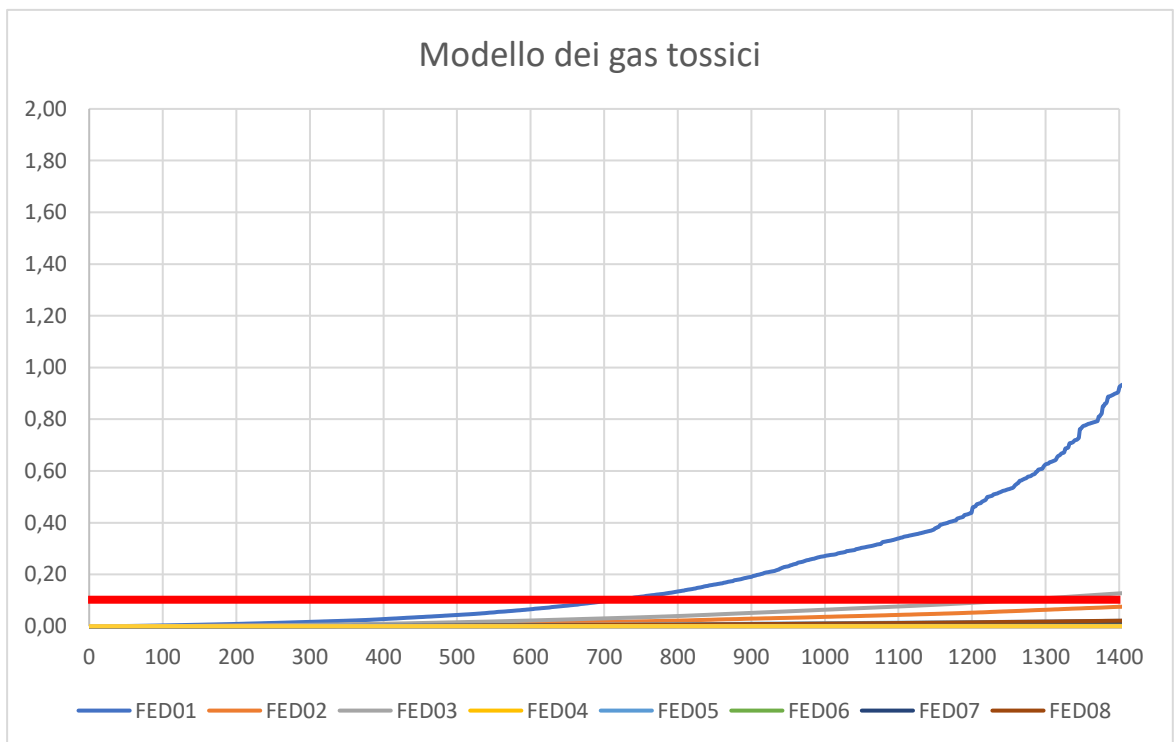


Figura 35 - Modello dei gas tossici, FED SCENARIO 1

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

Dall'analisi delle slice e dei grafici presentati nelle pagine precedenti, è emerso che la diseguaglianza  $ASET > RSET$ , relativa allo scenario 1 senza sprinkler, risulta verificata. Ciò significa che i valori di visibilità, temperatura, irraggiamento e FED superano le soglie di prestazione dopo che l'ultimo occupante dell'area d'interesse ha completato in sicurezza l'evacuazione con un tempo superiore a  $t_{marg}$ .

Dai risultati ottenuti con Pyrosim è possibile considerare un ASET per tale scenario pari a 860 secondi. Dall'integrazione degli effetti dell'incendio nella simulazione effettuata con Pathfinder, è stato possibile determinare il tempo che impiega l'ultimo occupante a fuoriuscire dall'area interessata dagli effetti dell'incendio RSET pari a 130 secondi.

Il criterio di diseguaglianza riportato al capitolo M.3.2.2 del D.M. 03/08/2015 risulta soddisfatto mentre il  $t_{marg}$  è superiore al minimo valore consigliato.

$$ASET > RSET \rightarrow 860 \text{ s} > 130 \text{ s}$$
$$t_{marg} = ASET - RSET = 730 \text{ s} \geq 100\%RSET$$

Successivamente alla valutazione per la salvaguardia della vita degli occupanti è necessario valutare tale scenario d'incendio per la salvaguardia della vita dei soccorritori.

Si valuta se, al termine della simulazione, le condizioni per l'ingresso dei soccorritori nella struttura e per l'estinzione dell'incendio risultano accettabili secondo le relative soglie.

Dopo 1416 secondi, l'incendio si è limitato all'area di manovra di fronte al focolare e alle 3 uscite di sicurezza del condominio Orizzonte. Questo è dovuto alle ampie dimensioni delle aperture di aerazione e al confine con l'area di manovra del condominio di Lea, essendo uno spazio a cielo aperto. Quindi, i vigili del fuoco, al loro arrivo, possono entrare nel primo piano interrato attraverso i 5 vani scala protetti ancora accessibili (A, B, C condominio Di Lea e D, E condominio Orizzonte) e dalla rampa su via Delleani, non interessata dagli effetti dell'incendio. Inoltre, al loro arrivo, solo un singolo idrante a muro risulta inutilizzabile per contrastare l'incendio. Come riportato nelle immagini in basso e visibile nei grafici precedenti, la salvaguardia della vita dei soccorritori risulta ampiamenti verificata.

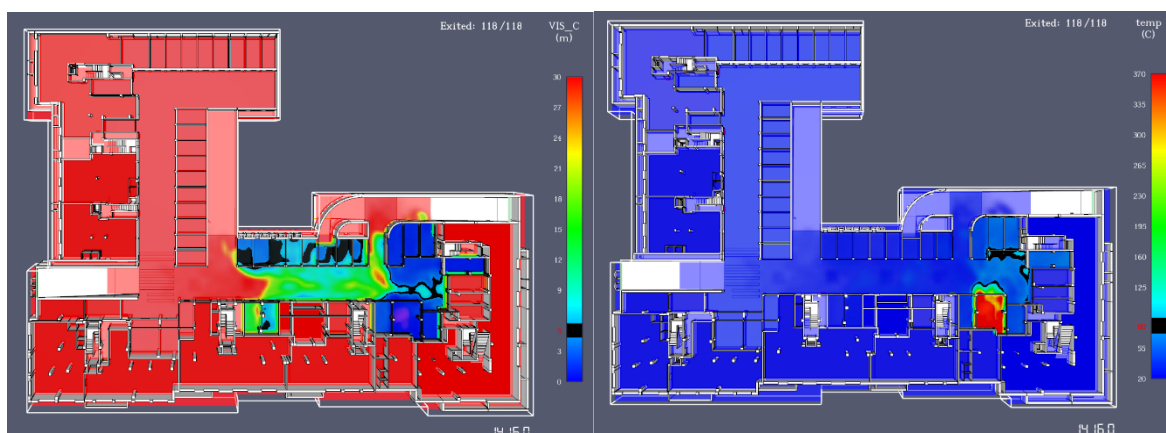


Figure 36/37 - Slice di visibilità (sx) e temperatura (dx) a 1416 s SCENARIO 1

Una volta valutati e commentati i risultati del primo scenario, è necessario confrontare le stesse grandezze nel caso in cui sia presente l'impianto di spegnimento automatico a sprinkler. Lo scenario si presenta in modalità analoga a quella precedente, ovvero all'interno del box auto doppio S1\_35 situato nel primo piano interrato.

In questa situazione, l'incendio si sviluppa gradualmente e meno intensamente del caso precedente, coinvolgendo giusto parte della corsia di manovra del box antistante il condominio Orizzonte.

La curva RHR ottenuta dal software rispecchia quasi perfettamente quella inserita in fase di programmazione della simulazione; si ricorda che la stessa, pur presentando analogo andamento, è stata limitata al 50% della potenza espressa una volta attivata la prima testina erogatrice presente all'interno del box.

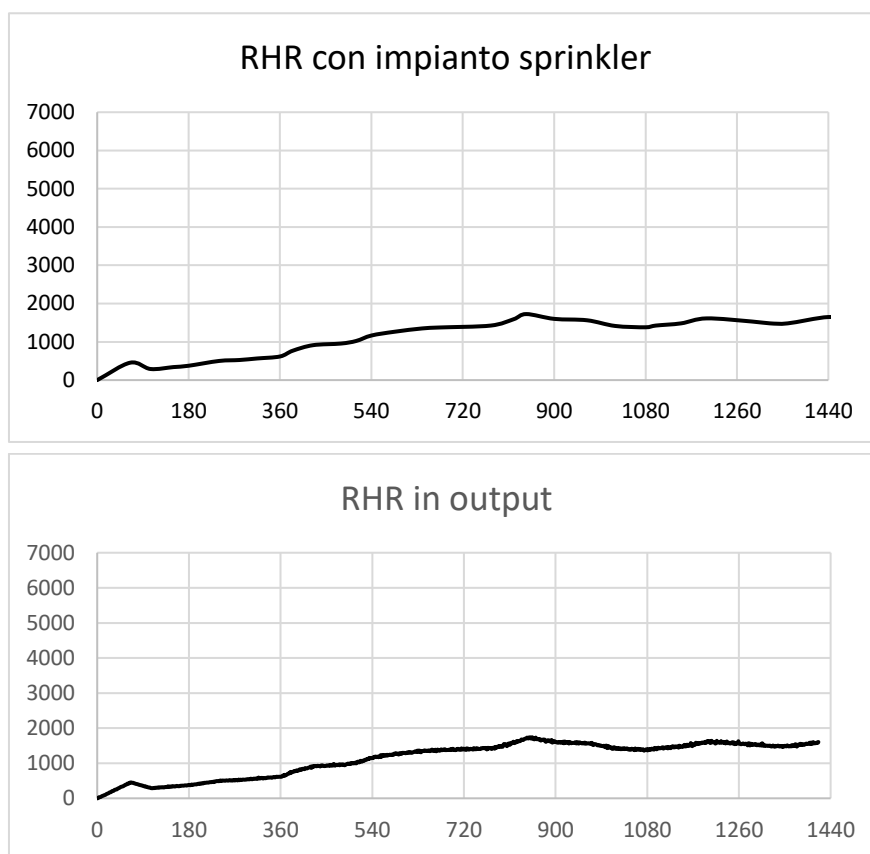


Figura 38 - Confronto tra curva RHR inserita ed estrapolata

Saranno ora presentate le immagini delle slice di visibilità, catturate a un'altezza di 2 metri dal piano di calpestio del primo piano interrato, nei medesimi istanti significativi precedenti per la salvaguardia della vita degli occupanti. In ogni immagine sarà riportata la scala di colori nella quale sarà evidenziata in grigio la soglia di prestazione a 10 metri.

Seguiranno le immagini riportanti sinteticamente le slice di temperatura ad analoga quota

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

di calpestio utili ad un immediato confronto visivo con il caso precedente.

In seguito, verranno riportate le slice sull'asse y al fine di visualizzare l'occupante che rappresenta l'RSET; per lo stesso la visione sarà ampliata dalla relativa isosurface.

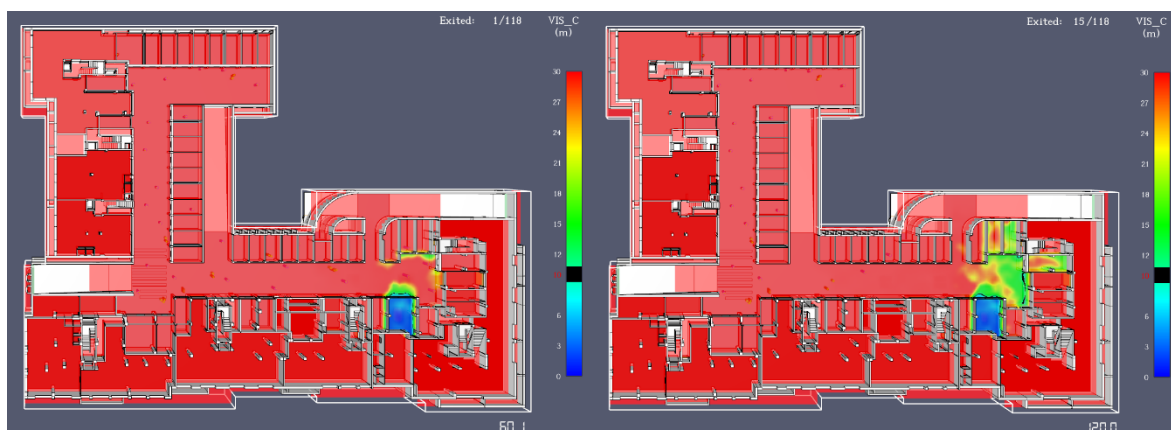


Figure 39/40 - Slice di visibilità a 60 s (sx) e 120 s (dx) SCENARIO 1.S

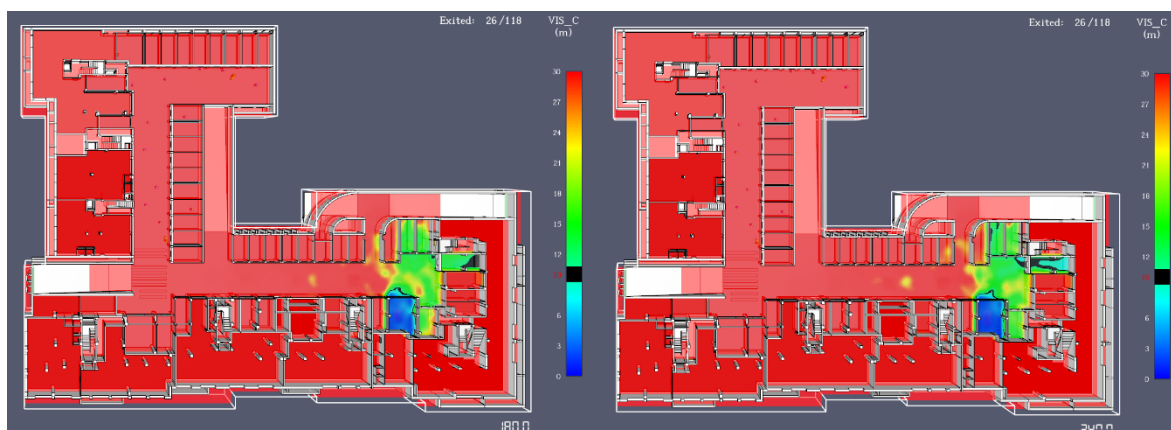


Figure 41/42 - Slice di visibilità a 180 s (sx) e 240 s (dx) SCENARIO 1.S



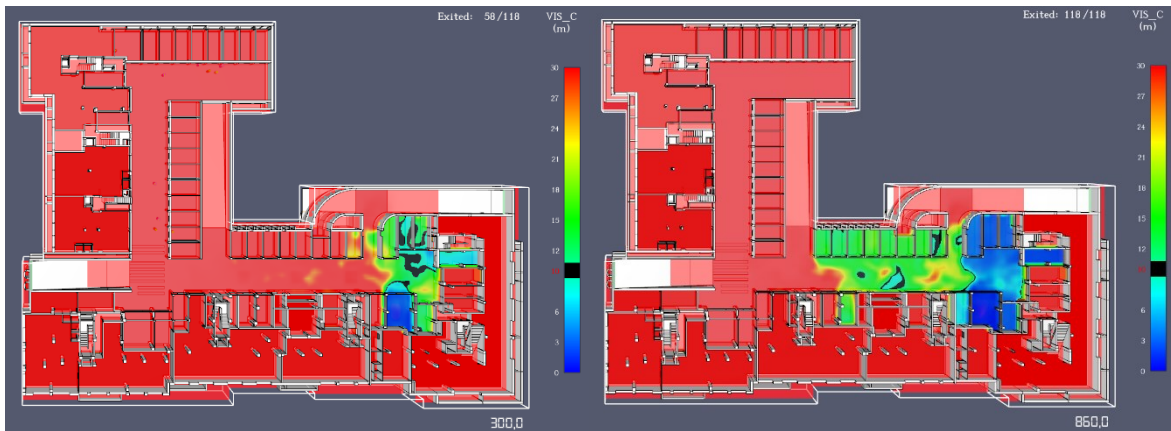


Figure 43/44 - Slice di visibilità a 300 s (sx) e 860 s (dx) SCENARIO 1.S

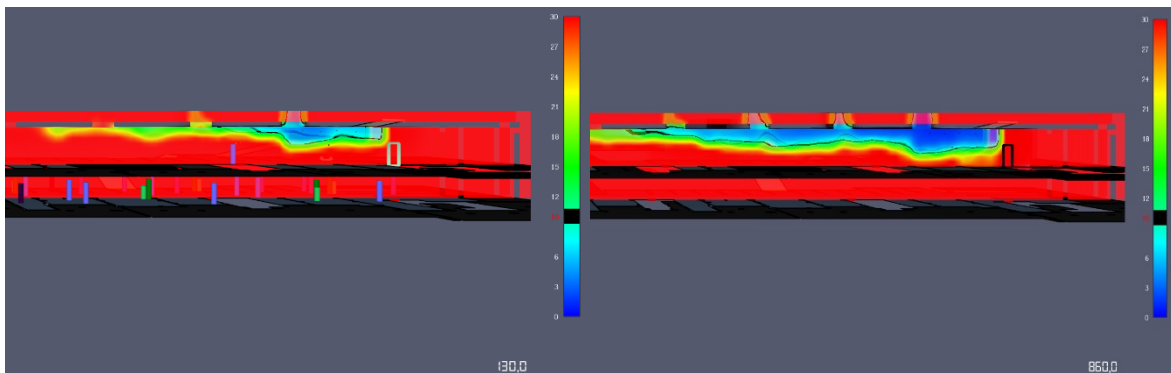


Figure 45/46 - Slice di visibilità lungo y a 130 s (sx) e 860 s (dx) SCENARIO 1.S

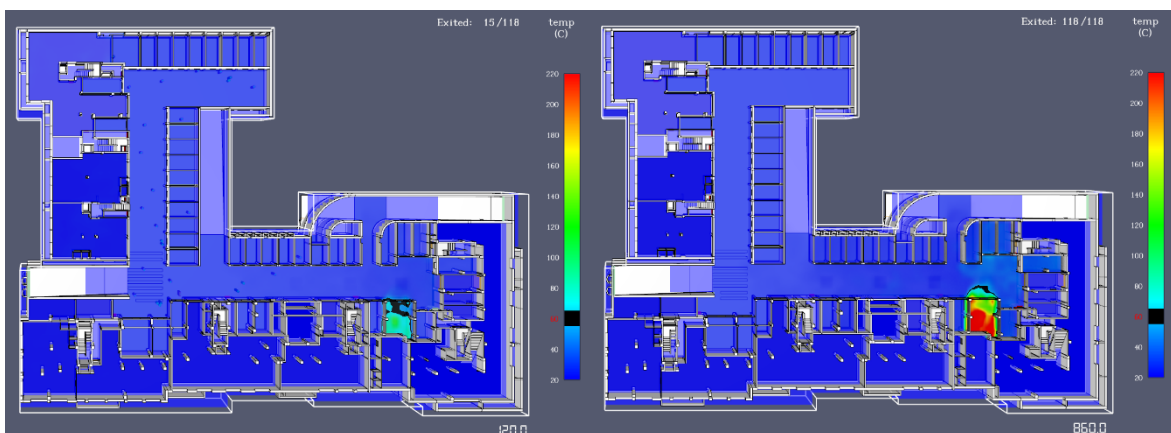


Figure 47/48 - Slice di temperatura a 120 s (sx) e 860 s (dx) SCENARIO 1.S

Le immagini precedenti evidenziano che, nello scenario d'incendio 1 in presenza di impianto sprinkler, la propagazione dei fumi e la conseguente diminuzione della visibilità



rappresentano la principale criticità seppur decisamente meno gravosa del caso precedente. Dopo i primi 60 secondi, il box auto in cui si è verificato l'incendio diventa in analogia completamente impraticabile. Dopo 120 secondi, il fumo inizia a diffondersi nell'area a destra antistante il box ma con meno intensità; le vie d'uscita rappresentate dai vani scala protetti A e B del condominio Orizzonte non diventano impraticabili nemmeno passati 300 secondi, e, entro questa tempistica, tutti gli occupanti nelle vicinanze dell'incendio risultano già messi in salvo senza avvertire nettamente gli effetti dell'incendio.

Anche con l'impianto sprinkler, come visibile dalle figure 45/46, le griglie di aerazione su cielo libero risultano essenziali per smaltire i fumi. La dinamica della propagazione dei fumi risulta molto simile alla precedente, tuttavia, è evidente la minore intensità dell'incendio come descritto altresì dalla sua curva RHR.

Se si confrontano le situazioni per l'istante a 860 s, individuato come ASET per il caso precedente con l'analoga situazione in presenza di sprinkler (figure 25 e 44) si possono fare le seguenti considerazioni: nel secondo caso tutta l'area di manovra, ad eccezione delle uscite A e B, risulta ancora praticabile per l'esodo. Per di più valutando il proseguo della simulazione non si individuano quantitativi di fumo e calore tali che permettano di individuare un vero e proprio ASET per tale scenario. Tale considerazione sarà ulteriormente supportata dalle figure contenenti gli output dei devices.

Il valore di RSET è il medesimo dello scenario ove non sono presenti gli sprinkler in quanto questi non influenzano i tempi  $t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$  costituenti l'RSET.

Questa situazione si ripete all'istante di 130 secondi, quando l'ultimo occupante esce dal compartimento utilizzando la porta d'esodo del vano scala C del condominio Orizzonte.

Nelle immagini sottostanti si può tuttavia notare che gli effetti dell'incendio sono meno critici rispetto a quelli presenti nelle figure 30/31.

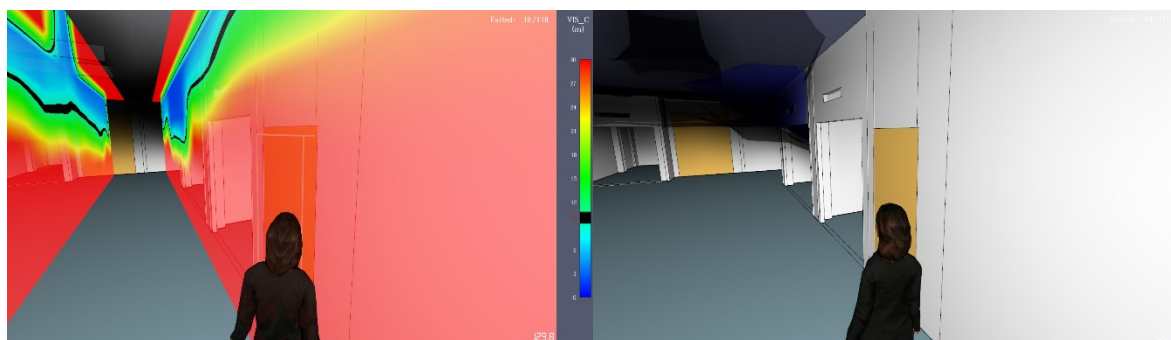


Figure 49/50 - RSET con slice di visibilità a (sx) e isosurface di visibilità (dx) SCENARIO 1.S

Come in precedenza, per valutare e consolidare il ragionamento su ASET si sono inoltre analizzati i tre modelli, di oscuramento della visibilità, del calore e dei gas tossici.

La prima immagine (n° 51) analizzata riguarda il modello di oscuramento della visibilità. In analogia con la figura 32, il primo dispositivo a registrare valori di visibilità inferiori alla soglia di prestazione, fissata a 10 metri per gli occupanti, è il dispositivo VISO1 posizionato all'interno del box auto. Seguono un andamento analogo i dispositivi posizionati nell'area destra della corsia di manovra, rispettivamente dinnanzi all'uscita B e A, denominati VISO2 e VISO3.

I dispositivi posizionati nella mezzeria dell'area di manovra (VISO4, VISO5, VISO7, VISO8) invece mostrano un andamento decisamente più altalenante del caso precedente.

Inoltre, i dispositivi VISO6 e VISO7, in precedenza utile a stimare l'ASET, in presenza di impianto sprinkler non scendono al di sotto del valore soglia per tutta la durata della simulazione. Tale considerazione avvalorava l'assenza di un tempo di ASET per tale dinamica.

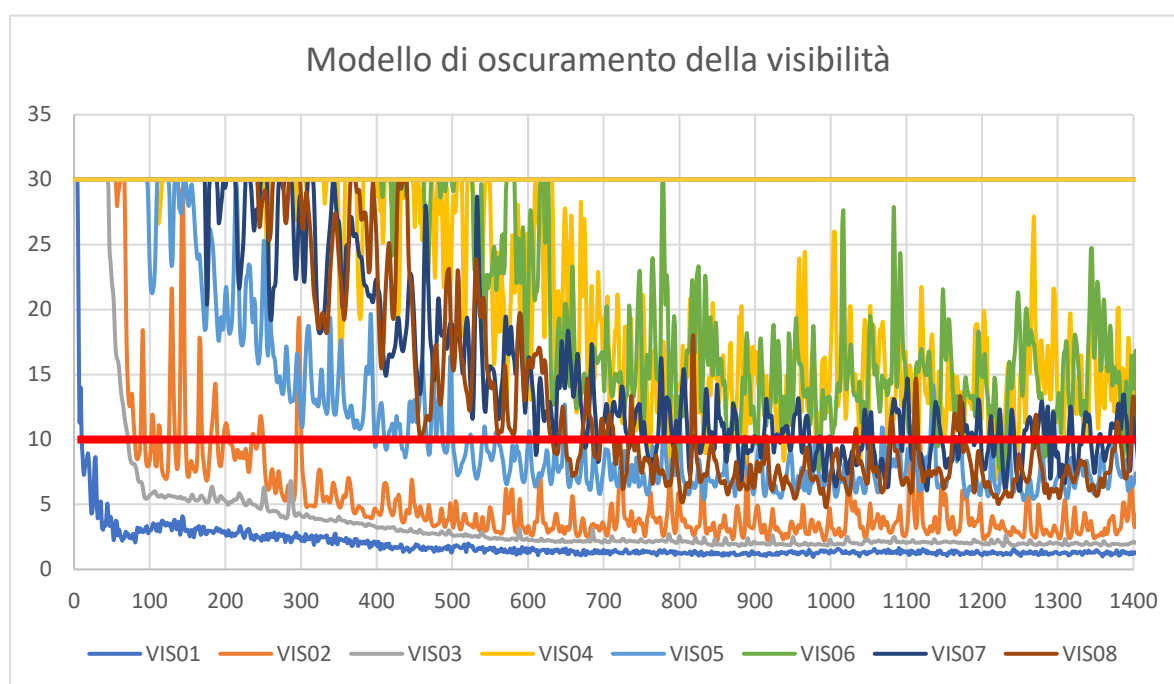


Figura 51 - Modello di oscuramento della visibilità SCENARIO 1.S

Per quanto riguarda la temperatura, osservando la figura 52, si nota che il solo dispositivo TEMPO1, posizionato all'interno del box auto, registra temperature superiori alla soglia di prestazione, fissata a 60°C. A maggior ragione il picco di temperatura misurata arriva a circa 300° C. I dispositivi TEMPO2 e TEMPO3, al contrario dei precedenti non superano il valore di 60° per tutta la durata della simulazione. Tale condotta risulta prevedibile in funzione dell'impianto sprinkler.

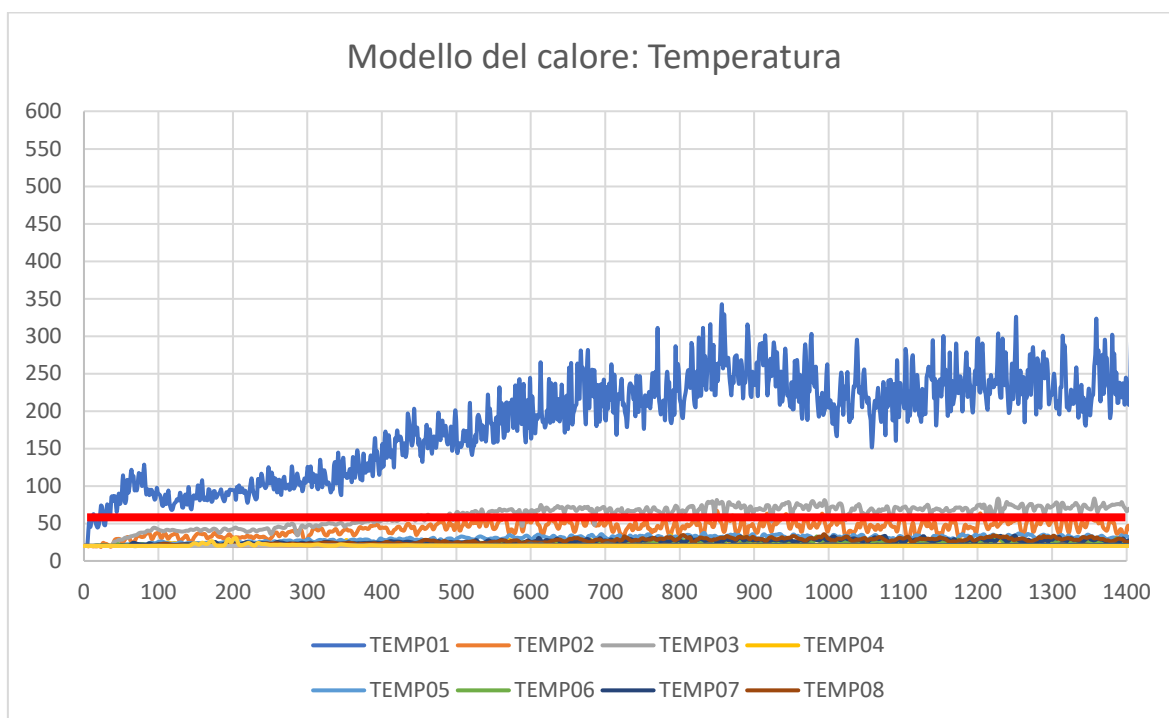


Figura 52 - Modello del calore, temperatura SCENARIO 1.S

Per non appesantire la lettura dell'elaborato non sono stati riportati i grafici relativi all'irraggiamento e alla FED in quanto non significativi al confronto e alla valutazione.

Dall'analisi delle slice e dei grafici presentati nelle pagine precedenti, è emerso che la disuguaglianza  $ASET > RSET$ , relativa allo scenario 1 con sprinkler, risulta ampiamente verificata. In particolare, i valori di visibilità, temperatura, irraggiamento e FED non superano mai le soglie di prestazione dopo che l'ultimo occupante dell'area d'interesse ha completato in sicurezza l'evacuazione con un tempo superiore a  $t_{marg}$ .

Dai risultati ottenuti con Pyrosim non è dunque possibile considerare un ASET per tale casistica. Pertanto, il criterio di diseguaglianza riportato al capitolo M.3.2.2 del D.M. 03/08/2015 risulta sempre soddisfatto mentre il  $t_{marg}$  è superiore al minimo valore consigliato.

Si può concludere che l'impianto sprinkler porta benefici nel contrastare lo sviluppo dell'incendio sebbene tali effetti si notino evidenti solo dopo i 240 secondi; per il box auto S1\_35 e le prime due uscite di emergenza A e B del condominio Orizzonte gli effetti dell'incendio con e senza impianto sprinkler risultano infatti paragonabili.

È evidente che la salvaguardia della vita dei soccorritori risulta altresì garantita per tale casistica. Per non appesantire la lettura dell'elaborato non sono state riportate le figure relative alle slices di visibilità e temperatura a 1416 secondi poiché già ampiamente soddisfatte nel caso maggiormente gravoso riportato in precedenza.

## SCENARIO 2

Nel secondo scenario, si è considerata l'ipotesi di un incendio all'interno del box auto singolo S1\_11 situato nel primo piano interrato. In questa situazione, l'incendio si sviluppa principalmente coinvolgendo la corsia di manovra del box antistante il condominio Di Lea. Come evidenziato dalle immagini fornite di seguito, questo scenario presenta criticità per quanto riguarda l'evacuazione degli occupanti, in particolare a causa della presenza del corridoio cieco dinnanzi al vano scala A del condominio di Lea.

Anche per tale scenario, la principale criticità riguarda la propagazione dei fumi e la conseguente riduzione della visibilità, considerata la principale sfida del caso studio analizzato.

La curva RHR ottenuta dal software rispecchia quasi perfettamente quella inserita in fase di programmazione della simulazione (figura 53); le uniche differenze riscontrabili riguardano l'estensione nel tempo della curva inserita, maggiore di quella estrapolata, la quale invece dipende dalle impostazioni di durata della simulazione.

Si ricorda che tale curva rappresenta l'incendio di una singola auto e pertanto presenta potenze decisamente inferiori alle precedenti.

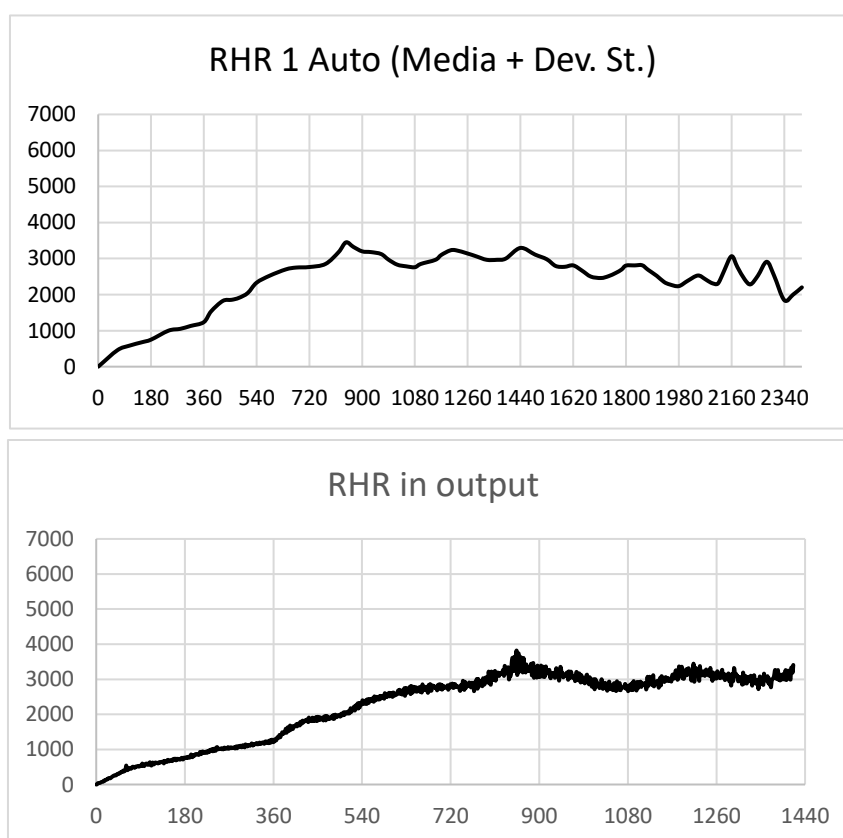


Figura 53 - Confronto tra curva RHR inserita ed estrapolata

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

Saranno ora presentate le immagini delle slice di visibilità, catturate a un'altezza di 2 metri dal piano di calpestio del primo piano interrato, in istanti significativi per la salvaguardia della vita degli occupanti. In ogni immagine sarà riportata la scala di colori nella quale sarà evidenziata in grigio la soglia di prestazione a 10 metri. Seguiranno le immagini riportanti sinteticamente le slice di temperatura ad analoga quota di calpestio.

In seguito, verranno riportate le slice sull'asse y utili a visualizzare l'occupante che rappresenta l'RSET; per lo stesso, la visione sarà ampliata dalla relativa isosurface.

Si ricorda che in primis verrà analizzato lo scenario in assenza di impianto sprinkler nel compartimento autorimessa.

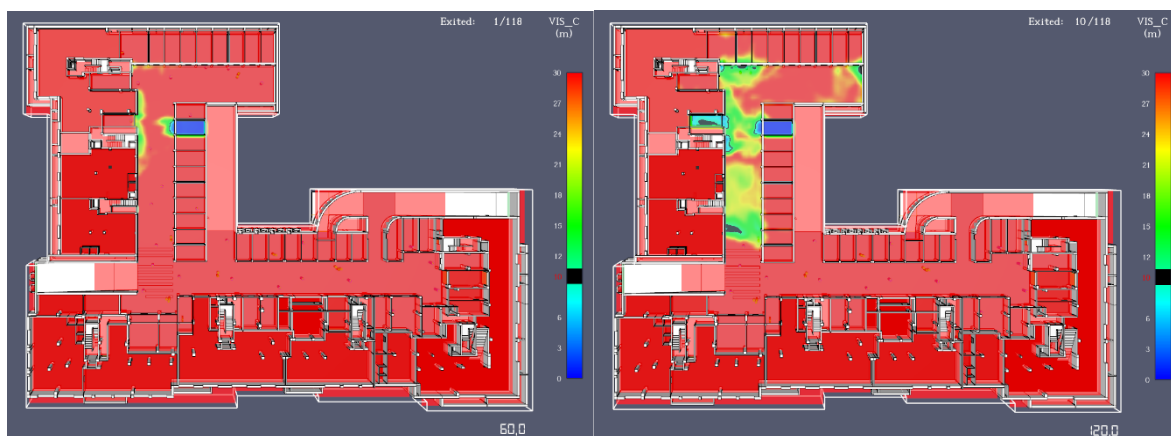


Figure 54/55 - Slice di visibilità a 60 s (sx) e 120 s (dx) SCENARIO 2

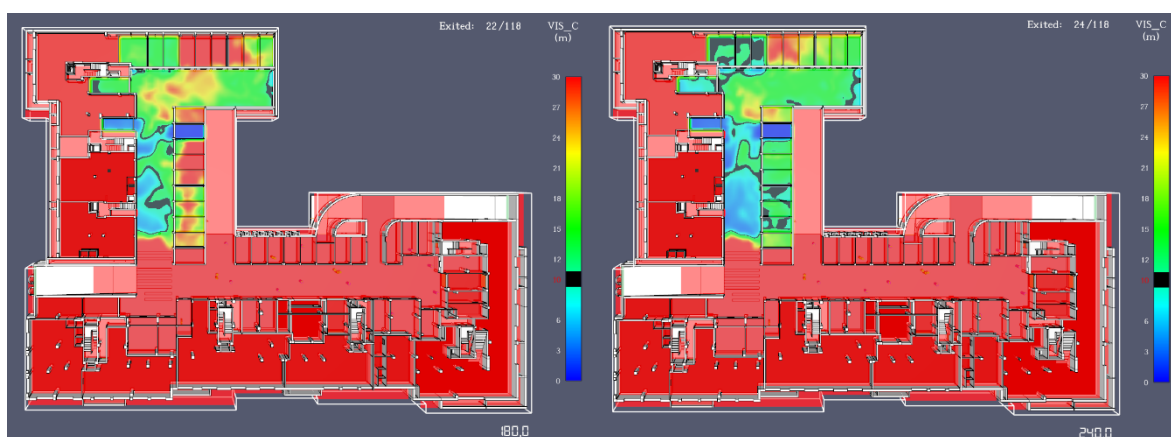


Figure 56/57 - Slice di visibilità a 180 s (sx) e 240 s [ASET] (dx) SCENARIO 2

## 5 - Fire Safety Engineering Soluzione alternativa

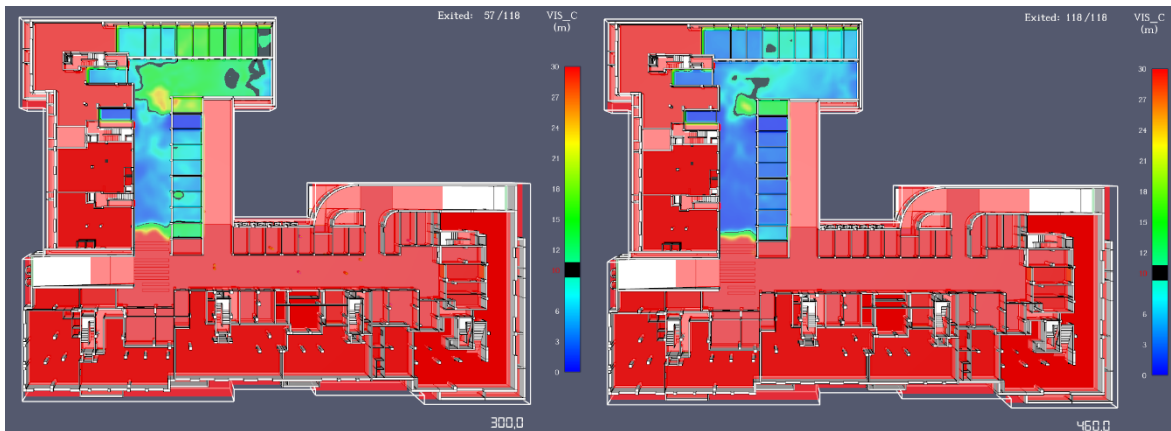


Figure 58/59 - Slice di visibilità a 300 s (sx) e 460 s (dx) SCENARIO 2

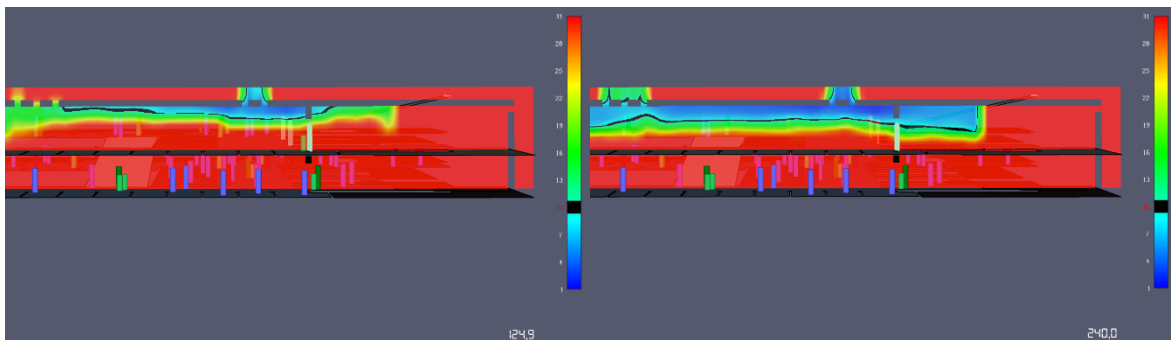


Figure 60/61 - Slice di visibilità lungo y a 125 s (sx) e 240 s [ASET] (dx) SCENARIO 2

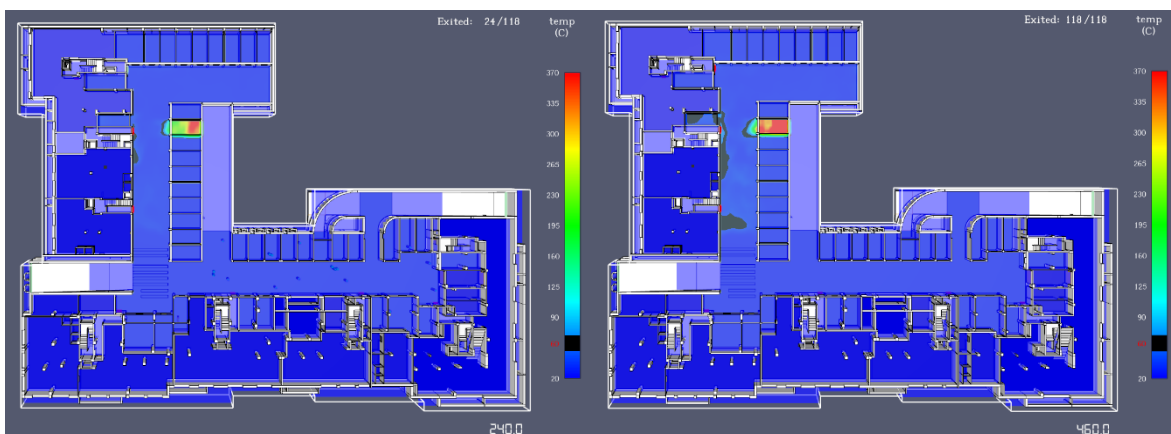


Figure 62/63 - Slice di temperatura a 240 s [ASET] (sx) e 460 s (dx) SCENARIO 2

Le immagini precedentemente espone evidenziano che, anche in questo scenario d'incendio, la propagazione dei fumi e la conseguente diminuzione della visibilità rappresentano la principale criticità.

Dopo i primi 60 secondi, il box auto in cui si è verificato l'incendio diventa completamente impraticabile, ciò è dovuto anche alle sue ridotte dimensioni a confronto del box doppio; l'occupante al suo interno non verrà considerato ai fini della valutazione dell'RSET.

Dopo 120 secondi, il fumo inizia a diffondersi nell'area antistante il box invadendo il box auto posto di fronte; tuttavia, le vie d'uscita rappresentate dai vani scala protetti A, B e C del condominio Di Lea rimangono ancora accessibili.

Le vie d'uscita B e C diventano impraticabili tra i 180 e i 240 secondi, ma, entro questa tempistica, tutti gli occupanti nelle immediate vicinanze di tale uscite d'esodo risultano già messi in sicurezza.

Come visibile dalle figure 60/61, risultano essenziali per smaltire i fumi le 5 griglie di aerazioni su spazio a cielo libero del corridoio nord (ove presente corridoio cieco) e la singola griglia presente dinnanzi al vano scala B. Infatti, dall'analisi emerge che sin dai primi minuti di simulazione i fumi si accumulano in direzione della parete d'accesso dei vani scala, stratificano in alto per poi discendere lungo le pareti fino alla quota di imposta di porte e basculanti: da quel punto in poi, muovendosi prima verso sud e poi verso nord evacuano parzialmente grazie alle aperture di smaltimento.

Desti tuttavia preoccupazione la porta d'uscita del vano scala A del condominio Di Lea in particolare poiché rappresenta la via di fuga più vicina al corridoio cieco presente dinnanzi. Si può notare come a 240 secondi, la porta risulta parzialmente impraticabile per poi diventare inaccessibile agli occupanti in fuga intorno ai 300 secondi. Successivamente tutte le aree di manovra del condominio Di Lea presentano condizioni incapacitanti per l'esodo. A fronte di tali considerazioni si è valutato un valore di ASET pari a 240 s: a tale tempistica, infatti, le 2 uscite di sicurezza B e C nelle vicinanze del focolare risultano già inaccessibili mentre l'ultima uscita A, quella linearmente più rapida per l'esodo degli occupanti che devono percorrere il corridoio cieco inizia a manifestare valori sopra soglia.

Come visibile nelle immagini 64/65 il valore di ASET considerato risulta cautelativo soprattutto in presenza di illuminazione di sicurezza ma tuttavia tenuto in considerazione per le verifiche al capitolo M.3 del Codice di Prevenzione incendi. Tale considerazione sarà ulteriormente supportata dalle figure contenenti gli output dei devices

Il valore di RSET è stato calcolato considerando l'ultimo occupante che lascia in sicurezza l'area di manovra percorrendo il corridoio cieco. Questa situazione si verifica all'istante di 125 secondi, quando lo stesso esce dal compartimento utilizzando la porta d'esodo del vano scala protetto A del condominio Di Lea. Tutti gli altri occupanti ad esodare successivamente escono senza essere influenzati in alcun modo dagli effetti incendio. L'ultimo occupante abbandona la struttura dal secondo piano interrato al secondo 420 senza mai essere investito in alcun modo dagli effetti dell'incendio.

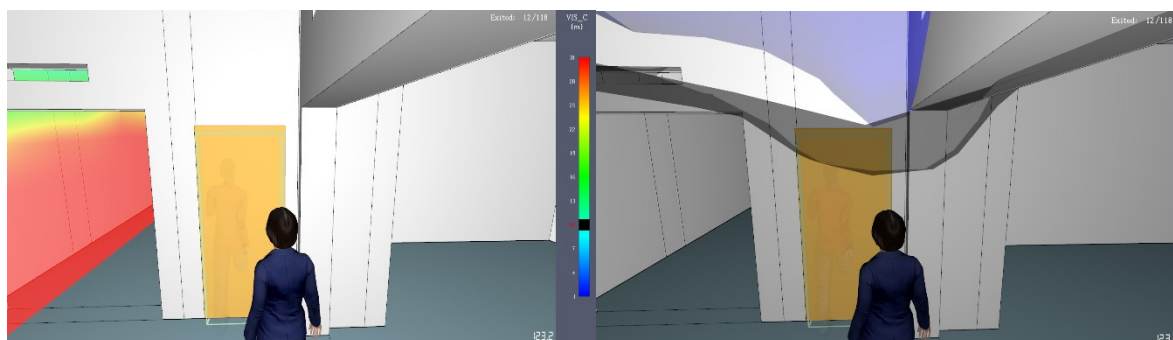


Figure 64/65 - RSET [125 s] con slice di visibilità a (sx) e isosurface di visibilità (dx) SCENARIO 2

Per valutare e consolidare il valore di ASET si sono inoltre analizzati almeno tre modelli, di oscuramento della visibilità, del calore e dei gas tossici.

La prima figura (n° 66) analizzata riguarda il modello di oscuramento della visibilità, che risulta essere fondamentale in questa analisi in quanto il più significativo tra i tre.

Anche per tale scenario, il primo dispositivo a registrare valori di visibilità inferiori alla soglia di prestazione, fissata a 10 metri per gli occupanti, è il dispositivo VIS01 posizionato all'interno del box auto. Seguono un andamento analogo i dispositivi posizionati nell'area della corsia di manovra antistante, rispettivamente in mezzeria e dinnanzi alle uscite B e C. I dispositivi mostrano un andamento tendente allo zero e meno altalenante dello scenario precedente, come dimostrato anche dalla figura 59. Il dispositivo considerato per definire il valore dell'ASET, insieme alle slice precedentemente analizzate, è dunque il VIS07 posizionato dinnanzi all'uscita A del condominio Di Lea. Si osserva che dopo circa 240 secondi tale dispositivo presenta esclusivamente valori al di sotto della soglia di prestazione.

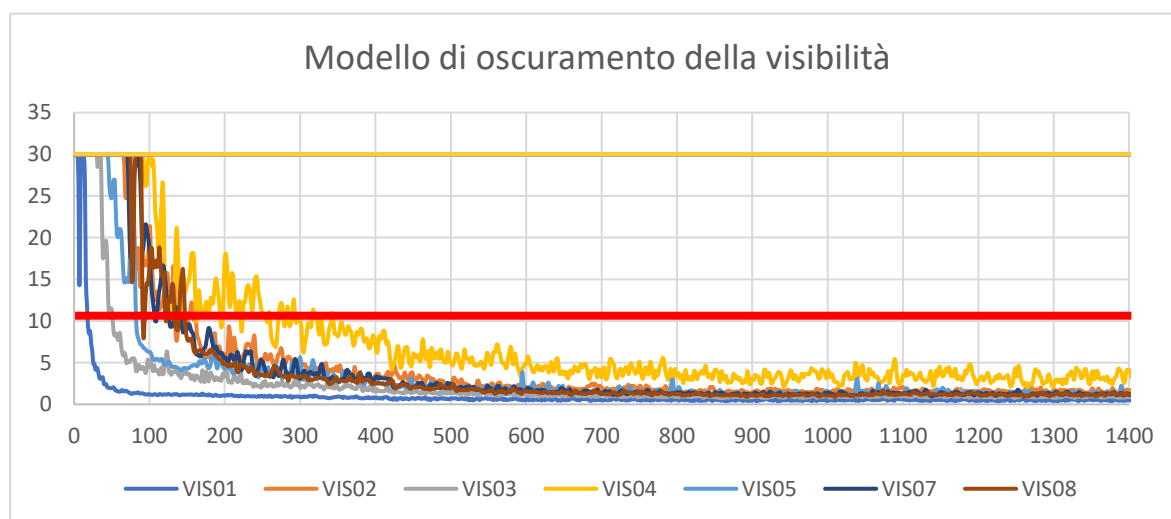


Figura 66 - Modello di oscuramento della visibilità SCENARIO 2



## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

Per quanto riguarda la temperatura, osservando la figura 67, si nota che solo due dispositivi registrano temperature superiori alla soglia di prestazione, fissata a 60°C.

Tuttavia, questi dispositivi (TEMPO1 e TEMPO3), situati nelle stesse posizioni dei dispositivi di visibilità precedentemente esaminati, non sono considerati per determinare il valore di ASET.

Per quanto riguarda l'irraggiamento, si osserva la figura 68. In questo caso, solo il dispositivo IRR01, posizionato sopra il focolare, supera la soglia di prestazione (pari a 2,5 kW/m<sup>2</sup>) entro i 1416 secondi. È evidente, grazie al modello del calore, che tali quantità rimangono confinate all'interno del box auto interessato dal focolare delle due auto.

Per l'analisi del modello dei gas tossici, si riporta il grafico in figura 69.

L'unico dispositivo che registra valori superiori alla soglia di prestazione (fissata a 0,1) è il FEDO1 all'interno del box S1\_11.

Tuttavia, si ribadisce che i valori registrati da tali dispositivi vengono esclusi dal calcolo dell'ASET, poiché le soglie di prestazione sono raggiunte nettamente in precedenza nel modello della visibilità, che risulta essere il più critico all'interno dell'autorimessa.

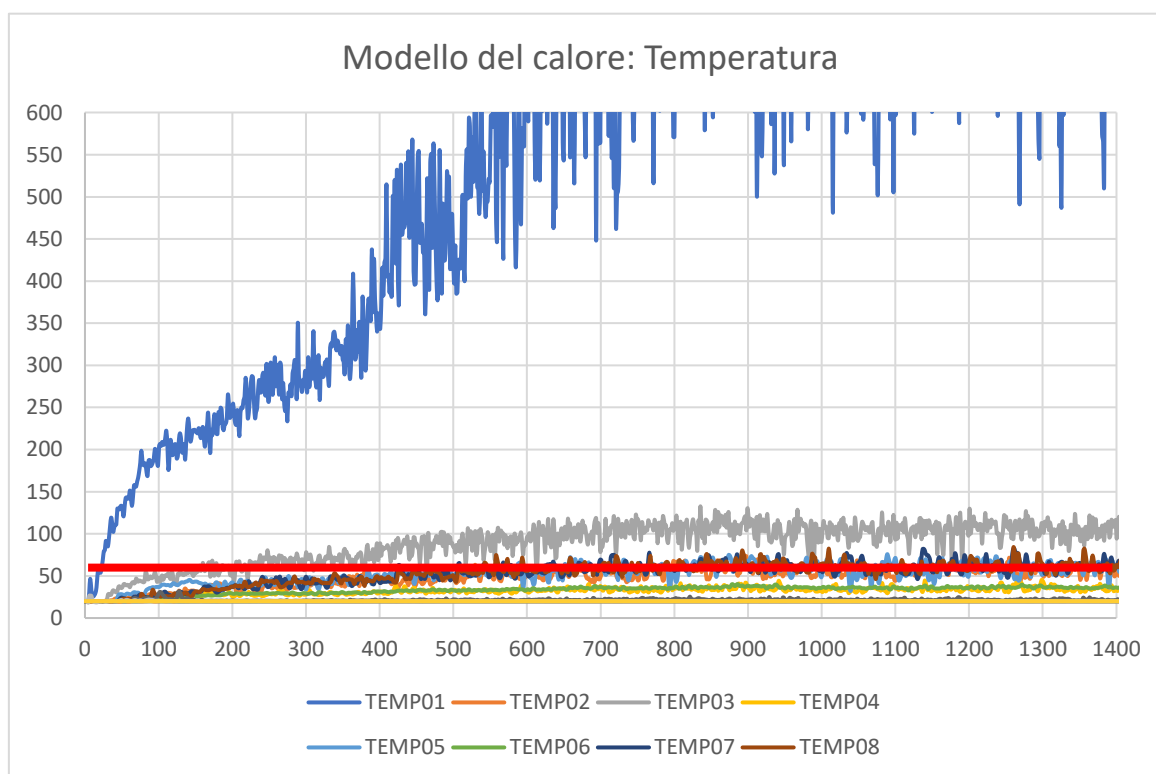


Figura 67 - Modello del calore, temperatura SCENARIO 2

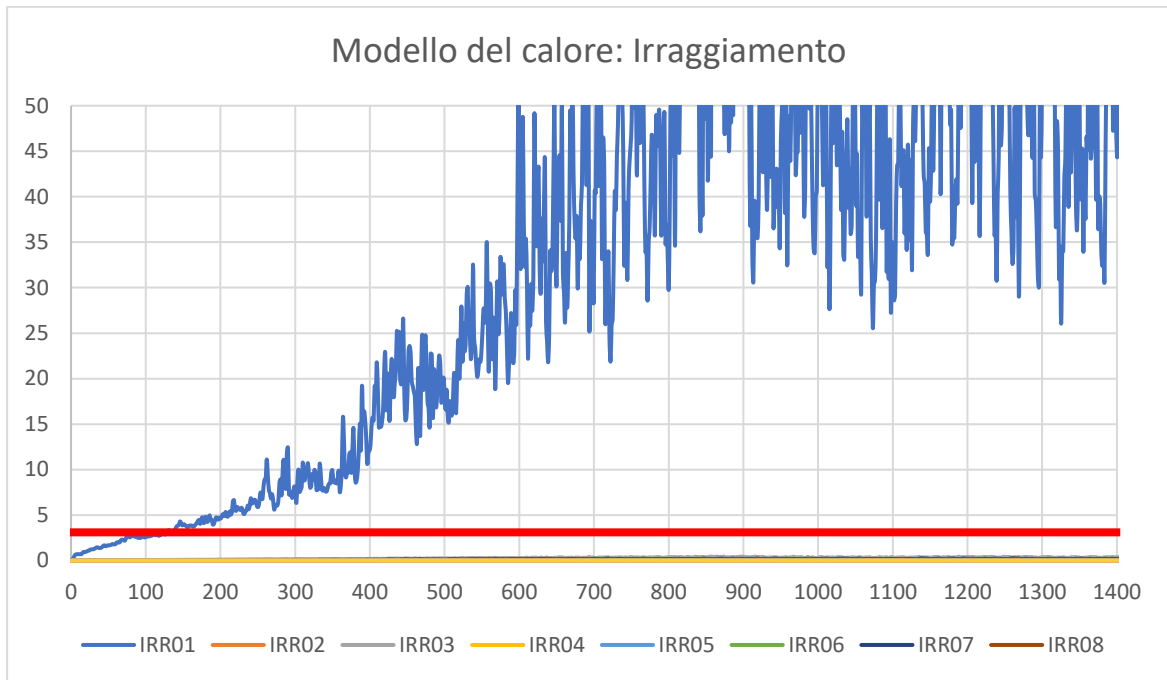


Figura 68 - Modello del calore, irraggiamento SCENARIO 2

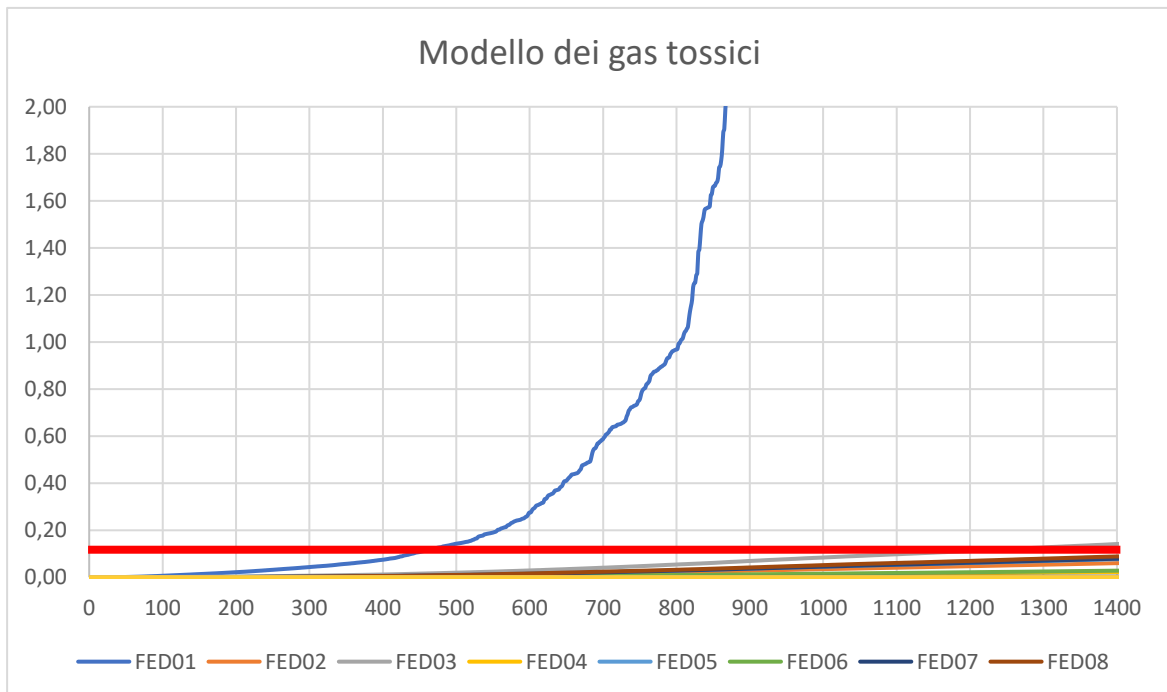


Figura 69 - Modello dei gas tossici, FED SCENARIO 2

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

Dall'analisi delle slice e dei grafici presentati nelle pagine precedenti, è emerso che la diseguaglianza  $ASET > RSET$ , relativa allo scenario 2 senza sprinkler, risulta parzialmente verificata. Ciò significa che i valori di visibilità, temperatura, irraggiamento e FED superano le soglie di prestazione dopo che l'ultimo occupante dell'area d'interesse ha completato in sicurezza l'evacuazione ma con un tempo  $t_{\text{marg}}$  non superiore al 100% di RSET..

Dai risultati ottenuti con Pyrosim è possibile considerare un ASET per tale scenario pari a 240 secondi. Dall'integrazione degli effetti dell'incendio nella simulazione effettuata con Pathfinder, è stato possibile determinare il tempo che impiega l'ultimo occupante a fuoriuscire dall'area interessata dagli effetti dell'incendio RSET pari a 125 secondi.

Il criterio di diseguaglianza riportato al capitolo M.3.2.2 del D.M. 03/08/2015 risulta soddisfatto mentre per il  $t_{\text{marg}}$  verranno fatte ulteriori considerazioni nel capitolo conclusivo.

$$ASET > RSET \rightarrow 240 \text{ s} > 125 \text{ s}$$

$$t_{\text{marg}} = ASET - RSET = 115 \text{ s} \geq 90\%RSET$$

Successivamente alla valutazione per la salvaguardia della vita degli occupanti è necessario valutare tale scenario d'incendio per la salvaguardia della vita dei soccorritori.

Anche in questo caso, si valuta se, al termine della simulazione, le condizioni per l'ingresso dei soccorritori nella struttura e per l'estinzione dell'incendio risultano accettabili secondo le relative soglie. Dopo 1416 secondi, l'incendio si è limitato alle aree di manovra nei pressi del focolare e alle 3 uscite di sicurezza del condominio Di Lea. Questo è dovuto alle aperture di aerazione e soprattutto alla delimitazione mediante area a cielo libero con l'area di manovra del condominio Orizzonte, Quindi, i vigili del fuoco, al loro arrivo, possono entrare nel primo piano interrato attraverso i 5 vani scala protetti ancora accessibili (A, B, C, D, E del condominio Orizzonte) e dalla rampa su via Delleani, non interessata dagli effetti dell'incendio. Inoltre, al loro arrivo, solo tre idranti a muro risultano inutilizzabili per contrastare l'incendio. Come riportato nelle immagini in basso e visibile nei grafici precedenti, la salvaguardia della vita dei soccorritori risulta ampiamenti verificata.

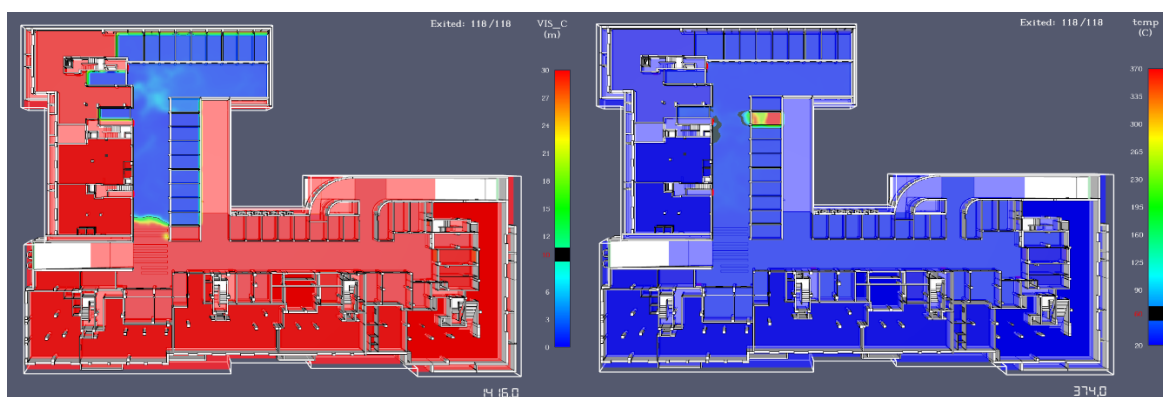


Figure 70/71 - Slice di visibilità (sx) e temperatura (dx) a 1416 s SCENARIO 2

Una volta valutati e commentati i risultati del secondo scenario, è necessario confrontare le stesse grandezze nel caso in cui sia presente l'impianto di spegnimento automatico a sprinkler. Lo scenario si presenta in modalità analoga a quella precedente, ovvero all'interno del box auto singolo S1\_11 situato nel primo piano interrato.

In questa situazione, l'incendio si sviluppa gradualmente e meno intensamente, presentando tuttavia criticità simili alle precedenti.

La curva RHR ottenuta dal software rispecchia quasi perfettamente quella inserita in fase di programmazione della simulazione; si ricorda che la stessa, pur presentando analogo andamento, è stata limitata al 50% della potenza espressa una volta attivata la prima testina erogatrice presente all'interno del box.

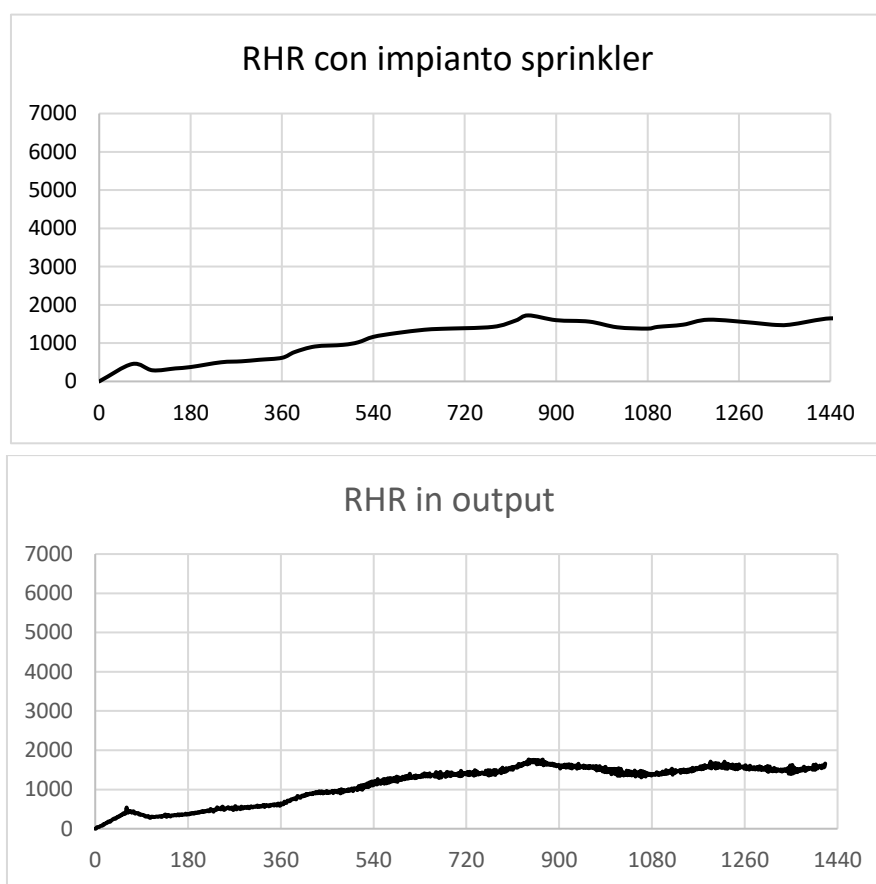


Figura 72 - Confronto tra curva RHR inserita ed estrapolata

Saranno ora presentate le immagini delle slice di visibilità, catturate a un'altezza di 2 metri dal piano di calpestio del primo piano interrato, nei medesimi istanti significativi precedenti per la salvaguardia della vita degli occupanti.

Come in precedenza, in ogni immagine sarà riportata la scala di colori nella quale sarà evidenziata in grigio la soglia di prestazione a 10 metri.

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

Seguiranno le immagini riportanti sinteticamente le slice di temperatura ad analoga quota di calpestio utili ad un immediato confronto visivo con il caso precedente.

In seguito, verranno riportate le slice sull'asse y al fine di visualizzare l'occupante che rappresenta l'RSET; per lo stesso la visione sarà ampliata dalla relativa isosurface.

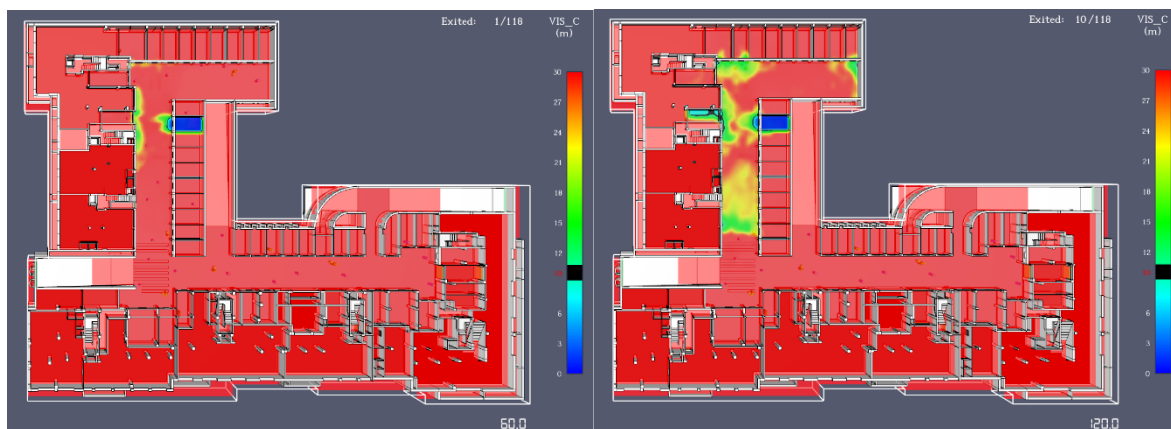


Figure 73/74 - Slice di visibilità a 60 s (sx) e 120 s (dx) SCENARIO 2.S

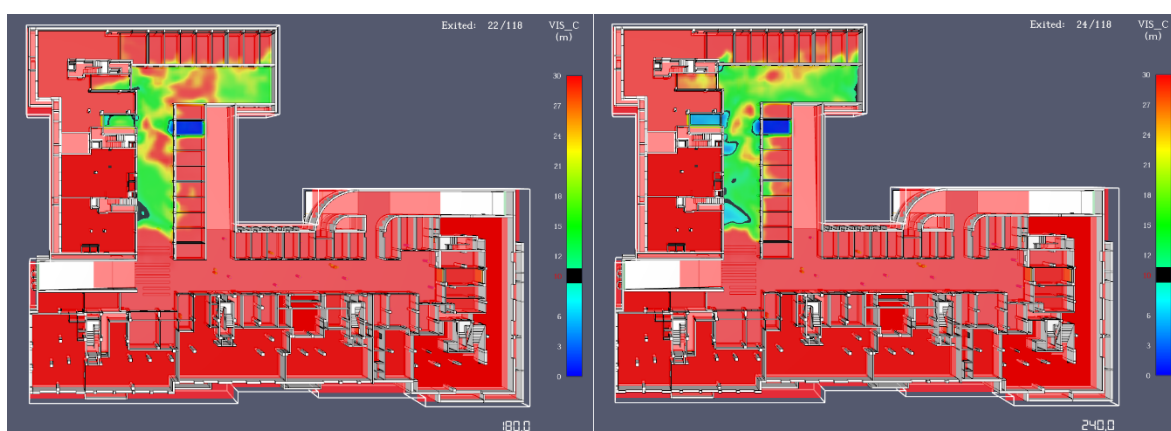


Figure 75/76 - Slice di visibilità a 180 s (sx) e 240 s (dx) SCENARIO 2.S

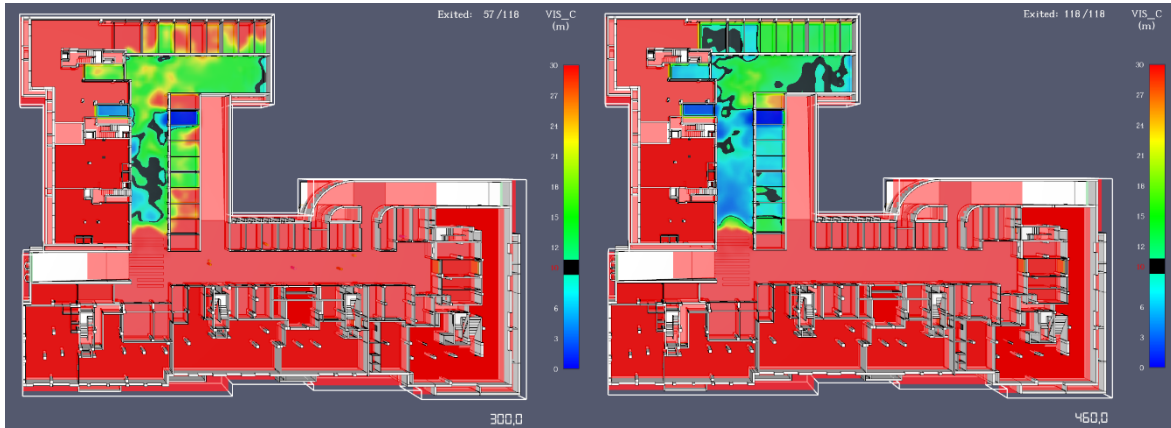


Figure 77/78 - Slice di visibilità a 300 s (sx) e 460 s [ASET] (dx) SCENARIO 2.S

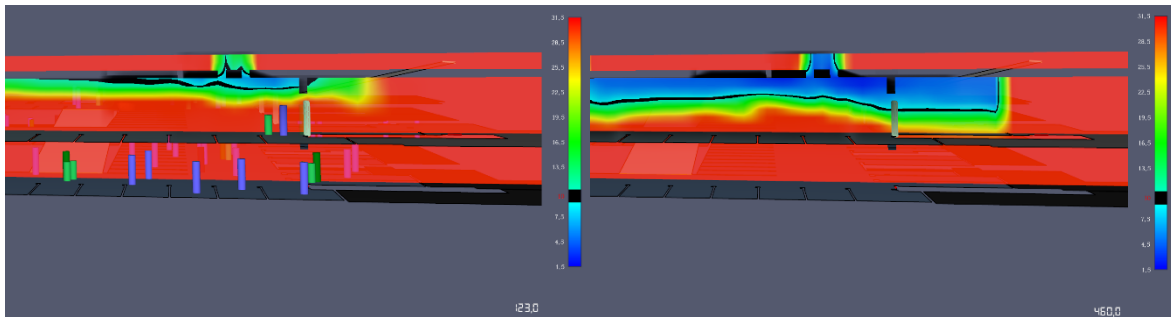


Figure 79/80 - Slice di visibilità lungo y a 125 s (sx) e 460 s [ASET] (dx) SCENARIO 2.S

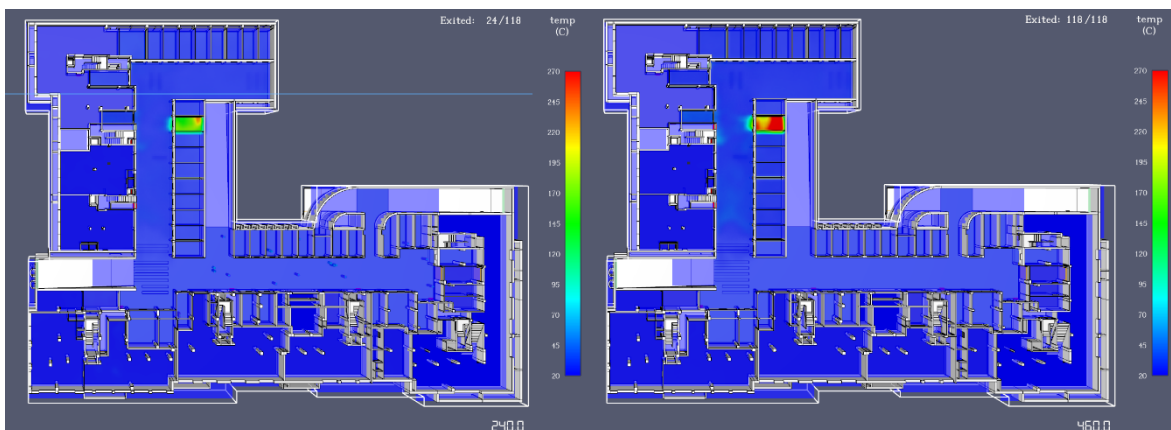


Figure 81/82 - Slice di temperatura a 240 s (sx) e 460 s [ASET] (dx) SCENARIO 2.S

Le immagini precedenti evidenziano che, nello scenario d'incendio 2 in presenza di impianto sprinkler, la propagazione dei fumi e la conseguente diminuzione della visibilità

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

rappresentano la principale criticità seppur con meno criticità del caso precedente.

Dopo i primi 60 secondi, il box auto in cui si è verificato l'incendio diventa in analogia completamente impraticabile. Dopo 120 secondi, il fumo, tangente l'intradosso del solaio inizia a diffondersi nell'area a sinistra antistante il box ma con meno intensità; le vie d'uscita rappresentate dai vani scala protetti B e C del condominio Di Lea diventano impraticabili passati 300 secondi, ma, entro tale istante, tutti gli occupanti nelle vicinanze dell'incendio risultano già messi in salvo senza avvertire nettamente gli effetti dell'incendio.

Anche con l'impianto sprinkler, come visibile dalle figure 79/80, le griglie di aerazione su cielo libero risultano essenziali per smaltire i fumi. La dinamica della propagazioni dei fumi risulta molto simile alla precedente, tuttavia, è evidente la minore intensità dell'incendio come descritto altresì dalla sua curva RHR.

Se si confrontano le situazione per l'istante a 240 s, individuato come ASET per il caso precedente con l'analoga situazione in presenza di sprinkler (figure 57 e 76) si possono fare le seguenti considerazioni: nel secondo caso tutta l'area di manovra, ad eccezione degli spazi prossimi alle uscite B e C, risulta ancora praticabile per l'esodo. Per di più valutando il proseguo della simulazione si individuano quantitativi di fumo e calore tali da individuare un vero e proprio ASET per tale scenario all'istante paria 460 secondi. Tale considerazione permette un esodo sicuro anche per gli occupanti che devono percorrere il corridoio cieco e giungere verso l'uscita A. Ciò sarà ulteriormente supportato dalle figure contenenti gli output dei devices.

Il valore di RSET è il medesimo dello scenario ove non sono presenti gli sprinkler in quanto questi non influenzano i tempi  $t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$  costituenti l'RSET.

Questo valore si ripete all'istante di 125 secondi, quando l'ultimo occupante esce dal compartimento utilizzando la porta d'esodo del vano scala A del condominio Di Lea.

Nelle immagini sottostanti si può tuttavia notare che gli effetti dell'incendio sono meno critici rispetto a quelli presenti nelle figure 64/65.

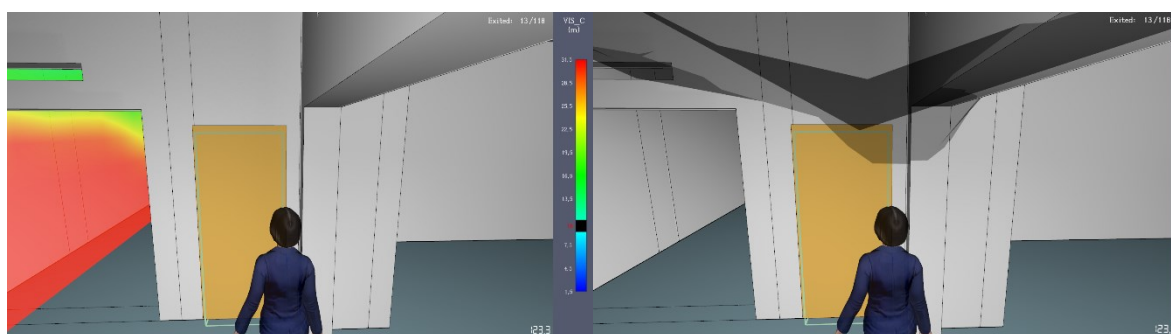


Figure 83/84 - RSET con slice di visibilità  $(s_x)$  e isosurface di visibilità  $(d_x)$  SCENARIO 2.S

Come in precedenza, per valutare e consolidare il ragionamento su ASET si sono inoltre analizzati i tre modelli, di oscuramento della visibilità, del calore e dei gas tossici.

La prima immagine (n° 85) analizzata riguarda il modello di oscuramento della visibilità.

In attinenza con la figura 66, i dispositivi situati nell'area dinnanzi al box contenente il focolare seguono un andamento analogo ma traslato nel tempo.

Inoltre, il dispositivo VIS07, posizionato nei pressi della porta d'uscita A e in precedenza utile a stimare l'ASET, in presenza di impianto sprinkler scende definitivamente al di sotto del valore soglia all'istante di circa 460 s. Si ricorda che il valore di ASET è stimato visualizzando in contemporanea le slice di visibilità e gli output dei devices.

Tuttavia, risulta evidente che, seppur dilatando il valore di ASET, tutti i dispositivi giungono al valor sottosoglia all'arrivo dei vigili del fuoco.

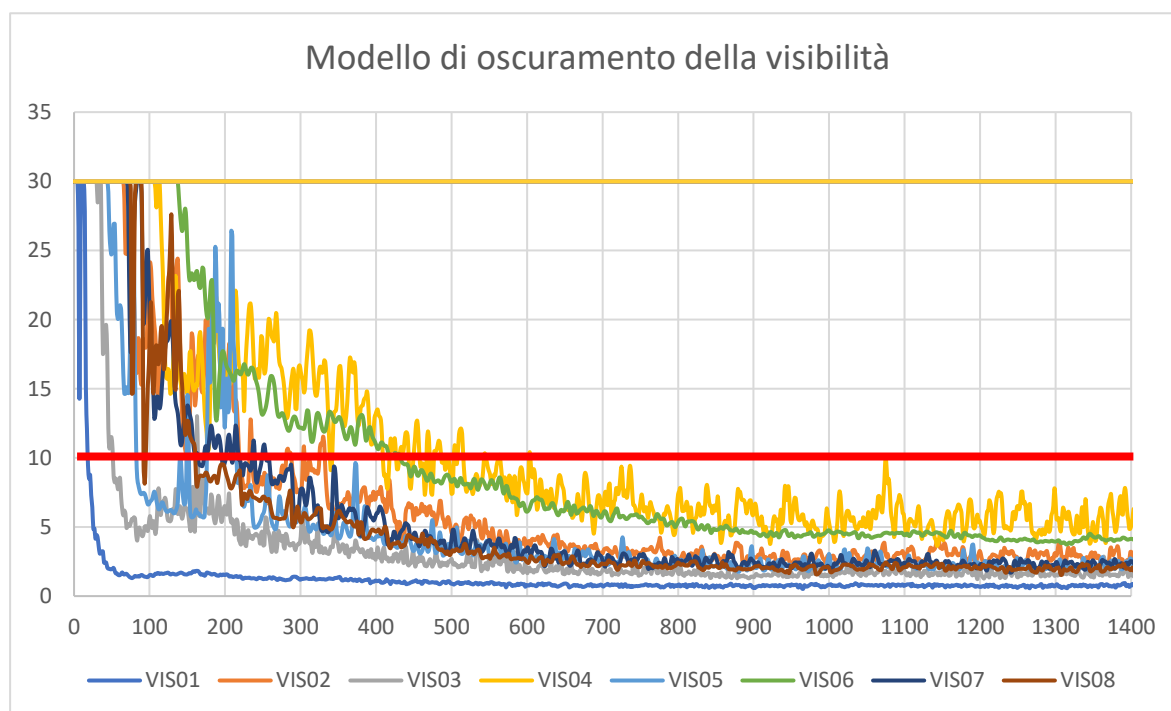


Figura 85 - Modello di oscuramento della visibilità SCENARIO 2.S

Per quanto riguarda la temperatura, osservando la figura 86, si nota che il solo dispositivo TEMP01, posizionato all'interno del box auto, registra temperature superiori alla soglia di prestazione, fissata a 60°C. Il picco di temperatura misurata arriva a circa 400° C.

Per non appesantire la lettura dell'elaborato non sono stati riportati i grafici relativi all'irraggiamento e alla FED in quanto non significativi al confronto e alla valutazione.



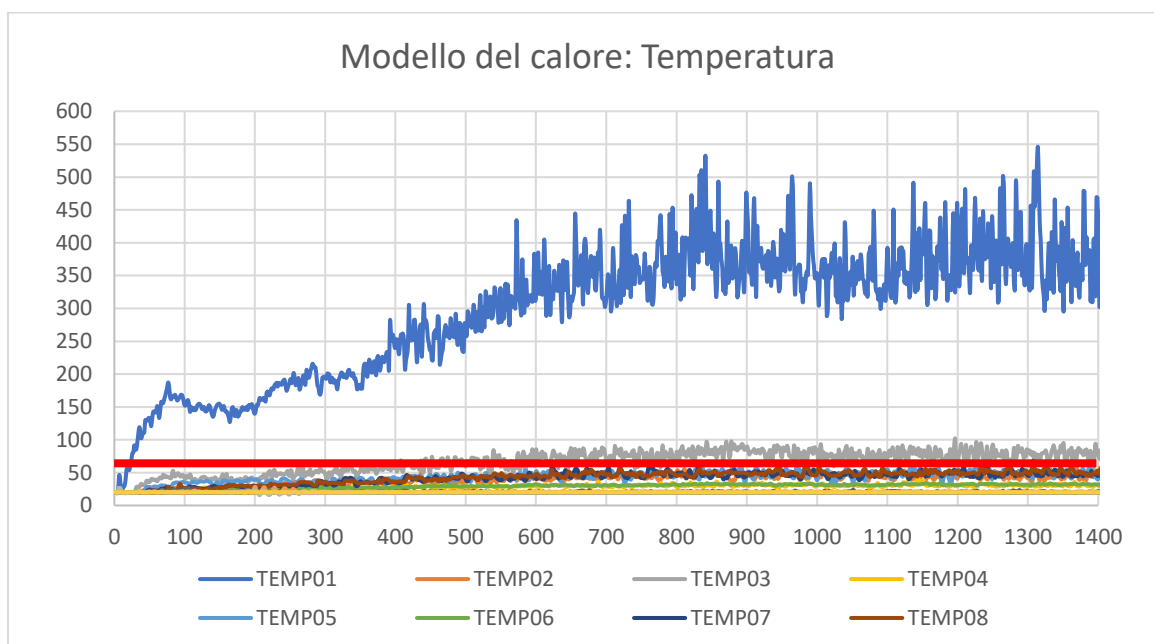


Figura 86 - Modello del calore, temperatura SCENARIO 2.S

Dall'analisi delle slice e dei grafici presentati nelle pagine precedenti, è emerso che la disuguaglianza  $ASET > RSET$ , relativa allo scenario 2 con sprinkler, risulta verificata.

In particolare, i valori di visibilità, temperatura, irraggiamento e FED superano le soglie di prestazione ma soltanto dopo che l'ultimo occupante dell'area d'interesse ha completato in sicurezza l'evacuazione con un tempo superiore a  $t_{marg}$ .

Dai risultati ottenuti con Pyrosim è dunque possibile considerare un ASET per tale casistica pari a circa 460 secondi. Pertanto, il criterio di diseguaglianza riportato al capitolo M.3.2.2 del D.M. 03/08/2015 risulta sempre soddisfatto mentre il  $t_{marg}$  è superiore al minimo valore consigliato.

$$ASET > RSET \rightarrow 460 \text{ s} > 125 \text{ s}$$

$$t_{marg} = ASET - RSET = 335 \text{ s} \geq 100\%RSET$$

Si può concludere che l'impianto sprinkler porta benefici nel contrastare lo sviluppo dell'incendio in particolare garantendo un esodo in sicurezza per gli occupanti che devono percorrere il corridoio cieco. Tuttavia, gli effetti dell'incendio a lungo termine e per le uscite d'emergenza B e C del condominio Di Lea risultano paragonabili alla casistica senza impianto di spegnimento automatico.

L'analogia dinamica d'incendio superato il valore di ASET porta alle medesime condizioni precedenti per la salvaguardia della vita dei soccorritori che risulta garantita anche per tale casistica. Per non appesantire la lettura dell'elaborato non sono state riportate le figure relative alle slices di visibilità e temperatura a 1416 secondi poiché già ampiamente soddisfatte nel caso maggiormente gravoso.

### SCENARIO 3

Nel terzo scenario, si è ipotizzato un incendio all'interno del box auto doppio S2\_32 situato nel secondo piano interrato. In questa casistica, l'incendio presenta una rapida crescita, coinvolgendo principalmente la corsia di manovra del box antistante il condominio Orizzonte. Come illustrato nelle immagini di seguito, questo scenario presenta maggiori sfide per l'evacuazione degli occupanti rispetto agli scenari del primo piano interrato. Questo è in parte dovuto alla minore altezza interna netta del piano (2,8 m rispetto ai 3,5 m del primo piano interrato) e alla configurazione architettonica più complessa della struttura a tale quota di pavimento. Per questo e per il successivo scenario, la principale criticità riguarda la propagazione dei fumi e la conseguente riduzione della visibilità, che rappresenta la sfida principale del caso studio analizzato.

La curva RHR ottenuta dal software corrisponde alla curva inserita durante la programmazione della simulazione; le differenze riscontrate riguardano principalmente l'estensione nel tempo della curva inserita, che è più ampia di quella estrapolata, e un maggior divario del valore estrapolato rispetto a quello atteso, dovuto principalmente ad una superiore richiesta computazionale di questo scenario.

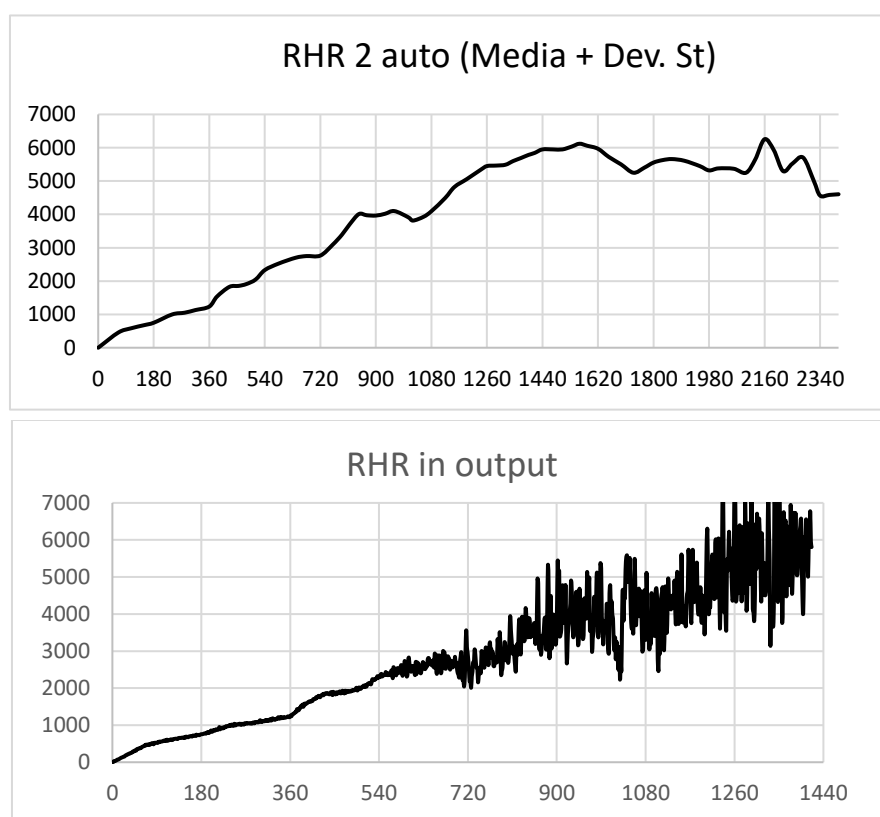


Figura 87 - Confronto tra curva RHR inserita ed estrapolata

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

Saranno ora presentate le immagini delle slice di visibilità, acquisite a un'altezza di 2 metri dal piano di calpestio del secondo piano interrato, in momenti cruciali per la sicurezza degli occupanti. Ogni immagine mostrerà una scala di colori in cui la soglia di prestazione a 10 metri sarà evidenziata in grigio. Seguiranno sinteticamente le immagini delle slice di temperatura alla stessa altezza. Successivamente, saranno mostrate le slice sull'asse y utili per identificare l'occupante che rappresenta l'RSET; per lo stesso, la visione sarà ampliata dalla relativa isosurface. Gli istanti riportati presentano minori differenze temporali poiché l'incendio si sviluppa con maggiore intensità e coinvolge significativamente le prime fasi di evacuazione degli occupanti.

Si tenga presente che verrà prima analizzato lo scenario in cui non è presente un impianto sprinkler nel compartimento autorimessa interessato.

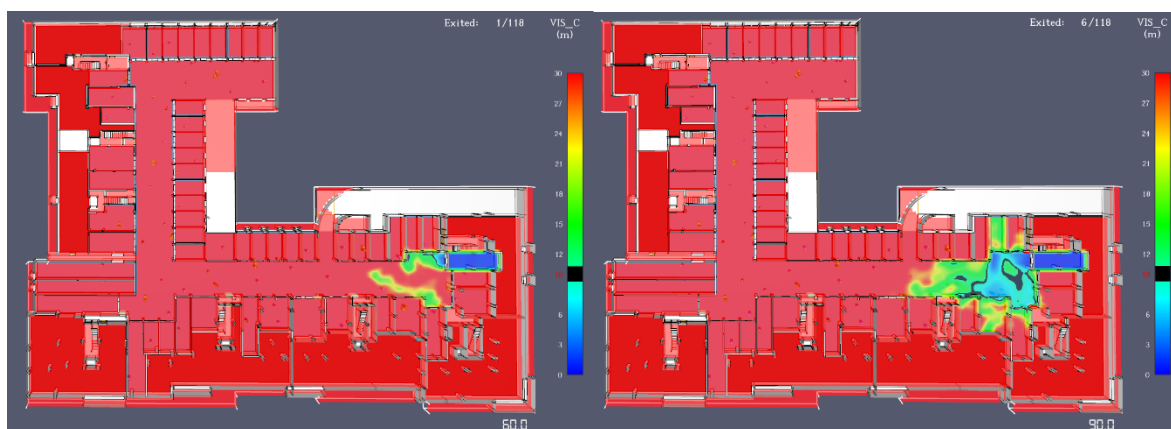


Figure 88/89 - Slice di visibilità a 60 s (sx) e 90 s (dx) SCENARIO 3

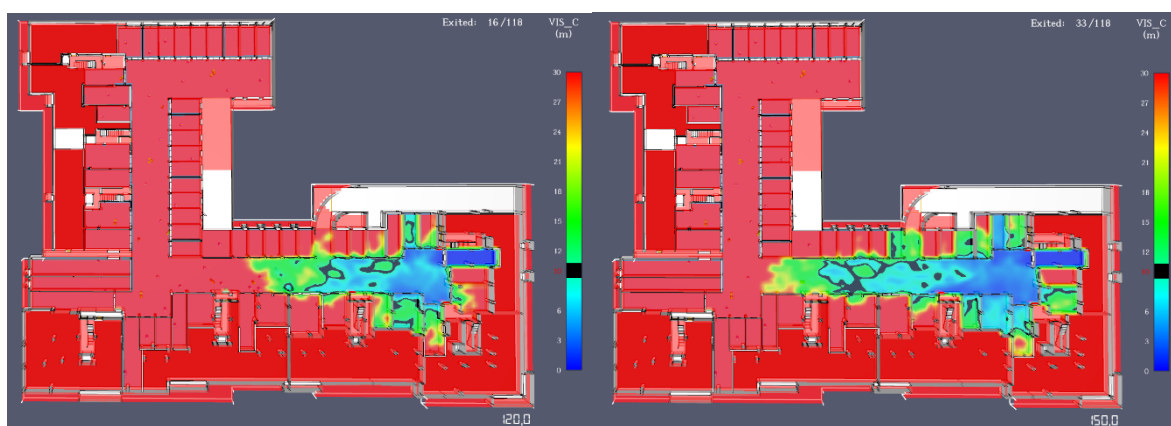


Figure 90/91 - Slice di visibilità a 120 s (sx) e 150 s (dx) SCENARIO 3

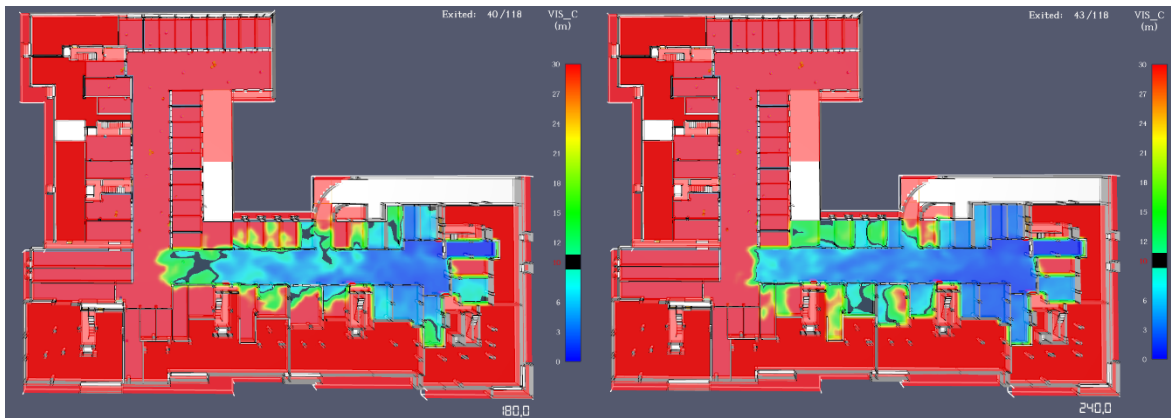


Figure 92/93 - Slice di visibilità a 180 s [ASET] (sx) e 240 s (dx) SCENARIO 3

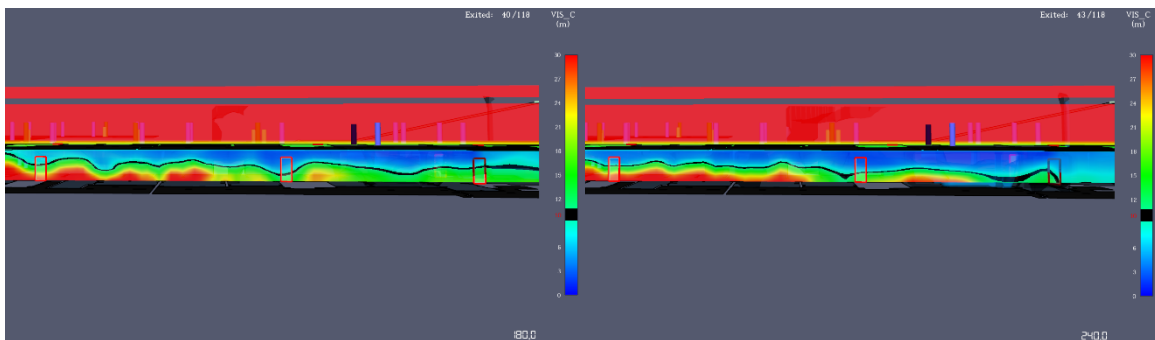


Figure 94/95 - Slice di visibilità lungo y a 180 s [ASET] (sx) e 240 s (dx) SCENARIO 3

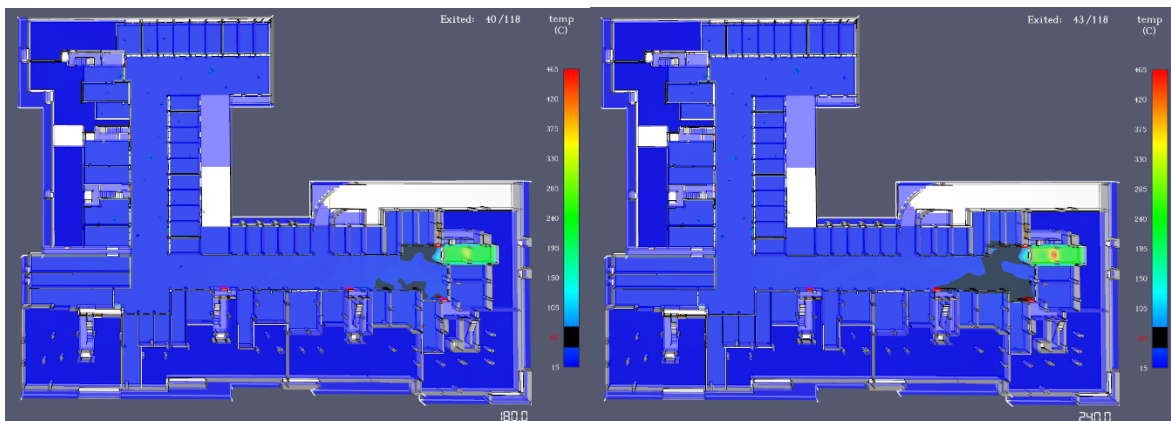


Figure 96/97 - Slice di temperatura a 180 s [ASET] (sx) e 240 s (dx) SCENARIO 3

Le immagini precedentemente espone evidenziano che, anche in questo scenario d'incendio, la propagazione dei fumi e la conseguente diminuzione della visibilità rappresentano la principale criticità.

Dopo i primi 60 secondi, il box auto in cui si è verificato l'incendio diventa completamente impraticabile; inoltre, a tale istante, l'uscita sul vano scala A del condominio Orizzonte situata nelle immediate vicinanze presenta condizioni incapacitanti per il suo utilizzo.

Dopo 90 secondi, il fumo inizia a diffondersi nell'area antistante il box invadendo il percorso d'esodo verso l'uscita del vano scala B.

Il fumo si sviluppa con elevata rapidità: a 120 secondi la via d'uscita C diventa impraticabile per l'esodo mentre a 150 secondi il passaggio dato dalla rampa su via Monte Ortigara (ma non considerato come via d'esodo) inizia ad essere invaso dalla propagazione dei fumi.

A 180 secondi la successiva uscita sul vano scala D diventa impraticabile per l'esodo; dopo i 240 secondi, gli occupanti possono utilizzare solo l'uscita sul vano scala protetto E.

Dall'analisi appena effettuata e dalle precedenti immagini emerge che sin dai primi minuti di simulazione i fumi si accumulano sull'intradosso del solaio, stratificano in alto per poi discendere lungo le pareti fino alla quota di imposta di porte e basculanti: da quel punto in poi, muovendosi prima verso ovest interessano la quasi totalità dell'area di manovra del condominio Orizzonte.

Resta dunque preoccupazione l'esodo immediato degli occupanti in quanto, in un intervallo di soli 3 minuti, tutte le uscite prossime al focolare presentano condizioni incapacitanti per l'esodo ad eccezione della più distante porta E.

A fronte di tali considerazioni si è valutato un valore di ASET pari a 180 s: a tale tempistica, infatti, le 4 uscite di sicurezza A, B, C e D nelle vicinanze del focolare risultano già inaccessibili così come l'intero percorso d'esodo nella corsia di manovra; tutti gli occupanti eventualmente ancora presenti in tale area non sarebbero in grado di raggiungere la più distante uscita E in quanto tutto il percorso d'esodo invaso dai fumi. Tale considerazione sarà ulteriormente supportata dalle figure contenenti gli output dei devices.

Il valore di RSET è stato determinato considerando l'ultimo occupante che lascia in sicurezza l'area di manovra antistante le quattro uscite precedentemente menzionate. Questo avviene circa 175 secondi dopo l'inizio dell'incendio, quando l'occupante esce utilizzando la porta d'uscita del vano scala protetto D del condominio Orizzonte. Tuttavia, questo valore non offre un margine di sicurezza sufficiente per l'esodo dell'occupante, poiché ritardando l'evacuazione sarebbe costretto a dirigersi verso l'uscita E, data l'impraticabilità delle precedenti uscite causata dagli effetti dell'incendio.

I restanti occupanti escono successivamente dalle uscite del condominio di Lea o dal primo piano interrato senza essere influenzati dall'incendio. L'ultimo occupante lascia la struttura dal primo piano interrato al secondo 420 senza mai essere coinvolto dagli effetti dell'incendio.

Le griglie di aerazioni presenti in corrispondenza dell'area a cielo libero dinnanzi alla rampa di via Delleani consentono lo smaltimento dei fumi, evitando che l'area di manovra nord antistante le uscite del condominio di Lea venga interessata dall'incendio.

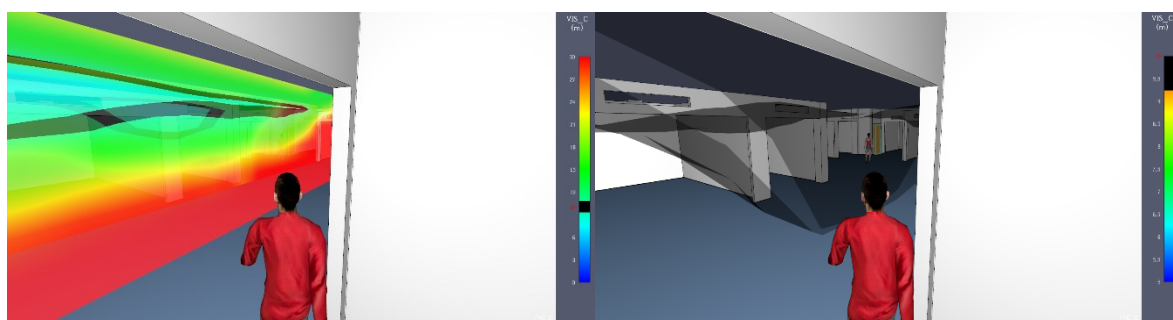


Figure 98/99 - RSET [175 s] con slice di visibilità a (sx) e isosurface di visibilità (dx) SCENARIO 3

Per valutare e consolidare il valore di ASET si sono inoltre analizzati almeno tre modelli, di oscuramento della visibilità, del calore e dei gas tossici.

La prima figura (n° 100) analizzata riguarda il modello di oscuramento della visibilità, che risulta essere fondamentale in questa analisi in quanto il più significativo tra i tre.

Anche per tale scenario, il primo dispositivo a registrare valori di visibilità inferiori alla soglia di prestazione, fissata a 10 metri per gli occupanti, è il dispositivo VIS01 posizionato all'interno del box auto. Seguono un andamento analogo i dispositivi situati in corrispondenza alla contigua uscita A (VIS02) e i restanti posizionati in mezzzeria della corsia di manovra e in corrispondenza della rampa (VIS07) e delle uscite B (VIS03) e C (VIS05). I dispositivi mostrano un rapido andamento tendente allo zero ad eccezione dei dispositivi VIS11 e VIS 12 posizionati al di sotto delle griglie di aerazione.

Il dispositivo considerato per definire il valore di ASET, insieme alle slice precedentemente analizzate, è dunque il VIS09 posizionato dinnanzi all'uscita D del condominio Orizzonte. Si osserva che dopo circa 180 secondi tale dispositivo presenta esclusivamente valori al di sotto della soglia di prestazione.

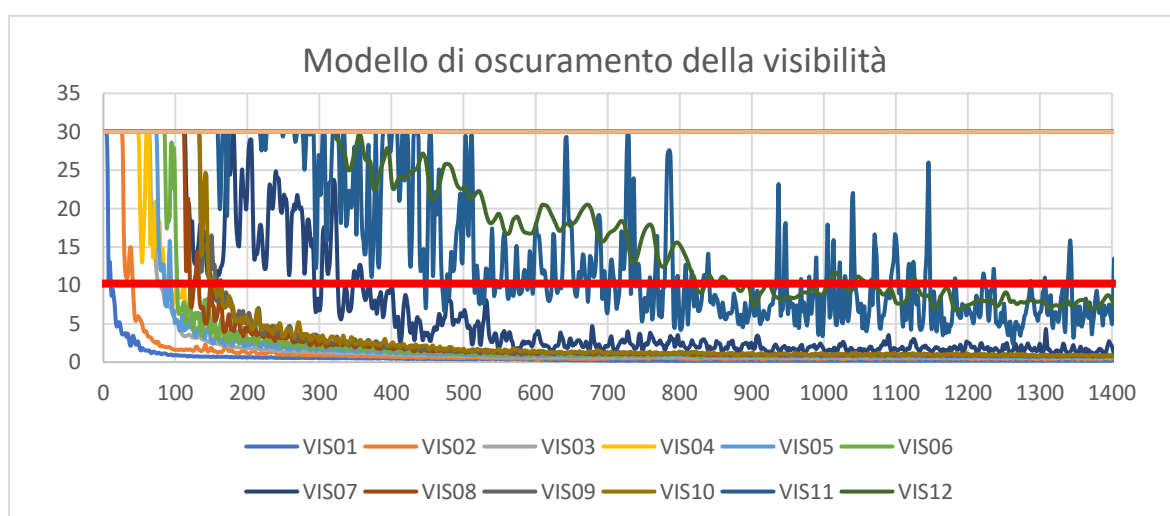


Figura 100 - Modello di oscuramento della visibilità SCENARIO 3

Per quanto riguarda la temperatura, osservando la figura 101, si nota che, lungo tutta la simulazione, diversi dispositivi registrano temperature superiori alla soglia di prestazione, fissata a 60°C. Innanzitutto si nota che il dispositivo TEMPO1 all'interno del box S2\_32 è il primo a superare tale valore; in secondo luogo si può notare come il calore dato dall'incendio si espanda al di fuori del box giungendo fino ai dispositivi nelle immediate vicinanze delle uscite A, B e C (rispettivamente TEMPO2, TEMPO3 e TEMPO5).

Tuttavia, questi dispositivi situati nelle medesime posizioni dei dispositivi di visibilità precedentemente esaminati, non sono considerati per determinare il valore di ASET in quanto giungono alle condizioni incapacitanti l'esodo una volta che tutti gli occupanti hanno evacuato l'attività.

Per quanto riguarda l'irraggiamento, si osserva la figura 102. In questo caso, solo i dispositivi IRR01 e IRR02 posizionati sopra il focolare e dinnanzi alla porta A superano la soglia di prestazione (pari a 2,5 kW/m<sup>2</sup>) entro i 1416 secondi. È evidente, grazie al modello del calore, che tali quantità rimangono confinate all'interno del box auto e nelle sue immediate vicinanze.

Per l'analisi del modello dei gas tossici, si riporta il grafico in figura 103. Anche in questo caso gli unici dispositivi che registrano valori superiori alla soglia di prestazione (fissata a 0,1) sono il FED01 e FED02, con medesima dinamica dei modelli precedenti.

Tuttavia, si ribadisce che i valori registrati da tali dispositivi vengono esclusi dal calcolo dell'ASET, poiché le soglie di prestazione sono raggiunte nettamente in precedenza nel modello della visibilità, che risulta essere il più critico all'interno dell'autorimessa.

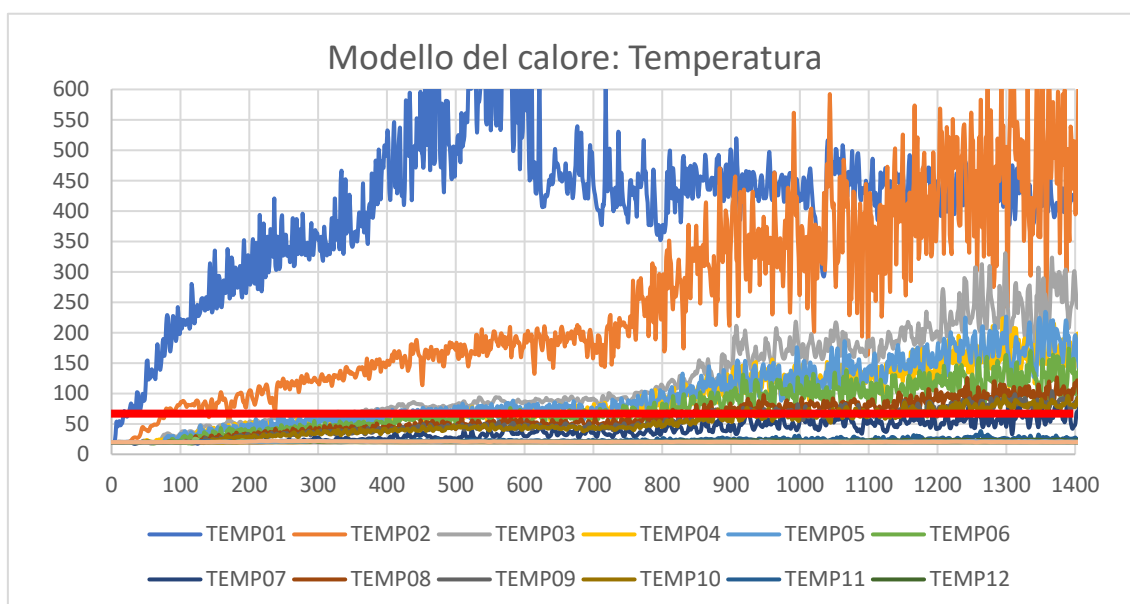


Figura 101 - Modello del calore, temperatura SCENARIO 3

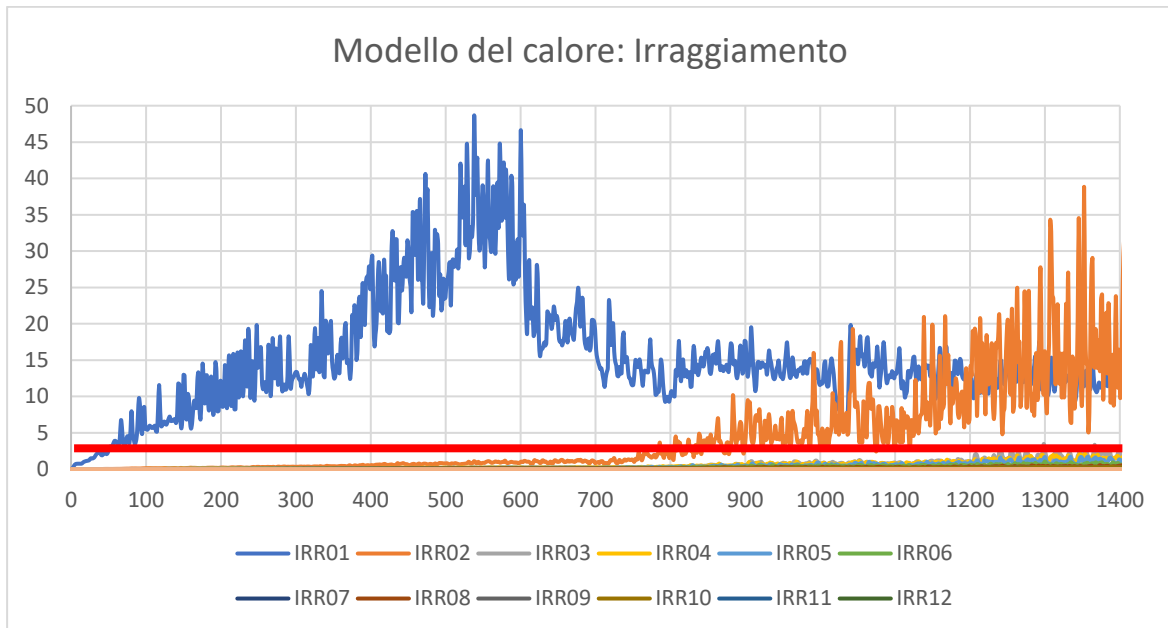


Figura 102 - Modello del calore, irraggiamento SCENARIO 3

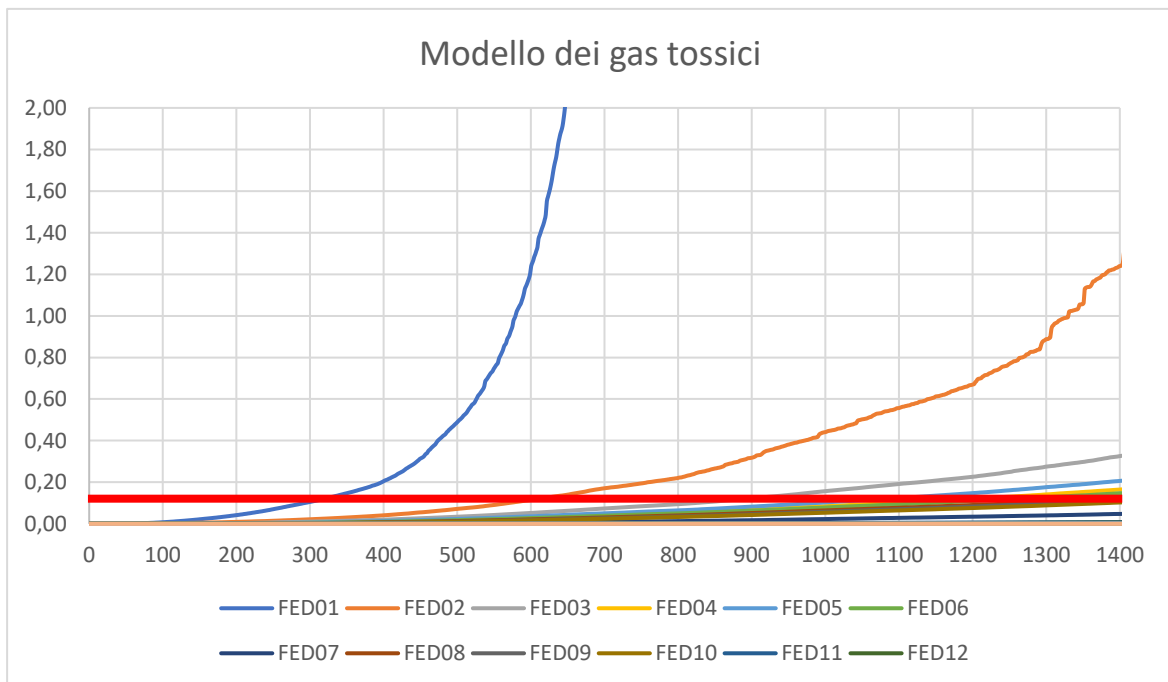


Figura 103 - Modello dei gas tossici, FED SCENARIO 3



## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

Dall'analisi delle slice e dei grafici presentati nelle pagine precedenti, è emerso che la diseguaglianza  $ASET > RSET$ , relativa allo scenario 3 senza sprinkler, non risulta del tutto verificata. Ciò significa che i valori di visibilità, temperatura, irraggiamento e FED superano le soglie di prestazione dopo che l'ultimo occupante dell'area d'interesse ha completato in sicurezza l'evacuazione ma con un tempo  $t_{\text{marg}}$  non superiore nemmeno al 10% di RSET.

Dai risultati ottenuti con Pyrosim è possibile considerare un ASET per tale scenario pari a 180 secondi. Dall'integrazione degli effetti dell'incendio nella simulazione effettuata con Pathfinder, è stato possibile determinare il tempo che impiega l'ultimo occupante ad evacuare dall'area interessata dagli effetti dell'incendio RSET pari a 175 secondi.

Il criterio di diseguaglianza riportato al capitolo M.3.2.2 del D.M. 03/08/2015 risulta soddisfatto mentre per il  $t_{\text{marg}}$  verranno fatte ulteriori considerazioni nel capitolo conclusivo.

$$ASET > RSET \rightarrow 180 \text{ s} > 175 \text{ s}$$

$$t_{\text{marg}} = ASET - RSET = 5 \text{ s} \rightarrow \text{Non soddisfatto}$$

Successivamente alla valutazione per la salvaguardia della vita degli occupanti è necessario valutare tale scenario d'incendio per la salvaguardia della vita dei soccorritori.

Anche in questo caso, si valuta se, al termine della simulazione, le condizioni per l'ingresso dei soccorritori nella struttura e per l'estinzione dell'incendio risultano accettabili.

Dopo 1416 secondi, l'incendio si è limitato alle aree di manovra nei pressi del focolare e alle 4 uscite di sicurezza del condominio Orizzonte. Questo è permesso dalle griglie di aerazione in corrispondenza della superiore area a cielo libero che di fatto separa il compartimento al 2° piano interrato. Quindi, i vigili del fuoco, al loro arrivo, possono entrare nel secondo piano interrato attraverso i 4 vani scala protetti ancora accessibili (A, B, C del condominio Di Lea ed E del condominio Orizzonte ancora parzialmente praticabile) e dalla rampa aperta che collega i due piani. Inoltre, al loro arrivo, solo tre idranti a muro risultano inutilizzabili per contrastare l'incendio. Come riportato nelle immagini in basso e visibile nei grafici precedenti, la salvaguardia della vita dei soccorritori risulta ampiamenti verificata.

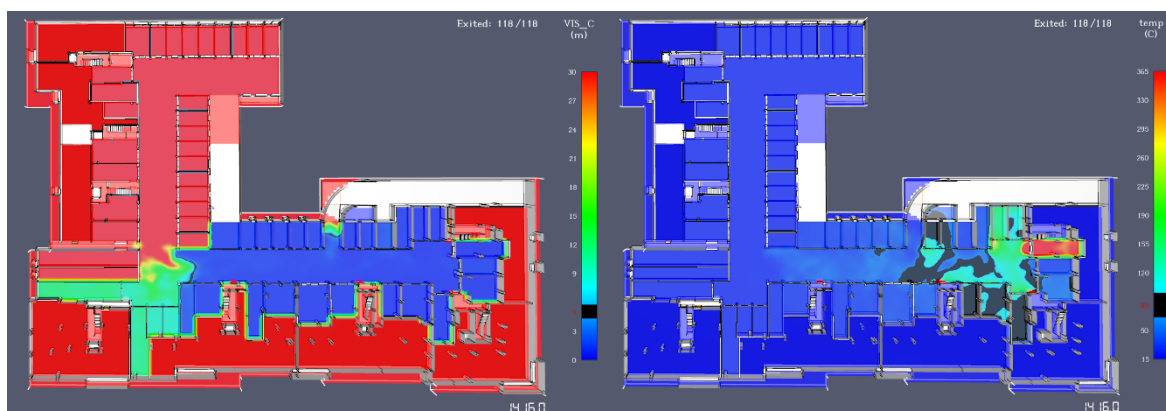


Figure 104/105 - Slice di visibilità (sx) e temperatura (dx) a 1416 s SCENARIO 3

Una volta valutati e commentati i risultati del terzo scenario, è necessario confrontare le stesse grandezze nel caso in cui sia presente l'impianto di spegnimento automatico a sprinkler. Lo scenario si presenta in modalità analoga a quella precedente, ovvero all'interno del box auto doppio S2\_32 situato nel secondo piano interrato.

In questa situazione, l'incendio si sviluppa meno intensamente, presentando tuttavia criticità simili a quelle evidenziate in precedenza.

La curva RHR ottenuta dal software rispecchia quasi perfettamente quella inserita in fase di programmazione della simulazione; si ricorda che la stessa, pur presentando analogo andamento, è stata limitata al 50% della potenza espressa una volta attivata la prima testina erogatrice presente all'interno del box.

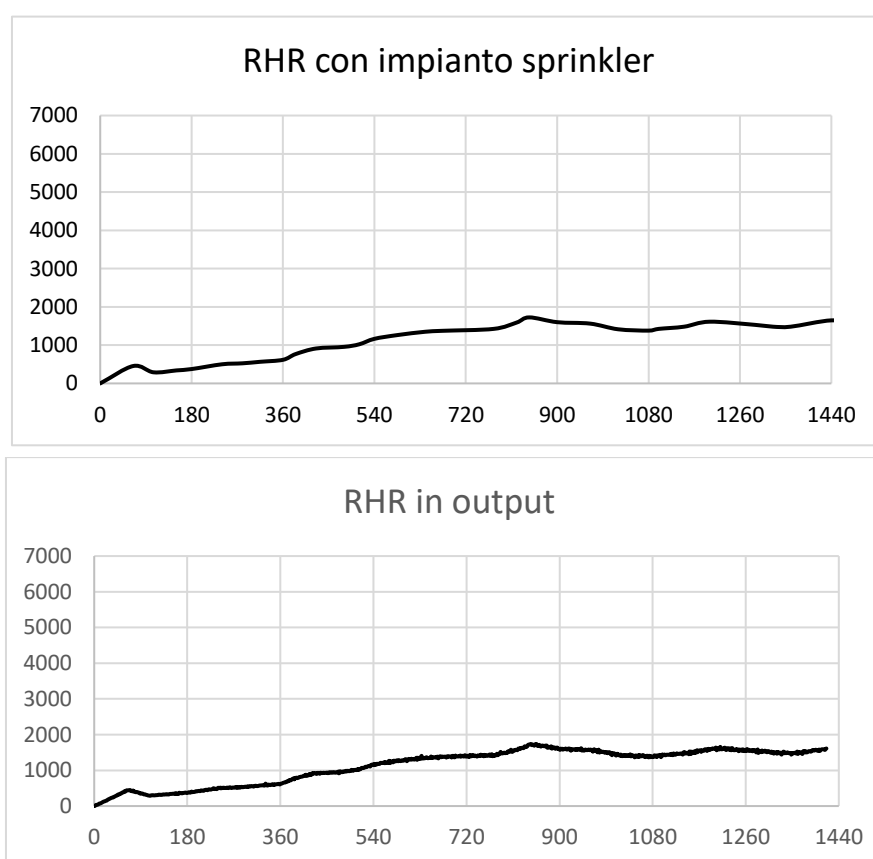


Figura 106 - Confronto tra curva RHR inserita ed estrapolata

Saranno ora presentate le immagini delle slice di visibilità, catturate a un'altezza di 2 metri dal piano di calpestio del secondo piano interrato, nei medesimi istanti significativi precedenti per la salvaguardia della vita degli occupanti.

Come in precedenza, in ogni immagine sarà riportata la scala di colori nella quale sarà evidenziata in grigio la soglia di prestazione a 10 metri.

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

Seguiranno le immagini riportanti sinteticamente le slice di temperatura ad analoga quota di calpestio utili ad un immediato confronto visivo con il caso precedente.

In seguito, verranno riportate le slice sull'asse y al fine di visualizzare l'occupante che rappresenta l'RSET; per lo stesso, la visione sarà ampliata dalla relativa isosurface.

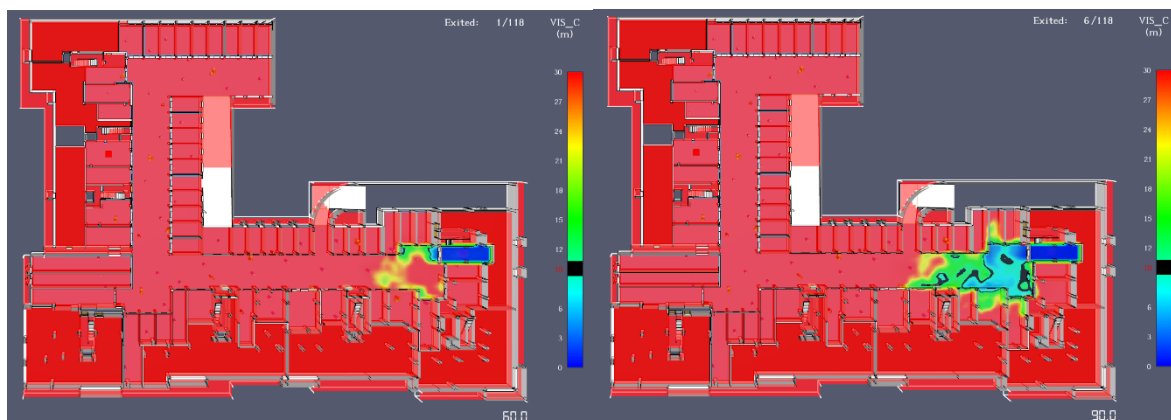


Figure 107/108 - Slice di visibilità a 60 s (sx) e 90 s (dx) SCENARIO 3.S

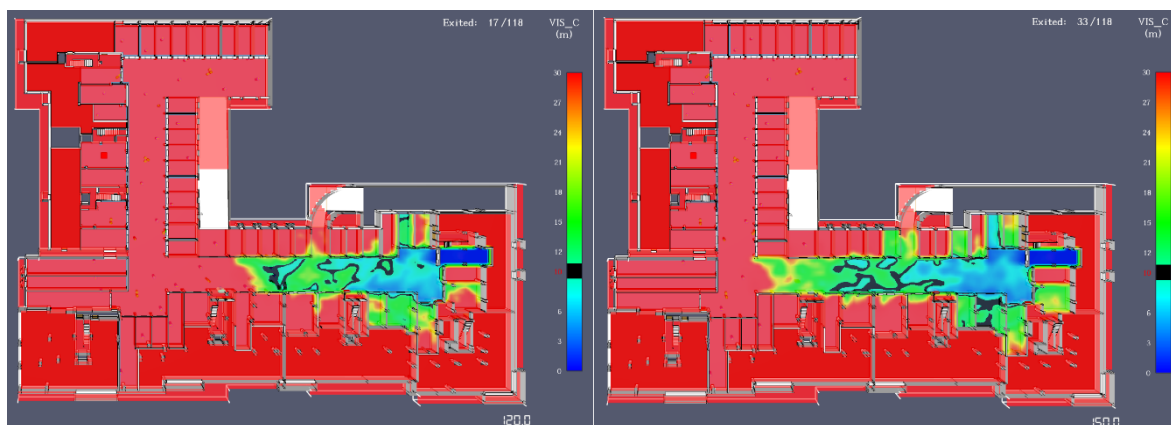


Figure 109/110 - Slice di visibilità a 120 s (sx) e 150 s (dx) SCENARIO 3.S

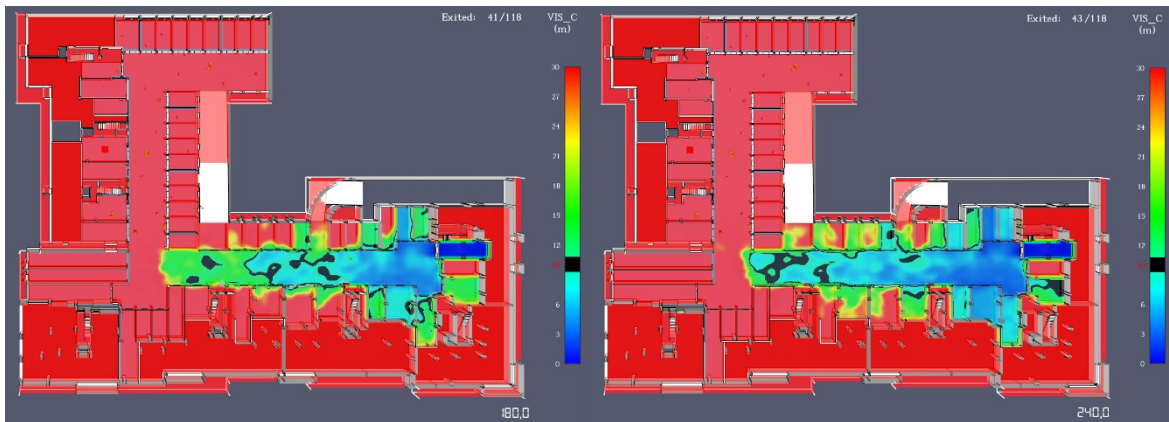


Figure 111/112 - Slice di visibilità a 180 s (sx) e 240 s [ASET] (dx) SCENARIO 3.S

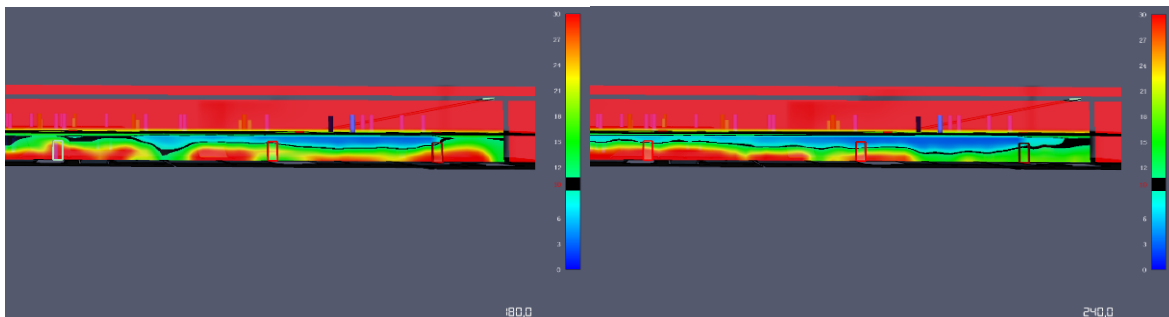


Figure 113/114 - Slice di visibilità lungo y a 180 s (sx) e 240 s [ASET] (dx) SCENARIO 3.S

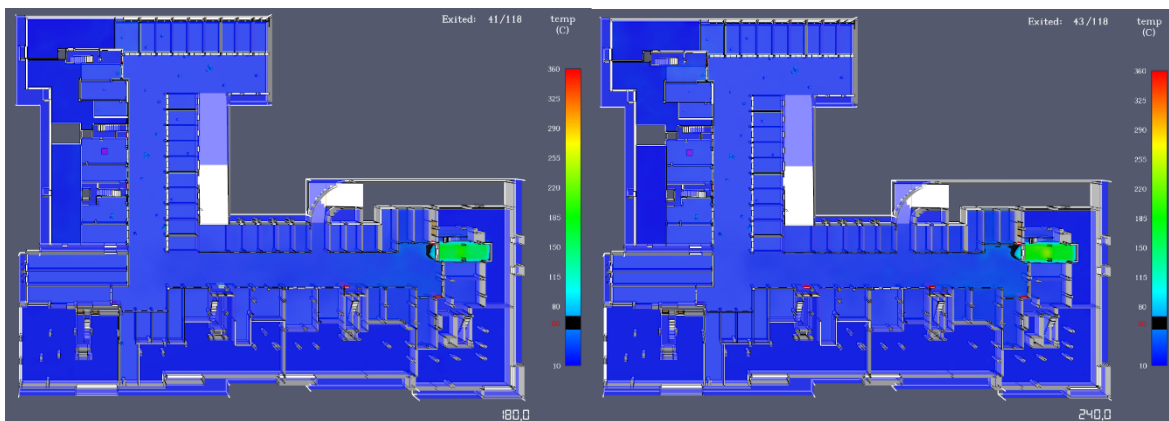


Figure 115/116 - Slice di temperatura a 180 s (sx) e 240 s [ASET] (dx) SCENARIO 3.S

Le immagini precedenti evidenziano che, nello scenario d'incendio 3 in presenza di impianto sprinkler, la propagazione dei fumi e la conseguente diminuzione della visibilità rappresentano la principale criticità seppur con meno evidenza del caso precedente. Per tale scenario sarà utile un confronto puntuale per ogni uscita d'emergenza.

Dopo i primi 60 secondi, il box auto in cui si è verificato l'incendio diventa in analogia completamente impraticabile. Dopo 120 secondi, il fumo, tangente l'intradosso del solaio inizia a diffondersi nell'area a sinistra antistante il box ma con meno intensità; le vie d'uscita rappresentate dai vani scala protetti B e C del condominio Di Lea diventano impraticabili passati 300 secondi, ma, entro tale istante, tutti gli occupanti nelle vicinanze dell'incendio risultano già messi in salvo senza avvertire nettamente gli effetti dell'incendio.

La dinamica della propagazioni dei fumi risulta molto simile alla precedente, tuttavia, è evidente la minore intensità dell'incendio come descritto altresì dalla sua curva RHR.

Se si confrontano le situazione per l'istante a 180 s, individuato come ASET per il caso precedente, con l'analoga situazione in presenza di impianto sprinkler (figure 92 e 111) si possono fare le seguenti considerazioni: anche nel secondo caso tutta l'area di manovra, ad eccezione degli spazi prossimi all'uscita D presenta condizioni incapacitanti per l'esodo; per di più, valutando il proseguo della simulazione, si individuano quantitativi di fumo e calore tali da individuare un vero e proprio ASET per tale scenario all'istante di 240 secondi.

Dal momento che le differenze temporali tra le due casistiche non superano il minuto è utile analizzare gli istanti nei quali ogni uscita di sicurezza del condominio Orizzonte (le restanti del condominio Di Lea non sono interessate dagli effetti dell'incendio) risultano impraticabili.

Tabella 39 - Valori di ASET ed RSET per relative uscite d'esodo (scenario 3)

Uscita d'esodo	ASET senza imp.Sprinkler	ASET con imp.Sprinkler	RSET
A_ORIZZONTE	60 s	60 s	35 s
B_ORIZZONTE	85 s	90 s	75 s
C_ORIZZONTE	115 s	125 s	100 s
D_ORIZZONTE	180 s	235 s	175 s
E_ORIZZONTE	1100 s	/	190 s

Tali valori saranno ulteriormente supportati dalle figure contenenti gli output dei devices. Il valore di RSET è il medesimo dello scenario ove non sono presenti gli sprinkler in quanto questi non influenzano i tempi  $t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$  costituenti l'RSET.

Questo valore si ripete all'istante di 175 secondi, quando l'ultimo occupante esce dal compartimento utilizzando la porta d'esodo del vano scala D del condominio Orizzonte.

Nelle immagini alla pagina successiva si può tuttavia notare che gli effetti dell'incendio sono meno critici rispetto a quelli presenti nelle figure 98/99.

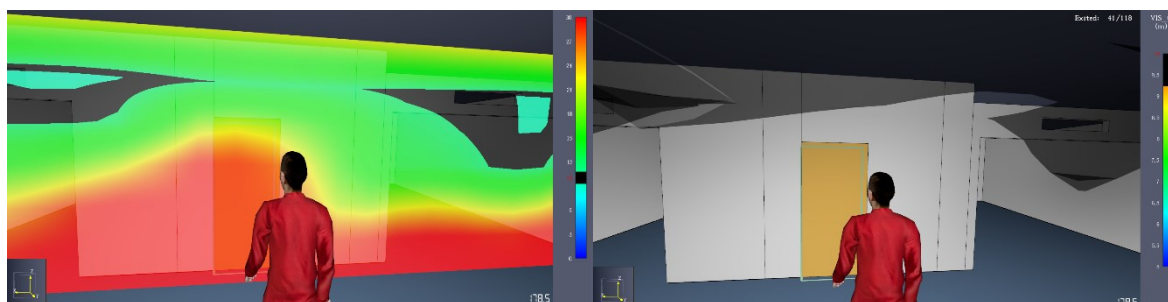


Figure 117/118 - RSET con slice di visibilità a (sx) e isosurface di visibilità (dx) SCENARIO 3.S

Come in precedenza, per valutare e consolidare il ragionamento su ASET si sono inoltre analizzati i tre modelli, di oscuramento della visibilità, del calore e dei gas tossici.

La prima immagine (n° 119) analizzata riguarda il modello di oscuramento della visibilità. In attinenza con la figura 100, i dispositivi situati nell'area circostante il box contenente il focolare seguono un andamento analogo ma traslato nel tempo.

Inoltre, il dispositivo VIS09, posizionato nei pressi della porta d'uscita D e in precedenza utile a stimare l'ASET, in presenza di impianto sprinkler scende definitivamente al di sotto del valore soglia all'istante di circa 240 s. Si ricorda che il valore di ASET è stimato visualizzando in contemporanea le slice di visibilità e gli output dei devices.

Tuttavia, risulta evidente che tutti i dispositivi giungono al valor sottosoglia all'arrivo dei vigili del fuoco ad eccezione dei device VIS11 e VIS12 posizionati al di sotto delle griglie di aerazione.

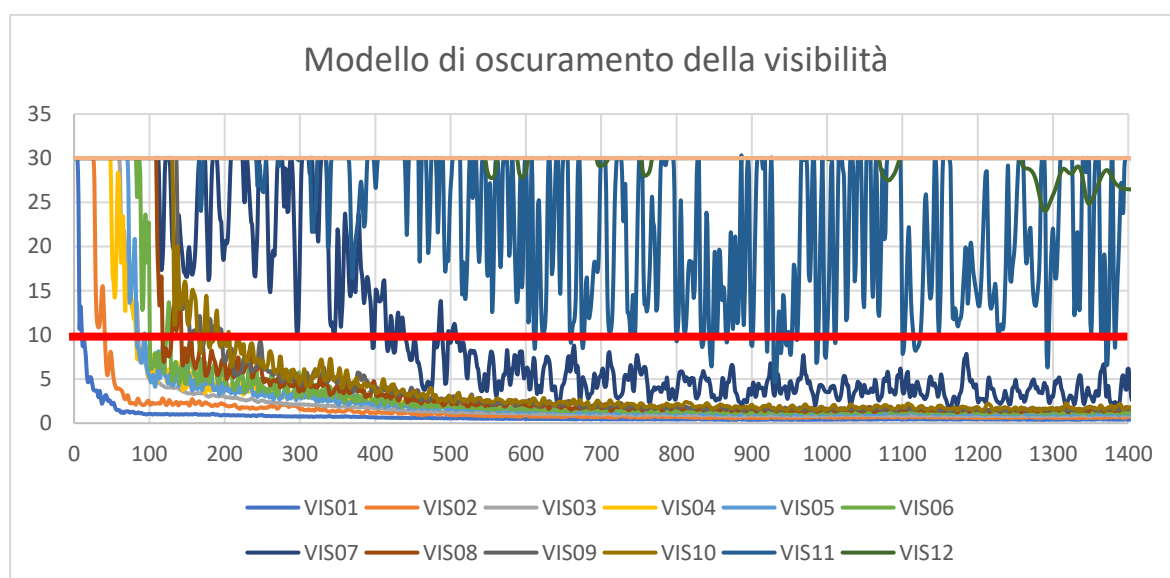


Figura 119 - Modello di oscuramento della visibilità SCENARIO 3.S

Per quanto riguarda la temperatura, osservando la figura 120, si nota che i soli dispositivi TEMP01 e TEMP02, posizionati rispettivamente all'interno del box auto e dinnanzi alla porta A, registrano temperature superiori alla soglia di prestazione, fissata a 60°C. La differenza con il caso precedente risulta evidente anche confrontando i minuti finali della simulazione ove tutti i dispositivi esaminati non superano le condizioni di soglia. Per non appesantire la lettura dell'elaborato non sono stati riportati i grafici relativi all'irraggiamento e alla FED in quanto non significativi al confronto e alla valutazione.

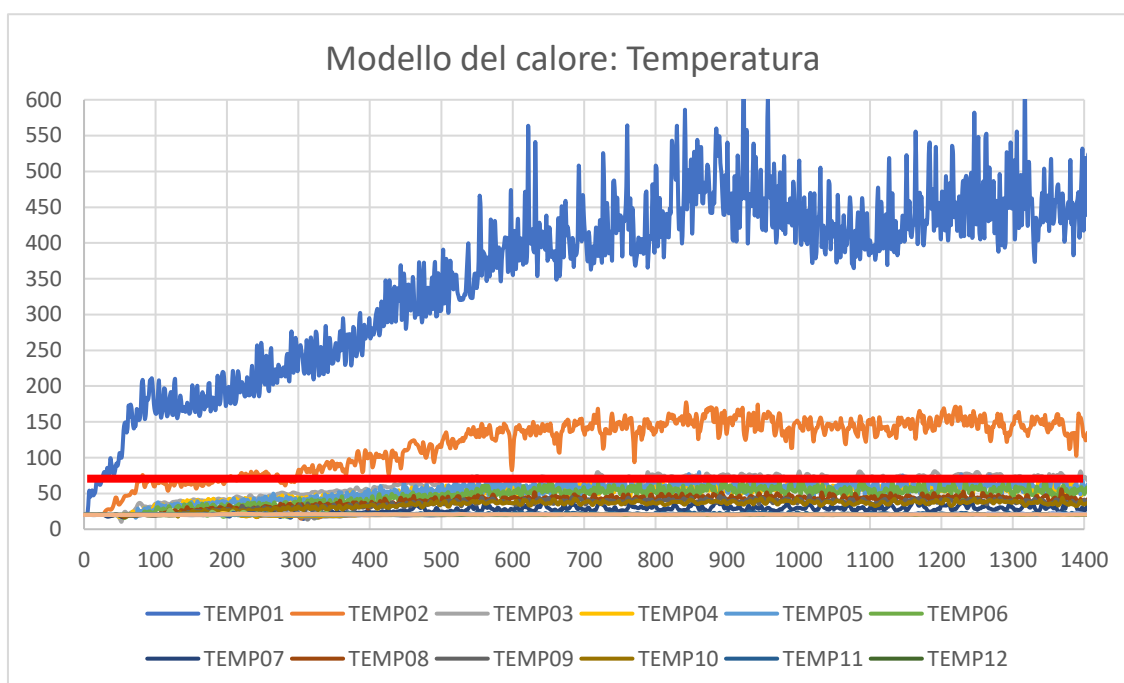


Figura 120 - Modello del calore, temperatura SCENARIO 3.S

Dall'analisi delle slice e dei grafici presentati nelle pagine precedenti, è emerso che la disuguaglianza  $ASET > RSET$ , relativa allo scenario 3 con sprinkler, risulta parzialmente verificata. In particolare, i valori di visibilità, temperatura, irraggiamento e FED superano le soglie di prestazione ma soltanto dopo che l'ultimo occupante dell'area d'interesse ha completato in sicurezza l'evacuazione con un tempo  $t_{marg}$  non superiore a 100% RSET. Dai risultati ottenuti con Pyrosim è dunque possibile considerare un ASET per tale casistica pari a circa 240 secondi. Pertanto, il criterio di diseguaglianza riportato al capitolo M.3.2.2 del D.M. 03/08/2015 risulta sempre soddisfatto mentre il  $t_{marg}$  è superiore al minimo valore consigliato.

$$ASET > RSET \rightarrow 240 \text{ s} > 175 \text{ s}$$

$$t_{marg} = ASET - RSET = 65 \text{ s} \geq 30\%RSET$$

Si può concludere che l'impianto sprinkler porta benefici nel contrastare lo sviluppo dell'incendio in particolare garantendo maggior tempo affinché i percorsi e le porte d'esodo rimangano percorribili. Tuttavia, oltre a presentare analoghi effetti dell'incendio nell'immediato e a lungo termine, comporta un tempo margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  non superiore al 100% di RSET e, pertanto, non del tutto cautelativo ai fini della salvaguardia della vita umana.

L'analoga dinamica d'incendio superato il valore di ASET porta alle medesime condizioni per la salvaguardia della vita dei soccorritori vista in precedenza che risulta garantita anche per tale casistica. Per non appesantire la lettura dell'elaborato non sono state riportate le figure relative alle slices di visibilità e temperatura a 1416 secondi poiché già ampiamente soddisfatte nel caso maggiormente gravoso.

#### **SCENARIO 4**

Nell'ultimo scenario riguardante l'autorimessa, si è considerato un incendio all'interno del box auto doppio S2\_53 situato nel secondo piano interrato. Questa casistica risulta la più critica, l'incendio presenta un'intensa crescita che coinvolge rapidamente l'intera corsia di manovra del box antistante il condominio Di Lea. Come illustrato nelle immagini di seguito, questo scenario presenta maggiori sfide per l'evacuazione degli occupanti rispetto agli scenari del primo piano interrato. Questo è in parte dovuto alla minore altezza interna netta del piano (2,8 m rispetto ai 3,5 m del primo piano interrato), alla configurazione architettonica più complessa della struttura a tale quota di pavimento e alla posizione del box considerato, situato nelle immediate vicinanze di 3 uscite d'esodo.

Le simulazioni preliminari per questo scenario hanno rivelato risultati preoccupanti per quanto riguarda la sicurezza degli occupanti; questa situazione ha richiesto un'analisi più approfondita.

Di conseguenza, si è considerata la possibilità di consentire l'evacuazione per coloro presenti nei box compresi tra S2\_06 e S2\_01 attraverso la rampa aperta di fronte alla loro posizione. La valutazione delle simulazioni, infatti, ha reso evidente che in una situazione critica reale gli occupanti nelle immediate vicinanze si sarebbero diretti verso tale percorso, poiché inizialmente libero dai fumi e con aperture di aerazioni sufficienti da permettere un passaggio sicuro verso il compartimento superiore. La rampa in questione, tuttavia, presenta una pendenza superiore all'8%, pertanto, nell'ottica di una progettazione inclusiva, tale percorso d'esodo non è stato incluso nella valutazione di ASET ed RSET.

Nel modello Pathfinder infatti tale percorso non si è reso disponibile per gli occupanti con il Behaviour "infortunio motorio", i quali potevano dirigersi verso le porte d'esodo più vicine alla loro posizione.

Tale modifica ai percorsi d'esodo sarà opportunamente integrata nell'apposita SGSA e rivalutata nel capitolo conclusivo.



La curva RHR ottenuta dal software corrisponde alla curva inserita durante la programmazione della simulazione; le differenze riscontrate riguardano principalmente l'estensione nel tempo della curva inserita, che è più ampia di quella estrapolata, e un maggior divario del valore estrapolato rispetto a quello atteso (in particolare dopo 900 secondi), dovuto principalmente ad una superiore richiesta computazionale di questo scenario.

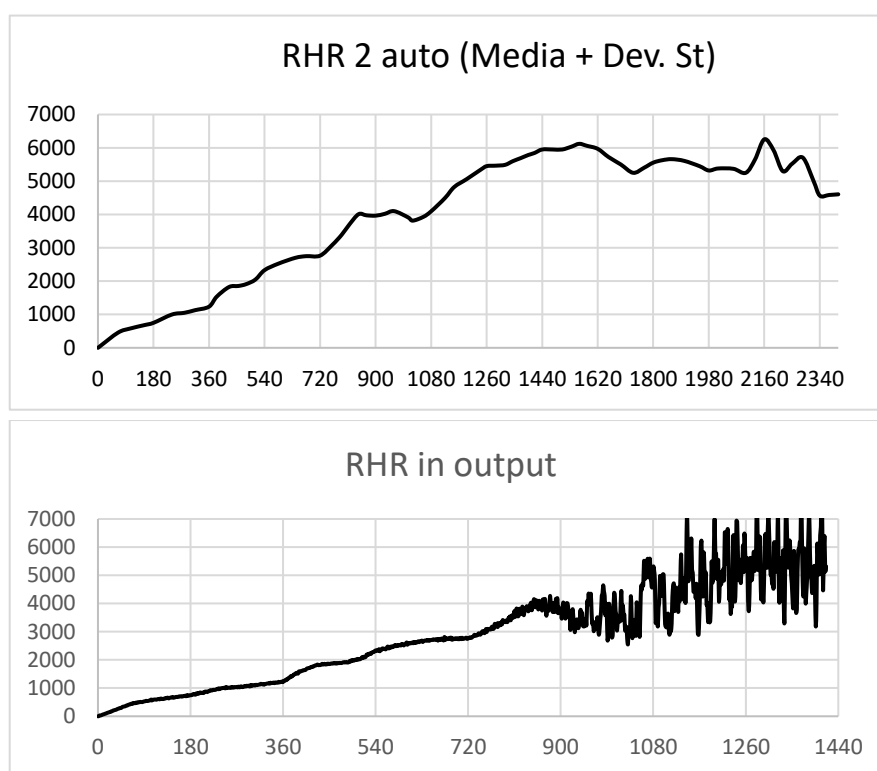


Figura 121 - Confronto tra curva RHR inserita ed estrapolata

Saranno ora presentate le immagini delle slice di visibilità, acquisite a un'altezza di 2 metri dal piano di calpestio del secondo piano interrato, in momenti cruciali per la sicurezza degli occupanti. Ogni immagine mostrerà una scala di colori in cui la soglia di prestazione a 10 metri sarà evidenziata in grigio. Seguiranno sinteticamente le immagini delle slice di temperatura alla stessa altezza. Successivamente, saranno mostrate le slice sull'asse x e y utili per identificare l'ultimo occupante che abbandona l'area interessata dall'incendio; per lo stesso, la visione sarà ampliata dalla relativa isosurface.

Gli istanti riportati presentano piccole limitate temporali poiché l'incendio si sviluppa con maggiore intensità e coinvolge significativamente le prime fasi di evacuazione degli occupanti. Si tenga presente che verrà prima analizzato lo scenario in cui non è presente un impianto sprinkler nel compartimento autorimessa interessato.

5 - Fire Safety Engineering Soluzione alternativa

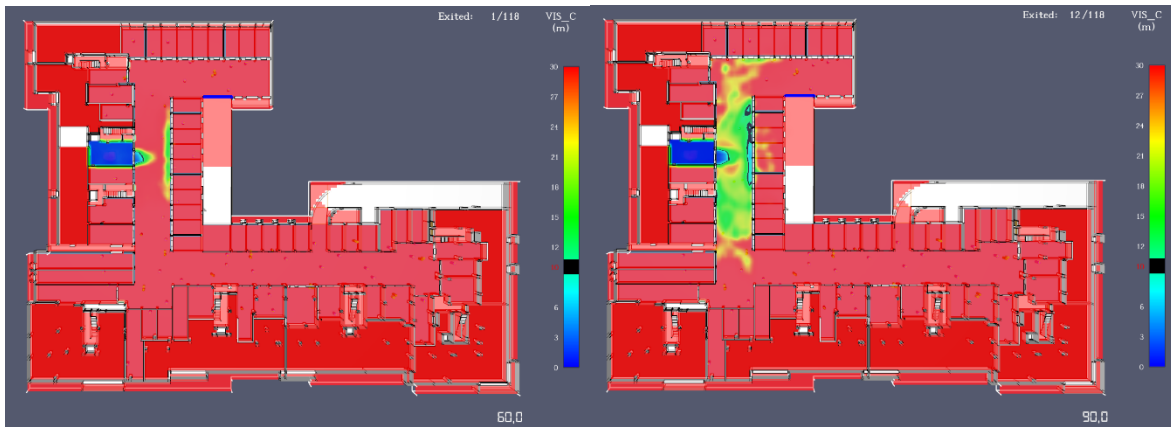


Figure 122/123 - Slice di visibilità a 60 s (sx) e 90 s (dx) SCENARIO 4

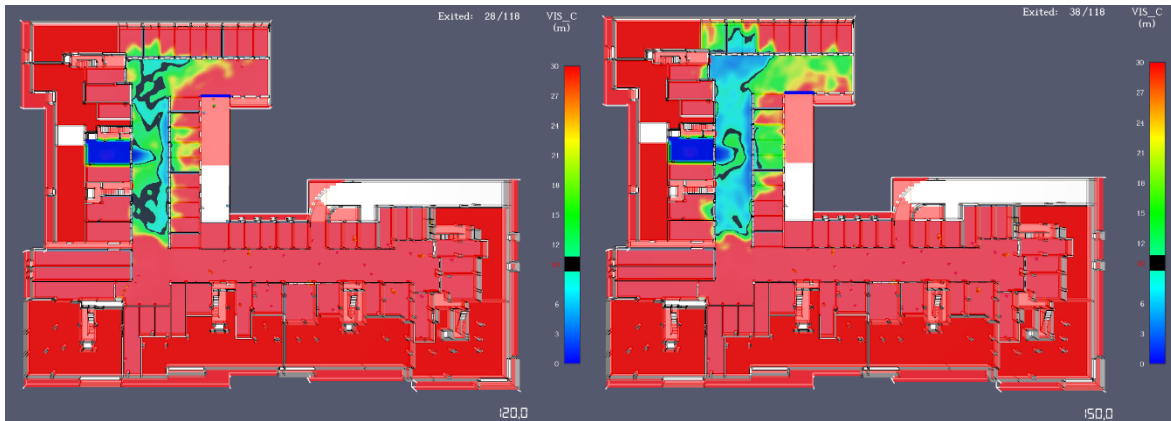


Figure 124/125 - Slice di visibilità a 120 s (sx) e 150 s [ASET] (dx) SCENARIO 4

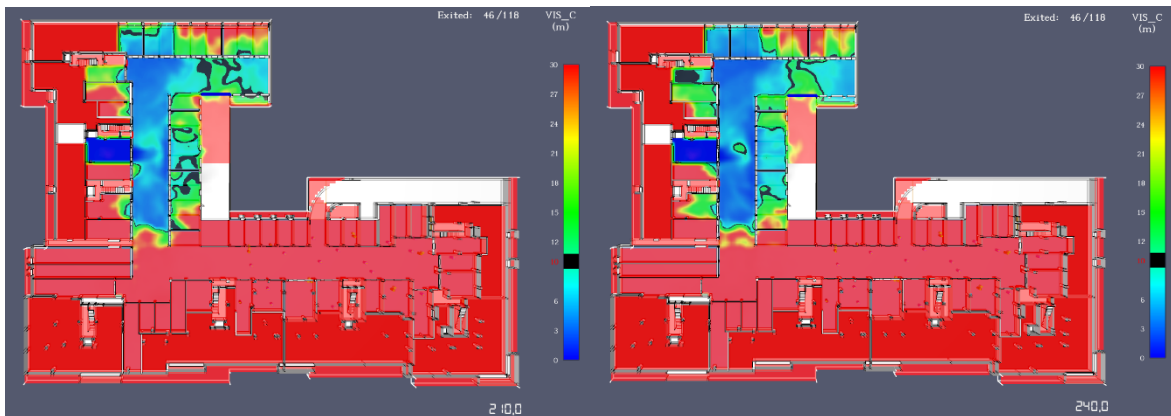


Figure 126/127 - Slice di visibilità a 210 s (sx) e 240 s (dx) SCENARIO 4

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

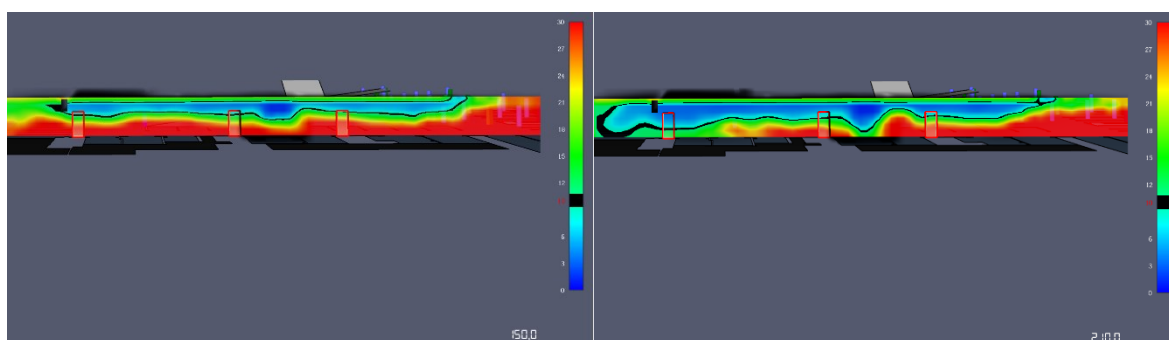


Figure 128/129 - Slice di visibilità lungo x a 150 s [ASET] (sx) e 210 s (dx) SCENARIO 4

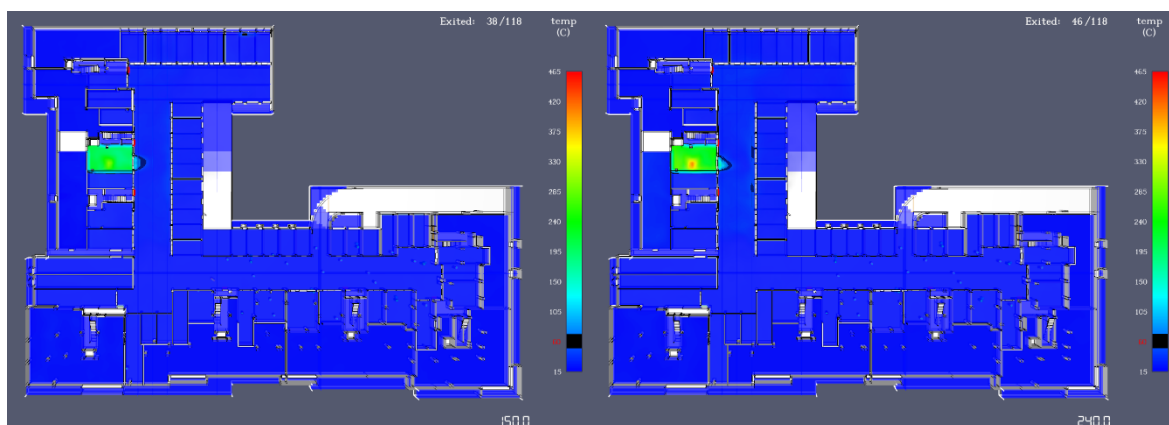


Figure 130/131 - Slice di temperatura a 150 s [ASET] (sx) e 240 s (dx) SCENARIO 4

Le immagini precedentemente espone evidenziano che, anche in questo scenario d'incendio, la propagazione dei fumi e la conseguente diminuzione della visibilità rappresentano la principale criticità.

Dopo i primi 60 secondi, il box auto in cui si è verificato l'incendio diventa completamente impraticabile; dopo 90 secondi, il fumo inizia a diffondersi nell'area antistante il box trovando l'opposizione della parete dei box S2\_13 e S2\_14 che ne permettono la sua radicazione verso il basso, il percorso d'esodo verso l'uscita del vano scala B.

Il fumo si sviluppa con elevata rapidità: a 120 secondi la via d'uscita quali A, B e C del condominio Di Lea incominciano ad essere invase dagli effetti dell'incendio fino a diventare impraticabili intorno ai 150 secondi quando gli occupanti possono utilizzare esclusivamente il passaggio dato dalla rampa aperta posta dinnanzi ai box S2\_06 e S2\_01; l'area situata di fronte allo stesso presenta condizioni incapacitanti per l'esodo intorno ai 210 s.

Successivamente tutta l'area di manovra del condominio Di Lea e nei pressi del focolare risulta interamente invasa dai fumi ad eccezione delle uscite d'esodo del condominio Orizzonte. Analogamente allo scenario precedente, le griglie di aerazione presenti in corrispondenza dell'area a cielo libero dinnanzi alla rampa di via Delleani consentono lo

smaltimento dei fumi, evitando che l'area di manovra antistante le uscite del condominio di Orizzonte venga così interessata dall'incendio.

Dall'analisi appena effettuata emerge che sin dai primi minuti di simulazione i fumi si accumulano sull'intradosso del solaio, stratificano in alto per poi discendere lungo la parete frontale al box fino alla quota di imposta di porte e basculanti: da quel punto in poi, muovendosi simultaneamente verso sud e verso nord interessano la quasi totalità dell'area di manovra del condominio Di Lea.

Desti dunque preoccupazione l'esodo immediato degli occupanti in quanto, in un intervallo di soli 150 secondi, tutte le porte d'esodo prossime al focolare presentano condizioni incapacitanti per l'esodo ad eccezione della più distante porta E.

A fronte di tali considerazioni e non considerando la rampa aperta nell'ottica di una progettazione inclusiva, si è valutato un valore di ASET pari a 150 s: a tale tempistica, infatti, le 3 uscite di sicurezza A, B, C del condominio Di Lea nelle vicinanze del focolare risultano già inaccessibili così come l'intero percorso d'esodo nella corsia di manovra; tutti gli occupanti eventualmente ancora presenti in tale area e impossibilitati a percorrere la rampa aperta in autonomia, non sarebbero in grado di raggiungere la più distante uscita E in quanto tutto il percorso d'esodo è invaso dai fumi. Tale considerazione sarà ulteriormente supportata dalle figure contenenti gli output dei devices.

Il valore di RSET è stato determinato considerando l'ultimo occupante che lascia in sicurezza l'area di manovra antistante le tre uscite precedentemente menzionate. Questo avviene circa 125 secondi dopo l'inizio dell'incendio, quando l'occupante esce utilizzando la porta d'uscita del vano scala protetto A del condominio Di Lea. Tuttavia, questo valore non offre un margine di sicurezza sufficiente per l'esodo dell'occupante, poiché ritardando l'evacuazione sarebbe costretto a dirigersi verso l'uscita E o, qualora abile, la rampa aperta data l'impraticabilità delle precedenti uscite causata dagli effetti dell'incendio.

I restanti occupanti escono successivamente dalle uscite del condominio Orizzonte o dal primo piano interrato senza essere influenzati dall'incendio. L'ultimo occupante lascia la struttura dal primo piano interrato al secondo 420 senza mai essere coinvolto direttamente dagli effetti dell'incendio.

Le immagini 132, 133 successivamente riportate, non mostrano l'ultimo occupante ad uscire dal compartimento ma bensì, l'ultimo a percorrere la rampa aperta; si può notare come, al momento del suo esodo (120 s), non vi siano condizioni incapacitanti nel raggiungere la rampa aperta e percorrerla per uscire dal compartimento interessato dall'incendio.

Tuttavia, è importante considerare che tale occupante potrebbe presentare una disabilità motoria, anche temporanea, che limiterebbe la sua capacità di utilizzare la rampa. In questo caso, sarebbe costretto a procedere lungo l'area di manovra fino a raggiungere l'uscita A, parzialmente impraticabile a causa della rapida propagazione dei fumi. Pertanto, nelle pagine seguenti verranno riportati i valori di ASET ed RSET per ogni uscita d'esodo.

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

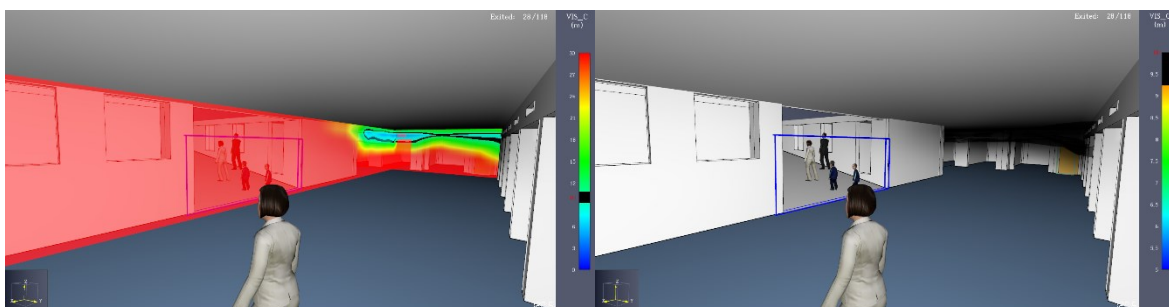


Figure 132/133 - RSET con slice di visibilità (sx) e isosurface di visibilità (dx) SCENARIO 4

Per valutare e consolidare il valore di ASET si sono inoltre analizzati almeno tre modelli, di oscuramento della visibilità, del calore e dei gas tossici.

La prima figura (n° 130) analizzata riguarda il modello di oscuramento della visibilità, che risulta essere fondamentale in questa analisi in quanto il più significativo tra i tre.

Anche per tale scenario, il primo dispositivo a registrare valori di visibilità inferiori alla soglia di prestazione, fissata a 10 metri per gli occupanti, è il dispositivo VIS01 posizionato all'interno del box auto. Seguono un andamento analogo i dispositivi situati in corrispondenza alla mezzeria della corsia di manovra antistante (VIS03, VIS07 E VIS08), delle uscite B (VIS02) e C (VIS10) e in corrispondenza della rampa aperta (VIS06).

I dispositivi mostrano un rapido andamento tendente allo zero ad eccezione del dispositivo VIS 12 posizionati al di sotto delle griglie di aerazione a sud.

Il dispositivo considerato per definire il valore di ASET, insieme alle slice precedentemente analizzate, è dunque il VIS04 posizionato dinnanzi all'uscita A del condominio Di Lea.

Si osserva che dopo circa 180 secondi tale dispositivo presenta esclusivamente valori al di sotto della soglia di prestazione.

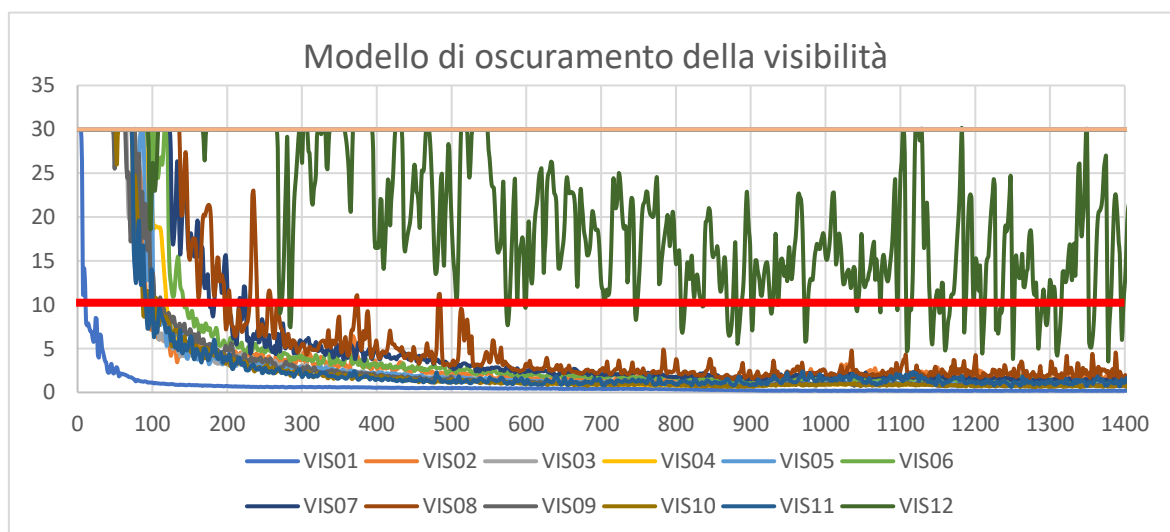


Figure 134 - Modello di oscuramento della visibilità SCENARIO 4

Per quanto riguarda la temperatura, osservando la figura 135, si nota che, lungo tutta la simulazione, diversi dispositivi registrano temperature superiori alla soglia di prestazione, fissata a 60°C. Innanzitutto si nota che il dispositivo TEMP01 all'interno del box S2\_53 è il primo a superare tale valore; in secondo luogo si può notare come il calore dato dall'incendio si espanda al di fuori del box giungendo fino ai dispositivi nelle immediate vicinanze espandendosi lungo la corsia di manovra

Tuttavia, questi dispositivi situati nelle medesime posizioni dei dispositivi di visibilità precedentemente esaminati, non sono considerati per determinare il valore di ASET in quanto vertono condizioni incapacitanti l'esodo una volta che tutti gli occupanti hanno evacuato l'attività.

Per quanto riguarda l'irraggiamento, si osserva la figura 136. In questo caso, solo il dispositivo IRRO1 posizionati sopra il focolare supera la soglia di prestazione (pari a 2,5 kW/m<sup>2</sup>) entro i 1416 secondi. È evidente, grazie al modello del calore, che tale quantità rimanga confinata all'interno del box auto e nelle sue immediate vicinanze.

Per l'analisi del modello dei gas tossici, si riporta il grafico in figura 137. Anche in questo caso l'unico dispositivo che registra valori superiori alla soglia di prestazione (fissata a 0,1) è il FEDO1, con medesima dinamica dei modelli precedenti.

Tuttavia, si ribadisce che i valori registrati da tali dispositivi vengono esclusi dal calcolo dell'ASET, poiché le soglie di prestazione sono raggiunte nettamente in precedenza nel modello della visibilità, che risulta essere il più critico all'interno dell'autorimessa.

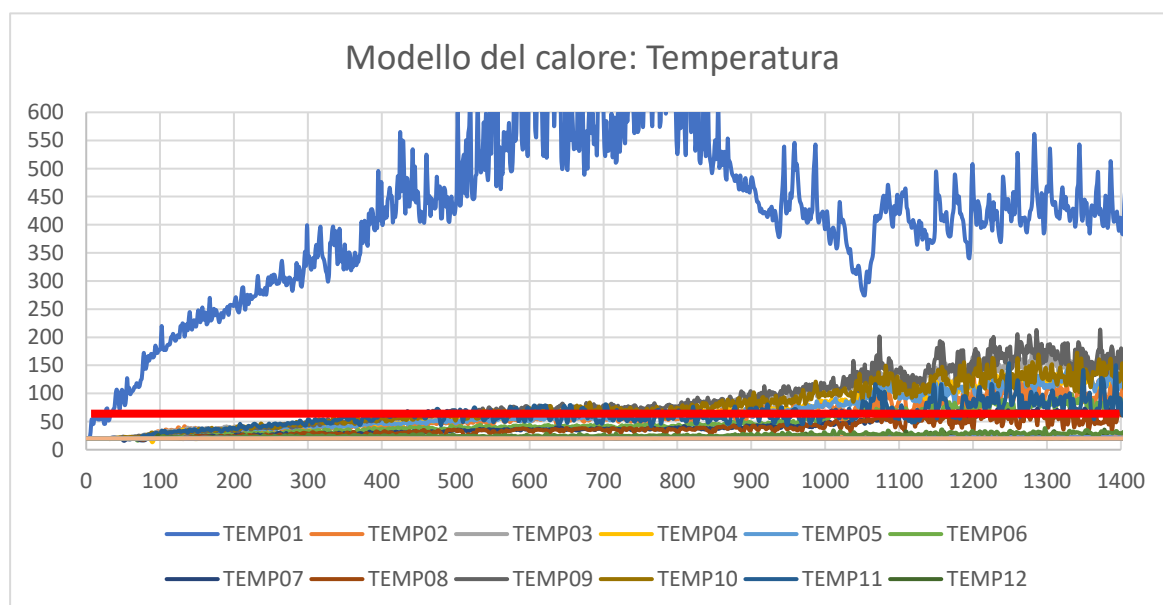


Figura 135 - Modello del calore, temperatura SCENARIO 4

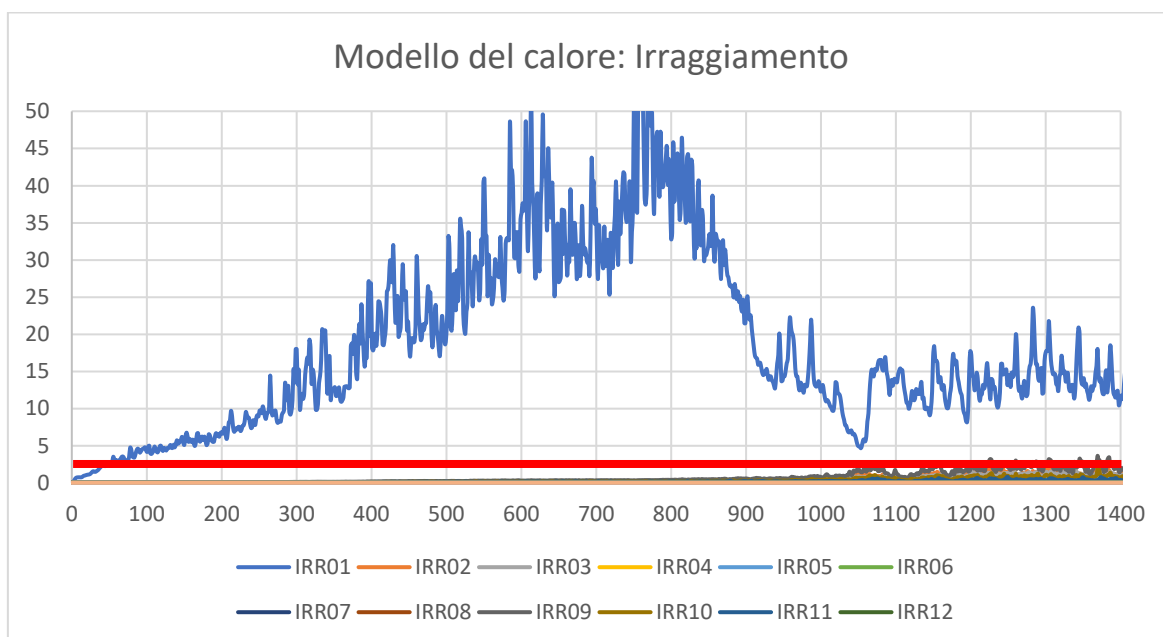


Figura 136 - Modello del calore, irraggiamento SCENARIO 4

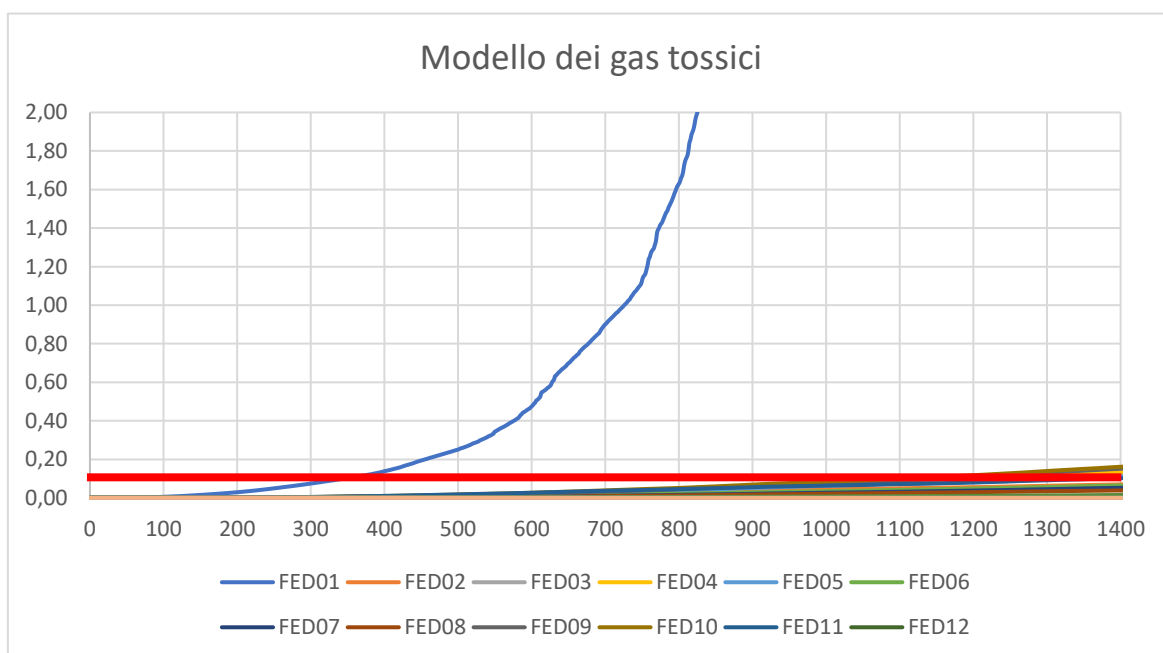


Figura 137 - Modello dei gas tossici, FED SCENARIO 4

Dall'analisi delle slice e dei grafici presentati nelle pagine precedenti, è emerso che la diseguaglianza  $ASET > RSET$ , relativa allo scenario 4 senza sprinkler, non risulta del tutto verificata. Ciò significa che i valori di visibilità, temperatura, irraggiamento e FED superano le soglie di prestazione dopo che l'ultimo occupante dell'area d'interesse ha completato in sicurezza l'evacuazione ma con un tempo  $t_{\text{marg}}$  non superiore al 100% di RSET e con criticità legate all'inclusione di occupanti inabili a percorrere la rampa aperta utile all'esodo.

Dai risultati ottenuti con Pyrosim è possibile considerare un ASET per tale scenario pari a 150 secondi. Dall'integrazione degli effetti dell'incendio nella simulazione effettuata con Pathfinder, è stato possibile determinare il tempo che impiega l'ultimo occupante ad evacuare dall'area interessata dagli effetti dell'incendio RSET pari a 125 secondi.

Il criterio di diseguaglianza riportato al capitolo M.3.2.2 del D.M. 03/08/2015 risulta soddisfatto mentre per il  $t_{\text{marg}}$  e per considerazioni legate all'utilizzo della rampa verranno fatte ulteriori riflessioni nel capitolo conclusivo.

$$ASET > RSET \rightarrow 150 \text{ s} > 125 \text{ s}$$

$$t_{\text{marg}} = ASET - RSET = 25 \text{ s} \geq 20\%RSET$$

Successivamente alla valutazione per la salvaguardia della vita degli occupanti è necessario valutare tale scenario d'incendio per la salvaguardia della vita dei soccorritori.

Dopo 1416 secondi, l'incendio si è limitato alle aree di manovra nei pressi del focolare, all'area di fronte alla rampa aperta e alle 3 uscite di sicurezza del condominio Di Lea. Questo è permesso dalle griglie di aerazione in corrispondenza della superiore area a cielo libero che di fatto separa il compartimento al 2° piano interrato. Quindi, i vigili del fuoco, al loro arrivo, possono entrare nel secondo piano interrato attraverso i 4 vani scala protetti ancora accessibili (A, B, C, D del condominio Orizzonte ed E del condominio Orizzonte ancora parzialmente praticabile) e dalla rampa di Via Monte Ortigara che collega i due piani. Inoltre, al loro arrivo, solo tre idranti a muro risultano inutilizzabili per contrastare l'incendio. Come riportato nelle immagini in basso e visibile nei grafici precedenti, la salvaguardia della vita dei soccorritori risulta ampiamenti verificata.

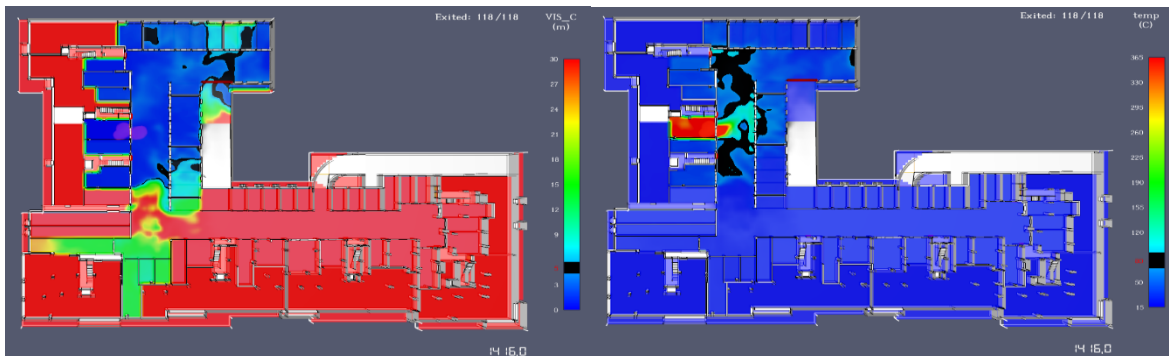


Figure 138/139 - Slice di visibilità (sx) e temperatura (dx) a 1416 s SCENARIO 4



## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

Una volta valutati e commentati i risultati del quarto scenario, è necessario confrontare le stesse grandezze nel caso in cui sia presente l'impianto di spegnimento automatico a sprinkler. Lo scenario si presenta in modalità analoga a quella precedente, ovvero all'interno del box auto doppio S2\_53 situato nel secondo piano interrato.

In questa situazione, l'incendio si sviluppa meno intensamente, presentando tuttavia criticità simili a quelle evidenziate in precedenza.

La curva RHR ottenuta dal software rispecchia quasi perfettamente quella inserita in fase di programmazione della simulazione; si ricorda che la stessa, pur presentando analogo andamento, è stata limitata al 50% della potenza espressa una volta attivata la prima testina erogatrice presente all'interno del box.

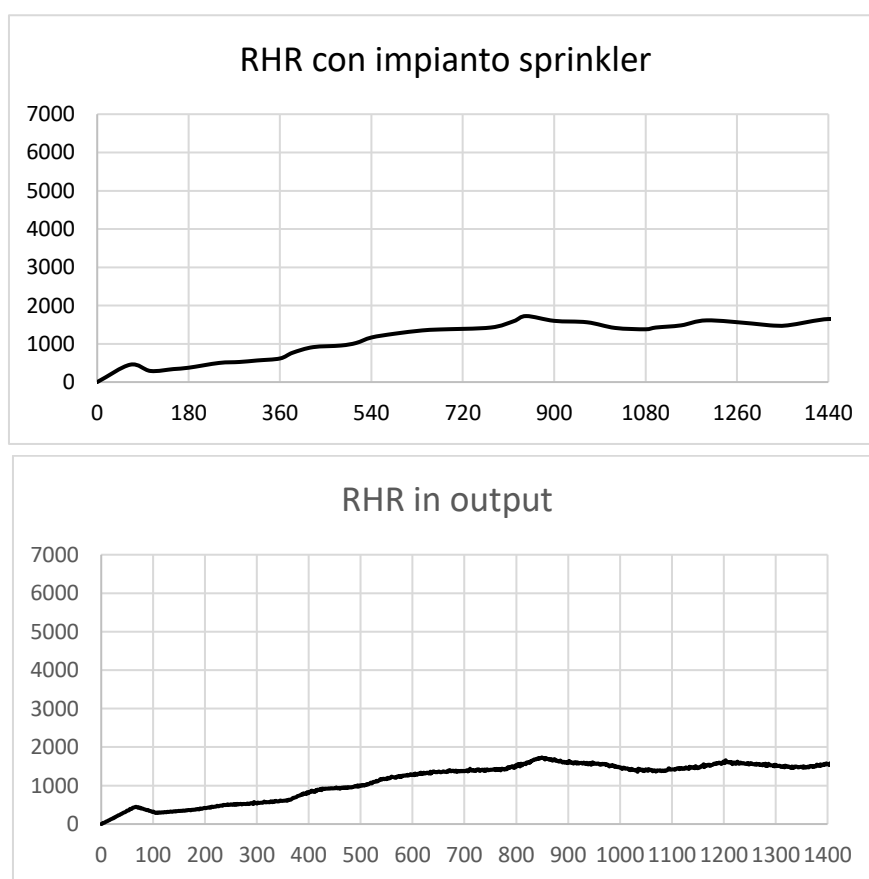


Figura 140 - Confronto tra curva RHR inserita ed estrapolata

Saranno ora presentate le immagini delle slice di visibilità, catturate a un'altezza di 2 metri dal piano di calpestio del secondo piano interrato, nei medesimi istanti significativi precedenti per la salvaguardia della vita degli occupanti.

Come in precedenza, in ogni immagine sarà riportata la scala di colori nella quale sarà evidenziata in grigio la soglia di prestazione a 10 metri.

Seguiranno le immagini riportanti sinteticamente le slice di temperatura ad analoga quota di calpestio. In seguito, verranno riportate le slice sull'asse x e y al fine di visualizzare l'occupante che rappresenta l'RSET; per lo stesso, anche dalla relativa isosurface.

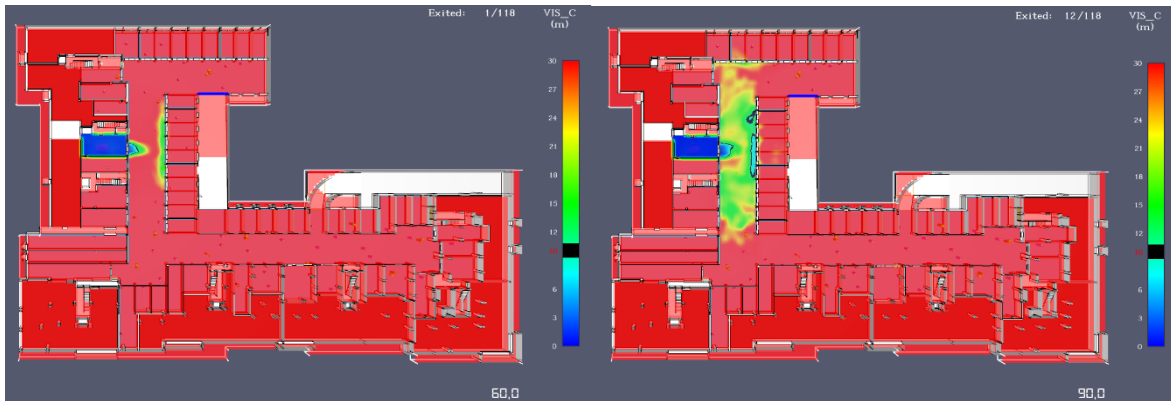


Figure 141/142 - Slice di visibilità a 60 s (sx) e 90 s (dx) SCENARIO 4.S

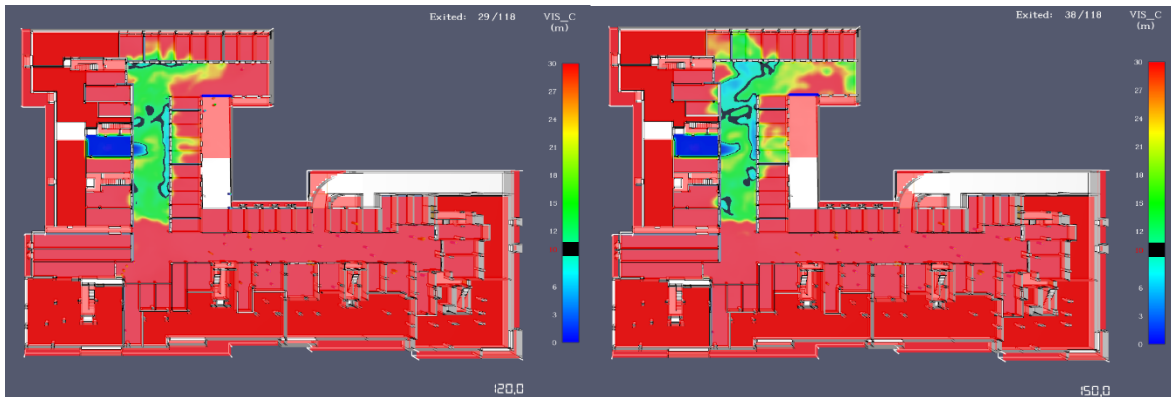


Figure 143/144 - Slice di visibilità a 120 s (sx) e 150 s (dx) SCENARIO 4.S

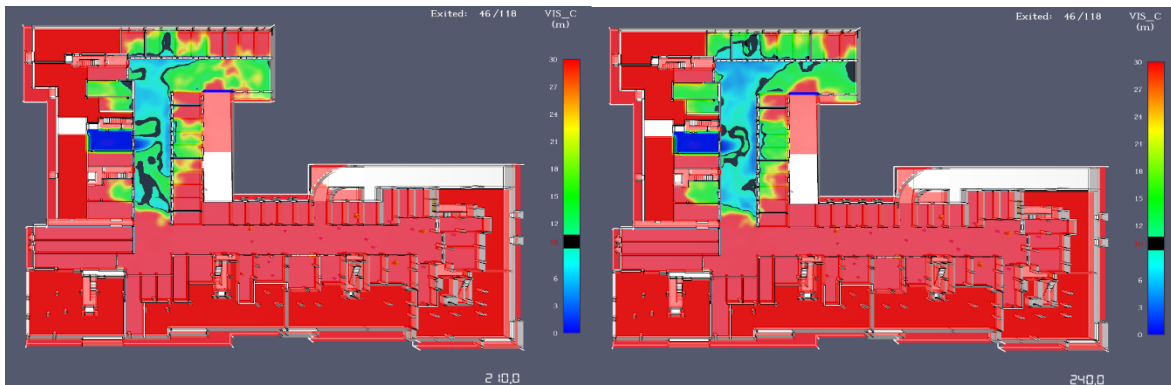


Figure 145/146 - Slice di visibilità a 210 s [ASET] (sx) e 240 s (dx) SCENARIO 4.S

## 5.6 - Analisi degli scenari d'incendio di progetto

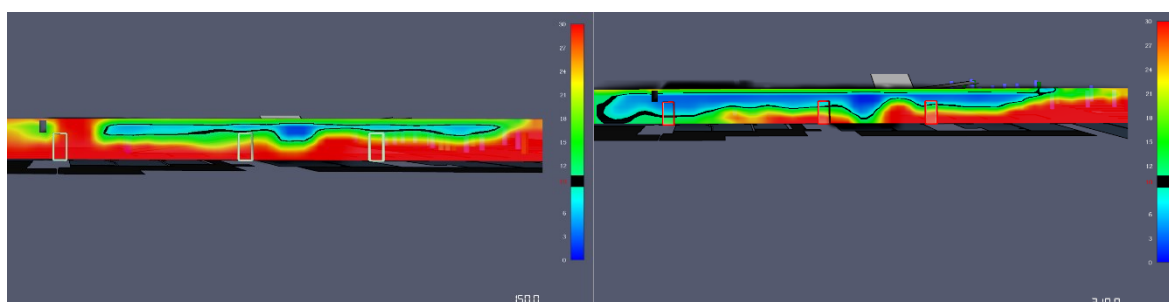


Figure 147/148 - Slice di visibilità lungo x a 150 s (sx) e 210 s [ASET] (dx) SCENARIO 4.S

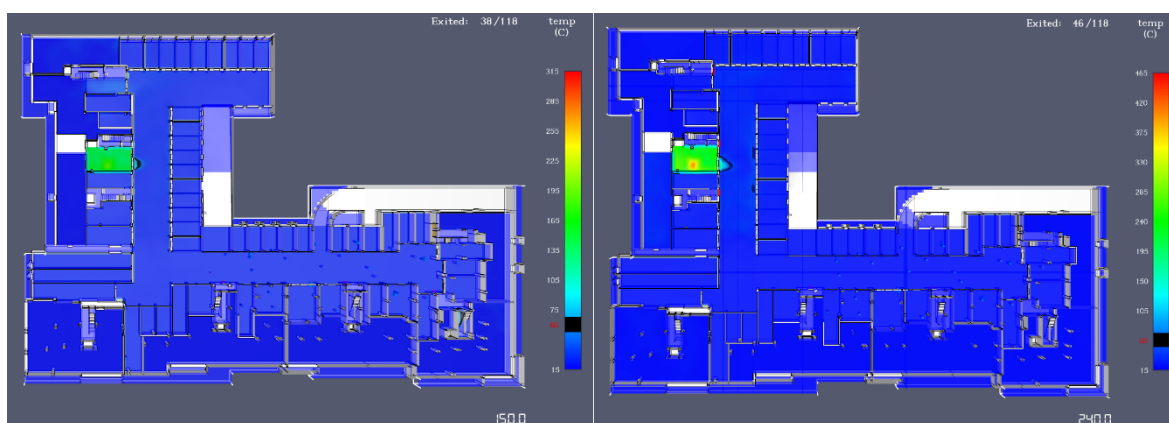


Figure 149/150 - Slice di temperatura a 150 s (sx) e 240 s (dx) SCENARIO 4.S

Le immagini precedenti evidenziano che, nello scenario d'incendio 4 in presenza di impianto sprinkler, la propagazione dei fumi e la conseguente diminuzione della visibilità rappresentano la principale criticità seppur con meno evidenza del caso precedente.

Per tale scenario sarà utile un confronto puntuale per ogni uscita d'emergenza.

La dinamica della propagazioni dei fumi risulta molto simile alla precedente, tuttavia, è evidente la minore intensità dell'incendio come descritto altresì dalla sua curva RHR.

Dopo i primi 60 secondi, il box auto in cui si è verificato l'incendio diventa in analogia completamente impraticabile. Dopo 90 secondi, il fumo, tangente l'intradosso del solaio inizia a diffondersi nell'area antistante il box con analogia rapidità del caso precedente; le prime differenze si possono notare all'istante 120 secondi quando tutte le vie d'uscita risultano ancora praticabili.

Se si confrontano le situazione per l'istante a 150 s, individuato come ASET per il caso precedente, con l'analogia situazione in presenza di impianto sprinkler (figure 125 e 144) si possono fare le seguenti considerazioni: nel secondo caso l'area di manovra risulta solo parzialmente impraticabile, infatti, si possono notare che le condizioni incapacitanti date dalla propagazione del fumo non interessano ancora le uscite B e C del condominio Di Lea. l'esodo. Per di più, valutando il proseguo della simulazione, si individuano quantitativi di

fumo e calore tali da individuare un vero e proprio ASET per tale scenario all'istante di 210 secondi, tempistica di un minuto superiore rispetto alla precedente.

Dal momento che le differenze temporali tra le due casistiche non superano il minuto è utile analizzare gli istanti nei quali ogni uscita di sicurezza del condominio Di Lea (le restanti del condominio Di Lea non sono interessate dagli effetti dell'incendio) risultano impraticabili.

Tabella 40 - Valori di ASET ed RSET per relative uscite d'esodo (scenario 4)

Uscita d'esodo	ASET senza imp.Sprinkler	ASET con imp.Sprinkler	RSET
A2_DI LEA	150 s	210 s	125 s
B2_DI LEA	150 s	220 s	95 s
C2_DI LEA	145 s	215 s	100 s
RAMPA APERTA	245 s	270 s	125 s

Tali valori saranno ulteriormente supportati dalle figure contenenti gli output dei devices. Il valore di RSET è il medesimo dello scenario ove non sono presenti gli sprinkler in quanto questi non influenzano i tempi  $t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$  costituenti l'RSET.

Questo valore si ripete all'istante di 125 secondi, quando l'ultimo occupante esce dal compartimento utilizzando la porta d'esodo del vano scala A del condominio Di Lea.

Nelle immagini successive si può notare che anche per tale casistica è stato perseguito il ragionamento precedente come nelle figure 98/99.

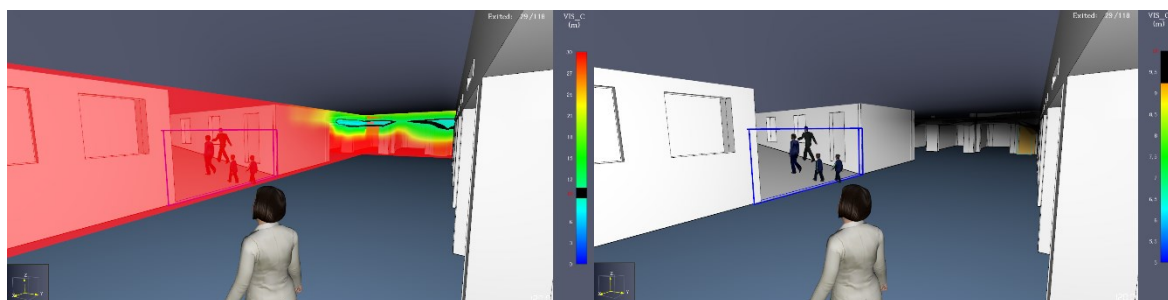


Figure 151/152 - RSET con slice di visibilità (sx) e isosurface di visibilità (dx) SCENARIO 4.S

Come in precedenza, per valutare e consolidare il ragionamento su ASET si sono inoltre analizzati i tre modelli, di oscuramento della visibilità, del calore e dei gas tossici.

La prima immagine (n° 153) analizzata riguarda il modello di oscuramento della visibilità. In attinenza con la figura 134, i dispositivi situati nell'area circostante il box contenente il focolare seguono un andamento analogo ma traslato nel tempo.

Inoltre, il dispositivo VISO4, posizionato nei pressi della porta d'uscita A e in precedenza utile a stimare l'ASET, in presenza di impianto sprinkler scende definitivamente al di sotto del valore soglia all'istante di circa 210 s.

Si ricorda che il valore di ASET è stimato visualizzando in contemporanea le slice di visibilità e gli output dei devices. Tale valore permette un esodo maggiormente sicuro per l'occupante inabilitato a percorrere la rampa d'esodo aperta e pertanto più cautelativo in un'ottica di progettazione inclusiva.

Tuttavia, risulta evidente che tutti i dispositivi giungono al valor sottosoglia all'arrivo dei vigili del fuoco ad eccezione dei device VIS11 e VIS12 posizionati al di sotto delle griglie di aerazione.

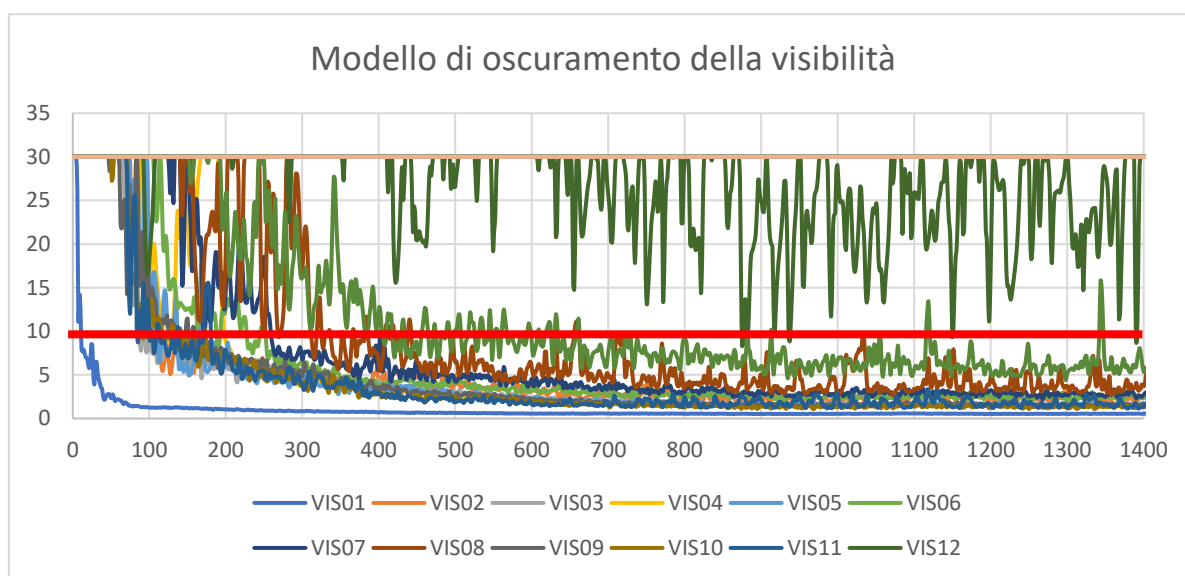


Figura 153 - Modello di oscuramento della visibilità SCENARIO 4.S

Per quanto riguarda la temperatura, osservando la figura 154, si nota che il solo dispositivo TEMPO1, posizionati all'interno del box auto, registra temperature superiori alla soglia di prestazione, fissata a 60°C.

La differenza con il caso precedente risulta evidente anche confrontando i minuti finali della simulazione ove tutti i dispositivi esaminati non superano le condizioni di soglia.

Per non appesantire la lettura dell'elaborato non sono stati riportati i grafici relativi all'irraggiamento e alla FED in quanto non significativi al confronto e alla valutazione.

Dall'analisi delle slice e dei grafici presentati nelle pagine precedenti, è emerso che la disuguaglianza  $ASET > RSET$ , relativa allo scenario 4 con sprinkler, risulta parzialmente verificata. In particolare, i valori di visibilità, temperatura, irraggiamento e FED superano le soglie di prestazione ma soltanto dopo che l'ultimo occupante dell'area d'interesse ha completato in sicurezza l'evacuazione con un tempo  $t_{marg}$  non superiore a 100% RSET.

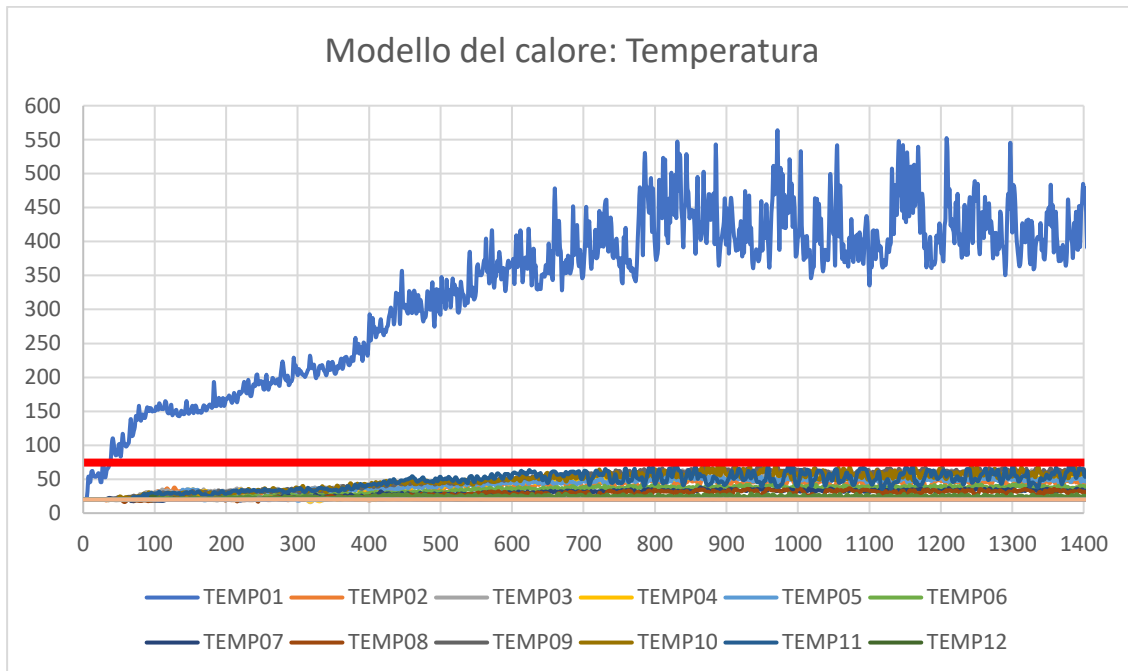


Figura 154 - Modello del calore, temperatura SCENARIO 4.S

Dai risultati ottenuti con Pyrosim è dunque possibile considerare un ASET per tale casistica pari a circa 240 secondi. Pertanto, il criterio di disequazione riportato al capitolo M.3.2.2 del D.M. 03/08/2015 risulta sempre soddisfatto mentre il  $t_{\text{marg}}$  è superiore al minimo valore consigliato.

$$\begin{aligned} \text{ASET} > \text{RSET} &\rightarrow 210 \text{ s} > 125 \text{ s} \\ t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET} &= 85 \text{ s} \geq 60\% \text{RSET} \end{aligned}$$

Si può concludere che l'impianto sprinkler porta benefici nel contrastare lo sviluppo dell'incendio in particolare garantendo maggior tempo affinché i percorsi e le porte d'esodo rimangano percorribili. Tuttavia, oltre a presentare analoghi effetti dell'incendio nei primi 90 secondi e a lungo termine, comporta un tempo margine di sicurezza non superiore al 100% di RSET e, pertanto, non del tutto cautelativo ai fini della salvaguardia della vita umana.

L'analoga dinamica d'incendio superato il valore di ASET porta alle medesime condizioni per la salvaguardia della vita dei soccorritori vista in precedenza che risulta garantita anche per tale casistica. Per non appesantire la lettura dell'elaborato non sono state riportate le figure relative alle slices di visibilità e temperatura a 1416 secondi poiché già ampiamente soddisfatte nel caso maggiormente gravoso.

### SCENARIO 5 (extra)

Lo scenario numero 5 può essere considerato come uno scenario bonus poiché non riguarda direttamente il compartimento dell'autorimessa e la sua soluzione alternativa ma bensì prevede un incendio nel deposito S1\_49 al primo piano interrato.

Si ricorda che la scelta di includere questo locale nelle analisi fluidodinamiche è motivata dal desiderio di valutare la condotta della compartimentazione in caso d'incendio del deposito S1\_49 al primo piano interrato e adiacente all'autorimessa.

Inoltre, si ricorda che per questo tipo di locali, in assenza di un filtro, è stata richiesta una deroga in conformità con il D.M. 01/02/1986. Attraverso l'approccio dell'ingegneria antincendio si intende avvalorare la performance della strategia antincendio adottata per la misura S.3, in particolare al paragrafo V.6.5.3. Verificando il rispetto della salvaguardia della vita per i tre occupanti presenti, si procederà a determinare gli istanti in cui essi lasciano il locale attraverso le tre uscite d'esodo previste. Una volta individuato l'istante queste verranno tenute aperte, tramite un adeguato comando di controllo, per consentire il passaggio; successivamente, verrà valutato se l'eventuale transito dei fumi durante questa dinamica porta a condizioni incapacitanti per l'esodo nei compartimenti adiacenti.

Per prima cosa la curva RHR ottenuta dal software rispecchia quasi perfettamente quella inserita in fase di programmazione della simulazione (figura 155).

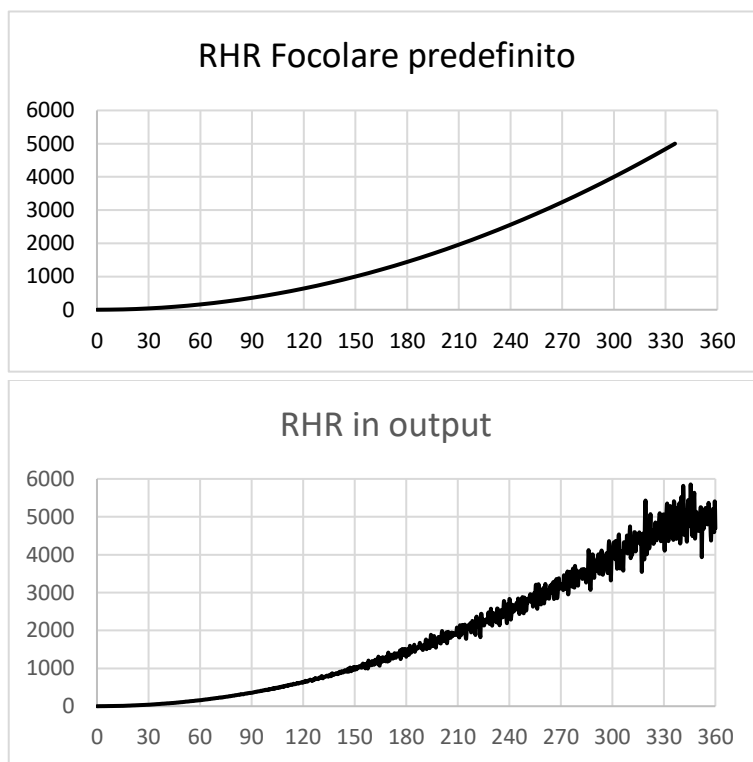


Figura 155 - Confronto tra curva RHR inserita ed estrapolata

Si ricorda che il deposito è completamente compartimentato rispetto all'autorimessa e dispone di due vie di fuga con porte EI 90 dotate di maniglione antipánico verso i vani scala protetti A e B del condominio Di Lea, oltre a una via d'uscita che conduce al compartimento autorimessa tramite un portone EI 90 omologato con dispositivo di autochiusura.

Il presente deposito è stato modellato disponendo al suo interno le scaffalature e relativi ingombri utili a creare un modello d'esodo più verosimile.

Saranno ora presentate le immagini delle slice di visibilità, acquisite a un'altezza di 2 metri dal piano di calpestio del primo piano interrato, in momenti utili per la sicurezza degli occupanti e per l'apertura delle porte d'esodo. Ogni immagine mostrerà una scala di colori in cui la soglia di prestazione a 10 metri sarà evidenziata in grigio. Seguiranno sinteticamente le immagini delle slice di temperatura alla stessa altezza. Successivamente, saranno mostrate le slice sull'asse x e y utili per identificare l'ultimo occupante che abbandona l'area interessata dall'incendio; per lo stesso, la visione sarà ampliata dalla relativa isosurface.

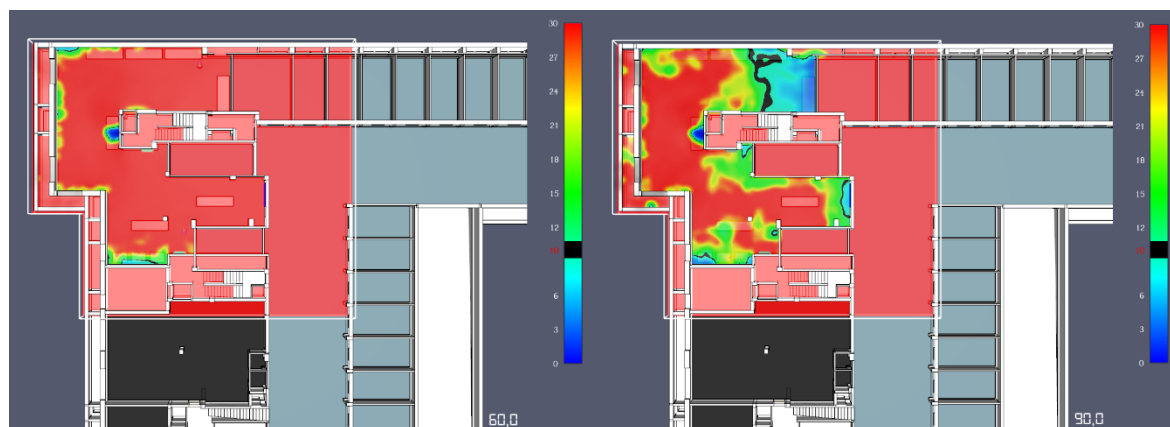


Figure 156/157 - Slice di visibilità a 60 s (sx) e 90 s (dx) SCENARIO 5

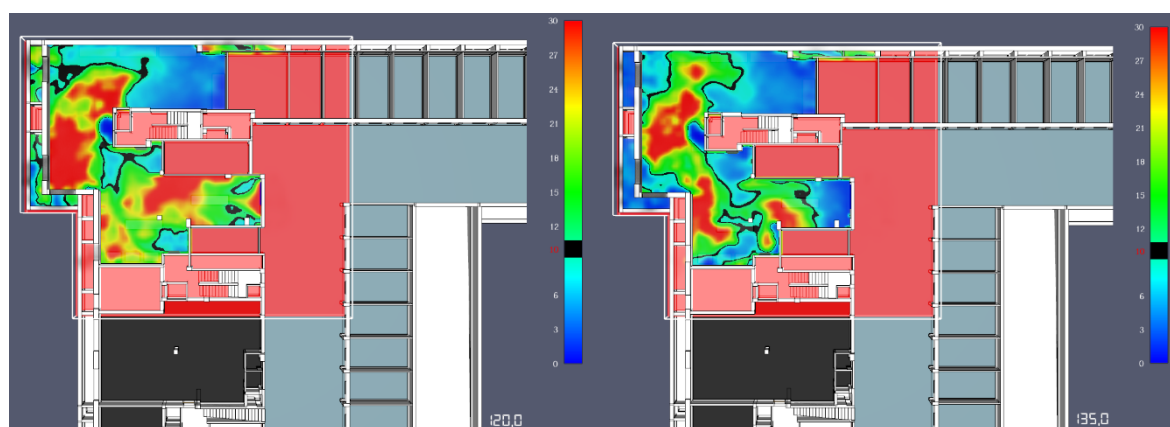


Figure 158/159 - Slice di visibilità a 120 s (sx) e 135 s (dx) SCENARIO 5



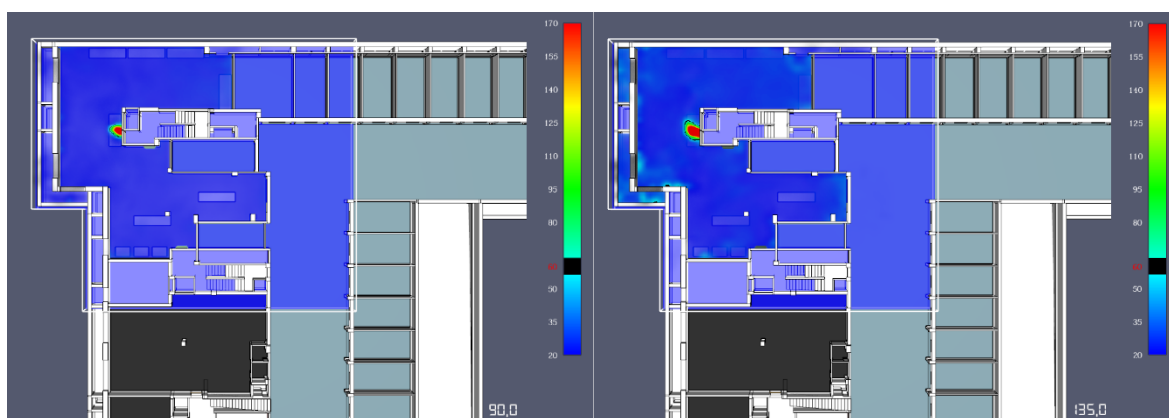


Figure 160/161 - Slice di temperatura a 90 s (sx) e 135 s (dx) SCENARIO 5

Le immagini precedentemente esposte evidenziano che, anche in questo scenario d'incendio, la propagazione dei fumi e la conseguente diminuzione della visibilità rappresentano la principale criticità. Si osserva che il fumo, propagatosi dal focolare nel disimpegno che delimita il corridoio cieco a nord, si diffonde rapidamente sin dai primi istanti della simulazione, accumulandosi sull'intradosso del solaio. Tale fumo, stratificandosi in alto, successivamente discende lungo le pareti fino alla quota di imposta delle finestre a bocca di lupo di aerazione, dove trova parziale sfogo. Nel frattempo, invade dapprima la zona nord del magazzino, e poi rende impraticabili per l'esodo le due porte d'uscita A e B e il portone di compartimentazione P intorno ai 130 secondi.

L'intero locale deposito viene completamente invaso dai fumi nel giro di soli 170 secondi; tale rapida diffusione è principalmente dovuta alla crescita accelerata dell'incendio associata alla curva RHR e alle limitate dimensioni del vano.

Tuttavia, i 3 occupanti, a cui è stato assegnato un Behaviour "vicino innesco 1" (vedi par. 5.5.2), riescono a evacuare il deposito S1\_49 prima che si creino condizioni incapacitanti.

L'ultimo occupante ad abbandonare il compartimento, situato nell'area nord del magazzino e quindi costretto a percorrere il corridoio cieco, esce dalla porta A all'istante di 90 secondi. Gli altri occupanti, trovandosi nelle immediate vicinanze della porta B, escono dal locale dopo circa 75 secondi, senza essere significativamente influenzati dagli effetti dell'incendio. Si riportano in basso i valori di ASET ed RSET calcolati per ogni uscita d'esodo.

Tali valori saranno successivamente motivati dagli output dei relativi device di visibilità.

Tabella 41 - Valori di ASET ed RSET per relative uscite d'esodo (scenario 5)

Uscita d'esodo	ASET	RSET
A_S1_49	135 s	90 s
B_S1_49	140 s	75 s
P_S1_49	135 s	/

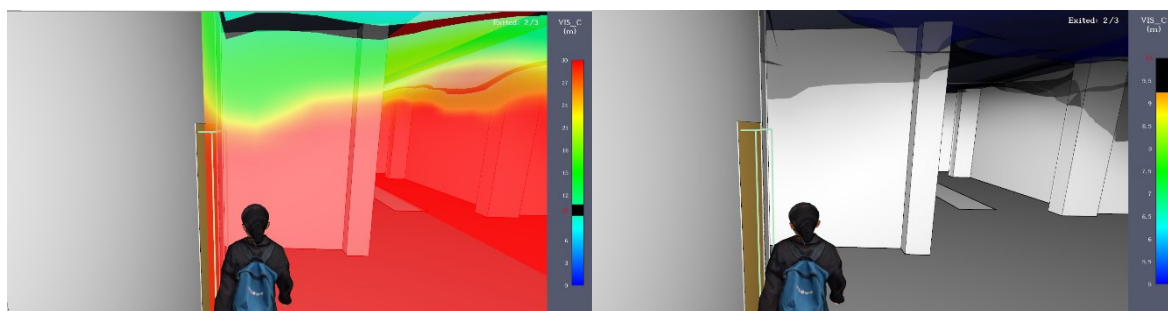


Figure 162/163 - RSET [90 s] con slice di visibilità (sx) e isosurface di visibilità (dx) SCENARIO 5

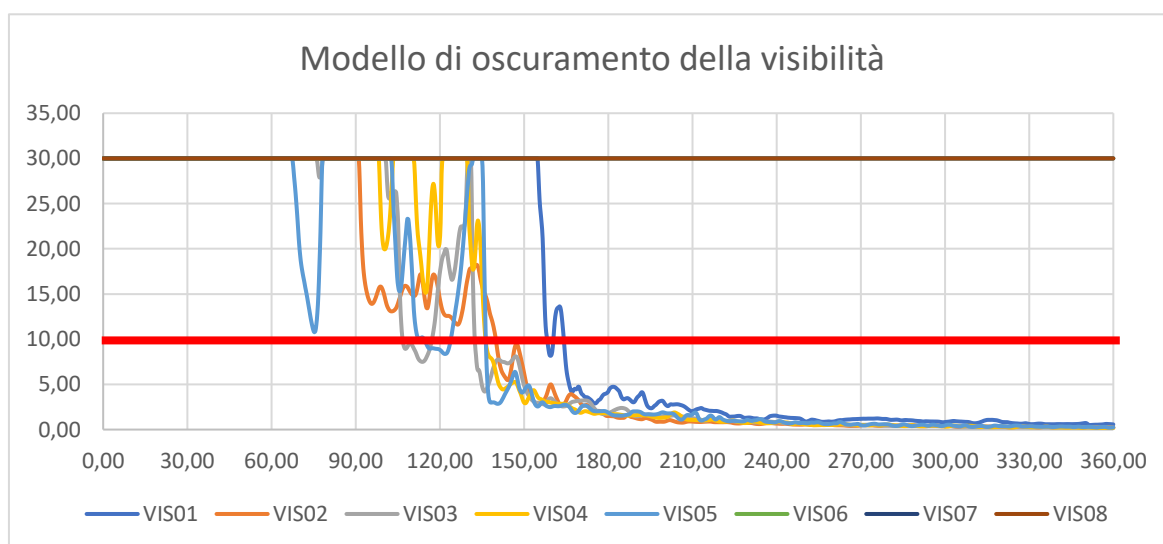


Figura 164 - Modello di oscuramento della visibilità SCENARIO 5

La prima figura (n° 164) analizzata riguarda il modello di oscuramento della visibilità.

Per lo scenario 5 non vi è un dispositivo che presenta una caduta immediata sotto il valore soglia di 10 metri; il device VIS01, pur trovandosi nelle immediate vicinanze del focolare ( e dunque al termine del corridoio cieco) riporta condizioni incapacitanti solo dopo 150 secondi poiché posto altresì dinnanzi alle finestre grigliate di aerazione.

Si può notare come i device VIS03 e VIS05 posti in prossimità delle uscite A e B registrare valori di visibilità inferiori alla soglia di prestazione intorno ai 135 secondi, valore considerato per l'ASET.

Si osserva che dopo circa 170 secondi tutti i dispositivi posti all'interno del locale presentano esclusivamente valori al di sotto della soglia di prestazione.

Una volta verificata la validità del criterio  $ASET > RSET$  è necessario valutare l'ipotetico transito dei fumi dalle porte di sicurezza durante l'esodo degli occupanti.

Ciò è stato possibile innanzitutto impostando dei controlli su ogni porta che ne permettessero l'apertura e chiusura durante la simulazione d'incendio.

Attraverso diverse simulazioni preliminari, è stata analizzata la tempistica d'esodo dell'occupante più distante, collocato nell'area nord del magazzino. Tramite specifiche impostazioni si sono rese indisponibili simultaneamente due delle tre uscite, stimando così l'istante in cui la restante porta viene aperta dallo stesso. Ripetendo tale passaggio si sono così ottenuti 3 diversi sotto-scenari.

Successivamente, mediante comandi di controllo adeguati, è stato impostato un intervallo di tempo durante il quale la relativa porta rimaneva aperta per consentire il transito dello stesso. A favore di sicurezza si sono associati tali controlli:

- Porta A: apertura nell'intervallo 90-105 secondi;
- Porta B: apertura nell'intervallo 95-1110 secondi;
- Portone P: apertura nell'intervallo 100-130 secondi;

Si è stimato che il portone richiede un tempo di apertura maggiore rispetto alle porte A e B a causa delle sue dimensioni considerevoli. Si stima che l'apertura e successiva chiusura del portone siano più lente a causa del suo ingombro significativo, essendo largo 270 cm rispetto alle porte standard di 90 cm. Infine, prima di simulare l'incendio sul software Pyrosim, si sono posti tre device ad un'altezza di 2 m dal piano di calpestio collocati nelle immediate vicinanze di tali porte ma nei compartimenti adiacenti. Tali dispositivi VISO6, VISO7 e VISO8 sono utili a misurare eventuali quantità degli effetti dell'incendio propagatesi nei compartimenti confinanti.

Come visibile dalle slice in figura 159, dal grafico in figura 164, il transito dei fumi durante l'apertura e successiva chiusura delle porte non crea condizioni incapacitanti per l'esodo nei compartimenti confinanti. A tali istanti (entro i 130 s), il fumo non ha ancora invaso la totalità della superficie del deposito e i suoi strati più densi si trovano ad un'altezza di circa 210 cm dal piano di calpestio, ovvero al pari delle quote d'imposta delle porte.

Il fumo che fuoriesce dal magazzino durante l'esodo dei suoi occupanti non riveste particolari criticità, pertanto, la compartimentazione ai fumi caldi della misura S.3 risulta garantita. Le immagini sottostanti mostrano le slice verticali passate per gli assi della porta A (fig. 165) e del portone P (fig.166); si può notare come il fumo transitante sia esiguo.

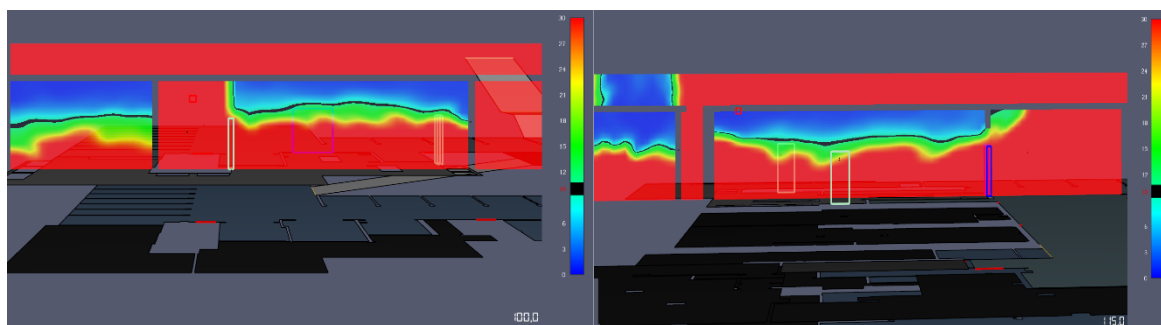


Figure 165/166 - Slice di visibilità a 120 s lungo x (sx) e lungo y (dx) SCENARIO 5



## **6 Soluzioni alternative e misure compensative**

Questo capitolo rappresenta la conclusione della progettazione antincendio dell'autorimessa multipiano condominiale, focalizzandosi sia sulle alternative proposte che sulle contromisure adottate.

Inizialmente, sarà esaminato il sistema water mist come alternativa all'impianto di spegnimento automatico a sprinkler, fornendo un'analisi dettagliata dei suoi vantaggi e svantaggi nel contesto specifico del caso studio esaminato.

Successivamente, verranno presentate e discusse qualitativamente e quantitativamente le misure compensative, concepite per mitigare il rischio residuo derivante dall'adozione di una soluzione alternativa che non prevede l'utilizzo del tradizionale impianto sprinkler.

Infine, saranno esaminati i risultati ottenuti dall'implementazione di tali misure compensative, confrontandoli con i casi precedenti e mettendo in luce i benefici apportati attraverso l'impiego dell'ingegneria antincendio.

Si precisa che lo scenario 5 non è stato incluso nell'analisi volta a verificare l'efficacia della soluzione alternativa della misura s.6 e, di conseguenza, non sarà oggetto del presente capitolo.

### **6.1 Il sistema Water Mist**

Dal precedente paragrafo 5.6 risulta evidente che il sistema di spegnimento automatico porti alcuni benefici derivanti dall'abbattimento della curva RHR sviluppata dall'incendio di uno o più autoveicoli. Prima di esaminare le misure compensative per mitigare il rischio residuo derivante dall'omissione dell'impianto sprinkler, è opportuno introdurre una tecnologia alternativa conosciuta come sistema water mist.

Questo sistema rappresenta una valida alternativa agli impianti tradizionali a sprinkler e

può offrire vantaggi significativi in termini di efficacia antincendio e riduzione dei danni. Inoltre, rientra tra le soluzioni alternative generalmente accettate al paragrafo S.6.4.5 del Codice di prevenzione incendi.

Il sistema antincendio water mist utilizza una nebbia d'acqua estremamente fine come agente estinguente. Questo tipo di sistema è caratterizzato da ugelli progettati appositamente per produrre uno spruzzo costituito per almeno il 99% da singole goccioline di diametro inferiore ai 1000 micron, rappresentando così una soluzione efficace per il controllo, la soppressione e l'estinzione delle fiamme.

Le micro-goccioline contribuiscono a estinguere l'incendio attraverso diversi meccanismi, tra cui il raffreddamento delle fiamme e dei gas tramite evaporazione, l'inertizzazione dell'ossigeno sempre tramite evaporazione e l'attenuazione del calore radiante.

Inoltre, le goccioline d'acqua tendono a catturare le particelle dei gas di combustione e della fuliggine, contribuendo ulteriormente all'efficacia del sistema.

Questo sistema offre numerosi vantaggi rispetto ad altri sistemi antincendio, come ad esempio un'attivazione immediata, un'elevata efficienza nel sopprimere una vasta gamma di incendi, una minore produzione di danni causati dall'acqua, un impatto ambientale ridotto, l'assenza di problemi di tossicità e un migliore scambio termico convettivo grazie alle caratteristiche delle gocce d'acqua. Ulteriormente, il water mist è in grado di attenuare in modo più efficace la radiazione termica rispetto ai sistemi tradizionali come gli sprinkler. Tuttavia, le prestazioni di tali sistemi dipendono in larga misura dalla configurazione degli spruzzatori utilizzati.

I parametri chiave che influenzano il comportamento degli spruzzi includono la portata d'acqua, l'angolo di spruzzo, l'altezza dello spruzzo, la dimensione e la velocità delle goccioline. Numerosi studi sono stati condotti per caratterizzare dettagliatamente il comportamento di tali spruzzi, al fine di comprendere meglio l'impatto di ciascun parametro sulla dinamica complessiva dello spray.

Sebbene l'analisi sperimentale del comportamento degli spruzzi richieda risorse considerevoli, l'approccio computazionale si presenta come un'alternativa efficace e conveniente. In particolare, la modellazione numerica consente di esplorare una vasta gamma di condizioni di funzionamento e di comprendere in modo approfondito l'interazione degli spruzzi con l'ambiente circostante.

Nonostante siano stati condotti numerosi studi computazionali sull'efficacia generale dei sistemi WM nell'estinguere gli incendi, rimangono ancora margini per approfondire la comprensione delle caratteristiche specifiche degli spruzzi prodotti dagli ugelli water mist. Esistono numerosi studi scientifici in relazione a tale tecnologia, infatti, a consolidamento delle considerazioni di questo paragrafo si è fatto riferimento in particolare all'articolo di settore: *"Full-Scale Experiments of Fire Control and Suppression in Enclosed Car Parks: A Comparison Between Sprinkler and Water-Mist Systems"* della rivista Fire Technol,

pubblicato nel 2016. Tale articolo propone una comparazione tramite esperimenti su scala reale delle due diverse tecnologie sopracitate.

Sulla base delle esperienze pratiche svolte con l'applicazione dei sistemi antincendio water mist nelle autorimesse, risulta che, in analogia con l'impianto sprinkler, l'utilizzo di tali impianti possa controllare la propagazione del fuoco e del fumo, fornendo una maggiore protezione alla struttura sotterranea.

Tuttavia, vi sono alcune preoccupazioni principali riguardanti l'adozione di tale sistema nel contesto del caso studio esaminato:

- **Visibilità lungo il percorso d'esodo:** l'attivazione del sistema water mist potrebbe ridurre la visibilità a causa del vapore generato vicino al box interessato dall'incendio, ritardando potenzialmente l'evacuazione degli occupanti. La reazione prodotta dal contatto ad alta pressione sulla carrozzeria del veicolo, infatti, potrebbe ulteriormente ridurre la visibilità, già valutata come critica dall'analisi delle simulazioni precedenti, in particolare per il secondo piano interrato e per i box auto che non presentano aerazione diretta verso l'esterno.
- **Vapore dell'acqua:** il calore prodotto dall'evaporazione dell'acqua potrebbe potenzialmente causare ustioni agli occupanti presenti nelle immediate vicinanze del veicolo. Tale evenienza però non è concreta in quanto diversi studi hanno sottolineato che il sistema water mist potrebbe anche raffreddare la temperatura intorno al fuoco, riducendo il trasferimento di calore radiante.
- **Pavimento sdruciolevole:** il pavimento bagnato dall'acqua nebulizzata potrebbe diventare scivoloso durante l'esodo, aumentando il rischio di incidenti e limitando ulteriormente gli occupanti che presentano inabilità motorie. Tuttavia, l'attivazione del sistema water mist si concentrerebbe principalmente nell'area prossima al focolare, dove fermare la propagazione dell'incendio risulterebbe prioritario. Inoltre, l'adozione di pavimentazione antisdruciolevole come previsto alla misura S.4 mitiga questa criticità valida per entrambi i sistemi di spegnimento automatico.
- **Falsa attivazione:** l'attivazione accidentale del sistema water mist, causata da difetti nei componenti o da manutenzione inadeguata, potrebbe interrompere l'accesso all'autorimessa, causare disagi agli occupanti e arrecare danni materiali alle autovetture parcheggiate. Tuttavia, un adeguato programma di manutenzione e controllo come previsto dalla misura S.10 potrebbe mitigare questo rischio.
- **Incendi di auto elettriche:** l'eventuale innesco di incendi derivati da un malfunzionamento delle batterie dei veicoli elettrici (EV) potrebbe non essere efficacemente gestito dal sistema water mist. Questo deriva dalla difficoltà nell'estinguere un eventuale incendio originato nella batteria, la quale è alloggiata nella parte inferiore del veicolo, rendendo complessa la soppressione dell'ignizione. Una soluzione alternativa, seppur complessa, potrebbe essere l'implementazione di

un sistema di sprinkler invertito, che direttamente dal pavimento spruzzerebbe acqua verso l'alto per raggiungere direttamente la batteria. Tuttavia, tale approccio comporterebbe ulteriori sfide, come la gestione di un flusso d'acqua significativo di 400 litri al minuto per almeno 30 minuti, con il rischio di provocare allagamenti nel parcheggio e relativo pericolo di elettrocuzione.

- **Rapporto costi-benefici:** la principale criticità nell'installazione di un impianto a water mist anziché a sprinkler risiede nel rapporto costi-benefici. L'installazione e la manutenzione del sistema water mist sono economicamente svantaggiose per l'autorimessa in quanto è già presente un impianto ad acqua (impianto a idranti in tutta la struttura) così come un collegamento alla fonte di alimentazione primaria quale l'acquedotto già predisposto e al superiore costo intrinseco della tecnologia. Inoltre, tale installazione e relativo costo aggiuntivo non sarebbe giustificata dalle esigenze specifiche del progetto e dagli esigui vantaggi garantiti. Infine, in primo luogo non sarebbe accolta positivamente dalla committenza.

In conclusione, l'adozione del sistema water mist nell'autorimessa non offre vantaggi significativamente superiori nella protezione contro gli incendi rispetto ad un impianto di spegnimento automatico a sprinkler. Pertanto, tale proposta, seppur attentamente considerata non verrà perseguita in tale progettazione.

## 6.2 Misure compensative

Dalle analisi condotte mediante gli strumenti della Fire Safety Engineering, emerge chiaramente che l'installazione di un sistema di spegnimento automatico a sprinkler offre prestazioni superiori in termini di salvaguardia della vita umana, come evidenziato nel precedente capitolo 5.6.

Nonostante i risultati a lungo termine delle simulazioni d'incendio presentino scenari analoghi per quanto riguarda la salvaguardia della vita dei soccorritori, l'impianto a sprinkler consente un significativo abbattimento della curva RHR, con conseguenti benefici per la salvaguardia della vita degli occupanti.

Nei primi quattro scenari considerati, i valori di ASET risultano maggiori in presenza dell'impianto a sprinkler rispetto a quelli senza. Sebbene il criterio  $ASET > RSET$  sia sempre soddisfatto, è importante notare che il margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  è decisamente più cautelativo nei casi in cui è presente l'impianto automatico.

In particolare, per gli scenari 3 e 4, caratterizzati da maggiori criticità, il  $t_{\text{marg}}$  senza l'impiego di sprinkler risulta essere insufficiente e non adeguato ai requisiti di sicurezza antincendio. Dunque, risulta evidente che l'inosservanza del livello di prestazione IV per la misura S.6 in



favore del livello di prestazione III configura una situazione che, ovviamente, rileva un aggravio di rischio. Alla luce delle ipotesi più gravose introdotte nel presente progetto, sono state introdotte diverse misure di mitigazione e compensazione del rischio.

Nel presente paragrafo verranno esplicate qualitativamente le misure compensative utilizzate per ogni scenario d'incendio di progetto precedentemente sviluppato al fine di pareggiare o migliorare la performance attesa dalla progettazione antincendio.

Si rammenta che questo processo è motivato dal costo elevato di installazione e gestione dell'impianto sprinkler, che i condomini non vogliono assumersi, e dall'esiguo dislivello per cui non si rientra in classificazione HB (60cm) per il quale non si rientrerebbe nel livello di prestazione IV della misura S.6 alla tabella V.6-3 par. V.6.5.6.

In prima istanza, un'intrinseca misura compensativa della struttura risiede nelle sue superfici di aerazioni, nettamente più ampie delle minime prescritte.

L'autorimessa, infatti, dispone di un totale di aperture di aerazione che soddisfano il precedente decreto D.M. 01/02/1986 con un valore superiore ad 1/25 della superficie lorda di ciascun piano del compartimento. A maggior ragione, tali valori sono nettamente maggiori di quelli prescritti dal Codice e sotto riportati:

- L'aerazione complessiva del 1° piano interrato del compartimento autorimessa è pari a 88,17 m<sup>2</sup> superiore al doppio del valore prescritto dal Codice ( $SE_1 = 33,63 \text{ m}^2$ );
- L'aerazione complessiva del 2° piano interrato del compartimento autorimessa è pari a 73,80 m<sup>2</sup> superiore del 75% al valore prescritto dal Codice ( $SE_1 = 45,28 \text{ m}^2$ ).

Si precisa che le dimensioni riportate sono state ottenute sommando le aperture di aerazione esistenti nei compartimenti autorimessa, le stesse precedentemente riportate nel paragrafo "Ventilazione" al D.M.01/02/1986.

Tale caratteristica costruttiva dell'autorimessa può esser di per sé valutata come misura compensativa nello specifico per gli scenari del primo piano interrato il cui criterio  $ASET > RSET$  risulta ampiamente soddisfatto.

Inoltre, è opportuno considerare che le curve RHR associate ad ogni scenario, in particolare a quelli attinenti all'incendio di due veicoli, sono altamente cautelative. Presentano infatti una crescita dell'incendio estremamente rapida che si riflette in una propagazione dei fumi che rende critica la fuga già nei primi minuti successivi l'insacco.

Saranno ora valutati gli scenari senza impianto sprinkler presi singolarmente, per ulteriori rimandi si consiglia la visione del paragrafo 5.6.

Lo scenario 1 risulta il meno critico tra tutti. Tale scenario, infatti, con focolare presente nel box doppio S1\_35 al primo piano interrato, presenta un valore di ASET pari a 860 secondi. Il relativo RSET si sviluppa all'istante di 130 s presentando così un margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  pari a 295 secondi, decisamente superiore al 100% di RSET.

Alla pagina successiva si riportano i confronti per tale scenario in presenza e assenza di

impianto di spegnimento automatico.

Tabella 42 - Valori di ASET ed RSET per relative uscite d'esodo (scenario 1)

Uscita d'esodo	ASET senza imp.Sprinkler	ASET con imp.Sprinkler	RSET	Risultato
A1_ORIZZONTE	180 s	265 s	80 s	Sempre accettabile
B1_ORIZZONTE	210 s	370 s	75 s	Sempre accettabile
C1_ORIZZONTE	860 s	/	130 s	Sempre accettabile
D1_ORIZZONTE	/	/	135 s	Sempre accettabile
E1_ORIZZONTE	/	/	175 s	Sempre accettabile
A1_DI LEA	/	/	350 s	Sempre accettabile
B1_DI LEA	/	/	300 s	Sempre accettabile
C1_DI LEA	/	/	370 s	Sempre accettabile

Si può notare come tutte le uscite d'esodo siano raggiungibili in un intervallo di tempo altamente cautelativo. Ciò è principalmente dovuto alle 5 griglie di aerazione disposte lungo tutta la corsia di manovra del condominio Orizzonte di dimensione 200 x 200 cm ciascuna. Le griglie e l'eventuale uscita tramite rampa su via Monte Ortigara non considerata nell'esodo ai fini di una progettazione cautelativa ed inclusiva, permettono di affermare che per tale scenario e tale area del 1° piano interrato dell'autorimessa non sono necessarie misure compensative. È da notare che lo scenario si è verificato nell'unico box doppio presente al piano, il quale non dispone di aerazione diretta verso l'esterno. Di conseguenza, la valutazione del rischio residuo attuale suggerisce che qualsiasi innesco nei box adiacenti conduca a condizioni d'incendio significativamente meno gravi rispetto al caso esaminato. Questa analisi consente di concludere che, data la configurazione e le caratteristiche specifiche dello scenario considerato, non sono necessarie ulteriori azioni o misure correttive per garantire un adeguato livello di sicurezza antincendio in quella specifica area dell'autorimessa. L'eventuale installazione di impianto sprinkler risulterebbe subottimale per il rapporto costi-benefici.

Lo scenario 2 risulta più critico del precedente in particolare a causa della presenza del corridoio cieco nella corsia di manovra antistante i box compresi tra S1\_01 e S1\_07.

Tale scenario, infatti, con focolare presente nel box singolo S1\_11 al primo piano interrato, presenta un valore di ASET pari a 240 secondi.

Il relativo RSET si sviluppa all'istante di 125 s presentando così un margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  pari a 115 secondi, per poco non superiore al 100% di RSET.

Per tale scenario occorre dunque effettuare un'analisi più approfondita per adeguare o migliorare la performance a quella presente con l'impianto di spegnimento automatico.

Considerando che la principale sfida riguarda l'esodo degli occupanti lungo il corridoio cieco, compromesso dalla presenza simultanea di fumi che ne ostacolano la percorrenza in sicurezza, è stato intrapreso il seguente processo di valutazione.

Innanzitutto, occorre ricordare che in tutta l'autorimessa è presente un'illuminazione di sicurezza che presenta, oltre a dispositivi di illuminazione piazzati all'intradosso del solaio di ogni piano, segnalazioni retroilluminate poste sopra il battente delle porte d'uscita. Ciò permette un più semplice riconoscimento delle stesse anche in presenza di fumi stratificati. In aggiunta, si è considerata l'opzione di aprire una delle aperture sul cortile interno, attualmente sigillata con vetrocemento dall'epoca degli anni Novanta. Mediante un intervento mirato di demolizione del vetrocemento, che preservi la struttura ma consenta il passaggio dell'aria, si potrebbe migliorare significativamente la performance dell'area interessata da tale scenario. Questo intervento comporterebbe costi di lavorazione e manutenzione contenuti e decisamente inferiori all'installazione di un impianto sprinkler nella corsia di manovra e nei box posti nelle vicinanze del condominio di Lea.

In basso si riporta un'immagine del modello Pyrosim modificato da tale scelta progettuale: in rosso si può notare la nuova aperture delle medesime dimensioni delle vicine (305 x 45 cm). Si riporta alla sua destra la fotografia dell'apertura scattata durante sopralluogo.

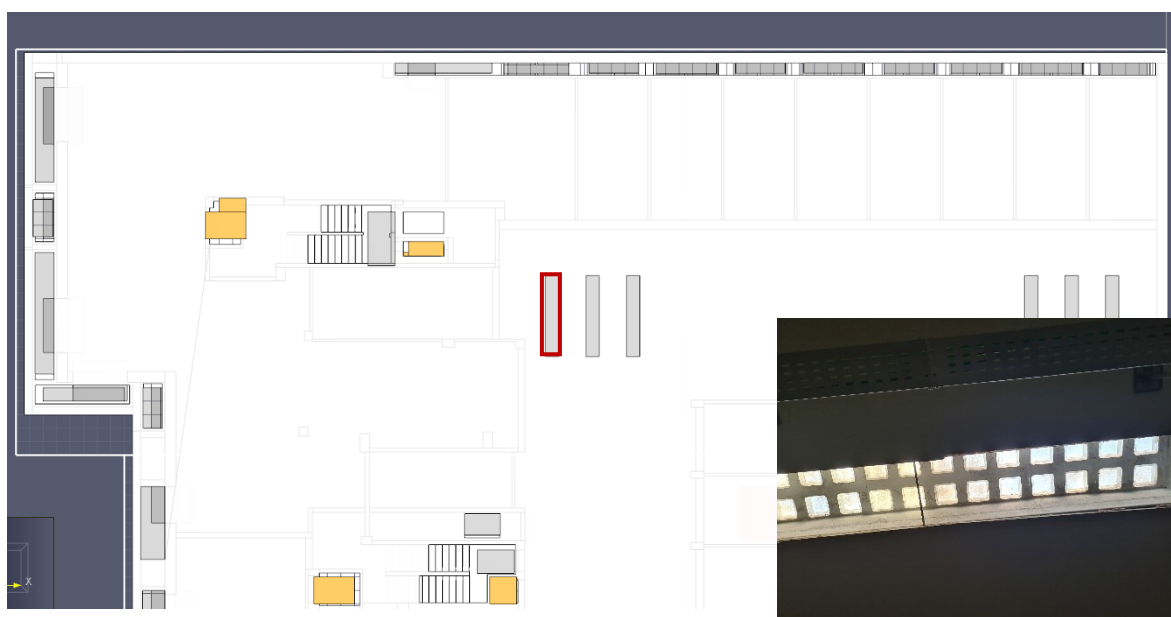


Figure 167/168 - Nuova apertura di aerazione in modello (sx) e sua fotografia (dx) SCENARIO 2

Tale valutazione sarà opportunamente commentata e verificata tramite i metodi dell'ingegneria antincendio nel paragrafo successivo.

Gli scenari 3 e 4, situati al secondo piano interrato nei box S2\_32 e S2\_53, rappresentano delle situazioni particolarmente critiche da richiedere misure compensative importanti per bilanciare l'assenza di un impianto sprinkler.

Lo scenario 3 infatti, presenta un valore di ASET pari a 180 secondi. Il relativo RSET si sviluppa all'istante di 175 s presentando così un margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  pari a 5 secondi, non soddisfacente.

Lo scenario 4 presenta un valore di ASET pari a 150 secondi. Il relativo RSET si sviluppa all'istante di 125 s presentando così un margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  pari a 25 secondi, superiore al 20% di RSET ma comunque non considerato abbastanza cautelativo per la salvaguardia della vita degli occupanti.

Per ambo gli scenari si è effettuata l'analoga valutazione, verificata e dimostrata nel paragrafo successivo mediante gli strumenti della Fire Safety Engineering.

Innanzitutto, si è notato che, anche in presenza di impianto sprinkler tali scenari risultano altrettanto critici; la posizione interrata, l'altezza interna di 280 cm e le griglie di aerazione SEa situate quasi esclusivamente all'interno dei box auto (ad eccezione delle aperture date dalle rampe e dalle griglie di aerazione su spazio scoperto fronte rampa via Delleani) portano comunque ad una rapida propagazione dei fumi.

Dunque, non potendo agire sull'ASET se non con protezioni attive quali impianti di spegnimento automatico, si è pensato di agire sull'RSET così da aumentare il margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  fino a valori cautelativi. Un più rapido riconoscimento dell'incendio e relativo allarme anticipato porterebbe così gli occupanti ad esodare in tempi inferiori.

Si è così scelto di installare rivelatori automatici di fumo puntiformi in tutti i box auto del secondo piano interrato.

Progettati secondo UNI 9795, questi permettono di individuare l'incendio nella sua fase di ignizione e di attivare tramite apposita centrale l'allarme audiovisivo in tutta la struttura.

La dotazione del conseguente IRAI dotato di funzione A (rivelazione automatica dell'incendio) consente di gestire in tempi rapidi qualunque condizione di allarme, permettendo la rivelazione precoce e la diffusione istantanea della comunicazione di esodo agli occupanti, riducendo i tempi  $t_{\text{det}}$  e  $t_{\text{a}}$ .

Nonostante sia possibile attribuire il livello di prestazione II per le aree TA, ovvero il compartimento appena esaminato, per le risultanze della valutazione del rischio e per la compensazione vista l'assenza dell'impianto sprinkler, si incrementa volontariamente il livello di prestazione richiesto al livello di prestazione III.

Si ricorda che la funzione A dell'impianto è già presente in tutti i depositi al 1° piano interrato mentre la funzione D (segnalazione manuale) è garantita per tutta la struttura.

Si è scelto di posizionare rivelatori puntiformi di fumo in ogni box e non nelle aree di manovra in quanto ogni automobile passa la quasi totalità del suo tempo all'interno degli stessi, soprattutto in orario notturno. L'eventuale incidente nella corsia di manovra che

potenzialmente scaturisce incendio sarebbe presto avvertito dagli occupanti presenti con conseguente segnalazione manuale nei primi attimi ed eventuale lotta all'incendio tramite estintori o idranti posizionati in tutta la struttura.

Inoltre, considerando la propagazione dei fumi come la principale criticità in tali scenari, l'uso di rivelatori puntiformi di fumo potrebbe consentire una rivelazione precoce rispetto all'utilizzo dei rivelatori di calore. È importante ricordare che la testina erogatrice dell'impianto sprinkler si attiva di solito automaticamente al raggiungimento di una temperatura di circa 68°C, il che comporta una tempistica di attivazione più lunga (circa 90 s al contrario dei circa 10 s del rivelatore di fumo per tali scenari).

Inoltre, si osserva un miglioramento nel rapporto costi-benefici, poiché l'installazione e la manutenzione di rivelatori automatici di fumo e dei relativi impianti comportano una spesa nettamente inferiore rispetto all'installazione e alla manutenzione di un impianto sprinkler. È importante sottolineare che i due tipi di impianti non sono direttamente comparabili, ma gli effetti degli stessi saranno valutati nel paragrafo successivo attraverso le relative performance garantite nell'ottica della salvaguardia della vita umana.

In basso si riporta un'immagine esemplificativa della tipologia di rivelatore automatico installato nell'autorimessa.

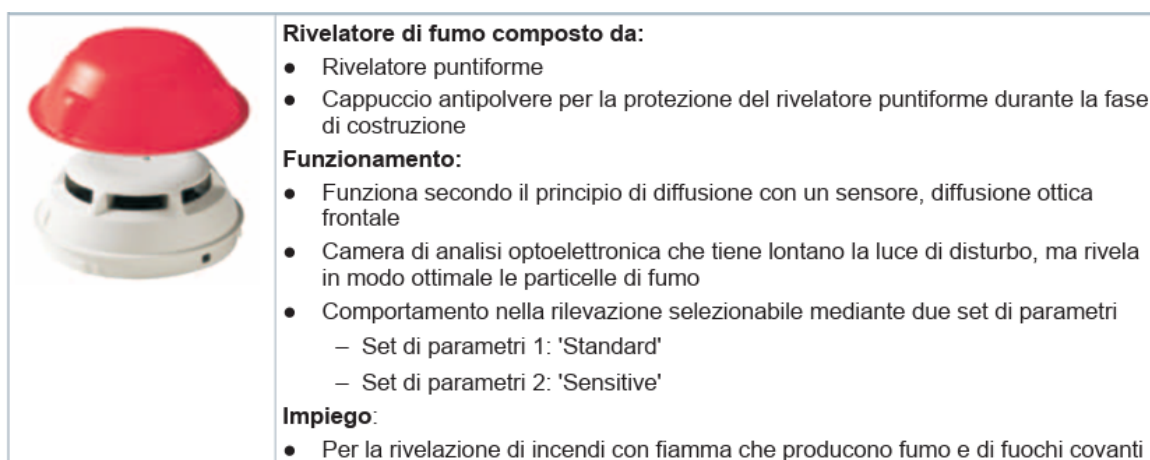


Figura 169 - Caratteristiche del rivelatore automatico installato SCENARI 3 - 4

## 6.3 Analisi dei risultati

Nel paragrafo conclusivo dell'elaborato, verranno esposte e dimostrate quantitativamente le performance delle misure compensative precedentemente introdotte, utilizzando gli output forniti dagli strumenti della Fire Safety Engineering.

In particolare, verranno valutati gli scenari 2, 3 e 4, fornendo immagini esemplificative come slice di visibilità a 2 m dal piano di calpestio e immagini di dettaglio raffiguranti l'ultimo occupante. Queste analisi saranno confrontate con le casistiche già descritte nel paragrafo 5.6, al fine di evidenziare le eventuali migliorie apportate dalle misure compensative e la loro efficacia nel migliorare la sicurezza antincendio dell'autorimessa.

Si sottolinea che lo scenario 1 non richiede misure compensative, previa valutazione del rischio residuo precedentemente esposta e pertanto non sarà trattato in questo paragrafo.

### SCENARIO 2

La misura compensativa atta a mitigare il rischio residuo derivante dalla mancanza dell'impianto sprinkler in questa area consiste nell'aumentare la superficie di aerazione presente al piano. In particolare, si è prevista l'apertura di una griglia già presente ma attualmente sigillata con vetrocemento, situata vicino alla porta A del condominio Di Lea. Questa apertura consentirà lo smaltimento dei fumi in prossimità dell'uscita più vicina e immediata per gli occupanti che devono percorrere il corridoio cieco.

Per questo scenario, è stato modificato il modello di incendio su Pyrosim per includere la nuova apertura, mantenendo invariati gli altri parametri relativi alle dinamiche di evacuazione. Il valore di RSET ottenuto precedentemente è stato confermato, ma per una migliore comprensione si è integrata la simulazione d'esodo di Pathfinder con i nuovi output ottenuti da Pyrosim.

Le figure seguenti illustrano visivamente le differenze tra i tre casi trattati, evidenziando gli istanti significativi che rappresentano i diversi valori di ASET per ciascuna situazione.

La nuova casistica introdotta è nominata mediante l'indice .SEa.

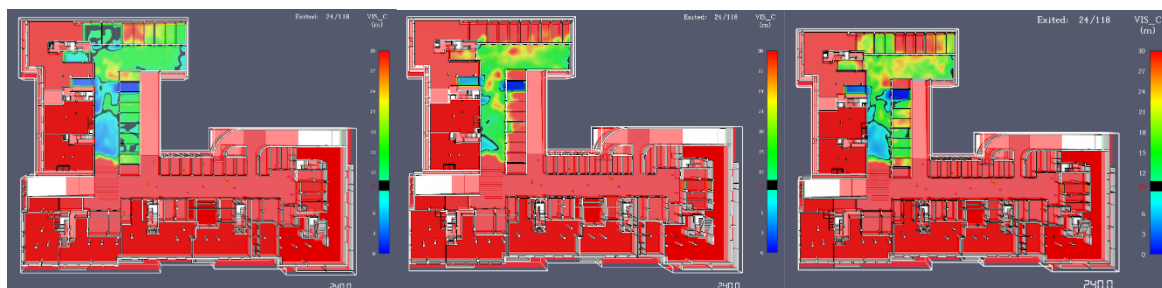


Figura 170 - Slice di visibilità a 240 s SCENARIO 2 / SCENARIO 2.S / SCENARIO 2.SEa

### 6.3 - Analisi dei risultati

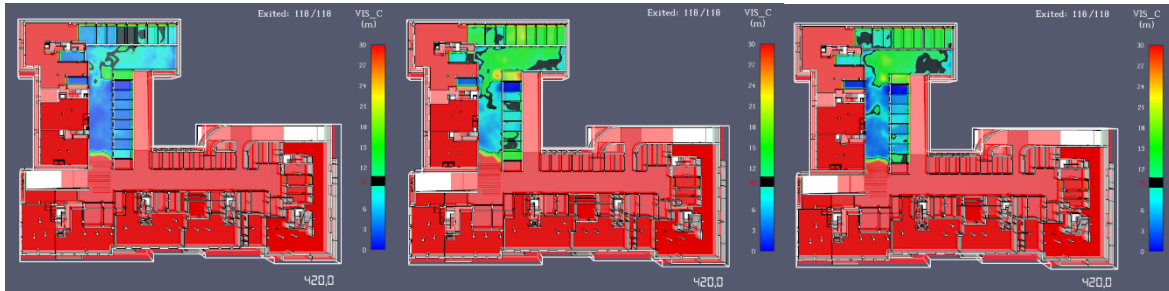


Figura 171 - Slice di visibilità a 420 s SCENARIO 2 / SCENARIO 2.S / SCENARIO 2.SEA



Figura 172 - Slice di visibilità a 460 s SCENARIO 2 / SCENARIO 2.S / SCENARIO 2.SEA

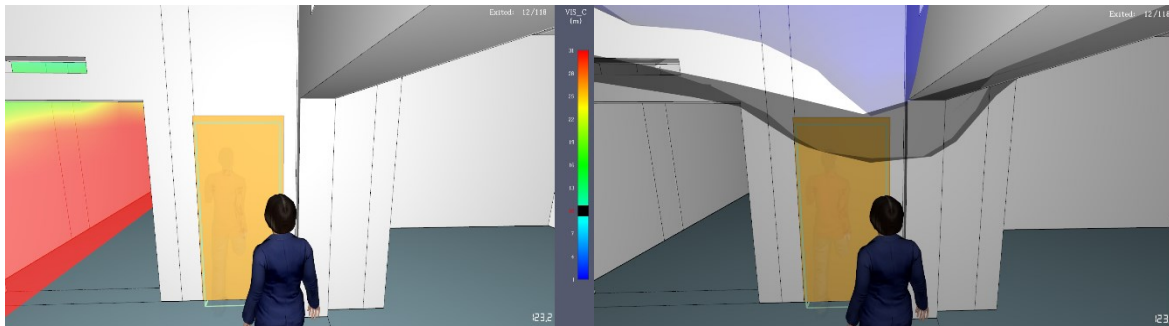


Figura 173 - Condizione all'istante di RSET [125 s uscita A] SCENARIO 2

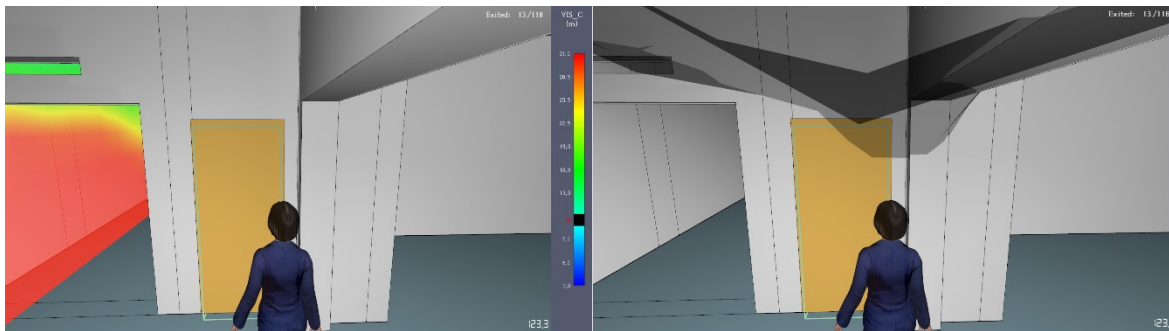


Figura 174 - Condizione all'istante di RSET [125 s uscita A] SCENARIO 2.S



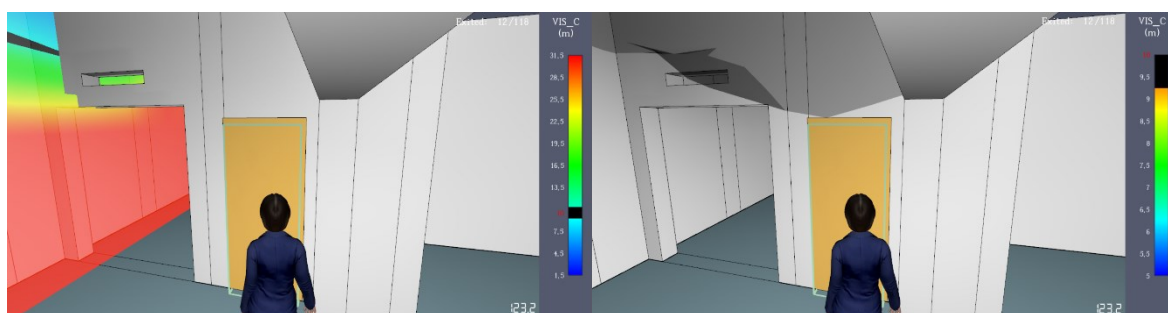


Figura 175 - Condizione all'istante di RSET [125 s uscita A] SCENARIO 2.SEa

Come evidenziato nelle figure 170 e 171, la modifica apportata alla struttura produce risultati simili all'installazione di un sistema sprinkler per quanto riguarda la propagazione dei fumi. La posizione strategica della nuova apertura, situata di fronte alla porta A, favorisce un elevato ricambio d'aria e, di conseguenza, una minore stratificazione dei fumi.

In particolare, il tratto del corridoio cieco, considerato punto critico del primo piano interrato, risulta percorribile fino ai 420 secondi, momento in cui la porta inizia a presentare condizioni incapacitanti per l'esodo. Questa osservazione è confermata anche dalle relative immagini delle isosuperfici di visibilità.

Si tenga presente che la curva RHR associata al caso SEa rimane identica al caso originale. Di seguito è riportata la tabella 43, che consente di schematizzare e confrontare quantitativamente i valori di ASET e relativi RSET nelle tre diverse casistiche.

Tabella 43 - Valori di ASET ed RSET conclusivi SCENARIO 2

Uscita d'esodo	ASET senza imp.Sprinkler	ASET con imp.Sprinkler	ASET con > SEa	RSET	Risultato
A1_DI LEA	240 s	460 s	420 s	125 s	Accettabile con SEa >
B1_DI LEA	205 s	350 s	300 s	80 s	Sempre accettabile
C1_DI LEA	160 s	230 s	175 s	105 s	Spazio scoperto adiac.
A1_ORIZZONTE	/	/	/	310 s	Sempre accettabile
B1_ORIZZONTE	/	/	/	285 s	Sempre accettabile
C1_ORIZZONTE	/	/	/	360 s	Sempre accettabile
D1_ORIZZONTE	/	/	/	345 s	Sempre accettabile
E1_ORIZZONTE	/	/	/	200 s	Sempre accettabile

Per tale scenario compensativo, il criterio di disequazione riportato al capitolo M.3.2.2 del D.M. 03/08/2015 risulta soddisfatto mentre il margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  presenta un valore considerevolmente cautelativo.

$$\text{ASET} > \text{RSET} \rightarrow 460 \text{ s} > 125 \text{ s}$$

$$t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET} = 335 \text{ s} \geq 100\% \text{RSET}$$



La misura compensativa ipotizzata risulta pertanto valida ed idonea a mitigare il rischio residuo in tale area del piano. Oltre ai benefici evidenti per la salvaguardia della vita umana, tale valutazione consente di migliorare notevolmente il rapporto costi-benefici della progettazione, obiettivo primario dell'elaborato.

### SCENARIO 3

La misura compensativa adottata per mitigare il rischio residuo derivante dalla mancanza dell'impianto sprinkler in questa area consiste nell'implementare un impianto IRAI dotato di funzione A (rivelazione automatica dell'incendio) in ogni box del 2° piano interrato.

In particolare, è stata prevista l'installazione di rivelatori di fumo puntiformi opportunamente modellati e posizionati nella simulazione fluidodinamica al fine di estrapolare risultati idonei al confronto. È importante sottolineare che tale misura non incide sull'ASET, ma esclusivamente sull'RSET, andando ad abbattere i tempi  $t_{det}$  e  $t_a$ .

La nuova casistica introdotta è denominata mediante l'indice .IRAI; si tenga presente che la curva RHR associata al caso .IRAI rimane identica al caso originale in quanto non è stato modificato il modello d'incendio su Pyrosim. I dispositivi posizionati nei box auto, come descritto al paragrafo 5.4.1 del presente elaborato, hanno permesso di ottenere il valore di  $t_{det}$  pari a 10 secondi successivamente implementato nella simulazione d'esodo. È importante ricordare che in presenza di impianto di rivelazione e allarme automatico, il  $t_a$  è uguale a zero. In basso viene riportato il grafico d'output del device che simula il rivelatore puntiforme all'interno del box; si può notare come intorno ai 10 secondi venga superata la soglia di allarme in base alla percentuale di oscuramento, fissata al 3,24%. Alla sua destra si riporta l'output delle sonde simulanti le testine erogatrici degli sprinkler; si può notare come si raggiunga la temperatura di 68° C (in ordinata) intorno ai 90 secondi tempistica utilizzata per abbattere la curva RHR negli scenari .S precedentemente considerati.

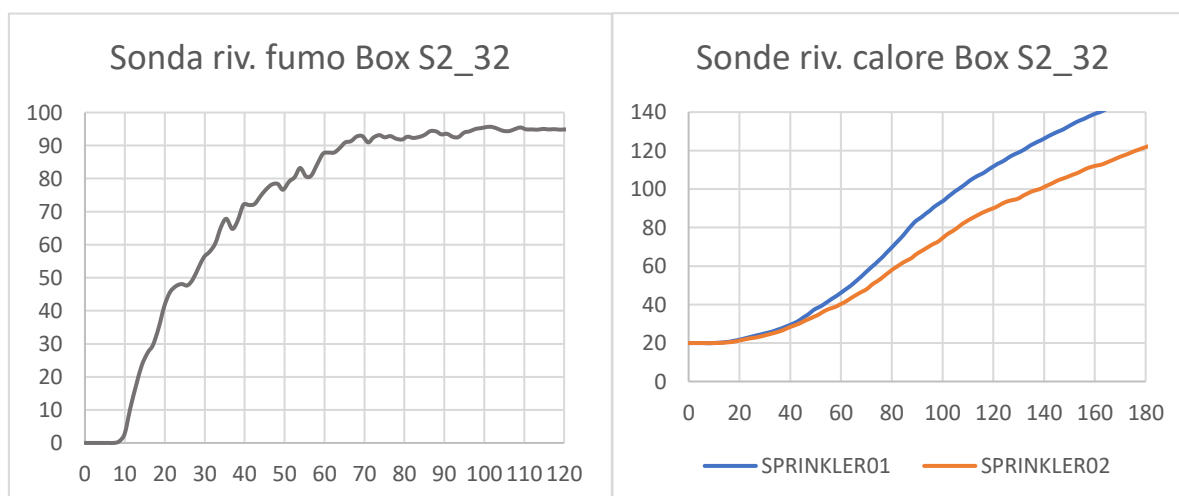


Figure 176/177 - Output sonda rivelazione fumo (sx) e sonde rivelazione calore (dx) SCENARIO 3

Successivamente, al  $t_{det}$  ottenuto si è sommato un  $t_{pre}$  considerato in un intervallo di 30 : 60 secondi attraverso una distribuzione log-normale e, mediante nuovo unico Behaviour, associato a tutti gli occupanti della struttura.

Il valore di RSET ottenuto è dunque dissimile dal precedente, e risulta considerevolmente più basso. Si suppone infatti che gli occupanti della struttura rispondano all'allarme indipendentemente dalla loro posizione e, al contrario delle considerazioni effettuate al par. 5.5.2, indipendentemente dalla loro vicinanza al focolare.

Per una migliore comprensione si è integrata la nuova simulazione d'esodo di Pathfinder con il precedente output per lo scenario 3 senza sprinkler ottenuto da Pyrosim.

Le figure seguenti illustrano visivamente le differenze tra i tre casi trattati, evidenziando gli istanti significativi che rappresentano i diversi valori di RSET per ciascuna situazione.

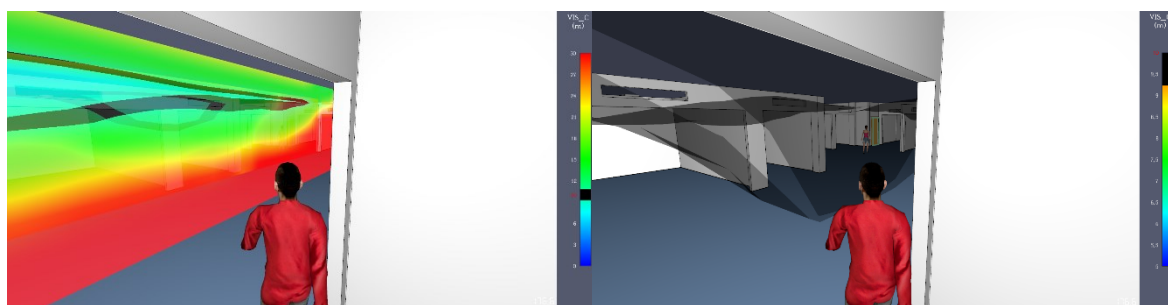


Figura 178 - Condizione all'istante di RSET [175 s uscita D] SCENARIO 3

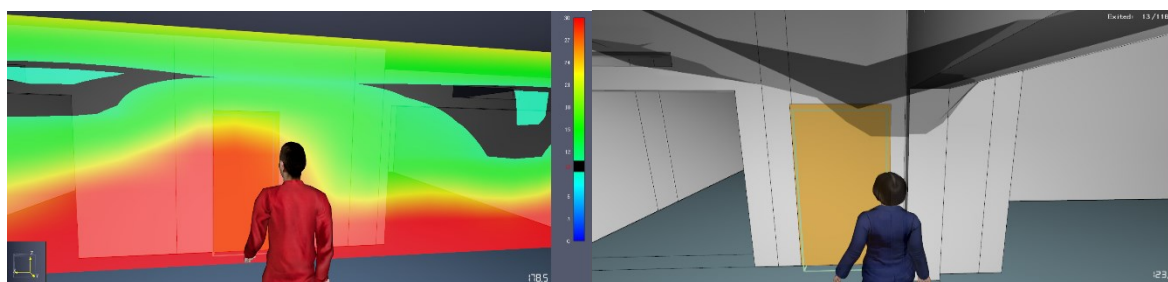


Figura 179 - Condizione all'istante di RSET [175 s uscita D] SCENARIO 3.S

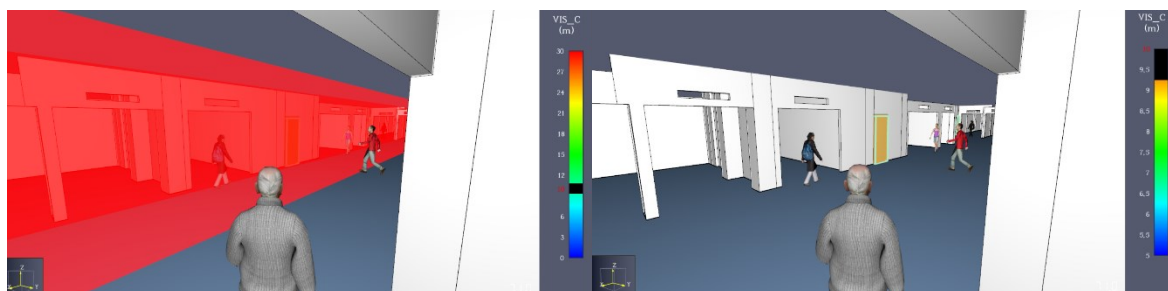


Figura 180 - Condizione all'istante di RSET [80 s uscita D] SCENARIO 3.IRAI

### 6.3 - Analisi dei risultati

Come evidenziato nelle figure 179 e 180, la modifica apportata all'impianto consente di ottenere un valore di RSET significativamente più cautelativo. Si può notare infatti come le slice di visibilità e la relativa isosuperficie posizionata dinnanzi alla porta D, considerata per la valutazione dell'RSET, non presentino alcun valore quantitativo.

In particolare, il risparmio di tempo nel riconoscimento dell'innesco e nel conseguente allarme permette un esodo per tutti gli occupanti dell'autorimessa tale da non farli accorgere degli effetti dell'incendio durante la loro fuga.

Si ricorda inoltre che l'attività presenta un'illuminazione di sicurezza lungo tutte le corsie di manovra, che migliora ulteriormente la mitigazione del rischio residuo.

Di seguito è riportata la tabella 44, che consente di schematizzare e confrontare quantitativamente i valori di ASET e relativi RSET nelle tre diverse casistiche.

Tabella 44 - Valori di ASET ed RSET conclusivi SCENARIO 3

Uscita d'esodo	ASET senza imp.Sprinkler	ASET con imp.Sprinkler	RSET	RSET con IRAI	Risultato
A2_ORIZZONTE	60 s	60 s	35 s	35 s	Accettabile
B2_ORIZZONTE	85 s	90 s	75 s	55 s	Accettabile con IRAI
C2_ORIZZONTE	115 s	125 s	100 s	75 s	Accettabile con IRAI
D2_ORIZZONTE	180 s	240 s	175 s	80 s	Accettabile con IRAI
E2_ORIZZONTE	1100 s	/	190 s	80 s	Sempre accettabile
A2_DI LEA	/	/	355 s	90 s	Sempre accettabile
B2_DI LEA	/	/	360 s	75 s	Sempre accettabile
C2_DI LEA	/	/	355 s	75 s	Sempre accettabile

Per tale scenario compensativo, il criterio di disequazione riportato al capitolo M.3.2.2 del D.M. 03/08/2015 risulta soddisfatto mentre il margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  presenta un valore considerevolmente più cautelativo dei casi precedenti.

$$\begin{aligned} \text{ASET} > \text{RSET} &\rightarrow 180 \text{ s} > 80 \text{ s} \\ t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET} &= 100 \text{ s} \geq 100\% \text{RSET} \end{aligned}$$

La misura compensativa ipotizzata risulta pertanto valida ed idonea a mitigare il rischio residuo in tale area del piano. Inoltre, il margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  risulta maggiore anche di quello associato alla presenza di impianto sprinkler, potendo perciò affermare che le performance attese, in relazione alla salvaguardia della vita degli occupanti, possono considerarsi superiori.

Oltre ai benefici evidenti per la salvaguardia della vita umana, tale valutazione consente di migliorare notevolmente il rapporto costi-benefici della progettazione, obiettivo primario dell'elaborato.

## SCENARIO 4

In analogia con lo scenario precedente, la misura compensativa adottata per mitigare il rischio residuo derivante dalla mancanza dell'impianto sprinkler in questa area consiste nell'implementare un impianto IRAI dotato di funzione A (rivelazione automatica dell'incendio) in ogni box del 2° piano interrato. È importante ricordare che tale misura non incide sull'ASET, ma esclusivamente sull'RSET, andando ad abbattere i tempi  $t_{det}$  e  $t_a$ .

La casistica introdotta è nuovamente denominata mediante l'indice .IRAI; si tenga presente che la curva RHR associata al caso .IRAI rimane identica al caso originale in quanto non è stato modificato il modello d'incendio su Pyrosim.

Il ragionamento e la modellazione effettuati sono pressoché simili allo scenario precedentemente trattato; verranno quindi riproposti in breve gli output di tale scenario.

I device posizionati nel box auto hanno permesso di ottenere il valore di  $t_{det}$  pari a 10 secondi successivamente implementato nella simulazione d'esodo.

In basso viene riportato il grafico d'output del device che simula il rivelatore puntiforme all'interno del box S2\_53; si può notare come intorno ai 10 secondi venga superata la soglia di allarme in base alla percentuale di oscuramento, fissata al 3,24%. Alla sua destra si riporta l'output delle sonde simulanti le testine erogatrici degli sprinkler; si può notare come si raggiunga la temperatura di 68° C (in ordinata) intorno ai 90 secondi tempistica utilizzata per abbattere la curva RHR negli scenari .S precedentemente considerati.

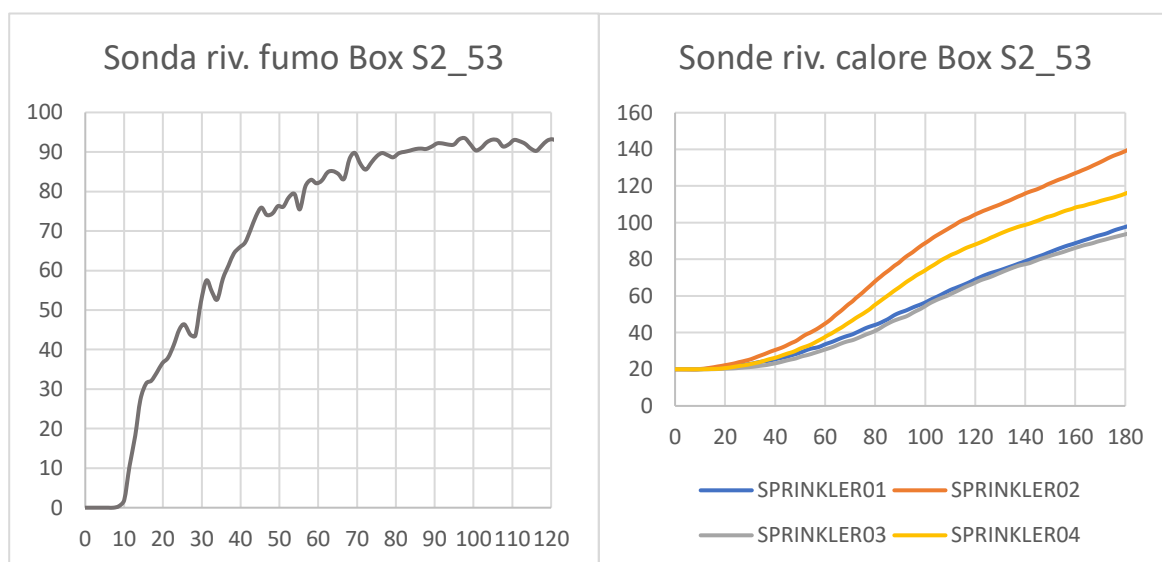


Figure 181/182 - Output sonda rivelazione fumo (sx) e sonde rivelazione calore (dx) SCENARIO 4

### 6.3 - Analisi dei risultati

Successivamente, al  $t_{det}$  ottenuto si è sommato un  $t_{pre}$  considerato in un intervallo di 30 : 60 secondi attraverso una distribuzione log-normale e, mediante nuovo unico Behaviour, associato a tutti gli occupanti della struttura.

Il valore di RSET ottenuto risulta dunque considerevolmente più basso del precedente. Come per lo scenario 3, si suppone infatti che gli occupanti della struttura rispondano all'allarme indipendentemente dalla loro posizione e, al contrario delle considerazioni effettuate al par. 5.5.2, indipendentemente dalla loro vicinanza al focolare.

Per una migliore comprensione si è integrata la nuova simulazione d'esodo di Pathfinder con il precedente output per lo scenario 4 senza sprinkler ottenuto da Pyrosim.

Le figure seguenti illustrano visivamente le differenze tra i tre casi trattati, evidenziando gli istanti significativi che rappresentano i diversi valori di RSET per ciascuna situazione.

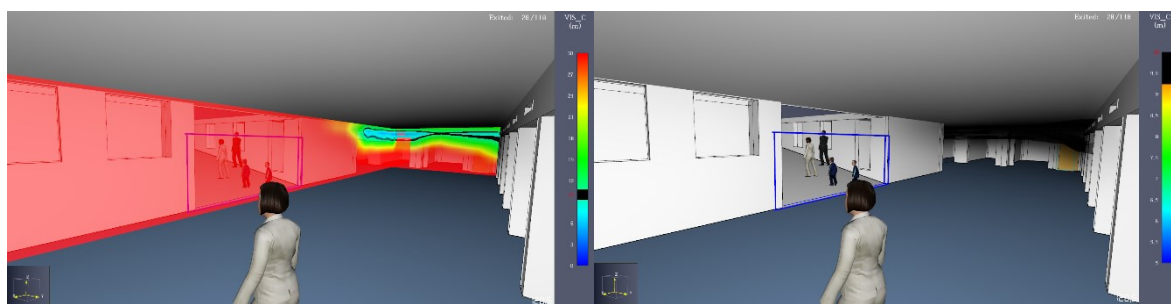


Figura 183 - Condizione all'istante di RSET [150 s uscita A] SCENARIO 4

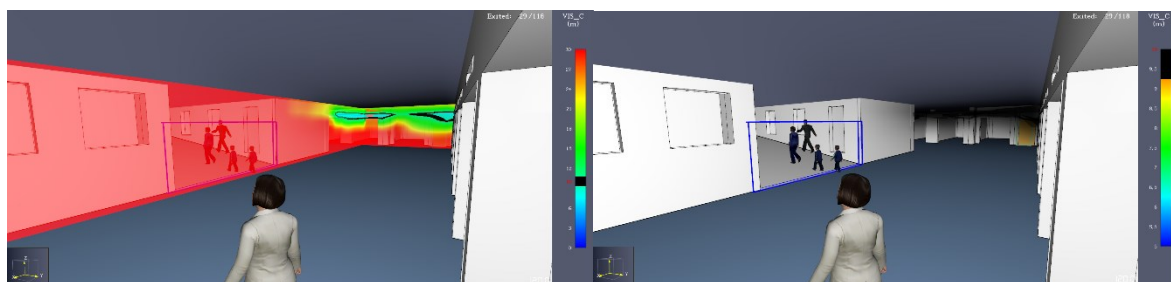


Figura 184 - Condizione all'istante di RSET [150 s uscita A] SCENARIO 4.S

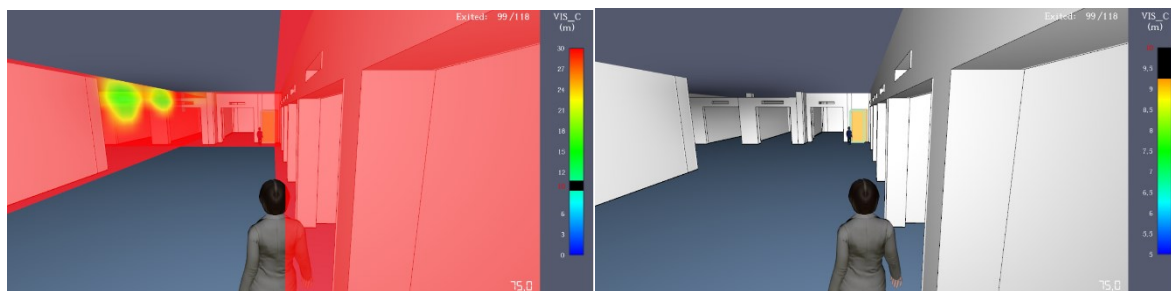


Figura 185 - Condizione all'istante di RSET [85 s uscita A] SCENARIO 4.IRAI

Come evidenziato nelle figure 184 e 185, la modifica apportata all'impianto consente di ottenere un valore di RSET significativamente più cautelativo. Si può notare infatti come le slice di visibilità e la relativa isosuperficie posizionata dinnanzi alla porta A del condominio Di Lea, considerata per la valutazione dell'RSET, non presentino alcun valore quantitativo. Si ricorda inoltre che l'attività presenta un'illuminazione di sicurezza lungo tutte le corsie di manovra, che migliora ulteriormente la mitigazione del rischio residuo.

Di seguito è riportata la tabella 44, che consente di schematizzare e confrontare quantitativamente i valori di ASET e relativi RSET nelle tre diverse casistiche.

Tabella 45 - Valori di ASET ed RSET conclusivi SCENARIO 4

Uscita d'esodo	ASET senza imp.Sprinkler	ASET con imp.Sprinkle	RSET	RSET con IRAI	Risultato
A2_DI LEA	150 s	210 s	125 s	85 s	Accettabile con IRAI
B2_DI LEA	150 s	220 s	95 s	75 s	Accettabile con IRAI
C2_DI LEA	145 s	215 s	100 s	80 s	Accettabile con IRAI
RAMPA APERTA	245 s	270 s	125 s	/	Pendenza > 8%
A2_ORIZZONTE	/	/	340 s	75 s	Sempre accettabile
B2_ORIZZONTE	/	/	345 s	75 s	Sempre accettabile
C2_ORIZZONTE	/	/	360 s	80 s	Sempre accettabile
D2_ORIZZONTE	/	/	365 s	80 s	Sempre accettabile
E2_ORIZZONTE	1360 s	/	125 s	80 s	Sempre accettabile

Per tale scenario compensativo, il criterio di disequazione riportato al capitolo M.3.2.2 del D.M. 03/08/2015 risulta soddisfatto mentre il margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  presenta un valore paragonabile al caso .S precedente.

$$\begin{aligned} \text{ASET} > \text{RSET} &\rightarrow 150 \text{ s} > 85 \text{ s} \\ t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET} &= 65 \text{ s} \geq 80\% \text{RSET} \end{aligned}$$

La misura compensativa ipotizzata risulta pertanto valida e idonea a mitigare il rischio residuo in tale area del piano. Il margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  risulta minore di 10 secondi rispetto a quello calcolato in presenza di impianto sprinkler (75 s).

Tuttavia, si ritiene che le prestazioni ottenute siano superiori in quanto l'installazione dei rivelatori di fumo ha permesso di non considerare la rampa aperta (pendenza >8%) come via d'esodo; questo approccio non solo migliora la sicurezza complessiva dell'autorimessa, ma riflette anche un impegno per un ambiente inclusivo e accessibile per tutti gli occupanti. Oltre a questo importante vantaggio, tale valutazione consente di migliorare notevolmente il rapporto costi-benefici della progettazione, obiettivo primario dell'elaborato.

## 7 Conclusioni

Conclusa l'analisi, è opportuno riepilogare i risultati ottenuti per valutare il conseguimento degli obiettivi prefissati.

Il caso studio esaminato riguarda un'autorimessa privata composta da due piani interrati e al servizio di due condominii sovrastanti nella zona Pozzo Strada di Torino.

Il progetto dell'autorimessa, risalente al 2003, è stato accompagnato da un "parere di conformità sul progetto"; tuttavia, alcune discrepanze tra le previsioni progettuali e le risultanze reali dello stato di fatto, ne hanno richiesto un adeguamento.

Comparando due progettazioni, una sviluppata secondo il tradizionale D.M. 01/02/1986 e l'altra con il supporto del Codice e della RTV V.6, emerge un approccio più rigido nella prima rispetto alla seconda. La prima ha dato seguito all'istanza di deroga del 2017, istanza diramata per adattarsi alle discrepanze riscontrate.

Tuttavia, le modifiche proposte si sono rivelate significativamente onerose sia in termini economici che di impatto sulla consistenza edilizia interessata dalle opere di adeguamento e pertanto non hanno trovato il benestare della committenza.

Recentemente, i condomini hanno deciso di riutilizzare l'autorimessa, rendendo necessaria una riprogettazione in conformità alla normativa vigente.

L'introduzione della progettazione antincendio con il Codice e la RTV V.6 ha agevolato il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio.

Tuttavia, con il D.M. 03/08/2015 e in particolare il paragrafo V.6.5.6, sono emerse difficoltà nell'adottare il livello di prestazione IV per il controllo dell'incendio. Questa misura, dato il costo oneroso della stessa così come delle precedenti modifiche da deroga, non ha ottenuto l'approvazione dei condomini, portando all'ipotesi di ricorrere ad una soluzione alternativa. Per quanto riguarda le altre misure antincendio, non sono emerse particolari difficoltà tecniche e sono state determinate in soluzione conforme.

Da tale prelude si è così introdotta la Fire Safety Engineering, utile a simulare gli effetti di eventuali incendi all'interno dell'autorimessa e comparare le performance della stessa in presenza e in assenza di impianto di spegnimento automatico a sprinkler.

La metodologia perseguita è stata quella proposta dal Codice di prevenzione incendi nello



specifico dal suo capitolo M, integrata da un'attenta valutazione sul rapporto costi-benefici favorita dalla progettazione prestazionale.

Si è pertanto proceduto attraverso un'analisi preliminare utile a valutare i potenziali rischi e a prefissare gli obiettivi da perseguire. Successivamente, in conformità con il capitolo M.2, si sono individuati cinque scenari d'incendio considerati più critici e pericolosi per la salvaguardia della vita degli occupanti e dei soccorritori. In secondo luogo, facendo uso degli strumenti software quali Pyrosim e Pathfinder si è modellato l'incendio e l'esodo all'interno della struttura per ogni differente scenario ipotizzato.

La ricerca di una soluzione alternativa ha richiesto un'analisi dettagliata dei risultati delle simulazioni. È emerso che, grazie soprattutto alla presenza di aperture di aerazione in percentuale decisamente superiore alla minima richiesta, gli scenari senza l'installazione di sprinkler non hanno mostrato risultati incomparabili rispetto all'impianto ad acqua.

Tuttavia, è risultato esplicito che l'assenza di un sistema sprinkler, soprattutto al secondo piano interrato, comporta un aggravio di rischio necessariamente da mitigare.

Sono state pertanto proposte misure compensative, nella fattispecie l'ampliamento delle aperture di aerazione al primo piano interrato, posizionate strategicamente per favorire l'evacuazione e lo smaltimento dei fumi, e l'installazione di un sistema IRAI di rivelazione e allarme automatico al secondo piano interrato.

Queste misure hanno eguagliato o perfino superato le prestazioni dell'impianto sprinkler, come dimostrato nel capitolo conclusivo, comparando sia qualitativamente che quantitativamente gli scenari simulati. Inoltre, è stata valutata qualitativamente l'adozione di un sistema water mist, ma tale soluzione non è risultata vantaggiosa dal punto di vista prestazionale e del rapporto costi-benefici.

Nel caso studio esaminato, l'applicazione dell'approccio prestazionale nell'ambito dell'ingegneria antincendio ha prodotto risultati positivi: grazie all'analisi condotta tramite la Fire Safety Engineering, è stato dimostrato che non vi è la necessità di installare un sistema di spegnimento automatico nell'attività al fine di salvaguardare la vita umana.

Di conseguenza, si può affermare che l'utilizzo degli strumenti dell'ingegneria antincendio, sebbene richieda maggiori risorse per la progettazione, si è rivelato altamente efficace.

Questo approccio ha consentito di individuare criticità legate a potenziali scenari di incendio ed evacuazione che sarebbero sfuggiti ad un'analisi tradizionale. È importante sottolineare che l'approccio ingegneristico tiene conto della presenza di occupanti con disabilità motoria anche solo temporanea, garantendo una progettazione inclusiva.

Infine, è essenziale considerare che una corretta progettazione della sicurezza antincendio di un'autorimessa non può prescindere da un'attenta valutazione del rischio incendio che dipende strettamente dalla tipologia di autoveicoli presenti in termini di dimensioni e alimentazione.

L'incremento progressivo dei veicoli elettrici e la prevista diffusione delle relative infrastrutture di ricarica, sia nel settore pubblico che in quello privato, rendono necessaria



una valutazione del rischio di incendio e/o esplosione correlato a tali strutture.

Questa valutazione attualmente rappresenta un ambito parzialmente inesplorato, limitato dalla recente diffusione dei veicoli elettrici EV, il che si riflette nella scarsità di dati statistici significativi a disposizione così come di ricerca sperimentale disponibile in letteratura.

Anche da un punto di vista normativo è prevista un'evoluzione: la Circolare n. 2/2018 dei Vigili del Fuoco si basa su valori datati e limitati, non tenendo conto dei rapidi sviluppi tecnologici recenti; le batterie dei veicoli elettrici, ad esempio, sono passate da circa 20 kWh ad oltre 100 kWh, aumentando considerevolmente l'energia immagazzinata, mentre le colonnine di ricarica hanno visto un incremento di potenza significativo.

Va inoltre evidenziato che la maggior parte degli studi e delle normative, inclusi i codici di sicurezza antincendio, considera un tempo di propagazione tra veicoli di 12 minuti, nonostante prime stime indichino che le auto elettriche possano trasmettere il fuoco molto più rapidamente.

È inoltre limitata la bibliografia riguardante gli effetti degli impianti di spegnimento automatico sui veicoli elettrici e come questi effetti si verifichino nella pratica. Questo è dovuto alla complessità nell'estinguere un incendio originato nella batteria, alloggiata nella parte inferiore del veicolo e pertanto difficilmente raggiungibile dai tradizionali sistemi ad acqua posti generalmente a soffitto.

Questi spunti rappresentano un possibile sviluppo futuro stimolante ed al tempo stesso attuale di tale elaborato, ponendo l'accento sulla necessità di creare scenari d'incendio sempre più verosimili ed eventualmente fornendo un valido supporto alla progettazione dei professionisti antincendio del domani.

In conclusione, è cruciale che ciò che viene progettato corrisponda ragionevolmente a ciò che si trova nella realtà odierna: in tal senso, per quanto i modelli creati attraverso la metodologia FSE cerchino di riflettere al meglio la realtà, è bene ricordare che rimangono pur sempre dei modelli.



# Bibliografia

- [1] D.P.R. 01/08/2011. Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi;
- [2] D.M. 01/02/1986. Norme di sicurezza antincendi per la costruzione e l'esercizio di autorimesse e simili;
- [3] 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;
- [4] D.L. 09/04/2008, n. 81. Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;
- [5] Ministero dell'Interno. Annuario statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco 2023;
- [6] UNI EN 12845:2009. Sistemi automatici a sprinkler;
- [7] UNI EN 9795:2021. Progettazione, installazione e esercizio dei sistemi fissi automatici di rivelazione e di segnalazione allarme d'incendio;
- [8] PD 7974-6:2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. British Standards;
- [9] PD CEN/TS 12101-11:2022. Smoke and heat control systems. British Standards;
- [10] The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. NFPA, 4th ed.;
- [11] ISO/TR 16738:2009. Fire-safety engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people, 1st edition;
- [12] Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri. Metodi per l'ingegneria della sicurezza antincendio. INAIL. 2019;
- [13] Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri. La progettazione della misura esodo. INAIL. 2020;
- [14] Sabatino R., Mazzaro M., Nassi L. e altri. Prevenzione incendi per attività di autorimesse. INAIL. 2023;
- [15] Collier PCR. Car Parks Fires Involving Modern Cars and Stacking Systems. BRANZ Study Report 255. BRANZ Ltd, Judgeford, New Zealand. 2011;
- [16] Zhao B., Kruppa J., Janssens ML. Structural behaviour of an open car park under real fire scenarios. Fire Mater. 2004;

- [17] Lecocq A., Bertana M., Truchot B., Marlair G. Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle. INERIS, National Institute of Industrial Environment and Risks. 2014;
- [18] Brzezinska D., Ollesz R., Bryant P. Design car fire size based on fire statistics and experimental data. *Fire and Materials*. 2020;
- [19] Brzezinska D., Bryant P. Performance-Based Analysis in Evaluation of Safety in Car Parks under Electric Vehicle Fire Conditions. *Energies*. 2022;
- [20] Lönnermark A., Blomqvist P. Emissions from an automobile fire. *Chemosphere*. 2006;
- [21] Tohir MZM, Spearpoint M. Distribution analysis of the fire severity characteristics of single passenger road vehicles using heat release rate data. *Fire Sci Rev*. 2013;
- [22] Tohir MZM, Spearpoint M. Probabilistic design fires for passenger vehicle scenarios. *Fire Safety Journal*. 2020;
- [23] Boehmer H.R., Klassen M.S., Olenick, S.M. Fire Hazard Analysis of Modern Vehicles in Parking Facilities. *Fire Technol* 57. 2021;
- [24] Merci B., Shipp M. Smoke and heat control for fires in large car parks: lessons learnt from research?. *Fire Safety Journal*. 2013;
- [25] Santangelo P.E., Tarozzi L., & Tartarini P., Full-Scale Experiments of Fire Control and Suppression in Enclosed Car Parks: A Comparison Between Sprinkler and Water-Mist Systems. *Fire Technol* 52. 2016;
- [26] Cosi F. Maxi incendio a Liverpool: l'analisi del progettista antincendio, Teknoring - Il portale delle professioni tecniche. 2018;
- [27] Cosi F., Di Bari C. Le autorimesse ed i rischi di incendio dei veicoli moderni. *Rivista Antincendio* n. 7. luglio 2021;
- [28] Gissi E. Soluzioni progettuali alternative per l'esodo, procedure analitiche di base e flessibilità progettuale. 2018;
- [29] Cereda E. Strumenti di fire safety engineering nella progettazione antincendio: dai modelli di simulazione dell'esodo alla Virtual reality". Politecnico di Torino. 2019;
- [30] Minardi M. Analisi di materiali plastici da autoveicoli a fine vita. Politecnico di Torino. 2020;
- [31] Buzano C. Prevenzione e sicurezza antincendio nelle stazioni metropolitane: applicazioni di Fire Safety Engineering per l'ottimizzazione dei sistemi di controllo degli incendi nell'utilizzo di modelli analitici di simulazione. Politecnico di Torino. 2021;
- [32] Porru A. Fire Safety Engineering: Analisi e verifiche dei requisiti delle aperture di smaltimento fumo e calore in autorimesse interrato. Politecnico di Torino. 2022.

## **Allegati**

- TAVOLA 001.01: Planimetria e compartimentazioni primo piano interrato;
- TAVOLA 001.02: Planimetria e compartimentazioni secondo piano interrato;
- TAVOLA 002.01: Percorsi d'esodo primo piano interrato;
- TAVOLA 002.02: Percorsi d'esodo secondo piano interrato;
- TAVOLA 003.01: Impianto antincendio primo piano interrato;
- TAVOLA 003.02: Impianto antincendio secondo piano interrato;
- TAVOLA 004.01: Planimetria piano terra;
- TAVOLA 005.01: Sezioni.