



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

A.a. 2023/2024

Sessione di Laurea Marzo 2024

**Ottimizzazione della Sicurezza
Antincendio attraverso i metodi e
gli strumenti di Fire Safety
Engineering:**

applicazioni in edifici complessi e polifunzionali

Relatore:

Prof. Ing. Roberto Vancetti

Candidato:

Alessandro Fregnan

Correlatori:

Ing. Filippo Cosi

Ing. Emiliano Cereda

Abstract – IT

La sicurezza della vita umana, l'incolumità delle persone e la tutela dei beni e dell'ambiente sono gli obiettivi primari della sicurezza antincendio. Questi obiettivi possono essere raggiunti adottando diversi approcci, tra cui quello semi-prescrittivo e quello ingegneristico.

Il tema trattato in questa tesi riguarda la progettazione della sicurezza antincendio di un complesso edilizio esistente e polifunzionale. Il caso di studio in esame prevede l'insediamento di un'università, un museo e due attività ricettive all'interno di tre edifici tra loro integrati, i quali condividono le aree esterne e alcuni percorsi di esodo.

In primo luogo, l'approccio semi-prescrittivo proposto dal Codice di Prevenzione incendi ha permesso di realizzare la progettazione della sicurezza antincendio degli edifici. Per ogni attività sono state individuate le più idonee misure che permettessero di limitare l'innescò, la propagazione e i possibili danni causati da un eventuale incendio, secondo le soluzioni conformi indicate dalle regole tecniche orizzontali e verticali.

Successivamente, attraverso l'uso dei metodi e degli strumenti di Fire Safety Engineering, è stato utilizzato l'approccio ingegneristico per studiare più nel dettaglio il sistema di esodo del complesso edilizio, cercando di capire se fosse possibile ottimizzarlo sotto il punto di vista della gestione dei flussi di persone e dei tempi necessari agli occupanti per mettersi in salvo.

Abstract – EN

The safety of human life, persons, property, and the environment are the main objectives of the fire prevention. It's possible to achieve these goals through different approaches, for example through the application of standards or with performance-based fire design.

The fire safety design of an existing and multifunctional building complex is the case study of this thesis. A university, a museum and two receptive activities will be placed inside of three connected building and they will spread their external areas and escape routes.

First of all, fire safety design of the buildings has been realized by following the Italian technical fire prevention standards. In this way, it has been possible to identify the most appropriate measures to prevent or limit fires by following the horizontal and vertical technical regulations.

Later, the performance-based fire design approach has been utilized to optimize the evacuation system, trying to reduce the required safe escape time and to spread better the people in the escape routes.

Premessa

Il presente lavoro di tesi è il frutto della mia collaborazione con il settore di Fire Engineering di AiStudio, associazione tra professionisti con sede a Torino.

Il caso di studio è un progetto reale del quale non verranno forniti gli estremi identificativi per motivi di copyright.

Sommario

Abstract – IT	I
Abstract – EN	II
Premessa	III
Introduzione	1
Approccio metodologico.....	5
Aspetti preliminari	6
1.1 Descrizione generale del progetto	6
1.2 Attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco	9
1.3 Norme di riferimento.....	11
1.4 Introduzione all'applicazione del Codice di prevenzione incendi 13	
1.4.1 Piani di riferimento	14
1.4.2 Metodologia progettuale.....	16
1.4.3 Valutazione del rischio di incendio delle attività.....	17
1.4.4 Determinazione dei profili di rischio	18
Progetto di prevenzione incendi	24
2.1 Classificazione delle attività	24
2.2 Strategie antincendio	30
2.2.1 Reazione al fuoco	30
2.2.2 Resistenza al fuoco.....	35
2.2.3 Compartimentazione	44
2.2.4 Esodo.....	49
2.2.5 Gestione della sicurezza antincendio	68
2.2.6 Controllo dell'incendio.....	72

Sommario

2.2.7	Rivelazione ed allarme	76
2.2.8	Controllo di fumi e calore	79
2.2.9	Operatività antincendio	83
2.2.10	Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio	86
2.2.11	Aree a rischio specifico	88
2.2.12	Vani degli ascensori	88
2.2.13	Chiusure d'ambito	89
2.3	Criticità	91
	Modellazione del sistema di esodo	93
3.1	Modellazione del complesso edilizio	95
3.2	Scenari di progetto	100
3.3	Modellazione degli occupanti	103
3.3.1	Profili di occupazione	103
3.3.2	Stima dei tempi	107
3.3.3	Comportamenti	116
	Analisi dei risultati ottenuti	127
3.4	Sistema di esodo base	128
3.4.1	Scenario 1.a	128
3.4.2	Scenario 5.a	135
3.5	Sistema di esodo ottimizzato	140
3.5.1	Scenario 1.b	140
3.5.2	Scenario 5.b	144
3.6	Confronto dei risultati ottenuti	149
	Conclusioni e sviluppi futuri	156
	Bibliografia e sitografia	i
	Indice delle figure	iv

Sommario

Indice delle tabelle	xi
Tavole di prevenzione incendi	xiii

Introduzione

La sicurezza della vita umana, l'incolumità delle persone e la tutela dei beni e dell'ambiente sono da sempre gli obiettivi primari della sicurezza antincendio. La progettazione degli edifici, che essi siano di nuova realizzazione o il frutto del recupero di strutture esistenti, deve garantire il raggiungimento di tali obiettivi in tema di prevenzione incendi.

Il caso oggetto di studio prevede il recupero e la rifunzionalizzazione di un complesso di edifici da destinare a polo scientifico, tecnologico e culturale. Nello specifico, il complesso si configura come l'insieme di tre blocchi funzionali di cui il primo destinato ad ospitare un'università ed un'attività museale, il secondo e il terzo, invece, strutture a supporto del polo universitario, ospitando alcune camere ad uso esclusivo dei docenti ed uno studentato.

Il progetto della sicurezza antincendio di questi edifici è realizzato integrando le soluzioni derivanti dall'approccio semi-prescrittivo, elaborando le più idonee misure di prevenzione incendi, e da quello ingegneristico, seguendo le logiche di Fire Safety Engineering.

L'obiettivo del lavoro di tesi è quello di creare un metodo replicabile per il miglioramento delle soluzioni individuate nei progetti di prevenzione incendi. Quest'ultimo è stato realizzato con l'approccio semi-prescrittivo durante la mia collaborazione presso AiStudio, Associazione tra Professionisti con sede a Torino. È stato analizzato il complesso edilizio mediante gli strumenti e i metodi di Fire Safety Engineering, effettuando uno studio più approfondito del sistema di esodo e della gestione dei flussi di occupanti in caso di incendio o di un qualsivoglia evento che possa richiedere l'evacuazione delle strutture. In particolare, è stato analizzato il caso di studio in diverse configurazioni

di affollamento con l'obiettivo di capire se, fornendo agli occupanti indicazioni specifiche che non vengono normalmente definite nei progetti di prevenzione incendi, sia possibile ottimizzare il sistema di esodo dal punto di vista dei seguenti tre parametri:

- l'intervallo di tempo necessario agli occupanti per abbandonare gli edifici e raggiungere i luoghi prestabiliti;
- i sovraffollamenti localizzati e la distribuzione delle persone tra le vie di esodo orizzontali e verticali disponibili;
- i tempi di coda.

Il tema dell'esodo viene ritenuto infatti quello più delicato per il caso di studio in esame, a causa delle caratteristiche architettoniche del complesso edilizio e degli elevati affollamenti che possono essere contemporaneamente presenti nelle strutture e negli spazi comuni esterni. Infatti, se ci si limitasse a valutare i soli temi della prevenzione incendi, i percorsi di esodo utilizzati dagli occupanti verrebbero considerati esclusivamente fino al raggiungimento dei luoghi sicuri o dei luoghi sicuri temporanei, spesso coincidenti con le aree a cielo libero. Considerando però il grande quantitativo di persone che saranno presenti all'interno delle attività, assumono particolare rilevanza anche i percorsi esterni agli edifici e le uscite finali, che potrebbero risultare inadeguati o insufficienti.

Le maggiori criticità sono quindi legate alle caratteristiche e alle dimensioni dei percorsi di esodo e agli elevati affollamenti del complesso edilizio. Trattandosi infatti di un polo universitario, è ragionevole aspettarsi una grande concentrazione di studenti all'interno dell'edificio che ospiterà le aule e i laboratori. Anche il museo situato al piano seminterrato è in grado di ospitare un elevato numero di persone che potrebbero confluire verso le medesime uscite finali utilizzate dagli studenti.

Tra le peculiarità del progetto sicuramente risalta la possibile eterogeneità degli occupanti che potranno essere presenti nell'area oggetto di studio. All'interno delle attività, infatti, sarà possibile incontrare persone appartenenti a tutte le fasce di età, prevalentemente ragazzi giovani e adulti all'interno del polo universitario, ma anche, in minor numero, bambini e anziani nell'attività museale.

È stata posta particolare attenzione anche al tema dell'inclusività, garantendo un adeguato livello di sicurezza anche alle persone affette da disabilità.

L'elaborato si articola dunque in quattro capitoli.

Il primo capitolo contiene le informazioni preliminari ritenute maggiormente rilevanti per poter affrontare nel modo corretto la progettazione con l'approccio semi-prescrittivo e con quello ingegneristico. Sono dunque maggiormente dettagliate le caratteristiche del complesso edilizio, viene illustrato il panorama normativo di riferimento utilizzato per la trattazione delle attività presenti e introdotte le informazioni principali per l'applicazione del Codice di prevenzione incendi.

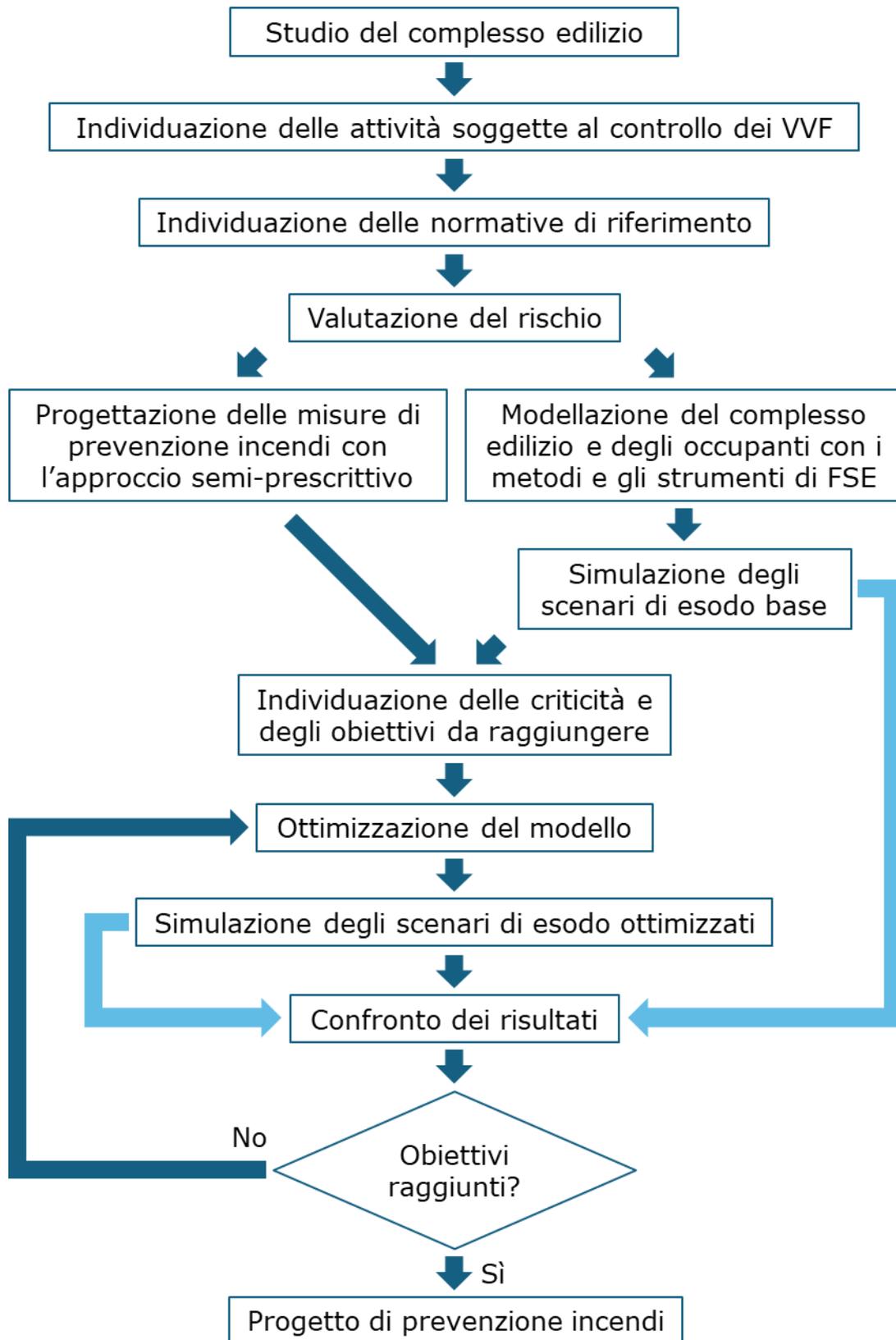
Il secondo capitolo riguarda il progetto di prevenzione incendi nel quale vengono illustrate le strategie antincendio adottate, nel rispetto delle indicazioni del Codice per le soluzioni conformi.

Il terzo capitolo è invece incentrato sull'ottimizzazione delle soluzioni individuate nel capitolo precedente, utilizzando gli strumenti e i metodi di Fire Safety Engineering per migliorare il sistema di esodo. Attraverso il simulatore di evacuazione Pathfinder, è stato possibile individuare le maggiori criticità del complesso edilizio e le possibili soluzioni per ottimizzare la gestione dei flussi.

Il quarto ed ultimo capitolo riporta l'interpretazione critica dei risultati ottenuti.

A partire dal caso di studio analizzato, come riportato nel paragrafo successivo, è stato realizzato uno schema replicabile, il cui approccio risulta utilizzabile come base per analizzare e progettare qualsiasi edificio o complesso edilizio.

Approccio metodologico



Capitolo 1

Aspetti preliminari

1.1 Descrizione generale del progetto

Il caso di studio in esame è un complesso edilizio esistente i cui edifici saranno oggetto di recupero e rifunzionalizzazione, diventando la sede di un polo scientifico, tecnologico e culturale. Essendo un progetto reale, per motivi di copyright non verranno forniti gli estremi identificativi.



Figura 1. Complesso edilizio caso di studio. Cattura da Google Earth

Il complesso in oggetto ricade all'interno del perimetro dell'area di interesse archeologico del centro storico della città di appartenenza e risulta vincolato secondo il D.Lgs. n.42 del 22 gennaio 2004 e secondo la delibera n.204 del 31 dicembre 2015 del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo.

L'area sorge su un territorio collinare e per questo motivo nel progetto sono presenti diversi dislivelli, sia all'interno degli edifici che nelle aree esterne. Questa caratteristica del territorio avrà una particolare influenza nella definizione dei piani di riferimento delle attività presenti nel progetto e sulla modellazione del sistema di esodo.

Il lotto di intervento contiene quattro attività differenti, distribuite tra gli edifici oggetto di studio, idealmente suddivisibili in tre blocchi funzionali.

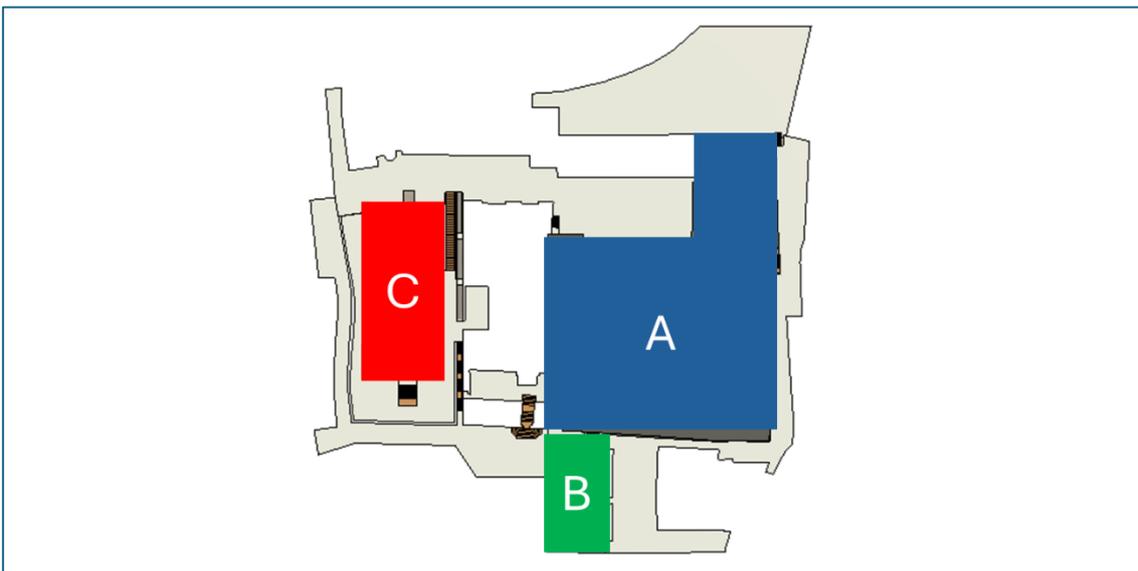


Figura 2. Suddivisione in blocchi funzionali

Il blocco A è coincidente con il fabbricato situato nella zona nord del lotto. Esso si sviluppa su un piano seminterrato, sede del museo, e tre piani fuori terra, dove è stato possibile realizzare un'università. L'attività che può ospitare il numero più elevato di occupanti e quindi impattare maggiormente sul sistema di esodo è sicuramente quella scolastica. Il piano terra della struttura è caratterizzato da un chiostro

e due cortili che forniscono agli studenti spazi esterni fruibili. Il piano seminterrato di questo edificio, invece, ospita l'attività museale ed è in grado di ospitare visitatori di ogni età.

Sulla stessa quota del museo è situato l'ingresso dell'edificio che ospita le camere ad uso esclusivo dei docenti. La struttura si articola su due piani principali fuori terra e coincide con il blocco B. La maggior parte delle camere di entrambi i piani risulta di tipo duplex, con un piano soppalcato dedicato alla zona notte.

Il blocco C è quello situato nella zona sud del lotto di intervento, consiste in un edificio che sarà la sede del nuovo studentato. La struttura è isolata rispetto al resto del complesso, ma comunica con l'università tramite il cortile situato ad est.

Fanno parte del complesso edilizio anche edifici che non sono oggetto di intervento: un auditorium, una chiesa e i locali parrocchiali.

La prevenzione incendi e le successive valutazioni effettuate tramite gli strumenti di Fire Safety Engineering sono state realizzate adattando le soluzioni progettuali al complesso edilizio che, essendo costituito da edifici esistenti, non risultava modificabile in ogni suo aspetto.

1.2 Attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco

Al fine di identificare le corrette procedure da utilizzare e le normative di riferimento per la progettazione della prevenzione incendi, vengono identificate le attività che risultano soggette al controllo dei Vigili del Fuoco. A tale scopo, è stata necessaria la consultazione dell'allegato I del D.P.R. n° 151 del 1° agosto 2011, all'interno del quale sono elencate le attività che devono essere sottoposte ai controlli di Prevenzione incendi da parte del Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco,

Nel progetto caso di studio è possibile individuare quattro tipologie di attività soggette:

- *Attività 66.1.A:* Alberghi, pensioni, motel, villaggi albergo, residenze turistico-alberghiere, studentati, villaggi turistici, alloggi turistici, ostelli per la gioventù, rifugi alpini, bed & breakfast, dormitori, case per ferie, con oltre 25 posti-letto (fino a 50 posti-letto);
- *Attività 66.2.B:* Alberghi, pensioni, motel, villaggi albergo, residenze turistico-alberghiere, studentati, villaggi turistici, alloggi turistici, ostelli per la gioventù, rifugi alpini, bed & breakfast, dormitori, case per ferie, con oltre 50 posti-letto (fino a 100 posti-letto);
- *Attività 67.4.C:* Scuole di ogni ordine, grado e tipo, collegi, accademie con oltre 300 persone presenti;
- *Attività 69.2.B:* Locali adibiti ad esposizione e/o vendita all'ingrosso o al dettaglio, fiere e quartieri fieristici, con superficie lorda, comprensiva dei servizi e depositi, da 600 mq a 1500 mq.

Inoltre, il complesso edilizio si configura come attività 72.1.C in quanto è presente un vincolo di tutela ai sensi del D.Lgs. n.42 del 22 gennaio 2004.

Viene riportata in seguito una tabella riassuntiva delle attività soggette al controllo dei Vigili del Fuoco, suddivise nei tre blocchi funzionali.

Blocco funzionale	Destinazione d'uso	Attività
A	Università	67.4.C
	Museo	69.2.B
B	Camere per i docenti	66.1.A
C	Studentato	66.2.B

Tabella 1. Riepilogo delle attività soggette ai sensi del D.P.R. 151/11

1.3 Norme di riferimento

Le attività presenti nel progetto, come indicato nel paragrafo precedente, risultano assoggettate ai controlli da parte dei Vigili del Fuoco.

Tali attività risultano inoltre normate. In tema di prevenzione incendi questo significa che esistono delle normative di tipo verticale che prescrivono le modalità di intervento al fine di raggiungere il livello di sicurezza adeguato.

Trattandosi di attività soggette e normate, la progettazione della sicurezza antincendio del complesso edilizio è stata realizzata seguendo le indicazioni riportate nel Codice di Prevenzione incendi, ovvero l'allegato I del D.M. del 3 agosto 2015, successivamente aggiornato con le integrazioni presenti nel D.M. del 12 aprile 2019.

All'interno del Codice, oltre a regole tecniche dette orizzontali e quindi utilizzabili per ogni tipologia di attività, sono presenti specifiche regole tecniche verticali che illustrano strategie specifiche da adottare nel caso si rientri nei relativi campi di applicazione.

Le regole tecniche verticali che sono state utilizzate per elaborare le strategie di Prevenzione incendi delle diverse attività sono le seguenti:

- *RTV.5* per le attività ricettive turistico-alberghiere;
- *RTV.7* per le attività scolastiche;
- *RTV.10* per i musei, le gallerie, le esposizioni, le mostre, le biblioteche e gli archivi in edifici tutelati;
- *RTV.12* per le altre attività in edifici tutelati.

La tabella seguente riporta i riferimenti normativi utilizzati durante il lavoro di tesi al fine di progettare la prevenzione incendi dell'intero complesso edilizio.

Aspetti preliminari

Riferimenti normativi		Attività			
		67.4.C	69.2.B	66.1.A.	66.2.B
D.M. 03/08/2015 e s.m.i.	Codice di Prevenzione incendi	✓	✓	✓	✓
D.M. 09/08/2016	RTV.5	x	x	✓	✓
D.M. 07/08/2017	RTV.7	✓	x	x	x
D.M. 10/07/2020	RTV.10	x	✓	x	x
D.M. 14/10/2021	RTV.12	✓	x	✓	✓

Tabella 2. Riferimenti normativi

1.4 Introduzione all'applicazione del Codice di prevenzione incendi

Gli obiettivi primari della progettazione della sicurezza antincendio di un'attività sono la sicurezza della vita umana, l'incolumità delle persone e la tutela dei beni e dell'ambiente. Questi obiettivi vengono riportati all'interno della prima delle quattro sezioni di cui si compone il Codice di prevenzione incendi. Le quattro sezioni in cui è articolato sono:

- *G – Generalità*: è la sezione che riporta le informazioni più generali del Codice, come i termini, le definizioni e i simboli grafici, le metodologie di progettazione della sicurezza antincendio e i metodi per la determinazione dei profili di rischio delle attività;
- *S – Strategie antincendio*: riporta le regole tecniche orizzontali, ovvero applicabili indipendentemente dalla tipologia di attività. Questa sezione si articola in dieci capitoli e, per ognuno di essi, vengono riportati i livelli di prestazione, i criteri per la loro attribuzione, le soluzioni progettuali conformi ed eventuali soluzioni alternative;
- *V – Regole tecniche verticali*: contiene le regole tecniche applicabili a specifiche tipologie di attività. Queste regole possono sostituire o integrare le regole tecniche orizzontali presenti nella sezione precedente;
- *M – Metodi*: riporta le metodologie innovative di progettazione antincendio al fine di definire soluzioni idonee al raggiungimento di obiettivi progettuali mediante analisi di tipo quantitativo.

Come indicato all'interno del punto G.2.5, al fine di raggiungere gli obiettivi primari della prevenzione incendi è fondamentale riuscire a minimizzare le cause di innesco dell'incendio e, nel caso in cui questo dovesse verificarsi, limitarne la produzione e la propagazione. Le

strutture portanti dovranno essere progettate in modo tale da resistere per un periodo di tempo tale da permettere agli occupanti di evacuare l'edificio e ai Vigili del Fuoco di intervenire in sicurezza per estinguere l'incendio. Risulta inoltre molto importante prevenire eventuali danni all'ambiente in caso di incendio.

1.4.1 Piani di riferimento

Al fine di poter effettuare nel modo corretto la suddivisione in compartimenti degli edifici e la valutazione del rischio incendio è utile individuare i piani di riferimento del complesso edilizio.

Il piano di riferimento, in accordo con quanto presente all'interno del paragrafo G.1.7 del Codice, è definito come il "piano del luogo esterno verso cui avviene prevalentemente l'esodo degli occupanti del compartimento e da cui accedono i soccorritori".

Sorgendo l'area di intervento su un territorio collinare e non essendo presente un unico piano di accesso comune a tutti gli edifici, è stato individuato un piano di riferimento per ogni attività.

Gli accessi principali e secondari dell'università sono situati al piano terra, ovvero il primo dei tre piani fuori terra del blocco A. Per questo motivo in questo caso il piano di riferimento, indicato con una linea rossa nell'immagine seguente, coincide con il piano terra.

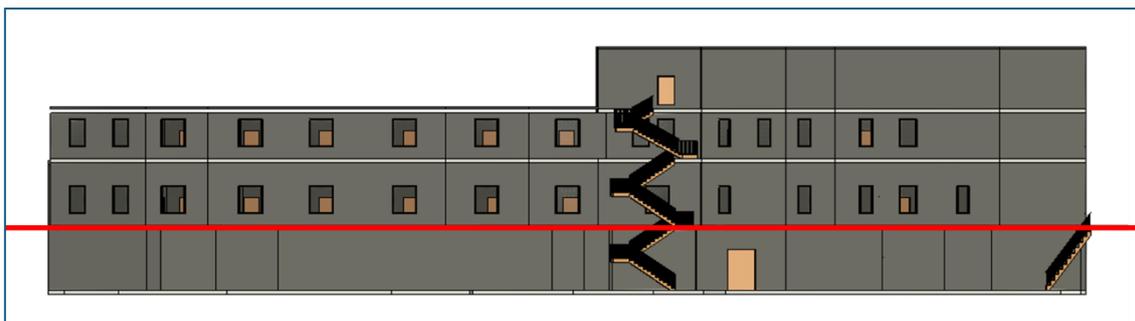


Figura 3. Piano di riferimento dell'università

Al piano seminterrato, invece, si trova l'accesso del museo. Tale piano risulta quindi essere anche quello di riferimento per l'attività in questione.

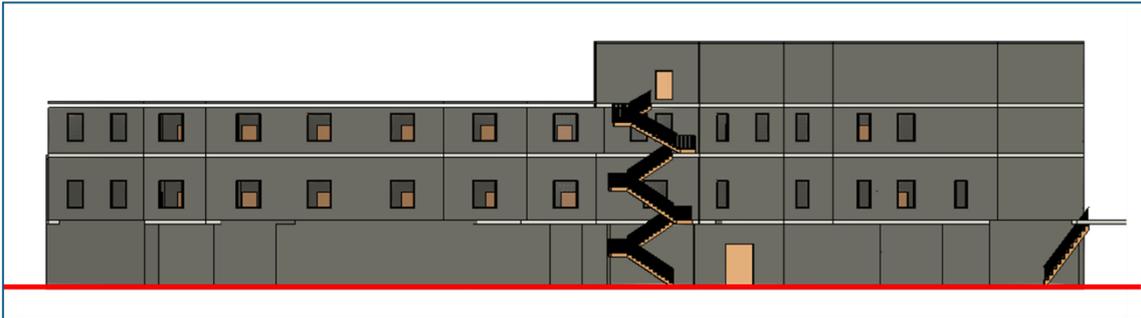


Figura 4. Piano di riferimento del museo

Sullo stesso livello del piano di accesso del museo si trovano gli ingressi del blocco B, nel quale sono presenti le camere destinate ai docenti. Il piano terra relativo a questo edificio viene considerato anche il piano di riferimento della struttura.

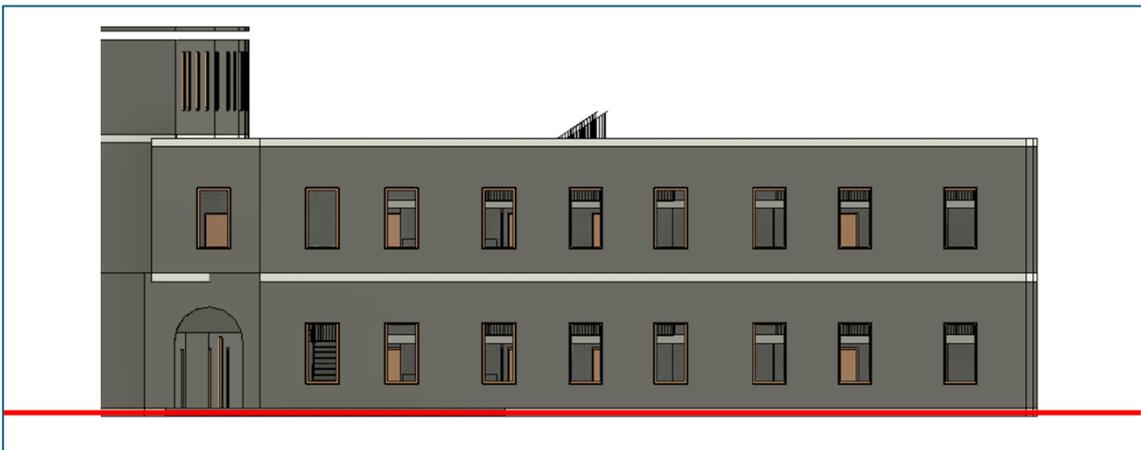


Figura 5. Piano di riferimento delle camere per i docenti

L'ingresso principale dello studentato è situato al piano seminterrato, sul lato nord dell'edificio. Nonostante ciò, si è deciso di porre il piano di riferimento in corrispondenza del livello del cortile eterno comune allo studentato e all'università, in quanto si ritiene sia il piano dal quale i soccorritori possono accedere più agevolmente all'edificio.



Figura 6. Piano di riferimento dello studentato

1.4.2 Metodologia progettuale

Le soluzioni che un progettista può adottare nella prevenzione incendi possono essere:

- *Soluzioni conformi*: sono proposte direttamente dal Codice e si possono applicare direttamente senza ulteriori argomentazioni per la dimostrazione della loro efficacia nel caso specifico;
- *Soluzioni alternative*: sono definite dal Codice ma in questo caso il progettista antincendio è tenuto a dimostrare l'adeguatezza delle soluzioni adottate;
- *Soluzioni in deroga*: devono essere proposte dal progettista antincendio, il quale è tenuto a dimostrarne l'adeguatezza.

Per il caso di studio in esame sono state adottate esclusivamente soluzioni di tipo conforme al Codice di prevenzione incendi, salvo poi approfondire il tema dell'esodo attraverso i metodi dell'ingegneria antincendio, i cui risultati sono riportati all'interno del terzo capitolo del presente lavoro di tesi.

1.4.3 Valutazione del rischio di incendio delle attività

La valutazione del rischio di incendio per le attività presenti nel caso di studio è necessaria per poter individuare le più idonee misure al fine di raggiungere gli obiettivi primari della sicurezza antincendio, citati nei paragrafi precedenti.

All'interno dell'attività scolastica i principali pericoli d'incendio sono derivanti dalla possibilità che possano incendiarsi i cestini dei rifiuti o guastarsi eventuali dispositivi elettronici, come ad esempio i computer utilizzati dagli studenti o negli uffici, oppure distributori automatici qualora siano presenti. Al piano terra della struttura è presente una cucina dalla quale potrebbe scatenarsi un principio d'incendio. L'aspetto che però risulta maggiormente critico è legato all'elevato quantitativo di persone che possono trovarsi contemporaneamente presenti all'interno dell'edificio. Gli occupanti saranno principalmente studenti e docenti, quindi persone adulte in stato di veglia. Tra questi è possibile siano presenti studenti affetti da disabilità. Nonostante la geometria dell'edificio risulti abbastanza semplice è immaginabile che possano crearsi dei rallentamenti nei percorsi di esodo, soprattutto nel caso in cui si scateni il panico tra gli occupanti. Il pericolo maggiore è quindi la potenziale creazione di ingorghi che potrebbe impedire l'esodo di tutti gli occupanti prima che si verifichino condizioni incapacitanti all'interno degli ambienti.

Anche il museo, caratterizzato da un elevato affollamento, è esposto al rischio legato alla difficoltà di fuoriuscita degli occupanti dall'edificio. In questo caso potrebbero partecipare all'incendio i numerosi abiti e stendardi presenti nelle zone espositive. Le attrezzature del bar e della cucina potrebbero nuovamente causare il rischio di innesco. Gli occupanti all'interno di questa attività potranno essere di tutte le età, dai bambini agli anziani, in stato di veglia e non a conoscenza degli

ambienti dell'edificio. Il principale pericolo è nuovamente legato al grande quantitativo di persone presenti in relazione agli spazi limitati.

Le due attività ricettive, invece, sono caratterizzate da affollamenti piuttosto bassi e ambienti con geometrie semplici. Nuovamente i principali pericoli d'incendio derivano dalla presenza di dispositivi elettronici e dalle cucine. Per queste attività, però, gli occupanti possono essere anche addormentati, e per questo motivo risulta necessario progettare le misure antincendio ponendo particolare attenzione a questo aspetto.

1.4.4 Determinazione dei profili di rischio

Il Codice introduce all'interno del capitolo G.3 i profili di rischio, i principali parametri necessari per la valutazione speditiva e qualitativa del rischio. Si tratta di indicatori semplificati che vengono utilizzati per attribuire i livelli di prestazione alle varie misure antincendio, come verrà illustrato nel capitolo successivo.

I profili di rischio che vengono definiti sono tre e sono correlati ai primari obiettivi della prevenzione incendi:

- R_{vita} : profilo di rischio relativo alla salvaguardia della vita umana;
- R_{beni} : profilo di rischio relativo alla salvaguardia dei beni artistici e strategici;
- $R_{ambiente}$: profilo di rischio relativo alla tutela dell'ambiente.

Il profilo di rischio R_{vita} è attribuito per ogni compartimento in relazione ai seguenti fattori:

- δ_{occ} : caratteristiche prevalenti degli occupanti che si trovano nell'attività;
- δ_a : velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio, riferita al tempo t_a impiegato dalla potenza termica per raggiungere il valore di 1.000 kW.

La tabella G.3-1 riporta al suo interno degli esempi utili per selezionare il parametro δ_{occ} più opportuno.

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	• in attività individuale di lunga durata	Civile abitazione
Cii	• in attività gestita di lunga durata	Dormitorio, residence studentato, residenza per persone autosufficienti
Ciii	• 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 7. Tabella G.3-1: Caratteristiche prevalenti degli occupanti

All'interno delle attività è possibile incontrare diverse tipologie di attività. Risulta per questo motivo necessario valutarle in funzione delle caratteristiche prevalenti che è possibile riscontrare all'interno degli edifici.

L'università rientra nella categoria A, la prevalenza degli occupanti è infatti in stato di veglia e ha familiarità con l'edificio.

Il museo, invece, rientra nella categoria B, con gli occupanti in stato di veglia ma senza familiarità con gli ambienti della struttura espositiva.

Le due attività ricettive vengono considerate di categoria Cii, in quanto è probabile che gli occupanti possano essere addormentati.

La tabella G.3-2, in funzione dei criteri suggeriti, permette di selezionare il parametro δ_a .

Aspetti preliminari

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

Tutte le attività vengono caratterizzate dal parametro δ_a pari a 2, corrispondente ad un tempo t_a di 300 s, ovvero una velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio di tipo medio.

La determinazione del profilo di rischio legato alla salvaguardia della vita umana risulta coerente con quanto suggerito dal Codice nella tabella G.3-3, riportata in seguito.

Aspetti preliminari

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

[1] Per raggiungere un valore ammesso, δ_e può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3 del paragrafo G.3.2.1.

[2] Quando nel presente documento si usa il valore C1 la relativa indicazione è valida per Ci1, Cii1 e Ciii1. Se si usa C2 l'indicazione è valida per Ci2, Cii2 e Ciii2. Se si usa C3 l'indicazione è valida per Ci3, Cii3 e Ciii3.

Figura 9. Tabella G.3-3: Determinazione di R_{vita}

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_e può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3 del paragrafo G.3.2.1.

Figura 10. Tabella G.3-4: Profilo di rischio R_{vita} per alcune tipologie di destinazioni d'uso

La tabella G.3-4 riporta i suggerimenti per la scelta del profilo di rischio R_{vita} in funzione delle più comuni tipologie di destinazioni d'uso. Anche in questo caso, la scelta risulta coerente con le indicazioni del Codice.

La progettazione della prevenzione incendi del complesso edilizio in esame è stata quindi svolta in funzione del profilo di rischio pari a:

- *A2*: gli occupanti sono in stato di veglia e hanno familiarità con l'edificio, la velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio è media, pari a 300 secondi. Valido per:
 - tutti gli ambienti dell'attività scolastica;
 - spazi comuni al piano seminterrato dello studentato.
- *B2*: gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio, la velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio è media, pari a 300 secondi. Valido per:
 - l'attività espositiva.
- *Cii2*: gli occupanti possono essere addormentati in attività gestita di lunga durata, la velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio è media, pari a 300 secondi. Valido per:
 - tutti gli ambienti dell'edificio destinato alle camere per i docenti;
 - le camere poste ai piani fuori terra dello studentato.

Il secondo profilo di rischio, R_{beni} , è legato alla salvaguardia dei beni artistici e strategici e viene attribuito alle intere attività, in questo caso all'intero lotto di intervento. Essendo presente il vincolo architettonico secondo il D.Lgs. n.42 del 22 gennaio 2004, il complesso edilizio viene considerato vincolato ma non strategico. Questo porta alla determinazione del profilo di rischio R_{beni} pari a 2.

Aspetti preliminari

		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 11. Tabella G.3-5: Determinazione di R_{beni}

Il terzo ed ultimo profilo di rischio è relativo alla tutela dell'ambiente. Viene attribuito alle intere attività. In funzione dell'ubicazione delle attività, dell'assenza di significative quantità di materiali combustibili e delle misure di prevenzione e protezione antincendio adottate, è possibile ritenere il profilo $R_{ambiente}$ come *non significativo*.

A questo punto, effettuate le valutazioni del rischio e le analisi preliminari sul complesso edilizio e sulle attività in progetto, è possibile proseguire con la vera e propria progettazione delle misure antincendio più idonee al caso di studio.

Capitolo 2

Progetto di prevenzione incendi

2.1 Classificazione delle attività

Per prima cosa, essendo tutte le attività in progetto dotate di regole tecniche verticali di riferimento, si procede alla loro classificazione.

L'università realizzata all'interno del blocco A rientra nel campo di applicazione della RTV.7 relativa alle attività scolastiche, in quanto l'affollamento è notevolmente superiore a 100 persone. Inoltre, verranno seguite le indicazioni della RTV.12 per gli edifici tutelati.

L'attività scolastica ospiterà un massimo di 966 persone, tra studenti, docenti e altri lavoratori. L'ultimo piano della struttura, in funzione del piano di riferimento indicato nel paragrafo 1.4.1, risulta a quota +8,62 m. L'attività è dunque classificabile, come da indicazioni del Codice al punto V.7.2, come:

- in relazione al numero di occupanti n:
 - *OD*: $800 < n \leq 1200$;

a. in relazione al numero degli *occupanti* n:

OA: $100 < n \leq 300$;

OB: $300 < n \leq 500$;

OC: $500 < n \leq 800$;

OD: $800 < n \leq 1200$;

OE: $n > 1200$;

Figura 12. Classificazione in relazione al numero degli occupanti

- in relazione alla massima quota dei piani h:
 - **HA:** $h \leq 12$ m.

b. in relazione alla massima quota dei piani h:

HA: $h \leq 12$ m;

HB: $12 \text{ m} < h \leq 24$ m;

HC: $24 \text{ m} < h \leq 32$ m;

HD: $32 \text{ m} < h \leq 54$ m;

HE: $h > 54$ m.

Figura 13. Classificazione in relazione alla massima quota dei piani

Le aree dedicate all'università saranno del tipo:

- **TA:** locali destinati ad attività didattica e spazi comuni. Saranno classificate in questo modo i seguenti locali:
 - le aule;
 - i laboratori;
 - gli spazi comuni;
- **TZ:** altre aree non ricomprese nelle precedenti. Faranno parte di questa classificazione:
 - la cucina;
 - gli uffici;
 - l'amministrazione;
 - i locali tecnici.

Il museo, invece, potrà contenere al suo interno fino a 295 persone. I locali si trovano al piano seminterrato del blocco funzionale A, a quota

-1,00 m. La regola tecnica verticale di riferimento in questo caso è la 10, per attività espositive in edifici tutelati. Gli spazi a disposizione del museo saranno classificati nel seguente modo:

- *TA*: locali aperti al pubblico destinati a sale espositive. Sarà valido per:
 - i locali espositivi;
- *TT*: locali in cui siano presenti quantità significative di apparecchiature elettriche ed elettroniche, locali rilevanti ai fini della sicurezza antincendio. Gli unici spazi classificabili in questo modo risultano:
 - i locali tecnici;
- *TZ*: altre aree non ricomprese nelle precedenti. Faranno parte di questa classificazione:
 - la cucina;
 - il bar;
 - la sala riunioni;
 - gli spogliatoi.

Le attività ricettive dei blocchi B e C sono regolamentate dalla RTV.5, per le attività ricettive turistico-alberghiere, e dalla RTV.12, per attività in edifici tutelati.

L'edificio del blocco B ospiterà 14 camere da destinare ai docenti, per un massimo di 26 occupanti, suddivise su due piani principali e ulteriori due piani soppalcati, di cui l'ultimo a quota +7,59 m. In accordo con quanto indicato al punto V.5.2 del Codice, l'attività può essere classificata come segue:

- in relazione al numero dei posti letto p :
 - *PA*: $25 < p \leq 50$;

a. in relazione al numero dei posti letto p :

PA: $25 < p \leq 50$;

PB: $50 < p \leq 100$;

PC: $100 < p \leq 500$;

PD: $500 < p \leq 1000$;

PE: $p > 1000$;

Figura 14. Classificazione in relazione al numero di posti letto

- in relazione alla massima quota dei piani h :
 - **HA:** $h \leq 12$ m.

b. in relazione alla massima quota dei piani h :

HA: $h \leq 12$ m;

HB: $12 \text{ m} < h \leq 24 \text{ m}$;

HC: $24 \text{ m} < h \leq 32 \text{ m}$;

HD: $32 \text{ m} < h \leq 54 \text{ m}$;

HE: $h > 54$ m.

Figura 15. Classificazione in relazione alla massima quota dei piani

Le aree presenti nella struttura saranno tutte del tipo:

- **TC:** spazi di riposo, aree in cui la maggior parte degli occupanti può essere addormentata.

Lo studentato, invece, potrà ospitare un massimo di 76 persone e l'ultimo piano della struttura è situato a quota +9,57 m. Dunque, risulta classificata come segue:

- in relazione al numero dei posti letto p :
 - **PB:** $50 < p \leq 100$;

a. in relazione al numero dei *posti letto* p :

PA: $25 < p \leq 50$;

PB: $50 < p \leq 100$;

PC: $100 < p \leq 500$;

PD: $500 < p \leq 1000$;

PE: $p > 1000$;

Figura 16. Classificazione in relazione al numero dei posti letto

- in relazione alla massima quota dei piani h :
 - **HA:** $h \leq 12$ m.

b. in relazione alla massima *quota dei piani* h :

HA: $h \leq 12$ m;

HB: $12 \text{ m} < h \leq 24 \text{ m}$;

HC: $24 \text{ m} < h \leq 32 \text{ m}$;

HD: $32 \text{ m} < h \leq 54 \text{ m}$;

HE: $h > 54$ m.

Figura 17. Classificazione in relazione alla massima quota dei piani

Le aree presenti nel blocco C sono:

- **TA:** spazi riservati, aree in cui la maggior parte degli occupanti è in stato di veglia e conosce l'edificio (spazi ad uso del personale). L'unico spazio corrispondente a tali caratteristiche è:
 - la portineria;
- **TC:** spazi di riposo, aree in cui la maggior parte degli occupanti può essere addormentata. Questa classificazione è valida per:
 - le camere per gli studenti;
- **TT:** locali in cui siano presenti quantità significative di apparecchiature elettriche ed elettroniche, locali tecnici rilevanti ai fini della sicurezza antincendio. Fanno parte di questa categoria:
 - i locali tecnici;
- **TZ:** altre aree non ricomprese nelle precedenti (occupanti in stato di veglia e che conoscono l'edificio).

Ne fanno parte:

- le aree comuni;
- i piccoli depositi e gli archivi;
- i servizi igienici;
- la cucina;
- la lavanderia.

La cucina e la lavanderia, inoltre, vengono considerate aree a rischio specifico.

2.2 Strategie antincendio

2.2.1 Reazione al fuoco

La reazione al fuoco è riferita al comportamento al fuoco dei materiali e fa parte delle misure di protezione passiva, ovvero quelle volte contenere gli effetti dell'incendio senza il necessario intervento dell'uomo. Assume particolare importanza nella fase iniziale dell'incendio, con l'obiettivo di limitare l'innesco dei materiali e l'eventuale propagazione dell'incendio.

Questa misura si applica a ciascun ambito delle attività in progetto.

2.2.1.1 Livelli di prestazione

I livelli di prestazione per la reazione al fuoco dei materiali sono definiti dalla tabella seguente.

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

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

Figura 18. Tabella S.1-1: Livelli di prestazione

I criteri di attribuzione di tale misura antincendio sono riportati all'interno delle due tabelle seguenti, di cui la prima è riferita alle vie di esodo, mentre la seconda agli altri locali delle attività.

Progetto di prevenzione incendi

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

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

Figura 19. Tabella S.1-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione alle vie d'esodo dell'attività

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

Figura 20. Tabella S.1-3: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione ad altri locali dell'attività

Per le due attività ricettive caratterizzate da un profilo di rischio R_{vita} pari a Cii2, e per il museo con R_{vita} B2, si ottiene:

- *vie d'esodo*: livello di prestazione III – i materiali contribuiscono in modo moderato all'incendio;
- *altri locali*: livello di prestazione II – i materiali contribuiscono in modo significativo all'incendio.

2.2.1.2 Soluzione conforme

La soluzione conforme per il livello di prestazione III, da applicare alle vie di esodo delle attività citate in precedenza, l'impiego di materiali compresi almeno nel gruppo GM2. Per gli altri locali, caratterizzati dal livello di prestazione II, risulta conforme l'impiego di materiali compresi almeno nel gruppo GM3.

Alcune informazioni aggiuntive sulla scelta dei materiali vengono fornite dalle regole tecniche verticali di riferimento delle attività considerate. In particolare, all'interno delle aree TC delle attività

ricettive dovranno essere impiegati mobili e tendaggi appartenenti almeno al gruppo GM2.

Differisce dalle precedenti l'attività scolastica, per la quale, essendo caratterizzata da un profilo di rischio R_{vita} pari ad A2, il contributo all'incendio dei materiali può non essere valutato. Tuttavia, nel rispetto delle prescrizioni della RTV.7, nelle vie d'esodo verticali, nei percorsi d'esodo e negli spazi calmi dovranno essere impiegati materiali compresi almeno nel gruppo GM2.

Attività	R_{vita}	Locale	Gruppi di materiali				
Università	A2	Vie d'esodo	GM0	GM1	GM2	GM3	GM4
		Altri locali	GM0	GM1	GM2	GM3	GM4
Museo	B2	Vie d'esodo	GM0	GM1	GM2	GM3	GM4
		Altri locali	GM0	GM1	GM2	GM3	GM4
Studentato	Cii2	Vie d'esodo	GM0	GM1	GM2	GM3	GM4
		Altri locali	GM0	GM1	GM2	GM3	GM4
Camere dei docenti	Cii2	Vie d'esodo	GM0	GM1	GM2	GM3	GM4
		Altri locali	GM0	GM1	GM2	GM3	GM4

Tabella 3. Caratteristiche di reazione al fuoco dei materiali

Le tabelle riportate in seguito contengono al loro interno le classificazioni dei gruppi di materiali per i diversi utilizzi.

Progetto di prevenzione incendi

Descrizione materiali	GM1		GM2		GM3			
	Ita	EU	Ita	EU	Ita	EU		
Mobili imbottiti (poltrone, divani, divani letto, materassi, <i>sommier</i> , guanciali, <i>topper</i> , cuscini, sedie imbottite)	1 IM	[na]	1 IM	[na]	2 IM	[na]		
<i>Bedding</i> (coperte, copiletti, coprimaterassi)	1		[na]		1		[na]	2
Mobili fissati e non agli elementi strutturali (sedie e sedili non imbottiti)								
Tendoni per tensostrutture, strutture pressostatiche e tunnel mobili								
Sipari, drappaggi, tendaggi								
Materiale scenico, scenari fissi e mobili (quinte, velari, tendaggi e simili)								
[na] Non applicabile								

Figura 21. Classificazione in gruppi per arredamento, scenografie, tendoni per coperture

Descrizione materiali	GM1	GM2	GM3
	EU	EU	EU
Rivestimenti a soffitto [1]	A2-s1,d0	B-s2,d0	C-s2,d0
Controsoffitti, materiali di copertura [2], pannelli di copertura [2], lastre di copertura [2]			
Pavimentazioni sopraelevate (superficie nascosta)			
Rivestimenti a parete [1]	B-s1,d0	C _{ir} -s1	C _{ir} -s2
Partizioni interne, pareti, pareti sospese			
Rivestimenti a pavimento [1]	B _{ir} -s1	C _{ir} -s1	C _{ir} -s2
Pavimentazioni sopraelevate (superficie calpestabile)			
<p>[1] Qualora trattati con prodotti vernicianti ignifughi omologati ai sensi del DM 6/3/1992, questi ultimi devono essere idonei all'impiego previsto e avere la classificazione indicata di seguito (per classi differenti da A2): GM1 e GM2 in classe 1; GM3 in classe 2; per i prodotti vernicianti marcati CE, questi ultimi devono avere indicata la corrispondente classificazione.</p> <p>[2] Si intendono tutti i materiali utilizzati nell'intero pacchetto costituente la copertura, non soltanto i materiali esposti che costituiscono l'ultimo strato esterno.</p>			

Figura 22. Classificazione in gruppi di materiali per rivestimento e completamento

Descrizione materiali	GM1	GM2	GM3
	EU	EU	EU
Isolanti protetti [1]	C-s2,d0	D-s2,d2	E
Isolanti lineari protetti [1], [3]	C _L -s2,d0	D _L -s2,d2	E _L
Isolanti in vista [2]	A2-s1,d0	B-s2,d0	B-s3,d0
Isolanti lineari in vista [2], [3]	A2 _L -s1,d0	B _L -s3,d0	B _L -s3,d0
<p>[1] Protetti con materiali non metallici del gruppo GM0 oppure prodotti di classe di resistenza al fuoco K 10 e classe minima di reazione al fuoco B-s1,d0.</p> <p>[2] Non protetti come indicato nella nota [1] della presente tabella.</p> <p>[3] Classificazione riferita a prodotti di forma lineare destinati all'isolamento termico di condutture di diametro massimo comprensivo dell'isolamento di 300 mm.</p>			

Figura 23. Classificazione in gruppi di materiali per l'isolamento

Progetto di prevenzione incendi

Descrizione materiali	GM1		GM2		GM3	
	Ita	EU	Ita	EU	Ita	EU
Condotte di ventilazione e riscaldamento	[na]	A2-s1,d0	[na]	B-s2,d0	[na]	B-s3,d0
Condotte di ventilazione e riscaldamento preisolate [1]	[na]	B-s2,d0	[na]	B-s2,d0	[na]	B-s3,d0
Raccordi e giunti per condotte di ventilazione e riscaldamento (L < 1,5 m)	1	B-s1,d0	1	B-s2,d0	2	C-s3,d0
Canalizzazioni per cavi per energia, controllo e comunicazioni [2] [4] [5]	0	[na]	1	[na]	1	[na]
Cavi per energia, controllo e comunicazioni [2] [3] [6]	[na]	B2 _{ca} -s1a,d0,a1	[na]	C _{ca} -s1b,d0,a2	[na]	C _{ca} -s3,d1,a3

[na] Non applicabile.

[1] La classe europea B-s2,d0 è ammessa solo se il componente isolante non è esposto direttamente alle fiamme per la presenza di uno strato di materiale incombustibile o di classe A1 che lo ricopre su tutte le facce, ivi inclusi i punti di interruzione longitudinali e trasversali della condotta. Utili riferimenti: EN 15423, EN 13403.

[2] Prestazione di reazione al fuoco richiesta solo quando le canalizzazioni, i cavi elettrici o i cavi di segnale non sono incassati in materiali incombustibili.

[3] La classificazione aggiuntiva relativa al gocciolamento *d0* può essere declassata a *d1* in presenza di IRAI di livello di prestazione III oppure qualora la *condizione d'uso finale* dei cavi sia tale da impedire fisicamente il gocciolamento (es. posa a pavimento, posa in canalizzazioni non forate, posa su controsoffitti non forati, ...).

[4] La classe 0 può essere declassata a 1 in presenza di IRAI di livello di prestazione III.

[5] la classe 1 non è richiesta per le canalizzazioni che soddisfano le prove di comportamento al fuoco previste dalle norme di prodotto armonizzate secondo la direttiva Bassa tensione (Direttiva 2014/35/UE).

[6] In sostituzione dei cavi C_{ca}-s3,d1,a3 possono essere installati cavi E_{ca} in presenza di IRAI di livello di prestazione III oppure in caso di posa singola.

Figura 24. Classificazione in gruppi di materiali per impianti

2.2.2 Resistenza al fuoco

La misura antincendio riferita alla resistenza al fuoco ha come finalità quella di garantire la capacità portante delle strutture e quella di compartimentazione per un tempo sufficientemente lungo da consentire il raggiungimento degli obiettivi primari della sicurezza antincendio.

Diversamente dalla misura precedente, le strategie adottate per la resistenza al fuoco sono da considerarsi valide per le intere opere da costruzione, e non solo ai diversi ambiti delle attività.

2.2.2.1 Livelli di prestazione

I livelli di prestazione per la resistenza al fuoco dei materiali sono definiti dalla tabella seguente.

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

Figura 25. Tabella S.2-1: Livelli di prestazione

I criteri di attribuzione dei livelli di prestazione sono riportati all'interno della tabella seguente.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	<p>Opere da costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti e strutturalmente separate da esse e tali che l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni ad altre opere da costruzione o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima; ● adibite ad attività afferenti ad un solo <i>responsabile dell'attività</i> e con profilo di rischio R_{beni} pari ad 1; ● non adibite ad attività che comportino presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto.
II	<p>Opere da costruzione o porzioni di opere da costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti; ● strutturalmente separate da altre opere da costruzione e tali che l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni alle stesse o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima; oppure, in caso di assenza di separazione strutturale, tali che l'eventuale cedimento della porzione non arrechi danni al resto dell'opera da costruzione o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima; ● adibite ad attività afferenti ad un solo <i>responsabile dell'attività</i> e con i seguenti profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ○ R_{vita} compresi in A1, A2, A3, A4; ○ R_{beni} pari ad 1; ● densità di affollamento $\leq 0,2$ persone/m²; ● non prevalentemente destinate ad occupanti con disabilità; ● aventi piani situati a quota compresa tra -5 m e 12 m.
III	Opere da costruzione non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
IV, V	Su specifica richiesta del committente, previsti da capitolati tecnici di progetto, richiesti dalla autorità competente per opere da costruzione destinate ad attività di particolare importanza.

Figura 26. Tabella S.2-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Considerando che il lotto di intervento è caratterizzato da un profilo di rischio R_{beni} pari a 2, a causa del vincolo di tutela a cui è sottoposto, per la misura relativa alla resistenza al fuoco si ricade nel livello di prestazione III. Questo implica che i requisiti di resistenza al fuoco debbano essere garantiti per un periodo congruo con la durata dell'incendio.

2.2.2.2 Determinazione delle classi di resistenza al fuoco

Le regole tecniche verticali di riferimento forniscono ulteriori informazioni in merito alla classe di resistenza al fuoco da adottare per le strutture.

La classe minima di resistenza al fuoco da adottare per l'attività scolastica è indicata dalla RTV.7, come mostrato dalla tabella seguente.

Essendo l'attività classificata HA ed avendo solo piani fuori terra, le strutture dovranno appartenere alla classe 30 di resistenza al fuoco.

Compartimenti	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
Fuori terra	30	60			90
Interrati	60				90

Figura 27. Tabella V.7-1: Classe di resistenza al fuoco

Al piano seminterrato del blocco A, sotto l'università, si trova il museo. In funzione del piano di riferimento, tale attività risulta ad una quota superiore a -1 m. Per questo motivo anche in questo caso la classe minima di resistenza al fuoco sarà la 30, come indicato dalla RTV.10.

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

Figura 28. Tabella V.10-1: Classe di resistenza al fuoco

Le due attività ricettive, classificate HA e regolamentate dalla RTV.5, saranno caratterizzate dalla classe 30 di resistenza al fuoco per i piani fuori terra. Il piano seminterrato dello studentato, invece, dovrà essere di classe 60, come definito dalla tabella riportata in seguito.

Compartimenti	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
Fuori terra	30	60			90
Interrati	60				90

Figura 29. Tabella V.5-1: Classe di resistenza al fuoco

La classe minima di resistenza al fuoco indicata dalle regole tecniche verticali tiene conto esclusivamente della quota dei piani, senza considerare il carico d'incendio dei vari ambienti. È stato perciò effettuato il calcolo del carico d'incendi specifico di progetto, al fine di verificare se la classe di resistenza al fuoco determinata sia coerente con quanto indicato dalle regole tecniche verticali.

Il valore orientativo di carico d'incendio specifico di progetto viene calcolato, manualmente o dal software, secondo la seguente relazione:

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

Dove:

- $q_{f,d}$ è il carico d'incendio specifico di progetto [MJ/m²];
- δ_{q1} è un fattore adimensionale che tiene conto del rischio di incendio in relazione alla dimensione del compartimento e i cui valori sono definiti nella tabella S.2-6;

Superficie lorda del compartimento [m ²]	δ_{q1}	Superficie lorda del compartimento [m ²]	δ_{q1}
A < 500	1,00	2500 ≤ A < 5000	1,60
500 ≤ A < 1000	1,20	5000 ≤ A < 10000	1,80
1000 ≤ A < 2500	1,40	A ≥ 10000	2,00

Figura 30. Tabella S.2-6: Parametri per la definizione del fattore δ_{q1}

- δ_{q2} è un fattore adimensionale che tiene conto del rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento e i cui valori sono definiti nella tabella S.2-7;

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

Figura 31. Tabella S.2-7: Parametri per la definizione del fattore δ_{q2}

- δ_n è un fattore adimensionale che tiene conto delle differenti misure antincendio del compartimento e i cui valori sono definiti nella tabella S.2-8. Viene calcolato come segue:

$$\delta_n = \prod_i \delta_{ni}$$

Progetto di prevenzione incendi

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

Figura 32. Tabella S.2-8: Parametri per la definizione del fattore δ_n

- q_f è il valore nominale del carico d'incendio specifico da determinarsi da letteratura o come segue [MJ/m²]:

$$q_f = (\sum_i g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i) / A$$

Dove:

- g_i è la massa dell'i-esimo materiale combustibile [kg];
- H_i è il potere calorifico inferiore dell'i-esimo materiale combustibile [MJ/kg];
- m_i è il fattore di partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile. È un fattore adimensionale pari a:
 - 0,80 per il legno e altri materiali di natura cellulosa;
 - 1,00 per tutti gli altri materiali combustibili;
- ψ_i è il fattore di limitazione della partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile. È un fattore adimensionale pari a:
 - 0,00 per i materiali contenuti in contenitori appositamente progettati per resistere al fuoco per

un tempo congruente con la classe di resistenza al fuoco o comunque classe minima almeno EI 15;

- 0,85 per i materiali contenuti in contenitori non combustibili che conservino la loro integrità durante l'esposizione all'incendio e non appositamente progettati per resistere al fuoco;
- 1,00 per tutti gli altri casi;
- A è la superficie lorda del piano del compartimento [m²].

Per l'attività scolastica, il carico d'incendio specifico di progetto è stato calcolato con il software ClaRaF 3.0.

I dati di ingresso inseriti sul software sono:

- δ_{q1} pari a 1,60 in funzione della superficie del compartimento pari a 3.444,7 m² e dunque compresa tra 2.500 e 5.000 m². Si è fatto riferimento al comparto Cau01, ovvero quello di dimensioni maggiori;
- δ_{q2} pari a 1,00, considerando che l'area presenta un moderato rischio di incendio e quindi una classe di rischio II;
- δ_{n7} pari a 0,90, essendo l'attività caratterizzata dal livello di prestazione III per la misura relativa alla gestione della sicurezza antincendio;
- δ_{n9} pari a 0,85, essendo l'attività caratterizzata dal livello di prestazione IV per la misura relativa alla rivelazione e all'allarme;
- q_f pari a 285 MJ/m², considerando un frattile all'80% pari a 1,22, in analogia con le scuole.

Avendo determinato, attraverso l'ausilio del software, un carico d'incendio specifico di progetto pari a 345,22 MJ/m², la scelta della classe 30 di resistenza al fuoco risulta coerente con quanto indicato nella tabella riportata in seguito.

Progetto di prevenzione incendi

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

Figura 33. Tabella S.2-3: Classe minima di resistenza al fuoco

Per il museo il carico d'incendio di progetto è stato calcolato prendendo in considerazione i materiali riportati nella tabella seguente.

Materiali	Q.tà	u.m.	Potere calorifico [MJ/Q.tà]	m [-]	ϕ [-]	Totale [MJ]
Tavoli	5	pz	252	1	1	1.260,0
Frigorifero	10	m ³	340	1	1	3.400,0
Sedie imbottite	34	pz	90	1	1	3.060,0
Tavolini	10	pz	418	0,8	1	3.344,0
Sedie	28	pz	67	1	1	1.876,0
Armadietti	21	m ³	420	0,8	1	7.056,0
Strumenti musicali in legno	30	kg	17,5	0,8	1	420,0
Bandiere	20	kg	21	0,8	1	336,0
Abiti	250	kg	510	1	1	127.500,0
Impianti elettrici	1.144,5	m ²	100	1	1	114.450,0

Tabella 4. Calcolo del contributo all'incendio dei materiali presenti nel museo

La somma totale del contributo dei materiali inseriti nel compartimento è 262.702,0 MJ.

Pertanto, essendo la superficie del compartimento di dimensione maggiore, il comparto Cas01, pari a 1.144,5 m², il carico d'incendio specifico risulta pari a 229,5 MJ/m².

Si determina quindi la classe minima di resistenza al fuoco come riportato nella tabella seguente.

q_f [MJ/m ²]	δ_{q1}	δ_{q2}	δ_{n7}	δ_{n9}	δ_n	$q_{f,d}$ [MJ/m ²]
229,5	1,40	1,00	0,90	0,85	0,77	245,7

Tabella 5. Calcolo del carico d'incendio specifico di progetto per il museo

Avendo determinato un carico d'incendio specifico di progetto pari a 245,7 MJ/m², la scelta della classe 30 di resistenza al fuoco risulta coerente e addirittura superiore a quanto richiesto dal Codice nella tabella S.2-3, riportata precedentemente.

Anche le due attività ricettive, rispettivamente dei blocchi B e C, sono state valutate con l'ausilio del software ClaRaF 3.0.

Per le camere dei docenti, i dati di ingresso inseriti sul software sono:

- δ_{q1} pari a 1,00 in funzione della superficie del compartimento pari a 336,4 m² e dunque inferiore a 500 m². Si è fatto riferimento al comparto Cb02, ovvero quello di dimensioni maggiori;
- δ_{q2} pari a 1,00, considerando che l'area presenta un moderato rischio di incendio e quindi una classe di rischio II;
- δ_{n7} pari a 0,90, essendo l'attività caratterizzata dal livello di prestazione II per la misura relativa alla gestione della sicurezza antincendio;
- δ_{n9} pari a 0,85, essendo l'attività caratterizzata dal livello di prestazione IV per la misura relativa alla rivelazione e all'allarme;
- q_f pari a 310 MJ/m², considerando un frattile all'80% pari a 1,22, in analogia con gli alberghi.

Avendo determinato, attraverso l'ausilio del software, un carico d'incendio specifico di progetto pari a 291,06 MJ/m², la scelta della classe 30 di resistenza al fuoco risulta coerente e addirittura superiore a quanto richiesto dal Codice nella tabella S.2-3, riportata precedentemente.

Per lo studentato, i dati di ingresso inseriti sul software sono:

- δ_{q1} pari a 1,40 in funzione della superficie del compartimento pari a 1.404 m² e dunque compresa tra 1.000 e 2.500 m². Si è fatto riferimento al comparto Cc05, ovvero quello di dimensioni maggiori;
- δ_{q2} pari a 1,00, considerando che l'area presenta un moderato rischio di incendio e quindi una classe di rischio II;
- δ_{n7} pari a 0,90, essendo l'attività caratterizzata dal livello di prestazione II per la misura relativa alla gestione della sicurezza antincendio;
- δ_{n9} pari a 0,85, essendo l'attività caratterizzata dal livello di prestazione IV per la misura relativa alla rivelazione e all'allarme;
- q_f pari a 310 MJ/m², considerando un frattile all'80% pari a 1,22, in analogia con gli alberghi.

Avendo determinato, attraverso l'ausilio del software, un carico d'incendio specifico di progetto pari a 407,48 MJ/m², la scelta della classe 30 di resistenza al fuoco risulta coerente a quanto richiesto dal Codice nella tabella S.2-3, riportata precedentemente.

2.2.3 Compartimentazione

La misura relativa alla compartimentazione è finalizzata alla limitazione della propagazione dell'incendio e dei suoi effetti.

2.2.3.1 Livelli di prestazione

I livelli di prestazione per la compartimentazione sono definiti dalla tabella seguente.

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

Figura 34. Tabella S.3-1: Livelli di prestazione

I criteri di attribuzione dei livelli di prestazione sono riportati all'interno della tabella seguente.

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

Figura 35. Tabella S.3-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Per le due attività ricettive caratterizzate da un profilo di rischio R_{vita} pari a Cii2, si attribuisce il livello di prestazione III. L'università e il museo, invece, ricadono nel livello di prestazione II. Il terzo livello differisce da quello inferiore per la tenuta ai fumi freddi che gli elementi costituenti le compartimentazioni dovranno garantire.

2.2.3.2 Soluzione conforme

Anche in questa misura le prescrizioni previste dalla regola tecnica orizzontale sono integrate dalle specifiche regole tecniche verticali.

Per l'università si fa riferimento alla tabella V.7-2, riportata in seguito.

Area	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
TA	Nessun requisito aggiuntivo				
TM, TO, TT	Di tipo protetto				
TK	Di tipo protetto [1]		Il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK		
TZ	Secondo risultanze della valutazione del rischio				
[1] Di tipo protetto se ubicate a quota ≥ -5 m; in caso l'area TK sia ubicata a quota < -5 m il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK.					

Figura 36. Tabella V.7-2: Compartimentazione

Le aule, i laboratori e le aree comuni classificate TA non sono necessari requisiti di compartimentazione aggiuntivi. Le aree classificate TT, in progetto corrispondenti ai locali tecnici, saranno di tipo protetto.

Per l'attività museale si seguono le indicazioni della tabella V.10-2, riportata in seguito.

Area	Requisiti aggiuntivi
TA, TC, TO	Nessun requisito aggiuntivo
TM, TT, TK1, TK2	Di tipo protetto
TZ	Secondo le risultanze della valutazione del rischio

Figura 37. Tabella V.10-2: Compartimentazione

Le aree classificate TA non necessitano di alcun requisito di compartimentazione aggiuntivo, così come le aree TZ secondo risultanze della valutazione del rischio. Il locale tecnico classificato TT, invece, sarà di tipo protetto.

Per le due attività ricettive si fa riferimento alle indicazioni della seguente tabella.

Progetto di prevenzione incendi

Area	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
TA, TB, TC	Nessun requisito aggiuntivo				
TO, TT, TM	Di tipo protetto				
TK	Di tipo protetto e chiusure con requisiti S_a [1]		Il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK [2]		
TZ	Secondo risultanze della valutazione del rischio				

[1] Di tipo protetto e chiusure con requisiti S_a , se ubicate a quota ≥ -5 m; in caso l'area TK sia ubicata a quota < -5 m, il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK.
 [2] I locali destinati a lavanderia, stieria e locali cottura almeno di tipo protetto

Figura 38. Tabella V.5-2: Compartimentazione

Le aree TT, in progetto corrispondenti ai locali tecnici destinati ad impianti, saranno di tipo protetto. Non è necessario, invece, alcun requisito aggiuntivo per le camere dei docenti e dello studentato, classificabili TC, così come per le aree comuni TZ, secondo risultanze della valutazione del rischio.

2.2.3.3 Compartimenti

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

La massima superficie lorda è ridotta del 50% per i compartimenti con $R_{ambiente}$ significativo.
 [na] Non ammesso
 [1] Senza limitazione

Figura 39. Tabella S.3-6: Massima superficie lorda dei compartimenti in m^2

In progetto saranno presenti compartimenti multipiano che devono rispettare le indicazioni della tabella S.3-6 sulle massime superfici lorde ammissibili.

Il complesso edilizio è stato suddiviso nei compartimenti indicati nella tabella seguente.

Attività	Comparto	Rvita	Quota [m]	Superficie [m²]	Superficie massima consentita
Università	Cau01	A2	+0,00	3.444,7	64.000
	Cau02	A2	+0,00	25,0	64.000
	Cau03	A2	+0,00	18,5	64.000
	Cau04	A2	+4,95	1.551,9	64.000
	Cau05	A2	+4,95	18,5	64.000
	Cau06	A2	+8,62	21,0	64.000
	Cau07	A2	+8,62	18,5	64.000
Museo	Cas01	B2	-0,01	1.144,5	32.000
	Cas02	B2	-1,00	34,2	32.000
	Cas03	B2	-0,01	26,8	32.000
Camere docenti	Cb01	Cii2	0,09	310,5	8.000
	Cb02	Cii2	4,89	336,4	8.000
Studentato	Cc01	A2	-2,79	754,3	8.000
	Cc02	A2	-2,79	15,5	8.000
	Cc03	A2	-2,79	21,2	8.000
	Cc04	A2	-2,79	27,5	8.000
	Cc05	Cii2	+1,09	1.404,0	8.000
	Cc06	A2	+5,10	19,5	64.000
	Cc07	Cii2	+9,57	683,5	8.000

Tabella 6. Compartimenti

I compartimenti Cau01 del blocco A e Cc05 del blocco C sono compartimenti multipiano che rispettano le condizioni richieste dalla tabella S.3-7.

R_{vita}	Compartimenti multipiano	Prescrizioni antincendio aggiuntive
A1, A2, A3, B1, B2, B3, E1, E2, Cii1, Cii2, Ciii1, Ciii2	I piani a quota > -1 m e \leq 6 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano	Nessuna
A1, A2		Nessuna
A3, B1, B2, Cii1, Cii2, Ciii1, Ciii2	I piani a quota > -5 m e \leq 12 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano (Esempio in tabella S.3-8)	[1], [2]
B3		[3]
A1, A2	I piani a quota > 12 m e \leq 32 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano, con massimo dislivello tra i piani inseriti \leq 7 m (Esempio in tabella S.3-8)	[3]
B1, B2		[3], [4]
[1] Rivelazione ed allarme di livello di prestazione III (capitolo S.7) [2] Se $q_i < 600$ MJ/m ² , controllo dell'incendio di livello di prestazione III, altrimenti IV (capitolo S.6) [3] Rivelazione ed allarme di livello di prestazione IV (capitolo S.7) [4] Controllo dell'incendio di livello di prestazione IV (capitolo S.6).		

Figura 40. Tabella S.3-7: Condizioni per la realizzazione di compartimenti multipiano

Il compartimento Cau01 dell'università, caratterizzato dal profilo di rischio R_{vita} A2, è composto da tre piani fuori terra, di cui quello inferiore a quota +0,00 m e quello superiore a quota +8,62 m. Considerate le caratteristiche, la realizzazione di tale compartimento multipiano è consentita senza la necessità di prevedere prescrizioni antincendio aggiuntive, così come anche per il comparto multipiano Cc05, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella seguente.

Comparto	R_{vita}	Numero di piani	Quota piano inferiore	Quota piano superiore
Cau01	A2	3	+0,00	+8,62
Cc05	Cii2	2	+1,09	+5,10

Tabella 7. Compartimenti multipiano

2.2.4 Esodo

Al fine di garantire la possibilità che tutti gli occupanti delle attività possano raggiungere, in caso di incendio, un luogo sicuro in totale sicurezza, viene definito un sistema di esodo secondo le indicazioni del capitolo S.4 del Codice.

2.2.4.1 Livelli di prestazione

La tabella S.4-1, riportata in seguito, definisce i livelli di prestazione per la presente misura antincendio.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Gli occupanti raggiungono un <i>luogo sicuro</i> prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività attraversati durante l'esodo.
II	Gli occupanti sono protetti dagli effetti dell'incendio nel luogo in cui si trovano.

Figura 41. Tabella S.4-1: Livelli di prestazione

I criteri di attribuzione di tali livelli di prestazione sono riportati all'interno della tabella S.4-2, riportata in seguito.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Tutte le attività
II	Ambiti per i quali non sia possibile assicurare il livello di prestazione I (es. a causa di dimensione, ubicazione, abilità degli occupanti, tipologia dell'attività, caratteristiche geometriche particolari, vincoli architettonici, ...)

Figura 42. Tabella S.4-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Considerando le caratteristiche del complesso edilizio in termini geometrici e della tipologia di occupanti, il livello di prestazione I risulta quello più idoneo.

Tra le procedure ammesse per l'esodo dell'intero lotto di intervento si ritiene adatto l'esodo simultaneo, che prevede lo spostamento contemporaneo degli occupanti fino ad un luogo sicuro.

2.2.4.2 Dati di ingresso per la progettazione del sistema d'esodo

Al fine di progettare il sistema di esodo è necessario definire i corretti dati di ingresso, come l'affollamento dei diversi ambiti delle attività.

Il numero di occupanti presenti nei locali è stato determinato moltiplicato la densità di affollamento, i cui valori di riferimento sono indicati nella tabella S.4-12, per la superficie lorda dell'ambito considerato.

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
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	0,1 persone/m ²
Ambulatori	
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	0,05 persone/m ²
Civile abitazione	

Figura 43. Tabella S.4-12: Densità di affollamento per tipologia di attività

In alcuni ambiti, come ad esempio la sala riunioni del museo o le camere dello studentato e dei docenti, l'affollamento è stato calcolato considerando il numero di posti a sedere o di posti letto.

Progetto di prevenzione incendi

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

Figura 44. Tabella S.4-13: Criteri per tipologia di attività

Nella tabella seguente vengono riportati i calcoli effettuati per la determinazione dell'affollamento dei diversi ambiti e il numero di occupanti totali delle attività.

Attività	Ambito	Sup. [m²]	Densità di aff. [p/m²]	Aff. ambito [p]	Aff. attività [p]
Università	Laboratori	999,6	0,4	509	966
	Aule	839,4	0,4	337	
	Uffici	300,7	0,4	120	
Museo	Sala riunioni	59,5	-	34	295
	Bar	64,6	0,7	45	
	Cucina	110,0	-	6	
	Area espositiva	133,7	1,2	161	
	Spogliatoi	92,3	-	49	
Camere docenti	Camere	1.019,3	-	26	26
Studentato	Camere	2.086,8	-	76	76

Tabella 8. Calcolo dell'affollamento

Come calcolato nella tabella precedente, l'affollamento massimo delle attività è pari a:

- 966 occupanti nell'università;

- 295 occupanti nel museo;
- 26 occupanti nelle camere per i docenti;
- 76 occupanti nello studentato.

2.2.4.3 Progettazione del sistema d'esodo

La soluzione conforme per tale misura antincendio prevede la definizione dei requisiti minimi per l'esodo. In particolare, le vie di esodo verticali che collegano i diversi compartimenti sono state progettata in modo da renderle protette e dotate di resistenza al fuoco non inferiore alla classe 30, con chiusure dei varchi di comunicazione almeno E 30-Sa. Le vie d'esodo verticali e orizzontali hanno altezza minima di 2 metri e non comprendono scale portatili, ascensori e rampe con pendenza maggiore del 20%. Le porte previste lungo le vie di esodo sono facilmente identificabili e apribili nel senso dell'esodo, essendo dotate di dispositivo di apertura conforme alla UNI EN 1125:2008, come da indicazioni della tabella S.4-6.

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

[1] Numero degli occupanti che impiegano la singola porta nella condizione d'esodo più gravosa, considerando anche la verifica di ridondanza di cui al paragrafo S.4.8.6.
 [2] Qualora l'esodo possa avvenire nelle due direzioni devono essere previste specifiche misure (es. porte distinte per ciascuna direzione, porte apribili nelle due direzioni, porte ad azionamento automatico, segnaletica variabile, ...). Sono escluse dal verso di apertura le porte ad azionamento automatico del tipo a scorrimento.
 [3] Oppure dispositivo per specifiche necessità, da selezionare secondo risultanze della valutazione del rischio (es. EN 13633, EN 13637, ...).
 [4] I dispositivi UNI EN 179 sono progettati per l'impiego da parte di personale specificamente formato.
 [5] Ove possibile, è preferibile che il verso di apertura sia comunque nel senso dell'esodo, anche qualora si mantenga il dispositivo di apertura ordinario.

Figura 45. Tabella S.4-6: Caratteristiche delle porte ad apertura manuale lungo le vie d'esodo

Tutte le porte comprese nelle vie d'esodo, a servizio di ambiti non aperti al pubblico con affollamento superiore a 50 occupanti, oppure di ambiti

aperti al pubblico con affollamento superiore a 25 occupanti, sono progettate con verso di apertura nel senso dell'esodo e con dispositivo di apertura del tipo UNI EN 1125. In aggiunta, anche tutte le porte dei vani scali utilizzati come vie di esodo verticali sono dotate di maniglione antipanico.

Nel progetto, le uscite finali sono posizionate in modo da garantire l'evacuazione rapida degli occupanti verso il luogo sicuro e dovranno essere sempre disponibile, anche durante un incendio in attività limitrofe. Sono dotate, inoltre, del seguente cartello.



Figura 46. Illustrazione S.4-2: Esempio di segnale per uscita finale

Il progetto delle attività del complesso edilizio prevede la presenza di apposita segnaletica di emergenza al fine di agevolare l'esodo degli occupanti. In particolare, è stata adottata la segnaletica a norma UNI EN ISO 7010.

				
E007 Luogo sicuro	E024 Spazio calmo	E001 Via d'esodo	E026 Via d'esodo verso spazio calmo	E060 Sedia d'evacuazione

Figura 47. Tabella S.4-8: Esempi di segnali UNI EN ISO 7010

All'interno degli ambiti che costituiscono il sistema di esodo è stato previsto un impianto di illuminazione di sicurezza atto a garantire un

livello di illuminazione sufficiente a consentire l'esodo degli occupanti in totale sicurezza, in conformità alla norma UNI EN 1838.

Il sistema di esodo è stato dunque dimensionato come segue, garantendo in ogni ambito la possibilità che gli occupanti raggiungano un luogo sicuro temporaneo o direttamente un luogo sicuro, prima che si verifichino le condizioni incapacitanti all'esodo negli ambiti ove si trovano.

Il numero minimo di vie di esodo indipendenti viene stabilito in funzione del profilo di rischio R_{vita} e dell'affollamento.

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/m²

Figura 48. Tabella S.4-15: Numero minimo di uscite indipendenti da locale o spazio a cielo libero

Le tabelle S.4-18 e S.4-25 definiscono le indicazioni sulle massime lunghezze dei corridoi ciechi e dei percorsi di esodo da rispettare in funzione del profilo R_{vita} e dell'affollamento degli ambiti.

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

La massima lunghezza ammessa per i corridoi ciechi L_{cc} è:

- 30 m per l'università e per il piano seminterrato dello studentato;
- 20 m per il museo;
- 15 m per le due attività ricettive.

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

La massima lunghezza ammessa per i percorsi d'esodo L_{es} è:

- 60 m per l'università e per il piano seminterrato dello studentato;
- 50 m per il museo;
- 30 m per le due attività ricettive.

Le lunghezze precedentemente determinate possono essere maggiorate in funzione dei requisiti antincendio aggiuntivi delle attività.

Requisiti antincendio aggiuntivi	$\delta_{m,i}$	
Rivelazione ed allarme di livello di prestazione IV (capitolo S.7)	15%	
Controllo di fumi e calore di livello di prestazione III (capitolo S.8)	20%	
Altezza media del locale servito dalla via d'esodo, h_m in metri [1]	≤ 3 m	0%
	> 3 m, ≤ 4 m	5%
	> 4 m, ≤ 5 m	10%
	> 5 m, ≤ 6 m	15%
	> 6 m, ≤ 7 m	18%
	> 7 m, ≤ 8 m	21%
	> 8 m, ≤ 9 m	24%
	> 9 m, ≤ 10 m	27%
> 10 m	30%	

[1] Qualora la via d'esodo serva più locali, si assume la minore tra le altezze medie.

Figura 51. Tabella S.4-38: Parametri per la definizione dei fattori $\delta_{m,i}$

Come sarà successivamente illustrato nel paragrafo dedicato alla rivelazione e all'allarme dell'incendio, ogni attività sarà caratterizzata dal livello di prestazione IV per la misura S.7. Sarà dunque possibile applicare un incremento del 15% alle massime lunghezze ammissibili d'esodo e di corridoio cieco precedentemente individuate. Inoltre, sarà possibile incrementare alcune lunghezze in funzione dell'altezza media dei locali serviti dalle vie d'esodo. In particolare, le lunghezze ammissibili dell'università, del museo e del secondo piano dello studentato saranno incrementate di un ulteriore 5%. Per le camere dei docenti del blocco B, invece, verranno incrementate del 10%.

Applicando gli incrementi precedentemente indicati, si ottiene:

- *università:*
 - $L_{cc} = 20 + (15\% + 5\%) = 24 \text{ m};$
 - $L_{es} = 50 + (15\% + 5\%) = 60 \text{ m};$
- *museo:*
 - $L_{cc} = 30 + (15\% + 5\%) = 36 \text{ m};$
 - $L_{es} = 60 + (15\% + 5\%) = 72 \text{ m};$
- *camere per i docenti:*
 - $L_{cc} = 15 + (15\% + 10\%) = 18,75 \text{ m};$
 - $L_{es} = 30 + (15\% + 10\%) = 37,5 \text{ m};$
- *piano seminterrato dello studentato:*
 - $L_{cc} = 30 + 15\% = 34,5 \text{ m};$
 - $L_{es} = 60 + 15\% = 69 \text{ m};$
- *piano terra e primo dello studentato:*
 - $L_{cc} = 15 + 15\% = 17,25 \text{ m};$
 - $L_{es} = 30 + 15\% = 34,5 \text{ m};$
- *piano terra e primo dello studentato:*
 - $L_{cc} = 15 + (15\% + 5\%) = 18 \text{ m};$
 - $L_{es} = 30 + (15\% + 5\%) = 36 \text{ m}.$

Attività	Comparto	$L_{cc,max}$ eff. [m]	$L_{cc,max}$ consentito [m]	$L_{es,max}$ eff. [m]	$L_{es,max}$ consentito [m]
Università	Cau01	15,7	36,0	63,4	72,0
	Cau02	6,9	36,0	6,9	72,0
	Cau03	6,2	36,0	6,2	72,0
	Cau04	15,1	36,0	56,8	72,0
	Cau05	6,6	36,0	6,6	72,0
	Cau06	11,0	36,0	36,9	72,0
	Cau07	11,8	36,0	11,8	72,0
Museo	Cas01	19,2	24,0	36,0	60,0
	Cas02	7,8	24,0	7,8	60,0
Camere docenti	Cb01	17,7	18,75	19,3	37,5
	Cb02	17,9	18,75	24,1	37,5
Studentato	Cc01	9,1	34,5	17,4	69,0
	Cc02	5,1	34,5	5,1	69,0
	Cc03	8,5	34,5	28,5	69,0
	Cc04	9,5	34,5	29,5	69,0
	Cc05	14,9	17,25	24,3	34,5
	Cc06	6,8	34,5	7,9	69,0
	Cc07	14,9	18,0	24,6	36,0

Tabella 9. Verifica delle lunghezze di esodo e di corridoio cieco

Come si evince dalla tabella riportata in precedenza, le lunghezze d'esodo e dei corridoi ciechi effettive risultano inferiori ai limiti indicati dal Codice.

Oltre alle lunghezze, un altro parametro importante per la progettazione del sistema di esodo è la larghezza minima che le vie di esodo orizzontali e verticali devono avere.

La larghezza minima delle vie di esodo orizzontali viene calcolata come segue.

$$L_o = L_U \cdot n_o$$

Dove:

- L_o è la larghezza minima delle vie d'esodo orizzontali [mm];
- L_U è la larghezza unitaria determinata dalla tabella S.4-27 in funzione del profilo di rischio R_{vita} [mm/persona];
- n_o è il numero totale degli occupanti che impiegano la via d'esodo considerata.

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 $> 0,7 \text{ p/m}^2$.

Figura 52. Tabella S.4-27: Larghezze unitarie per vie d'esodo orizzontali

La larghezza unitaria L_U , in funzione del profilo di rischio R_{vita} , risulta pari a:

- 3,80 m per l'università e per il piano seminterrato dello studentato;
- 4,10 m per il museo, le camere per i docenti e per i piani fuori terra dello studentato.

Di seguito viene riportato un riepilogo dei varchi di uscita orizzontale.

Attività	Uscita	R_{vita}	L_U [mm]	n_o [p]	L_o [mm]	Larghezza [mm]
Università	USau01	A2	3,80	176	668,8	3.200
	USau02	A2	3,80	-	-	900
	USau03	A2	3,80	-	-	1.700
	USau04	A2	3,80	25	95	900

La tabella prosegue alla pagina successiva.

Progetto di prevenzione incendi

Attività	Uscita	R_{vita}	L_U [mm]	n₀ [p]	L₀ [mm]	Larghezza [mm]
	USau05	A2	3,80	25	95	900
	USau06	A2	3,80	195	741	2.100
	USau07	A2	3,80	38	144,4	900
	USau08	A2	3,80	130	494	1.200
	USau09	A2	3,80	108	410,4	1.200
Museo	USas01	B2	4,10	161	660,1	2.000
	USas02	B2	4,10	49	200,9	2.200
	USas03	B2	4,10	23	94,3	1.400
	USas04	B2	4,10	22	90,2	1.000
	USas05	B2	4,10	17	69,7	1.300
	USas06	B2	4,10	17	69,7	1.000
Camere docenti	USb01	Cii2	4,10	3	12,3	900
	USb02	Cii2	4,10	-	-	900
	USb03	Cii2	4,10	10	41	900
Studentato	USc01	A2	3,80	-	-	2.000
	USc02	A2	3,80	17	64,6	1.300
	USc03	A2	3,80	15	57	1.200
	USc04	A2	3,80	10	38	1.000
	USc05	A2	3,80	11	41,8	1.300
	USc06	A2	3,80	11	41,8	1.000
	USc07	A2	3,80	10	38	1.000
	USc08	A2	3,80	10	38	1.000
	USc09	A2	3,80	10	38	1.300
	USc10	A2	3,80	10	38	1.000
	USc11	A2	3,80	10	38	1.300
	USc12	A2	3,80	-	-	900
	USc13	Cii2	4,10	14	57,4	1.300

La tabella prosegue alla pagina successiva.

Attività	Uscita	R_{vita}	L_U [mm]	n₀ [p]	L₀ [mm]	Larghezza [mm]
Studentato	USc14	Cii2	4,10	10	41	1.800
	USc15	Cii2	4,10	14	57,4	1.300
	USc16	Cii2	4,10	14	57,4	1.300

Tabella 10. Calcolo della larghezza minima delle uscite orizzontali

Come si può notare dalla tabella, la larghezza di ogni uscita di sicurezza risulta sempre abbondantemente superiore alla larghezza minima determinata, ma anche a quella indicata dalla tabella S.4-28.

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

Una volta calcolate le larghezze minime ammesse per i vari compartimenti e verificato che le larghezze effettive siano sufficienti, si prosegue con la verifica di ridondanza delle vie di esodo orizzontali. Tale verifica è utile per tenere in considerazione la possibilità che un eventuale incendio possa rendere indisponibile alcune vie di esodo. Ai fini della verifica, nel caso in cui un ambito sia servito da diversi percorsi di esodo, se ne rende indisponibile uno per volta assicurandosi che i rimanenti risultino sufficientemente larghi da consentire l'esodo degli occupanti.

Nella tabella seguente viene riportato il calcolo della verifica di ridondanza nel caso peggiore per ogni attività, rendendo indisponibile

l'uscita di sicurezza di dimensioni maggiori. Nello specifico, sono state considerate indisponibili le uscite:

- *USau01* per l'università;
- *USas02* per il museo;
- *USb01* per le camere dei docenti;
- *USc01* per lo studentato.

Attività	Affollamento	L_o [mm]	Uscite orizz. [n°]	Uscite orizz. [mm]	Verifica
Università	966	3.671	1	3.200	9.800 > 1.210
			1	2.100	
			1	1.700	
			2	1.200	
			4	900	
Museo	295	1.210	1	2.200	6.770 > 1.210
			1	2.000	
			1	1.400	
			1	1.300	
			2	1.000	
Camere docenti	26	107	3	900	1.800 > 107
Studentato	76	312	1	2.000	18.000 > 312
			1	1.800	
			7	1.300	
			1	1.200	
			5	1.000	
			1	900	

Tabella 11. Verifica di ridondanza delle vie d'esodo orizzontali

La verifica di ridondanza delle vie di esodo orizzontali risulta sempre ampiamente soddisfatta. Avendo effettuato tale verifica nel caso peggiore possibile, si ritengono soddisfatte anche tutte le altre possibilità.

Per la corretta progettazione del sistema di esodo è necessario effettuare anche il calcolo della larghezza minima delle vie di esodo verticali. Questo calcolo verrà effettuato tenendo conto che:

- la larghezza L_V può essere costituita dalla somma delle larghezze di più percorsi;
- la larghezza minima delle singole vie d'esodo verticali è indicata nella tabella S.4-32.

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
≥ 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 54. Tabella S.4-32: Larghezze minime per vie d'esodo verticali

Il calcolo della larghezza minima delle vie d'esodo verticale viene effettuato come segue.

$$L_V = L_U \cdot n_V$$

Dove:

- L_V è la larghezza minima delle vie d'esodo verticali [mm];
- L_U è la larghezza unitaria determinata dalla tabella S.4-29 in funzione del profilo di rischio R_{vita} e del numero totale di piani serviti dalle vie d'esodo verticali [mm/persona];
- n_V è il numero totale degli occupanti che impiegano la via d'esodo considerata, provenienti da tutti i piani serviti.

Progetto di prevenzione incendi

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

La larghezza unitaria L_v , in funzione del profilo di rischio R_{vita} e del numero di piani serviti, risulta pari a:

- 4,90 m per le scale SCb01 e SCb02 delle camere per i docenti;
- 4,55 m per le scale SCau01 e SCau02 dell'università;
- 4,00 m per le scale SCau03 e SCau04 dell'università;
- 3,80 m per le scale SCc01 e SCc02 dello studentato.

Di seguito viene riportato un riepilogo delle vie di esodo verticali.

Attività	Scala	R_{vita}	L_u [mm]	n_v [p]	L_v [mm]	Larghezza [mm]
Università	SCau01	A2	4,55	26	118,3	1.400
	SCau02	A2	4,55	38	206,7	1.200
	SCau03	A2	4,00	300	1.200	1.350
	SCau04	A2	4,00	208	1.332	1.350
Camere docenti	SCb01	Cii2	4,90	1	4,9	950
	SCb02	Cii2	4,90	12	58,8	1.400
Studentato	SCc01	Cii2	3,80	20	76	1.280
	SCc02	Cii2	3,80	28	106,4	1.850

Tabella 12. Calcolo della larghezza delle vie d'esodo verticali

La larghezza minima della via di esodo verticale corrispondente alla scala SCau04 dell'università è stata incrementata di 500 mm al fine di facilitare l'accesso dei soccorritori in senso contrario all'esodo degli occupanti, come richiesto dal livello IV di prestazione per la misura S.9 relativa all'operatività antincendio.

Una volta determinate le larghezze minime delle vie di esodo orizzontali e verticali risulta possibile proseguire con il calcolo della larghezza minima delle uscite finali, valore che consente di regolare l'esodo degli occupanti provenienti da vie d'esodo orizzontali e verticali. La larghezza in questione è calcolata nel seguente modo.

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

Dove:

- L_F è la larghezza minima dell'uscita finale [mm];
- $L_{O,i}$ è la larghezza della i-esima via d'esodo orizzontale che adduce all'uscita finale [mm];
- $L_{V,j}$ è la larghezza della j-esima via d'esodo verticale che adduce all'uscita finale [mm];

Attività	Uscita	R_{vita}	L_o [mm]	L_v [mm]	L_F [mm]	Larghezza [mm]
Università	USau01	A2	668,8	-	668,8	3.200
	USau02	A2	-	-	-	900
	USau03	A2	-	1.200	1.200	1.700
	USau04	A2	95	-	95	900
	USau05	A2	95	-	95	900
	USau06	A2	741	-	741	2.100
	USau07	A2	144,4	206,7	351,1	900
	USau08	A2	494	-	494	1.200
	USau09	A2	410,4	-	410,4	1.200

La tabella prosegue alla pagina successiva

Progetto di prevenzione incendi

Attività	Uscita	R_{vita}	L_o [mm]	L_v [mm]	L_F [mm]	Larghezza [mm]
Museo	USas01	B2	660,1	-	660,1	2.000
	USas02	B2	200,9	-	200,9	2.200
	USas03	B2	94,3	-	94,3	1.400
	USas04	B2	90,2	-	90,2	1.000
	USas05	B2	69,7	-	69,7	1.300
	USas06	B2	69,7	118,3	188	1.000
Camere docenti	USb01	Cii2	12,3	-	12,3	900
	USb02	Cii2	-	4,9	4,9	900
	USb03	Cii2	41	58,8	99,8	900
Studentato	USc01	A2	-	-	-	2.000
	USc02	A2	64,6	-	64,6	1.300
	USc03	A2	57	-	57	1.200
	USc04	A2	38	-	38	1.000
	USc05	A2	41,8	-	41,8	1.300
	USc06	A2	41,8	-	41,8	1.000
	USc07	A2	38	-	38	1.000
	USc08	A2	38	-	38	1.000
	USc09	A2	38	-	38	1.300
	USc10	A2	38	-	38	1.000
	USc11	A2	38	-	38	1.300
	USc12	A2	-	-	-	900
	USc13	Cii2	57,4	-	57,4	1.300
	USc14	Cii2	41	76	117	1.800
	USc15	Cii2	57,4	-	57,4	1.300
	USc16	Cii2	57,4	-	57,4	1.300

Tabella 13. Calcolo della larghezza delle uscite finali

Come si evince dalla tabella riportata precedentemente, la larghezza di tutte le uscite finali risulta sempre abbondantemente sufficiente.

È importante sottolineare come le uscite finali considerate nel progetto di prevenzione incendi siano differenti da quelle che verranno considerate nel progetto di Fire Safety Engineering, nel capitolo successivo. Nel progetto di prevenzione incendi vengono presi in considerazione i varchi che permettono l'esodo verso luogo sicuro, quindi gli spazi a cielo libero. Con l'approccio ingegneristico che verrà affrontato in seguito, invece, saranno studiati nello specifico anche i percorsi esterni agli edifici e quindi i varchi che portano effettivamente all'esterno del complesso edilizio. Questo induce ulteriori criticità in quanto la convergenza dei flussi provenienti da diverse uscite di sicurezza potrebbe causare sovraffollamenti localizzati e quindi importanti rallentamenti nell'esodo degli occupanti.

Gli ultimi elementi da considerare per definire completamente il sistema di esodo sono gli spazi calmi. Tale spazio è un luogo sicuro temporaneo, utile principalmente qualora nelle attività siano presenti occupanti affetti da disabilità motoria e che quindi, non potendo completare autonomamente l'esodo, debbano attendere di essere assistiti. Il dimensionamento degli spazi calmi viene fatto in funzione delle indicazioni fornite dalla tabella S.4-36, riportata in seguito.

Tipologia	Superficie minima per occupante
Occupante deambulante	0,70 m ² /persona
Occupante su sedia a ruote	1,77 m ² /persona
Occupante allettato	2,25 m ² /persona
Alla superficie minima destinata agli occupanti devono essere aggiunti gli spazi di manovra necessari per l'utilizzo di eventuali ausili per il movimento (es. letto, sedia a ruote, ...).	

Figura 56. Tabella S.4-36: Superfici minime per occupante

Gli spazi calmi in progetto sono di dimensioni pari a 1,77 m²/persona e dotati di indicazioni sui comportamenti da tenere in attesa dell'arrivo dell'assistenza e di illuminazione di sicurezza. Sono, inoltre, contrassegnato con un cartello UNI EN ISO 7010-E024.

In particolare, sono stati previsti:

- nell'università:
 - uno spazio calmo al piano primo, all'interno del vano scala SCau02;
 - uno spazio calmo al piano secondo, sul pianerottolo della scala esterna SCau04;
- nello studentato:
 - uno spazio calmo al piano primo, all'interno del comparto Cc06;
 - uno spazio calmo al piano secondo, all'interno del vano scala SCc01.

2.2.5 Gestione della sicurezza antincendio

La gestione della sicurezza antincendio è finalizzata a garantire, all'interno delle attività, un adeguato livello di sicurezza in caso di incendio.

2.2.5.1 Livelli di prestazione

I livelli di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio sono definiti dalla tabella seguente.

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

Figura 57. Tabella S.5-1: Livelli di prestazione

I criteri di attribuzione di tali livelli di prestazione sono riportati all'interno della tabella S.5-2, riportata in seguito.

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

Figura 58. Tabella S.5-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

In funzione dei criteri di attribuzione descritti dalla figura precedentemente riportata, il museo, caratterizzato da un profilo di rischio R_{vita} pari a B2, e le due attività ricettive con profilo di rischio R_{vita} pari a Cii2 ma numero di posti letto inferiore a 100, ricadono nel livello di prestazione II.

L'università, invece, in funzione dell'affollamento superiore a 300 persone, ricade nel livello di prestazione III.

Le soluzioni conformi ai livelli di prestazione II e III sono definite nelle due tabelle riportate in seguito.

Progetto di prevenzione incendi

Struttura organizzativa minima	Compiti e funzioni
Responsabile dell'attività	<ul style="list-style-type: none"> • organizza la GSA in esercizio; • organizza la GSA in emergenza; • [1] predispone, attua e verifica periodicamente il piano d'emergenza; • [1] provvede alla formazione ed informazione del personale su procedure ed attrezzature.
[1] Coordinatore degli addetti del servizio antincendio	<p>Addetto al servizio antincendio, individuato dal responsabile dell'attività, che:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sovrintende ai servizi relativi all'attuazione delle misure antincendio previste; • coordina operativamente gli interventi degli addetti al servizio antincendio e la messa in sicurezza degli impianti; • si interfaccia con i responsabili delle squadre dei soccorritori; • segnala al responsabile dell'attività eventuali necessità di modifica delle procedure di emergenza.
[1] Addetti al servizio antincendio	Attuano la GSA in esercizio ed in emergenza.
GSA in esercizio	Come prevista al paragrafo S.5.7, escluse le prescrizioni del paragrafo S.5.7.7, con possibilità di prevedere il centro di gestione delle emergenze di cui al paragrafo S.5.7.6.
GSA in emergenza	Come prevista al paragrafo S.5.8
[1] Solo se attività lavorativa	

Figura 59. Tabella S.5-4: Soluzioni conformi per il livello di prestazione II

Struttura organizzativa minima	Compiti e funzioni
Responsabile dell'attività	<ul style="list-style-type: none"> • organizza la GSA in esercizio; • organizza la GSA in emergenza; • [1] predispone, attua e verifica periodicamente il piano d'emergenza; • [1] provvede alla formazione ed informazione del personale su procedure ed attrezzature; • [1] nomina le figure della struttura organizzativa; • istituisce l'<i>unità gestionale</i> GSA (paragrafo S.5.7.7).
[1] Coordinatore unità gestionale GSA	Coordina le attività di cui al paragrafo S.5.7.7.
[1] Coordinatore degli addetti del servizio antincendio	<p>Addetto al servizio antincendio, individuato dal responsabile dell'attività, che:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sovrintende ai servizi relativi all'attuazione delle misure antincendio previste; • programma la turnazione degli addetti del servizio antincendio; • coordina operativamente gli interventi degli addetti al servizio antincendio e la messa in sicurezza degli impianti; • si interfaccia con i responsabili delle squadre dei soccorritori; • segnala al <i>coordinatore dell'unità gestionale</i> GSA eventuali necessità di modifica delle procedure di emergenza.
[1] Addetti al servizio antincendio	Attuano la GSA in esercizio ed in emergenza.
GSA in esercizio	Come prevista al paragrafo S.5.7
GSA in emergenza	Come prevista al paragrafo S.5.8
[1] Solo se attività lavorativa	

Figura 60. Tabella S.5-5: Soluzioni conformi per il livello di prestazione III

2.2.5.2 Progettazione della gestione della sicurezza

Affinché la progettazione della gestione della sicurezza sia realizzata nel migliore dei modi devono collaborare due diverse figure: il progettista e il responsabile dell'attività.

I compiti di queste due figure sono riportati nella tabella seguente.

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

Figura 61. Tabella S.5-7: Compiti di progettista e responsabile dell'attività in materia di progettazione della GSA

2.2.6 Controllo dell'incendio

Le sesta misura antincendio ha come scopo l'individuazione dei più idonei presidi antincendio da installare all'interno delle attività del complesso edilizio in esame, al fine di proteggerle in caso d'incendio.

2.2.6.1 Livelli di prestazione

I livelli di prestazione per il controllo dell'incendio sono definiti dalla tabella seguente.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Estinzione di un principio di incendio
III	Controllo o estinzione manuale dell'incendio
IV	Inibizione, controllo o estinzione dell'incendio con sistemi automatici estesi a porzioni di attività
V	Inibizione, controllo o estinzione dell'incendio con sistemi automatici estesi a tutta l'attività

Figura 62. Tabella S.6-1: Livelli di prestazione

La quinta regola tecnica verticale fornisce indicazioni utili all'attribuzione dei livelli di prestazione per le attività scolastiche.

Posti letto	Area	Attività				
		HA	HB	HC	HD	HE
PA, PB	TA, TB, TC, TM, TO, TT	II	III			
PC	TA, TB, TC, TM, TO, TT	III				
PD, PE	TA, TB, TC, TM, TO, TT	III		IV		V
Qualsiasi	TK	III [1]		IV		
Qualsiasi	TZ	Secondo le risultanze della valutazione del rischio				

[1] Livello di prestazione IV, qualora ubicati a quota < -10 m o di superficie lorda > 50 m²

Figura 63. Tabella V.5-3: Livelli di prestazione per controllo dell'incendio

La maggior parte delle aree dell'università è classificabile TA e per questo motivo, come da indicazioni della tabella riportata in precedenza, si ritiene consono il livello di prestazione II. Tale livello risulta coerente anche con le indicazioni della regola tecnica orizzontale

riportate nella tabella S.6-2. Secondo le risultanze della valutazione del rischio, le soluzioni adottate saranno valide anche per le aree TZ.

Anche la settima regola tecnica verticale, valida per attività ricettive, fornisce indicazioni utili per l'attribuzione dei livelli di prestazione.

Area	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
TA, TM, TO, TT	II	III			
TK	III [1]		IV		
TZ	Secondo le risultanze della valutazione del rischio				
[1] Livello di prestazione IV qualora ubicati a quota < -5 m.					

Figura 64. Tabella V.7-3: Livelli di prestazione per controllo dell'incendio

Come nel caso precedente, anche per le camere dei docenti e per lo studentato si opta per il secondo livello di prestazione.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	<p>Ambiti dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ◦ R_{vita} compresi in A1, A2, B1, B2, Cii1, Cii2, Ciii1, Ciii2; ◦ R_{beni} pari a 1, 2; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -5 m e 32 m; • carico di incendio specifico $q_f \leq 600 \text{ MJ/m}^2$; • per compartimenti con $q_f > 200 \text{ MJ/m}^2$: superficie lorda $\leq 4000 \text{ m}^2$; • per compartimenti con $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$: superficie lorda qualsiasi; • non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; • non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
III	Ambiti non ricompresi negli altri criteri di attribuzione.
IV	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. ambiti di attività con elevato affollamento, ambiti di attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico q_f , presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, ...).
V	Su specifica richiesta del committente, previsti da capitolati tecnici di progetto, richiesti dalla autorità competente per costruzioni destinate ad attività di particolare importanza, previsti da regola tecnica verticale.

Figura 65. Tabella S.6-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

In funzione dei criteri di attribuzione sopra riportati, si ritiene consono il livello di prestazione II per tutte le attività in progetto.

2.2.6.2 Estintori d'incendio

La soluzione conforme al secondo livello di prestazione prevede la predisposizione di estintori d'incendio a protezione delle intere attività nei confronti di un principio d'incendio.

I combustibili che possono prendere parte al processo di combustione sono riconducibili alle cinque classi di fuoco riportate nella tabella seguente.

Classe di fuoco	Descrizione	Estinguente
A	Fuochi di materiali solidi, usualmente di natura organica, che portano alla formazione di braci	L'acqua, l'acqua con additivi per classe A, la schiuma e la polvere sono le sostanze estinguenti più comunemente utilizzate per tali fuochi.
B	Fuochi di materiali liquidi o solidi liquefacibili	Per questo tipo di fuochi gli estinguenti più comunemente utilizzati sono costituiti da acqua con additivi per classe B, schiuma, polvere e biossido di carbonio.
C	Fuochi di gas	L'intervento principale contro tali fuochi è quello di bloccare il flusso di gas chiudendo la valvola di intercettazione o otturando la falla. A tale proposito si richiama il fatto che esiste il rischio di esplosione se un incendio di gas viene estinto prima di intercettare il flusso del gas.
D	Fuochi di metalli	Nessuno degli estinguenti normalmente utilizzati per i fuochi di classe A e B è idoneo per fuochi di sostanze metalliche che bruciano (alluminio, magnesio, potassio, sodio). In tali condizioni occorre utilizzare delle polveri speciali ed operare con personale specificamente addestrato.
F	Fuochi che interessano mezzi di cottura (oli e grassi vegetali o animali) in apparecchi di cottura	Gli estinguenti per fuochi di classe F spengono principalmente per azione chimica intervenendo sui prodotti intermedi della combustione di olii vegetali o animali. Gli estintori idonei per la classe F hanno superato positivamente la prova dielettrica. L'utilizzo di estintori a polvere e di estintori a biossido di carbonio contro fuochi di classe F è considerato pericoloso.

Figura 66. Tabella S.6-4: Classi dei fuochi secondo la norma europea EN 2 ed agenti estinguenti

Nelle attività presenti nel caso di studio, i materiali combustibili sono prevalentemente solidi e quindi di classe A. Per questo motivo il complesso edilizio sarà dotato di estintori d'incendio di classe A.

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

Figura 67. Tabella S.6-5: Criteri per l'installazione degli estintori di classe A

L'attività scolastica, in funzione del profilo di rischio R_{vita} pari ad A2, sarà servita da estintori a polvere di classe A, con la minima capacità estinguente pari a 13A e la minima carica nominale di 6 litri o 6 kg, disposti in modo tale che ce ne sia sempre almeno uno raggiungibile ad una distanza non superiore a 40 m.

All'interno delle attività espositive e ricettive, invece, caratterizzate da un profilo di rischio R_{vita} rispettivamente pari a B2 e Cii2, saranno presenti estintori a polvere 21A, di minima carica nominale pari a 6 litri o 6 kg, raggiungibili da una distanza non superiore a 30 m.

2.2.7 Rivelazione ed allarme

Al fine di rivelare tempestivamente un incendio e diffondere l'allarme in modo tale da attivare le misure protettive e gestionali previste per le attività, è utile realizzare gli impianti di rivelazione incendio e segnalazione allarme incendi (IRAI). Tali impianti vengono predisposti in funzione degli ambiti e solo in alcuni casi estesi alle intere attività.

2.2.7.1 Livelli di prestazione

I livelli di prestazione per la rivelazione e l'allarme sono definiti dalla tabella seguente.

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

Figura 68. Tabella S.7-1: Livelli di prestazione

La RTV.10, riferimento per il museo, e la RTV.12, valida per le rimanenti attività, richiedono il livello di prestazione IV. Per questo motivo è stato previsto l'impianto IRAI esteso a tutti gli ambiti delle attività, oltre che i pulsanti di segnalazione manuale dell'incendio.

Progetto di prevenzione incendi

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

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

Figura 69. Tabella S.7-3: Soluzioni conformi per rivelazione ed allarme incendio

L'impianto IRAI, volendo garantire la soluzione conforme, sarà dunque dotato delle funzioni principali A, B, D, L e C e delle secondarie E, F, G, H, M e N riportate in seguito.

A, Rivelazione automatica dell'incendio
B, Funzione di controllo e segnalazione
D, Funzione di segnalazione manuale
L, Funzione di alimentazione
C, Funzione di allarme incendio

Figura 70. Tabella S.7-5: Funzioni principali degli IRAI secondo EN 54-1 e UNI 9795

Progetto di prevenzione incendi

E, Funzione di trasmissione dell'allarme incendio
F, Funzione di ricezione dell'allarme incendio
G, Funzione di comando del sistema o attrezzatura di protezione contro l'incendio
H, Sistema o impianto automatico di protezione contro l'incendio
J, Funzione di trasmissione dei segnali di guasto
K, Funzione di ricezione dei segnali di guasto
M, Funzione di controllo e segnalazione degli allarmi vocali
N, Funzione di ingresso e uscita ausiliaria
O, Funzione di gestione ausiliaria (<i>building management</i>)

Figura 71. Tabella S.7-6: Funzioni secondarie degli IRAI secondo EN 54-1 e UNI 9795

Tutti gli edifici presenti in progetto sono stati dotati di sistema di diffusione dei messaggi di emergenza ad altoparlante (EVAC), nonostante non fosse richiesto per l'attività scolastica e per quella espositiva. Tale sistema dovrà essere di categoria 2 o 3, in funzione del livello di prestazione II della misura relativa alla gestione della sicurezza antincendio, come indicato nella tabella seguente.

Livello di prestazione della GSA	Categoria EVAC
I	1
II	2 o 3
III	4

Figura 72. Tabella S.7-7: Relazione fra categoria dell'EVAC e livello di prestazione della GSA

2.2.8 Controllo di fumi e calore

La misura antincendio relativa al controllo di fumi e calore ha come scopo la determinazione dei sistemi atti al controllo, all'evacuazione o lo smaltimento dei prodotti della combustione.

2.2.8.1 Livelli di prestazione

I livelli di prestazione per il controllo di fumi e calore sono definiti nella tabella riportata in seguito.

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

Figura 73. Tabella S.8-1: Livelli di prestazione

I criteri di attribuzione dei livelli di prestazione sono riportati nella tabella seguente.

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

Figura 74. Tabella S.8-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Si attribuisce il livello di prestazione II a tutti i compartimenti delle attività.

Lo smaltimento di fumi e calore viene garantito da una serie di aperture di smaltimento, come dettagliato in seguito, coincidenti con i serramenti posti sulle facciate degli edifici.

2.2.8.2 Smaltimento di fumi e calore

In soluzione conforme, per il livello di prestazione II, per ogni compartimento deve essere possibile effettuare lo smaltimento di fumo e calore d'emergenza.

Per le attività in progetto vengono utilizzati i serramenti definiti dal progetto architettonico, che corrispondono ad aperture di tipo SEd, ovvero provviste di elementi di chiusura non permanenti apribili anche da posizione non protetta. Questa tipologia di serramenti risulta essere la soluzione più congeniale alle attività presenti in progetto in quanto permette di utilizzare le aperture già ordinariamente disponibili per la funzionalità di tali attività, anche per agevolare le operazioni di estinzione da parte dei soccorritori.

Tipo di impiego	Descrizione
SEa	Permanentemente aperte
SEb	Dotate di sistema automatico di apertura con attivazione asservita ad IRAI
SEc	Provviste di elementi di chiusura (es. infissi, ...) ad apertura comandata da posizione protetta e segnalata
SEd	Provviste di elementi di chiusura non permanenti (es. infissi, ...) apribili anche da posizione non protetta
SEe	Provviste di elementi di chiusura permanenti (es. lastre in polimero PMMA, policarbonato, ...) per cui sia possibile l'apertura nelle effettive condizioni d'incendio (es. condizioni termiche generate da incendio naturale sufficienti a fondere efficacemente l'elemento di chiusura, ...) o la possibilità di immediata demolizione da parte delle squadre di soccorso.

Figura 75. Tabella S.8-4: Tipi di realizzazione delle aperture di smaltimento

Ogni compartimento delle attività presenta un carico d'incendio inferiore a 600 MJ/m²; pertanto, le aperture di smaltimento devono avere una superficie utile complessiva non inferiore ad un quarantesimo della superficie del compartimento stesso.

Progetto di prevenzione incendi

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

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

Figura 76. Tabella S.8-5: Tipi di dimensionamento per le aperture di smaltimento

Viene riportata in seguito una tabella che mostra come il dimensionamento delle aperture presenti nel progetto architettonico risulti ampiamente sufficiente per lo smaltimento dei fumi e del calore d'emergenza di quasi tutti i compartimenti. Laddove non siano presenti aperture o non siano sufficienti, è stata predisposta la ventilazione di tipo meccanico.

Attività	Comparto	Superficie $[\text{m}^2]$	Sup. di aerazione minima (Sup./40) $[\text{m}^2]$	Sup. di aerazione presente $[\text{m}^2]$
Università	Cau01 (PT)	2.179,3	54,5	107,0
	Cau01 (P1)	643,2	16,1	17,9
	Cau01 (P2)	622,2	15,6	76,3
	Cau02	25,0	0,6	1,9
	Cau03	18,5	0,5	Ventilazione meccanica
	Cau04	1.551,9	38,8	132,2
	Cau05	18,5	0,5	Ventilazione meccanica
	Cau06	21,0	0,5	Ventilazione meccanica
	Cau07	18,5	0,5	Ventilazione meccanica

In seguito viene riportato il proseguimento della precedente tabella.

Attività	Comparto	Superficie [m²]	Sup. di aerazione minima (Sup./40) [m²]	Sup. di aerazione presente [m²]
Museo	Cas01	1.144,5	28,6	49,2
	Cas02	34,2	0,9	1,9
	Cas03	26,8	0,7	1,8
Camere docenti	Cb01	310,5	7,8	22,1
	Cb02	336,4	8,4	22,1
Studentato	Cc01	754,3	18,9	62,0
	Cc02	15,5	0,4	1,9
	Cc03	21,2	0,5	Ventilazione meccanica
	Cc04	27,5	0,7	4,7
	Cc05 (PT)	739,0	18,5	100,5
	Cc05 (P1)	664,0	16,6	100,4
	Cc06	19,5	0,5	3,6
Cc07	683,5	17,1	100,4	

Tabella 14. Dimensionamento delle aperture di smaltimento

Inoltre, a livello grafico è stata effettuata la verifica dell'uniforme distribuzione in pianta delle aperture di smaltimento. Per tale verifica sono state valutate le aree di influenza delle aperture di smaltimento posta in facciata o in copertura, imponendo un raggio di 20 metri da ogni serramento e verificando che fossero sufficienti a coprire completamente ogni ambito delle attività.

2.2.9 Operatività antincendio

L'operatività antincendio è una misura adottata per agevolare le operazioni di soccorso da parte dei Vigili del Fuoco. Le strategie adottate per tale misura sono valide per le intere opere da costruzione.

2.2.9.1 Livelli di prestazione

I livelli di prestazione per l'operatività antincendio sono definiti nella tabella S.9-1.

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

Figura 77. Tabella S.9-1: Livelli di prestazione

I criteri di attribuzione sono riportati all'interno della tabella seguente.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	Opere da costruzione dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ◦ R_{vita} compresi in A1, A2, B1, B2; ◦ R_{beni} pari a 1; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • densità di affollamento $\leq 0,2$ persone/m²; • tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -5 m e 12 m; • carico di incendio specifico $q_f \leq 600$ MJ/m²; • per compartimenti con $q_f > 200$ MJ/m²: superficie lorda ≤ 4000 m²; • per compartimenti con $q_f \leq 200$ MJ/m²: superficie lorda qualsiasi; • non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; • non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
III	Opere da costruzione non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
IV	Opere da costruzione dove sia verificata <i>almeno una</i> delle seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> • profilo di rischio R_{beni} compreso in 3, 4; • se aperta al pubblico: affollamento complessivo > 300 occupanti; • se non aperta al pubblico: affollamento complessivo > 1000 occupanti; • numero totale di posti letto > 100 e profili di rischio R_{vita} compresi in D1, D2, Ciii1, Ciii2, Ciii3; • si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative ed affollamento complessivo > 25 occupanti; • si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio ed affollamento complessivo > 25 occupanti.

Figura 78. Tabella S.9-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

L'università, in funzione di un affollamento complessivo superiore a 300 persone, ricade nel livello di prestazione IV.

Tutte le altre attività del complesso edilizio, invece, ricadono nel livello di prestazione III.

2.2.9.2 Soluzioni progettuali

Per tutte le attività in progetto la soluzione conforme al livello di prestazione III richiede che sia garantita la possibilità di avvicinamento de mezzi di soccorso dei Vigili del Fuoco. L'avvicinamento sarà consentito lungo il perimetro del lotto di intervento ad una distanza inferiore o pari a 50 metri dagli accessi. Tali accessi da pubblica via devono possedere le seguenti caratteristiche illustrate nella tabella riportata in seguito.

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

Figura 79. Tabella S.9-5: Requisiti minimi accessi all'attività da pubblica via per mezzi di soccorso

Come già illustrato nel paragrafo relativo al controllo dell'incendio, tutte le attività ricadono nel livello di prestazione II per la sesta misura antincendio. Non essendo stata quindi progettata una rete idranti, poiché non richiesta, risulta necessario prevedere una colonna a secco per ogni attività, al fine di incrementare la protezione interna degli edifici. Inoltre, in assenza di protezione esterna propria dell'attività, è previsto almeno un idrante collegato alla rete pubblica.

I quadri di controllo e di comando del sistema IRAI sono collocati all'interno del centro di gestione delle emergenze, posto al piano terra dell'università. All'interno di tale locale sono presenti anche i dispositivi di arresto e manovra degli impianti tecnologici, come lo sgancio della corrente elettrica e dei pannelli fotovoltaici.

Come determinato precedentemente, l'università richiede un livello di prestazione superiore al resto delle attività presenti nel progetto. Per garantire la soluzione conforme del quarto livello di prestazione, è stato reso possibile l'accesso dei soccorritori a tutti i piani dell'attività tramite percorso di tipo protetto, utilizzando la scala esterna SCau04. La larghezza minima di questa scala, come già evidenziato nel capitolo relativo all'esodo, è stata incrementata di 500 mm al fine di facilitare l'accesso dei soccorritori in senso contrario all'esodo degli occupanti. Questa accortezza è necessaria al fine di permettere ai Vigili del Fuoco di muoversi agevolmente nell'edificio, raggiungendo ogni piano anche nel caso in cui l'accesso avvenga in contemporanea al flusso degli occupanti nel verso opposto.

2.2.10 Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio

Al fine di garantire la sicurezza in caso d'incendio di tutte le attività, vengono prese in considerazione, all'interno del presente paragrafo, i seguenti impianti tecnologici e di servizio:

- *produzione, trasformazione, trasporto, distribuzione e utilizzo dell'energia elettrica*: presente in ogni attività;
- *protezione contro le scariche atmosferiche*: presente in ogni attività in quanto gli edifici del complesso edilizio risultano auto-protetti;
- *sollevamento o trasporto di cose e persone*: presenti in ogni attività ad eccezione del museo e approfonditi nel capitolo relativo ai vani ascensore;
- *riscaldamento, climatizzazione, condizionamento, refrigerazione e ventilazione*: presenti in ogni attività;
- *sistemi di comunicazione bidirezionale degli spazi calmi per la comunicazione in emergenza*: presenti in ogni attività ad eccezione del museo e delle camere per i docenti, per i quali non sono previsti spazi calmi.

2.2.10.1 Livelli di prestazione

I livelli di prestazione per la sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio sono definiti dalla tabella S.10-1, riportata in seguito.

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

Figura 80. Tabella S.10-1: Livelli di prestazione

Il livello di prestazione I è attribuito a tutte le attività e richiede che gli impianti siano progettati, realizzati, eserciti e mantenuti in efficienza secondo la regola d'arte.

2.2.10.2 Obiettivi di sicurezza antincendio

Gli impianti tecnologici e di servizio devono essere realizzati e mantenuti in modo da:

- limitare la probabilità di innescare e propagare un incendio;
- rendere inefficaci le altre misure antincendio;
- consentire l'ésodo in sicurezza da parte degli occupanti;
- consentire alle squadre di soccorso di intervenire in totale sicurezza;
- essere disattivabili o gestibili da posizione segnalata, protetta e facilmente raggiungibile.

Come da indicazioni delle regole tecniche verticali di riferimento, i gas refrigeranti negli impianti di climatizzazione e condizionamento inseriti nelle aree TA e TC delle attività devono essere classificati A1 o A2L secondo ISO 817.

2.2.11 Aree a rischio specifico

In progetto sono presenti solo due aree a rischio specifico, entrambe ubicate al piano seminterrato dello studentato, ovvero la cucina e la lavanderia.

In merito al locale cucina non è stato necessario prevedere strategie antincendio differenti dagli altri locali del compartimento. L'ambito è stato dotato, come il resto dell'attività, di impianto IRAI ed EVAC. È inoltre possibile usufruire dei presidi per il controllo dell'incendio previsti all'interno del compartimento.

Il locale lavanderia, invece, è stato inserito in un compartimento distinto e dotato di un proprio estintore portatile, un pulsante per la segnalazione manuale dell'incendio, in aggiunta agli impianti IRAI ed EVAC.

2.2.12 Vani degli ascensori

Come da classificazione proposta nella terza regola tecnica verticale, i vani ascensore di tutte le attività risultano classificati SA, in quanto vani aperti.

1. I vani degli ascensori sono classificati come segue:

SA: vani aperti;

SB: vani protetti;

SC: vani a prova di fumo;

SD: vani per ascensori antincendio;

SE: vani per ascensori di soccorso.

Figura 81. Classificazione dei vani degli ascensori

In progetto sono presenti:

- un vano ascensore di tipo aperto che mette in collegamento il piano terra e il piano primo dell'università;

- un vano ascensore di tipo aperto che mette in collegamento i quattro piani dello studentato;
- un vano ascensore di tipo aperto che mette in collegamento il piano terra e il piano primo delle camere per i docenti.

I vani sono costituiti da materiale appartenente al gruppo GM0 di reazione al fuoco e il loro utilizzo sarà vietato in caso di incendio.

2.2.13 Chiusure d'ambito

Al fine di limitare la probabilità di propagazione dell'incendio, che esso sia originato all'interno o all'esterno dell'edificio, attraverso le chiusure d'ambito, la regola tecnica verticale numero 13 propone la seguente classificazione:

<p>SA: chiusure d'ambito di:</p> <ul style="list-style-type: none">i. edifici aventi le quote di tutti i piani comprese tra $-1\text{ m} < h \leq 12\text{ m}$, affollamento complessivo ≤ 300 occupanti e che non includono compartimenti con R_{vita} pari a D1, D2;ii. edifici fuori terra, ad un solo piano; <p>SB: chiusure d'ambito di edifici aventi quote di tutti i piani ad $h \leq 24\text{ m}$ e che non includono compartimenti con R_{vita} pari a D1, D2;</p> <p>SC: chiusure d'ambito di altri edifici.</p>
--

Figura 82. Classificazione delle chiusure d'ambito

Le chiusure d'ambito del museo, dello studentato e delle camere dei docenti risultano classificate SA.

Per quanto riguarda l'università, invece, a fronte di un affollamento complessivo superiore ai 300 occupanti, le chiusure d'ambito sono di classe SB. Per questo motivo devono essere realizzate con materiali appartenenti almeno al gruppo GM2, come indicato dalla tabella riportata in seguito.

Chiusura d'ambito	Gruppo di materiali
SB	GM2
SC	GM1

Figura 83. Tabella V.13-1: Gruppi di materiali per la reazione al fuoco degli elementi delle chiusure d'ambito

Sono state previste le fasce di separazione in facciata e in copertura, laddove presenti gli impianti fotovoltaici.

Le fasce di separazione previste in facciata sono:

- realizzate con materiali di classe di reazione al fuoco non inferiore a A2-s1,d0;
- costituite da elementi costruttivi aventi classe di resistenza al fuoco E 30, dall'esterno all'interno.

Tali fasce di separazione orizzontali hanno sempre uno sviluppo pari o superiore ad 1 m, in modo da limitare la propagazione verticale di un eventuale incendio.

Sulla copertura dell'università, laddove sono presenti gli impianti fotovoltaici, sono state progettate le fasce di separazione con classe di comportamento al fuoco esterno $B_{ROOF}(t2)$, $B_{ROOF}(t3)$, $B_{ROOF}(t4)$, oppure con classe di resistenza al fuoco EI 30.

2.3 Criticità

Come spiegato nel capitolo introduttivo, il focus principale della trattazione è la definizione di un sistema di esodo funzionale al caso di studio.

Il progetto di prevenzione incendi, realizzato in soluzione conforme, ha portato a definire alcuni importanti parametri come le dimensioni dei percorsi di esodo e gli impianti per la rivelazione e l'allarme in caso di incendio.

Nonostante le verifiche effettuate sulle larghezze dei percorsi siano risultate soddisfatte, non è difficile immaginare che l'esodo degli occupanti di un complesso edilizio come quello in esame, caratterizzato da elevati affollamenti concentrati prevalentemente in uno dei tre blocchi funzionali, possa comunque riscontrare delle criticità. I tempi necessari per l'esodo, soprattutto nelle uscite e nei percorsi utilizzati dagli occupanti dell'università e del museo, potrebbero allungarsi notevolmente qualora si verificassero sovraffollamenti localizzati.

Inoltre, a livello progettuale non è sempre possibile fare affidamento sulle soluzioni più ovvie e logiche poiché, in caso di emergenza, gli occupanti tendono ad assumere comportamenti del tutto inaspettati. Nella realtà, infatti, ci sono molti fattori che possono indurre in errore gli occupanti, come ad esempio la commistione e la sovrabbondanza di informazioni a cui possono essere sottoposti. Molto spesso, quando è necessario abbandonare un edificio, le persone sono inconsciamente portate a ripercorrere a ritroso i tragitti effettuati in precedenza, cercando di tornare agli ingressi principali anche quando questi potrebbero non essere i più vicini o i più sicuri. Effettuare delle simulazioni di esodo potrebbe quindi essere necessario per individuare comportamenti che, valutando il progetto dal solo punto di vista della prevenzione incendi, potrebbero essere inimmaginabili.

Per questi motivi affrontare il tema dell'esodo non solo con l'approccio semi-prescrittivo proposto dal Codice, ma anche con quello ingegneristico caratteristico dell'FSE, potrebbe essere determinante per ottimizzare un sistema di esodo già in partenza funzionante.

Capitolo 3

Modellazione del sistema di esodo

Il complesso edilizio in esame, come anticipato nei capitoli precedenti, è caratterizzato da un affollamento complessivo molto elevato, concentrato prevalentemente nell'università e nell'attività museale.

Attraverso il progetto di prevenzione incendi sono stati valutati i percorsi di esodo orizzontali e verticali, i quali risultano adeguati in termini di larghezze, lunghezze ed altezze.

Nonostante le verifiche effettuate secondo i criteri del Codice abbiano dato esito positivo, valutare il progetto con gli strumenti e i metodi di Fire Safety Engineering permette di individuare elementi che costituiscono criticità e di realizzare un sistema di esodo ottimizzato che consenta una più agevole gestione dei flussi, limitando i possibili inconvenienti che potrebbero essere generati da un incendio.

Per la modellazione del sistema di esodo è stato utilizzato il software Pathfinder. Il programma è un simulatore del tipo agent-based: vengono simulati i complessi comportamenti umani in caso di emergenza, senza trascurare le interazioni che gli occupanti possono avere tra di loro e con l'ambiente che li circonda. Attraverso l'uso del software è possibile stimare i tempi impiegati dalle persone per abbandonare gli edifici e raggiungere un luogo prestabilito, ma anche

capire dove si verificano sovraffollamenti localizzati che generano rallentamenti. In questo modo, effettuando le simulazioni di esodo, è possibile individuare eventuali criticità e le soluzioni migliori per ottimizzare il sistema di esodo.

Considerando l'elevato numero di studenti che popola le aule e gli ambienti comuni dell'università e il potenziale grande affollamento dei locali museali, ci si aspetta che possa verificarsi un sovraffollamento localizzato soprattutto nei percorsi di esodo di tali attività. In particolare, le due attività essendo distribuite sui quattro piani dello stesso edificio, condividono un percorso di esodo esterno, quello che costeggia il lato est del blocco A. Prima ancora di effettuare le simulazioni di esodo, è facile immaginare che questo percorso potrebbe essere affetto da importanti rallentamenti, con un elevato numero di persone che potrebbero dover attendere prima di poter utilizzare la scala SCe01, individuata nell'immagine seguente.



Figura 84. Percorsi di esodo con probabili criticità

Più in generale, tutti i percorsi di esodo verticali e orizzontali delle due attività verranno analizzati con attenzione poiché ci si aspetta che possano essere quelle con le criticità maggiori per l'esodo delle persone.

3.1 Modellazione del complesso edilizio

Per prima cosa, al fine di poter effettuare le simulazioni sul software Pathfinder, è stato necessario realizzare un modello tridimensionale del complesso edilizio in esame. La modellazione architettonica è stata effettuata tramite il software Autodesk Revit, sul quale sono stati modellati gli edifici dal punto di vista geometrico rispettando le forme e le dimensioni ma trascurando le informazioni relative ai materiali. Il modello appare dunque semplice da un punto di vista grafico ma assolutamente funzionale ai fini delle simulazioni di esodo. Sono state inoltre modellate anche le aree esterne che collegano i vari edifici, in modo da poter studiare attentamente l'esodo nella sua interezza.

Come indicato nel capitolo introduttivo, il complesso edilizio sorge su un territorio collinare; le aree esterne, nella realtà, sono composte da percorsi caratterizzati da diverse pendenze che permettano di raggiungere i diversi dislivelli. Al fine di semplificare la modellazione, sono state effettuate delle assunzioni relative ai dislivelli in modo da permettere di modellare le aree interne ed esterne con superfici perfettamente orizzontali.



Figura 85. Modello tridimensionale del complesso edilizio

Al termine della modellazione tridimensionale, il file è stato esportato in formato IFC. Il modello geometrico è stato successivamente importato su Pathfinder, grazie al quale è stato possibile estrarre automaticamente gli elementi geometrici necessari per le simulazioni dell'esodo: le superfici calpestabili, le ostruzioni e gli elementi di collegamento quali scale, rampe e porte. In alcuni casi, laddove il riconoscimento non fosse riuscito alla perfezione, tali elementi sono stati eliminati e rimodellati in modo da rappresentasse al meglio il caso di studio. I maggiori problemi di riconoscimento sono stati riscontrati nelle scale, rimodellate completamente, e per alcune porte che non collegavano correttamente le stanze.

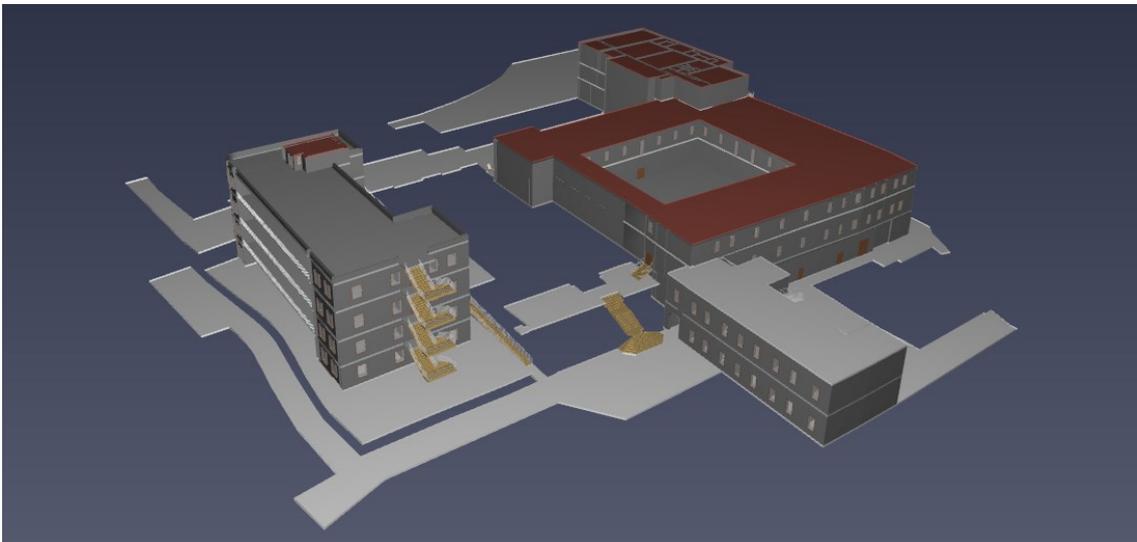


Figura 86. Modello tridimensionale importato in Pathfinder

Sono anche state effettuate delle modifiche del modello da un punto di vista grafico. Infatti, per i locali sono stati utilizzati colori differenti in modo da poter distinguere immediatamente gli ambienti delle diverse attività.

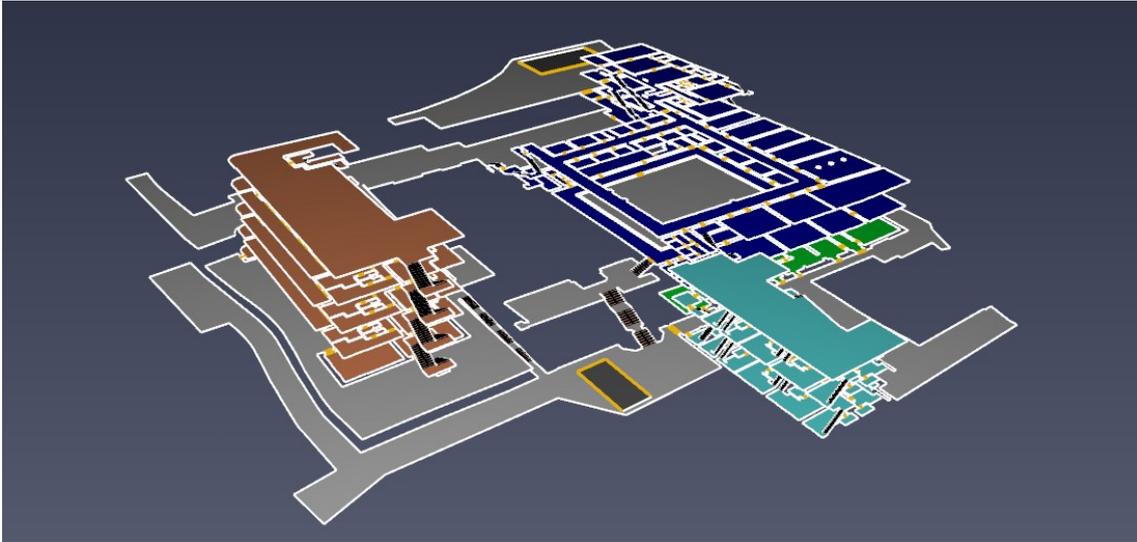


Figura 87. Modello geometrico generato in Pathfinder

Il modello è stato successivamente modificato in alcuni dettagli per rendere più realistico il sistema di esodo. Infatti, ad alcune porte e ad alcune scale sono state assegnate le uniche direzioni in cui possono essere percorse, in modo da evitare che gli occupanti utilizzino tali percorsi in modo illogico.

Ad esempio, come mostrato dalle immagini seguenti, è stato evitato che gli occupanti potessero utilizzare come via di fuga il cortile interno dell'attività scolastica, creando così un percorso obbligato nei corridoi. Lo stesso ragionamento è stato effettuato per alcuni ambienti interni, come ad esempio l'aula polifunzionale posta al piano terra dello stesso edificio. Per quanto riguarda le scale, invece, è stata imposta la direzione obbligatoria verso il basso, impedendo che gli occupanti possano percorrere tali vie di esodo verticali in senso contrario.

Nell'immagine riportata in seguito è possibile individuare alcune porte e alcune scale alle quali sono stati imposti questi vincoli. Sono individuabili graficamente attraverso le frecce che indicano quale sia l'unico verso in cui possano essere attraversate.

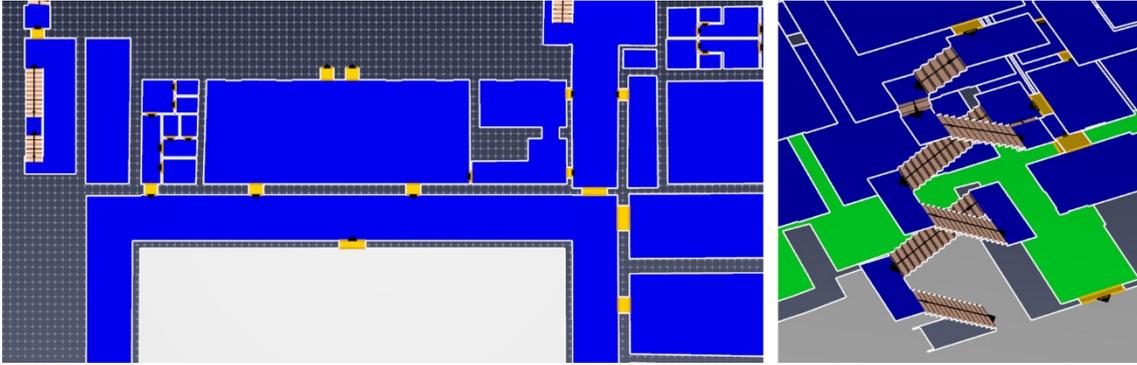


Figura 88. Porte e scale con un unico verso di attraversamento

In altri casi, invece, alcune porte sono state bloccate impedendo l'attraversamento in entrambe le direzioni. È stato il caso, ad esempio, della porta che collega il bar e la sala riunioni dell'attività museale, la quale non deve essere impiegata come uscita di sicurezza da parte di nessun occupante.

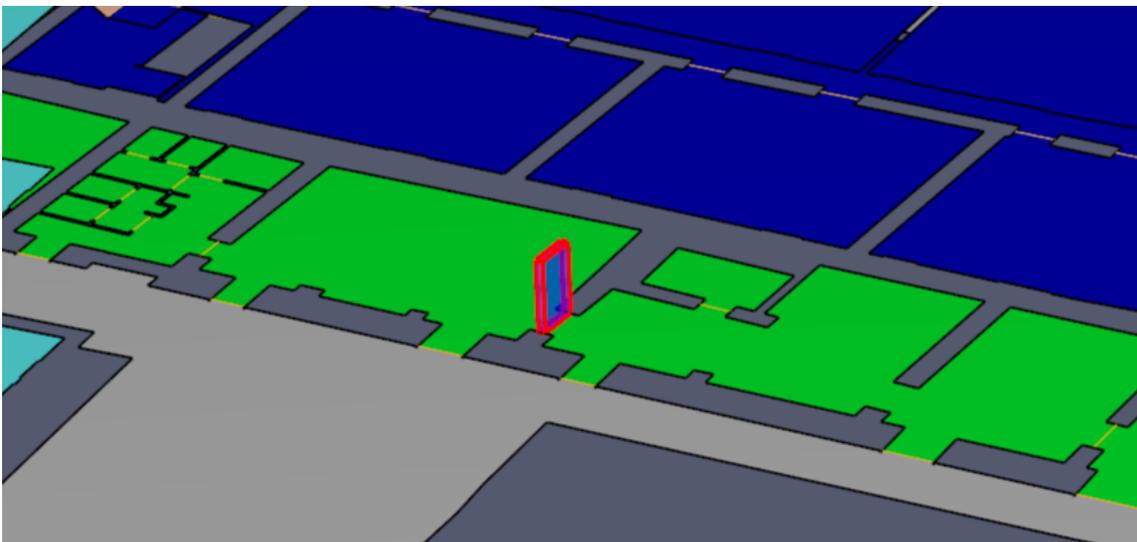


Figura 89. Porta bloccata in entrambe le direzioni

Sono stati inoltre modellati due punti di raccolta, ovvero le aree che rappresentano la posizione finale da raggiungere in caso di necessario esodo del complesso edilizio.

Il punto di raccolta A è stato posizionato di fronte all'ingresso principale dell'università, all'esterno del complesso edilizio, sulla strada.

Il punto di raccolta B, invece, si trova di fronte all'ingresso dell'edificio destinato ad ospitare i docenti, nuovamente sulla strada e quindi all'esterno del complesso edilizio.

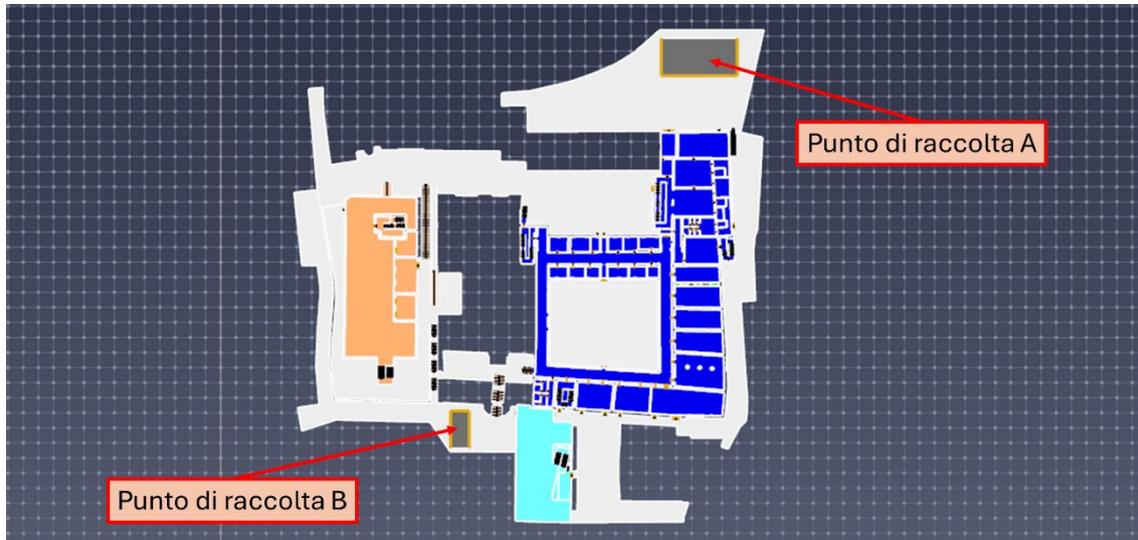


Figura 90. Punti di raccolta

L'esodo degli occupanti, in tutte le simulazioni effettuate, viene considerato concluso quando gli occupanti raggiungono uno dei due punti di raccolta indicati nell'immagine riportata in precedenza.

3.2 Scenari di progetto

Prima di procedere con la modellazione degli occupanti e dei loro profili di occupazione, un passaggio fondamentale per la modellazione di un sistema di esodo affrontato con l'approccio ingegneristico è l'individuazione e la successiva selezione degli scenari di progetto. Gli scenari che sono stati presi in considerazione nel presente lavoro di tesi corrispondono alle situazioni realisticamente più probabili e più gravose per la definizione del sistema di esodo.

Essendo l'obiettivo della trattazione l'ottimizzazione del solo sistema di esodo, sono stati individuati scenari relativi alle diverse configurazioni di occupazione degli ambienti, trascurando gli scenari d'incendio. Non sono quindi stati determinati i potenziali focolari dai quali potrebbe generarsi e propagarsi un incendio.

Sono stati individuati i seguenti sei scenari di progetto:

- *scenario 0*: è sicuramente lo scenario più sfavorevole e coincide con il progetto di prevenzione incendi; gli affollamenti sono determinati e distribuiti come da indicazione del Codice. Ci si trova dunque nella situazione più sfavorevole ma anche in quella meno plausibile, in quanto si presuppone che tutte le attività ospitino contemporaneamente il massimo delle persone consentite.
- *scenario 1*: rappresenta la situazione più frequente per il complesso edilizio. La distribuzione delle persone negli ambienti è quella che plausibilmente si verificherà durante l'orario delle lezioni dell'università. Gli studenti si trovano nelle aule e nei laboratori dell'università, le camere dei docenti sono vuote mentre nello studentato i locali maggiormente affollati saranno i locali dedicati allo studio. In questo scenario non si prevede un grande affollamento nell'attività museale.

- *scenario 2*: rappresenta la situazione che si potrebbe verificare durante le ore destinate alla pausa pranzo. In questo scenario la maggior parte degli studenti si concentra negli spazi comuni, interni ed esterni, dell'università. Anche in questo caso non si prevede un elevato affollamento nel museo, né tantomeno nelle camere degli studenti e dei docenti.
- *scenario 3*: rappresenta la configurazione standard dell'orario notturno in cui tutti i locali sono vuoti ad eccezione delle camere dei docenti e dello studentato.
- *scenario 4*: rappresenta una possibile giornata di open day all'interno dell'università. La distribuzione degli occupanti è molto simile allo scenario 2, con la differenza che è presente un affollamento aggiuntivo, rappresentato dagli studenti in visita nell'università, nelle aree comuni dell'attività scolastica.
- *scenario 5*: rappresenta lo scenario realistico probabilmente più critico, ovvero quello in cui sia presente un evento all'interno del museo in una ordinaria giornata di lezione nell'università. Gli affollamenti coincidono con lo scenario 1 ad eccezione del museo dove viene raggiunta la capienza massima prevista per l'attività.

Gli scenari di progetto considerati più rappresentativi e maggiormente utili al fine di ottimizzare il sistema di esodo sono i seguenti:

- *scenario 1*;
- *scenario 5*.

Sono stati scelti gli scenari precedentemente elencati in quanto: lo scenario 1 rappresenta la condizione più comune e rappresentativa del complesso edilizio, mentre lo scenario 5 è quello realisticamente più gravoso.

Sono invece stati scartati i rimanenti scenari in quanto considerati meno gravosi o meno significativi considerando i fini della trattazione.

Dei due scenari selezionati sono state effettuate due diverse versioni delle simulazioni:

- *scenari base 1.a e 5.a*: corrispondono alla situazione in cui gli occupanti sono privi di indicazioni specifiche in merito ai comportamenti da assumere in caso di emergenza e sono quindi possono muoversi liberamente, con i soli vincoli dettati dalla modellazione delle geometrie. Questi due scenari sono particolarmente utili per identificare i comportamenti inaspettati che le persone assumono in caso di panico e per individuare gli snodi maggiormente critici del sistema di esodo. Sono stati osservati in particolare i corridoi, le porte e le scale così da capire come si distribuiscono gli occupanti e in modo da poter individuare eventuali sovraffollamenti localizzati;
- *scenari ottimizzati 1.b e 5.b*: rappresentano l'evoluzione degli scenari precedentemente descritti. Dopo aver individuato i punti critici del sistema di esodo nel caso in cui gli occupanti vengano lasciati muoversi liberamente, sono stati modellati dei comportamenti più specifici che essi dovrebbero seguire in caso di emergenza. Questi comportamenti sono il frutto di indicazioni che gli occupanti possono ricevere visivamente attraverso la cartellonistica o con addetti incaricati di gestire i flussi di persone, oppure tramite indicazioni sonore. Tali scenari hanno l'obiettivo di limitare il più possibile i comportamenti illogici ed imprevedibili delle persone in caso di panico, evitando che gli occupanti prendano decisioni sbagliate che possano ripercuotersi su di loro o su chi li circonda.

3.3 Modellazione degli occupanti

Una volta realizzato il modello geometrico e individuati gli scenari di progetto sulla base dei quali effettuare le simulazioni di esodo, è fondamentale individuare la tipologia e le caratteristiche degli occupanti che possono essere presenti nelle attività. Sono proprio le caratteristiche in termini di dimensioni, di velocità e di abilità motorie a determinare il tempo impiegato da ciascuno individuo per completare l'esodo.

3.3.1 Profili di occupazione

Innanzitutto, è necessario suddividere la totalità dei possibili occupanti in due macrocategorie: gli occupanti con e senza disabilità.

Gli occupanti senza disabilità possono essere a loro volta suddivisi in funzione delle caratteristiche che influiscono principalmente sull'esodo quali l'età, l'attaccamento sociale e agli oggetti, l'ingombro e la velocità. Ad esempio, tra gli occupanti non affetti da disabilità è possibile trovare:

- *utenti standard*: caratterizzati da fisicità e capacità di movimento nella media;
- *anziani*: caratterizzati da velocità di movimento ridotte;
- *bambini*: caratterizzati da velocità di movimento e ingombri ridotti;
- *utenti con bambini o con passeggino*: caratterizzati da velocità di movimento ridotto e ingombri maggiori;
- *utenti con valigie o con biciclette*: caratterizzati da velocità di movimento e ingombri particolari;
- *vigili del fuoco*: caratterizzati da velocità maggiori e capacità di movimento anche nella direzione opposta al flusso.

Tra gli occupanti affetti da disabilità, invece, volendo semplificare il grande numero di possibili disabilità in tre categorie, è possibile trovare:

- *occupanti con disabilità motoria*: caratterizzati da velocità di movimento minori, ingombro maggiore nel caso di utilizzo di sedia a rotelle e necessità di assistenza per lo spostamento;
- *occupanti con disabilità sensoriali*: caratterizzati diversamente in funzione della tipologia di disabilità;
- *occupanti con disabilità cognitive*: caratterizzati difficoltà nell'elaborazione delle informazioni ricevute e necessità di assistenza per lo spostamento.

Le caratteristiche degli occupanti che maggiormente influenzano l'esodo sono:

- *la densità*: è definita come il numero di persone per unità di superficie;
- *la velocità*: espressa in metri al secondo;
- *il flusso*: consiste nella velocità impiegata dagli occupanti per superare un elemento particolare come una porta o un gradino.

La densità è un parametro che è già stato affrontato nel paragrafo 1.6.4.2 e che varia in funzione dello scenario di progetto che si vuole considerare.

La velocità di movimento è un parametro stimabile attraverso la letteratura. In particolare, all'interno della norma ISO/TR 16738 sono presenti indicazioni in funzione della tipologia di occupante. La velocità di un utente non affetto da alcun tipo di disabilità è pari a 1,19 m/s, come indicato all'interno della tabella G.2 riportata in seguito.

Modellazione del sistema di esodo

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

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

Figura 91. Tabella G.2 – Maximum unimpeded travel speeds and flow rates horizontal and stair travel

La velocità di un occupante su sedia a rotelle non assistito è, invece, pari a 0,89 m/s.

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

Figura 92. Estratto della Tabella G.4 – Travel speeds reported in the referenced literature

Definite le varie tipologie e le principali caratteristiche degli occupanti che si possono riscontrare all'interno di una generica attività, sono stati selezionati e modellati i profili che potranno essere presenti nel caso di studio.

I profili modellati sul software sono:

- *studente, docente, personale universitario, personale museo, utente esterno adulto, assistente disabili*: caratterizzati da una velocità di movimento pari a 1,19 m/s, un'altezza assunta pari a 1,83 m e una forma cilindrica ai fini della simulazione.

The screenshot shows the 'Characteristics' tab of a software interface. The settings are as follows:

- Priority Level: 0
- Speed: Constant, 1,19 m/s
- Shape: Cylinder
- Diameter: Constant, 45,58 cm
- Height: Constant, 1,8288 m
- Reduce diameter to resolve congestion
 - Reduction Factor: 0,7
- Reduce diameter to move through narrow geometry
 - Minimum Diameter: 33,0 cm

Figura 93. Caratterizzazione utenti standard

- *studente con disabilità motoria, docente con disabilità motoria, utente esterno con disabilità motoria*: caratterizzati da una velocità di movimento pari a 0,89 m/s, un'altezza assunta pari a 1 m e una forma composta da un rettangolo di dimensione 132x76 cm e un cilindro, i quali rappresentano in maniera semplificata una carrozzina con un assistente.

The screenshot shows the 'Characteristics' tab of a software interface for a user with motor disability. The settings are as follows:

- Priority Level: 0
- Speed: Constant, 0,89 m/s
- Shape: Polygon
- Vehicle Shape: Default Wheelch... [Edit...](#)
- Reduce diameter to resolve congestion
 - Reduction Factor: 0,7

To the right of the settings is a diagram showing a red rectangle representing the wheelchair and a blue circle representing the user, with a red arrow indicating movement direction.

Figura 94. Caratterizzazione utenti affetti da disabilità motoria

- *utente esterno bambino*: caratterizzato da una velocità di movimento pari a 0,98 m/s, un'altezza assunta pari a 1,2 m e una forma cilindrica ai fini della simulazione.

The screenshot shows the 'Characteristics' tab of a simulation software interface. The interface has several tabs: 'Characteristics', 'Movement', 'Restrictions', 'Door Choice', 'Animation', 'Output', and 'Advanced'. The 'Characteristics' tab is active and contains the following settings:

- Priority Level: 0
- Speed: Constant (dropdown), 0,98 m/s
- Shape: Cylinder (dropdown)
- Diameter: Constant (dropdown), 45,58 cm
- Height: Constant (dropdown), 1,2 m
- Reduce diameter to resolve congestion
 - Reduction Factor: 0,7
- Reduce diameter to move through narrow geometry
 - Minimum Diameter: 33,0 cm

Figura 95. Caratterizzazione utente bambino

3.3.2 Stima dei tempi

Una volta definiti quali saranno i profili di occupazione all'interno delle attività e le loro caratteristiche fisiche è necessario procedere alla definizione delle caratteristiche comportamentali.

Il primo parametro da prendere in considerazione è legato al concetto di tempo. Ci sono due tempi che possono essere considerati:

- *ASET - Available Safe Escape Time*: è l'intervallo di tempo che la struttura mette a disposizione degli occupanti per esodare, prima che si verifichino le condizioni incapacitanti;
- *RSET - Required Safe Escape Time*: è il tempo necessario affinché tutti gli occupanti raggiungano un luogo sicuro o sicuro temporaneo in totale sicurezza.

Viene considerato efficace un sistema in cui si verifichi la seguente condizione:

$$ASET > RSET$$

Ai fini della presente trattazione, verrà analizzato il solo intervallo di tempo RSET, definito come segue:

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

Dove:

- *t_{det}* – *tempo di rivelazione*: è l'intervallo di tempo necessario ai sistemi di rivelazione incendi o agli occupanti per rivelare la presenza dell'incendio;
- *t_a* – *tempo di allarme generale*: è l'intervallo di tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione del messaggio di allarme;
- *t_{pre}* – *tempo di pre-movimento*: coincide con l'intervallo di tempo che trascorre dal momento in cui gli occupanti ricevono il messaggio di allarme e l'inizio del movimento vero e proprio verso il luogo sicuro;
- *t_{tra}* – *tempo di movimento*: è il tempo necessario agli occupanti per raggiungere il luogo sicuro o sicuro temporaneo, a partire dal momento in cui inizia il movimento vero e proprio. Nel caso in cui, come quello in esame, si effettuino simulazioni di esodo, tale intervallo di tempo viene stimato attraverso le simulazioni effettuate sul software.

È possibile stimare i primi tre valori da letteratura.

Come da indicazioni della sezione M.3 del Codice, il tempo di allarme generale può essere assunto pari a zero nel caso in cui, come quello in esame, sia presente un impianto di rivelazione automatico dell'incendio che lanci immediatamente l'allarme nel caso in cui venga rivelato un principio d'incendio.

Il tempo di rivelazione, invece, può essere calcolato seguendo la seguente relazione:

$$t_{det} = (RHR/a)^{0,5}$$

Dove:

- RHR è la potenza termica rilasciata dall'incendio [kW];
- a è una costante che regola lo sviluppo della fase di crescita dell'incendio [kW/s²]. Viene calcolato come segue:

$$a = 1000/t_a^2$$

Dove t_a è il tempo necessario affinché la curva RHR raggiunga uno sviluppo di potenza pari a 1000 kW.

Volendo generalizzare il caso di studio e quindi non avendo a disposizione una curva d'incendio dalla quale estrapolare le informazioni citate in precedenza, è possibile ottenere dalla letteratura un valore indicativo dato dalla somma di t_{det} e t_a .

Infatti, all'interno del rapporto "Metodi per l'ingegneria della sicurezza antincendio" redatto dall'Inail, è presente una tabella che, in funzione del profilo di rischio R_{vita} , definisce la somma dei tempi di rivelazione e allarme.

R_{vita}	$t_{det} + t_a$ (s)	Descrizione
A1	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio
A2	180	Attività probabilmente provviste di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio
A3	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni
A4	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni
B1	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non 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
Ciii1	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
Ciii2	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
Ciii3	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non 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
E1	600	Attività probabilmente dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, elevata complessità geometrica
E2	360	Attività probabilmente dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, elevata complessità geometrica
E3	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, elevata complessità geometrica

Figura 96. Tempo ($t_{det} + t_a$)

Per le quattro attività presenti nel progetto, caratterizzate da profilo di rischio R_{vita} pari ad A2, B2 e Cii2, è stato determinato il seguente intervallo di tempo:

$$t_{det} + t_a = 180 \text{ s}$$

Per le attività ricettive, non essendo presente un'indicazione specifica in funzione del profilo di rischio R_{vita} Cii2, si è assunto lo stesso intervallo di tempo determinato per l'università e per il museo.

Questo intervallo di tempo, precedentemente determinato con le indicazioni trovate in letteratura, è un valore fortemente cautelativo. Esso è stato infatti definito in funzione di caratteristiche che probabilmente potrebbero essere comuni ad attività caratterizzate dallo stesso profilo di rischio R_{vita} , ma per le quali non vi è assoluta certezza.

Al fine di dimostrare che il valore utilizzato risulti essere cautelativo rispetto a casi realistici più specifici, si effettua in seguito la determinazione del tempo di rivelazione prendendo in considerazione la curva RHR di un focolare originato in un cestino dei rifiuti, una delle condizioni realisticamente più probabili per l'innesco di un incendio all'interno di un'università.

I dati di input sono stati ricavati dalla curva RHR di un cestino dei rifiuti da 4,1 kg, mostrati in seguito nell'estratto dell'SFPE Handbook of Fire Protection Engineering.

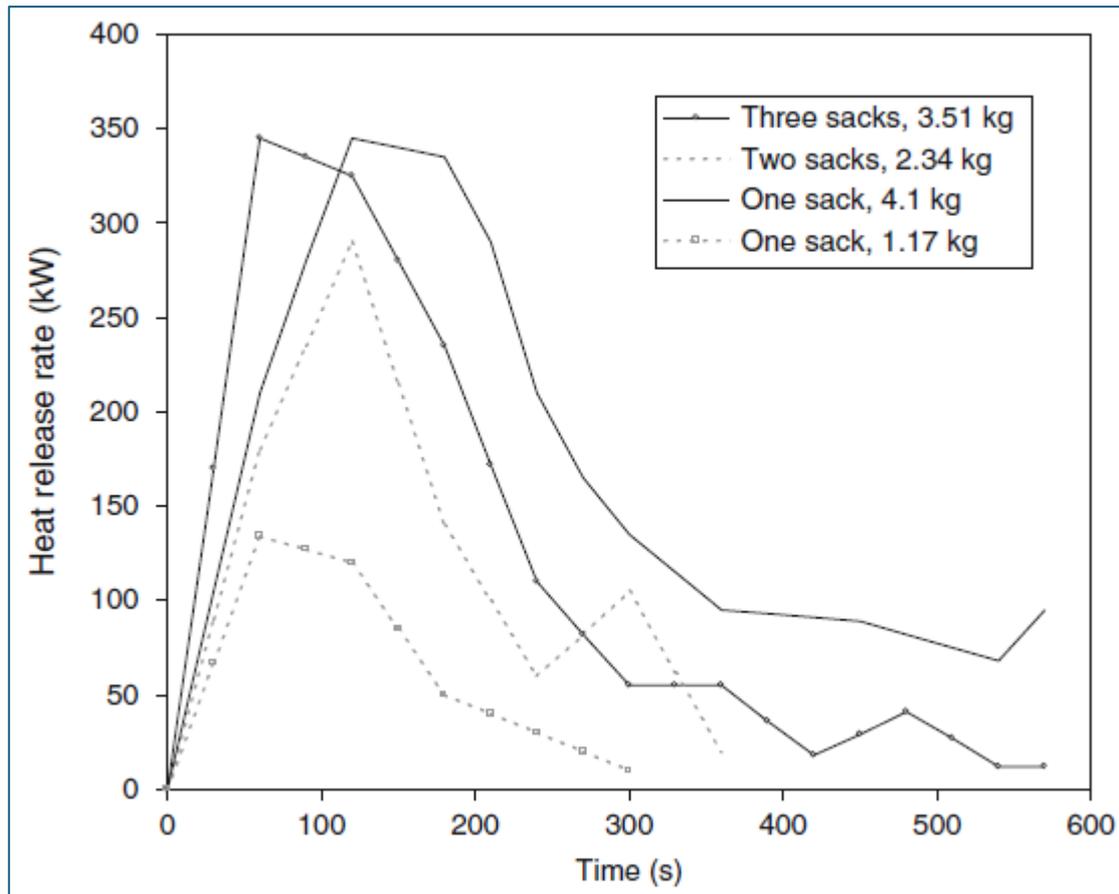


Figura 97. Estratto SFPE: Curva RHR di un cestino dei rifiuti

I dati di input del calcolo sono:

- RHR di picco pari a 135 kW;
- velocità caratteristica di crescita dell'incendio pari a 300 secondi, caratteristica degli incendi con velocità di crescita di tipo medio;
- α pari a 0,0111 kW/s².

Considerando i dati di input precedentemente riportati si ottiene un valore di tempo di rivelazione pari a:

$$t_{det} = (135/0,0111)^{0,5} = 110 \text{ s}$$

Essendo presente un impianto di rivelazione automatica esteso a tutti gli ambiti del complesso edilizio, sarebbe possibile assumere, come da indicazione della sezione M.3 del Codice:

$$t_a = 0 \text{ s}$$

Di conseguenza, la somma del tempo di rivelazione calcolato con il metodo analitico e del tempo di allarme risulta essere pari a 110 secondi. Si può dunque considerare ampiamente cautelativo il valore pari a 180 secondi presente in letteratura.

Il tempo di pre-movimento, invece, può essere valutato facendo riferimento all'allegato D della norma ISO/TR 16738, già utilizzata per stimare la velocità di movimento degli occupanti. Per la stima di tale intervallo di tempo è necessario classificare le attività secondo tre categorie, le quali si riferiscono rispettivamente a:

- *A*: il livello del sistema di allarme;
- *B*: il livello di complessità degli edifici;
- *M*: il livello di gestione della sicurezza antincendio.

La categoria *A* che fa riferimento al sistema di allarme, si suddivide in tre possibili classi:

- *A1*: corrisponde ai casi in cui sia presente la rivelazione automatica dell'incendio estesa a tutto l'edificio, la quale attiva immediatamente l'allarme generale. Coincide con il caso del museo, dello studentato e delle camere dei docenti, in quanto tutte le attività sono dotate di impianto IRAI esteso a tutte le aree. L'università viene trattata diversamente in quanto è previsto un centro di gestione delle emergenze;
- *A2*: è presente il rilevamento automatico dell'incendio esteso a tutto l'edificio che allerta un luogo presidiato per la gestione dell'emergenza. All'interno di tale luogo viene verificata la reale presenza dell'incendio e di conseguenza si attiva l'allarme generale. Coincide con il caso dell'università, nella quale, al piano terra, è presente il centro di gestione delle emergenze;
- *A3*: il sistema di rivelazione ed allarme è presente solo in prossimità del luogo dove si innesca la combustione e prevede l'attivazione manuale dell'allarme.

La categoria B, invece, fa riferimento alla complessità degli edifici:

- *B1*: si tratta del caso di edifici monopiano con geometrie molto semplici, una distribuzione regolare in pianta e vie di esodo dalle lunghezze non molto elevate;
- *B2*: è il caso di edifici a più piani ma che mantengono geometrie e distribuzione dei locali semplici;
- *B3*: rappresenta perfettamente il caso in esame. Si tratta di un complesso edilizio in cui sono presenti diverse attività con differenti tipologie di occupanti che si distribuiscono in più edifici tra loro integrati.

La terza categoria, ovvero la M, classifica le attività in funzione del livello della gestione della sicurezza antincendio:

- *M1*: gli occupanti sono normalmente formati, addestrati e hanno familiarità con le procedure di gestione della sicurezza;
- *M2*: è simile al livello M1 ma il personale addestrato risulta meno articolato e non vi è presenza continuativa del personale di vigilanza;
- *M3*: è il livello minimo della gestione della sicurezza antincendio.

Riassumendo, le attività vengono classificate come segue.

Attività	A	B	M
Università	A2	B3	M1
Museo	A1	B3	M2
Camere docenti	A1	B3	M2
Studentato	A1	B3	M2

Tabella 15. Classificazione delle attività per la determinazione di t_{pre}

In funzione della classificazione precedentemente determinata, è possibile definire i tempi di pre-movimento dalla tabella E2 del rapporto tecnico.

Modellazione del sistema di esodo

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

Figura 98. Estratto della Tabella E.2: Suggested pre-travel activity times for different design behavioural scenario categories

Sono stati considerati, per tutte le attività eccetto quella museale, i tempi indicati nella categoria A, ovvero quella riferita ad occupanti svegli e con familiarità con l'edificio.

Gli occupanti delle attività ricettive potrebbero anche essere addormentati, se si considerano gli orari notturni. Non sono stati però considerati i tempi indicati nella categoria Ci in quanto gli scenari di progetto selezionati non riguardano questa possibilità. Nel caso in cui si volesse approfondire il tema analizzando anche lo scenario 3, allora dovrebbero essere utilizzati i tempi indicati in tale categoria.

Per quanto riguarda il museo, invece, prevedendo che la maggior parte degli occupanti sia sveglio e non abbia familiarità con l'edificio, sono state utilizzate le indicazioni riportate nella categoria B.

I valori indicati nella tabella sono suddivisi in due colonne poiché viene indicato il tempo necessario per lo spostamento dei primi occupanti (1st percentile) e degli ultimi che si mettono in movimento (99th percentile).

Attività	Categoria	Scenario	t_{pre}	
			1st [sec]	99th [sec]
Università	A	A2-B3-M1	60	120
Museo	B	A1-B3-M2	120	300
Camere docenti	A	A1-B3-M2	90	210
Studentato	A	A1-B3-M2	90	210

Tabella 16. Tempi di pre-movimento

Determinato il tempo di pre-movimento, è possibile determinare la somma di tutti gli intervalli di tempo che precedono il vero e proprio movimento degli occupanti in caso di incendio.

Attività	$t_{det}+t_a$ [sec]	t_{pre}		$t_{det}+t_a+t_{pre}$	
		1st [sec]	99th [sec]	Min [sec]	Max [sec]
Università	180	60	120	240	300
Museo	180	120	300	300	480
Camere docenti	180	90	210	270	390
Studentato	180	90	210	270	390

Tabella 17. Tempi che precedono il movimento degli occupanti

È stato quindi assegnato in maniera randomica un valore di ritardo iniziale compreso tra i valori massimi e minimi indicati sopra.

3.3.3 Comportamenti

L'ultimo passaggio prima di poter effettuare le simulazioni di esodo è quello di collocare gli occupanti nello spazio e definirne i comportamenti.

Il comportamento di una persona inserita all'interno di un contesto di emergenza può essere altamente variabile ed imprevedibile. Esistono alcuni fattori che possono incidere più di altri sul modo di agire di una persona come, ad esempio, la familiarità con l'edificio, lo stato di allerta o l'attaccamento agli oggetti. Un elemento che sicuramente influenza il comportamento degli occupanti è l'interazione con le altre persone e con il contesto in cui si trova. Per questo motivo, i comportamenti con cui sono stati modellati gli occupanti all'interno del software possono variare in funzione dello scenario di progetto.

La distribuzione degli occupanti nei vari ambiti delle attività, per i due scenari di progetti analizzati, è la seguente.

Attività	Piano	Ambito	Scenario 1 [persone]	Scenario 5 [persone]
Università	0	Aule e laboratori	350	350
		Uffici	24	24
		Amministrazione	21	21
	1	Aule e laboratori	388	388
		Uffici	75	75
	2	Aule e laboratori	108	108
Museo	-1	Sala riunioni	34	34
		Bar	10	45
		Cucina	-	6
		Zona espositiva	-	161
		Spogliatoi	-	49

La tabella prosegue alla pagina successiva.

Attività	Piano	Ambito	Scenario 1 [persone]	Scenario 5 [persone]
Camere docenti	0	Camere	-	-
	1	Camere	-	-
Studentato	-1	Sale studio	48	48
		Palestra	8	8
		Aree esterne	15	15
	0	Camere	1	1
	1	Camere	2	2
	2	Camere	2	2

Tabella 18. Collocazione degli occupanti in funzione dello scenario di progetto

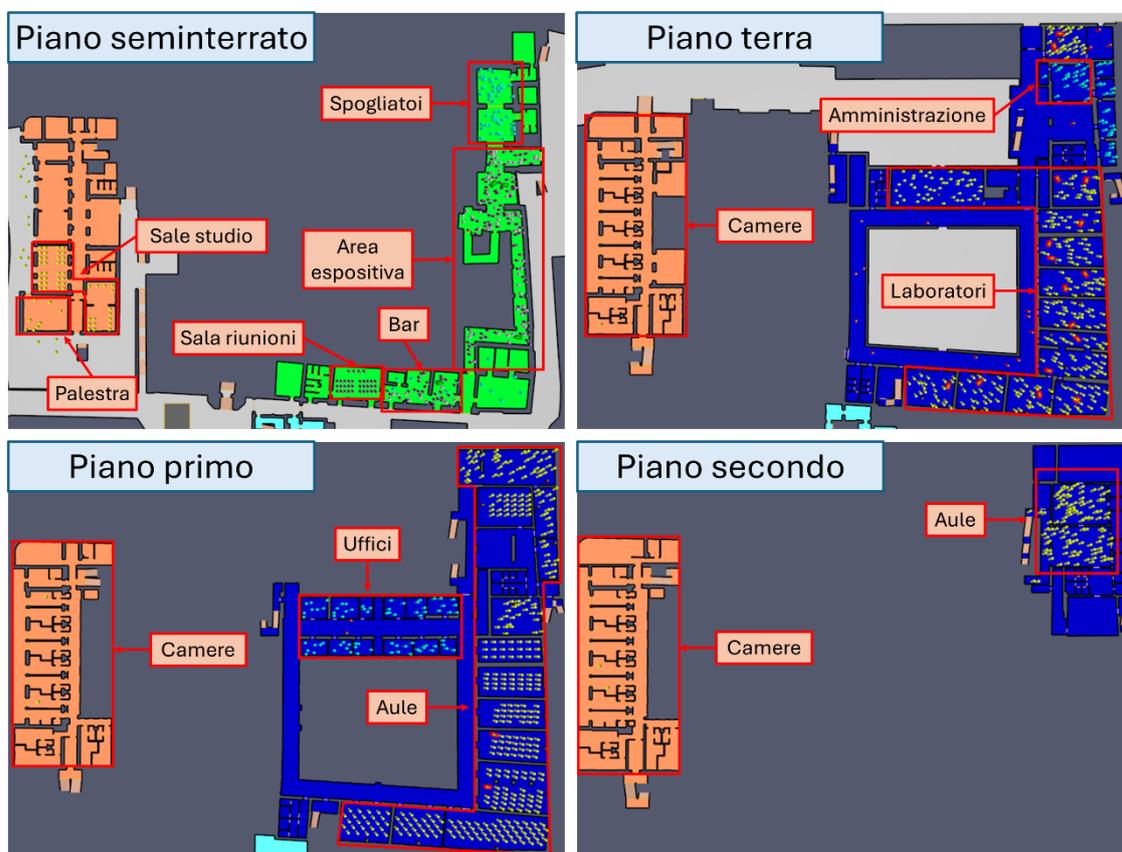


Figura 99. Posizionamento degli occupanti

Una parte di questi occupanti è stata considerata affetta da disabilità. Per determinare il numero di persone affette da disabilità presenti all'interno dell'università è stato utilizzato il rapporto ANVUR che riporta

uno studio effettuato sulle disabilità nelle università italiane. Nell'anno scolastico 2019-2020, la percentuale di studenti affetti da disabilità presenti nelle università italiane è stata pari al 2,13% del totale degli iscritti. Considerando un totale di 819 studenti presenti, il numero di studenti affetti da disabilità risulta pari a 18.

Sono presenti, sparsi tra i locali dell'università, degli addetti al soccorso di tali occupanti in caso di emergenza.

I comportamenti veri e propri degli occupanti possono essere modellati sul software attraverso la definizione di alcune indicazioni assegnate loro. Tra le possibili indicazioni che possono essere assegnate agli occupanti troviamo:

- *Go to Waypoint*: gli occupanti si recano in un punto specifico indicato nel progetto;
- *Go to Rooms*: gli occupanti si recano in una stanza indicata tra quelle modellate nel progetto;
- *Go to Elevators*: gli occupanti si recano presso un ascensore;
- *Go to Queues*: gli occupanti attendono in coda;
- *Go to Occupant Targets*: gli occupanti si muovono verso in un luogo predefinito;
- *Abandon Occ Targets*: gli occupanti abbandonano il luogo predefinito;
- *Wait*: gli occupanti aspettano un certo intervallo di tempo prima di iniziare il movimento;
- *Wait Until*: gli occupanti aspettano un intervallo di tempo specifico prima di muoversi. È possibile indicare una distribuzione randomica di intervalli di tempo tra un istante iniziale ed uno finale;
- *Change Behavior*: gli occupanti cambiano il proprio comportamento a partire da un certo istante;

- *Change Profile*: gli occupanti cambiano il proprio profilo a partire da un certo istante;
- *Assist Occupants*: alcuni occupanti sono incaricati di assistere il movimento di altre persone, ad esempio quelle affette da disabilità;
- *Wait For Assistance*: gli occupanti aspettano di essere assistiti;
- *Detach from Assistants*: gli occupanti si slegano dai propri assistenti e possono svolgere le successive indicazioni comportamentali autonomamente;
- *Resume Prior Behavior*: gli occupanti riassumono il comportamento assegnato in precedenza al comando "Change Behavior";
- *Remove Occupant*: gli occupanti vengono rimossi dal modello e il loro esodo viene considerato concluso;
- *Wait Until Simulation End*: gli occupanti aspettano fino alla fine della simulazione;
- *Go to Refuge Rooms*: gli occupanti si recano in un luogo sicuro o sicuro temporaneo;
- *Go to Exits*: gli occupanti si recano presso le uscite più vicine a loro.

Negli scenari modellati sul software, sono stati utilizzati solo alcuni di questi comportamenti, come verrà mostrato successivamente.

3.3.3.1 Scenari 1.a e 5.a

Lo scenario 1, come già anticipato in precedenza, rappresenta una giornata tipica all'interno del complesso edilizio. È lo scenario che si verificherà con maggior frequenza e quindi quello che meglio rappresenta lo scenario reale più probabile.

Lo scenario 5, invece, rappresenta la configurazione realisticamente più gravosa in termini di affollamento. È il caso, infatti, di una tipica giornata di lezione in cui l'edificio scolastico raggiunge la massima

capacità di affollamento, in contemporanea ad un evento realizzato al piano seminterrato del blocco A, nei locali museali. Questo porta entrambe le attività di questo blocco funzionale a raggiungere i massimi valori di affollamento consentiti e quindi la condizione potenzialmente più critica.

Le versioni 1.a e 5.a rappresentano le situazioni in cui gli occupanti vengono lasciati liberi di prendere le proprie decisioni in merito al percorso da intraprendere per raggiungere i punti di raccolta, in caso di emergenza. Come verrà mostrato successivamente, in alcuni casi l'assenza di precise indicazioni visive e sonore porta gli occupanti a prendere decisioni inaspettate e talvolta illogiche. Sulla base di questa versione dei due scenari è stato possibile successivamente gestire i flussi di occupanti al fine di ottimizzare il sistema di esodo.

Per modellare il comportamento degli occupanti sono stati utilizzati tre comandi:

- *wait until*: consente di indicare il ritardo iniziale con il quale inizia il movimento degli occupanti. In particolare, è stato utilizzato un ritardo iniziale distribuito tramite una curva log-normale, con i seguenti parametri così impostati:
 - *location*: 10 s. Gli occupanti partono in gruppi il cui istante di partenza viene scaglionato ogni 10 secondi;
 - *scale*: 0 s;
- *Go to Rooms*: gli occupanti si muovono verso i punti di raccolta;
- *Remove Occupants*.

I comportamenti assegnati agli occupanti in questi due scenari sono diversi in funzione della tipologia di occupante:

- *occupanti non affetti da disabilità*: questi occupanti aspettano un intervallo di tempo che può variare tra il valore minimo e quello massimo indicati all'interno della tabella 18, in funzione della tipologia di attività all'interno della quale si trovano.

Successivamente si recano in uno dei due punti di raccolta a loro scelta e, una volta raggiunto, termina l'esodo;

- *occupanti affetti da disabilità*: aspettano nel luogo in cui si trovano l'arrivo dell'assistente a loro assegnato. Successivamente, coloro il cui esodo è possibile senza la necessità di percorrere scale, vengono indirizzati verso uno dei due punti di raccolta. Chi si trova in piani superiori al piano terra, invece, viene indirizzato verso gli spazi calmi degli edifici;
- *addetti al soccorso degli occupanti affetti da disabilità*: aspettano un intervallo di tempo pari al valore minimo indicato all'interno della tabella 18, dopodiché si recano dall'occupante a cui devono porgere assistenza e lo accompagnano nel luogo prestabilito. Se tale luogo coincide con gli spazi calmi, l'indicazione successiva è quella di raggiungere uno dei due punti di raccolta.

3.3.3.2 Scenari 1.b e 5.b

Le versioni 1.b e 5.b rappresentano la situazione in cui gli occupanti vengono guidati tramite la cartellonistica, posizionata in punti strategici degli edifici e delle aree esterne, verso i punti di raccolta. In questi scenari sono state date indicazioni specifiche agli occupanti al fine di limitare le decisioni illogiche dettate dal panico, limitare i tempi di movimento e di coda, e di gestire al meglio la distribuzione delle persone tra i diversi percorsi di esodo.

Per modellare il comportamento degli occupanti sono stati utilizzati i medesimi tre comandi degli scenari base:

- *wait until*, con i seguenti parametri così impostati:
 - *location*: 10 s;
 - *scale*: 0 s;
- *Go to Rooms*;
- *Remove Occupants*.

I comportamenti assegnati agli occupanti in questi due scenari sono diversi in funzione della tipologia di occupante:

- *occupanti non affetti da disabilità*: questi occupanti aspettano un intervallo di tempo che può variare tra il valore minimo e quello massimo indicati all'interno della tabella 18, in funzione della tipologia di attività all'interno della quale si trovano. Successivamente si recano nel punto di raccolta assegnato percorrendo i percorsi indicati nelle figure 100 e 101 e, una volta raggiunto, termina l'esodo;
- *occupanti affetti da disabilità*: aspettano, nel luogo in cui si trovano, l'arrivo dell'assistente a loro assegnato. Successivamente, coloro il cui esodo è possibile senza la necessità di percorrere scale, vengono indirizzati verso uno dei due punti di raccolta. Chi si trova in piani superiori al piano terra, invece, viene indirizzato verso gli spazi calmi degli edifici;
- *addetti al soccorso degli occupanti affetti da disabilità*: aspettano un intervallo di tempo pari al valore minimo indicato all'interno della tabella 18, dopodiché si recano dall'occupante a cui devono porgere assistenza e lo accompagnano nel luogo prestabilito. Se tale luogo coincide con gli spazi calmi, l'indicazione successiva è quella di raggiungere il punto di raccolta assegnato.

In seguito viene riportato il percorso di esodo verso il quale vengono indirizzati gli occupanti nello scenario 1.b. Questa configurazione è il frutto di un processo iterativo nel quale sono state effettuate diverse simulazioni al fine di individuare i comportamenti migliori che permettessero di limitare i tempi di movimento, di coda e i sovraffollamenti localizzati.

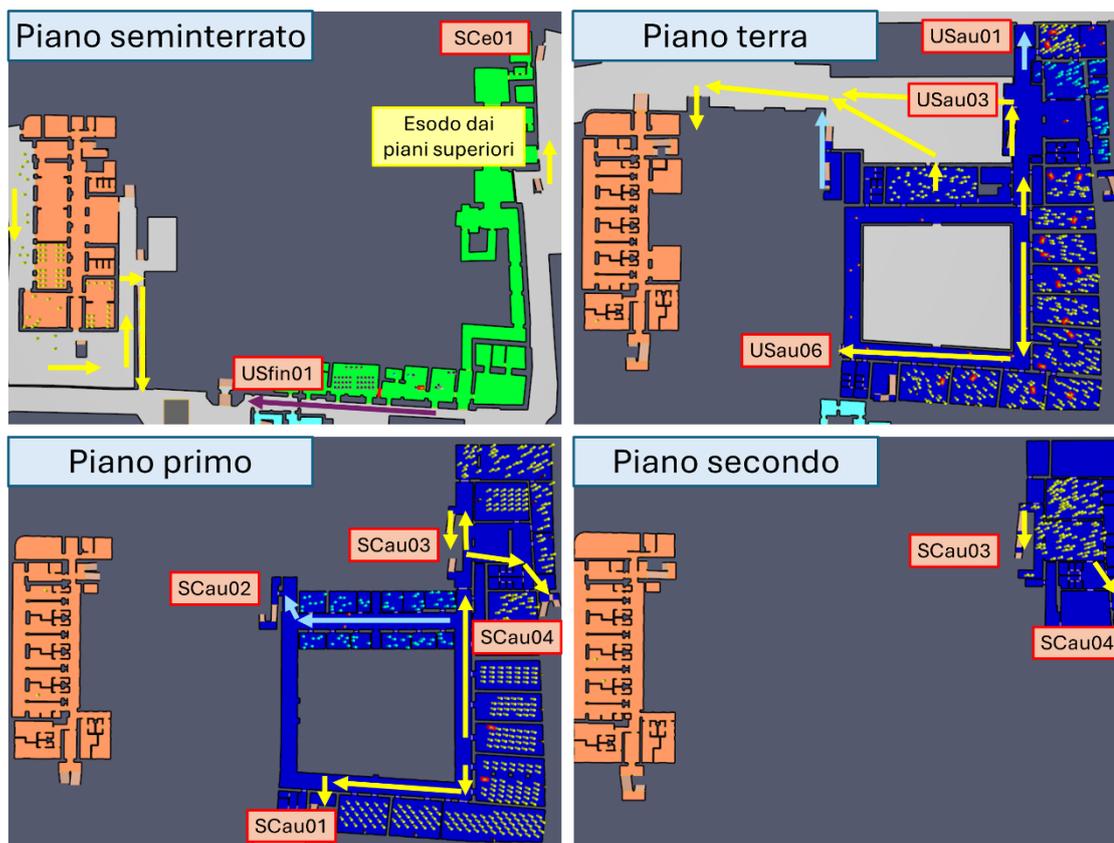


Figura 100. Percorsi di esodo. Scenario 1.b

La configurazione ottimale prevede che:

- *piano seminterrato:*
 - gli occupanti del museo si dirigano verso l'uscita finale USfin01 e quindi verso il punto di raccolta B;
- *piano terra:*
 - la maggior parte delle aule si diriga verso l'uscita USau06;
 - i locali amministrazione si dirigano verso l'uscita USau01;
- *piano primo:*
 - gli uffici utilizzino la scala SCau02 per poi dirigersi verso il punto di raccolta B;
 - circa metà delle aule utilizzi la scala SCau01 per poi dirigersi verso il punto di raccolta B;
 - l'altra metà delle aule si distribuisca tra le scale SCau03 e SCau04. Chi utilizza la SCau03 dovrà poi uscire attraverso la USau03 al piano terra e dirigersi verso il punto di raccolta

B, mentre chi utilizza la SCau04 dovrà dirigersi, una volta arrivato al piano seminterrato, verso il punto di raccolta A;

- *piano secondo:*
 - circa metà delle aule utilizzi la scala SCau03 per poi uscire dalla USau03 e dirigersi verso il punto di raccolta B;
 - l'altra metà utilizzi la SCau04 per poi dirigersi al punto di raccolta A.

Anche i comportamenti dello scenario 5.b sono il frutto di un processo iterativo nel quale sono state effettuate diverse simulazioni al fine di individuare percorsi di esodo ottimali. In seguito viene riportato il percorso di esodo verso il quale vengono indirizzati gli occupanti nello scenario 5.b. Questa configurazione risulta molto simile a quella dello scenario 1.b ma sono presenti alcune differenze dovute alla presenza degli occupanti del museo.

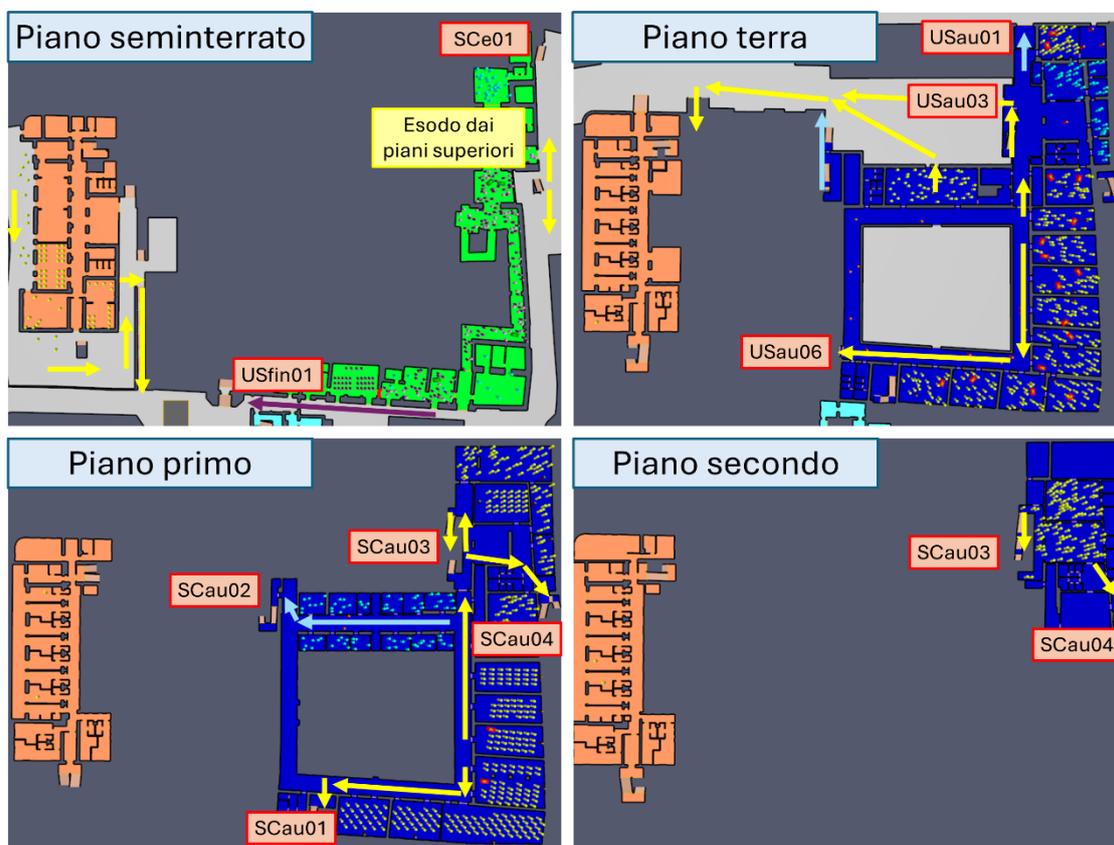


Figura 101. Percorsi di esodo. Scenario 5.b

La configurazione ottimale prevede che:

- *piano seminterrato:*
 - gli occupanti del museo si dirigano verso l'uscita finale USfin01 e quindi verso il punto di raccolta B;
- *piano terra:*
 - la maggior parte delle aule si diriga verso l'uscita USau06;
 - i locali amministrazione si dirigano verso l'uscita USau01;
- *piano primo:*
 - gli uffici utilizzino la scala SCau02 per poi dirigersi verso il punto di raccolta B;
 - circa metà delle aule utilizzi la scala SCau01 per poi dirigersi verso il punto di raccolta B;
 - l'altra metà delle aule si distribuisca tra le scale SCau03 e SCau04. Chi utilizza la SCau03 dovrà poi uscire attraverso la USau03 al piano terra e dirigersi verso il punto di raccolta B, mentre chi utilizza la SCau04 dovrà dividersi, una volta arrivati al piano seminterrato, tra i punti di raccolta A e B;
- *piano secondo:*
 - circa metà delle aule utilizzi la scala SCau03 per poi uscire dalla USau03 e dirigersi verso il punto di raccolta B;
 - l'altra metà utilizzi la SCau04 per poi dirigersi al punto di raccolta A.

La differenza principale tra i percorsi di esodo individuati per gli scenari 1 e 5 consiste nella direzione che gli occupanti devono prendere una volta raggiunto il piano seminterrato, dopo aver percorso la scala SCau04. Nello scenario 1, essendo presenti poche persone nel museo, i tempi di movimento sono minori nel caso in cui tutti gli occupanti che impiegano la via di esodo verticale si dirigano verso la scala esterna SCe01 e quindi il punto di raccolta A. Nel caso dello scenario 5, invece, considerando l'elevato affollamento dell'attività museale, conviene

distribuire gli occupanti tra il percorso che porta alla scala S_{Ce01} e l'uscita finale US_{fin01}.

Inoltre, è stato notato che i tempi di movimento possano essere ulteriormente ridotti nel caso in cui gli occupanti di alcune aule del primo piano si dirigano verso la scala S_{Cau02}. Questo però è difficilmente realizzabile utilizzando la cartellonistica a parete o a soffitto; pertanto, si è optato per la modellazione dei comportamenti descritti in precedenza, i quali risultano più facilmente realizzabili producendo comunque una notevole ottimizzazione del sistema di esodo.

Capitolo 4

Analisi dei risultati ottenuti

Le simulazioni di esodo sono state effettuate al fine di individuare le criticità che possono sorgere all'interno del complesso edilizio in caso di emergenza. Individuare gli aspetti meno efficienti del sistema di esodo permette, infatti, di apportare delle modifiche al progetto della sicurezza antincendio, proponendo soluzioni che non sarebbe possibile individuare attraverso il solo progetto di prevenzione incendi.

In primo luogo, è necessario analizzare i risultati ottenuti dai modelli di esodo degli scenari base 1.a e 5.a. Questi scenari rispecchiano la situazione che si otterrebbe con le sole indicazioni indicate nel progetto di prevenzione incendi. I risultati ottenuti sono stati successivamente utilizzati come base per ottimizzare il sistema di esodo, il quale è stato realizzato attraverso un processo iterativo in cui le simulazioni degli scenari 1.b e 5.b sono finalizzate a individuare le misure più idonee per limitare i tempi di movimento e di coda degli occupanti, ma anche per gestire i flussi di persone in un modo maggiormente efficiente.

Infine, i risultati degli scenari base e di quelli ottimizzati sono stati messi a confronto per capire se gli obiettivi del lavoro di tesi, in termini di miglioramento del sistema di esodo, fossero stati raggiunti.

3.4 Sistema di esodo base

Le simulazioni di esodo effettuate sugli scenari base, ovvero quelli in cui è stata conferita totale libertà di movimento agli occupanti, sono utili per evidenziare le criticità del sistema di esodo progettato in soluzione conforme attraverso l'approccio semi-prescrittivo.

3.4.1 Scenario 1.a

Lo scenario 1.a, come già spiegato in precedenza, rispecchia la situazione che si verificherà con maggiore frequenza durante i periodi di apertura dell'università. Rappresenta, infatti, una tipica giornata di lezioni del periodo scolastico. L'attività scolastica raggiunge in questo scenario il massimo affollamento consentito, con gli studenti e i docenti distribuiti all'interno delle aule e dei laboratori. Allo stesso tempo, però, il museo risulta poco affollato ad eccezione dell'area ristoro e della sala conferenze. In questa configurazione lo studentato è occupato nel piano seminterrato all'intero dei locali adibiti allo studio, mentre le camere dei docenti rimangono vuote.

Questo scenario di progetto è stato modellato lasciando totale libertà agli occupanti di percorrere il percorso di esodo desiderato, con unico obiettivo quello di raggiungere uno dei due punti di raccolta indicati nel progetto. La simulazione inizia con gli occupanti che rimangono in attesa di ricevere un segnale di allarme per poi iniziare la propria evacuazione.

La simulazione di esodo dello scenario di progetto 1.a, nel quale a tutti gli occupanti viene lasciata totale libertà di movimento, ha prodotto come risultato un tempo RSET pari a 574,5 s.

Come spiegato nel paragrafo 3.3.2, una parte di questo intervallo di tempo è dato dalla somma dei tempi di rivelazione, allarme e pre-

movimento. Il tempo di effettivo movimento degli occupanti, determinato dall'istante in cui il primo occupante del complesso edilizio comincia a muoversi fino al momento in cui l'ultimo raggiunge uno dei due punti di raccolta, è di 334,5 s. L'intervallo di tempo è stato determinato sottraendo al valore di RSET la somma dei tempi che precedono il movimento dei primi occupanti che iniziano a muoversi. Questo intervallo di tempo è importante poiché risulta essere l'unico su cui un progettista può intervenire, determinando delle misure che consentano un più agevole esodo degli occupanti verso i luoghi sicuri. Osservando i risultati della simulazione di esodo dello scenario 1.a, si possono notare diversi comportamenti particolari.

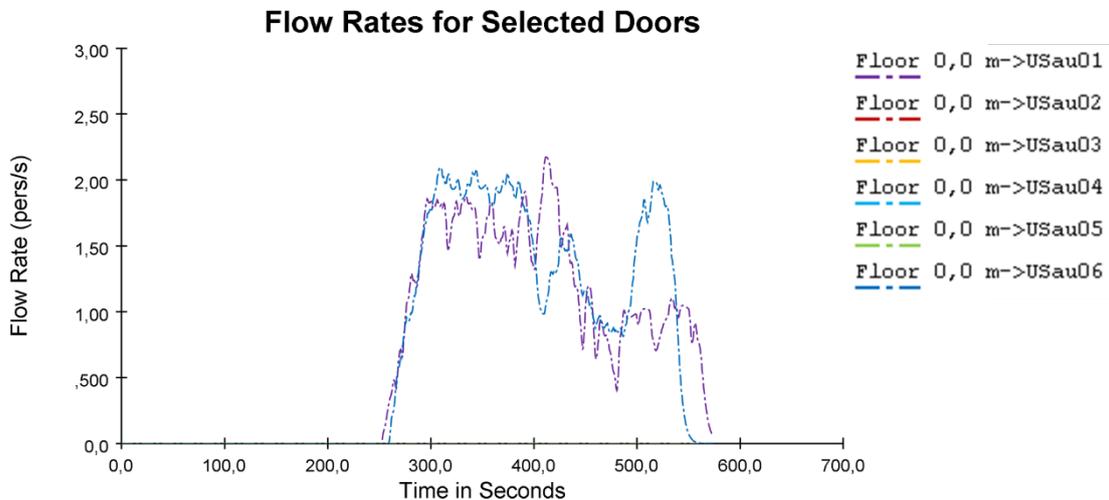


Figura 102. Distribuzione degli occupanti dell'università tra le uscite di sicurezza del piano terra. Scenario 1.a

Gli occupanti del piano terra dell'università si distribuiscono più o meno equamente tra le uscite USau01, posta nella zona nord-ovest dell'edificio, e USau06, posta a sud. La prima uscita coincide con l'ingresso principale dell'attività scolastica e porta al raggiungimento del punto di raccolta A. Essendo l'ingresso principale dell'università, risulta ragionevole aspettarsi che gli occupanti cerchino di scappare ripercorrendo a ritroso il percorso impiegato per raggiungere le aule. La seconda uscita, invece, porta al punto di raccolta B attraversando il cortile antistante la chiesa.

Risulta particolare la scelta degli occupanti di non prendere in considerazione il raggiungimento del punto di raccolta B attraversando l'uscita USau03 e il cortile esterno che collega l'università e lo studentato. Questo comportamento è sicuramente dovuto al tentativo da parte delle persone di percorrere il tragitto minore per raggiungere il punto di raccolta ed è una delle cause di sovraffollamento localizzato nei pressi delle uscite di piano utilizzate.

Anche gli studenti che si trovano nell'aula polifunzionale assumono un comportamento particolare: essi preferiscono percorrere il corridoio che porta all'uscita USas06 piuttosto che esodare direttamente verso l'esterno. Nuovamente, questo comportamento può essere giustificato dal tentativo degli occupanti di ripercorrere a ritroso il tragitto già percorso in passato.

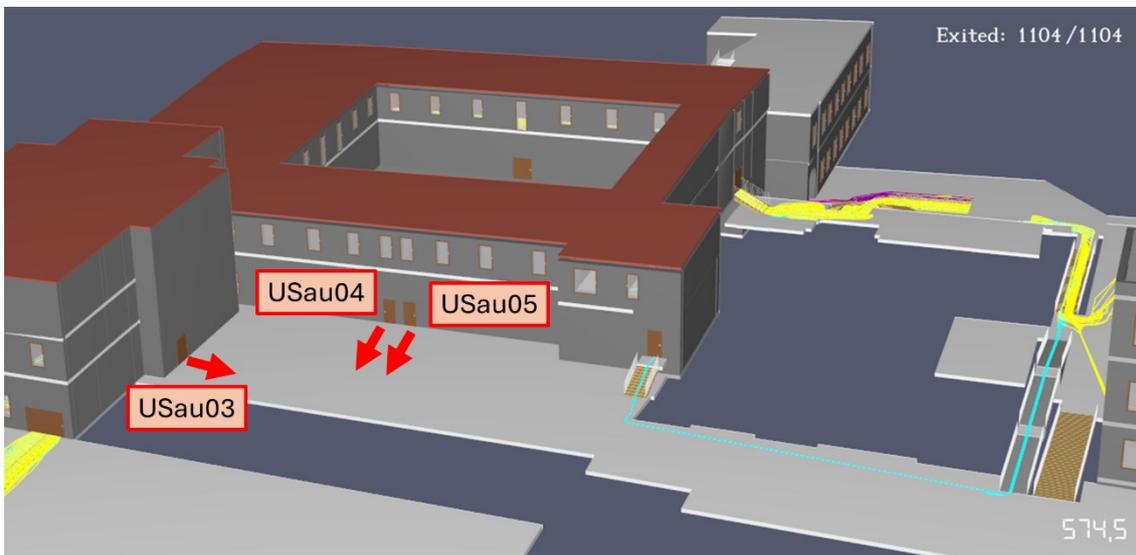


Figura 103. Uscite di piano non utilizzate nello scenario 1.a

L'immagine precedente, nella quale si mettono in evidenza i percorsi effettuati da una parte degli occupanti, dimostra come le USau03, USau04 e USau05 non siano state prese in considerazione per l'esodo della struttura universitaria.

Come si evince anche dall'immagine seguente, la quale rappresenta la densità di persone presenti al piano terra al secondo 330, le scelte degli

occupanti portano ad avere un sovraffollamento localizzato in prossimità delle due uscite di piano utilizzate per abbandonare l'edificio.

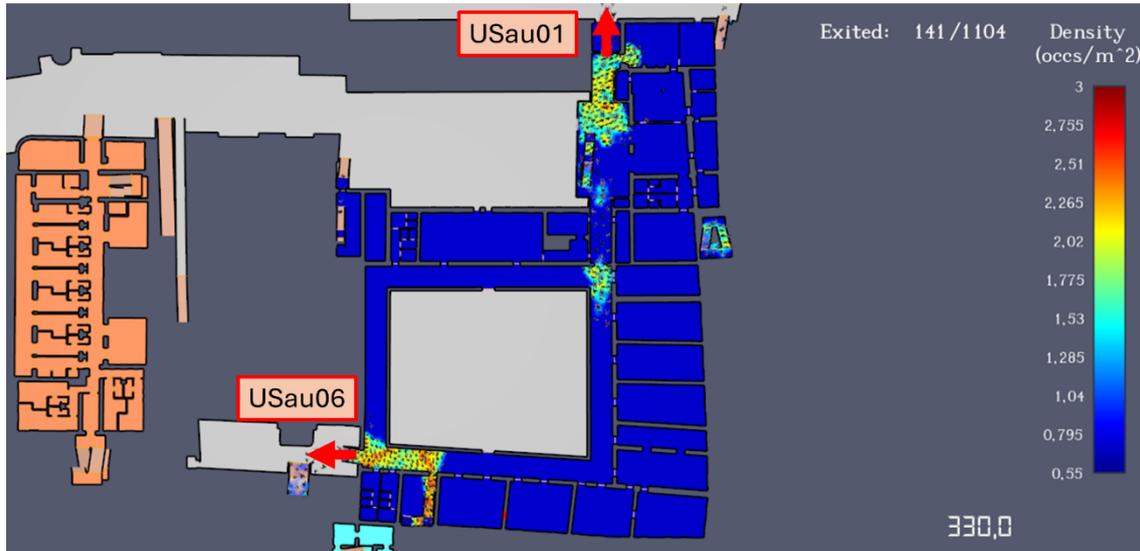


Figura 104. Sovraffollamenti localizzati al piano terra. Scenario 1.a, istante 330,0 s

Al piano primo del medesimo edificio, gli occupanti delle aule e degli uffici si suddividono tra tre delle quattro scale a disposizione, lasciando però pressoché inutilizzata la scala SCau02. Il motivo di questa scelta è da ricondurre al percorso che gli occupanti devono effettuare per raggiungere uno dei due punti di raccolta, sicuramente minore utilizzando le altre tre scale disponibili. Questo, però, porta alla creazione di sovraffollamenti localizzati nei pressi delle scale SCau01, SCau03 e Scau04, come possibile evincere dalla figura riportata in seguito.

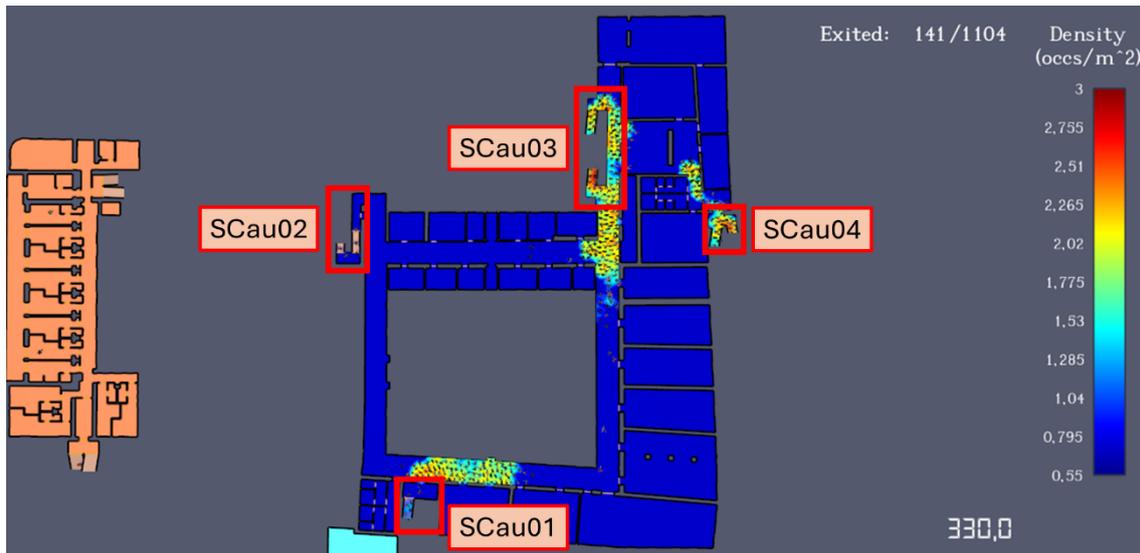


Figura 105. Sovraffollamenti localizzati al piano primo. Scenario 1.a, istante 330,0 s

Gli occupanti del piano secondo, invece, si suddividono tra le due scale disponibili al piano, la SCau03 e la SCau04, andandosi a sommare ai flussi di occupanti che ai piani inferiori utilizzano tali vie di esodo verticali.

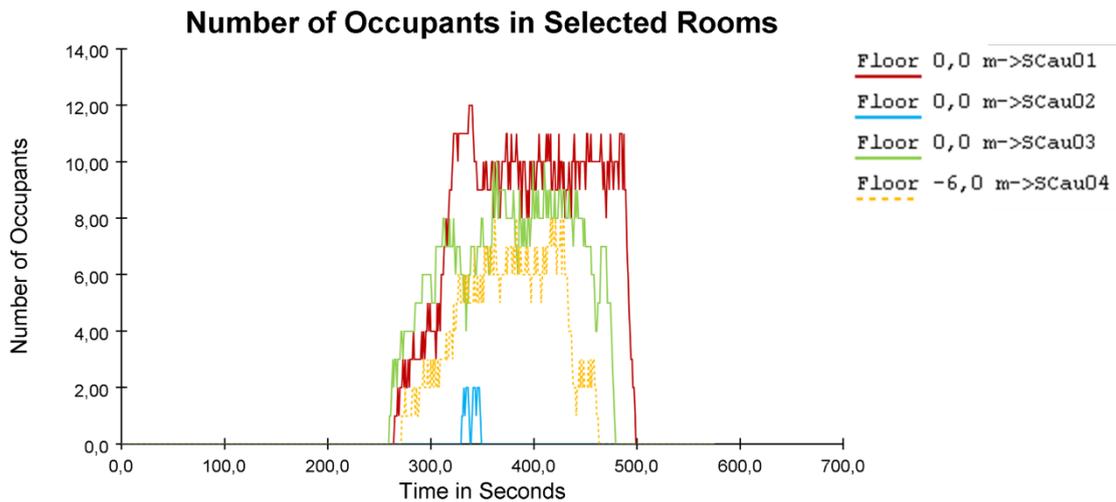


Figura 106. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo verticali dell'università. Scenario 1.a

Il grafico precedentemente riportato conferma l'inefficienza della distribuzione degli occupanti dell'università tra le quattro vie di esodo verticali a disposizione. Come già notato graficamente, vi è un utilizzo minimo della scala SCau02 e una situazione opposta per la scala SCau01.

Gli occupanti presenti nel museo e nello studentato in questo scenario di progetto si dirigono verso il punto di raccolta B senza creare sovraffollamenti localizzati. Questo è dovuto ai valori di affollamento non molto elevati. Il comportamento, in questo caso, viene ritenuto congruo con la situazione in esame ed è quindi stato riproposto anche in fase di progettazione dello scenario 1.b.

Di seguito viene riportato il grafico che mette in risalto la distribuzione non uniforme degli occupanti tra i percorsi di esodo finali che conducono ai punti di raccolta. Come si può notare, la scala SCe03 è poco utilizzata poiché presa in considerazione solamente dagli occupanti dello studentato, mentre la scala SCe01 risulta essere la più utilizzata. Lo scarso utilizzo del percorso di esodo orizzontale corrispondente con l'uscita finale USfin01, invece, è dovuto alla presenza di pochi occupanti nel museo.

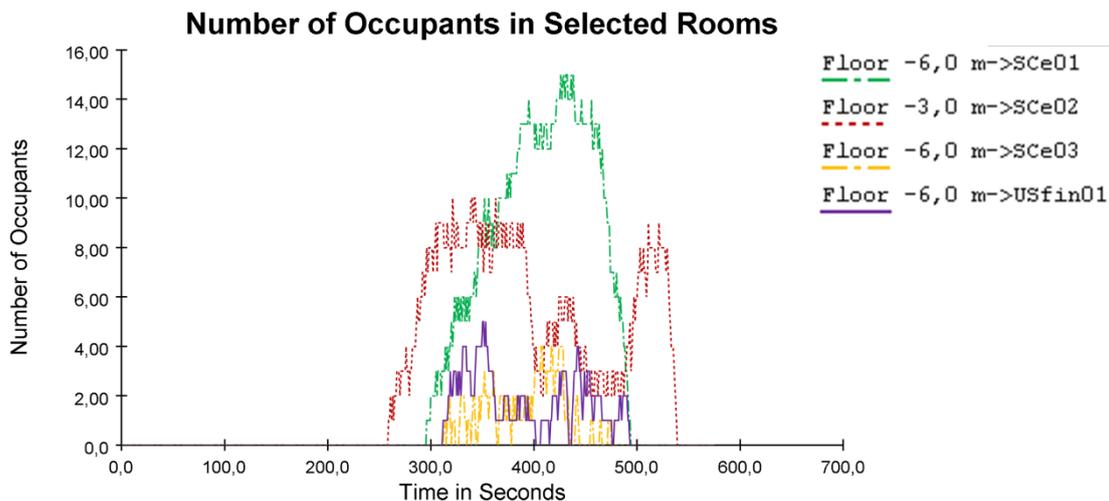


Figura 107. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo finali. Scenario 1.a

L'analisi dei comportamenti delle persone, della distribuzione dei flussi e quindi l'individuazione dei sovraffollamenti localizzati delle vie di esodo orizzontali e verticali ha offerto spunti importanti per la progettazione del sistema di esodo ottimizzato, corrispondente allo scenario 1.b. Come descritto nel paragrafo 3.3.3.2, infatti, a partire dalle criticità individuate è stato possibile ottimizzare la gestione dei

flussi indirizzando gli occupanti in modo tale che si distribuissero in maniera più equa tra le uscite di sicurezza e tra le scale a disposizione.

Sono stati inoltre determinati gli intervalli di tempo che gli occupanti del complesso edilizio impiegano rimanendo in coda laddove si verificano sovraffollamenti localizzati. La tabella seguente riassume i tempi di coda valutati nei pressi delle uscite e delle scale più significative.

Attività	Piano	Uscita/Scala	Coda [s]
Università	0	USau01	273
		USau06	250
	1	SCau01	182
		SCau02	0
		SCau03	205
		SCau04	148
	2	SCau03	68
		SCau04	45
Museo	-1	USas01	0
		USas02	0
Aree esterne	-1	USfin01	0
	-1	SCe01	154
	0	SCe02	250
	-1	SCe03	23

Tabella 19. Tempi di coda. Scenario 1.a

L'analisi di questi tempi verrà confrontata con quella dello scenario ottimizzato 1.b per evidenziare la possibilità di ridurre, almeno in parte, i sovraffollamenti localizzati.

3.4.2 Scenario 5.a

Lo scenario 5.a rappresenta la condizione realisticamente più gravosa che può verificarsi all'interno del complesso edilizio in esame. La distribuzione degli occupanti è rappresentativa di una tipica giornata di lezione nel periodo scolastico, contemporaneamente ad una mostra organizzata all'interno dei locali museali al piano seminterrato del blocco A. In questo scenario di progetto, tutti i locali dell'università e del museo raggiungono i valori di massimo affollamento consentito; lo studentato è occupato nel piano seminterrato all'intero dei locali adibiti allo studio, mentre le camere dei docenti rimangono vuote.

Proprio come già descritto per lo scenario 1.a, anche questo scenario di progetto è stato modellato in modo tale che gli occupanti potessero scegliere autonomamente quali vie di esodo orizzontali e verticali intraprendere per raggiungere i punti di raccolta.

La simulazione di esodo dello scenario di progetto 5.a, nel quale a tutti gli occupanti viene lasciata totale libertà di movimento, ha prodotto come risultato un tempo RSET pari a 643,5 s.

Il tempo di effettivo movimento degli occupanti, determinato dall'istante in cui il primo occupante del complesso edilizio comincia a muoversi fino al momento in cui l'ultimo raggiunge uno dei due punti di raccolta, è di 403,5 s. Questo intervallo di tempo è stato determinato sottraendo all'RSET la somma dei tempi che precedono il movimento dei primi occupanti che iniziano l'esodo.

Essendo identica la distribuzione degli occupanti all'interno dei locali dell'università e avendo lasciato loro completa libertà di movimento, l'utilizzo delle vie di esodo è il medesimo dello scenario 1.a, riportato nel paragrafo precedente. Come in precedenza, l'uscita di sicurezza USau03 risulta inutilizzata, mentre si riscontrano dei sovraffollamenti localizzati nelle due uscite principali del piano terra, USau01 e USau06.

Considerando le vie di esodo verticali, vi è un utilizzo minimo della scala SCau02 e si vengono a creare dei sovraffollamenti localizzati nei pressi delle scale SCau01, SCau03 e Scau04.

Anche per quanto riguarda lo studentato la situazione è la medesima dello scenario precedente, con gli studenti che utilizzano la scala esterna SCe03 per raggiungere il punto di raccolta B.

La vera differenza tra i due scenari analizzati riguarda gli occupanti dell'attività museale. In questo caso il museo raggiunge il massimo affollamento ipotizzabile e gli occupanti utilizzano tutte le uscite di piano disponibili. In particolare, viene largamente utilizzata l'uscita di sicurezza USas01, in quanto rappresenta uno dei due ingressi principali del museo. Utilizzando tale uscita, però, gli occupanti del museo vanno a sommarsi con gli studenti che abbandonano l'università utilizzando la scala SCau04, creando un sovraffollamento localizzato in prossimità della scala esterna SCe01 che porta al punto di raccolta A. Risulta invece poco utilizzata l'uscita finale USfin01.



Figura 108. Sovraffollamenti localizzati al piano seminterrato. Scenario 5.a, istante 450,0 s

In questo scenario, inoltre, alcuni occupanti del museo assumono un comportamento molto particolare: una volta usciti attraverso la USas01, alcune persone si dirigono verso il punto di raccolta B, salvo

poi invertire il proprio percorso e dirigersi verso la scala SCe01 e quindi verso il punto di raccolta A. Questo comportamento rappresenta nel migliore dei modi i comportamenti illogici che possono essere assunti dalle persone in caso di panico. Questo elemento mette in risalto l'importanza di un sistema di esodo ben definito, con indicazioni chiare fornite agli occupanti in modo che possano evitare di commettere scelte sbagliate.

Osservando la distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo finali che conducono ai punti di raccolta, riportata nell'immagine seguente, si nota nuovamente come il percorso che porta al punto di raccolta B attraversando il cortile dell'università e quindi la scala SCe03 è quasi totalmente ignorato. Gli occupanti che invece utilizzano le scale SCe01 e SCe02 sono distribuiti in maniera simile al caso dello scenario 1.a, con un utilizzo maggiorato della prima scala giustificato dalla convergenza dei flussi dell'università e del museo. Una migliore distribuzione potrebbe avvenire tra gli occupanti che impiegano la scala SCe01, nella quale si verificano episodi di sovraffollamento localizzato, e l'uscita finale USfin01, scarsamente utilizzata negli scenari base.

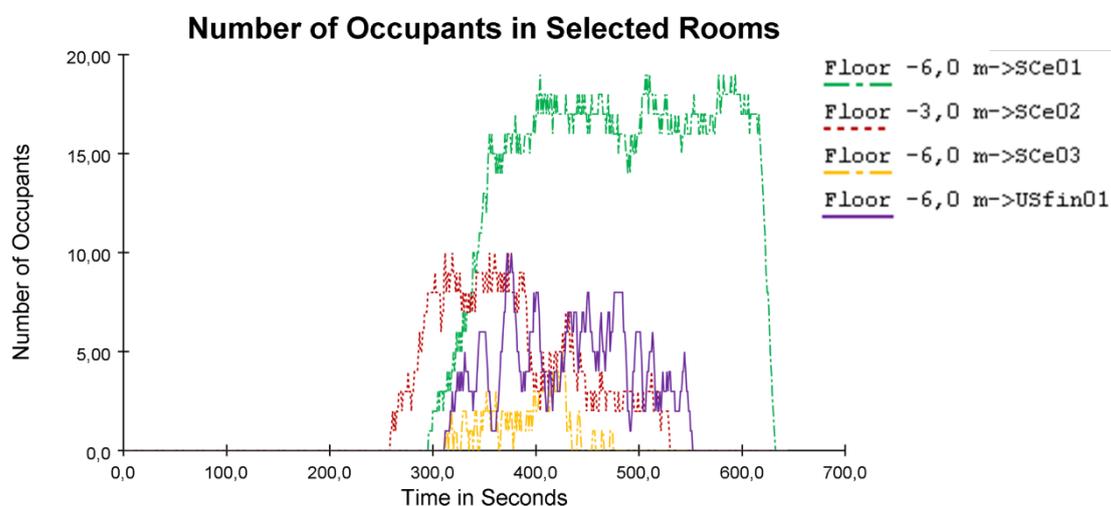


Figura 109. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo finali. Scenario 5.a

I risultati delle simulazioni degli scenari 1.b e 5.b, riportati nei paragrafi successivi, sono il frutto di un processo iterativo di ottimizzazione del

sistema di esodo che prende spunto dalle criticità evidenziate negli scenari 1.a e 5.a. In funzione di quanto osservato in questo paragrafo e nel precedente, sono stati infatti modellati i comportamenti che gli occupanti dovrebbero seguire per limitare il tempo RSET e per utilizzare al meglio le vie di esodo orizzontali e verticali, attraverso una più idonea distribuzione dei flussi di occupanti.

Anche in questo scenario di progetto sono stati determinati gli intervalli di tempo che gli occupanti del complesso edilizio impiegano rimanendo in coda laddove si verificano sovraffollamenti localizzati. La tabella seguente riassume i tempi di coda valutati nei pressi delle uscite e delle scale più significative.

Attività	Piano	Uscita/Scala	Coda [s]
Università	0	USau01	290
		USau06	242
Università	1	SCau01	190
		SCau02	0
		SCau03	201
		SCau04	150
	2	SCau03	66
		SCau04	46
Museo	-1	USas01	191
		USas02	164
Aree esterne	-1	USfin01	36
	-1	SCe01	283
	0	SCe02	242
	-1	SCe03	23

Tabella 20. Tempi di coda. Scenario 5.a

L'analisi di questi tempi verrà confrontata con quella dello scenario ottimizzato 5.b per evidenziare la possibilità di ottimizzare, almeno in parte, i sovraffollamenti localizzati.

3.5 Sistema di esodo ottimizzato

In funzione delle criticità descritte nei paragrafi precedenti, evidenziate grazie alle simulazioni di esodo effettuate sugli scenari base, è stato possibile studiare più attentamente il sistema di esodo cercando di capire se fosse possibile ottimizzarlo sotto il punto di vista dei tempi e della gestione dei flussi di occupanti.

I risultati che verranno mostrati in seguito sono il frutto di un processo iterativo che ha portato a definire i comportamenti più opportuni che gli occupanti dovrebbero avere in caso di emergenza, come descritto nel paragrafo 3.3.3.

3.5.1 Scenario 1.b

Lo scenario 1.b rappresenta il sistema di esodo ottimizzato relativo alla configurazione di occupazione 1.a.

In questo scenario gli occupanti assumono comportamenti ben delineati, percorrendo le vie di esodo verticali e orizzontali indicate dalla cartellonistica posizionata in punti strategici del complesso edilizio. Così facendo, è possibile indirizzare i flussi di persone in modo ottimale.

La simulazione di esodo dello scenario di progetto 1.b ha prodotto come risultato un tempo RSET pari a 531,3 s.

Il tempo di effettivo movimento degli occupanti, determinato dall'istante in cui il primo occupante del complesso edilizio comincia a muoversi fino al momento in cui l'ultimo raggiunge il punto di raccolta prestabilito, è di 291,3 s. Il valore di RSET determinato è inferiore a quello ottenuto dalla simulazione dell'esodo nel caso dello scenario base 1.a, come verrà mostrato nel paragrafo 3.6.

Come si può notare dall'immagine successiva, è stato imposto l'utilizzo delle uscite di piano USau03, USau04 e USau05, in modo tale da limitare i sovraffollamenti localizzati presso le uscite USau01 e USau06.

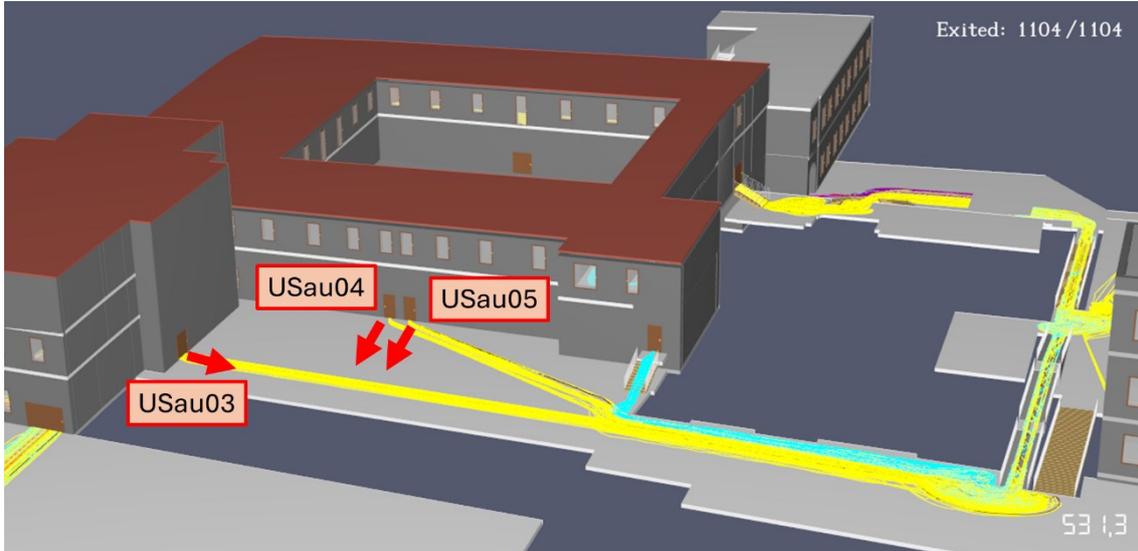


Figura 110. Uscite di piano non utilizzate nello scenario 1.b

La figura seguente riporta la distribuzione degli occupanti dell'università tra le uscite di sicurezza del piano terra.

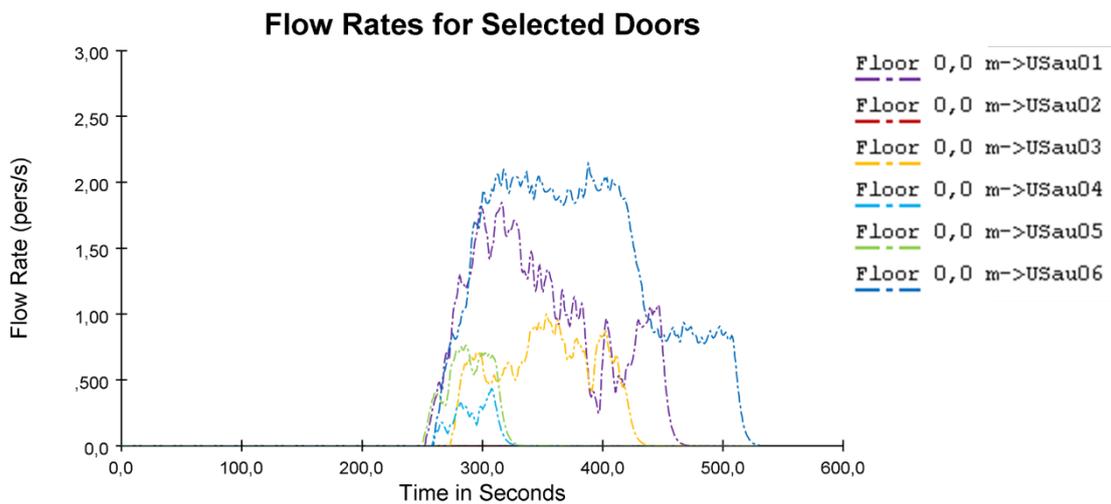


Figura 111. Distribuzione degli occupanti dell'università tra le uscite di sicurezza del piano terra. Scenario 1.b

Rispetto al caso base, avendo imposto ad una parte delle persone di utilizzare le USau03, USau04 e USau05, si ottiene una distribuzione più omogenea tra le varie uscite del piano terra dell'università.

La distribuzione degli occupanti è maggiormente efficiente anche tra le vie di esodo verticali e finali. Come mostrato dal grafico seguente, nello scenario ottimizzato è stato imposto un maggiore utilizzo della scala SCau02 per gli occupanti che si trovano al piano primo dell'università, seppur comunque in maniera ridotta rispetto alle altre vie di esodo verticali.

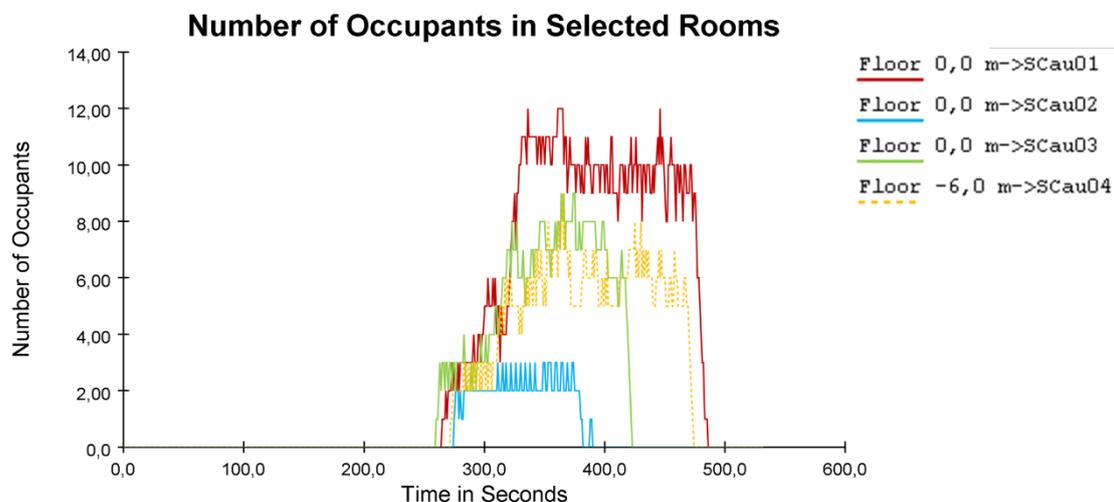


Figura 112. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo verticali dell'università. Scenario 1.b

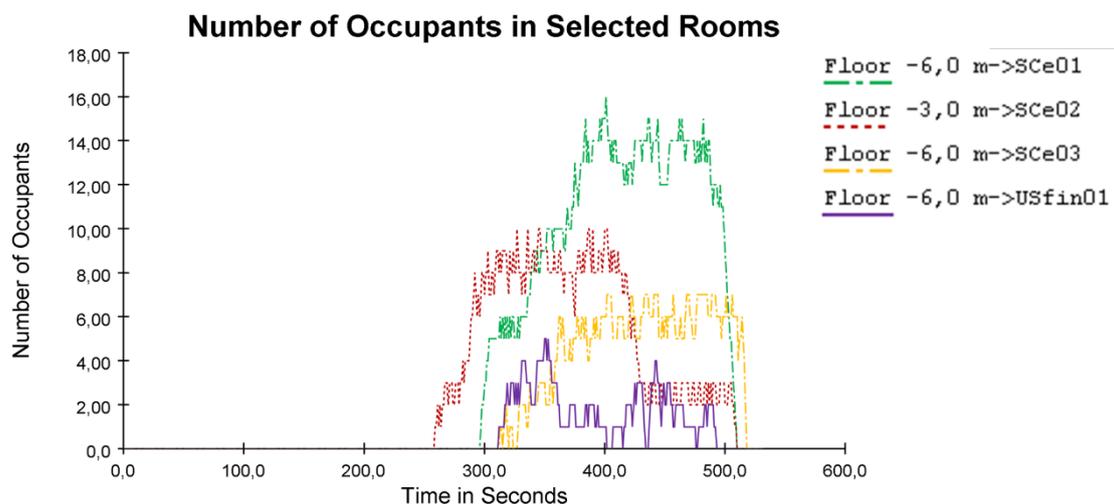


Figura 113. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo finali. Scenario 1.b

Uno degli obiettivi della modellazione degli scenari ottimizzati consiste nella limitazione dei sovraffollamenti localizzati nei pressi delle uscite di sicurezza e delle scale. Come possibile osservare nell'immagine

successiva, al piano terra dell'università si formano code nei pressi delle uscite di USau01 e USau06. Soprattutto nei pressi della USau01, però, il fenomeno risulta migliorato e ampiamente accettabile.

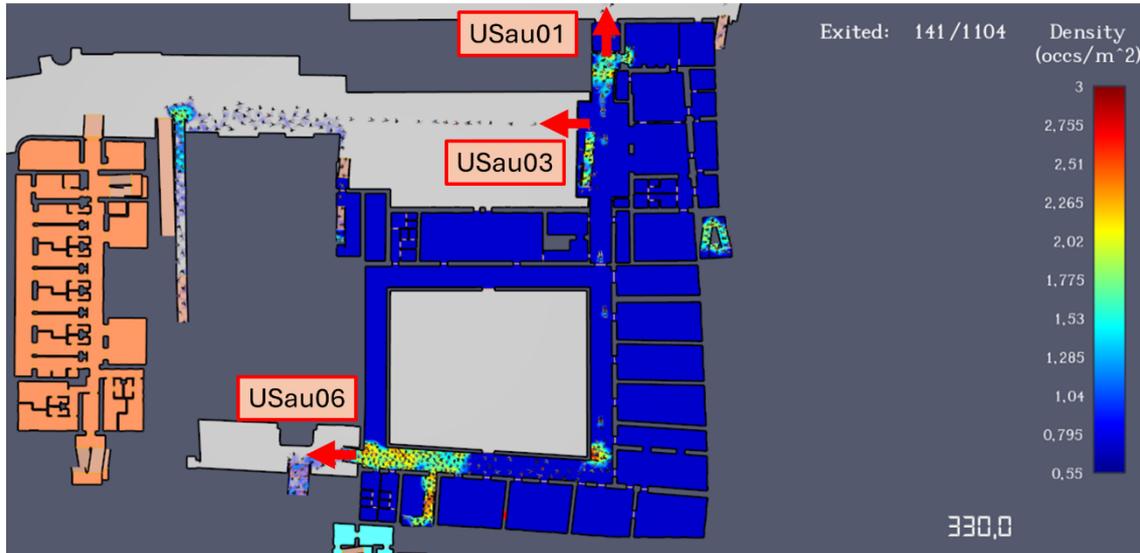


Figura 114. Sovraffollamenti localizzati al piano terra. Scenario 1.b, istante 330,0 s

Al piano primo si creano code nei pressi delle quattro vie di esodo verticali ma, sfruttando maggiormente la scala SCau02 e distribuendo al meglio gli studenti, le rimanenti risultano utilizzate in maniera più omogenea rispetto al caso base.

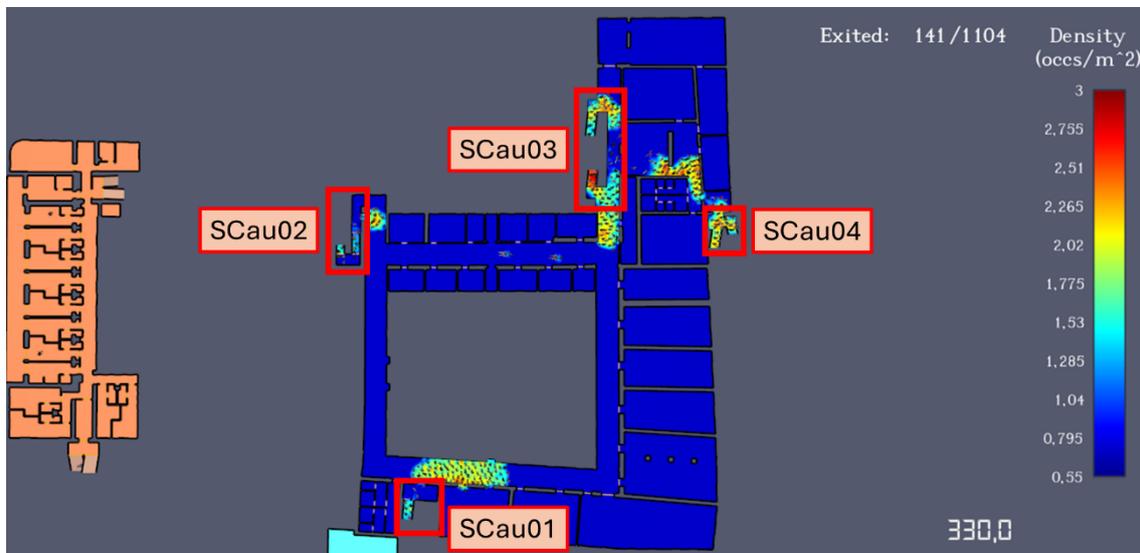


Figura 115. Sovraffollamenti localizzati al piano primo. Scenario 1.b, istante 330,0 s

Infine, vengono riportati i tempi di coda valutati nei pressi delle uscite e delle scale più significative.

Attività	Piano	Uscita/Scala	Coda [s]
Università	0	USau01	96
		USau06	128
	1	SCau01	200
		SCau02	77
		SCau03	122
		SCau04	180
	2	SCau03	65
		SCau04	29
Museo	-1	USas01	0
		USas02	0
Aree esterne	-1	USfin01	0
	-1	SCe01	130
	0	SCe02	128
	-1	SCe03	164

Tabella 21. Tempi di coda. Scenario 1.b

3.5.2 Scenario 5.b

Lo scenario 5.b rappresenta il sistema di esodo ottimizzato relativo alla configurazione di occupazione 5.a.

In questo scenario gli occupanti assumono comportamenti ben delineati, percorrendo le vie di esodo verticali e orizzontali indicate dalla cartellonistica posizionata in punti strategici del complesso edilizio. Così facendo, è possibile indirizzare i flussi di persone in modo ottimale.

La simulazione di esodo dello scenario di progetto 5.b ha prodotto come risultato un tempo RSET pari a 580,8 s.

Il tempo di effettivo movimento degli occupanti, determinato dall'istante in cui il primo occupante del complesso edilizio comincia a muoversi fino al momento in cui l'ultimo raggiunge uno dei due punti di raccolta, è di 340,8 s. Il valore di RSET determinato è inferiore a quello ottenuto dalla simulazione dell'esodo nel caso dello scenario base 5.a, come verrà mostrato nel paragrafo 3.6.

Anche in questo caso, esattamente come descritto per lo scenario 1.b, è stato imposto l'utilizzo delle uscite di piano USau03, USau04 e USau05, in modo tale da limitare i sovraffollamenti localizzati presso le USau01 e USau06.

La figura seguente riporta la distribuzione degli occupanti dell'università tra le uscite di sicurezza del piano terra.

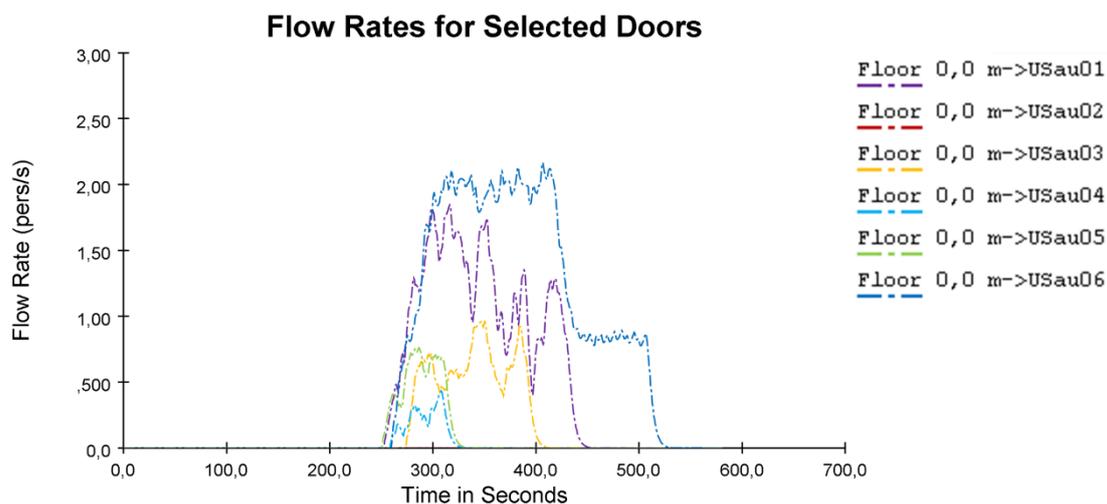


Figura 116. Distribuzione degli occupanti dell'università tra le uscite di sicurezza del piano terra. Scenario 5.b

Anche in questo caso, avendo imposto ad una parte delle persone di utilizzare le USau03, USau04 e USau05, si ottiene una distribuzione più omogenea tra le varie uscite del piano terra dell'università.

Nuovamente la distribuzione degli occupanti è maggiormente efficiente anche tra le vie di esodo verticali e finali.

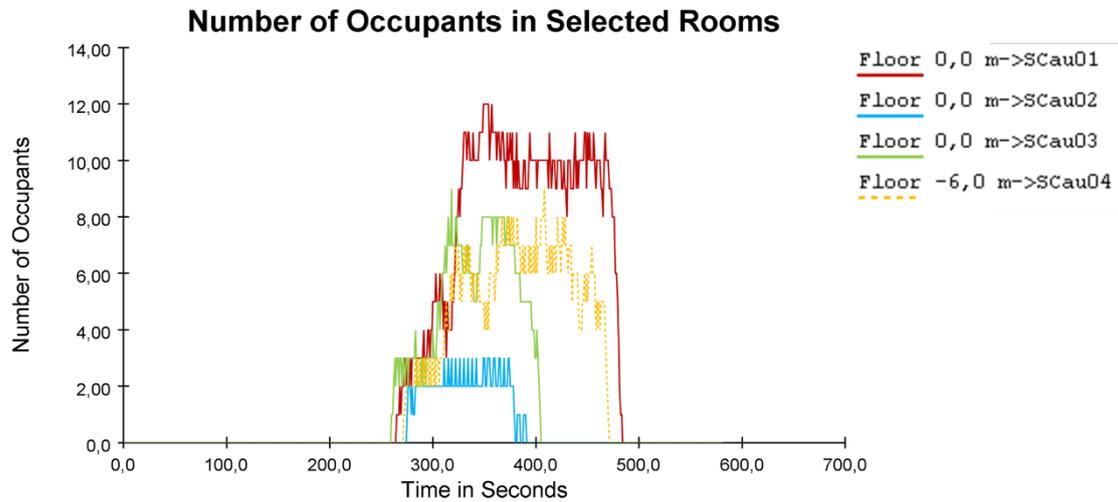


Figura 117. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo verticali dell'università. Scenario 5.b

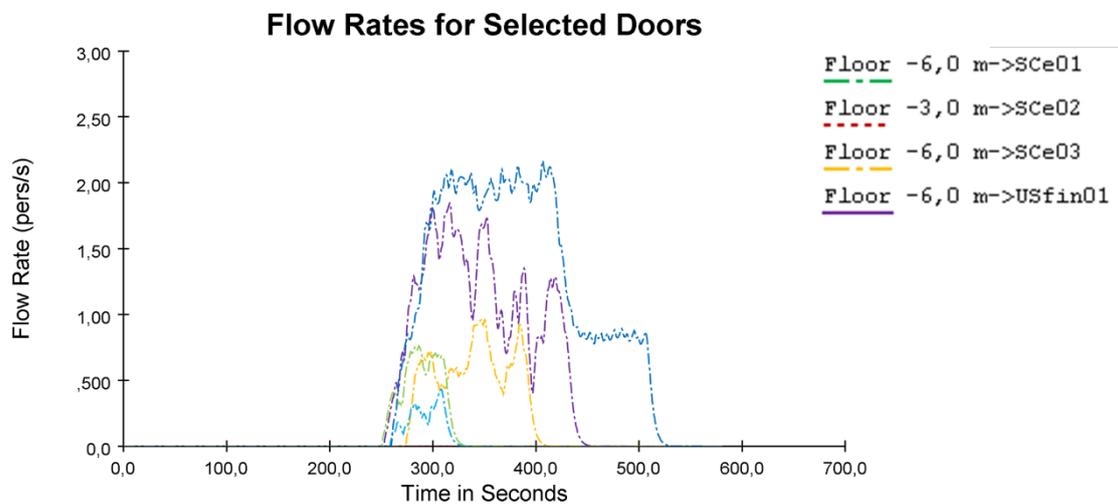


Figura 118. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo finali. Scenario 5.b

La miglior distribuzione degli occupanti appare maggiormente evidente osservando le figure successive, nelle quali si mostrano i sovraffollamenti localizzati al piano terra e al primo piano dell'università. Anche in questo caso, sfruttare le uscite di piano USau03, USau04 e USau05 permette di ridurre le code nei pressi delle uscite principali USau01 e USau06, al piano terra.

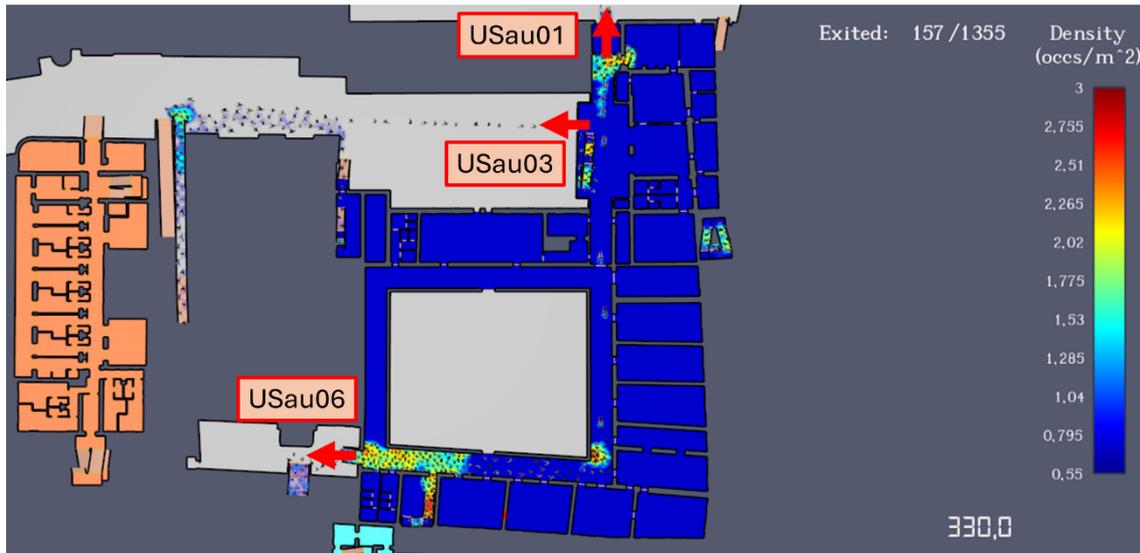


Figura 119. Sovraffollamenti localizzati al piano terra. Scenario 5.b, istante 330,0 s

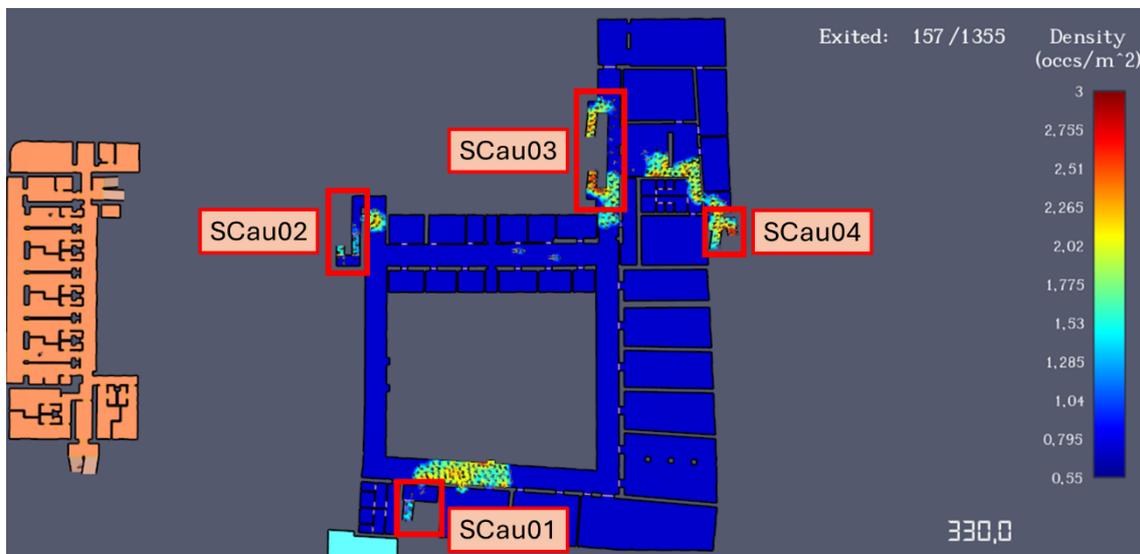


Figura 120. Sovraffollamenti localizzati al piano primo. Scenario 5.b, istante 330,0

Analizzando il piano seminterrato che ospita l'attività museale, si nota come un maggior utilizzo dell'uscita finale USfin01 produca una riduzione del sovraffollamento localizzato presso la scala esterna SCE01 che porta al punto di raccolta A.

Analisi dei risultati ottenuti



Figura 121. Sovraffollamenti localizzati al piano seminterrato. Scenario 5.b, istante 450,0 s

Infine, vengono riportati i tempi di coda valutati nei pressi delle uscite e delle scale più significative.

Attività	Piano	Uscita/Scala	Coda [s]
Università	0	USau01	103
		USau06	134
	1	SCau01	163
		SCau02	77
		SCau03	108
		SCau04	170
	2	SCau03	64
		SCau04	29
Museo	-1	USas01	165
		USas02	124
Aree esterne	-1	USfin01	197
	-1	SCe01	205
	0	SCe02	134
	-1	SCe03	153

Tabella 22. Tempi di coda. Scenario 5.b

3.6 Confronto dei risultati ottenuti

Mettendo a confronto i risultati degli scenari base con quelli ottimizzati è possibile capire se, fornendo indicazioni specifiche agli occupanti, si possa migliorare il sistema di esodo.

Il confronto si basa su tre parametri:

- l'intervallo di tempo necessario agli occupanti per abbandonare gli edifici e raggiungere i punti di raccolta;
- i sovraffollamenti localizzati e la distribuzione delle persone tra le vie di esodo orizzontali e verticali disponibili;
- i tempi di coda.

Il confronto tra i tempi di movimento degli occupanti, per gli scenari 1.a e 1.b, considerando che il primo occupante del complesso edilizio inizia l'esodo dopo 240 s, è il seguente.

Scenario	RSET [s]		t_{tra} [s]		Δt_{tra} [s]	Ottimizzazione [%]
	1.a	1.b	1.a	1.b		
1	574,5	531,3	334,5	291,3	43,2	12,9

Tabella 23. Confronto tra i tempi di movimento t_{tra} . Scenario 1

Le indicazioni fornite agli occupanti dello scenario 1 hanno prodotto, confrontando i tempi di movimento t_{tra} dello scenario base e di quello ottimizzato, una differenza di 43,2 s. Questa differenza di tempo è indicativa di un'ottimizzazione pari al 12,9% dei tempi di movimento.

Il secondo parametro da confrontare riguarda la distribuzione dei flussi di occupanti che impiegano le vie di esodo verticali e orizzontali.

Come si evince dal confronto riportato nell'immagine successiva, nello scenario ottimizzato migliora la distribuzione dei flussi di occupanti nelle uscite al piano terra. Questo avviene principalmente perché viene sfruttata l'USau03, inutilizzata nello scenario base. La conseguenza più

evidente è la diminuzione del sovraffollamento localizzato nei pressi dell'uscita USau01.

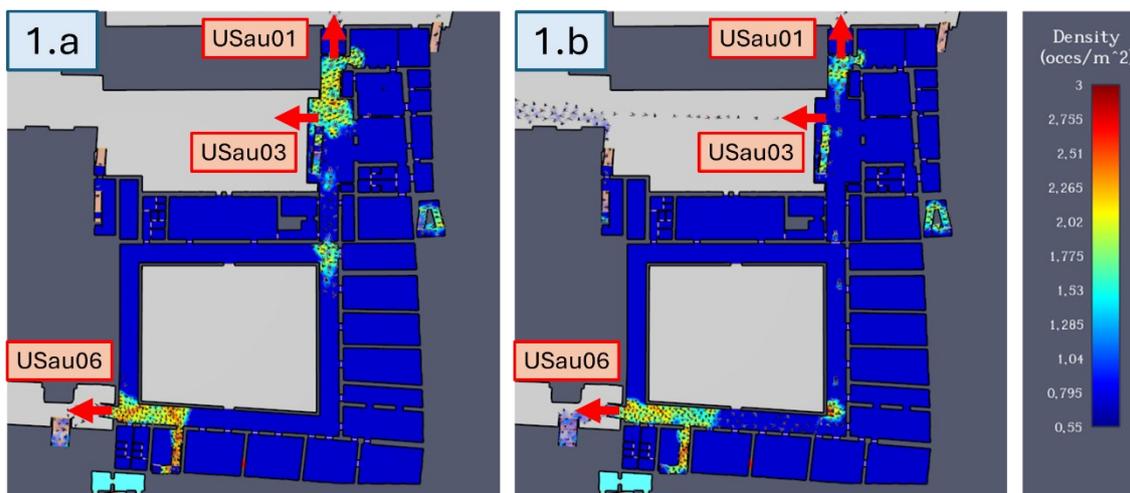


Figura 122. Confronto sovraffollamenti localizzati al piano terra. Scenario 1, istante 330 s

L'immagine seguente riporta invece il confronto tra i due scenari, considerando l'esodo del piano primo dell'università. In questo caso risultano meno evidenti i vantaggi apportati dalla miglior distribuzione degli occupanti. Viene sfruttata, infatti, maggiormente la scala SCau02 ma continuano a crearsi sovraffollamenti localizzati nei pressi delle rimanenti vie di esodo verticali.

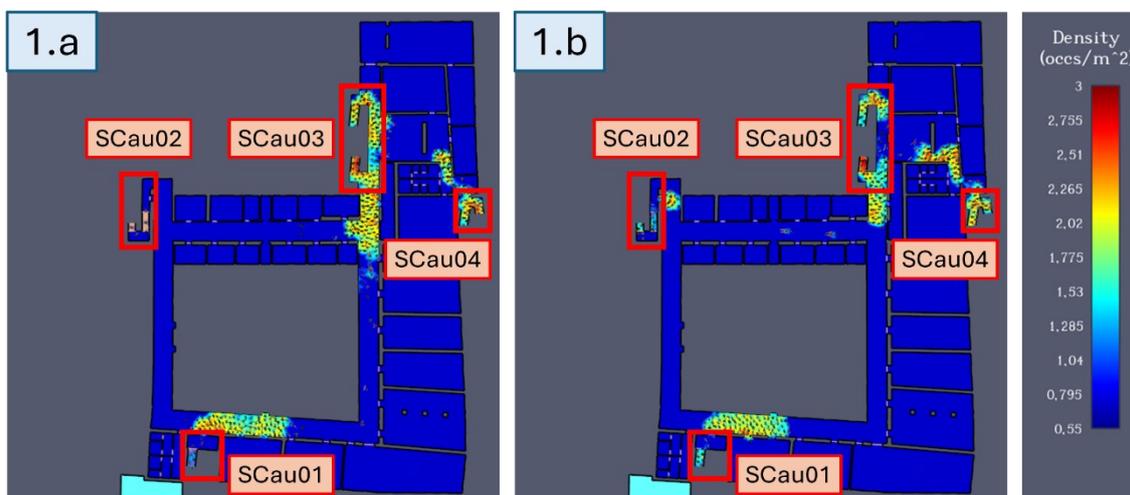


Figura 123. Confronto sovraffollamenti localizzati al piano primo. Scenario 1, istante 330 s

Il terzo parametro di confronto riguarda il tempo che gli occupanti passano in coda in attesa di poter usufruire di una certa via di esodo.

Secondo l'approccio semi-prescrittivo, i tempi di coda indicati dal Codice di prevenzione incendi sono i seguenti:

- 290 s per l'università;
- 270 s per il museo e le attività ricettive.

Il confronto dei tempi di coda è stato effettuato a scopo cautelativo tra gli scenari base e quelli ottimizzati, in quanto gli intervalli evidenziati nei primi risultano comunque inferiori a quelli proposti dal Codice.

Attività	Piano	Uscita/Scala	Coda [s]		Ottimizzazione [s]
			1.a	1.b	
Università	0	USau01	273	96	-177
		USau06	250	128	-122
	1	SCau01	182	200	+18
		SCau02	0	77	+77
		SCau03	205	122	-83
		SCau04	148	180	+32
	2	SCau03	68	65	-3
		SCau04	45	29	-16
Museo	-1	USas01	0	0	0
		USas02	0	0	0
Aree esterne	-1	USfin01	0	0	0
	-1	SCe01	154	130	-24
	0	SCe02	250	128	-122
	-1	SCe03	23	164	+141

Tabella 24. Confronto dei tempi di coda. Scenario 1

Come si può notare, una distribuzione più efficiente delle persone tra i diversi percorsi di esodo permette di ottenere una riduzione generale dei tempi di coda. Per alcune vie di esodo verticali si nota un incremento di questo parametro, giustificato dal loro inutilizzo nello

scenario base. Tutte le vie di esodo verticali e orizzontali risultano però ampiamente al di sotto dei tempi indicati dal Codice e per questo è possibile affermare che la miglior gestione dei flussi di occupanti ha prodotto i risultati desiderati.

Prendendo in considerazione gli scenari 1.a e 1.b, invece, la differenza dei tempi di movimento è la seguente.

Scenario	RSET [s]		t_{tra} [s]		Δt_{tra} [s]	Ottimizzazione [%]
	5.a	5.b	5.a	5.b		
1	643,5	580,8	403,5	340,8	62,7	15,5

Tabella 25. Confronto tra i tempi di movimento t_{tra} . Scenario 5

Le indicazioni fornite agli occupanti dello scenario 5 hanno prodotto, confrontando i tempi di movimento t_{tra} dello scenario base e di quello ottimizzato, una differenza di 62,7 s. Questa differenza di tempo è indicativa di un'ottimizzazione pari al 15,5% dei tempi di movimento.

Nuovamente, il confronto prosegue prendendo in considerazione la distribuzione dei flussi di occupanti tra le vie di esodo verticali e orizzontali.

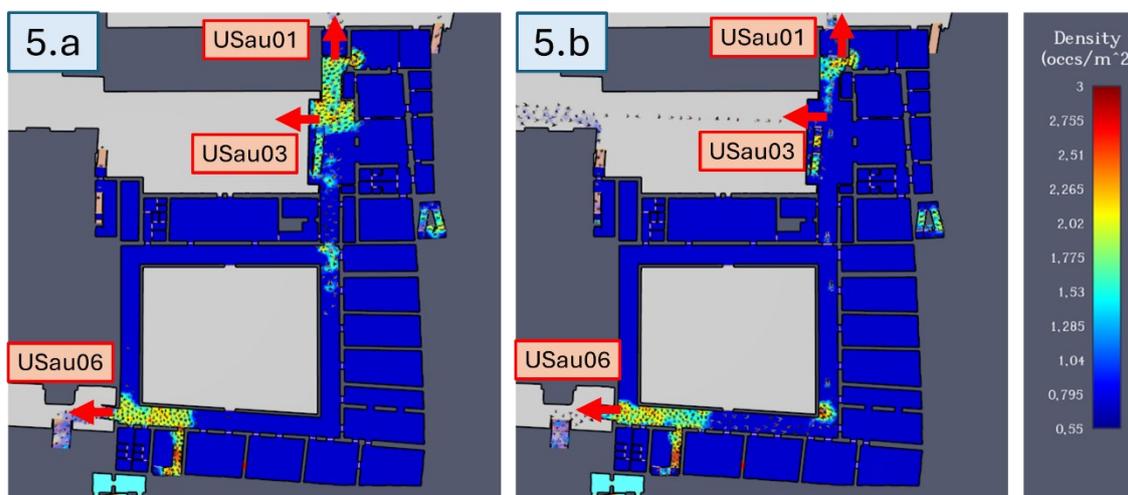


Figura 124. Confronto sovraffollamenti localizzati al piano terra. Scenario 5, istante 330 s

Anche in questo caso, utilizzando maggiormente l'uscita USau03 migliora la distribuzione dei flussi di occupanti nelle vie di esodo orizzontali al piano terra. La conseguenza più evidente è la diminuzione del sovraffollamento localizzato nei pressi dell'uscita USau01.

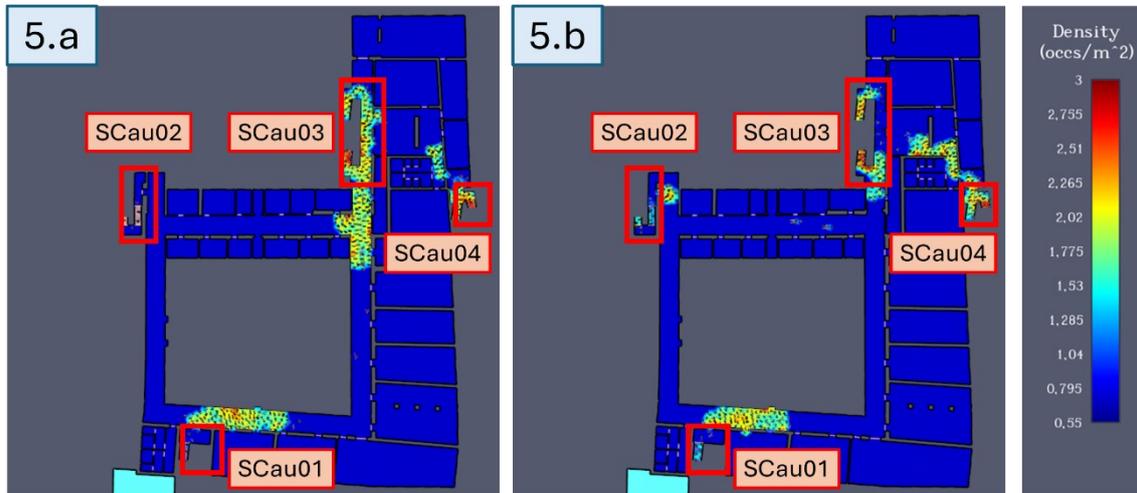


Figura 125. Confronto sovraffollamenti localizzati al piano primo. Scenario 5, istante 330 s

Ulteriori vantaggi in termini di sovraffollamenti localizzati si notano anche considerando l'esodo del piano primo dell'università, riportato nell'immagine precedente. In questo caso è il bivio che porta dal corridoio delle aule alle scale SCau03 e SCau04 ad ottenere i maggiori benefici.

Si notano miglioramenti anche confrontando gli esodi al piano seminterrato. Come riportato nell'immagine successiva, distribuendo in maniera più uniforme gli occupanti provenienti dal museo e dall'università tra la scala S Ce01 e l'uscita finale USfin01, si ottiene una diminuzione della coda formata in prossimità della via di esodo verticale esterna.

Analisi dei risultati ottenuti



Figura 126. Confronto sovraffollamenti localizzati al piano seminterrato. Scenario 5, istante 450 s

Si riporta anche per lo scenario 5 il confronto tra i tempi di coda.

Attività	Piano	Uscita/Scala	Coda [s]		Ottimizzazione [s]
			5.a	5.b	
Università	0	USau01	290	103	-187
		USau06	242	134	-108
	1	SCau01	190	163	-27
		SCau02	0	77	+77
		SCau03	201	108	-93
		SCau04	150	170	+20
	2	SCau03	66	64	-2
SCau04		46	29	-17	
Museo	-1	USas01	191	165	-26
		USas02	164	124	-40
Aree esterne	-1	USfin01	36	197	+161
	-1	SCe01	283	205	-78
	0	SCe02	242	134	-108
	-1	SCe03	23	153	+130

Tabella 26. Confronto dei tempi di coda. Scenario 5

Nuovamente, una distribuzione più efficiente delle persone tra i diversi percorsi di esodo permette di ottenere un miglioramento generale dei tempi di coda. Le vie di esodo verticali per le quali viene prodotto un incremento di questo parametro risultano ampiamente al di sotto dei tempi di coda indicati dal Codice. Anche in questo caso è possibile affermare che la miglior distribuzione degli occupanti ha prodotto i risultati desiderati.

In generale, considerati i risultati ottenuti per entrambi gli scenari, si può affermare che l'applicazione dei metodi e gli strumenti di Fire Safety Engineering apporta al progetto di prevenzione incendi un sostanziale miglioramento.

Conclusioni e sviluppi futuri

Il progetto di prevenzione incendi di edifici complessi e polifunzionali può essere affrontato seguendo diversi approcci, tra cui quello semi-prescrittivo e quello ingegneristico.

Il presente lavoro di tesi ha portato a definire un approccio metodologico replicabile per la progettazione della sicurezza antincendio di complessi edilizi polifunzionali, anche caratterizzati da grandi affollamenti. Il metodo mette insieme i vantaggi dell'approccio semi-prescrittivo e degli strumenti e i metodi di Fire Safety Engineering, portando ad ottenere una sostanziale ottimizzazione del sistema di esodo.

In seguito alla definizione delle più idonee misure di prevenzione incendi, confrontando diversi scenari di affollamento, è stato possibile constatare che il sistema di esodo viene ottimizzato nel momento in cui agli occupanti vengono fornite indicazioni precise e puntuali sui percorsi orizzontali e verticali da utilizzare. Confrontando, infatti, il caso in cui alle persone venga lasciata libertà di movimento con quello in cui esse vengono guidate maggiormente, si nota una notevole diminuzione di tre parametri:

- l'intervallo di tempo necessario agli occupanti per abbandonare gli edifici e raggiungere i punti di raccolta;
- i sovraffollamenti localizzati;
- i tempi di coda.

Ciò significa che, anche per complessi edilizi in cui si riesca a progettare la sicurezza antincendio in soluzione conforme seguendo l'approccio semi-prescrittivo del Codice, è possibile produrre un notevole miglioramento del sistema di esodo e quindi della sicurezza delle persone in caso di emergenza.

Nel presente lavoro di tesi sono state analizzate due configurazioni di affollamento, quella più frequente e quella realisticamente più gravosa. Un ulteriore miglioramento del progetto di prevenzione incendi può avvenire in futuro attraverso uno studio più approfondito di tutti i possibili scenari di progetto individuati.

In generale, se un complesso edilizio venisse approfondito in ogni sua possibile configurazione di affollamento, utilizzando il caso base per individuare possibili criticità e definendo le più idonee misure per risolverle attraverso un processo iterativo composto da ripetute simulazioni, si potrebbe progettare il sistema di esodo migliore per ogni casistica. In questo modo, per ogni situazione di emergenza sarebbero disponibili indicazioni puntuali in merito alla gestione dei flussi di occupanti al fine di limitare i tempi di movimento e di coda, garantendo un maggior livello di sicurezza a tutte le persone presenti nel complesso edilizio.

Un ulteriore possibile sviluppo futuro consiste nello studio degli scenari d'incendio, integrandoli alle simulazioni di esodo per una più completa analisi delle situazioni di emergenza.

Bibliografia e sitografia

- [1] R. Vancetti, dispense del corso di Prevenzione per la sicurezza antincendio. Politecnico di Torino, 2022.
- [2] R. Vancetti, dispense del corso di Fire safety Engineering (FSE). Politecnico di Torino, 2023.
- [3] Ministero dell'interno, Testo coordinato dell'allegato I del DM 3 agosto 2015 – "Codice di prevenzione incendi".
- [4] Ministero dell'interno, Decreto Ministeriale 18 ottobre 2019 – "Modifiche all'allegato I al decreto del Ministero dell'interno 3 agosto 2015", recante «Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139».
- [5] Ministero dell'interno, Decreto Ministeriale 14 febbraio 2020 – "Aggiornamento della sezione V dell'allegato I al decreto 3 agosto 2015, concernente l'approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi".
- [6] Ministero dell'interno, Decreto Ministeriale 24 novembre 2021 – "Modifiche all'allegato I al decreto del Ministero dell'interno 3 agosto 2015, concernente l'approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi".
- [7] Ministero dell'interno, Decreto Ministeriale 9 agosto 2016 – "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per le attività turistico-alberghiere, ai sensi dell'art. 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139".
- [8] Ministero dell'interno, Decreto Ministeriale 7 agosto 2017 – "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per le

attività scolastiche, ai sensi dell'art. 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139".

- [9] Ministero dell'interno, Decreto Ministeriale 10 luglio 2020 – "Norme tecniche di prevenzione incendi per gli edifici sottoposti a tutela ai sensi del decreto legislativo del 22 gennaio 2004, n. 42, aperti al pubblico, destinati a contenere musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi, ai sensi dell'art. 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139".
- [10] Ministero dell'interno, Decreto Ministeriale 14 ottobre 2021 – "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per gli edifici sottoposti a tutela ai sensi del decreto legislativo del 22 gennaio 2004, n. 42, aperti al pubblico, contenenti una o più attività ricomprese nell'allegato I al decreto del Presidente della Repubblica 1° agosto 2011, n. 151, ivi individuate con il numero 72, ad esclusione di musei gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi, ai sensi dell'art. 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139".
- [11] Ministero dell'interno, Decreto Ministeriale 30 marzo 2022 – "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per le chiusure d'ambito degli edifici civili, ai sensi dell'art. 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139".
- [12] Ministero dell'interno, Decreto Ministeriale 30 marzo 2022 – "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per le chiusure d'ambito degli edifici civili, ai sensi dell'art. 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139".
- [13] Decreto del Presidente della Repubblica 1° agosto 2011, n. 151 – "Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-ter, del decreto-legge 31 maggio

2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio, n.122”.

- [14] Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 – “Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137”.
- [15] ISO/TR 16738 – “Fire-safety engineering – Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people”.
- [16] Agenzia Nazionale di Valutazione del sistema Universitario e della Ricerca, Rapporto ANVUR – “Gli studenti con disabilità e DSA nelle università italiane – Una risorsa da valorizzare”.
- [17] A. La Malfa, S. La Malfa, R. La Malfa, Ingegneria della sicurezza antincendio.
- [18] M.J. Hurley, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, quinta edizione.
- [19] Thunderhead engineering, Pathfinder User Manual. 2023.

Indice delle figure

Figura 1. Complesso edilizio caso di studio. Cattura da Google Earth .6	
Figura 2. Suddivisione in blocchi funzionali	7
Figura 3. Piano di riferimento dell'università	14
Figura 4. Piano di riferimento del museo	15
Figura 5. Piano di riferimento delle camere per i docenti.....	15
Figura 6. Piano di riferimento dello studentato	16
Figura 7. Tabella G.3-1: Caratteristiche prevalenti degli occupanti...	19
Figura 8. Tabella G.3-2: Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio	20
Figura 9. Tabella G.3-3: Determinazione di R_{vita}	21
Figura 10. Tabella G.3-4: Profilo di rischio R_{vita} per alcune tipologie di destinazioni d'uso.....	21
Figura 11. Tabella G.3-5: Determinazione di R_{beni}	23
Figura 12. Classificazione in relazione al numero degli occupanti ...	25
Figura 13. Classificazione in relazione alla massima quota dei piani.	25
Figura 14. Classificazione in relazione al numero di posti letto	27
Figura 15. Classificazione in relazione alla massima quota dei piani.	27
Figura 16. Classificazione in relazione al numero dei posti letto	28
Figura 17. Classificazione in relazione alla massima quota dei piani.	28
Figura 18. Tabella S.1-1: Livelli di prestazione	30
Figura 19. Tabella S.1-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione alle vie d'esodo dell'attività	31
Figura 20. Tabella S.1-3: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione ad altri locali dell'attività	31
Figura 21. Classificazione in gruppi per arredamento, scenografie, tendoni per coperture	33
Figura 22. Classificazione in gruppi di materiali per rivestimento e completamento	33

Indice delle figure

Figura 23. Classificazione in gruppi di materiali per l'isolamento	33
Figura 24. Classificazione in gruppi di materiali per impianti.....	34
Figura 25. Tabella S.2-1: Livelli di prestazione	35
Figura 26. Tabella S.2-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione	36
Figura 27. Tabella V.7-1: Classe di resistenza al fuoco	37
Figura 28. Tabella V.10-1: Classe di resistenza al fuoco	37
Figura 29. Tabella V.5-1: Classe di resistenza al fuoco	37
Figura 30. Tabella S.2-6: Parametri per la definizione del fattore δq_1	38
Figura 31. Tabella S.2-7: Parametri per la definizione del fattore δq_2	38
Figura 32. Tabella S.2-8: Parametri per la definizione del fattore δn	39
Figura 33. Tabella S.2-3: Classe minima di resistenza al fuoco	41
Figura 34. Tabella S.3-1: Livelli di prestazione	44
Figura 35. Tabella S.3-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione	44
Figura 36. Tabella V.7-2: Compartimentazione	45
Figura 37. Tabella V.10-2: Compartimentazione	45
Figura 38. Tabella V.5-2: Compartimentazione	46
Figura 39. Tabella S.3-6: Massima superficie lorda dei compartimenti in m ²	46
Figura 40. Tabella S.3-7: Condizioni per la realizzazione di compartimenti multipiano	48
Figura 41. Tabella S.4-1: Livelli di prestazione	49
Figura 42. Tabella S.4-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione	49
Figura 43. Tabella S.4-12: Densità di affollamento per tipologia di attività.....	50
Figura 44. Tabella S.4-13: Criteri per tipologia di attività	51

Figura 45. Tabella S.4-6: Caratteristiche delle porte ad apertura manuale lungo le vie d'esodo	52
Figura 46. Illustrazione S.4-2: Esempio di segnale per uscita finale.	53
Figura 47. Tabella S.4-8: Esempi di segnali UNI EN ISO 7010	53
Figura 48. Tabella S.4-15: Numero minimo di uscite indipendenti da locale o spazio a cielo libero	54
Figura 49. Tabella S.4-18: Condizioni per il corridoio cieco	54
Figura 50. Tabella S.4-25: Massime lunghezze d'esodo.....	55
Figura 51. Tabella S.4-38: Parametri per la definizione dei fattori $\delta_{m,i}$	55
Figura 52. Tabella S.4-27: Larghezze unitarie per vie d'esodo orizzontali	58
Figura 53. Tabella S.4-28: Larghezze minime per vie d'esodo orizzontali	60
Figura 54. Tabella S.4-32: Larghezze minime per vie d'esodo verticali	62
Figura 55. Tabella S.4-29: Larghezze unitarie per vie di esodo verticali	63
Figura 56. Tabella S.4-36: Superfici minime per occupante	66
Figura 57. Tabella S.5-1: Livelli di prestazione	68
Figura 58. Tabella S.5-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione	69
Figura 59. Tabella S.5-4: Soluzioni conformi per il livello di prestazione II	70
Figura 60. Tabella S.5-5: Soluzioni conformi per il livello di prestazione III.....	70
Figura 61. Tabella S.5-7: Compiti di progettista e responsabile dell'attività in materia di progettazione della GSA.....	71
Figura 62. Tabella S.6-1: Livelli di prestazione	72
Figura 63. Tabella V.5-3: Livelli di prestazione per controllo dell'incendio	72

Figura 64. Tabella V.7-3: Livelli di prestazione per controllo dell'incendio	73
Figura 65. Tabella S.6-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione	73
Figura 66. Tabella S.6-4: Classi dei fuochi secondo la norma europea EN 2 ed agenti estinguenti	74
Figura 67. Tabella S.6-5: Criteri per l'installazione degli estintori di classe A	74
Figura 68. Tabella S.7-1: Livelli di prestazione	76
Figura 69. Tabella S.7-3: Soluzioni conformi per rivelazione ed allarme incendio	77
Figura 70. Tabella S.7-5: Funzioni principali degli IRAI secondo EN 54-1 e UNI 9795	77
Figura 71. Tabella S.7-6: Funzioni secondarie degli IRAI secondo EN 54-1 e UNI 9795	78
Figura 72. Tabella S.7-7: Relazione fra categoria dell'EVAC e livello di prestazione della GSA	78
Figura 73. Tabella S.8-1: Livelli di prestazione	79
Figura 74. Tabella S.8-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione	79
Figura 75. Tabella S.8-4: Tipi di realizzazione delle aperture di smaltimento	80
Figura 76. Tabella S.8-5: Tipi di dimensionamento per le aperture di smaltimento	81
Figura 77. Tabella S.9-1: Livelli di prestazione	83
Figura 78. Tabella S.9-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione	84
Figura 79. Tabella S.9-5: Requisiti minimi accessi all'attività da pubblica via per mezzi di soccorso	85
Figura 80. Tabella S.10-1: Livelli di prestazione	86
Figura 81. Classificazione dei vani degli ascensori	88

Indice delle figure

Figura 82. Classificazione delle chiusure d'ambito.....	89
Figura 83. Tabella V.13-1: Gruppi di materiali per la reazione al fuoco degli elementi delle chiusure d'ambito	90
Figura 84. Percorsi di esodo con probabili criticità.....	94
Figura 85. Modello tridimensionale del complesso edilizio	95
Figura 86. Modello tridimensionale importato in Pathfinder	96
Figura 87. Modello geometrico generato in Pathfinder	97
Figura 88. Porte e scale con un unico verso di attraversamento	98
Figura 89. Porta bloccata in entrambe le direzioni.....	98
Figura 90. Punti di raccolta	99
Figura 91. Tabella G.2 – Maximum unimpeded travel speeds and flow rates horizontal and stair travel	105
Figura 92. Estratto della Tabella G.4 – Travelspeeds reported in the referenced literature	105
Figura 93. Caratterizzazione utenti standard.....	106
Figura 94. Caratterizzazione utenti affetti da disabilità motoria.....	106
Figura 95. Caratterizzazione utente bambino	107
Figura 96. Tempo ($t_{det} + t_a$).....	109
Figura 97. Estratto SFPE: Curva RHR di un cestino dei rifiuti	111
Figura 98. Estratto della Tabella E.2: Suggested pre-travel activity times for different design behavioural scenario categories	114
Figura 99. Posizionamento degli occupanti	117
Figura 100. Percorsi di esodo. Scenario 1.b	123
Figura 101. Percorsi di esodo. Scenario 5.b	124
Figura 102. Distribuzione degli occupanti dell'università tra le uscite di sicurezza del piano terra. Scenario 1.a	129
Figura 103. Uscite di piano non utilizzate nello scenario 1.a	130
Figura 104. Sovraffollamenti localizzati al piano terra. Scenario 1.a, istante 330,0 s.....	131
Figura 105. Sovraffollamenti localizzati al piano primo. Scenario 1.a, istante 330,0 s.....	132

Figura 106. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo verticali dell'università. Scenario 1.a	132
Figura 107. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo finali. Scenario 1.a	133
Figura 108. Sovraffollamenti localizzati al piano seminterrato. Scenario 5.a, istante 450,0 s	136
Figura 109. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo finali. Scenario 5.a	137
Figura 110. Uscite di piano non utilizzate nello scenario 1.b	141
Figura 111. Distribuzione degli occupanti dell'università tra le uscite di sicurezza del piano terra. Scenario 1.b	141
Figura 112. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo verticali dell'università. Scenario 1.b	142
Figura 113. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo finali. Scenario 1.b	142
Figura 114. Sovraffollamenti localizzati al piano terra. Scenario 1.b, istante 330,0 s.....	143
Figura 115. Sovraffollamenti localizzati al piano primo. Scenario 1.b, istante 330,0 s.....	143
Figura 116. Distribuzione degli occupanti dell'università tra le uscite di sicurezza del piano terra. Scenario 5.b	145
Figura 117. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo verticali dell'università. Scenario 5.b	146
Figura 118. Distribuzione degli occupanti tra le vie di esodo finali. Scenario 5.b	146
Figura 119. Sovraffollamenti localizzati al piano terra. Scenario 5.b, istante 330,0 s.....	147
Figura 120. Sovraffollamenti localizzati al piano primo. Scenario 5.b, istante 330,0	147
Figura 121. Sovraffollamenti localizzati al piano seminterrato. Scenario 5.b, istante 450,0 s	148

Indice delle figure

Figura 122. Confronto sovraffollamenti localizzati al piano terra. Scenario 1, istante 330 s	150
Figura 123. Confronto sovraffollamenti localizzati al piano primo. Scenario 1, istante 330 s	150
Figura 124. Confronto sovraffollamenti localizzati al piano terra. Scenario 5, istante 330 s	152
Figura 125. Confronto sovraffollamenti localizzati al piano primo. Scenario 5, istante 330 s	153
Figura 126. Confronto sovraffollamenti localizzati al piano seminterrato. Scenario 5, istante 450 s	154

Indice delle tabelle

Tabella 1. Riepilogo delle attività soggette ai sensi del D.P.R. 151/11	10
Tabella 2. Riferimenti normativi	12
Tabella 3. Caratteristiche di reazione al fuoco dei materiali	32
Tabella 4. Calcolo del contributo all'incendio dei materiali presenti nel museo	41
Tabella 5. Calcolo del carico d'incendio specifico di progetto per il museo	42
Tabella 6. Compartimenti	47
Tabella 7. Compartimenti multipiano	48
Tabella 8. Calcolo dell'affollamento	51
Tabella 9. Verifica delle lunghezze di esodo e di corridoio cieco	57
Tabella 10. Calcolo della larghezza minima delle uscite orizzontali ...	60
Tabella 11. Verifica di ridondanza delle vie d'esodo orizzontali	61
Tabella 12. Calcolo della larghezza delle vie d'esodo verticali	63
Tabella 13. Calcolo della larghezza delle uscite finali	65
Tabella 14. Dimensionamento delle aperture di smaltimento	82
Tabella 15. Classificazione delle attività per la determinazione di t_{pre}	113
Tabella 16. Tempi di pre-movimento	115
Tabella 17. Tempi che precedono il movimento degli occupanti	115
Tabella 18. Collocazione degli occupanti in funzione dello scenario di progetto	117
Tabella 19. Tempi di coda. Scenario 1.a	134
Tabella 20. Tempi di coda. Scenario 5.a	138
Tabella 21. Tempi di coda. Scenario 1.b	144
Tabella 22. Tempi di coda. Scenario 5.b	148
Tabella 23. Confronto tra i tempi di movimento t_{tra} . Scenario 1	149

Indice delle tabelle

Tabella 24. Confronto dei tempi di coda. Scenario 1	151
Tabella 25. Confronto tra i tempi di movimento t_{tra} . Scenario 5.....	152
Tabella 26. Confronto dei tempi di coda. Scenario 5.....	154

Tavole di prevenzione incendi

Tavola 1. Pianta piano seminterrato.

Tavola 2. Pianta piano terra.

Tavola 3. Pianta piano primo.

Tavola 4. Pianta piano secondo.

