

Politecnico di Milano

Corso di laurea magistrale in

Ingegneria dei Sistemi Edilizi – Produzione e Costruzione

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni



Simulazione d'esodo applicata all'adattamento di un edificio da attività 72 ad attività 65

Relatore: Ing. Davide Luraschi

Tesi di Laurea Magistrale a cura di:

Co-Relatore: Ing. Matteo Paolo Giovanni Fiori

Mattia Galliani 969648

A.A. 2022/2023

ABSTRACT

L'analisi su cui verterà questo lavoro di tesi è la valutazione del tempo di esodo in un edificio adibito ad attività museale (attività 72 del "D.P.R. 151 2011") e successivamente adattato ad attività di pubblico spettacolo (attività 65 del "D.P.R. 151 2011").

L'obiettivo di questo lavoro è quello di analizzare e verificare se un edificio destinato ad attività museale può essere adattabile ad una destinazione di pubblico spettacolo, ipotizzando un futuro cambio di destinazione d'uso di due tipologie: un primo caso in cui l'attività di pubblico spettacolo è unica in tutto l'edificio e un secondo caso in cui vi sarà una attività diversa per ogni piano.

In primo luogo, verranno analizzate le normative utilizzate per la valutazione antincendio del progetto e i software impiegati durante il lavoro.

Successivamente, cercando di capire le criticità che possono contraddistinguere le diverse situazioni circa i percorsi di esodo in condizioni di emergenza, verranno analizzate sia in forma analitica che tramite il software "Mass Motion" le quattro casistiche seguenti: attività museale, attività di pubblico spettacolo unica in tutto l'edificio, attività di pubblico spettacolo diversa per ogni piano e il caso critico con una sola via di esodo verticale disponibile.

I risultati ottenuti confermeranno le ipotesi sull'adattabilità dell'edificio ad attività di pubblico spettacolo, riuscendo a determinare il massimo affollamento disponibile corrispondente a 826 occupanti. Anche il caso critico analizzato, benché non rispetti alcune misure descritte dal Codice, permette di avere un tempo di esodo adeguato considerando la classe di resistenza al fuoco delle strutture.

The topic on which this thesis will focus is the analysis of the time of exodus in a building used as a museum (activity 72 of "D.P.R. 151 2011") later adapted as a public shows's building (activity 65 of "D.P.R. 151 2011").

The aim of this work is to analyze and verify if a building used as a museum can be adaptable to a public shows's building, assuming a future change of intended use of two types: a first case where there is a unique public show in all the floors of the building and a second case where there is a different public show for each floor of the building.

At first, will be analyzed the regulations used for the fire safety evaluation of the project, and the softwares adopted.

Subsequently, will be analyzed in analytical form and also through the "Mass Motion" software the following cases: museum activity, unique public show activity in all the floors of the building, a different public show for each floor of the building and a critical case with only one vertical escape route available, trying to understand the critical issues that can be encountered as regard the escape routes in emergency conditions.

The results will confirm the hypotheses on the adaptability of the building to public shows activity, managing to determine the maximum crowding available corresponding to 826 occupants. Also the critical case, although it does not comply with some measures described in the "Codice", it allows to maintain an adequate exodus time, considering the class of fire resistance of structures.

INDICE

Sommario

INTRODUZIONE.....	1
1. NORMATIVE E SOFTWARE.....	2
1.1. CODICE DI PREVENZIONE INCENDI.....	2
1.2. D.P.R. 151 2011 AGGIORNATO.....	5
1.3. ISO/TR 16738.....	6
1.4. SOFTWARE.....	7
2. CASO STUDIO – MUSEO NAZIONALE DELLA RESISTENZA.....	8
2.1. APPLICAZIONE DEL CODICE.....	14
2.2. CALCOLO ANALITICO ESODO.....	22
2.3. SIMULAZIONE D’ESODO.....	27
2.4. CALCOLO TEMPO DI ESODO.....	31
3. PRIMA IPOTESI DI CAMBIO DESTINAZIONE D’USO.....	33
3.1. APPLICAZIONE DEL CODICE.....	38
3.2. CALCOLO ANALITICO.....	45
3.3. SIMULAZIONE MASS MOTION.....	47
3.4. CALCOLO TEMPO DI ESODO.....	48
4. PUBBLICO SPETTACOLO UNICO PER TUTTI I PIANI.....	50
4.1. APPLICAZIONE DEL CODICE.....	51
4.2. CALCOLO ANALITICO.....	56
4.3. SIMULAZIONE MASS MOTION.....	57
4.4. CALCOLO TEMPO DI ESODO.....	58
5. CASO CRITICO.....	60
5.1. CALCOLO ANALITICO.....	61
5.2. SIMULAZIONE MASS MOTION.....	62
5.3. CALCOLO TEMPO DI ESODO.....	63
6. CONCLUSIONI.....	65
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	68

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Schema approccio prescrittivo e prestazionale	2
Figura 2 - Categorie attività D.P.R. 151 2011.....	5
Figura 3 - Tabella tempo di rivelazione e tempo di allarme	6
Figura 4 - Tabella tempo di pre-movimento.....	6
Figura 5 - Caratteristiche prevalenti degli occupanti	7
Figura 6 - Masterplan Porta Volta	8
Figura 7 - Interazione edificio e Mura Spagnole.....	9
Figura 8 - Attività 34, 49 e 72 D.P.R. 151 2011	10
Figura 9 - Tipologie di attività e densità di affollamento Codice di Prevenzione Incendi	10
Figura 10 - Tabella generale edificio museo.....	11
Figura 11 - Tabella piani considerati edificio museo	11
Figura 12 - Tabella G.3-1: Caratteristiche prevalenti degli occupanti	14
Figura 13 - Tabella G.3-2: Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio	14
Figura 14 - Schema sezione profili di rischio	15
Figura 15 - Tabella G.3-4: Profilo di rischio Rvita per alcune tipologie di destinazione d'uso	15
Figura 16 - Tabella G.3-5: Determinazione Rbeni.....	16
Figura 17 - Tabella V.10-1: Classe di resistenza al fuoco	16
Figura 18 - Tabella S.4-15: Numero minimo di uscite indipendenti da locale o spazio a cielo libero	17
Figura 19 - Numero uscite dal piano	17
Figura 20 - Tabella S.4-18: Condizioni per il corridoio cieco	17
Figura 21 - Tabella S.4-25: Massime lunghezze d'esodo	18
Figura 22 - Tabella S.4-20: Condizioni per l'omissione di porzione di corridoio cieco	18
Figura 23 - Massime lunghezze di esodo nell'edificio	19
Figura 24 - Tabella S.4-27: Larghezze unitarie per vie d'esodo orizzontali	19
Figura 25 - Tabella S.4-28: Larghezze minime per vie d'esodo orizzontali.....	20
Figura 26 - Tabella S.4-29: Larghezze unitarie per vie di esodo verticali	20
Figura 27 - Schema principio ASET > RSET.....	22
Figura 28 - Tabella larghezza inutilizzata per elementi della via di esodo	24
Figura 29 - Tabella fattore di velocità per elementi della via di esodo	25
Figura 30 - Modello Revit	27
Figura 31 - Sezione modello Revit	28
Figura 32 - Distinzione elementi per colore Mass Motion	28
Figura 33 - Portale Mass Motion	29
Figura 34 - Portale al tempo zero	29
Figura 35 - Profilo proprietà Mass Motion	29
Figura 36 - Esempio di attività Mass Motion.....	30
Figura 37 - Minuto 1.51 simulazione Mass Motion.....	30
Figura 38 - Tabella tempo di rivelazione e tempo di allarme edificio museo	31
Figura 39 - Tabella tempo di pre-movimento edificio museo	32
Figura 40 - Attività 65 D.P.R. 151 2011.....	33
Figura 41 - Indice di affollamento Codice di Prevenzione Incendi	33
Figura 42 - Tabella S.4-9: Massimo numero di sedili fissi per fila del settore	34
Figura 43 - Distanze posti a sedere edificio museo	34
Figura 44 - Tabella piani considerati prima ipotesi	35
Figura 45 - Tabella G.3-1: Caratteristiche prevalenti degli occupanti	38
Figura 46 - Tabella G.3-2: Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio	38

Figura 47 - Schema sezione profili di rischio	39
Figura 48 - Tabella G.3-4: Profilo di rischio Rvita per alcune tipologie di destinazione d'uso	39
Figura 49 - Tabella G.3-5: Determinazione di Rbeni.....	40
Figura 50 - Tabella V.15-1: Classe di resistenza al fuoco	40
Figura 51 - Tabella V.4-15: Numero minimo di uscite indipendenti da locale o spazio a cielo libero	41
Figura 52 - Numero uscite dal piano	41
Figura 53 - Tabella S.4-18: Condizioni per il corridoio cieco	41
Figura 54 - Tabella S.4-25: Massime lunghezze d'esodo	42
Figura 55 - Tabella S.4-20: Condizioni per l'omissione di porzione di corridoio cieco	42
Figura 56 - Massime lunghezze di esodo nell'edificio	42
Figura 57 - Tabella S.4-27: Larghezze unitarie per vie d'esodo orizzontali	43
Figura 58 - Tabella S.4-28: Larghezze minime per vie d'esodo orizzontali.....	43
Figura 59 - Tabella S.4-29: Larghezze unitarie per vie di esodo verticali	44
Figura 60 - Tabella fattore di velocità per elementi della via di esodo	45
Figura 61 - Simulazione al tempo zero	47
Figura 62 - Primo individuo a raggiungere l'esterno	47
Figura 63 - Tabella tempo di rivelazione e tempo di allarme edificio pubblico spettacolo prima ipotesi	48
Figura 64 - Tabella tempo di pre-movimento edificio museo	48
Figura 65 - Tabella piani considerati seconda ipotesi.....	50
Figura 66 - Schema sezione profili di rischio	51
Figura 67 - Tabella G.3-5: Determinazione di Rbeni.....	51
Figura 68 - Tabella V.15-1: Classe di resistenza al fuoco	52
Figura 69 - Numero uscite dal piano	52
Figura 70 - Massime lunghezze d'esodo nell'edificio	53
Figura 71 - Tabella S.4-27: Larghezze unitarie per vie d'esodo orizzontali	53
Figura 72 - Tabella S.4-28: Larghezze minime per vie d'esodo orizzontali.....	54
Figura 73 - Tabella S.4-29: Larghezze unitarie per vie di esodo verticali	54
Figura 74 - Simulazione seconda ipotesi Mass Motion	57
Figura 75 - Tabella tempo di rivelazione e tempo di allarme edificio pubblico spettacolo seconda ipotesi ..	58
Figura 76 - Tabella tempo di pre-movimento edificio pubblico spettacolo seconda ipotesi.....	58
Figura 77 - Unica via di esodo verticale caso critico.....	60
Figura 78 - Simulazione caso critico Mass Motion	62
Figura 79 - Tabella tempo di rivelazione e tempo di allarme edificio pubblico spettacolo caso critico	63
Figura 80 - Tabella tempo di pre-movimento edificio pubblico spettacolo caso critico	63
Figura 81 - Tabella riassuntiva risultati ottenuti.....	66
Figura 82 - Tabella riassuntiva considerando gli effetti dell'incendio	66

INTRODUZIONE

L'analisi dell'esodo applicata ad un edificio pubblico, che potenzialmente ospita un gran numero di occupanti, risulta di fondamentale importanza in termini di progettazione antincendio e di pianificazione dell'emergenza. Grazie ad essa, è possibile individuare le criticità dei percorsi di esodo sia in situazioni normali che in condizioni di emergenza, potendo analizzare il comportamento degli individui durante la fuga ed eventuali ostacoli incontrati nei loro percorsi.

Nel presente documento si effettuerà un'analisi dei tempi di esodo di un edificio, non ancora realizzato, scelto come caso studio: il Museo Nazionale della Resistenza di Milano, la cui realizzazione è prevista per l'anno 2025/2026. Questo edificio ospiterà attività museale (attività 72 del "Codice di Prevenzione Incendi") ad eccezione di alcuni piani destinati a locali tecnici e uffici.

Lo Studio Luraschi ha condotto la valutazione antincendio del progetto, verificandone l'idoneità secondo il "Codice di Prevenzione Incendi". La relazione antincendio condotta dallo Studio Luraschi permette di individuare le criticità riscontrate e le istanze di deroga ritenute necessarie per il raggiungimento dell'idoneità antincendio.

A partire da questa analisi dell'edificio, verrà condotta una valutazione del tempo di esodo, prima in forma analitica e successivamente utilizzando un software dedicato: "Mass Motion", un software di casa Oasys impiegato per la realizzazione di simulazioni dinamiche di esodo.

L'idea di questo lavoro di tesi parte dall'ipotesi di un futuro cambio di destinazione d'uso dell'edificio. È stato supposto che da attività museale potrà ospitare delle attività di pubblico spettacolo, considerando gli spazi interni dell'edificio, il contesto e la sua localizzazione, è ipotizzabile che potrebbe riscontrare un grande successo anche come luogo di pubblici eventi.

In tal senso, verrà ripetuta la simulazione di esodo in ulteriori due casistiche. La prima vede l'edificio ospitare diverse attività di pubblico spettacolo ad ogni piano, a partire da spettacoli cinematografici, a spettacoli musicali o a feste e cene, e la seconda in cui l'edificio è interamente dedicato ad un'unica attività.

1. NORMATIVE E SOFTWARE

1.1. CODICE DI PREVENZIONE INCENDI

Fino al 2015 la valutazione antincendio degli edifici veniva condotta secondo un approccio di tipo prescrittivo, basato sul fatto che *“il rispetto di determinati requisiti nel progetto rappresenti la garanzia del raggiungimento dei livelli minimi di sicurezza”*, e quindi *“consiste nel rispetto di regole tecniche, basate su strumenti di calcolo (ad esempio, gli Eurocodici per il calcolo analitico della classe REI delle strutture, le curve standard d’incendio, ecc), e consistenti in misure preventive e protettive da rispettare come vincoli di progetto e codificate in disposizioni legislative. Il rispetto di tali regole rappresenta dunque, garanzia di un livello di rischio residuo accettabile”*.

Secondo l’approccio prescrittivo *“non è ammessa alcuna soluzione progettuale alternativa a quella impostata dal legislatore. Qualora, per caratteristiche strutturali o architettoniche, le stesse risultino non applicabili, la sicurezza antincendio del progetto viene assicurata dall’applicazione di disposizioni suppletive concordate con i VV.F. (procedimento di deroga art. 6 del d.p.r. 151 del 1 agosto 2011)”*.

Dal 2015, invece, con l’introduzione del DM 03.08.2015, viene proposto un approccio di tipo prestazionale, basato *“sullo studio dell’evoluzione dinamica dell’incendio e quindi sulla previsione scientifica della prestazione della struttura progettata”* e *“sui criteri che caratterizzano l’ingegneria della sicurezza antincendio, Fire Safety Engineering (F.S.E.)”*, su principi ingegneristici, regole e giudizi basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell’incendio e del comportamento umano.

L’approccio prestazionale *“affronta la valutazione del rischio incendio mediante la previsione di scenari verosimili e lo studio delle prestazioni minime del progetto durante l’evoluzione dell’incendio”*. Si concentra *“su tutto ciò che l’attività (struttura, impianti, gestione, ecc.) debba garantire, piuttosto che su come debba essere realizzata, definendo quindi esplicitamente obiettivi prestazionali, sulla base di esperte valutazioni in merito a performance finali che contemplano anche la scelta su mirati metodi di calcolo nonché la definizione degli aspetti costruttivi”*.

Con questo nuovo metodo, la valutazione del rischio *“non è fatta ex ante ma sul caso reale e concreto; pertanto il progettista effettua la scelta della misura (intesa come l’insieme delle misure tecniche e, in uguale modo, gestionali) adeguata al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza da raggiungere, giudica l’adeguatezza dei materiali e delle tecniche di analisi, assumendosene direttamente la responsabilità al fine di garantire direttamente le prestazioni strutturali quali valori soglia”*.

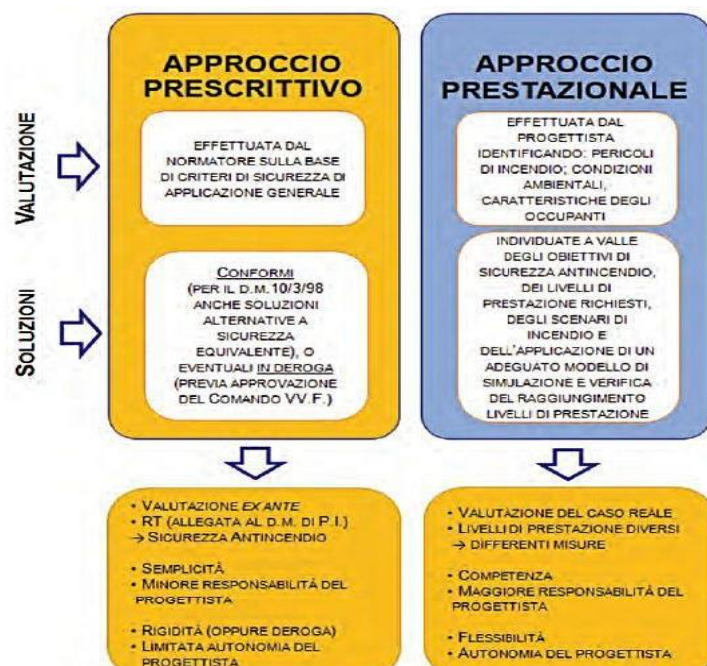


Figura 1 - Schema approccio prescrittivo e prestazionale

Progettare seguendo il nuovo metodo, presente nel DM 03.08.2015, *“significa massima flessibilità nell’individuare le soluzioni tecniche e gestionali finalizzate al raggiungimento del livello di sicurezza accettabile mediante soluzioni diverse da quelle standard (prescrizioni) e specifiche, probabilmente meno onerose ma altrettanto efficaci. In questo modo si favorisce l’utilizzo di nuove tecnologie (che nel complesso potrebbero addirittura risultare meno onerose) e l’adeguamento alle situazioni peculiari dell’attività ottenendo inoltre anche la possibilità di un’ottimizzazione dei costi senza compromettere la sicurezza”*.

La novità dell’approccio prestazionale e ingegneristico consiste nel fatto *“che, di ogni misura alternativa, può essere quantificato l’effetto; fino ad oggi, invece, si accettavano misure secondo un criterio qualitativo, senza nessuna possibilità di misurare l’impatto effettivo dei singoli strumenti sull’evoluzione dell’incendio”*.

Il codice di prevenzione incendi si divide in 10 sezioni differenziate in base alle diverse misure antincendio per comporre la strategia antincendio. Il professionista antincendio può accettare le soluzioni conformi al Codice, oppure proporre delle soluzioni alternative o presentare istanze di deroga, proponendo altre soluzioni tecniche.

L’applicazione delle soluzioni proposte dal Codice non è obbligatoria, ma facoltativa. Nulla vieta al progettista antincendio di adottare e seguire una norma antecedente al 2015.

Il Codice di Prevenzione Incendi si compone di una prima parte costituita da 5 articoli ed un allegato. L’allegato si divide in 4 sezioni principali:

- Sezione G – Generalità
- Sezione S – Strategie antincendio
- Sezione V – Regole Tecniche Verticali
- Sezione M - Metodi

Sezione G:

In questa sezione vengono presentate le definizioni generali, le metodologie di progettazione della sicurezza antincendio e le tipologie di profili di rischio di incendio nei compartimenti e nelle attività nel suo complesso.

Sezione S:

In questa sezione vengono presentate le strategie antincendio composte da misure antincendio, consistenti in diversi livelli di prestazione. I livelli di prestazione sono classificati in funzione della complessità crescente delle prestazioni previste, degli obiettivi di sicurezza da raggiungere e della valutazione del rischio dell’attività.

Ad ogni misura antincendio, il codice propone una soluzione conforme. Il progettista antincendio può scegliere di attenersi a tale proposta o proporre una soluzione alternativa o una soluzione di deroga.

Le ipotesi fondamentali del Codice di Prevenzione Incendi sono due:

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

Quindi, per quanto riguarda il primo punto, sono esclusi gli incendi dolosi o quelli causati da eventi straordinari, per il secondo punto invece, vengono selezionate delle misure antincendio in grado di minimizzare il rischio, in termini di probabilità e conseguenze.

La sezione S, a sua volta, si suddivide in dieci sottosezioni, che compongono l'intero quadro delle strategie antincendio:

- S.1 – Reazione al fuoco
- S.2 – Resistenza al fuoco
- S.3 – Compartimentazione
- S.4 – Esodo
- S.5 – Gestione della Sicurezza Antincendio (GSA)
- S.6 – Controllo dell'incendio
- S.7 – Rivelazione ed allarme
- S.8 – Controllo dei fumi e del calore
- S.9 – Operatività antincendio
- S.10 – Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio

Le prime due sezioni (G e S) costituiscono le Regole Tecniche Orizzontali (RTO), ovvero sono applicabili ad ogni caso e attività, avendo una applicazione più generale.

Sezione V:

La seguente sezione presenta quelle che sono le regole tecniche verticali (RTV). Le RTV sono disposizioni applicabili ad una specifica attività e consentono di ottenere una maggiore specificità fornendo ulteriori indicazioni rispetto alle regole già previste dal Codice.

- V.1 – Aree a rischio specifico
- V.2 – Aree a rischio per atmosfere esplosive
- V.3 – Vani degli ascensori
- V.4 – Uffici (DM 8 giugno 2016)
- V.5 – Alberghi (DM 9 agosto 2016)
- V.6 – Autorimesse (DM 21 febbraio 2017)
- V.7 – Attività scolastiche (DM 7 agosto 2017)
- V.8 – Centri commerciali (DM 23 novembre 2018)

Sezione M:

L'ultima sezione definisce le metodologie di progettazione FSE (Fire Safety Engineering) ovvero definita secondo il Codice come "l'applicazione di principi ingegneristici, di regole e di giudizi esperti basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano, finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione dei rischi di incendio e dei relativi effetti ed alla valutazione analitica delle misure antincendio ottimali, necessarie a limitare entro livelli prestabiliti le conseguenze dell'incendio".

La FSE permette inoltre di dimostrare la correttezza e l'efficacia delle soluzioni di deroga proposte, prevedendo un approccio più ingegneristico, in termini scientifici.

Si tratta di un procedimento molto oneroso in termini economici e progettuali, pertanto, viene adottato solo se espressamente richiesto dal Comando dei Vigili del Fuoco oppure se vi sono delle soluzioni alternative o in deroga, che prevedono elevati risparmi economici per il titolare o costruttore e si vuole dimostrarne l'idoneità.

Le RTO sono le indicazioni generali applicabili a qualunque attività, mentre le RTV sono indicazioni complementari o sostitutive alle RTO per una specifica attività.

Il procedimento da seguire durante la progettazione con il Codice prevede una prima identificazione delle attività che interessano il progetto. Dopodiché vengono stabiliti i profili di rischio per ogni attività riscontrata (Rvita, Rbeni e Rambiente). A questo punto, è possibile determinare i livelli di prestazione per ogni strategia di incendio, cioè la combinazione delle misure antincendio. Infine, se le attività presenti nel progetto hanno una corrispondente RTV, si procede seguendo le indicazioni specifiche previste dalla Regola.

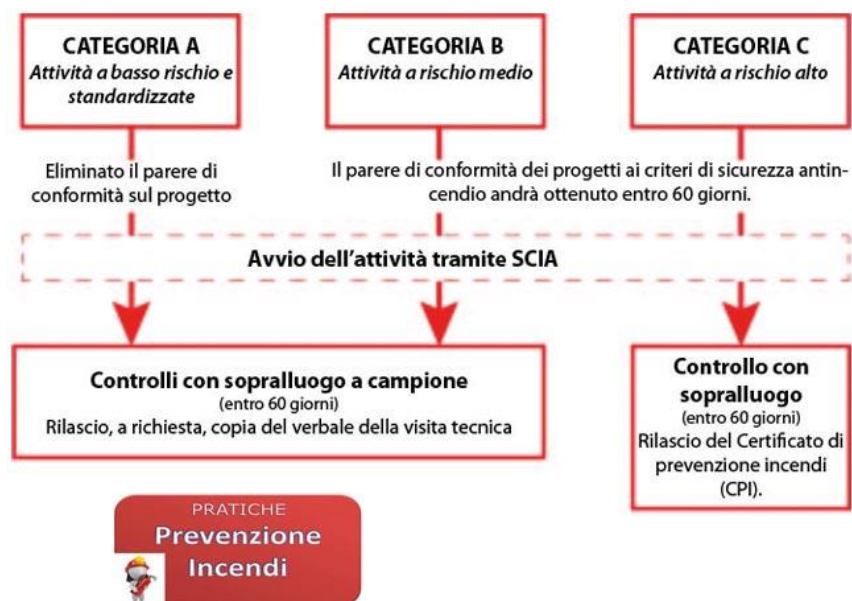
1.2. D.P.R. 151 2011 AGGIORNATO

Oltre al Codice di Prevenzione Incendi, si è fatto riferimento anche al D.P.R. 151/2011: si tratta del decreto vigente che individua le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi e stabilisce le nuove procedure per la valutazione dei progetti da parte dei Comandi Provinciali dei Vigili del Fuoco competenti per territorio, per i controlli di prevenzione incendi, per il rinnovo periodico di conformità antincendio, per l'approvazione di deroghe a specifiche normative, per i nulla osta di fattibilità, per le verifiche incasso d'opera.

L'elenco di attività a cui si è fatto riferimento non è rimasto invariato dal 2011, bensì, dopo dieci anni dalla sua emanazione, il D.P.R. 151 è stato aggiornato dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Il D.P.R. 151 del 2011 prevede la distinzione delle attività in tre categorie (A, B e C) per le quali è prevista una disciplina differenziata in relazione al rischio:

- Categoria A: attività a basso rischio e standardizzata
- Categoria B: attività a medio rischio
- Categoria C: attività ad elevato rischio



A fianco, uno schema riassuntivo della principale novità proposta dal D.P.R.

Figura 2 - Categorie attività D.P.R. 151 2011

1.3. ISO/TR 16738

Infine, l'ultima normativa a cui si è fatto riferimento è la ISO/TR 16738. Questa norma, in vigore dal 2009, ha lo scopo di fornire informazioni sui metodi ingegneristici disponibili per le strategie di evacuazione in relazione alla valutazione degli aspetti della sicurezza antincendio. Vengono presentate informazioni sulla valutazione, la quantificazione e la gestione del comportamento degli occupanti, in particolare il comportamento di fuga, durante un'emergenza incendio. Verrà infatti utilizzata per determinare il tempo di esodo degli occupanti attraverso un metodo tabellare sulla base del profilo di rischio dell'edificio.

Di seguito sono riportate le tabelle che verranno prese in considerazione durante le analisi:

Profilo di rischio R_{vita}	$t_{det} + t_a$ [sec]	descrizione
A ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio
A ₂	180	Attività probabilmente provviste di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio
A ₃	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
A ₄	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni.
B ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B ₂	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B ₃	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
C ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
C ₂	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
C ₃	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni.
D ₁	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
D ₂	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni

Figura 3 - Tabella tempo di rivelazione e tempo di allarme

Profilo di rischio R_{vita}	$t_{pre(1^\circ)}$ [sec]	$t_{pre(99^\circ)}$ [sec]	descrizione
A ₁	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A ₂	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A ₃	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
A ₄	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
B ₁	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B ₂	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B ₃	30	150	B: Awake and unfamiliar, M1 B1 A1-A2
C ₁	1200	2400	C: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
C ₂	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
C ₃	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
D ₁	600	1200	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
D ₂	300	600	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2

$t_{pre(1^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione dei primi occupanti a muoversi A tipologia sistemi allarme
 $t_{pre(99^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione degli ultimi occupanti a muoversi B complessità edifici
M tipo gestione sicurezza

Figura 4 - Tabella tempo di pre-movimento

1.4. SOFTWARE

Mass Motion è un software sviluppato dal 1977 dalla società OASYS (Ove Arup SYStem) basato sulla simulazione dinamica pedonale sia in ambienti al chiuso che all'aperto. È in grado di simulare diversi scenari di evacuazioni come quello in caso di incendio (FSE Fire Safety Engineering) o di altre tipologie di emergenze, permettendo così di identificare i potenziali rischi per la sicurezza.

La simulazione si incentra sul sistema "Agent", ha cioè l'obiettivo di analizzare come gli individui interagiscono tra loro e con l'ambiente circostante.




Partendo da un modello tridimensionale, simula dei percorsi realistici percorribili fisicamente dagli individui, che si muovono all'interno del modello scegliendo in maniera autonoma la propria traiettoria.

Grazie all'integrabilità con il mondo BIM, è possibile partire da modelli tridimensionali realizzati su altri software; nel caso considerato è stato utilizzato Autodesk Revit 2022: un software BIM per la progettazione con elementi di modellazione parametrica e di disegno. La collaborazione tra questi due software è resa possibile dall'estensione ".ifc" in cui può essere esportato un modello Revit.

Mass Motion permette di impostare alcuni parametri di input, tra cui la velocità degli occupanti per simulare in maniera più accurata le caratteristiche prevalenti degli occupanti descritte dal Codice:

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

[1] Quando nel presente documento si usa C la relativa indicazione è valida per Ci, Cii, Ciii

Figura 5 - Caratteristiche prevalenti degli occupanti

Come è intuibile, nei diversi casi gli occupanti avranno una velocità di esodo differente; un individuo in stato di veglia che conosce l'edificio può fuggire in un minor tempo rispetto ad un individuo addormentato. Andando a modificare i valori della velocità di esodo in Mass Motion sarà possibile avere simulazioni più realistiche e specifiche ad ogni situazione.

2. CASO STUDIO – MUSEO NAZIONALE DELLA RESISTENZA

Il Museo Nazionale della Resistenza è un progetto del Ministero della Cultura e del Comune di Milano con il supporto dell'Istituto Nazionale Ferruccio Parri e della rete degli Istituti italiani per la Storia della Resistenza e dell'Età Contemporanea.

Il Museo “offrirà al visitatore un’immagine aggiornata e complessa della Resistenza, inserendola nel contesto europeo e nel lungo periodo; fornirà documenti, scenari e narrazioni per far conoscere la storia dell’Italia in età contemporanea e stimolare un dibattito funzionale a costruire una cittadinanza consapevole, fondamentale per l’identità nazionale e la repubblica democratica” e “intende ricostruire la storia della memoria pubblica italiana della Resistenza, dalle cerimonie istituzionali al dibattito giornalistico, nelle varie rappresentazioni culturali, letterarie, artistiche e di cultura popolare”.

Da un punto di vista architettonico, il masterplan di Porta Volta rappresenta un intervento di ridefinizione dell’area, già iniziato con la realizzazione del progetto di Herzog & de Meuron per la Fondazione Giangiacomo Feltrinelli, completato nel 2016. Il Museo è stato progettato come suo gemello e avrà sede esattamente di fronte ad esso.



Figura 6 - Masterplan Porta Volta

Caratteristica particolare dell’edificio è rappresentata dalle Mura Spagnole, le antiche mura risalenti al sedicesimo secolo, che si estendono all’interno del sito destinato ad ospitare il Museo. Le Mura Spagnole sono ciò che resta delle fortificazioni che, a partire dai tempi romani, hanno definito i confini della città. Al piano terra del Museo sarà quindi possibile ammirare i resti di queste mura, che verranno inglobate e integrate nel Museo stesso, come si vede nelle seguenti immagini.

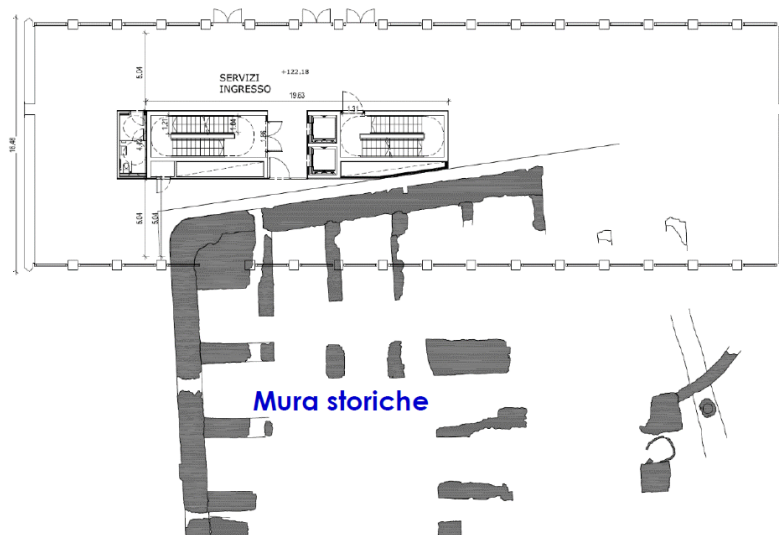


Figura 7 - Interazione edificio e Mura Spagnole

L'edificio si sviluppa su 6 piani fuori terra e 3 piani interrati per un totale di 4827 m². I piani interrati ospitano locali tecnici (piano -1 e -3) e archivio (piano -2), il piano terra presenta l'ingresso e un book shop, mentre gli altri piani fuori terra presentano aree espositive, ad eccezione del piano 4, destinato ad uffici, e dell'ultimo piano (piano 6) occupato nuovamente da locali tecnici.

Piano	Destinazione d'uso	Superficie [m ²]
-3	area locali tecnici	707
-2	archivio	532
-1	area locali tecnici	636
0	ingresso, book shop	432
1	area espositiva	475
2	area espositiva	475
3	area espositiva	475
4	uffici	475
5	area espositiva	475
6	area locali tecnici	145
totale		4827

Secondo l'elenco delle attività presente nel D.P.R. 151/2011, nell'edificio sono presenti tre attività differenti:

34	Depositi di carta, cartoni e prodotti cartotecnici, archivi di materiale cartaceo, biblioteche, depositi per la cernita della carta usata, di stracci di cascami e di fibre tessili per l'industria della carta, con quantitativi in massa superiori a 5.000 kg .		fino a 50.000 kg	oltre 50.000 kg
49	Gruppi per la produzione di energia elettrica sussidiaria con motori endotermici ed impianti di cogenerazione di potenza complessiva superiore a 25 kW.	fino a 350 kW	oltre 350 kW e fino a 700 kW	oltre 700 kW
72	Edifici sottoposti a tutela ai sensi del d.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42, aperti al pubblico, destinati a contenere biblioteche ed archivi, musei, gallerie,			

Figura 8 - Attività 34, 49 e 72 D.P.R. 151 2011

I piani fuori terra rientrano nell'attività 72, il piano -2 come attività 34 e i rimanenti piani interrati (-1 e -3) come attività 72 (locali tecnici) e attività 49.

Piani	Attività soggette
Fuori terra	Att. 72
2 interrato	Att. 34
1 – 3 interrato	Att. 72 (locali tecnici) + Att. 49

Per determinare l'affollamento massimo di ogni piano, il Codice propone una tabella di densità di affollamento divise per tipologia di attività:

Tipologia di attività	Densità di affollamento
Ambiti all'aperto destinati ad attività di spettacolo o intrattenimento, delimitati e privi di posti a sedere	2,0 persone/m ²
Locali al chiuso di spettacolo o intrattenimento (es. sale concerti, trattenimenti danzanti, ...) privi di posti a sedere e di arredi, con carico di incendio specifico $q_f \leq 50 \text{ MJ/m}^2$	
Ambiti per mostre, esposizioni	1,2 persone/m²
Ambiti destinati ad attività di spettacolo o intrattenimento (es. sale concerti, trattenimenti danzanti, ...) con presenza di arredi o con carico di incendio specifico $q_f > 50 \text{ MJ/m}^2$	
Ambiti adibiti a ristorazione	0,7 persone/m ²
Ambiti adibiti ad attività scolastica e laboratori (senza posti a sedere)	0,4 persone/m ²
Sale d'attesa	
Uffici	
Ambiti di vendita di <i>piccole</i> attività commerciali al dettaglio con settore alimentare o misto	
Ambiti di vendita di <i>medie e grandi</i> attività commerciali al dettaglio con settore alimentare o misto	0,2 persone/m ²
Ambiti di vendita di attività commerciali al dettaglio senza settore alimentare	
Sale di lettura di biblioteche, archivi	
Ambulatori	0,1 persone/m ²
Ambiti di vendita di attività commerciali all'ingrosso	
Ambiti di vendita di <i>piccole</i> attività commerciali al dettaglio con specifica gamma merceologica non alimentare	
Civile abitazione	0,05 persone/m ²

Figura 9 - Tipologie di attività e densità di affollamento Codice di Prevenzione Incendi

Utilizzando l'indice di affollamento proposto dal Codice, però, si otterrebbe un affollamento massimo di più di 3'360 persone. Lo Studio Luraschi, a favore di sicurezza e in accordo con il Ministero, ha optato per un affollamento massimo di circa 600 persone, distribuite come mostra la seguente tabella:

Piano	Destinazione d'uso	Superficie [m ²]	Affollamento massimo
-3	area locali tecnici	707	2
-2	area locali tecnici	532	-
-1	area locali tecnici	636	2
0	ingresso, book shop	432	120
1	area espositiva	475	120
2	area espositiva	475	120
3	area espositiva	475	120
4	uffici	475	40
5	area espositiva	475	70
6	area locali tecnici	145	2
totale		4827	596

Figura 10 - Tabella generale edificio museo

Ma poiché, i piani destinati a locali tecnici e archivio (piani -3,-2,-1 e 6) hanno un affollamento massimo di 6 persone totali, è stato deciso di non considerarli nella analisi di questa tesi. Infatti, il numero di occupanti di questi piani corrisponde all'1% dell'affollamento totale dell'edificio, ed inoltre, nelle ipotesi di cambio di destinazione d'uso, questi piani rimarranno invariati, essendo destinati ad attività necessarie per tutti gli scenari ipotizzati (locali tecnici, servizi e archivio). Di seguito, quindi, è riportata la tabella con i piani analizzati e il corrispondente affollamento massimo:

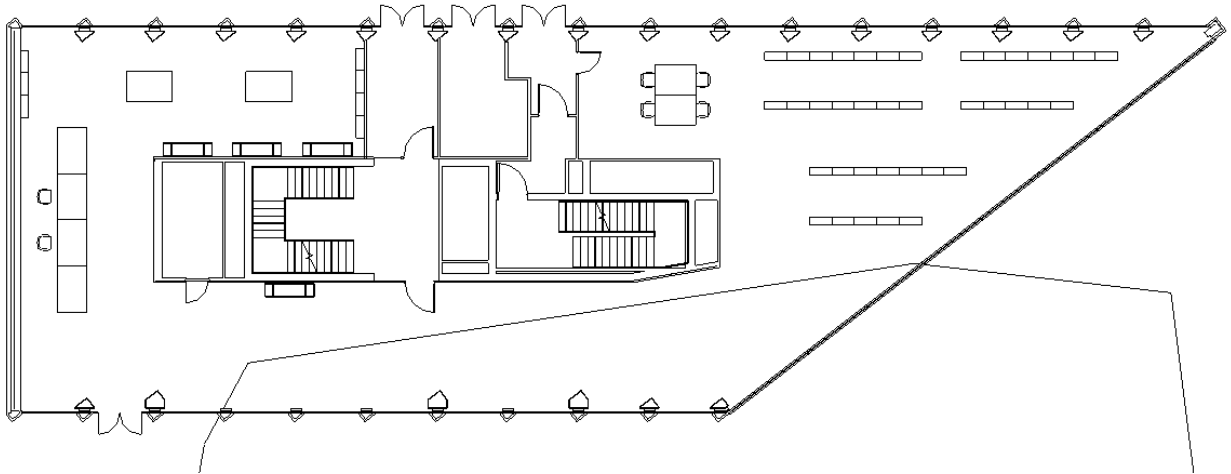
Piano	Destinazione d'uso	Superficie [m ²]	Affollamento massimo
0	ingresso, book shop	432	120
1	area espositiva	475	120
2	area espositiva	475	120
3	area espositiva	475	120
4	uffici	475	40
5	area espositiva	475	70
totale		2807	590

Figura 11 - Tabella piani considerati edificio museo

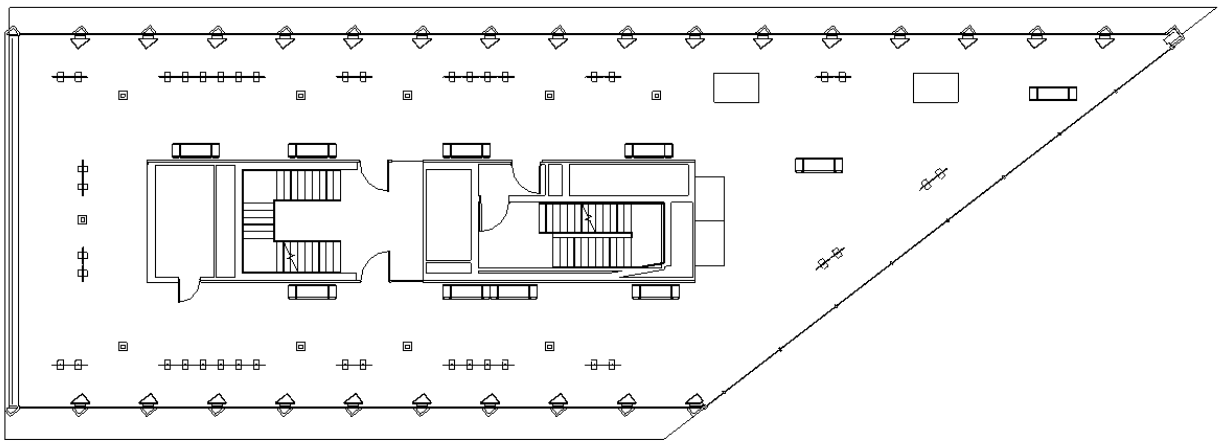
L'arredamento dei piani analizzati è stato effettuato in maniera verosimile ad una ipotetica situazione reale.

Questa disposizione degli arredi interni delle zone risulta fondamentale ai fini della simulazione, dato che ogni arredo rappresenta un possibile ostacolo alla fuga degli occupanti. Per questo motivo non va trascurata e deve essere effettuata con attenzione.

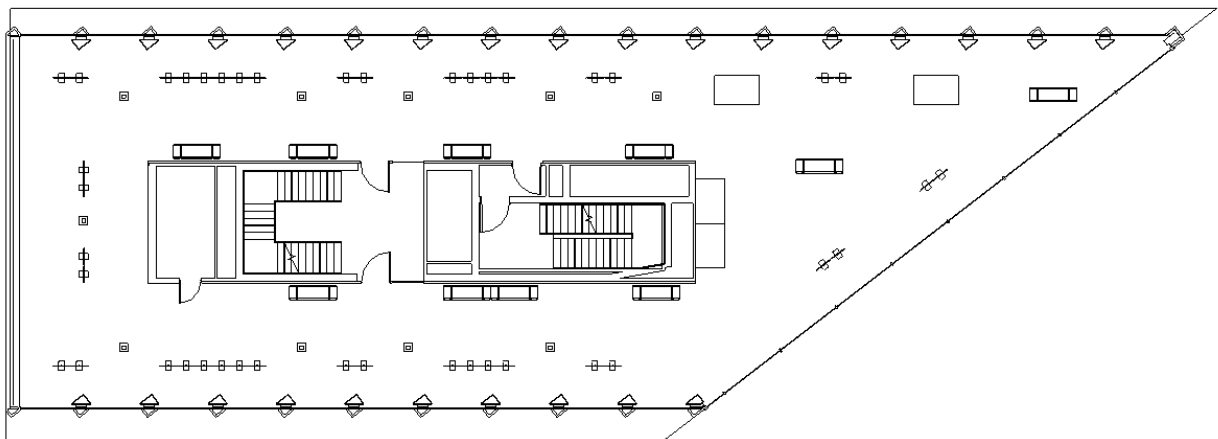
Di seguito vengono riportati i piani fuori terra dell'edificio su cui verrà effettuata l'analisi dell'esodo:



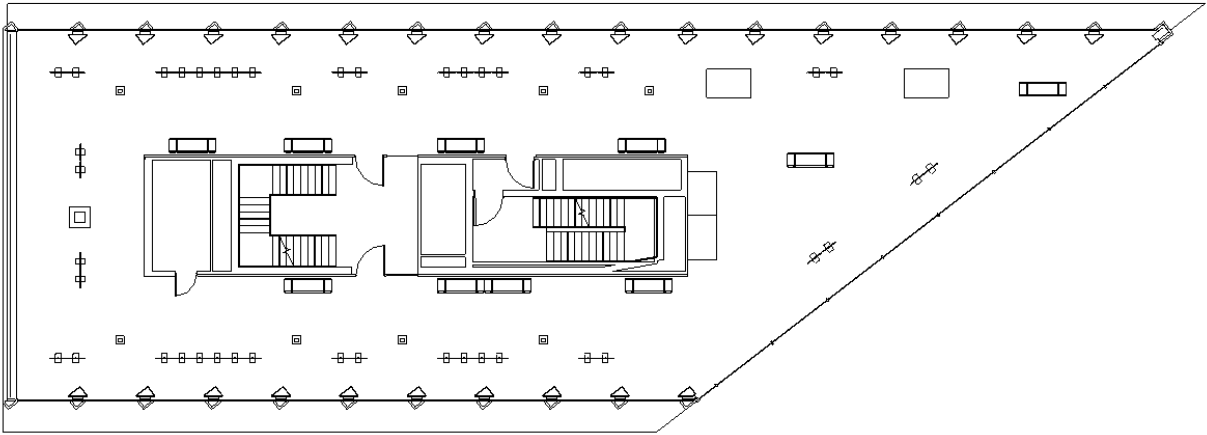
Pianta Piano Terra – Ingresso e Book shop



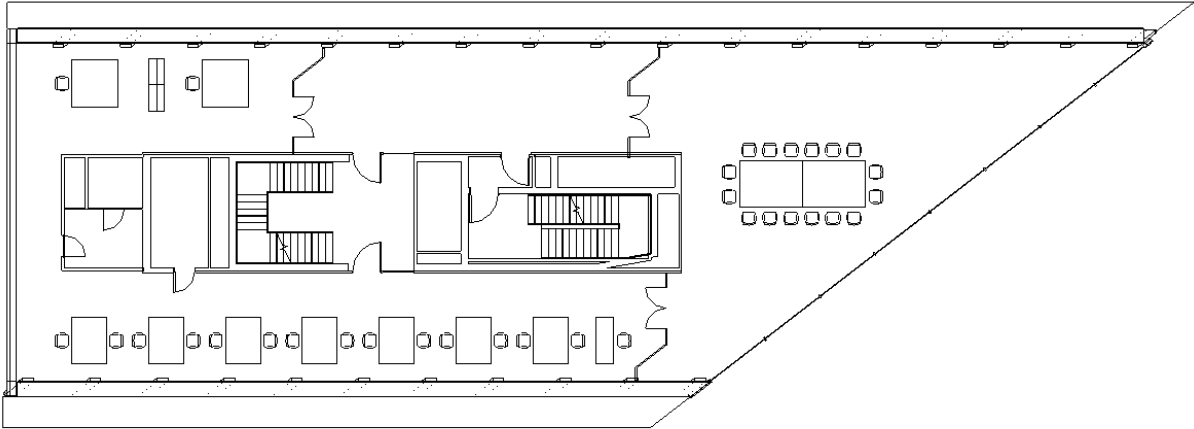
Pianta Piano Primo – Area espositiva



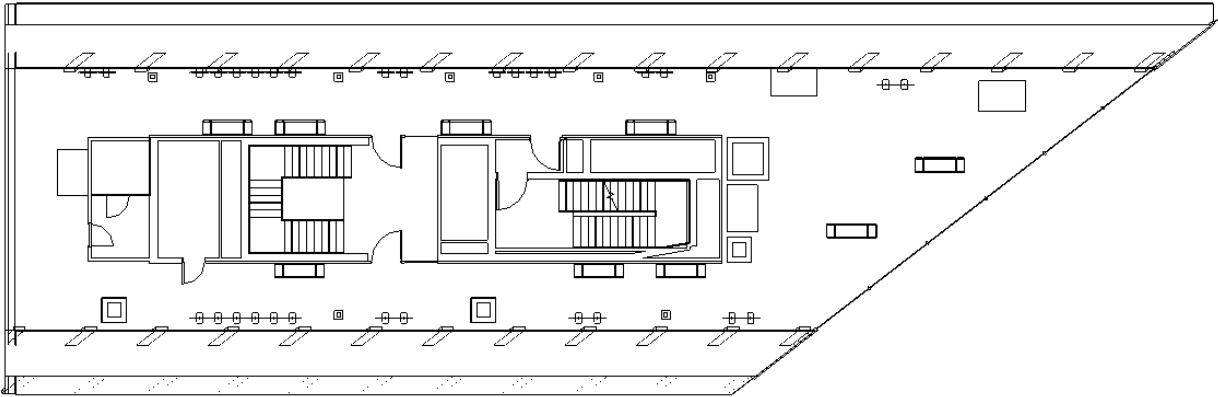
Pianta Piano Secondo – Area espositiva



Pianta Piano Terzo – Area espositiva



Pianta Piano Quarto - Uffici



Pianta Piano Quinto – Area espositiva

2.1. APPLICAZIONE DEL CODICE

L'analisi applicativa del Codice è stata effettuata dallo Studio Luraschi e di seguito sono riportati alcuni passaggi e alcune scelte opportunamente fatte durante la valutazione, in riferimento, soprattutto, al capitolo dell'esodo (capitolo S.4 del Codice).

G.3.2. Profili di rischio Rvita

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

[1] Quando nel presente documento si usa C la relativa indicazione è valida per Ci, Cii, Ciii

Figura 12 - Tabella G.3-1: Caratteristiche prevalenti degli occupanti

δ_a	t_a [1]	Criteri
1	600 s lenta	Ambiti di attività con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$, oppure ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo trascurabile all'incendio.
2	300 s media	Ambiti di attività ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo moderato all'incendio.
3	150 s rapida	Ambiti con presenza di significative quantità di materiali plastici impilati, prodotti tessili sintetici, apparecchiature elettriche e elettroniche, materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco (capitolo S.1). Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $3,0 \text{ m} < h \leq 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS3 oppure attività classificate HHP1, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti con impianti tecnologici o di processo che impiegano significative quantità di materiali combustibili. Ambiti con contemporanea presenza di materiali combustibili e lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
4	75 s ultra- rapida	Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $h > 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS4 oppure attività classificate HHP2, HHP3 o HHP4, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti ove siano presenti o in lavorazione significative quantità di sostanze o miscele pericolose ai fini dell'incendio, oppure materiali plastici cellulari/espansi o schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.

A meno di valutazioni più approfondite da parte del progettista (es. dati di letteratura, misure dirette, ...), si ritengono *non significative* ai fini della presente classificazione almeno le quantità di materiali nei compartimenti con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$.

[1] Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio.
[2] Con h altezza d'impilamento.

Figura 13 - Tabella G.3-2: Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio

Dalle tabelle G.3-1 e G.3-2 si evince che l'edificio presenta un profilo di rischio Rvita A2 per i piani interrati e un profilo di rischio Rvita B2 per i piani fuori terra.

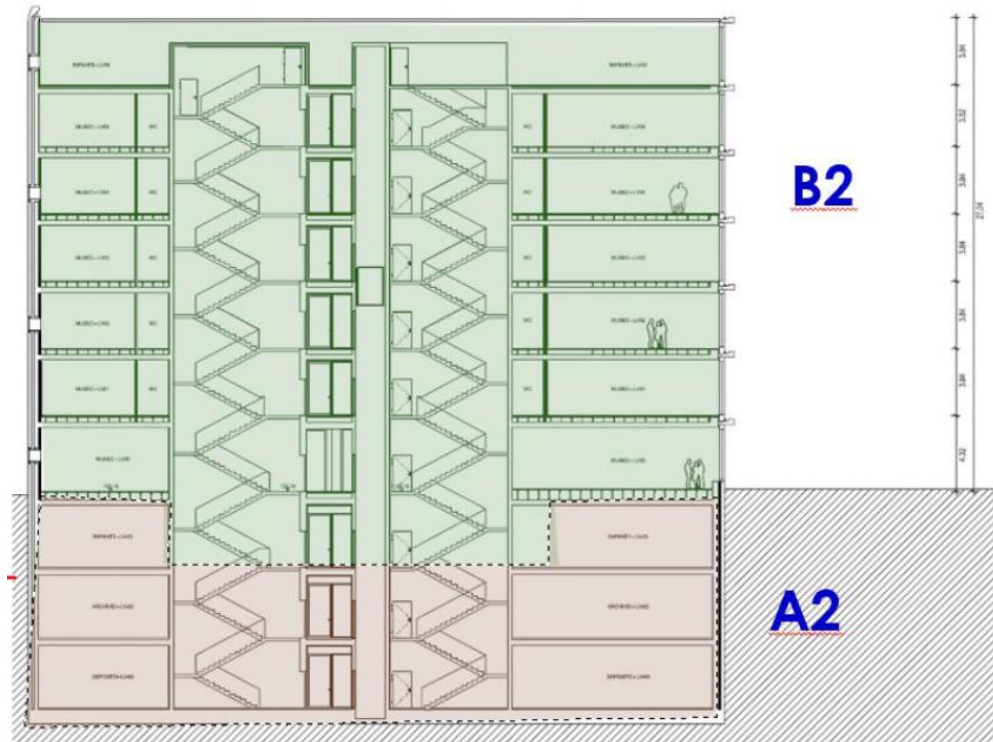


Figura 14 - Schema sezione profili di rischio

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

Figura 15 - Tabella G.3-4: Profilo di rischio Rvita per alcune tipologie di destinazione d'uso

I risultati ottenuti sono confermati anche dalla tabella G.3-4, che presenta dei valori R_{vita} corrispondenti ad alcune tipologie di destinazione d'uso.

G.3.3. Profili di rischio R_{beni}

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

Figura 16 - Tabella G.3-5: Determinazione R_{beni}

La tabella G.3-5 suggerisce un $R_{beni} 2$, visto che l'attività museale è stata considerata "attività o ambito vincolato". *"Una attività o un ambito si considerano vincolati per arte o storia se essi stessi o i beni in essi contenuti sono tali a norma di legge"*. Da normativa, la definizione di "Bene tutelato" è la seguente: *"bene mobile o immobile soggetto alle disposizioni di tutela ai sensi del Dlgs 22/01/04, n. 42 e si specifica che sono compresi gli eventuali arredi di interesse culturale (es. mobili, tendaggi, rivestimenti)"*.

V.10.5.2. Resistenza al fuoco

Il DM 10 luglio 2020, in vigore dal 21 agosto 2020, ha introdotto nel Codice di Prevenzione Incendi, il capitolo V.10 delle Regole Verticali. Il capitolo V.10 è la RTV dedicata a *"Musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati"*, è perciò stata utilizzata per questo caso.

Quota di piano dei compartimenti	Classe
> -1 m	30
≤ -1 m	60

Figura 17 - Tabella V.10-1: Classe di resistenza al fuoco

Dalla tabella V.10-1 vengono determinate le classi minime di resistenza al fuoco. In questo caso, i piani fuori terra hanno una classe minima R30 mentre i piani interrati hanno una classe minima R60. In definitiva, lo Studio Luraschi ha deciso di assegnare una classe REI 60 ai solai dei piani fuori terra in favore di sicurezza, una classe REI120 al blocco scale centrale considerando l'elevata presenza di locali tecnici e una classe REI240 ai piani interrati, ottenuta calcolando il carico d'incendio di questi piani, aumentato significativamente dalla presenza di materiale cartaceo e archivio. Questi valori rimarranno invariati per tutte le casistiche considerate e rappresenteranno i limiti massimi per le verifiche dei tempi di esodo di questo lavoro di tesi, dato che per definizione la classe di resistenza al fuoco indica il tempo (espresso in minuti) che viene garantito dalle strutture. La più sfavorevole, in questo caso, è la classe REI60, che garantisce una resistenza di almeno 60 minuti. Sarà importante valutare se gli occupanti riusciranno a lasciare l'edificio entro un'ora.

S.4.8.1. Vie di esodo indipendenti

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

Figura 18 - Tabella S.4-15: Numero minimo di uscite indipendenti da locale o spazio a cielo libero

La tabella S.4-15 indica il numero minimo di uscite indipendenti dal piano. L'edificio considerato rientra nella categoria "altri casi" perché, pur avendo R_{vita} B2, l'affollamento non supera i 200 occupanti.

Si definiscono vie di uscita indipendenti due uscite tali per cui l'angolo formato dai percorsi rettilinei è maggiore di 45 gradi o se separate da una resistenza al fuoco di almeno EI 30.

Come si evince dalla seguente immagine, nell'edificio considerato sono presenti 3 uscite, di cui 2 risultano essere indipendenti:

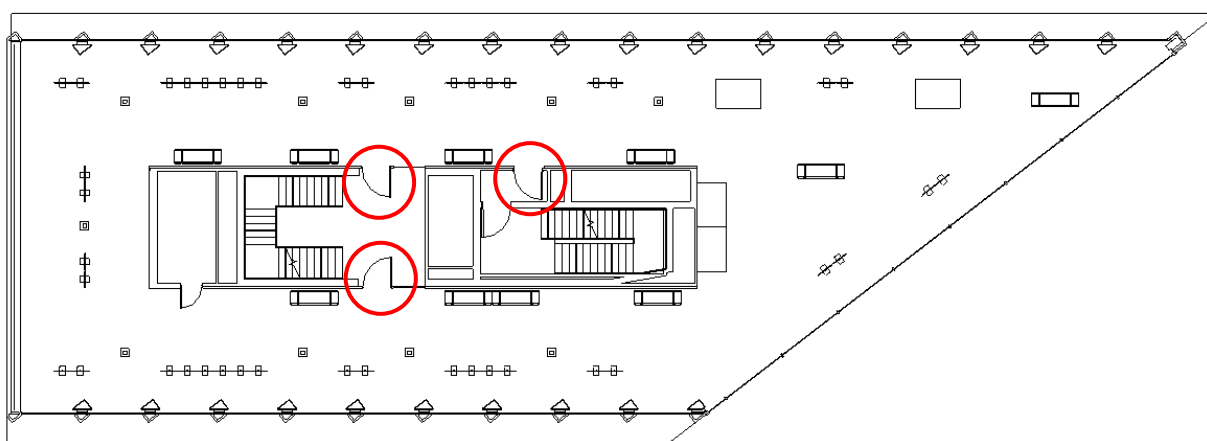


Figura 19 - Numero uscite dal piano

S.4.8.2. Corridoi ciechi

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

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

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

Avendo R_{vita} pari a B2, la lunghezza massima dei corridoi ciechi è di 20m. L'edificio considerato però, nei piani aperti al pubblico, non presenta corridoi ciechi.

S.4.8.3. Lunghezze d'esodo

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

I valori delle massime lunghezze d'esodo di riferimento possono essere incrementati in relazione a *requisiti antincendio aggiuntivi*, secondo la metodologia del paragrafo S.4.10.

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

La massima lunghezza che almeno una via di esodo deve rispettare è pari a 50m.

Il blocco scale dell'edificio però presenta caratteristiche di filtro a prova di fumo, ciò permette di omettere le vie di esodo verticali nel calcolo della lunghezza delle vie di esodo, di conseguenza, il limite di 50 m deve essere rispettato da almeno una via di esodo che da un punto del piano permetta di raggiungere il blocco scala.

Caratteristiche porzione omessa	Max lunghezza omessa L _{om} [1]	Prescrizioni aggiuntive
Con caratteristiche di <i>filtro</i> (esempio in tabella S.4-21)	≤ 45 m	Nessuna
	≤ 90 m	[2]
Con caratteristiche di <i>filtro</i> ed a <i>prova di fumo</i>	≤ 120 m	Nessuna
	Illimitata	[2]
Anche senza protezione, che termini direttamente all' <i>uscita finale</i> o in <i>luogo sicuro</i> (esempio in tabella S.4-23)	≤ 15 m	Nessuna
Dall' <i>uscita finale</i> fino al <i>luogo sicuro</i> , in <i>via d'esodo esterna</i> (esempio in tabella S.4-24)	Illimitata	Nessuna

Gli ambiti serviti devono avere densità di affollamento ≤ 0,4 p/m² e, se aperti al pubblico, affollamento complessivo ≤ 300 occupanti, altrimenti affollamento complessivo ≤ 500 occupanti. In tali ambiti non è ammessa presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, o di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio. Ciascun locale dove gli occupanti possono dormire deve essere protetto ed avere chiusure almeno E 30-S_a.

[1] Se costituita da più porzioni continue con caratteristiche differenti, la *max lunghezza omessa* L_{om} è calcolata come *media pesata*, senza considerare le porzioni con L_{om} *illimitata* (esempio in tabella S.4-22). Le caratteristiche di protezione dovrebbero essere crescenti nel senso dell'esodo.

[2] Gli ambiti serviti siano sorvegliati da IRAI di livello di prestazione III (capitolo S.7) e sia prevista gestione della sicurezza di livello di prestazione II (capitolo S.5).

Figura 22 - Tabella S.4-20: Condizioni per l'omissione di porzione di corridoio cieco

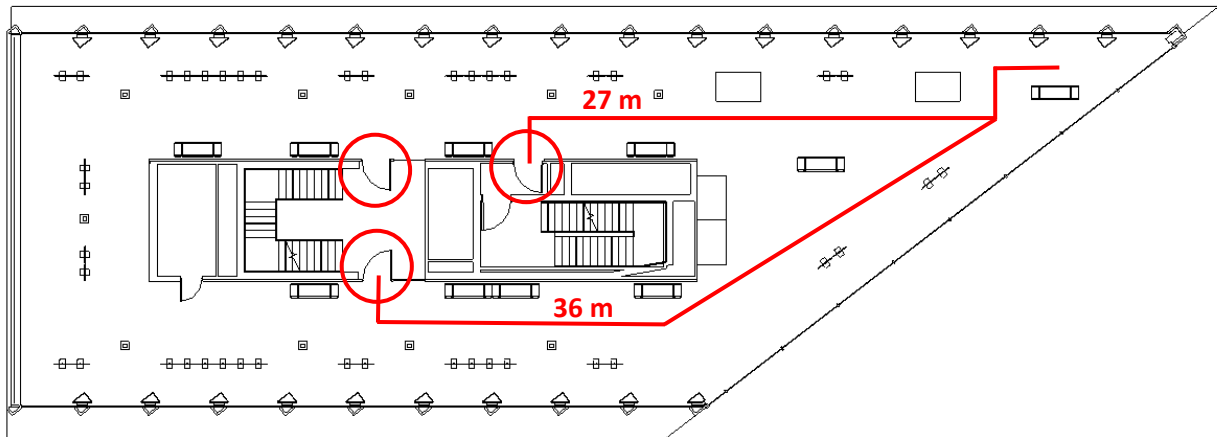


Figura 23 - Massime lunghezze di esodo nell'edificio

L'immagine soprastante mostra i due percorsi più critici, sottolineando come in entrambi i casi, la lunghezza della via di esodo per raggiungere il blocco scala con caratteristiche di filtro a prova di fumo sia inferiore ai 50 m stabiliti dal Codice.

S.4.8.7. Calcolo della larghezza minima delle vie d'esodo orizzontali

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

I valori delle larghezze unitarie sono espressi in mm/persona ed assicurano una durata dell'attesa in coda, per gli occupanti che impiegano la specifica via d'esodo, non superiore a Δt_{coda} .
 [1] Per occupanti prevalentemente in piedi e densità d'affollamento $> 0,7 \text{ p/m}^2$.

Figura 24 - Tabella S.4-27: Larghezze unitarie per vie d'esodo orizzontali

Il Codice propone la seguente formula per determinare la larghezza minima delle vie di esodo orizzontali, a partire dal valore di R_{vita} ottenuto.

$$L_o = L_U \cdot n_o \quad \text{S.4-1}$$

con:

L_o larghezza minima della via d'esodo orizzontale [mm]

L_U larghezza unitaria per le vie d'esodo orizzontali determinata dalla tabella S.4-27 in funzione del profilo di rischio R_{vita} di riferimento [mm/persona]

n_o numero degli occupanti che impiegano tale via d'esodo orizzontale, nelle condizioni d'esodo più gravose (paragrafo S.4.8.6).

$$L_u = 4.10 \text{ mm/persona}$$

$$n_o = 120 \text{ persone}$$

(considerando il caso più critico)

$$L_o = 4.10 \cdot 120 = 492 \text{ mm}$$

In ogni caso, però, la larghezza minima delle vie di esodo orizzontali deve rispettare la seguente tabella, ovvero 900 mm.

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

L'affollamento dell'ambito servito corrisponde al totale degli occupanti che impiegano ciascuna delle vie d'esodo che si dipartono da tale ambito.

Figura 25 - Tabella S.4-28: Larghezze minime per vie d'esodo orizzontali

Ogni piano dell'edificio, presenta vie di esodo orizzontali molto ampie, che rispettano sempre il limite di 900 mm.

S.4.8.8. Calcolo della larghezza minima delle vie d'esodo verticali

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

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

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

[F] Impiegato anche nell'esodo per fasi

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

Figura 26 - Tabella S.4-29: Larghezze unitarie per vie di esodo verticali

Similmente al calcolo delle vie di esodo orizzontali, il Codice propone la seguente formula:

$$L_V = L_U \cdot n_V \quad \text{S.4-2}$$

con:

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

$$L_U = 2.90 \text{ mm/persona}$$

$$n_V = 596 \text{ persone}$$

(considerando tutti i piani dell'edificio)

$$L_O = 2.90 \cdot 596 = 1728 \text{ mm}$$

Il paragrafo S.4.8.6, a cui si fa riferimento, riguarda la verifica di ridondanza delle vie di esodo, secondo cui *“Se un ambito (es. compartimento, piano, soppalco, locale, ...) è servito da più di una via d'esodo, l'incendio può renderne una indisponibile”*, allora *“Ai fini della verifica di ridondanza, si deve rendere indisponibile una via d'esodo alla volta e verificare che le restanti vie d'esodo indipendenti da questa abbiano larghezza complessiva sufficiente a consentire l'esodo degli occupanti”*.

Questa verifica va effettuata ogni qual volta vi sia un ambito servito da più di una via d'esodo, ad eccezione degli ambiti in cui vi siano vie di esodo a prova di fumo con caratteristiche di filtro. Infatti, *“Le vie d'esodo a prova di fumo aventi le caratteristiche di filtro sono considerate sempre disponibili e non devono essere sottoposte a verifica di ridondanza, a meno di più restrittiva valutazione del rischio da parte del progettista”*. Per questo motivo, il numero di occupanti che utilizza le vie di esodo verticali si divide per il numero delle stesse, in questo caso due.

$$L_U = 2.90 \text{ mm/persona}$$

$$n_V = 298 \text{ persone}$$

(596/2)

$$L_O = 2.90 \cdot 298 = 864.2 \text{ mm}$$

Entrambe le vie di esodo verticali dell'edificio hanno una larghezza pari a 120 cm, pertanto risultano adeguate.

2.2. CALCOLO ANALITICO ESODO

Per ogni caso, è stato prima di tutto effettuato il calcolo analitico dei tempi di esodo, secondo le procedure presentate dal Codice.

Il criterio ideale su cui si basa la progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita, secondo il Codice, prevede che *“La progettazione ideale di un sistema d’esodo dovrebbe assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza o di permanervi, senza mai incontrare gli effetti dell’incendio”* (comma 1 del paragrafo M.3.2.1); tuttavia *“Esistono situazioni ove il criterio del comma 1 non è applicabile, in particolare per gli occupanti che si trovano nel compartimento di primo innesco dell’incendio”* (comma 2 del paragrafo M.3.2.1).

Da questa mancanza, descritta dal comma 2 del paragrafo M.3.2.1, la norma introduce il criterio di $ASET > RSET$.

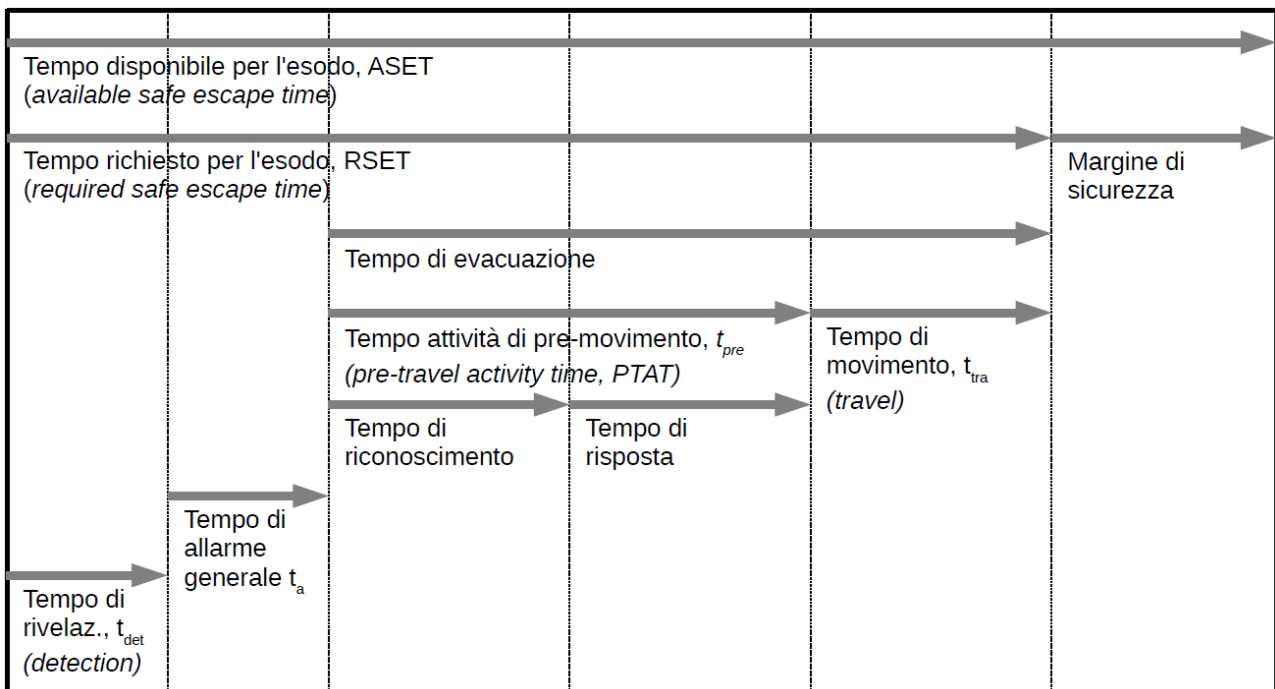


Figura 27 - Schema principio $ASET > RSET$

Questa tabella esemplifica il criterio di $ASET > RSET$, dove ASET indica il tempo disponibile per l'esodo (available safe escape time) mentre RSET indica il tempo richiesto per l'esodo (required safe escape time).

Ovviamente, viene considerato efficace un sistema d'esodo per cui $ASET > RSET$, cioè se *“il tempo in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti è superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro, non soggetto a tali condizioni ambientali sfavorevoli dovute all'incendio”*.

Viene definito *“margine di sicurezza”* il risultato della differenza tra ASET e RSET, che non deve mai essere inferiore a 30 secondi:

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

È compito del professionista antincendio cercare di *“rendere massimo il margine di sicurezza, al fine di considerare l’incertezza nel calcolo dei tempi di ASET e di RSET”*.

ASET

ASET è il tempo che gli occupanti hanno a disposizione per mettersi in salvo, perciò dipende dalle interazioni tra incendio, edificio e occupanti.

Scoppiato l’incendio, l’edificio resiste ad esso grazie alle misure protettive attive e passive (impianti antincendio, compartimentazioni, sistemi di controllo di fumo e calore) e gli occupanti si trovano esposti agli effetti dell’incendio (fumi e calore) a seconda dell’attività che stanno svolgendo, della loro posizione iniziale, del loro percorso che devono compiere e della loro condizione fisica e psicologica (come già detto in precedenza la velocità di fuga degli occupanti varia a seconda della loro condizione).

RSET

RSET è il tempo necessario agli occupanti per mettersi in salvo ed è calcolato tra l’innesco dell’incendio e il momento in cui raggiungono un luogo sicuro.

Come l’ASET, dipende dalle interazioni tra incendio, edificio e occupanti ed è fortemente influenzato dalle geometrie dell’edificio.

RSET fa riferimento al documento ISO/TR 16738 ed è composto da 4 elementi:

- Tempo di rivelazione (detection)
- Tempo di allarme generale
- Tempo di pre-movimento (pre-travel activity time, PTAT)
- Tempo di movimento /travel)

secondo la seguente formula:

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

Il tempo di rivelazione (t_{det}) è *“il tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell’incendio”* e viene calcolato analiticamente o tramite modellizzazione numerica degli scenari d’incendio e del sistema di rivelazione.

Il tempo di allarme (t_a) è *“il tempo che intercorre tra la rivelazione dell’incendio e la diffusione dell’informazione agli occupanti, dell’allarme generale”*, sarà zero quando la rivelazione attiva direttamente l’allarme generale, oppure coinciderà con il ritardo tra la rivelazione e l’attivazione dell’allarme manuale.

Il tempo di pre-movimento (t_{pre}) è il *“tempo necessario agli occupanti per svolgere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio verso il luogo sicuro”* e risulta essere la fase più lunga del tempo reale di esodo.

Il tempo di pre-movimento è composto da un tempo di riconoscimento (recognition) e un tempo di risposta (response). Il tempo di riconoscimento vede gli occupanti continuare a svolgere le proprie attività, finché riconoscono l’esigenza di rispondere all’allarme; è qui che inizia il tempo di risposta, in cui gli occupanti cessano le proprie attività e *“si dedicano alle attività legate allo sviluppo dell’emergenza, quali: raccolta di informazioni sull’evento, arresto e messa in sicurezza delle apparecchiature, raggruppamento del proprio gruppo (lavorativo o familiare), lotta all’incendio,*

ricerca e determinazione della via d'esodo appropriata (wayfinding) ed altre attività a volte anche errate ed inappropriate".

Il tempo di movimento (t_{tra}) è "il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento appena descritte" e dipende dalle seguenti variabili:

- Distanza degli occupanti o gruppi di essi dalle vie di esodo
- Velocità d'esodo, che dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente e gli effetti dell'incendio (la presenza di fumi e calori rallenta notevolmente la velocità di esodo in funzione delle condizioni di visibilità).
- Portata delle vie d'esodo, dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli e ostacoli

Il tempo di movimento può essere determinato secondo due metodi: tramite dei modelli idraulici (in forma analitica) o tramite dei modelli agent based. Il modello agent based che verrà utilizzato, come detto in precedenza, sarà il software Mass Motion.

Il tempo di movimento è calcolato come somma del tempo di deflusso attraverso gli elementi che regolano l'esodo e il tempo di percorrenza delle scale. Il primo viene calcolato utilizzando un modello idraulico, mentre il secondo viene calcolato tramite la relazione tra spazio e velocità degli occupanti.

Nel calcolo che segue un modello idraulico va sottolineato che è assimilabile in caso di emergenza alla folla, ma non tiene in considerazione il comportamento umano, variabile principale in caso di esodo.

Il calcolo del tempo di deflusso viene effettuato conoscendo le seguenti variabili:

- W_e : larghezza efficace dell'elemento d'esodo, calcolata sottraendo alla larghezza propria della via d'esodo il fattore B da entrambi i lati dell'elemento, B è una variabile che dipende dall'elemento e identifica la larghezza inutilizzata della via di fuga.

Elemento della via di esodo	Larghezza inutilizzata (cm)
Scale-muro o lato della pedata	15
Mancorrenti, ringhiere, parapetti	9
Corridoi, muri di rampe	20
Ostacoli	10
Larghi passaggi, ampie vie di esodo	46
Porte, volte	15

Figura 28 - Tabella larghezza inutilizzata per elementi della via di esodo

- D: densità di affollamento, cioè il massimo numero di persone presenti [pers/m²]
- V: velocità di movimento degli occupanti lungo il percorso [m/s]. È una variabile in funzione della densità di affollamento D, calcolata tramite le seguenti formule:
se $D > 0.55$ pers/m²:

$$V = k \cdot (1 - a \cdot D)$$

Con:

costante $a = 0.266$ m²/pers;

fattore di velocità k , individuato tramite la seguente tabella:

Elemento della via di esodo		k (m/s)
Corridoi, spazio tra due file di panche, rampe, porte		1.4
Scale		
Alzata (cm)	Pedata (cm)	
19.0	25.4	1
17.8	27.9	1.08
16.5	30.5	1.16
16.5	33.0	1.23

Figura 29 - Tabella fattore di velocità per elementi della via di esodo

se $D < 0.55$ pers/m²:

$$V = 0.85 \cdot k$$

- F_s : flusso specifico [pers/s·m], cioè le persone che attraversano l'unità di larghezza effettiva W_e nell'unità di tempo, calcolato tramite la seguente formula:

$$F_s = V \cdot D$$

- F_c : flusso calcolato [pers/m], cioè la portata di persone attraverso il punto del sistema di vie di esodo:

$$F_c = F_s \cdot W_e$$

- T_p : tempo di deflusso [s], cioè il tempo necessario a un gruppo di persone P per attraversare la soglia:

$$T_{def} = \frac{P}{F_c}$$

Il tempo T_{tra} sarà la somma di ogni T_{def} calcolato per ogni soglia presente nel sistema di vie di esodo.

È stato quindi applicato tale metodo al caso studio con destinazione d'uso museale considerato.

La larghezza della porta di uscita è 120 cm ed è uguale in ogni piano, di conseguenza la larghezza effettiva sarà sempre di 90 cm.

$$W_e = 1.20 - 0.15 \cdot 2 = 0.90 \text{ m}$$

La densità di affollamento per ogni piano è stata valutata pari a 2.1 pers/m² considerando un raggruppamento degli individui in prossimità delle vie di fuga. Sono state calcolate due velocità, una lungo i corridoi e attraverso le porte e una lungo le scale. Per quanto riguarda la velocità lungo i corridoi e le porte è stato utilizzato $k = 1.40$, mentre è stato utilizzato $k = 1.16$ per la velocità lungo le scale. Le scale presenti nell'edificio, infatti, sono caratterizzate da un'alzata di 16.5 cm ed una pedata di 30.5 cm.

$$V_{\text{corridoi/porte}} = 1.40 \cdot (1 - 0.266 \cdot 2.10) = 0.62 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{scale}} = 1.16 \cdot (1 - 0.266 \cdot 2.10) = 0.51 \text{ m/s}$$

È possibile quindi ottenere un flusso specifico e il flusso calcolato attraverso la porta di uscita dal piano:

$$F_s = V \cdot D = 0.62 \cdot 2.10 = 1.30 \text{ pers/s}\cdot\text{m}$$

$$F_c = F_s \cdot W_e = 1.30 \cdot 0.90 = 1.17 \text{ pers/s}$$

La distanza media per ogni piano che gli occupanti dovranno percorrere per raggiungere le scale, luogo sicuro dinamico, è stata valutata di 25 m, potendo così determinare il tempo necessario per raggiungerle, considerando la velocità calcolata in precedenza:

$$T_m = \frac{25}{0.62} = 41 \text{ s}$$

Considerando gli occupanti che partono dal piano più alto, cioè il piano quinto:

$$T_{\text{def}} = \frac{P}{F_c} = \frac{35}{1.17} = 30 \text{ s (avendo due scale, il numero di occupanti si divide per due)}$$

Per calcolare il tempo di percorrenza delle scale è necessario calcolare la lunghezza della scala in diagonale considerata in sezione, ottenendo un valore pari a 4.35 m (lunghezza rampa 3.90 m, altezza rampa 1.92 m) e la velocità degli occupanti, calcolata in precedenza, pari a 0.51 m/s. allo stesso modo, viene calcolato il tempo di percorrenza del pianerottolo, lungo 1.20 m e percorso ad una velocità di 0.62 m/s, calcolata in precedenza:

$$T_{\text{rampa}} = \frac{4.35}{0.51} = 8.53 \text{ s} \rightarrow 8.53 \cdot 10 = 85.3 \text{ s (avendo 10 rampe)}$$

$$T_{\text{pianerottolo}} = \frac{1.20}{0.62} = 1.94 \text{ s} \rightarrow 1.94 \cdot 10 = 19.4 \text{ s (avendo 10 pianerottoli)}$$

Viene quindi calcolato il tempo necessario per attraversare la porta di uscita del piano terra, di larghezza 1.20 m e di larghezza effettiva 0.90 m (calcolata in precedenza). Considerando che questa porta sarà utilizzata dalla metà degli occupanti di tutto l'edificio (avendo 2 scale), pari 235 persone, e riprendendo i valori ottenuti di flusso specifico e calcolato, si otterrà un tempo di deflusso pari a:

$$T_{\text{def}} = \frac{P}{F_c} = \frac{235}{1.17} = 200 \text{ s} = 3 \text{ min } 20 \text{ s}$$

Infine, si calcola il tempo necessario per percorrere la distanza tra l'ultima porta del blocco scala del piano terra e l'uscita finale dell'edificio, la media tra le tre distanze disponibili è di circa 10 m:

$$T_m = \frac{10}{0.62} = 16 \text{ s}$$

In definitiva, le persone presenti al quinto piano impiegheranno per la loro fuga un tempo pari a:

$$T_{\text{tot}} = 41 + 30 + 85.3 + 19.4 + 200 + 16 = 392 \text{ s} = 6 \text{ min } 32 \text{ s}$$

2.3. SIMULAZIONE D'ESODO

Come detto in precedenza, la simulazione d'esodo è stata effettuata tramite il software "Oasys Mass Motion", in grado di simulare la dinamica delle folle in ambienti chiusi così da analizzare in che modo le persone interagiscono con gli altri occupanti e con l'ambiente circostante.



Avendo a disposizione i file ".dwg", resi disponibili dallo Studio Luraschi, è stato possibile iniziare la modellazione 3D dell'edificio. Per rendere possibile la comunicazione con Mass Motion 11.0, è necessario utilizzare un software appartenente al mondo BIM.



La modellazione è stata realizzata tramite il software "Autodesk Revit 2022".

Un'importante premessa da fare è che la simulazione analizzerà uno scenario su molti altri che potrebbero verificarsi. In particolare, verrà analizzato solo l'esodo puro, cioè senza tenere in considerazione gli effetti dell'incendio che influenzerebbero la velocità degli individui e di conseguenza i tempi di esodo.

Secondo uno studio condotto dal Comandante provinciale VVF Stefano Marsella, la velocità degli individui in situazioni di emergenza dipende da: mobilità delle persone, affollamento, livelli di luce, presenza di fumo, qualità delle superfici (muri e pavimenti) e larghezza dei percorsi.

Alla base della scelta di omettere gli effetti dell'incendio e di analizzare solo l'esodo puro vi è l'imprevedibilità di tali effetti e delle loro conseguenze. Nei capitoli successivi verrà comunque dedicato spazio a questa questione e verrà ipotizzata una componente che tenga in considerazione gli effetti dell'incendio.

La modellazione tramite Revit ha dovuto seguire alcuni vincoli dettati dal conseguente passaggio in Mass Motion. Il più evidente riguarda le pareti perimetrali, che, nonostante fossero vetrate, vengono visualizzate come opache una volta importate in Mass Motion e quindi non permettono di vedere il movimento degli occupanti durante la simulazione. Per questo motivo, è stato necessario eliminarle. Stesso discorso per quanto riguarda le pareti verticali opache interne, in questo caso sono state realizzate alte 50 cm, in modo da mantenere il loro compito di "ostacolo" al camminamento degli occupanti senza coprire la loro visibilità durante l'esodo.

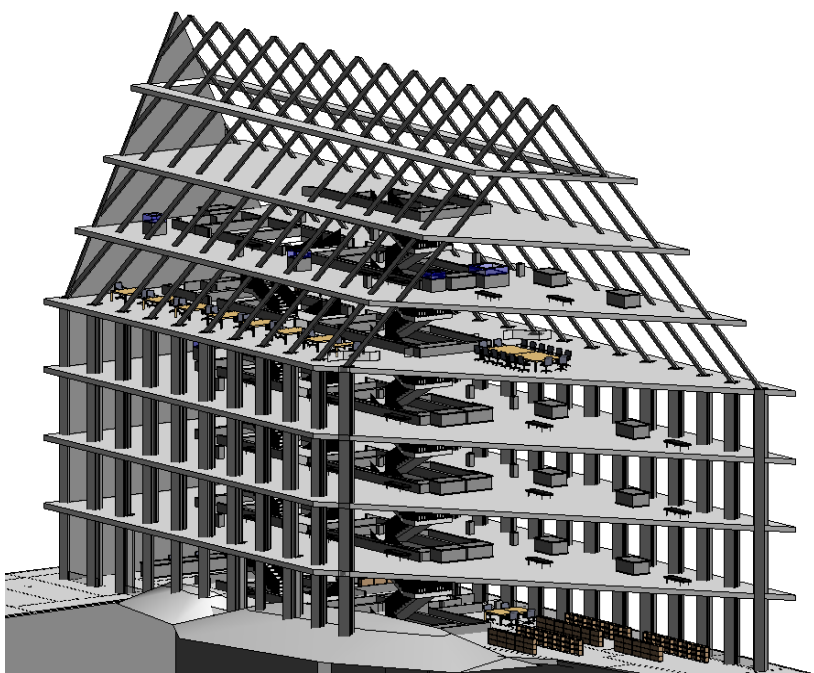


Figura 30 - Modello Revit

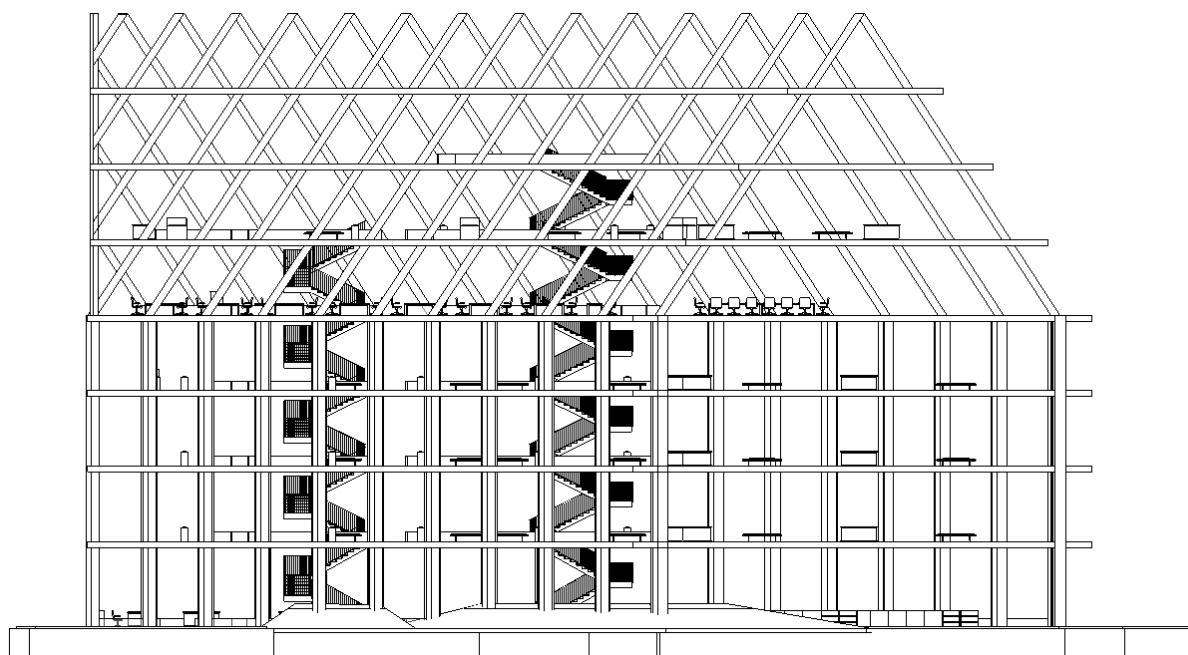


Figura 31 - Sezione modello Revit

Una volta realizzato il modello BIM dell'edificio è stato esportato in formato ".ifc" per poter essere importato in Mass Motion.

Dopo essere stato importato in Mass Motion, è necessario riconoscere ogni singolo elemento del modello come:

- Barriere: tutto ciò che costituisce un intralcio al percorso degli occupanti, identificate con il colore BLU
- Scale: identificate con il colore ARANCIONE
- Pavimenti: identificati con il colore AZZURRO

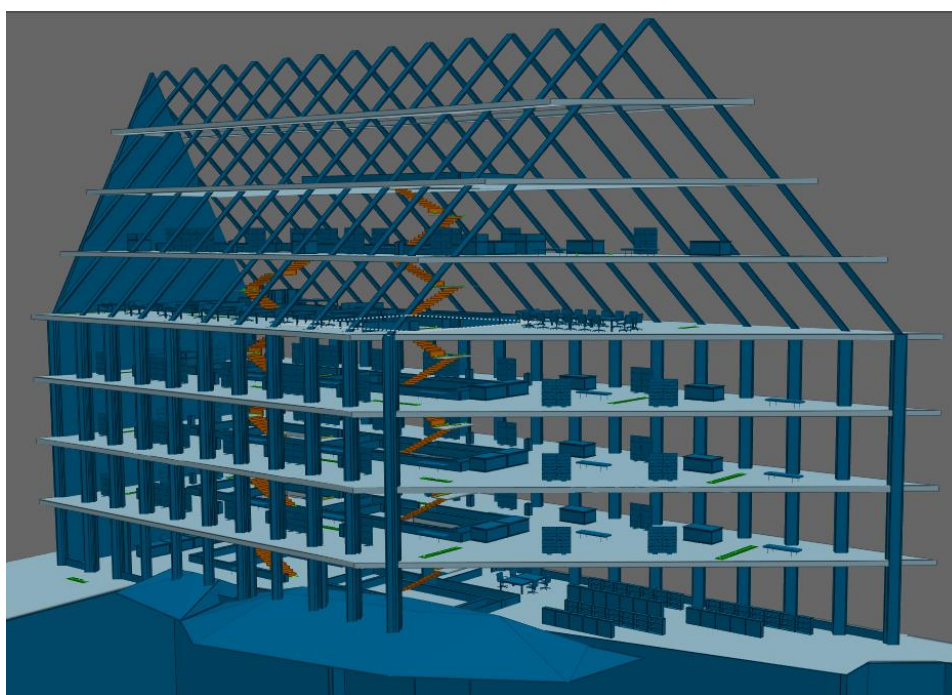


Figura 32 - Distinzione elementi per colore Mass Motion

Il percorso degli occupanti (avatar) inizia e finisce dai “Portali”, impostati come portali di partenza e portali di arrivo. Ad ogni piano sono presenti 6 portali di partenza posizionati in modo da simulare una distribuzione spaziale verosimile degli occupanti, ad esempio nelle sale riunioni, dove sono situate più sedie ravvicinate, è ipotizzabile che vi sarà una maggiore presenza di occupanti e di conseguenza sono stati posizionati più portali. Il numero di occupanti totali di ogni piano viene diviso per il numero di portali situati in quel piano. Al piano terra sono stati posizionati 3 portali di arrivo, in corrispondenza delle 3 uscite finali dell’edificio.



Figura 33 - Portale Mass Motion

La seguente immagine mostra il portale di partenza al tempo zero della simulazione, in questo caso si tratta del piano primo, in cui ogni portale di partenza è occupato da 20 persone:

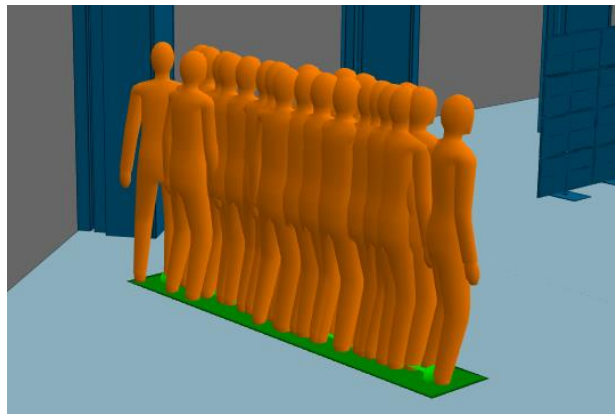


Figura 34 - Portale al tempo zero

Prima di effettuare la simulazione è opportuno impostare i principali dati di input, prima di tutto la velocità alla quale gli avatar devono compiere il loro percorso. Dall’analisi analitica sono state ricavate due velocità:

$$V_{\text{corridoi}} = 0.62 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{scale}} = 0.51 \text{ m/s}$$

Da ciò, si è deciso di impostare la velocità di fuga degli avatar come una media delle due velocità, cioè 0.57 m/s. Gli altri valori sono rimasti di default, non avendo situazioni particolari, come ad esempio il “radius” che indica la larghezza degli avatar.

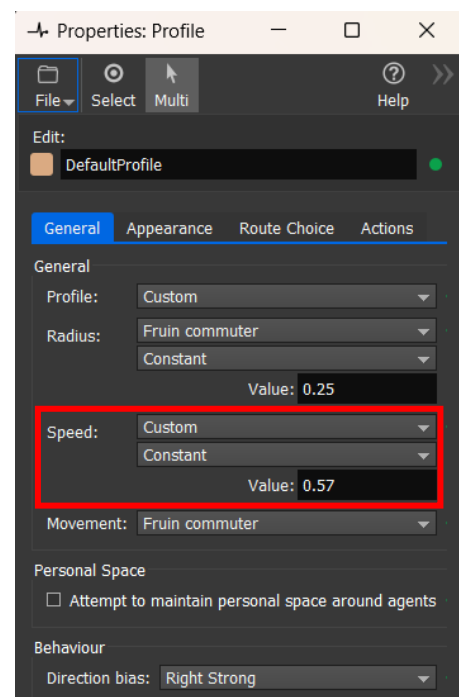


Figura 35 - Profilo proprietà Mass Motion

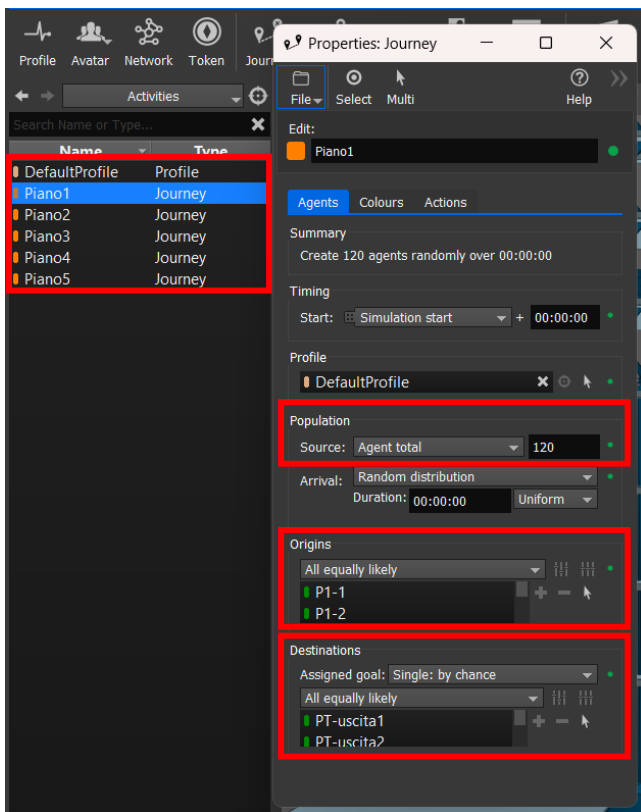


Figura 36 - Esempio di attività Mass Motion

L'immagine a fianco mostra un esempio di attività, in particolare l'attività denominata "Piano1".

Sono state create 5 attività, uno per ciascun piano:

- Piano1
- Piano2
- Piano3
- Piano4
- Piano5

Nella scheda "Properties: Joureny" aperta di esempio, vengono mostrati i dati impostati per ogni attività:

- Portali di partenza ("Origins")
- Portali di arrivo ("Destinations")
- Numero di occupanti ("Populations")

Il tempo totale di esodo ottenuto tramite simulazione software risulta di 437 s, ovvero 7 minuti e 17 secondi. Si tratta di un valore abbastanza vicino a quello ottenuto dall'analisi analitica (6 minuti e 32 secondi), con uno sfasamento di circa 50 secondi. Questo può essere spiegato dal fatto che nell'analisi analitica non sono state considerate le interferenze generate dall'uscita degli occupanti da ogni piano, il che provoca un raggruppamento maggiore in prossimità delle scale e di conseguenza un ritardo; come si vede infatti nella seguente immagine, al minuto 1.51.

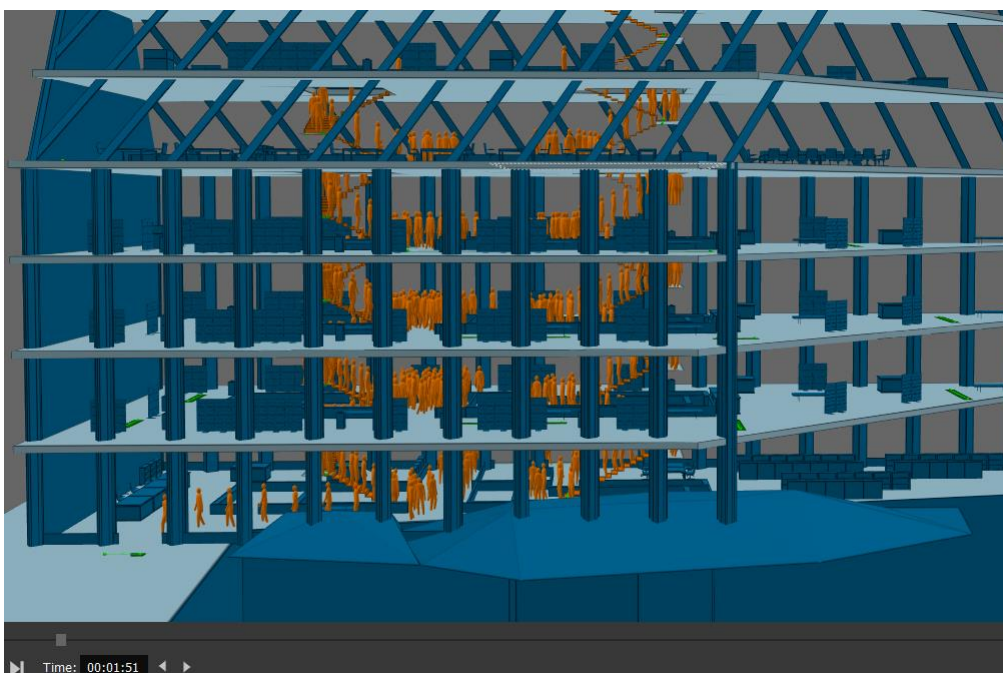


Figura 37 - Minuto 1.51 simulazione Mass Motion

2.4. CALCOLO TEMPO DI ESODO

Nel capitolo 3.2, è stato definito RSET come somma di 4 termini:

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

Finora è stato calcolato (prima in forma analitica e poi tramite software) solamente il tempo di movimento (t_{tra}).

Gli altri termini vengono individuati tramite delle tabelle fornite dalla norma ISO/TR 16738, riportate di seguito:

Profilo di rischio R_{vita}	$t_{det} + t_a$ [sec]	descrizione
A₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio
A₂	180	Attività probabilmente provviste di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio
A₃	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni
A₄	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni.
B₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B₂	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B₃	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
C₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
C₂	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
C₃	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni.
D₁	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
D₂	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni

Figura 38 - Tabella tempo di rivelazione e tempo di allarme edificio museo

La prima tabella, in relazione al profilo di rischio R_{vita} , propone un valore somma tra il tempo di rivelazione (t_{det}) e il tempo di allarme (t_a).

Questo tempo dipende da diversi fattori e situazioni, dalla presenza di IRAI (Impianti di rivelazione ed allarme incendio), dalla presenza di personale formato, dalle compartimentazioni...

Quando un sensore rileva l'incendio, l'allarme non parte istantaneamente ma solamente quando anche un secondo sensore lo rileva. Può accadere che, per diversi motivi, passino anche 2 o 3 minuti prima che il secondo sensore rilevi l'incendio. Inoltre, una volta rilevato da entrambi i sensori, l'allarme può essere automatizzato, e quindi partire istantaneamente dopo la rilevazione del secondo sensore, oppure può essere manuale, cioè deve essere un addetto che, una volta accortosi della segnalazione dei sensori, provveda manualmente all'accensione dell'allarme. Ovviamente questo secondo caso comporta un tempo molto più lungo.

Profilo di rischio R_{vita}	$t_{pre(1^\circ)}$ [sec]	$t_{pre(99^\circ)}$ [sec]	descrizione
A_1	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A_2	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A_3	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
A_4	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
B_1	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B_2	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B_3	30	150	B: Awake and unfamiliar, M1 B1 A1-A2
C_1	1200	2400	C: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
C_2	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
C_3	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
D_1	600	1200	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
D_2	300	600	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2

$t_{pre(1^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione dei primi occupanti a muoversi
 $t_{pre(99^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione degli ultimi occupanti a muoversi

A tipologia sistemi allarme
 B complessità edifici
 M tipo gestione sicurezza

Figura 39 - Tabella tempo di pre-movimento edificio museo

Con la seconda tabella, la norma, sempre in relazione al profilo di rischio R_{vita} , propone due tempi di pre-movimento, rispettivamente dei primi e degli ultimi occupanti che si mettono in moto.

In favore di sicurezza, si è deciso di selezionare il secondo valore, cioè quello relativo al movimento degli ultimi occupanti.

In questo modo, si ottengono i seguenti tempi:

- $t_{det} + t_a = 270$ s (aumentato di 1 minuto rispetto alla tabella, in favore di sicurezza)
- $t_{pre} = 240$ s
- $t_{tra} = 437$ s (in favore di sicurezza è stato scelto il tempo ottenuto dalla simulazione software)

da ciò,

$$RSET = 270 + 240 + 437 = 947 \text{ s} = 15 \text{ min } 47 \text{ s}$$

3. PRIMA IPOTESI DI CAMBIO DESTINAZIONE D'USO

Entrambe le ipotesi previste in questo lavoro di tesi riguardano l'attività 65 descritta dal D.P.R. 151/2011.

65	Locali di spettacolo e di trattenimento in genere, impianti e centri sportivi, palestre, sia a carattere pubblico che privato, con capienza superiore a 100 persone, ovvero di superficie lorda in pianta al chiuso superiore a 200 m ² . Sono escluse le manifestazioni temporanee, di qualsiasi genere, che si effettuano in locali o luoghi aperti al pubblico.		fino a 200 persone	oltre 200 persone
----	--	--	--------------------	-------------------

Figura 40 - Attività 65 D.P.R. 151 2011

In questa prima ipotesi di cambio destinazione d'uso, l'edificio da attività museale diventa adibito ad attività di pubblico spettacolo di diverso tipo; infatti, ogni piano dell'edificio ospiterà un pubblico evento diverso. In questo modo ad ogni piano sarà presente un numero diverso di occupanti e sarà interessante analizzare la confluenza degli occupanti derivanti da eventi scollegati tra di loro.

Come anticipato nei capitoli precedenti, saranno oggetto di questa analisi solamente i piani fuori terra, ad eccezione del piano sesto, dedicato a locali tecnici.

Nello specifico, sono stati ipotizzati dei possibili eventi di pubblico spettacolo ad ogni piano:

- Piano Terra: ingresso, reception e zona bar
- Piano Primo: convegni/conferenze
- Piano Secondo: spettacoli cinematografici
- Piano Terzo: spettacoli musicali
- Piano Quarto: cene/cerimonie
- Piano Quinto: feste

Per determinare l'affollamento massimo di ogni piano, il Codice propone un indice di affollamento pari a 1,2 persone/m², come mostra la seguente tabella:

Tipologia di attività	Densità di affollamento
Ambiti all'aperto destinati ad attività di spettacolo o intrattenimento, delimitati e privi di posti a sedere	2,0 persone/m ²
Locali al chiuso di spettacolo o intrattenimento (es. sale concerti, trattenimenti danzanti, ...) privi di posti a sedere e di arredi, con carico di incendio specifico $q_f \leq 50 \text{ MJ/m}^2$	
Ambiti per mostre, esposizioni	1,2 persone/m ²
Ambiti destinati ad attività di spettacolo o intrattenimento (es. sale concerti, trattenimenti danzanti, ...) con presenza di arredi o con carico di incendio specifico $q_f > 50 \text{ MJ/m}^2$	
Ambiti adibiti a ristorazione	0,7 persone/m ²

Figura 41 - Indice di affollamento Codice di Prevenzione Incendi

Utilizzando questo indice di affollamento, però, porterebbe ad un totale di più di 3500 persone. È stato quindi deciso di basarsi sul numero di posti a sedere o sul numero di postazioni ipotizzate.

Come nel caso del museo, le postazioni di goni piano sono state predisposte secondo una logica e soprattutto nel rispetto delle misure proposte dal Codice. Ad esempio, per quanto riguarda la disposizione dei posti a sedere in settori e file, presenti ai piani 1,2 e 3 (conferenze, spettacoli cinematografici e spettacoli musicali) il Codice prevede che la larghezza dei corridoi tra due settori non deve essere inferiore a 1200 mm. Inoltre, ipotizzando l'installazione di posti a sedere fissi, la seguente tabella propone un numero di posti a sedere sulla base della distanza tra due file di sedili:

Larghezza passaggio tra file di sedili [mm]	Massimo numero di sedili per fila	
	Passaggio tra file monodirezionale	Passaggio tra file bidirezionale
$L < 300$	1	2
$300 \leq L < 325$	7	14
$325 \leq L < 350$	8	16
$350 \leq L < 375$	9	18
$375 \leq L < 400$	10	20
$400 \leq L < 425$	11	22
$425 \leq L < 450$	12	24
$450 \leq L < 475$		26
$475 \leq L < 500$		28
$L \geq 500$		Limitato dalla lunghezza d'esodo

Figura 42 - Tabella S.4-9: Massimo numero di sedili fissi per fila del settore

Secondo l'ipotesi effettuata tutti posti a sedere presentano un passaggio tra file bidirezionale e una distanza tra file di 37 cm, di conseguenza, il numero massimo di posti a sedere risulta essere 18, numero largamente rispettato.

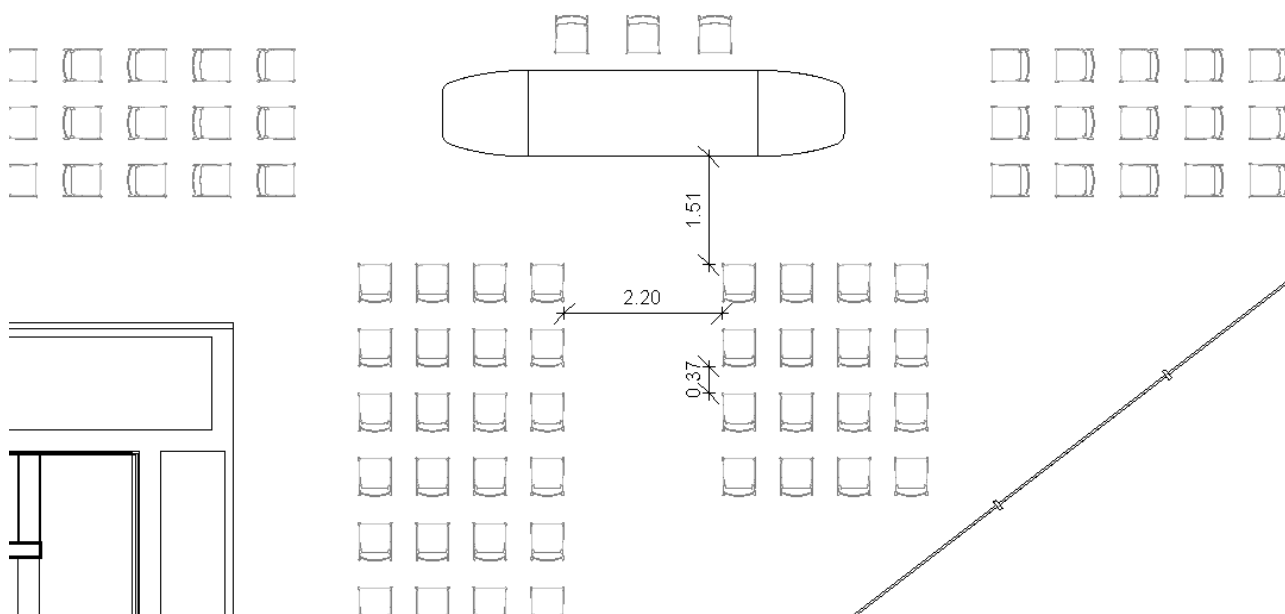


Figura 43 - Distanze posti a sedere edificio museo

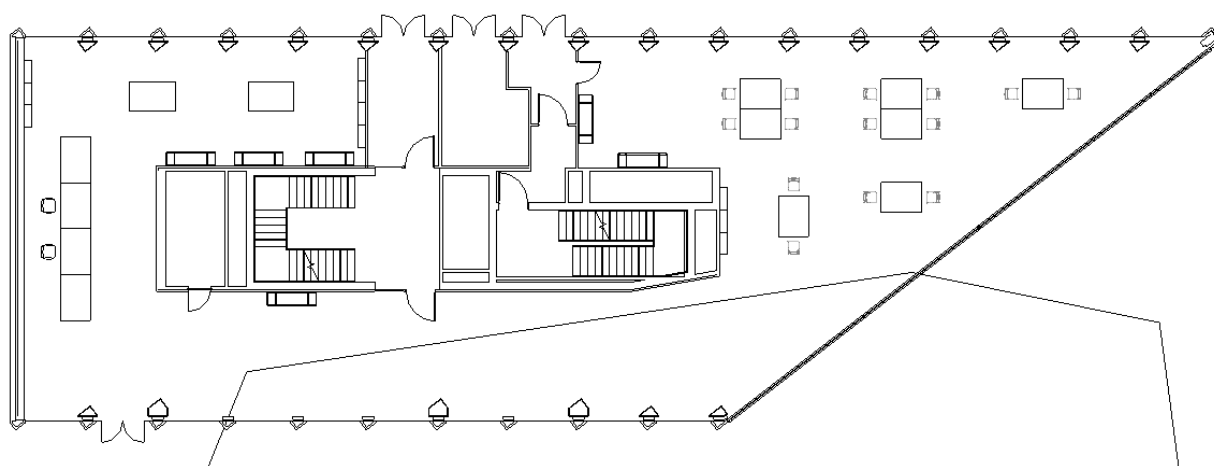
Basandosi quindi sul numero di postazioni previste è stato determinato il massimo affollamento per ogni piano, per un totale di 700 persone ipotizzate per i 5 piani considerati.

La seguente tabella riassume i dati appena descritti:

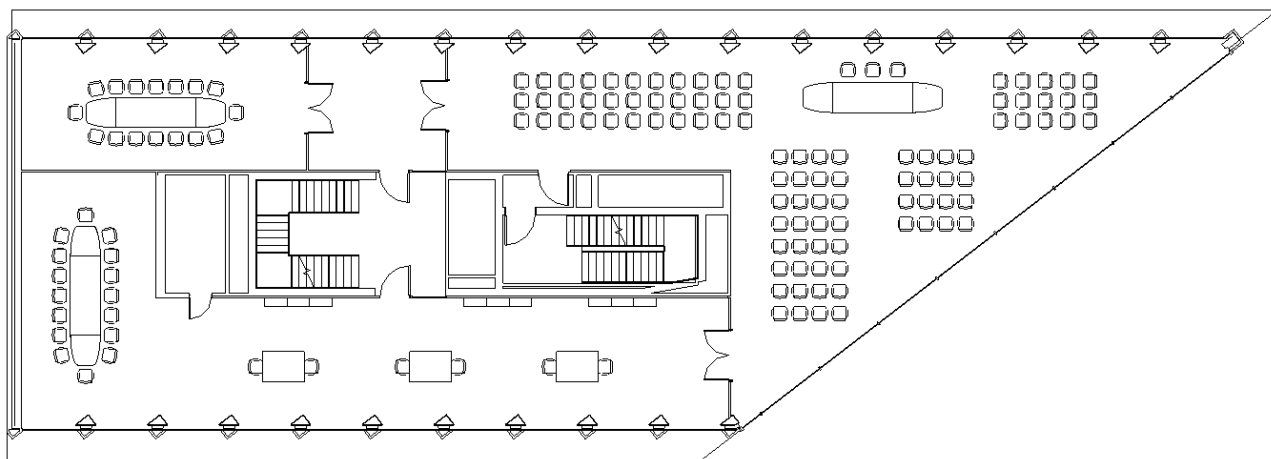
Piano	Destinazione d'uso	Superficie [m ²]	Affollamento massimo
0	ingresso, reception, zona bar	432	10
1	convegni, conferenze	475	180
2	spettacoli cinematografici	475	180
3	spettacoli musicali	475	180
4	cene, cerimonie	475	70
5	feste	475	80
totale		2807	700

Figura 44 - Tabella piani considerati prima ipotesi

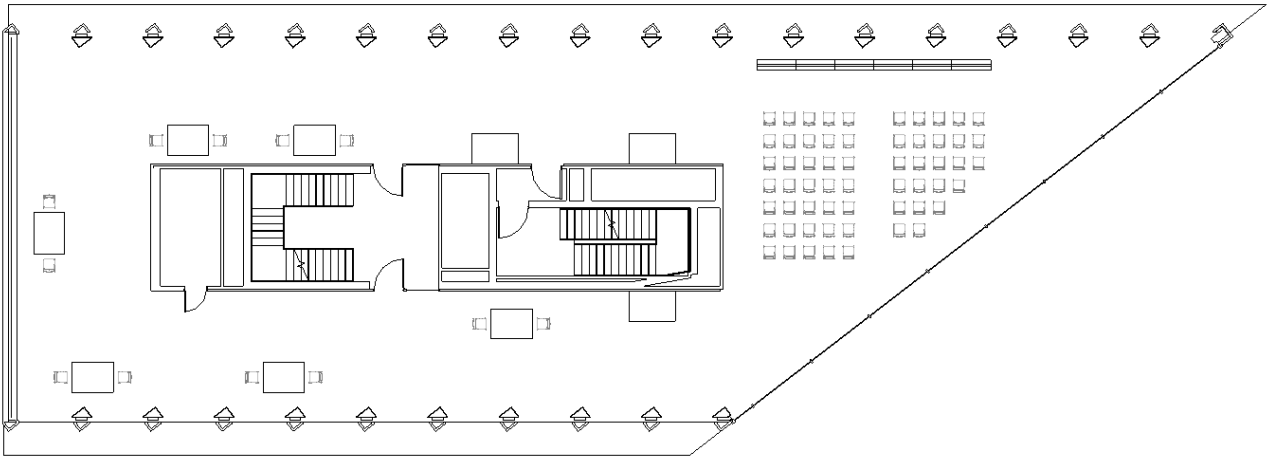
Di seguito sono riportate le piante arredate dei piani destinati a pubblico spettacolo:



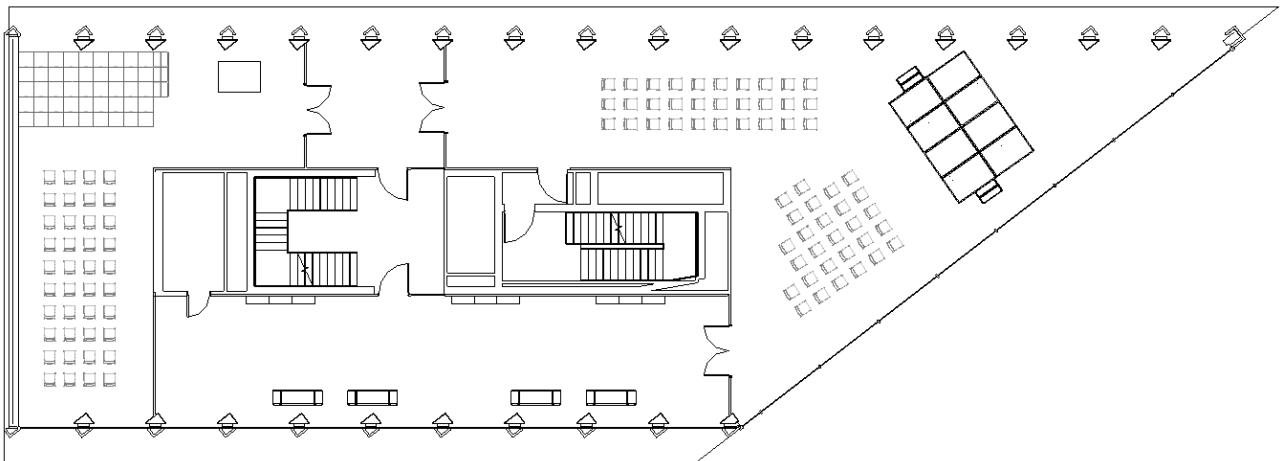
Pianta Piano Terra – Ingresso, reception, zona bar



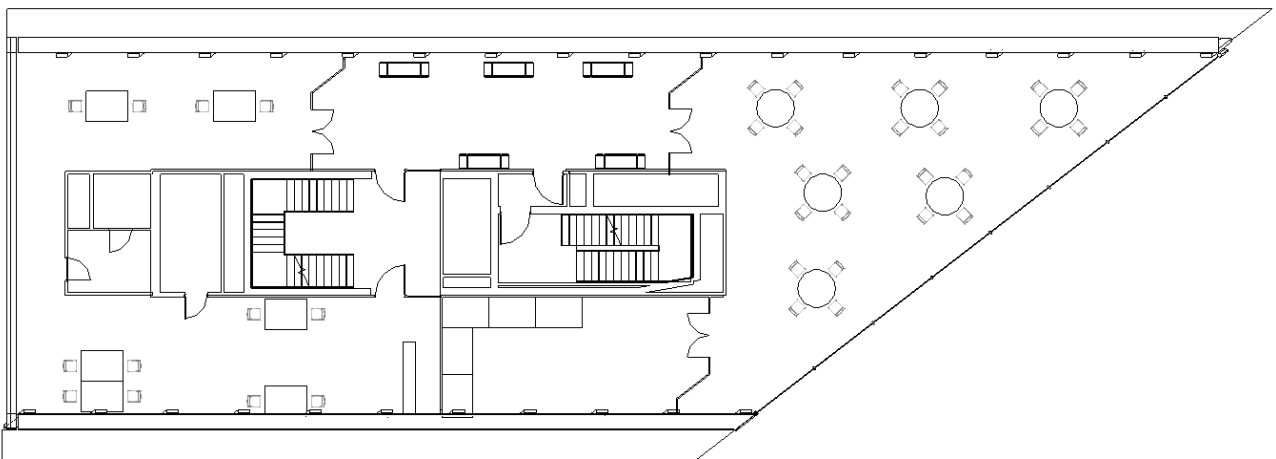
Pianta Piano Primo – Convegni, conferenze



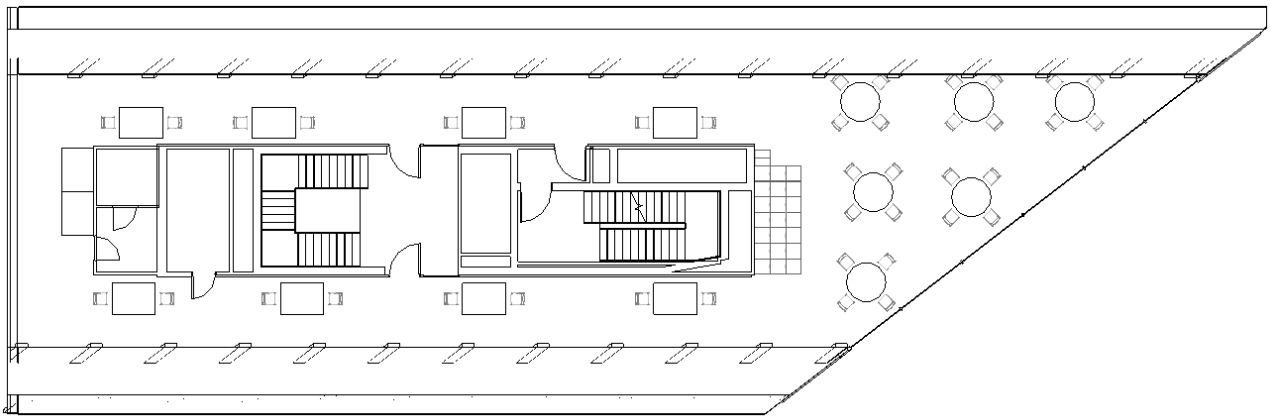
Pianta Piano Secondo – Spettacoli cinematografici



Pianta Piano Terzo – Spettacoli musicali



Pianta Piano Quarto – Cene, cerimonie



Pianta Piano Quinto - Feste

3.1. APPLICAZIONE DEL CODICE

G.3.2. Profili di rischio Rvita

In questo capitolo vengono analizzati i cambiamenti che comporta il cambio di destinazione d'uso. È ovvio che in parte i risultati rimarranno invariati rispetto al caso iniziale destinato a museo.

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

[1] Quando nel presente documento si usa C la relativa indicazione è valida per Ci, Cii, Ciii

Figura 45 - Tabella G.3-1: Caratteristiche prevalenti degli occupanti

δ_a	t_a [1]	Criteri
1	600 s lenta	Ambiti di attività con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$, oppure ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo trascurabile all'incendio.
2	300 s media	Ambiti di attività ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo moderato all'incendio.
3	150 s rapida	Ambiti con presenza di significative quantità di materiali plastici impilati, prodotti tessili sintetici, apparecchiature elettriche e elettroniche, materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco (capitolo S.1). Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $3,0 \text{ m} < h \leq 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS3 oppure attività classificate HHP1, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti con impianti tecnologici o di processo che impiegano significative quantità di materiali combustibili. Ambiti con contemporanea presenza di materiali combustibili e lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
4	75 s ultra- rapida	Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $h > 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS4 oppure attività classificate HHP2, HHP3 o HHP4, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti ove siano presenti o in lavorazione significative quantità di sostanze o miscele pericolose ai fini dell'incendio, oppure materiali plastici cellulari/espansi o schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.

A meno di valutazioni più approfondite da parte del progettista (es. dati di letteratura, misure dirette, ...), si ritengono *non significative* ai fini della presente classificazione almeno le quantità di materiali nei compartimenti con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$.

[1] Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio.
[2] Con h altezza d'impilamento.

Figura 46 - Tabella G.3-2: Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio

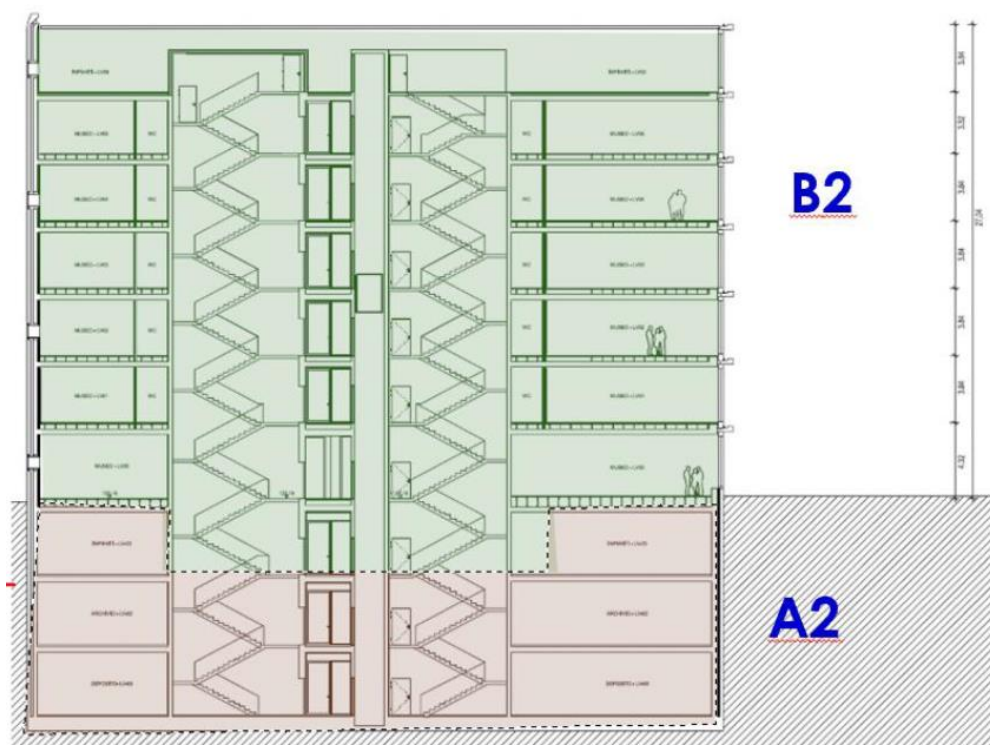


Figura 47 - Schema sezione profili di rischio

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

Figura 48 - Tabella G.3-4: Profilo di rischio R_{vita} per alcune tipologie di destinazione d'uso

Il profilo di rischio R_{vita} non cambia rispetto alla situazione iniziale, l'edificio rimane R_{vita} A2 nei piani interrati e R_{vita} B2 nei piani fuori terra.

G.3.3. Profili di rischio Rbeni

		Attività o ambito vincolato	
		No	Sì
Attività o ambito strategico	No	R _{beni} = 1	R _{beni} = 2
	Sì	R _{beni} = 3	R _{beni} = 4

Figura 49 - Tabella G.3-5: Determinazione di Rbeni

Non trattandosi più di attività vincolata, Rbeni non è più 2, bensì diventa 1.

V.15.3. Resistenza al fuoco

Una modifica importante che consegue al cambio di destinazione d'uso riguarda la RTV di riferimento. Infatti, se la Regola Tecnica Verticale per attività museale era il capitolo V.10, le attività di pubblico spettacolo si riferiscono al capitolo V.15 "Attività di intrattenimento e di spettacolo a carattere pubblico".

Il capitolo V.15 prevede la seguente classificazione.

- a. in relazione al numero di occupanti n:

OA: $n \leq 200$;

OB: $200 < n \leq 1000$;

OC: $1000 < n \leq 5000$;

OD: $n > 5000$.

- b. in relazione alla quota dei piani h accessibili al pubblico:

HA: $-1 \text{ m} \leq h \leq 6 \text{ m}$;

HB: $-5 \text{ m} \leq h \leq 12 \text{ m}$;

HC: $-10 \text{ m} \leq h \leq 24 \text{ m}$;

HD: tutti gli altri casi non rientranti nella classificazione precedente.

L'edificio, secondo tale classificazione, rientra come OB e HC.

Compartimenti	Attività			
	HA	HB	HC	HD
Fuori terra	30 [1]	60		90
Interrati	-	90		

[1] Per le attività che occupano un unico piano a quota compresa fra -1 m e +1 m, in opere da costruzione destinate esclusivamente a tali attività e compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione, senza comunicazioni, si applica la classe minima di resistenza al fuoco indicata nel capitolo S.2.

Figura 50 - Tabella V.15-1: Classe di resistenza al fuoco

Questa classificazione porta ad ottenere un valore minimo di classe di resistenza al fuoco di R60 per i piani fuori terra e R90 per i piani interrati.

S.4.8.1. Vie di esodo indipendenti

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

Figura 51 - Tabella V.4-15: Numero minimo di uscite indipendenti da locale o spazio a cielo libero

La valutazione delle vie di esodo indipendenti rimane invariata, dato che anche in questo caso, l'affollamento massimo per piano non supera i 200 occupanti.

Di seguito viene riportata la pianta del piano secondo, evidenziando le uscite:

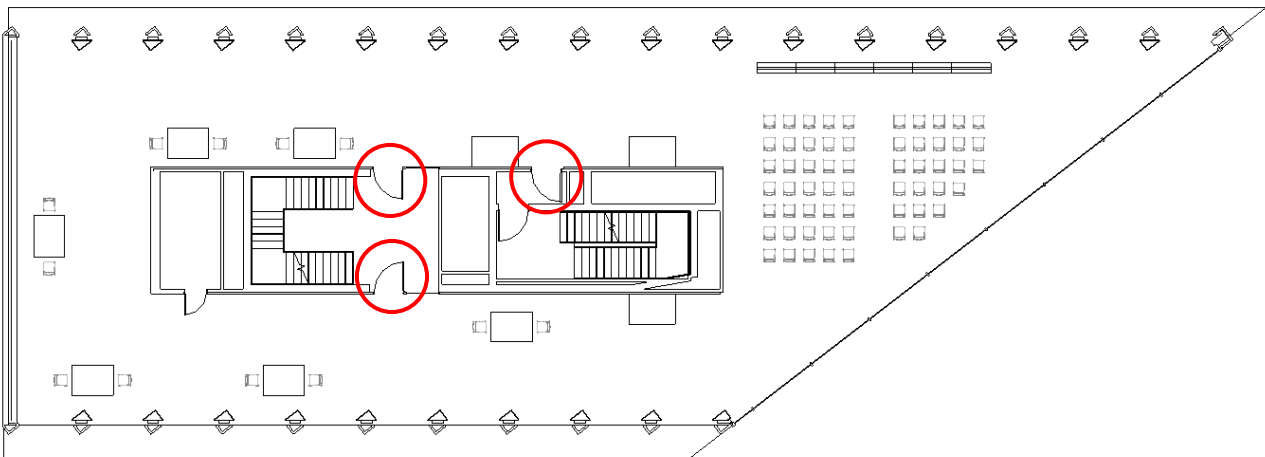


Figura 52 - Numero uscite dal piano

S.4.8.2. Corridoi ciechi

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

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

Figura 53 - Tabella S.4-18: Condizioni per il corridoio cieco

Anche la valutazione dei corridoi ciechi rimane la stessa del museo, e come in quella situazione, non vi sono corridoi ciechi ai piani aperti al pubblico.

S.4.8.3. Lunghezze d'esodo

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

I valori delle massime lunghezze d'esodo di riferimento possono essere incrementati in relazione a *requisiti antincendio aggiuntivi*, secondo la metodologia del paragrafo S.4.10.

Figura 54 - Tabella S.4-25: Massime lunghezze d'esodo

La massima lunghezza che almeno una via di esodo deve rispettare rimane pari a 50m. Il blocco scale dell'edificio, come prima, presenta caratteristiche di filtro a prova di fumo, ciò permette di omettere ancora le vie di esodo verticali nel calcolo della lunghezza delle vie di esodo.

Caratteristiche porzione omessa	Max lunghezza omessa L _{om} [1]	Prescrizioni aggiuntive
Con caratteristiche di <i>filtro</i> (esempio in tabella S.4-21)	≤ 45 m	Nessuna
	≤ 90 m	[2]
Con caratteristiche di <i>filtro ed a prova di fumo</i>	≤ 120 m	Nessuna
	Illimitata	[2]
Anche senza protezione, che termini direttamente all' <i>uscita finale</i> o in <i>luogo sicuro</i> (esempio in tabella S.4-23)	≤ 15 m	Nessuna
Dall' <i>uscita finale</i> fino al <i>luogo sicuro</i> , in <i>via d'esodo esterna</i> (esempio in tabella S.4-24)	Illimitata	Nessuna

Gli ambiti serviti devono avere densità di affollamento ≤ 0,4 p/m² e, se aperti al pubblico, affollamento complessivo ≤ 300 occupanti, altrimenti affollamento complessivo ≤ 500 occupanti. In tali ambiti non è ammessa presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, o di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio. Ciascun locale dove gli occupanti possono dormire deve essere protetto ed avere chiusure almeno E 30-S_a.

[1] Se costituita da più porzioni continue con caratteristiche differenti, la *max lunghezza omessa* L_{om} è calcolata come *media pesata*, senza considerare le porzioni con L_{om} *illimitata* (esempio in tabella S.4-22). Le caratteristiche di protezione dovrebbero essere crescenti nel senso dell'esodo.

[2] Gli ambiti serviti siano sorvegliati da IRAI di livello di prestazione III (capitolo S.7) e sia prevista gestione della sicurezza di livello di prestazione II (capitolo S.5).

Figura 55 - Tabella S.4-20: Condizioni per l'omissione di porzione di corridoio cieco

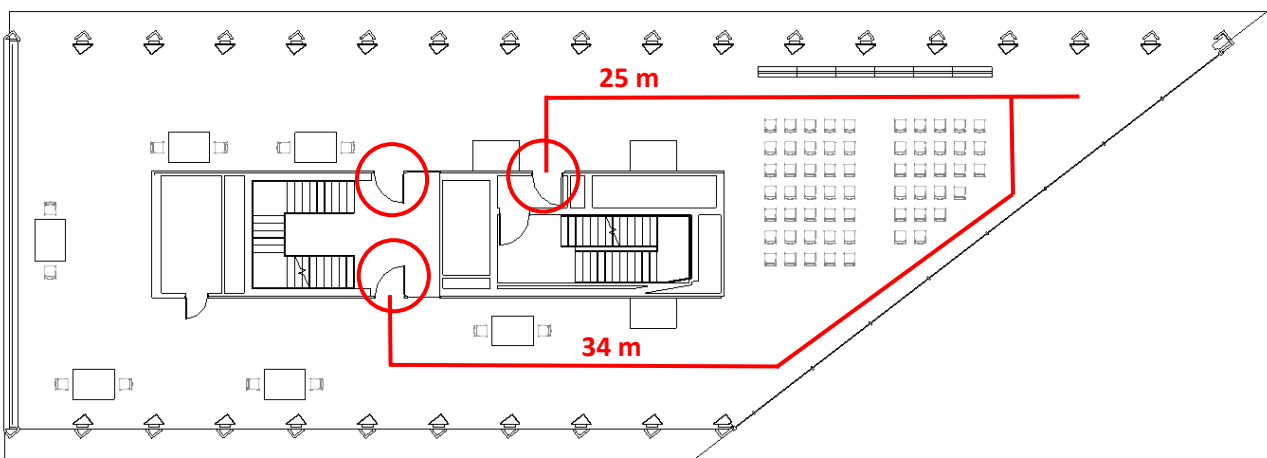


Figura 56 - Massime lunghezze di esodo nell'edificio

Anche in questo caso, i due percorsi più critici rispettano largamente i 50 m descritti dal Codice.

S.4.8.7. Calcolo della larghezza minima delle vie d'esodo orizzontali

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

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

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

Figura 57 - Tabella S.4-27: Larghezze unitarie per vie d'esodo orizzontali

Il Codice propone la seguente formula per determinare la larghezza minima delle vie di esodo orizzontali, a partire dal valore di R_{vita} ottenuto.

$$L_0 = L_U \cdot n_0 \quad \text{S.4-1}$$

con:

L₀ larghezza minima della via d'esodo orizzontale [mm]

L_U larghezza unitaria per le vie d'esodo orizzontali determinata dalla tabella S.4-27 in funzione del profilo di rischio R_{vita} di riferimento [mm/persona]

n₀ numero degli occupanti che impiegano tale via d'esodo orizzontale, nelle condizioni d'esodo più gravose (paragrafo S.4.8.6).

$$L_u = 4.10 \text{ mm/persona}$$

$$n_0 = 120 \text{ persone}$$

(considerando il caso più critico)

$$L_0 = 4.10 \cdot 120 = 492 \text{ mm}$$

Come prima, la larghezza minima, in ogni caso, non deve essere inferiore a 900 mm.

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

L'affollamento dell'ambito servito corrisponde al totale degli occupanti che impiegano ciascuna delle vie d'esodo che si dipartono da tale ambito.

Figura 58 - Tabella S.4-28: Larghezze minime per vie d'esodo orizzontali

Anche in questo caso, questo valore è rispettato.

S.4.8.8. Calcolo della larghezza minima delle vie d'esodo verticali

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

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

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

[F] Impiegato anche nell'esodo per fasi

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

Figura 59 - Tabella S.4-29: Larghezze unitarie per vie di esodo verticali

Similmente al calcolo delle vie di esodo orizzontali, il Codice propone la seguente formula:

$$L_V = L_U \cdot n_V \quad \text{S.4-2}$$

con:

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

Il numero di occupanti che utilizza le vie di esodo verticali può essere diviso per il numero di vie di esodo verticali, in questo caso due, secondo il paragrafo S.4.8.6 (verifica di ridondanza). Sono state considerate 700 persone nei piani analizzati e 6 persone nel resto dei piani (il numero delle persone ai piani non considerati è rimasto uguale al caso precedente).

$$L_u = 2.90 \text{ mm/persona}$$

$$n_v = 353 \text{ persone} \\ (706/2)$$

$$L_o = 2.90 \cdot 353 = 1023.7 \text{ mm}$$

Rispetto a prima, cambia solamente il numero di occupanti, dato che il numero di piani serviti rimane invariato. Anche in questo caso, le vie di esodo verticali di larghezza 1200 mm permettono di rispettare questa verifica.

3.2. CALCOLO ANALITICO

Anche per quanto riguarda questo capitolo, ci saranno dei valori che rimarranno invariati rispetto al caso precedente. Questo perché diversi risultati dipendono dalla struttura dell'edificio, che non è stata modificata.

La larghezza della porta di uscita è rimasta di 120 cm e di conseguenza la larghezza effettiva sarà sempre di 90 cm.

$$W_e = 1.20 - 0.15 \cdot 2 = 0.90 \text{ m}$$

La densità di affollamento per ogni piano è stata mantenuta pari a 2.1 pers/m² e quindi anche le velocità sono rimaste invariate. Si ricorda che per quanto riguarda la velocità lungo i corridoi e le porte è stato utilizzato $k = 1.40$, mentre è stato utilizzato $k = 1.16$ per la velocità lungo le scale, secondo la seguente tabella:

Elemento della via di esodo		k (m/s)
Corridoi, spazio tra due file di panche, rampe, porte		1.4
Scale		
Alzata (cm)	Pedata (cm)	
19.0	25.4	1
17.8	27.9	1.08
16.5	30.5	1.16
16.5	33.0	1.23

Figura 60 - Tabella fattore di velocità per elementi della via di esodo

$$V_{\text{corridoi/porte}} = 1.40 \cdot (1 - 0.266 \cdot 2.10) = 0.62 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{scale}} = 1.16 \cdot (1 - 0.266 \cdot 2.10) = 0.51 \text{ m/s}$$

È possibile quindi ottenere un flusso specifico e il flusso calcolato attraverso la porta di uscita dal piano:

$$F_s = V \cdot D = 0.62 \cdot 2.10 = 1.30 \text{ pers/s} \cdot \text{m}$$

$$F_c = F_s \cdot W_e = 1.30 \cdot 0.90 = 1.17 \text{ pers/s}$$

La distanza media per ogni piano che gli occupanti dovranno percorrere per raggiungere le scale, luogo sicuro dinamico, è stata nuovamente valutata di 25 m, potendo così determinare il tempo necessario per raggiungerle, considerando la velocità calcolata in precedenza:

$$T_m = \frac{25}{0.62} = 41 \text{ s}$$

Viene considerato anche in questo caso il piano quinto:

$$T_{\text{def}} = \frac{P}{F_c} = \frac{40}{1.17} = 34 \text{ s (avendo due scale, il numero di occupanti si divide per due)}$$

Le scale, essendo rimaste invariate, portano ad ottenere i seguenti tempi per percorrerle (considerando come prima 10 pianerottolo e 10 rampe tra il piano quinto e il piano terra):

$$T_{\text{rampa}} = \frac{4.35}{0.51} = 8.53 \text{ s} \rightarrow 8.53 \cdot 10 = 85.3 \text{ s}$$

$$T_{\text{pianerottolo}} = \frac{1.20}{0.62} = 1.94 \text{ s} \rightarrow 1.94 \cdot 10 = 19.4 \text{ s}$$

Viene quindi calcolato il tempo necessario per attraversare la porta di uscita del piano terra, di larghezza 1.20 m e di larghezza effettiva 0.90 m (calcolata in precedenza). Considerando che questa porta sarà utilizzata dalla metà degli occupanti di tutto l'edificio (avendo 2 scale), pari 350 persone, e riprendendo i valori ottenuti di flusso specifico e calcolato, si otterrà un tempo di deflusso pari a:

$$T_{\text{def}} = \frac{P}{F_c} = \frac{350}{1.17} = 299 \text{ s} = 4 \text{ min } 59 \text{ s}$$

Infine, si calcola il tempo necessario per percorrere la distanza tra l'ultima porta del blocco scala del piano terra e l'uscita finale dell'edificio, che rimane come il caso precedente di circa 10 m:

$$T_m = \frac{10}{0.62} = 16 \text{ s}$$

In definitiva, le persone presenti al quinto piano impiegheranno per la loro fuga un tempo pari a:

$$T_{\text{tot}} = 41 + 34 + 85.3 + 19.4 + 299 + 16 = 495 \text{ s} = 8 \text{ min } 15 \text{ s}$$

3.3. SIMULAZIONE MASS MOTION

Le impostazioni della simulazione tramite Mass Motion rimangono pressoché le stesse del caso precedente, le uniche modifiche applicate riguardano la posizione dei portali, che è stata adattata alla nuova predisposizione dei locali, e il numero di occupanti di ogni piano.

L'immagine seguente mostra la situazione al tempo zero, in cui viene evidenziata la maggiore distribuzione degli occupanti nelle zone occupate dai posti a sedere fissi:

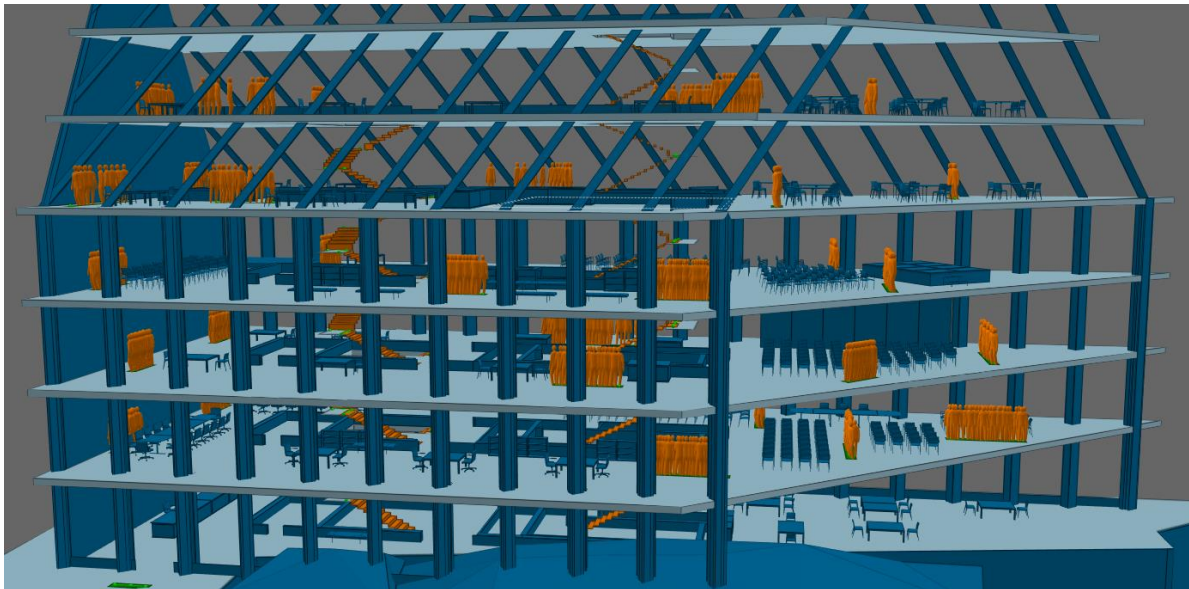


Figura 61 - Simulazione al tempo zero

Il primo occupante a raggiungere l'esterno dell'edificio impiega 1 minuto e 17 secondi:

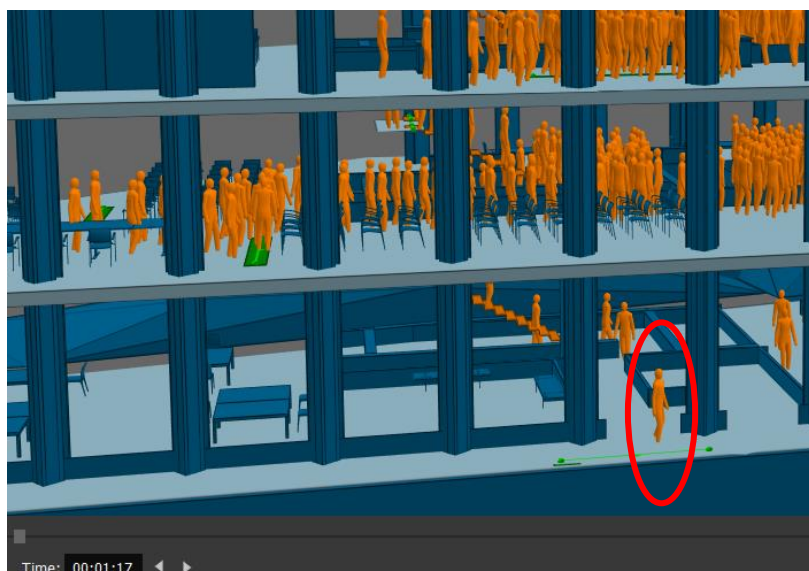


Figura 62 - Primo individuo a raggiungere l'esterno

Il tempo totale di esodo ottenuto dalla simulazione tramite Mass Motion risulta di 531 secondi, cioè 8 minuti e 51 secondi. Anche in questo caso c'è uno sfasamento tra il tempo ottenuto in modo analitico e tramite software (di 36 secondi).

3.4. CALCOLO TEMPO DI ESODO

Non essendo cambiato il profilo di rischio R_{vita} (B2) i tempi di rivelazione, il tempo di allarme e il tempo di pre-movimento rimangono uguali al caso di attività museale:

Profilo di rischio R_{vita}	$t_{det} + t_a$ [sec]	descrizione
A ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio
A ₂	180	Attività probabilmente provviste di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio
A ₃	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
A ₄	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni.
B ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B ₂	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B ₃	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
C ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
C ₂	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
C ₃	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni.
D ₁	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
D ₂	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni

Figura 63 - Tabella tempo di rivelazione e tempo di allarme edificio pubblico spettacolo prima ipotesi

Profilo di rischio R_{vita}	$t_{pre(1^\circ)}$ [sec]	$t_{pre(99^\circ)}$ [sec]	descrizione
A ₁	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A ₂	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A ₃	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
A ₄	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
B ₁	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B ₂	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B ₃	30	150	B: Awake and unfamiliar, M1 B1 A1-A2
C ₁	1200	2400	C: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
C ₂	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
C ₃	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
D ₁	600	1200	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
D ₂	300	600	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2

$t_{pre(1^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione dei primi occupanti a muoversi
 $t_{pre(99^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione degli ultimi occupanti a muoversi

A tipologia sistemi allarme
B complessità edifici
M tipo gestione sicurezza

Figura 64 - Tabella tempo di pre-movimento edificio museo

In questo modo, si ottengono i seguenti tempi:

- $t_{\text{det}} + t_a = 270$ s (aumentato di 1 minuto rispetto alla tabella, in favore di sicurezza)
- $t_{\text{pre}} = 240$ s (con le stesse motivazioni del caso precedente)
- $t_{\text{tra}} = 531$ s (in favore di sicurezza anche in questo caso è stato scelto il tempo ottenuto dalla simulazione software)

$$\text{RSET} = t_{\text{det}} + t_a + t_{\text{pre}} + t_{\text{tra}} = 270 + 240 + 531 = 1041 \text{ s} = 17 \text{ minuti } 21 \text{ secondi}$$

4. PUBBLICO SPETTACOLO UNICO PER TUTTI I PIANI

La seconda ipotesi vede, come il caso precedente, un cambio di destinazione d'uso da attività museale ad attività di pubblico spettacolo (attività 65 del D.P.R. 151/2011), però in questo caso, tutti piani aperti al pubblico vengono utilizzati per la stessa attività. A titolo esemplificativo, si è scelto di adibire ogni piano a convegni o conferenze.

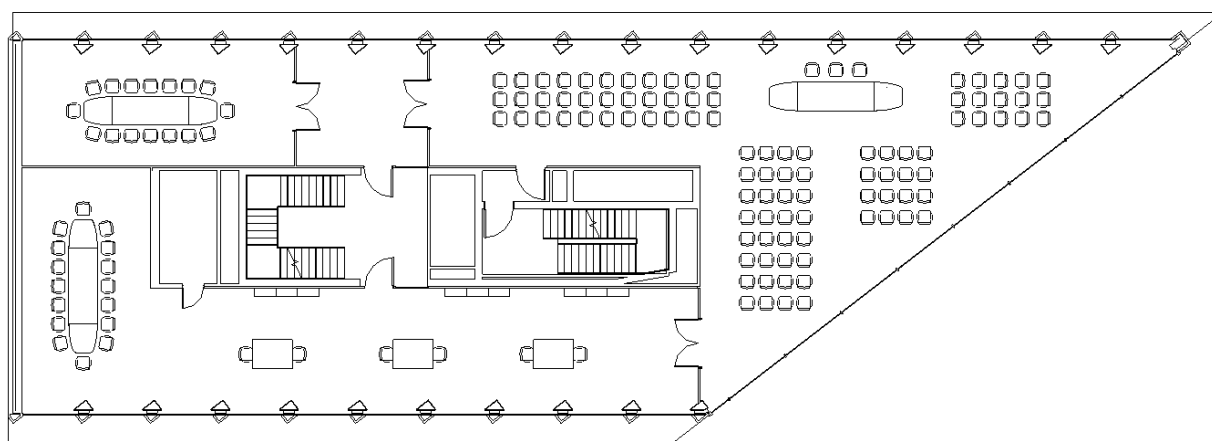
Anche in questo caso non è stato utilizzato l'indice di affollamento proposto dal Codice, ma il massimo affollamento ad ogni piano è stato ipotizzato sulla base del numero massimo di occupanti che possono usufruire delle vie di esodo verticali delle dimensioni dell'edificio (come si vedrà nel capitolo successivo). Il numero totale ottenuto è di 826 persone, comprese i soliti 6 occupanti dei piani con i locali tecnici.

La seguente tabella riassume i dati appena descritti:

Piano	Destinazione d'uso	Superficie [m ²]	Affollamento massimo
0	ingresso, reception, zona bar	432	10
1	convegni, conferenze	475	180
2	convegni, conferenze	475	180
3	convegni, conferenze	475	180
4	convegni/conferenze	475	140
5	convegni, conferenze	475	130
totale		2807	820

Figura 65 - Tabella piani considerati seconda ipotesi

Trattandosi della stessa attività, la disposizione degli arredi interni è stata considerata uguale in ogni piano, per questo motivo, di seguito sono riportati il piano terra e il piano primo, identificabile come piano tipo di questa ipotesi:



Pianta piano tipo – Convegni e conferenze

4.1. APPLICAZIONE DEL CODICE

I risultati ottenuti in questo capitolo rimangono pressoché gli stessi della prima ipotesi, trattandosi della stessa destinazione d'uso, ad eccezione delle valutazioni relative al numero di occupanti dell'edificio. Per questo motivo vengono, verranno riportati solamente i risultati di ciò che rimane invariato e verranno invece approfonditi i capitoli che riportano delle differenze.

G.3.2. Profili di rischio Rvita

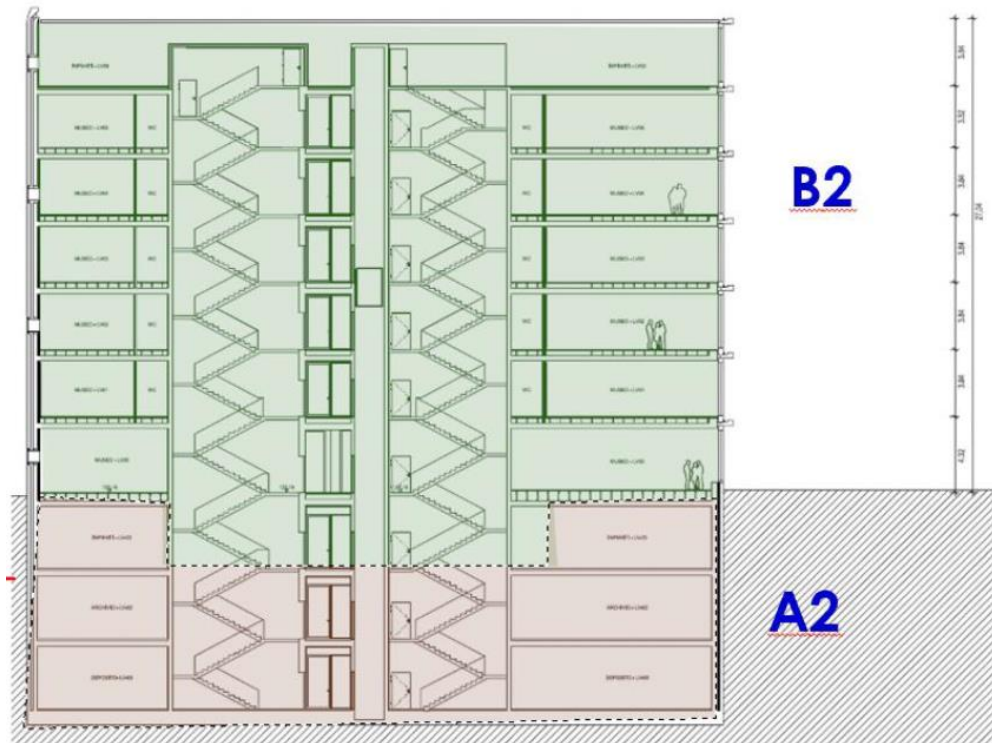


Figura 66 - Schema sezione profili di rischio

L'edificio presenta profilo di rischio Rvita B2 nei piani fuori terra e A2 nei piani interrati.

G.3.3. Profili di rischio Rbeni

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

Figura 67 - Tabella G.3-5: Determinazione di Rbeni

Non trattandosi più di attività vincolata, Rbeni non è più 2, bensì diventa 1.

V.15.3. Resistenza al fuoco

Compartimenti	Attività			
	HA	HB	HC	HD
Fuori terra	30 [1]	60		90
Interrati	-	90		

[1] Per le attività che occupano un unico piano a quota compresa fra -1 m e +1 m, in opere da costruzione destinate esclusivamente a tali attività e compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione, senza comunicazioni, si applica la classe minima di resistenza al fuoco indicata nel capitolo S.2.

Figura 68 - Tabella V.15-1: Classe di resistenza al fuoco

L'edificio ha una classe di resistenza al fuoco R60 nei piani fuori terra e R90 nei piani interrati.

S.4.8.1. Vie di esodo indipendenti

Di seguito viene riportata la pianta del piano secondo, evidenziando le uscite:

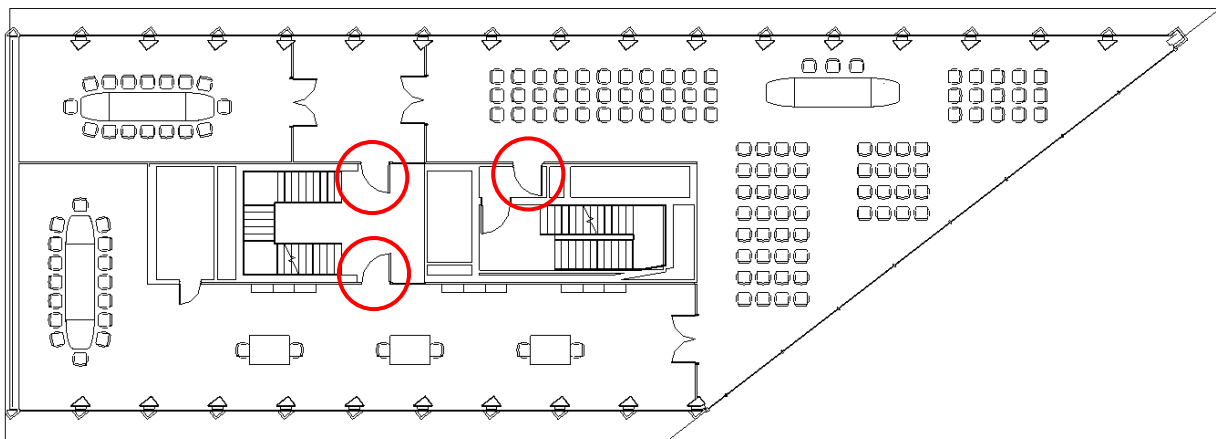


Figura 69 - Numero uscite dal piano

S.4.8.2. Corridoi ciechi

Non sono presenti corridoi ciechi ai piani aperti al pubblico.

S.4.8.3. Lunghezze d'esodo

La massima lunghezza che almeno una via di esodo deve rispettare rimane pari a 50m.

Il blocco scale dell'edificio, come prima, presenta caratteristiche di filtro a prova di fumo, ciò permette di omettere ancora le vie di esodo verticali nel calcolo della lunghezza delle vie di esodo.

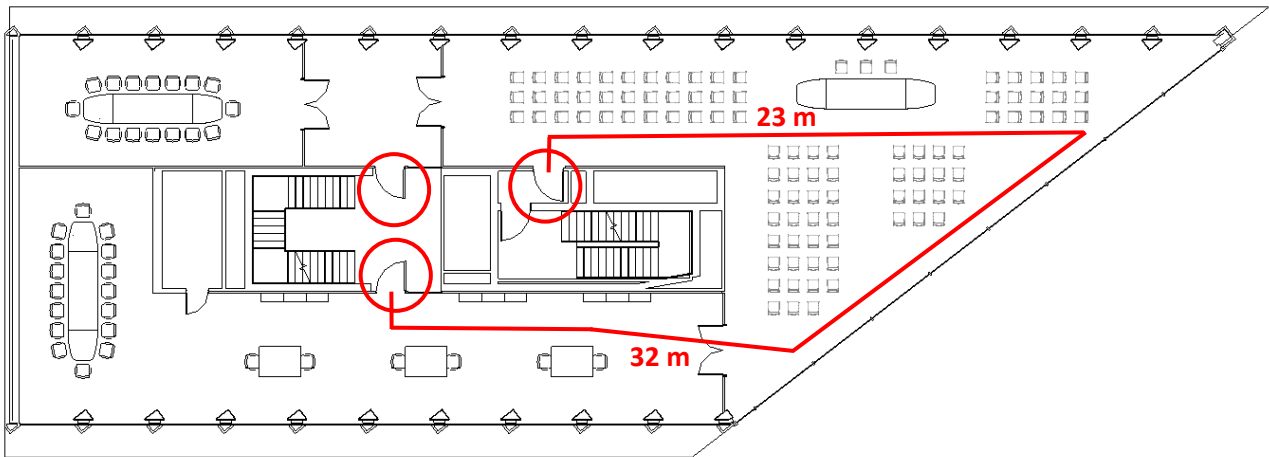


Figura 70 - Massime lunghezze d'esodo nell'edificio

Anche in questo caso, i due percorsi più critici rispettano largamente i 50 m descritti dal Codice.

S.4.8.7. Calcolo della larghezza minima delle vie d'esodo orizzontali

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

I valori delle larghezze unitarie sono espressi in mm/persona ed assicurano una durata dell'attesa in coda, per gli occupanti che impiegano la specifica via d'esodo, non superiore a Δt_{coda} .
 [1] Per occupanti prevalentemente in piedi e densità d'affollamento > 0,7 p/m².

Figura 71 - Tabella S.4-27: Larghezze unitarie per vie d'esodo orizzontali

Il Codice propone la seguente formula per determinare la larghezza minima delle vie di esodo orizzontali, a partire dal valore di R_{vita} ottenuto.

$$L_o = L_U \cdot n_o \quad \text{S.4-1}$$

con:

L_o larghezza minima della via d'esodo orizzontale [mm]

L_U larghezza unitaria per le vie d'esodo orizzontali determinata dalla tabella S.4-27 in funzione del profilo di rischio R_{vita} di riferimento [mm/persona]

n_o numero degli occupanti che impiegano tale via d'esodo orizzontale, nelle condizioni d'esodo più gravose (paragrafo S.4.8.6).

$$L_u = 4.10 \text{ mm/persona}$$

$$n_o = 180 \text{ persone}$$

(considerando il caso più critico)

$$L_o = 4.10 \cdot 180 = 738 \text{ mm}$$

Come prima, la larghezza minima, in ogni caso, non deve essere inferiore a 900 mm.

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

L'affollamento dell'ambito servito corrisponde al totale degli occupanti che impiegano ciascuna delle vie d'esodo che si dipartono da tale ambito.

Figura 72 - Tabella S.4-28: Larghezze minime per vie d'esodo orizzontali

Anche in questo caso, questo valore è rispettato, come mostra la seguente immagine, in cui viene sottolineato come la via di esodo orizzontale più critica, cioè con la larghezza inferiore, rispetta il Codice.

S.4.8.8. Calcolo della larghezza minima delle vie d'esodo verticali

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

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

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

[F] Impiegato anche nell'esodo per fasi

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

Figura 73 - Tabella S.4-29: Larghezze unitarie per vie di esodo verticali

Similmente al calcolo delle vie di esodo orizzontali, il Codice propone la seguente formula:

$$L_V = L_U \cdot n_V \quad \text{S.4-2}$$

con:

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

Il numero di occupanti che utilizza le vie di esodo verticali può essere diviso per il numero di vie di esodo verticali, in questo caso due, secondo il paragrafo S.4.8.6 (verifica di ridondanza). Sono state considerate 700 persone nei piani analizzati e 6 persone nel resto dei piani (il numero delle persone ai piani non considerati è rimasto uguale al caso precedente).

$$L_U = 2.90 \text{ mm/persona}$$

$$n_V = 413 \text{ persone} \\ (826/2)$$

$$L_V = 2.90 \cdot 413 = 1197.7 \text{ mm}$$

Come anticipato nel capitolo precedente, l'affollamento totale utilizzato in questa ipotesi è il massimo affollamento ottenibile con le vie di esodo verticali presenti nell'edificio. Infatti, dalla verifica si ottiene che le vie di esodo verticali devono avere una larghezza non inferiore a 1197.7 mm, ossia 120 cm, cioè la dimensione delle scale presenti nell'edificio.

4.2. CALCOLO ANALITICO

I seguenti termini rimangono invariati dalla prima ipotesi:

$$W_e = 1.20 - 0.15 \cdot 2 = 0.90 \text{ m}$$

$$V_{\text{corridoi/porte}} = 1.40 \cdot (1 - 0.266 \cdot 2.10) = 0.62 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{scale}} = 1.16 \cdot (1 - 0.266 \cdot 2.10) = 0.51 \text{ m/s}$$

$$F_s = V \cdot D = 0.62 \cdot 2.10 = 1.30 \text{ pers/s}\cdot\text{m}$$

$$F_c = F_s \cdot W_e = 1.30 \cdot 0.90 = 1.17 \text{ pers/s}$$

Anche in questo caso, la distanza media da percorrere ad ogni piano è stata valutata 25 m:

$$T_m = \frac{25}{0.62} = 41 \text{ s}$$

Viene considerato anche in questo caso il piano quinto:

$$T_{\text{def}} = \frac{P}{F_c} = \frac{65}{1.17} = 55.56 \text{ s}$$

(avendo due scale, il numero di occupanti si divide per due: $\frac{130}{2} = 65$)

$$T_{\text{rampa}} = \frac{4.35}{0.51} = 8.53 \text{ s} \rightarrow 8.53 \cdot 10 = 85.3 \text{ s}$$

$$T_{\text{pianerottolo}} = \frac{1.20}{0.62} = 1.94 \text{ s} \rightarrow 1.94 \cdot 10 = 19.4 \text{ s}$$

Le dimensioni della porta al piano terra rimangono invariate, ma cambia il numero di occupanti che la devono attraversare. Questa porta sarà utilizzata dalla metà degli occupanti di tutto l'edificio (avendo 2 scale), pari 405 persone, e riprendendo i valori ottenuti di flusso specifico e calcolato, si otterrà un tempo di deflusso pari a:

$$T_{\text{def}} = \frac{P}{F_c} = \frac{405}{1.17} = 346 \text{ s} = 5 \text{ min } 46 \text{ s}$$

La distanza da percorrere al piano terra rimane di 10 m:

$$T_m = \frac{10}{0.62} = 16 \text{ s}$$

In definitiva, le persone presenti al quinto piano impiegheranno per la loro fuga un tempo pari a:

$$T_{\text{tot}} = 41 + 55.56 + 85.3 + 19.4 + 346 + 16 = 563 \text{ s} = 9 \text{ min } 23 \text{ s}$$

4.3. SIMULAZIONE MASS MOTION

Anche per questa seconda ipotesi vengono riportati i dati ottenuti da Mass Motion, le cui impostazioni sono rimaste le stesse dei casi precedenti. Ovviamente le uniche differenze riscontrabili sono la disposizione degli arredi interni e il numero di occupanti dell'edificio.

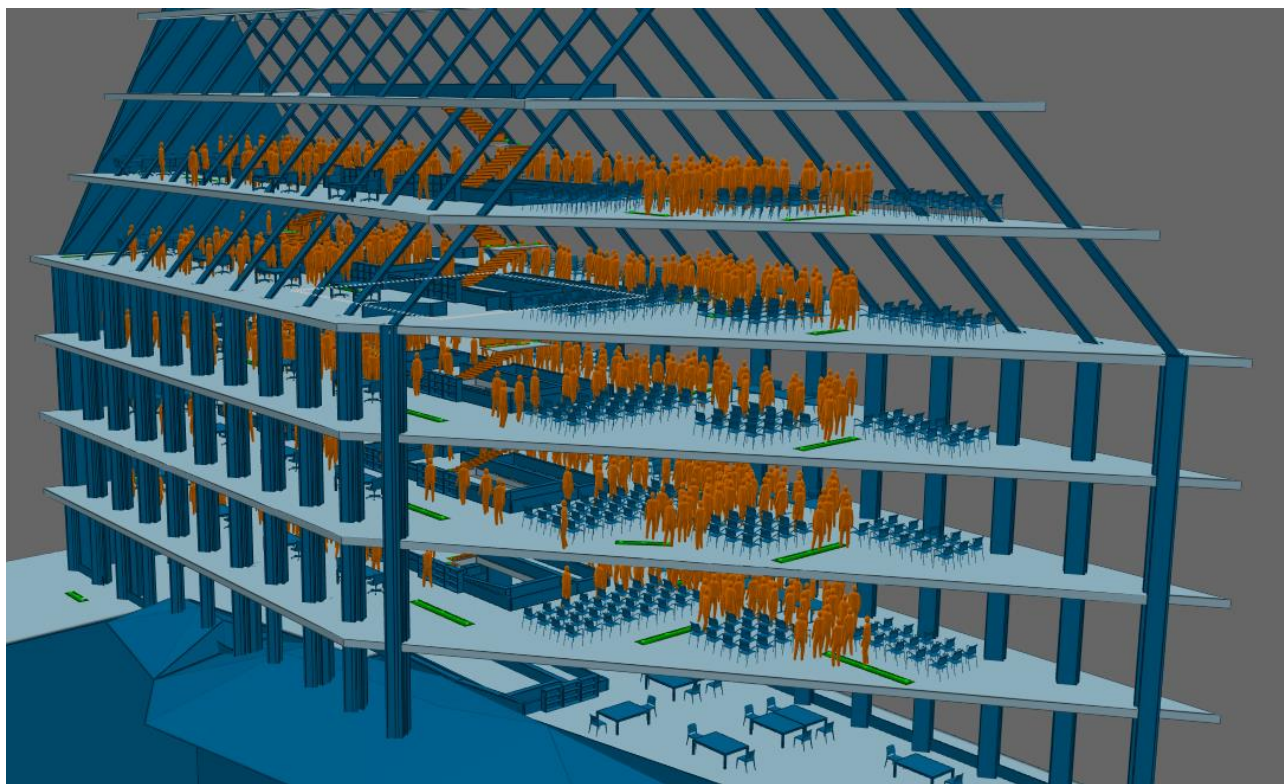


Figura 74 - Simulazione seconda ipotesi Mass Motion

Il tempo di movimento ottenuto tramite il software risulta di 603 secondi, ossia di 10 minuti e 3 secondi (con una differenza di 40 secondi dal risultato ottenuto analiticamente).

4.4. CALCOLO TEMPO DI ESODO

Non essendo cambiato il profilo di rischio R_{vita} (B2) i tempi di rivelazione, il tempo di allarme e il tempo di pre-movimento rimangono uguali al caso di attività museale e alla prima ipotesi:

Profilo di rischio R_{vita}	$t_{det} + t_a$ [sec]	descrizione
A ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio
A ₂	180	Attività probabilmente provviste di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio
A ₃	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
A ₄	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni.
B ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B ₂	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B ₃	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
C ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
C ₂	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
C ₃	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni.
D ₁	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
D ₂	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni

Figura 75 - Tabella tempo di rivelazione e tempo di allarme edificio pubblico spettacolo seconda ipotesi

Profilo di rischio R_{vita}	$t_{pre(1^\circ)}$ [sec]	$t_{pre(99^\circ)}$ [sec]	descrizione
A ₁	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A ₂	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A ₃	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
A ₄	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
B ₁	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B ₂	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B ₃	30	150	B: Awake and unfamiliar, M1 B1 A1-A2
C ₁	1200	2400	C: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
C ₂	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
C ₃	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
D ₁	600	1200	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
D ₂	300	600	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2

$t_{pre(1^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione dei primi occupanti a muoversi
 $t_{pre(99^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione degli ultimi occupanti a muoversi

A tipologia sistemi allarme
 B complessità edifici
 M tipo gestione sicurezza

Figura 76 - Tabella tempo di pre-movimento edificio pubblico spettacolo seconda ipotesi

In questo modo, si ottengono i seguenti tempi:

- $t_{\text{det}} + t_a = 270$ s (aumentato di 1 minuto rispetto alla tabella, in favore di sicurezza)
- $t_{\text{pre}} = 240$ s (con le stesse motivazioni del caso precedente)
- $t_{\text{tra}} = 603$ s (in favore di sicurezza anche in questo caso è stato scelto il tempo ottenuto dalla simulazione software)

$$\text{RSET} = t_{\text{det}} + t_a + t_{\text{pre}} + t_{\text{tra}} = 270 + 240 + 603 = 1113 \text{ s} = 18 \text{ minuti } 33 \text{ secondi}$$

5. CASO CRITICO

Benché l'edificio sia dotato di blocco scale con caratteristiche di filtro a prova di fumo e quindi la verifica di ridondanza risulti non necessaria, è stato comunque analizzato il caso più critico, cioè quello descritto esattamente da tale verifica al paragrafo S.4.8.6. Questa situazione sarà applicata alla seconda ipotesi, in modo da analizzare il caso con il maggiore affollamento disponibile.

Si ricorda quanto citato dal suddetto paragrafo:

1. *“Se un ambito (es. compartimento, piano, soppalco, locale, ...) è servito da più di una via d'esodo, l'incendio può renderne una indisponibile.”*
2. *“Ai fini della verifica di ridondanza, si deve rendere indisponibile una via d'esodo alla volta e verificare che le restanti vie d'esodo indipendenti da questa abbiano larghezza complessiva sufficiente a consentire l'esodo degli occupanti.”*
3. *“Le vie d'esodo a prova di fumo aventi le caratteristiche di filtro sono considerate sempre disponibili e non devono essere sottoposte a verifica di ridondanza, a meno di più restrittiva valutazione del rischio da parte del progettista.”*

Si è scelto di analizzare anche questa situazione, nonostante il Codice affermi che le vie di esodo dell'edificio sono da considerarsi sempre disponibili, poiché vi è una probabilità, anche se decisamente bassa, che l'incendio renda indisponibile una delle uscite dal piano presenti.

In questo caso, la scala scelta per valutare la verifica di ridondanza è quella che serve tutti i piani dell'edificio; infatti, delle due scale presenti, solo una si sviluppa dal piano -3 al piano 6, mentre l'altra non raggiunge l'ultimo piano (piano 6).

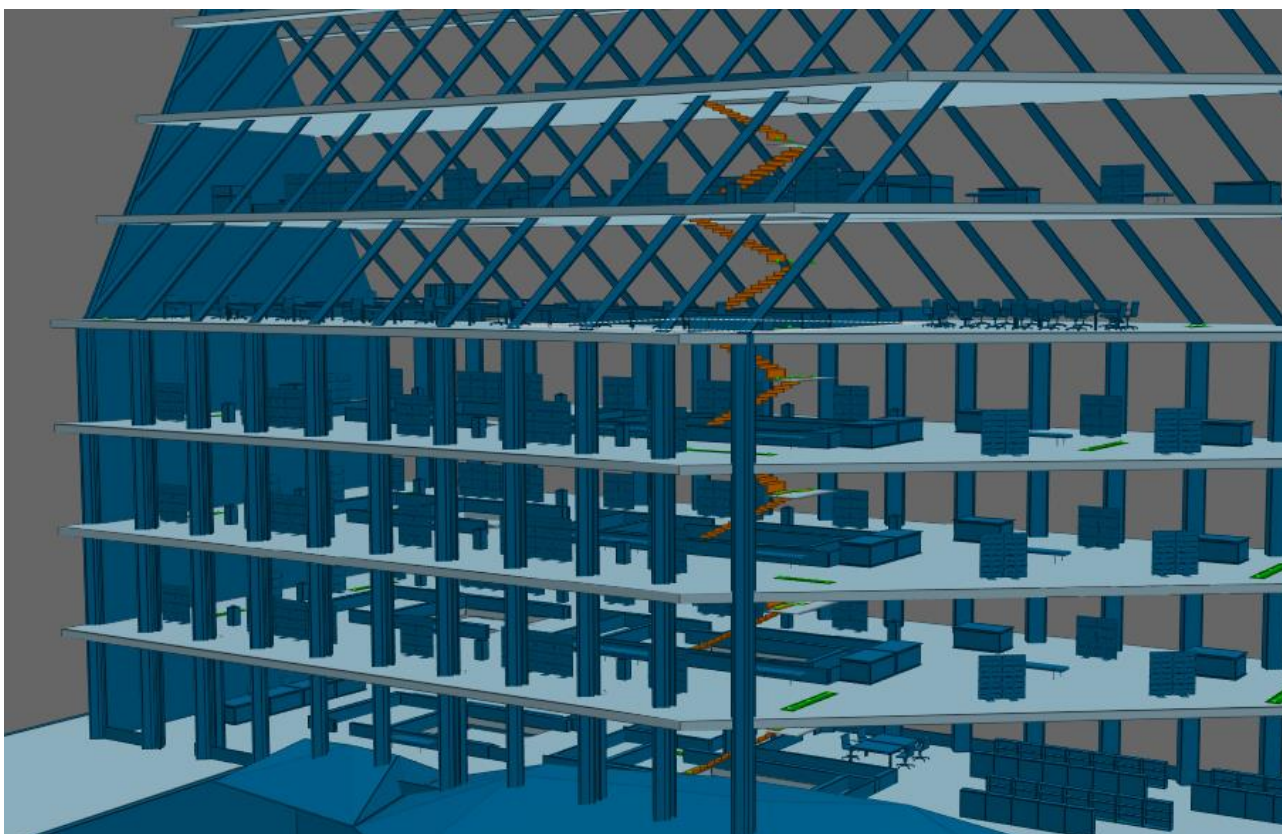


Figura 77 - Unica via di esodo verticale caso critico

5.1. CALCOLO ANALITICO

Rimangono validi i seguenti risultati:

$$W_e = 1.20 - 0.15 \cdot 2 = 0.90 \text{ m}$$

$$V_{\text{corridoi/porte}} = 1.40 \cdot (1 - 0.266 \cdot 2.10) = 0.62 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{scale}} = 1.16 \cdot (1 - 0.266 \cdot 2.10) = 0.51 \text{ m/s}$$

$$F_s = V \cdot D = 0.62 \cdot 2.10 = 1.30 \text{ pers/s}\cdot\text{m}$$

$$F_c = F_s \cdot W_e = 1.30 \cdot 0.90 = 1.17 \text{ pers/s}$$

La distanza media da percorrere ad ogni piano è stata valutata 25 m:

$$T_m = \frac{25}{0.62} = 41 \text{ s}$$

Considerando il piano quinto:

$$T_{\text{def}} = \frac{P}{F_c} = \frac{130}{1.17} = 111 \text{ s}$$

(in questo caso, viene considerato il totale degli occupanti del piano: 130)

$$T_{\text{rampa}} = \frac{4.35}{0.51} = 8.53 \text{ s} \rightarrow 8.53 \cdot 10 = 85.3 \text{ s}$$

$$T_{\text{pianerottolo}} = \frac{1.20}{0.62} = 1.94 \text{ s} \rightarrow 1.94 \cdot 10 = 19.4 \text{ s}$$

Le dimensioni della porta al piano terra rimangono invariate, ma cambia il numero di occupanti che la devono attraversare. Questa volta, la porta sarà utilizzata dalla totalità degli occupanti di tutto l'edificio, pari 810 persone (considerando i piani analizzati), e riprendendo i valori ottenuti di flusso specifico e calcolato, si otterrà un tempo di deflusso pari a:

$$T_{\text{def}} = \frac{P}{F_c} = \frac{810}{1.17} = 692 \text{ s} = 11 \text{ min } 32 \text{ s}$$

La distanza da percorrere al piano terra rimane di 10 m:

$$T_m = \frac{10}{0.62} = 16 \text{ s}$$

In definitiva, le persone presenti al quinto piano impiegheranno per la loro fuga un tempo pari a:

$$T_{\text{tot}} = 41 + 111 + 85.3 + 19.4 + 692 + 16 = 965 \text{ s} = 16 \text{ min } 5 \text{ s}$$

5.2. SIMULAZIONE MASS MOTION

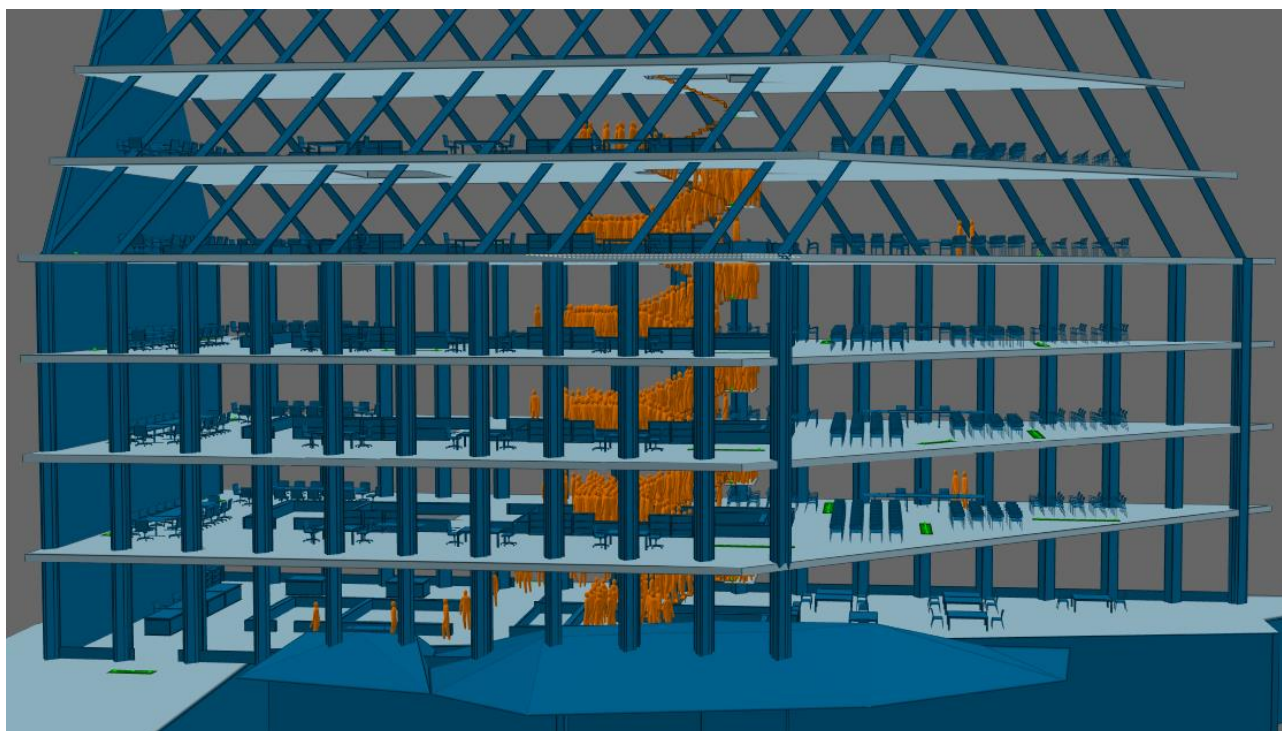


Figura 78 - Simulazione caso critico Mass Motion

Dalla simulazione tramite il software Mass Motion, risulta un tempo di movimento pari a 1111 secondi, cioè 18 minuti e 31 secondi.

Come in tutti i casi analizzati, anche in questo caso critico vi è un ritardo tra il tempo calcolato analiticamente e il tempo ottenuto tramite Mass Motion. In particolare, in quest'ultimo caso, il ritardo è nettamente maggiore (2 minuti e 26 secondi). Ciò dipende dal fatto che il totale delle persone utilizza la stessa via di esodo verticale, quando finora ogni scala era utilizzata al massimo dalla metà delle persone attuali. È quindi giustificato un ritardo dovuto ad un aumento delle interferenze nei punti di accesso alla scala.

5.3. CALCOLO TEMPO DI ESODO

Si riportano le tabelle proposte dalla norma:

Profilo di rischio R_{vita}	$t_{det} + t_a$ [sec]	descrizione
A ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio
A ₂	180	Attività probabilmente provviste di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio
A ₃	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
A ₄	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni.
B ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B ₂	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B ₃	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
C ₁	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
C ₂	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
C ₃	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni.
D ₁	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
D ₂	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni

Figura 79 - Tabella tempo di rivelazione e tempo di allarme edificio pubblico spettacolo caso critico

Profilo di rischio R_{vita}	$t_{pre(1^\circ)}$ [sec]	$t_{pre(99^\circ)}$ [sec]	descrizione
A ₁	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A ₂	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A ₃	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
A ₄	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
B ₁	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B ₂	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B ₃	30	150	B: Awake and unfamiliar, M1 B1 A1-A2
C ₁	1200	2400	C: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
C ₂	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
C ₃	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
D ₁	600	1200	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
D ₂	300	600	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2

$t_{pre(1^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione dei primi occupanti a muoversi
 $t_{pre(99^\circ)}$ tempo di pre-evacuazione degli ultimi occupanti a muoversi

A tipologia sistemi allarme
 B complessità edifici
 M tipo gestione sicurezza

Figura 80 - Tabella tempo di pre-movimento edificio pubblico spettacolo caso critico

In questo modo, si ottengono i seguenti tempi:

- $t_{\text{det}} + t_a = 270$ s (aumentato di 1 minuto rispetto alla tabella, in favore di sicurezza)
- $t_{\text{pre}} = 240$ s (con le stesse motivazioni del caso precedente)
- $t_{\text{tra}} = 1111$ s (in favore di sicurezza anche in questo caso è stato scelto il tempo ottenuto dalla simulazione software)

$$\text{RSET} = t_{\text{det}} + t_a + t_{\text{pre}} + t_{\text{tra}} = 270 + 240 + 1111 = 1621 \text{ s} = 27 \text{ minuti } 1 \text{ secondo}$$

6. CONCLUSIONI

Nel presente documento si è voluto analizzare i tempi di esodo di un edificio in fase di progettazione, la cui realizzazione è prevista per il 2025/2026. L'edificio sarà adibito a museo, attività classificata 72 secondo il D.P.R. 151/2011. Più precisamente si tratta dell'edificio che ospiterà il Museo Nazionale della Resistenza a Milano.

In questo elaborato si è voluto analizzare ipotetici scenari futuri, che potrebbero interessare l'edificio considerato. In particolare, sono state valutate 2 situazioni in cui l'edificio vedrà un cambio di destinazione d'uso da museo ad attività di pubblico spettacolo, e pertanto verrà riclassificato come attività 65, sempre secondo il D.P.R. 151/2011.

L'analisi è stata svolta sulla base delle seguenti normative:

- "D.P.R. 151/2011" → per la classificazione delle attività
- "Codice di Prevenzione Incendi" → per le classificazioni e le verifiche antincendio
- "ISO/TR 16738" → per le tempistiche che vanno a determinare RSET

Prima di tutto è stata condotta un'analisi dell'edificio adibito a museo. Questa è la situazione attuale a cui è destinato l'edificio considerato. I risultati ottenuti mostrano come tutte le verifiche antincendio siano largamente rispettate, considerando il numero relativamente basso di occupanti previsti. La prima situazione analizzata risulta essere la più favorevole, l'edificio, infatti presenta il numero minore di individui.

Dall'analisi sono stati esclusi i piani interrati e il piano sesto, trattandosi di piani adibiti a locali tecnici e il cui affollamento massimo calcolato corrisponde a 6 persone (divise per i 4 piani); numero che vale l'1% del totale degli occupanti dell'edificio e pertanto risulta poco significativo e trascurabile.

Tutte le analisi svolte si basano sul criterio di $ASET > RSET$, per cui il tempo necessario agli occupanti per raggiungere un luogo sicuro (required safe escape time) deve sempre essere inferiore del tempo messo a disposizione dall'edificio per permettere loro la fuga (available safe escape time). Ogni analisi condotta ha portato ad ottenere un tempo di esodo degli occupanti dell'edificio. In questo primo caso, il tempo totale è risultato di 15 minuti e 47 secondi, considerando 590 occupanti.

Nel secondo scenario analizzato l'edificio presenta ad ogni piano un'attività di pubblico spettacolo diversa. Ciò comporta differenti interferenze tra gli individui in prossimità delle vie di esodo verticali. Il tempo di esodo ottenuto da questa seconda analisi è stato di 17 minuti e 21 secondi, con un totale di 700 occupanti.

La terza situazione vede tutto l'edificio adibito alla stessa attività di pubblico spettacolo e con il massimo affollamento disponibile. Tutti gli 820 individui considerati sono riusciti a raggiungere un luogo sicuro in 18 minuti e 33 secondi.

Infine, l'ultimo caso ipotizzato è stato il più critico. Infatti, secondo la verifica di ridondanza, è stata resa indisponibile una delle due scale ed è stato valutato il tempo di esodo dello stesso numero di occupanti del caso precedente (820), ma con una sola via di esodo verticale. Come è ovvio che sia, togliendo una scala si ha un forte incremento delle interferenze lungo la sola via di esodo verticale disponibile. In questo caso, il tempo di esodo è stato di 27 minuti e 1 secondo.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva dei risultati parziali e totali ottenuti:

	T metodo analitico	T Mass Motion	Ritardo tra i due metodi	T totale
Museo	6 min 32 s	7 min 17 s	50 s	15 min 47 s
Pubblico Spettacolo diversi eventi	8 min 15 s	8 min 51 s	36 s	17 min 21 s
Pubblico Spettacolo unico	9 min 23 s	10 min 3 s	40 s	18 min 33 s
Caso critico	16 min 5 s	18 min 31 s	2 min 26 s	27 min 1 s

Figura 81 - Tabella riassuntiva risultati ottenuti

Per ogni caso considerato il tempo di movimento è stato calcolato sia in forma analitica che tramite un software e il risultato ottenuto dalla seconda modalità è sempre stato più alto di quello calcolato, in particolare nel caso critico, in cui lo sfasamento tra i due risultati è stato di 2 minuti e 26 secondi, quando negli altri casi non aveva mai superato il minuto.

Ciò è spiegabile dal fatto che nel calcolo analitico non sono state considerate le interferenze tra gli individui di un piano con gli individui degli altri piani, questo, come è intuibile, crea un ritardo nel tempo di esodo, che risulta molto più ampio nell'ultimo caso in cui il numero di utilizzatori della scala è nettamente superiore agli altri scenari, così come superiore erano le interferenze tra di essi.

L'analisi condotta dallo Studio Luraschi, ha valutato, per l'edificio, una classe di resistenza REI 60 per i solai dei piani fuori terra, REI120 per il blocco scale centrale e REI240 per i piani interrati. Ciò significa che, basandosi sulla classe relativa alla porzione di immobile occupata dal pubblico (livello B2) l'edificio garantisce agli occupanti un tempo di 60 minuti entro cui poter raggiungere un luogo sicuro. Come riportato nella tabella riassuntiva precedente, i tempi ottenuti risultano ben al di sotto di questo limite e pertanto l'edificio garantisce la fuga di tutte le persone.

Come detto in precedenza, però, le simulazioni d'esodo considerate sono solamente alcune delle possibili situazioni che possono verificarsi durante un'emergenza reale. In particolare, viene analizzato l'esodo puro, in cui non vengono considerati gli effetti dell'incendio, come presenza di fumo, irraggiamento e diminuzione della visibilità, che possono rallentare significativamente la velocità di fuga degli occupanti.

Per questo motivo, di seguito è riportata un'analisi supplementare dei tempi di esodo, tenendo in considerazione gli effetti dell'incendio. In tal senso, per ipotesi, è stato considerato un fattore moltiplicativo di 1,8 per i primi 3 casi e un fattore moltiplicativo di 2 per il caso critico. Infatti, il caso critico vede la presenza di una sola via di esodo verticale, contro le due degli altri casi, e ciò rende ipotizzabile un rallentamento più significativo e un numero maggiore di occupanti colpiti dagli effetti dell'incendio.

	T	Fattore moltiplicativo	T effetti incendio
Museo	15 min 47 s	1,8	28 min 25 s
Pubblico Spettacolo diversi eventi	17 min 21 s	1,8	31 min 14 s
Pubblico Spettacolo unico	18 min 33 s	1,8	33 min 23 s
Caso critico	27 min 1 s	2	54 min 2 s

Figura 82 - Tabella riassuntiva considerando gli effetti dell'incendio

Dai risultati ottenuti, riportati in tabella, si vede come il tempo garantito dall'edificio di 60 minuti inizia ad essere più restrittivo, benché venga nuovamente sempre rispettato. Solo il caso critico, come è intuibile, si avvicina al limite di un'ora, con un margine di soli 6 minuti.

Nonostante questa analisi mostri solo alcune delle possibili situazioni che possono accadere, rimane comunque un'ottima indicazione di come si sviluppa l'esodo nell'edificio considerato riuscendo a determinare le criticità dello stesso. Una criticità possibile di questo edificio risultano essere le vie di esodo verticali. Come è ovvio che sia, avere delle scale di larghezza maggiore determina una riduzione del tempo necessario per la fuga degli individui. In ogni caso, con le dimensioni attuali, l'edificio risponde in maniera positiva e garantisce un tempo di esodo soddisfacente, considerando che il caso critico analizzato ha una probabilità decisamente bassa di verificarsi.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- <https://www.consulenteantincendio.it/definizioni-antincendio/#:~:text=Il%20Codice%20di%20Prevenzione%20Incendi%20si%20basa%20sulla,diverse%20misure%20antincendio%20per%20comporre%20la%20strategia%20antincendio.>
- <https://www.puntosicuro.it/prevenzione-incendi-C-85/incendi-le-differenze-tra-l-approccio-prescrittivo-prestazionale-AR-18401/>
- “Il codice di prevenzione incendi. La progettazione antincendio. Applicazioni pratiche nell’ambito del d.m. 3 agosto 2015 e s.m.i.” risultato della collaborazione tra Inail, Università di Roma “Sapienza” e Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, a cura di Raffaele Sabatino, Daniela Freda, Antonella Pireddu (Inail, DITSIPIA), Stefano Baldassarini, Stefano Manna (Inail, Uot – Roma), Mara Lombardi, Nicolò Sciarretta (Università degli Studi di Roma “La Sapienza” – DICMA), Mauro Caciolai, Piergiacomo Cancelliere (Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco), Filippo Così e Vincenzo Cascioli, edizione 2018 (formato PDF, 14.15 MB).
- <https://museonazionaleresistenza.it/progetto/>
- <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2011/09/22/011G0193/sg>
- PREVENZIONE INCENDI: confronto delle normative e simulazione d’esodo applicato al progetto di “Fondazione Giangiacomo Feltrinelli”
- https://www.autodesk.it/products/revit/overview?panel=buy&mktvar002=afc_no_nmpi_ppc&AID=11087035&PID=2016554&ds_rl=1232386&ds_rl=1232407&ds_rl=1232410&&&&gclid=10b6af830f9d1120a3afcba9b0f1ba25&gclsrc=3p.ds&ds_rl=1232386&ds_rl=1232407&ds_rl=1232410&term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RVT
- <https://www.cspfea.net/prodotti/mass-motion/>
- <https://www.oasys-software.com/products/massmotion/>
- [Esodo in emergenza: metodi di calcolo e di simulazione di Stefano Marsella – Comandante provinciale VVF - Perugia](#)