

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



Prevenzione Incendi in attività complesse: applicazioni e verifiche con i metodi della Fire Safety Engineering

Relatore:

Prof. Roberto Vancetti

Candidato:

Bruna Di Roberto

A.A. 2018/2019

Premessa

Sono sempre più diffusi edifici complessi che presentano ambienti comunicanti tra loro, dove spesso attorno ad un ampio volume centrale si affacciano diversi spazi con destinazione d'uso di vario genere.

La progettazione di tali sistemi richiede la combinazione: della funzionalità dell'opera, della sicurezza che deve essere garantita nei confronti dell'utenza durante la sua vita utile e della fattibilità tecnico-economico-ambientale.

La progettazione della sicurezza risulta essere più complicata nel caso in cui l'oggetto è un edificio complesso, per via della compresenza di diverse attività, e storico sottoposto a vincolo monumentale, sul quale è difficile garantire gli obiettivi di sicurezza antincendio utilizzando la tradizionale normativa. Problematica, che nel nostro Paese, risulta comune affrontare per via del vasto patrimonio storico che possediamo.

Per questo motivo si passa alla progettazione con approccio prestazionale, che obbliga il progettista alla scelta di adottare misure che hanno come obiettivo principale la sicurezza delle persone in caso di incendio, portando a dotare l'edificio di adeguate capacità di risposta.

Ciò viene realizzato assicurando non solo le necessarie misure di protezione attiva, ma anche le indispensabili misure di protezione passiva.

Tra le varie misure, nell'ambito della strategia della sicurezza antincendio, ha un ruolo di particolare importanza il sistema di esodo, in grado di garantire all'occupante l'evacuazione in sicurezza.

Per la progettazione e verifica di esodo, oltre a modelli analitici, la cui applicazione è adatta solamente a semplici scenari, la Fire Safety Engineering consente di ricorrere a sofisticati modelli di simulazione d'esodo il cui utilizzo è legato: a tempi di simulazione, all'utilizzo di dati di input corretti e all'interpretazione dei risultati. Ma non solo, attraverso l'utilizzo di software, anche a simulazioni di scenari di incendio, legati alla modellazione dell'incendio, che permettono di verificare che l'edificio risponda a determinate prestazioni relative agli obiettivi prefissati.

Partendo da un caso studio reale, Galleria San Federico a Torino, tramite i metodi della FSE verrà verificato lo stato di fatto dello stabile che figura come attività 73, e quindi attività complessa, poiché costituito da una molteplicità di attività distribuite su otto livelli.

Abstract

Complex buildings are becoming more frequent with interconnecting environments, which are often designed with large central volumes and several spaces of various kinds and uses.

The design of such system requires a combination of: functionality of the work, safety processes that must be guaranteed for the user during its useful life and the technical-economic-environmental feasibility.

Building safety design becomes more complicated, due to a combination of different activities, such as the historical subject and monumental constraint, in which it is difficult to secure fire safety objectives using traditional legislation.

This is why we move to design with a performance approach, which forces the designer to choose measures, in the event of a fire, that have the safety of people as their main objective, leading to equipping the building with adequate response capabilities.

This is achieved by ensuring not only the necessary active protection measures but also the necessary passive protection measures.

Among the various measures, within the framework of the fire safety strategy, the system of egress has a role of particular importance, because it is able to guarantee safe evacuation to the occupant.

For the planning and verification of Egress, in addition to analytical models, whose application is suitable only for simple scenarios, Fire Safety Engineering allows the use of sophisticated simulation models of egress whose use is linked: with simulation times, the use of correct input data and interpretation of results. Not only, through the use of software, but also through the use of simulations of fire scenarios, related to the modelling of a fire, providing information to verify that the building meets performance specifications related to the design objectives.

Through the use of a real case study, Galleria San Federico in Turin, the methods of the ESF will verify the factual state of the building which appears as activity 73, and therefore complex activity, as a multiplicity of activities spread over eight levels.

Indice

1	La prevenzione incendi	13
1.1	L'evoluzione delle procedure di prevenzione incendi.....	13
1.1.1	D.P.R n° 151 01/08/2011	14
1.1.2	Codice di prevenzione incendi D.M. 3 agosto 2015	15
1.2	Fire Safety Engineering.....	16
2	Caso studio	23
2.1	Descrizione fabbricato.....	23
2.1.1	Cenni storici	23
2.1.2	Inquadramento generale	25
2.1.3	Caratteristiche della galleria interna.....	25
3	Applicazione della FSE al caso studio	29
3.1.1	Riferimenti normativi.....	31
3.2	Verifica del sistema di esodo	32
3.3	Analisi preliminare.....	53
3.3.1	Salvaguardia della vita	53
3.3.2	Individuazione degli scenari di progetto	62
3.3.3	Modellazione dell'incendio.....	64
3.3.4	Caratteristiche occupanti.....	65
3.4	Scenario 1	75
3.4.1	Calcolo ASET	78
3.4.2	Calcolo RSET.....	85
3.5	Scenario 2.....	87
3.5.1	Calcolo ASET	89
3.5.2	Calcolo RSET.....	94
3.6	Scenario 3.....	96
3.6.1	Calcolo ASET	100
3.6.2	Calcolo RSET.....	105

3.7	Risultati	107
3.7.1	Scenario 1	107
3.7.2	Scenario 2.....	110
3.7.3	Scenario 3.....	112
4	Conclusioni.....	115

Indice delle Figure

Figura 1-Struttura Codice Prevenzione Incendi	16
Figura 2-Vantaggi e svantaggi approccio prescrittivo e approccio prestazionale	17
Figura 3-Caratteristiche degli scenari di incendio di progetto	20
Figura 4-Fasi dell'incendio	21
Figura 5-Immagine Galleria Notta 1860	23
Figura 6 -Interno Galleria ingresso da via Roma	24
Figura 7-Ubicazione Galleria San Federico (Google Maps).....	25
Figura 8-Interno Galleria.....	26
Figura 9-Sezione Galleria.....	26
Figura 10-Interno Galleria.....	27
Figura 11-Sezione schematica del complesso con indicazione delle diverse destinazioni d'uso	30
Figura 12-Pianta piano terra con individuazione corpi scala	30
Figura 13-Sezione corpo scala B e corpo scala A.....	33
Figura 14-Sezione corpo scala C.....	33
Figura 15–Tabella L ₁ Linee Guida.....	39
Figura 16-Illustrazione M.3-1 [DM 3-08-2015]: Confronto tra ASET e RSET	54
Figura 17-Icona Software Pyrosim	56
Figura 18-Interfaccia 3D e Record view Pyrosim.....	57
Figura 19-Icona Software Pathfinder	61
Figura 20-Interfaccia Pathfinder	61
Figura 21-Modello a zone	63
Figura 22-Modello di campo.....	63
Figura 23-Inclusione sociale delle persone con limitazioni funzionali, invalidità o cronicità gravi	65
Figura 24-Avatar scelti.....	66
Figura 25-Occupanti preposta all'assistenza dell'occupante disabile	67
Figura 26-Dati di input per la creazione del portale squadra VVF	68
Figura 27-Occupanti edificio	69
Figura 28-RSET globale.....	72
Figura 29-Grafico RSET diversi piani	73
Figura 30-Screen simulazione esodo dal software Pathfinder	73
Figura 31-Screen simulazione esodo dal software Pathfinder code uffici	73
Figura 32-Confronto tempo di esodo occupanti delle diverse attività	74
Figura 33-Individuazione scenario 1 piano terra.....	75
Figura 34-Pianta attività piano terra.....	77
Figura 35-Pianta attività piano ammezzato	77
Figura 36-Posizione focolare piano terra	78
Figura 37-Posizione focolare in sezione (Scenario1-Pyrosim)	79
Figura 38-Mesh U.T.19.N.....	80

Figura 39-Creazione mesh.....	81
Figura 40-Edit Surfaces.....	82
Figura 41-Curva HRR Scenario 1	82
Figura 42-Edit reactions	83
Figura 43-Individuazione devices	83
Figura 44-Individuazione in pianta dei nove devices.....	84
Figura 45-Grafico RSET globale S.1	85
Figura 46-Grafico RSET per piano S.1	85
Figura 47-Confronto tempi di esodo occupanti delle diverse attività S.1	86
Figura 48-Individuazione scenario 2 piano terra.....	87
Figura 49-Geometria	88
Figura 50-Posizione focolare piano terra	89
Figura 51-Posizione focolare in sezione (Scenario 2-Pyrosim)	90
Figura 52-Mesh manica orizzontale	91
Figura 53-Curve HRR di alberi di Natale.....	91
Figura 54-Curva HRR Scenario Incendio 2	92
Figura 55-Individuazione devices	93
Figura 56-Individuazione devices in pianta	93
Figura 57-Grafico RSET globale S.2	94
Figura 58-Grafico RSET per piano S.2	94
Figura 59-Confronto tempi di esodo occupanti delle diverse attività S.2	95
Figura 60-Individuazione scenario 3 piano terra.....	96
Figura 61-Piano terra.....	97
Figura 62-Piano ammezzato.....	98
Figura 63-Piano primo.....	98
Figura 64-Piano secondo	99
Figura 65-Piano terzo	99
Figura 66-Piano quarto.....	100
Figura 67-Posizione focolare in pianta (Scenario 3-Pyrosim).....	101
Figura 68 -Posizione focolare in sezione (Scenario 3-Pyrosim)	101
Figura 69-Mesh maniche Galleria.....	102
Figura 70-Curve HRR cestini.....	103
Figura 71-Curva HRR Scenario Incendio 3	103
Figura 72-Devices individuati in sezione S.3.....	104
Figura 73-Posizione devices in pianta S.3.....	104
Figura 74- RSET globale S.3	105
Figura 75- RSET dei diversi piani S.3.....	105
Figura 76-Confronto tempi di esodo occupanti delle diverse attività S.3	106
Figura 77-Grafico andamento FED S.1	107
Figura 78-Grafico andamento temperatura S.1	107
Figura 79-Grafico andamento visibilità S.1	108

Figura 80-Grafico andamento irraggiamento S.1.....	108
Figura 81-Visibilità [m] S.1 vista da via Santa Teresa.....	108
Figura 82-Silces visibilità [m] S.1.....	109
Figura 83-Temperatura [°C] S.1.....	109
Figura 84-Grafico andamento temperatura S.2.....	110
Figura 85-Grafico andamento irraggiamento S.2.....	110
Figura 86-Temperatura [°C] S.2.....	111
Figura 87-Velocità fumi [m/s].....	111
Figura 88-Visibilità [m] S.2.....	111
Figura 89-Andamento FED S.3.....	112
Figura 90-Andamento temperatura S.3.....	112
Figura 91-Andamento visibilità S.3.....	112
Figura 92-Andamento irraggiamento S.3.....	113

Indice delle Tabelle

Tabella 1-Piani, superfici e destinazione d'uso	29
Tabella 2-Allegato I; elenco delle attività soggette alle visite e ai controlli di prevenzione incendi	31
Tabella 3-Tabella C1- Caratteristiche prevalenti dei tipi di occupanti per ogni attività (Linee Guida).....	34
Tabella 4-Tabella D- Velocità caratteristica di crescita dell'incendio (Linee Guida)	35
Tabella 5-Tabella G.3-4: Determinazione di R_{vita}	35
Tabella 6- R_{vita}	35
Tabella 7-Tabelle E Profilo di Rischio R_{beni}	36
Tabella 8-Tabella S.4-6: Affollamento specifico o criteri per tipologia di attività	37
Tabella 9-Affollamento per attività.....	38
Tabella 10-Tabella I4-vie di esodo: variazioni percentuali $\delta_{m,i}$ in relazione ad ogni misura antincendio aggiuntiva.	40
Tabella 11-Verifica lunghezza d'esodo	41
Tabella 12-Larghezze vie di esodo orizzontale.....	42
Tabella 13-Larghezze di esodo verticale scala A.....	43
Tabella 14-Larghezze di esodo verticale scala A1	43
Tabella 15-Verifica larghezza di esodo verticale scala B	44
Tabella 16-Verifica larghezza di esodo verticale scala B1	45
Tabella 17-Verifica larghezza di esodo verticale scala C2	45
Tabella 18-Verifica larghezza di esodo verticale scala C1	46
Tabella 19-Verifica larghezza di esodo verticale scala C	46
Tabella 20-Verifica larghezza uscita finale blocco A	47
Tabella 21-Verifica larghezza uscita finale blocco B	47
Tabella 22-Verifica larghezza uscita finale blocco C	48
Tabella 23-Verifica esodo verticale per scala B (Caso1).....	48
Tabella 24-Verifica esodo per scala C (Caso1).....	48
Tabella 25-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco B (Caso1).....	49
Tabella 26-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco C (Caso1).....	49
Tabella 27-Verifica esodo verticale per scala A (Caso2).....	49
Tabella 28-Verifica esodo per scala C (Caso2).....	50
Tabella 29-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco A (Caso2).....	50
Tabella 30-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco C (Caso2).....	50
Tabella 31-Verifica esodo verticale per scala A (Caso3).....	50
Tabella 32-Verifica esodo B (Caso3).....	51
Tabella 33-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco A (Caso3).....	51
Tabella 34-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco B (Caso3).....	51
Tabella 35-Verifica della larghezza del Varco1.....	52
Tabella 36-Verifica della larghezza del Varco 2.....	52

Tabella 37-Verifica della larghezza varco 3.....	52
Tabella 38-Verifica della larghezza Varco1.....	52
Tabella 39-Verifica della larghezza Varco 3.....	52
Tabella 40-Tabella M.2-1: Durata minima degli scenari d'incendio di progetto.....	53
Tabella 41-Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato.....	55
Tabella 42-Tabella M.3-3 Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo semplificato	56
Tabella 43-Dati input occupanti	66
Tabella 44-Dati input occupanti limitati e limitati gravi	67
Tabella 45-Valori medi dei tempi di intervento del VVF	68
Tabella 46-Identificazione colore occupanti	69
Tabella 47-Tempi di rivelazione ed allarme, $t_{det} + t_a$	70
Tabella 48-Stima dei tempi di pre-evacuazione, t_{pre}	71
Tabella 49-Tempi di ritardo utilizzati nel software per i diversi occupanti	72
Tabella 50 -Parametri da monitorare.....	76
Tabella 51 -Soglie prestazionali	76
Tabella 52-Focalare predefinito Tabella M.2-2 Codice di prevenzione incendi DM 3.8.2015...	78
Tabella 53 -Dati di input Scenario 1	78
Tabella 54-Dati mesh	79
Tabella 55-Soglie prestazionali	88
Tabella 56-Dati di input Scenario 2	89
Tabella 57-Dati mesh	90
Tabella 58-Soglie prestazionali	97
Tabella 59-Dati di input Scenario 3	100
Tabella 60-Dati mesh	102

Capitolo 1

La prevenzione incendi

La prevenzione incendi indica l'insieme delle attività che hanno come obiettivo la sicurezza della vita umana, l'incolumità delle persone e la tutela dei beni e dell'ambiente, attraverso la promozione, lo studio, la predisposizione di norme, provvedimenti, accorgimenti finalizzati ad evitare l'insorgere di un incendio e degli eventi ad esso connesso o comunque limitarne le conseguenze.

L'articolazione complessa di questa definizione, evidenzia che le applicazioni di tale disciplina sono numerose, soprattutto confrontando il campo di possibilità offerte dall'ingegneria antincendio rispetto all'approccio tradizionale.

La prevenzione incendi viene attuata in tutti quei luoghi in cui sono presenti sostanze pericolose che potrebbero causare l'insorgere di un incendio o tutti quegli ambienti esposti a tale rischio.

1.1 L'evoluzione delle procedure di prevenzione incendi

Si è cominciato a parlare di prevenzione incendi, già all'inizio degli anni '60, quando lo sviluppo industriale in Italia ha portato a rendere necessaria una politica di prevenzione e di controllo delle attività pericolose.

La legge che ha istituito i primi obblighi della suddetta materia è la n.966 del 1965, introducendo il *Certificato di Prevenzione Incendi*, seguita poi dal DPR n.577 del 1982 che ha introdotto l'obbligo di chiedere l'esame del progetto delle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi.

Fu proprio il tragico evento accaduto a Torino, l'incendio del cinema Statuto del 13 febbraio 1983, che portò alla definizione di una legge che segnò, nel nostro Paese, un'epoca per la Prevenzione incendi:

“Legge 7 dicembre 1984 n. 818, Nulla osta provvisorio per le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi, modifica degli articoli 2 e 3 della legge 4 marzo 1982, n. 66, e norme integrative dell’ordinamento del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.”

Tale legge aveva regolamentato la figura del professionista abilitato alla prevenzione incendi, che a seguito del DM 5 agosto 2011, è diventata *professionista antincendio*, differenziandolo dal tecnico abilitato.

Alla fine degli anni '90, il decreto ministeriale del 1998 definiva il rischio incendio come:” *probabilità che sia raggiunto il livello potenziale di accadimento di un incendio e che si verifichino conseguenze dell’incendio sulle persone presenti*”¹.

Per la valutazione di tale rischio incendio sono state fatte importanti distinzioni, che sono:

- Attività normate
- Attività non normate.

Le attività normate sono quelle attività assoggettate ad una normativa verticale [RTV], la quale prescrive le modalità d’intervento per poter consentire il raggiungimento del livello di sicurezza previsto dalla stessa. In questo caso viene eseguita preventivamente l’analisi del rischio da parte del legislatore, una volta effettuata tale analisi, si impone l’esecuzione di azioni preventive e protettive idonee a compensare il rischio esistente. Si fissa così il livello di sicurezza antincendio accettabile e che rimane tale solo se conforme alle prescrizioni della regola tecnica di prevenzione di riferimento.

Mentre tutte quelle attività che non sono assoggettate ad una normativa specifica (la Normativa Verticale di riferimento) sono definite attività non normate e per esse valgono i criteri di prevenzione incendi riportati nelle Regole Tecniche Orizzontali.

1.1.1 D.P.R n° 151 01/08/2011

Dunque, bisogna capire oltre al *come* applicare la normativa antincendio, anche il *quando*, ed è così che è stato introdotto il *D.P.R. 151 del 2011*, il quale elenca una serie di attività che *devono* essere sottoposte (*soggette*) ai controlli di Prevenzioni Incendi da parte del Corpo dei Vigili del fuoco.

Questo elenco è diviso in tre categorie A, B, C, che in relazione al rischio dell’attività vengono assoggettate ad una disciplina differenziata.

Tale decreto contiene 80 attività, che va a sostituire il DM 16/02/82 che ne conteneva 97, dove alcune sono state eliminate, altre accorpate ed altre aggiunte. Si considera inoltre che nel caso in cui ci si trova davanti ad una attività non compresa nelle 80 del DPR, questo non significa che non si debba progettare con tecniche antincendio.

¹ D.M. 10 marzo 1998(1) Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell’emergenze nei luoghi di lavoro-1.2 DEFINIZIONI

Prima del DPR 151 del 2011 lo scopo era quello di ottenere il CPI (Certificato Prevenzione Incendi) per tutte le 97 attività indipendentemente dalla categoria, cosa che non è nel nuovo decreto.

Dopo tali semplificazioni amministrative, nel 2015 c'è stata la volontà di semplificare le norme tecniche di prevenzione incendi, così è stato introdotto il D.M. 3 agosto 2015 "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi".

1.1.2 Codice di prevenzione incendi D.M. 3 agosto 2015

Il nuovo testo unico di Prevenzione Incendi è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 20 agosto 2015 ed entrato in vigore il 18 novembre 2015. Con l'obiettivo generale di semplificare il corpo normativo della Prevenzione incendi attraverso l'introduzione di un unico testo organico mediante l'utilizzo di un approccio metodologico al passo con il progresso tecnologico, superando in questo modo l'articolata e complessa stratificazione di norme.

La prima e fondamentale novità nasce dal fatto che il Codice Prevenzione Incendi può essere utilizzato come riferimento anche per le attività non soggette. Il codice, infatti, rende il professionista assolutamente protagonista, assegnandogli la responsabilità della scelta delle misure di prevenzione incendi da adottare.

Gli obiettivi per la semplificazione dell'iter relativa alla prevenzione incendi sono:

- Disporre di un testo unico chiaro e completo che vada a sostituirsi ad innumerevoli regole tecniche;
- Semplificare la progettazione antincendio;
- Adottare regole meno prescrittive, più prestazionali. (Questo perché l'approccio prestazionale consente una valutazione quantitativa del livello di sicurezza antincendio, un'analisi più mirata, consentendo di ottenere risultati più legati alla realtà con un risparmio sui costi dell'intervento);
- Individuare regole sostenibili, proporzionate al rischio reale, per evitare inutili dispendi di risorse, che garantiscano comunque un pari livello di sicurezza;
- Fare in modo che le norme VVF si occupino solo di antincendio;
- Prevedere la possibilità di scegliere fra diverse soluzioni progettuali che sono: *soluzioni conformi*, ossia tutte quelle soluzioni di immediata applicazione; *soluzioni alternative*, ovvero che richiedono ulteriori valutazioni; *soluzioni in deroga* per le quali è richiesta l'attivazione del procedimento di deroga;
- Favorire l'utilizzo dei metodi dell'ingegneria antincendio.

Struttura del codice

Il nuovo codice ha una valenza per le attività prive di Regola Tecnica Verticale per le quali si rimanda ai DM specifici. È applicabile alle nuove attività e alle esistenti. Rappresenta una Regola

tecnica Orizzontale che contiene delle nuove regole per la progettazione antincendio. È suddiviso in 4 sezioni:

G: Generalità [RTO]

S: Strategia antincendio [RTO]

V: Regole tecniche verticali [RTV]

M: metodi [FSE]

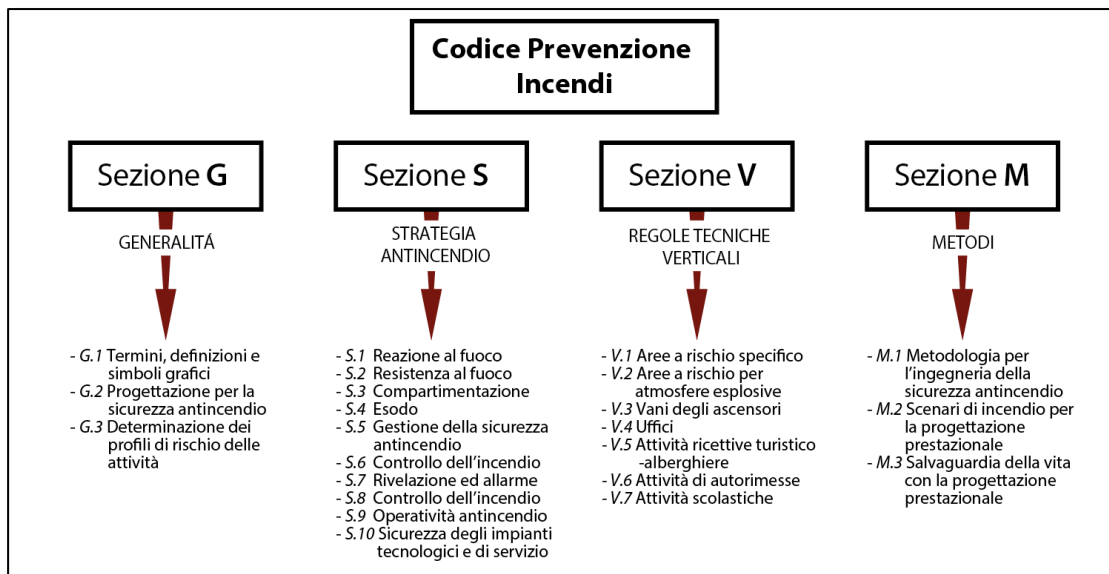


Figura 1-Struttura Codice Prevenzione Incendi

1.2 Fire Safety Engineering

La complessa materia della prevenzione incendi può essere approcciata secondo due strategie differenti. Da una parte, l'approccio prescrittivo, dominante in Italia, che va a concretizzarsi nell'emanazione di norme estremamente prescrittive e nel ricorso da parte del progettista a strumenti di calcolo molto semplici. Dall'altra, un approccio ingegneristico (Fire Safety Engineering), seguito per lo più nei paesi anglosassoni, che va a basarsi sulla previsione della dinamica evolutiva dell'incendio tramite l'applicazione di modelli di calcolo.

L'approccio ingegneristico è stato introdotto in Italia per la prima volta dal decreto 9 maggio 2007 ("Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio"). Con la sua introduzione è stato segnato un significativo miglioramento nell'attività nazionale di prevenzione degli incendi, poiché sono state messe le basi per una nuova metodologia che poi nel tempo sono state via via raffinate attraverso diverse linee guida.

Con l'introduzione dell'ultima sezione del codice, ovvero la sezione M relativa ai metodi, muta il carattere prescrittivo in una normativa "semi-prescrittiva", in quanto sono previste soluzioni multiple. Questo è un rinnovamento storico nello scenario della Prevenzione incendi, poiché la

valutazione del rischio e le relative soluzioni progettuali non sono più a carico del normatore, ma è il progettista che servendosi degli strumenti della Fire Safety Engineering assume un ruolo determinante nella progettazione della sicurezza antincendio. Tale approccio è un approccio di tipo prestazionale, dove si vanno a definire le prestazioni che si vogliono ottenere, per poi verificare il loro raggiungimento.



Figura 2-Vantaggi e svantaggi approccio prescrittivo e approccio prestazionale

Punto di forza della strategia ingegneristica è la sua estrema flessibilità e la capacità di ridurre al minimo gli interventi di adeguamento. Attualmente in Italia il ricorso alla Fire Safety Engineering è concretizzabile sia per le attività non normate, quindi non aventi una RTV, applicando il Codice di Prevenzione Incendi (RTO) percorrendo la soluzione alternativa, sia su tutte le attività normate in caso di istituzione di Deroga.

Le ipotesi fondamentali su cui si basa la FSE sono:

- L'incendio di una attività si avvia da un solo punto di innesco;
- Il rischio di incendio non può essere ridotto a zero.

Sezione M

La sezione M – Metodi del D.M. 03/08/2015 descrive l'iter procedurale da seguire con lo scopo di definire soluzioni idonee utilizzando la metodologia dell'ingegneria antincendio prestazionale.

Come è mostrato nella Figura 1 la sezione M è suddivisa in 3 parti.

Nel capitolo **M1 -Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio-** è descritta la **METODOLOGIA** di progettazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio, la quale consente la definizione di soluzioni idonee al raggiungimento di obiettivi progettuali mediante analisi di tipo quantitativo. Tale metodologia può essere schematizzata in:

- *Analisi preliminare;*
- *Analisi quantitativa;*
- *SGSA – Redazione programma di gestione della sicurezza antincendio.*

Nel capitolo **M2** viene descritta la procedura di IDENTIFICAZIONE, SELEZIONE E QUANTIFICAZIONE DEGLI SCENARI DI INCENDIO POSSIBILI.

Il capitolo **M3** tratta la **SALVAGUARDIA DELLA VITA** con la progettazione prestazionale. Fondamentale è lo studio dell'esodo ma risulta complesso in quanto governato dall'interazione dell'occupante con l'edificio e l'incendio. Se da un lato le regole tecniche di prevenzione incendi trattano l'esodo in funzione di elementi fisio-geometrici (moduli di uscita, layout,..), trascurando le componenti compartimentali; la progettazione prestazione dell'esodo invece tiene conto degli aspetti comportamentali, fisio-geometrici e ambientali.

La progettazione ideale dovrebbe assicurare agli occupanti di raggiungere un luogo sicuro senza rendersi conto degli effetti dell'incendio, ma ciò non è sempre possibile. Per garantire la salvaguardia dell'occupante all'interno di una attività deve essere garantito il criterio di $ASET > RSET$, ovvero il tempo tra innesco dell'incendio e momento in cui le condizioni diventano tali da non permettere più all'occupante di porsi in salvo (ASET) deve essere maggiore del tempo necessario tra l'innesco e il momento in cui gli occupanti hanno raggiunto luogo sicuro (RSET).

Sezione M1-Metodologia

Come detto precedentemente, la metodologia descritta nel capitolo M1 viene suddivisa principalmente in tre fasi che di seguito verranno spiegate: analisi preliminare, analisi quantitativa e SGSA.

- ***Analisi preliminare***

In tale fase devono essere prese in considerazione le caratteristiche del progetto tenendo conto degli aspetti legati a:

- Vincoli imposti da prescrizioni normative e da esigenze peculiari dell'attività;
- Pericoli d'incendio connessi alla destinazione d'uso prevista per gli edifici e i locali;
- Fattori ambientali specifici collegabili alle conseguenze dello sviluppo dell'incendio;
- Caratteri e comportamenti delle persone presenti in relazione alla tipologia di edificio prescelta e alla destinazione d'uso prevista.

Dopodiché si devono identificare, in conformità alle disposizioni in materia di prevenzione incendi e in relazione alle esigenze dell'attività in esame, gli obiettivi di sicurezza:

- Le persone presenti devono essere in grado di lasciare l'opera o di essere soccorse;
- Deve essere presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso;
- La capacità portante dell'edificio deve essere garantita per un periodo di tempo prefissato in relazione all'evoluzione dell'incendio;
- La produzione e la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere deve essere limitata;
- La propagazione del fuoco alle opere vicine deve essere limitata.

In relazione agli obiettivi, devono poi essere indicati i parametri significativi utilizzati per garantire il soddisfacimento degli obiettivi di sicurezza individuati. Tali parametri in accordo alla normativa includono le temperature massime dei gas in ambiente, i livelli di visibilità, i livelli di radiazione termica, i livelli di concentrazione delle specie tossiche, i livelli minimi di ossigeno.

Il primo step è quello di individuare lo scenario d'incendio, che descrive i fattori critici che possono portare ad un incendio. Infatti, tale azione si traduce nella schematizzazione di eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione alle caratteristiche individuate dell'incendio, dell'edificio e delle persone presenti. La scelta degli scenari di incendio di progetto deve individuare le condizioni, realisticamente ipotizzabili, più gravose per lo sviluppo e la propagazione delle fiamme, la conseguente sollecitazione strutturale, la tutela delle persone presenti e la sicurezza delle squadre di soccorso.

Ogni scenario deve comprendere:

- Caratteristiche del fuoco: stato, tipo e quantitativo delle sostanze combustibili, loro disposizione e configurazione, profilo temporale del rilascio termico e picco di potenza termica sviluppata (HRR_{max} *Heat Release Rate*);
- Caratteristiche dell'edificio: geometria dei locali, composizione e proprietà termiche delle pareti, degli arredi e delle tappezzerie, strutture edilizie, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato di apertura o chiusura di porte e finestre;
- Caratteristiche delle persone presenti: affollamento massimo, stato psico-fisico, presenza dei disabili, familiarità con i luoghi, stato di veglia o sonno ecc.

- ***Analisi quantitativa***

Nella seconda fase deve essere definita la soluzione progettuale, attraverso l'utilizzo di impianti, volto a compensare il rischio d'incendio; la scelta tra le varie soluzioni proposte viene ottenuta tramite analisi quantitativa. Il passo successivo è quello della scelta dei modelli di calcolo da applicare al caso studio; il modello scelto fornisce una serie di parametri numerici utili alla descrizione dell'evoluzione dell'incendio e al soddisfacimento dei livelli di prestazione fissati.

Allo stato attuale i modelli più utilizzati sono:

- Modelli analitici semplificati
- Modelli di simulazione dell'incendio a zone per ambienti confinati
- Modelli di simulazione dell'incendio di campo
- Modelli di simulazione dell'esodo

I modelli di simulazione dell'incendio a zona si distinguono da quelli di campo a seconda di come viene realizzata la discretizzazione del volume, difatti quest'ultimo viene suddiviso in celle, in corrispondenza delle quali viene impostata la soluzione matematica delle equazioni che descrivono il problema.

- **Sistema di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)**

L'adozione dell'approccio ingegneristico prevede l'obbligo di elaborare un documento contenente il programma per l'attuazione del SGSA. Documento necessario per tenere sotto controllo i parametri utilizzati per l'individuazione dello scenario.

Nel documento deve essere previsto:

- Organizzazione del personale;
- Identificazione e stima dei pericoli derivanti dalle attività svolte;
- Controllo operativo;
- Gestione delle modifiche;
- Pianificazione delle emergenze controllo delle prestazioni.

Sezione M2-Scenari d'incendio

Lo scenario d'incendio rappresenta una delle serie di possibili condizioni di innesco che vengono considerate pericolose per l'edificio, i suoi occupanti e l'edificio.

Proprio per le sue condizioni di pericolosità, la descrizione di un incendio deve contenere informazioni riguardanti l'edificio, i suoi contenuti e gli occupanti al momento dell'incendio.

I possibili scenari sono la base per l'individuazione degli scenari di progetto, che poi nel momento della simulazione vengono verificati.

Per quanto detto sopra, prima di sviluppare un ipotetico scenario, bisogna raccogliere informazioni e dati su varie situazioni di pre-incendio, le quali andranno ad influire sulle possibilità che l'incendio si verifichi, sui modi in cui può svilupparsi e diffondersi, e sulla sua potenzialità di causare danni.



Figura 3-Caratteristiche degli scenari di incendio di progetto

- **Attività**

Le caratteristiche dell'edificio vanno a descrivere le caratteristiche fisiche, i contenuti e la situazione ambientale dell'edificio. Queste vanno ad influenzare l'esodo degli occupanti, la crescita e diffusione dell'incendio, il movimento e la diffusione dei prodotti della combustione.

- **Occupanti**

Le caratteristiche degli occupanti servono a determinare la capacità di questi, a rispondere ed evacuare durante un'emergenza.

- **Incendio**

Le caratteristiche del fuoco descrivono la storia dello scenario di incendio che include:

- Sorgente di innesco;
- Crescita;
- Eventualità che si verifichi il flashover;
- Sviluppo totale;
- Estinzione.

Deve essere descritta tutta la sequenza di evoluzione dell'incendio:

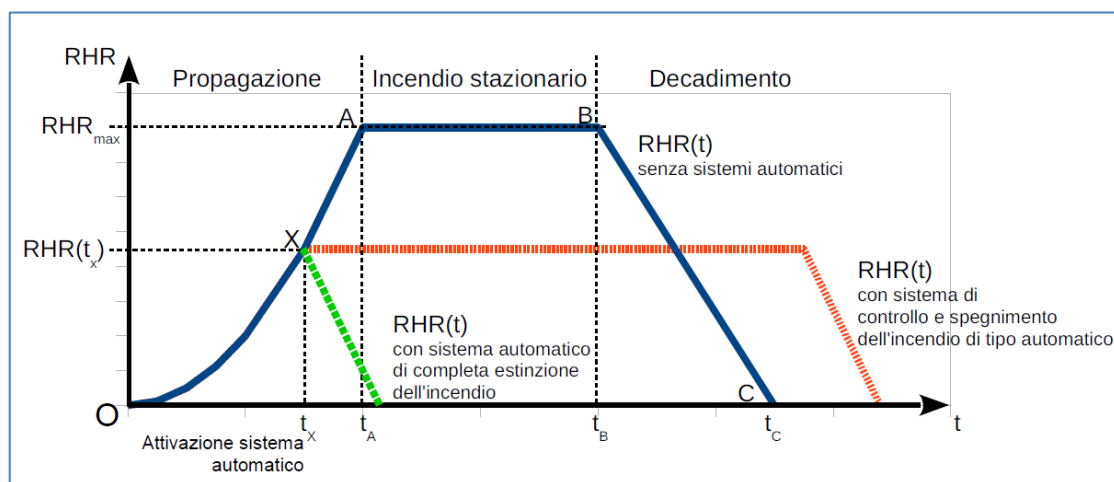


Figura 4-Fasi dell'incendio

Le curve di incendio di progetto sono parti fondamentali per la definizione di uno scenario. Queste sono basate sul tempo e di solito stabiliscono una relazione tra HRR ed il tempo.

La curva attraversa tre stadi, dei quali è necessario stimare i tempi. Questi stadi comprendono l'innesco, il pre-flashover, il flashover e il post-flashover (decadimento dell'incendio).

Il professionista antincendio deve specificare a quale stadio fa riferimento lo scenario ipotizzato.

Ai fini della caratterizzazione quantitativa del focolare, il professionista antincendio può fare ricorso a diversi metodi che di seguito vengono riportati:

- L'impiego di dati sperimentali ottenuti da misure dirette, condotte in laboratorio secondo metodologia scientifica consolidata;
- L'utilizzo di dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise, citando la fonte e verificando la corrispondenza del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario di incendio di progetto, utilizzando un approccio prevalentemente conservativo;
- Impiego delle metodologie di stima che vengono descritte nel paragrafo M.2.6;
- L'utilizzo di focolari predefiniti individuati nel paragrafo M.2.7 nell'ambito delle limitazioni specificate.

Capitolo 2

Caso studio

Oggetto di questo studio è l'analisi delle problematiche di prevenzione incendi connesse alle promiscuità strutturali e delle vie di esodo del complesso edilizio *Galleria San Federico*, edificio storico commerciale situato nel centro storico di Torino, sottoposto a tutela ai sensi del D.Lgs. 22.01.2004.

2.1 Descrizione fabbricato

2.1.1 Cenni storici

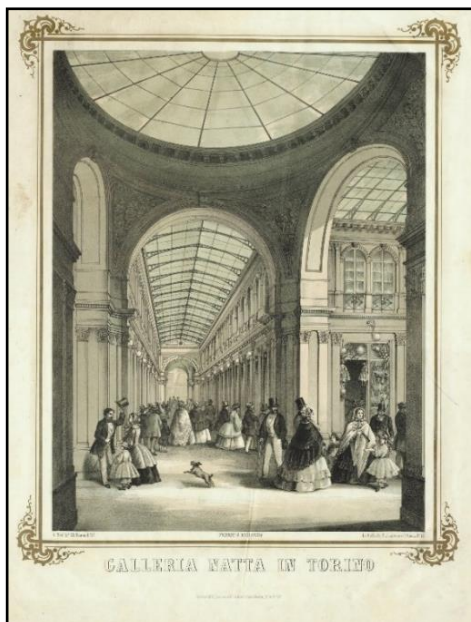


Figura 5-Immagine Galleria Natta 1860

destinati ai negozi, ai magazzini, agli uffici, alle rimesse sotterranee e al cinematografo.

Negli anni Trenta venne avanzata l'ipotesi della ristrutturazione della *Galleria Natta*, presente nell'isolato San Federico.

L'ipotesi era quella di volere una nuova area commerciale coperta che si andasse ad aggiungere alle già esistenti Galleria Subalpina e Galleria Umberto I. Nel 1932 venne avviato il cantiere su progetto dell'architetto Federico Canova e dell'ingegnere Vittorio Bonadè Bottino.

È proprio in quel momento che viene denominata come Galleria San Federico.

La galleria si contraddistinse all'epoca per i caratteri di modernità delle forme e dei decori. La planimetria a T presenta una razionale suddivisione degli spazi

I primi uffici occupati furono quelli della sede storica del quotidiano *La Stampa*; qualche anno dopo venne inaugurato il *Cinema Rex -attuale LUX-*, e di seguito venne a stabilirsi anche la sede della compagnia assicurativa SAI.

Attualmente la Galleria è aperta e ricca di attività commerciali servizi ed uffici.

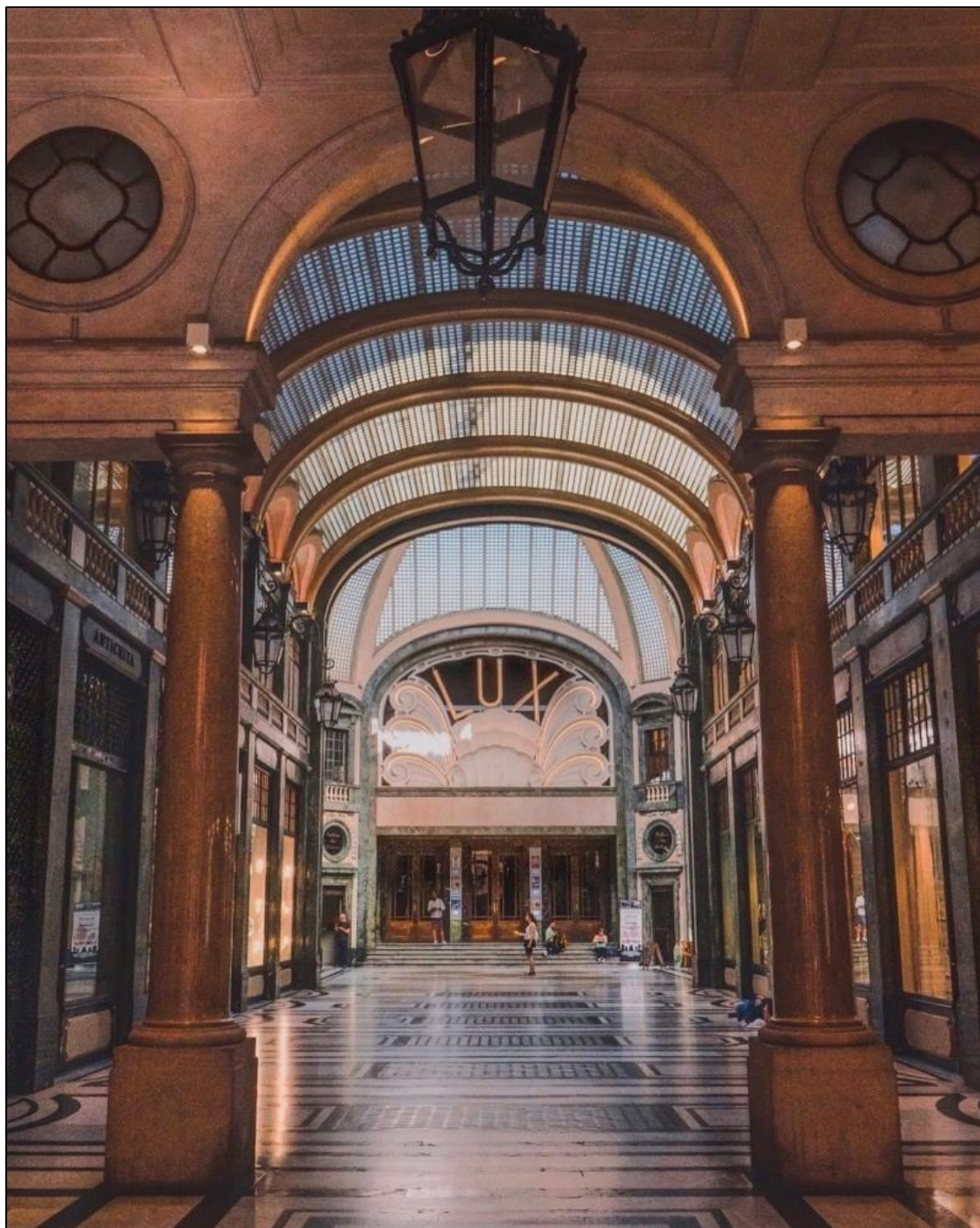


Figura 6 -Interno Galleria ingresso da via Roma

2.1.2 Inquadramento generale

Galleria San Federico, di attuale proprietà della UnipolSAI Investimenti SGR.Spa, è un tipico esempio di edificio in stile eclettico. Il fabbricato è ubicato nel centro storico di Torino.

La sua impostazione, con planimetria a "T", consente tre vie d'accesso pedonali dalle circostanti *via Santa Teresa*, *via Roma* e *via Bertola*.

Sui tre lati prospicienti le pubbliche vie, il complesso edilizio si sviluppa su quattro piani fuori terra, più relativo ammezzato e piano sottotetto. Le aree vendita delle attività commerciali trovano sede ai piani stradale e ammezzato, mentre i piani superiori ospitano uffici di rappresentanza, studi professionali ed alcuni alloggi in affitto.



Figura 7-Ubicazione Galleria San Federico (Google Maps)

Sul lato interno del perimetro del complesso, è ubicato il Cinema “Multisala Lux”, avente tre sale al piano interrato e biglietteria al piano terra nell’atrio comunicante con il centro commerciale “Fiorfood”, il quale si sviluppa su tre livelli fuori terra, più relativa copertura. Inoltre, sono presenti due piani interrati in cui trovano posto l’autorimessa con rampa di ingresso su via Bertola, le cantine dei negozi ed i locali tecnologici del complesso.

2.1.3 Caratteristiche della galleria interna

Il percorso interno a T della struttura collega gli accessi pedonali di via Santa Teresa e Via Bertola (tratto orizzontale sud-nord) ed i portici di via Roma (tratto perpendicolare ovest-est).

Ciascun accesso alla galleria presenta un arco centrale di altezza variabile tra i 5.45-7.45m, con larghezza utile tra le due colonne di 3.45m, e passaggi laterali su ambedue i lati, tra colonna ed edificio, di larghezza 1.45m ed altezza 5.45m.

La galleria serve gli ingressi/uscite per le attività del complesso ed in caso di emergenza serve da percorso orizzontale di esodo dalle stesse attività fino al raggiungimento delle pubbliche vie.

Sul tratto nord-sud della galleria si distinguono: da un lato, gli ingressi/uscite del centro commerciale, del cinema, di alcuni negozi e degli uffici serviti dal vano scala B, dall'altro gli ingressi/uscite di altri negozi e degli uffici serviti dai vani scala A e C; sul tratto ovest-est gli ingressi/uscite di altri negozi; mentre all'autorimesse vi ci si accede tramite rampa presente sul tratto Nord-Est.



Figura 8-Interno Galleria

La galleria è caratterizzata dal vincolo monumentale della Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio del Piemonte², limitatamente all'invaso spaziale ed a tutte le superfici interne della galleria, al cinema Lux nelle parti auliche (scaloni, atri e sale proiezioni) ed alle aree comuni ai vari ingressi civili quali le scale e gli atri a tutti i livelli (vani scala A-B-C).

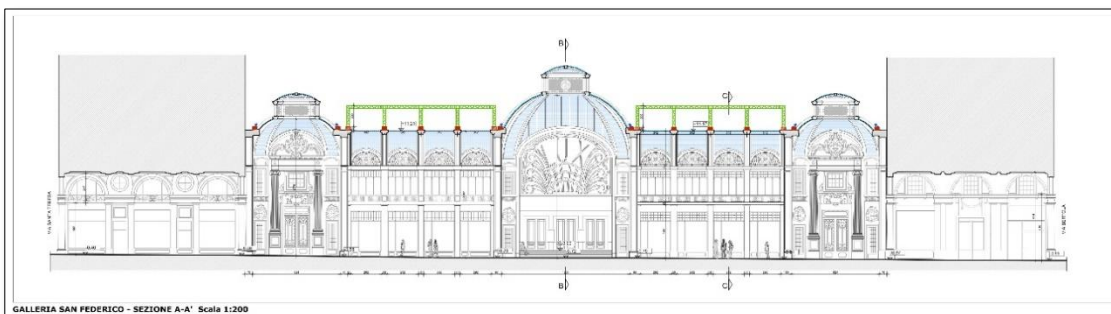


Figura 9-Sezione Galleria

² I beni immobili che presentano un comprovato interesse storico artistico vengono tutelati a seguito dello svolgimento di un apposito procedimento amministrativo che culmina con l'adozione di un provvedimento espresso c.d. "decreto di vincolo", il quale: i) individua con precisione la concreta estensione del vincolo, ovvero del bene oggetto di tutela; ii) le modalità di tutela del bene.

La copertura della Galleria è a volta ellittica a botte sormontata da due cupole minori sul tratto sud-nord e una grande cupola centrale, che è visibile in parte nella seguente figura, che sovrasta lo scalone d'accesso del Cinema, realizzati con strutture portanti in cemento armato.



Figura 10-Interno Galleria

Inoltre, come è possibile notare dalla *Figura 9*, la Galleria dispone di un ampio volume interno dovuto ad una altezza libera interna variabile tra 8.15-11.45m in corrispondenza delle volte ellittiche a botte, fino a 15.10-17.70m in corrispondenza della cupola centrale, fino a 12.75-15.00m in corrispondenza delle due cupole minori;

L'*aerazione permanente* è consentita oltre che in corrispondenza dei tre fronti aperti pedonali connessi alle vie pubbliche, anche da aperture in sommità ricavate sulle cupole centrali e minori.

La complessità sta dunque, non solo nell'essere un edificio storico sottoposto a vincolo, ma anche nella presenza di attività molto diverse tra loro che ciò nonostante si ritrovano a fruire spazi comuni.

Capitolo 3

Applicazione della FSE al caso studio

Tale studio è stato svolto per andare ad analizzare le relative problematiche connesse ad un edificio complesso, ospitante diverse attività e sottoposto a vincolo monumentale della Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio del Piemonte.

È stata svolta una valutazione globale dell'emergenza incendio dell'intero edificio, andando a verificare lo stato di fatto attraverso l'applicazione dei metodi della FSE.

Di seguito viene riportata una tabella con le superfici di ciascun piano e relative destinazioni d'uso.

Tabella 1-Piani, superfici e destinazione d'uso

PIANI	SUPERFICI indicative	DESTINAZIONI D'USO
Piano 2° interrato	-	Autorimessa, Locali tecnici
Piano 1° interrato	-	Cinema, Autorimessa, Locali Tecnici, Depositi
Piano terra	m ² 4800	Negozi, Cinema, Centro commerciale, Guardiania
Piano ammezzato	m ² 4800	Negozi, Uffici e Centro Commerciale (1° livello)
Piano 1°	m ² 4000	Negozi, Centro Commerciale (2° livello)
Piano 2°	m ² 3500	Uffici
Piano 3°	m ² 2700	Uffici
Piano 4° sottotetto	m ² 2200	Abitazioni, Uffici, Depositi, Locali Tecnici

Nel suddetto caso la problematica della sicurezza è molto delicata; questo per il fatto che, come mostrato nella Tabella 1, si deve gestire l'incolumità di una grande concentrazione di persone all'interno di una superficie circoscritta provenienti da diversi locali con diverse destinazioni d'uso.

Tra tutte le tipologie di emergenza, si va ad analizzare in maniera dettagliata quella relativa agli incendi.

Primo step da seguire è quello di verificare quali delle molteplici attività all'interno della galleria, presenti della *Tabella 1*, rientrano tra quelle soggette al controllo dei Vigili del Fuoco ai sensi della vigente normativa di prevenzione incendi.

Per maggiore chiarezza, il complesso edilizio è stato distinto in due corpi di fabbrica:

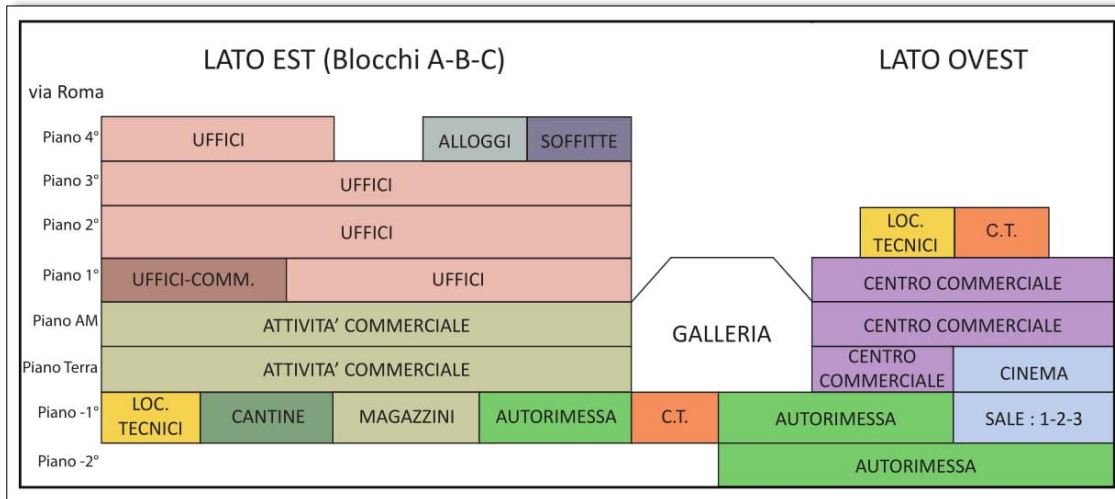


Figura 11-Sezione schematica del complesso con indicazione delle diverse destinazioni d'uso

Il primo (lato ovest della galleria) di pertinenza delle attività soggette principali, il secondo (lato est) che si sviluppa intorno ai vani scala A-B-C in cui sono presenti prevalentemente gli uffici.

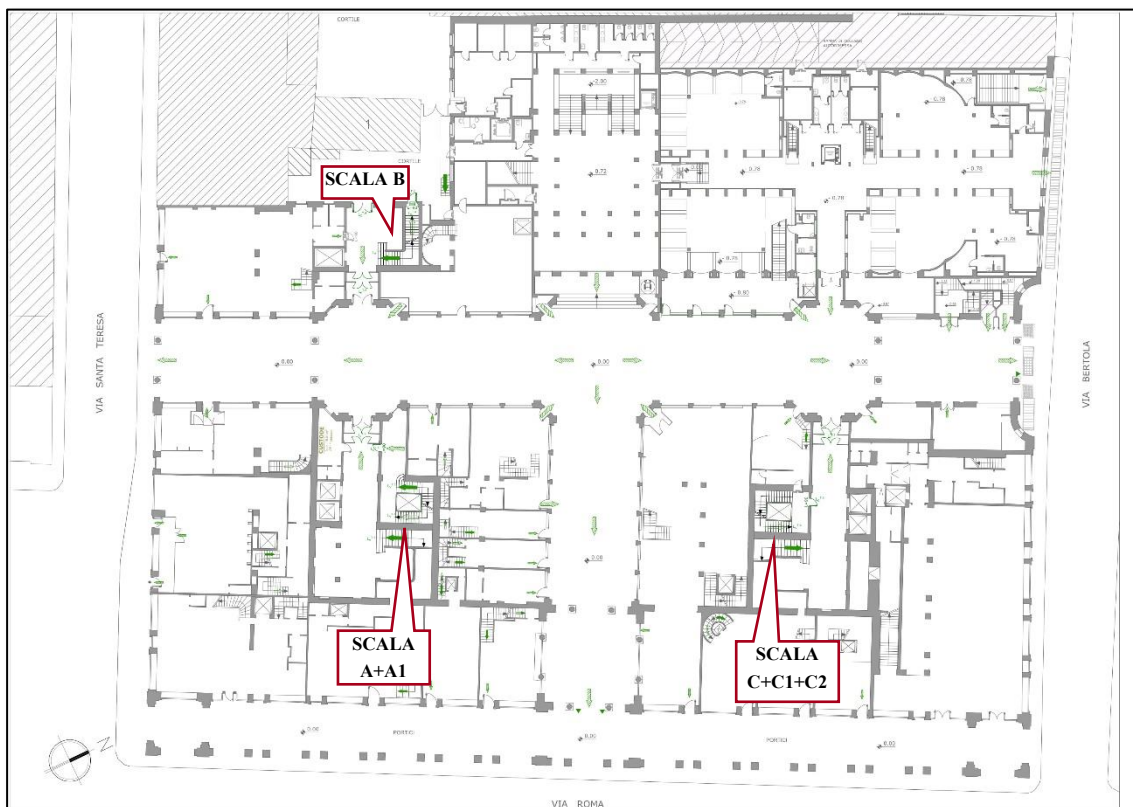


Figura 12-Pianta piano terra con individuazione corpi scala

L'intero edificio ospita ambienti relativi ad attività commerciali, cinema, cantine, uffici ed alloggi residenziali.

In relazione alla presenza di tale moltitudine di attività, l'intero edificio configura come attività soggetta n. 73.2.C ai sensi del D.P.R. 151/2011, in quanto le superfici complessive e gli affollamenti di massima delle attività servite da percorsi di esodo comuni, sia orizzontali che verticali, e/o comprese all'interno delle strutture del complesso edilizio, risultano superiori ai limiti di assoggettabilità di 5.000 m² e 300 persone.

L'attività 72.1.C sussiste in quanto la Galleria San Federico è edificio storico sottoposto a tutela ai sensi del D.Lgs 22.01.2004

Tabella 2-Allegato I; elenco delle attività soggette alle visite e ai controlli di prevenzione incendi

N.	[*]	ATTIVITÀ	CATEGORIA		
			A	B	C
72	90	Edifici sottoposti a tutela ai sensi del d.lgs. 22/1/2004, n. 42, aperti al pubblico, destinati a contenere biblioteche ed archivi, musei, gallerie, esposizioni e mostre, nonché qualsiasi altra attività contenuta nel presente allegato.			tutti
73	-	Edifici e/o complessi edilizi a uso terziario e/o industriale caratterizzati da promiscuità strutturale e/o dei sistemi delle vie di esodo e/o impiantistica con presenza di persone superiore a 300 unità, ovvero di superficie complessiva superiore a 5000 m ² , indipendentemente dal numero di attività costituenti e della relativa diversa titolarità.		fino a 500 unità ovvero fino a 6000 m ²	oltre a 500 unità ovvero oltre 6000 m ²

Pertanto, lo studio riguarderà tutte le parti comuni a servizio delle attività che utilizzano come vie di esodo i vani scala A-B-C e la galleria.

3.1.1 Riferimenti normativi

Trattandosi di complesso edilizio soggetto a vincolo monumentale nel quale si svolgono anche attività aperte al pubblico, configurandosi l'attività n.73, quindi attività soggetta compresa nell'allegato I al D.P.R. 151/11, ma non normata da specifica regola tecnica di prevenzione incendi (ancora per poco), il presente progetto è stato sviluppando utilizzando i seguenti riferimenti normativi:

- per le vie di esodo comuni si è ricorsi all'applicazione delle Linee Guida per gli edifici tutelati di cui al DCPREV n.3181 del 15.03.2016, in relazione all'attività soggetta n.73, per determinare le soluzioni tecniche che assicurano un grado di sicurezza antincendio sufficiente, per gli occupanti, l'edificio ed i beni in esso contenuti.
- D.M. 3 agosto 2015 approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n.139.
- ISO/TR 16738:2009 Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people

3.2 Verifica del sistema di esodo

Il sistema d'esodo ha come scopo quello di assicurare che gli occupanti dell'attività raggiungano o permangano in un luogo sicuro, a prescindere dall'intervento dei Vigili del Fuoco. Le procedure ammesse per l'esodo sono sostanzialmente quattro:

- **esodo simultaneo** prevede lo spostamento contemporaneo degli occupanti fino a luogo sicuro;
- **esodo per fasi** prevede modalità di esodo in una struttura organizzata con più compartimenti, in cui l'evacuazione degli occupanti fino a luogo sicuro avviene in successione dopo l'evacuazione del compartimento di primo innesco.
- **esodo orizzontale progressivo** prevede lo spostamento degli occupanti dal compartimento di primo innesco in un compartimento adiacente capace di contenerli e proteggerli fino a quando l'incendio non sia estinto o fino a che non si proceda ad una successiva evacuazione verso luogo sicuro;
- **protezione sul posto** che prevede la protezione degli occupanti nel compartimento in cui si trovano.

La progettazione antincendio è stata svolta secondo il D.M. 3/08/2015 “Codice di Prevenzione Incendi”. Nel seguente studio non è stata utilizzata la strategia S.4 relativa all'esodo per ottenere una soluzione conforme, bensì è stata utilizzata solo come riferimento per andare a verificare l'efficienza della soluzione progettuale antincendio applicata al fabbricato.

L'esodo progettato è di tipo simultaneo, ovvero prevede lo spostamento contemporaneo degli occupanti in luogo sicuro.

Le vie di esodo verticali a servizio delle attività in esame del complesso edilizio risultano i vani scala A, A1, B, C e C2 per i piani fuori terra e A1, B1 e C1 per il piano interrato, i quali conducono tramite percorso protetto alle rispettive uscite finali sulla Galleria.

I vani sono protetti ai piani con elementi di resistenza al fuoco, ad eccezione del vano scala A in corrispondenza di due accessi a rispettive unità uffici ai piani primo e terzo.

Esclusivamente al piano primo interrato, si prevede accesso ai vani scala A1, B1 e C1 tramite filtro a prova di fumo realizzato con impianto di sovrappressione.

Le scale A1 e B1 sono inserite all'interno dei vani scala A, B e C e non sono state considerate come vie di esodo per le attività in esame ubicate ai piani fuori terra, in quanto le porte di accesso, non modificabili per il vincolo storico presente e per la conformazione degli stessi vani scala, non rispettano le caratteristiche richieste (apertura non nella direzione di esodo, larghezza inferiore a 900 mm). La scala C1, inserita all'interno del vano scala C, previo benestare della Soprintendenza dei Beni Architettonici per l'inversione dell'apertura della porta, potrà essere utilizzata per l'esodo di parte degli occupanti siti al piano terzo dello stabile.

La scala A1 è utilizzata come via di esodo esclusivamente per il piano ammezzato dell'unità T14.N.

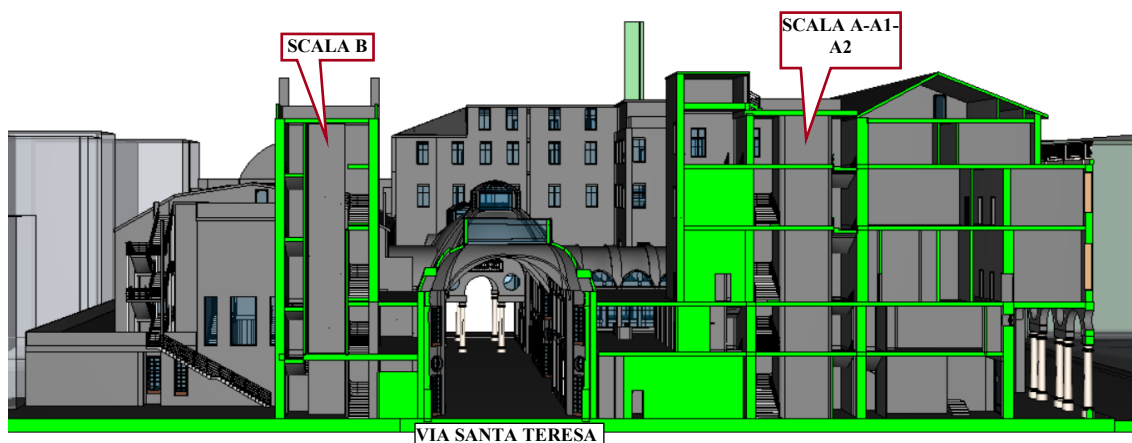


Figura 13-Sezione corpo scala B e corpo scala A

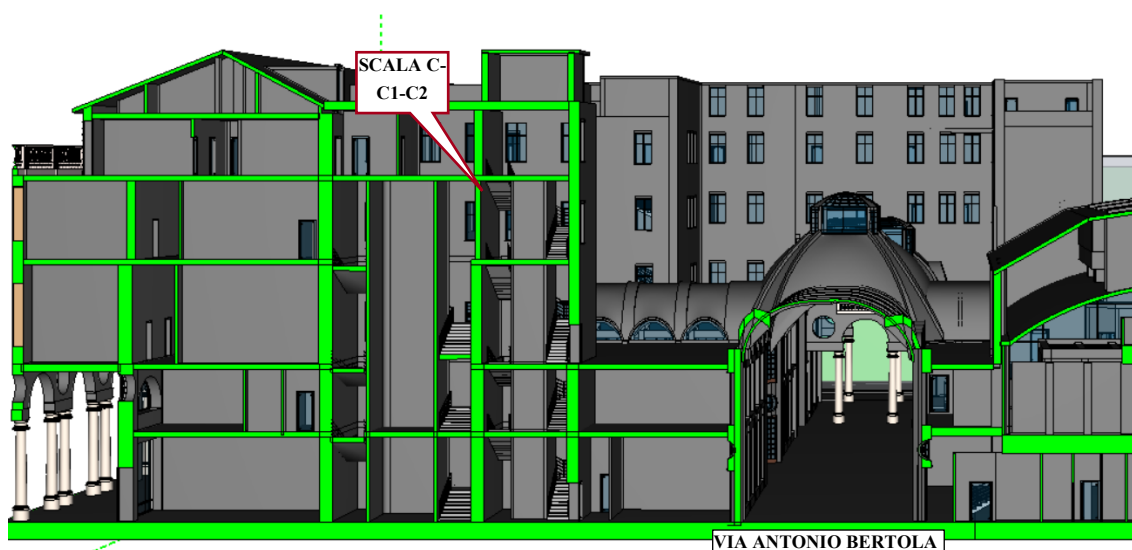


Figura 14-Sezione corpo scala C

Come prima cosa si è proceduto con la definizione dei profili di rischio secondo la metodologia descritta nel capitolo II delle Linee Guida per gli edifici tutelati di cui al DCPREV n.3181 del 15.03.2016, in seguito Linee Guida, quindi con attribuzione dei profili di R_{vita} , da cui sono derivati i livelli di prestazione delle varie misure della strategia antincendio.

Determinazione Profilo R_{vita} :

Per maggior chiarezza di seguito viene riportata la tabella con le caratteristiche degli occupanti presenti all'interno dell'attività in oggetto e relativa velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio che, combinati secondo la tabella G.3-4 del D.M. 03.08.2015 determinano il profilo di rischio R_{vita} , da cui derivano i livelli di prestazione della strategia antincendio.

Si sottolinea a questo punto un aspetto fondamentale:

- l'attività uffici non è e non sarà aperta al pubblico: ciononostante, per l'individuazione delle misure di protezione si è tenuto conto del profilo di rischio vita di tipo B, con persone che non hanno familiarità con l'edificio e, quindi, le vie di esodo.

Tabella 3-Tabella C1- Caratteristiche prevalenti dei tipi di occupanti per ogni attività (Linee Guida)

ATTIVITÀ		A	B	C	TIPO DI OCCUPANTI
41	Teatri e studi per le riprese cinematografiche e televisive	fino a 25	da 25 a 100	oltre 100	B: gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio
65	Locali di spettacolo e di trattenimento in genere, impianti e centri sportivi, palestre		fino a 200	oltre 200	B: gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio
66	Alberghi, pensioni, motel, villaggi, albergo, residenze turistico-alberghiere, studentati, villaggi turistici, alloggi agrituristici, ostelli per la gioventù, rifugi alpini, bed & breakfast, dormitori, case per ferie.	da 25 a 50	da 51 a 100	oltre 100	Cii: in attività gestita di lunga durata Cii: in attività gestita di breve durata
66	Strutture turistico-ricettive nell'aria aperta (campeggi, villaggi-turistici, ecc.) con capacità ricettiva superiore a 400 persone.		oltre 400		Cii: in attività gestita di lunga durata Cii: in attività gestita di breve durata
67	Scuole di ogni ordine, grado e tipo, collegi, accademie	da 100 a 150	da 150 a 300	da 300	B gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio
67	Asilo nido		oltre 30		Assimilati a D (gli occupanti ricevono cure mediche)
71	Aziende ed uffici	da 301 a 500	da 501 a 800	oltre 800	B: gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio
73	Edifici e/o complessi edilizi a uso terziario e/o industriale, caratterizzati da promiscuità strutturale e/o dei sistemi delle vie di esodo e/o impiantistica		tra 300 e 500	oltre 500	B: gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio
75	Locali adibiti al ricovero di natanti ed aereomobili di superficie superiori a 500 mq; depositi di mezzi rotabili (treni, tram ecc.) di superficie coperta superiore a 1000mq		(*)	(*)	B: gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio
78	Aerostazioni, stazioni ferroviarie, stazioni marittime, con superficie coperta accessibile al pubblico superiore a 5000mq; metropolitane in tutto o in parte sotterranee.			(*)	E: occupanti in transito
(*) dato stimabile a cura del progettista/titolare dell'attività					

Tabella 4-Tabella D- Velocità caratteristica di crescita dell'incendio (Linee Guida)

	Velocità caratteristica di crescita dell'incendio α	Esempi
1	600 lenta	Materiali poco combustibili distribuiti in modo discontinuo o inseriti in contenitori non combustibili
2	300 media	Scatole di cartone impilate, pallets di legno, libri ordinati su scaffale, mobili di legno, materiali classificati per reazione al fuoco
3	150 rapida	Materiali plastici impilati, prodotti tessili, apparecchiature elettroniche, automobili, materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco
4(*)	75 ultra rapida	Liquidi infiammabili, materiali plastici cellulari o espansi, schiume combustibili

(*) Non applicabile all'attività 72 C (all.1, D:P:R 151/2011).

Il valore di R_{vita} è stato determinato come combinazione di δ_{occ} e δ_a , come da tabella seguente:

Tabella 5-Tabella G.3-4: Determinazione di R_{vita}

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

[1] Per raggiungere un valore ammesso, δ_a può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 4.
 [2] Quando nel testo si usa uno dei valori C1, C2, C3 la relativa indicazione è valida rispettivamente per Ci1, Ci2, Ci3 o Cii1, Cii2, Cii3 o Ciii1, Ciii2 o Ciii3

Com'è possibile verificare in Tabella 4, il rischio vita reale a seconda dell'attività è A2 per quanto riguarda Uffici e residenze, e B2 per tutto l'edificio.

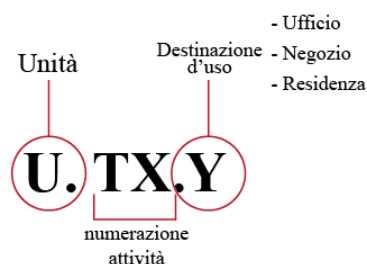
Nella Tabella 6 si riporta una tabella riepilogativa dei diversi profili di rischio R_{vita} attribuiti ai compartimenti delle attività del complesso valutate con le Linee Guida.

Tabella 6- R_{vita}

Destinazione d'uso	δ_{occ}	δ_a	R_{vita}
U.T6.N- U.T7.N- U.T8.N-U.T15.N- U.T16.N-U.T17.N-U.T18.N-U.T21.N	B	2	B2
U.T20.N	A	2	A2

Destinazione d'uso	δ_{occ}	δ_a	R_{vita}
U.T22.U	A	2	A2
U T19.N	B	2	B2
U T2.N-U. T3.N- U.T4.N	B	2	B2
U.T10.N -U.T11.N + U.T13.N	B	2	B2
U.T23.U- T24.U	B	2	B2
U.T25.U-U.T26.U	B	2	B2
U.T27.U-U.T28.U	B	2	B2
U.T29.U	B	2	B2

Per facilità è stata assegnata una codifica ad ogni attività.



Determinazione Profilo R_{beni}:

L'attribuzione del profilo di rischio R_{beni} è stata effettuata per il complesso edilizio nella sua interezza, in considerazione della tipologia di costruzione e non per singoli compartimenti. Nel caso specifico, l'edificio non è una costruzione strategica, ma è vincolato per arte e storia, e pertanto ad esso viene attribuito R_{beni} pari a 2.

Tabella 7-Tabella E Profilo di Rischio R_{beni}

	Opera da costruzione vincolata		
	No ^(*)		Si
Strategica	No	$R_{beni}=1$	$R_{beni}=2$
	Si	$R_{beni}=3$	$R_{beni}=4$

(*) Non pertinente all'attività 72 C (all. 1, D.P.R 151/2011)

Determinazione Profilo R_{ambiente}:

Il rischio $R_{ambiente}$ non viene valutato sostanziale, in quanto si ritiene essere mitigato dall'applicazione delle misure antincendio connesse ai profili di rischio R_{vita} e R_{beni} .

Determinazione affollamento:

L'affollamento massimo per ciascun locale/compartimento è stato determinato utilizzando i valori di densità di affollamento tratti dal D.M. 03.08.2015 a cui le Linee Guida fanno riferimento e che per chiarezza sono riportati di seguito:

Tabella 8-Tabella S.4-6: Affollamento specifico o criteri per tipologia di attività

Tipologia attività	Densità di affollamento o criteri
Luoghi di pubblico spettacolo senza posti a sedere	1,2 persone/m ²
Aree per mostre, esposizioni, manifestazioni varie di intrattenimento e carattere temporaneo	
Aree adibite a ristorazione	0,7 persone/m ²
Aree adibite ad attività scolastica e laboratori (senza posti a sedere)	0,4 persone/m ²
Sale d'attesa	
Uffici aperti al pubblico	
Aree di vendita di piccole attività commerciali al dettaglio con settore alimentare o misto	
Aree di vendita di medie e grande attività commerciali al dettaglio con settore alimentare o misto	0,2 persone/m ²
Aree di vendita di attività commerciali al dettaglio senza settore alimentare	
Sale di lettura di biblioteche, archivi	0,1 persone/m ²
Ambulatori	
Uffici non aperti al pubblico	
Aree di vendita di attività commerciali all'ingrosso	
Aree di vendita di piccole attività commerciali al dettaglio con specifica gamma merceologica non alimentare	0,05 persone/m ²
Civile abitazione	
Autorimesse	2 persone per veicolo parchato
Degenza	1 degente e 2 accompagnatori per posto letto
Aree con posti a sedere o posti letto (es. sale riunioni, aule scolastiche, dormitori)	Numero posti
Altre attività	Numero massimo presenti (addetti+pubblico)

Nel caso in esame, sono stati presi come riferimento i valori di densità di affollamento di 0,1 persone/m² per uffici non aperti al pubblico, 0,2 persone/m² per area di attività commerciali al dettaglio senza settore alimentare e 0,7 persone/m² per le unità T10.N e T13.N adibite rispettivamente a gelateria e bar.

In Tabella 8 è riepilogato l'affollamento di ciascuna attività del complesso edilizio. Per le attività esistenti già in possesso di CPI o SCIA presentata, è stato considerato l'affollamento riportato nei progetti approvati.

Per le aree non aperte al pubblico delle attività commerciali è stato riportato un numero indicativo di addetti presenti.

L'affollamento per le attività non soggette o escluse dalla presente viene riportato esclusivamente per poter effettuare i calcoli necessari per la verifica dell'esodo delle parti comuni degli uffici. Per tale ragione le altre unità presenti nell'opera da costruzione non saranno prese in considerazione nel proseguo della trattazione.

Tabella 9-Affollamento per attività

Piano	Attività	Superficie (m ²)	Densità (pers/m ²)	Affollamento (persone)
SECONDO INTERRATO	Autorimessa	663	(**)	6
	Autorimessa	530	(**)	7
PRIMO INTERRATO	U. T20.N	102	(*)	5
	U. T21.N	152	(*)	2
	U. T14.N	100	(**)	10
	U. T09.N	177	(**)	18
	U. T08.N	119	(*)	2
	U. T07.N	44	(*)	1
	U. T05.N	252	(**)	4
	U. T16.N	26	(*)	1
	U. T15.N	35	(*)	1
	U. T18.N	49	(*)	2
	U. T06.N	67	(*)	2
	U. T04.N	134	(*)	3
	Cinema	1617	(**)	524
	Autorimessa – Compartimento 1	3131	(**)	34
	Centrale termica – Negozi e uffici	40	(**)	0
LIVELLO ZERO	U. T12.N	1077	(**)	348
TERRA	U. T20.N	126	0.2	26
	U. T21.N	163	0.2	33
	U. T19.N	197	0.2	40
	U. T14.N	100	(**)	20
	U. T09.N	184	0.2	19
	U. T08.N	132	(**)	27
	U. T07.N	74	0.2	15
	U. T06.N	65	0.2	13
	U. T05.N	321	(**)	65
	U. T04.N	63	0.2	13
	U. T03.N	104	0.2	21
	U. T02.N	64	0.2	21
	U. T17.N	30	0.2	6
	U. T16.N	35	0.2	7
	U. T15.N	35	0.2	7
	U. T18.N	52	0.2	11
	U. T10.N	43	0.7	31
	U. T11.N	29	0.2	6
	U. T13.N	66	0.7	47
	Cinema	546		0
	Galleria	1205	0.2	241
LIVELLO 1	U. T12.N	1097	(**)	318
AMMEZZATO	U.T22.U	200	0.1	20
	U. T21.N	80	0.2	16
	U. T14.N	290	(**)	29
	U. T05.N	320	(**)	64
	U. T09.N	184	(**)	19
	U. T08.N	112	0.2	23

	U. T07.N	107	0.2	22
	U. T06.N	66	0.2	13
	U. T16.N	35	0.2	7
	U. T15.N	35	0.2	7
	U. T19.N	181	0.2	36
	U. T04.N	64	0.2	13
	U. T02.N	128	0.2	26
LIVELLO 2	U. T12.N	312		99
I	U. T24.U	1970	0.1	197
	U. T23.U	350	0.1	35
LIVELLO 3	CENTRALE TERMICA – Cinema e centro commerciale	74		0
II	U. T26.U	1970	0.10	197
	U. T25.U	770	0.10	77
III	U. T28.U	1266	0.1	127
	U. T27.U	510	0.1	81
IV	U. T29.U	262	0.1	27
	U. T31/T35.R	178		9
	U. T30.R	112		6
	Soffitte 1/12	210		0

(**) Per le aree non aperte al pubblico è stato riportato un numero indicativo di addetti presenti

(**) Per le attività già in possesso di CPI o SCIA è stato riportato quanto a suo tempo approvato

Si ha dunque un affollamento complessivo pari a **3020 occupanti** distribuiti sui vari livelli dell'edificio.

Numero di vie di esodo:

Il numero minimo di vie di esodo indipendenti per ciascun compartimento/attività è stato calcolato secondo i criteri di cui al paragrafo III.4.1.1 delle Linee Guida di cui si riporta di seguito lo stralcio della tabella:

ATTIVITA' (D.P.R. 151/2011)	Livello rischio		Affollamento p = persone p.l. = posti letto	Nl. (*)	L.e. [m]	L.c.c. [m]	L.u.	Scale protette (**) (***)	Scale a prova di fumo o esterna (almeno una) (****)	L.u.										
	R ₁	R ₂								Numero totale dei piani serviti dalla via di esodo verticale										
										1	2	3	4	5	6	7	8	9	>9	
73 - Edifici e/o complessi terziario/industriale	B2	A	2	50	20	4,1	si	no	no [2]	4,80	4,30	3,80	3,45	3,15	2,90	2,85	2,50	2,30	2,15	
		B 300 < p ≤ 500	2																	
		C 500 < p ≤ 1000	3																	
	B3	C p > 1000	4																	
		A, B, C come sopra	come sopra	40	15	6,2	si	si (h > 32 m o h < -10m)		7,30	6,40	5,70	5,15	4,70	4,30	4,00	3,70	3,45	3,25	

Figura 15–Tabella L1 Linee Guida

Il sistema è stato progettato nel caso di esodo simultaneo.

Le vie di esodo verticali a servizio delle attività in esame del complesso edilizio risultano i vani scala A, A1, B, C e C2 per i piani fuori terra e A1, B1 e C1 per il piano interrato, i quali conducono tramite percorso protetto alle rispettive uscite finali sulla Galleria.

I vani sono protetti ai piani con elementi di resistenza al fuoco, ad eccezione del vano scala A in corrispondenza di due accessi a rispettive unità uffici ai piani primo e terzo Non sono richieste scale di esodo a prova di fumo in quanto i piani serviti non superano i 32 m.

Lunghezze delle vie di esodo:

La lunghezza d'esodo e la lunghezza dei corridoi ciechi, all'interno di ciascuna delle attività, non superano i valori massimi indicati nella Tabella L₁ delle Linee Guida riportata in Figura 11.

Si precisa che la lunghezza di esodo è stata misurata con il metodo del filo teso, come distanza percorsa da ciascun occupante dal luogo in cui si trova fino ad un luogo sicuro temporaneo (vani scala protetti A, B, C) o ad un luogo sicuro (pubblica via o Galleria).

Per alcune attività è stato necessario ricorrere alle misure antincendio aggiuntive previste nel paragrafo III.4.2.3 delle Linee Guida per incrementare le massime lunghezze di esodo e di corridoio cieco previste come segue:

$$L_{es,d} = (1 + \delta_m)L_{es}$$

$$L_{cc,d} = (1 + \delta_m)L_{es} + 30\% L_{cc,pr} + 60\% L_{cc,fu}$$

Dove:

- L_{es} : lunghezza d'esodo;
- $L_{es,d}$: massima lunghezza d'esodo;
- $L_{cc,d}$: massima lunghezza del corridoio cieco;
- $L_{cc,pr}$: lunghezza porzione di corridoio cieco in via d'esodo protetta;
- $L_{cc,fu}$: lunghezza porzione di corridoio cieco in via d'esodo a prova di fumo o esterna;
- δ_m : fattore amplificativo che tiene conto delle misure antincendio aggiuntive del compartimento servito dalla via d'esodo, ed è calcolato come segue:

$$\delta_m = \sum_i \delta_{m,i} \leq 36\%$$

$\delta_{m,i}$, indica l'i-esimo fattore relativo alla misura antincendio aggiuntiva indicata nella Tabella L₄ delle Linee Guida riportata di seguito:

Tabella 10-Tabella l4-vie di esodo: variazioni percentuali $\delta_{m,i}$ in relazione ad ogni misura antincendio aggiuntiva.

Misura antincendio aggiuntiva		Variazioni percentuali $\delta_{m,i}$
Sistema IRAI esteso all'attività (III.7-soluzione 2)		15%
Controllo fumi e calore (III.8)		20%
Altezza media del locale servito dalla via di esodo	$\leq 3\text{m}$	0%
	$3\text{ m} < h \leq 4\text{ m}$	5%
	$4\text{ m} < h \leq 5\text{ m}$	10%
	$5\text{ m} < h \leq 6\text{ m}$	15%
	$6\text{ m} < h \leq 7\text{ m}$	18%
	$7\text{ m} < h \leq 8\text{ m}$	21%
	$8\text{ m} < h \leq 9\text{ m}$	24%
	$9\text{ m} < h \leq 10\text{ m}$	27%
	$3\text{ m} < h \leq 4\text{ m}$	30%
Qualora la via di esodo serva più locali, si assuma la minore tra le altezze medie		

In particolare, sono adottate, in base al compartimento e/o attività considerati, le seguenti misure aggiuntive che permettono di incrementare la lunghezza di esodo, come esplicitate in Tabella 10.

I $\delta_{m,i}$ considerabili risultano:

- +15% per la presenza di impianto di rivelazione ed allarme esteso a tutta l'attività, ad eccezione della Galleria.
- +5% per altezza media del locale servito compresa tra 3 m e 4 m.

Pertanto, in base alle considerazioni sopra citate, si riporta in Tabella 10 il confronto tra le lunghezze d'esodo di progetto e quelle massime consentite, per ciascuna delle attività in esame.

Nella colonna "uscita di piano dell'attività" è indicata la via di esodo che raggiunge un luogo sicuro temporaneo o luogo sicuro, su cui è stata calcolata la distanza di esodo percorsa.

Tabella 11-Verifica lunghezza d'esodo

PIANO	Attività	R _{vita}	Uscita di piano dell'attività	MAX lunhg. Esodo (m) verso uscita di piano		MAX lunhg. Esodo (m) verso luogo sicuro	
				Misura	Consentito	Misurata	Consentit
Amm	U. T22.	B2	Scala A	20	60(=50+20%)	81	60(=50+20%)
I	U. T23.	B2	Scala C	22	60(=50+20%)	103	60(=50+20%)
	U. T24.	B2	Scale A-B-C	33	60(=50+20%)	109	60(=50+20%)
II	U. T25.	B2	Scala C	32	60(=50+20%)	129	60(=50+20%)
	U. T26.	B2	Scale A-B-C	40	60(=50+20%)	131	60(=50+20%)
III	U. T27.	B2	Scala C2	25	60(=50+20%)	148	60(=50+20%)
	Uff.-U. T28.	B2	Scale A-B-C2	37	60(=50+20%)	159	60(=50+20%)
IV	Uff.-U. T29.	B2	Scala C2	28	57.5(=50+15%)	162	57.5(=50+15%)

Per quanto visto al paragrafo 2.9, le lunghezze di esodo in corridoio cieco rispetteranno la lunghezza massima consentita (25 m).

Come si vede dalla Tabella 10, le lunghezze di esodo verso luogo sicuro superano la lunghezza massima consentita, in quanto gli occupanti, una volta percorse le vie di esodo verticali, si ritrovano in Galleria, la quale, da definizione di norma, non possiede le caratteristiche di luogo sicuro temporaneo. A tale mancanza, si è sopperiti con l'approccio prestazionale dimostrando attraverso opportune simulazioni il rispetto dei requisiti di sicurezza degli occupanti all'interno della Galleria anche in caso di incendio.

Larghezze delle vie di esodo orizzontale:

Per ciascuna attività sono state verificate anche le larghezze minime delle vie di esodo orizzontale, calcolate secondo le indicazioni contenute in Tabella L₁ delle Linee Guida, riportata in precedenza (Figura 11).

Tabella 12-Larghezze vie di esodo orizzontale

PIANO	Attività	R _{vita}	Affollamento	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta complessiva	Num. Vie di esodo/larghezza calcolata
			[pers]	[mm/pers]	[mm]	[mm]
Amm.	Uff.-U.T22.	B2	20	4.1	82	1/1200 mm
I	Uff.-U.T23.	B2	35	4.1	143.5	1/1200 mm
	Uff.-U.T24.	B2	197	4.1	807.7	4/1200 mm
II	Uff.-U.T25.	B2	77	4.1	315.7	1/1200 mm
	Uff.-U.T26.	B2	197	4.1	807.7	4/1200 mm
III	Uff.-U.T27.	B2	81	4.1	332.1	2/1000 mm
	Uff.-U.T28.	B2	127	4.1	520.7	3/100 mm 1/1200 mm
IV	Uff.-U.T29.	B2	27	4.1	110.7	1/1200 mm

Spazi calmi :

Per l'esodo in presenza di occupanti con disabilità, sono stati previsti spazi calmi a servizio delle attività in tutti i piani fuori terra dei blocchi A, B e C, individuati all'interno dei rispettivi vani scala di tipo protetto.

“Lo spazio calmo è un luogo sicuro che facilita la gestione delle persone in caso di emergenza”. Nel D.M. 9 aprile 1994, viene identificato come luogo sicuro statico contiguo e comunicante con una via di esodo verticale o in essa inserito.

VERIFICA DELLA LARGHEZZA DELLE VIE DI ESODO COMUNI VERTICALI

Scala d'esodo comune A:

La scala A è inserita in ampio vano, di tipo protetto a tutti i piani ad eccezione di due ingressi ad altrettante unità ubicate ai piani primo e terzo, e all'uscita su Galleria, costituito da elementi di compartimentazione con porte tagliafuoco di comunicazione; conduce tramite percorso orizzontale protetto all'uscita finale del blocco A su Galleria. Ha una larghezza utile di 180 cm; è utilizzata per l'esodo dal piano 3° al piano ammezzato, e raccoglie anche le persone provenienti dal piano 4° attraverso il vano scala A2.

Come valore di larghezza unitaria per la scala A è stato scelto 3,45 mm per rischio R_{vita} B2 e n. 4 piani totali serviti.

Nella seguente tabella sono riportate le attività e le relative presenze che usufruiscono del vano scala A come via di esodo verticale fino al raggiungimento dell'uscita finale su galleria:

Tabella 13-Larghezze di esodo verticale scala A

Piano-Attività	Presenze totali	Presenze parziali su scala	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
				[mm]	[mm]	[mm]
Piano 4°-Alloggi U.T31/T35.R- (scala A2)	9	9	275	3.45	948.75	1800
Piano 3°-U.T28.U	127	53				
Piano 2°-U.T26.U	197	85				
Piano 1°-U.T24.U	197	81				
Piano Amm.-U.T22.U	20	20				
Piano Amm.-U.T21.N	8	8				
Piano Amm.-U.T09.N	19	19				

Scala d'esodo comune A1:

La scala A1 nasce come scala di servizio inserita nel vano separato all'interno del grande vano della scala A.

In corrispondenza del piano primo interrato, la scala A1 è compartimentata in vano protetto con accesso tramite filtro a prova di fumo.

Per i piani fuori terra, la scala A1 rimane inserita all'interno del vano della scala A, con la quale condivide l'uscita finale del blocco A su Galleria, seppure risulta dotata anche di un'uscita parallela indipendente, ma con porta che si apre verso l'interno, vincolata dalla Sovrintendenza, e non modificabile.

La scala A1 ha una larghezza utile di 120 cm; è utilizzata per l'esodo delle attività del piano primo interrato e dal piano ammezzato, esclusivamente dei locali del negozio Unità T14.N.

Come valore di larghezza unitaria per la scala A1 è stato scelto:

- 4,90 mm per rischio R_{vita} B2 e n.1 piani totali serviti, per i piani interrati.
- 4,90 mm per rischio R_{vita} B2 e n.1 piani totali serviti, per i piani fuori terra.

Nella seguente tabella sono riportate le attività e le relative presenze che usufruiscono del vano scala A1 come via di esodo verticale fino al raggiungimento dell'uscita finale su Galleria:

Tabella 14-Larghezze di esodo verticale scala A1

Piano-Attività	Presenze totali	Presenze parziali su scala	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
				[mm]	[mm]	[mm]
Piano-1-U.T21.N	2	2	45	4.90	220.5	1200
Piano-1-U. T8.N	2	2				
Piano-1-U.T7.N	1	1				
Piano-1-U.T16.N	1	1				

Piano-1-U.T15.N	1	1				
Piano-1-U.T18.N	2	2				
Piano-1-U.T9.N	18	18				
Piano-1-U.T4.N	10	10				
Piano-1-Cantine 2-3-4-5-6-7-8	0	0				
Piano-1-Autorimessa	34	8				
Piano Amm.-U.T14.N	29	15	15	4.90	73.5	1200

Scala d'esodo comune B:

La scala B è inserita nel vano di tipo protetto a tutti i piani, con la sola eccezione dell'uscita su Galleria. Ha una larghezza utile di 145 cm; è utilizzata per l'esodo delle attività dal piano 3° al piano ammezzato, e raccoglie anche le persone provenienti dal piano 4°.

Come valore di larghezza unitaria per la scala B è stato utilizzato 3,45 mm per rischio $R_{vita} B2$ e n.4 piani totali serviti.

In tabella sono riportate le attività e le relative presenze che usufruiscono del vano scala B come via di esodo verticale fino al raggiungimento dell'uscita finale su galleria:

Tabella 15-Verifica larghezza di esodo verticale scala B

Piano-Attività	Presenze totali	Presenze parziali su scala	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
				[mm]	[mm]	[mm]
Piano 4°-U.T30.R	6	6	190	3.45	655.5	1450
Piano 3°-U.T28.U	127	37				
Piano 2°-U.T26.U	197	79				
Piano 1°-U.T24.U	1	1				
Piano Amm.-U.T19.N	36	18				

Scala d'esodo comune B1:

La scala B1 è inserita nel vano di tipo protetto; conduce dal piano primo interrato al cortile interno condiviso con il Centro Commerciale ed il Cinema, prima di raggiungere la Galleria attraverso l'uscita finale del blocco B, punto di arrivo anche della scala B.

Ha una larghezza utile di 120 cm; è utilizzata per l'esodo delle attività del solo piano primo interrato (autorimessa e locali blocco B).

Come valore di larghezza unitaria per la scala B1 è stato scelto 4,90 mm per rischio $R_{vita} B2$ e n.1 piani totali serviti.

In tabella sono riportate le attività e le relative presenze che usufruiscono del vano scala B1 come via di esodo verticale fino al raggiungimento dell'uscita finale su galleria:

Tabella 16-Verifica larghezza di esodo verticale scala B1

Piano-Attività	Presenze totali	Presenze parziali su scala	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
				[mm]	[mm]	[mm]
Piano-1-Cabina elettrica	0	0	8	4.9	39.2	1200
Piano-1-Gr. Elettrogeno	0	0				
Piano-1-Cantine 9-10	0	0				
Piano-1-Auorimessa	34	8				

Scala d'esodo comune C2:

La scala C2 è inserita nel vano di tipo protetto che è costituito da elementi di compartimentazione; rappresenta un'estensione del vano scala C con il quale si ricongiunge in corrispondenza del piano secondo.

Ha una larghezza utile di 120 cm; è utilizzata per l'esodo degli uffici, lato via Bertola, dei piani 3° e 4°.

Come valore di larghezza unitaria per la scala C2 è stato utilizzato 4,30 mm per rischio R_{vita} B2 e n.2 piani totali serviti.

In tabella sono riportate le attività e le relative presenze che usufruiscono del vano scala C2 come via di esodo verticale fino al raggiungimento dell'uscita finale su galleria

Tabella 17-Verifica larghezza di esodo verticale scala C2

Piano-Attività	Presenze totali	Presenze parziali su scala	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
				[mm]	[mm]	[mm]
Piano4°-U.T29.U	27	27	68	4.30	292.4	1200
Piano3°-U.T28.U	127	0				
Piano3°-U.T27.U	81	41				

Scala d'esodo comune C1:

Analogamente alla scala A1, la scala C1 rappresenta la scala di servizio che corre parallela alla relativa scala C.

In corrispondenza dei piani primo e secondo interrato, la scala C1 è di tipo a prova di fumo.

Per i piani fuori terra, la scala C1 rimarrà inserita all'interno del vano della scala C di tipo protetto a tutti i piani, ad accezione della porta di uscita a piano terra nel vano scala comune con la scala C, con la quale condivide l'uscita finale su Galleria.

La scala C1 ha una larghezza utile di 120 cm; sarà utilizzata per l'esodo delle attività dei piani primo e secondo interrato e per il piano 3°.

Come valore di larghezza unitaria per la scala C1 è stato utilizzato:

- 4,90 mm per rischio R_{vita} B2 e n.1 piano totale servito, per i piani interrati
- 4,90 mm per rischio R_{vita} B2 e n.1 piano totale servito, per i piani fuori terra.

In tabella sono riportate le attività e le relative presenze che usufruiscono del vano scala C1 come via di esodo verticale fino al raggiungimento dell'uscita finale su galleria:

Tabella 18-Verifica larghezza di esodo verticale scala C1

Piano-Attività	Presenze totali	Presenze parziali su scala	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
				[mm]	[mm]	[mm]
Piano-1-Autorimessa	34	8	8	4.90	39.2	1200
Piano3°-U.T28.U	127	37	77	4.90	377.3	1200
Piano3°-U.T27.U	81	40				

Scala d'esodo comune C:

La scala C è nel vano di tipo protetto a tutti i piani, ad accezione della porta di uscita a piano terra su Galleria, costituito da elementi di compartimentazione con porte tagliafuoco di comunicazione, e conduce tramite percorso orizzontale protetto, ad eccezione della porta, all'uscita finale su Galleria.

Ha una larghezza utile di 180 cm; è utilizzata per l'esodo delle attività dal piano 2° al piano ammezzato, e raccoglie anche le persone provenienti dal vano scala C2.

Come valore di larghezza unitaria per la scala C è stato utilizzato 3,80 mm per rischio R_{vita} B2 e n.3 piani totali serviti.

In tabella sono riportate le attività e le relative presenze che usufruiscono del vano scala C come via di esodo verticale fino al raggiungimento dell'uscita finale su galleria:

Tabella 19-Verifica larghezza di esodo verticale scala C

Piano-Attività	Presenze totali	Presenze parziali su scala	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
				[mm]	[mm]	[mm]
Piano-1-Autorimessa	-	68	279	3.80	1060.2	1800
Piano2°-U.T26.U	197	33				
Piano2°-U.T25.U	77	77				
Piano1°-U.T24.U	197	66				
Piano1°-U.T23.U	35	35				

VERIFICA DELLA LARGHEZZA DELLE USCITE ORIZZONTALI FINALI DI ESODO COMUNE

Come valore di larghezza unitaria è stato utilizzato il valore di 4,1 mm valido per il R_{vita} B2, secondo le indicazioni contenute in Tabella L₁ delle Linee Guida, riportata in Figura 16.

Uscita finale blocco A:

La larghezza della via di esodo orizzontale comune per l'uscita finale del blocco A su Galleria risulta verificata come riportato in Tabella 19. Tale larghezza viene calcolata come somma dei contributi delle larghezze di esodo verticale, viste precedentemente, e quelli orizzontali necessari all'evacuazione dei presenti al piano terra.

Tabella 20-Verifica larghezza uscita finale blocco A

Piano-Attività	Presenze parziali vs uscita	Totale affollamento su scala	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]
Da scala A	248	309	1153.7	2000
Da scala A1	60			
Piano Terra-Portineria	1			

Uscita finale blocco B (su Galleria):

La larghezza della via di esodo orizzontale comune per l'uscita finale del blocco A su Galleria risulta verificata come riportato in Tabella 20. Tale larghezza viene calcolata come somma dei contributi delle larghezze di esodo verticale, viste precedentemente, e quelli orizzontali necessari all'evacuazione dei presenti al piano terra.

Tabella 21-Verifica larghezza uscita finale blocco B

Piano-Attività	Presenze parziali vs uscita	Totale affollamento su scala	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]
Da scala B	190	236	850.5	2000
Da scala B1	8			
Da Centro Commerciale	38			

Uscita finale blocco C (su Galleria):

La larghezza della via di esodo orizzontale comune per l'uscita finale del blocco A su Galleria risulta verificata come riportato in Tabella 21. Tale larghezza viene calcolata come somma dei contributi delle larghezze di esodo verticale, viste precedentemente, e quelli orizzontali necessari all'evacuazione dei presenti al piano terra.

Tabella 22-Verifica larghezza uscita finale blocco C

Piano-Attività	Presenze parziali vs uscita	Totale affollamento su scala	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]
Da scala C-C2	190	346	1476.7	2000
Da scala C1-Piani fuori terra	77			
Da scala C1-Piani interrati	8			

VERIFICA DI RIDONDANZA DELLE VIE DI ESODO COMUNI ORIZZONTALI E VERTICALI

La verifica di ridondanza delle vie di esodo comuni verticali e orizzontali del complesso edilizio, in seguito riportata, è stata effettuata secondo quanto riportato al paragrafo III.4.1.1 delle Linee Guida.

Caso 1 (scala e uscita blocco A non utilizzabili):

Il caso 1 prevede che il blocco contenente le vie di esodo verticale A e A1 sia inutilizzabile. Si procede quindi al ricalcolo della larghezza delle vie di esodo sia verticale che orizzontale per le scale B e C e l'esodo orizzontale per le uscite finali dei blocchi B e C.

Si specifica altresì che tale scala è necessaria sia per l'esodo dei piani fuori terra che per quelli interrati. I piani interrati, serviti dalla scala A1, per affollamento e destinazione d'uso (solamente magazzini e locali tecnici non aperti al pubblico), necessitano di una sola via di uscita, per cui non è necessaria la verifica di ridondanza. Tale verifica viene quindi effettuata redistribuendo solo gli occupanti dei piani fuori terra sulle vie di esodo verticale B e C.

Si riporta nelle successive tabelle la verifica di ridondanza per le vie di esodo comuni utilizzabili nel caso 1, sia orizzontali che verticali, sulle quali sono state distribuite le 248 presenze della scala A non utilizzabile.

Tabella 23-Verifica esodo verticale per scala B (Caso1)

Persone totali che utiizzano la scala B	Quota parte du persone (50%) che non può utilizzare vano scala A	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]	[mm]
190	124	314	3.45	1083.3	1450

Tabella 24-Verifica esodo per scala C (Caso1)

Persone totali che utiizzano la scala C-C2	Quota parte du persone (50%) che non può utilizzare vano scala A	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]	[mm]
279	124	403	3.80	1531.4	1750

Tabella 25-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco B (Caso1)

Via di esodo	Parziale persone vs uscita	Totale affollamento vs uscita	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]
Da scala B (caso1)	314	360	1278.3	2000
Da scala B1-Piani interrati	8			
Da Centro Commerciale	38			

Tabella 26-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco C (Caso1)

Via di esodo	Parziale persone vs uscita	Totale affollamento vs uscita	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]
Da scala C (caso1)	403	494	1947.9	2000
Da scala C1-Piani fuori terra	77			
Da scala C1-Piani interrati	88			

Come è evidenziato, sia nelle vie di esodo verticale che in quelle di esodo orizzontale, è possibile smaltire tutti gli occupanti, anche in assenza del vano scala A.

Caso 2 (scala e uscita blocco B non utilizzabili):

Il caso 2 prevede che il blocco contenente le vie di esodo verticale B e B1 sia inutilizzabile. Si procede quindi al ricalcolo della larghezza delle vie di esodo sia verticale che orizzontale per le scale A e C e l'esodo orizzontale per le uscite finali dei blocchi A e C.

Si specifica altresì che tale scala è necessaria sia per l'esodo dei piani fuori terra che per quelli interrati. Anche in questo caso, i piani interrati, serviti dalla scala B1, per affollamento e destinazione d'uso (solamente locali tecnici e parte dell'esodo dell'autorimessa) necessitano di una sola via di uscita, per cui non è necessaria la verifica di ridondanza. Tale verifica viene quindi effettuata redistribuendo solo gli occupanti dei piani superiori sulle vie di esodo verticale A e C.

Successivamente viene riportato la verifica di ridondanza per le vie di esodo comuni utilizzabili nel caso 2, sia orizzontali che verticali, sulle quali sono state distribuite le 190 presenze della scala B non utilizzabile.

Tabella 27-Verifica esodo verticale per scala A (Caso2)

Persone totali che utilizzano la scala A	Quota parte di persone (50%) che non può utilizzare vano scala B	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]	[mm]
275	95	370	3.45	1276.65	1800

Tabella 28-Verifica esodo per scala C (Caso2)

Persone totali che utilizzano la scala C	Quota parte di persone (50%) che non può utilizzare vano scala B	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]	[mm]
279	95	374	3.80	1421.2	1800

Tabella 29-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco A (Caso2)

Via di esodo	Parziale persone vs uscita	Totale affollamento vs uscita	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]
Da scala A (caso2)	370	431	1574.6	2000
Da scala A1-Piani fuori terra	15			
Da scala A1-Piani interrati	45			
Piano Terra-Portineria	1			

Tabella 30-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco C (Caso2)

Via di esodo	Parziale persone vs uscita	Totale affollamento vs uscita	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]
Da scala C (caso1)	374	459	1837.7	2000
Da scala C1-Piani fuori terra	77			
Da scala C1-Piani interrati	8			

Caso 3 (scala e uscita blocco C non utilizzabili):

Il caso 3 prevede che il blocco contenente le vie di esodo verticale C, C1 e C2 sia inutilizzabile.

Si procede quindi al ricalcolo della larghezza delle vie di esodo sia verticale che orizzontale per le scale A e B e l'esodo orizzontale per le uscite finali dei blocchi A e B.

Tale scala è necessaria sia per l'esodo dei piani fuori terra che per quelli interrati. I piani interrati, serviti dalla scala C1, per affollamento e destinazione d'uso (solamente locali tecnici e parte dell'esodo dell'autorimessa) necessitano di una sola via di uscita, per cui non è necessaria la verifica di ridondanza. Tale verifica viene quindi effettuata redistribuendo solo gli occupanti dei piani superiori sulle vie di esodo verticali A e B.

Viene riportato successivamente la verifica di ridondanza per le vie di esodo comuni utilizzabili nel caso 3, sia orizzontali che verticali, sulle quali sono state distribuite le 356 presenze del blocco C non utilizzabile.

Tabella 31-Verifica esodo verticale per scala A (Caso3)

Persone totali che utilizzano la scala A	Quota parte di persone (50%) che non può utilizzare vano scala C	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]	[mm]
275	178	453	3.45	1562.85	1800

Tabella 32-Verifica esodo B (Caso3)

Persone totali che utilizzano la scala C	Quota parte di persone (50%) che non può utilizzare vano scala C	Totale affollamento su scala	Larghezza unitaria	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]	[mm]
190	178	368	3.45	1269.6	1450

Tabella 33-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco A (Caso3)

Via di esodo	Parziale persone vs uscita	Totale affollamento vs uscita	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]
Da scala A (caso3)	453	487	1860.95	2000
Da scala A1-Piani fuori terra	15			
Da scala A1-Piani interrati	45			
Piano Terra-Portineria	1			

Tabella 34-Verifica esodo orizzontale uscita finale blocco B (Caso3)

Via di esodo	Parziale persone vs uscita	Totale affollamento vs uscita	Larghezza minima richiesta	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]
Da scala B (caso3)	368	414	1452.3	2000
Da scala B1-Piani interrati	8			
Da centro commerciale	38			

VERIFICA DELLA LARGHEZZA DEI VARCHI DI USCITA FINALE DALLA GALLERIA

La verifica della larghezza delle uscite orizzontali finali di esodo comune per le attività del complesso edilizio verso strada pubblica è stata effettuata secondo le indicazioni riportate al paragrafo III.4.1.1 delle Linee Guida, utilizzando come dato di ingresso l'affollamento di ciascuna scala di esodo comune come calcolato precedentemente.

Si precisa che come valore di larghezza unitaria è stato utilizzato il valore di 4,1 mm valido per il $R_{vita} B2$, secondo le indicazioni contenute in Tabella L₁ delle Linee Guida, riportata in Figura 16.

I varchi di uscita presenti alle estremità delle maniche della Galleria, denominati rispettivamente “Varco 1”, “Varco 2” e “Varco 3”, risultano privi di serramento, e sfociano direttamente su strada pubblica.

Vengono riportate solo le unità che affacciandosi sulla Galleria utilizzano questa come via di esodo. Per quanto visto in precedenza i blocchi scale A, B e C raccolgono anche parte dell'affollamento presente all'interno delle unità commerciali. Di questo si è tenuto conto nel computo dell'affollamento presente in Galleria.

Di seguito la verifica della larghezza di esodo per i tre varchi presenti in Galleria. L'affollamento è stato calcolando dividendo equamente gli occupanti su ciascuna uscita.

Tabella 35-Verifica della larghezza del Varco 1

Descrizione	Presenze totali attività	Presenze parziali su varco	Larghezza unitaria	Larghezza in progetto	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]	[mm]
Galleria	2346	782	4.10	3206.2	6400

Tabella 36-Verifica della larghezza del Varco 2

Descrizione	Presenze totali attività	Presenze parziali su varco	Larghezza unitaria	Larghezza in progetto	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]	[mm]
Galleria	2346	782	4.10	3206.2	6360

Tabella 37-Verifica della larghezza varco 3

Descrizione	Presenze totali attività	Presenze parziali su varco	Larghezza unitaria	Larghezza in progetto	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]	[mm]
Galleria	2346	782	4.10	3206.2	6150

VERIFICA DI RIDONDANZA DEI VARCHI DI USCITA FINALE DELLA GALLERIA

La verifica di ridondanza dei varchi di esodo orizzontale del complesso edilizio è stata effettuata secondo quanto riportato al paragrafo III.4.1.1 delle Linee Guida.

Il caso previsto è solo uno ed è quello che prevede l'impossibilità di utilizzo del varco di maggiore dimensione, nel caso specifico il Varco 1; le 2.346 persone presenti si riverseranno pertanto sui due varchi liberi.

Tabella 38-Verifica della larghezza Varco 1

Descrizione	Presenze totali attività	Presenze parziali su varco	Larghezza unitaria	Larghezza in progetto	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]	[mm]
Galleria	2346	1173	4.10	4809.3	6360

Tabella 39-Verifica della larghezza Varco 3

Descrizione	Presenze totali attività	Presenze parziali su varco	Larghezza unitaria	Larghezza in progetto	Larghezza calcolata
			[mm]	[mm]	[mm]
Galleria	2346	1173	4.10	4809.3	6150

Si evince che anche in assenza di disponibilità di uno dei varchi presenti gli altri due sono in grado di smaltire tutti gli occupanti presenti in Galleria.

3.3 Analisi preliminare

Come già anticipato nel sotto-paragrafo “*Sezione M*”, in questa prima fase vengono formalizzati i passaggi che conducono all’individuazione delle condizioni più rappresentative del rischio al quale l’attività è esposta e quali sono le soglie di prestazione a cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire.

Lo scopo di tale studio è quello di andare a verificare il raggiungimento dell’obiettivo di sicurezza antincendio previsti dal D.M. 3 agosto 2015, ovvero quelli riportati nella tabella sottostante.

Tabella 40-Tabella M.2-1: Durata minima degli scenari d'incendio di progetto

Obiettivo di sicurezza antincendio	Durata minima degli scenari di un incendio di progetto
Salvaguardia della vita	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.
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.

Una volta scelto l’obiettivo, che in questo caso studio è la *salvaguardia della vita*, il passo successivo è stato quello di tradurlo in soglie prestazionali, ovvero soglie di tipo quantitativo e qualitativo, in modo tale da rendere quantitativi gli effetti termici sulle strutture, la propagazione dell’incendio, i danni agli occupanti, ai beni ed all’ambiente.

3.3.1 Salvaguardia della vita

Garantire la salvaguardia della vita significa:

- Dimostrare la possibilità per tutti gli occupanti di un’attività di raggiungere o permanere in un luogo sicuro;
- Dimostrare la possibilità per i soccorritori di operare in sicurezza.

Il primo criterio da impiegare è quello di assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza.

A tale proposito la norma introduce il calcolo ed il confronto di due intervalli di tempo che vengono identificati come RSET (Required Safe Escape Time) ed ASET (Available Safe Escape Time).



Figura 16-Illustrazione M.3-1 [DM 3-08-2015]: Confronto tra ASET e RSET

Dunque, bisogna verificare che il tempo necessario per l'esodo RSET sia inferiore, considerando anche il margine di sicurezza, al tempo a disposizione per l'esodo ASET.

$$\mathbf{RSET < ASET}$$

La differenza tra "ASET-RSET= t_{marg} " costituisce il margine di sicurezza che deve essere superiore a 30 secondi e viene assunto $\geq 10\%$ di RSET, come previsto dal D.M. 3 agosto 2015.

ASET

Come accennato precedentemente, l'intervallo di tempo ASET è il tempo che hanno a disposizione gli occupanti per mettersi in salvo.

I metodi di calcolo ammessi dalle norme sono:

- Metodo di calcolo avanzato
- Metodo di calcolo semplificato.

Metodo di calcolo avanzato

La norma ISO 13571 è il riferimento per il calcolo ASET, che viene definito come il più piccolo tra ASET calcolati secondo quattro modelli:

- a. Modello di gas tossici;
- b. Modello di gas irritanti;
- c. Modelli del calore;
- d. Modello dell'oscuramento della visibilità da fumo.

Tabella 41-Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli flettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m ² :5m	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 5m Soccorritori n locali di superficie lorda <100m ² :2,5	[1]
Gas tossici	FED, fractional effective dose e FEC, fractional effective concentration per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571-2012, limitando a 1,1% gli occupanti incapaci al raggiungimento della
		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, struttuta) di esposizione deli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m ²	ISO 13571-2012, per esposizioni maggiori di 30 minuti, senza modifica significativa dei tempi di esodo (2,5 kW/m ²)
		Soccorritori: 3kW/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 Council (AFAC) per hazardous conditions			

Metodo di calcolo semplificato

Diversamente da quello avanzato, la ISO/TR 16738 prevede la possibilità di utilizzare l'ipotesi semplificativa *zero exposure* (esposizione zero).

Anziché procedere alla verifica dei quattro modelli, in questo metodo semplificato, la verifica viene effettuata sulle seguenti soglie di prestazione:

- a) Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2m, al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbato;
- b) Temperatura media dello strato di fumi caldi non superiore a 200°C.

Tabella 42-Tabella M.3-3 Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo semplificato

Prestazine	Soglia di prestazione	Riferimento
Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permenga lo strato di aria indisturbata	Occupanti: 2m	Ridotto da ISO TR 16738-2009, section 11,2
	Soccorritori: 1,5m	[1]
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: 200°C	ISO TR 16738-2009, section 11,2
	Soccorritori 250°C	[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 Council (AFAC) per hazardous conditions		

“Questi criteri permettono agli occupanti la fuga in aria indisturbata, non inquinata dai prodotti della combustione, ed un valore dell’irraggiamento dai fumi cui sono esposti inferiore a 2,5 kW/m²: sono dunque automaticamente soddisfatti tutti i modelli di cui al paragrafo M.3.3.1 e l’analisi è notevolmente semplificata perché non occorre eseguire calcoli di esposizione degli occupanti a tossici, irritanti, calore e oscuramento della visibilità. È infatti sufficiente valutare analiticamente o con modelli numerici a zone o di campo l’altezza dello strato dei fumi pre-flashover nell’edificio.”³

Nonostante risulti più semplice rispetto al modello avanzato, il modello semplificato essendo restrittivo, molto spesso, porta a delle valutazioni poco dettagliate riguardo le misure adottate, che contrariamente, se venissero analizzate con un metodo più accurato, potrebbero dare esiti positivi.

Per questo motivo nel caso in esame il metodo scelto è stato il modello avanzato.

Software utilizzato per il calcolo di ASET

Per il calcolo di ASET è stato utilizzato Pyrosim, software della Thunderhead Engineering. Tale software è un'interfaccia grafica per i modelli Fire Dynamics Simulator (FDS). Tali modelli simulano la presenza di fumo, di monossido di carbonio e altre sostanze durante gli incendi, e rilevano anche l’andamento della temperatura.



Figura 17-Icona Software Pyrosim

³ -passo del capitolo M.3.3.2- D.M. 3 agosto 2015

Il software fornisce quattro editor per il modello: 3D view, 2D view, navigation view e la Record view. Se un oggetto viene eliminato in una delle viste, automaticamente tale cambiamento risulterà nelle restanti tre.

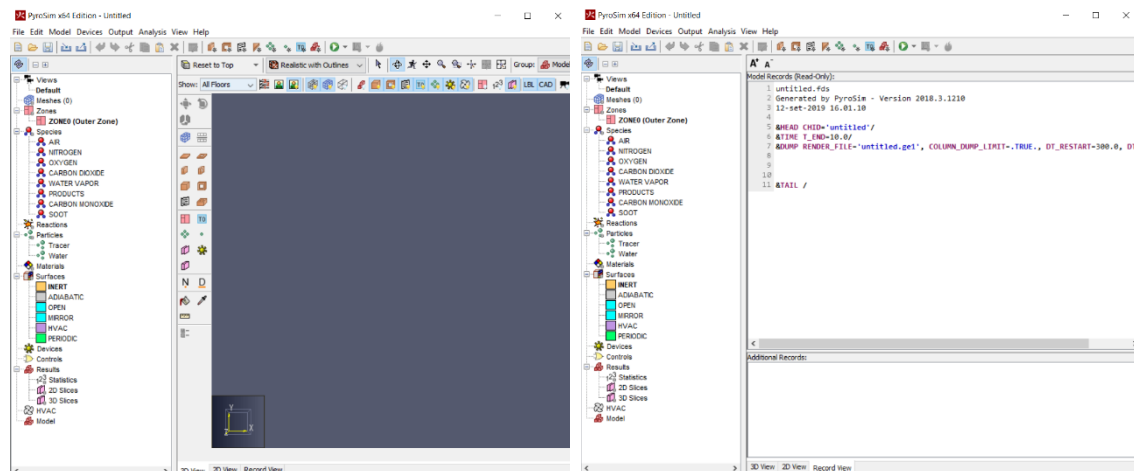


Figura 18-Interfaccia 3D e Record view Pyrosim

La figura 10 mostra:

- Vista 3D: rappresentazione 3D del modello di
- Record view: fornisce un'anteprima del file di input FDS che verrà generato per il file di simulazione.

RSET

La variabile che interessa maggiormente è il fattore tempo, in particolar modo quello necessario al raggiungimento di un luogo in cui le persone siano tutelate dagli effetti dell'incendio, il quale deve risultare notevolmente inferiore di quello in cui si sviluppano le condizioni di incompatibilità ambientale.

Il tempo di evacuazione RSET, come è possibile vedere nella figura 16, precedentemente riportata, risulta essere la somma di quattro contributi:

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

La somma di tali contributi stima il tempo di evacuazione RSET:

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

Di seguito vengono riportati i calcoli eseguiti al fine di valutare il tempo RSET (*Required Safe Escape Time*) svolti:

- Sulla base della letteratura tecnica;
- Con apposite modellazioni computerizzate di esodo.

Il tutto in un'ottica di approccio prestazionale, utilizzando metodi *F.S.E.*

Tempo di rivelazione (t_{det})

Come detto precedentemente, prima che abbia inizio il movimento delle persone, trascorre del tempo, la cui stima risulta essere difficile in quanto vi sono una complessità di variabili in gioco, le quali risultano essere prettamente comportamentali.

Il tempo di rivelazione è l'intervallo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio, viene influenzato dal tipo di impianto installato e dal tipo di scenario. Può essere calcolato analiticamente o con apposita modellazione numerica degli scenari d'incendio e del sistema di rivelazione.

Di seguito viene riportato il metodo analitico:

$$t_{rilev.inc.} = \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{0.5}$$

Dove:

- x : potenza termica rilasciata nell'ambiente (kW)
- α : costante che regola l'evoluzione dell'incendio.

Tempo di allarme generale (t_a)

Il tempo di allarme è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, dell'allarme generale.

I casi che possono verificarsi sono:

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

Tempo di attività pre-movimento (t_{pre})

Il tempo di ‘pre-movimento’ rappresenta il lasso di tempo nel quale gli occupanti già si muovono per compiere diverse azioni. La letteratura⁴ indica che questa fase occupa spesso la maggior parte del tempo totale di esodo.

Generalmente una persona si rende conto che nell’ambiente in cui si trova si è prodotto un incendio quando:

- percepisce odore di fumo;
- vede fumo e/o fiamme;
- acquisisce la notizia da altri;
- sente il suono di dispositivi di allarme.

Successivamente:

- continua a completare l’azione che stava svolgendo, ritenendo la circostanza non vera o degna di particolare attenzione;
- effettua l’arresto e messa in sicurezza delle apparecchiature di lavoro;
- tende subito ad ottenere informazioni sulla natura, gravità e localizzazione dell’incendio;
- cerca di verificare direttamente la presenza di prodotti della combustione cercando di estinguerli;
- segnala la circostanza ad altre persone, in modo da diffondere la notizia e l’allarme generale a tutto l’edificio;
- prova a congiungersi con altri familiari e/o conoscenti presenti nell’edificio;
- tenta di portare via con sé oggetti ritenuti importanti;
- valuta la via di esodo più appropriata.

L’esecuzione di una delle azioni riportate precedentemente, aumenta il rischio, poiché porta inevitabilmente ad un ritardo dell’evacuazione. Tale ritardo è difficilmente quantificabile.

Ogni persona che si trova all’interno di un edificio, ha un proprio valore del tempo di attività di pre-movimento, in genere quando si ha una moltitudine di occupanti presenti, si adotta una semplificazione, ossia quella di considerare, in accordo con i dati sperimentali contenuti nella letteratura tecnica, una distribuzione statistica.

Nel rapporto tecnico ISO/TR 16738, precisamente negli allegati D ed E, vengono riportati per svariate situazioni, in funzione dello scenario, della tipologia del sistema di allarme, della complessità dell’edificio e della gestione della sicurezza antincendio alcuni tempi di pre-movimento stimati, sia per il primo percentile di occupanti che per il novantanovesimo. Dove il primo percentile va ad indicare la condizione in cui vi è una massima densità di affollamento, assume valori bassi in quanto le persone sono tra di loro molto vicine e vi sarà formazione di code in prossimità delle uscite di emergenza. Mentre, per quanto riguarda il novantanovesimo

⁴ “Movement of people: the evacuation timing”- The SFPE Handbook of fire protection engineering, 3rd edition, NFPA,2002

percentile si va a considerare una condizione di bassa densità di affollamento pari al 33% di quella massima, ottenendo valori elevati poiché le persone sono fra loro distanti e sparse nell'ambiente.

Tempo di movimento (t_{tra})

Il tempo di movimento t_{tra} per l'occupante, per percorrere la via di esodo dal luogo in cui si trova fino al luogo sicuro rappresentato dagli spazi esterni a cielo libero, è somma di più componenti:

$$t_{tra,i} = t_{tra(pres)} + t_{tra(coda)}$$

Dove:

$t_{tra(pres)}$ è il tempo di presentazione, ossia il tempo necessario all'occupante per presentarsi all'uscita verso il luogo sicuro da quello in cui si trova.

$t_{tra(coda)}$ è il tempo di coda, ovvero il tempo che l'occupante attende in coda all'uscita verso il luogo sicuro.

Il tempo di movimento dipende da:

- Densità di affollamento;
- Tipologia di occupanti;
- Velocità di esodo.
- Per il calcolo del t_{tra} è possibile ricorrere a strumenti di calcolo come le simulazioni di esodo, le quali tengono conto del tempo addizionale dovuto al processo decisionale dell'occupante che precede il movimento durante l'esodo.

Le dinamiche di esodo possono essere studiate con due tipi di modelli: modelli idraulici (i cui valori sono reperibili nello SFPE Handbook of Fire Protection Engineering) e modelli *agent-based*, i quali si basano sulle interazioni persona-struttura-ambiente, in cui si risolve un'equazione di moto per ogni persona e si tiene conto di forze sociali di repulsione e/o attrazione dipendenti da distanze reciproche, familiarità, comportamento e in certi casi presenza di fumo. Gli occupanti possono essere inseriti specificando numero, posizione, caratteristiche fisiche e comportamentali.

Galleria San Federico è stata analizzata con un modello agent-based, che ha permesso attraverso apposite simulazioni computerizzate di esodo di ottenere il t_{tra} .

Software utilizzato per il calcolo di RSET

Il software utilizzato è Pathfinder, software della Thunderhead Engineering. Questo utilizza una mesh triangolare tridimensionale per rappresentare la geometria del modello: può dunque, in maniera accurata, approssimare geometrie complesse.



Figura 19-Icona Software Pathfinder

È stato utilizzato con la modalità SFPE dove il movimento delle persone è valutato in base alle relazioni di velocità-densità-flusso riportate dell'Handbook Fire Protection Engineering SFPRE.

Pathfinder dispone di un'interfaccia grafica, che permette la progettazione e l'esecuzione di simulazioni. Ogni occupante è definito mediante un set di parametri che ne definisce il comportamento in fase di evacuazione in maniera indipendente dagli altri occupanti. Fornisce un'interfaccia grafica 3D che mostra la sequenza filmata dell'evacuazione in maniera molto realistica, permettendo una facile lettura dei risultati della simulazione.

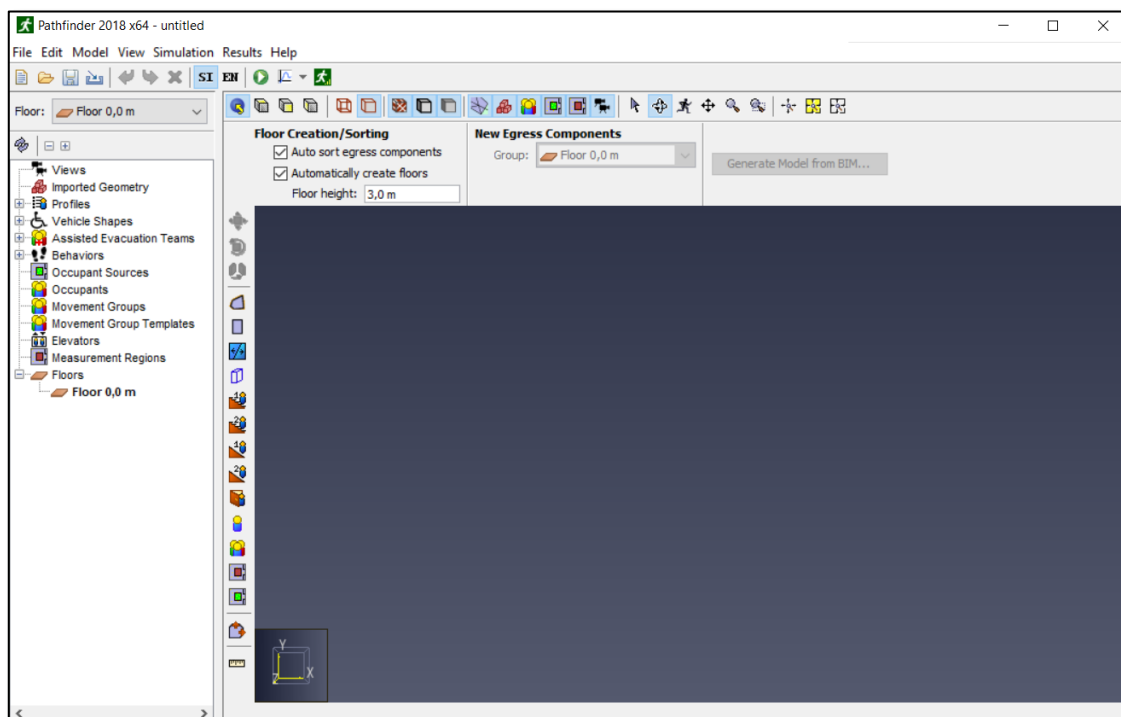


Figura 20-Interfaccia Pathfinder

3.3.2 Individuazione degli scenari di progetto

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

Nel capitolo M2 viene descritta la procedura di *identificazione, selezione e quantificazione* degli scenari di incendio che tiene conto delle caratteristiche dell'incendio, dell'attività e degli occupanti.

Nella fase preliminare viene effettuato un elenco di tutti i possibili e probabili scenari che possono verificarsi, al quale viene fatta una scrematura fino ad ottenere una riduzione del set di scenari che non devono avere un livello di rischio inferiore a quelli esclusi, con lo scopo di ridurre il lavoro di verifica. Durante la selezione si tiene conto delle condizioni più gravose per la propagazione e lo sviluppo delle fiamme, la conseguente sollecitazione strutturale, la tutela della vita delle persone presenti e la sicurezza delle squadre di soccorso.

I vari scenari ipotizzati vengono elencati di seguito, e si precisa che sono stati ipotizzati relativamente ad una condizione di pre-flashover, condizione rivolta proprio alla stima dei danni causati dall'incendio sulle persone poiché è la fase in cui vi è la formazione di strati di fumi e gas caldi.

Le maniche interne della galleria costituiscono via di esodo promiscua tra diverse attività soggette e non. I requisiti mancanti a tali vie di esodo sono:

- Compartimentazione verso i locali di vendita al dettaglio, galleria commerciale ed uffici
- Possibilità di allestimenti temporanei che possono costituire impedimento al regolare deflusso delle persone.

Tenendo conto di queste due criticità di seguito vengono riportati i vari scenari di incendio ipotizzati.

La scelta è ricaduta su tre scenari di progetto, considerati i più gravosi per l'incolumità degli occupanti che nel paragrafo 3.4 verranno esposti.

Gli effetti dei singoli scenari sono calcolati attraverso modelli di calcolo, i cui risultati consentono di descrivere l'evoluzione dell'incendio e gli effetti su strutture, occupanti e ambiente.

I modelli più frequentemente utilizzati sono:

- *Modelli analitici*: i quali garantiscono stime accurate di effetti dell'incendio;
- *Modelli numerici*: utilizzati per analisi più complesse con interazioni dipendenti dal tempo di più processi fisici e chimici.

Quest'ultimi si suddividono in *modelli a zone* e *modelli di campo*.

Modelli a zone

Tali modelli simulano lo sviluppo di un incendio in ambienti confinati risolvendo separatamente le equazioni differenziali di conservazione dell'energia termica, della massa e della quantità di moto in un piccolo numero di zone ipotizzando che l'ambiente in cui progredisce la combustione sia diviso in regioni distinte (zone), all'interno delle quali la temperatura e le altre grandezze di interesse siano spazialmente uniformi ma variabili nel tempo.

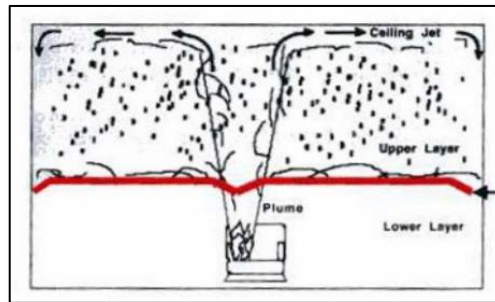


Figura 21-Modello a zone

Il modello più diffuso è quello a due zone, dove il locale viene suddiviso appunto in due zone: la prima coincide con lo strato di gas caldi che si forma nel soffitto, mentre la seconda è rappresentata dallo strato di aria fredda presente nella parte bassa del locale.

Si ottiene quindi una curva temperatura-tempo dei gas per ogni zona

Modelli di campo

Nelle valutazioni eseguite con i modelli di campo, l'ambiente da esaminare viene diviso in un gran numero di volumi elementari all'interno di ciascuno dei quali vengono risolte le equazioni di bilancio dell'energia, della massa e della quantità di moto (note come equazioni di Navier-Stokes).

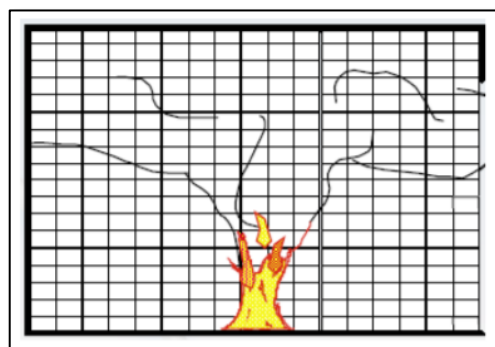


Figura 22-Modello di campo

I vantaggi dell'utilizzo di questi metodi risiedono: nella flessibilità che permette di trattare geometrie complesse, con la possibilità di descriverle in minuzioso dettaglio, tramite la costruzione di griglie, e inoltre nella simulazione dei fenomeni turbolenti connessi con la propagazione e dispersione dei prodotti della combustione.

I modelli di campo contengono una rappresentazione migliore, rispetto ai modelli di zona, dell'ambiente nel quale si sviluppa l'incendio. Per questo motivo

3.3.3 Modellazione dell'incendio

I modelli di incendio di campo sono lo strumento di calcolo più sofisticato per seguire l'evoluzione dell'incendio per tutta la sua durata, in fase di pre e post flashover. Il più utilizzato è FDS (Fire Dynamics Simulator), il quale prevede due macro-fasi:

- Pre-processing: fase precedente al lancio della simulazione;
- Post-processing: fase in cui vengono elaborati i risultati.

Pre-processing

Tale fase è stata elaborata, come detto prima, utilizzando un precompilatore di FDS, Pyrosim, nel quale la discretizzazione di geometrie anche complesse e multipiano, viene notevolmente semplificata.

La fase del pre-processing comprende una serie di step intermedi tra cui la descrizione del dominio computazionale e creazione della mesh.

Descrizione del dominio computazionale e creazione della mesh

Il sistema di equazioni che regola la fluidodinamica richiede che il dominio di calcolo, ossia la porzione di spazio che si intende simulare, sia suddiviso in elementi più piccoli chiamate "celle". Il numero totale di quest'ultime dipende dalla risoluzione desiderata per il problema studiato. L'insieme di queste celle forma volumi di forma parallelepipedica che prendono il nome di *mesh*.

Generalmente si dovrebbe procedere aumentando successivamente il numero di celle fino a quando si nota che i risultati ottenuti sono indipendenti dalla suddivisione del dominio impiegata.

È possibile avere un'idea circa l'accuratezza della discretizzazione del dominio in base al calcolo del termine D^* , che indica il diametro caratteristico d'incendio (m) secondo la seguente formula:

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

Dove:

- \dot{Q} sta per il rilascio termico (kW);
- ρ densità dell'aria (kgm^3);
- T temperatura (K);
- c_p calore specifico ($\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$);
- g accelerazione di gravità (ms^{-2}).

Se ci si riferisce a condizioni ambiente ($T_{\infty} = 293.15K$) si avrà che:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{1100} \right)^{\frac{2}{5}}$$

Le dimensioni della griglia dovrebbero avere dimensioni pari al 10-20% del valore calcolato per D^*

3.3.4 Caratteristiche occupanti

Per gli occupanti si è assunta, per tutte le attività, una popolazione di occupanti dalle caratteristiche rappresentative dei dati ISTAT per l'intera popolazione italiana. Di seguito viene riportata un'illustrazione con i diversi dati utilizzati nella simulazione:

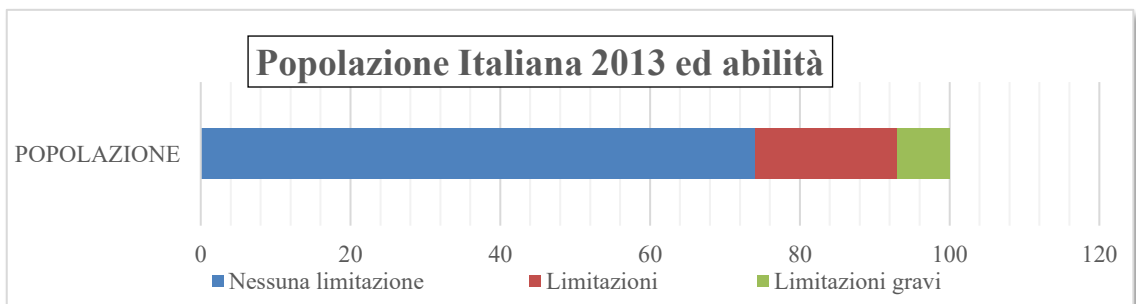


Figura 23-Inclusione sociale delle persone con limitazioni funzionali, invalidità o cronicità gravi

Secondo ‘Report: inclusione sociale delle persone con limitazioni funzionali, invalidità o cronicità gravi’, circa un quarto della popolazione italiana risulta soffrire di limitazioni funzionali, invalidità o cronicità gravi.

Com'è possibile evincere le percentuali utilizzate sono state:

- 76% Nessuna limitazione
- 18% Limitazioni
- 6% Gravi

Nel software gli esseri umani sono modellati per aspetto fisico (profilo) e per caratteristiche di comportamento. Per questo motivo è stata effettuata anche un'ulteriore suddivisione per destinazioni d'uso, individuando quattro diverse categorie:

- Commerciale
- Uffici
- Custode

⁵ Formula utilizzata per trovare il diametro caratteristico ai fini della simulazione svolta su Pyrosim

Per quanto riguarda gli uffici, i profili utilizzati sono stati: *uomini, donne e anziani*. Nel commerciale gli stessi con l'aggiunta dei *bambini*; per il custode si è utilizzato il profilo *uomo*.

Per semplificazione nelle residenze, al quarto piano, sono stati utilizzati gli stessi profili creati per il commerciale.

Di seguito vengono riportati i dati di input inseriti su Pathfinder per creare i diversi profili degli occupanti non aventi limitazioni (75%):

Tabella 43-Dati input occupanti

TIPOLOGIA OCCUPANTE	Rdiametro	dspalla/Rdiametro	Altezza	velocità
	[m]	[-]	[m]	[m/s]
Uomini	0,270±0,020	0,6296	1.65-1.85	1,35±0,20
Donne	0,240±0,020	0,6250	1.60-1.77	1,15±0,20
Bambini	0,210±0,015	0,6667	0.94-1.44	0,90±0,30
Anziani	0,250±0,020	0,6400	1.60-1.85	0,80±0,30

Pathfinder dà la possibilità, oltre che di scegliere il comportamento, quindi velocità caratteristiche fisiche e sequenze di azioni che l'occupante prenderà, anche quella di scegliere diversi avatar a seconda del profilo. Di seguito vengono riportate le scelte fatte:

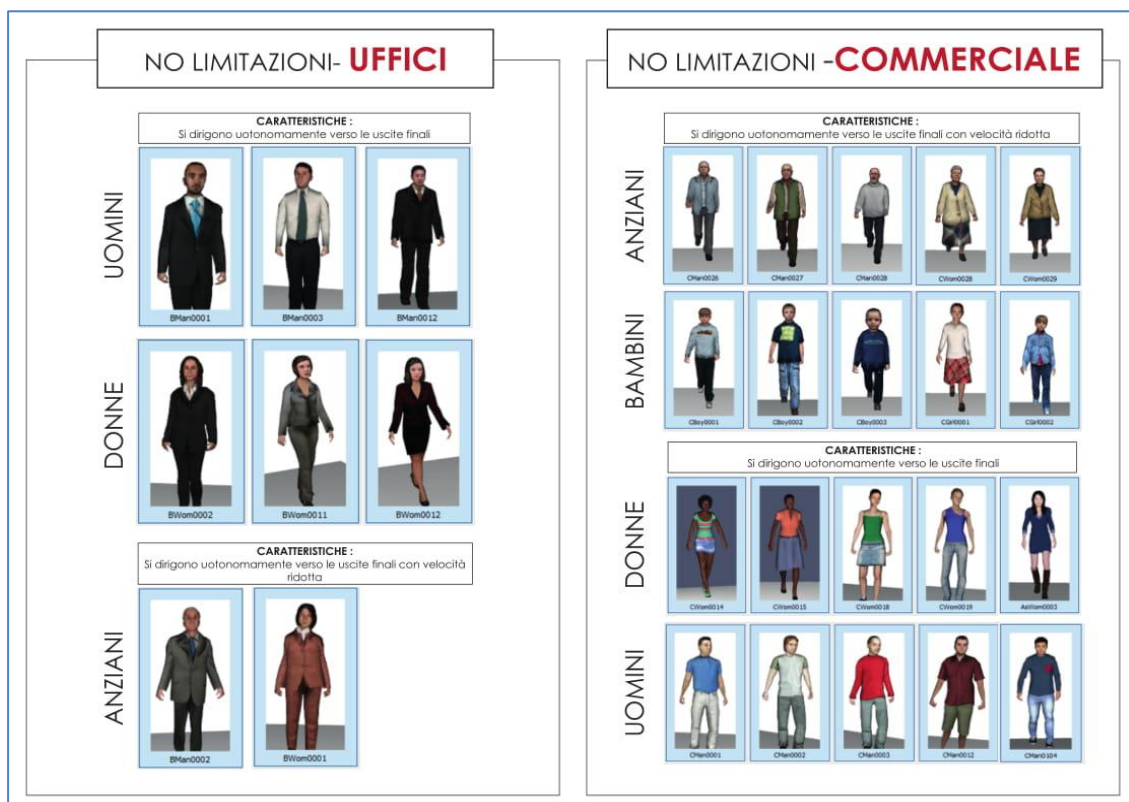


Figura 24-Avatar scelti

Fino ad ora però si è parlato del 75% della popolazione, ossia quella non avente nessun tipo di limitazione. Per quanto riguarda il 25% restante, sono stati utilizzati diversi dati presi dalla terza

edizione di ‘‘SFPE Handbook of Fire Protection Engineering’’-Table 3-13.2 Speed on a Horizontal Surface- che di seguito vengono riportati:

Tabella 44-Dati input occupanti limitati e limitati gravi

TIPOLOGIA OCCUPANTE	Mean	Standard Deviation	Range
	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Disabile	1,00	0,42	0,10-1,77
Disabile con carrozzina	0,69	0,35	0,13-1,35

Sono stati individuati, come dai dati ISTAT, due tipi di limitazioni. Nelle limitazioni non gravi si è proceduto andando a impostare non più una velocità uniforme come fatto prima, bensì una distribuzione normale, riportando dunque i quattro dati indicati sopra. Nel caso invece di limitazioni gravi, si è andato a rappresentare il profilo non più con un cilindro, bensì con un poligono aventi le dimensioni di una sedia a rotelle (0.66mX0.71m).

Quest’ultimi, essendo occupanti degli uffici, dal piano primo fino al quarto, vengono assistiti da personale specializzato. Quindi al fine della simulazione sono stati selezionati uomini senza limitazioni, ai quali è stato assegnato il comportamento ‘‘Assist’’. Mentre per quanto riguarda i disabili, non solo avrà una velocità ridotta ma dovrà aspettare che il personale preposto lo accompagni all’uscita, così da poter garantire un’evacuazione assistita.



Figura 25-Occupanti preposta all'assistenza dell'occupante disabile

L’ipotesi fatta sul numero degli assistenti VVF è stata quella di un numero pari a 6, e il tempo di intervento è stato preso dalla norma UNI 9494-prospetto C.1. di seguito riportata, che individua per la provincia di Torino un tempo di intervento pari a 780 secondi.

Di seguito viene riportata la Tabella consultata.

Tabella 45-Valori medi dei tempi di intervento del VVF

Provincia	t [s]	Provincia	t [s]	Provincia	t [s]
AGRIGENTO	9	GORIZIA	10	POTENZA	27
ALESSANDRIA	9	GROSSETO	17	PRATO	15
ANCONA	13	IMPERIA	8	RAGUSA	12
AREZZO	13	ISERNIA	16	RAVENNA	12
ASCOLI PICENO	16	LA SPEZIA	13	REGGIO CALABRIA	14
ASTI	12	L'AQUILA	12	REGGIO EMILIA	13
AVELLINO	12	LATINA	15	RIETI	18
BARI	13	LECCE	14	RIMINI	14
BELLUNO	13	LECCO	13	ROMA	14
BENEVENTO	11	LIVORNO	14	ROVIGO	14
BERGAMO	15	LODI	11	SALERNO	16
BIELLA	13	LUCCA	14	SASSARI	12
BOLOGNA	14	MACERATA	16	SAVONA	10
BRESCIA	16	MANTOVA	10	SIENA	15
BRINDISI	13	MASSA CARRARA	13	SIRACUSA	14
CAGLIARI	12	MATERA	16	SONDRIO	12
CALTANISSETTA	8	MESSINA	11	TARANTO	16
CAMPOBASSO	16	MILANO	13	TERAMO	12
CASERTA	14	MODENA	15	TERNI	11
CATANIA	10	NAPOLI	11	TORINO	13

Il posizionamento della squadra di intervento è stato gestito tramite la funzione portali; i portali sono elementi che, in questo caso, vanno a rappresentare la sorgente della squadra di soccorso. Il portale è stato posizionato all'ingresso su via Santa Teresa.

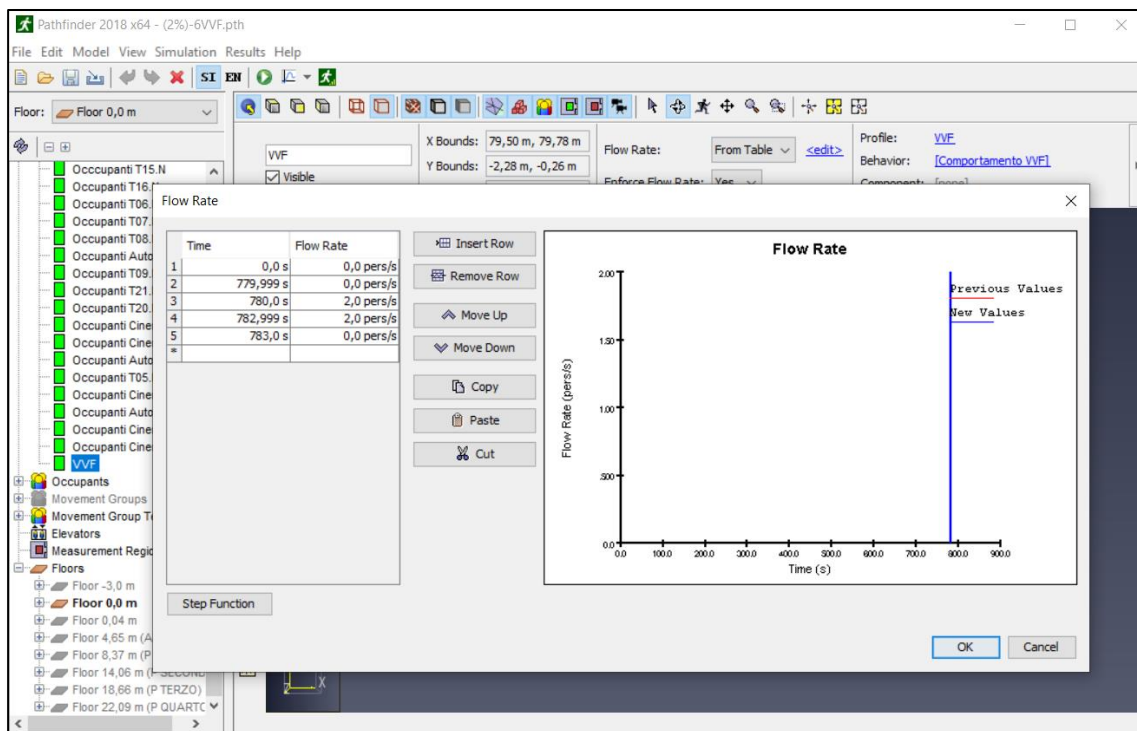


Figura 26-Dati di input per la creazione del portale squadra VVF

Pathfinder dà la possibilità di poter creare un "Movement Groups", ossia un gruppo di movimento. Tale funziona consiste nel creare un gruppo in cui gli occupanti che ne fanno parte rimarranno insieme durante la simulazione. Il movimento raggruppato è controllato principalmente da due concetti: stato di connessione e leader del gruppo. Se un gruppo è in uno stato "disconnesso", gli occupanti cammineranno verso il leader. Se un gruppo è in uno stato "connesso", gli occupanti si muoveranno verso l'obiettivo dettato dal loro comportamento.

Per quanto riguarda i residenti degli appartamenti, sono stati creati dei gruppi di movimento, tanti quanti gli appartamenti, proprio per rendere il più realistico possibile realistico il loro comportamento.

Il numero complessivo dell'edificio è stato ricavato dagli affollamenti di progetto calcolati, ed è pari a 3020 occupanti.

Per facilità di lettura, come mostra la figura che segue, sono stati identificati di diverso colore gli occupanti delle attività dei diversi livelli e diverse destinazioni d'uso. Per rendere semplificata la lettura dei dati di output, gli occupanti sono stati codificati a seconda dell'attività di destinazione.

Tabella 46-Identificazione colore occupanti

PIANO	ATTIVITÀ	COL.
TERRA	T19.N- T20.N- T21.N- T09.N- T08.N- T07.N- T06.N- T17.N- T16.N- T18.N- T14.N- T15.N- T05.N- T13.N- T11.N- T10.N- T01.N- T02.N- T03.N- T04.N	
	Custode	
	Galleria	
AMMEZZATO	T22.U	
	T21.N- T16.N- T15.N- T14.N- T09.N- T08.N- T07.N- T06.N- T05.N- T04.N- T02.N- T01.N- T19.N	
PRIMO	T24.U- T23.U	
SECONDO	T26.U- T25.U	
TERZO	T28.U- T27.U	
QUARTO	T31.R- T30.R- T32.R- T33.R- T34.R- T35.R	
	T29.U	

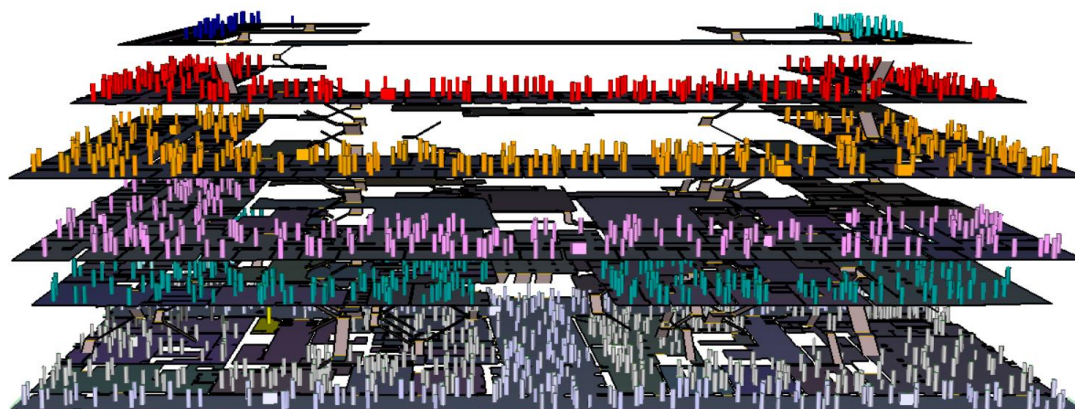


Figura 27-Occupanti edificio

Una volta determinate tutte le caratteristiche, e i comportamenti degli occupanti, si è proceduti a calcolare i vari intervalli che permettono di ottenere RSET.

Determinazione t_{det} e t_a

I tempi di rivelazione ed allarme sono stati stimati in modo deterministico.

Di seguito viene riportata la tabella utilizzata, nella quale sono riportati i tempi stimati in funzione delle soluzioni conformi che il Codice propone per le singole tipologie di attività in merito agli IRAI, seguendo le indicazioni qualitative del rapporto tecnico ISO/TR 16738:2009.

Tabella 47-Tempi di rivelazione ed allarme, $t_{det} + t_a$

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

E3	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, elevata complessità geometrica.
----	-----	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

L'intervallo di tempo utilizzato ai fini dello studio, a seconda dei profili R_{vita} individuati precedentemente, è stato **180s**.

Determinazione t_{pre}

Per quanto riguarda la stima del tempo di ‘pre-movimento’, il quale rappresenta il lasso di tempo nel quale gli occupanti già si muovono per compiere diverse azioni, viene anch’esso stimato in accordo con quanto previsto nella Tabella E.2 del rapporto tecnico ISO/TR 16738:2009 (tabella tratta da BS PD 7974-6:2004), secondo gli scenari comportamentali e le ipotesi sulle misure di sicurezza contenute nelle prescrizioni delle soluzioni conformi del Codice; di seguito viene riportata la tabella utilizzata.

Tabella 48-Stima dei tempi di pre-evacuazione, t_{pre}

R_{vita}	$t_{pre}(1^\circ)$ [s]	$t_{pre}(99^\circ)$ [s]	Parametri della Tabella E.2 della ISO%TR 16738
A1	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A2	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A3	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
A4	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
B1	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B2	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B3	30	150	B: Awake and unfamiliar, M1 B1 A1-A2
Ciii1	1200	2400	Ciii: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
Ciii2	900	1800	Ciii: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
Ciii3	900	1800	Ciii: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
D1	600	1200	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
D2	300	600	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
E1	120	300	E: Awake and unfamiliar, M2 B3 A1-A3
E2	90	240	E: Awake and unfamiliar, M1 B3 A1-A3
E3	90	240	E: Awake and unfamiliar, M1 B3 A1-A3

L'edificio presenta attività aventi due diversi R_{vita} :

- **A2**
- **B2.**

Il software dà la possibilità di diversificare il ‘tempo di ritardo’ a seconda dell’occupante, assegnandogli un diverso comportamento. I tempi utilizzati vengono mostrati di seguito nella Tabella 49, dove con t_d viene indicato il tempo utilizzato ai fini della simulazione:

Tabella 49-Tempi di ritardo utilizzati nel software per i diversi occupanti

Destinazione d'uso	R _{vita}	t _{def+ra} [s]	t _{pre(1°-99°)} [s]	t _d [s]
UNITÀ T6.N- T7.N- T8.N- T15.N- T16.N- T17.N- T18.N- T21.N	B2	180	60-240	240-420
UNITÀ T20.N	A2	180	60-180	240-360
UFFICI - UNITÀ T22.U	A2	180	60-180	240-360
UNITÀ T19.N	B2	180	60-180	240-360
UNITÀ T2.N- T3.N- T4.N	B2	180	60-240	240-420
UNITÀ T10.N – T11.N + UNITÀ T13.N	B2	180	60-240	240-420
UFFICI - UNITÀ T23.U- T24.U	B2	180	60-240	240-420
UFFICI - UNITÀ T25.U- T26.U	B2	180	60-240	240-420
UFFICI - UNITÀ T27.U- T28.U	B2	180	60-240	240-420
UFFICI - UNITÀ T29.U	B2	180	60-240	240-420
Galleria	B2	180	60-240	240-420
RESIDENZE UNITÀ T.30- T.31- T.32- T.33- T.34- T.35	A2	180	60-180	240-360

Stando ai dati statistici riportati nella Figura 23, si avrebbero circa 16 disabili per piano, situazione poco veritiera. Per questo motivo ai fini dello studio la percentuale di limitati gravi è stata ridotta del 4%.

Ciò ha comportato ad avere un numero di circa 6 occupanti su carrozzina per piano, numero più verosimile. Dalla simulazione il tempo globale ottenuto è stato pari a circa **16 minuti**.

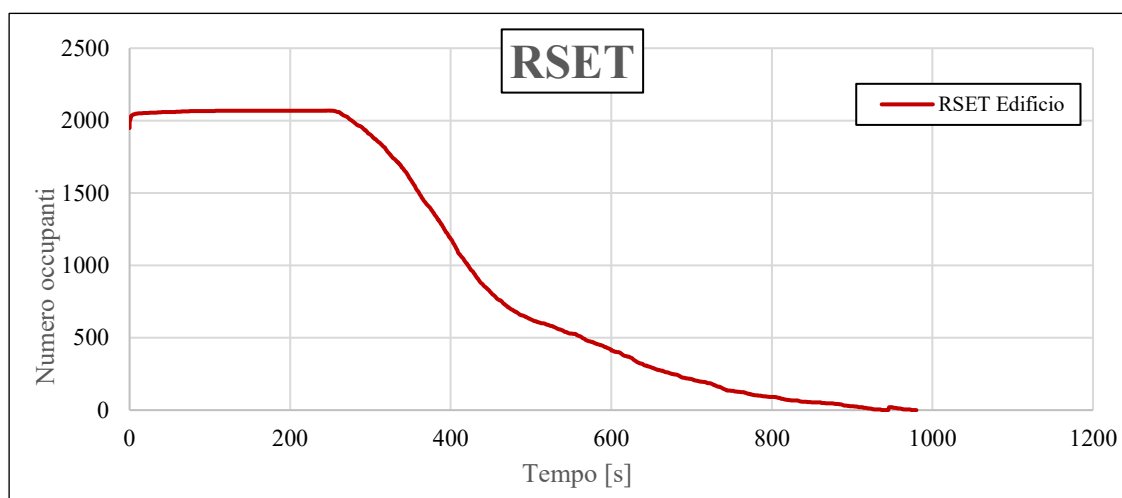


Figura 28-RSET globale

I risultati ottenuti, raffiguranti il numero di occupanti in funzione del tempo di esodo sono riportati in Figura 28 per quanto riguarda l'esodo globale, e nella Figura 29 per quanto riguarda l'esodo per i diversi piani. Dopo una prima fase di rivelazione, allarme e pre-movimento, vi è una decrescita dovuta all'esodo degli occupanti delle diverse attività.

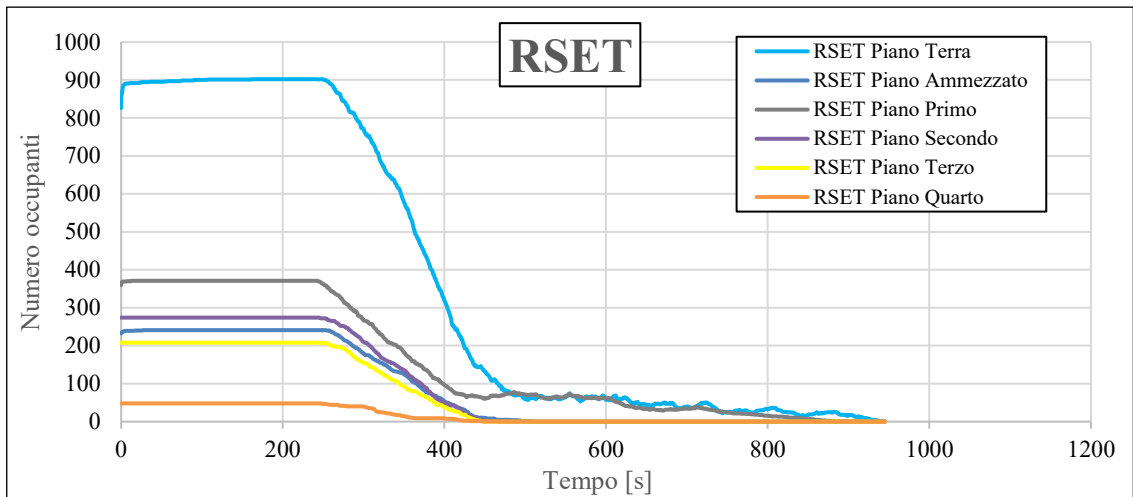


Figura 29-Grafico RSET diversi piani



Figura 30-Screen simulazione esodo dal software Pathfinder



Figura 31-Screen simulazione esodo dal software Pathfinder code uffici

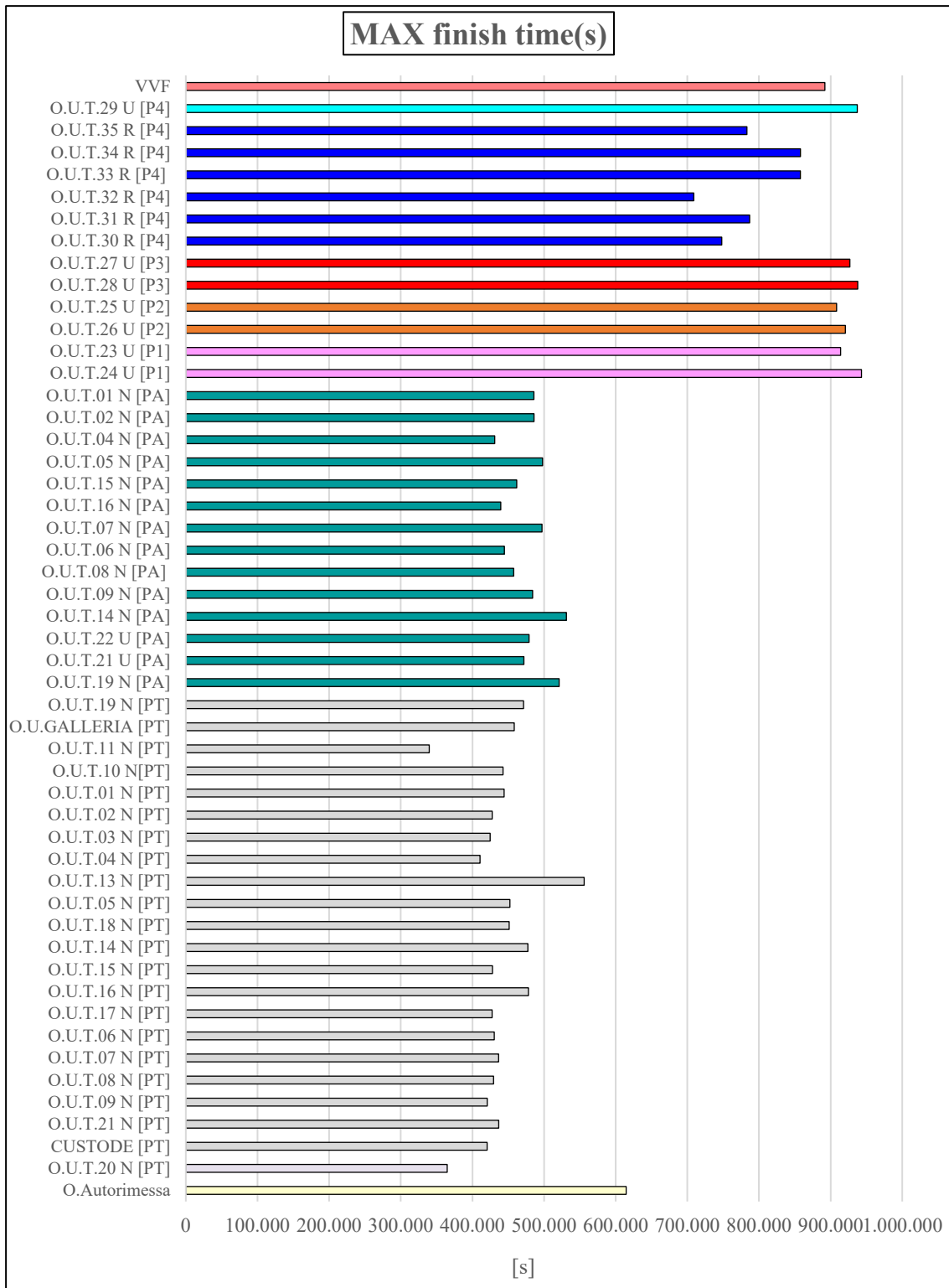


Figura 32-Confronto tempo di esodo occupanti delle diverse attività

Nel grafico riportato in Figura 31 mostra che le Unità che necessitano di un tempo di esodo maggiore sono gli uffici dal primo piano in su, raffigurati dai colori rosa, arancione e rosso, questo dovuto alle lunghe code che vanno a formarsi nelle vie di esodo (Figura31).

3.4 Scenario 1

Scenario d'incendio realizzato all'interno dell'unità commerciale T19.N, in prossimità dei vani scala A, A1 e B al piano terra. Tale locale è adibito alla vendita al dettaglio di capi di alta moda.

In questo caso è stato scelto il focolare predefinito da codice, descritto quantitativamente secondo il metodo indicato nel paragrafo M.2-2.

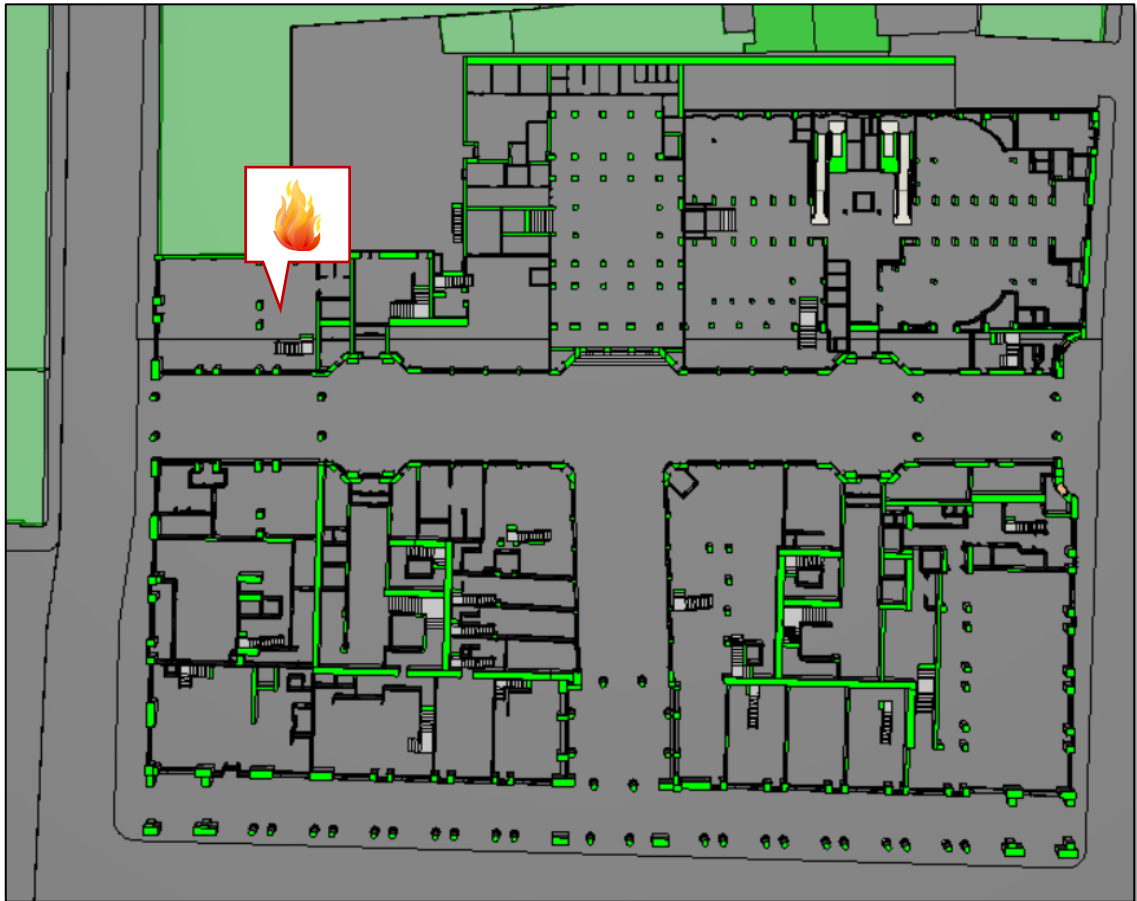


Figura 33-Individuazione scenario 1 piano terra

Obiettivi

Gli obiettivi prefissati per la salvaguardia della vita sono:

- Garantire il raggiungimento o la permanenza degli occupanti in un luogo sicuro, senza che essi entrino in contatto con i prodotti della combustione;
- Garantire che l'intervento della squadra di soccorso avvenga in condizioni tali da permettere l'operatività in accordo con i limiti fissati del D.M. 3 agosto 2015.

Identificazione livelli prestazionali

In funzione degli obiettivi di sicurezza individuati, vengono di seguito riportati i parametri significativi di cui tener conto ogni parametro viene utilizzato per rappresentare le soglie prestazionali.

Tabella 50 -Parametri da monitorare

OBIETTIVI	Parametri da monitorare
Esodo occupanti Intervento squadre di soccorso	Temperatura dei gas
	Visibilità sulle vie di esodo
	Concentrazione monossido di carbonio (CO)
	Irraggiamento

Nella Tabella 46 sono elencati i parametri da monitorare nella simulazione ai fini della salvaguardia della vita. Per ciascun parametro vi è una soglia limite da garantire:

Tabella 51 -Soglie prestazionali

LIVELLO DI PRESTAZIONE	Soglia	
	Occupanti	Soccorritori
Visibilità	10 m	5 m
Temperatura di esposizione	60 °C	80 °C
Irraggiamento	2.5 kW/m ²	3 kW/m ²
FED	0.1	[-]

Criterio accettabile

I parametri significativi misurati servono a dimostrare l'esodo in sicurezza degli occupanti e l'intervento in sicurezza della squadra d'intervento. A tal fine è stato misurato il tempo necessario all'esodo sicuro dell'attività.

Il tempo in cui permangono le condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti deve essere superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro.

$$ASET > RSET$$

Con t_{marg} non inferiore a 30".

Geometria

Come è mostrato nelle figure che segue, lo scenario è stato ipotizzato nell'attività al livello terra, adiacente al varco d'esodo a sud, e al vano scala B.

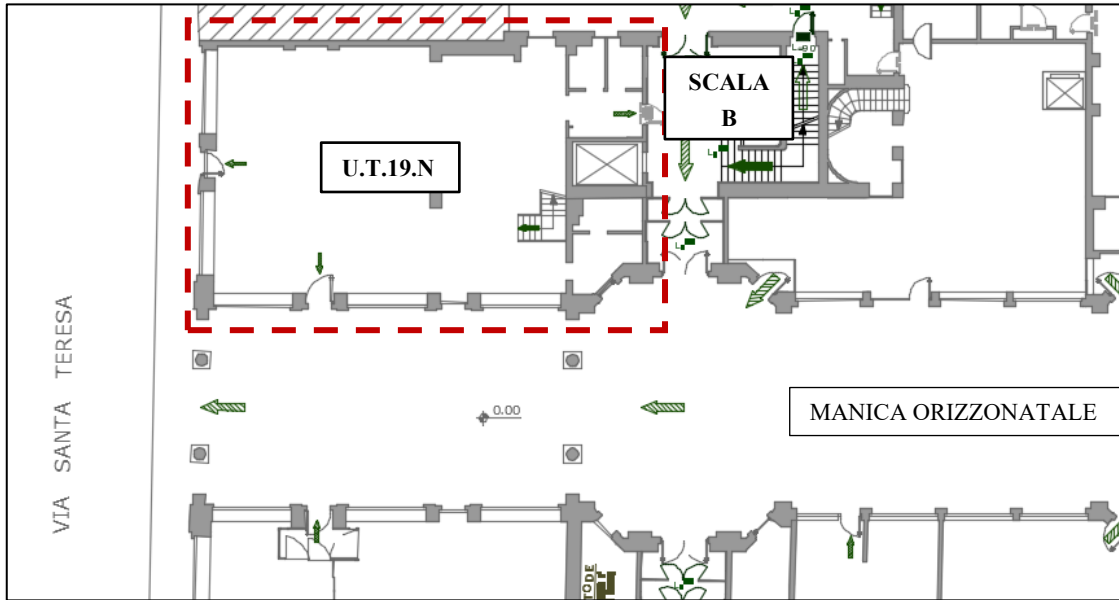


Figura 34-Pianta attività piano terra

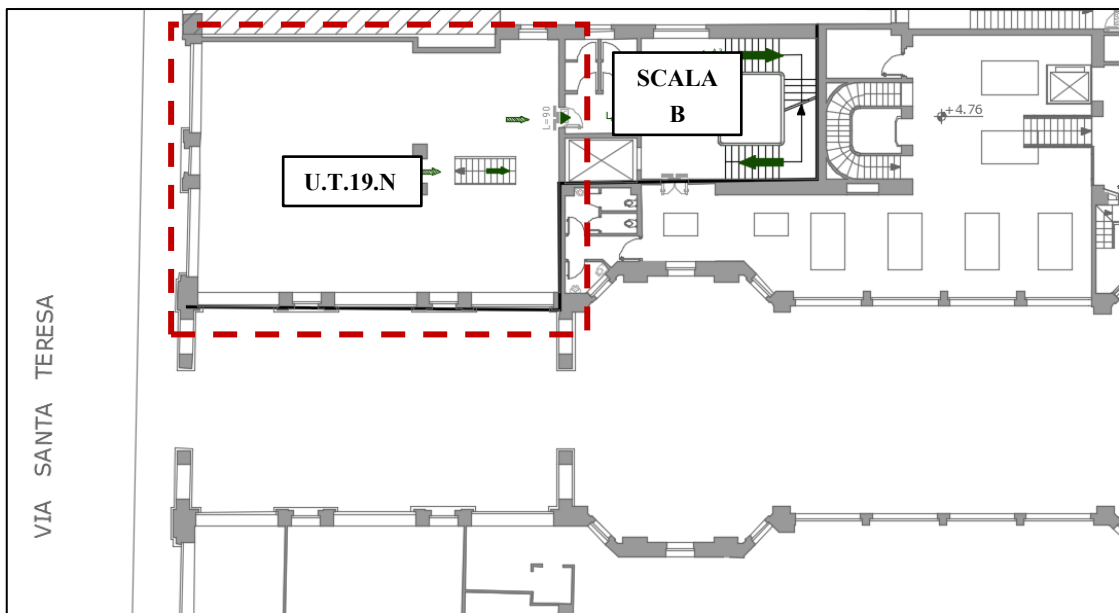


Figura 35-Pianta attività piano ammezzato

L'attività si sviluppa su due piani, piano terra e piano ammezzato. La geometria risulta essere regolare, e al piano terra presenta delle ampie vetrate su via Santa Teresa e sulla manica orizzontale della Galleria.

3.4.1 Calcolo ASET

Caratteristiche focolare

Come già anticipato, il focolare scelto in questo scenario è stato quello predefinito da Codice.

Tabella 52-Focolare predefinito Tabella M.2-2 Codice di prevenzione incendi DM 3.8.2015

PARAMETRO	attività civile
Velocità caratt. Di crescita	150 s (fast)
RHR _{MAX} Totale	5 MW
RHR _{MAX} per m ² di superficie del focolare	250-500 Kw/m ²
Resa in particolato Y _{soot}	Pre flashover : 0.07 kg/kg Post flashover : 0.14 kg/kg
Resa in monossido di carbonio Y _{CO}	Pre flashover : 0.10 kg/kg Post flashover : 0.40 kg/kg
Calore di combustione effettivo ΔH _C	20 MJ/kg
Resa in biossido di carbonio Y _{CO2}	1.5 kg/kg
Resa in acqua Y _{H2O}	0.82 kg/kg
Frazione di RHR(t) in irraggiamento (Radiative fraction)	35%

Quindi i dati di input utilizzati sono stati:

Tabella 53 -Dati di input Scenario 1

CARATTERISTICHE FOCOLARE			CONDIZIONI AL CONTORNO		
RHR	750	kW/m ²	T _i	26	°C
RHR _{max}	7500	kW	T _e	-8	°C
A	6,7	m ²	Da codice		
Y _{soot}	0,07	kg/kg	5000	KW	
Y _{CO}	0,1	kg/kg	150	s (fast)	
ΔH _C	20	MJ/kg			
Y _{CO2}	1,5	kg/kg			
Y _{H2O}	0,82	kg/kg			
RHR(t)	35%	[-]			
t _α	150	s			
t _a	410,8	s			



Figura 36-Posizione focolare piano terra

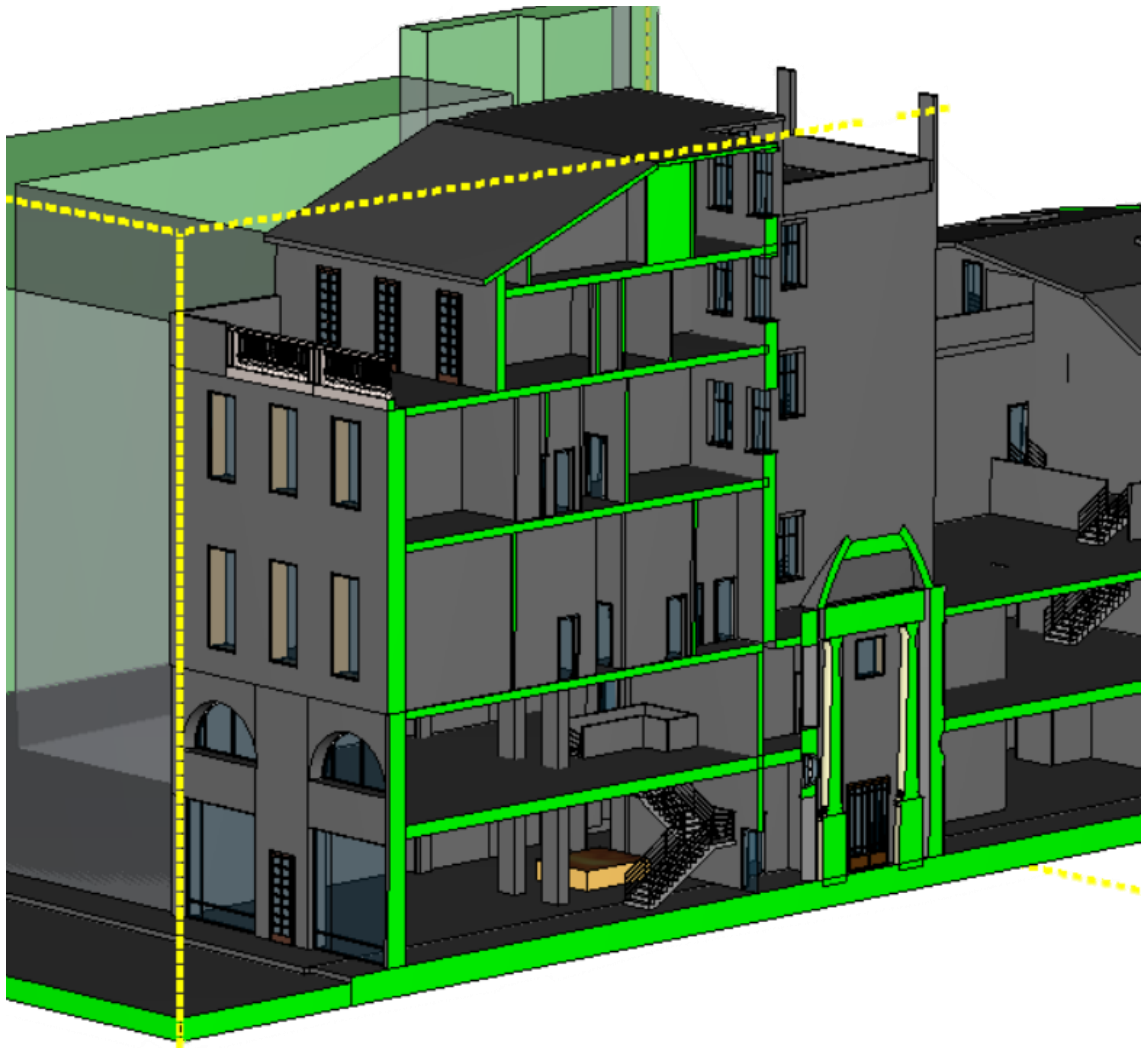


Figura 37-Posizione focolare in sezione (Scenario1-Pyrosim)

Griglia di calcolo mesh

Tutti i calcoli FDS vengono eseguiti all'interno di mesh computazionali, ogni oggetto nella simulazione deve essere conforme alla rete. Di seguito vengono riportati i dati di input e output utilizzati per il dimensionamento delle celle:

Tabella 54-Dati mesh

INPUT				
\dot{Q}	ρ	T	c_p	g
[kW]	Kgm ³	K	kJkg ⁻¹ K ⁻¹	ms ⁻²
7500	1.204	293,15	1.005	9,81

OUTPUT

D*	10%	20%
[m]	[m]	[m]
2.2	0.2	0.4

Potenza Focolare	D*	δx	D*/ δ
[kW]	[m]	[m]	[m]
7500	2.1	0.4	5

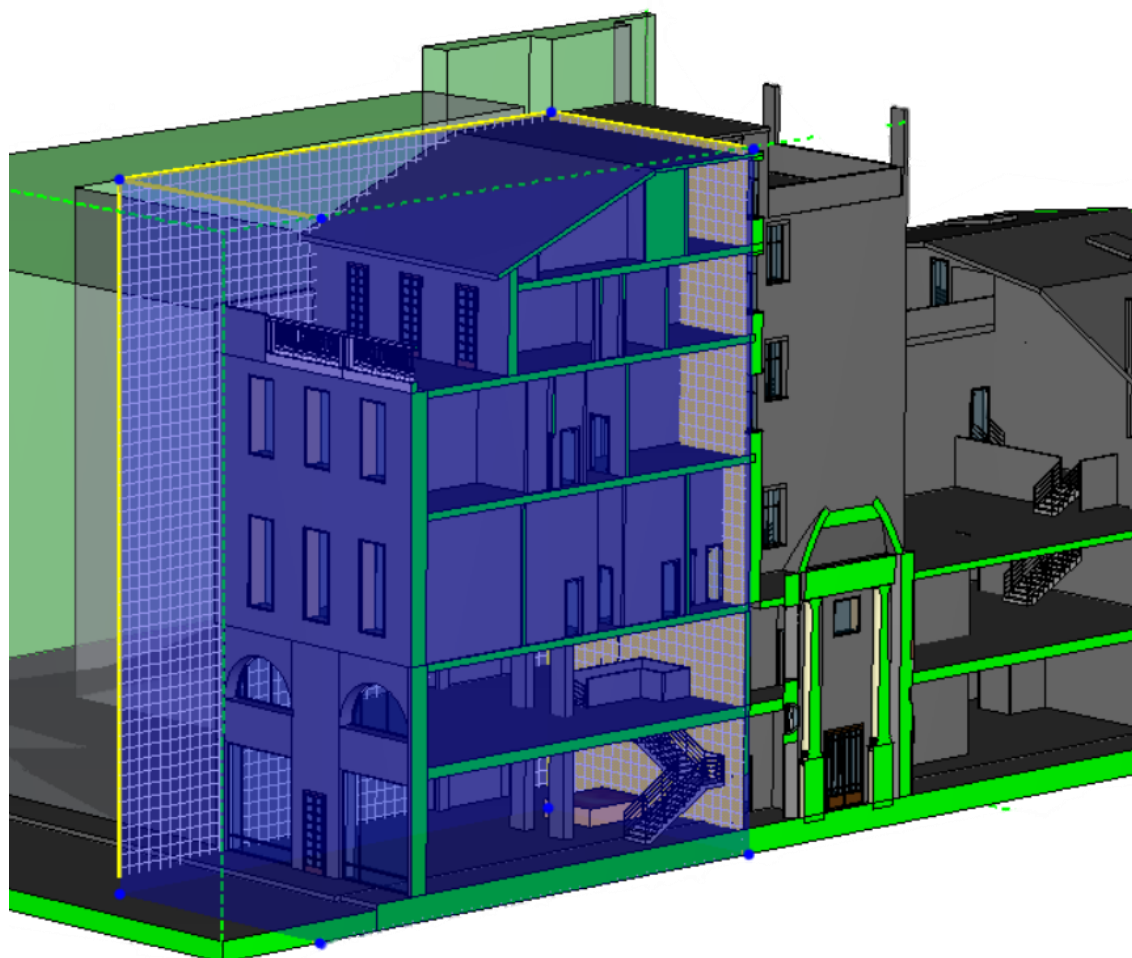


Figura 38-Mesh U.T.19.N

La mesh viene definita attraverso dei parametri, i più significativi sono:

- Mesh Alignment Test: Passed/Not Passed.
Quando il dominio di calcolo è costituito da più mesh, il software conduce automaticamente tale test. Per condurre questa operazione le mesh devono essere comunicanti tra loro (ossia devono assicurare uno scambio efficace di informazioni). Per far sì che avvenga un infittimento di una delle due mesh confinanti, il numero delle celle in cui viene suddivisa la faccia comune nella mesh più fitta deve essere un numero sottomultiplo di quello utilizzato nella mesh grossolana.
- Mesh boundary: estensione della mesh. Bisogna prestare attenzione, nella definizione delle mesh, a dove vengono collocate le interfacce. Dato che lo scambio tra cella e cella

appartenenti alla stessa mesh non è assicurato, è bene lasciarle libere da fenomeni complessi.

- Division Method: Uniform/Non Uniform. Funzione che riguarda la suddivisione in modo uniforme o meno delle celle nelle direzioni X/Y/Z.

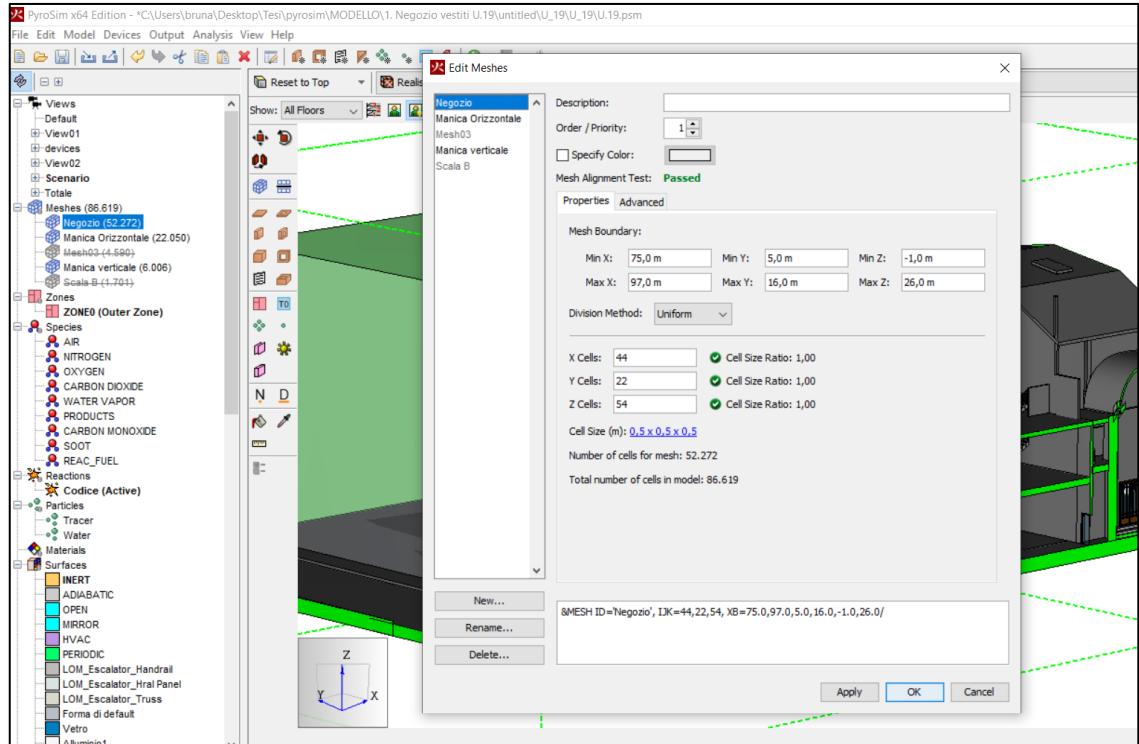


Figura 39-Creazione mesh

Mesh molto fini implicano tempi di analisi lunghi, non disponendo di un computer con processore elevato, è stato scelto di eseguire le analisi con dimensioni maggiori rispetto a quelle calcolate.

Curva di rilascio termico

Nel software viene richiesto di inserire il rilascio termico specifico Heat Release Rate per Unit Area (HRRPUA). Tale rilascio può essere variabile nel tempo.

- Heat Release Rate per Area: nel caso studio è stata definita una superficie del bruciatore (fuoco) che rilascia combustibile a una velocità corrispondente a $750 \text{ kW} / \text{m}^2$, per poi modellare una sorgente di superficie pari a 6.7 m^2 .
- Ramp-Up time: descrive come il rilascio termico sale nel tempo. Difatti, dopo l'avvio del calcolo il rilascio termico e le frazioni di massa delle specie variano gradualmente a seconda dei valori assegnati. Il software consente diverse opzioni con cui procedere:
 - Default: l'assestamento avviene in circa 1s;
 - Tahn e t^2 : con la specifica del tempo rispetto al quale si raggiunge l'assestamento.
 - Custom: è l'utente a definire la funzione.

In tale scenario è stata usata la funzione t^2 , utilizzando come intervallo di tempo 410s. Intervallo ottenuto tramite la potenza del focolare e la sua velocità (da codice).

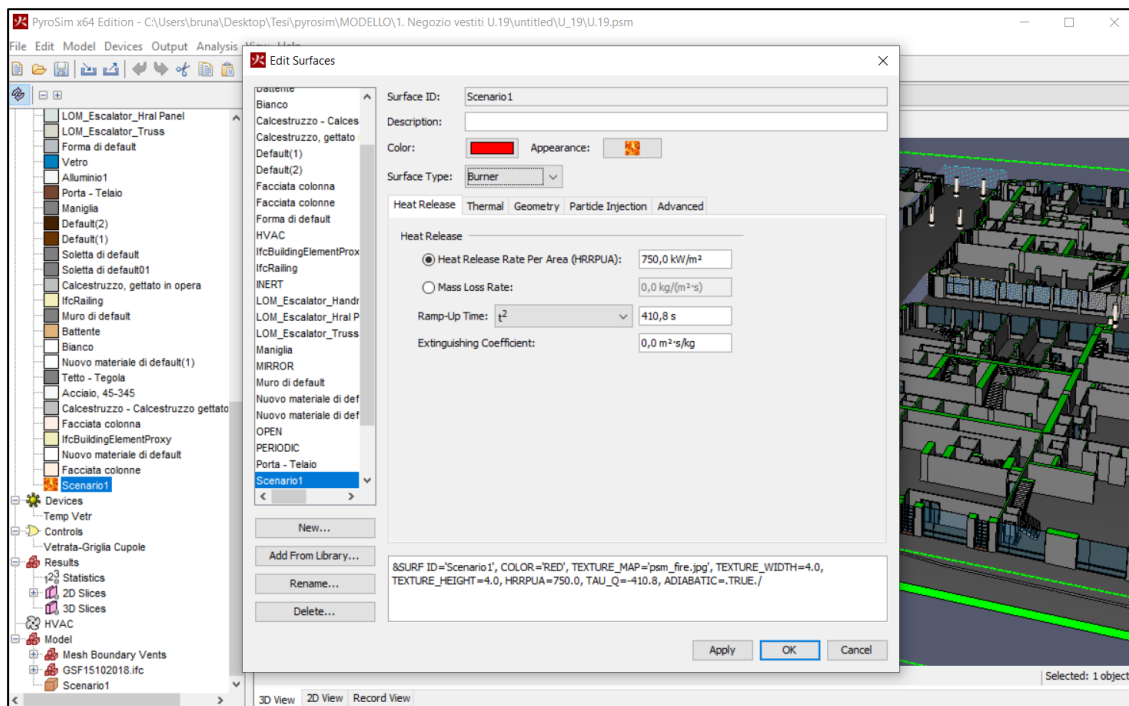


Figura 40-Edit Surfaces

Di seguito si riporta la curva di rilascio termico dello scenario con le caratteristiche elencate precedentemente:

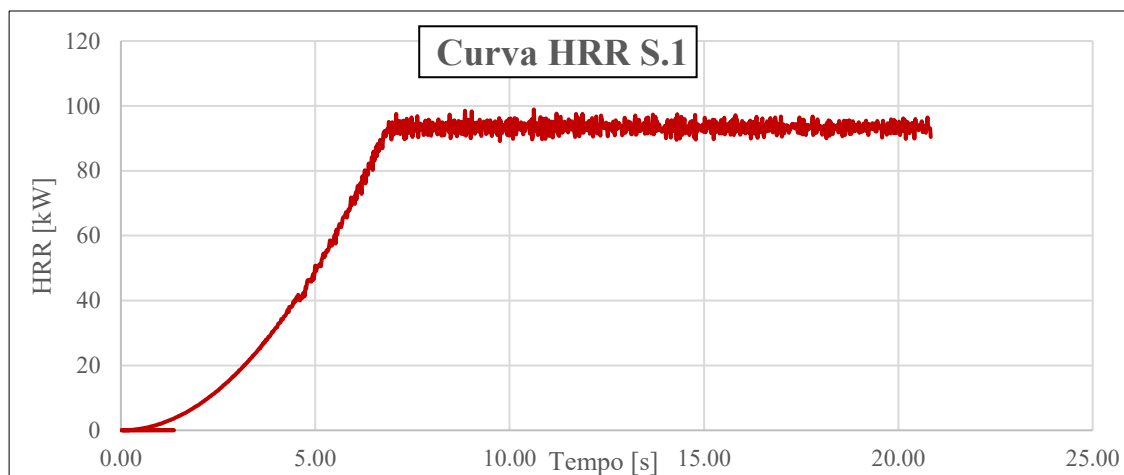


Figura 41-Curva HRR Scenario 1

Definizione reazione

Essendo una simulazione che include la combustione, è stato necessario definire una reazione.

PyroSim supporta il modello di combustione "chimica semplice" in FDS che considera una singola specie di combustibile composto da C, H, O e N.

Utilizzando in questo caso il focolare predefinito da Codice, la reazione di combustione inserita all'interno del modello di calcolo è stata quella suggerita dallo stesso:

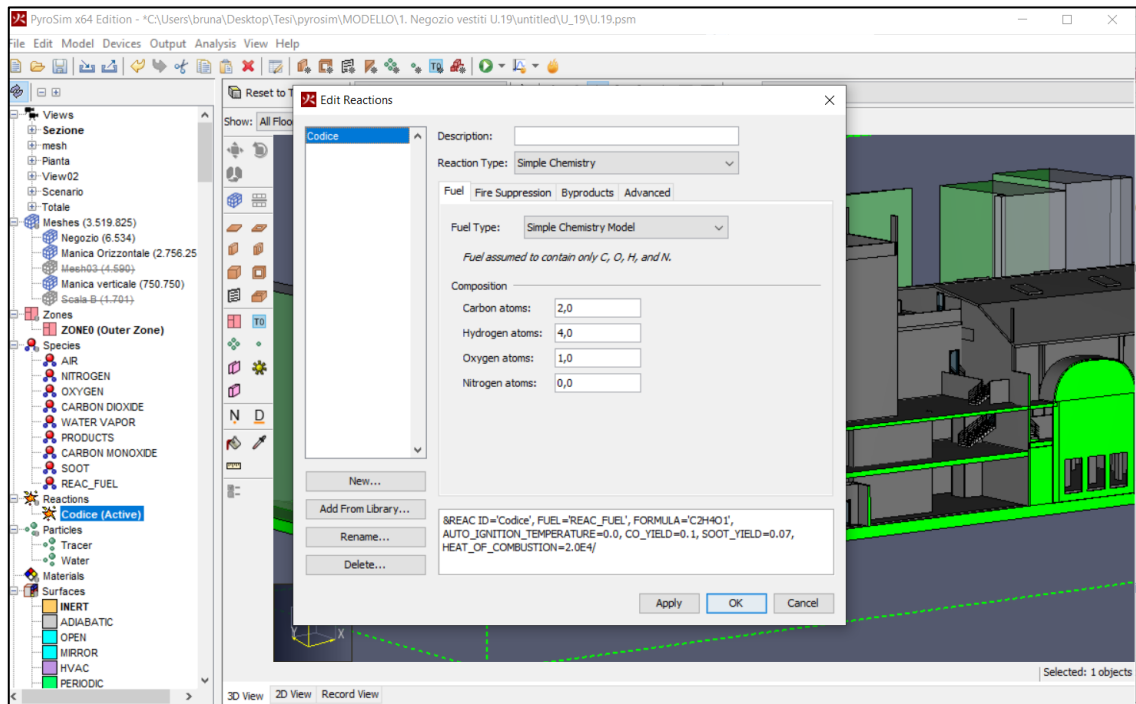
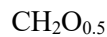


Figura 42-Edit reactions

Devices

I devices vengono utilizzati per registrare entità nel modello o per rappresentare sensori più complessi, come rilevatori di fumo, irrigatori e termocoppie.

Per misurare che i livelli prestazionali fossero raggiunti, sono stati posizionati all'interno del modello dei devices, come mostra la Figura 40.

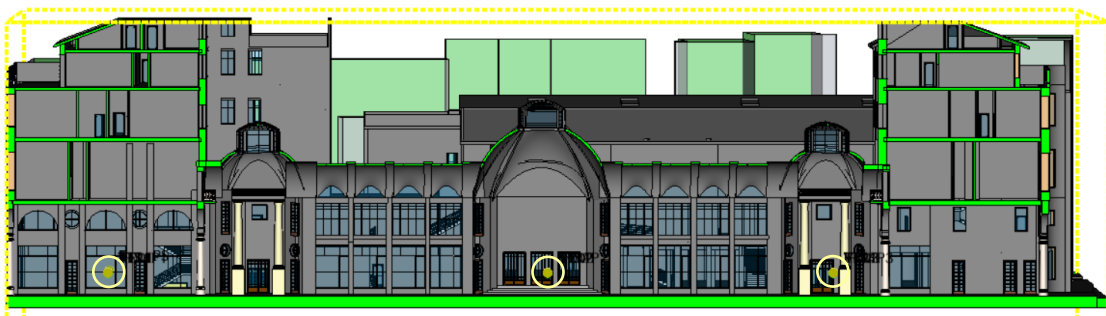


Figura 43-Individuazione devices

Sono stati posizionati diversi Gas-phase Device, di tre tipologie.

- VIS: con impostazione *Visibility*; il quale permette di registrare i livelli di visibilità durante la simulazione

- FED: con impostazione *Fractional Effective Dose*; registra la concentrazione delle sostanze nocive.
- TEMP: con impostazione *Temperature*; dà come output l'andamento della temperatura.
- IRR: con impostazione *Radiative Heat Flux Gas*; per registrare i valori di irraggiamento.



Figura 44-Individuazione in pianta dei nove devices

Come è mostrato nella Figura 40, i devices sono stati posizionati nella manica orizzontale, e vicino l'uscita dell'attività 19.

Slices

Oltre ai devices sono state inserite nel modello diverse *slices 2D*, che hanno permesso di studiare al meglio i dati di output. Le *slices 2D* utilizzate sono state:

- *Slice di visibilità*: in modo da poter indagare il livello di visibilità e individuare i punti delicati.
- *Slice di temperatura*: per evidenziare la variazione della stessa, parametro grazie al quale si verifica l'efficienza dello smaltimento dei prodotti della combustione.
- *Slice di velocità verticale*: posizionate in sommità, vicino ai varchi permanenti di areazione; tale slice è legata a quella di temperatura, difatti più ci si allontana dal focolare, più le temperature e la velocità dei prodotti di combustione decrescono;

3.4.2 Calcolo RSET

RSET è calcolato per tutti gli occupanti del complesso e termina quando questi raggiungono il primo luogo sicuro temporaneo.

Come mostrato nel *paragrafo 3.3.4*, è stato calcolato il tempo di esodo generale dell'intero l'edificio, quindi considerando un esodo simultaneo, andando a sviluppare già uno scenario comportamentale di progetto per ciascuna tipologia di attività. Quest'ultimo è stato poi configurato sui vari scenari d'incendio, andando a modificare determinati comportamenti, in particolare riducendo i tempi per gli occupanti vicini al focolare.

Di seguito vengono riportati i grafici con i dati di output della simulazione.

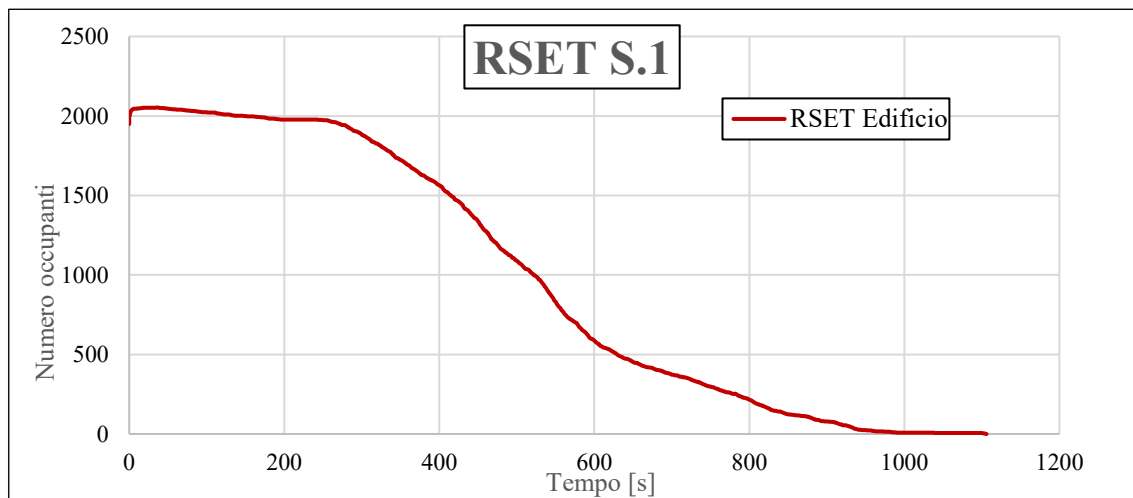


Figura 45-Grafico RSET globale S.1

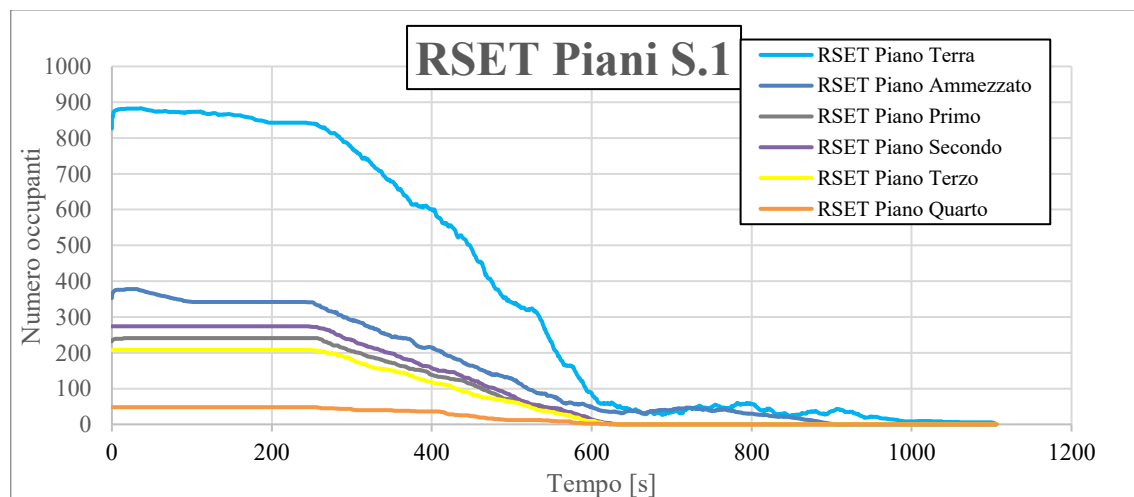


Figura 46-Grafico RSET per piano S.1

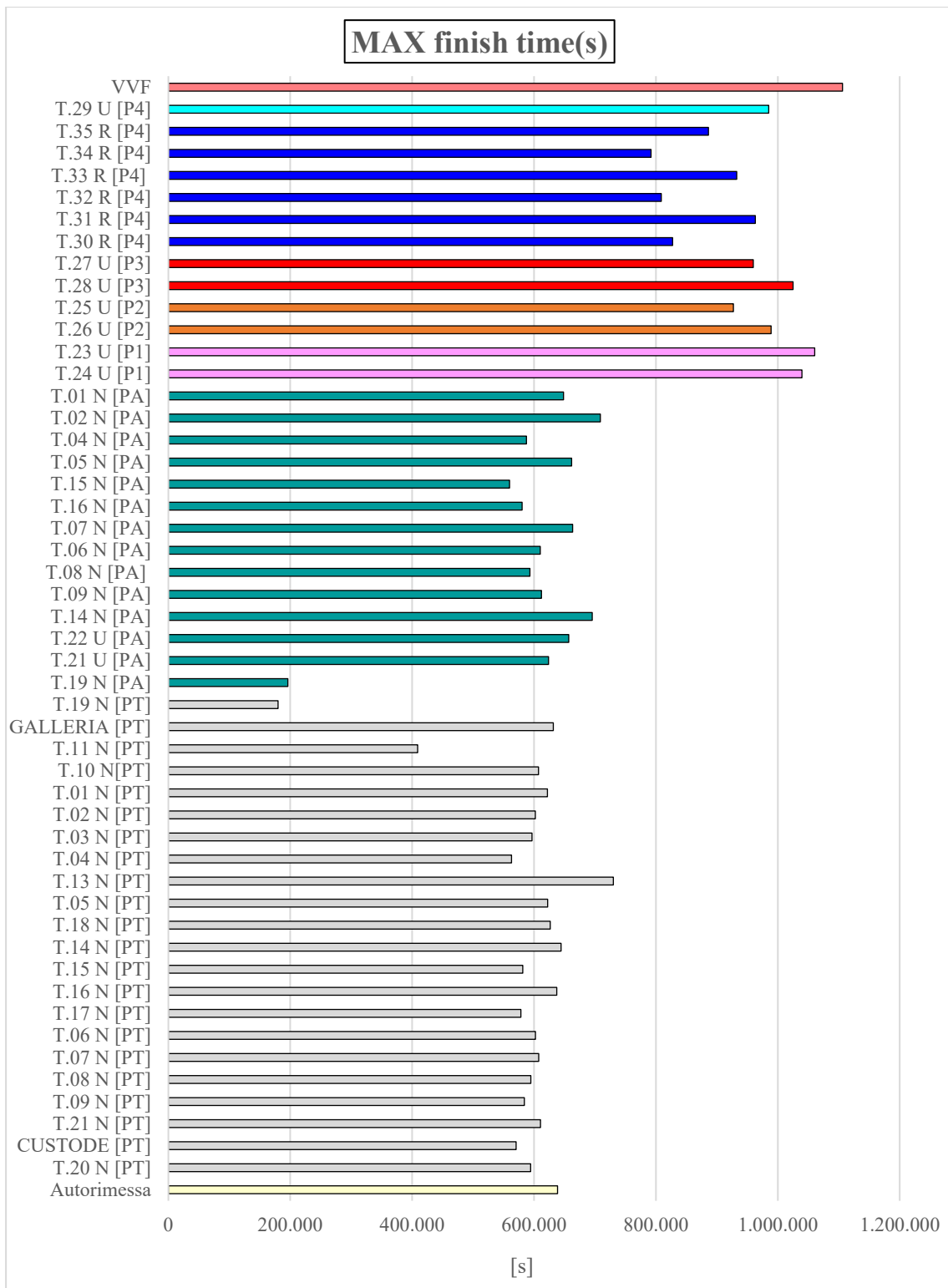


Figura 47-Confronto tempi di esodo occupanti delle diverse attività S.1

Le modifiche apportate a tale esodo, rispetto a quello di partenza, sono state quelle di diminuire il t_{pre} , per gli occupanti presenti nell'attività in cui si verifica l'incendio.

Il tempo di esodo totale è pari a 1100 s, ovvero circa 18 minuti.

3.5 Scenario 2

Considerando che lo spazio in corrispondenza delle maniche della Galleria può essere utilizzato per allestimenti temporanei, si è ipotizzati di simulare la combustione di un albero di natale.

La simulazione è stata effettuata tenendo conto dell'areazione permanente in sommità delle cupole, valutando in tale modo l'efficacia dello smaltimento dei fumi.

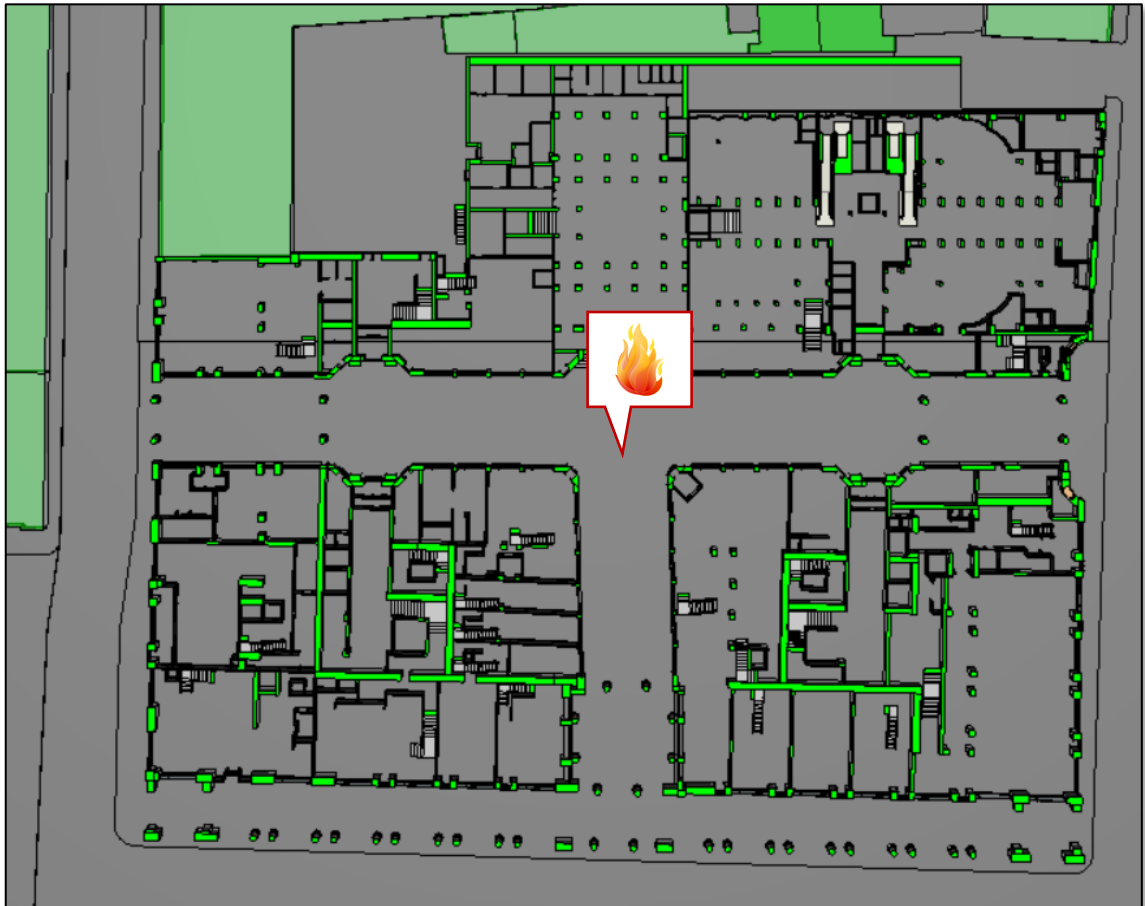


Figura 48-Individuazione scenario 2 piano terra

Obiettivi

Gli obiettivi prefissati per la salvaguardia della vita sono:

- Garantire il raggiungimento o la permanenza degli occupanti in un luogo sicuro, senza che essi entrino in contatto con i prodotti della combustione;
- Garantire che l'intervento della squadra di soccorso avvenga in condizioni tali da permettere l'operatività in accordo con i limiti fissati del D.M. 3 agosto 2015.

Identificazione livelli prestazionali

In funzione degli obiettivi di sicurezza individuati, vengono di seguito riportati i parametri significativi di cui tener conto ogni parametro viene utilizzato per rappresentare le soglie prestazionali.

Tabella 55-Soglie prestazionali

LIVELLO DI PRESTAZIONE	Soglia	
	Occupanti	Soccorritori
Visibilità	10 m	5 m
Temperatura di esposizione	60 °C	80 °C
Irraggiamento	2.5 kW/m ²	3 kW/m ²
FED	0.1	[-]

Criterio accettabile

Il tempo in cui permangono le condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti deve essere superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro.

$$ASET > RSET$$

Con t_{marg} non inferiore a 30".

Geometria

Come viene mostrato nella figura che segue, si tratta di una geometria semplice.

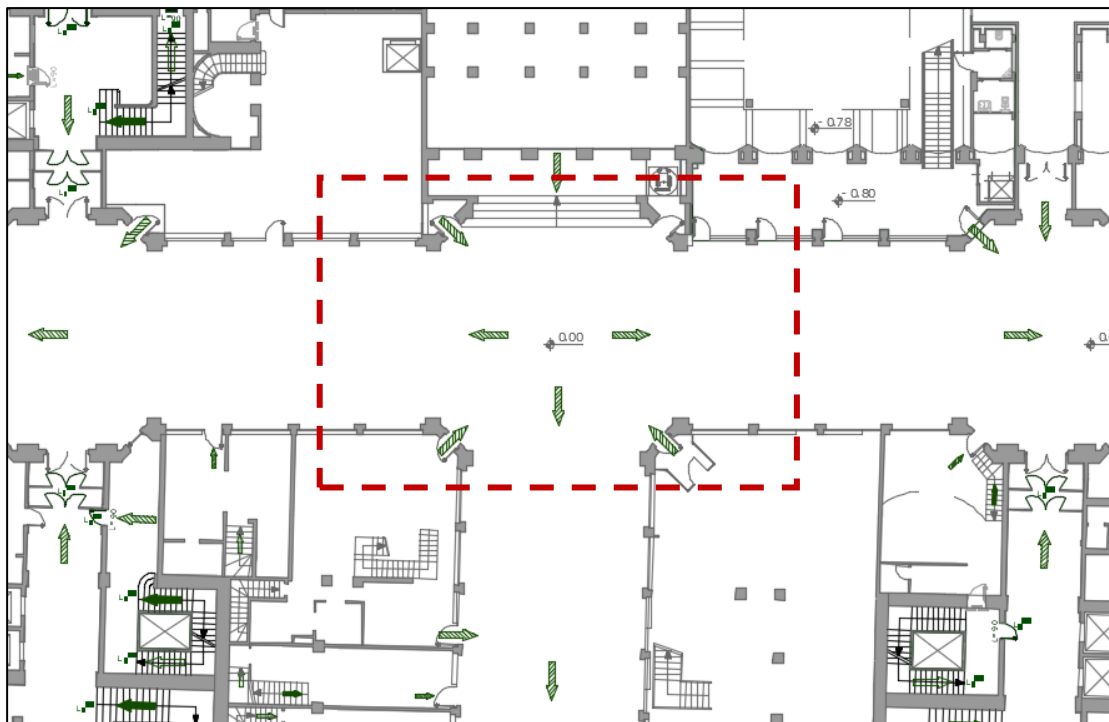


Figura 49-Geometria

3.5.1 Calcolo ASET

Caratteristiche focolare

I dati di input utilizzati sono stati:

Tabella 56-Dati di input Scenario 2

CARATTERISTICHE FOCOLARE		
RHR	4518	kW/m ²
RHR _{max}	45180	kW
A	10	m ²
Y _{soot}	0,07	kg/kg
ΔH _C	1.79	MJ/kg
Y _{CO2}	1,5	kg/kg
Y _{H2O}	0,82	kg/kg
RHR(t)	35%	[-]

CONDIZIONI AL CONTORNO		
T _i	26	°C
T _e	-8	°C

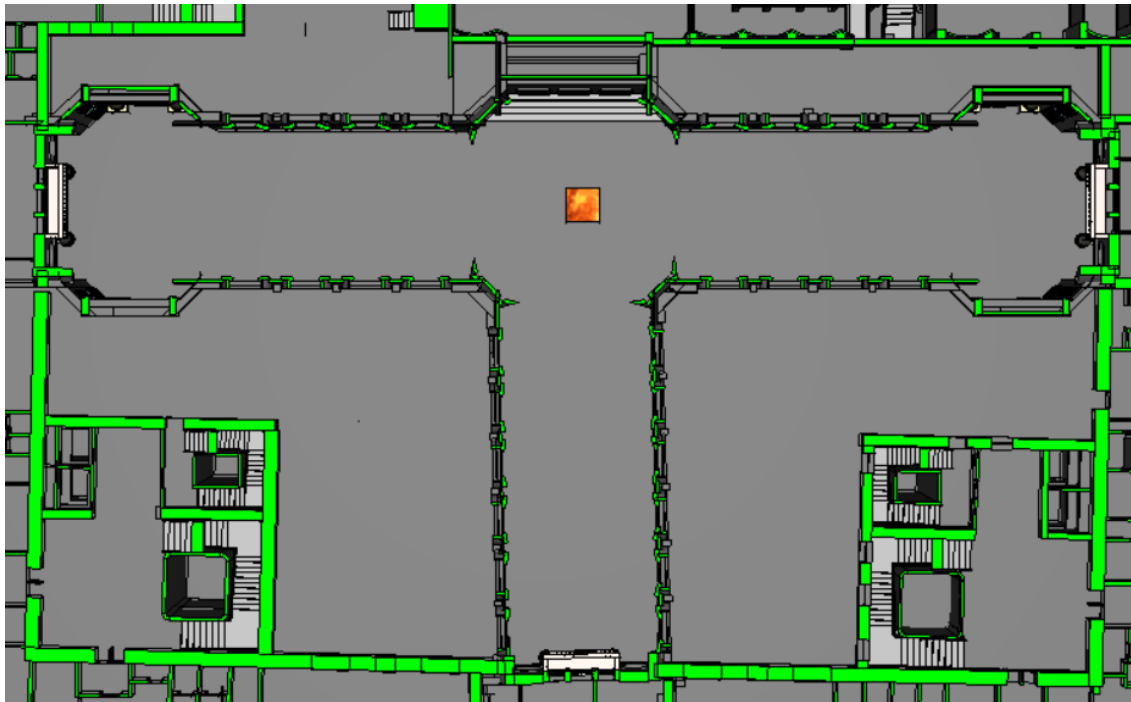


Figura 50-Posizione focolare piano terra

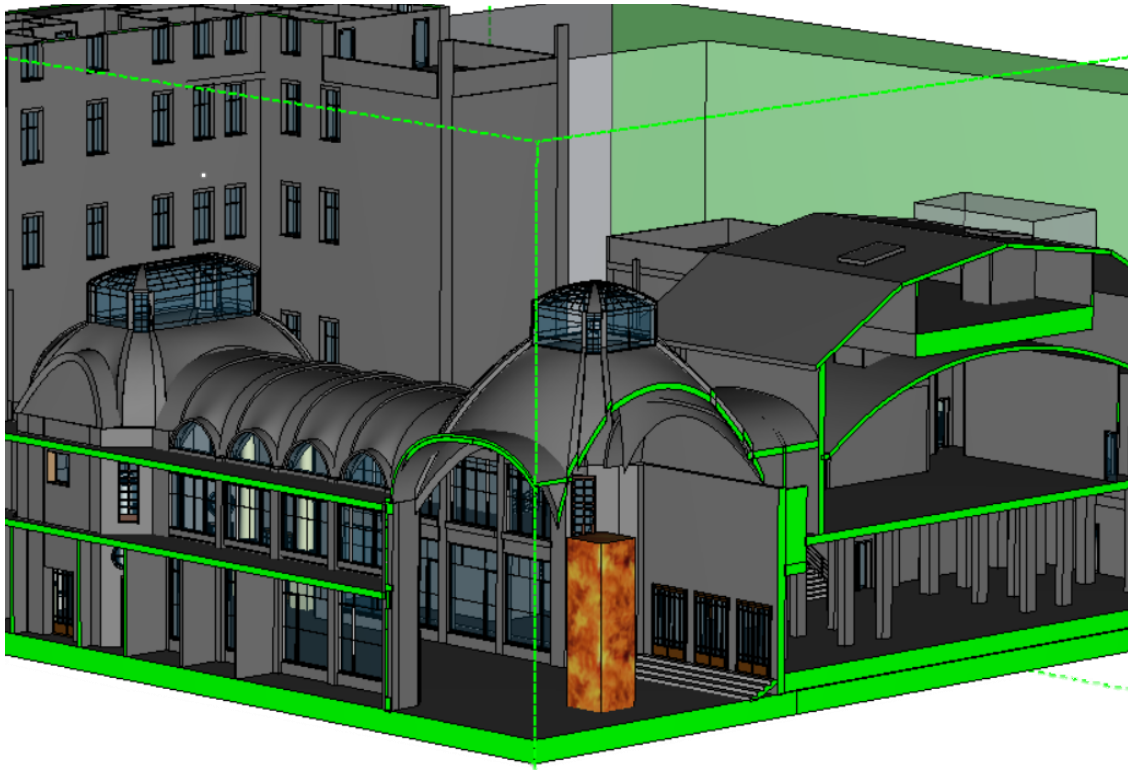


Figura 51-Posizione focolare in sezione (Scenario 2-Pyrosim)

Griglia di calcolo mesh

Di seguito vengono riportati i dati di input e output utilizzati per il dimensionamento delle celle:

Tabella 57-Dati mesh

INPUT				
\dot{Q}	ρ	T	c_p	g
[kW]	Kgm ³	K	kJkg ⁻¹ K ⁻¹	ms ⁻²
45178	1.204	293,15	1.005	9,81

OUTPUT			Potenza Focolare	D*	δx	D*/ δ
D*	10%	20%	[kW]	[m]	[m]	[m]
[m]	[m]	[m]			0.2	10
1.7	0.17	0.35	45178	1.7	0.4	5

Come per lo scenario, anche in questo caso le mesh utilizzate sono state maggiori rispetto a quelle calcolate poiché avrebbero comportato tempi maggiori di analisi.

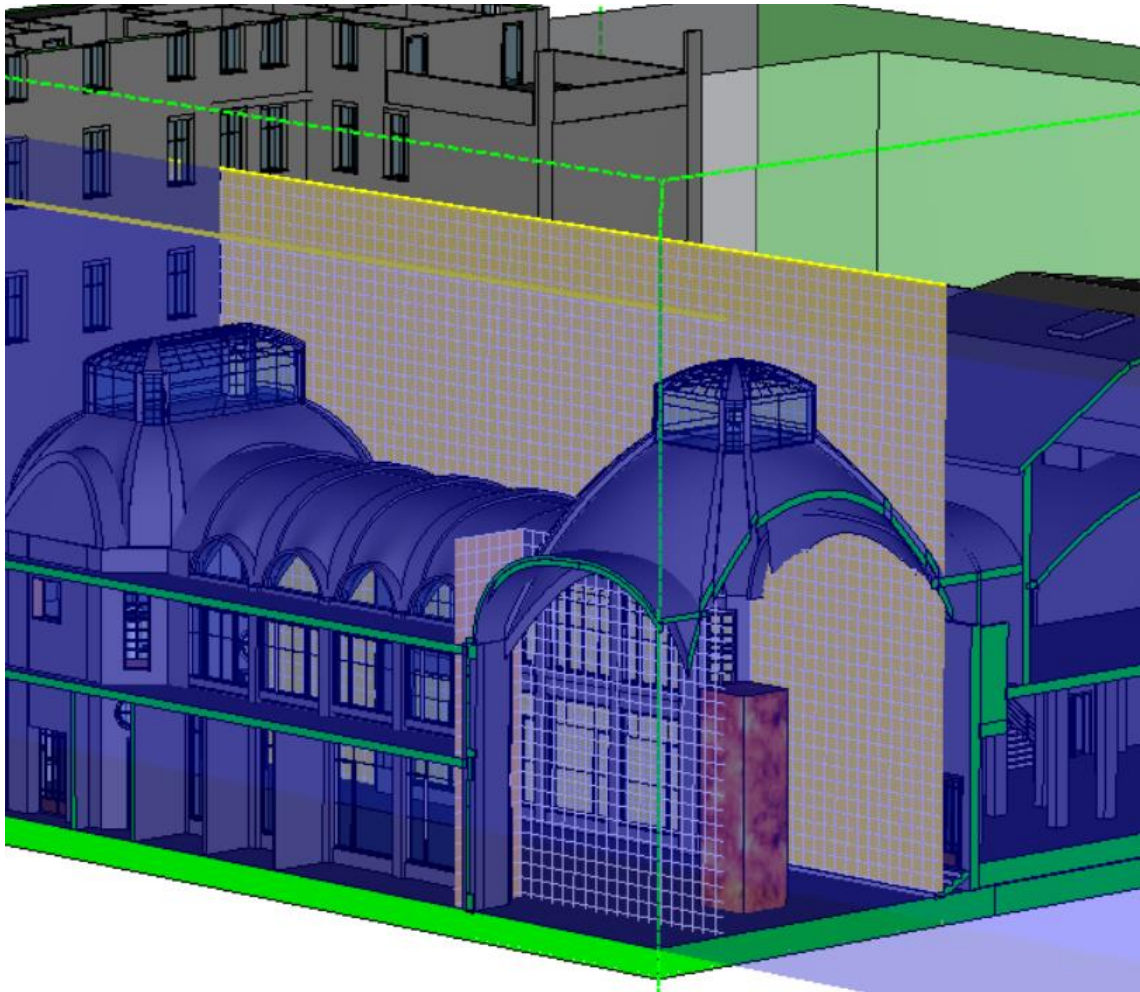


Figura 52-Mesh manica orizzontale

Curva di rilascio termico

Per quanto riguarda la curva di rilascio, è stato consultato il SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (Fifth Edition), nel quale vengono riportati i test di combustione effettuati su alberi di Natale artificiali.

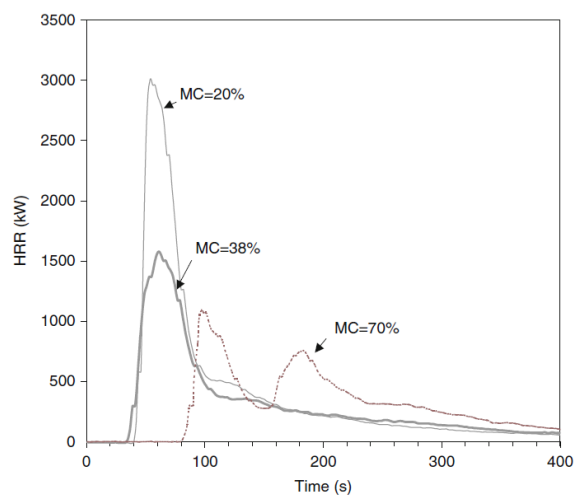


Figura 53-Curve HRR di alberi di Natale

Nei test nella fonte di accensione, per far sì che fosse più realistico, si è tenuto conto di ipotetici pacchi regalo e decorazioni alla base dell'albero. Come si nota nella Figura X, le procedure hanno prodotto incendi in rapido sviluppo. Si è tenuto del picco massimo, pari a 3100 kW, maggiorato del 50%; questo perché, come spiegato negli studi effettuati, i valori misurati nei test risultano essere sistematicamente bassi per via del fatto che la miscelazione degli effetti di diluizione dovuti all'uso di una calotta di calorimetro di grandi dimensioni, e per via dell'incapacità della strumentazione di rispondere a un incendio in rapida crescita.

Per tenere conto del caso più gravoso, è stata scelta la curva con il picco massimo maggiorato poi del 50%, ottenendo così la curva riportata nella Figura 52.

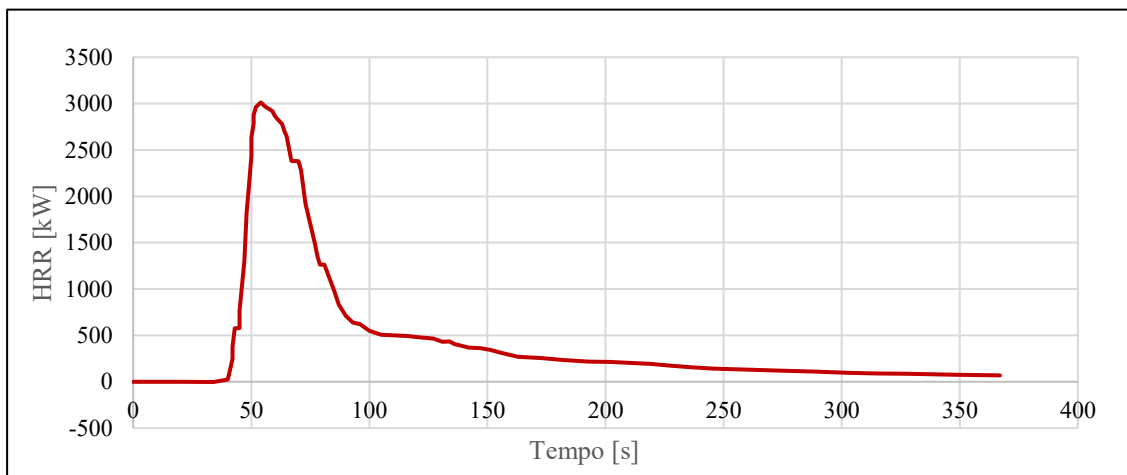


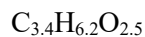
Figura 54-Curva HRR Scenario Incendio 2

In questo caso nella finestra Ramp-Up time, è stata utilizzata l'opzione Custom, andando a definire gli intervalli di tempo a seconda della curva ottenuta.

Definizione reazione

Anche in questo caso l'opzione utilizzata per quanto riguarda la reazione è stata "chimica semplice".

La reazione utilizzata è stata:



Devices

Anche in questo scenario sono stati posizionati quattro devices nei punti ritenuti più critici. Di seguito si riportano delle immagini nelle quali viene mostrata la loro posizione.

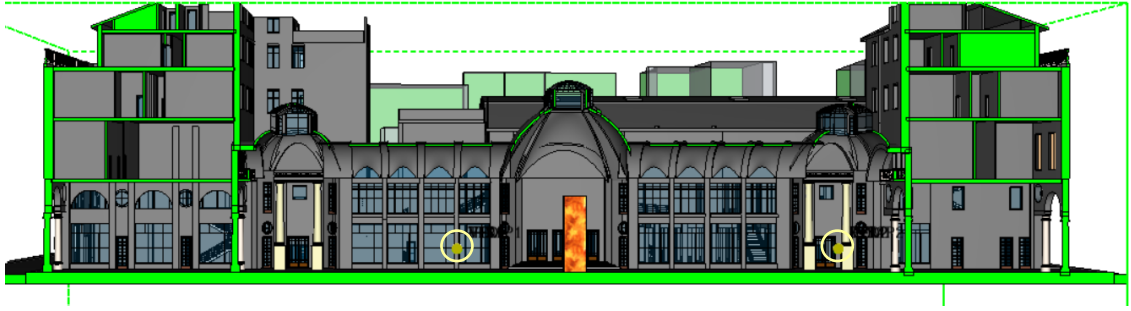


Figura 55-Individuazione devices

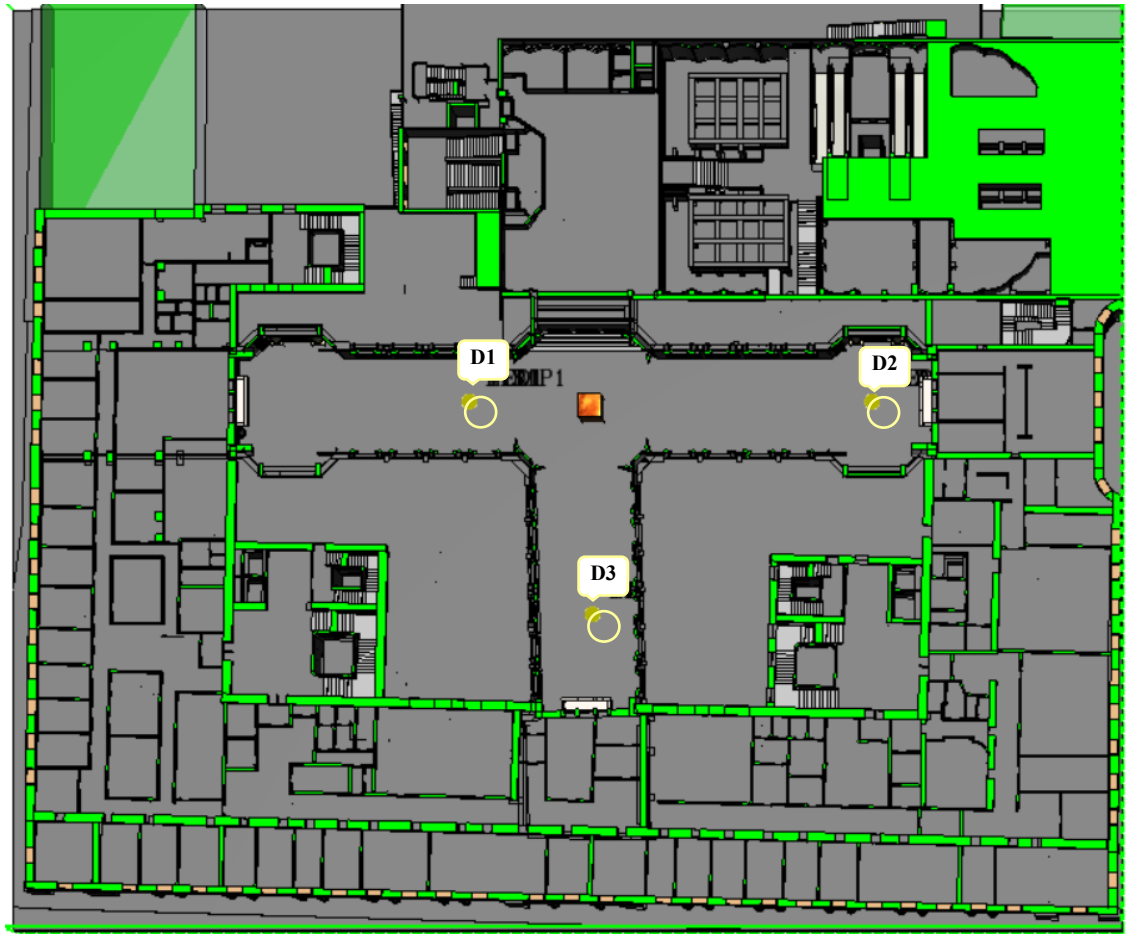


Figura 56-Individuazione devices in pianta

3.5.2 Calcolo RSET

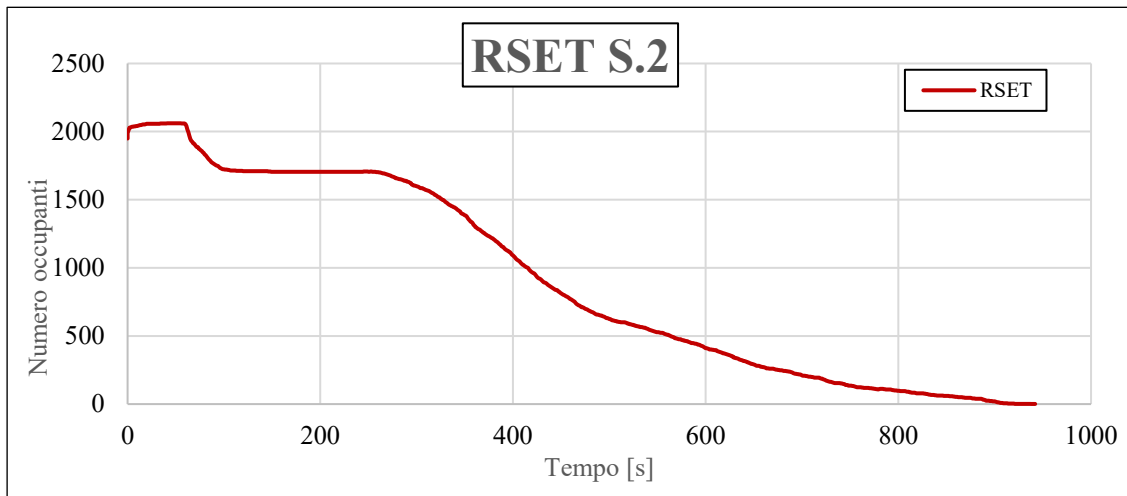


Figura 57-Grafico RSET globale S.2

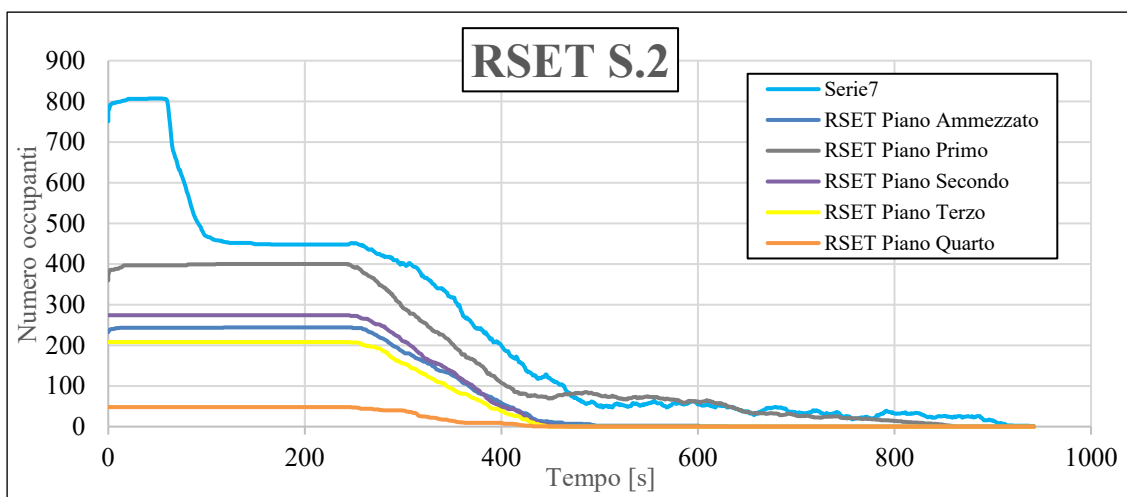


Figura 58-Grafico RSET per piano S.2

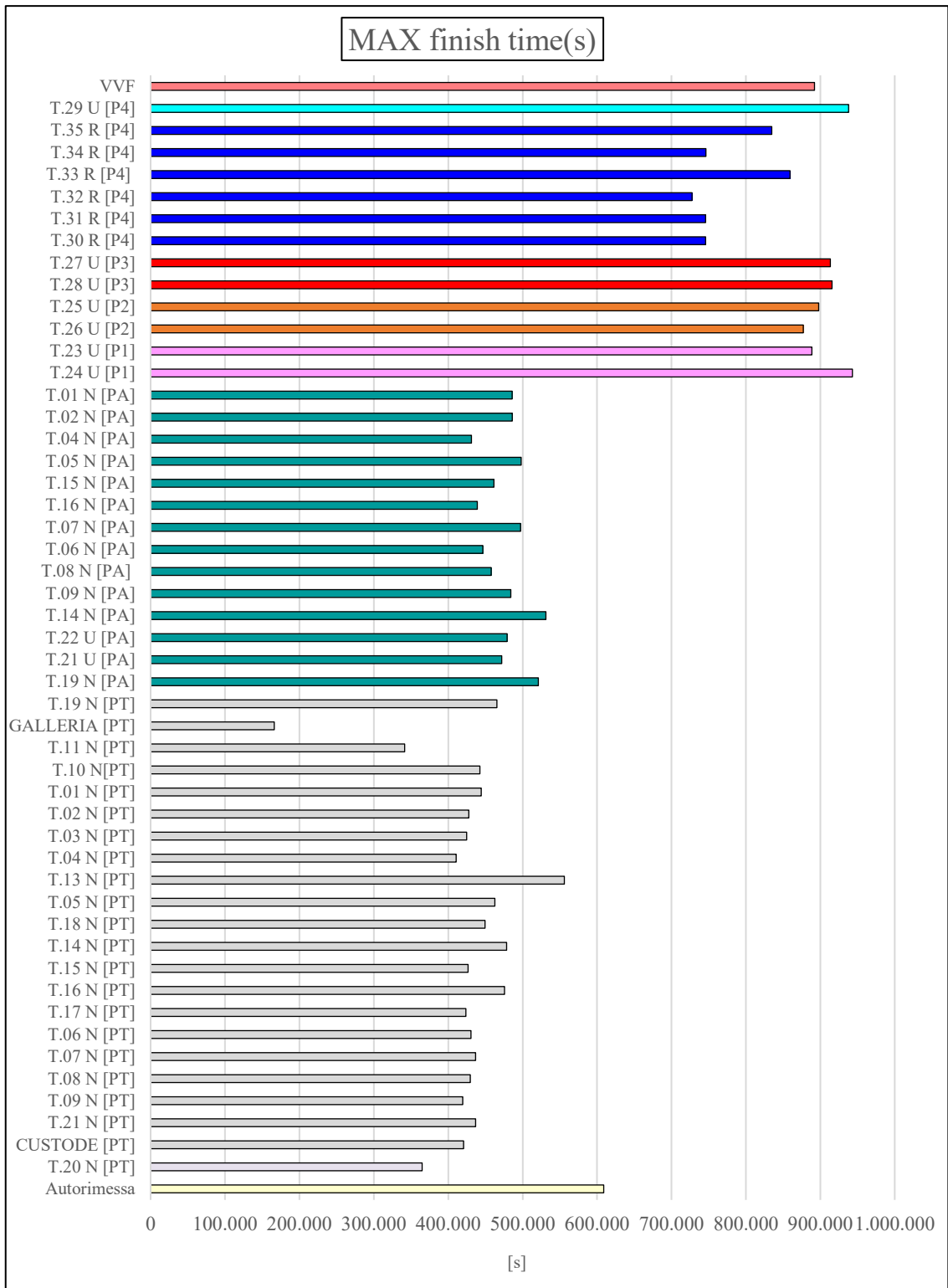


Figura 59-Confronto tempi di esodo occupanti delle diverse attività S.2

3.6 Scenario 3

Il terzo ed ultimo scenario di progetto, è stato ipotizzato nel piano adiacente al vano scala C, il quale come riportato successivamente nelle piante, dal secondo piano ha un'estensione, ovvero il vano scala C2.

Lo scenario è stato ipotizzato in tale vano, anche se di tipo protetto, poiché è l'unica via di esodo per il lato nord.

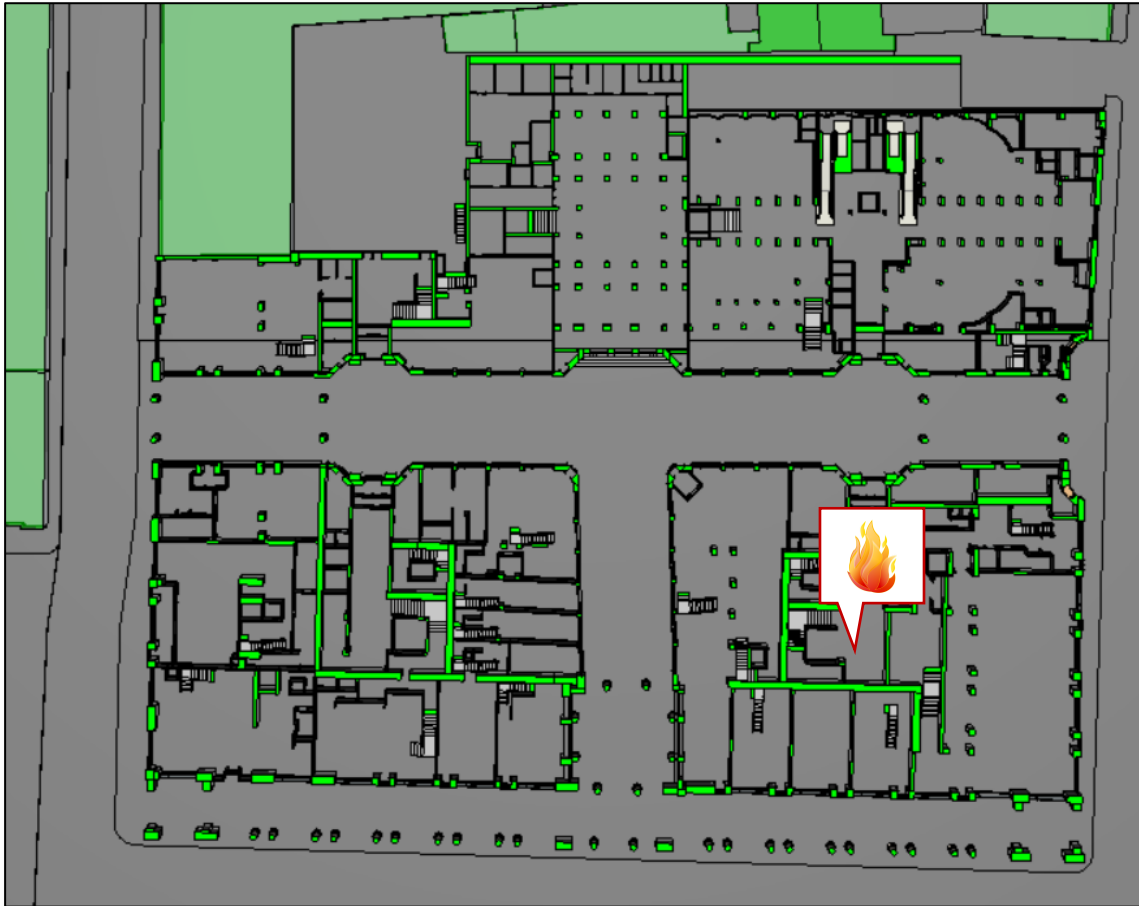


Figura 60-Individuazione scenario 3 piano terra

Obiettivi

Gli obiettivi prefissati per la salvaguardia della vita sono:

- Garantire il raggiungimento o la permanenza degli occupanti in un luogo sicuro, senza che essi entrino in contatto con i prodotti della combustione;
- Garantire che l'intervento della squadra di soccorso avvenga in condizioni tali da permettere l'operatività in accordo con i limiti fissati del D.M. 3 agosto 2015.

Identificazione livelli prestazionali

In funzione degli obiettivi di sicurezza individuati, vengono di seguito riportati i parametri significativi di cui tener conto ogni parametro viene utilizzato per rappresentare le soglie prestazionali.

Tabella 58-Soglie prestazionali

LIVELLO DI PRESTAZIONE	Soglia	
	Occupanti	Soccorritori
Visibilità	10 m	5 m
Temperatura di esposizione	60 °C	80 °C
Irraggiamento	2.5 kW/m ²	3 kW/m ²
FED	0.1	[-]

Criterio accettabile

Il tempo in cui permangono le condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti deve essere superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro.

$$ASET > RSET$$

Con t_{marg} non inferiore a 30".

Geometria

Come detto prima, il vano ha un'estensione dal secondo piano in poi, e serve tutti i quattro piani.

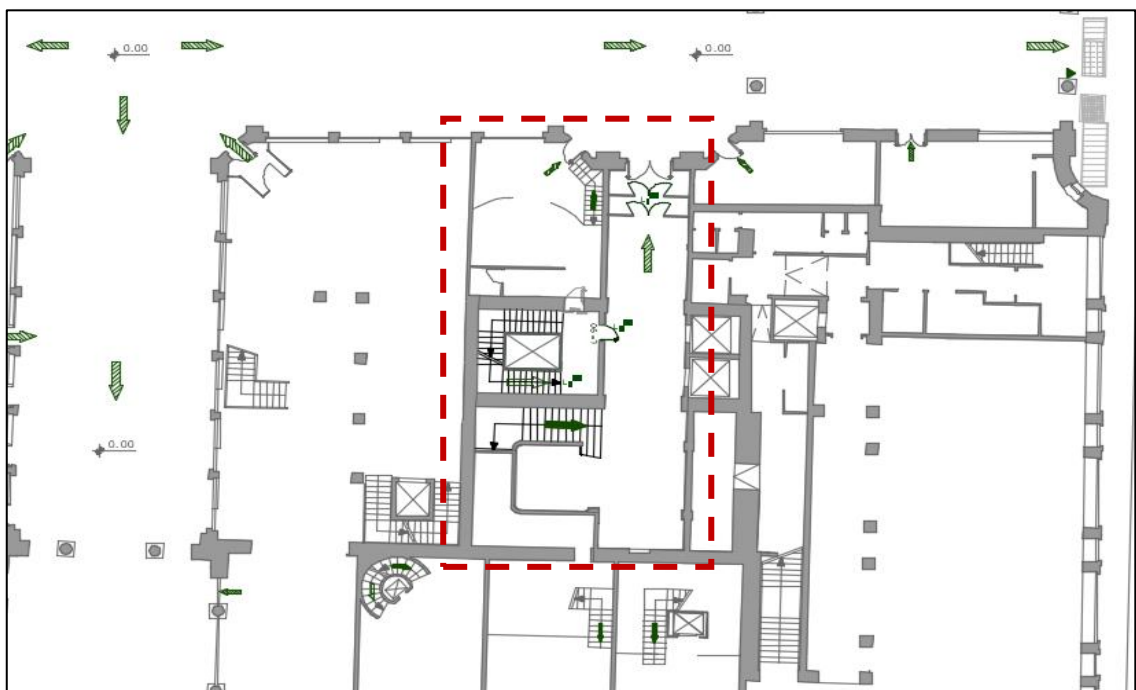


Figura 61-Piano terra

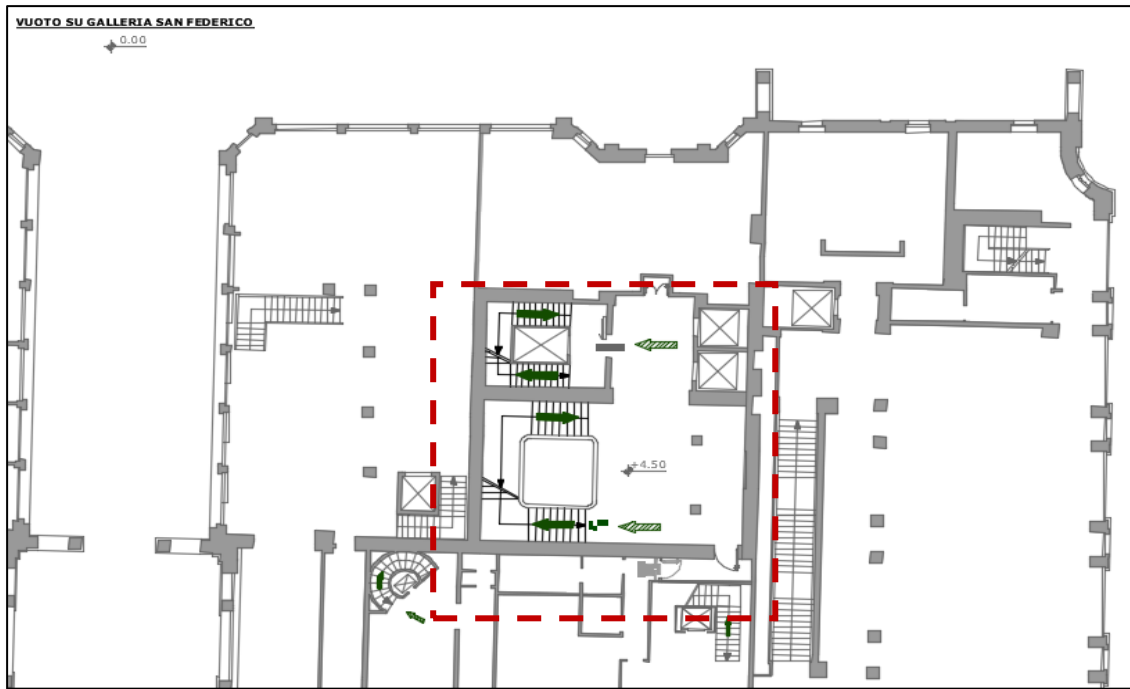


Figura 62-Piano ammezzato



Figura 63-Piano primo



Figura 64-Piano secondo

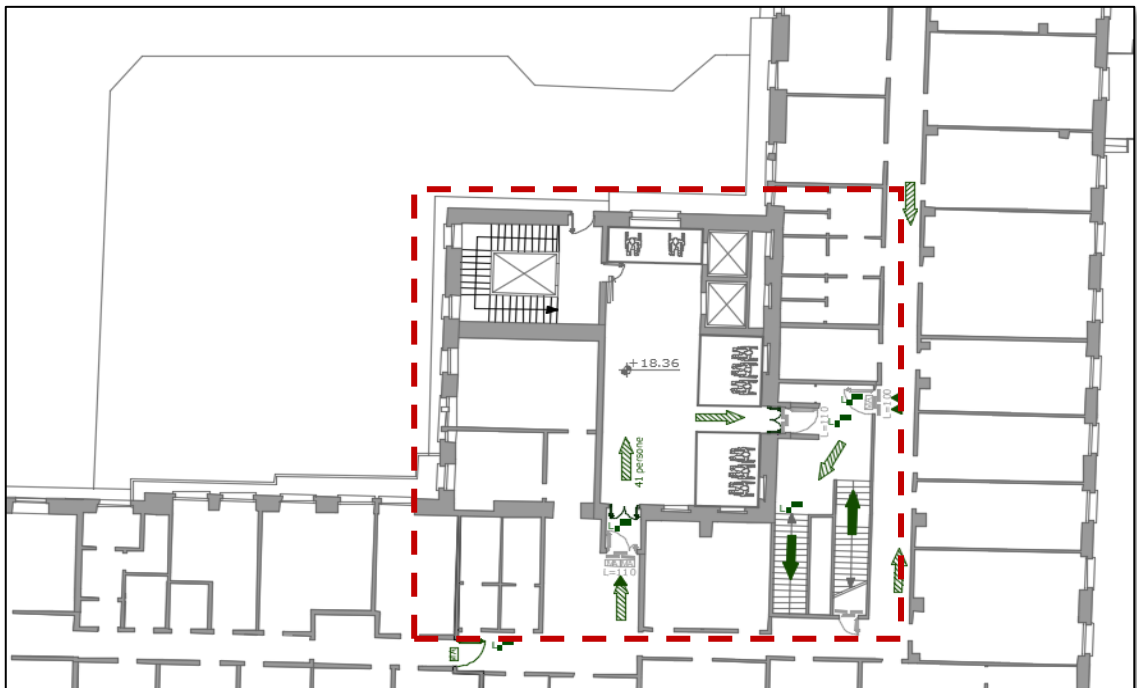


Figura 65-Piano terzo

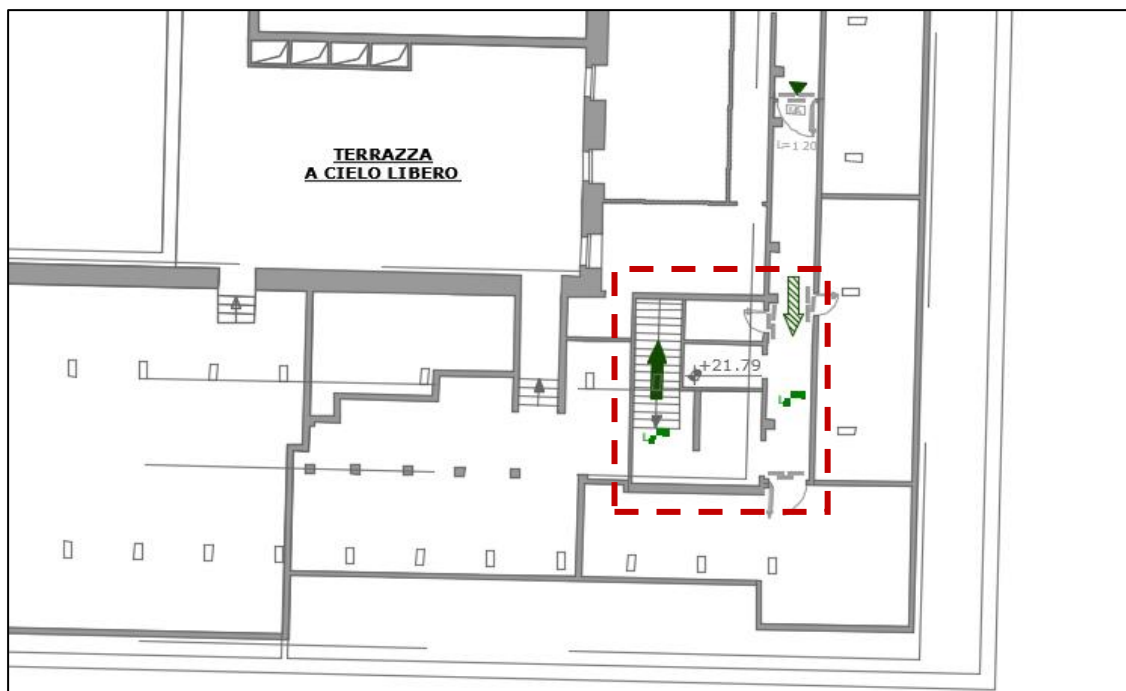


Figura 66-Piano quarto

3.6.1 Calcolo ASET

Caratteristiche focolare

Quindi i dati di input utilizzati sono stati:

Tabella 59-Dati di input Scenario 3

CARATTERISTICHE FOCOLARE		
RHR	4518	kW/m ²
RHR _{max}	45180	kW
A	10	m ²
Y _{soot}	0,07	kg/kg
ΔH _c	1.79	MJ/kg
Y _{CO2}	1,5	kg/kg
Y _{H2O}	0,82	kg/kg
RHR(t)	35%	[-]

CONDIZIONI AL CONTORNO		
T _i	26	°C
T _e	-8	°C



Figura 67-Posizione focolare in pianta (Scenario 3-Pyrosim)

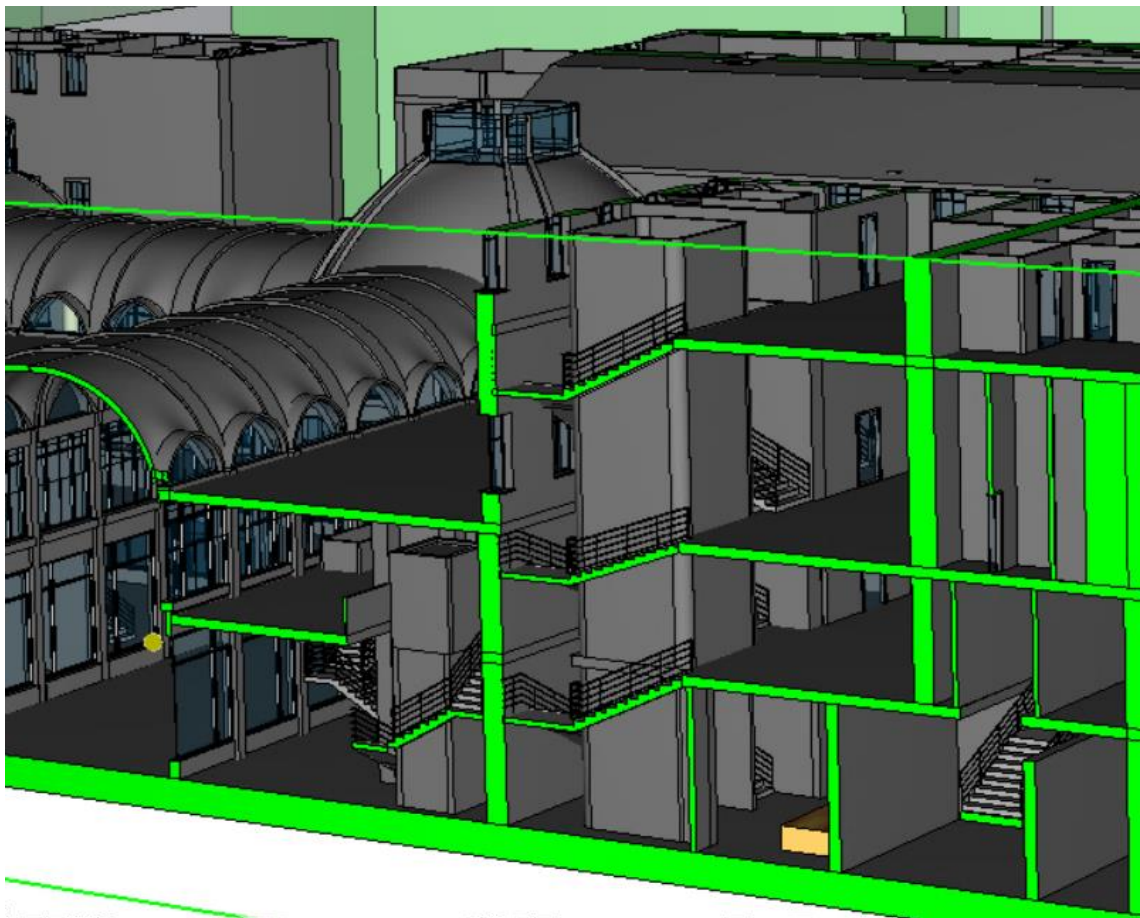


Figura 68 -Posizione focolare in sezione (Scenario 3-Pyrosim)

Griglia di calcolo mesh

Di seguito vengono riportati i dati di input e output utilizzati per il dimensionamento delle celle:

Tabella 60-Dati mesh

INPUT				
\dot{Q}	ρ	T	c_p	g
[kW]	Kgm ³	K	kJkg ⁻¹ K ⁻¹	ms ⁻²
45178	1.204	293,15	1.005	9,81

OUTPUT		
D*	10%	20%
[m]	[m]	[m]
1.7	0.17	0.35

Potenza Focolare	D*	δx	D*/ δ
[kW]	[m]	[m]	[m]
45178	1.7	0.4	5

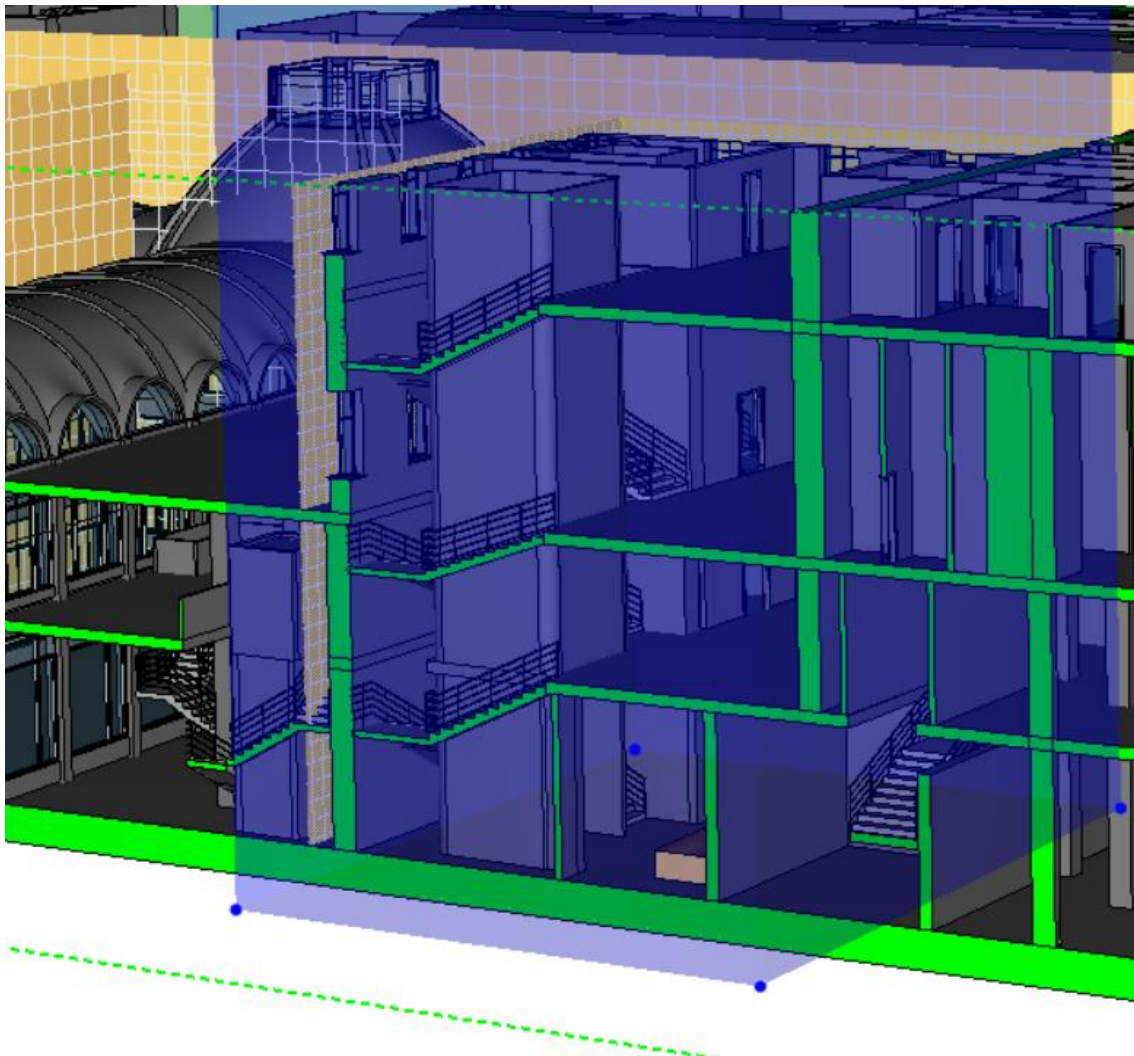


Figura 69-Mesh maniche Galleria

Curva di rilascio termico

L'ipotesi fatta è quella relativa alla combustione di un cestino nell'atrio del vano al piano scala. Per la curva è stato consultato il SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (Fifth Edition).

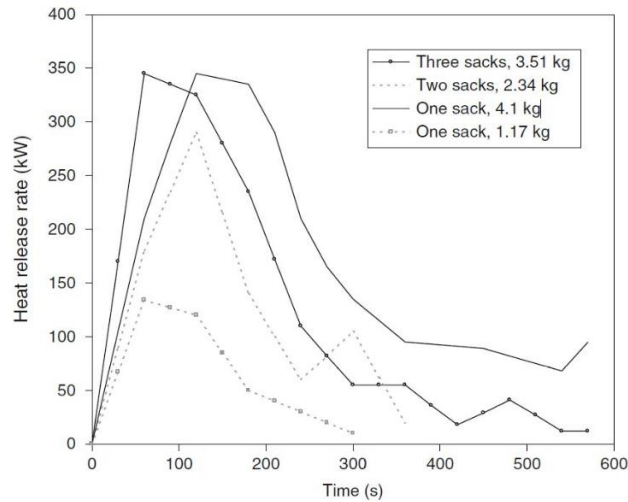


Figura 70-Curve HRR cestini

Per tenere conto del caso più gravoso, è stata scelta la curva con il picco massimo.

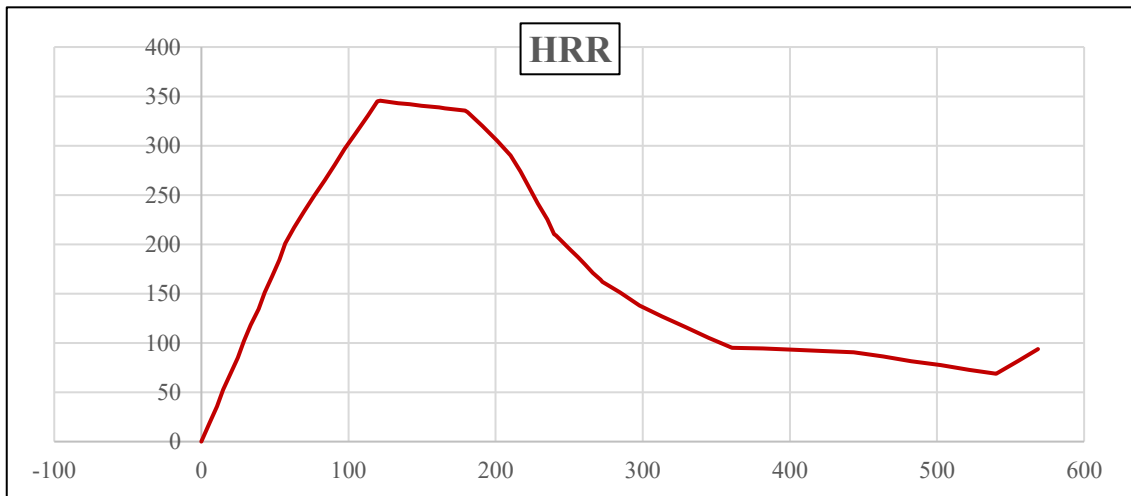


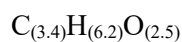
Figura 71-Curva HRR Scenario Incendio 3

Anche in questo caso, nella finestra Ramp-Up time è stata utilizzata l'opzione Custom, andando a definire gli intervalli di tempo a seconda della curva ottenuta.

Definizione reazione

Anche in questo caso l'opzione utilizzata per quanto riguarda la reazione è stata "chimica semplice".

La reazione utilizzata è stata:



Devices

Anche in questo caso sono stati posizionati quattro devices nei diversi punti ritenuti critici, come di seguito viene mostrato.



Figura 72-Devices individuati in sezione S.3



Figura 73-Posizione devices in pianta S.3

3.6.2 Calcolo RSET

RSET è calcolato per tutti gli occupanti del complesso e termina quando tutti gli occupanti raggiungono il primo luogo sicuro temporaneo.

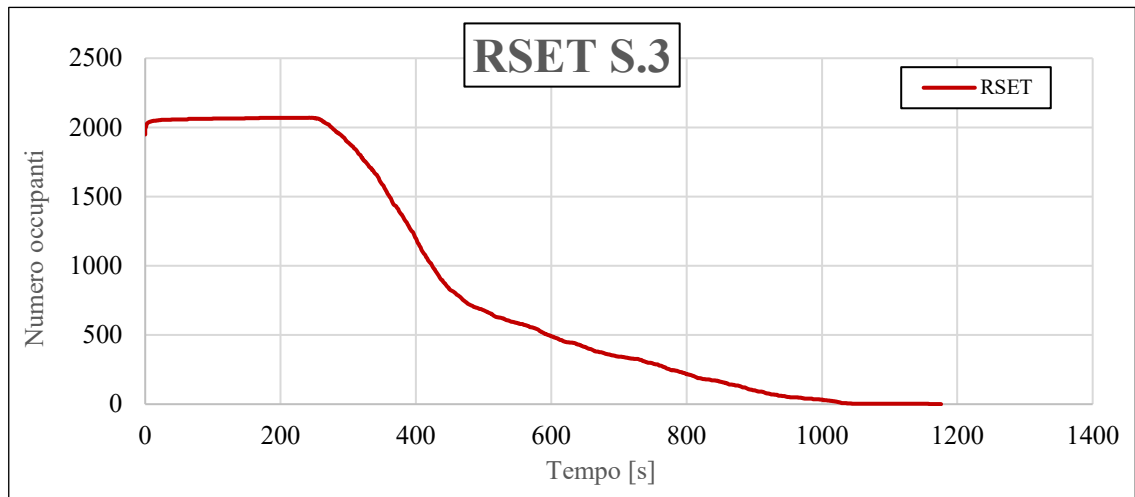


Figura 74- RSET globale S.3

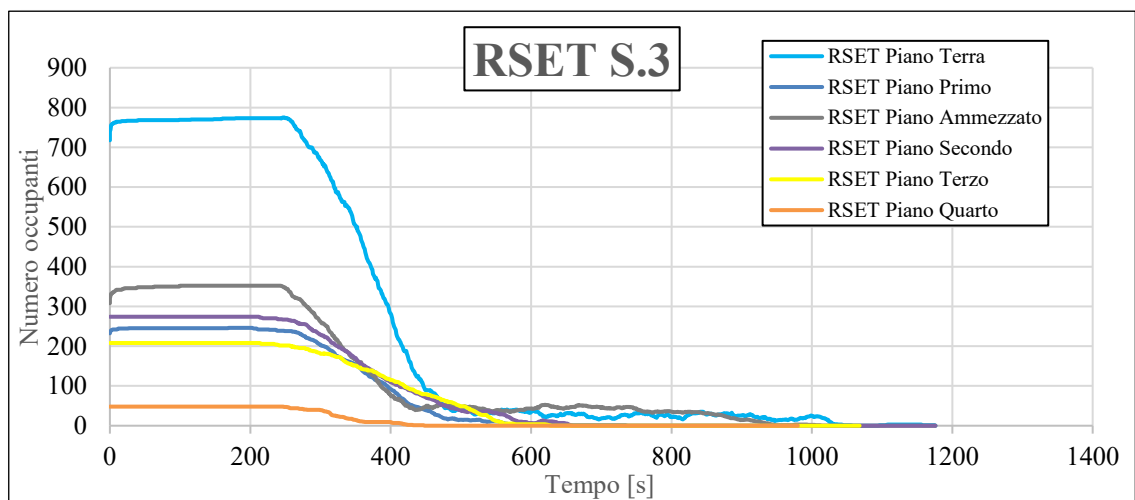


Figura 75- RSET dei diversi piani S.3

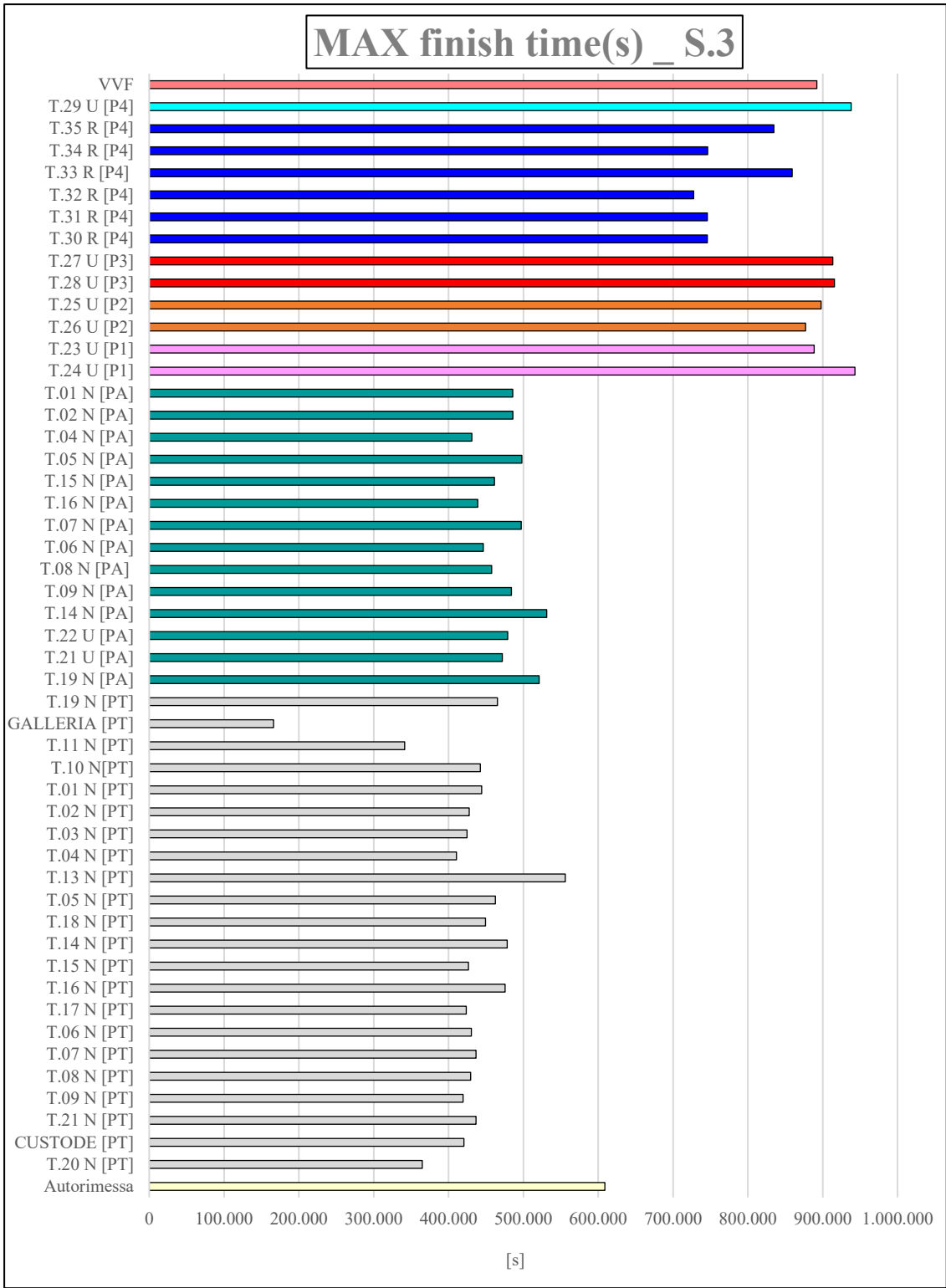


Figura 76-Confronto tempi di esodo occupanti delle diverse attività S.3

3.7 Risultati

Di seguito vengono riportati i dati di output ottenuti dalle simulazioni degli scenari di progetto di incendio (ASET), i quali sono stati poi confrontati con i dati di output ottenuti dagli scenari di esodo (RSET).

Per quanto riguarda le simulazioni degli scenari di progetto di incendio, sono stati riportati i grafici nei quali viene rappresentato l'andamento delle soglie da garantire; a seconda del caso, e della soglia critica raggiunta, ASET è stato determinato diversamente.

I parametri prestazionali misurati sono stati : FED, TEMPERATURA, IRRAGGIAMENTO e VISIBILITÀ.

3.7.1 Scenario 1

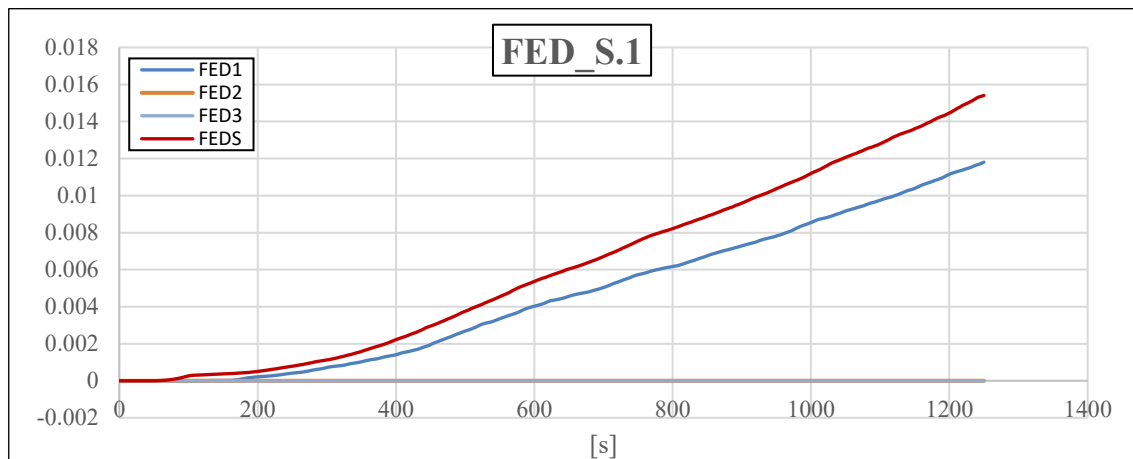


Figura 77-Grafico andamento FED S.1

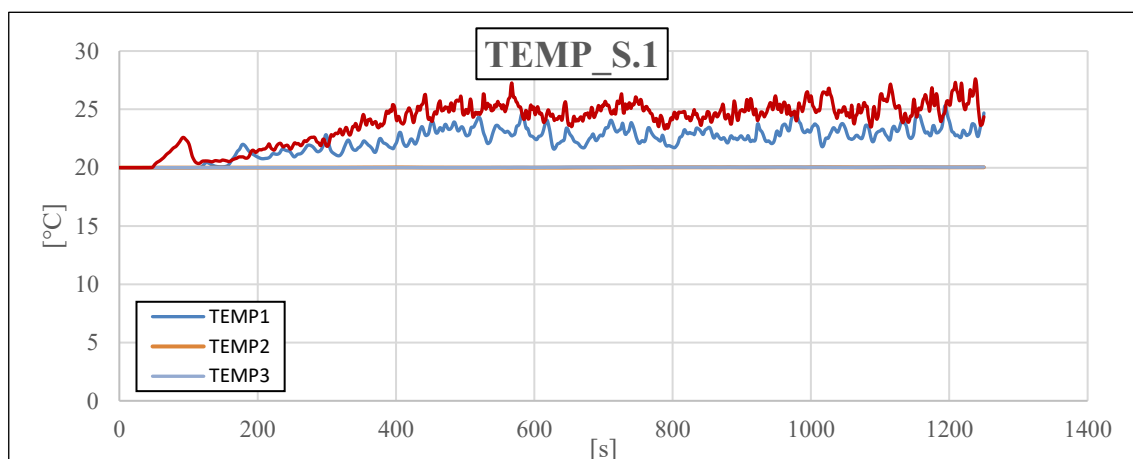


Figura 78-Grafico andamento temperatura S.1

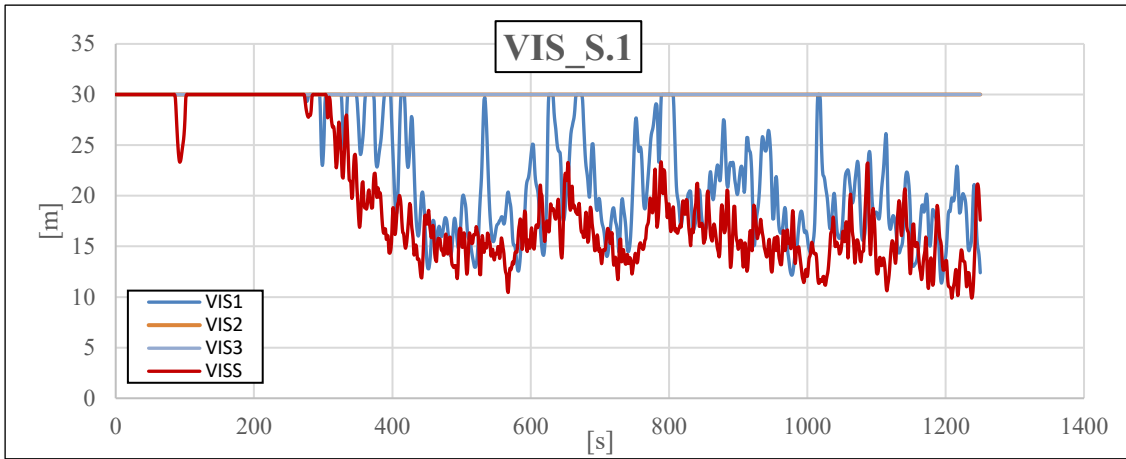


Figura 79-Grafico andamento visibilità S.1

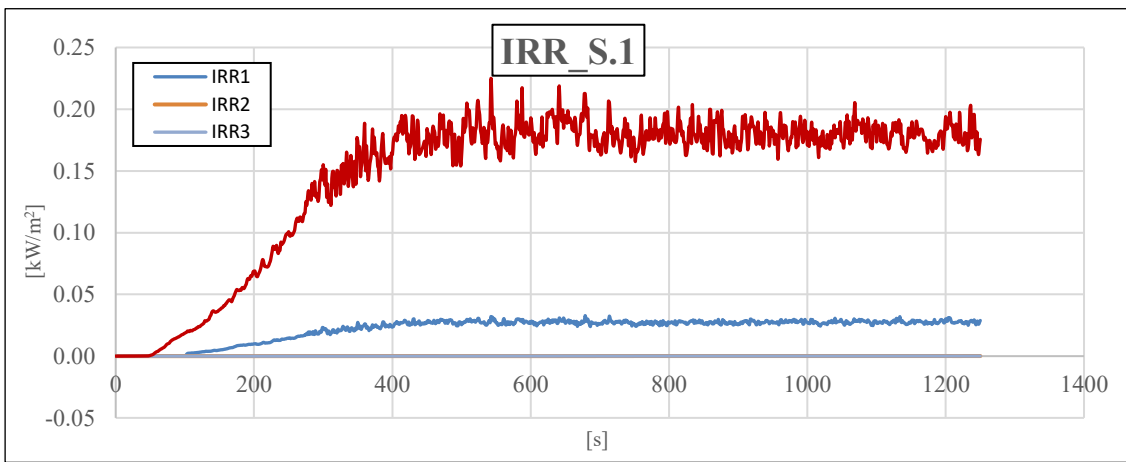


Figura 80-Grafico andamento irraggiamento S.1

Nello scenario di progetto S.1, il parametro critico considerato per individuare ASET, come risulta dai grafici, è la visibilità. Difatti tale parametro, è l'unico che si avvicina al suo valore massimo, ovvero 10m, raggiunto a 1200 s.

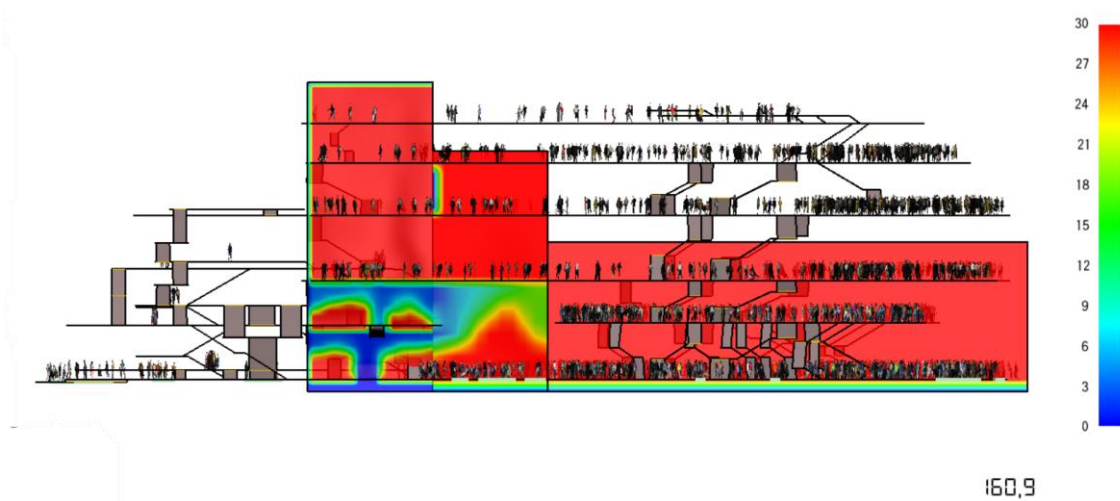
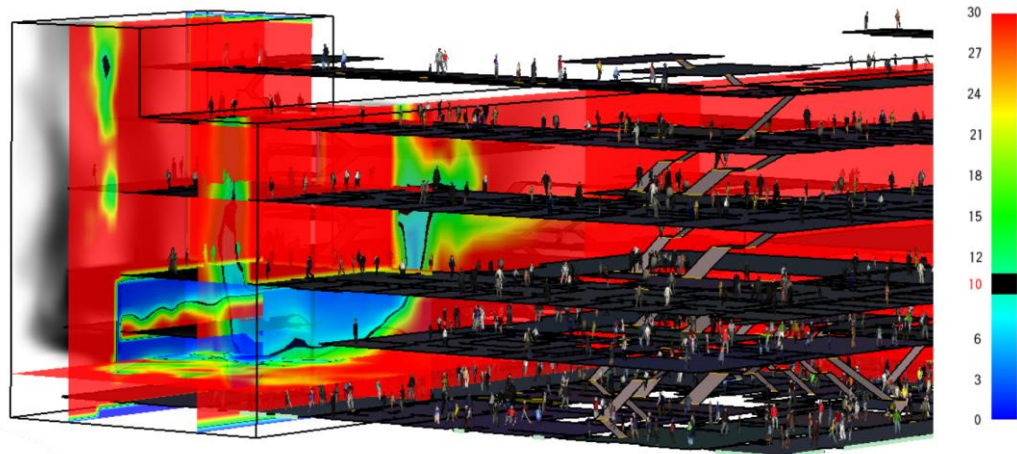
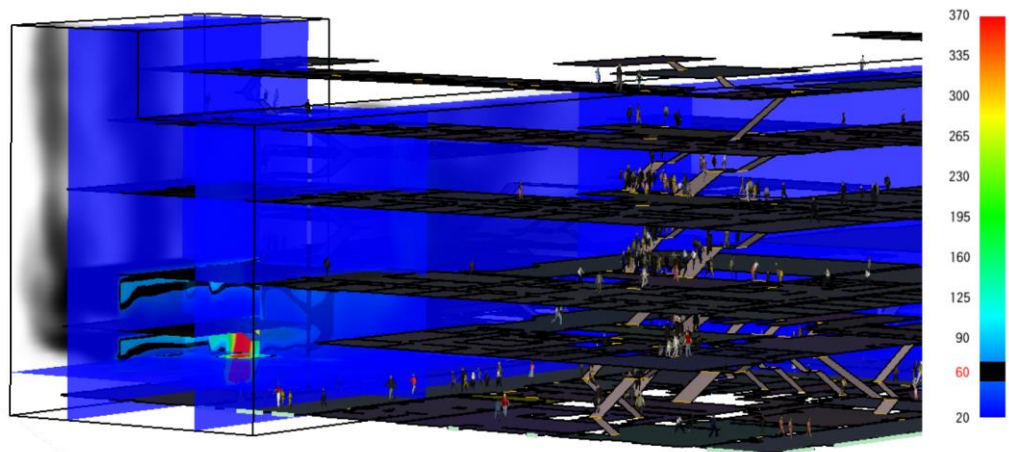


Figura 81-Visibilità [m] S.1 vista da via Santa Teresa



38 1,7

Figura 82-Silces visibilità [m] S.1



598,5

Figura 83-Temperatura [°C] S.1

Il valore ASET è stato misurato attraverso i devices posizionati all'interno dell'attività, vicino l'uscita; per garantire la salvaguardia della vita, bisogna che quest'ultimo sia maggiore di $RSET+t_{marg}$.

Di norma l'intervallo RSET dovrebbe essere considerato come il tempo in cui fumo ed occupante coesistono. Per questo motivo, non è corretto considerare l'esodo dell'intero edificio, poiché non necessariamente l'ultimo occupante che evacua l'edificio si trova in un'area dell'edificio in cui è presente il fumo.

Quindi sapendo la posizione del device, per ricavare RSET, è stato verificato l'ultimo occupante presente in quella posizione.

ASET [s]	RSET [s]	VERIFICATO
1210	830+30%(200)	Si

Essendo $ASET \gg RSET+t_{marg}$, le condizioni di sicurezza per la salvaguardia della vita sono verificate.

3.7.2 Scenario 2

Nello scenario di progetto S.2, ovvero l'albero di natale al centro delle due maniche, gli unici dati significativi rilevati sono quelli riguardanti l'irraggiamento e alla temperatura, che di seguito vengono riportati.

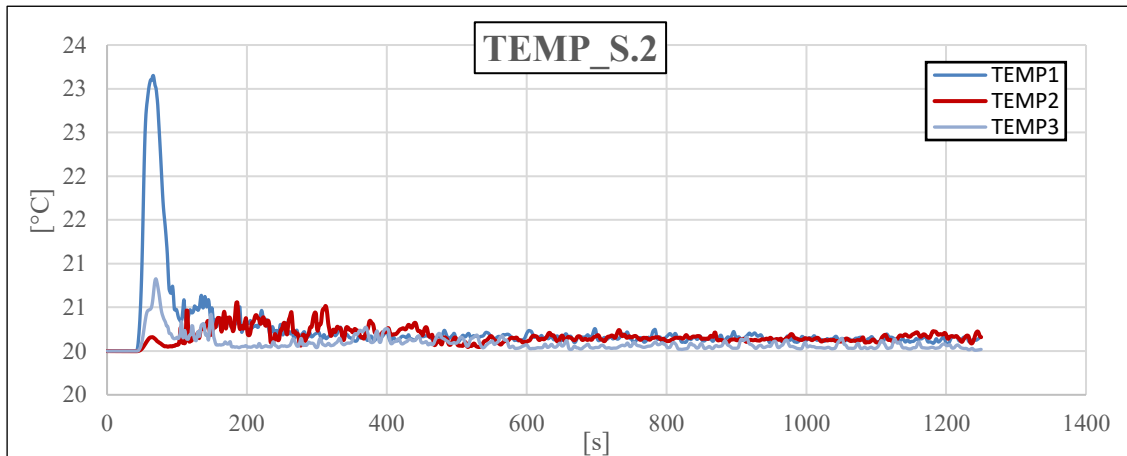


Figura 84-Grafico andamento temperatura S.2

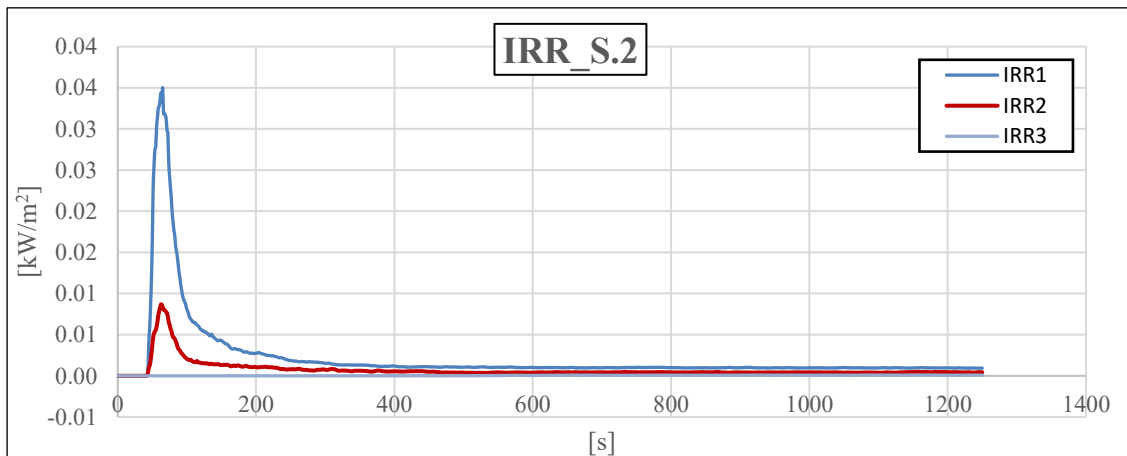


Figura 85-Grafico andamento irraggiamento S.2

Come è possibile notare, in nessuno dei due grafici, i parametri considerati raggiungono un valore critico, per poter definire ASET. Dunque, ASET in questo scenario di progetto ipotizzato risulta essere infinito.

Per questo motivo, ASET risulterà essere sempre maggiore di RSET.

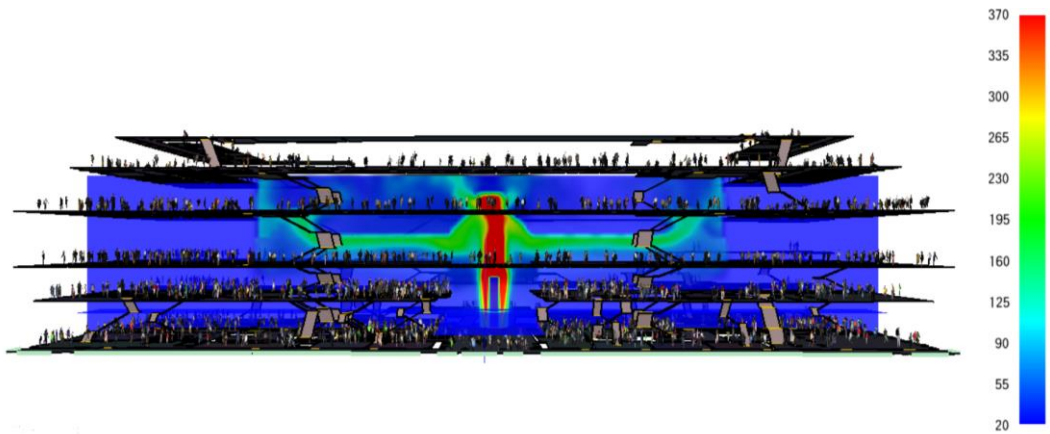


Figura 86-Temperatura [°C] S.2

83,1

Nonostante la visibilità sia un parametro di cui tener conto viene comunque riportato il risultato ottenuto tramite le slices, atto a dimostrare che grazie alla conformazione della Galleria non si raggiunge mai la soglia minima di visibilità grazie all'areazione naturale dell'edificio, la quale garantisce un ottimo smaltimento dei fumi.

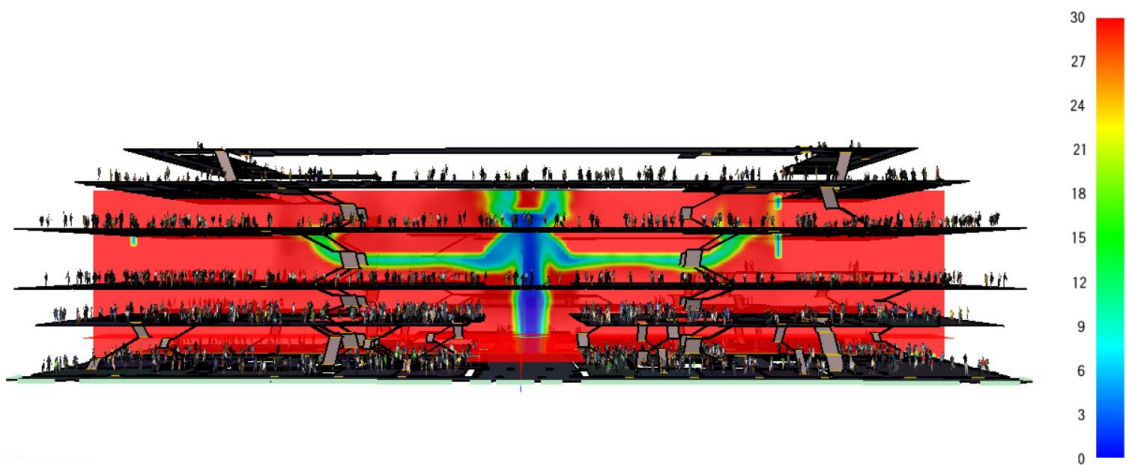


Figura 88-Visibilità [m] S.2

130,9

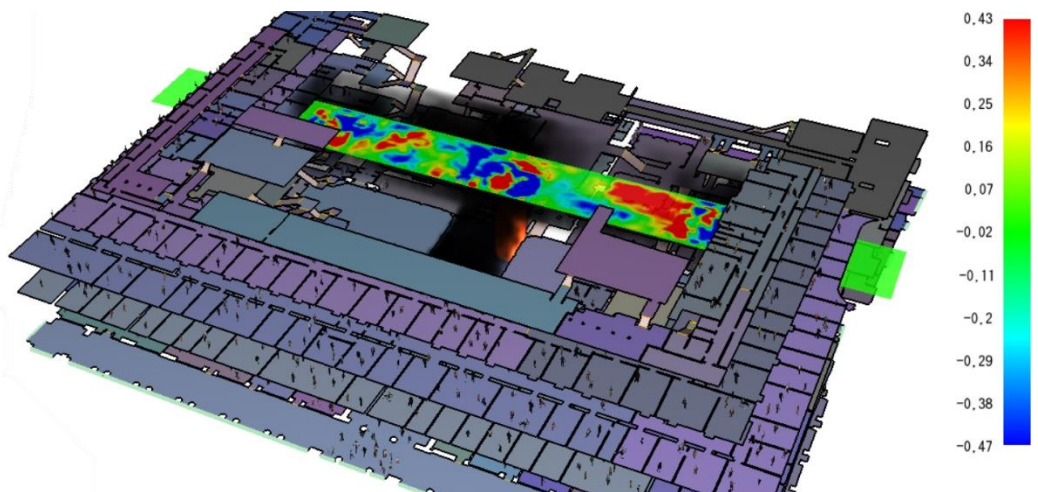


Figura 87-Velocità fumi [m/s]

3.7.3 Scenario 3

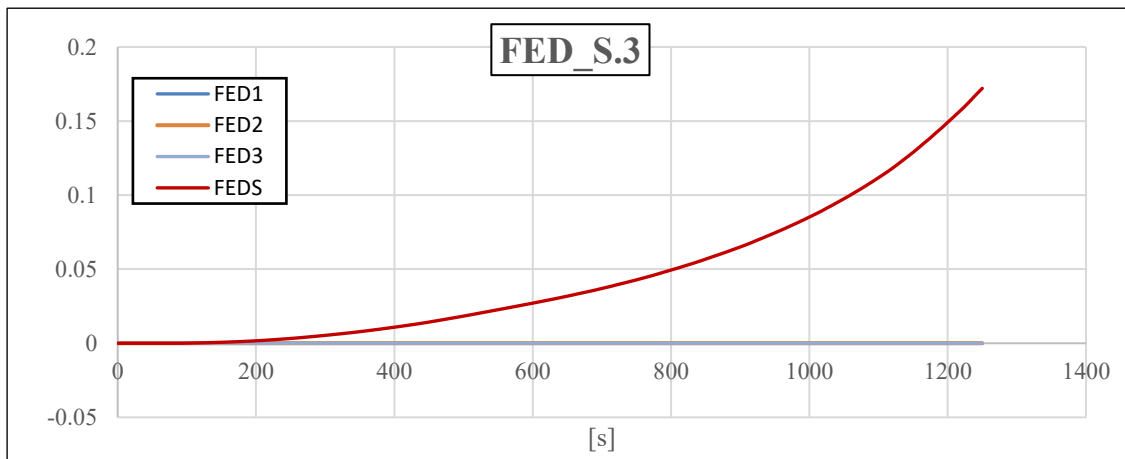


Figura 89-Andamento FED S.3

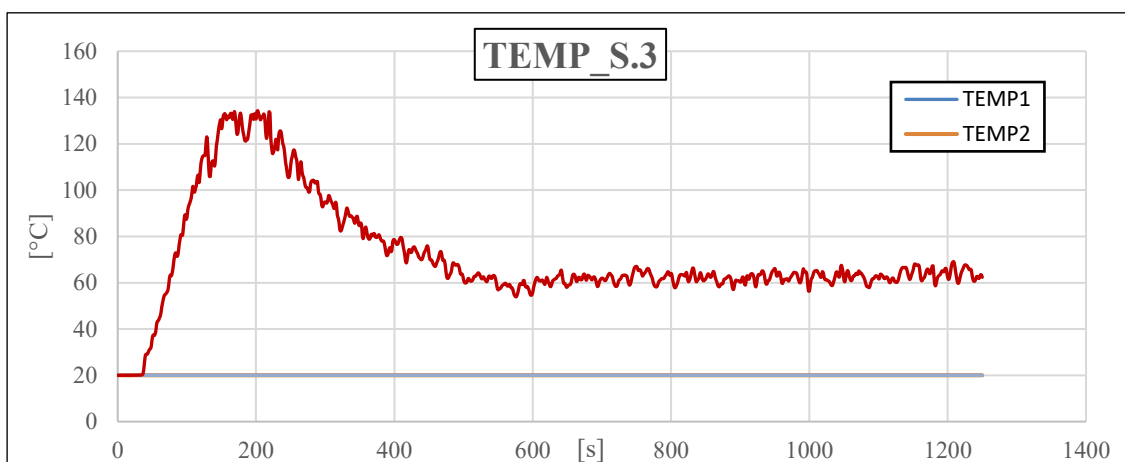


Figura 90-Andamento temperatura S.3

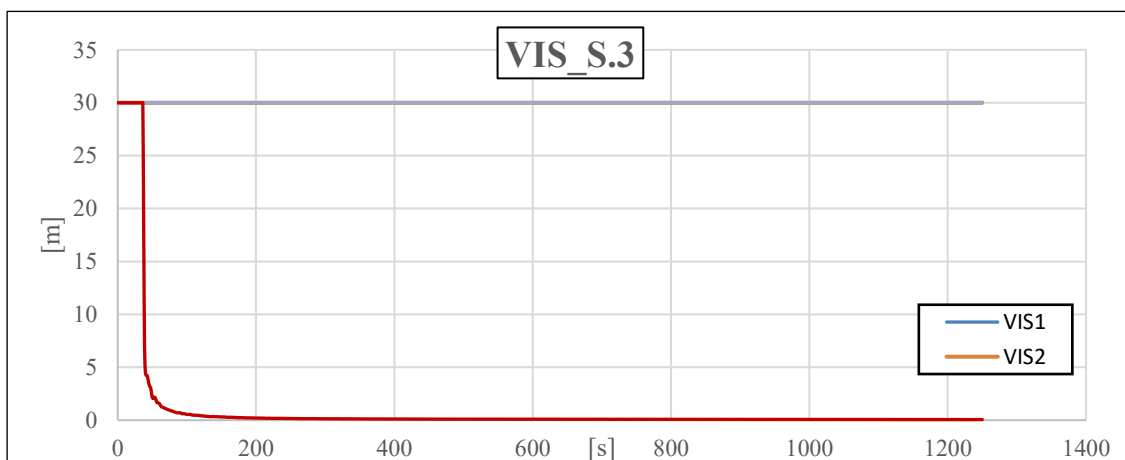


Figura 91-Andamento visibilità S.3

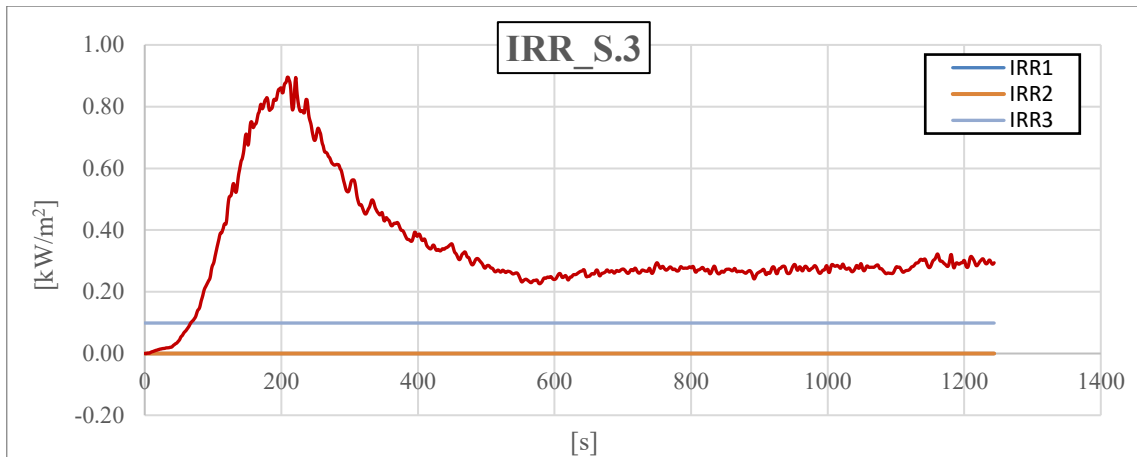


Figura 92-Andamento irraggiamento S.3

Com'è possibile evincere dai grafici, ma anche dalle immagini che seguono, già nei primi minuti tutti e quattro i parametri raggiungono i valori minimi per cui viene garantita la salvaguardia della vita. Dato prevedibile poiché si tratta di informazioni rilevate dai devices S (Ds), posto in prossimità dell'uscita del locale in cui vi è il focolare.

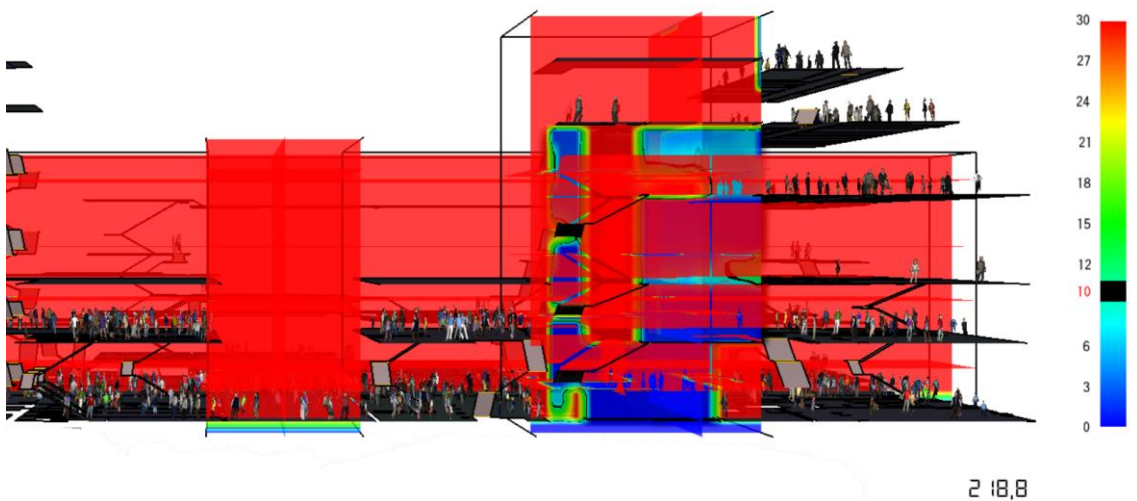


Figura 93-Visibilità vano scala B [m] S.3

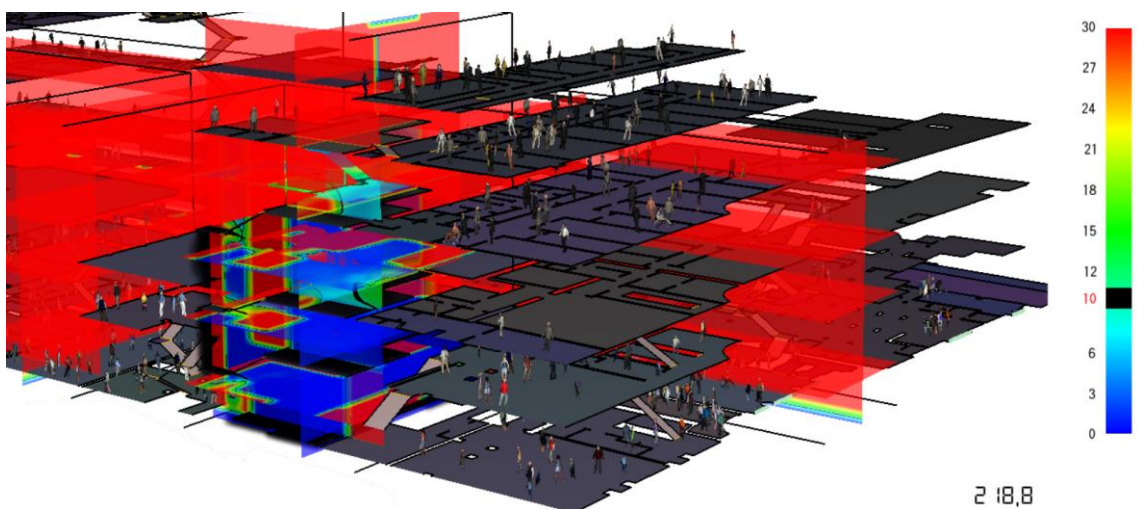
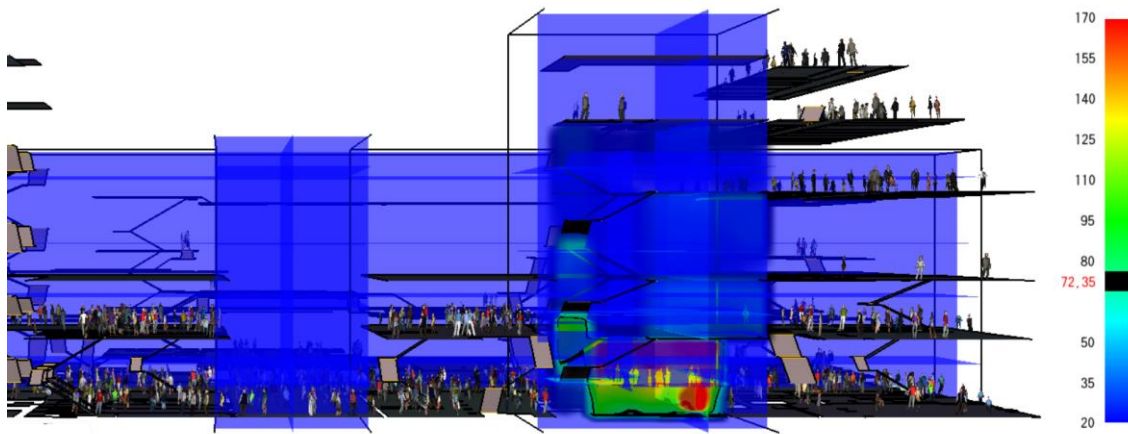
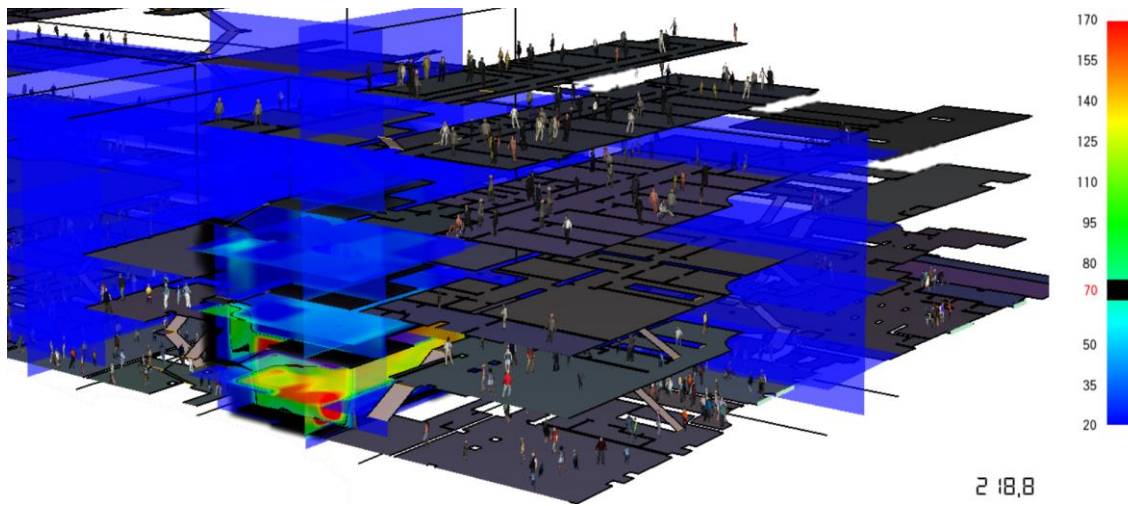


Figura 94-Visibilità vano scala B [m] S.3



2 18,8

Figura 95-Temperatura vano scala B [°C] S.3



2 18,8

Figura 96-Temperatura vano scala B [°C] S.3

Capitolo 4

Conclusioni

La maggior parte dei tecnici e dei professionisti, che applicano le proprie competenze alle questioni di sicurezza antincendio, si trovano a cercare risposte nelle norme, ma spesso quest'ultime non bastano, specialmente in quelle situazioni in cui le soluzioni suggerite non sono percorribili o soddisfacenti, soprattutto se si tratta di edifici complessi.

Per questo si è scelto di analizzare, a livello di prevenzione incendi, una struttura alla quale fosse difficile applicare il metodo prescrittivo, Galleria San Federico.

Il lavoro svolto è stato quello di verificare che l'edificio rispondesse all'esigenza di salvaguardia della vita, utilizzando una metodologia capace di verificare un sistema complesso in tutta la sua totalità, tenendo conto della compresenza di diverse attività, cosa che sarebbe risultata impossibile attraverso la tradizionale applicazione della normativa. Tale metodologia, è stata possibile solo grazie alla scelta di proseguire attraverso l'approccio prestazionale, il quale ha permesso di bypassare tutti i problemi che una vecchia normativa di tipo prescrittivo pone ed impone. In questo caso, come è possibile evincere dai risultati, l'esito è stato positivo, ma indifferentemente da questo, la Fire Safety Engineering risulta essere efficace per affrontare problematiche di edifici caratterizzati da promiscuità, e non solo, quantificando, diversamente dall'approccio prescrittivo, l'effetto delle misure applicate.

Si evince dunque che il principale vantaggio dell'approccio prestazione è rappresentato dall'estrema flessibilità, la quale permette la simulazione d'incendi in edifici di complessità anche elevata, ottimizzando i sistemi di protezione attiva e passiva, massimizzando i rapporti costi/benefici ed intervenendo laddove la norma non è applicabile.

Tale metodo può dunque essere ritenuto come “metodo progettuale futuro della prevenzione incendi”, destinato a diventar realtà consolidata, ed economicamente vantaggiosa.

Bibliografia e sitografia:

<https://www.puntosicuro.it/incendio-emergenza-primo-soccorso-C-79/gestione-emergenza-ed-evacuazione-C-84/emergenze-obblighi-del-datore-di-lavoro-diritti-dei-lavoratori-AR-17560/>

<https://www.fseprogetti.it/esodo-con-approccio-ingegneristico-fse/>

<https://www.thunderheadeng.com/>

<https://www.fseprogetti.it/wp-content/uploads/2019/06/FSE-in-Italia-2019-web.pdf>

<https://www.fse-italia.eu>

<https://www.edilizianamirial.it/analisi-evacuazione-persone-modello-evac/>

Antonio La Malfa, Salvatore La Malfa, Roberto La Malfa *Ingegneria della sicurezza antincendio: progettazione con il metodo tradizionale e il codice di prevenzione incendi*, 9° Edizione.

D.M. 3 agosto 2015 “*Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139. Allegato 1*”

G. Vulpiani, G. Ascenzi, G. Villi, *Ingegneria della sicurezza antincendio. Guida all'utilizzo di FDS (Fire Dynamics Simulator)*, 2010

Thunderhead Engineering, *Pathfinder* 2018

Thunderhead Engineering, *PyroSim User Manual*, 2018

Gissi (2015) - *Calcolo dei parametri per il dimensionamento dei sistemi d'esodo secondo soluzione conforme al Codice di prevenzione incendi, in Codice di prevenzione incendi commentato*, EPC Editore;

The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA, 3th edition

Morgan J. Hurley Editor-in-Chief, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*

Stefano Marsella, Luca Nassi, *L'ingegneria della sicurezza antincendio e il processo prestazionale*

Lettera Circolare DCPREV prot. n. 3181 del 15/3/2016 Linea guida per la valutazione, in deroga, dei progetti di edifici sottoposti a tutela ai sensi del d.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42, aperti al pubblico, destinati a contenere attività dell'allegato 1 al D.P.R. 1 agosto 2011.

ISO/TR 16738:2009-Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people