



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile
Resilienza del costruito
a.a. 2022/2023
Sessione di Laurea luglio 2023

**Applicazione di Fire Safety Engineering
per lo studio di sistemi di
pressurizzazione all'interno dei
percorsi di esodo**

Relatore:

Prof. Ing. Roberto VANCETTI

Correlatori:

Ing. Rossana CARDONE

Ing. Emiliano CEREDA

Candidata:

Elena MANGINO s291335

Abstract

Il presente lavoro di tesi propone la progettazione antincendio di un complesso condominiale analizzando le criticità e proponendo le soluzioni progettuali alternative. Nello specifico la criticità più evidente è legata al percorso di esodo verticale. Per questo motivo si sono condotte quindi verifiche di congruità per soluzioni progettuali alternative con l'utilizzo di sistemi di pressurizzazione applicando la norma UNI EN 12101-13:2022 e verificando il dimensionamento dell'impianto con la *Fire Safety Engineering* (FSE).

Lo studio analizza le normative attualmente vigenti, effettuandone un'analisi dettagliata in quanto si rientra nel regime di doppio binario con le norme D.M. 16 maggio 1987 n. 246 "Norme di sicurezza antincendio per gli edifici di civile abitazione" e D.M. 19 maggio 2022 "Il Codice di prevenzione incendi".

Si procede con la soluzione alternativa prevista dal Codice, realizzando un vano scala pressurizzato applicando la norma UNI EN 12101-13:2022, verificando il dimensionamento dell'impianto con la *Fire Safety Engineering* (FSE).

Le simulazioni effettuate verificano il corretto funzionamento di un impianto di surpressione all'interno del vano scale al fine di garantire la sicurezza dell'esodo degli occupanti in caso di incendio.

Obiettivo del lavoro di tesi è quello di valutare l'efficacia del sistema di pressurizzazione attraverso i metodi dell'ingegneria antincendio. Nell'ambito di questa tesi, si verifica la conformità e l'efficacia del sistema proposto attraverso il confronto tra il tempo disponibile per l'esodo (ASET - *Available Safe Escape Time*) e il tempo richiesto per l'esodo (RSET - *Required Safe Escape Time*).

Sommario

Abstract	2
1 Introduzione	5
2 Caratterizzazione del caso studio	6
3 Analisi normativa	9
3.1 D.M. 16 maggio 1987 n. 246.....	10
3.2 D.M. 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi, edizione 7 luglio 2022	12
3.2.1 S1 – Reazione al fuoco.....	13
3.2.2 S2 – Resistenza al fuoco.....	13
3.2.3 S3 – Compartimentazione	14
3.2.4 S4 – Esodo.....	16
3.2.5 S5 – Gestione della sicurezza.....	18
3.2.6 S6 – Controllo dell’incendio	19
3.2.7 S7 – Rilevazione ed allarme.....	19
3.2.8 S8 – Controllo di fumi e calore	19
3.2.9 S9 – Operatività antincendio	20
3.2.10 S10 – Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio	20
3.3 Confronto normativa.....	20
3.4 Scelta normativa	22
4 Sommario tecnico – Analisi preliminare.....	25
4.1 Definizione del progetto	25
4.1.1 Destinazione d’uso e descrizione dell’attività.....	25
4.1.2 Vincoli progettuali.....	25
4.1.3 Pericoli di incendio connessi con la destinazione d’uso prevista.....	26
4.2 Obiettivi della sicurezza antincendio.....	26
4.3 Definizione delle soglie di prestazione.....	27
4.4 Stima della curva RHR.....	28
4.5 Individuazione degli scenari di progetto	29
4.5.1 Focolaio predefinito	29
4.5.2 Focolaio divano	31
4.5.3 Focolaio monitor del computer	33
4.5.4 Focolaio scenario di progetto	35
5 Relazione tecnica – Analisi quantitativa	36
5.1 Strategia adottata	36
5.2 Condizioni al contorno	36

5.3	Modelli di calcolo	37
5.3.1	Modello geometrico	37
5.3.2	Modello numerico	38
5.3.3	Sistema combinato – UNI EN 12101-13:2022	42
5.3.4	Modello di simulazione dell'esodo	47
5.3.5	Risultati	53
6	Scala	54
6.1.1	Individuazione del focolare	54
6.1.2	Condizione esistente.....	55
6.1.3	Tempo di rilevazione.....	58
6.1.4	Sistema doppio	59
6.1.5	Curva RHR.....	63
6.1.6	Determinazione di ASET	64
6.1.7	Occupanti	73
6.1.8	Determinazione di RSET	75
6.1.9	Verifiche normative.....	79
7	Requisiti aggiuntivi sulla gestione della sicurezza antincendio	81
7.1	Compiti e funzioni	81
7.2	Misure preventive	81
7.3	Pianificazione d'emergenza.....	81
7.4	Sistema di sovrappressione (PDS).....	82
8	Conclusioni.....	84
9	Bibliografia.....	85
10	Indice delle Figure.....	86
11	Indici dei Grafici	86
12	Indice dei Riferimenti normativi	87
13	Indice della Tabelle	87

1 Introduzione

Lo studio della prevenzione incendi analizza la salvaguardia della vita umana, la tutela dei beni e la progettazione dell'ambiente. Nel caso studio si analizzano sia la gestione dell'esodo degli occupanti sia le caratteristiche di contorno legate all'ambiente per poter effettuare uno studio completo del fenomeno incendio.

Negli ultimi anni, in Italia, l'utilizzo della Fire Safety Engineering sta diventando sempre più diffuso nei progetti. Questo è dovuto all'introduzione di decreti ministeriali che specificano in modo chiaro come applicare la FSE e alla disponibilità di modelli avanzati per la simulazione fluidodinamica. Tale approccio permette di valutare e verificare in modo preciso l'efficacia delle soluzioni proposte. Il valore aggiunto di adottare questa metodologia di progettazione risiede nella capacità di sviluppare un sistema dettagliato su misura per l'edificio in questione.

L'edificio è costituito da tre blocchi, aventi ognuno più di un corpo scale, e da un'autorimessa interrata privata comune con locale tecnico annesso. La scala condominiale analizzata è situata a Torino in via Ala di Stura, n. 60, caratterizzata da un'altezza antincendio superiore a 32 m, rientrando così nella categoria di edificio a grande altezza.

Si riscontra che l'attività è soggetta, secondo la definizione del D.P.R. 151/2011, e normata, in quanto dotata di una regola tecnica verticale specifica. In particolare, sono presenti due norme tecniche verticali vigenti, il D.M. 16 maggio 1987 n. 246 e la RTV14 del D.M. 19 maggio 2022 "Codice di Prevenzione Incendi". A luglio 2022 è entrata in vigore la nuova versione del Codice con la RTV 14 relativa agli edifici di civile abitazione.

La grande differenza tra i due approcci, rispettivamente prescrittivo e semi prescrittivo, è nella valutazione del rischio: secondo il primo metodo è effettuata direttamente dal legislatore; il Codice prevede invece che sia eseguita dal progettista in funzione delle caratteristiche dell'attività da analizzare, avendo quindi una progettazione specifica per il singolo progetto.

In entrambe le normative è richiesto che il vano scala sia a prova di fumo; questa caratteristica non è attualmente rispettata e non può esserlo effettuando modifiche geometriche, per esempio realizzando una lobby a ogni piano, in quanto lo spazio disponibile non lo consente.

È inoltre presente un'unica via di esodo verticale, il vano scala condominiale, ma superando i 24 m di altezza il Codice ne prevede due che permettano l'esodo in sicurezza.

Per scegliere la normativa da applicare più idonea si effettua uno studio dettagliato di entrambe, analizzando se sia più conveniente procedere in soluzione alternativa o in deroga. Tra le due possibilità solitamente si predilige la soluzione alternativa in quanto ha un processo di verifica meno lungo e oneroso rispetto alla deroga.

Per rendere il vano scala a prova di fumo, si progetta un sistema doppio che lo metta in sovrappressione affinché il fumo e gli altri prodotti della combustione non penetrino al suo interno, verificandolo con la Fire Safety Engineering.

2 Caratterizzazione del caso studio

Il complesso residenziale oggetto di studio è situato a Torino, in Borgo Vittoria, nei pressi di corso Grosseto. È costituito da sei scale condominiali, quella oggetto di studio è in via Ala di Stura, 60.



Figura 1: Inquadramento geografico lotto d'interesse (Google Maps)



Figura 2: Scala condominiale via Ala di Stura, 60 (Google Maps)

Questa scala condominiale ha la peculiarità di essere dotata di una sola via di esodo verticale con altezza antincendio superiore a 32 m, misurata come distanza tra la quota del piano di riferimento, livello stradale, fino al punto più alto di accesso dei VV.F., in questo caso il davanzale delle finestre del decimo piano.

La Scala è caratterizzata dalla presenza di dieci piani in elevazione più un sottotetto; il piano terra è suddiviso in parte ad uso commerciale, a sinistra; mentre la restante parte è l'area comune d'ingresso al condominio.

Dal primo piano fino al nono sono presenti due appartamenti per piano, come indicati nella planimetria seguente, aventi una superficie commerciale di circa:

- Appartamento1 = circa 71 m²;
- Appartamento2 = circa 66 m².

All'ultimo piano gli alloggi sono dei duplex, con collegamento interno all'appartamento, arrivando quindi ad avere:

- Appartamento3 – decimo piano = circa 100 m²;
- Appartamento4 – decimo piano = circa 95 m².

Si riportano di seguito le planimetrie del piano terra, del piano tipo e del decimo della scala affinché sia più comprensibile la geometria del caso studio.

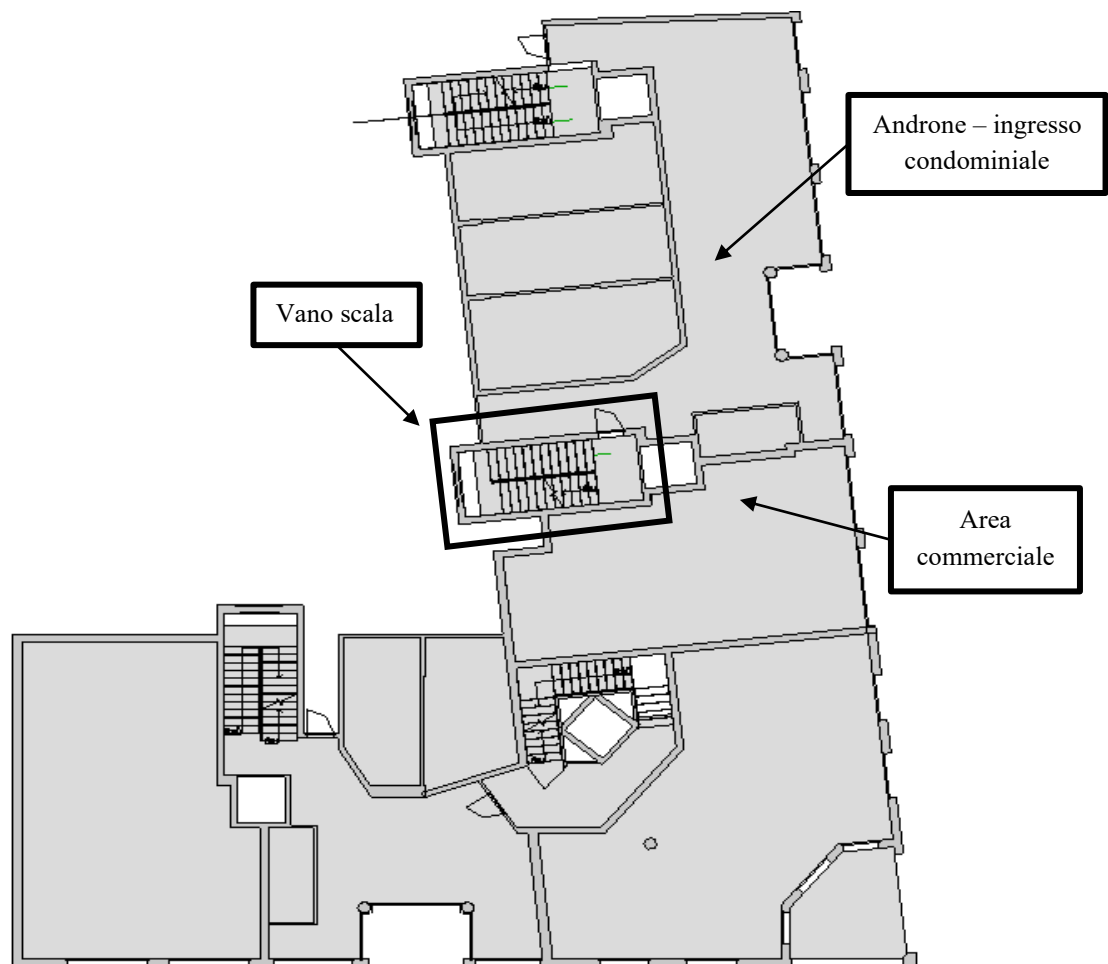


Figura 3: Planimetria PT

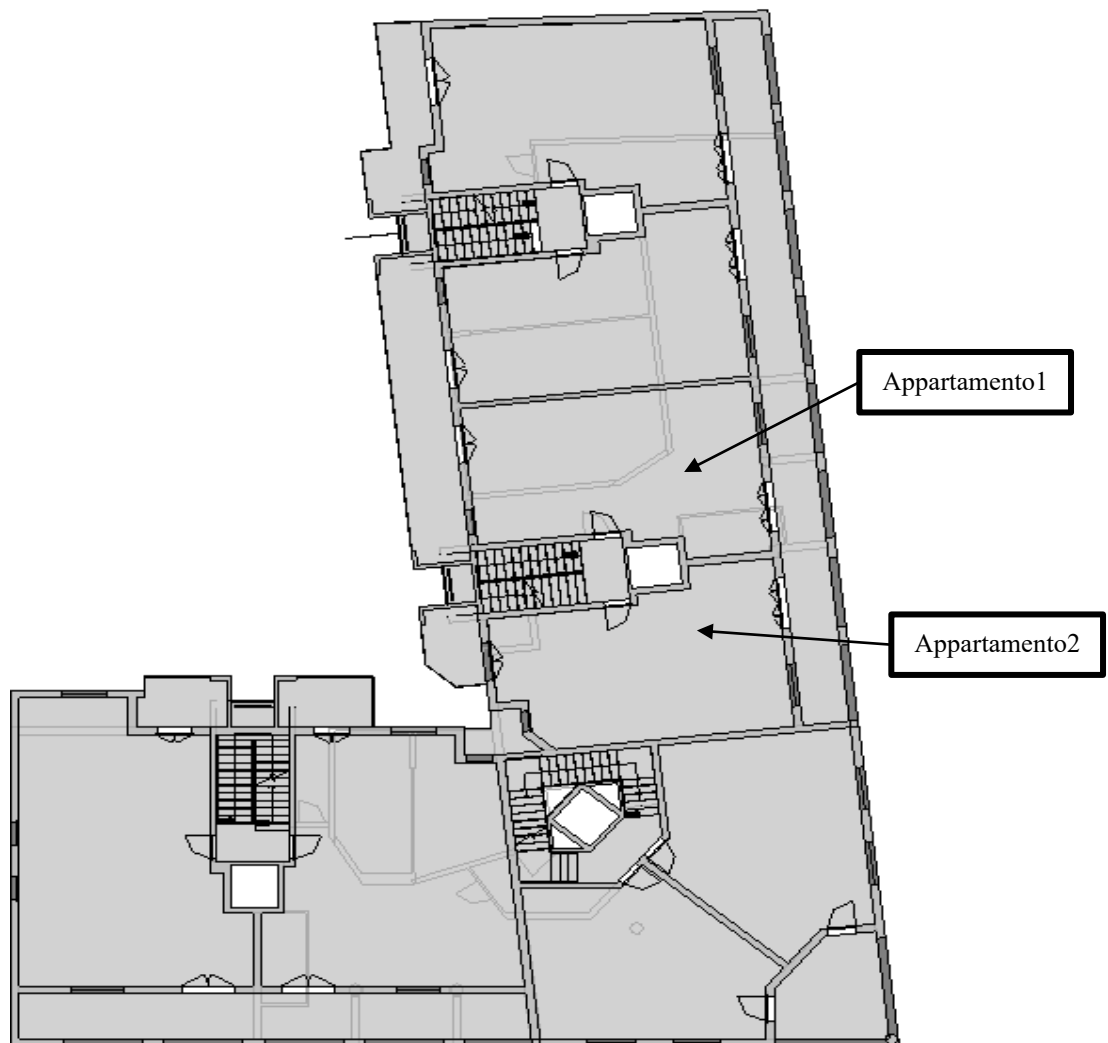


Figura 4: Planimetria piano tipo

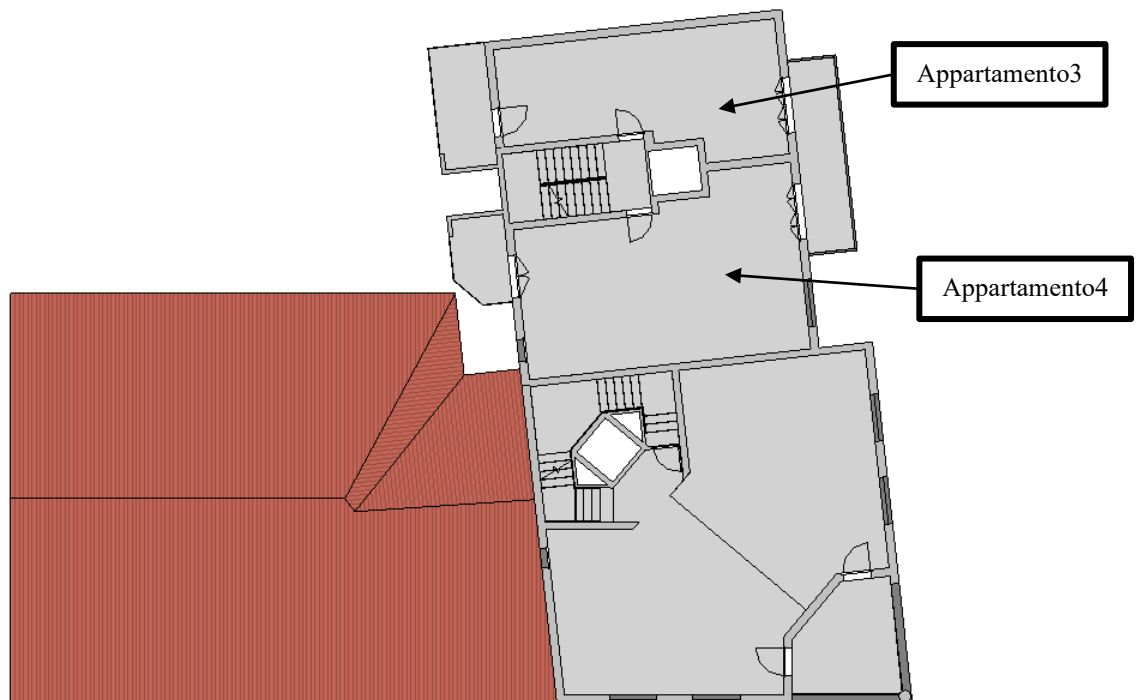


Figura 5: Planimetria decimo piano – appartamenti duplex

3 Analisi normativa

L'inizio della prevenzione incendi in Italia risale al 27 febbraio 1939 con la nascita del Corpo Nazionale dei Vigili del fuoco (indicato di seguito come VV.F.), inizialmente era organizzato secondo dei comandi provinciali autonomi; è necessario attendere fino al 1982 affinché vengano introdotte le prime definizioni di "Prevenzione incendi", con l'obiettivo della salvaguardia della vita umana, della tutela dei beni e dell'ambiente.

Nel 1983 aumenta l'attenzione verso la materia, comprendendone l'importanza già in fase progettuale a causa del tragico scoppio di un incendio all'interno del Cinema Statuto di Torino il 13 febbraio nel quale morirono 64 persone prevalentemente a causa dell'inalazione dei prodotti della combustione, nonostante fosse a norma secondo le leggi all'epoca vigenti. Dopo questa tragedia fu emanata la legge 818 con la quale nacque la figura del professionista antincendio, un tecnico qualificato a svolgere la progettazione antincendio; si introdusse inoltre la necessità per ogni attività di essere dotata del C.P.I. (Certificato di Prevenzione Incendi) o del N.O.P. (Nulla Osta Provvisorio), rilasciato alle attività momentaneamente sprovviste del C.P.I.

Sono state emesse negli anni alcune norme, definite regole tecniche verticali (RTV), relative ad attività con esigenze specifiche per poter effettuare una prevenzione più idonea. Il D.P.R. 151/2011 definisce un iter procedurale differente a seconda della complessità del progetto, individuando tre categorie di attività: A, le più semplici; B, quelle con complessità media; e C, quelle molto complesse. All'aumentare della complessità è previsto un controllo maggiore da parte dei VV.F., per le categorie B e C c'è la consegna del progetto di prevenzione incendi al comando provinciale e, per la categoria C, anche l'esecuzione di un sopralluogo obbligatorio da parte del comando.

L'approccio delle normative emanate fino al 2015 è prescrittivo, ovvero veniva effettuata l'analisi del rischio direttamente dal legislatore che redigeva la norma, risultando quindi non specifica dell'attività oggetto di studio; il progettista doveva quindi solamente applicare le prescrizioni presenti. Con il D.M. 3 agosto 2015 "Codice di Prevenzione Incendi" cambia l'approccio del progettista nei confronti del progetto risultando prestazionale, in primis svolgendo lui l'analisi del rischio per ogni progetto svolto. Questo approccio permette di studiare molteplici attività con la stessa norma caratterizzandole in funzione del R_{vita} , del carico d'incendio e dell'affollamento.

La norma di prevenzione incendi da applicare per un'attività varia a seconda che risulti soggetta o meno, e normata o meno. Un'attività è soggetta quando rientra nell'elenco delle attività del D.P.R. 151/2011.

Il Codice di prevenzione incendi si può applicare alle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi. Esso è costituito da Regole Tecniche Orizzontali RTO e verticali RTV. Per la maggior parte delle attività normate, ovvero per quelle attività per cui è presente una RTV, è previsto il regime del doppio binario. Per tali attività, oltre alla "norma tradizionale", ovvero le RTV ante Codice, è infatti presente una regola tecnica RTV all'interno del Codice di Prevenzione Incendi.

In questo caso è necessario scegliere quale normativa applicare, come per il caso studio riportato nella presente tesi.

Per le attività non soggette e non normate si applicava il D.M. 10 marzo 1998, sostituito nel 2021 con tre decreti, “Decreto Controlli”, “Decreto GSA” e “Decreto Mini-Codice”, redatti con un approccio simile al Codice.

Il caso oggetto di studio rientra tra le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi e normate, per la quale è previsto il regime del doppio binario. Nel D.P.R. 151/2011 è classificata come 77.2.B avendo un'altezza antincendio superiore a 32 m.

N.	ATTIVITA'	CATEGORIA		
		A	B	C
77	Edifici destinati ad uso civile con altezza antincendio superiore a 24 m	fino a 32 m	oltre 32 m e fino a 54 m	oltre 54 m

Riferimento normativo 1: Attività normativa (D.P.R. 151/2011)

Per gli edifici di grande altezza si possono applicare due differenti normative vigenti, il D.M. 246 maggio 1987 e il D.M. 19 maggio 2022 RTV 14 “Edifici di civile abitazione”.

Si procede quindi l'applicazione di entrambe le normative per individuare l'applicazione più vantaggiosa, sia progettuualmente sia economicamente.

3.1 D.M. 16 maggio 1987 n. 246

Questa normativa è stata redatta nel 1987 per analizzare in maniera specifica gli edifici di civile abitazione di grande altezza. È il primo decreto che norma gli edifici con altezza antincendio, uguale o superiore a 12 m, utilizzando un approccio prescrittivo. L'altezza antincendio considerata è misurata dal piano di arrivo dei VV.F., in questo caso quello stradale, fino al punto di accesso più alto di arrivo con l'autoscala.

Si classifica l'edificio con il Tipo in funzione dell'altezza antincendio assegnandogli delle caratteristiche da adempiere, come la massima superficie del compartimento, la tipologia di vano scala necessaria e la resistenza al fuoco (REI) dei vani scala e dell'ascensore (Riferimento normativo 2). Il caso studio rientra nel tipo C di edificio, con altezza antincendio tra 32 e 54 m; deve avere una superficie massima di compartimento di 500 m², il vano scale deve essere a prova di fumo con caratteristiche di resistenza al fuoco REI 90.

La resistenza al fuoco del caso studio non è nota in quanto l'edificio è esistente e non sono presenti certificazioni sui materiali utilizzati per la struttura portate; è necessaria la collaborazione con un ingegnere strutturista affinché si verifichi, tramite prove sperimentali, che il copriferro esistente sia sufficiente per definire il vano scala REI 90.

Tipo di edificio	Altezza antincendi	Massima superficie del compartimento (m ²)	Massima superficie di competenza di ogni scala per ogni piano	Tipo dei vani scala e di almeno un vano ascensore	Caratteristica REI del vano scala e ascensore, filtri, porta, elementi di suddivisione tra i compartimenti.
a	Da 12 m a 24 m	8.000	500	Nessuna prescrizione	60 (**)
			500	Almeno protetto se non sono osservati i requisiti del punto 2.2.1	60
			550	Almeno a prova di fumo interno	60
			600	A prova di fumo	60
b	Da oltre 24 m a 32 m	6.000	500	Nessuna prescrizione	60 (**)
			500	Almeno a prova di fumo interno se non sono osservati i requisiti del punto 2.2.1	60
			550	Almeno a prova di fumo interno	60
			600	A prova di fumo	60
c	Da oltre 32 m a 54 m	5.000	500	Almeno a prova di fumo interno	90
d	Da oltre 54 m a 80 m	4.000	500	Almeno a prova di fumo interno con filtro avente camino di ventilazione di sezione non inferiore a 0,36 m ²	90
e	Oltre 80 m	2.000	350 (*)	Almeno a prova di fumo interno con filtro avente camino di ventilazione di sezione non inferiore a 0,36 m ²	120

Riferimento normativo 2: TABELLA A (D.M. 246 16 maggio 1987)

Il vano scala analizzato non rispetta la tipologia richiesta, in quanto si prevede la presenza di filtri a prova di fumo, che risultano invece assenti e non possono essere realizzati come lobby ai piani a causa della geometria del vano.

Il D.M. 246 riporta inoltre la massima superficie del compartimento, anche nel caso in cui sia multipiano, e della superficie di massima pertinenza della scala (Riferimento normativo 2).

COMPARTIMENTAZIONE		
Tipologia	Superficie [m ²]	Verificata
Multipiano appartamenti	1181	Si, minore 5 000 m ²
Multipiano vani scale e ascensore	75,6	Si, minore 5 000 m ²

Tabella 1: D.M. 246 - Compartimentazione

SUPERFICIE DI PERTINENZA DELLA SCALA PER PIANO		
Piano	Superficie [m ²]	Verificata
Piano tipo	118,1	Si, minore 500 m ²

Tabella 2: D.M. 246 - Superficie di pertinenza della scala per piano

Successivamente si procede con l'analisi dell'accesso all'area da parte dei VV.F., individuando la tipologia di scale, l'accostamento dell'autoscala e la compartimentazione. Conoscendo il tipo di edificio è nota l'altezza antincendio da raggiungere e l'accostamento diminuirà in funzione dell'aumentare dell'altezza individuando una pendenza maggiore.

Per il caso studio si escludono le indicazioni riguardanti gli impianti elettrici e quelli di produzione del calore.

Nell'ultima sezione della norma è riportata la prescrizione che permette di andare in deroga per ogni aspetto precedentemente indicato. Non rispettando la richiesta del vano a prova di fumo si dovrebbe procedere con una richiesta di deroga su tale punto, verificando la modifica progettuale con l'applicazione della Fire Safety Engineering.

3.2 D.M. 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi, edizione 7 luglio 2022

Il D.M. 3 agosto 2015 è stato introdotto per semplificare e razionalizzare il corpo normativo della Prevenzione incendi; questo testo unico ha un nuovo approccio metodologico, più simile agli standard europei ed internazionali. È un approccio semi prescrittivo, ovvero l'analisi del rischio la effettua il progettista all'inizio dell'iter normativo, rendendola specifica dell'edificio in analisi. La progettazione antincendio è peculiare del caso studio in quanto tutte le scelte effettuate sono in funzione di caratteristiche geometriche e del rischio incendio dell'attività.

È costituito dalle regole tecniche orizzontali (RTO) applicabili per tutte le attività soggette e dalle regole tecniche verticali (RTV) relative a quattordici attività.

Il Codice di prevenzione incendi è suddiviso in quattro sezioni:

- G – Generalità: contiene i principi della progettazione della sicurezza antincendio, costituiscono una parte delle RTO;
- S – Strategie antincendio: riporta dieci misure antincendio con l'obiettivo di ridurre il rischio incendio; costituiscono una parte delle RTO. Analizzano dieci aspetti fondamentali per la progettazione antincendio, sia relativi all'edificio sia all'occupante;
- V – Regole tecniche verticali: forniscono indicazioni relative a quattordici attività, nel caso studio si applica la RTV 14, entrata in vigore a luglio 2022 con il D.M. 19 maggio 2022, è relativa agli edifici di civile abitazione;
- M – Metodi: sono metodologie di progettazione antincendio innovative ed alternative applicate solamente nei casi in cui non si possa procedere con la soluzione conforme, dimostrando con l'utilizzo della FSE una soluzione alternativa o una deroga.

Il primo punto della sezione G è l'analisi del rischio che permette di determinare i profili:

- R_{vita} dell'edificio = Ci^2 . È determinato in funzione della condizione in cui si trovano gli occupanti al suo interno, per esempio se sono dormienti o svegli, se sono conoscitori del posto o no, e dalla velocità di sviluppo dell'incendio in funzione della tipologia dei materiali presenti. Nel caso studio sono dormienti e conoscitori del posto;
- $R_{beni} = 1$, è relativo alla salvaguardia dei beni economici; l'attività in esame non è né strategica né vincolata;
- $R_{ambiente} =$ non significativo, è relativo alla tutela dell'ambiente.

Proseguendo con la RTV 14, si analizza se essa riporti delle indicazioni specifiche per alcune strategie antincendio. Successivamente si procede con l'individuazione del criterio di attribuzione e del livello di prestazione per ogni strategia, considerando anche le prescrizioni della norma tecnica verticale. La RTV ha una valenza maggiore rispetto alla RTO, quindi

qualora siano presenti prescrizioni contrastanti al loro interno, si deve procedere applicando quelle della regola tecnica verticale, in quanto essa risulta specifica della tipologia edilizia.

Si riporta di seguito l’analisi delle varie strategie, individuando per ognuna di esse le prescrizioni della RTV 14, il livello di prestazione, il criterio di attribuzione e se la soluzione applicata per quella strategia è conforme o alternativa.

Le strategie si suddividono in funzione della classe di protezione:

- Attiva, quando si aziona/utilizza nel momento in cui si innesca un incendio (per esempio S6 - Controllo dell’incendio);
- Passiva, quando è relativa a caratteristiche della struttura e come interagisce per il contenimento dell’incendio (per esempio S1 - Reazione al fuoco).

3.2.1 S1 – Reazione al fuoco

È una misura di protezione passiva, riferita al comportamento dei materiali presenti con il fuoco, ovvero quanto essi partecipano a un incendio. Questa strategia è molto importante soprattutto per lo studio dei materiali utilizzati lungo le vie di esodo e nei luoghi sicuri, in quanto non devono partecipare all’incendio.

S1 – REAZIONE AL FUOCO	
Tipologia di protezione	Passiva
Livello di prestazione	I - Il contributo all’incendio dei materiali non è valutato
Criterio di attribuzione	I - Vie d’esodo [1] non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
RTV 14	Materiali GM2
Soluzione progettuale	Conforme

Tabella 3: S1 - Reazione al fuoco

3.2.2 S2 – Resistenza al fuoco

La resistenza al fuoco verifica la “capacità portante delle strutture in condizioni di incendio nonché la capacità di compartimentazione, per un tempo minimo necessario al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza di prevenzione incendi.”¹

S2 – RESISTENZA AL FUOCO	
Tipologia di protezione	Passiva
Livello di prestazione	III - Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la durata dell’incendio
Criterio di attribuzione	III - Opere da costruzione non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
RTV 14	RE/REI 60
Soluzione progettuale	Conforme

Tabella 4: S2 - Resistenza al fuoco

Questa strategia riporta il calcolo del carico d’incendio, necessario insieme al R_{vita} , per individuare il criterio di prestazione delle strategie seguenti.

¹ Ministero dell’Interno – D.M. 3 agosto 2015 “Codice di prevenzione incendi”, aggiornamento D.M. 19/05/2022

Carico d'incendio

Il carico d'incendio è “*il potenziale termico netto della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio.*”² Si determina per individuare la classe di resistenza di un elemento. Per calcolarlo si parte del carico d'incendio specifico, q_d , differente in funzione della tipologia di edilizia presente, applicando successivamente la formula seguente:

$$q_f = \delta_{q1} * \delta_{q2} * \delta_n * q_d \quad [MJ/m^2]$$

dove:

q_f = è il carico d'incendio specifico di progetto [MJ/m^2];

δ_{q1} = è il fattore che lega il rischio d'incendio e la dimensione del compartimento [-];

δ_{q2} = è il fattore che lega il rischio d'incendio e il tipo di attività svolta nel compartimento [-];

δ_n = è il fattore che considera le varie misure antincendio del compartimento, è calcolato come la sommatoria dei singoli fattori relativi a ogni misura adottata [-];

q_d = è il carico d'incendio nominale specifico, ottenuto dal valor medio per le civili abitazioni (Codice – Tab S.2-10) [MJ/m^2].

CARICO D'INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO						
Compartimento	q_d [MJ/m^2]	Area [m^2]	δ_{q1} [-]	δ_{q2} [-]	δ_n [-]	q_f [MJ/m^2]
Scala_C01	780,00	71,10	1,00	1,00	0,90	702,00
Scala_C02	780,00	331,22	1,00	1,00	0,90	702,00
Scala_C03	780,00	236,20	1,00	1,00	0,90	702,00
Scala_C04	780,00	236,20	1,00	1,00	0,90	702,00
Scala_C05	780,00	236,20	1,00	1,00	0,90	702,00
Scala_C06	780,00	118,10	1,00	1,00	0,90	702,00
Scala_C07 (ultimo + sottotetto)	780,00	236,20	1,00	1,00	0,90	702,00
Scala_C08 (vani scale + ascensore)	780,00	225,95	1,00	0,80	0,90	561,60
Scala - Carico d'incendio più gravoso						702,00

Tabella 5: S2 - Carico d'incendio

In funzione del carico d'incendio massimo di uno dei compartimenti, si determina la resistenza RE/REI 60, avendo $q_f \leq 900 MJ/m^2$, confermando quindi la richiesta prevista nella RTV 14 (Codice - Tab S.2-3).

3.2.3 S3 – Compartimentazione

L'edificio analizzato viene suddiviso in compartimenti per ridurre la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti verso parti di essa o altre attività. Esistono due tipologie di compartimenti, orizzontali o verticali. La compartimentazione più conveniente varia a seconda del progetto e delle sue caratteristiche geometriche e strutturali, in particolare nel caso di edifici esistenti.

Si isola il compartimento tramite l'ausilio di porte e partizioni orizzontali e verticali RE/REI che rendano quell'ambiente senza comunicazioni verso l'esterno, prestando particolare attenzione agli impianti e alle tubazioni che attraversano i muri.

² Ministero dell'Interno – D.M. 3 agosto 2015 “Codice di prevenzione incendi”, aggiornamento D.M. 19/05/2022

S3 - COMPARTIMENTAZIONE	
Tipologia di protezione	Passiva
Livello di prestazione	II - È contrastata per un periodo congruo con la durata dell'incendio: la propagazione dell'incendio verso altre attività; la propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività dell'incendio
Criterio di attribuzione	II - Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
RTV 14	Ammesso compartimento multipiano per piani con quota compresa tra -5 m 12 m Ammesso anche tra 12 e 32 ma con massimo dislivello fra i piani pari a 7 m Prevedere rivelazione automatica estesa ad ambiti dell'attività
Soluzione progettuale	Conforme

Tabella 6: S3 - Compartimentazione

Le aree commerciali al piano terra sono compartimentate separatamente dall'atrio, affinché siano tenuti separati i locali con attività commerciale dal residenziale. Si prevede una compartimentazione orizzontale multipiano per gli appartamenti, rispettando sempre i 7 m di altezza massima del compartimento richiesti dalla RTV 14, una volta superati i 24 m di altezza. Questa compartimentazione impone che i solai che separano due compartimenti devono essere REI 60. Non sono attualmente certificati, risultando quindi necessario verificarli o prevedere dei controsoffitti REI 60 all'intradosso del solaio, creando un disagio agli occupanti. Il vano scale e quello ascensore sono compartimentati insieme, questo necessita che le porte degli appartamenti vengano sostituite con porte REI 60.

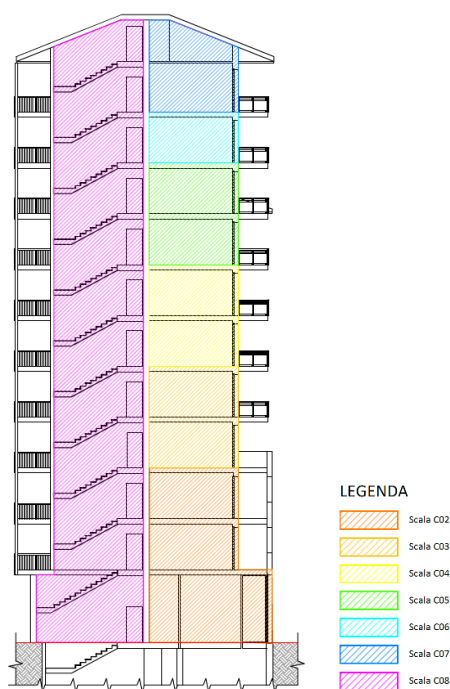


Figura 6: Scala - Compartimenti

COMPARTIMENTI MULTIPIANI ANTINCENDIO		
Nome	Descrizione	Area [m ²]
Scala - via Ala di Stura, 60		
Scala_C01	Area commerciale piano terra	71,10
Scala_C02	Atrio PT + P1 + P2	331,22
Scala_C03	P3 + P4	236,20
Scala_C04	P5 + P6	236,20
Scala_C05	P7 + P8	236,20

Scala_C06	P9	118,10
Scala_C07	P10 + sottotetto	236,20
Scala_C08	Vani scale e ascensore	225,95

Tabella 7: S3 - Compartimenti multipiano

Distanza di separazione

La distanza di separazione è la distanza da rispettare tra l'edificio in esame e quelli limitrofi affinché un eventuale incendio non si propaghi. Questa distanza è verificata solo sui lati Est e Sud dell'edificio, in quanto gli altri lati sono contigue ad altre scale condominiali del complesso residenziale. Si calcola in funzione della superficie degli elementi radianti (porte e finestre) e delle piastre radianti, comprendenti anche le chiusure verticali opache situate tra di esse.

DISTANZA DI SEPARAZIONE								
Scala	p_1	α_1	β_1	d_1 [m]	p_2	α_2	β_2	d_2 [m]
Scala – lato Est	0,48	3,50	2,48	0,80	0,30	7,00	0,20	2,32
Scala – lato Sud	0,30	7,00	2,33	0,20	-			

Tabella 8: S3 - Distanza di separazione

3.2.4 S4 – Esodo

La strategia S4 analizza il sistema di esodo assicurandosi che gli occupanti dell'attività raggiungano un luogo sicuro, in maniera autonoma o con assistenza, prima che insorgano delle condizioni incapacitanti.

S4 - ESODO	
Tipologia di protezione	Passiva
Livello di prestazione	I - Gli occupanti raggiungono un luogo sicuro prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività attraversati durante l'esodo
Criterio di attribuzione	I - Tutte le attività
RTV 14	Due vie di esodo indipendenti Scala a prova di fumo È ammesso omettere dalla verifica delle condizioni di corridoio cieco la porzione di corridoio cieco continua e finale, avente caratteristica di filtro e massima lunghezza omessa pari a 135 m
Soluzione progettuale	Alternativa

Tabella 9: S4 – Esodo

All'interno della RTV 14 vengono riportate tre condizioni necessarie affinché si possa procedere con la soluzione conforme. Due di esse non sono rispettate, ovvero le due vie di esodo indipendenti e la scala a prova di fumo, risultando quindi necessario procedere con la soluzione alternativa.

Densità di affollamento

La densità di affollamento si calcola per individuare qual è il numero massimo di persone presenti, in funzione della densità prevista per un edificio di civile abitazione, 0,05 persona/m².

DENSITÀ DI AFFOLLAMENTO		
Densità per civile abitazione [persone/m ²]		0,05
Compartimento	Area [m ²]	Persone [-]
Scala_C02	247,34	12
Scala_C03	236,20	12

Scala_C04	236,20	12
Scala_C05	236,20	12
Scala_C06	118,10	6
Scala_C07	236,20	12
Scala - Affollamento complessivo		66

Tabella 10: S4 - Densità di affollamento

Lunghezza delle vie d'esodo verticali

All'interno della RTV 14 viene riportata la seguente specifica riguardo alla lunghezza del corridoio cieco: "oltre a quanto previsto al capitolo S.4, è ammesso omettere dalla verifica delle condizioni di corridoio cieco la porzione di corridoio cieco continua e finale, avente caratteristiche di filtro e massima lunghezza omessa L_{om} pari a 135 m".³ Nel caso studio la lunghezza del corridoio cieco coincide con la lunghezza delle vie di esodo verticali, si è quindi verificato che quest'ultime siano minori rispetto a 135 m.

LUNGHEZZA DELLE VIE DI ESODO VERTICALI	
Compartimento	Lunghezza max [m]
Scala	84,70

Tabella 11: S4 - Lunghezza delle vie di esodo verticali

Larghezza minima delle vie esodo verticali

Il Codice di prevenzione incendi indica un valore minimo della larghezza delle vie di esodo in funzione del numero di persone e della larghezza unitaria, in funzione del R_{vita} dell'attività.

$$L_V = L_U * n_V \quad [mm]$$

dove:

L_V = larghezza minima della via di esodo verticale [mm];

L_U = larghezza unitaria definita in funzione del R_{vita} (Codice – Tab S.4-29) [mm/persona];

n_V = numero complessivo degli occupanti che usano quella vita di esodo [persona].

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

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

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

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

[1] Per occupanti prevalentemente in piedi e densità d'affollamento > 0,7 p/m².

Riferimento normativo 3: Tabella S.4-29: Larghezze unitarie per vie di esodo verticali (D.M. 08/ 2015)

³ Ministero dell'Interno – D.M. 3 agosto 2015 "Codice di prevenzione incendi", aggiornamento D.M. 19/05/2022

Alzata gradini	Pedata gradini		
	$p \geq 30$ cm	$25 \text{ cm} \leq p < 30$ cm	$22 \text{ cm} \leq p < 25$ cm
$a \leq 17$ cm	0%	+10%	+25% [1]
$17 \text{ cm} < a \leq 18$ cm	+5%	+15%	+50% [1]
$18 \text{ cm} < a \leq 19$ cm	+15%	+25%	+100% [1]
$19 \text{ cm} < a \leq 22$ cm	+25% [1]	+100% [1]	+200% [1]

Non sono ammessi gradini con pedata < 22 cm o alzata > 22 cm, salvo da locali ove vi sia esclusiva presenza di personale specificatamente formato, oppure occasionale e di breve durata di un numero limitato di occupanti. Sono ammessi gradini a ventaglio; pedata ed alzata sono misurate a 300 mm dal lato interno della scala. [1] Queste combinazioni sono ammesse solo a seguito di specifica valutazione del rischio.

Riferimento normativo 4: Tabella S.4-30: Incremento larghezza unitaria delle scale d'esodo in relazione ai gradini (D.M. 08/2015)

LARGHEZZA MINIMA DELLE VIE DI ESODO VERTICALI				
Scala	L_U [mm]	n_V [-]	L_V [mm]	$L_{\text{effettiva}}$ [mm]
Scala	2,26	65	133,19	1200,00

Tabella 12: S4 - Larghezza minima delle vie di esodo verticali

La larghezza minima effettiva è nettamente maggiore della massima prevista, in quanto il numero di persone presenti non è elevato. È inoltre maggiore ai 900 mm previsti all'interno della strategia, in funzione del R_{vita} .

3.2.5 S5 – Gestione della sicurezza

La gestione della sicurezza antincendio (GSA) analizza la gestione e l'organizzazione del livello di sicurezza in caso di incendio. All'interno della RTV14 sono riportate alcune specifiche riguardo al ruolo del responsabile dell'attività, delle misure preventive e della pianificazione dell'emergenza.

S5 – GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO	
Tipologia di protezione	Attiva
Livello di prestazione	-
Criterio di attribuzione	-
RTV 14	Devono essere adottate almeno le misure indicate nel paragrafo V.14.4.5, in sostituzione delle soluzioni conformi previste al capitolo S.5 per tutti i livelli di prestazione
Soluzione progettuale	Conforme

Tabella 13: S5 - Gestione della sicurezza antincendio

3.2.6 S6 – Controllo dell'incendio

La strategia S6 analizza la tipologia di presidi antincendio necessari per proteggere l'attività; ne esistono di varie tipologie:

- automatici o manuali;
- per l'estinzione completa dell'incendio;
- per la protezione quand'è presente un principio d'incendio.

S6 – CONTROLLO DELL'INCENDIO	
Tipologia di protezione	Attiva
Livello di prestazione	III - Controllo o estinzione manuale dell'incendio
Criterio di attribuzione	-
RTV 14	Livello di prestazione III Coperte antincendio, oltre agli estintori
Soluzione progettuale	Conforme

Tabella 14: S6 - Controllo dell'incendio

3.2.7 S7 – Rilevazione ed allarme

La rilevazione ed allarme analizza gli impianti IRAI (Impianti di rilevazione incendio e segnalazione allarme incendi), aventi due fini differenti:

- attivare le misure protettive (impianti di controllo ed estinzione);
- attivare le misure gestionali (procedure di emergenza ed esodo).

Questa strategia viene definita direttamente all'interno della RTV 14, in funzione della classificazione dell'edificio, dell'altezza e dell'attività svolta nei singoli compartimenti.

S7 – RILEVAZIONE ED ALLARME	
Tipologia di protezione	Attiva
Livello di prestazione	II - Rivelazione manuale dell'incendio mediante sorveglianza degli ambiti da parte degli occupanti dell'attività e conseguente diffusione dell'allarme
Criterio di attribuzione	-
RTV 14	Livello di prestazione II
Soluzione progettuale	Conforme

Tabella 15: S7 - Rilevazione ed allarme

3.2.8 S8 – Controllo di fumi e calore

Il controllo di fumi e calore prevede l'installazione di presidi antincendio per controllare l'evacuazione o lo smaltimento dei prodotti della combustione in caso d'incendio.

S8 – CONTROLLO DI FUMI E CALORE	
Tipologia di protezione	Attiva
Livello di prestazione	II - Deve essere possibile smaltire fumi e calore dell'incendio dai compartimenti al fine di facilitare le operazioni delle squadre di soccorso
Criterio di attribuzione	II - Compartimento non ricompreso negli altri criteri di attribuzione
RTV 14	-
Soluzione progettuale	Conforme

Tabella 16: S8 - Controllo di fumi e calore

3.2.9 S9 – Operatività antincendio

Questa strategia riporta le indicazioni necessarie per l'intervento dei Vigili del fuoco.

S9 – OPERATIVITÀ ANTINCENDIO	
Tipologia di protezione	Attiva
Livello di prestazione	III - Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio Pronta disponibilità di agenti estinguenti Possibilità di controllare o arrestare gli impianti tecnologici e di servizio dell'attività, compresi gli impianti di sicurezza
Criterio di attribuzione	III - Opere da costruzione non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
RTV 14	-
Soluzione progettuale	Conforme

Tabella 17: S9 - Operatività antincendio

3.2.10 S10 – Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio

La strategia S10 analizza gli impianti tecnologici e di servizio, tra i quali:

- c. “[...] sollevamento o trasporto di cose e persone [...]];
- d. riscaldamento, [...] le opere di evacuazione dei prodotti della combustione, e di ventilazione ed aerazione dei locali.”⁴

Viene previsto un unico livello di prestazione e criterio di attribuzione per tutte le attività per le quali si applica il Codice di prevenzione incendi. Prevede che gli impianti siano installati, controllati e mantenuti, in conformità alla norma vigente.

S10 – SICUREZZA DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI E DI SERVIZIO	
Tipologia di protezione	Attiva
Livello di prestazione	I - Impianti progettati, realizzati, eserciti e mantenuti in efficienza secondo la regola d'arte, in conformità alla regolamentazione vigente, con requisiti di sicurezza antincendio specifici
Criterio di attribuzione	-
RTV 14	Le canne fumarie devono essere dotate di adeguato isolamento termico o distanza di separazione da elementi combustibili negli attraversamenti al fine di non costituire causa d'incendio
Soluzione progettuale	Conforme

Tabella 18: S10 - Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio

3.3 Confronto normativa

Concluso lo studio separato di entrambe le normative potenzialmente applicabili, si procede con il loro confronto in quanto in entrambe alcune prescrizioni non vengono rispettate; sono riportate in arancione.

Il confronto è suddiviso in Generalità, Classificazione e Strategie, ovvero le prime tre sezioni del Codice di prevenzione incendi; ogni strategia ha il suo aspetto corrispondente nel decreto ministeriale 246. Il Codice ha introdotto alcune verifiche più dettagliate rispetto al D.M. 246, andando quindi ad approfondire alcuni aspetti, tra i quali l'esodo; per questo sono presenti all'interno della tabella alcuni simboli “-” inseriti quando una data peculiarità non ha una specifica nell'altra normativa.

⁴ Ministero dell'Interno – D.M. 3 agosto 2015 “Codice di prevenzione incendi”, aggiornamento D.M. 19/05/2022

CONFRONTO NORMATIVO		
	D.M. 19 maggio 2022 – “Codice di prevenzione incendi, RTV14”	D.M. 16 maggio 1987, n. 246
GENERALITÀ		
h antincendio	32,3 m	
Classificazione	HD (< 54m)	Categoria B (tra 32 e 54 m), tipologia C
Attività	TA - appartamenti	
	TC - vano scale	
CLASSIFICAZIONE		
R _{vita}	Ci2	-
R _{beni}	1	-
R _{amb}	non significativo	-
STRATEGIE		
<u>S1 - Reazione</u>	GM2	Riferimento al D.M. 26 giugno 1984
Vie d'esodo	I	
Locali	I	
<u>S2 - Resistenza</u>	III - RE/REI 60	REI 90
Carico d'incendio q _d	780 MJ/m ²	-
<u>S3 - Compartimentazione</u>		
Compartimento orizzontale	Amnesso - Gli appartamenti del piano sono un compartimento unico	
Compartimento multipiano	Amnesso - Per piani con quota compresa tra -5 m 12 m. Amnesso anche tra 12 e 32 ma con massimo dislivello fra i piani pari a 7 m. Prevedere rivelazione automatica estesa ad ambiti dell'attività (Tab S.3-7)	Amnesso - Superficie massima di pertinenza 5 000 m ²
Scala prova di fumo/filtro prova fumo	Vano scale a prova di fumo	Vano scale a prova di fumo interno
Superficie massima compartimento [m ²]	2 000	5 000
Superficie massima ogni scala	-	500
Distanza di separazione	Verificata	-
<u>S4 - Esodo</u>		
Densità affollamento [persone/m ²]	Civile abitazione 0,05 persona/m ²	-
Comunicazione appartamento - vano scale	-	Filtro a prova di fumo
Numero vie di esodo indip.	2	-
Verifica di ridondanza	Più di una via di esodo verticale o una scala a prova di fumo	-
Tipologia via esodo verticali	Protette se collegano due compartimenti. Le vie di esodo protette devono condurre direttamente (o tramite percorso di esodo protetto) verso luogo sicuro. Ai piani interrati devono essere previste almeno 2 vie di esodo indipendenti (Tab S.4-14)	A prova di fumo
Lunghezza max vie di esodo [m]	≤ 30 m	-
Lunghezza max corridoio cieco [m]	È ammesso omettere dalla verifica delle condizioni di corridoio cieco la porzione di corridoio cieco continua e finale, avente caratteristica di filtro	-

	e massima lunghezza omessa pari a 135 m	
Larghezza minima percorso verticale/scale [m]	$\geq 0,9$ m	1,05 m + pianerottoli di riposo
Larghezza minima percorso orizzontale [m]	$\geq 0,9$ m	-
Larghezza minima complessiva [m]	$\geq 1,8$ m	-
Altezza minima vie esodo [m]	2 m	-
Illuminazione di emergenza	Si	Si
Descrizioni aggiuntive	Scale con il corrimano	-
<u>S5 - GSA</u>		
Pianificazione dell'emergenza	Si, verificare periodicamente	Si, verificare periodicamente
Planimetria dell'emergenza	Si	Si
<u>S6 - Controllo incendio</u>	III	
Misure controllo incendio	Si, nel vano scale	
Estintori	RTV consiglia di installare coperte antincendio ed estintori	-
Idranti	Rete idranti presente per l'intera attività	Rete idranti costituita da almeno una colonna montante in ciascun vano scala, da essa per ogni piano deve derivare un idrante per eventuale collegamento di tubazione flessibile
<u>S7 - Rilevazione e allarme</u>		
Attività TA	-	-
Attività TC	II - IRAI e segnalazione manuale dell'allarme	-
<u>S8 - Controllo fumi e calore</u>		
Attività TA - appartamento	-	-
Attività TC - vano scale	II - Finestre SEFC per smaltimento di fumo e calore di emergenza	In sommità superficie di aerazione non inferiore a 1 m ²
<u>S9 - Operatività antincendio</u>	III - Accostabilità autoscala con h > 12 m, accesso ai piani per soccorritori	Accesso all'area (larghezza 3,50 m)
<u>S10 - Sicurezza impianti</u>	I - Canne fumarie dotate di isolamento termico o distanza di separazione da elementi combustibili negli attraversamenti al fine di non costituire causa d'incendio	-

Tabella 19: Confronto normativo

3.4 Scelta normativa

Il confronto normativo permette sia di individuare gli aspetti non verificati, sia quelli che richiederebbero interventi differenti a seconda della norma applicata, in quanto essi possono comportare modifiche architettoniche e un onere economico aggiuntivo.

Le differenze sostanziali che necessitano modifiche differenti sono relative alla resistenza al fuoco e alla compartimentazione. Le due norme prevedono una differente resistenza al fuoco per le strutture; è da verificare quale sia quella effettiva in quanto la struttura è esistente e non sono presenti delle certificazioni che l'attestino. La compartimentazione è strettamente connessa alla resistenza al fuoco; se si applicasse il Codice si dovrebbe prevedere che i solai dei piani siano REI 60, perché i piani degli appartamenti sono compartimentati a due a due. Nel caso si applicasse il D.M. 246 questa ulteriore verifica strutturale non sarebbe necessaria compartimentando tutti i piani insieme.

ASPETTI NORMATIVI CHE RICHIEDONO VERIFICHE DIFFERENTI		
Proprietà	D.M. 19 maggio 2022 – “Codice di prevenzione incendi, RTV14”	D.M. 16 maggio 1987, n. 246
S2 - Resistenza al fuoco	RE/REI 60	RE/REI 90
S3 - Compartimentazione	I piani si compartimentano a due a due	I piani si compartimentano tutti insieme

Tabella 20: Aspetti normativi con verifiche differenti

Gli aspetti non verificati sono relativi alla tipologia di via di esodo verticale, come riportato nella tabella seguente.

ASPETTI NORMATIVI NON VERIFICATI			
D.M. 19 maggio 2022 – “Codice di prevenzione incendi, RTV14”		D.M. 16 maggio 1987, n. 246	
<i>Richiesta normativa</i>	<i>Esistente</i>	<i>Richiesta normativa</i>	<i>Esistente</i>
Due vie di esodo indipendenti	Una sola via di esodo verticale	Scala con filtro a prova di fumo interno	Non è possibile realizzare un filtro a prova di fumo ad ogni piano
Scala a prova di fumo	Non è possibile realizzare dei filtri a prova di fumo ad ogni piano		

Tabella 21: Aspetti normativi non verificati

Il vano scale è uno; è inoltre assente un locale filtro, non architettonicamente realizzabile, e non è una scala a prova di fumo, ma solo protetto.

Per risolvere questi aspetti normativi non verificati sarebbe necessario procedere in soluzione alternativa, se si applicasse il Codice di prevenzione incendi; o con un processo di deroga, se si prediligesse per il D.M. 246/1987. La richiesta di deroga prevederebbe un procedimento lungo e oneroso perché il progetto verrebbe valutato sia dalla Regione sia dai Vigili del fuoco e i tempi sarebbero maggiori, come riportato nel D.M. 7 agosto 2012, n. 201.

La scelta della normativa da applicare è quindi influenzata sia dalle caratteristiche strutturali presenti, verificandole ed eventualmente realizzando modifiche architettoniche per aumentarne le prestazioni, sia dalla tipologia di iter normativo che si sceglie, soluzione alternativa o deroga, collegato anche al tempo disponibile.

Si sceglie di applicare il Codice di prevenzione incendi che permette di andare in soluzione alternativa riguardo alla scala a prova di fumo, applicando la UNI EN 12101-13:2022. Si sceglie di verificare il corretto dimensionamento dell'impianto, progettato con questa norma, applicando la FSE, analizzata come riportato nella sezione M – Metodi, del Codice di prevenzione incendi.

La Fire Safety Engineering applica principi ingegneristici, regole e giudizi di esperti per valutare il fenomeno incendio e il suo sviluppo, andando a comprendere inoltre il comportamento umano in quella circostanza. Si verificano i rischi connessi all'evento per poterne limitare le conseguenze. La FSE è basata su un approccio prestazionale, andando quindi ad analizzare scenari d'incendio quantificandone l'effetto e il livello di sicurezza antincendio rispetto a soglie prestazionali.

Nei paragrafi seguenti si verificano i seguenti aspetti:

1. verificare che con una sola via di esodo l'esodo degli occupanti avvenga comunque in sicurezza;
2. verificare che senza il filtro a prova di fumo, la scala possa essere considerata protetta e a prova di fumo installando un sistema doppio di pressurizzazione, andando quindi a effettuare anche la verifica di ridondanza.

Queste verifiche permettono, con l'installazione dell'impianto, di avere la scala condominiale a prova di fumo qualora si sviluppasse un incendio, in un qualsiasi appartamento.

Si procede redigendo il sommario tecnico, con l'analisi preliminare, e la relazione tecnica, con l'analisi quantitativa.

4 Sommario tecnico – Analisi preliminare

Il sommario tecnico è uno dei due documenti da redigere quando si progetta in soluzione alternativa, da consegnare al comando dei Vigili del fuoco. Al suo interno vengono riportate le informazioni generali del progetto, individuando i professionisti antincendio e i responsabili dell'attività, descrivendo inoltre la finalità per la quale si applica il metodo prestazionale.

Il caso studio ha come obiettivo l'applicazione della UNI EN 12101-13:2022 per il dimensionamento di un impianto di sovrappressione della scale.

Il metodo prestazionale viene riportato nella sezione M – Metodi del Codice, si applica utilizzando la FSE (*Fire Safety Engineering*) realizzando quindi un modello che simuli un incendio reale per vederne gli effetti e comprendere i tempi disponibili e necessari agli occupanti e ai soccorritori per non ritrovarsi in condizioni incapacitanti.

4.1 Definizione del progetto

4.1.1 Destinazione d'uso e descrizione dell'attività

Il caso studio è una scala condominiale, facente parte di un complesso residenziale più ampio. Come indicato già nei capitoli precedenti, l'altezza antincendio del vano è maggiore di 32 m, rientrando così ampiamente nella categoria di edifici di grande altezza.

Scala è a U, con le due rampe parallele tra di loro, un pianerottolo intermedio e quello principale al quale sbarcano le porte d'ingresso degli appartamenti, posizionate speculari. Il vano ascensore ha l'accesso al piano esattamente al centro del pianerottolo principale, tra le due porte.

4.1.2 Vincoli progettuali

Si verifica che il vano scale sia a prova di fumo e un percorso protetto, garantendo quindi l'esodo sicuro degli occupanti nonostante il percorso sia solo uno. Data l'impossibilità di creare una lobby a prova di fumo a ogni piano, si sceglie di pressurizzare tutto il compartimento delle scale. Affinché la scala sia tale è necessario prevedere l'installazione di una porta posizionata al piano terra vicino al vano scale per chiuderlo alla base, come indicato nell'immagine seguente. È necessario installare l'impianto, descritto nel dettaglio nei paragrafi seguenti, con la sostituzione degli infissi, rendendoli ad apertura automatica e l'installazione di griglie modulari sopra la porta di piano dell'ascensore.

Un'ulteriore modifica necessaria affinché si possa procedere con il progetto è la sostituzione delle porte d'ingresso degli appartamenti in quanto devono avere la resistenza al fuoco delle partizioni verticali, perché tutto il vano dovrà essere compartimentato. Nella modellazione si prevedono porte con la chiusura automatica, simulandone l'apertura e la chiusura da parte degli occupanti durante l'esodo.

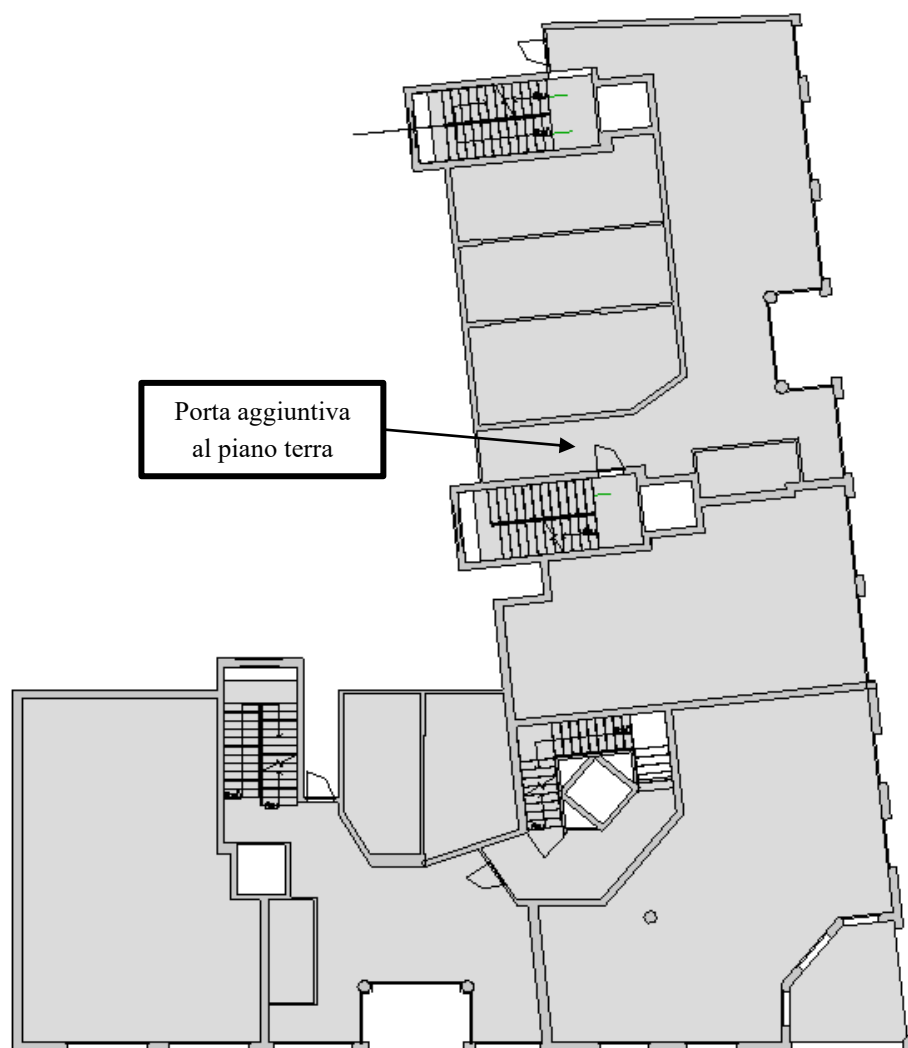


Figura 7: Porte aggiuntive al PT delle due scale condominiali

4.1.3 Pericoli di incendio connessi con la destinazione d'uso prevista

Per comprendere quali possano essere i possibili scenari da analizzare, si ritiene necessario individuare i pericoli d'incendio. Essendo un edificio con destinazione d'uso residenziale ai piani in elevazione, si considera che i possibili focolai d'innescio siano elettrodomestici o arredi, come il divano che è altamente infiammabile. Non prendono fuoco tutti insieme, ma è necessario prestare attenzione alla propagazione tra i vari arredi, in particolare a seconda del materiale presente.

4.2 Obiettivi della sicurezza antincendio

L'obiettivo della sicurezza antincendio è la salvaguardia della vita umana degli occupanti, ovvero analizzare che mentre le persone sono all'interno del vano scale non siano sottoposte a condizioni incapacitanti, potendo raggiungere un luogo sicuro.

Si tiene inoltre conto della salvaguardia della vita dei soccorritori, aumentando quindi il tempo della simulazione, fino a 5 min dopo il termine delle operazioni di soccorso, come richiesto dalla normativa.

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> (http://www.vigilfuoco.it), 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

Riferimento normativo 5: Tabella M.2-1: Durata minima degli scenari d'incendio di progetto (D.M. 08/ 2015)

Per calcolare il tempo previsto per la simulazione che tiene conto dei soccorritori, si fa riferimento all'Annuario statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del fuoco 2021, dal quale si ricava il tempo medio necessario affinché arrivino sul luogo. Al suo interno sono riportati i tempi medi e quelli dell'anno precedente, suddivisi per regione e provincia; variano in funzione dell'estensione provinciale e della tipologia di terreno (montano, collinare o pianeggiante). La regione Piemonte prevede un tempo medio d'intervento per la provincia di Torino di 17,4 min. La simulazione deve quindi proseguire fino a:

$$t = 17,4 + 5 = 22,4 \text{ min} = 1\,344 \text{ s}$$

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)			
		2020	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)	2020	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)
PIEMONTE	ALESSANDRIA	14,1	12,6	11,9%	5,9%	36,4	35,0	4,0%	4,6%
	ASTI	14,6	13,8	5,8%	7,1%	44,3	37,3	18,9%	29,1%
	BIELLA	14,8	14,6	1,1%	-9,5%	55,3	57,1	-3,1%	-5,6%
	CUNEO	16,9	14,5	16,5%	21,3%	60,6	49,0	23,7%	25,1%
	NOVARA	17,0	16,1	5,4%	2,0%	43,5	43,4	0,2%	3,7%
	TORINO	17,5	17,4	0,4%	-2,5%	48,1	46,1	4,3%	8,4%
	VERBANO-C.-O.	16,5	15,0	10,1%	2,6%	51,4	47,1	9,2%	17,6%
	VERCELLI	14,8	13,7	8,3%	6,7%	44,9	45,0	-0,2%	2,7%

Riferimento normativo 6: Tempi di intervento vigili del fuoco (Annuario statistico del corpo nazionale dei vigili del fuoco, 2021)

4.3 Definizione delle soglie di prestazione

Le soglie prestazioni sono i valori minimi a cui gli occupanti e i soccorritori sono sottoposti in caso di incendio, senza che si generino delle condizioni incapacitanti. È necessario valutarle in particolare lungo le vie di esodo e nei luoghi sicuri temporanei per monitorare la situazione a cui le persone devono sottostare finché non raggiungono un luogo sicuro.

Le soglie prestazionali degli occupanti e dei soccorritori sono differenti, in quanto quest'ultimi sono dotati di DPI (Dispositivi di Protezione Individuale) durante le operazioni di soccorso, potendo quindi sopportare condizioni più gravose. Questi valori soglia vengono definiti dal Codice di prevenzione incendi, come riportato nella tabella seguente.

Si sceglie di posizionare delle sonde che monitorino nel tempo cosa succede in un determinato punto, per individuare la condizione a cui è sottoposto l'occupante o il soccorritore che vi transita. Si posizionano delle sonde lungo la via di esodo necessarie per determinare il superamento della soglia di prestazione e individuare il tempo ASET, tempo minimo di superamento di una delle quattro soglie di prestazione.

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m ² : 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100m ² : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571:2012, limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapaci al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	-
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m ²	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m ²	[1]
[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.			

Riferimento normativo 7: Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato (D.M. 08/2015)

4.4 Stima della curva RHR

Lo sviluppo dell'incendio genera la curva RHR, ovvero una curva che individua le varie fasi che lo costituiscono:

- $0 \leq t \leq t_A$ la propagazione con andamento parabolico crescente;
- $t = t_A$ punto di flashover, ovvero è il tempo al quale l'incendio è pienamente sviluppato e da quell'istante l'obiettivo non è più la salvaguardia della vita umana;
- $t_A \leq t \leq t_B$ incendio stazionario con andamento lineare;
- $t_B \leq t \leq t_C$ decadimento con andamento lineare decrescente.

Tale curva si determina per qualsiasi focolare studiato.

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 _{max} totale RHR _{max} per m ² di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m ² [1]	50 MW 500 -1000 kW/m ² [1]
Resa in particolato Y_{soot}	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio Y_{CO}	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo ΔH_c	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio Y_{CO_2}	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y_{H_2O}	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR in irraggiamento (<i>Radiative fraction</i>)	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'RHR_{max} 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.

[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report no 185 "Soot Yield Values for Modelling Purposes - Residential Occupancies", BRANZ, 2008

[3] "C/VM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code

[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4th ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da *polyurethane flexible foams*.

[5] Stec AA, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con $\Phi = 1,25$ (*underventilated fire*)

[6] In alternativa alle rese Y_{CO_2} e Y_{H_2O} , si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico $CH_2O_{0,5}$.

Riferimento normativo 9: Tabella M.2-2: Focolari predefiniti (D.M. 08/2015)

Al focolaio predefinito è associata la curva RHR predefinita. È descritta come potenza sviluppata nel tempo, si individua l'andamento e il punto di flashover. Il flashover si raggiunge a 335,41 s, sviluppando la potenza massima di 5 000 kW/m².

Curva RHR - Focolaio predefinito

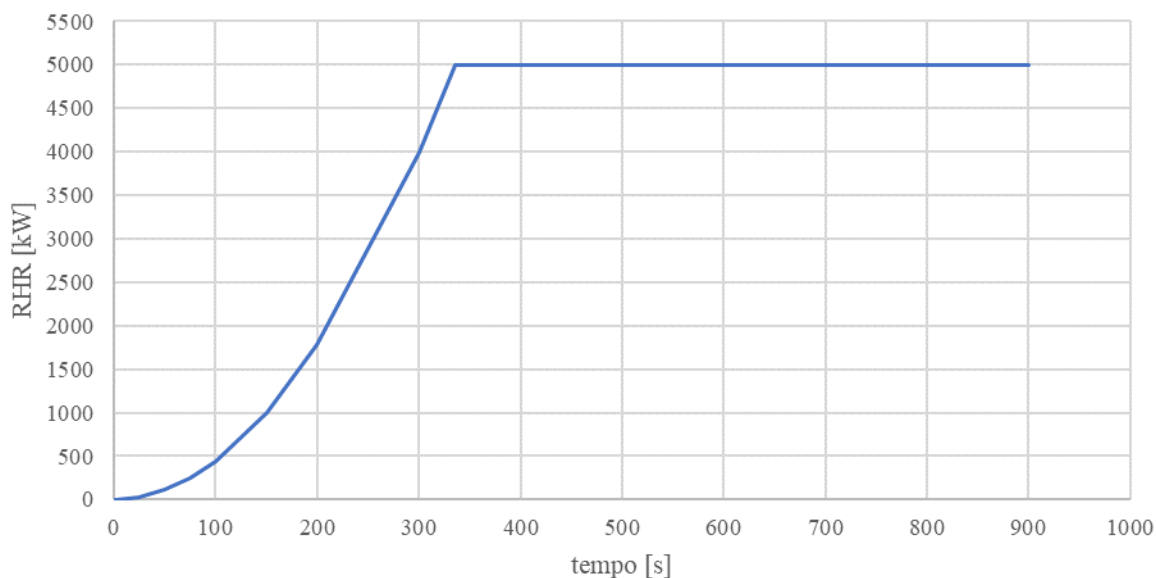


Grafico 1: Curva RHR - Focolaio predefinito

CURVA RHR - PREDEFINITO	
Tempo [s]	Potenza [kW/m ²]
0	0
25	28
50	111
75	250
100	444
150	1000
200	1778
300	4000
335	5000
400	5000
900	5000

Tabella 22: Curva RHR - Focolaio predefinito

4.5.2 Focolaio divano

Il divano è un arredo tipicamente presente in un appartamento residenziale ed è realizzato con molteplici materiali. Si procede individuando la curva RHR sperimentale presente all'interno del SFPE Handbook, V edizione, riportata di seguito. Questo volume riporta molteplici curve RHR relative a varie tipologie di arredi e materiali, ottenute da prove sperimentali.

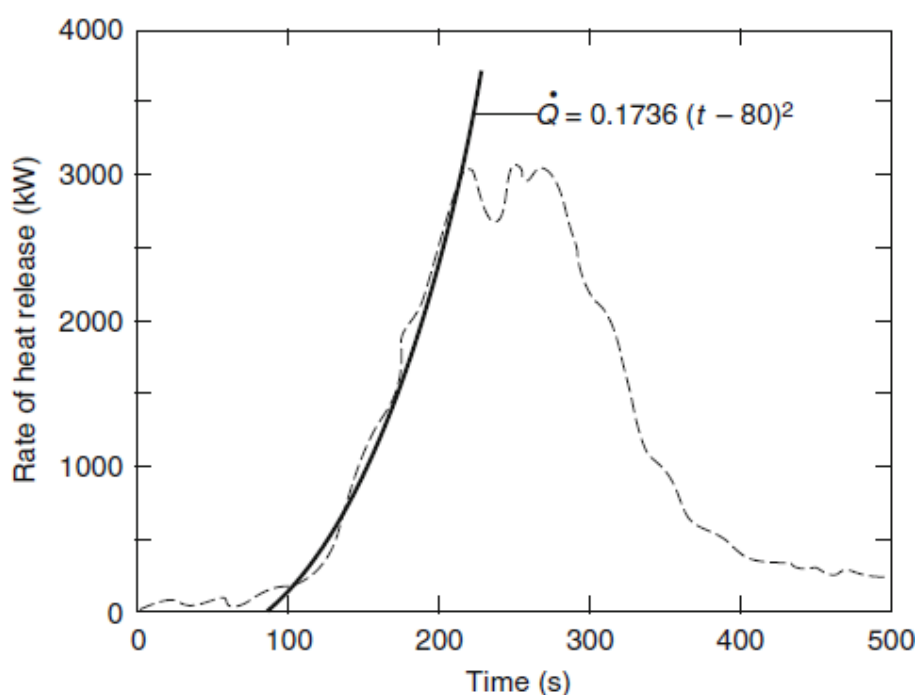


Grafico 2: Curva sperimentale RHR - Focolaio divano (SFPE Handbook, V edizione)

La curva RHR naturale non può essere utilizzata, è necessario linearizzarla assegnando ad ogni tempo la corrispettiva potenza in kW/m². L'ultimo tempo individuato è alla conclusione della fase di spegnimento del focolaio; si considera un tempo di simulazione maggiore, affinché sia paragonabile con gli altri focolai, analizzando fino alla conclusione della fase stazionaria.

Si raggiunge il punto di flashover poco oltre i 200 s, con una potenza emessa di soli 3164 kW/m².

CURVA RHR - DIVANO	
Tempo [s]	Potenza [kW/m ²]
0	0
88	11
122	306
152	900
193	2217
207	2800
215	3164
900	3164

Tabella 23: Curva RHR - Focolaio divano

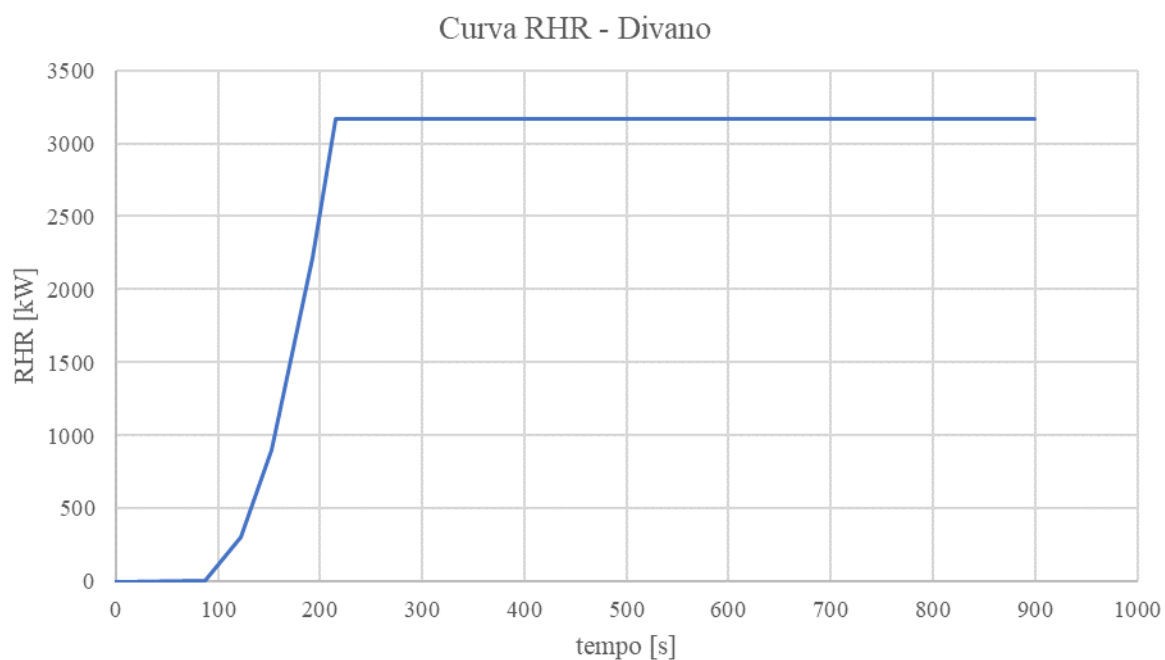


Grafico 3: Curva linearizzata RHR - Focolaio divano

Il divano è costituito da molteplici materiali, quello più utilizzato e presente in percentuale rispetto al totale è il poliestere. Si prevede la presenza del poliestere-1, individuato tra quelli riportati nel SPFE Handbook.

Material	ΔH_T (kJ/g)	y_{CO_2} (g/g)	y_{CO} (g/g)	y_{ch} (g/g)	y_s (g/g)	ΔH_{ch} (kJ/g)	ΔH_{con} (kJ/g)	ΔH_{rad} (kJ/g)
Polyester-1	32.5	1.65	0.070	0.020	0.091	20.6	10.8	9.8
Polyester-2	32.5	1.56	0.080	0.029	0.089	19.5	–	–

Riferimento normativo 10: Y_{soot} poliestere (SFPE Handbook, V edizione)

4.5.3 Focolaio monitor del computer

Il terzo focolaio individuato è il monitor del computer, oggigiorno è un oggetto tipico all'interno degli appartamenti. Si sceglie il monitor in quanto è l'elemento del pc che raggiunge potenze termiche maggiori in tempi minori, arrivando al punto di flashover a un tempo inferiore. Si considera la curva sperimentale ottenuta dal SFPE Handbook.

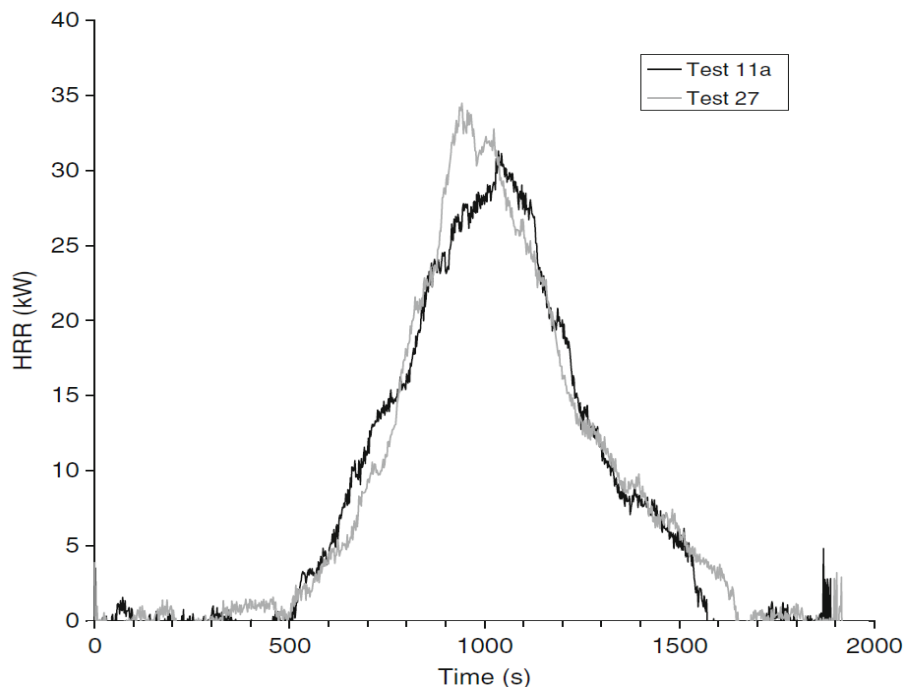


Grafico 4: Curva sperimentale RHR monitor computer (SFPE Handbook, V edizione)

Linearizzando la curva, come per il divano, si ottiene la potenza emessa in funzione del tempo.

CURVA RHR - MONITOR	
Tempo [s]	Potenza [kW/m ²]
0	0
500	0
593	5
684	10
770	15
852	20
929	25
1003	30
1500	30

Tabella 24: Curva RHR - Focolaio monitor

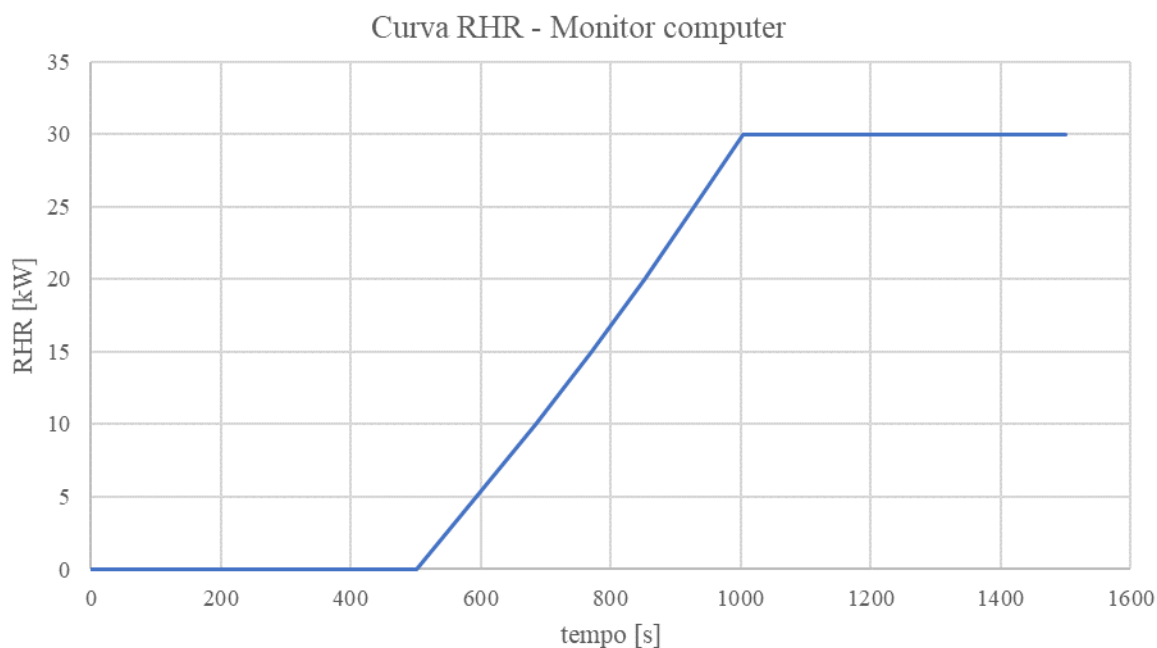


Grafico 5: Curva linearizzata RHR – Focolaio monitor computer

Si osserva che la curva ha la fase di propagazione dell'incendio quasi lineare che inizia dopo 500 s dall'inizio dell'incendio, arrivando al tempo di flashover a 1 000 s.

Il materiale studiato per questa tipologia di focolaio è il poliuretano, il GM27 che ha le caratteristiche più gravose, individuato nell'Handbook.

Material	ΔH_T (kJ/g)	y_{CO_2} (g/g)	y_{CO} (g/g)	y_{ch} (g/g)	y_S (g/g)	ΔH_{ch} (kJ/g)	ΔH_{con} (kJ/g)	ΔH_{rad} (kJ/g)
<i>Polyurethane (flexible) foams</i>								
GM21	26.2	1.55	0.010	0.002	0.131	17.8	8.6	9.2
GM23	27.2	1.51	0.031	0.005	0.227	19.0	10.3	8.7
GM25	24.6	1.50	0.028	0.005	0.194	17.0	7.2	9.8
GM27	23.2	1.57	0.042	0.004	0.198	16.4	7.6	8.8

Riferimento normativo 11: Y_{soot} poliuretano (SFPE Handbook, V edizione)

4.5.4 Focolaio scenario di progetto

Si confrontano le tre tipologie di focolaio analizzando le corrispettive curve RHR, ovvero la potenza massima emessa, e le proprietà del materiale.

Si confrontano le curve RHR facendo coincidere il tempo di fine della fase stazionaria.

Si evince che la potenza massima viene emessa dal focolaio predefinito, risultando quindi la condizione più gravosa da prediligere.

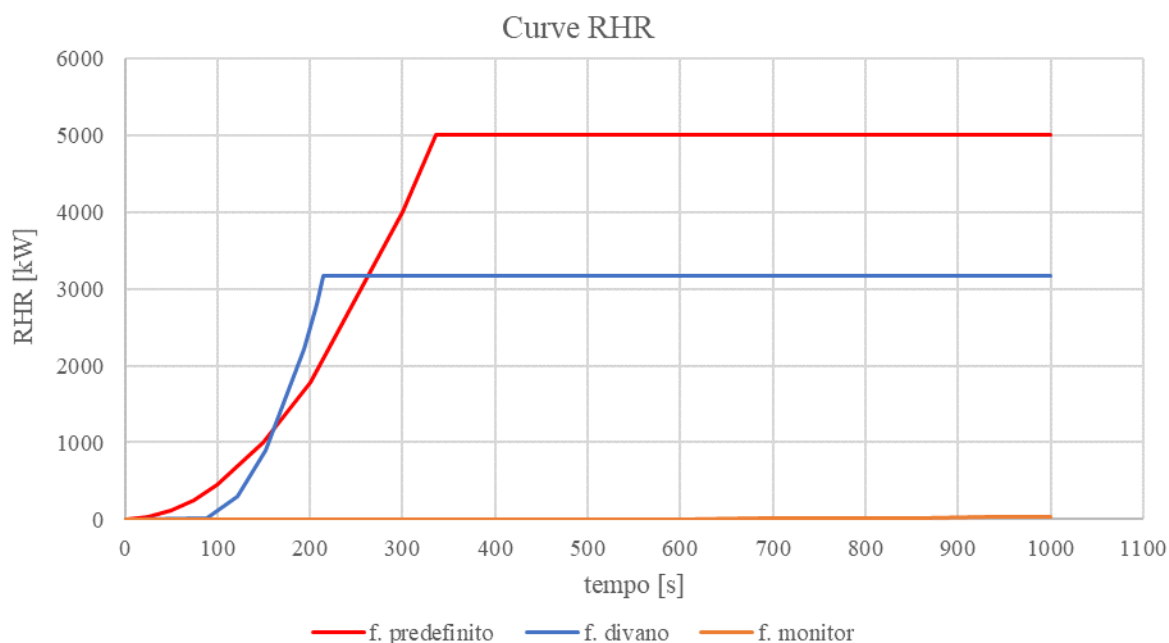


Grafico 6: Confronto curve RHR dei tre focolai

La reazione più gravosa è quella del materiale poliuretano GM27 del monitor del computer, in quanto è caratterizzato da valori di Y_{soot} nettamente superiori a quelli previsti dal focolaio predefinito. Nonostante questo materiale rappresenti la condizione più a favore di sicurezza, risulterebbe eccessiva e poco realistica per il caso studio; si predilige quindi la reazione del focolare predefinito.

Il focolare predefinito raggiunge il punto di flashover a 335,41 s dall'inizio della reazione, con una potenza emessa di 5 000 kW/m².

Il focolaio si modella come un cubo di lato 1x1x1 m, assegnandogli alla superficie superiore la reazione e la curva RHR del focolaio predefinito proposto nella sezione M.2.2. Lo sviluppo dell'incendio è indicato specificando il punto di flashover e la potenza massima emessa al m²; mentre la reazione inserita è la predefinita, indicando i prodotti della combustione previsti dalla normativa (Y_{soot} e Y_{CO}).

5 Relazione tecnica – Analisi quantitativa

L'analisi qualitativa preliminare ha permesso di individuare le caratteristiche essenziali per la modellazione. Si procede con la sezione M3 “Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale” applicando il metodo prestazionale alla sicurezza antincendio per la salvaguardia della vita degli occupanti e dei soccorritori.

5.1 Strategia adottata

La progettazione prestazionale ha l'obiettivo di dimostrare l'esodo sicuro degli occupanti, senza che vengano esposti a condizioni eccessivamente gravose e la salvaguardia dei soccorritori durante le operazioni di soccorso. Per effettuare questa verifica l'analisi quantitativa deve dimostrare la seguente disuguaglianza:

$$ASET \geq RSET$$

dove:

ASET = il tempo disponibile per l'esodo (*Available Safe Escape Time*), calcolato con il metodo avanzato riportato al paragrafo M.3.3 del Codice;

RSET = il tempo richiesto per l'esodo (*Required Safe Escape Time*), al paragrafo M.3.4.

Il tempo nel quale durano le condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti deve essere maggiore di quello necessario agli occupanti per raggiungere un luogo sicuro. È da verificare che il $t_{margine}$ sia maggiore del 100% del RSET; quando si ha un'elevata affidabilità dei dati iniziali si è in particolari condizioni può essere maggiore solo del 10%:

$$t_{marg} = ASET - RSET \quad [s]$$

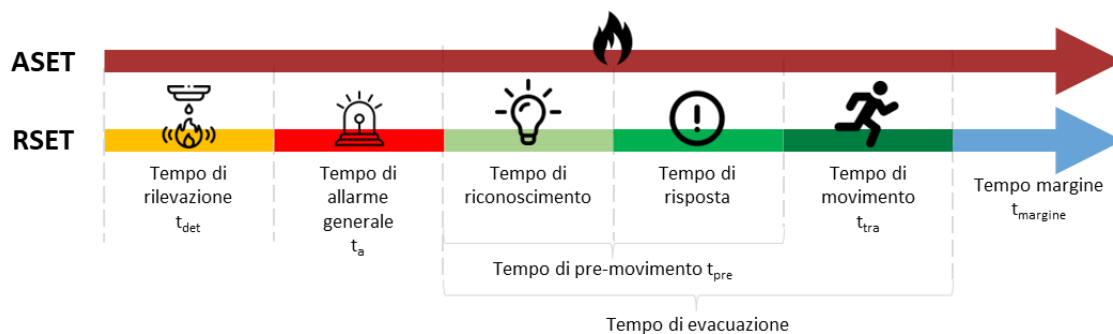


Figura 8: Definizione ASET e RSET

5.2 Condizioni al contorno

I due modelli realizzati sono caratterizzati da due aspetti geometrici importanti che hanno permesso di effettuare alcune assunzioni. Il primo aspetto è relativo agli infissi esterni verticali del vano scale in quanto si prevede vengano sostituiti rendendoli ad apertura automatica.

La seconda condizione al contorno è geometrica, ovvero si installa una porta REI al piano terra per compartimentare il vano scale e ascensore dal resto del piano terra, come indicato già in precedenza. La tipologia di resistenza al fuoco varia a seconda della normativa che si applica.

5.3 Modelli di calcolo

Per proseguire nell'analisi quantitativa si realizzano tre modelli differenti per analizzare l'edificio oggetto di studio.

5.3.1 Modello geometrico

Il modello geometrico è realizzato mediante il software di modellazione BIM Revit della Autodesk, partendo dalle planimetrie originali del progetto architettonico e dalla documentazione fornita dai proprietari, in quanto sono state apportate delle modifiche interne. Sono state modellate le chiusure verticali e orizzontali, opache e trasparenti, sia degli appartamenti sia dei vani scale, rendendo però le finestre non apribili affinché si simuli la condizione più gravosa. All'interno degli alloggi sono state modellate le partizioni verticali e orizzontali, compresa la porta d'ingresso, affinché nel modello numerico possa essere simulata la sua apertura e chiusura. Ha dieci piani in elevazione, con il sottotetto abitabile.

Si riportano di seguito delle viste tridimensionali del modello.



Figura 9: Modello geometrico 3D - Prospetto Nord e Ovest



Figura 10: Modello geometrico 3D - Lato Sud - Est

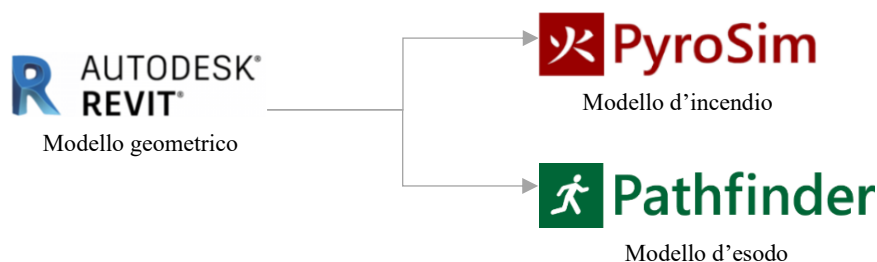
5.3.2 Modello numerico

Il modello dello scenario d'incendio è un modello numerico avanzato, realizzato per studiarne lo sviluppo e la propagazione risolvendo le equazioni differenziali in funzione dell'energia, della massa e della quantità di moto. Il modello di calcolo applicato è fluidodinamico computazionale FDS (*Fire Dynamics Simulator*), conforme al D.M. 3 agosto 2015.

Gli obiettivi progettuali sono raggiunti mediante un'analisi quantitativa, elaborando degli scenari di incendio di progetto e il livello di sicurezza antincendio viene valutato rispetto alle soglie prestazionali di temperatura, visibilità e altezza dello strato libero da fumi. L'approccio applicato è quello ingegneristico, risolvendo sistemi complessi.

I metodi della FSE sono volti, a seconda del tempo di riferimento considerato, o alla Life Safety, la salvaguardia della vita delle persone, o alla Structural Safety, effettuando analisi dopo la fase di flashover e lo studio del livello di sicurezza delle strutture. Il progetto analizzato studia la *Life Safety*, analizzando il problema pre-flashover studiando il movimento di fumi e calore nell'edificio.

Sono utilizzati due software della Thunderhead Engineering, Pyrosim per la modellazione dell'incendio e Pathfinder per le simulazioni d'esodo.



Mesh di calcolo

Nel modello d'incendio si imposta una mesh, ovvero una griglia tridimensionale all'interno della quale il programma svolge le equazioni di massa, energia e quantità di moto. La mesh è suddivisa in celle di calcolo cubiche che possono assumere dimensioni differenti a seconda del dettaglio della simulazione, più è grossolana maggiore è la dimensione della cella.

La dimensione più idonea al progetto in analisi si determina in funzione del parametro D^*/δ_x , ovvero in funzione del diametro del fuoco caratteristico, D^* , e della dimensione nominale della cella, δ_x :

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

dove:

\dot{Q} = la potenza totale dell'incendio o rilascio termico previsto e pari a 50 000 kW, [kW];

ρ_∞ = la densità dell'aria, pari a 1,204 kg/m³, [kg/m³];

c_p = il calore specifico dell'aria, pari a 1,005 kJ/(kg*K), [kJ/(kg*K)];

T_∞ = la temperatura ambiente, pari a 293 K, [K];

g = l'accelerazione gravitazionale, pari a 9,81 m/s², [m/s²].

La dimensione della mesh è calcolata tramite un foglio di calcolo Excel fornito dalla software house Thunderhead Engineering; esso individua tre valori delle celle in funzione del dettaglio della simulazione. Le simulazioni si effettuano con due dimensioni delle celle, quella preliminare di lato 0,5 m, riferita alla mesh $D^*/4$, e quella più dettagliata approssimando il lato 0,2 m al decimo, il valore $D^*/10$. Per lo studio seguente si sceglie di approssimare quest'ultima dimensione a 0,25 m in quanto per la bontà delle simulazioni è considerata sufficiente, permettendo così di avere un tempo di simulazione inferiore.

Input		
Q_{dot} =	5000	kW
dens =	1,204	kg/m ³
c_p =	1,005	kJ/kg-K
T =	293	K
g =	9,81	m/s ²

Output		
D^* =	1,826	m
Mesh $D^*/4$ =	0,456	m
Mesh $D^*/10$ =	0,183	m
Mesh $D^*/20$ =	0,091	m

Realizzando i modelli rappresentativi dell'esistente, si osserva che con la mesh di dimensione 0,25 m, essi non riescono a completare la simulazione fino a 1344 s a causa di problemi di instabilità numerica. Si sceglie quindi di utilizzare come modello di partenza quello con la cella di 0,5 m, analizzando quello che succede fino a 1344 s, momento nel quale si concludono le operazioni di soccorso.

Si effettuano dei confronti delle quattro proprietà caratteristiche, temperatura, visibilità, FED e irraggiamento, tra il modello con cella da 0,5 m e quello con 0,25 m per poter osservare di quanto si discostano i tempi di superamento della soglia di prestazione degli occupanti, analizzando l'andamento fino a 900 s. Questa analisi permette qualitativamente di comprendere come una maggiore precisione della dimensione della cella permetta di ottenere dei tempi di superamento più precisi, anche se la differenza tra le due condizioni sia relativamente ridotta. Si osserva che l'andamento dell'irraggiamento non è rilevante in quanto non supera mai la

soglia di $2,5 \text{ kW/m}^2$; la proprietà che definisce l'ASET, ovvero la prima che supera il livello di prestazione, è la visibilità.

Si riportano i seguito i grafici di confronto del caso studio, analizzando il sensore più critico che risulta registrare per primo il superamento della soglia degli occupanti.

Si analizza l'andamento della temperatura, della visibilità e della FED registrati dal sensore nella posizione 05. Risulta essere il primo sensore, dopo quello posizionato sul pianerottolo del primo piano, che registra il superamento delle soglie di prestazione. La posizione 05 è a 1,80 m di altezza sul pianerottolo intermedio tra il primo e il secondo piano.

Gli andamenti in entrambi i modelli sono simili; si osserva che con la mesh da 0,25 m il tempo di superamento delle soglie di prestazione è inferiore rispetto alla mesh da 0,5 m. Questa variazione di tempo è dovuta alla maggior precisione di calcolo.

L'andamento della temperatura con la mesh più precisa ha un andamento più regolare perché vengono risolte le equazioni differenziali in spazi più piccoli.

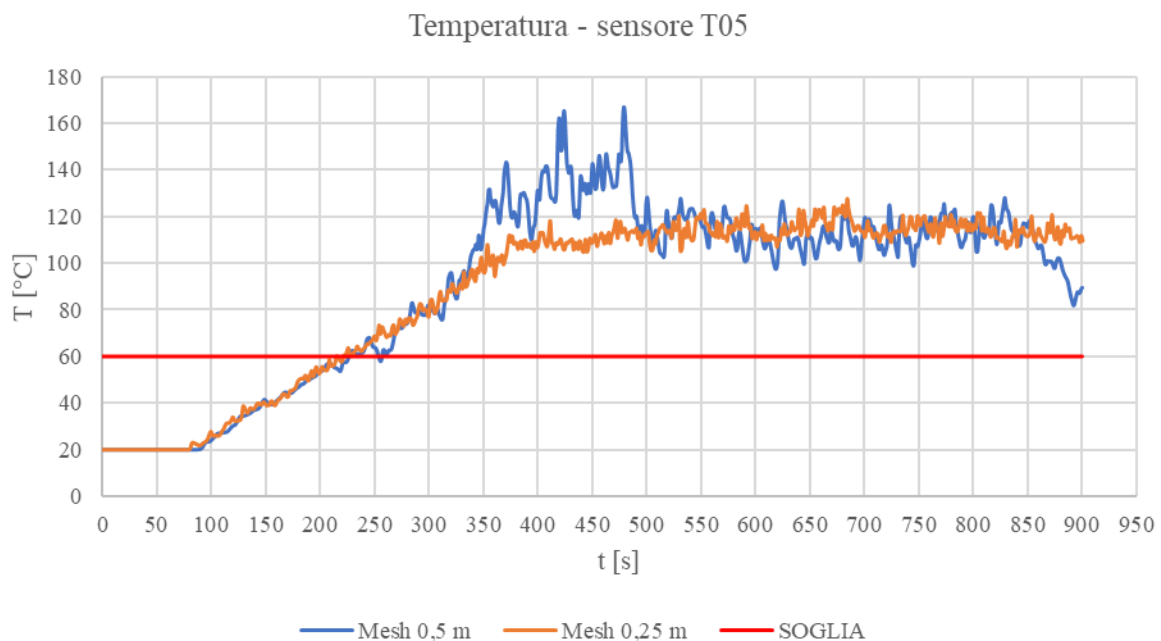


Grafico 7: Scala, condizione esistente - Temperatura - Sensore T05 confronto tra modelli

La visibilità nei due modelli ha un andamento simile, ma con la dimensione minore della mesh si registra che il tempo di superamento della soglia è inferiore di circa 10 s. Questa differenza di tempo risulta trascurabile rispetto al tempo complessivo di attivazione del sistema di sovrappressione e della simulazione. Si possono inoltre osservare delle momentanee riduzioni di visibilità nella posizione 05 riscontrabili solamente con una simulazione più dettagliata.

Visibilità - sensore V05

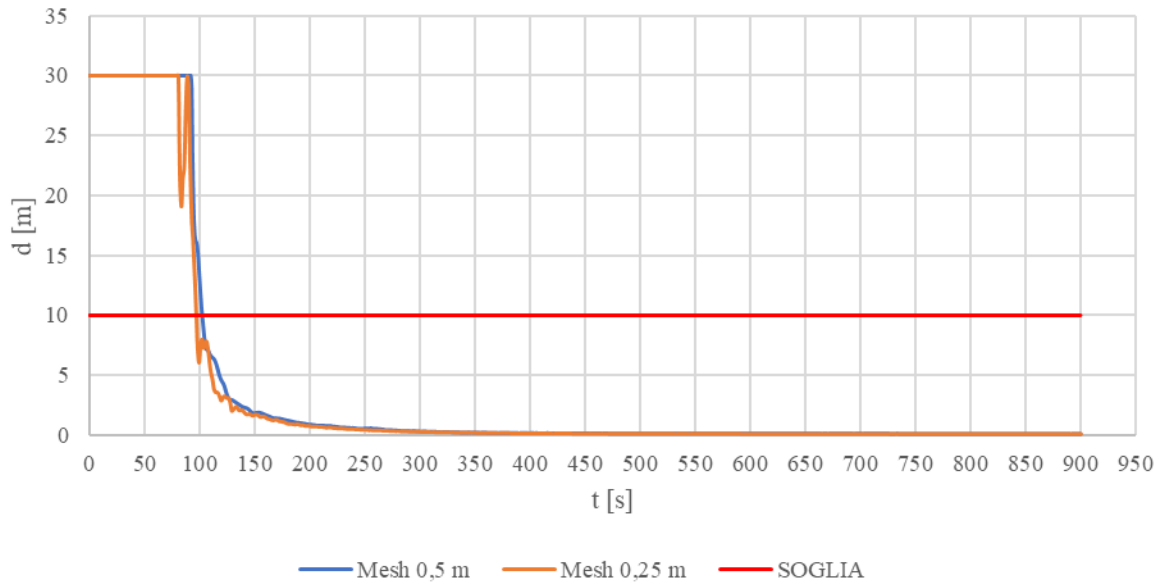


Grafico 8: Scala, condizione esistente - Visibilità - Sensore T05 confronto tra modelli

FED - sensore F05

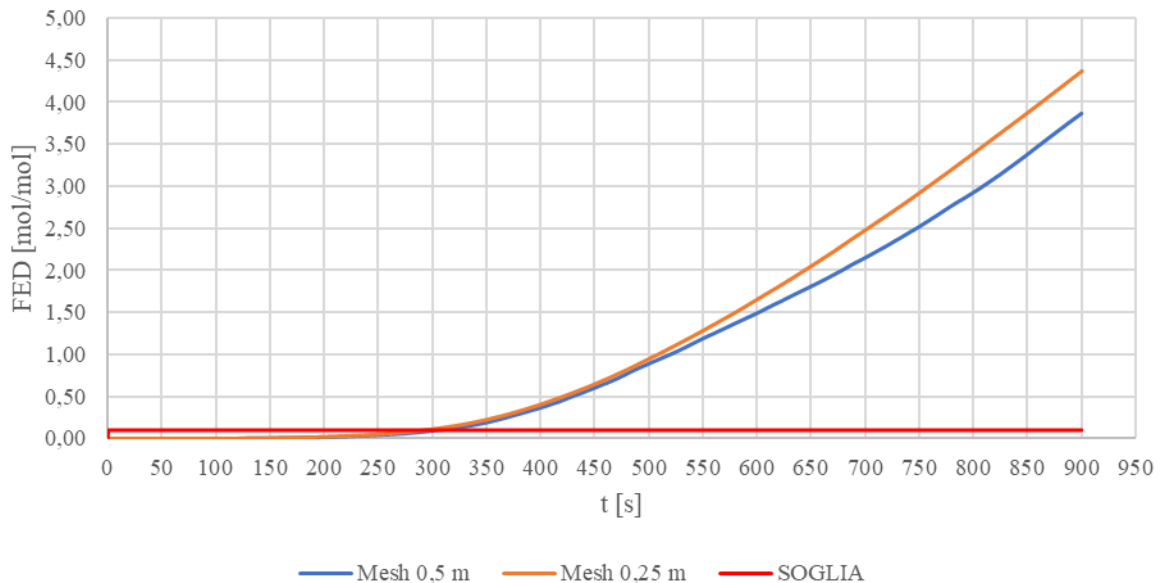


Grafico 9: Scala, condizione esistente - FED - Sensore F05 confronto tra modelli

Questo confronto fino a 900 s ha permesso di valutare come la differenza della dimensione della cella porta a una variazione di tempo che si può considerare accettabile per il livello di dettaglio dello studio che si sta svolgendo. Per questo motivo si considera accettabile valutare l'installazione dell'impianto di pressurizzazione nei modelli con le celle di dimensione 0,5 m.

Strumenti di analisi del modello di incendio

Con l'obiettivo primario della salvaguardia della vita umana, si analizzano quattro modelli relativi a quattro parametri, analizzando quando si superano le soglie di prestazione perché si generano in quel momento delle condizioni incapacitanti per gli occupanti e i soccorritori.

Le quattro caratteristiche che si analizzano sono:

- Effetti termici: analizza la temperatura massima di esposizione, inferiore a 60/80 °C (occupanti/soccorritori), e l'irraggiamento termico ammissibile, inferiore a 2,5/3 kW/m² (occupanti/soccorritori);
- Tossicità: analizza la Fractional Effective Dose (FED), inferiore di 0,1 mol/mol (occupanti/soccorritori);
- Visibilità minima: maggiore di 10/5 m (occupanti/soccorritori);

Si utilizzano dei devices per rilevare i parametri dei quattro modelli di calcolo avanzato, sono sonde Gas phase posizionate lungo la via di esodo verticale, ai pianerottoli e all'interno dell'appartamento in cui è posizionato il focolaio. Sono a 1,80 m di altezza dal pavimento, rivolte verso il basso, per analizzare come si evolve la situazione in prossimità della testa delle persone. Per analizzare i risultati di temperatura e visibilità della simulazione sono posizionate delle slice, ovvero piani lungo gli assi X, Y e Z. in modo da avere una visualizzazione grafica dei risultati.

Durata degli scenari d'incendio

La durata degli scenari d'incendio dipende dall'obiettivo della simulazione. Il caso in analisi deve soddisfarne due di quelli riportati nel paragrafo M.2.5: la salvaguardia della vita umana e quella dei soccorritori. Per soddisfare il primo requisito si prevede una simulazione di 900 s, analizzando quindi le condizioni alle quali sono sottoposti gli occupanti nei primi 15 min dal principio d'incendio. Per prevedere anche le operazioni dei soccorritori in sicurezza si considera il tempo d'intervento medio dei Vigili del fuoco in Piemonte, arrivando a 22,4 min, come riportato nei paragrafi precedenti.

Tempo ASET

ASET è il tempo che hanno a disposizione gli occupanti per raggiungere un luogo sicuro; è influenzato dall'interazione tra incendio-edificio-occupanti, ovvero è necessario analizzare come l'edificio reagisce all'incendio, tramite le misure di protezione attiva e passiva, in relazione al comportamento dell'occupante.

Si calcola tramite il metodo semplificato applicando la ISO/TR 16738, realizzando un modello tridimensionale sul software Pyrosim, posizionando dei dispositivi che registrano i livelli di visibilità, temperatura, FED e calore e osservandone gli andamenti nel tempo.

L'ASET sarà il primo tempo al quale la soglia minima di una delle proprietà viene superata.

5.3.3 Sistema combinato – UNI EN 12101-13:2022

Dall'analisi normativa iniziale si riscontra la necessità di realizzare un impianto di pressurizzazione per il vano scale.

L'impianto scelto è un sistema che svolge la duplice funzione di evacuazione dei fumi ed immissione dell'aria. Lo scenario più sfavorevole risulta avere il focolare al primo piano in quanto i prodotti della combustione si diffondono in tutto il vano scale, ostacolando le operazioni di esodo degli appartamenti ai piani superiori. Con l'installazione dell'impianto gli occupanti sarebbero in sicurezza all'interno del vano.

L'impianto si modella, nelle sue due componenti, all'interno del modello numerico realizzato sul software FDS Pyrosim:

- lo smaltimento dei fumi avviene in maniera naturale, ovvero si prevede l'installazione di infissi vetrati ad apertura automatica, collegati al quadro di comando e controllo dell'impianto di rilevazione fumi posizionato all'interno del vano scale. Non è presente un ventilatore che estragga i fumi in maniera meccanica, in quanto l'evacuazione viene favorita dall'aria pulita immessa contemporaneamente.
- l'immissione dell'aria avviene tramite un camino d'immissione, nel caso studio è il vano dell'ascensore. Può essere utilizzato perché c'è il passaggio solo di aria, senza la realizzazione di un impianto all'interno, e l'ascensore non è antincendio. In copertura sono posti due ventilatori distanziati affinché se il ventilatore principale registrasse la presenza di fumo si chiuderebbe in modo che non venga immesso all'interno del camino d'immissione. Contemporaneamente si attiverebbe il ventilatore secondario, distanziato dal principale e con dimensioni inferiori, in modo da procedere con la pressurizzazione del locale.

Per realizzare un sistema simile, si prevede l'installazione dei seguenti elementi:

- i due ventilatori per l'immissione, il primario e il secondario;
- i serramenti automatici installati nel vano scale collegati ai rilevatori che segnalano la presenza di fumo al suo interno;
- i rilevatori di fumo installati ai pianerottoli principali ed intermedi. L'attivazione del sistema deve avvenire entro 60 s dall'attivazione del primo rilevatore di fumo;
- i pressostati differenziali posizionati due per piano, uno in prossimità di ogni porta d'ingresso dell'appartamento. Hanno la funzione di rilevare la pressione che si instaura nel locale pressurizzato per verificare il rispetto dei 30 Pa di differenza tra esso e quello non pressurizzato, soprattutto quando si apre la porta dell'appartamento;
- i sensori di apertura e chiusura delle porte degli appartamenti;
- il quadro centrale che combina le componenti del sistema;
- le griglie per l'immissione dell'aria; possono essere modulanti o fisse aperte. Quelle modulanti sono aperte dal quadro in funzione della velocità dell'aria presente e della distanza dal piano del focolare; mentre da quelle fisse la portata è uguale a tutti i piani.

Si prevede in parallelo l'installazione di un impianto di allarme sonoro e visivo nel vano scale, collegato a quello di rilevazione fumi affinché tutti gli occupanti della scala condominiale siano informati del pericolo imminente quando viene rilevato il fumo.

Il modello del sistema

Il sistema doppio ha molteplici modalità di funzionamento, identificabili in funzione dei tempi di attivazione delle varie componenti e dal loro posizionamento:

1. Rilevatore sul pianerottolo - Modello senza fessure
 - la porta dell'appartamento si apre;
 - il fumo entra nel vano scale;
 - il rilevatore lo rileva e si attiva;
 - il ventilatore parte alla massima portata configurazione con porte aperte;
 - si aprono anche le finestre per far uscire i fumi;
 - gli occupanti dell'appartamento escono e la porta si chiude;
 - il ventilatore immette aria con la portata configurazione con porte chiuse.

2. Rilevatore nell'appartamento

- il rilevatore posizionato in prossimità della porta d'ingresso si attiva;
- la porta dell'appartamento si apre;
- il ventilatore parte alla massima portata porte aperte;
- si aprono anche le finestre del vano scale;
- la porta si chiude;
- il ventilatore immette aria con la portata a porte chiuse.

Si sono simulate entrambe le tipologie di impianto, per confrontarli e individuare la condizione più conveniente. Sicuramente la condizione più gravosa è la prima in quanto il quantitativo di fumo che penetra all'interno del vano scale è elevato prima dell'attivazione dell'impianto.

Lo smaltimento dei fumi

È necessario prevedere lo smaltimento dei prodotti della combustione in quanto il fumo entra all'interno del vano scale, quando ancora non è pressurizzato. I rilevatori di fumo, come indicato già in precedenza, sono situati ai pianerottoli, all'altezza dell'intradosso del solaio superiore.

Lo smaltimento può avvenire in maniera naturale o forzata; si sceglie la modalità naturale, tramite l'utilizzo delle finestre, senza realizzare delle griglie apposite sulla chiusura verticale. Gli infissi vetrati esistenti sono da rendere automatizzati, posizionando lateralmente dei pistoncini che ne permettono l'apertura automatica, o sostituirli con quelli automatici. L'apertura basculante è situata nella parte bassa dell'infisso; per questo si modella alta un quarto dell'infisso in quanto rappresenta la reale apertura per l'uscita dei fumi.

L'immissione dell'aria

La realizzazione e progettazione di un impianto per l'immissione dell'aria sono normate dalla UNI EN 12101, in vigore da luglio 2022, analizzandola sia nella parte 6, sia nella 13. Data la recente pubblicazione, non sono ancora presenti studi e pubblicazioni inerenti alla nuova normativa.

La parte 6 riporta le “Specifiche per i sistemi a differenza di pressione – Kit”, ovvero la realizzazione e i test necessari da svolgere per tutti i singoli elementi che costituiscono il sistema; mentre la parte 13 i “Metodi di progettazione e di calcolo, installazione, prove di accettazione, prove periodiche e manutenzione” fornisce una visione complessiva dell'impianto, descrivendone la progettazione; questa sezione è applicata di seguito.

All'interno della UNI EN 12101-13:2022, si riportano i quattro parametri da testare dopo aver installato l'impianto:

- la massima forza necessaria per aprire una porta verso il locale pressurizzato. È importante che sia verificata in quanto ne risulti sempre agevole l'apertura per chiunque;
- la minima differenza di pressione ΔP necessaria affinché si crei un ambiente che mantenga la sovrappressione;
- la minima velocità del flusso d'aria è un valore caratteristico che varia in funzione della Classe dell'edificio;
- il ritardo massimo di risposta definito da tre tempi, quello d'avvio, di operazione e di risposta.

Queste proprietà prevedono valori differenti a seconda della classe di riferimento dell'edificio, Classe 1 e Classe 2. La Classe 1 è relativa a edifici residenziali con altezza massima di 32 m o dotati di impianto sprinkler; non rientrando in questa categoria entrambi i vani scale sono di Classe 2 definita come:

- a. "where Class 1 is not applicable; or
- b. if required by authorities having jurisdiction."⁵

Sono quindi da rispettare i valori riportati nella tabella di seguito.

Parameter	Class 1	Class 2
Door opening force	≤ 100 N	
Pressure differential	≥ 30 Pa	
Airflow velocity	≥ 1 m/s	≥ 2 m/s
Initiation time	≤ 60 s	
Operation time	≤ 120 s	
Response time	≤ 5 s	

Tabella 25: Table 1 - Design requirements of a PDS (UNI EN 12101-13:2022)

All'interno dell'allegato A è riportato il calcolo delle portate volumetriche d'aria in tutte le condizioni analizzando il quantitativo d'aria che passa attraverso una qualsiasi tipologia di apertura, applicando la formula seguente:

$$Q_{OPENING} = C_V * A_{OPENING} * \sqrt{\frac{2}{\rho}} * (\Delta P)^{\frac{1}{R}} \quad [m^3/s]$$

dove:

$Q_{OPENING}$ = il flusso d'aria attraverso la relativa apertura [m^3/s];

C_V = il coefficiente di scarico (tra 0,6 e 0,9) [-];

$A_{OPENING}$ = la zona di apertura [m^2];

ΔP = la differenza di pressione attraverso l'apertura [Pa];

ρ = la densità dell'aria, tipicamente è 1,2 kg/m^3 [kg/m^3];

R = coefficiente di flusso [-].

Per semplificare la determinazione della $Q_{OPENING}$, sono indicate quattro condizioni differenti nelle quali calcolare la portata suddividendola in più componenti:

- le porte che danno sul vano scale sono chiuse e anche la porta d'uscita è chiusa;
- le porte che danno sul vano scale sono chiuse e la porta d'uscita è aperta;
- le porte che danno sul vano scale sono aperte e la porta d'uscita è chiusa;
- le porte che danno sul vano scale sono aperte e anche la porta d'uscita è aperta.

La norma prevede di analizzare sia la condizione con le porte che si affacciano sul vano scala chiuse sia che siano aperte, in modo da prevedere la condizione più gravosa; nel caso studio queste porte sono direttamente quelle degli appartamenti. Relativamente alla porta del piano

⁵ UNI EN 12101-13: 2022 "Sistemi per il controllo di fumo e calore – Parte 13: sistemi differenziali di pressione (PDS) – Metodi di progettazione e di calcolo, installazione, prove di accettazione, prove periodiche e manutenzione"

terra, la UNI la definisce sempre chiusa in assenza di particolari esigenze progettuali che la richiederebbero sempre aperta; per questo motivo nei casi studio si considera la porta chiusa, in quanto verrà aperta solamente dagli occupanti durante l'esodo.

1. Porte chiuse ai piani:

la stima della perdita d'aria totale è suddivisa in cinque componenti che analizzano gli elementi presenti in un ambiente attraverso i quali sono presenti delle perdite d'aria:

$$Q_{SDC} = Q_{DC} + Q_{LD} + Q_{WC} + Q_{WALL} + Q_{FLOOR} \quad [m^3/s]$$

dove:

Q_{SDC} = perdita totale a porte chiuse [m^3/s];

Q_{DC} = perdita attraverso le porte chiuse, considerando quindi il flusso che passa tra l'anta della porta e il telaio [m^3/s];

Q_{LD} = perdita attraverso le porte di piano degli ascensori, nella condizione in cui il vano ascensore non è pressurizzato [m^3/s];

Q_{WC} = perdita attraverso le finestre chiuse [m^3/s];

Q_{WALL} = perdita attraverso le pareti, immaginando possano esserci dei fori o crepe che portino a una maggiore dispersione dell'aria, rispetto alla semplice traspirazione del muro [m^3/s];

Q_{FLOOR} = perdita attraverso i solai, si considerano nel caso in analisi sia quello del piano terra, sia quello di copertura, considerando una dispersione attraverso la falda.

La portata complessiva necessaria per l'impianto con le porte chiuse, Q_{TDC} , si calcola come una maggiorazione della portata precedentemente calcolata:

$$Q_{TDC} = 1,5 * Q_{SDC} \quad [m^3/s]$$

2. Porte aperte ai piani:

si calcola il flusso d'aria volumetrico con le porte aperte in funzione delle aree degli elementi disperdenti presenti nel locale e della pressione presente nel vano scala pressurizzato:

$$Q_{TDO} = \left[0,83 * \{A_W + A_{LW} + A_{LF}\} * P_{SC}^{1,6} \right] + \left[0,83 * \{A_D + A_{DCOT}\} * P_{SC}^{1,6} \right] + Q_{DO} \quad [m^3/s]$$

dove:

Q_{TDO} = il flusso d'aria con le porte aperte [m^3/s];

Q_{DO} = il flusso d'aria volumetrico attraverso la porta aperta dallo spazio non protetto a quello protetto [m^3/s];

A_W = l'area delle finestre presenti nel vano scale, è ottenuta moltiplicandola per un coefficiente a seconda della tipologia di infisso [m^2];

A_{LW} = l'area delle pareti disperdenti del vano scale, ottenuta anch'essa come prodotto tra area reale e un coefficiente tabulato in funzione dello stato di conservazione delle partizioni e chiusure [m^2];

A_{LF} = l'area dei solai attraverso i quali c'è dispersione [m^2];

P_{SC} = la pressione presente nel vano scale pressurizzato, calcolata in funzione della pressione presente nei locali non protetti, gli appartamenti, più una componente aggiuntiva in funzione della portata da rilasciare dallo spazio non protetto [Pa].

Calcolate le portate in entrambe le condizioni, si calcola la portata di progetto Q_{DESIGN} , in funzione della maggiore tra le due portate calcolate a porte aperte e porte chiuse:

$$Q_{DESIGN} = 1,15 * Q_{sx} \quad [m^3/s]$$

$$Q_{sx} = \max(Q_{TDC}; Q_{TDO}) \quad [m^3/s]$$

La Q_{DESIGN} è la portata che viene immessa, tramite delle superfici, all'interno del modello per simulare il sistema di pressurizzazione progettato. Si calcola separatamente per i due vani scale, come riportato nei capitoli seguenti.

L'immissione avviene tramite delle griglie posizionate sopra alla porta dell'ascensore e il camino è il vano ascensore. Le griglie scelte sono modulanti, le cui aperture sono comandate dalla centrale di controllo dell'impianto, rilevando tramite dei sensori la velocità dell'aria davanti e della posizione del rilevatore fumi che lo attiva. Questa tipologia di griglia permette quindi di aprire maggiormente quelle più vicine all'incendio e chiudere le altre, per velocizzare la sovrappressione del vano scale a partire dal piano dov'è il focolaio.

Negli altri capitoli della normativa UNI EN 12101-13:2022 sono affrontati gli elementi che influenzano i sistemi di pressurizzazione, come la temperatura e il vento, fenomeno analizzato in particolare in prossimità della copertura e degli infissi esterni vetrati.

Portate e dimensionamento

Le portate d'aria da immettere, la potenza della pompa e la sua prevalenza sono verificate in collaborazione con l'azienda BOVEMA Italia S.r.l., specializzata nei sistemi di evacuazione fumi e calore. Tali valori sono verificati tramite due fogli di calcolo preimpostati dall'azienda, affinché inserendo le caratteristiche geometriche del vano e quelle delle superfici disperdenti, si ottengano la portata d'aria a porte aperte e quella a porte chiuse, e la potenza del ventilatore necessaria per permettere le portate chieste.

5.3.4 Modello di simulazione dell'esodo

Il modello di simulazione dell'esodo è realizzato con il software Pathfinder. Ha un'interfaccia grafica che permette una semplice interpretazione dei risultati e la caratterizzazione dei singoli occupanti.

La simulazione individua il tempo necessario per gli occupanti di evacuare e arrivare in un luogo sicuro. Il tempo di esodo è costituito da quattro componenti:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra} \quad [s]$$

dove:

t_{det} = tempo di rilevazione [s];

t_a = tempo di allarme generale [s];

t_{pre} = tempo di pre-movimento [s];

t_{tra} = tempo di movimento [s].

Il RSET viene calcolato per ogni occupante perché dipende dall'attività di pre-movimento, dalla velocità d'esodo di ogni persona, che varia in funzione di caratteristiche personali, e della modalità d'impiego dell'edificio.

Il software fornisce in automatico il tempo di movimento come il tempo impiegato dall'ultimo occupante a raggiungere un luogo sicuro. Si sceglie di attribuire ad ogni occupante un ritardo, calcolato come il complessivo dei tempi di rilevazione, allarme generale e pre-movimento, affinché il tempo finale della simulazione sia RSET.

Tempo di rilevazione - t_{det}

È il tempo che intercorre tra l'inizio del processo di ignizione e il momento nel quale l'incendio viene rilevato; può essere quindi identificato come il tempo necessario affinché il sensore del sistema di rilevazione fumo si attivi.

Questo tempo è determinato in funzione della tipologia di sistema di rilevazione utilizzata e dallo scenario d'incendio. Si prevede un impianto di rilevazione automatico.

Tempo di allarme generale - t_a

È il tempo che intercorre tra la rilevazione dell'incendio e l'allarme generale per informare gli occupanti.

Può assumere due valori:

- “pari a zero, quando la rivelazione attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio;*
- pari al ritardo valutato dal professionista antincendio, se la rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.”⁶*

La somma del tempo di rilevazione e quello di allarme generale si può ottenere, in funzione del R_{vita} , tramite riferimento normativo (Tabella Tempo ($t_{det} + t_a$) dell'INAIL – “Metodi per l'ingegneria della sicurezza antincendio”) oppure effettuando una simulazione con il software Pyrosim, come nel caso studio. Nella Scala sono posizionati tre sensori di fumo al pianerottolo del primo piano che forniscono il tempo al quale viene rilevato il fumo a un'altezza di 20 cm dall'estradosso del solaio superiore, questa distanza permette che i sensori non vengano inglobati al suo interno durante l'approssimazione geometrica del modello numerico. Si considera quindi il tempo medio dai tre sensori.

$$t_{det} = 35 \text{ s}$$

SCALA - TEMPO DI RILEVAZIONE	
Sensore [-]	Tempo di rilevazione sensore [s]
SD_tdet01	34,58
SD_tdet04	34,64
SD_tdet05	36,94

Tabella 26: Scala - Tempo di rilevazione

⁶ Ministero dell'Interno – D.M. 3 agosto 2015 Codice di prevenzione incendi, aggiornamento D.M. 19/05/2022

Tempo di pre-movimento - t_{pre}

È l'intervallo di tempo necessario agli occupanti per svolgere le attività che precedono il movimento vero e proprio verso il luogo sicuro; è influenzato dalla condizione in cui si trovano gli occupanti all'interno del locale, se è un ambiente per loro familiare o no, se sono in stato di veglia o no. È costituito da due tempi:

- tempo di riconoscimento: continuano le attività finché non riconoscono l'emergenza;
- tempo di risposta: inizio dell'attività relativa all'emergenza.

Per individuare questo tempo si fa riferimento alla distribuzione log-normale descritta nella ISO/TR 16738:2009. Nel caso studio gli occupanti sono addormentati, condizione più sfavorevole rispetto alla veglia, e in un ambiente familiare, come indicato precedentemente.

L'attività è caratterizzata in funzione di tre parametri:

- A: identifica il livello di allarme;
- B: identifica la complessità geometrica dell'edificio;
- M: identifica la gestione della sicurezza antincendio.

Tipologia sistema di allarme	Livello A1	Rivelazione automatica estesa a tutto l'edificio in grado di attivare un immediato allarme generale in ogni parte dell'edificio ($t_a = 0$). Se viene utilizzato un sistema di segnalazione verbale il tempo del messaggio dovrà essere aggiunto al tempo di allarme.
	Livello A2	Il sistema di rivelazione è collegato con un pre-allarme indirizzato in un luogo presidiato, che può quindi attivare l'allarme generale; t_a ha un certo ritardo (2 - 5 min). Se viene utilizzato un sistema di segnalazione verbale il tempo del messaggio dovrà essere aggiunto al tempo di allarme.
	Livello A3	Sistema di rivelazione ed allarme solo nelle vicinanze del luogo in cui si è verificato l'incendio, con attivazione manuale dell'allarme; t_a risulta difficilmente stimabile.
Complessità edificio	Livello B1	Edificio a pianta semplice ed un solo piano, semplice layout ed un buon accesso visivo alle condizioni interne, moderate distanze per raggiungere uscite di sicurezza che conducono direttamente all'esterno.
	Livello B2	Semplice edificio in cui sono presenti più ambienti su piani diversi, con caratteristiche rispondenti alle indicazioni prescrittive e semplice layout interno.
	Livello B3	Rappresenta un edificio complesso. Questa tipologia considera complessi costituiti da più edifici tra loro integrati (centri commerciali, aeroporti, ecc.). Per la complessità e le dimensioni possono presentare difficoltà nel <i>wayfinding</i> durante una evacuazione e la gestione dell'emergenza presenta comunque particolari necessità.
Efficacia gestione sicurezza	Livello M1	Gli occupanti sono normalmente addestrati ad un buon livello di gestione della sicurezza antincendi e nella gestione della prevenzione e manutenzione. Esiste un piano di emergenza ben strutturato con prove effettuate regolarmente. Qualora siano presenti persone che non hanno familiarità con l'ambiente, esiste un buon rapporto tra il personale addestrato ed i visitatori.
	Livello M2	Come il livello M1 ma con uno staff meno articolato e personale di vigilanza non sempre presente.
	Livello M3	Rappresenta standard con un livello minimo di gestione della sicurezza. Non viene effettuato alcun audit. Non è disponibile alcun progetto ingegneristico relativamente al rischio incendio e vengono attuate misure di prevenzione incendi derivanti da altre considerazioni. Alto livello di protezione attiva e/o passiva.

Riferimento normativo 12: Livelli A, B e M (INAIL - Metodi per l'ingegneria della sicurezza antincendio)

Scenario category and modifier levels ^a	First occupants t_{pre} (1st percentile)	Occupant distribution t_{pre} (99th percentile)
A: Awake and familiar		
M1 B1 – B2 A1 – A2 ^a	0,5	1,5
M2 B1 – B2 A1 – A2	1	3
M3 B1 – B2 A1 – A3	> 15 ^b	> 30 ^b
For B3, add 0,5 for way-finding.	—	—
M1 normally requires a voice alarm/PA if unfamiliar visitors likely to be present.	—	—
B: Awake and unfamiliar		
M1 B1 A1 – A2	0,5	2,5
M2 B1 A1 – A2	1,0	4,0
M3 B1 A1 – A3	> 15 ^b	> 30 ^b
For B2, add 0,5 for way-finding.	—	—
For B3, add 1,0 for way-finding.	—	—
M1 normally requires a voice alarm/PA.	—	—
Ci: Sleeping and familiar (e.g. dwellings, individual occupancy)		
M2 B1 A1	5 ^b	10 ^b
M3 B1 A3	10 ^b	> 40 ^b
For other units in a block, assume 1 h.	—	—

Riferimento normativo 13: Table E.2 — Suggested pre-travel activity times for different design behavioral scenario categories (ISO/TR 16738:2009)

Tempo di movimento - t_{tra}

È il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento. Dipende da tre fattori differenti:

- “la distanza degli occupanti o gruppi di essi dalle vie d’esodo;
- le velocità d’esodo, che dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l’ambiente costruito e gli effetti dell’incendio. È dimostrato che la presenza di fumi e calore rallenta notevolmente la velocità d’esodo in funzione delle condizioni di visibilità;
- la portata delle vie d’esodo, dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli ed ostacoli.”⁷

La somma dei tempi di rilevazione, allarme generale e pre-movimento costituisce il ritardo di inizio movimento degli occupanti impostato nei *Behaviors* degli occupanti affinché il tempo complessivo di esodo che viene fornito dal software Pathfinder alla fine della simulazione sia RSET e non la sola componente di movimento.

Caratteristiche degli occupanti

Gli occupanti hanno caratteristiche molto differenti tra loro, in funzione della loro età, mobilità e abitudini sociali. Una persona anziana, un bambino, un giovane o una persona con disabilità hanno esigenze molto differenti per l’esodo. L’età influenza la velocità e la facilità di movimento, un giovane si muove con più rapidità e disinvoltura rispetto a un anziano o un bambino, a sua volta accompagnato da un adulto. Si deve inoltre comprendere se l’occupante per scendere le scale abbia bisogno di appoggiarsi al mancorrente oppure necessita dell’aiuto dei soccorritori.

⁷ Ministero dell’Interno – D.M. 3 agosto 2015 “Codice di Prevenzione Incendi”, aggiornamento D.M. 19/05//2022

Grazie a programmi di modellazione sofisticata degli occupanti, come Pathfinder della Thunderhead Engineering, è possibile caratterizzarli sempre di più studiando inoltre molteplici disabilità, non solo quella motoria che implica la sedia a rotelle. A seconda della disabilità, la modalità di esodo è differente: una persona può essere in grado di uscire da sola, avere bisogno dell'aiuto di un altro occupante o dei soccorritori; può comprendere la condizione di emergenza insorta e reagire per mettersi in sicurezza o non comprendendola mettersi in situazioni più pericolose.

Il software Pathfinder utilizzato assegna a ogni occupante due parametri diversi:

- *Profile* analizza le sue caratteristiche fisiche e l'abilità nel movimenti;
- *Behavior* descrive il percorso di esodo effettuato.

La modellazione si concretizza assegnando all'occupante un *Profile*, ovvero si indica la sua velocità di movimento e la sua forma, specificando se necessita di particolari ausili per il movimento che creino un ingombro maggiore, come una sedia a rotelle o un letto ospedaliero, prevedendo l'ingombro anche della persona che l'assiste. Le tempistiche di movimento variano in funzione della capacità motoria e della tipologia di percorso da svolgere, l'esodo verticale lungo delle scale risulterà più lungo rispetto a quello orizzontale. All'interno della ISO/TR 16738:2009 è riportata la velocità dell'occupante in funzione delle sue capacità motorie.

Si riportano di seguito i profili previsti:

- Default: occupanti normodotati con una velocità di 1,19 m/s, individuata a partire dal report tecnico sopra citato. Prevede l'attraversamento di scale, rampe e corridoi, risultando quindi compatibile al percorso di esodo da compiere;

Exit route element		k^a	Travel speed m/s	Maximum specific flow F_{Smax} persons/m/s of effective width
Corridor, aisle, ramp, doorway		1,40	1,19	1,19
Stair riser mm	Stair tread mm	—	—	—
191	254	1,00	0,85	0,94
178	279	1,08	0,95	1,01
165	305	1,16	1,00	1,09
165	330	1,23	1,05	1,16

^a Constants for Equation (G.1), effects of density on travel speed.

Tabella 27: Table G.2 — Maximum unimpeded travel speeds and flow rates for horizontal and stair travel (ISO/TR 16738:2009)

- App1: occupanti dell'appartamento in cui c'è il principio d'incendio. La loro velocità risulterà come quella di un occupante default, 1,19 m/s. La differenza è nel tempo impiegato prima di esodare, il ritardo di movimento, in quanto si accorgono con maggiore rapidità dell'emergenza in corso.
- DIS: occupanti con disabilità motoria. Si sceglie di considerare tale disabilità in quanto tiene conto è molto diffusa essendo sia permanente sia temporanea, e può rappresentare anche una persona anziana impossibilitata a fare molte rampe di scale.

L'ascensore presente non è antincendio, l'occupante sarà portato all'esterno dal soccorritore. Si considera che il vano scale sarà protetto una volta attivato il sistema di pressurizzazione; quindi, svolge la funzione di luogo sicuro in attesa dell'arrivo dei Vigili del fuoco. Si prevede che raggiunga il pianerottolo del vano scale e attenda l'arrivo di un vigile del fuoco per esodare;

- VVF: è un singolo occupante che ha il compito di entrare all'interno dell'edificio, raggiungere l'occupante in sedia a rotella e portarlo all'uscita. La loro velocità è 1,19 m/s, come gli occupanti Default.

All'interno del Profile si assegna anche la geometria dell'occupante che varia in funzione delle sue caratteristiche fisiche. Gli occupanti con profili Default, App1 e VVF sono cilindri con un'altezza di 1,75 m, altezza media della popolazione; mentre l'occupante con disabilità motoria è un parallelepipedo. Ad ognuno di essi si può assegnare anche una rappresentazione 3D corrispondente in modo da avere una visualizzazione grafica di più facile comprensione.



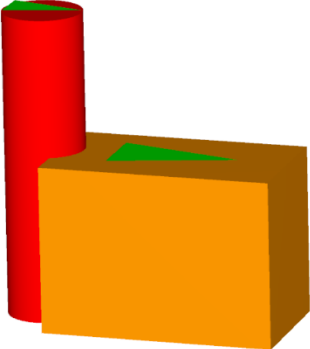

MODELLI OCCUPANTI	
Occupante geometrico	Occupante Modello 3D
	
	

Tabella 28: Pathfinder - Modellazione Occupanti

L'altra caratteristica che si attribuisce all'occupante è il *Behavior*; a ogni persona viene assegnato il percorso di esodo da svolgere, definendo così anche l'attesa dell'accompagnatore. Il percorso di esodo assegnato può essere fortemente dettagliato, facendo compiere all'occupante un percorso ben preciso, oppure si può attribuire di dirigersi verso una qualsiasi uscita. Nel primo caso è necessario prevedere molteplici prove di esodo affinché per gli occupanti diventi familiare compiere quel percorso specifico. Nel caso studio il percorso è per tutti il medesimo, percorrendo quindi l'uscita d'esodo verticale, dirigendosi successivamente all'esterno.

I comportamenti inseriti sono:

- Default: è il comportamento assegnato a tutti gli occupanti con profilo Default; ognuno è libero di uscire utilizzando la porta più vicina. Viene indicato un ritardo di inizio movimento costituito da $t_{det} + t_a$;
- App1: è il comportamento assegnato agli occupanti con l'omonimo profilo ed è definito come Goto Any Exit, con un ritardo log-normale di 30 - 160 s perché si accorgeranno più velocemente dell'incendio, muovendosi per primi;
- DIS: è il comportamento assegnato agli occupanti con profilo DIS. Ha un ritardo come gli occupanti Default, ma si fermerà sul pianerottolo del suo piano, luogo sicuro temporaneo, in attesa che giunga il soccorritore e lo aiuti a percorrere le scale;
- VVF: è il comportamento assegnato all'occupante con profilo VVF. È caratterizzato anch'esso da un ritardo di inizio movimento, che rappresenta il tempo di arrivo dei soccorritori sul luogo, 1044 s. Questo behavior è costituito da due comandi: inizialmente raggiunge l'occupante con disabilità e successivamente si dirigono verso l'uscita più vicina.

5.3.5 Risultati

I modelli di campo e di simulazione dell'esodo forniscono risultati oggettivi sull'incendio ottenendo due tempi, ASET e RSET, che permettono di comprendere se lo scenario è verificato. La modellazione risulta efficace se ASET risulta maggiore di RSET, considerando il $t_{margine}$.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti per il focolaio predefinito posizionato nell'appartamento 1 del primo piano:

- la curva RHR che riporta l'andamento della potenza in kW fornita dal software Pyrosim;
- lo studio dei quattro parametri visibilità, temperatura, FED e irraggiamento, per individuare il tempo ASET;
- le slices di temperatura e visibilità utili per comprendere il loro andamento nel tempo su particolari piani, come ortogonalmente al vano ascensore;
- il tempo RSET dell'ultimo occupante che raggiunge un luogo sicuro e le condizioni di temperatura e visibilità alle quali è sottoposto, utilizzando il software Pathfinder.

6 Scala

Il caso studio analizza la situazione con il focolaio situato nell'appartamento sinistro e gli effetti di tale incendio nella via di esodo verticale esistente.

La scala è costituita da due rampe parallele con un pianerottolo intermedio e uno principale sul quale affacciano le porte degli appartamenti e l'ascensore.

6.1.1 Individuazione del focolare

Il focolaio è posizionato nell'appartamento a sinistra del vano ascensore, nel soggiorno per simulare la posizione di un divano. La posizione individuata è gravosa, nonostante non siano state modellate le partizioni interne verticali. Essendo situato al primo piano i fumi prodotti dalla combustione, quando si apre la porta dell'appartamento, penetrano nel vano scale rendendo così pericoloso l'esodo degli occupanti dei piani superiori.

Si prevede che la potenza termica massima rilasciata per unità di superficie sia pari a 5 000 kW/m², modellando il focolaio di dimensione 1x1 m, di colore rosso.

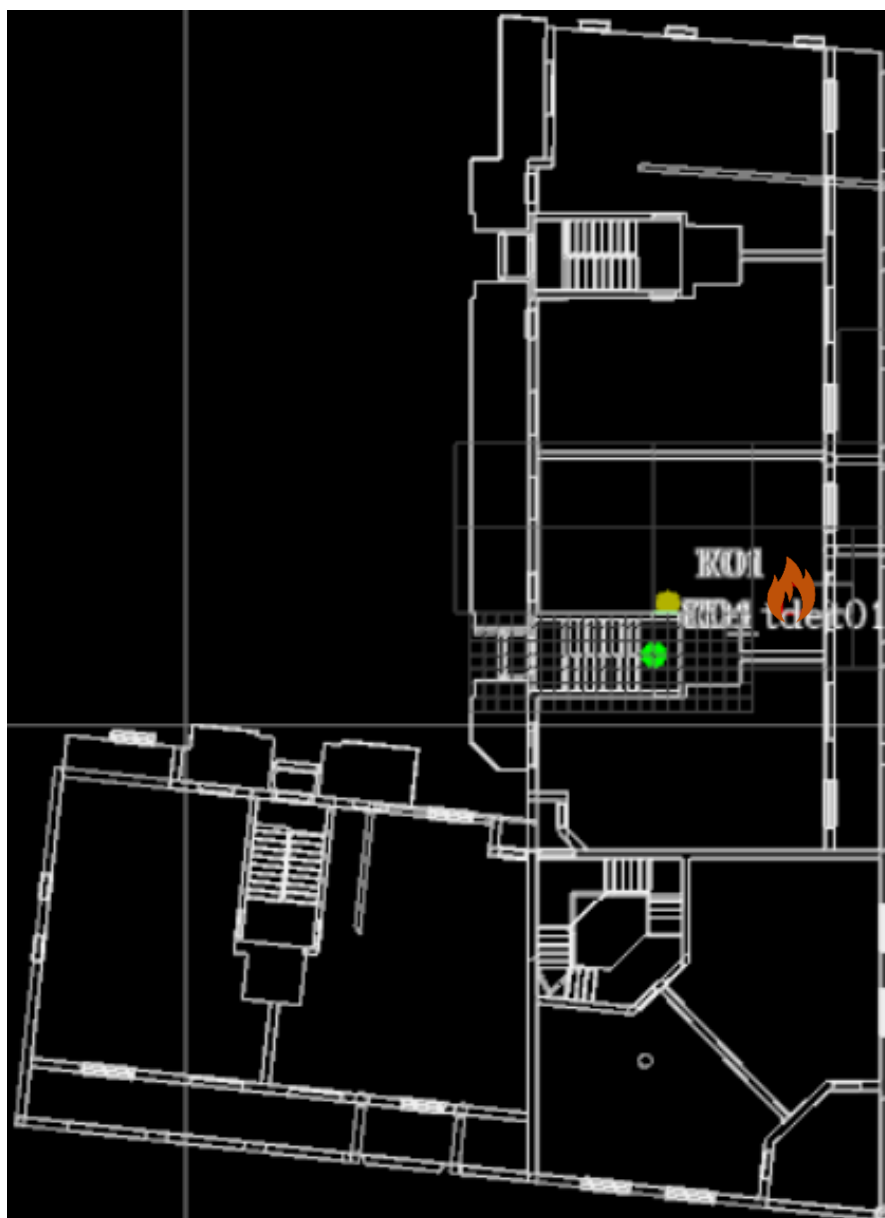


Figura 11: Scala - Planimetria posizione focolaio

6.1.2 Condizione esistente

Il primo modello realizzato è della scala condominiale esistente, verificando che l'incendio si sviluppi e propaghi, portando alla diffusione del fumo all'interno del vano scale, dal quale partire per lo studio delle norme degli edifici a grande altezza.

La presenza di varchi, non EI (Enchentolage Isolement), come le porte degli appartamenti, mette in comunicazione volumi differenti permettendo la propagazione dei prodotti della combustione attraverso le fessure presenti tra l'anta e il telaio. Questi influiscono anche nel dimensionamento dell'impianto di sovrappressione, descritto nel dettaglio nei paragrafi precedenti, in quanto rappresentano delle portate di aria disperse. Si prevede la sostituzione delle porte esistenti con quelle EI, considerandole di dimensioni minime per essere a favore di sicurezza.

In questa simulazione si effettua un'approssimazione di calcolo trascurando le perdite di carico attraverso le porte chiuse, tralasciando la propagazione dell'incendio che potrebbe avvenire tra il vano scale e gli appartamenti con l'ingresso dei fumi caldi.

Sono modellate delle aperture, hole, per simulare la rottura del vetro della finestra dovuta alle temperature elevate dei fumi, quella davanti al focolaio si rompe a 120 s. La porta dell'appartamento dove è il focolaio è aperta da 30 a 180 s permettendo l'esodo degli occupanti e permettendo l'ingresso di un grande quantitativo di fumo all'interno del vano scale.

Si procede con la determinazione del tempo ASET dell'esistente; analizzando gli andamenti nel tempo della FED, dell'irraggiamento, della temperatura e della visibilità individuando qual è il primo tempo al quale si raggiunge una delle quattro soglie di prestazione. La visibilità è la caratteristica da studiare in assenza dell'impianto perché il fumo prodotto all'interno dell'appartamento si diffonde rapidamente all'interno del vano scale, quando si apre la porta, generando difficoltà di movimento durante l'esodo.

Il sensore è posizionato a 1,8 m dal piano di calpestio e il primo che rileva la visibilità inferiore a 10 m, soglia per gli occupanti, è V05, posizionato sul pianerottolo intermedio tra il primo e il secondo piano. Individua un $ASET = 104,89 \text{ s} = 1,45 \text{ min}$; è quindi presente una rapida diminuzione della visibilità dovuta all'elevata propagazione del fumo, come nell'immagini seguenti. A 121,03 s la sonda al secondo piano registra la visibilità sotto la soglia di 10 m.

In queste analisi si esclude il sensore posizionato sul pianerottolo del primo piano, in modo da studiare la condizione gravosa che si riscontrerebbe se ci fosse un mancato funzionamento del primo.

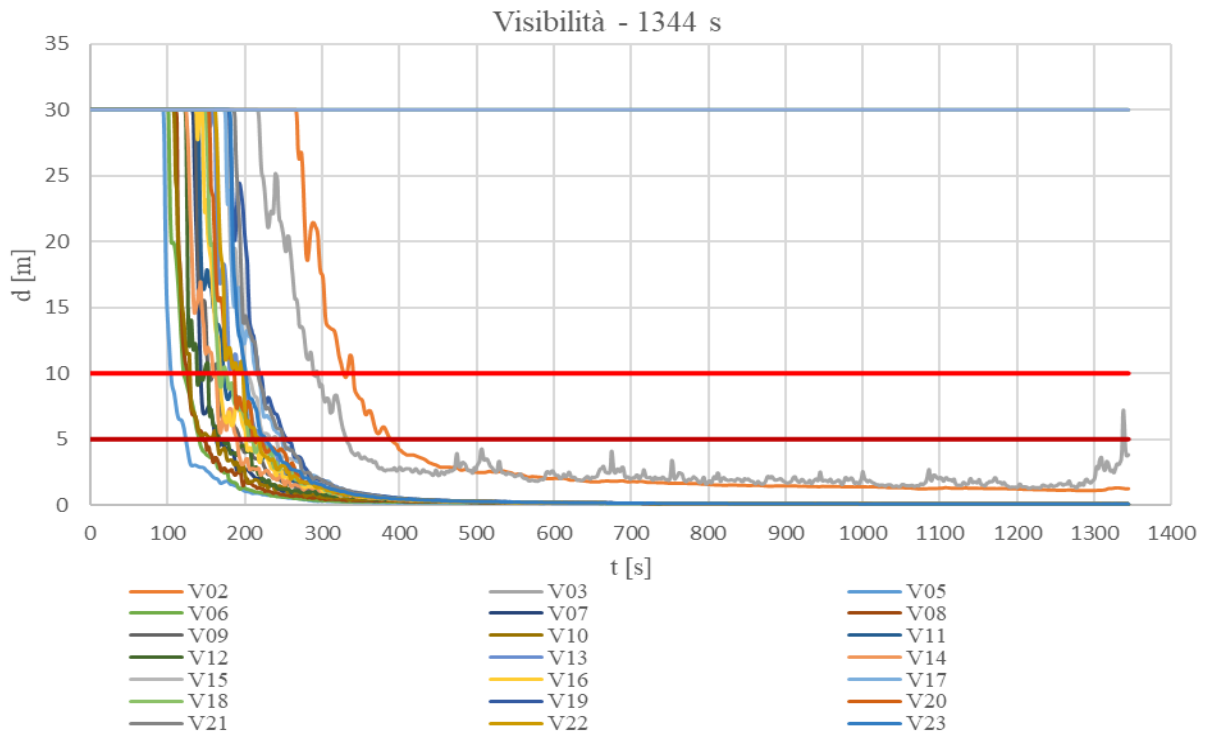
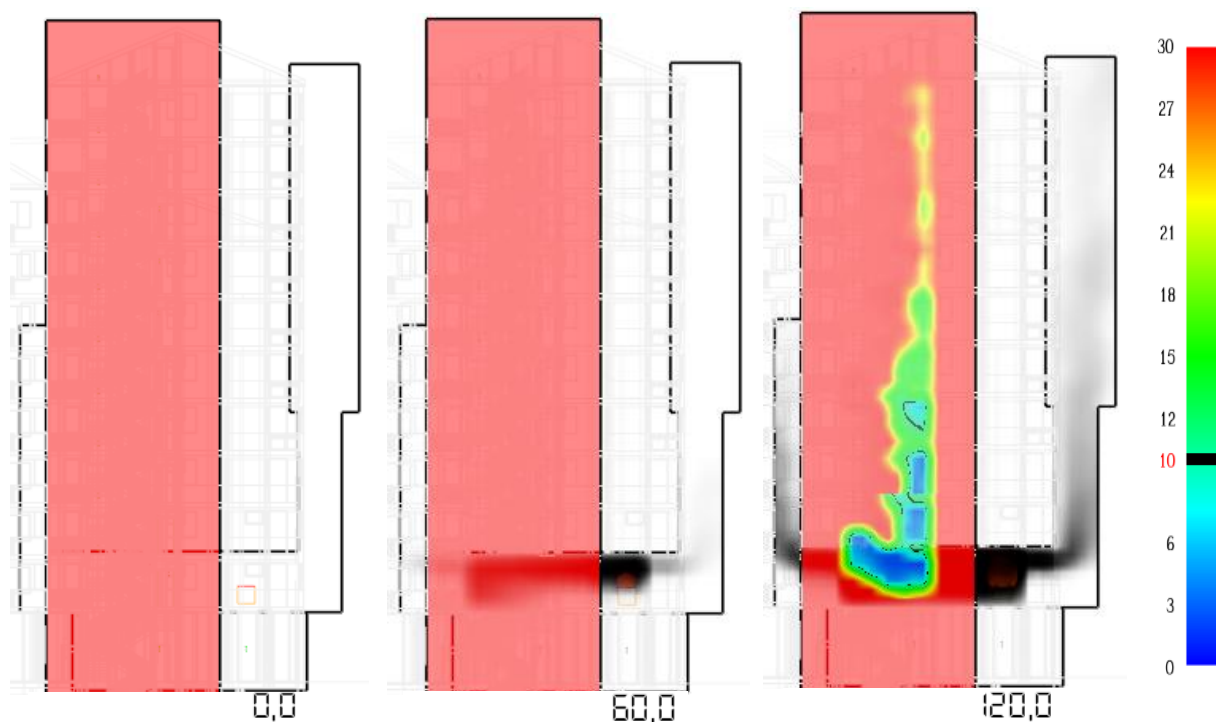
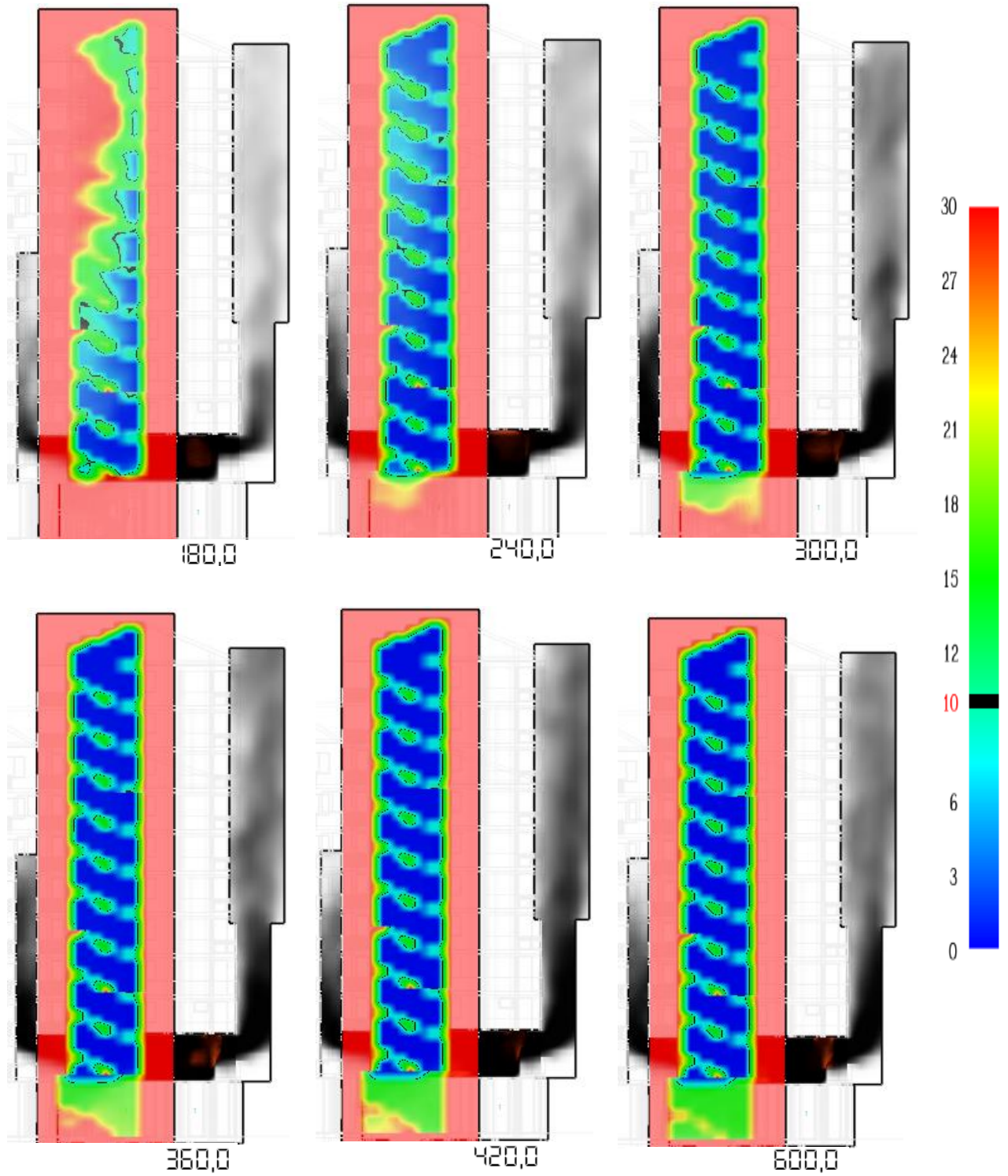


Grafico 10: Scala, condizione esistente - Visibilità 1344 s

Le immagini seguenti analizzano l'andamento della visibilità sul piano trasversale al vano scale; data la conformazione geometrica del vano si osserva che i fumi si diffondono rapidamente in altezza sfruttando le ringhiere costituite da elementi singoli.

I fumi della combustione ostruiscono totalmente le scale, riducendo la visibilità a valori sottosoglia, tra 6 e 0 m, a 240 s dallo scoppio dell'incendio, circa 3,5 min dall'apertura della porta dell'appartamento.





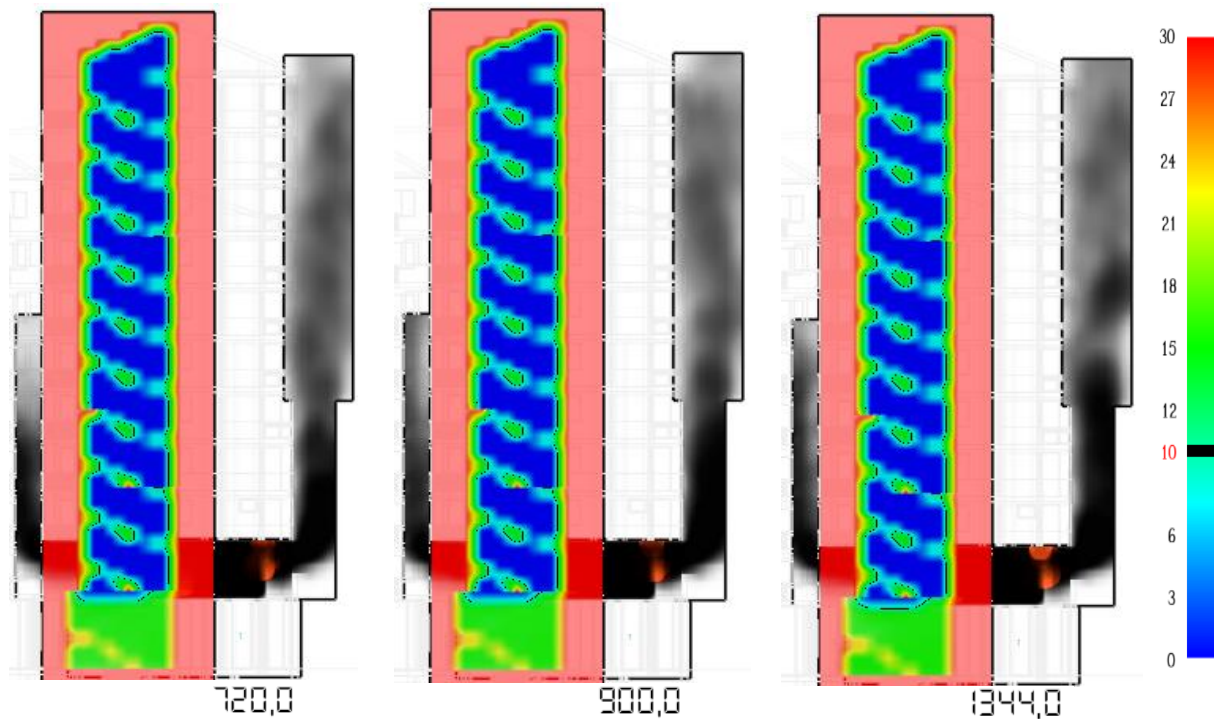


Figura 12: Scala, condizione esistente - Analisi visibilità

TEMPI DI SUPERAMENTO DELLA SOGLIA OCCUPANTI		
Grandezza	Soglia Occupanti	Tempo [s]
FED	0,1 mol/mol	313,18
Irraggiamento	2,5 kW/m ²	non la raggiunge
Temperatura	60 °C	282,25
Visibilità	10 m	104,89
ASET - Visibilità Scala		104,89

Tabella 29: Scala, condizione esistente - Tempi di superamento della soglia occupanti

6.1.3 Tempo di rilevazione

Il tempo di rilevazione è determinato dall'attivazione del rilevatore di fumo. Si simulano due posizioni differenti del sensore, sul pianerottolo principale davanti alla porta degli appartamenti e all'interno dell'appartamento. In entrambi i casi i sensori sono installati sull'intradosso dei solai. Sono posizionati inoltre dei sensori di sicurezza anche a tutti i pianerottoli intermedi.

La prima simulazione analizza il posizionamento del sensore sul pianerottolo; in particolare ne sono installati tre per individuare un valore medio, svincolando il tempo dalla precisione della loro posizione. Si considerano tre tempistiche differenti di apertura e chiusura della porta, analizzando quindi un flusso di fumo differente che invade la scala, per individuare la condizione più sfavorevole dell'apertura della porta. Il valor medio è calcolato come la media dei tempi di rilevazione dei tre sensori, sottraendo i secondi che trascorrono prima dell'apertura della porta.

SCALA - TEMPO DI RILEVAZIONE con rilevatore sul pianerottolo				
Apertura-chiusura porta	Tempo SD_tdet01 [s]	Tempo SD_tdet04 [s]	Tempo SD_tdet05 [s]	Tempo medio rilevazione [s]
apertura 30 s chiusura 180 s	64,58	64,64	66,94	35,40

apertura 90 s chiusura 120 s	94,87	94,52	95,81	5,07
apertura 90 s chiusura 180 s	94,87	94,52	95,81	5,07

Tabella 30: Scala - Tempo di rilevazione del fumo sul pianerottolo

La condizione più gravosa è la prima (apertura della porta a 30 s e chiusura a 180 s), in quanto avendo la porta aperta 150 s il quantitativo di fumo che penetra all'interno delle scale è maggiore rispetto a quello delle altre due condizioni.

Nella seconda simulazione il sensore è all'interno dell'appartamento, nei pressi della porta d'ingresso. Si simula solamente la condizione più gravosa della porta, apertura a 30 s e chiusura a 180 s.

SCALA - TEMPO DI RILEVAZIONE con rilevatore all'interno dell'appartamento	
Apertura-chiusura porta	Tempo medio rilevazione [s]
apertura 30 s chiusura 180 s	25,22

Tabella 31: Scala - Tempo di rilevazione del fumo nell'appartamento

L'impianto si attiverebbe quindi dopo 85,22 s dallo scoppio dell'incendio, avendo l'ingresso del fumo all'interno del vano scale solo per 55 s; nella prima simulazione il fumo si diffonde per 95 s.

6.1.4 Sistema doppio

Il sistema che si installa all'interno del vano scale è doppio, svolgendo la funzione di evacuazione naturale dell'aria tramite gli infissi vetrati delle scale e sovrappressione tramite l'immissione dell'aria attraverso delle griglie, come già descritto nel paragrafo 5.3.3.

Lo smaltimento dei fumi

La strategia S8 del Codice prevede lo smaltimento dei fumi e del calore che penetrano all'interno del vano scale progettando, se la valutazione del rischio lo richiede, un impianto meccanico SVOF (*Sistemi di ventilazione forzata orizzontale del fumo e del calore*). Nel caso studio si prevede avvenga naturalmente, senza un impianto, tramite gli infissi del vano scale, questo processo è agevolato dall'aria che viene immessa che spinge il fumo verso l'esterno. Gli infissi esistenti sono suddivisi in altezza in due parti, quella superiore fisso mentre quella inferiore basculante, risultando quindi l'unica parte apribile. La dimensione delle finestre apribili è 1,2 x 0,75 m, dato che il rapporto altezza/larghezza è inferiore a 1, si considera che la superficie di ventilazione netta è il 50% della dimensione della finestra. La norma permette di effettuare l'immissione dell'aria a piani alterni, la scelta di averla a tutti i piani è cautelativa permettendo lo smaltimento più rapido dei fumi.

L'apertura degli infissi è automatica, comandata dal sistema di rilevazione fumi che ne attiva i due più vicini al sensore di fumo che si è attivato. Nel caso in analisi si simula l'apertura delle finestre (Finestra_02 e Finestra_03) che sono le più vicine all'appartamento del primo piano.

L'immissione dell'aria

Si procede con la descrizione delle specifiche dell'impianto di pressurizzazione. Come indicato precedentemente, si calcola la portata di aria da immettere sia nel caso in cui tutte le porte degli appartamenti siano chiuse, sia aperte; in funzione dell'istante analizzato si considera una delle due situazioni. La portata è fortemente influenzata dalla geometria della scala, della presenza di finestre e delle partizioni disperdenti, applicando la norma UNI EN 12101:2022 descritta nei paragrafi precedenti. Si riportano di seguito le caratteristiche fondamentali della scala condominiale necessarie per procedere con il calcolo della portata da immettere.

SCALA - via Ala di Stura, 60	
Piani:	11 (la scala condominiale arriva al sottotetto)
Classe UNI EN 12101-13:2022	Classe2 velocità del flusso 2 m/s differenza di pressione 30 Pa
Altezza dell'edificio:	34,30 m
Altezza antincendio dell'edificio:	32,30 m
Altezza interpiano:	3 m
Larghezza rampa:	1,20 m
Geometria rampe:	2 rampe per piano parallele tra loro
Evacuazione dei fumi:	tramite gli infissi vetrati del vano scale
Immissione aria:	a tutti i piani tramite griglie
Numero di porte:	22
Dimensione della porta:	0,9 m * 2,1 m
Area della porta:	1,89 m ²
Le porte degli appartamenti si aprono direttamente nel vano scale, senza una lobby	

Tabella 32: Scala - Caratteristiche impianto di pressurizzazione

Si sceglie di utilizzare il sistema con la metodologia 2, riportata nei paragrafi precedenti. È così necessario calcolare le portate a porte chiuse ed aperte, da impostare all'interno del modello in momenti diversi. Tali valori sono stati ricavati in collaborazione con l'azienda BOVEMA Italia S.r.l., si riportano di seguito le portate calcolate. All'interno del modello la variazione di portata d'aria da immettere è definita assegnando a una vent una superficie che immette del flusso. Si indica questa variazione di pressione nel tempo, come indicato nella tabella seguente

DEFINIZIONE DELLA PORTATA	
Intervallo di tempo [s]	Portata
0 - 30	0
30 - 180	portata porte aperte
180 - 1 344	portata porte chiuse

Tabella 33: Scala - Intervalli di portata d'aria

DISPERSIONI			
PORTE			
Tipo	n.	A_D [m²]	Σ A_D [m²]
Monoanta vs. interno	22	0,01	0,22
Monoanta vs. esterno	0	0,02	0
Doppia anta	0	0,03	0
Totale porte			0,220
PORTE ASCENSORE			

Tipo	n.	A _{LD} [m ²]	Σ A _{LD} [m ²]
Porta ascensore, chiusa	0	0,06	0
Porta asc., chiusa, a tenuta	12	0,02	0,24
Porta asc. aperta	0	0,35	0
Tot. porte ascensore			0,240
FINESTRE			
Tipo	sviluppo [m]	A _w [m ² /m]	Σ A _w [m ²]
Ad anta, non tenuta	54	0,00025	0,0135
Ad anta, a tenuta	0	0,000036	0
Scorrevole	0	0,0001	0
Totale finestre			0,014
PARETI			
Tipo	sviluppo [m ²]	A _{LW} / A _{WALL}	Σ A _{LW} [m ²]
parete esterna A TENUTA	0	0,00007	0
parete esterna MEDIA	0	0,00021	0
parete esterna POROSA	612	0,00042	0,25704
parete ext MOLTO POROSA	0	0,0013	0
parete interna A TENUTA	0	0,000014	0
parete interna MEDIA	0	0,00011	0
parete interna POROSA	0	0,00035	0
parete vano asc. TENUTA	0	0,00018	0
parete vano asc. MEDIA	0	0,00084	0
parete vano asc. POROSA	0	0,0018	0
Totale pareti			0,257
PAVIMENTI (e SOFFITTI)			
Tipo	sviluppo [m ²]	A _{LF} / A _{FLOOR}	Σ A _{LF} [m ²]
pavimento, MEDIO	25,75	0,000052	0,001339
Totale pavimenti soffitti			0,001
ALTRE APERTURE			0

Tabella 34: Scala - Dispersioni per il calcolo delle portate

FLUSSI PORTE CHIUSE					
Perdite attraverso elementi chiusi					
Elemento	C _v corretto [-]	Coefficiente di flusso R [-]	D _p [Pa]	Portata [m ³ /s]	Portata [m ³ /h]
porte [Q _{DC}]	0,83	2	30	1,000	3 600,5
lift landing door [Q _{LDC}]	0,83	2	30	1,091	3 928
finestre [Q _{WC}]	0,83	1,6	30	0,0939	338,00
pareti [Q _{WALL}]	0,83	1,6	30	1,788	6 435,5
pavimenti/soffitti [Q _{FLOOR}]	0,83	1,6	30	0,0093	33,52
perdita totale [Q _{SDC}]				3,982	14 335
altre aperture [Q _{DCOT}]	0,83	2	30	0,000	0,0
flussaggio [Q _{FLUSH}]				0	0
PORTATA A PORTE CHIUSE [Q_{TDC}]				5,973	21 503

Tabella 35: Scala - Portata a porte chiuse

FLUSSI A PORTE APERTE					
Flusso dallo spazio protetto allo spazio non-protetto					
Elemento	Base porta [m]	Altezza porta [m]	Velocità di flusso [m/s]	Portata [m ³ /s]	Portata [m ³ /h]
Flusso vs. fire zone [Q _{DO}]	0,900	2,100	2,00	3,780	13 608,0
Calcolo dei percorsi di sfiato					
Elemento	Flusso [m ³ /s]	Presente sì/no (0/1)	v _{VENT} max [m/s]	Area min di sfiato [m ²]	Note
Area min di sfiato [A _{VA}]	3,780	1	2,50	1,512	valido per aperture a parete
Sezione minima [A _{VS}]	3,780	1	0,00	3 780,0	valido per sfiato da condotte
Sez utile serranda [A _{VA OUTLET}]	3,780	1	0,00	3 780,0	se presente serranda
Pressione nello spazio non-protetto					
Elemento	Flusso [m ³ /s]	A _{VA} [m ²]	A _{VS} [m ²]	A _{VA OUTLET} [m ²]	P _{US} [Pa]
Pressione fire zone [P _{US}]	3,780	1,512	3 780,0	3 780,0	9,07
Pressione nello spazio protetto – il vano scala					
Elemento	Flusso [m ³ /s]	Pressione fire zone P _{US} [Pa]	Base porta [m]	Altezza porta [m]	P _{SC} [Pa]
Pressione vano scala [P _{SC}]	3,780	9,07	0,900	2,100	14,88
FLUSSO COMPLESSIVO A PORTA APERTA verso la fire zone					
Elemento	Pressione vano scala P _{SC} [Pa]	Finestre pareti soffitti [m ²]	Porte chiuse [m ²]	Numero di porte chiuse [-]	Altre aperture [m ²]
Flusso complessivo [Q _{TDO}]	14,88	0,2719	0,460	21	0,0
Area porta aperta A _{DOOR} [m ²]	Area di sfiato A _{VA} [m ²]	Condotta di sfiato A _{VS} [m ²]	Serranda di sfiato A _{VA OUTLET} [m ²]	FLUSSO TOTALE Q _{TDO} [m ³ /s]	FLUSSO TOTALE Q _{TDO} [m ³ /h]
1,89	1,512	3 780,000	3 780,000	6,332	22 796,34
FLUSSO ATTRAVERSO LA EXIT DOOR					
Flusso EXIT DOOR OPEN	CV corretto [-]	Area EXIT DOOR [m ²]	Pressione vano scala P _{SC} [Pa]	Portata [m ³ /s]	Portata [m ³ /h]
Flusso EXIT DOOR OPEN [Q _{EDO}]	0,83	2,52	14,88	8,068	29 045
PORTATA DI PROGETTO					
Elemento	Q _{TDC}	Q _{TDO} + Q _{EDO} + Q _{FLUSH}	Maggiorazione	PORTATA DI PROGETTO [m ³ /s]	PORTATA DI PROGETTO [m ³ /h]
Flusso EXIT DOOR OPEN [Q _{EDO}]	5,97	14,40	1,15	16,560	59 617

Tabella 36: Scala - Portata a porte aperte

Le griglie sono dieci, non prevedendola nel sottotetto; sono di dimensioni 1,2 x 0,7 m. Per definire tale grandezza è necessario individuare la potenza e la prevalenza dei ventilatori posizionati in copertura che ne permettono l'ingresso. Il motore previsto in copertura ha con un diametro da 1 120 mm e una potenza minima di 18,5 kW. Le griglie d'immissione si scelgono modulanti, come descritto precedentemente; non essendo possibile definirle così nel software Pyrosim, si imposta una portata differente in funzione del tempo:

- $0 \text{ s} \leq t < 124,58 \text{ s}$ (= tempo al quale il primo rilevatore di fumo si attiva + 60 s di attivazione dell'impianto): portata nulla;
- $124,58 \text{ s} \leq t \leq 180,0 \text{ s}$ (= tempo al quale si chiude la porta dell'appartamento in cui è situato il focolaio): portata unitaria;
- $t > 180,0 \text{ s}$: frazione della portata porte chiuse rispetto a quella porte aperte.

La portata è inserita all'interno del software Pyrosim come frazione del totale, come indicato di seguito.

PORTATE DI IMMISSIONE DELL'ARIA				
Porta uscita vano scale	Portata porte chiuse [m ³ /h]	Portata porte aperte [m ³ /h]	Portata porte chiuse singola griglia [m ³ /s]	Portata porte aperte singola griglia [m ³ /s]
Chiusa	21 503,0	22 796,3	0,597	0,633

Tabella 37: Scala - Portate di immissione dell'aria

6.1.5 Curva RHR

L'incendio sviluppato è caratterizzato dalla curva HRR del focolare predefinito, come indicato nei paragrafi precedenti. Si riporta di seguito la curva HRR elaborata durante le simulazioni dal software Pyrosim.

Rilevazione sul pianerottolo

Come si può osservare la curva ha un andamento crescente fino a circa 340 s, da quando l'andamento varia e diventa altalenante intorno a 5 000 kW. Si osserva inoltre che intorno a 180 s, c'è un decremento momentaneo della potenza dovuto all'ingresso di aria pulita nell'appartamento. Con la chiusura della porta, la potenza aumenta, come si osserva a 200 s, tornando così nel regime crescente della curva fino al punto di flashover. Raggiunto tale punto l'incendio è pienamente sviluppato e le operazioni di soccorso non hanno più l'obiettivo della salvaguardia della vita umana, ma la salvaguardia della struttura.

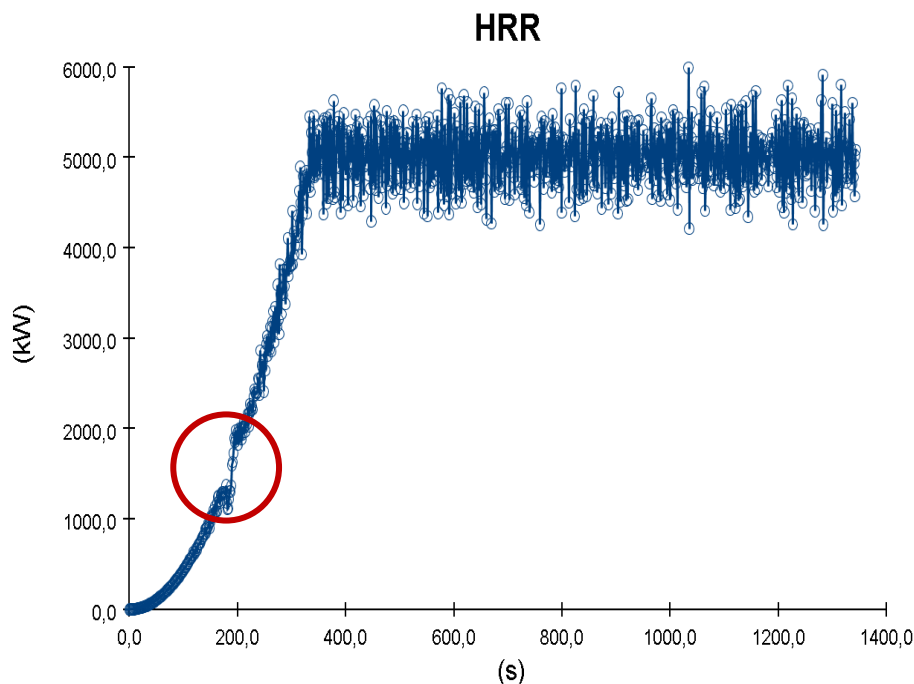


Grafico 11: Scala - Curva HRR, rilevazione pianerottolo

Rilevazione nell'appartamento

Posizionando nell'appartamento il rilevatore di fumo, l'impianto di sovrappressione si attiva in anticipo, portando a un andamento non regolare nella fase pre-flashover.

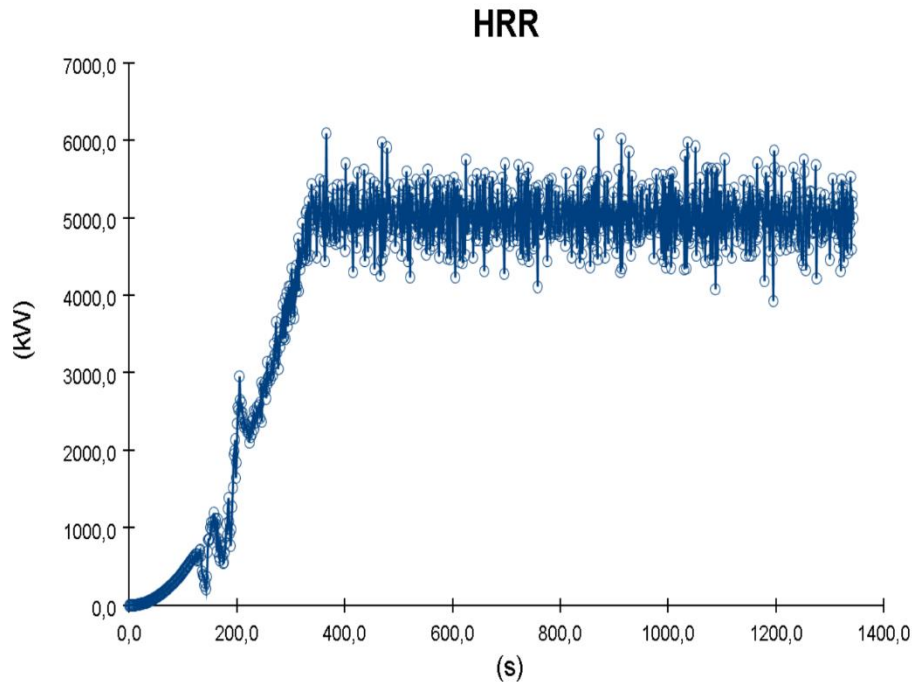


Grafico 12: Scala - Curva HRR, rilevazione appartamento

6.1.6 Determinazione di ASET

Il modello fluidodinamico con l'impianto di sovrappressione è simulato sia per la verifica degli occupanti sia quella dei soccorritori. Si analizzano le sonde di FED, irraggiamento, temperatura e visibilità per individuare il tempo ASET di superamento delle soglie. Le prime due restano sempre nettamente al di sotto della soglia degli occupanti, risultando quindi due grandezze trascurabili per l'individuazione del tempo ASET.

Si riporta lo studio per entrambe le simulazioni.

Rilevazione sul pianerottolo

La temperatura all'interno del vano scale non aumenta in quanto quando inizia a crescere si attiva l'impianto di sovrappressione, evacuando i fumi caldi e immettendo aria pulita. Questo comporta inoltre una diminuzione elevata di tale grandezza nel tempo.

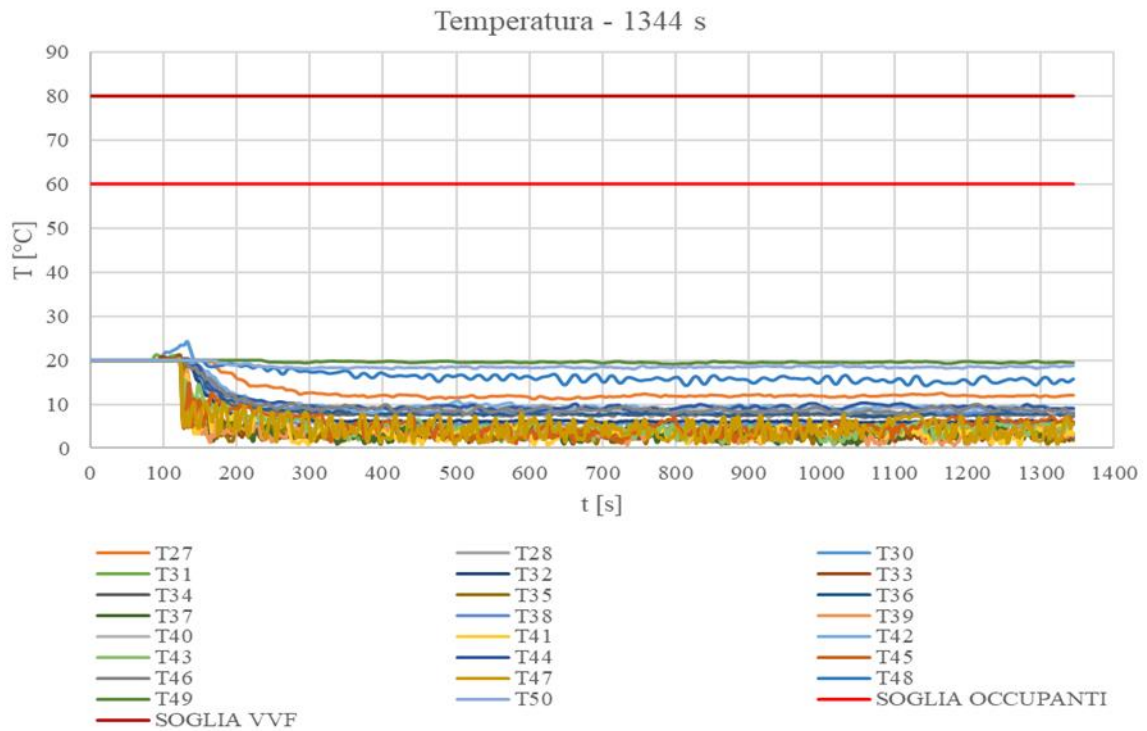


Grafico 13: Scala - Temperatura 1344 s, rilevazione pianerottolo

La visibilità mostra invece un comportamento differente; decresce rapidamente all’apertura della porta dell’appartamento. Supera quindi la soglia degli occupanti a 130,41 s, per aumentare nuovamente dopo circa 5 s. Il periodo è così breve che può essere considerato trascurabile e quindi non influisce sul tempo ASET. La soglia dei soccorritori di 5 m non è mai raggiunta durante tutto il tempo di simulazione di 1344 s.

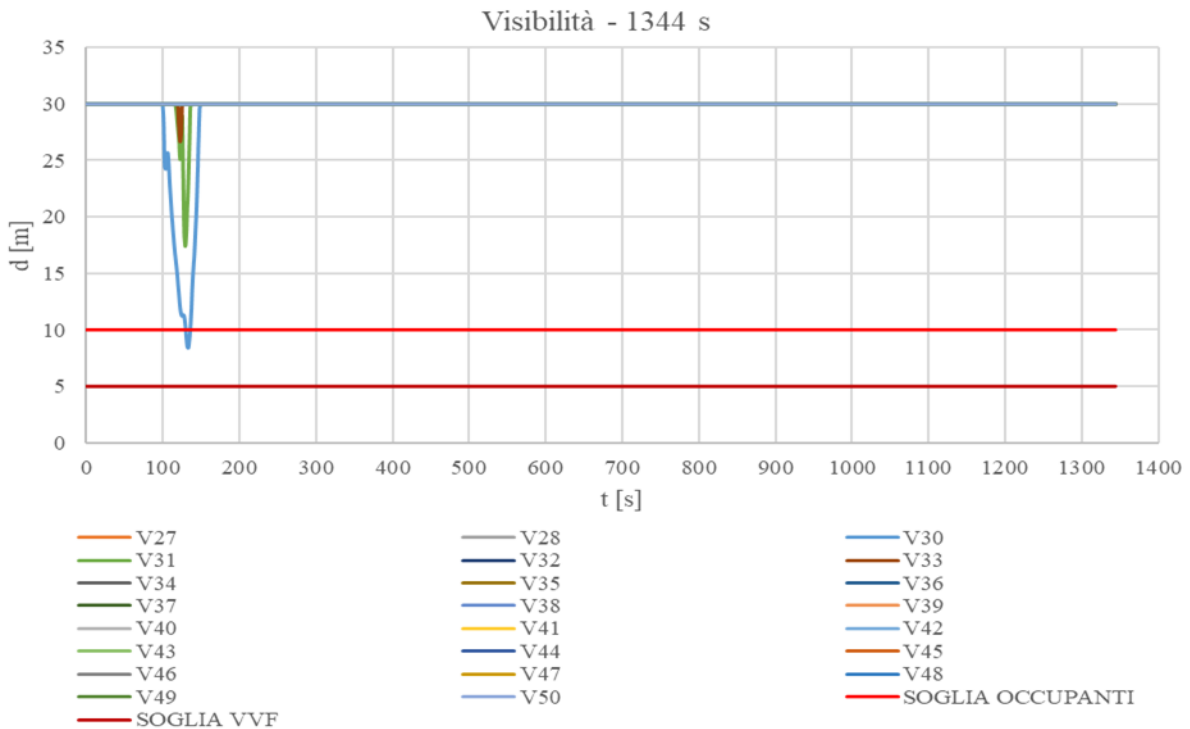
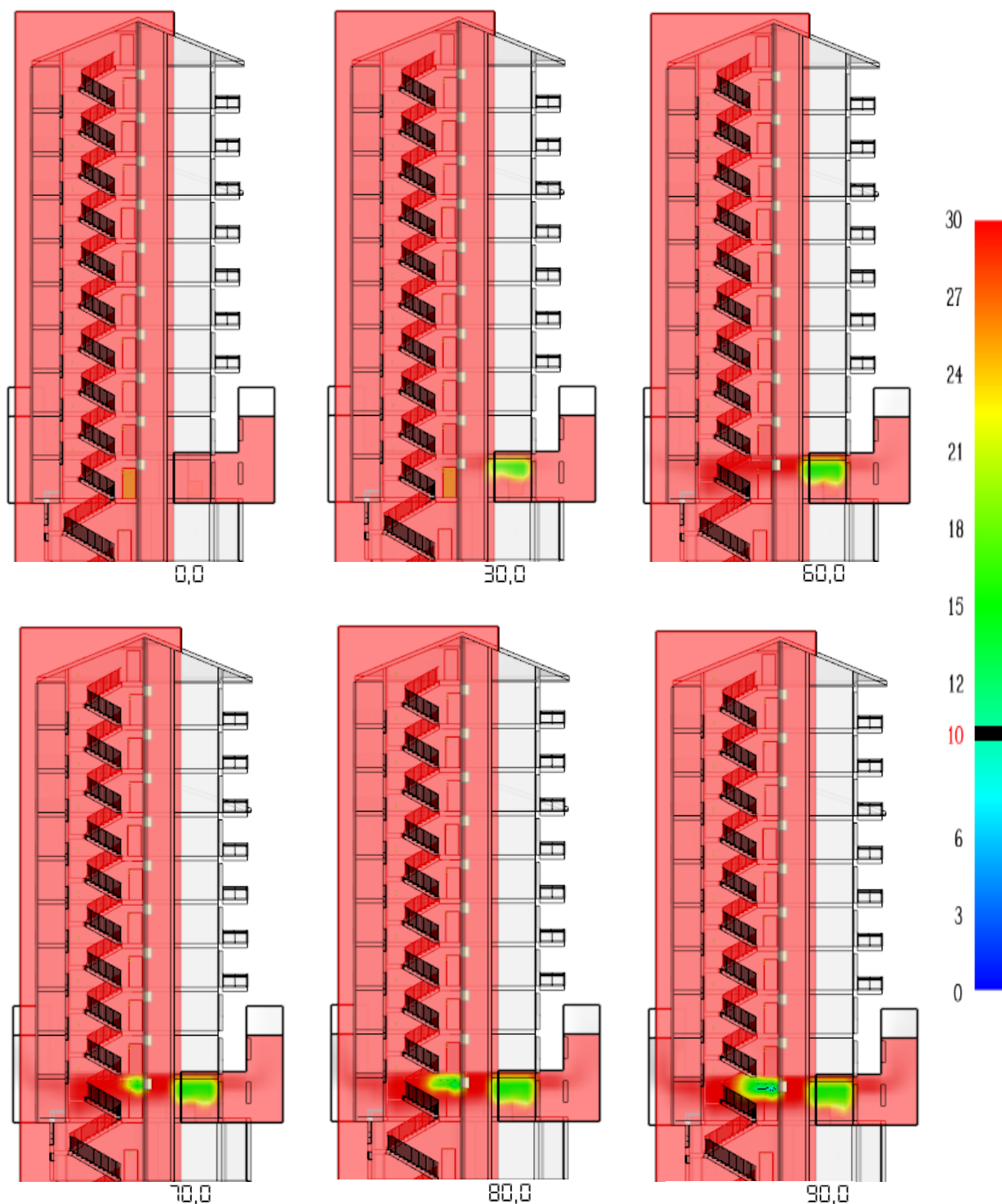


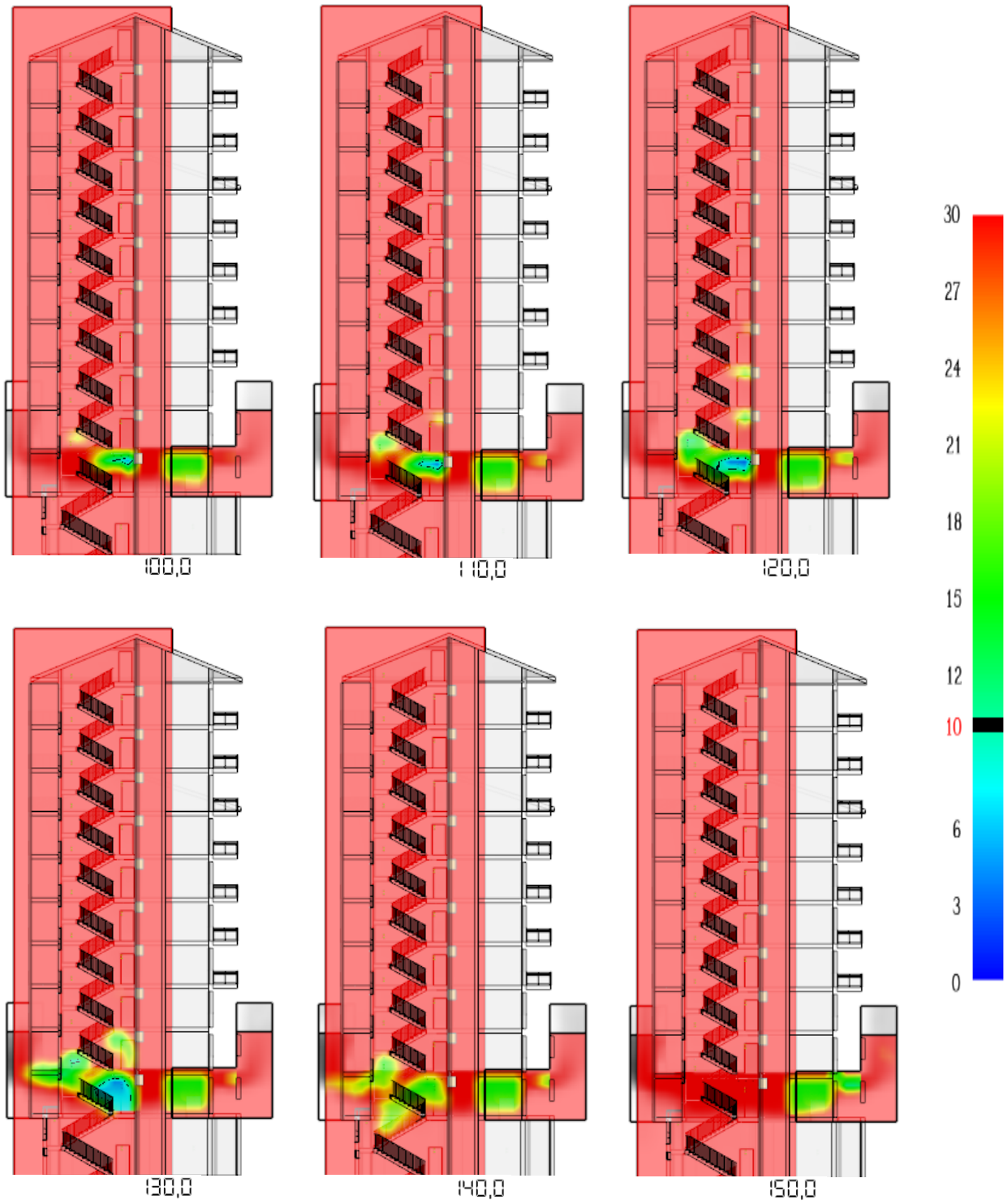
Grafico 14: Scala - Visibilità 1344 s, rilevazione pianerottolo

Si riporta l'analisi della visibilità su due piani, ortogonale e trasversale al vano scale, osservando nello specifico cosa succede durante l'apertura della porta e all'attivazione dell'impianto di sovrappressione. Si evince come con l'apertura delle finestre del vano scale e l'immissione di aria, il fumo penetrato fuoriuscito dall'appartamento evacua rapidamente, circa 1 min, rendendo quindi la scala protetta e a prova di fumo permettendo l'esodo degli occupanti in sicurezza.

Si riporta di seguito l'andamento della visibilità nelle due slice:

- slice $y = 2,5$ m, che seziona longitudinalmente le rampe delle scale:





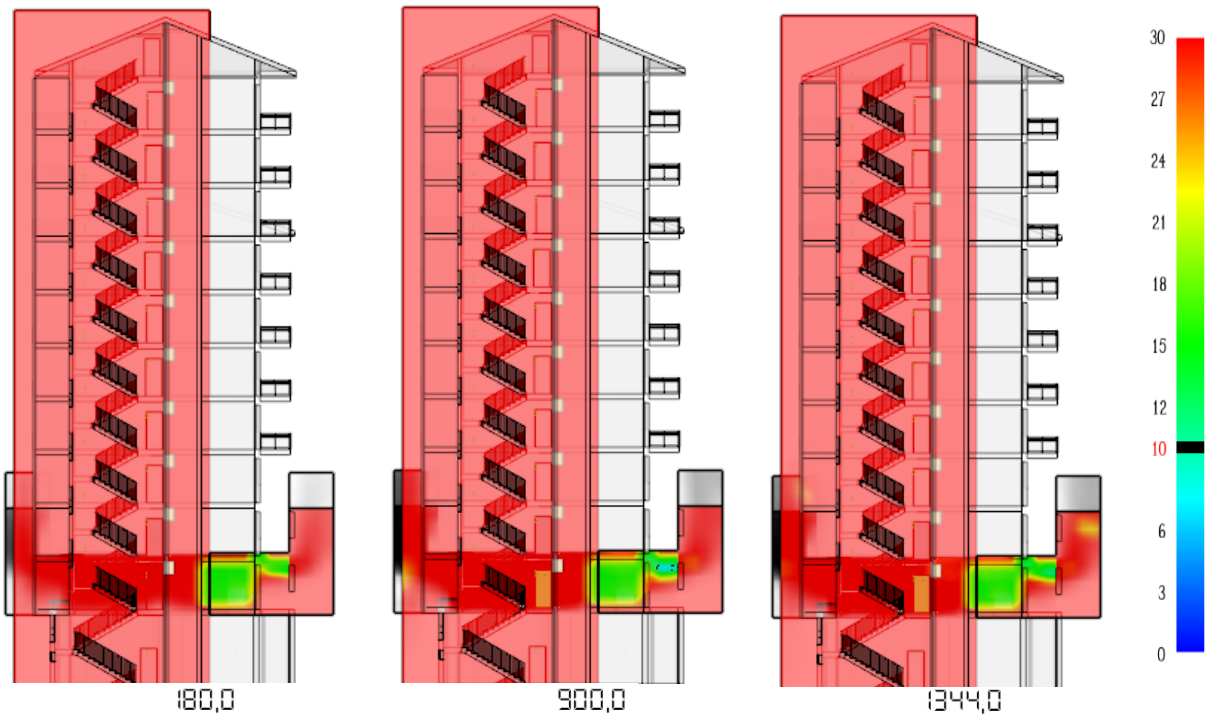
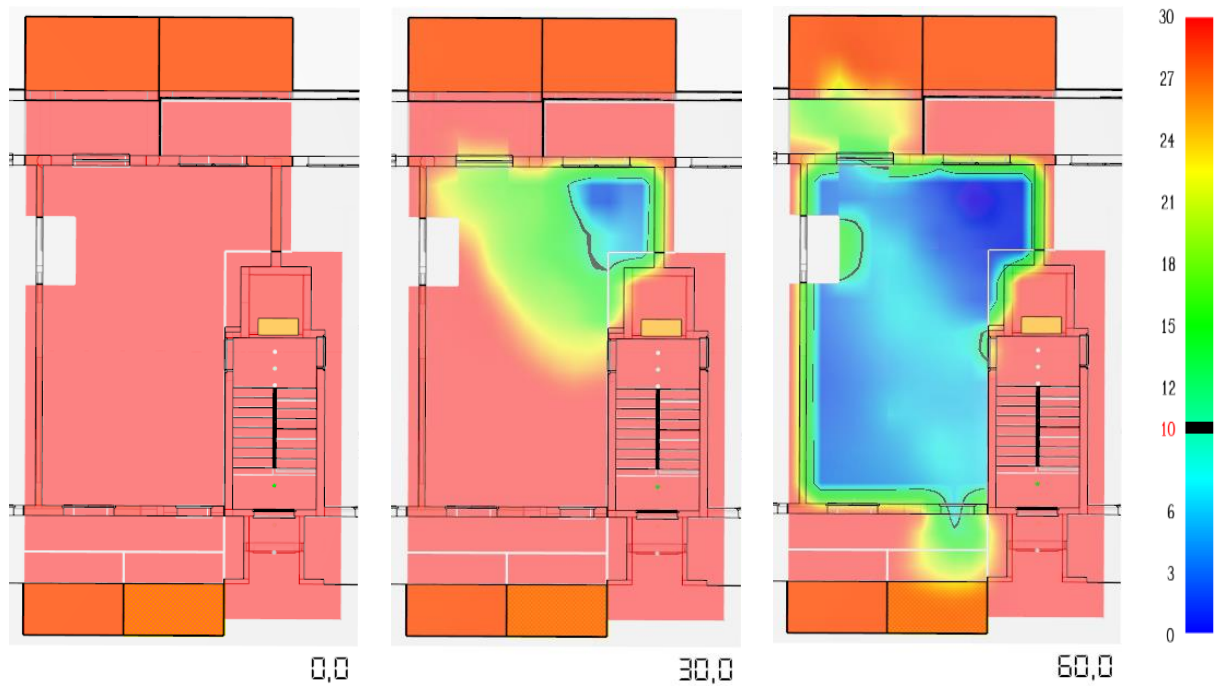
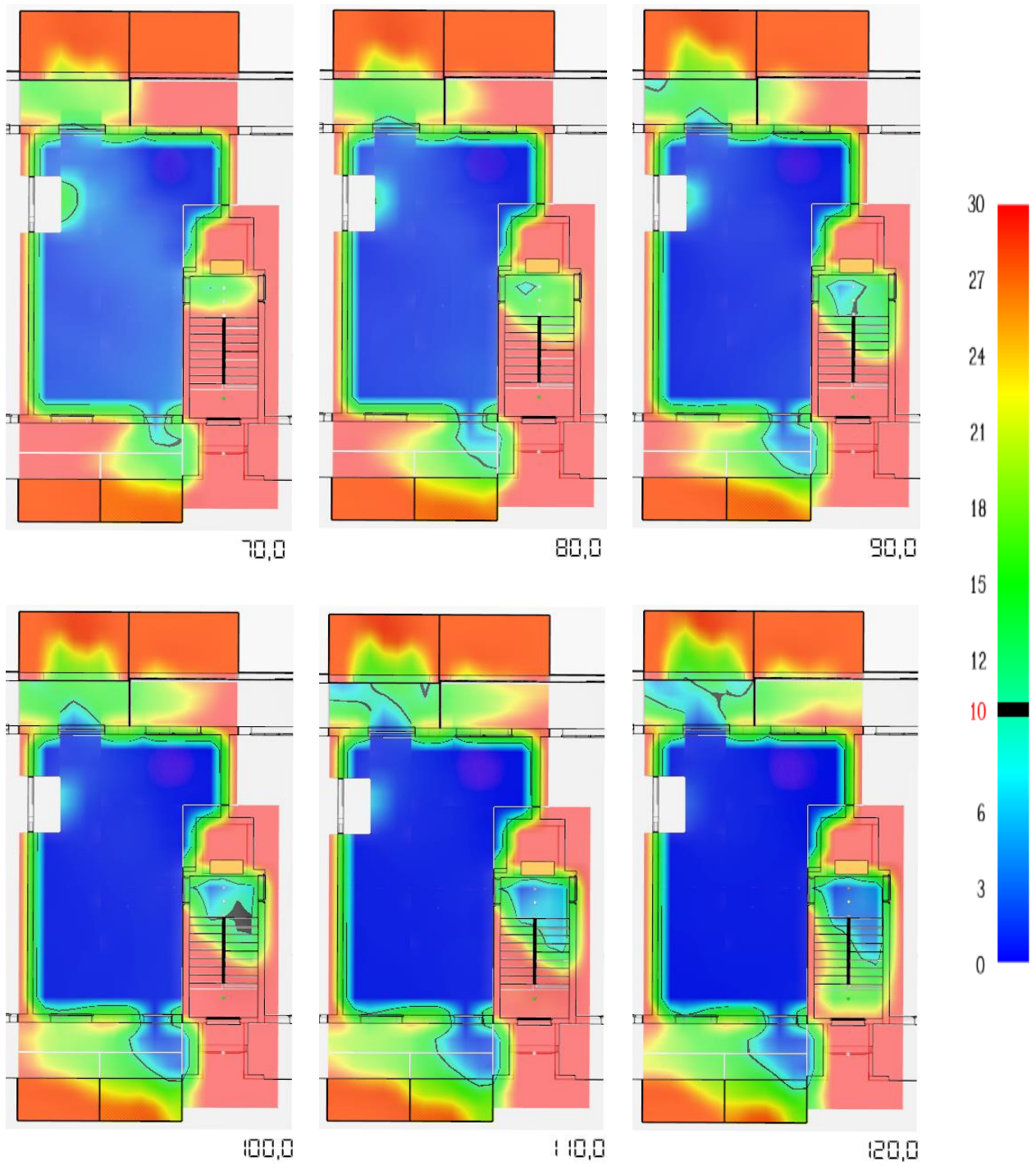


Figura 13: Scala - Visibilità, slice $y=2,5$ m, rilevazione pianerottolo

- slice $z = 6,5$ m, che seziona orizzontalmente l'appartamento all'altezza di 2,5 m dal piano di calpestio:





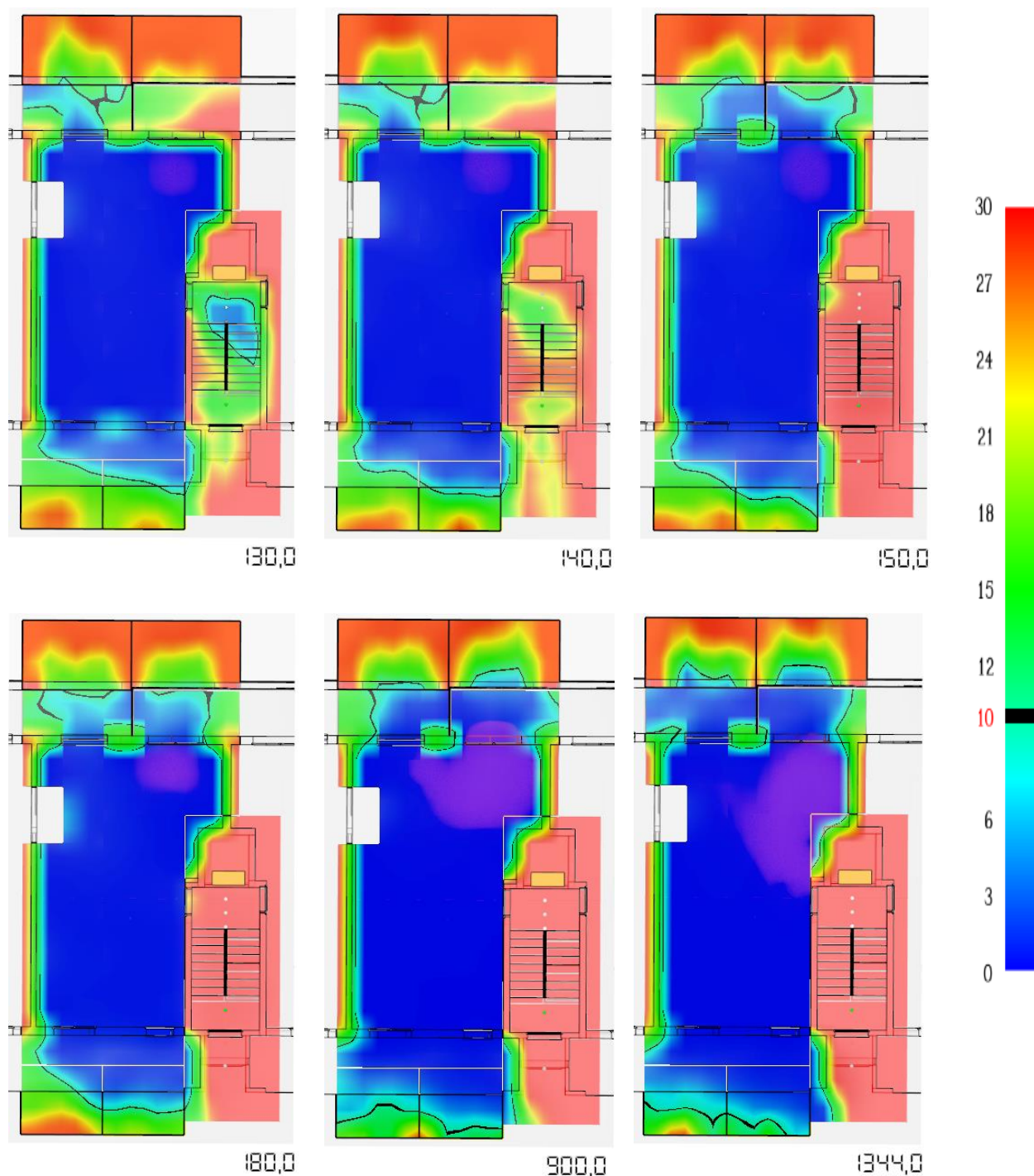


Figura 14: Scala - Visibilità, slice $z=6,5$ m, rilevazione pianerottolo

Dalle immagini precedenti si osserva che il fumo penetra nel vano dopo l'apertura della porta dell'appartamento, a 30 s; è rilevato a circa 64,58 s e inizia a diffondersi al suo interno fino a 124,58 s quando si attiva l'impianto di sovrappressione.

Analizzando l'andamento sul piano orizzontale si osserva l'effetto della rottura degli infissi dell'appartamento; l'ingresso improvviso di aria esterna ricca di ossigeno provoca un decremento momentaneo della potenza dell'incendio, visibile nella curva HRR presentata nel paragrafo precedente. Nel vano scale la visibilità torna a 30 m a 150 s.

Il tempo ASET è illimitato in quanto nessuna delle proprietà raggiunge il valore soglia.

TEMPI SUPERAMENTO DELLA SOGLIA OCCUPANTI		
Grandezza	Soglia Occupanti	Tempo [s]
FED	0,1 mol/mol	non la raggiunge
Irraggiamento	2,5 kW/m ²	non la raggiunge
Temperatura	60 °C	non la raggiunge
Visibilità	10 m	non la raggiunge
ASET - Visibilità Scala		illimitato

Tabella 38: Scala - Tempo ASET, rilevazione pianerottolo

Rilevazione nell'appartamento

La grandezza più gravosa è la visibilità, per questo si sceglie di analizzarla anche nel modello con il rilevatore è all'interno dell'appartamento.

La visibilità rimane sempre intorno ai 30 m, quindi il tempo ASET individuato è illimitato.

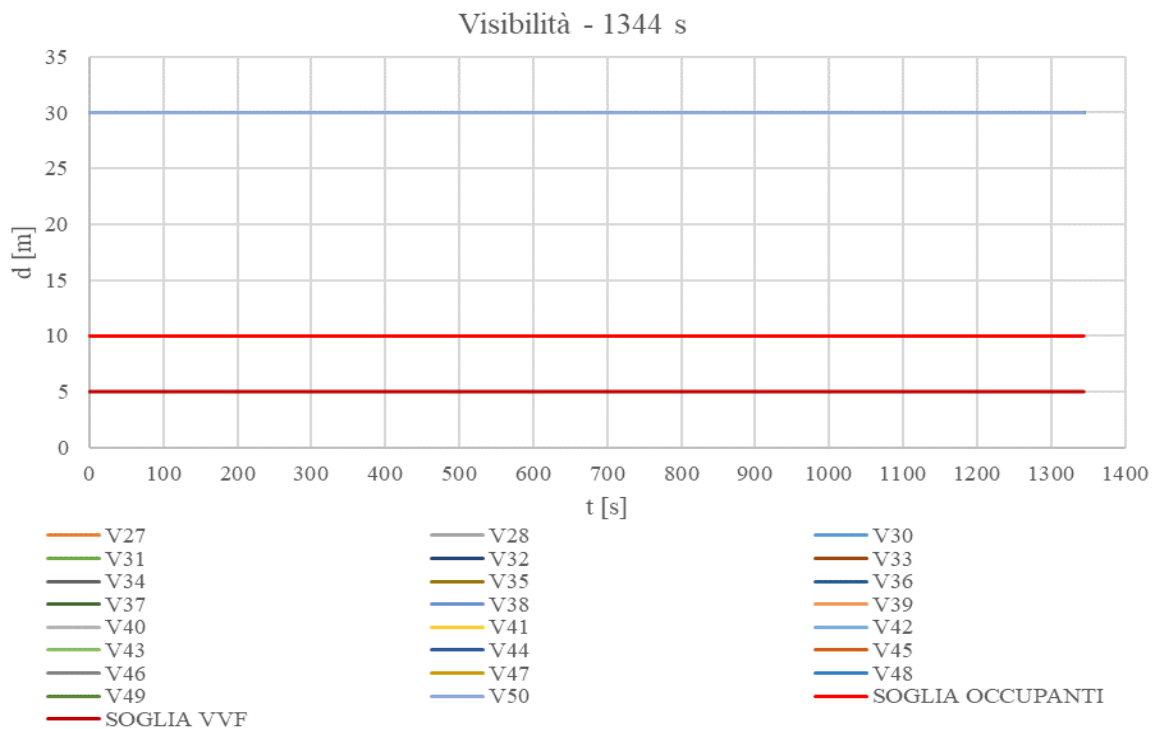
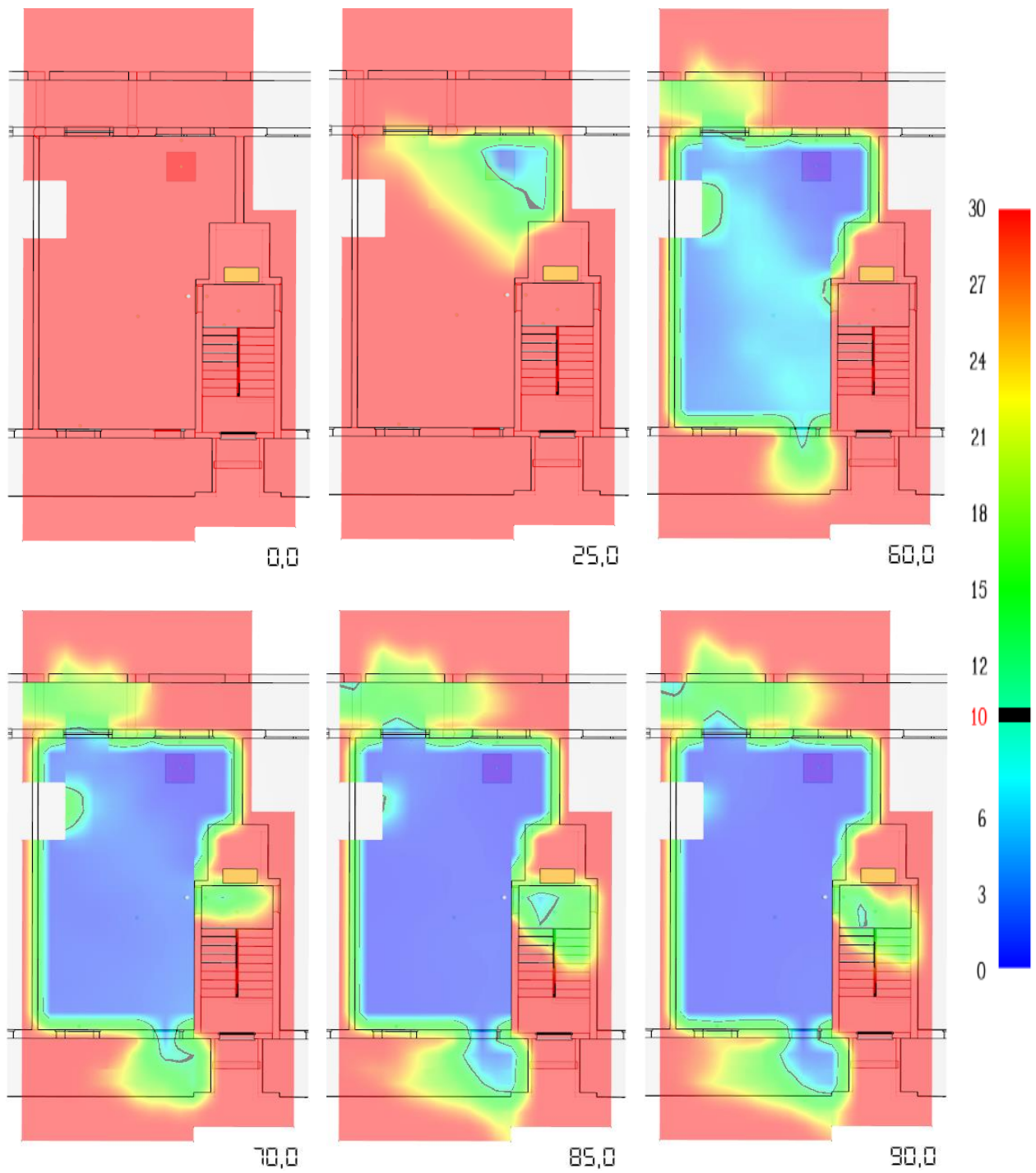


Grafico 15: Scala - Visibilità 1344 s, rilevazione appartamento

Si procede con l'analisi sul piano orizzontale, osservando il fumo che viene rilevato a 25 s e penetra nel vano scale quando si apre la porta. L'impianto si attiva a 85 s, impedendo quindi l'ingresso di molto fumo all'interno del vano scale; infatti, a 95 s il fumo è evacuato totalmente tramite le finestre aperte, risultando quindi in sovrappressione il vano scale.

- slice $z = 6,5$ m, che seziona orizzontalmente l'appartamento all'altezza di 2,5 m dal piano di calpestio:



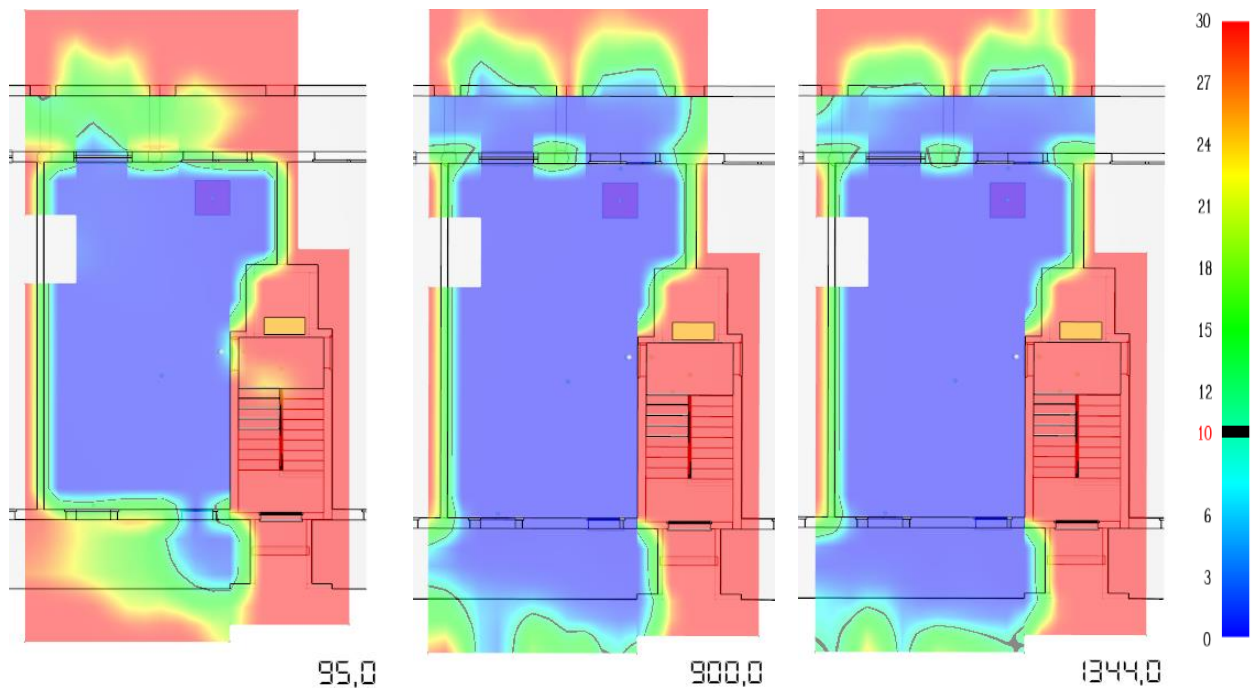


Figura 15: Scala - Visibilità, slice $z=6,5$ m, rilevazione appartamento

Confronto posizionamento rilevatore

Da entrambe le simulazioni si è verificato che l'impianto è dimensionato correttamente, avendo ASET illimitato. La differenza tra le due tipologie di sistema è il posizionamento del rilevatore principale di fumo che permette, nel caso in cui sia all'interno dell'appartamento, di rendere il vano scale a prova di fumo già a 85 s, rispetto ai 125 s nel caso in cui sia sul pianerottolo.

IMPIANTO DI SOVRAPPRESSIONE - Confronto posizionamento rilevatore		
Posizione rilevatore	Tempo rilevazione fumo [s]	Tempo attivazione impianto [s]
Sul pianerottolo	64,58	124,58
Nell'appartamento	25,22	85,22

Tabella 39: Scala - Impianto di sovrappressione, confronto rilevazione

6.1.7 Occupanti

Nel modello di esodo realizzato con il software Pathfinder sono modellati i pavimenti degli appartamenti e quelli dei pianerottoli; sono inserite le porte per permettere il passaggio degli occupanti verso il vano scale.

Gli occupanti sono disposti all'interno degli appartamenti, in funzione della superficie a disposizione per il singolo. L'affollamento massimo è di 66 persone, come riportato nella Tabella S4 - Densità di affollamento. Sono disposte tre persone per ogni appartamento, distanziate tra loro e dalla porta dell'appartamento affinché il tempo di movimento sia maggiore, come riportato nella figura seguente.

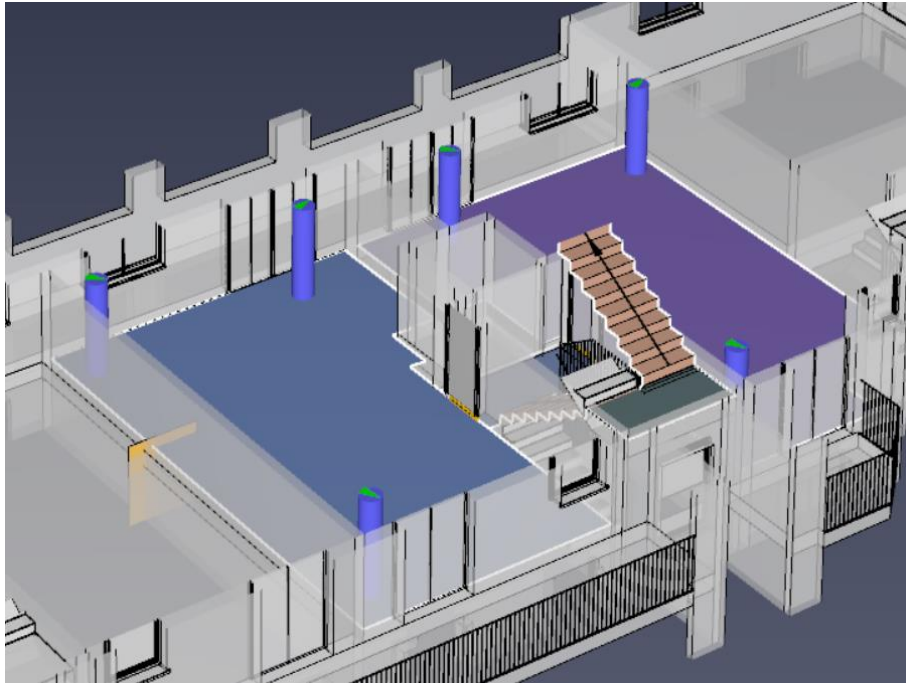


Figura 16: Scala - Disposizione degli occupanti, piano tipo

Gli occupanti sono divisi in quattro categorie:

- gli occupanti con il profilo e il comportamento Default sono coloro che si muovono in maniera autonoma. Sono 62, posizionati tre per ogni appartamento; gli appartamenti del decimo piano sono duplex quindi gli occupanti situati nel sottotetto utilizzano le scale interne ed accedono al vano scale al decimo piano;
- gli occupanti dell'appartamento del primo piano sono tre, hanno come profilo e comportamento App1. Sono differenti rispetto ai Default perché hanno un ritardo di movimento inferiore in quanto si accorgono rapidamente dell'incendio;
- l'occupante con disabilità è solo uno situato al terzo piano; è modellato con una carrozzina e attende sul pianerottolo (luogo sicuro temporaneo) l'arrivo del soccorritore per esodare. I suoi profilo e comportamento sono DIS;
- il vigile del fuoco entra nel condominio dopo i primi 1044 s, ovvero il tempo medio annuo del tempario, relativo a Torino, per raggiungere i condomini nella provincia. Il soccorritore ha il compito di entrare nella scala condominiale, raggiungere l'occupante con disabilità motoria al terzo piano e raggiungere insieme un luogo sicuro permanente, il cortile condominiale.

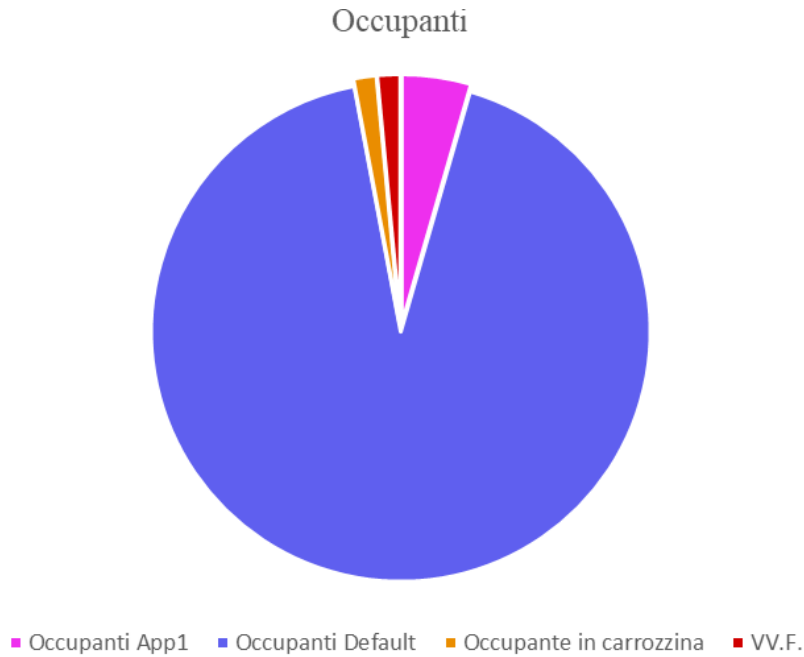


Grafico 16: Tipologia occupanti

6.1.8 Determinazione di RSET

Il tempo RSET è costituito da quattro tempi differenti, i primi tre costituiscono il ritardo da assegnare agli occupanti per determinare dalla simulazione il tempo complessivo e non la sola componente di movimento.

Nella tabella seguente sono riportati i tempi calcolati secondo la norma UNI EN 12101, parte 13, 2022, come riportato nel paragrafo 5.3.4; questo ritardo è assegnato agli occupanti di profilo Default e DIS in modalità log-normale. Tale modalità permette di far evacuare le persone ognuno a un istante differente, per questo si individua il tempo di pre-movimento del primo occupante e dell'ultimo.

COMPONENTI TEMPO RSET		
Componenti [-]	Tempo primo occupante [s]	Tempo ultimo occupante [s]
t_{det} - tempo di rilevazione	0	0
t_a - tempo di allarme generale	65	65
t_{pre} - tempo di pre-movimento	300	600
t_{mov} - tempo di movimento	dalla simulazione	dalla simulazione
Ritardo complessivo	365	665

Tabella 40: Scala - Componenti tempo RSET

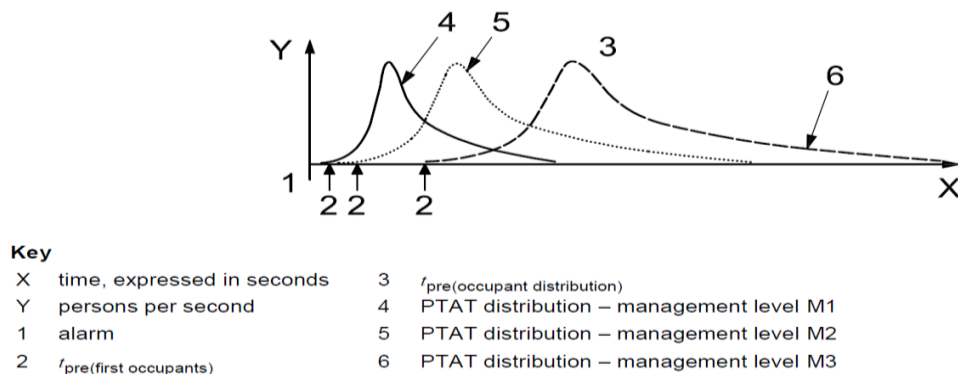


Figura 17: Figure E.1 — Representation of pre-travel activity time distributions (ISO/TR 16738:2009)

Ogni occupante ha il comando di uscire effettuando il percorso più breve; la porta verso il cortile interno è chiusa in quanto l'unico posto sicuro è la strada pubblica. La porta utilizzata come uscita di sicurezza è quella di accesso alla scala condominiale. Il vano scale, una volta pressurizzato, e l'androne sono luoghi sicuri temporanei.

Occupanti dell'appartamento dell'incendio

Si analizzano la temperatura e la visibilità alle quali sono sottoposti gli occupanti dell'appartamento in cui si sviluppa l'incendio (di seguito nominato App1), in quanto sono sottoposti a condizioni gravose durante l'esodo, verificando che non superino quelle incapacitanti.

La porta dell'App1 si apre a 30 s e si chiude a 180 s; quindi, gli occupanti hanno 2,5 min di tempo per accorgersi dell'incendio e iniziare l'esodo. I tre occupanti hanno un ritardo di movimento inferiore a quello degli altri del condominio in quanto si accorgono più rapidamente del principio d'incendio. Il ritardo complessivo di movimento del primo appartamento ha un andamento log-normale da 30 s a 160 s.

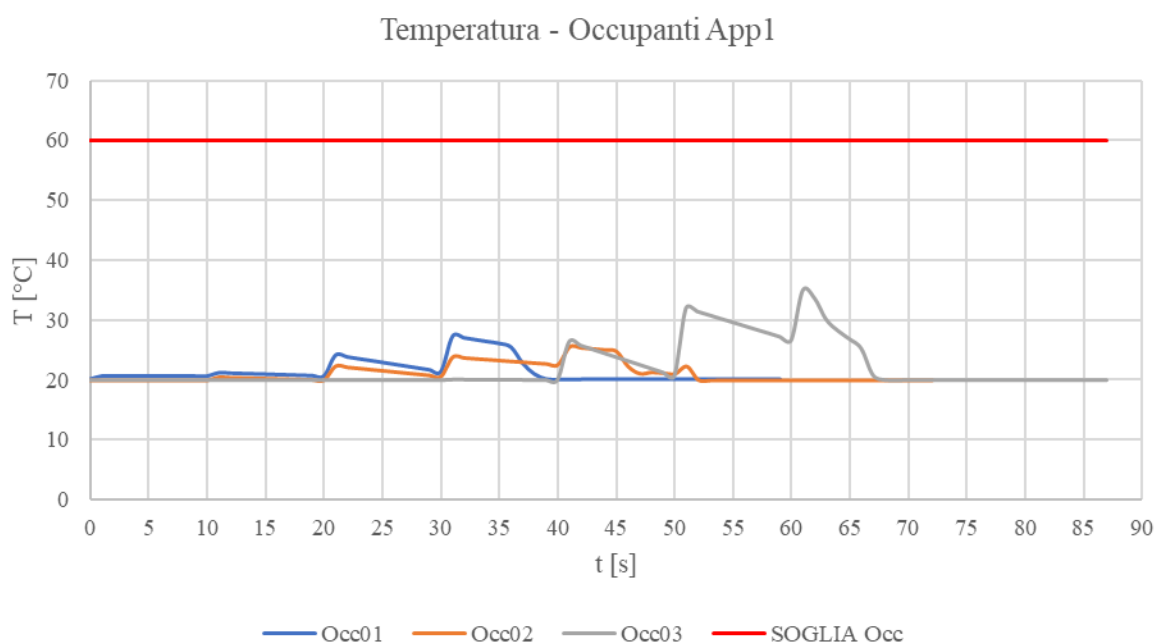


Grafico 17: Scala - Temperatura occupanti App1

Dall'analisi della temperatura percepita da questi occupanti si evince che la soglia degli occupanti, 60 °C, non viene mai raggiunta; quindi, nessuna persona è sottoposta a condizioni incapacitanti durante l'esodo. L'Occupante3 è l'ultimo che esce dall'appartamento e la sua temperatura massima percepita è 32,06 °C a 51 s.

La visibilità ha un andamento differente in quanto, aprendo la porta dell'appartamento, il fumo si diffonde rapidamente nel vano scale riducendo rapidamente la visibilità al primo piano.

Nel grafico seguente sono indicati gli istanti ai quali gli occupanti escono dall'appartamento e si osserva come da quei momenti le persone non sono mai sottoposte a condizioni incapacitanti, ovvero sottosoglia. Gli unici secondi durante i quali l'Occ3, rappresentato con la linea grigia nel grafico sottostante, ha una visibilità inferiore a 10 m sono da considerarsi trascurabili in quanto è una condizione istantanea alla quale è sottoposto all'interno dell'appartamento.

I punti colorati raffigurati indicano i tempi ai quali gli occupanti hanno raggiunto il luogo sicuro permanente e permettono di determinare RSET dell'appartamento.

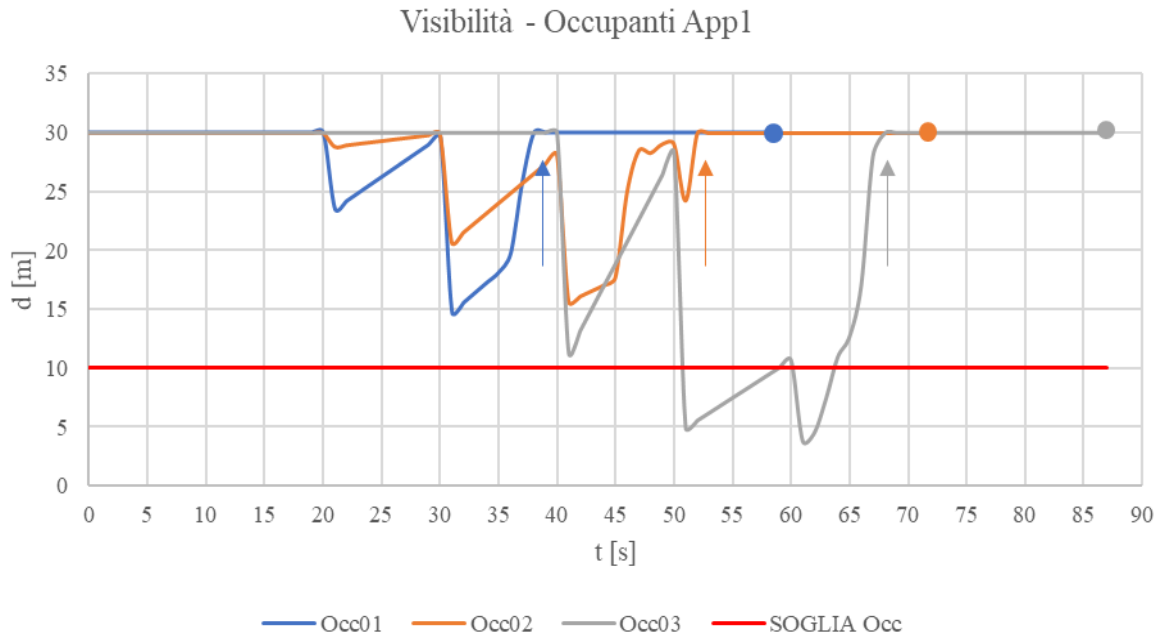


Grafico 18: Scala - Visibilità occupanti App1

TEMPI APPARTAMENTO INCENDIO - Visibilità			
Occupante	Tempo uscita appartamento [s]	ASET [s]	RSET [s]
Occ1	38	illimitato	59
Occ2	53	illimitato	72
Occ3	69	illimitato	87
Condizione App1		illimitato	87

Tabella 41: Scala - Tempi occupanti App1

Occupanti VIII, IX e X piano

Gli altri occupanti del condominio iniziano ad uscire dopo 365 s, circa 6 min, che è scoppio l'incendio grazie all'impianto di allarme sonoro che si attiva con l'attivazione dell'impianto.

Si analizza in particolare la condizione di visibilità alla quale sono sottoposti gli ultimi occupanti che scendono dal VIII, IX e X piano in quanto sono coloro che potrebbero essere sottoposti più facilmente a condizioni incapacitanti. L'occupante del X piano è al piano superiore del duplex, nel sottotetto; si impone che percorra le scale interne ed utilizzi la porta dell'appartamento al X piano per entrare nel vano scale.

Grazie al corretto funzionamento dell'impianto previsto, la loro visibilità rimane costante a 30 m, valore massimo, risultando mai sottoposti a condizioni sottosoglia. Anche nel grafico seguente si identificano gli istanti ai quali escono dall'appartamento, con una freccia, e il loro tempo RSET.

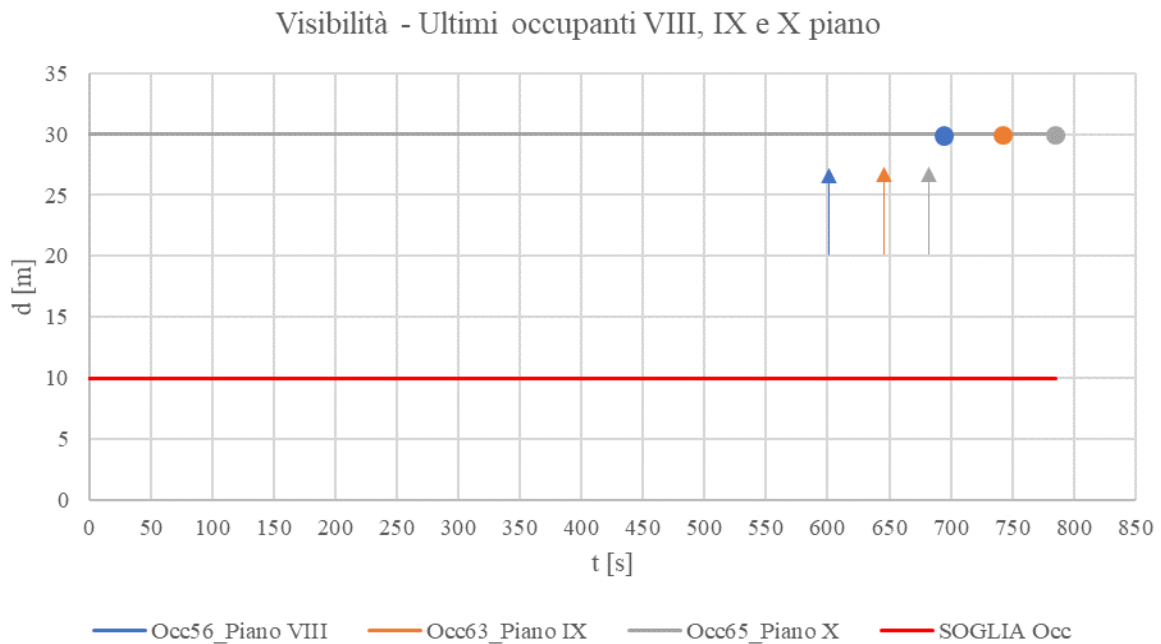


Grafico 19: Scala - Visibilità occupanti piani VIII, IX e X

Il tempo RSET da considerare per la verifica degli occupanti di tutto l’edificio è relativo all’Occ65 che raggiunge per ultimo la strada pubblica, il luogo sicuro permanente.

TEMPI PIANI VIII, IX e X - Visibilità			
Occupante	Tempo uscita appartamento [s]	ASET [s]	RSET [s]
Occ56_Piano VIII	600	illimitato	694
Occ63_Piano IX	648	illimitato	748
Occ65_Piano X	676	illimitato	785
Condizione Ultimi tre piani		illimitato	785

Tabella 42: Scala - Tempi ultimi occupanti VIII, IX e X piano

Occupante con disabilità motoria e VV.F.

L’occupante con disabilità motoria, che necessita dell’aiuto del soccorritore per percorrere le scale, raggiunge il pianerottolo del suo piano, luogo sicuro temporaneo, e attende il VV.F. fino 1044 s. Loro sono le ultime persone che escono dalla scala condominiale, restando sempre in condizioni di sicurezza.

Di seguito viene presentato l’andamento temporale di uscita di tutti gli occupanti, ovvero il tempo impiegato da ciascuno di essi per raggiungere il luogo sicuro temporaneo.

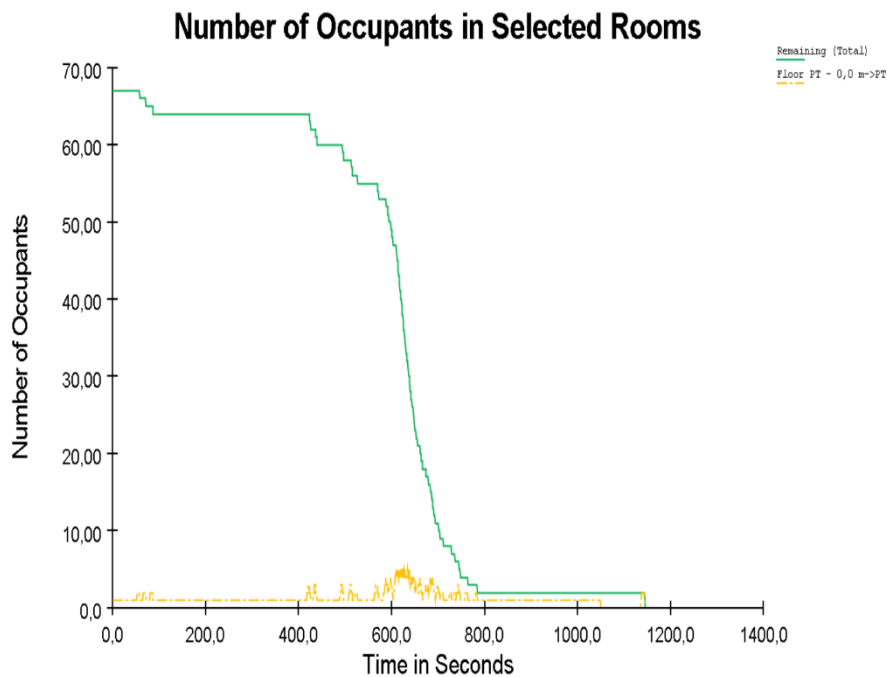


Grafico 20: Scala - Pathfinder - Andamento uscita occupanti

6.1.9 Verifiche normative

Concluso lo studio dello sviluppo dell'incendio e dell'esodo degli occupanti si procede con la verifica prevista nella sezione Metodi del Codice. Come riportato nel paragrafo 5.1, le verifiche sono due, la prima relativa ai tempi ASET e RSET; mentre la seconda è in funzione del $t_{margine}$. Entrambe le verifiche si effettuano sia sugli occupanti dell'appartamento in cui si sviluppa l'incendio sia sugli altri occupanti presenti.

Verifica $ASET \geq RSET$

La normativa richiede la verifica della disuguaglianza tra il tempo ASET, tempo disponibile per l'esodo, e il tempo RSET, tempo richiesto per l'esodo:

$$ASET \geq RSET$$

Si procede con la verifica per gli occupanti dell'appartamento dell'incendio; dalle simulazioni presentate in precedenza si osserva che:

- ASET = illimitato, in quanto nessun occupante raggiunge le condizioni di soglia per nessuna delle quattro proprietà analizzate;
- RSET = 87 s, tempo al quale l'ultimo occupante di quell'appartamento raggiunge il luogo sicuro.

$$ASET = \text{illimitato} \geq RSET = 87 \text{ s}$$

Per gli altri occupanti del condominio si verificano le condizioni alle quali è sottoposto l'ultimo occupante che esodo, l'Occ65, situato nel sottotetto del duplex del X piano.

- ASET = illimitato, in quanto percorre il vano scale quando l'impianto è già in funzione, risultando a prova di fumo;
- RSET = 785 s.

$$ASET = \text{illimitato} \geq RSET = 785 \text{ s}$$

La prima verifica risulta quindi rispettata per entrambi i gruppi di persone.

Verifica $t_{margine}$

La seconda verifica è relativa al tempo margine, ovvero alla differenza tra i due tempi ASET e RSET, richiedendo che sia maggiore del 100% del RSET:

$$t_{margine} = ASET - RSET \quad [s]$$

$$t_{margine} \geq 100\% * RSET \quad [s]$$

Occupanti appartamento incendio *illimitato* $\geq 100\% * 87 s$

Occupanti *illimitato* $\geq 100\% * 785 s$

Questa verifica è sempre rispettata per entrambi i gruppi di occupanti in quando il tempo ASET è illimitato, di conseguenza anche $t_{margine}$ è illimitato.

7 Requisiti aggiuntivi sulla gestione della sicurezza antincendio

L'analisi della gestione della sicurezza antincendio è analizzata all'interno della strategia S5 del Codice di prevenzione incendi, integrandola con le prescrizioni previste nella RTV14 e dalla UNI EN 12101-13:2022. Sono definite specifiche misure di gestione della sicurezza antincendio riferite all'impianto di pressurizzazione.

7.1 Compiti e funzioni

In un edificio di civile abitazione il responsabile dell'attività ha il compito di organizzare la gestione della sicurezza antincendio apportando alcuni provvedimenti:

- c. *“mantenimento in efficienza dei sistemi, dispositivi, attrezzature e delle altre misure antincendio adottate, effettuando verifiche di controllo ed interventi di manutenzione, riportando gli esiti in un registro dei controlli;*
- d. *predisposizione, verifica ed aggiornamento periodico della pianificazione d'emergenza;*
- e. *apposizione di segnaletica di sicurezza (es. divieti, avvertimenti, evacuazione);*
- f. *informazione agli occupanti sulle misure antincendio preventive da osservare e sulle procedure di emergenza da adottare in caso d'incendio, anche tramite invio telematico o pubblicazione, nelle aree comuni dell'edificio, di sintetiche schede informative, comprensibili a tutti gli occupanti.*⁸

7.2 Misure preventive

Il Codice introduce le misure preventive da attuare in due ambiti distinti:

- le vie d'esodo devono risultare sempre sgombre e fruibili, permettendone l'utilizzo da parte degli occupanti;
- la gestione dei lavori di manutenzione, in particolare riguardo al sistema utilizzato affinché sia sempre operativo, valutando anche le operazioni necessarie per effettuarla. La norma UNI EN 12101-13:2022 prevede dei test annuali al sistema affinché in condizioni di emergenza risulti effettivamente funzionante.

7.3 Pianificazione d'emergenza

Sono riportate, all'interno del Codice di prevenzione incendi, tutte le procedure da applicare in condizioni di emergenza affinché tutti gli occupanti possano evacuare in sicurezza e gli operatori possano intervenire restando in condizioni sicure:

- a. *“le istruzioni per la chiamata di soccorso, comprensive delle informazioni da fornire per consentire un efficace soccorso;*
- b. *le istruzioni per diffondere l'allarme a tutti gli occupanti; ove presente l'IRAI, la pianificazione d'emergenza deve contenere le procedure di attivazione e diffusione dell'allarme;*

⁸ Ministero dell'Interno – D.M. 3 agosto 2015 “Codice di prevenzione incendi”, aggiornamento D.M. 19/05//2022

- c. *le istruzioni per l'esodo degli occupanti, anche in relazione alla presenza di occupanti con specifiche esigenze;*
- d. *le azioni da eseguire per la messa in sicurezza di apparecchiature ed impianti (es. sezionamento della distribuzione del gas naturale, ...);*
- e. *le informazioni da fornire alle squadre di soccorso intervenute sul posto (es. planimetrie, ubicazione dei quadri di controllo degli impianti, presenza di occupanti con specifiche esigenze, ...);*
- f. *il divieto di utilizzo degli ascensori per l'evacuazione in caso di incendio, ad eccezione degli eventuali ascensori antincendio da utilizzare secondo le modalità previste;*
- g. *il divieto di rientrare nell'edificio fino al termine dell'emergenza.”⁹*

La norma UNI EN 12101-13:2022 relativa all'impianto prevede la presenza di una persona responsabile dell'impianto che deve sovrintendere in tutte le fasi della manutenzione, verificando che il personale che la effettua sia qualificato per tale lavoro.

7.4 Sistema di sovrappressione (PDS)

Il sistema progettato, descritto precedentemente, ha la doppia funzione di evacuare i fumi dal vano scale e metterlo in sovrappressione. La differenza di pressione tra il locale pressurizzato e quello non in sovrappressione è di 30 Pa, impedendo così ai fumi provenienti dall'appartamento in cui è situato il principio d'incendio di entrare all'interno del vano.

Tale impianto deve essere realizzato a regola d'arte, svolgendo nel tempo la manutenzione per mantenere le prestazioni impiantistiche progettate, impedendone il deterioramento delle parti. È necessario effettuare la manutenzione degli impianti con cadenza almeno semestrale da parte di personale qualificato o quando si verificano segnali di un malfunzionamento, analogamente ai dispositivi antincendio.

La UNI EN 12101-13:2022 al capitolo 11 analizza la manutenzione e i test da svolgere su tale impianto; individua delle specifiche relative al collaudo e alla manutenzione annuale da svolgere, integrandole con il manuale di uso e manutenzione fornito dal produttore.

Nel caso in esame appoggiandosi nella progettazione alla BOVEMA Italia S.r.l., gli interventi di manutenzione saranno da concordare con loro, sia quella straordinaria sia quella ordinaria, consigliata semestralmente.

Durante il test annuale da svolgere, la norma riporta alcune funzionalità da verificare:

- il controllo del registro dei guasti e dei test svolti precedentemente;
- il controllo visivo del vano per verificare che non vi siano rotture parziali della chiusura e partizione verticale;
- l'accensione dell'impianto in modalità test per verificare la corretta funzionalità e la tenuta degli infissi per evitare un'eventuale perdita di pressione;
- durante l'esecuzione del PDS, verificare i singoli componenti che lo costituiscono;
- individuare la presenza di eventuali guasti che si riscontrano durante la verifica del sistema;

⁹ Ministero dell'Interno – D.M. 3 agosto 2015 “Codice di prevenzione incendi”, aggiornamento D.M. 19/05//2022

- la sostituzione delle batterie a tampone, necessarie per il funzionamento dell'impianto in assenza di energia elettrica. È necessario che siano sempre funzionanti, in quanto in caso di emergenza il primo intervento dei Vigili del fuoco è togliere la corrente elettrica;
- redigere un rapporto completo che descriva nel dettaglio tutte le operazioni svolte e le loro registrazioni. Sono entrambi da conservare in quanto documentano l'effettiva manutenzione svolta e saranno necessarie per quelle future.

Tutte le operazioni di manutenzione sono svolte in presenza del responsabile del PDS.

Oltre alla manutenzione periodica programmata è necessario l'intervento tempestivo qualora si riscontrassero dei malfunzionamenti in quanto incidono sulla salvaguardia della vita umana.

8 Conclusioni

La tesi analizza un edificio residenziale a grande altezza, con altezza antincendio superiore a 32 m. È caratterizzato dalla presenza di un solo vano scala protetto; ma non rispetta interamente nessuna delle due normative verticali vigenti, il D.M. 246/1987 e la RTV 14 - Edifici di civile abitazione, le quali richiedono un vano scala a prova di fumo.

Si sceglie quindi di procedere in soluzione alternativa con il Codice progettando un impianto di sovrappressione all'interno del vano scale, applicando la UNI EN 12101-13:2022; verificandola con la FSE, la Fire Safety Engineering.

Il sistema progettato ha la doppia funzione di evacuare naturalmente i fumi che entrano nel vano scale e di pressurizzarlo immettendo aria pulita sfruttando il vano ascensore come camino di immissione. È presente un quadro di comando e controllo che, tramite l'utilizzo di sensori, apre gli infissi automaticamente e regola la portata d'aria da immettere modulando l'apertura della griglia in funzione del piano e della condizione delle porte degli appartamenti. Per la progettazione dell'immissione si applica la normativa UNI EN 12101:13-2022 differenziando la portata in condizione porte aperte, maggiore, e in condizione porte chiuse, minore.

Nelle simulazioni fluidodinamiche del fenomeno incendio si imposta che l'impianto si attivi entro 60 s dalla prima rilevazione di fumo nel vano e si osserva che in circa 15 s il sistema crea una differenza di pressione di 30 Pa tra il locale pressurizzato e quello neutro, l'appartamento, impedendo ai fumi di penetrare ulteriormente ed evacuando quelli presenti.

L'esodo avviene per tutti gli occupanti in sicurezza, sia per quelli dell'appartamento dove avviene l'incendio, sia per quelli presenti nel resto dello stabile.

Le due verifiche richieste dal Codice sono rispettate, avendo quindi un vano a prova di fumo, grazie all'installazione dell'impianto di sovrappressione.

L'utilizzo della Fire Safety Engineering risulta ancora una metodologia innovativa, in particolare per le verifiche normative. Il suo approccio ingegneristico ne permette un'efficace applicazione per le analisi di fenomeni fluidodinamici complessi, come la propagazione dei fumi della combustione e il conseguente propagarsi dell'incendio nel resto dell'edificio.

Il lavoro di tesi ha individuato due differenti possibili posizioni dell'impianto di rilevazione fumi, comprendendone i vantaggi, come l'attivazione anticipata dell'impianto e un ingresso minore di fumi all'interno del vano scale, e le eventuali criticità, come i disagi di installazione per gli occupanti.

Ha inoltre una grande adattabilità per edifici esistenti, con molteplici destinazioni d'uso, per i quali non sarebbe possibile una modifica geometrica fortemente impattante.

9 Bibliografia

Normative

- D.P.R. 1 agosto 2011, n. 151 - “Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122. (11G0193)”;
- D.M. 16 maggio 1987, n. 246 - “Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione”;
- D.M. 3 agosto 2015 - “*Codice di prevenzione incendi*”, aggiornamento del 7 luglio 2022;
- D.M. 7 agosto 2012, n. 201 - “Disposizioni relative alle modalità di presentazione delle istanze concernenti i procedimenti di prevenzione incendi e alla documentazione da allegare, ai sensi dell'articolo 2, comma 7, del decreto del Presidente della Repubblica 1 agosto 2011, n. 151”;
- UNI EN 12101-6: luglio 2022 – “Sistemi per il controllo di fumo e calore – Parte 6: specifiche per i sistemi a differenza di pressione – Kit”.
- UNI EN 12101-13: luglio 2022 – “Sistemi per il controllo di fumo e calore – Parte 13: sistemi differenziali di pressione (PDS) – Metodi di progettazione e di calcolo, installazione, prove di accettazione, prove periodiche e manutenzione”.
- ISO/TR 16738:2009 – “Fire-safety engineering – Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people”.

Articoli di giornale e manuali tecnici

- INAIL; “Metodi per l’ingegneria della sicurezza antincendio”; INAIL collana ricerche; 2019;
- M. Hurley; “*SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*”; Editor-in-Chief; 2016; V edizione;
- Ministero dell’interno, Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco; “Annuario statistico del corpo nazionale dei vigili del fuoco, Periodo di riferimento 01/01/2020 – 31/12/2020”; 2021;
- P. Cancelliere, F. Cosi; “Vie d’esodo a prova di fumo: come progettare la corretta disconnessione fluidodinamica al fumo, filtri a prova di fumo e pressurizzazione”; in “Antincendio, dal 1949 la rivista della prevenzione incendi e della protezione civile”; marzo 2022; pagine 12-38.

10 Indice delle Figure

Figura 1: Inquadramento geografico lotto d'interesse (Google Maps).....	6
Figura 2: Scala condominiale via Ala di Stura, 60 (Google Maps)	6
Figura 3: Planimetria PT	7
Figura 4: Planimetria piano tipo.....	8
Figura 5: Planimetria decimo piano – appartamenti duplex	8
Figura 6: Scala - Compartimenti	15
Figura 7: Porte aggiuntive al PT delle due scale condominiali.....	26
Figura 8: Definizione ASET e RSET	36
Figura 9: Modello geometrico 3D - Prospetto Nord e Ovest	37
Figura 10: Modello geometrico 3D - Lato Sud - Est.....	38
Figura 11: Scala - Planimetria posizione focolaio	54
Figura 12: Scala, condizione esistente - Analisi visibilità	58
Figura 13: Scala - Visibilità, slice $y=2,5$ m, rilevazione pianerottolo.....	68
Figura 14: Scala - Visibilità, slice $z=6,5$ m, rilevazione pianerottolo	70
Figura 15: Scala - Visibilità, slice $z=6,5$ m, rilevazione appartamento	73
Figura 16: Scala - Disposizione degli occupanti, piano tipo.....	74
Figura 17: Figure E.1 — Representation of pre-travel activity time distributions (ISO/TR 16738:2009)	75

11 Indici dei Grafici

Grafico 1: Curva RHR - Focolaio predefinito.....	30
Grafico 2: Curva sperimentale RHR - Focolaio divano (SFPE Handbook, V edizione).....	31
Grafico 3: Curva linearizzata RHR - Focolaio divano	32
Grafico 4: Curva sperimentale RHR monitor computer (SFPE Handbook, V edizione)	33
Grafico 5: Curva linearizzata RHR – Focolaio monitor computer	34
Grafico 6: Confronto curve RHR dei tre focolai.....	35
Grafico 7: Scala, condizione esistente - Temperatura - Sensore T05 confronto tra modelli ...	40
Grafico 8: Scala, condizione esistente - Visibilità - Sensore T05 confronto tra modelli.....	41
Grafico 9: Scala, condizione esistente - FED - Sensore F05 confronto tra modelli	41
Grafico 10: Scala, condizione esistente - Visibilità 1344 s.....	56
Grafico 11: Scala - Curva HRR, rilevazione pianerottolo	63
Grafico 12: Scala - Curva HRR, rilevazione appartamento	64
Grafico 13: Scala - Temperatura 1344 s, rilevazione pianerottolo	65
Grafico 14: Scala - Visibilità 1344 s, rilevazione pianerottolo	65
Grafico 15: Scala - Visibilità 1344 s, rilevazione appartamento.....	71
Grafico 16: Tipologia occupanti	75
Grafico 17: Scala - Temperatura occupanti App1	76
Grafico 18: Scala - Visibilità occupanti App1	77
Grafico 19: Scala - Visibilità occupanti piani VIII, IX e X	78
Grafico 20: Scala - Pathfinder - Andamento uscita occupanti	79

12 Indice dei Riferimenti normativi

Riferimento normativo 1: Attività normativa (D.P.R. 151/2011	10
Riferimento normativo 2: TABELLA A (D.M. 246 16 maggio 1987).....	11
Riferimento normativo 3: Tabella S.4-29: Larghezze unitarie per vie di esodo verticali (D.M. 08/ 2015)	17
Riferimento normativo 4: Tabella S.4-30: Incremento larghezza unitaria delle scale d'esodo in relazione ai gradini (D.M. 08/2015).....	18
Riferimento normativo 5: Tabella M.2-1: Durata minima degli scenari d'incendio di progetto (D.M. 08/ 2015).....	27
Riferimento normativo 6: Tempi di intervento vigili del fuoco (Annuario statistico del corpo nazionale dei vigili del fuoco, 2021).....	27
Riferimento normativo 7: Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato (D.M. 08/2015).....	28
Riferimento normativo 8: Illustrazione M.2-1: Fasi dell'incendio (D.M. 08/2015).....	29
Riferimento normativo 9: Tabella M.2-2: Focolari predefiniti (D.M. 08/2015).....	30
Riferimento normativo 10: Y_{soot} poliestere (SFPE Handbook, V edizione)	32
Riferimento normativo 11: Y_{soot} poliuretano (SFPE Handbook, V edizione).....	34
Riferimento normativo 12: Livelli A, B e M (INAIL - Metodi per l'ingegneria della sicurezza antincendio).....	49
Riferimento normativo 13: Table E.2 — Suggested pre-travel activity times for different design behavioral scenario categories (ISO/TR 16738:2009).....	50

13 Indice della Tabelle

Tabella 1: D.M. 246 - Compartimentazione	11
Tabella 2: D.M. 246 - Superficie di pertinenza della scala per piano	11
Tabella 3: S1 - Reazione al fuoco	13
Tabella 4: S2 - Resistenza al fuoco	13
Tabella 5: S2 - Carico d'incendio	14
Tabella 6: S3 - Compartimentazione.....	15
Tabella 7: S3 - Compartimenti multipiano.....	16
Tabella 8: S3 - Distanza di separazione	16
Tabella 9: S4 – Esodo.....	16
Tabella 10: S4 - Densità di affollamento	17
Tabella 11: S4 - Lunghezza delle vie di esodo verticali	17
Tabella 12: S4 - Larghezza minima delle vie di esodo verticali	18
Tabella 13: S5 - Gestione della sicurezza antincendio.....	18
Tabella 14: S6 - Controllo dell'incendio	19
Tabella 15: S7 - Rilevazione ed allarme	19
Tabella 16: S8 - Controllo di fumi e calore.....	19
Tabella 17: S9 - Operatività antincendio.....	20
Tabella 18: S10 - Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio	20
Tabella 19: Confronto normativo	22
Tabella 20: Aspetti normativi con verifiche differenti.....	23

Tabella 21: Aspetti normativi non verificati	23
Tabella 22: Curva RHR - Focolaio predefinito	31
Tabella 23: Curva RHR - Focolaio divano.....	32
Tabella 24: Curva RHR - Focolaio monitor.....	33
Tabella 25: Table 1 - Design requirements of a PDS (UNI EN 12101-13:2022)	45
Tabella 26: Scala - Tempo di rilevazione.....	48
Tabella 27: Table G.2 — Maximum unimpeded travel speeds and flow rates for horizontal and stair travel (ISO/TR 16738:2009)	51
Tabella 28: Pathfinder - Modellazione Occupanti	52
Tabella 29: Scala, condizione esistente - Tempi di superamento della soglia occupanti.....	58
Tabella 30: Scala - Tempo di rilevazione del fumo sul pianerottolo	59
Tabella 31: Scala - Tempo di rilevazione del fumo nell'appartamento.....	59
Tabella 32: Scala - Caratteristiche impianto di pressurizzazione	60
Tabella 33: Scala - Intervalli di portata d'aria	60
Tabella 34: Scala - Dispersioni per il calcolo delle portate.....	61
Tabella 35: Scala - Portata a porte chiuse	61
Tabella 36: Scala - Portata a porte aperte.....	62
Tabella 37: Scala - Portate di immissione dell'aria	63
Tabella 38: Scala - Tempo ASET, rilevazione pianerottolo	71
Tabella 39: Scala - Impianto di sovrappressione, confronto rilevazione	73
Tabella 40: Scala - Componenti tempo RSET	75
Tabella 41: Scala - Tempi occupanti App1	77
Tabella 42: Scala - Tempi ultimi occupanti VIII, IX e X piano.....	78