



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Edile

**Sviluppo di strumenti decisionali per la progettazione della
sicurezza al fuoco degli edifici con un approccio prestazionale
in ambiente BIM**

Development of decision support systems for performance-based fire safety design of
buildings in a BIM ecosystem

Relatore:

Prof. Ing. Alessandro Carbonari

Tesi di Laurea di:

Federico Di Bonaventura

Correlatrice:

Ing. Martina Tarsi

A.A. 2023 / 2024

A chi ha sempre creduto in me

Sommario

1	INTRODUZIONE	1
2	OBIETTIVI	3
3	STATO DELL'ARTE	5
3.1	Normative di riferimento	5
3.1.1	Codice Prevenzione Incendi – DM 03/08/2015 [2]	5
3.1.2	Life Safety Code – NFPA 101 [3]	6
4	METODOLOGIA	8
4.1	Ambito della tesi	9
4.2	Utilizzo di software BIM	10
4.3	Strumenti utilizzati	11
4.3.1	Simulatore per l'esodo	11
4.3.2	Simulazione per l'innesco dell'incendio	11
4.4	Rappresentazione delle mappe e importazione in ambiente BIM	12
5	APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA AD UN CASO STUDIO	13
5.1	Individuazione di un caso studio	13
5.2	Realizzazione della pianta per l'esodo con JuPedSim [1]	14
5.3	Realizzazione della pianta per l'incendio con FDS [1]	19
6	CONFRONTO TRA SOLUZIONI CONFORMI E SOLUZIONI ALTERNATIVE	22
6.1	Classificazione dell'attività (Capitolo G.3 del D.M. 03/08/2015)	22
6.1.1	Determinazione del profilo di rischio R_{vita} (G.3.2 del D.M. 03/08/2015)	22
6.1.2	Determinazione del profilo di rischio R_{beni} (G.3.3 del D.M. 03/08/2015)	25
6.1.3	Determinazione del profilo di rischio $R_{ambiente}$ (G.3.4 del D.M. 03/08/2015)	26
6.2	Applicazione delle soluzioni conformi	27
6.2.1	Reazione al fuoco (Capitolo S.1 del D.M. 03/08/2015)	27
6.2.1.1	Livelli di prestazione (S.1.2 del D.M. 03/08/2015)	27
6.2.1.2	Classificazione in gruppi dei materiali (S.1.4 del D.M. 03/08/2015)	28
6.2.1.3	Soluzioni progettuali (S.1.4 del D.M. 03/08/2015)	28
6.2.2	Resistenza al fuoco (Capitolo S.2 del D.M. 03/08/2015)	31
6.2.2.1	Livello di prestazione (S.2.2 del D.M. 03/08/2015)	31
6.2.2.2	Calcolo del carico di incendio specifico di progetto $q_{f,d}$ (S.2.9 del D.M.03/08/2015)	33
6.2.2.3	Classe minima di resistenza al fuoco (S.2.4.3 del D.M.03/08/2015)	34
6.2.2.4	Soluzioni progettuali (S.2.15 del D.M.03/08/2015)	35
6.2.3	Compartimentazione (Capitolo S.3 del D.M.03/08/2015)	40

6.2.3.1	Livelli di prestazione (S.3.2 del D.M.03/08/2015).....	40
6.2.3.2	Soluzioni conformi per il livello di prestazione II (S.3.4.1 del D.M.03/08/2015)	41
6.2.3.3	Progettazione dei compartimenti antincendio (S.3.6 del D.M.03/08/2015)	42
6.2.4	<i>Esodo (Capitolo S.4 del D.M. 03/08/2015)</i>	48
6.2.4.1	Livelli di prestazione (S.6.4.2 del D.M. 03/08/2015).....	49
6.2.4.2	Soluzioni progettuali da applicare per il livello I (S.4.4.1 del D.M. 03/08/2015)	49
6.2.4.3	Procedura da applicare (S.4.4.1 del D.M. 03/08/215)	51
6.2.4.3.1	<i>Dati di ingresso per affollamento (S.4.6 del D.M. 03/08/2015)</i>	51
6.2.4.3.2	<i>Requisiti antincendio minimi (S.4.7 del D.M. 03/08/2015)</i>	53
6.2.4.3.3	<i>Progettazione del sistema d'esodo (S.4.8 & S.4.9 del D.M. 03/08/2015)</i>	54
6.2.4.3.4	<i>Caratteristiche del sistema d'esodo (S.4.5 del D.M. 03/08/2015)</i>	71
6.2.5	<i>Controllo dell'incendio (Capitolo S.6 del D.M. 03/08/2015)</i>	75
6.2.5.1	Livelli di prestazione (S.6.2 del D.M. 03/08/2015).....	76
6.2.5.2	Soluzioni progettuali (S.6.4.1 del D.M. 03/08/2015)	77
6.2.5.3	Classificazione dei fuochi e degli agenti estinguenti (S.6.5 del D.M. 03/08/2015).....	78
6.2.5.4	Estintori di incendio (S.6.6 del D.M. 03/08/2015).....	79
6.2.5.4.1	<i>Estintori di classe A (S.6.6.2.1 del D.M. 03/08/2015)</i>	79
6.2.5.4.2	<i>Estintori di classe F (S.6.6.2.3 del D.M. 03/08/2015)</i>	80
6.2.5.5	Piante finali.....	81
6.2.6	<i>Rilevazione ed allarme (Capitolo S.7 del D.M. 03/08/2015)</i>	83
6.2.6.1	Livelli di prestazione (S.7.2 del D.M. 03/08/2015).....	84
6.2.6.2	Soluzioni progettuali (S.7.4 del D.M. 03/08/2015)	85
6.2.6.3	Impianti di rilevazione ad allarme incendio (S.7.5 del D.M. 03/08/2015)	86
6.2.7	<i>Regola tecnica verticale V4-Uffici (Capitolo V.4 del D.M. 03/08/2015)</i>	87
6.2.7.1	Classificazioni (V.4.2 del D.M. 03/08/2015)	87
6.2.7.2	Strategia antincendio (V.4.4 del D.M. 03/08/2015).....	88
6.2.7.2.1	<i>Reazione al fuoco (V.4.4.1 del D.M. 03/08/2015)</i>	88
6.2.7.2.2	<i>Resistenza al fuoco (V.4.4.2 del D.M. 03/08/2015)</i>	88
6.2.7.2.3	<i>Compartimentazione (V.4.4.3 del D.M. 03/08/2015)</i>	89
6.2.7.2.4	<i>Controllo dell'incendio (V.4.4.5 del D.M. 03/08/2015)</i>	90
6.2.7.2.5	<i>Rilevazione ed allarme (V.4.4.6 del D.M. 03/08/2015)</i>	91
6.3	<i>Soluzioni alternative</i>	91
6.3.1	<i>Visualizzazione dei risultati</i>	92
6.3.1.1	Progetto originale.....	92
6.3.1.2	Progetto con modifiche uno	94

6.3.1.3	Progetto con modifiche due.....	96
7	<i>ANALISI DEI RISULTATI E DISCUSSIONE</i>	99
8	<i>CONCLUSIONE</i>	101
	<i>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA</i>	102
	<i>RINGRAZIAMENTI</i>	103

1 INTRODUZIONE

Allo stato attuale, progettare un sistema edilizio è un processo sempre più complesso, caratterizzato dall'interazione di molteplici figure tecniche specializzate che si occupano di diversi aspetti del progetto. Tra questi, la progettazione antincendio riveste un ruolo centrale, poiché mira a garantire la sicurezza degli occupanti e la protezione delle strutture in caso di incendio.

Questo elaborato si concentra sulla progettazione antincendio, analizzando due approcci principali:

- le soluzioni conformi al Decreto Ministeriale 03/08/2015 (Norme Tecniche di Prevenzione Incendi), che stabilisce i requisiti prescrittivi per garantire la sicurezza antincendio;
- le soluzioni alternative, basate su un approccio prestazionale, permesse dal D.M. 03/08/2015, che consentono di eseguire simulazioni avanzate sull'esodo e sull'incendio per valutare le condizioni di sicurezza caso per caso.

Il Decreto Ministeriale 03/08/2015 rappresenta un riferimento normativo essenziale per la progettazione antincendio in Italia. Tuttavia, la sua natura prescrittiva può talvolta risultare rigida, imponendo misure che potrebbero non essere necessarie in tutti i contesti progettuali, come la realizzazione di determinati spazi o divisioni, potenzialmente ridondanti. In questi casi, le soluzioni alternative offrono maggiore flessibilità, permettendo di utilizzare strumenti avanzati per simulare scenari d'incendio e verificare il rispetto degli obiettivi di sicurezza.

Per le simulazioni antincendio e di esodo, è possibile integrare la normativa italiana con il Life Safety Code – NFPA 101, un riferimento della normativa statunitense. Questa normativa definisce vari scenari di incendio di progetto, da cui partire per eseguire analisi dettagliate attraverso software specifici. I risultati di tali simulazioni sono stati poi rappresentati tramite mappe cartografiche, usando come riferimento una metodologia sviluppata in precedenza, utili per visualizzare le condizioni di sicurezza raggiunte.

L'obiettivo di questo elaborato è confrontare i due approcci, valutandone i vantaggi e le criticità, con particolare attenzione ai limiti imposti dalla rigidità del D.M. in alcune applicazioni pratiche. L'analisi si propone di dimostrare come le soluzioni alternative possano offrire benefici in termini di flessibilità e ottimizzazione progettuale, garantendo al contempo gli standard di sicurezza richiesti.

Ai fini del seguente elaborato, il confronto tra i due metodi è stato realizzato solamente su una delle dieci misure antincendio previste dalla normativa italiana ovvero la misura S4 - Esodo.

L'elaborato si sviluppa nei seguenti capitoli: nei primi sono stati definiti gli obiettivi da raggiungere e le normative di riferimento. È stata descritta successivamente la metodologia utilizzata per l'elaborato.

Nel quinto capitolo è stata applicata la metodologia al caso studio, riportando il procedimento adottato per l'utilizzo dei software.

Parallelamente, sono state applicate le soluzioni conformi al D.M. 03/08/2015, seguendo i punti principali della normativa.

L'ultimo capitolo include i risultati delle analisi sulle soluzioni applicate, con tabelle a confronto dei due metodi.

2 *OBIETTIVI*

Comprendere la prevenzione durante la fase dell'incendio risulta particolarmente complesso, poiché intervengono diversi aspetti che possono creare difficoltà, come il comportamento delle persone, lo sviluppo dell'incendio, il comportamento dei materiali, ecc.

Per questo motivo, è possibile adottare due tipi di approccio: prescrittivo e prestazionale.

L'approccio prescrittivo impone regole tecniche che devono essere applicate per ottenere una determinata soglia di sicurezza. Il vantaggio di questo approccio risiede nell'omogeneità di applicazione, mentre lo svantaggio è la rigidità nell'adottare norme che potrebbero portare a un livello di sicurezza esagerato.

L'approccio prestazionale, invece, si basa sul raggiungimento di specifiche prestazioni anziché sul rispetto di una norma. Tale approccio consente l'adozione di soluzioni più mirate, permettendo di raggiungere le prestazioni prefissate e di analizzare tutti i rischi collegati.

Per il presente elaborato, è stato scelto di integrare l'approccio prestazionale all'interno di un ambiente BIM (Building Information Modeling), al fine di analizzare le modifiche che l'applicazione delle normative determina su un progetto architettonico selezionato come caso studio. Lavorare in un ambiente BIM significa utilizzare una piattaforma digitale avanzata per creare, gestire e condividere tutte le informazioni relative a un edificio o a una struttura lungo l'intero ciclo di vita, dalla progettazione alla costruzione, fino alla gestione e manutenzione.

In un modello BIM, i professionisti coinvolti (architetti, ingegneri, costruttori, ecc.) lavorano su un modello digitale tridimensionale che integra informazioni geometriche e dati fondamentali quali materiali, costi, tempi di costruzione e caratteristiche tecniche. Questo approccio facilita la collaborazione, riduce gli errori e ottimizza l'efficienza progettuale, rendendo il BIM uno strumento ideale per integrare analisi avanzate come quelle legate alla sicurezza antincendio.

Per implementare l'approccio prestazionale, è fondamentale definire un KPI (Key Performance Indicator), un indicatore che consente di monitorare le prestazioni dell'edificio in relazione alla sicurezza antincendio. Nel caso specifico, il KPI adottato è rappresentato dalla differenza tra il tempo disponibile per l'evacuazione (ASET, Available Safe Egress Time) e il tempo richiesto per

l'evacuazione sicura degli occupanti (RSET, Required Safe Egress Time). Questo indicatore permette di valutare l'efficacia delle misure progettuali adottate e di individuare eventuali criticità.

L'obiettivo finale di questo elaborato è quello di andare a confrontare la compartimentazione, studiata nel capitolo S.3 del D.M. 03/08/2015 e l'esodo del piano terra, confrontata nel capitolo S.4 del D.M. 03/08/2015, analizzando i possibili vantaggi e svantaggi derivanti dall'adozione delle due soluzioni.

3 STATO DELL'ARTE

3.1 Normative di riferimento

Nel presente elaborato vengono considerate due normative per la progettazione antincendio:

- Decreto Ministeriale del 3 agosto 2015, noto come Codice Prevenzione Incendio;
- Normativa americana NFPA 101 – Life Safety Code (National Fire Protection Association).

Il Decreto Ministeriale del 3 agosto 2015, noto come Codice Prevenzione Incendi, è stato redatto dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, prendendo spunto dalle normative internazionali, con l'obiettivo di realizzare un decreto applicabile per una progettazione antincendio uniforme.

La normativa americana NFPA 101 – Life Safety Code (National Fire Protection Association) ha come obiettivo fornire i requisiti minimi per la sicurezza e la salvaguardia della vita umana. Da questa normativa vengono considerati alcuni scenari di progetto per realizzare le simulazioni di esodo.

3.1.1 Codice Prevenzione Incendi – DM 03/08/2015 [2]

Il D.M. del 03/08/2015 è uno strumento che si pone lo scopo di raggiungere la sicurezza antincendio attraverso scelte progettuali.

La normativa è divisa in quattro macro-argomenti:

- Sezione G: generalità;
- Sezione S: strategia antincendio;
- Sezione V: regole tecniche verticali;
- Sezione M: metodi.

La prima sezione è divisa in tre capitoli in cui vengono riportati le definizioni generali e le prime indicazioni da adottare per collocare gli edifici nei profili di rischio vita.

La seconda sezione (Regole Tecniche Orizzontali – RTO) è divisa in dieci capitoli in cui vengono riportate le misure antincendio da andare a adottare per ridurre i possibili rischi che ne possano conseguire. Troviamo dei livelli dove dovranno essere applicate le dovute precauzioni.

Il terzo capitolo (Regole Tecniche Verticali – RTV) indica le disposizioni minime da usare per le varie destinazioni d'uso degli edifici.

L'ultima parte descrive le metodologie di progettazione antincendio prestazionali. Divisa in tre capitoli, si riporta la procedura di identificazione, selezione e quantificazione degli scenari di incendio di progetto delineando il metodo prestazionale e gli obiettivi della sicurezza antincendio per la salvaguardia della vita umana (Fire Safety Engineering – FSE).

3.1.2 *Life Safety Code – NFPA 101 [3]*

L'obiettivo del codice è quello di garantire la sicurezza della vita durante un incendio. Di questa normativa useremo il capitolo 5.5.3 “*Required Design Fire Scenarios*” dove vengono definiti otto scenari di incendio predefiniti. Di seguito, verranno riportati le descrizioni:

- SCENARIO 1: Questo scenario descrive un incendio che si sviluppa durante una fase normale dell'attività. Nella definizione delle condizioni rappresentative dovranno essere prese in considerazione specificamente: le attività, il numero e la posizione delle persone presenti; le caratteristiche geometriche dei locali; il tipo e la quantità di mobilio, dei rivestimenti e del materiale contenuto nell'ambiente; le proprietà del combustibile presente e le fonti di innesco; le condizioni di ventilazione. Occorre, inoltre, occorre definire il primo oggetto ad essere incendiato e la sua posizione;
- SCENARIO 2: Questo scenario descrive un incendio che si sviluppa con la combustione di un materiale con curva di crescita ultraveloce, ubicato nella via di esodo più importante. Le porte interne all'inizio dell'incendio sono aperte. In particolare, questo scenario deve riguardare la simulazione dell'incendio con specifica attenzione ai problemi di esodo delle persone. Infatti, a causa dell'ipotetico incendio avente una rapida propagazione, occorre prestare particolare attenzione alla riduzione del numero di vie di esodo disponibili,

valutando la disponibilità ed efficacia dei sistemi di esodo alternativi e le conseguenze dell'incendio sui beni da proteggere, sulle finiture interne e sui componenti strutturali;

- SCENARIO 3: In questo caso si descrive un incendio che ha inizio in un locale in cui normalmente non sono presenti persone ma che, per la sua posizione, può mettere in pericolo un grande numero di individui presenti in un altro locale dell'edificio. L'incendio, nel presente scenario, migrerà verso l'ambiente potenzialmente più affollato dell'edificio;
- SCENARIO 4: Questo scenario prevede un incendio con origine in una intercapedine o in un controsoffitto adiacente ad un locale di grande dimensione e in cui sono presenti persone. Si ipotizzerà che l'intercapedine o il controsoffitto non siano protetti né da un sistema di rilevazione, né da uno di soppressione e che l'incendio si propagherà nell'ambiente, all'interno dell'edificio, con il maggiore indice potenziale di affollamento;
- SCENARIO 5: Questo scenario prevede l'incendio di un materiale con curva di crescita lenta, rallentato dai sistemi di protezione attiva, in adiacenza ad una zona con affollamento. Questo scenario riguarda la simulazione di un incendio che si attiva da un innesco relativamente piccolo ma che sviluppa un incendio rilevante;
- SCENARIO 6: Questo scenario prevede un incendio intenso, conseguenza del maggior carico di incendio possibile nelle normali operazioni svolte nell'edificio. Esso si riferisce ad una crescita rapida in presenza di persone;
- SCENARIO 7: Questo scenario prevede l'esposizione ad un incendio esterno, la cui combustione inizia in una zona esterna all'area interessata dalla valutazione e che in seguito la raggiunge e si propaga al suo interno rendendo le condizioni al suo interno non sostenibili oppure ne blocca le vie di esodo;
- SCENARIO 8: Questo scenario, infine, descrive un incendio generato da combustibili ordinari oppure che si sviluppa in un'area o stanza con sistemi di protezione (attivi o passivi) messi uno alla volta fuori uso. Questo scenario valuta l'evoluzione dell'incendio in relazione ai singoli sistemi di protezione o prodotti, considerati singolarmente non affidabili o non disponibili.

4 METODOLOGIA

La prevenzione degli incendi si basa su argomenti tecnici e scientifici, con l'obiettivo di ridurre la probabilità di innesco degli incendi e di evitare che la loro propagazione possa causare danni gravi. L'aspetto fondamentale resta sempre la salvaguardia della vita umana, la tutela dei beni e dell'ambiente.

L'ambito di riferimento di questo elaborato è la Life Safety, che ha come obiettivo la salvaguardia della vita delle persone in fase pre-flashover.

Dopo la realizzazione del progetto in Revit, vengono svolti due lavori in parallelo. In primo luogo, vengono utilizzate le soluzioni conformi al D.M. 03/08/2015, seguendo tutti i passaggi previsti dal decreto ministeriale. Vengono esaminati tutti i punti delle RTO, apportando modifiche laddove necessario. Successivamente, vengono applicate le RTV relative all'ufficio. Seguendo il D.M., si ottiene un edificio conforme alla normativa.

Successivamente, vengono attuate le soluzioni alternative tramite simulazioni di esodo e di incendio. Le simulazioni di esodo vengono svolte tramite il software JuPedSim, che consente di visualizzare il tempo del RSET. Per le simulazioni d'incendio, si utilizza il software FDS, che permette di ottenere il tempo dell'ASET. Se i risultati sono conformi, si procede al confronto.

La metodologia è schematizzata nella figura 1.

Alla fine, si effettuerà il confronto tra i due metodi, evidenziando eventuali punti di forza e debolezza derivanti dall'applicazione di una o dell'altra soluzione.

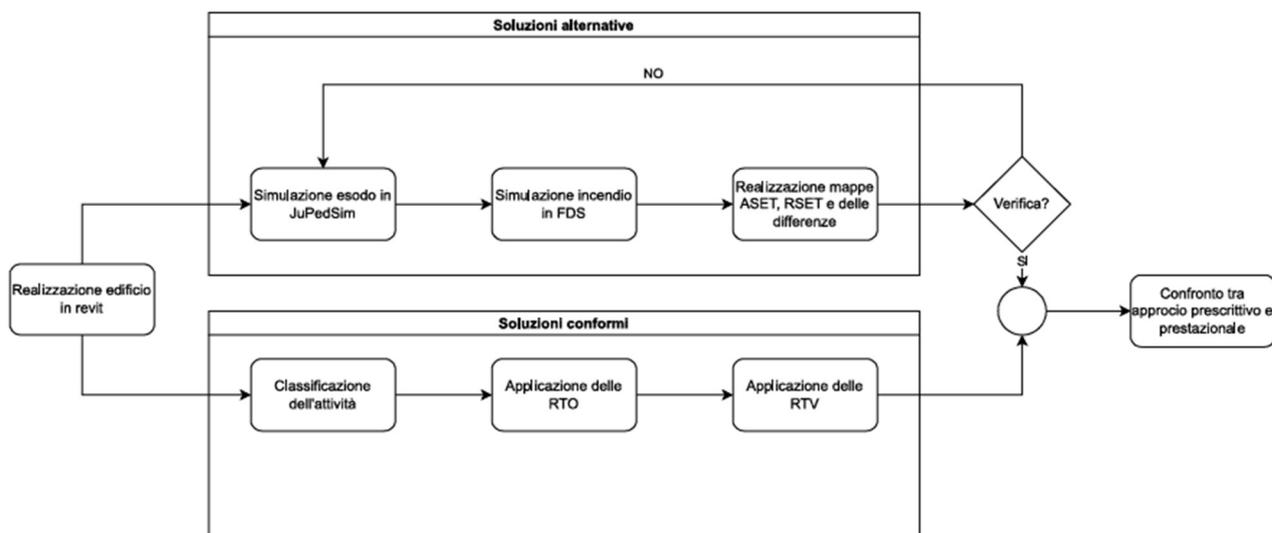


Figura 1: Mappa metodologia

4.1 Ambito della tesi

Il codice di prevenzione incendi adotta delle scelte per garantire la Life Safety e la Structural Safety. La prima consiste nella salvaguardia della vita umana e si pone nella fase pre-flashover, mentre la seconda studia il comportamento strutturale nella fase post-flashover. L'ambito della tesi riguarda solo la Life Safety.

La Life Safety consiste nell'andare a salvaguardare la vita umana durante un incendio. Questa può essere garantita applicando le soluzioni conformi o alternative. Per quanto riguarda le soluzioni alternative è stato definito in maniera quantitativa l'obiettivo da garantire. Quest'ultimo è stato tradotto in un KPI (Key Performance Indicator). Dal codice di prevenzione è stato individuato al capitolo M.3.2.2 il margine di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita t_{marg} dipendente da ASET ed RSET:

- ASET, tempo disponibile per l'esodo (available safe escape time);
- RSET, tempo richiesto per l'esodo (required safe escape time).

Il t_{marg} è dato dalla differenza tra ASET ed RSET. Si considera efficace il sistema d'esodo se $\text{ASET} > \text{RSET}$, se cioè il tempo in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti è superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro, non soggetto a

tali condizioni ambientali sfavorevoli dovute all'incendio. La figura 2 mostra un esempio di come funziona il tempo di ASET e di RSET.

La soglia del KPI è stata impostata a 30 secondi, che corrisponde al tempo minimo impostato nel Codice di Prevenzione Incendi.



Figura 2: esempio con I tempi di ASET e RSET

4.2 Utilizzo di software BIM

Il BIM (Building Information Modelling) è il processo olistico di creazione e gestione delle informazioni relative a una costruzione. Basato su un modello intelligente e supportato da una piattaforma cloud, il BIM integra dati strutturati multidisciplinari per creare una rappresentazione digitale di un asset durante tutto il suo ciclo di vita, dalla pianificazione e dalla progettazione alla costruzione e alla messa in funzione. [6]

Revit è un software che consente di lavorare in un ambiente BIM. Infatti, permette di gestire le varie fasi di costruzione di un edificio, collaborare con più persone aventi ruoli differenti e realizzare analisi strutturali, termiche, impiantistiche, ecc.

Nel presente elaborato è stato utilizzato questo software per realizzare l'edificio tridimensionale e per attribuire proprietà e parametri ai vari componenti, al fine di eseguire le successive analisi.

Un programma associato a Revit è il software Dynamo, che offre la possibilità di eseguire diverse azioni: richiamare gli elementi modellati in Revit, con l'eventualità di estrarre le informazioni e i dati relativi, costruire nuove geometrie complesse su richiesta, interrogare i vari elementi, oppure importare ed esportare file in diversi formati.

Nel caso specifico, Dynamo è stato utilizzato per estrarre dal modello dell'edificio tutte le informazioni necessarie come input per i simulatori.

4.3 Strumenti utilizzati

4.3.1 Simulatore per l'esodo

Per l'evacuazione degli occupanti è stato utilizzato il software Julich Pedestrian Simulator (JuPedSim) che è un framework open source per la simulazione, l'analisi e la visualizzazione delle dinamiche pedonali.

Con questo strumento si potrà capire come funziona il flusso degli occupanti per evacuare un edificio qualsiasi, studiare il traffico pendolare, ecc... .

È necessario introdurre una variabilità di criteri come la posizione iniziali degli occupanti, la loro velocità e i tempi di pre-movimento.

4.3.2 Simulazione per l'innesco dell'incendio

Il software di simulazione dell'incendio utilizzato in questo elaborato di tesi si chiama Fire Dynamics Simulator (FDS). FDS è stato sviluppato dalla Fire Research Division presso il Building and Fire Research Laboratory (BFRL) del National Institute of Standards and Technology (NIST).

Nella simulazione, verranno inseriti alcuni parametri. Il primo è la scelta della dimensione dei volumi elementari per prevedere lo sviluppo dell'incendio.

Importante anche la scelta della dimensione e del materiale che verranno definiti come focolaio d'incendio. Possiamo passare da combustibili che producono tanto fumo, ad altri che avranno una combustione lenta, ecc... .

Si va inserire la geometria con i materiali presenti e le loro caratteristiche termiche e meccaniche.

4.4 Rappresentazione delle mappe e importazione in ambiente BIM

I risultati delle simulazioni dell'incendio e dell'evacuazione sono stati riportati in maniera grafica su delle mappe. In queste mappe si osservano i tempi di ASET, RSET e la differenza tra le due. Dalla mappa delle differenze si potrà notare se gli occupanti riescano ad evacuare dall'edificio nei tempi stabiliti dal KPI.

Per ottenere queste mappe, è stata eseguita una metodologia sviluppata precedentemente, ottenendo le mappe tramite degli script di Python.

La mappa di ASET viene estratta considerando due parametri: la temperatura e il coefficiente di estinzione della luce. Lo script ottenuto dalla mappa di ASET converte le slices fornite da FDS.

La mappa di RSET lavora considerando le traiettorie degli occupanti. Lo script per realizzare le mappe di RSET si divide in due parti: la prima parte processa i risultati importati dalle traiettorie degli occupanti per ogni singolo caso impostato, mentre la seconda parte porta a creare la mappa finale di RSET, interpolando il caso peggiore proveniente da ogni simulazione. [4] [5]

5 *APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA AD UN CASO STUDIO*

La metodologia proposta è stata poi applicata su un caso studio.

Il procedimento che è stato utilizzato sarà il seguente:

- Il primo step consiste nello studiare il D.M. 03/08/2015 per l'applicazione delle soluzioni conformi al caso di studio;
- Il secondo step consiste nell'andare a realizzare l'edificio su Julich Pedestrian Simulator (JuPedSim). Verranno scritte le misure dell'edificio in un codice che sarà lanciato con il terminale Microsoft PowerShell;
- Il terzo step consiste nell'estrapolare le informazioni e i dati necessari dal modello BIM tramite il software Dynamo;
- Dopo aver estrapolato i dati su Dynamo, si andrà a completare il codice per la simulazione di Fire Dynamics Simulator (FDS);
- Verranno analizzati i dati ottenuti per ottenere le mappe di ASET, RSET e delle differenze;
- Confronto tra soluzioni alternative e soluzioni conformi.

Per quanto riguarda le soluzioni alternative, questo procedimento verrà realizzato più volte fino ad ottenere dei risultati che rispettano il KPI che avevamo impostato all'inizio.

5.1 Individuazione di un caso studio

L'edificio in questione è composto da cinque piani fuori terra con destinazione d'uso per uffici.

La figura 3 mostra il modello tridimensionale del caso studio.

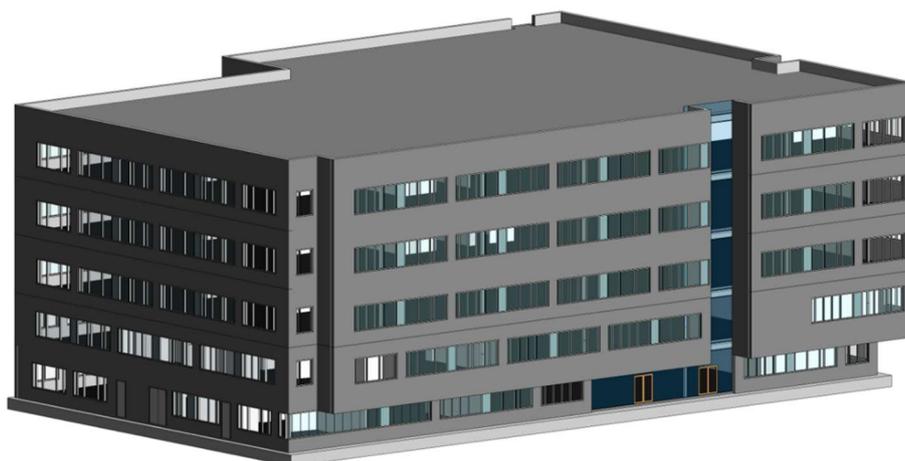


Figura 3: vista tridimensionale del caso studio

La geometria dell'edificio è descritta nel minimo dettaglio. Sono definiti i materiali, le stratigrafie, gli infissi, ecc... . Inoltre, abbiamo assegnato anche la destinazione d'uso dei vari spazi interni.

La figura 4 mostra la mappa del piano terra del caso studio.



Figura 4: mappa del piano terra del caso studio

5.2 Realizzazione della pianta per l'esodo con JuPedSim [1]

Il primo passo consiste nell'andare a realizzare il codice per avviare la simulazione su JuPedSim.

Ogni stanza deve essere identificata con un ID e con una descrizione (facoltativa). Si dovrà considerare che una stanza contenga almeno una sotto-stanza.

Ogni sotto-stanza viene identificata da tre attributi, riportati nella figura 5:

- ID: è parametro obbligatorio, richiamato anche da incroci e transizioni;
- Class: è un parametro opzionale che definisce il tipo di sotto stanza;
- Polygon: descrive le pareti come una sequenza di due vertici.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<geometry version="0.9.6" caption="corner" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" unit="m">
  <rooms>
    <room id="0" caption="compartiment one">
      <subroom id="1" caption="ufficio 1">
        <polygon caption="wall">
          <vertex px="18.4" py="15.25"/>
          <vertex px="18.3" py="15.25"/>
        </polygon>
        <polygon caption="wall">
          <vertex px="18.4" py="15.25"/>
          <vertex px="18.4" py="15.4"/>
        </polygon>
        <polygon caption="wall">
          <vertex px="18.4" py="15.4"/>
          <vertex px="22.4" py="15.4"/>
        </polygon>
        <polygon caption="wall">
          <vertex px="22.4" py="15.4"/>
          <vertex px="22.4" py="10.1"/>
        </polygon>
        <polygon caption="wall">
          <vertex px="22.4" py="10.1"/>
          <vertex px="18.4" py="10.1"/>
        </polygon>
        <polygon caption="wall">
          <vertex px="18.4" py="10.1"/>
          <vertex px="18.4" py="14.25"/>
        </polygon>
        <polygon caption="wall">
          <vertex px="18.4" py="14.25"/>
          <vertex px="18.3" py="14.25"/>
        </polygon>
      </subroom>
    </room>
  </rooms>
</geometry>
```

Figura 5: screenshot di un estratto di listato per il software JuPedSim

All'interno delle sotto-stanze è possibile introdurre gli ostacoli, che possono rendere più realistica la simulazione ma al tempo stesso appesantirla. Tuttavia, gli ostacoli introdotti nella geometria non devono intersecarsi con altri elementi geometrici, ad esempio muri, incroci o transizioni. Nel caso studio verranno inseriti come ostacoli pilastri e/o muri, come illustrato nella figura 6.

```

<obstacle id="18" caption="column" height="3.5">
  <polygon>
    <vertex px="0.5" py="26.3" />
    <vertex px="0.16" py="26.3" />
  </polygon>
  <polygon>
    <vertex px="0.16" py="26.3" />
    <vertex px="0.16" py="26.46" />
  </polygon>
  <polygon>
    <vertex px="0.16" py="26.46" />
    <vertex px="0.5" py="26.46" />
  </polygon>
  <polygon>
    <vertex px="0.5" py="26.46" />
    <vertex px="0.5" py="26.3" />
  </polygon>
</obstacle>
<obstacle id="28" caption="wall" height="3.5">
  <polygon>
    <vertex px="10.9" py="7.3" />
    <vertex px="10.9" py="13.15" />
  </polygon>
  <polygon>
    <vertex px="10.9" py="13.15" />
    <vertex px="11.0" py="13.15" />
  </polygon>
  <polygon>
    <vertex px="11.0" py="13.15" />
    <vertex px="11.0" py="6.9" />
  </polygon>
  <polygon>
    <vertex px="11.0" py="6.9" />
    <vertex px="7.2" py="6.9" />
  </polygon>
  <polygon>
    <vertex px="7.2" py="6.9" />
    <vertex px="7.2" py="7.3" />
  </polygon>
  <polygon>
    <vertex px="7.2" py="7.3" />
    <vertex px="10.9" py="7.3" />
  </polygon>
</obstacle>

```

Figura 6: screenshot di un estratto di listato per il software JuPedSim

Gli incroci definiscono il collegamento tra due sotto ambienti all'interno dello stesso locale, che a differenza delle transizioni, sono sempre aperti. Sono costituiti dai seguenti attributi, riportando un esempio nella figura 7:

- ID: identificatore univoco obbligatorio per questo incrocio;
- subroom1_id: la prima sotto stanza;
- subroom2_id: la seconda sotto stanza che condivide questa transizione. L'ordine non è importante;
- vertex: definisce due punti finali della transizione.

```

<crossings>
  <crossing id="0" subroom1_id="1" subroom2_id="10">
    <vertex px="18.3" py="15.25"/>
    <vertex px="18.3" py="14.25"/>
  </crossing>
  <crossing id="1" subroom1_id="2" subroom2_id="10">
    <vertex px="22.35" py="17.6"/>
    <vertex px="21.35" py="17.6"/>
  </crossing>
  <crossing id="2" subroom1_id="3" subroom2_id="10">
    <vertex px="19.45" py="17.6"/>
    <vertex px="18.45" py="17.6"/>
  </crossing>
  <crossing id="3" subroom1_id="4" subroom2_id="10">
    <vertex px="34.2" py="15.6"/>
    <vertex px="33.2" py="15.6"/>
  </crossing>
  <crossing id="4" subroom1_id="5" subroom2_id="10">
    <vertex px="34.7" py="16.8"/>
    <vertex px="34.7" py="15.8"/>
  </crossing>
  <crossing id="5" subroom1_id="6" subroom2_id="10">
    <vertex px="32.7" py="19.5"/>
    <vertex px="33.7" py="19.5"/>
  </crossing>

```

Figura 7: screenshot di un estratto di listato per il software JuPedSim

La transizione, invece, definisce la connessione tra due stanze ed è fondamentalemente una porta, che, può essere chiusa o aperta. Sono costituite dai seguenti attributi, riportati nella figura 8:

- ID: identificatore univoco obbligatorio;
- Caption: facoltativo, utilizzato nella visualizzazione;
- Type: è facoltativo;
- room1_id: è la prima stanza che condivide questa transizione. L'ordine non è importante;
- subroom1_id: è il primo sotto ambiente condividere questa transizione situato in room_1;
- room2_id: è la seconda stanza che condivide questa transizione. L'ordine non è importante e se non c'è una seconda stanza (il che significa che questa transizione è collegata all'esterno) si usa -1;
- subroom2_id: è il secondo subroom che condivide questa transizione situato in room_2. L'ordine non è importante e se non c'è un secondo sotto ambiente (il che significa che questa transizione è collegata all'esterno), allora, si usa -1;
- vertex: definisce due punti finali.

```

<transitions>
  <transition id="0" caption="exit" type="emergency" room1_id="0" subroom1_id="10" room2_id="-1" subroom2_id="-1">
    <vertex px="52.5" py="19.0"/>
    <vertex px="52.5" py="18.0"/>
  </transition>
  <transition id="1" caption="exit" type="emergency" room1_id="1" subroom1_id="15" room2_id="-1" subroom2_id="-1">
    <vertex px="13.6" py="36.7"/>
    <vertex px="15.3" py="36.7"/>
  </transition>
  <transition id="2" caption="exit" type="emergency" room1_id="1" subroom1_id="15" room2_id="-1" subroom2_id="-1">
    <vertex px="20.3" py="36.7"/>
    <vertex px="22.0" py="36.7"/>
  </transition>
  <transition id="3" caption="exit" type="emergency" room1_id="0" subroom1_id="11" room2_id="-1" subroom2_id="-1">
    <vertex px="52.5" py="23.6"/>
    <vertex px="52.5" py="21.6"/>
  </transition>
  <transition id="4" caption="exit" type="emergency" room1_id="0" subroom1_id="10" room2_id="1" subroom2_id="19">
    <vertex px="10.3" py="19.5"/>
    <vertex px="13.9" py="19.5"/>
  </transition>
</transitions>

```

Figura 8: screenshot di un estratto di listato per il software JuPedSim

Per avviare una simulazione di esodo, il software JuPedSim richiede la redazione di un secondo listato, il quale è composto da diversi attributi. I più importanti sono: tempo massimo di simulazione, geometria, input di traiettoria, distribuzione degli agenti e modelli operativi. Al termine della simulazione, il software esprime il tempo RSET espresso in secondi, ovvero, il tempo richiesto per l'esodo in sicurezza ed il tempo esecutivo per la realizzazione della simulazione. Di seguito, nella figura 9, è presente un esempio.

```

<agents operational_model_id="1">
  <agents_distribution>
    <group group_id="1" agent_parameter_id="1" room_id="0" subroom_id="1" number="9" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="1" room_id="0" subroom_id="2" number="2" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="2" room_id="0" subroom_id="3" number="2" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="1" room_id="0" subroom_id="4" number="11" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="1" room_id="0" subroom_id="5" number="75" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="1" room_id="0" subroom_id="6" number="7" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="1" room_id="0" subroom_id="7" number="12" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="3" room_id="0" subroom_id="8" number="12" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="3" room_id="0" subroom_id="9" number="206" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="3" room_id="0" subroom_id="10" number="81" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="3" room_id="0" subroom_id="11" number="4" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="3" room_id="0" subroom_id="12" number="21" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="3" room_id="0" subroom_id="13" number="16" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="3" room_id="1" subroom_id="15" number="129" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="3" room_id="1" subroom_id="19" number="11" goal_id="-1" router_id="1" />
    <group group_id="1" agent_parameter_id="3" room_id="2" subroom_id="16" number="68" goal_id="-1" router_id="1" />
  </agents_distribution>
</agents>
<operational_models>
  <model operational_model_id="1" description="gcfm">
    <model_parameters>
      <stepsize>0.001</stepsize>
      <linkedcells enabled="true" cell_size="0.25" />
      <force_ped nu="0.6" dist_max="3" disteff_max="0.25" interpolation_width="0.1" />
      <force_wall nu="0.1" dist_max="1" disteff_max="0.25" interpolation_width="0.1" />
      <exit_crossing_strategy>8</exit_crossing_strategy>
      <delta_h>0.0625</delta_h>
      <wall_avoid_distance>0.8</wall_avoid_distance>
      <use_wall_avoidance>true</use_wall_avoidance>
    </model_parameters>
    <agent_parameters agent_parameter_id="1">
      <v0 mu="1.2" sigma="0.0" />
      <bmax mu="0.25" sigma="0.001" />
      <bmin mu="0.20" sigma="0.001" />
      <amin mu="0.18" sigma="0.001" />
      <tau mu="0.5" sigma="0.001" />
      <atau mu="0.5" sigma="0.001" />
    </agent_parameters>
  </model>
</operational_models>

```

Figura 9: screenshot di un estratto di listato per il software JuPedSim

Al termine del listato, si può visualizzare nel software JuPedSim la geometria appena creata.

Al termine della simulazione di esodo, JuPedSim rilascia un file .txt contenente le traiettorie dei pedoni, il quale è contenuto all'interno della cartella results.

5.3 Realizzazione della pianta per l'incendio con FDS [1]

Da Dynamo verranno estratte le informazioni e i dati necessari dal modello BIM per effettuare le successive simulazioni. Da Dynamo si procederà all'esportazione delle informazioni raccolte. Esse verranno inserite in un file Excel.

Nella prima riga troviamo la namelist &HEAD per assegnare un nome al file (figura 10).

```
&HEAD CHID= 'Trapelo', TITLE= 'PT_COMPARTIMENTO' /
```

Figura 10: screenshot di un estratto di listato per il software FDS

Successivamente, si definiranno le coordinate dell'intero edificio per svolgere la simulazione. La namelist prende il nome di &MESH. Dopo si procede a dividere l'edificio in parti uguali di volumi con dei parallelepipedi il cui numero e dimensione dipenderà dalla risoluzione che vogliamo adottare, come indicato nella figura 11.

```
---FIRE MESH---
&MESH IJK= 260, 140, 40, XB= -13.50, 39.5, -26, 12.1, -0.17, 4 / 10 cm
```

Figura 11: screenshot di un estratto di listato per il software FDS

L'ultimo aspetto della prima sezione comprende la namelist &TIME, dove si inserisce il tempo necessario affinché una squadra dei V.F. entri in azione per spegnere l'incendio (figura 12).

```
---TIME---
&TIME T END=300 /
```

Figura 12: screenshot di un estratto di listato per il software FDS

Il focolare viene descritto dalla namelist &REAC, che contiene l'ID, il combustibile e la sua formula chimica, la frazione di massa di combustibile convertita in particolato e la frazione di massa di combustibile convertita in monossido di carbonio. Nella figura 13 viene riportato il poliuretano come combustibile.


```
&SLCF PBZ=2, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE. / solaio  
&SLCF PBZ=2, QUANTITY='EXTINCTION COEFFICIENT', VECTOR=.TRUE. / solaio  
&TAIL
```

Figura 15: screenshot di un estratto di listato per il software FDS

6 CONFRONTO TRA SOLUZIONI CONFORMI E SOLUZIONI ALTERNATIVE

Di seguito viene riportata la procedura da seguire per realizzare un edificio conforme alle norme antincendio secondo il D.M. 03/08/2015 "Codice di prevenzione incendi". L'edificio in questione è adibito ad uso uffici, si sviluppa su cinque piani fuori terra, con i primi due che presentano zone aperte al pubblico. Per l'applicazione del D.M. 03/08/2015, verranno utilizzati il capitolo G.3, le norme tecniche orizzontali S e, infine, le norme tecniche verticali del capitolo V.4. Una volta applicata la procedura proposta dal Codice per le soluzioni conformi, verrà analizzata la stessa porzione dell'edificio applicando le soluzioni alternative, grazie alla realizzazione delle mappe con i valori del KPI.

6.1 *Classificazione dell'attività (Capitolo G.3 del D.M. 03/08/2015)*

6.1.1 *Determinazione del profilo di rischio R_{vita} (G.3.2 del D.M. 03/08/2015)*

Il primo passo consiste nell'andare a definire la R_{vita} del nostro edificio. Dal paragrafo G.3.2 del codice di prevenzione incendi è riportata la tabella G.3-1 che definisce le caratteristiche prevalenti degli occupanti.

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

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

Tabella G.3-1: Caratteristiche prevalenti degli occupanti del D.M. 03/08/2015

Consultando la tabella, possiamo affermare che le zone aperte al pubblico si classificano con la lettera **B**, mentre le zone non aperte al pubblico si classificano con la lettera **A**.

Dalla tabella G.3-2 si va a trovare la velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio.

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.

Tabella G.3-2: Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio del D.M. 03/08/2015

Come velocità si prende un valore pari a **2**, questo perché non sono presenti situazioni tipiche della 3 (non abbiamo presenze significative di quantità di materiali plastici impilati, prodotti tessili, ecc...)

e non si hanno neanche zone con impilamenti verticali di materiali combustibili con altezze comprese tra tre e cinque metri).

Da questi due valori, si entra in tabella G.3-3 per determinare la R_{vita} del caso studio.

Caratteristiche prevalenti degli occupanti δ_{occ}		Velocità caratteristica prevalente dell'incendio δ_a			
		1 lenta	2 media	3 rapida	4 ultra-rapida
A	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	A1	A2	A3	A4
B	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	B1	B2	B3	Non ammesso [1]
C	Gli occupanti possono essere addormentati: [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_a può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3 del paragrafo G.3.2.1.

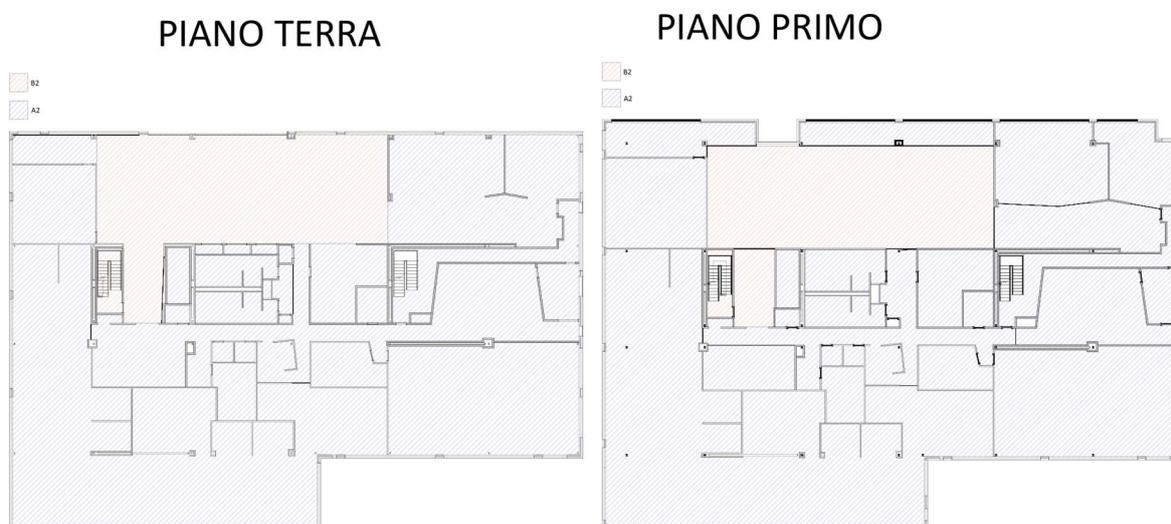
[2] Quando nel presente documento si usa il valore C1 la relativa indicazione è valida per Ci1, Cii1 e Ciii1. Se si usa C2 l'indicazione è valida per Ci2, Cii2 e Ciii2. Se si usa C3 l'indicazione è valida per Ci3, Cii3 e Ciii3.

Tabella G.3-3: Determinazione R_{vita} del D.M. 03/08/2015

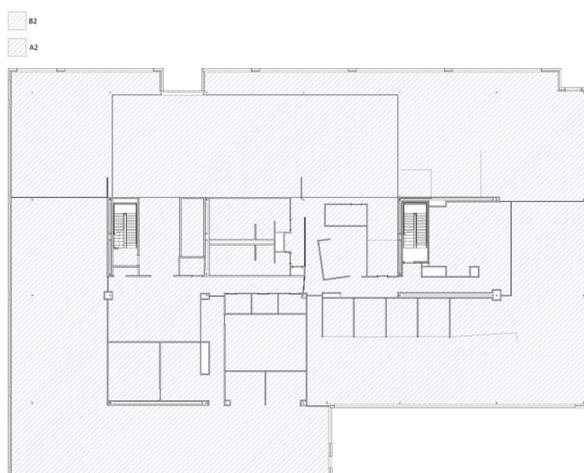
In conclusione, si afferma che:

- Per le zone dell'ufficio aperto al pubblico si avrà un R_{vita} pari a **B2**;
- Per le zone dell'ufficio chiuso al pubblico si avrà un R_{vita} pari a **A2**.

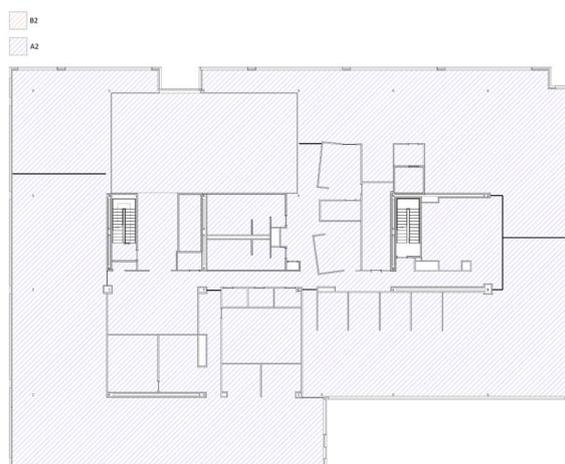
Di seguito verranno riportate le piante con le zone R_{vita} (Figura 16).



PIANO SECONDO



PIANO TERZO



PIANO QUARTO

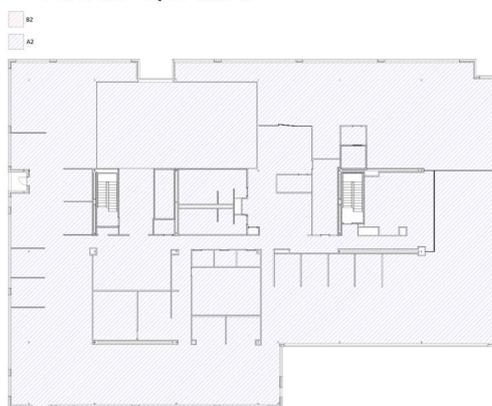


Figura 166: Mappe con indicazione delle zone R_{vita}

6.1.2 Determinazione del profilo di rischio R_{beni} (G.3.3 del D.M. 03/08/2015)

L'attribuzione del profilo di rischio R_{beni} è effettuata in funzione del carattere strategico dell'intera attività o degli ambiti che costituiscono l'attività, e dell'eventuale valore storico, culturale, architettonico o artistico delle stesse e dei beni in esse contenuti. Ai fini dell'applicazione del presente documento:

- a. una attività o un ambito si considerano vincolati per arte o storia se essi stessi o i beni in essi contenuti sono tali a norma di legge;

b. una attività o un ambito risultano strategici se sono tali a norma di legge o in considerazione di pianificazioni di soccorso pubblico e difesa civile o su indicazione del responsabile dell'attività.

La tabella G.3-5 guida il progettista nella determinazione del profilo di rischio R_{beni} .

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

Tabella G.3-5: Determinazione di R_{beni} del D.M. 03/08/2015

Nel caso studio il valore di R_{beni} sarà pari ad **1**.

6.1.3 Determinazione del profilo di rischio $R_{ambiente}$ (G.3.4 del D.M. 03/08/2015)

Il progettista valuta il profilo di rischio $R_{ambiente}$ in caso di incendio, distinguendo gli ambiti dell'attività nei quali tale profilo di rischio è significativo, da quelli ove è non significativo. La valutazione del profilo di rischio $R_{ambiente}$ deve tenere conto dell'ubicazione dell'attività, ivi compresa la presenza di ricettori sensibili nelle aree esterne, della tipologia e dei quantitativi di materiali combustibili presenti e dei prodotti della combustione da questi sviluppati in caso di incendio, delle misure di prevenzione e protezione antincendio adottate. Se non diversamente indicato nel presente documento o determinato in esito a specifica valutazione del rischio, il profilo di rischio $R_{ambiente}$ è ritenuto non significativo:

- negli ambiti protetti da impianti o sistemi automatici di completa estinzione dell'incendio (capitolo S.6) a disponibilità superiore;
- nelle attività civili (es. strutture sanitarie, scolastiche, alberghiere, ...).

Nel caso studio, trattandosi di attività civile, il profilo di rischio $R_{ambiente}$ è ritenuto non significativo.

6.2 Applicazione delle soluzioni conformi

6.2.1 Reazione al fuoco (Capitolo S.1 del D.M. 03/08/2015)

6.2.1.1 Livelli di prestazione (S.1.2 del D.M. 03/08/2015)

Il passo successivo consiste nell'andare ad individuare i livelli di prestazione dei vari ambiti dell'attività, presenti nel capitolo S.1.3 del D.M. 03/08/2015. Questo viene visualizzato nelle tabelle S.1-2 e S.1-3.

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.	

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.

Tabella S.1-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione alle vie di esodo dell'attività del D.M. 03/08/2015

Tabella S.1-3: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione ad altri locali dell'attività del D.M. 03/08/2015

Si osserva come per le zone a R_{vita} pari ad A2 si va ad utilizzare un livello di prestazione pari a I, mentre per le zone in B2 avremo:

- Un livello di prestazione pari a III per le vie di esodo;
- Un livello di prestazione pari a II per gli altri locali.

6.2.1.2 Classificazione in gruppi dei materiali (S.1.4 del D.M. 03/08/2015)

Questa suddivisione consente di poter osservare quali soluzioni progettuali si devono andare ad attuare. Nel capitolo S.1.4 del D.M. 03/08/2015 si riesce ad affermare che:

- Il livello I di prestazione non richiede l'applicazione di soluzioni progettuali;
- Il livello II di prestazione richiede l'impiego di materiali compresi nel gruppo GM3 (S.1.4.1);
- Il livello III di prestazione richiede l'impiego di materiali compresi nel gruppo GM2 (S.1.4.2).

6.2.1.3 Soluzioni progettuali (S.1.4 del D.M. 03/08/2015)

Il passo successivo consiste nell'andare ad individuare alcuni materiali che si utilizzeranno in base alle tabelle fornite dal D.M..

La prima tabella S.1-5 non verrà utilizzata perché nel nostro caso studio non avremo materiali per scenografie e tendoni per coperture. Stessa cosa anche la tabella S.1-7 che va a classificare i materiali per l'isolamento a vista o protetti con materiali speciali.

La tabella S.1-6 va a classificare in gruppi i materiali per rivestimento e completamento.

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-s1	C-s2
Partizioni interne, pareti, pareti sospese			
Rivestimenti a pavimento [1]	B-s1	C-s1	C-s2
Pavimentazioni sopraelevate (superficie calpestabile)			

[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.

[2] Si intendono tutti i materiali utilizzati nell'intero pacchetto costituente la copertura, non soltanto i materiali esposti che costituiscono l'ultimo strato esterno.

Tabella S.1-6: Classificazione in gruppi di materiali per rivestimento e completamento del D.M. 03/08/2015

Per il nostro caso studio si andrà a prendere d' esempio i controsoffitti e le partizioni interne.

Per le partizioni interne possiamo andare a mettere in opera i seguenti pannelli in cartongesso:

- Per i materiali nei gruppi GM2, sarà richiesto che il materiale sia in **B-s2,d0**, mentre per i GM3 devono rientrare in **C-s2,d0**:
 - Una soluzione è data da “GYPSOTECH FOCUS AQUA TIPO DFH2” della FASSA BORTOLO. È una lastra (Tipo DFH2 secondo EN 520) che uniscono le peculiarità delle GypsoTech FOCUS e delle AQUA, qualora sia necessario avere sia un buon comportamento in caso d'incendio, sia resistenza all'umidità. È composto da uno strato di gesso (Solfato di Calcio bi-idrato $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) con additivi specifici, incorporato fra due fogli di cartone speciale ad alta resistenza. Sottoposte ad un particolare trattamento, queste lastre combinano le caratteristiche delle lastre GypsoTech FOCUS e delle lastre AQUA. (<file:///C:/Users/federico/Downloads/527830.pdf>);
 - Un'altra soluzione è data dalla “LADURA AIR BA13” della SINIAT. È una lastra in gesso rivestito tipo D F H1 I R secondo le EN 520, di spessore 12,5 mm a bordi assottigliati, additivata con fibre di legno e fibre di vetro. Ideale per impieghi in pareti, contropareti. (file:///C:/Users/federico/Downloads/stars_ladura-air-ba13_exe.pdf).

Entrambi i materiali hanno una classificazione in **A2-s1,d0**. Di conseguenza rientrano in una categoria migliore rispetto ai minimi della normativa.

Nella tabella S.1-8 vengono riportati i materiali per gli impianti. Nel nostro caso studio non sono stati inseriti però analizziamo i requisiti minimi in vista di sviluppi futuri. Nella tabella seguente si andrà ad analizzare quali tipi di materiali minimi sono ammessi nel nostro edificio.

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, ...).

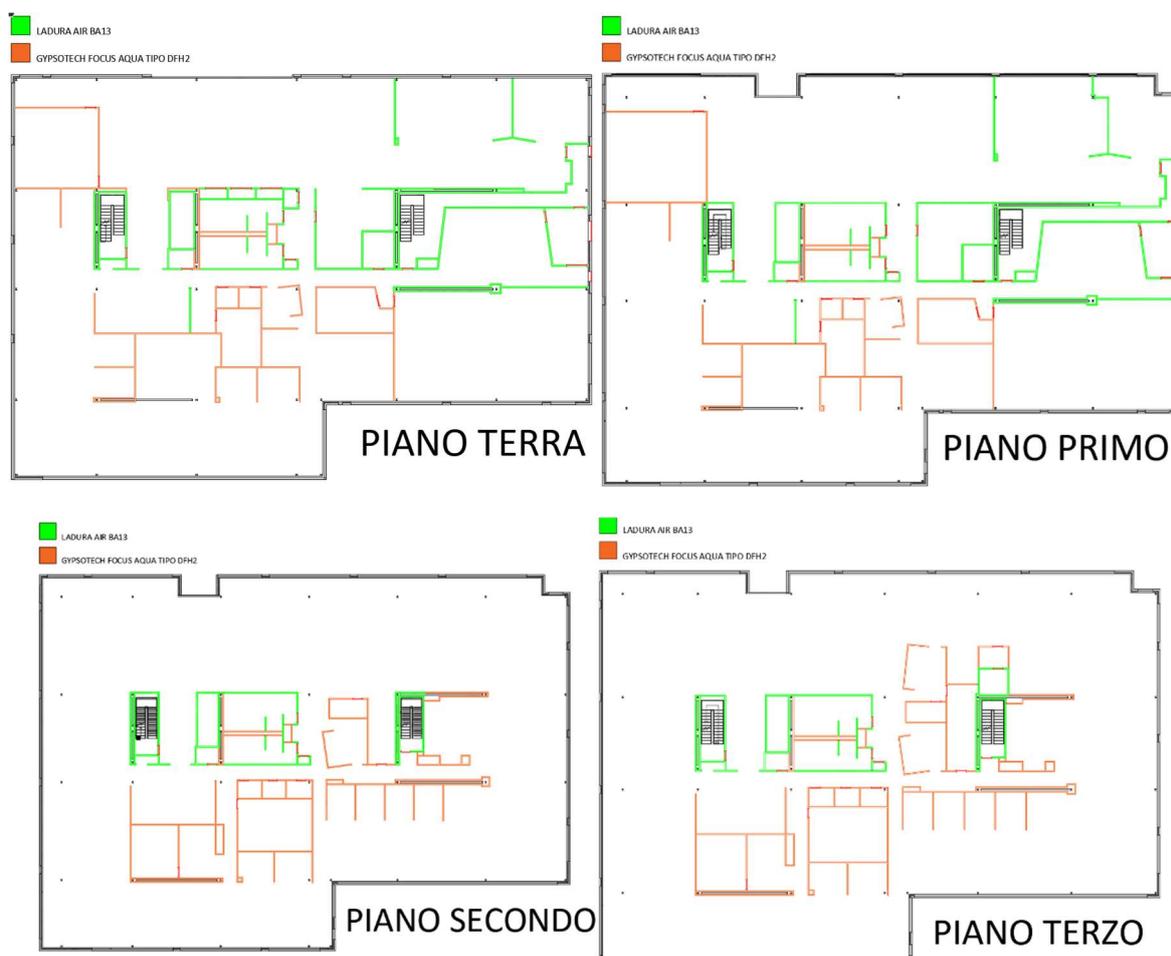
[4] La classe 0 può essere declassata a 1 in presenza di IRAI di livello di prestazione III.

[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.

Tabella S.1-8: Classificazione in gruppi di materiali per impianti del D.M. 03/08/2015

Di seguito sono riportate le piante ed una sezione con le indicazioni varie (figura 17).



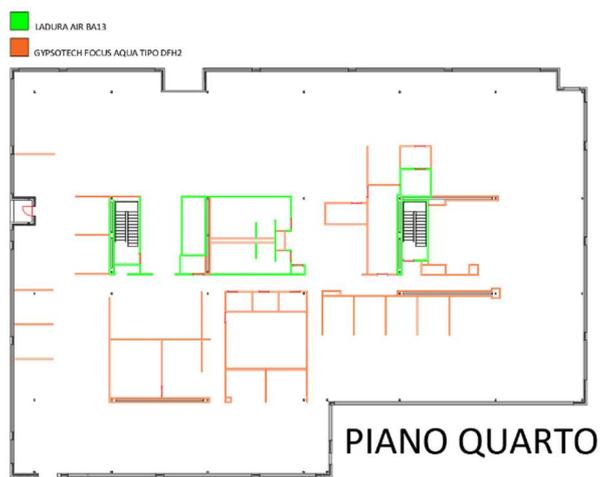


Figura 17: mappe con indicazione dei materiali per la Reazione al fuoco

6.2.2 Resistenza al fuoco (Capitolo S.2 del D.M. 03/08/2015)

6.2.2.1 Livello di prestazione (S.2.2 del D.M. 03/08/2015)

Il primo passo consiste nell'andare ad individuare il livello di prestazione. Per attribuirli, si fa riferimento alla tabella S.2-2 di seguito riportata.

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.

Tabella S.2-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione del D.M. 03/08/2015

Si può notare come:

- Per le zone a R_{vita} in A2 si usa livello pari a **III**;
- Per le zone a R_{vita} in B2 si usa livello pari a **III**;

Il livello II di prestazione non può essere considerato perché non rispetta la densità di affollamento minima.

Devono essere verificate le prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni in base agli incendi convenzionali di progetto come previsto al paragrafo S.2.5 del D.M. 03/08/2015. La classe minima di resistenza al fuoco è ricavata per compartimento in relazione al carico di incendio specifico di progetto $q_{f,d}$ come indicato in tabella S.2-3.

Attività	Valore medio [MJ/m ²]	Fratte 80% [MJ/m ²]
Civili abitazioni	780	948
Ospedali (stanza)	230	280
Alberghi (stanza)	310	377
Biblioteche	1500	1824
Uffici	<u>420</u>	<u>511</u>
Scuole	285	347
Centri commerciali	600	730
Teatri (cinema)	300	365
Trasporti (spazio pubblico)	100	122

Tabella S.2-10: Densità di carico di incendio da UNI EN 1991-1-2 del D.M. 03/08/2015

6.2.2.2 Calcolo del carico di incendio specifico di progetto $q_{f,d}$ (S.2.9 del D.M.03/08/2015)

Il passo successivo consiste nel calcolare il carico di incendio specifico di progetto $q_{f,d}$. Si possono utilizzare due metodi per calcolarlo:

- Il primo metodo consiste nell'usare una formula che ci viene fornita dal codice (S.2.9):

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

È data dalla moltiplicazione di quattro fattori, di cui i primi tre sono tabulati mentre l'ultimo è il valore nominale del carico d'incendio specifico da determinarsi in base ai materiali presenti;

- Il secondo metodo (che andremo ad utilizzare) consiste nell'andare ad usare dei valori di carico di incendio ottenuti dalla letteratura tecnica che possiamo considerare come valori medi. La tabella S.2-10 ci fornisce un valore medio per uffici e un frattile all'ottanta per cento.

Attività	Valore medio [MJ/m ²]	Frattile 80% [MJ/m ²]
Civili abitazioni	780	948
Ospedali (stanza)	230	280
Alberghi (stanza)	310	377
Biblioteche	1500	1824
Uffici	420	511
Scuole	285	347
Centri commerciali	600	730
Teatri (cinema)	300	365
Trasporti (spazio pubblico)	100	122

Tabella S.2-10: Densità di carico di incendio da UNI EN 1991-1-2 del D.M. 03/08/2015

Prenderemo il valore del frattile pari a 511 MJ/m².

6.2.2.3 Classe minima di resistenza al fuoco (S.2.4.3 del D.M.03/08/2015)

Il calcolo del carico di incendio specifico di progetto serve per trovare la classe minima di resistenza al fuoco, che servirà per dimensionare e verificare gli elementi strutturali.

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

Tabella S.2-3: Classe minima di resistenza al fuoco del D.M. 03/08/2015

Dalla tabella, si osserva che con un $q_{f,d}$ pari a 511 MJ/m², si deve andare a prendere una classe di resistenza al fuoco minima pari a **45 minuti**.

6.2.2.4 Soluzioni progettuali (S.2.15 del D.M.03/08/2015)

L'ultimo passo consiste nell'andare a valutare le soluzioni progettuali per muratura esterna, solai e struttura portante in acciaio.

Prima di procedere con la valutazione, è necessario riportare la tabella S.2-12 con tutti i simboli normativi.

Simbolo	Prestazione	Descrizione
R	Capacità portante	Capacità di un elemento strutturale di portare i carichi presenti in condizioni di incendio normalizzato, per un certo periodo di tempo
E	Tenuta	Capacità di un elemento costruttivo o strutturale di impedire il passaggio di fumi e gas caldi per un certo periodo di tempo, in condizioni di incendio normalizzate
I	Isolamento	Capacità di un elemento costruttivo o strutturale di impedire il passaggio calore di un incendio normalizzato per un certo periodo di tempo. A seconda dei limiti più o meno severi al trasferimento di calore, il requisito si specializza in I1 o I2. L'assenza di indicazione al pedice sottintende il requisito I2.
W	Irraggiamento	Capacità di un elemento costruttivo o strutturale di limitare, per un certo periodo di tempo, l'irraggiamento termico da parte della superficie non esposta in condizioni di incendio normalizzate.
M	Azione meccanica	Capacità di un elemento costruttivo o strutturale di resistere all'impatto da parte di altri elementi senza perdere i requisiti di resistenza al fuoco.
C	Dispositivo automatico di chiusura	Capacità di chiusura di un varco da parte di un elemento costruttivo in condizioni normalizzate di incendio e di sollecitazione meccanica.
S	Tenuta di fumo	Capacità di un elemento di chiusura di limitare o ridurre il passaggio di gas o fumi freddi in condizioni di prova normalizzate. Il requisito si specializza in: <ul style="list-style-type: none"> • S_i: se la tenuta al passaggio dei gas o fumi è garantita a temperatura ambiente; • S_m (o S200): se la tenuta al passaggio dei gas o fumi è garantita sia a temperatura ambiente che a 200°C.
P o PH	Continuità di corrente o capacità di segnalazione	Capacità di funzionamento di un cavo percorso da corrente o da segnale ottico in condizioni di incendio normalizzate
G	Resistenza all'incendio della fuliggine	Capacità di condotto di passaggio di fumi di resistere all'incendio di fuliggine in condizioni di incendio normalizzate, garantendo la tenuta al passaggio di gas caldi e l'isolamento termico.
K	Capacità di protezione al fuoco	Capacità di rivestimenti a parete o a soffitto di proteggere i materiali o gli elementi costruttivi o strutturali su cui sono installati dalla carbonizzazione, dall'accensione o da altro tipo di danneggiamento, per un certo periodo di tempo in condizioni di incendio normalizzate.
D	Durata della stabilità a temperatura costante	Capacità delle barriere al fumo di conservare i requisiti di resistenza al fuoco in condizioni di incendio normalizzate.
DH	Durata della stabilità lungo la curva standard tempo-temperatura	
F	Funzionalità degli evacuatori motorizzati di fumo e calore	Capacità degli evacuatori di fumo motorizzati (F) o naturali (B) di conservare i requisiti di funzionamento in condizioni di incendio normalizzate.
B	Funzionalità degli evacuatori naturali di fumo e calore	

Tabella S.2-12: Simboli del D.M. 03/08/2015

- Partiamo dalla muratura esterna. Dal modello si evince che è stata programmata una muratura in laterizio di 0,153 m. Dalla tabella S.2-40 ricaviamo le misure minime da normativa.

Classe	Blocco con percentuale di foratura > 55%		Blocco con percentuale di foratura ≤ 55%	
	Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio	Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio
EI 30	s = 120	80	100	80
EI 60	s = 150	100	120	80
EI 90	s = 180	120	150	100
EI 120	s = 200	150	180	120
EI 180	s = 250	180	200	150
EI 240	s = 300	200	250	180
EI 120-M	s = 200	200	200	-
EI 180-M	s = 250	200	200	-
EI 240-M	s = 300	200	250	-

Intonaco normale: intonaco tipo sabbia e cemento, sabbia cemento e calce, sabbia calce e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 1000 e 1400 kg/m³

Intonaco protettivo antincendio: Intonaco tipo gesso, vermiculite o argilla espansa e cemento o gesso, perlite e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 600 e 1000 kg/m³

Tabella S.2-40: Murature non portanti in blocchi di laterizio (Requisiti E, I, M) del D.M. 03/08/2015

Si osserva come si deve andare a decidere il tipo di intonaco in base alla foratura del laterizio. La misura nel modello rispetta la norma andando a adottare la situazione peggiore. L'unica cosa da scegliere è il tipo di intonaco.

- Per i solai si va a consultare la tabella S.2-45.

Classe	30		60		90		120		180		240	
	H	a	H	a	H	a	H	a	H	a	H	a
Solette piene con armatura monodirezionale o bidirezionale	80	10	120	20	120	30	160	40	200	55	240	65
Solai misti di lamiera di acciaio con riempimento di calcestruzzo [1]	80	10	120	20	120	30	160	40	200	55	240	65
Solai a travetti con alleggerimento [2]	160	15	200	30	240	35	240	45	300	60	300	75
Solai a lastra con alleggerimento [3]	160	15	200	30	240	35	240	45	300	60	300	75

I valori di a devono essere non inferiori ai minimi di regolamento per le opere di c.a. e c.a.p. In caso di armatura pre-tesa aumentare i valori di a di 15 mm. In presenza di intonaco i valori di H e a ne devono tenere conto nella seguente maniera:

- 10 mm di intonaco normale (definizione in tabella S.2-40) equivalgono ad 10 mm di calcestruzzo;
- 10 mm di intonaco protettivo antincendio (definizione in tabella S.2-40) equivalgono a 20 mm di calcestruzzo.

Per ricoprimenti di calcestruzzo superiori a 50 mm prevedere una armatura diffusa aggiuntiva che assicuri la stabilità del ricoprimento.

[1] In caso di lamiera grecata H rappresenta lo spessore medio della soletta. Il valore di a non comprende lo spessore della lamiera. La lamiera ha unicamente funzione di cassero.

[2] Deve essere sempre presente uno strato di intonaco normale di spessore ≥ 20 mm oppure uno strato di intonaco isolante di spessore ≥ 10 mm.

[3] In caso di alleggerimento in polistirene o materiali affini prevedere opportuni sfoghi delle sovrappressioni.

Tabella S.2-45: Solai (Requisito R) del D.M. 03/08/2015

Nel modello è presente un solaio in lamiera di acciaio. La normativa impone di usare uno spessore della soletta in C.A. di almeno di 120 mm e una distanza dall'asse delle armature longitudinali alla superficie esposta di almeno 20 mm. Nel modello è presente una soletta di 0,1588 m che rispetta la norma. (Nel modello manca il dettaglio della distanza dell'armatura dall'intradosso).

SEZIONE EDIFICIO

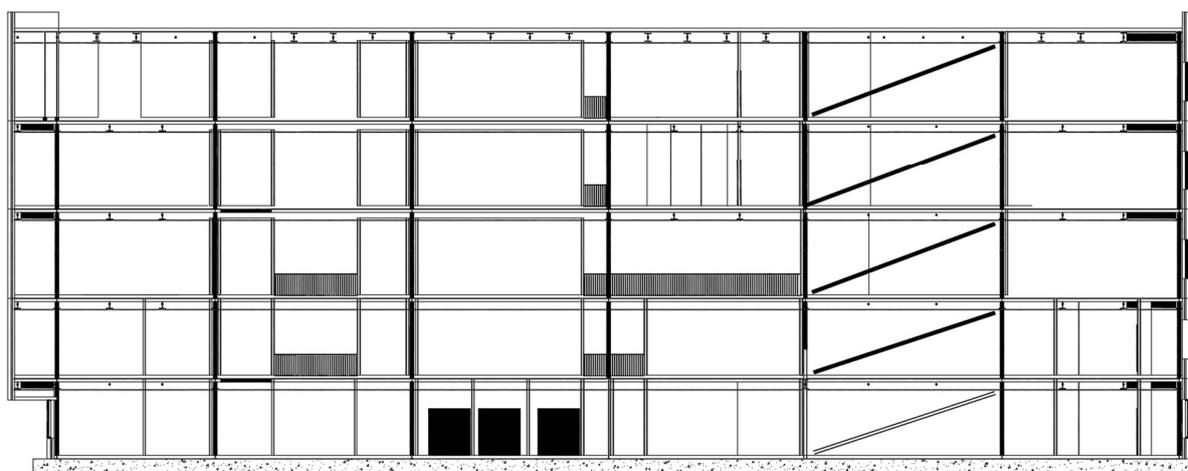


Figura 1817: sezione edificio del nostro caso studio

- L'ultima considerazione va fatta sulla struttura portante. La norma non fornisce elementi utili per le strutture intelaiate in acciaio ma rimanda a Normative Europee o Internazionali. Però è necessario prendere delle precauzioni per proteggere il materiale il più tempo possibile dall'esposizione diretta dell'incendio, perché tende a perdere le sue capacità meccaniche quando le temperature aumentano. Si trovano tre modi per proteggere gli elementi strutturali in acciaio:
 - Rivestimento con lastre in gesso;
 - Applicazione di intonaco a spruzzo;
 - Applicazione di vernice intumescente.

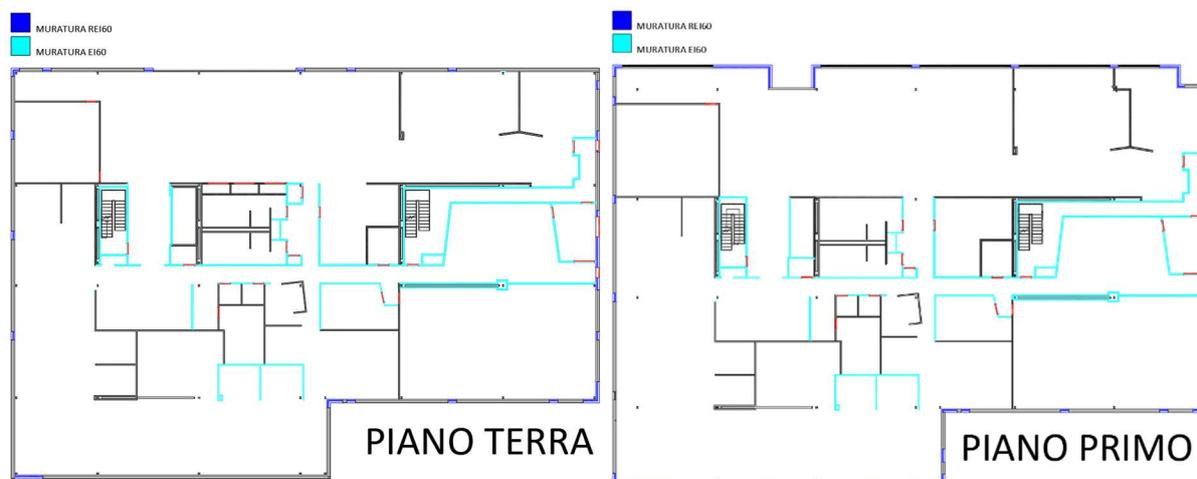
L'analisi proposta dal documento INAIL 2019 "LA RESISTENZA AL FUOCO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI" suggerisce l'applicazione dei seguenti passi:

- Il primo passo richiede di andare a calcolare il grado μ_0 di utilizzazione dell'acciaio, che è dato dal rapporto tra la sollecitazione indotta dall'azione di progetto, in caso d'incendio, ipotizzata costante nel tempo che, per una sollecitazione di flessione, viene rappresentata dal momento flettente M'_C di progetto e la resistenza di progetto in caso d'incendio calcolata per l'istante iniziale ($t = 0$), coincidente con il valore del momento flettente resistente M'_R allo stato limite ultimo di collasso,

adottando un coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_{M,fi}$ per le proprietà meccaniche dell'acciaio pari ad 1;

- Il secondo passo consiste nell'andare a calcolare la T_{cr} in corrispondenza del quale, la resistenza di progetto dell'elemento in acciaio raggiunge la sollecitazione indotta dall'azione di progetto in caso d'incendio, con la conseguenziale perdita della capacità portante, tramite un grafico in funzione del grado μ_0 di utilizzazione dell'acciaio precedentemente calcolato;
- Il terzo passo va a calcolare il fattore di sezione A/V dell'elemento strutturale non protetto, in m^{-1} , dato dal rapporto tra la superficie esposta all'incendio ed il volume dell'acciaio interessato dal flusso termico;
- Il quarto passo consiste nell'andare a verificare i dimensionamenti degli spessori dei rivestimenti precedentemente calcolati.

Di seguito sono riportate le piante ed una sezione con le indicazioni varie. I muri esterni dovranno avere tutti una classe di resistenza pari a REI60 (figura 19).



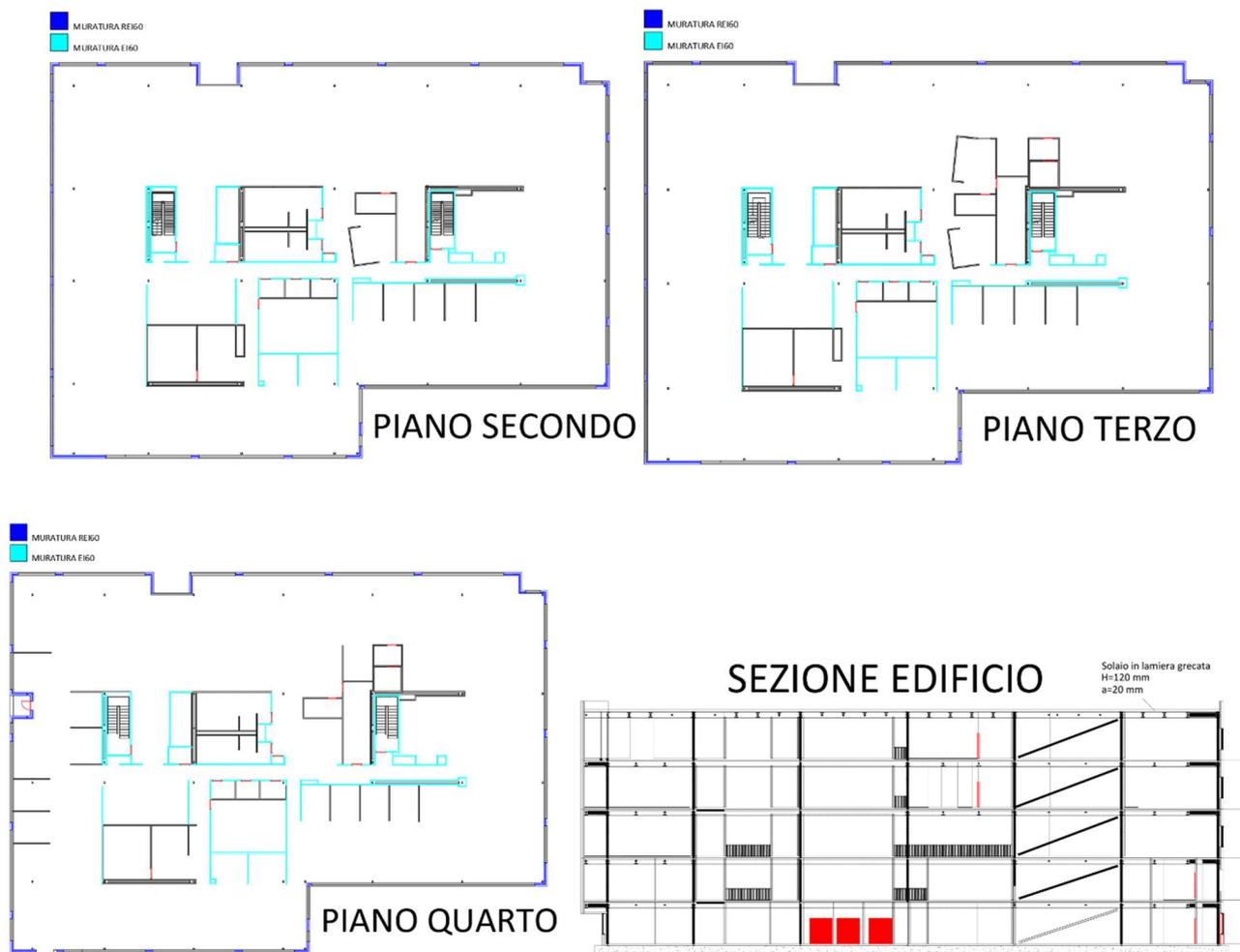


Figura 19: mappe con indicazione delle categorie per I muri e una sezione del nostro caso studio

6.2.3 Compartimentazione (Capitolo S.3 del D.M.03/08/2015)

6.2.3.1 Livelli di prestazione (S.3.2 del D.M.03/08/2015)

Il primo passo consiste nell'andare ad individuare i livelli di prestazione. La tabella S.3-2 fornisce i criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
III	<p>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, ...).</p> <p>Si può applicare in particolare ove sono presenti compartimenti con profilo di rischio R_{vita} compreso in D1, D2, Cii2, Cii3, Ciii2, Ciii3, per proteggere gli occupanti che dormono o che ricevono cure mediche.</p>

Tabella S.3-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione del D.M. 03/08/2015

Dalla tabella si afferma che nell'edificio si dovrà usare un livello **II** di prestazione. Questo perché non ci sono caratteristiche che rientrano nel livello III (poco affollamento, geometria non complessa, piani interrati, ecc...).

6.2.3.2 Soluzioni conformi per il livello di prestazione II (S.3.4.1 del D.M.03/08/2015)

Al fine di limitare la propagazione dell'incendio verso altre attività bisogna inserire le diverse attività in compartimenti antincendio distinti.

Al fine di limitare la propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività bisogna suddividere la volumetria dell'opera da costruzione contenente l'attività, in compartimenti antincendio.

L'ubicazione delle diverse attività nella stessa opera da costruzione deve essere stabilita secondo i criteri di cui al paragrafo S.3.9 del codice.

Sono ammesse comunicazioni tra le diverse attività presenti nella stessa opera da costruzione, realizzate con le limitazioni e le modalità descritte al paragrafo S.3.10 del codice.

**6.2.3.3 Progettazione dei compartimenti antincendio (S.3.6 del
D.M.03/08/2015)**

La tabella S.3-6 ci fornisce la massima superficie lorda dei compartimenti in base alla quota del compartimento. Inoltre, bisogna andare a capire come dividere i compartimenti multipiano. La tabella S.3-7 ci detta le condizioni per la realizzazione dei 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	<u>1000</u>	<u>2000</u>	<u>4000</u>	<u>8000</u>	<u>64000</u>	<u>16000</u>	<u>8000</u>	<u>4000</u>	<u>2000</u>
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	<u>[na]</u>	<u>1000</u>	<u>4000</u>	<u>8000</u>	<u>32000</u>	<u>8000</u>	<u>4000</u>	<u>2000</u>	<u>1000</u>
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

Tabella S.3-6: Massima superficie lorda dei compartimenti in m² del D.M. 03/08/2015

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 ≤ 6 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano	Nessuna
A1, A2	I piani a quota > -5 m e ≤ 12 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano (Esempio in tabella S.3-8)	Nessuna
A3, B1, B2, Cii1, Cii2, Ciii1, Ciii2		[1], [2]
B3		[3]
A1, A2	I piani a quota > 12 m e ≤ 32 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano, con massimo dislivello tra i piani inseriti ≤ 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 $q_f < 600 \text{ MJ/m}^2$, 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).		

Tabella S.3-7: Condizioni per la realizzazione di compartimenti multipiano del D.M. 03/08/2015

I compartimenti multipiano possono essere divisi in questo modo:

- Il piano terra e il primo piano rientrano in una quota ≤ 6 e la somma delle loro aree non supera quelle della tabella S.3-6. Di conseguenza non sarà necessario usare prescrizione antincendio aggiuntive e possono essere prese come unico compartimento;
- Il secondo e terzo piano, che rientrano in una quota ≤ 12 , possiamo unirli in un unico compartimento senza l'uso di prescrizioni aggiuntive.

SEZIONE EDIFICIO



Figura 20: sezione dell'edificio del nostro caso studio

Di seguito vengono riportate le piante con i compartimenti e una tabella con tutte le misure. Inoltre, tutti i compartimenti devono avere una resistenza al fuoco pari a 60.

Nelle figure 21 e 22 sono riportate le mappe del piano terra e del primo piano, con le misure dei compartimenti nella tabella 1.



Figura 21: pianta piano terra



Figura 22: pianta piano primo

Tabella 1: compartimenti del piano terra e del piano primo

NUMERO COMPARTIMENTI	AREA COMPARTIMENTI PIANO TERRA m ²	AREA COMPARTIMENTI PIANO PRIMO m ²	AREA TOTALE
COMPARTIMENTO 1	1182,30	1277,67	2459,97
COMPARTIMENTO 2	301,20	301,20	602,40
COMPARTIMENTO 3	173,40	237,00	410,40

(In rosso la zona a R_{vita} B2)

Tutte le misure rispettano le aree della tabella S.3-6.

Nelle figure 23 e 24 sono riportate le mappe del piano secondo e del terzo piano, con le misure dei compartimenti nella tabella 2.



Figura 23: pianta piano secondo



Figura 24: pianta piano terzo

Tabella 2: compartimenti del piano secondo e del piano terzo

NUMERO COMPARTIMENTI	AREA COMPARTIMENTI PIANO SECONDO m ²	AREA COMPARTIMENTI PIANO TERZO m ²	AREA TOTALE
COMPARTIMENTO 4	1858,60	1858,60	3717,20

Tutte le misure rispettano le aree della tabella S.3-6.

Nella figura 25 è riportata la mappa del piano quarto con la misura del compartimento nella tabella 3.

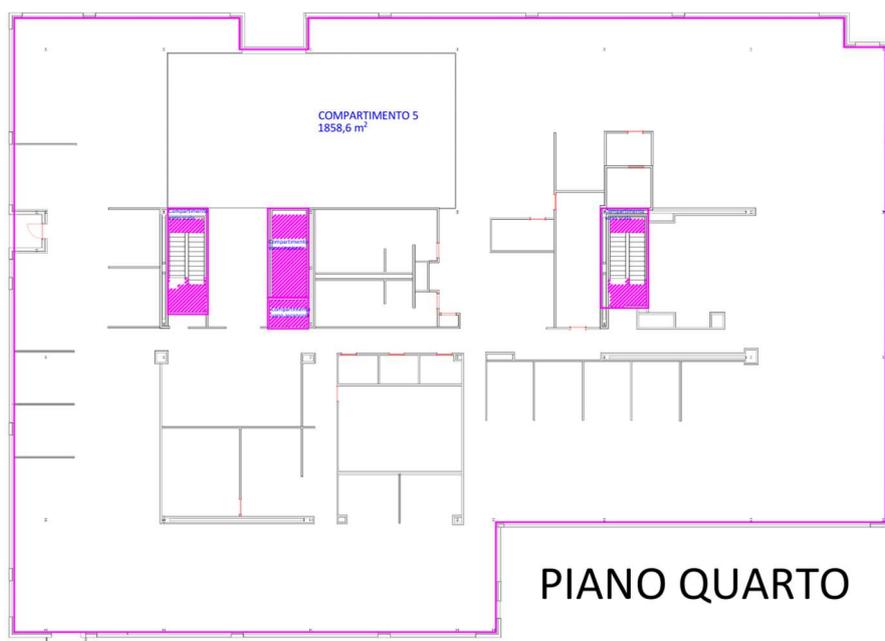


Figura 25: pianta piano quarto

Tabella 3: compartimenti del piano quarto

NUMERO COMPARTIMENTI	AREA TOTALE
COMPARTIMENTO 5	1858,60

Tutte le misure rispettano le aree della tabella S.3-6.

L'ultimo aspetto da andare a valutare riguarda la progettazione dei divisori per la realizzazione dei compartimenti. La classe di resistenza al fuoco minima di ogni compartimento è determinata secondo quanto previsto nel capitolo S.2 del D.M. 03/08/2015. Nel caso in cui il carico di incendio specifico di progetto q_f, d non imponga una classe minima di resistenza al fuoco, non è richiesto il compartimento, a meno che non sia altrimenti espressamente prescritta una classe minima di resistenza al fuoco. In caso di compartimenti adiacenti afferenti a diversi responsabili di attività, gli elementi di separazione tra tali compartimenti devono avere caratteristiche di resistenza al fuoco non inferiori a EI 60.

Classe	Blocco con percentuale di foratura > 55%		Blocco con percentuale di foratura ≤ 55%	
	Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio	Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio
EI 30	s = 120	80	100	80
EI 60	s = 150	100	120	80
EI 90	s = 180	120	150	100
EI 120	s = 200	150	180	120
EI 180	s = 250	180	200	150
EI 240	s = 300	200	250	180
EI 120-M	s = 200	200	200	-
EI 180-M	s = 250	200	200	-
EI 240-M	s = 300	200	250	-

Intonaco normale: intonaco tipo sabbia e cemento, sabbia cemento e calce, sabbia calce e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 1000 e 1400 kg/m³

Intonaco protettivo antincendio: Intonaco tipo gesso, vermiculite o argilla espansa e cemento o gesso, perlite e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 600 e 1000 kg/m³

Tabella S.2-40: Murature non portanti in blocchi di laterizio (Requisiti E, I, M) del D.M. 03/08/2015

Classe	30		60		90		120		180		240	
	H	a	H	a	H	a	H	a	H	a	H	a
Solette piene con armatura monodirezionale o bidirezionale	80	10	120	20	120	30	160	40	200	55	240	65
Solai misti di lamiera di acciaio con riempimento di calcestruzzo [1]	80	10	120	20	120	30	160	40	200	55	240	65
Solai a travetti con alleggerimento [2]	160	15	200	30	240	35	240	45	300	60	300	75
Solai a lastra con alleggerimento [3]	160	15	200	30	240	35	240	45	300	60	300	75

I valori di a devono essere non inferiori ai minimi di regolamento per le opere di c.a. e c.a.p. In caso di armatura pre-tesa aumentare i valori di a di 15 mm. In presenza di intonaco i valori di H e a ne devono tenere conto nella seguente maniera:

- 10 mm di intonaco normale (definizione in tabella S.2-40) equivalgono ad 10 mm di calcestruzzo;
- 10 mm di intonaco protettivo antincendio (definizione in tabella S.2-40) equivalgono a 20 mm di calcestruzzo.

Per ricoprimenti di calcestruzzo superiori a 50 mm prevedere una armatura diffusa aggiuntiva che assicuri la stabilità del ricoprimento.

[1] In caso di lamiera grecata H rappresenta lo spessore medio della soletta. Il valore di a non comprende lo spessore della lamiera. La lamiera ha unicamente funzione di cassero.

[2] Deve essere sempre presente uno strato di intonaco normale di spessore ≥ 20 mm oppure uno strato di intonaco isolante di spessore ≥ 10 mm.

[3] In caso di alleggerimento in polistirene o materiali affini prevedere opportuni sfoghi delle sovrappressioni.

Tabella S.2-45: Solai (Requisito R) del D.M. 03/08/2015

6.2.4 Esodo (Capitolo S.4 del D.M. 03/08/2015)

6.2.4.1 Livelli di prestazione (S.6.4.2 del D.M. 03/08/2015)

La tabella S.4-1 riporta i livelli di prestazione attribuibili agli ambiti dell'attività per la presente misura antincendio e la tabella S.4-2 riporta i criteri generalmente accettati per l'attribuzione dei singoli livelli di prestazione.

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.

Tabella S.4-1: Livelli di prestazione del D.M. 03/08/2015

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, ...)

Tabella S.4-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione del D.M. 03/08/2015

Per il nostro edificio si va a considerare un livello di prestazione **I** perché dalla tabella S.4-2 si nota che nel caso studio non ci sono criteri per attribuirlo ad un livello di prestazione più alto.

6.2.4.2 Soluzioni progettuali da applicare per il livello I (S.4.4.1 del D.M. 03/08/2015)

Il sistema d'esodo deve essere progettato iterativamente come segue:

- a. si definiscono i dati di ingresso di cui al paragrafo S.4.6 del D.M. 03/08/2015: profilo di rischio R_{vita} di riferimento ed affollamento;
- b. si assicurano i requisiti antincendio minimi del paragrafo S.4.7 del D.M. 03/08/2015;
- c. si definisce lo schema delle vie d'esodo fino a luogo sicuro e lo si dimensiona secondo le indicazioni dei paragrafi S.4.8 ed S.4.9 del D.M. 03/08/2015: numero di vie d'esodo ed uscite,

corridoi ciechi, luoghi sicuri temporanei e lunghezze d'esodo, larghezza di vie d'esodo ed uscite finali, superficie dei luoghi sicuri e degli spazi calmi,...

d. si verifica la rispondenza del sistema d'esodo alle caratteristiche di cui al paragrafo S.4.5 del D.M. 03/08/2015. Qualora la verifica non sia soddisfatta, si reitera la procedura.

Possono essere eventualmente previsti i requisiti antincendio aggiuntivi del paragrafo S.4.10 del D.M. 03/08/2015. Qualora l'attività sia svolta prevalentemente all'aperto, devono essere impiegate nella loro completezza anche le indicazioni di cui al paragrafo S.4.11 del D.M. 03/08/2015. Nel nostro caso non si applicano queste disposizioni.

Sono ammesse soluzioni alternative per tutti i livelli di prestazione. Al fine di dimostrare il raggiungimento del livello di prestazione, il progettista deve impiegare uno dei metodi del paragrafo G.2.7 del D.M. 03/08/2015. In tabella S.4-3 sono riportate alcune modalità generalmente accettate per la progettazione di soluzioni alternative. Il progettista può comunque impiegare modalità diverse da quelle elencate.

Oggetto della soluzione	Modalità progettuale
Caratteristiche del luogo sicuro (§ S.4.5.1)	Si dimostri che tali luoghi non siano investiti da effetti dell'incendio che determinano condizioni incapacitanti per gli occupanti.
Caratteristiche del luogo sicuro temporaneo (§ S.4.5.2), delle vie d'esodo (§ S.4.5.3)	Si dimostri che tali luoghi non siano investiti da effetti dell'incendio che determinano condizioni incapacitanti durante l'esodo degli occupanti.
Caratteristiche delle porte (§ S.4.5.7), numero minimo uscite indipendenti (§ S.4.8.1)	Si dimostri, anche tramite descrizione, come nella specifica attività il <i>sovraffollamento localizzato</i> alle uscite sia reso improbabile grazie a specifiche misure gestionali dell'esodo.
Disposizione dei posti a sedere (§ S.4.5.11)	Si dimostri che la diversa disposizione consenta di effettuare l'esodo in un tempo non superiore a quello di riferimento e senza ostacoli.
Numero minimo vie d'esodo indipendenti (§ S.4.8.1), corridoi ciechi (§ S.4.8.2)	Si dimostri che sia improbabile che l'esodo degli occupanti possa essere impedito dall'incendio lungo il corridoio cieco o negli ambiti collegati.
Lunghezze d'esodo (§ S.4.8.3)	Si dimostri che diverse lunghezze d'esodo consentano comunque di abbandonare il compartimento di primo innesco prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti per gli occupanti.
Larghezze minime delle vie d'esodo orizzontali (§ S.4.8.7), delle vie d'esodo verticali (§ S.4.8.8), delle uscite finali (§ S.4.8.9)	Si dimostri che diverse larghezze delle vie d'esodo siano adeguate agli occupanti che le impiegano, grazie al basso affollamento effettivo che non determina la formazione di code, per specifiche misure gestionali che rendano improbabili condizioni di <i>sovraffollamento localizzato</i> .
Tutti i casi	Si dimostri il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza per gli occupanti impiegando i metodi del capitolo M.3 e le informazioni reperibili nei riferimenti (§ S.4.12).

Tabella S.4-3: Modalità progettuali per soluzioni alternative del D.M. 03/08/2015

6.2.4.3 Procedura da applicare (S.4.4.1 del D.M. 03/08/2015)

In questo paragrafo viene applicata la procedura da seguire per il nostro edificio.

6.2.4.3.1 Dati di ingresso per affollamento (S.4.6 del D.M. 03/08/2015)

Ciascun componente del sistema d'esodo è dimensionato in funzione del più gravoso ai fini dell'esodo dei profili di rischio R_{vita} dei compartimenti serviti. L'affollamento massimo di ciascun locale è determinato moltiplicando la densità di affollamento della tabella S.4-12 per la superficie lorda del locale stesso.

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	0,2 persone/m ²
Ambiti di vendita di <i>medie</i> e <i>grandi</i> attività commerciali al dettaglio con settore alimentare o misto	
Ambiti di vendita di attività commerciali al dettaglio senza settore alimentare	
Sale di lettura di biblioteche, archivi	
Ambulatori	0,1 persone/m ²
Ambiti di vendita di attività commerciali all'ingrosso	
Ambiti di vendita di <i>piccole</i> attività commerciali al dettaglio con specifica gamma merceologica non alimentare	
Civile abitazione	0,05 persone/m ²

Tabella S.4-12: Densità di affollamento per tipologia di attività del D.M. 03/08/2015

Per il nostro edificio si prende una densità di affollamento pari a 0,4 persone/m².

Andiamo ora a valutare l'affollamento per ogni compartimento:

- Piano terra e Piano primo: nella tabella 4 viene riportato l'affollamento massimo che è presente nei primi due piani dell'edificio, che è pari, nel compartimento 1, a 473 unità nel piano terra e 511 unità nel piano primo, nel compartimento 2 saranno presenti 121 occupanti per piano e nel compartimento 3 saranno presenti 70 unità nel piano terra e 95 unità nel piano secondo;
- Piano secondo e Piano terzo: nella tabella 5 viene riportato l'affollamento massimo che è presente nel piano secondo e terzo dell'edificio, che è pari a 732 unità in entrambi i piani;
- Piano quarto: nella tabella 6 viene riportato l'affollamento massimo che è presente nel piano quarto dell'edificio, con 732 persone.

Di seguito verranno riportate le tabelle in cui si schematizza il numero degli occupanti in relazione alla superficie lorda.

Tabella 4: numero massimo degli occupanti nei compartimenti tra piano terra e piano primo

NUMERO COMPARTIMENTI	AREA COMPARTIMENTI PIANO TERRA m ²	AFFOLLAMENTO MASSIMO PIANO TERRA	AREA COMPARTIMENTI PIANO PRIMO m ²	AFFOLLAMENTO MASSIMO PIANO PRIMO
COMPARTIMENTO 1	1182,30	473	1277,67	511
COMPARTIMENTO 2	301,20	121	301,20	121
COMPARTIMENTO 3	173,40	70	237,00	95

(In rosso la zona a R_{vita} B2)

Tabella 5: numero massimo degli occupanti nei compartimenti tra piano secondo e piano terzo

NUMERO COMPARTIMENTI	AREA m ² COMPARTIMENTI PIANO SECONDO	AFFOLLAMENTO MASSIMO PIANO SECONDO	AREA m ² COMPARTIMENTI PIANO TERZO	AFFOLLAMENTO MASSIMO PIANO TERZO
COMPARTIMENTO 4	1858,60	732	1858,60	732

Tabella 6: numero massimo degli occupanti nei compartimenti nel piano quarto

NUMERO COMPARTIMENTI	AREA m ² COMPARTIMENTI PIANO QUARTO	AFFOLLAMENTO MASSIMO PIANO QUARTO
COMPARTIMENTO 5	1858,60	732

6.2.4.3.2 Requisiti antincendio minimi (S.4.7 del D.M. 03/08/2015)

Al fine di evitare la diffusione degli effluenti dell'incendio alle vie d'esodo, le vie di esodo verticali che collegano i compartimenti dell'attività devono essere protette da vani con resistenza al fuoco determinata secondo il capitolo S.2 e comunque non inferiore alla classe 30 con chiusure dei varchi di comunicazione almeno E 30-Sa e per le vie d'esodo verticali a prova di fumo proveniente dai compartimenti collegati è ammesso l'impiego di chiusure dei varchi di comunicazione almeno E 30.

Per assicurare l'esodo degli occupanti dai piani più remoti dell'opera da costruzione, in funzione del profilo di rischio Rvita di riferimento:

- qualora esistano piani a quota superiore a quella prevista in tabella S.4-14, tutti i piani fuori terra devono essere serviti da almeno due vie d'esodo indipendenti;
- qualora esistano piani a quota inferiore a quella prevista in tabella S.4-14, tutti i piani interrati devono essere serviti da almeno due vie d'esodo indipendenti.

R_{vita}	Piani a quota inferiore	Piani a quota superiore
B1, B2, B3	< -5 m	> 32 m
B1 [1], B2 [1], B3 [1], D1, D2	< -1 m	> 12 m
Cii1, Cii2, Cii3, Ciii1, Ciii2, Ciii3	< -1 m	> 32 m
Altri casi	< -5 m	> 54 m
[1] Ambiti con densità d'affollamento > 0,4 p/m ²		

Tabella S.4-14: Quote dei piani soglia per due vie d'esodo indipendenti del D.M. 03/08/2015

Nel nostro edificio, le zone a R_{vita} B2 sono comprese tra 0 m e 3,76 m, quindi non sono necessarie vie di esodo indipendenti. L'esodo per fasi si attua ad esempio in: edifici di grande altezza, ospedali, multisale, centri commerciali, grandi uffici, attività distribuite, attività con profilo di rischio $R_{ambiente}$ significativo... Di conseguenza, non è necessario attuare un esodo per fasi nel nostro edificio perché non rientra in queste caratteristiche.

6.2.4.3.3 Progettazione del sistema d'esodo (S.4.8 & S.4.9 del D.M. 03/08/2015)

Il sistema d'esodo è dimensionato in modo da consentire agli occupanti di abbandonare il compartimento di primo innesco dell'incendio e raggiungere un luogo sicuro temporaneo (es. compartimento adiacente) o direttamente il luogo sicuro, prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività ove si trovano. Il primo passo consiste nell'andare a determinare le vie di esodo ed uscite indipendenti. Al fine di limitare la probabilità che l'esodo degli occupanti sia impedito dall'incendio, devono essere previste almeno due vie d'esodo indipendenti. Si considerano indipendenti coppie di vie d'esodo orizzontali per le quali sia verificata almeno una delle seguenti condizioni:

- a. l'angolo formato dai percorsi rettilinei sia $\geq 45^\circ$;
- b. tra i percorsi esista separazione di adeguata resistenza al fuoco a tutta altezza con caratteristiche di resistenza al fuoco non inferiori a EI 30.

Al fine di limitare la probabilità che si sviluppi sovraffollamento localizzato alle uscite, da ciascun locale o spazio a cielo libero dell'attività deve essere previsto almeno il numero di uscite

indipendenti previsto nella tabella S.4-15 in funzione del profilo di rischio R_{vita} di riferimento e dell'affollamento dell'ambito servito.

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

Tabella S.4-15: Numero minimo di uscite indipendenti da locale o spazio a cielo libero del D.M. 03/08/2015

Nel nostro edificio abbiamo sempre più di 500 occupanti, quindi saranno necessarie almeno tre uscite indipendenti, che, nel progetto, sono presenti.

Si considerano indipendenti coppie di vie d'esodo verticali se inserite in compartimenti distinti, oppure qualora almeno una delle due sia via d'esodo esterna.

È ammessa la presenza di corridoi ciechi secondo le prescrizioni del paragrafo S.4.8.2 del D.M. 03/08/2015. Per ogni corridoio cieco devono essere verificate le seguenti condizioni, in funzione del profilo di rischio R_{vita} di riferimento:

- per limitare il numero degli occupanti eventualmente bloccati dall'incendio, l'affollamento complessivo degli ambiti serviti dal corridoio cieco non deve superare i valori massimi previsti nella tabella S.4-18,
- per limitare la probabilità che gli occupanti siano bloccati dall'incendio, la lunghezza del corridoio cieco non deve superare i valori massimi L_{cc} della tabella S.4-18.

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	≤ 50 occupanti	≤ 15 m	B3, E3		≤ 15 m
A4		≤ 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.					

Tabella S4-18: Condizioni per il corridoio cieco del D.M. 03/08/2015

In relazione alla maggiore protezione offerta, è ammesso omettere dalla verifica delle condizioni della tabella S.4-18 la porzione di corridoio cieco continua e finale, avente una delle caratteristiche della tabella S.4-20.

Caratteristiche porzione omessa	Max lunghezza omessa L_{om} [1]	Prescrizioni aggiuntive
Con caratteristiche di <i>filtro</i> (esempio in tabella S.4-21)	≤ 45 m	Nessuna
	≤ 90 m	[2]
Con caratteristiche di <i>filtro</i> ed a <i>prova di fumo</i>	≤ 120 m	Nessuna
	Illimitata	[2]
Anche senza protezione, che termini direttamente all' <i>uscita finale</i> o in <i>luogo sicuro</i> (esempio in tabella S.4-23)	≤ 15 m	Nessuna
Dall' <i>uscita finale</i> fino al <i>luogo sicuro</i> , in <i>via d'esodo esterna</i> (esempio in tabella S.4-24)	Illimitata	Nessuna
<p>Gli ambiti serviti devono avere densità di affollamento $\leq 0,4$ p/m² e, se aperti al pubblico, affollamento complessivo ≤ 300 occupanti, altrimenti affollamento complessivo ≤ 500 occupanti. In tali ambiti non è ammessa presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, o di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio. Ciascun locale dove gli occupanti possono dormire deve essere protetto ed avere chiusure almeno E 30-S_a.</p> <p>[1] Se costituita da più porzioni continue con caratteristiche differenti, la <i>max lunghezza omessa</i> L_{om} è calcolata come <i>media pesata</i>, senza considerare le porzioni con L_{om} <i>illimitata</i> (esempio in tabella S.4-22). Le caratteristiche di protezione dovrebbero essere crescenti nel senso dell'esodo.</p> <p>[2] Gli ambiti serviti siano sorvegliati da IRAI di livello di prestazione III (capitolo S.7) e sia prevista gestione della sicurezza di livello di prestazione II (capitolo S.5).</p>		

Tabella S.4-20: Condizioni per l'omissione di porzione per il corridoio cieco del D.M. 03/08/2015

Al fine di limitare il tempo necessario agli occupanti per abbandonare il compartimento di primo innesco dell'incendio, almeno una delle lunghezze d'esodo determinate da qualsiasi punto dell'attività non deve superare i valori massimi L_{es} della tabella S.4-25 in funzione del profilo di rischio R_{vita} di riferimento, come mostrato nella tabella S.4-26. Quando la prima porzione della via d'esodo è costituita da corridoio cieco, devono essere contemporaneamente verificate la limitazione relativa alla lunghezza d'esodo, comprensiva del percorso effettuato in corridoio cieco, e le condizioni del paragrafo S.4.8.2 del D.M. 03/08/2015 per i corridoi ciechi. È ammesso omettere la verifica della lunghezza d'esodo di cui al comma 1 nelle vie d'esodo verticali con caratteristiche di filtro e nelle vie d'esodo esterne.

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.

Tabella S.4-25: Massime lunghezze d'esodo del D.M. 03/08/2015

L'altezza minima delle vie di esodo è pari a 2 m. Sono ammesse altezze inferiori, per brevi tratti segnalati, lungo le vie d'esodo da ambiti ove vi sia esclusiva presenza di personale specificamente formato od occasionale e di breve durata di un numero limitato di occupanti (es. locali impianti o di servizio, piccoli depositi, ...), oppure secondo le risultanze di specifica valutazione del rischio. Nel nostro edificio tutte le altezze sono superiori ai 2 metri.

SEZIONE EDIFICIO

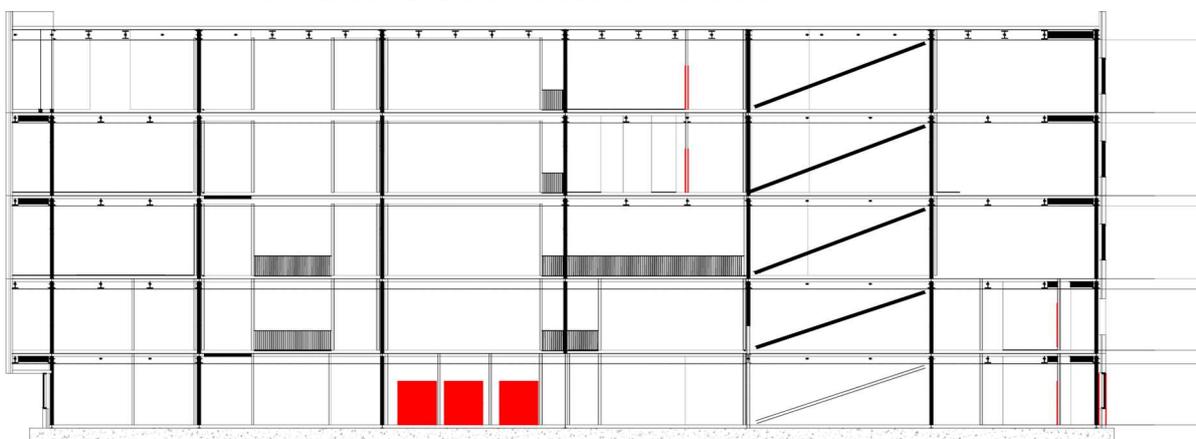


Figura 26: sezione dell'edificio del nostro caso studio

Si deve verificare la larghezza minima delle vie di esodo. Dopo aver individuato le condizioni più gravose per i componenti del sistema d'esodo tramite la verifica di ridondanza prevista al paragrafo S.4.8.6 del D.M. 03/08/2015, si determina la larghezza minima delle vie d'esodo come previsto ai paragrafi S.4.8.7, S.4.8.8, S.4.8.9, S.4.8.10 del D.M. 03/08/2015. Dal paragrafo S.4.8.6 del codice si ha che se un ambito (es. compartimento, piano, soppalco, locale, ...) è servito da più di una via d'esodo, l'incendio può renderne una indisponibile. Ai fini della verifica di ridondanza, si deve

rendere indisponibile una via d'esodo alla volta e verificare che le restanti vie d'esodo indipendenti da questa abbiano larghezza complessiva sufficiente a consentire l'esodo degli occupanti.

La larghezza minima L_0 della via d'esodo orizzontale (es. corridoio, porta, uscita, ...), che consente il regolare esodo degli occupanti che la impiegano, è calcolata come segue:

$$L_0 = L_U \cdot n_0$$

con:

L_0 larghezza minima della via d'esodo orizzontale S.4-1 [mm]

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

n_0 numero degli occupanti che impiegano tale via d'esodo orizzontale, nelle condizioni d'esodo più gravose (paragrafo S.4.8.6 del D.M. 03/08/2015).

La larghezza L_0 può essere suddivisa tra più percorsi. Al fine di limitare la probabilità che si sviluppi sovraffollamento localizzato, in particolare in caso di affollamenti o densità di affollamento significativi oppure laddove gli occupanti si distribuiscano in modo imprevisto, la larghezza di ciascun percorso deve rispettare i criteri della tabella S.4-28, oppure essere oggetto di specifica valutazione del rischio.

Nel nostro edificio abbiamo:

- Piano terra A2: $L_0 = L_U \cdot n_0 = 3,80 \cdot 543 = 2063,4$ mm
- Piano terra B2: $L_0 = L_U \cdot n_0 = 4,10 \cdot 121 = 496,1$ mm
- Piano primo A2: $L_0 = L_U \cdot n_0 = 3,80 \cdot 606 = 2302,8$ mm
- Piano primo B2: $L_0 = L_U \cdot n_0 = 4,10 \cdot 121 = 496,1$ mm
- Piano secondo A2: $L_0 = L_U \cdot n_0 = 3,80 \cdot 732 = 2781,6$ mm
- Piano terzo A2: $L_0 = L_U \cdot n_0 = 3,80 \cdot 732 = 2781,6$ mm
- Piano quarto A2: $L_0 = L_U \cdot n_0 = 3,80 \cdot 732 = 2781,6$ mm

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

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

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

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.

Tabella S.4-27: Larghezze unitarie per vie d'esodo orizzontali del D.M. 03/08/2015

Tabella S.4-28: Larghezze minime per vie d'esodo orizzontali del D.M. 03/08/2015

Per le vie di esodo verticale, la larghezza minima L_v della via d'esodo verticale (es. scala, ...), che consente il regolare esodo degli occupanti che la impiegano, è calcolata come specificato nei paragrafi S.4.8.8.1 o S.4.8.8.2 del D.M. 03/08/2015. 2. La larghezza L_v può essere suddivisa tra più percorsi. Al fine di limitare la probabilità che si sviluppi sovraffollamento localizzato, in particolare in caso di affollamenti o densità di affollamento significativi oppure laddove gli occupanti si distribuiscano in modo imprevisto, la larghezza di ciascun percorso deve rispettare i criteri della tabella S.4-32, oppure essere oggetto di specifica valutazione del rischio.

Se nell'attività si applica la modalità d'esodo simultaneo, le vie d'esodo verticali devono essere in grado di consentire l'evacuazione contemporanea di tutti gli occupanti in evacuazione da tutti i piani serviti. La larghezza L_v è calcolata come segue:

$$L_v = L_u \cdot n_v$$

con:

L_V larghezza minima della via d'esodo verticale della tabella S.4-2 [mm]

L_U larghezza unitaria determinata da tabella S.4-29 in funzione del profilo di rischio R_{vita} di riferimento e del numero totale dei piani serviti dalla via d'esodo verticale [mm/persona]

n_V numero totale degli occupanti che impiegano tale via d'esodo verticale, provenienti da tutti i piani serviti, nelle condizioni d'esodo più gravose (paragrafo S.4.8.6 del D.M. 03/08/2015).

Nel nostro edificio abbiamo:

- Zone a R_{vita} A2: $L_V = L_U \cdot n_V = 3,00 \cdot 3345 = 10035$ mm
- Zone a R_{vita} B2: $L_V = L_U \cdot n_V = 4,30 \cdot 242 = 1040,6$ mm

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.

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

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

[1] Queste combinazioni sono ammesse solo a seguito di specifica valutazione del rischio.

Tabella S.4-29: Larghezze unitarie per vie d'esodo verticali del D.M. 03/08/2015

Tabella S.4-30: Larghezze minime per vie d'esodo verticali del D.M. 03/08/2015

Pendenza rampa		
$p \leq 8\%$	$8\% < p \leq 12\%$	$12\% < p \leq 20\%$
0%	+50%	+200% [1]
[1] Queste combinazioni sono ammesse solo a seguito di specifica valutazione del rischio.		

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.	

Tabella S.4-31: Incremento larghezza unitaria delle rampe d'esodo in relazione alla pendenza del D.M. 03/08/2015

Tabella S.4-32: Larghezze minime per vie d'esodo verticali del D.M. 03/08/2015

Da questi ultimi punti si evince che il modello iniziale non va bene, perché ci sono solo due scale da 1 m di larghezza ciascuna (minimo 10 metri per scala secondo i dati del progetto), ci sono dei locali con una sola uscita che non rispetta le prescrizioni della tabella S.4-18 e infine la larghezza delle vie di esodo più piccole dei 2,7 metri da normativa. Di conseguenza abbiamo rimodellato lo spazio interno e, dalle seguenti immagini, si vanno a notare le differenze dal progetto iniziale con quello nuovo. Nelle piante seguenti avremo due colori: il giallo per il demolito e il rosso per la nuova costruzione. Di seguito verranno riportate le piante:

- Piano terra: di seguito viene riportata un'immagine del piano terra dove si può notare le differenze tra lo stato di fatto e lo stato di progetto (figura 27).



Figura 27: pianta del piano terra

- Piano primo: di seguito viene riportata un'immagine del piano primo dove si può notare le differenze tra lo stato di fatto e lo stato di progetto (figura 28).



Figura 28: pianta del piano primo

- Piano secondo: di seguito viene riportata un'immagine del piano secondo dove si può notare le differenze tra lo stato di fatto e lo stato di progetto (figura 29).



Figura 29: pianta del piano secondo

- Piano terzo: di seguito viene riportata un'immagine del piano terzo dove si può notare le differenze tra lo stato di fatto e lo stato di progetto (figura 30).

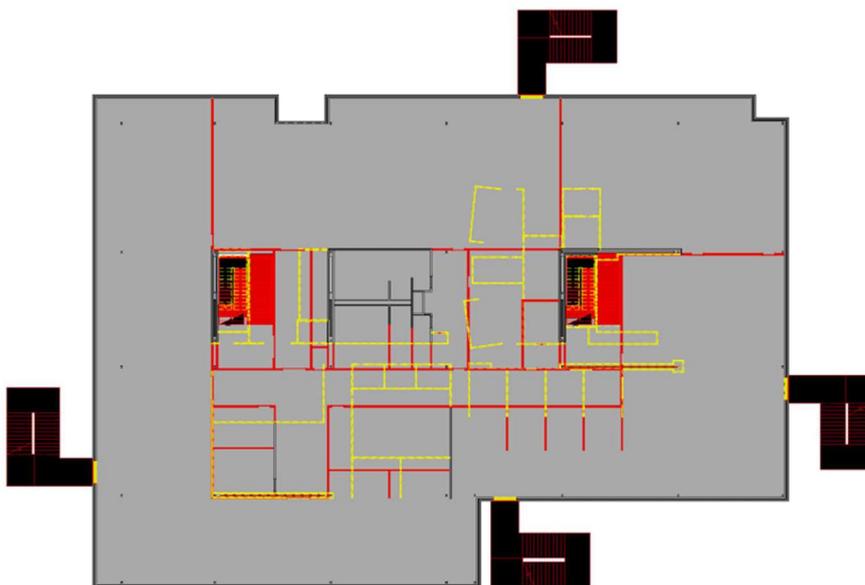


Figura 30: pianta del piano terzo

- Piano quarto: di seguito viene riportata un'immagine del piano quarto dove si può notare le differenze tra lo stato di fatto e lo stato di progetto (figura 31).

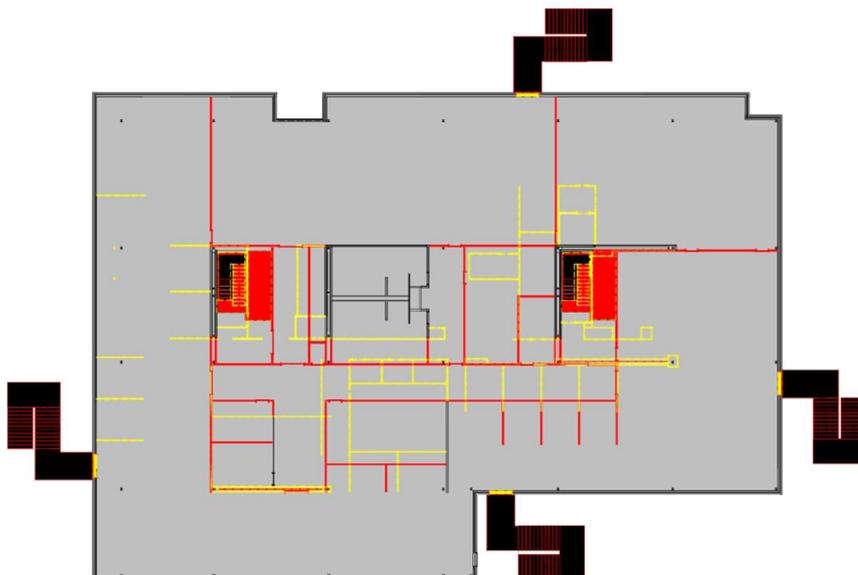


Figura 31: pianta del piano quarto

Ora per le scale abbiamo che, avendone sei e non più due, il calcolo della larghezza non viene svolto più con 3345 che occupano una scala ma si dividono in cinque:

$$n_v = 3345/5 = 669 \text{ occupanti.}$$

Di conseguenza:

$$\text{Zone a } R_{vita} \text{ A2: } L_v = L_u \cdot n_v = 3,00 \cdot 669 = 2007 \text{ mm, misura che rispetta la nuova configurazione.}$$

La larghezza minima dell'uscita finale L_F , che consente il regolare esodo degli occupanti provenienti da vie d'esodo orizzontali o verticali, è calcolata come segue:

$$L_F = \sum_i L_{0,i} + \sum_j L_{v,j}$$

con:

L_F larghezza minima dell'uscita finale [mm]

$L_{0,i}$ larghezza della i -esima via d'esodo orizzontale che adduce all'uscita finale, come calcolata con l'equazione S.4-1 [mm]

$L_{v,j}$ larghezza della j -esima via d'esodo verticale che adduce all'uscita finale, come calcolata con le equazioni S.4-2 o S.4-3, rispettivamente in caso di esodo simultaneo o per fasi [mm].

La larghezza L_F può essere suddivisa tra più percorsi. La larghezza di ciascun percorso deve rispettare i criteri della tabella S.4-28. La convergenza dei flussi di occupanti dalle vie d'esodo orizzontali e verticali verso l'uscita finale non deve essere ostacolata (es. da arredi fissi o mobili, ...). A tal fine, qualora almeno due delle vie d'esodo convergenti verso la stessa uscita finale siano impiegate da più di 50 occupanti ciascuna, la distanza misurata in pianta tra l'uscita finale e lo sbarco di tutte le vie d'esodo ad essa convergenti deve essere ≥ 2 m.

Nel nuovo disegno abbiamo che L_f è pari a:

- Piano terra:

$$\sum_i L_{O,i} = 2800 + 2800 + 2800 = 8400 \text{ mm}$$

$$\sum_j L_{V,j} = 2000 + 2000 = 4000 \text{ mm}$$

$$L_F = \sum_i L_{O,i} + \sum_j L_{V,j} = 8400 + 4000 = 12400 \text{ mm}$$

$$L_t = 16001,60 \text{ mm}$$

- Piano primo:

$$\sum_i L_{O,i} = 2800 + 2800 + 2800 = 8400 \text{ mm}$$

$$\sum_j L_{V,j} = 2000 + 2000 = 4000 \text{ mm}$$

$$L_F = \sum_i L_{O,i} + \sum_j L_{V,j} = 8400 + 4000 = 12400 \text{ mm}$$

$$L_t = 128011,60 \text{ mm}$$

- Piano secondo (uguale anche per il terzo ed il quarto):

$$\sum_i L_{O,i} = 2800 + 2800 + 2800 = 8400 \text{ mm}$$

$$\sum_j L_{V,j} = 2000 + 2000 = 4000 \text{ mm}$$

$$L_F = \sum_i L_{O,i} + \sum_j L_{V,j} = 8400 + 4000 = 12400 \text{ mm}$$

$$L_t = 128011,60 \text{ mm}$$

Misure che rispettano ampiamente i limiti da normativa.

L'ultimo aspetto riguarda l'eliminazione o superamento delle barriere architettoniche per l'esodo.

Al fine di consentire agli occupanti di attendere e ricevere assistenza, lo spazio calmo deve:

- a. essere contiguo e comunicante con una via d'esodo o in essa inserito, senza costituire intralcio all'esodo;
- b. avere dimensioni tali da poter ospitare tutti gli occupanti del piano che ne abbiano necessità, nel rispetto delle superfici minime per occupante di tabella S.4-36.

In ciascuno spazio calmo devono essere presenti:

- a. un sistema di comunicazione bidirezionale per permettere agli occupanti di segnalare la loro presenza e richiedere assistenza ai soccorritori;
- b. eventuali attrezzature da impiegare per l'assistenza (es. sedia o barella di evacuazione, ...);
- c. indicazioni sui comportamenti da tenere in attesa dell'arrivo dell'assistenza dei soccorritori.

Lo spazio calmo deve essere contrassegnato con segnale UNI EN ISO 7010E024, esemplificato in tabella S.4-8.

Questo spazio è presente nel vano scala e consente lo stazionamento di almeno tre occupanti con sedia a ruote.

Di seguito vengono riportate le piante con le vie di esodo (in verde):

- Piano terra: di seguito viene riportata una prima immagine con le vie di esodo dei vani, mentre la seconda immagine mostra i percorsi di esodo per i corridoi (figura 32).

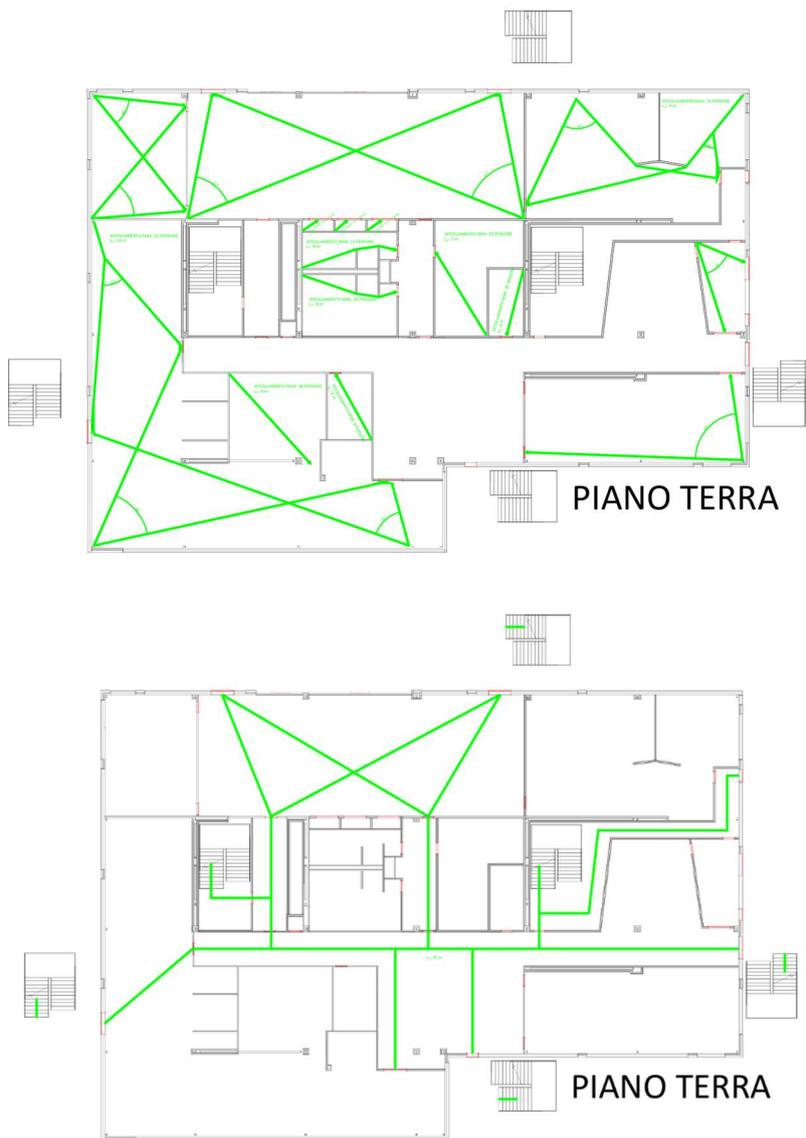


Figura 32: piante del piano terra

- Piano primo: di seguito viene riportata una prima immagine con le vie di esodo dei vani, mentre la seconda immagine mostra i percorsi di esodo per i corridoi (figura 33).

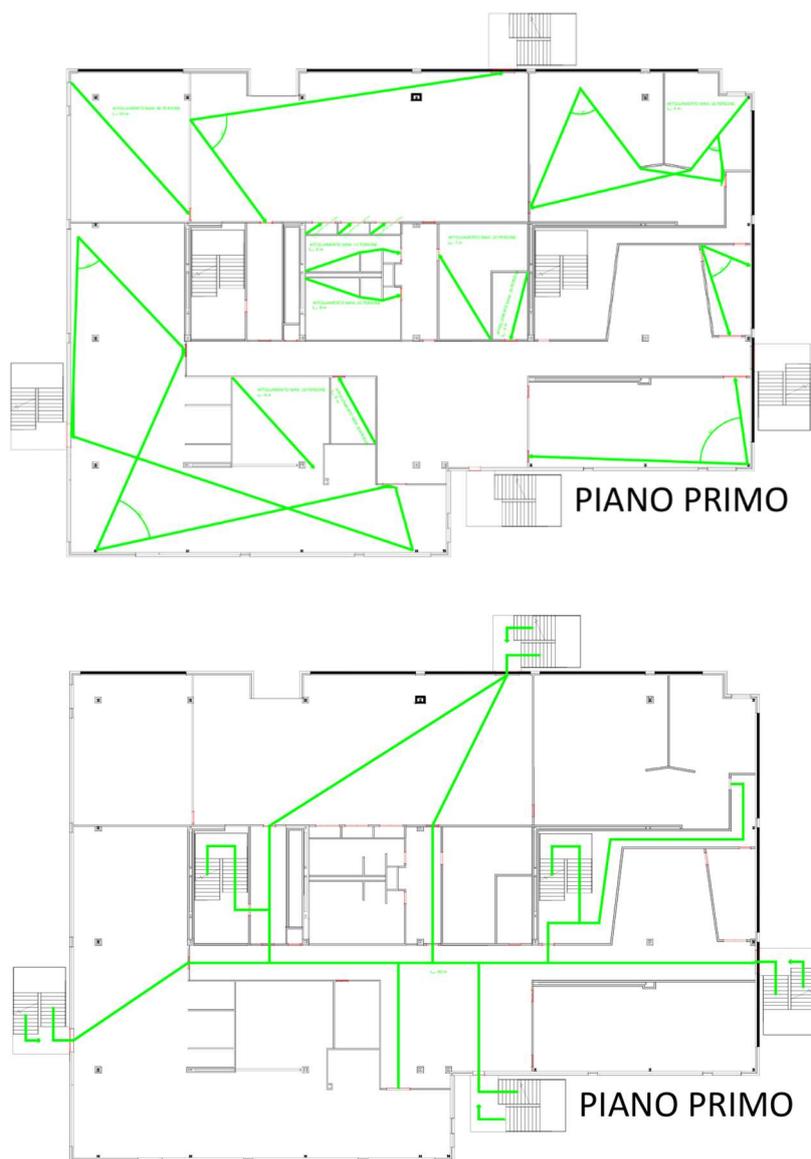


Figura 33: piante del piano primo

- Piano secondo: di seguito viene riportata una prima immagine con le vie di esodo dei vani, mentre la seconda immagine mostra i percorsi di esodo per i corridoi (figura 34).

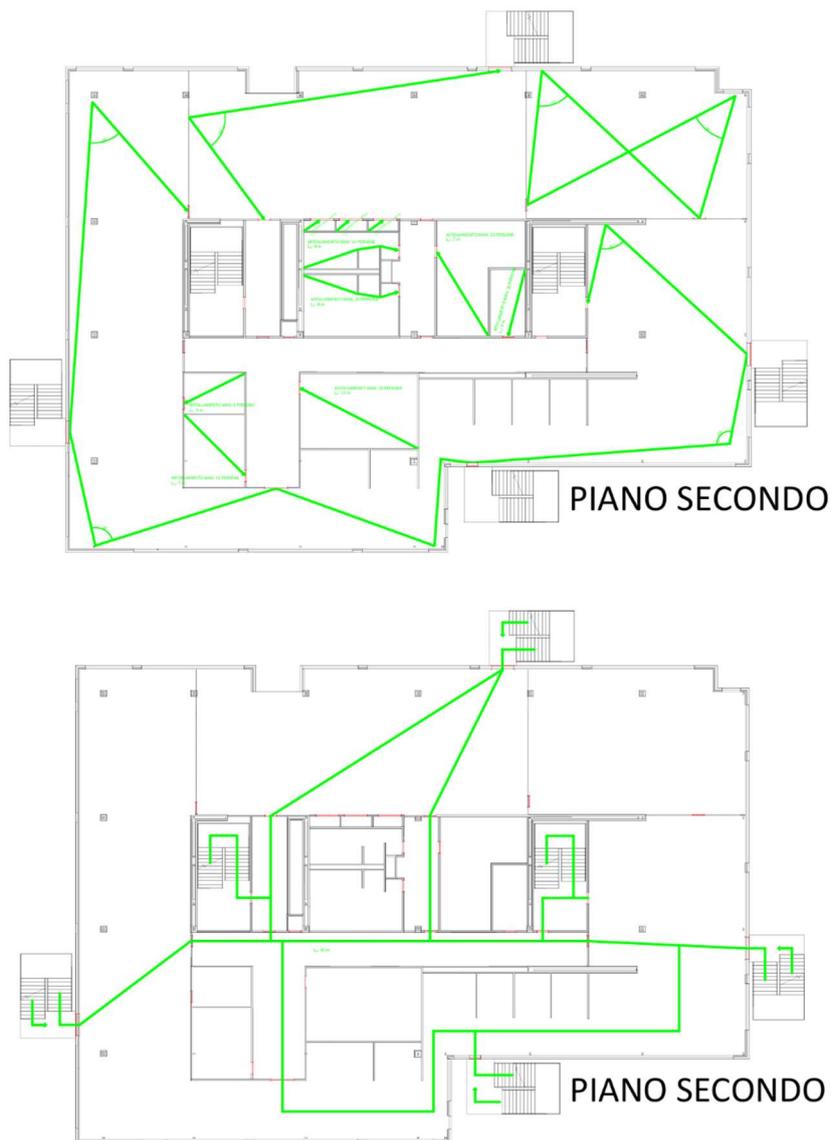


Figura 34: piante del piano secondo

- Piano terzo: di seguito viene riportata una prima immagine con le vie di esodo dei vani, mentre la seconda immagine mostra i percorsi di esodio per i corridoi (figura 35).

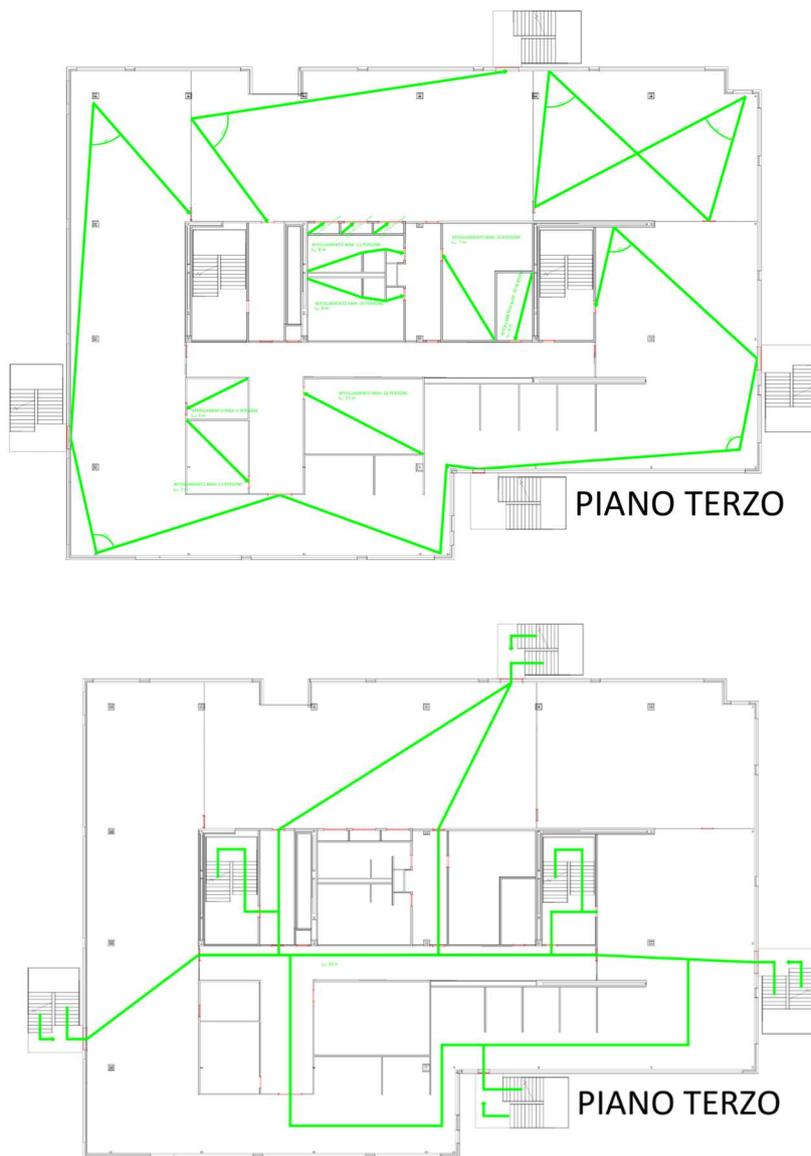


Figura 35: piante del piano terzo

- Piano quarto: di seguito viene riportata una prima immagine con le vie di esodo dei vani, mentre la seconda immagine mostra i percorsi di esodo per i corridoi (figura 36).

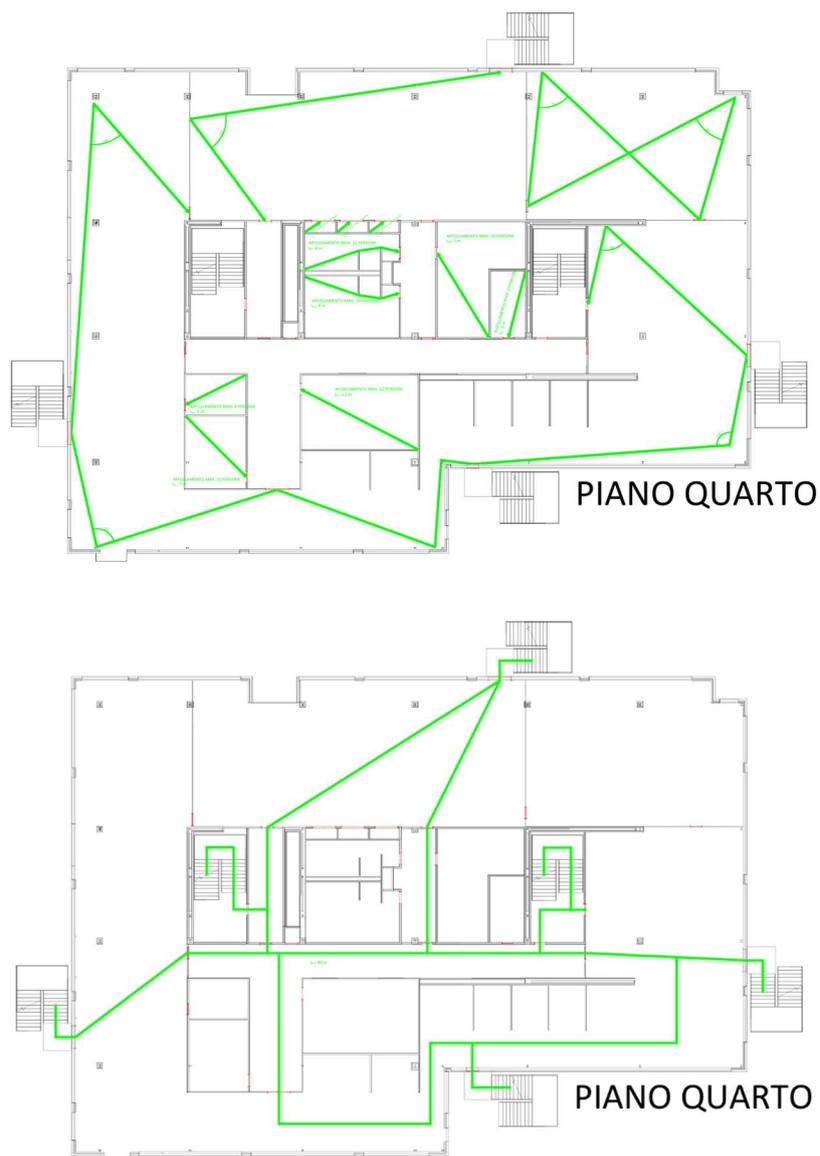


Figura 36: piante del piano quarto

6.2.4.3.4 Caratteristiche del sistema d'esodo (S.4.5 del D.M. 03/08/2015)

Si considera luogo sicuro per l'attività almeno una delle seguenti soluzioni:

- a. la pubblica via,
- b. ogni altro spazio a cielo libero sicuramente collegato alla pubblica via in ogni condizione d'incendio, che non sia investito dai prodotti della combustione, in cui il massimo

irraggiamento dovuto all'incendio sugli occupanti sia limitato a $2,5 \text{ kW/m}^2$, in cui non vi sia pericolo di crolli, che sia idoneo a contenere gli occupanti che lo impiegano durante l'esodo.

Relativamente ad un compartimento, si considera luogo sicuro temporaneo qualsiasi altro compartimento o spazio scoperto, che può essere attraversato dagli occupanti per raggiungere il luogo sicuro tramite il sistema d'esodo senza rientrare nel compartimento in esame.

Le vie d'esodo esterne (es. scale, rampe, passerelle, camminamenti, ...) devono essere completamente esterne alle opere da costruzione. Inoltre, durante l'esodo degli occupanti, non devono essere soggette ad irraggiamento dovuto all'incendio superiore a $2,5 \text{ kW/m}^2$ e non devono essere investite dai prodotti della combustione. La via d'esodo esterna (orizzontale o verticale) deve essere distaccata di almeno 2,50 m dall'opera da costruzione, da aperture di smaltimento o di evacuazione di fumi e calore dell'incendio. La porzione di chiusura d'ambito dell'opera da costruzione su cui è collocata la via d'esodo esterna (orizzontale o verticale, anche adiacente all'opera da costruzione) deve possedere caratteristiche di resistenza al fuoco non inferiori a EI 30, oppure E 30 nel caso di vie d'esodo realizzate con materiali e strutture incombustibili.

Le scale d'esodo devono consentire l'esodo senza inciampo degli occupanti. A tal fine:

- a. i gradini devono avere alzata e pedata costanti;
- b. devono essere interrotte da pianerottoli di sosta.

Le porte installate lungo le vie d'esodo devono essere facilmente identificabili ed apribili da parte di tutti gli occupanti. L'apertura delle porte non deve ostacolare il deflusso degli occupanti lungo le vie d'esodo.

Al fine di consentire l'affidabile, immediata e semplice apertura delle porte ad apertura manuale in condizioni di elevata densità di affollamento, ciascuna porta deve possedere i requisiti della tabella S.4-6 in funzione delle caratteristiche dell'ambito servito e del numero di occupanti dell'ambito che impiegano tale porta nella condizione d'esodo più gravosa.

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.

Tabella S.4-6: Caratteristiche delle porte ad apertura manuale lungo le vie di esodo del D.M. 03/08/2015

Da queste ultime indicazioni avremmo le seguenti piante finali.

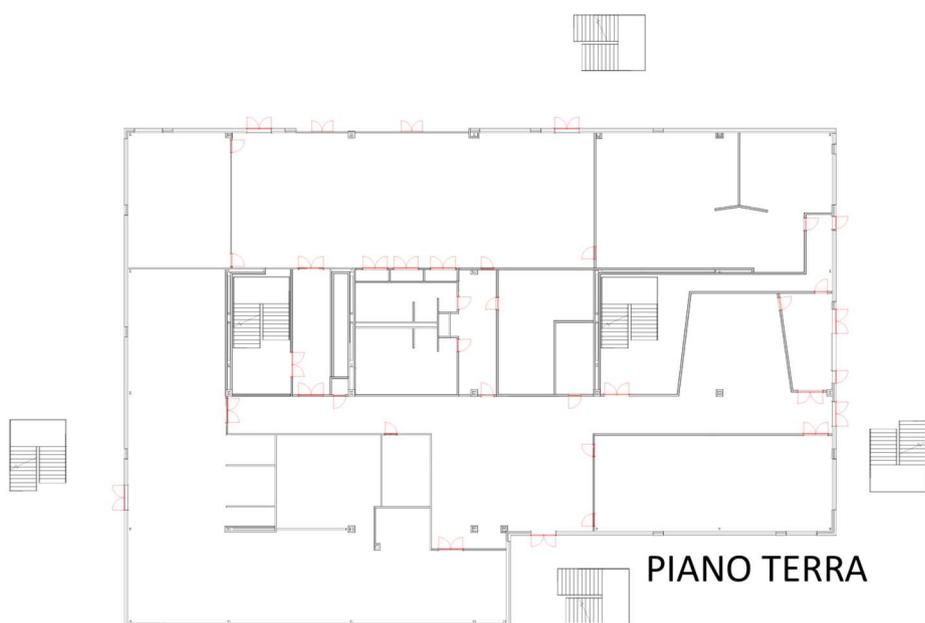


Figura 37: pianta del piano terra



Figura 38: pianta del piano primo



Figura 39: pianta del piano secondo



Figura 40: pianta del piano terzo



Figura 41: pianta del piano quarto

Queste modifiche verranno poi riportate nel modello su Revit prima di passare alla simulazione tramite software.

6.2.5 Controllo dell'incendio (Capitolo S.6 del D.M. 03/08/2015)

La presente misura antincendio ha come scopo l'individuazione dei presidi antincendio da installare nell'attività per:

- a. la protezione nei confronti di un principio di incendio;
- b. la protezione manuale o automatica, finalizzata all'inibizione o al controllo dell'incendio;
- c. la protezione mediante completa estinzione di un incendio.

6.2.5.1 Livelli di prestazione (S.6.2 del D.M. 03/08/2015)

La tabella S.6-1 riporta i livelli di prestazione attribuibili agli ambiti dell'attività per la presente misura antincendio.

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

Tabella S.6-1: Livelli di prestazione del D.M. 03/08/2015

La tabella S.6-2 riporta i criteri generalmente accettati per l'attribuzione dei singoli livelli 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.

Tabella S.6-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione del D.M. 03/08/2015

Nel nostro edificio si assume un livello di prestazione pari a **II**.

6.2.5.2 Soluzioni progettuali (S.6.4.1 del D.M. 03/08/2015)

La presente misura antincendio è progettata come segue:

- a. in relazione alle risultanze della valutazione del rischio, si selezionano gli agenti estinguenti secondo le indicazioni del paragrafo S.6.5 del D.M. 03/08/2015;
- b. si dimensiona la protezione dell'intera attività o di suoi ambiti con uno o più approcci di cui ai paragrafi S.6.6, S.6.7, S.6.8 e S.6.9 del D.M. 03/08/2015.

Devono essere rispettate le indicazioni dei paragrafi S.6.10 ed S.6.11 del D.M. 03/08/2015 in merito alle indicazioni complementari ed alla segnaletica.

Devono essere installati estintori d'incendio a protezione dell'intera attività, secondo le indicazioni del paragrafo S.6.6 e, eventualmente, S.6.7 del D.M. 03/08/2015.

6.2.5.3 Classificazione dei fuochi e degli agenti estinguenti (S.6.5 del D.M. 03/08/2015)

Ai fini della selezione degli agenti estinguenti, i fuochi sono classificati come indicato nella tabella S.6-4. Questa classificazione è definita secondo la natura del combustibile e non prevede una classe particolare per gli incendi in presenza di un rischio dovuto all'elettricità. La tabella S.6-4 riporta anche alcuni estinguenti idonei per ciascuna classe di incendio.

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.

Tabella S.6-4: Classi dei fuochi secondo la norma europea EN 2 ed agenti estinguenti del D.M. 03/08/2015

Nel nostro caso si prende in considerazione due tipi di classe di fuoco:

- Classe F per la cucina;
- Classe A per il resto.

6.2.5.4 Estintori di incendio (S.6.6 del D.M. 03/08/2015)

L'estintore è un presidio di base complementare alle altre misure di protezione attiva e di sicurezza in caso d'incendio. La capacità estinguente di un estintore, determinata sperimentalmente, ne indica la prestazione antincendio convenzionale. L'impiego di un estintore è riferibile solo ad un principio d'incendio e l'entità della capacità estinguente ad esso associata fornisce un grado comparativo della semplicità nelle operazioni di estinzione.

La tipologia degli estintori installati deve essere selezionata sulla base della valutazione del rischio e, in particolare:

- a. in riferimento alle classi di fuoco di cui alla tabella S.6-4 (es. estintori per classe A, estintori polivalenti per classi AB, estintori per la classe F, ...);
- b. tenendo conto degli effetti causati sugli occupanti dall'erogazione dell'agente estinguente e, qualora richiesto, anche degli effetti causati sui beni protetti (ad esempio apparecchiature elettromedicali, dispositivi elettronici, libri antichi o opere d'arte, beni tutelati, ...).
- c. nei luoghi chiusi, nei confronti dei principi di incendio di classe A o classe B, è opportuno l'utilizzo di estintori a base d'acqua (estintori idrici).

Gli estintori devono essere sempre disponibili per l'uso immediato, pertanto devono essere collocati:

- a. in posizione facilmente visibile e raggiungibile, lungo i percorsi d'esodo in prossimità delle uscite dei locali, di piano o finali,
- b. in prossimità delle aree a rischio specifico.

6.2.5.4.1 Estintori di classe A (S.6.6.2.1 del D.M. 03/08/2015)

Il numero, la capacità estinguente e la posizione degli estintori di classe A sono determinati nel rispetto delle prescrizioni indicate nei seguenti punti. La protezione con estintori di classe A deve

essere estesa all'intera attività. In ciascun piano, soppalco o compartimento, in funzione del profilo di rischio R_{vita} di riferimento, deve essere installato un numero di estintori di classe A nel rispetto della distanza massima di raggiungimento indicata nella tabella S.6-5. Deve essere installato almeno un estintore di classe A per piano, soppalco o compartimento.

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	

Tabella S.6-5: Criteri per l'installazione degli estintori di classe A del D.M. 03/08/2015

(Le piante con le posizioni degli estintori verranno riportate in seguito).

6.2.5.4.2 Estintori di classe F (S.6.6.2.3 del D.M. 03/08/2015)

Gli estintori di classe F devono essere installati negli ambiti dell'attività nel rispetto dei requisiti minimi di cui alla tabella S.6-7. Gli estintori di classe F devono essere installati in prossimità della superficie di cottura protetta.

Estintori da installare	Superficie di cottura protetta [1]
n°1 estintore 5 F	0,05 m ²
<u>n°1 estintore 25 F</u>	<u>0,11 m²</u>
n°1 estintore 40 F	0,18 m ²
n°2 estintori 25 F	0,30 m ²
n°1 estintore 75 F	0,33 m ²
n°1 estintore 25 F, n°1 estintore 40 F	0,39 m ²
n°2 estintori 40 F	0,49 m ²
n°1 estintore 5 F, n°1 estintore 75 F	0,51 m ²
n°1 estintore 25 F, n°1 estintore 75 F	0,60 m ²
n°1 estintore 40 F, n°1 estintore 75 F	0,69 m ²
n°2 estintori 75 F	0,90 m ²

[1] Superficie lorda in pianta delle sole aree delle apparecchiature di cottura contenenti olii vegetali o animali

Tabella S.6-7: Requisiti estintori per classe di incendio F del D.M. 03/08/2015

Nel nostro edificio abbiamo una superficie di cottura protetta pari a 0,11 m²; quindi, sarà necessario installare un estintore 25F.

6.2.5.5 Piante finali

Di seguito verranno riportate le piante con tutti gli estintori presenti:

- Piano terra: di seguito viene riportata la pianta del piano terra con il corretto posizionamento degli estintori e delle loro distanze (figura 42).

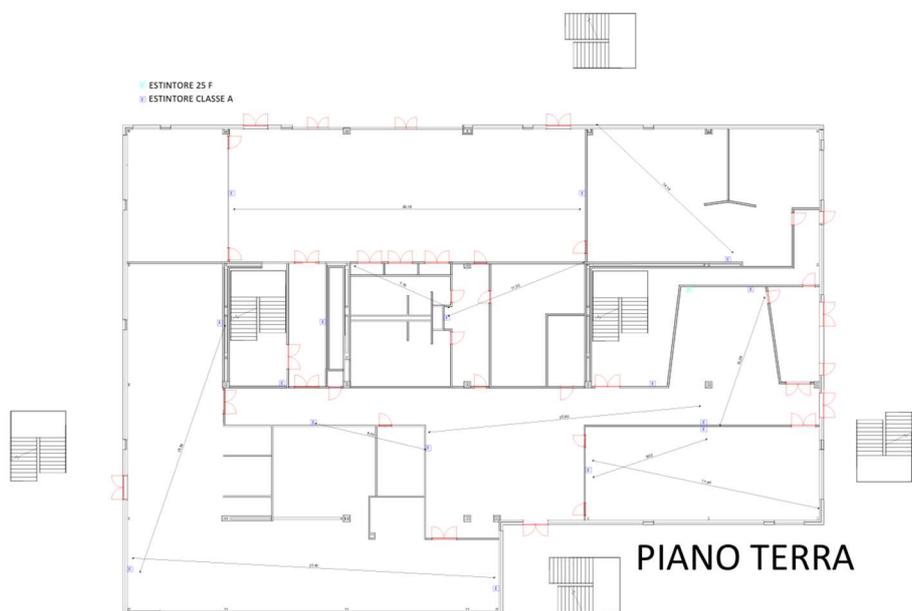


Figura 42: pianta del piano terra

- Piano primo: di seguito viene riportata la pianta del piano primo con il corretto posizionamento degli estintori e delle loro distanze (figura 43).

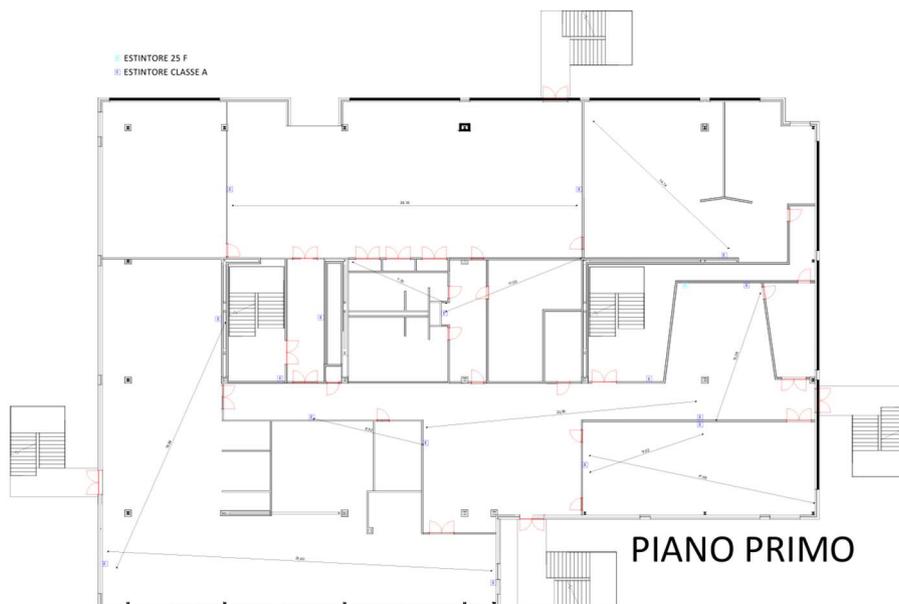


Figura 43: pianta del piano primo

- Piano secondo: di seguito viene riportata la pianta del piano secondo con il corretto posizionamento degli estintori e delle loro distanze (figura 44).

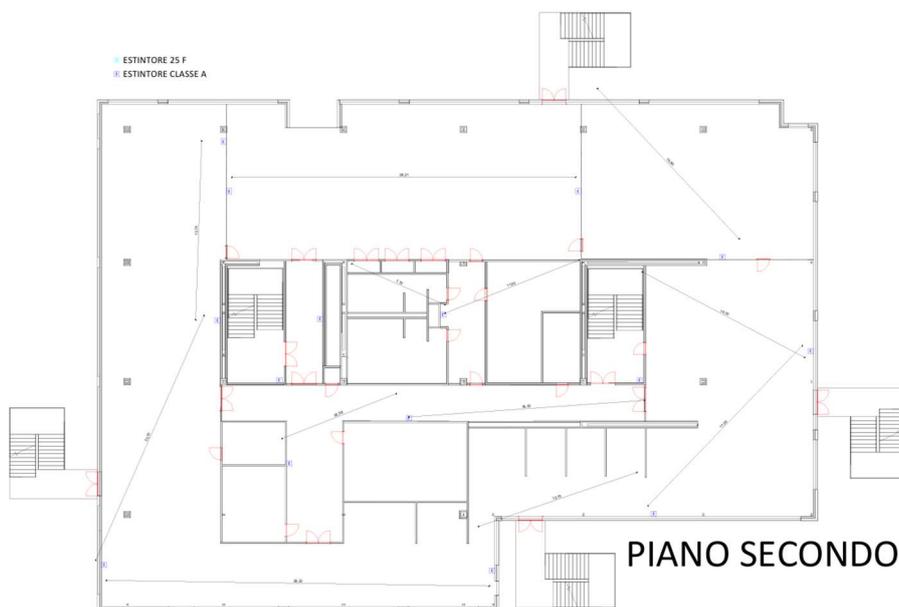


Figura 44: pianta del piano secondo

- Piano terzo: di seguito viene riportata la pianta del piano terzo con il corretto posizionamento degli estintori e delle loro distanze (figura 45).

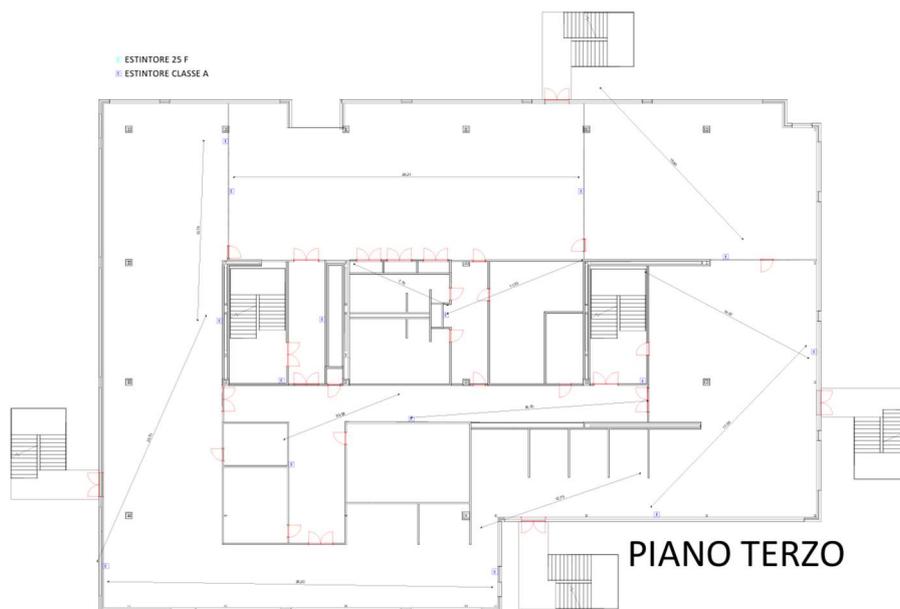


Figura 45: pianta del piano terzo

- Piano quarto: di seguito viene riportata la pianta del piano quarto con il corretto posizionamento degli estintori e delle loro distanze (figura 46).

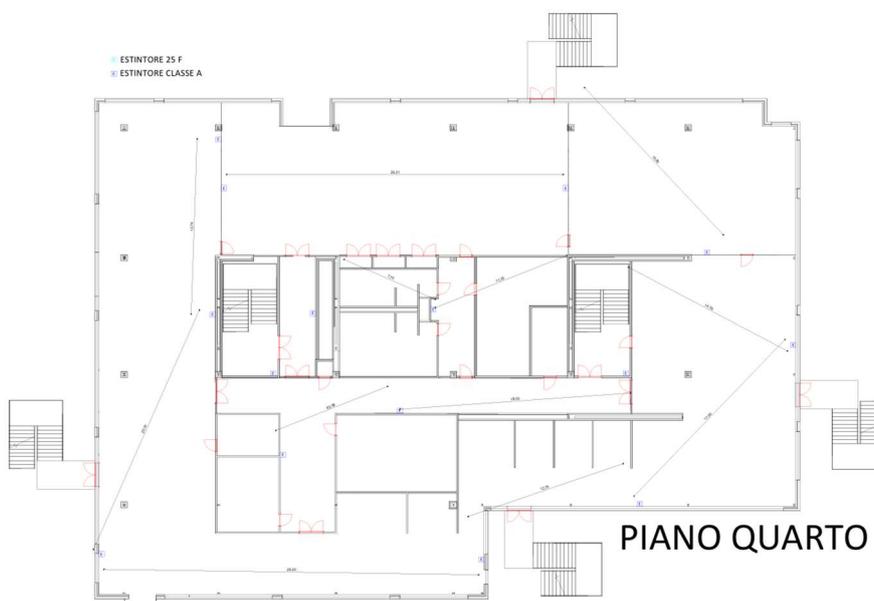


Figura 46: pianta del piano quarto

6.2.6 Rilevazione ed allarme (Capitolo S.7 del D.M. 03/08/2015)

Gli impianti di rivelazione incendio e segnalazione allarme incendi (IRAI) sono realizzati con l'obiettivo di sorvegliare gli ambiti di una attività, rivelare precocemente un incendio e diffondere l'allarme al fine di:

- a. attivare le misure protettive (es. impianti automatici di inibizione, controllo o estinzione, ripristino della compartimentazione, evacuazione di fumi e calore, controllo o arresto di impianti tecnologici di servizio e di processo, ...);
- b. attivare le misure gestionali (es. piano e procedure di emergenza e di esodo, ...) progettate e programmate in relazione all'incendio rivelato ed all'ambito ove tale principio di incendio si è sviluppato rispetto all'intera attività sorvegliata.

6.2.6.1 Livelli di prestazione (S.7.2 del D.M. 03/08/2015)

La tabella S.7-1 riporta i livelli di prestazione attribuibili agli ambiti dell'attività per la presente misura antincendio.

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.

Tabella S.7-1: Livelli di prestazione del D.M. 03/08/2015

La tabella S.7-2 riporta i criteri generalmente accettati per l'attribuzione dei singoli livelli di prestazione.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Ambiti 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; ○ R_{beni} pari a 1; ○ $R_{ambiente}$ non significativo; ● attività non aperta al pubblico; ● densità di affollamento $\leq 0,2$ persone/m²; ● non prevalentemente destinata ad occupanti con disabilità; ● 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; ● superficie lorda di ciascun compartimento ≤ 4000 m²; ● non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; ● non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
II	Ambiti 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 $\leq 0,7$ persone/m²; ● tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -10 m e 54 m; ● carico di incendio specifico $q_f \leq 600$ MJ/m²; ● 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 o attività con elevato affollamento, ambiti o 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, presenza di inneschi significativi,...).

Tabella S.7-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione del D.M. 03/08/2015

Nel nostro edificio dobbiamo assumere un livello di prestazione pari a **II**.

6.2.6.2 Soluzioni progettuali (S.7.4 del D.M. 03/08/2015)

La presente misura antincendio conduce all'individuazione ed alla progettazione dei sistemi più adatti alla rivelazione dell'incendio negli ambiti sorvegliati ed alla successiva diffusione dell'allarme incendio all'attività.

Deve essere installato un IRAI progettato secondo le indicazioni del paragrafo S.7.5, implementando la funzione principale D (segnalazione manuale di incendio da parte degli occupanti) e la funzione

principale C (allarme incendio) estesa a tutta l'attività. Devono inoltre essere soddisfatte le prescrizioni aggiuntive indicate nella tabella S.7-3, ove pertinenti, secondo valutazione del rischio d'incendio.

Livello di prestazione	Aree sorvegliate	Funzioni minime degli IRAI		Funzioni di evacuazione ed allarme	Funzioni di impianti [1]
		Funzioni principali	Funzioni secondarie		
I	-	[2]		[3]	[4]
II	-	B, D, L, C	-	[9]	[4]
III	[12]	A, B, D, L, C	E, F [5], G, H, N [6]	[9]	[4] o [11]
IV	Tutte	A, B, D, L, C	E, F [5], G, H, M [7], 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 richiesta l'installazione di un EVAC.
 [8] Funzione O prevista solo in attività dove si prevedono applicazioni domotiche (*building automation*).
 [9] Con dispositivi di diffusione visuale e sonora o altri dispositivi adeguati alle capacità percettive degli occupanti ed alle condizioni ambientali (es. segnalazione di allarme ottica, a vibrazione, ...).
 [10] Per elevati affollamenti, geometrie complesse, può essere previsto un sistema EVAC secondo norma UNI ISO 7240-19.
 [11] Automatiche su comando della centrale o mediante centrali autonome di azionamento (asservite alla centrale master), richiede le funzioni secondarie E, F, G, H ed N della EN 54-1.
 [12] Spazi comuni, percorsi d'esodo (anche facenti parte di sistema d'esodo comune) e spazi limitrofi, compartimenti con profili di rischio R_{vta} in Cii1, Cii2, Cii3, Ciii1, Ciii2, Ciii3, D1 e D2, aree dei beni da proteggere, aree a rischio specifico.

Tabella S.7-3: Soluzioni conformi per rilevazione ed allarme incendio del D.M. 03/08/2015

6.2.6.3 Impianti di rilevazione ad allarme incendio (S.7.5 del D.M. 03/08/2015)

Gli impianti di rivelazione ed allarme incendio (IRAI) progettati ed installati secondo la norma UNI 9795 sono considerati soluzione conforme. Le soluzioni conformi sono descritte in relazione alle funzioni principali e secondarie descritte nella norma UNI EN 54-1 e riportate nelle tabelle S.7-5 e S.7-6. Per consentire a tutti gli occupanti, anche a quelli che impiegano ausili di movimento, di inviare l'allarme d'incendio, i pulsanti manuali della funzione D dovrebbero essere collocati ad una quota pari a circa 110 cm dal piano di calpestio. La comunicazione dell'allarme con la funzione principale C deve essere veicolata attraverso modalità multisensoriali cioè percepibili dai vari sensi

(almeno due), a seconda della condizione degli occupanti cui è diretta, per ottenerne una partecipazione collaborativa adeguata alla situazione di emergenza. I segnali acustici di preallarme, ove previsto dalla GSA, e di allarme incendio della funzione principale C dovrebbero avere caratteristiche rispondenti alla norma UNI 11744.

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

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>)

Tabella S.7-5: Funzioni principali degli IRAI secondo EN 5-1 e UNI 9795 del D.M. 03/08/2015

Tabella S.7-6: Funzioni secondari degli IRAI secondo EN 54-1 e UNI 9795 del D.M. 03/08/2015

6.2.7 Regola tecnica verticale V4-Uffici (Capitolo V.4 del D.M. 03/08/2015)

La presente regola tecnica verticale reca disposizioni di prevenzione incendi riguardanti attività di ufficio con oltre 300 occupanti; quindi, dovrà essere tenuta in considerazione nel nostro caso perché si avrà un affollamento massimo pari a 3587 occupanti.

6.2.7.1 Classificazioni (V.4.2 del D.M. 03/08/2015)

Nel nostro edificio si hanno le seguenti classificazioni:

- in relazione al numero degli occupanti n:
 - **OC**: $n > 800$ (abbiamo un affollamento maggiore di 800 occupanti);
- in relazione alla massima quota dei piani h:
 - **HB**: $12\text{ m} < h \leq 24\text{ m}$ (il piano più alto sta a quota di 15,72 m);
- le aree dell'attività sono classificate come segue:
 - **TA**: locali destinati agli uffici e a spazi comuni;
 - **TO**: locali con affollamento > 100 persone.

6.2.7.2 Strategia antincendio (V.4.4 del D.M. 03/08/2015)

Devono essere applicate tutte le misure antincendio della regola tecnica orizzontale attribuendo i livelli di prestazione secondo i criteri in esse definiti, fermo restando quanto indicato al successivamente. Nei paragrafi che seguono sono riportate indicazioni complementari o sostitutive delle soluzioni conformi previste dai corrispondenti livelli di prestazione della RTO.

6.2.7.2.1 Reazione al fuoco (V.4.4.1 del D.M. 03/08/2015)

Nelle vie d'esodo verticali, percorsi d'esodo (es. corridoi, atri, filtri, ...) e spazi calmi devono essere impiegati materiali appartenenti almeno al gruppo GM2 di reazione al fuoco (capitolo S.1). Negli ambienti del comma 1 è ammesso l'impiego di materiali appartenenti al gruppo GM3 di reazione al fuoco (capitolo S.1 del D.M. 03/08/2015) con l'incremento di un livello di prestazione delle misure richieste per il controllo dell'incendio (capitolo S.6 del D.M. 03/08/2015) e per la rivelazione ed allarme (capitolo S.7 del D.M. 03/08/2015).

La soluzione prevista dalla RTO è sufficiente perché nel nostro edificio adotteremo nelle vie di esodo i materiali compresi in GM2, mentre negli altri spazi adotteremo almeno materiali in GM3.

6.2.7.2.2 Resistenza al fuoco (V.4.4.2 del D.M. 03/08/2015)

La classe di resistenza al fuoco dei compartimenti (capitolo S.2 del D.M. 03/08/2015) non può essere inferiore a quanto previsto in tabella V.4-1.

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

Tabella V.4-1: Classe di resistenza al fuoco del D.M. 03/08/2015

In categoria HB dobbiamo prendere una classe di resistenza non inferiore a **60**, a differenza di quanto previsto dalla RTO in cui andremo ad utilizzare un livello pari a 45. Nel nostro caso, muri e solai, sono stati verificati con classe pari a 60 che rispettano, alla fine, le RTV.

6.2.7.2.3 Compartimentazione (V.4.4.3 del D.M. 03/08/2015)

Le aree di tipo TA, TO devono essere ubicate a quota di piano ≥ -5 m. Le aree di tipo TA e TO con controllo dell'incendio (capitolo S.6 del D.M. 03/08/2015) di livello di prestazione IV e con vie di esodo verticali protette possono essere ubicate a quote ≥ -10 m. Le aree dell'attività devono avere le caratteristiche di compartimentazione (capitolo S.3 del D.M. 03/08/2015) previste in tabella V.4-2. Gli uffici afferenti a responsabili dell'attività diversi possono essere ubicati all'interno dello stesso compartimento, avere comunicazioni dirette (capitolo S.3 del D.M. 03/08/2015) e sistema d'esodo comune.

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.

Tabella V.4-2: Compartimentazione del D.M. 03/08/2015

La soluzione prevista dalla RTO è sufficiente perché andremo a adottare dei compartimenti di tipo protetto in tutto l'edificio.

6.2.7.2.4 Controllo dell'incendio (V.4.4.5 del D.M. 03/08/2015)

Le aree dell'attività devono essere dotate di misure di controllo dell'incendio (capitolo S.6 del D.M. 03/08/2015) secondo i livelli di prestazione previsti in tabella V.4-3.

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 < -10 m o di superficie > 50 m ² .					

Tabella V.4-3: Livelli di prestazione del controllo dell'incendio del D.M. 03/08/2015

La RTV ci impone di usare un livello di prestazione pari a III, a differenza di quanto previsto dalla RTO in cui andremo ad utilizzare un livello pari a II. L'unica differenza tra i due livelli è che deve essere installata una rete idranti (RI) a protezione dell'intera attività o di singoli compartimenti in relazione alle risultanze della valutazione del rischio, secondo le indicazioni del paragrafo S.6.8 del D.M. 03/08/2015.

La rete di idranti (RI) è costituita da un sistema di tubazioni per l'alimentazione idrica di uno o più apparecchi di erogazione. Le RI si distinguono in:

- a. RI ordinarie destinate alla protezione di attività ubicate all'interno di opere da costruzione;
- b. RI all'aperto destinate alla protezione di attività ubicate all'aperto.

La RI progettata, installata ed esercita secondo la norma UNI 10779 è considerata soluzione conforme. I livelli di pericolosità, le tipologie di protezione (protezione interna o protezione esterna) e le caratteristiche dell'alimentazione idrica della RI sono stabiliti dal progettista sulla base della valutazione del rischio di incendio.

6.2.7.2.5 Rilevazione ed allarme (V.4.4.6 del D.M. 03/08/2015)

L'attività deve essere dotata di misure di rivelazione ed allarme (capitolo S.7 del D.M. 03/08/2015) secondo i livelli di prestazione di cui alla tabella V.4-6. Per il livello di prestazione IV deve essere previsto il sistema EVAC esteso almeno alle aree TA e TO.

Attività	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
OA	II [1]	II [1] [2]		III [2]	IV
OB	II [1] [2]		III [2]	IV	
OC	III [2]		IV		
[1] Se presenti, le aree TM, TK, TT devono essere sorvegliate da rilevazione automatica d'incendio (funzione A, capitolo S.7). [2] Incremento di un livello di prestazione per attività aperte al pubblico.					

Tabella V.4-6: Livelli di prestazione per rilevazione ed allarme del D.M. 03/08/2015

La RTV ci impone di usare un livello di prestazione pari a III, a differenza di quanto previsto dalla RTO in cui andremo ad utilizzare un livello pari a II. Nel livello III deve essere implementata la funzione principale A (rivelazione automatica dell'incendio) estesa a porzioni dell'attività. In esito alle risultanze della valutazione del rischio, facendo riferimento alle funzioni secondarie di cui alla tabella S.7-6, può essere previsto:

- a. l'avvio automatico di sistemi di protezione attiva, compresi i sistemi di ripristino delle compartimentazioni (es. chiusura delle serrande tagliafuoco, sgancio delle porte tagliafuoco, ...);
- b. il controllo o arresto degli impianti tecnologici, di servizio o di processo non destinati a funzionare in caso di incendio.

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

6.3 Soluzioni alternative

Verranno analizzati i risultati delle mappe di ASET, RSET e delle differenze.

Per la realizzazione della mappa di ASET è stata eseguita una simulazione di FDS con il focolare posto all'interno del corridoio nella zona est (vicino ad un'uscita di sicurezza).

Per realizzare le mappe di RSET sono state eseguite le simulazioni tramite JuPedSim, le quali sono state interpolate per creare le mappe di esodo.

6.3.1 Visualizzazione dei risultati

Ora si passa ai risultati ottenuti tramite le mappe.

6.3.1.1 Progetto originale

Di seguito verranno riportate le mappe del primo progetto, ossia dello stato di fatto:

- ASET: ovviamente si può notare come la presenza del focolare in un determinato punto porta ad ottenere dei valori di ASET molto bassi, spargendo il calore in tutto il corridoio (figura 46).

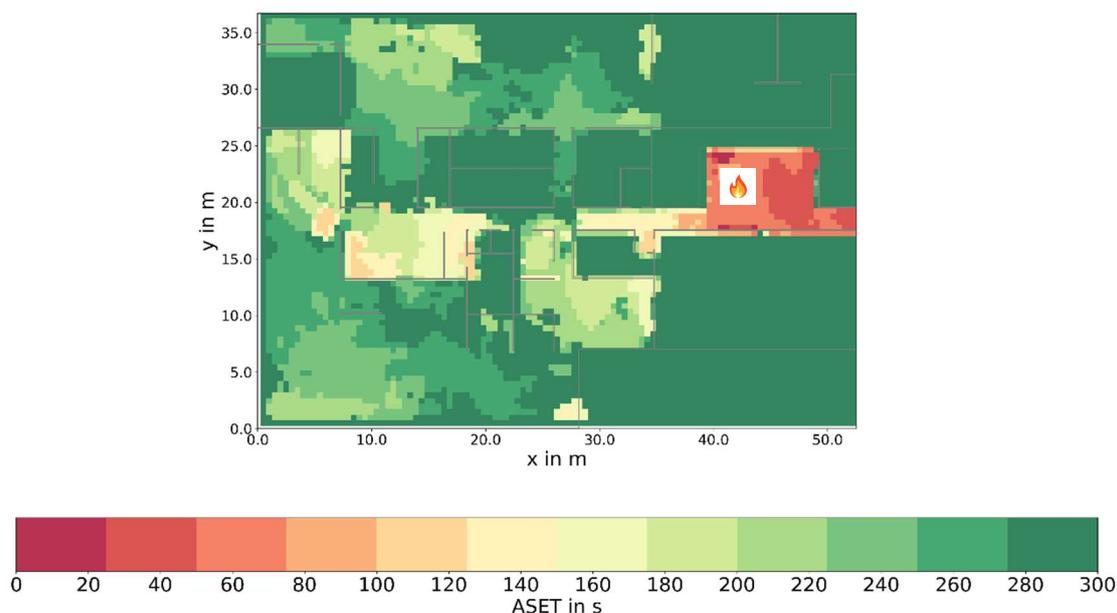


Figura 46: mappa di ASET del piano terra

- RSET: dalla seguente mappa si può notare come i tempi di RSET aumentino in presenza delle uscite. Questa situazione porta alla creazione di “ingorghi” in prossimità delle uscite (figura 47).

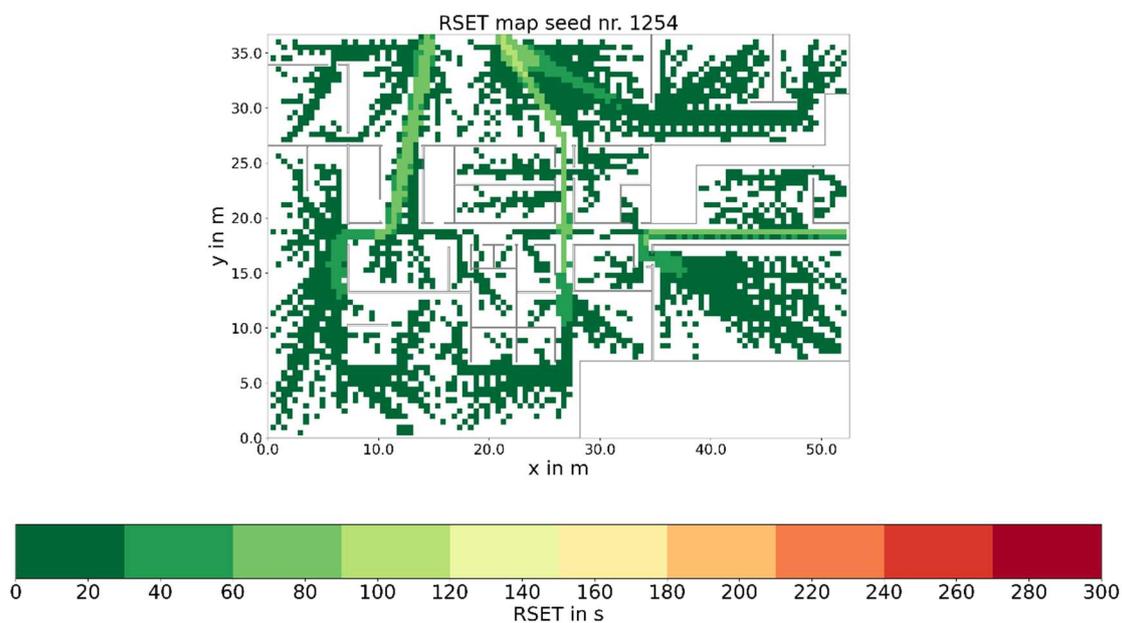


Figura 47: mappa di RSET del piano terra

- Mappa delle differenze: andando a fare la differenza tra le due mappe, si può che la presenza di sole tre porte non garantisce il rispetto delle prestazioni che avevamo imposto all'inizio (figura 48).

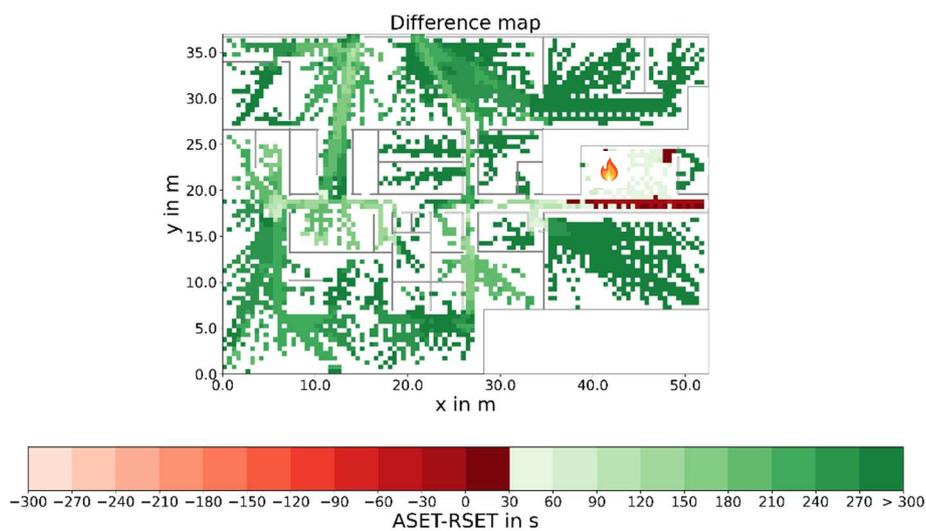


Figura 48: mappa delle differenze nel piano terra

Sarà necessario apportare delle modifiche. Nella simulazione successiva verrà aggiunta una porta nella "Sala riunioni".

6.3.1.2 Progetto con modifiche uno

Nel secondo progetto è stata aggiunta una porta. Di seguito verranno apportate le mappe ottenute dalla simulazione:

- ASET: ovviamente la mappa di ASET sarà uguale alla simulazione precedente (figura 49).

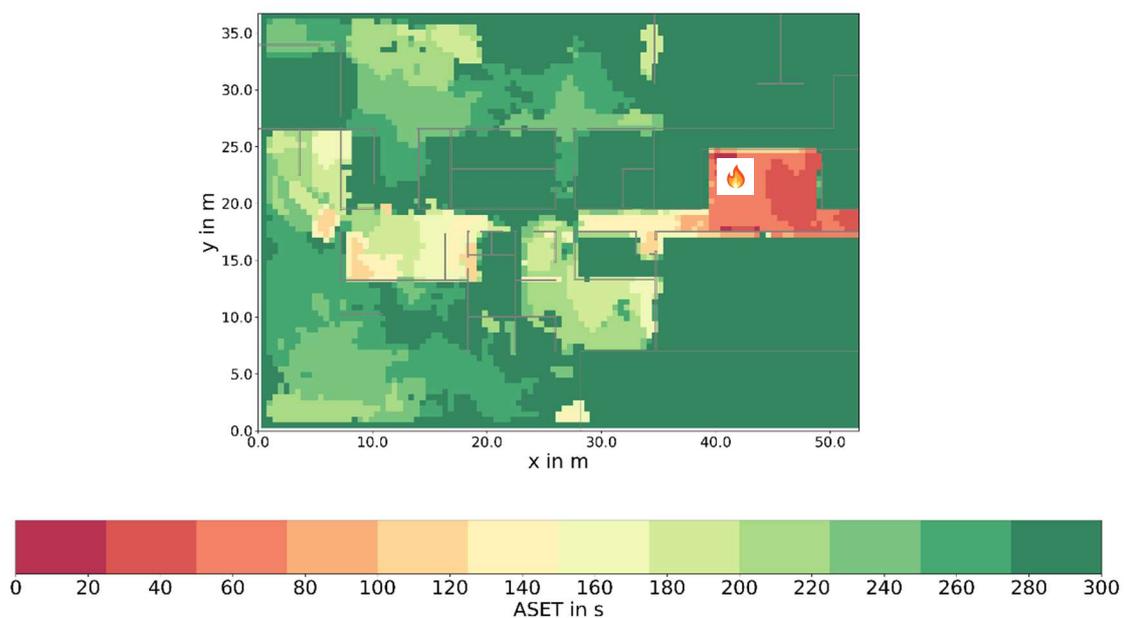


Figura 49: mappa di ASET nel piano terra

- RSET: si può notare come l'aggiunta di una porta nella "Sala riunioni" porta un ingorgo minore nell'uscita vicino al focolare di incendio (figura 50).

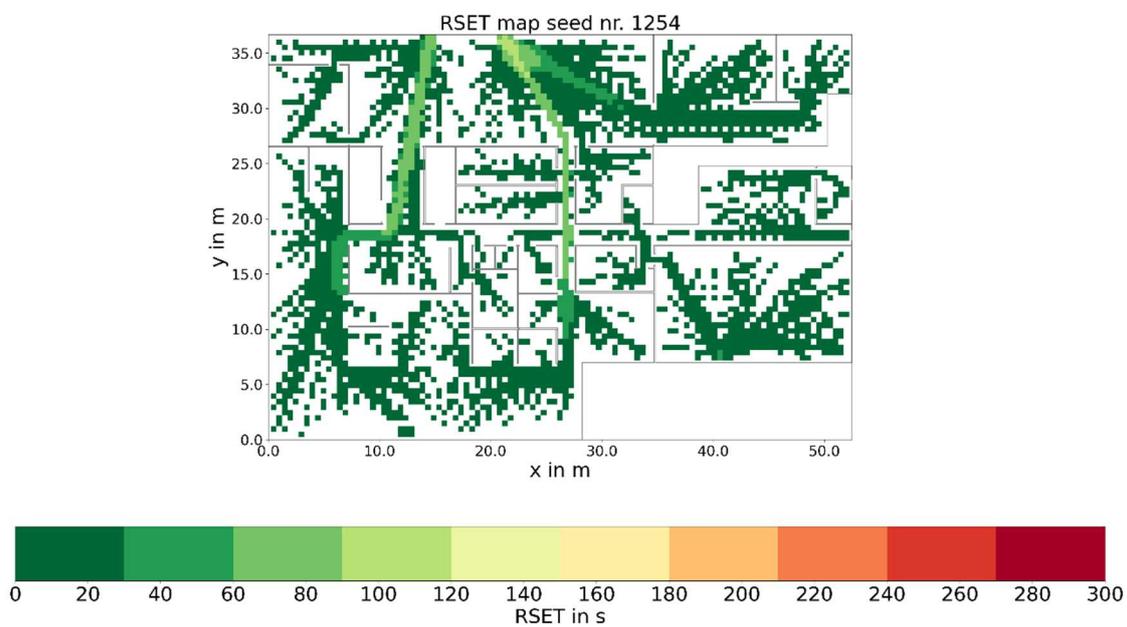


Figura 50: mappa di RSET nel piano terra

- Mappa delle differenze: l'aggiunta di questa porta non è sufficiente a far rispettare gli obiettivi. Ci sono ancora delle zone in cui gli occupanti non riescono ad evacuare nei tempi previsti (figura 51).

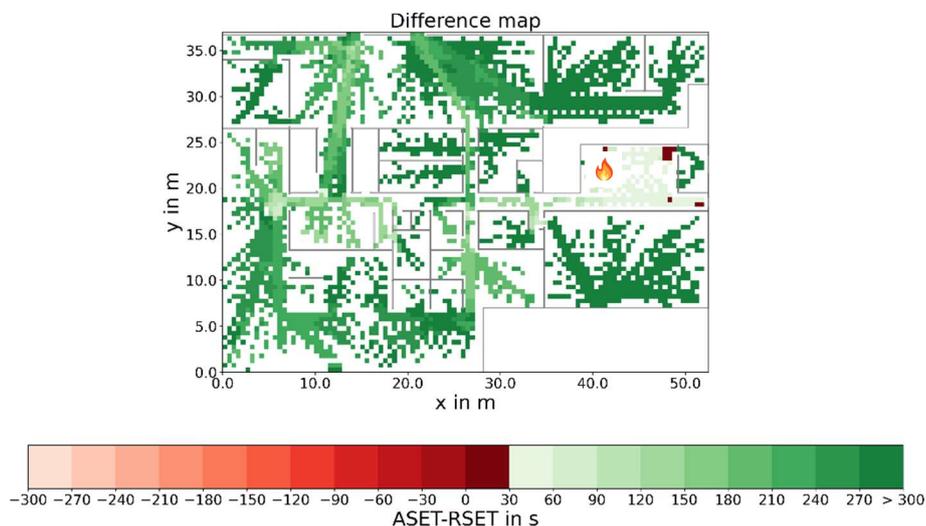


Figura 51: mappa delle differenze nel piano terra

Anche da questa simulazione sono state ottenute delle zone dove non vengono rispettati gli obiettivi che sono stati posti inizialmente. Di conseguenza, nella prossima simulazione verrà allargata la porta di emergenza del corridoio.

6.3.1.3 Progetto con modifiche due

Nel terzo progetto è stata allargata una porta. Di seguito verranno apportate le mappe ottenute dalla simulazione:

- ASET: la mappa sarà identica alle precedenti (figura 52).

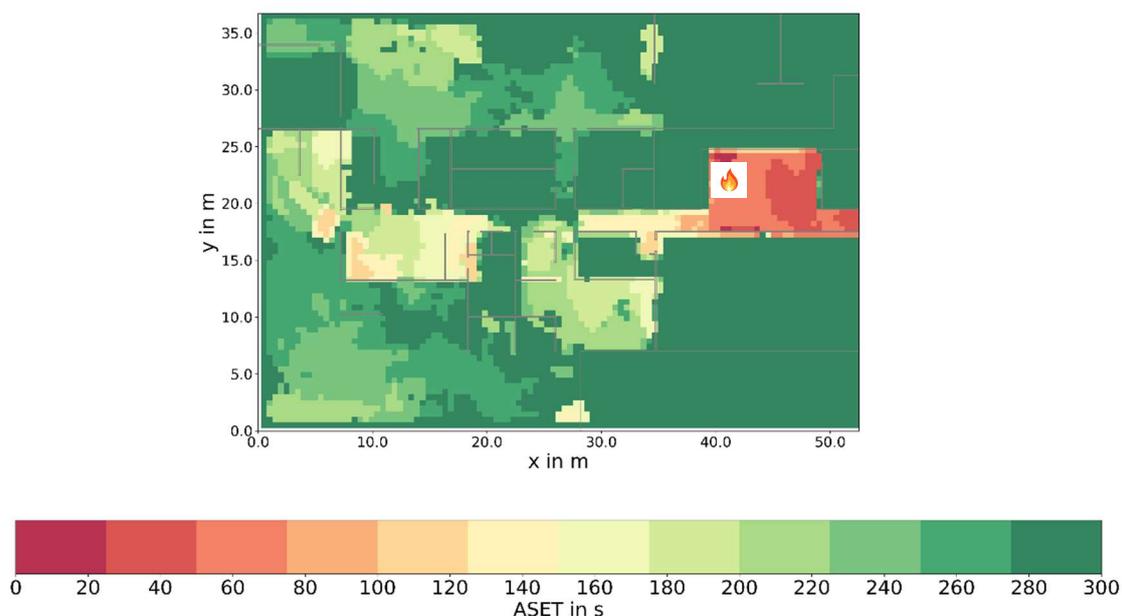


Figura 52: mappa di ASET del piano terra

- RSET: si può notare come l'allargamento di una porta nella "Sala riunioni" porta un ingorgo minore nell'uscita vicino al focolare di incendio (figura 53).

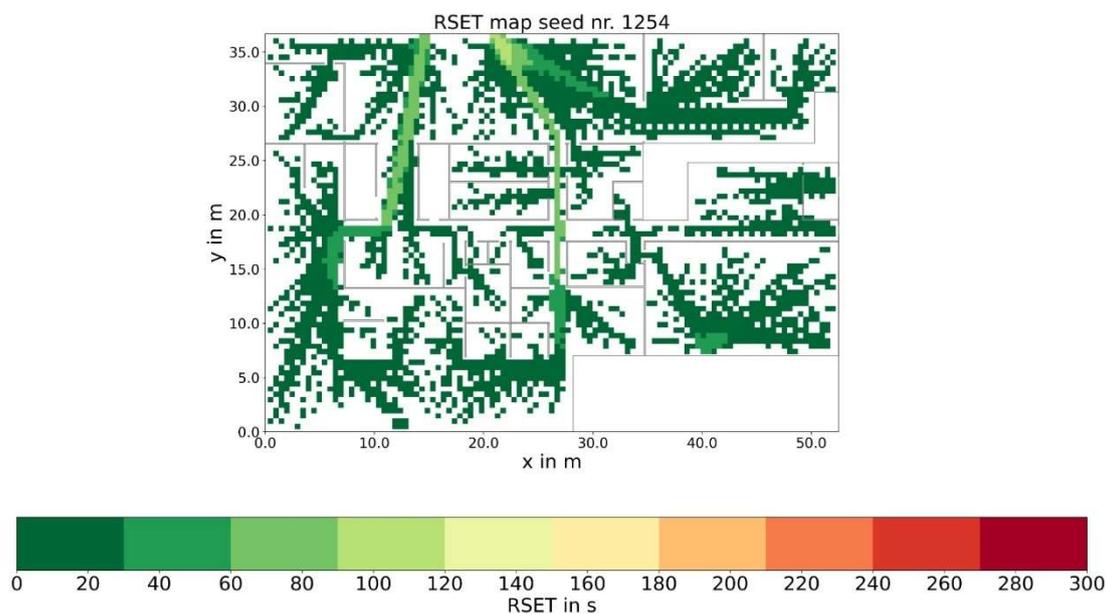


Figura 53: mappa di RSET del piano terra

- Mappa delle differenze: queste soluzioni portano ad un esodo che rispetta gli obiettivi posti inizialmente (figura 54).

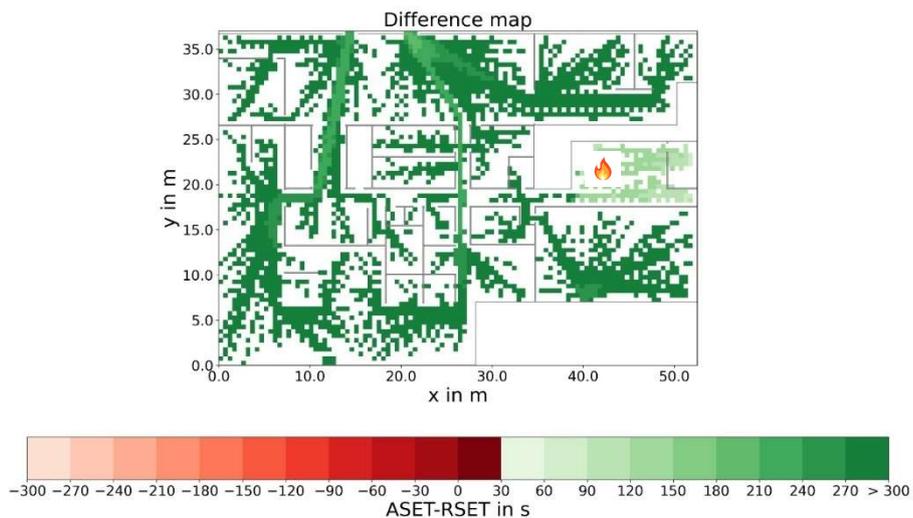


Figura 54: mappa delle differenze nel piano terra

In questo modo, è stata ottenuta una pianta che rispetta gli obiettivi, con piccole modifiche apportate solo dove necessario.

7 ANALISI DEI RISULTATI E DISCUSSIONE

L'ultimo passo riguarda l'analisi delle differenze derivanti dall'applicazione delle due soluzioni. Una considerazione da fare riguarda il fatto che viene analizzato solo il piano terra, escludendo quelli superiori con gli occupanti presenti.

Di seguito viene riportata nella tabella 7 le differenze derivanti dall'applicazione delle due soluzioni.

Tabella 7: differenze tra le due soluzioni

SOLUZIONI CONFORMI	SOLUZIONI ALTERNATIVE
Aggiunta di altre porte esterne e dalla larghezza di due metri ciascuna, riportata nel capitolo 6.2.4.3.3 di questa tesi	Aggiunta di una sola porta di emergenza
Allargamento delle scale interne da un metro a due metri, riportata nel capitolo 6.2.4.3.3 di questa tesi	Dimensione delle scale interne lasciata all'originale di un metro
Allargamento dei corridoi interni, riportata nel capitolo 6.2.4.3.3 di questa tesi	Corridoi interni lasciati invariati
Diminuzione degli spazi adibiti ad uso ufficio, riportata nel capitolo 6.2.4.3.3 di questa tesi	Spazi ad uso ufficio lasciati invariati
Aggiunta di porte interne per separare i compartimenti, riportata nel capitolo 6.2.3.3 di questa tesi	Nessuna aggiunta di altre porte interne

Dalla tabella 7 si può notare come quelle sopra citate sono le differenze che sono presenti tra le due soluzioni. Ovviamente queste differenze portano alla luce alcune situazioni che possono essere più favorevoli (o sfavorevoli) sull'applicazioni di soluzioni alternative.

Nella tabella 8 vengono analizzati i benefici e gli svantaggi.

Tabella 8: vantaggi e svantaggi tra le due soluzioni

SOLUZIONI CONFORMI	SOLUZIONI ALTERNATIVE
Costi maggiori dovuti alle maggiori modifiche che sono state necessarie per rendere conforme il piano terra, inserendo un numero maggiore di porte, sia interne che esterne, dovute ai capitoli S.3 e S.4 del D.M. 03/08/2015	Costi minori perché sono state apportate poche modifiche rispetto al progetto originale, perché è stata sostituita una porta esterna con una più larga e poi è stata aggiunta una sola porta che dà verso l'esterno
Approccio più semplice da usare perché permette di applicare le soluzioni progettuali fornite dal normatore	Approccio più complesso perché il progettista è tenuto a dimostrare il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza
Diminuzioni di superficie utile per uffici per allargare spazi nei corridoi	Superficie utile lasciata invariata per zone ad uso ufficio
Maggiori modifiche a spazi interni	Minori modifiche interne

8 CONCLUSIONE

Con questa tesi è stato presentato come il mondo delle costruzioni si stia digitalizzando sempre di più, con l'obiettivo di automatizzare le varie analisi attraverso strumenti di simulazione. Questo passaggio è studiato per semplificare le varie fasi di progettazione, supportando le figure professionali impegnate nella realizzazione di un edificio che rispetti la normativa locale.

Questa condizione riguarda anche la progettazione antincendio, poiché calcolare i tempi di ASET e RSET risulta particolarmente complesso. Il D.M. 03/08/2015 offre la possibilità di utilizzare soluzioni conformi che garantiscono la salvaguardia della vita umana.

Nel presente elaborato sono stati utilizzati software per la simulazione dell'esodo (JuPedSim) per calcolare i tempi RSET e per la simulazione dell'incendio (FDS). Successivamente, sono state estrapolate le mappe per analizzare se gli occupanti possano evacuare rispettando i tempi stabiliti dagli obiettivi iniziali, modificando di volta in volta alcune parti dell'edificio in caso di risultati negativi.

Parallelamente, sono state applicate le soluzioni conformi, seguendo punto per punto il D.M., a partire dalla classificazione nei profili di rischio, passando per le RTO e, infine, verificando le RTV per gli uffici.

Alla fine, è stato effettuato un confronto tra le due soluzioni, ottenendo che un approccio prestazionale risulta più vantaggioso in termini di risultati, anche se molti tecnici preferiscono ancora attuare le soluzioni conformi, poiché sono più facilmente comprensibili e utilizzabili.

In conclusione, con questo lavoro di tesi è stato dimostrato come, in questo caso, l'utilizzo di soluzioni alternative possa comportare benefici maggiori rispetto all'applicazione di soluzioni conformi.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

[1] Lorenzo Federici, “Sviluppo di un sistema in ambiente BIM per il tracciamento delle prestazioni degli edifici soggetti ai controlli di prevenzione incendi” [Tesi di laurea magistrale 2022/2023]

[2] D.M. 03/08/2015 – “Codice di Prevenzione Incendi”

[3] NFPA 101 – Life Safety Code, National Fire Protection Association (NFPA), 2018

[4] Lemma, M., Tarsi, M., & Carbonari, A. (2024). Development of a framework to track life safety levels of occupants in the event of a fire in buildings. *Architectural Engineering and Design Management*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/17452007.2024.2401565>

[5] Carbonari, A., Lemma, M., & Tarsi, M. (2024) Fire Safety Design of Buildings: A Decision Support Framework to Assess the Safety of Occupants. *Proceedings of the 2024 European Conference on Computing in Construction* (Vol. 5, pp. 0-0)
https://ec-3.org/publications/conference/paper/?id=EC32024_251

[6] <https://www.autodesk.com/it/solutions/bim>

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il prof. Carbonari Alessandro per avermi appoggiato in questo percorso, facendomi scoprire un nuovo mondo per aprire nuove porte in un futuro lavorativo. Lo ringrazio anche per la pazienza, la cortesia e la gentilezza che mi ha dimostrato in questi mesi e per tutto l'entusiasmo che mi ha trasmesso e mi ha mostrato. Ringrazio anche l'ing. Tarsi Martina per tutta la pazienza, per la sua disponibilità e per i suoi consigli che mi hanno aiutato per la stesura della tesi.

Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia, per essermi sempre stato vicino in questi anni di università, non facendomi mai mancare niente per farmi arrivare ad essere una persona nuova.

Un ultimo ringraziamento a tutti i miei amici/amiche, che mi hanno sempre supportato in questi anni, regalandomi momenti meravigliosi di grande amicizia e unità.