POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Energetica

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Energetica e Nucleare –

Uso razionale dell'energia e progettazione termotecnica

Tesi di Laurea Magistrale

Fire Safety Engeneering: approccio prestazionale alla sicurezza antincendio

Relatore

prof. Luca Marmo

Candidato

Fabio Neira

Luglio 2019

Sommario

PREMESSA 3
SEZIONE A. L' APPROCCIO PRESCRITTIVO 4
Introduzione 4
Capitolo 1: L'edificio in esame 5
Capitolo 2: Compartimentazione 8
Capitolo 3: Determinazione dei profili di rischio 11
Capitolo 3.1: Profilo di rischio R_{vita} 11
Capitolo 3.2: Profilo di rischio R_{beni} 14
Capitolo 3.3: Profilo di rischio $R_{ambiente}$ 14
Capitolo 4: "Reazione al fuoco" (S.1) 17
Capitolo 4.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione 17
Capitolo 4.2: Soluzione Conforme 18
Capitolo 5: "Resistenza al fuoco" (S.2) 21
Capitolo 5.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione 21
Capitolo 5.2: Soluzione conforme 22
Capitolo 6: "Compartimentazione" (S.3) 27
Capitolo 6.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione 27
Capitolo 6.2: Soluzione conforme 28
Capitolo 7: "Esodo" (S.4) 31
Capitolo 7.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione 32
Capitolo 7.2: Soluzione conforme 32
Capitolo 8: "Gestione della sicurezza antincendio" (S.5) 36
Capitolo 8.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione 36
Capitolo 8.2: Soluzione conforme 37
Capitolo 9: "Controllo dell'incendio" (S.6) 39
Capitolo 9.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione 39
Capitolo 9.2: Soluzione conforme 40
Capitolo 10: "Rivelazione e allarme" (S.7) 44
Capitolo 10.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione 44
Capitolo 10.2: Soluzione conforme 45
Capitolo 11: "Controllo di fumi e calore" (S.8) 48

Capitolo 11.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione *48*
Capitolo 11.2: Soluzione conforme *49*
Capitolo 12: "Operatività antincendio" (s.9) 51
Capitolo 12.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione *51*
Capitolo 12.2: Soluzione conforme 52
Capitolo 13: "Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio" (S.10) 53
Capitolo 13.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione 53
Capitolo 13.2: Soluzione conforme *54*
SEZIONE B. L' APPROCCIO PRESTAZIONALE 55
Introduzione 55
Capitolo 1: Scenari di incendio 57
Capitolo 2: Calcolo RSET 60
Capitolo 2.1: Tempo di rivelazione t_{det} *60*
Capitolo 2.2: Tempo di allarme generale t_{warn} *63*
Capitolo 2.3: Tempo di attività pre-movimento t_{pre} *63*
Capitolo 2.4: Tempo di movimento t_{trav} *65*
Capitolo 3: Calcolo ASET 67
Capitolo 3.1: Scenario 1 ..... *68*
Capitolo 3.2: Scenario 2 ..... *70*
Capitolo 4: Confronto RSET – ASET 71
Capitolo 5: Pathfinder 73
Capitolo 6: Pedestrian Dynamics 76
Capitolo 7: Conclusioni 78
Bibliografia 79

PREMESSA

La presente tesi si pone lo scopo di analizzare le principali metodologie di studio della sicurezza antincendio nel campo dell'edilizia civile e terziaria.

È possibile analizzare un edificio dal punto di vista della sicurezza antincendio con due tipologie di approccio, quello prescrittivo e quello prestazionale.

L'approccio prescrittivo si basa essenzialmente sull' applicazione delle regole tecniche e delle norme fornite dal legislatore, per ottenere i requisiti minimi di sicurezza.

È l'approccio più largamente diffuso in Italia dai professionisti del settore, poiché permette di trovare delle soluzioni relativamente rapide e di affidabilità certa.

Le norme tecniche forniscono delle valutazioni applicabili a tutti i campi dell'edilizia, e si basano su criteri molto conservativi, per permettere al progettista di avere un buon margine di sicurezza nelle sue analisi.

Per questo motivo, in alcuni casi, la normativa può risultare troppo restrittiva o addirittura inutilizzabile.

L'approccio prestazionale si basa invece sulla Fire Safety Engeneering, cioè l'applicazione di idonei modelli di calcolo per studiare l'evoluzione e le conseguenze degli incendi.

Diventa compito del progettista trovare la soluzione progettuale più appropriata per la situazione in esame, e dimostrare, tramite un metodo ingegneristico, che la propria soluzione permette di ottenere un livello di sicurezza pari a quello proposto dalla normativa.

Ho trovato molto interessante in particolare questo secondo approccio, perché mette in risalto la figura dell'ingegnere, cioè quella persona in grado di trovare una soluzione ad un problema grazie alle proprie conoscenze scientifiche e di dimostrare con i dati la veridicità delle proprie ipotesi.

In questo elaborato applicherò entrambi i metodi ad un edificio di esempio, con lo scopo di comprendere meglio i pregi e i difetti dell'uno e dell'altro, e valutarne gli sbocchi professionali.

SEZIONE A. L' APPROCCIO PRESCRITTIVO

INTRODUZIONE

In questa sezione verrà effettuata l'analisi di sicurezza antincendio dell'edificio in esame seguendo le principali norme e regole tecniche in vigore.

In particolare verranno seguite le linee guida dettate dal D.M. 3 Agosto 2015, più comunemente conosciuto come "Codice di prevenzione incendi".

Dopo alcuni capitoli introduttivi verranno analizzate le dieci strategie antincendio riportate nella sezione S del codice, ed in particolare:

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

Ad ognuna di queste strategie verrà attribuito un livello di prestazione, cioè un indicatore dei requisiti minimi che l'edificio o il compartimento deve avere per essere considerato a norma.

In base al livello di prestazione verrà poi indicata una soluzione conforme da applicare all'edificio. La soluzione conforme rappresenta l'insieme degli accorgimenti progettuali e costruttivi che devono essere applicati affinché le autorità competenti possano dare parere favorevole sulla realizzazione dell'opera.

Nel caso in cui non sia possibile rispettare la soluzione conforme il progettista dovrà dimostrare, tramite procedura di deroga o tramite approccio prestazionale, che l'edificio rispetta comunque i requisiti minimi di sicurezza di una determinata strategia antincendio.

La soluzione conforme rappresenta una soluzione globalmente accettata dalle autorità e permette quindi al progettista di mettersi in condizioni di sicurezza dal punto di vista dell'approvazione della pratica antincendio.

CAPITOLO 1: L'EDIFICIO IN ESAME

L'edificio in esame è lo studentato universitario denominato "Campus Sanpaolo", situato a Torino, Via Caraglio 97.

Il complesso offre stanze per gli studenti della città, oltre ad un numero limitato di stanze ad uso hotel, per un totale di 537 posti letto.

Per tale ragione, secondo la classificazione degli edifici del Decreto Ministeriale 7 Agosto 2012, ricade nella categoria 66.4.C (Studentati oltre 100 posti letto).

L'opera è costituita da due strutture separate, denominate Edificio A ed Edificio B.

L'edificio A è composto di 8 piani fuori terra per un'altezza totale di circa 26 mt, mentre l'edificio B è costituito di 5 piani f.t. di altezza complessiva di circa 17 mt.

In entrambi gli edifici il piano terra è adibito ad attività secondarie, come la reception, bar, mense e locali tecnici di vario genere, mentre i piani superiori sono occupati dalle camere.

I due edifici sono separati da un ampio cortile interno, che permette la comunicazione tra gli stessi.

Le camere risultano occupate nella loro totalità per quasi tutto l'anno, con una lieve flessione nei mesi estivi.

Nelle immagini sottostanti sono riportate le piante del piano terra e del piano primo; i piani superiori hanno geometria identica a quella del piano primo.

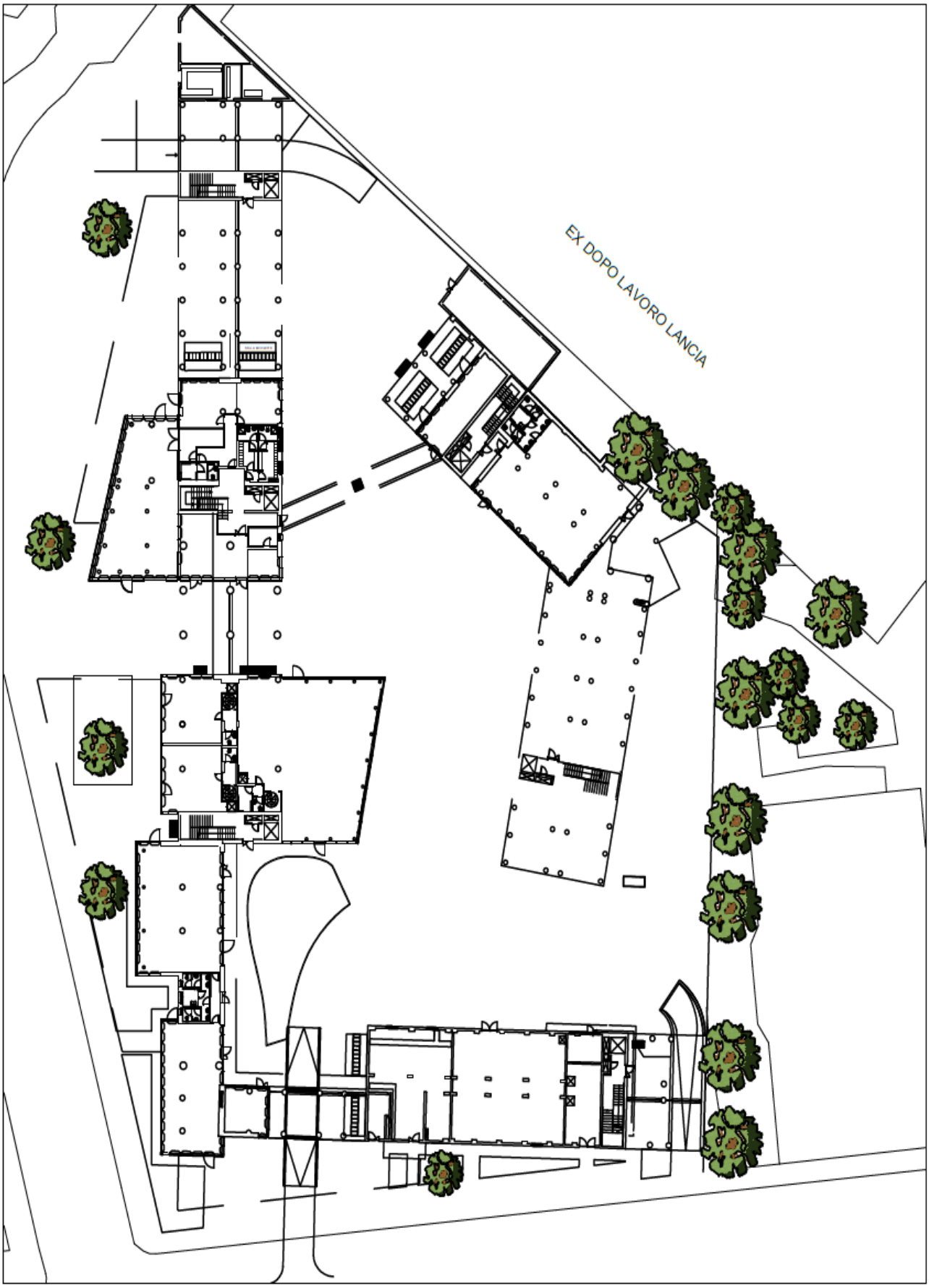


Immagine 1: Pianta piano terra

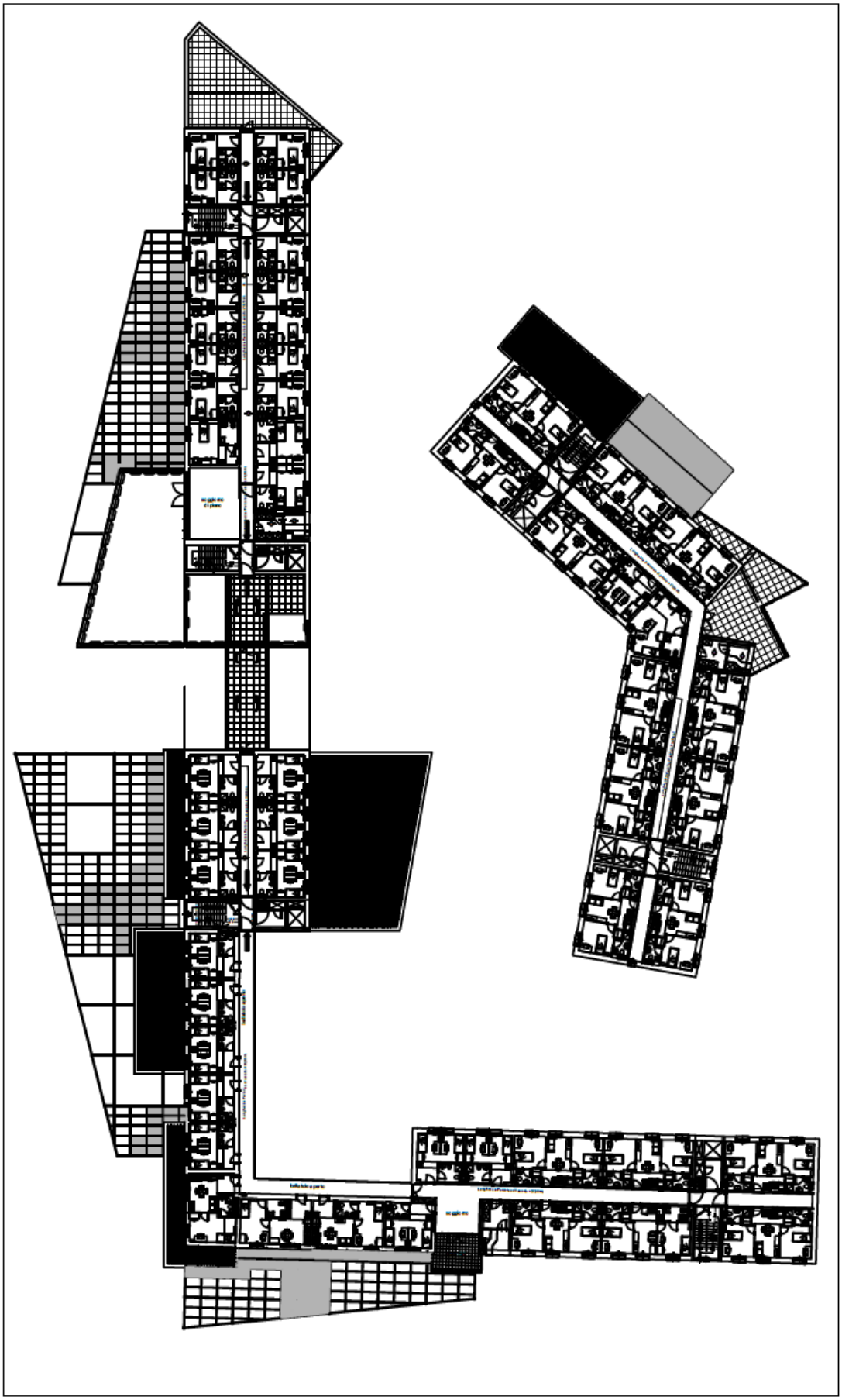


Immagine 2: Pianta piano terra

CAPITOLO 2: COMPARTIMENTAZIONE

Al fine di difendere la struttura dalla propagazione dell'incendio tra zone confinanti è necessario suddividerla in compartimenti.

Per compartimento si intende una parte dell'opera avente caratteristiche come geometria e destinazione d'uso differenti dal resto dell'edificio e avente resistenza al fuoco nota e omogenea.

Ad ogni compartimento verranno in seguito assegnati dei requisiti minimi di sicurezza antincendio in base alle caratteristiche di affollamento e di utilizzo.

Per quanto riguarda l'edificio A, il piano terra è stato suddiviso in 4 compartimenti differenti in base alla destinazione d'uso; in particolare si individua un compartimento hall/uffici, un bar, una sala studio e una lavanderia.

Ognuno dei piani superiori è stato invece suddiviso in 3 compartimenti distinti, di superficie simile, per facilitare l'accesso alle vie d'esodo.

Per quanto riguarda l'edificio B ogni piano costituisce un compartimento a sé stante.

Per una trattazione più dettagliata si rimanda al successivo capitolo 6 "Compartimentazione".

La tabella 1 riporta la suddivisione in compartimenti, unitamente alla superficie di ogni compartimento ed al numero di occupanti previsto.

Il complesso è stato suddiviso in un totale di 29 compartimenti.

Tabella 1: Compartimentazione dell'edificio

EDIFICIO	COMPARTIMENTO	PIANO	DESCRIZIONE	SUPERFICIE [m²]	OCCUPANTI
A	**1**	PT	Hall/Uffici	270	54
A	**2**	PT	Bar	141	98
A	**3**	PT	Sala Studio	290	116
A	**4**	PT	Lavanderia	33	3
A	**5**	1P	Camere	512	19
A	**6**	1P	Camere	401	15
A	**7**	1P	Camere	767	28
A	**8**	2P	Camere	512	22
A	**9**	2P	Camere	401	18
A	**10**	2P	Camere	767	30
A	**11**	3P	Camere	512	22
A	**12**	3P	Camere	401	17
A	**13**	3P	Camere	767	30
A	**14**	4P	Camere	512	23
A	**15**	4P	Camere	401	20
A	**16**	4P	Camere	767	32
A	**17**	5P	Camere	512	21
A	**18**	5P	Camere	401	17
A	**19**	5P	Camere	767	29

A	**20**	6P	Camere	512	20
A	**21**	6P	Camere	401	17
A	**22**	6P	Camere	767	29
A	**23**	7P	Camere	512	11
A	**24**	7P	Camere	401	11
B	**25**	PT	Mensa	316	126
B	**26**	1P	Camere	792	26
B	**27**	2P	Camere	792	26
B	**28**	3P	Camere	792	26
B	**29**	4P	Camere	792	26

CAPITOLO 3: DETERMINAZIONE DEI PROFILI DI RISCHIO

Al fine di determinare il rischio di incendio dell'attività vengono valutati i seguenti profili di rischio:

- R_{vita}: profilo di rischio relativo alla salvaguardia della vita umana
- R_{beni}: profilo di rischio relativo alla salvaguardia dei beni economici
- $R_{ambiente}$: profilo di rischio relativo alla tutela dell'ambiente

Il profilo di rischio R_{vita} viene attribuito ad ogni compartimento, in quanto diversi utilizzi degli ambienti implicano rischi diversi per le persone. Il R_{beni} e $R_{ambiente}$ vengono invece attribuiti all'intero edificio.

Capitolo 3.1: Profilo di rischio R_{vita}

Il rischio per la vita degli occupanti è calcolato in base ai seguenti due fattori:

- δ_{occ}: parametro che descrive le caratteristiche e lo stato degli occupanti nei compartimenti.

  La tabella sottostante indica i valori del parametro in base al tipo di compartimento.

Tabella 2: Valori del parametro δocc

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, 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
C [1]	Gli occupanti possono essere addormentati:	
Ci	• in attività individuale di lunga durata	Civile abitazione
Cii	• in attività gestita di lunga durata	Dormitorio, residence, studentato,residenza per persone autosufficienti
Ciii	• in attività gestita di breve durata	Albergo, rifugio alpino
D	Gli occupanti ricevono cure mediche	Degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria
E	Occupanti in transito	Stazione ferroviaria, aeroporto, stazione metropolitana
[1] Quando nel presente documento si usa C la relativa indicazione è valida per Ci, Cii, Ciii		

Al piano terra dell'edificio A sono presenti attività aperte al pubblico che quindi prevedono un'occupazione di persone non familiari con l'edificio. Perciò hanno δ_{occ} pari a B.

Al piano terra dell'edificio B è invece presente una mensa utilizzata dai residenti, perciò da occupanti familiari con l'edificio. Tale compartimento avrà δ_{occ} pari ad A.

I piani superiori sono invece occupati dalle camere del residence ed avranno quindi δ_{occ} pari a Cii.

- δ_a: parametro che descrive la velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio.
  La velocità di crescita dipende dal tempo impiegato dalla potenza termica, sprigionata dall'incendio, per raggiungere il valore di 1000 kW.
  Per caratteristica prevalente si intende la condizione di utilizzo principale del compartimento; una limitata quantità di prodotti infiammabili, ad esempio, non costituisce una fonte di rischio rilevante.
  Nella tabella sottostante sono indicati i valori del parametro in base alle caratteristiche dell'incendio.

Tabella 3: Valori del parametro δa

δ_α	Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio t_α [s]		Esempi
1	600	Lenta	Materiali poco combustibili distribuiti in modo discontinuo o inseriti in contenitori non combustibili.
2	300	Media	Scatole di cartone impilate; pallets di legno; libri ordinati su scaffale; mobilio in legno; automobili; materiali classificati per reazione al fuoco (capitolo S.1)
3	150	Rapida	Materiali plastici impilati; prodotti tessili sintetici; apparecchiature elettroniche; materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco.
4	75	Ultra-rapida	Liquidi infiammabili; materiali plastici cellulari o espansi e schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.

Vista l'assenza di materiali facilmente infiammabili o ad alta pericolosità si attribuisce ad ogni compartimento una velocità di crescita dell'incendio media.

Il parametro δ_a è quindi assunto pari a 2.

Il valore del rischio di vita R_{vita} è determinato come combinazione di δ_{occ} e δ_a secondo la tabella seguente.

Tabella 4: Determinazione di R_{vita}

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

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

Si rimanda alla tabella 6 per una visione di insieme dei valori attribuiti ai singoli compartimenti.

Capitolo 3.2: Profilo di rischio R_{beni}

Il parametro R_{beni} ha lo scopo di fornire una protezione aggiuntiva a quegli edifici con un valore strategico (es. ospedali, stazioni di polizia), culturale (es. musei) o artistico (es. palazzi storici) significativo.

Un'opera risulta vincolata per arte o storia se essa è tale a norma di legge.

Tabella 5: Determinazione di Rbeni

		Opera da costruzione vincolata	
		No	**Sì**
Opera da costruzione strategica	**No**	$R_{beni} = 1$	$R_{beni} = 2$
	Sì	$R_{beni} = 3$	$R_{beni} = 4$

L'attività in esame non presenta rilevanza storica o strategica, pertanto il parametro R_{beni} è assunto pari ad 1.

Capitolo 3.3: Profilo di rischio $R_{ambiente}$

Il rischio ambientale può essere ritenuto mitigato in seguito all'applicazione di tutte le norme riguardanti R_{vita} ed R_{beni}, a meno che non sia determinato diversamente in seguito ad una specifica valutazione di rischio.

In questo caso $R_{ambiente}$ viene ritenuto non significativo per l'intera attività.

Nella tabella seguente sono riepilogati i valori di R_{vita}, R_{beni} e $R_{ambiente}$ determinati per ogni compartimento.

Tabella 6: Profili di rischio

EDIFICIO	COMPARTIMENTO	PIANO	Descrizione	δ_{occ}	δ_a	R_{vita}	R_{beni}	R_{amb}
A	**1**	PT	Hall/Uffici	B	2	**B2**	**1**	**-**
A	**2**	PT	Bar	B	2	**B2**	**1**	**-**
A	**3**	PT	Sala Studio	B	2	**B2**	**1**	**-**
A	**4**	PT	Lavanderia	B	2	**B2**	**1**	**-**
A	**5**	1P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**6**	1P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**7**	1P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**8**	2P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**9**	2P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**10**	2P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**11**	3P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**12**	3P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**13**	3P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**14**	4P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**15**	4P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**16**	4P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**17**	5P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**18**	5P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**19**	5P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**20**	6P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**

A	**21**	6P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**22**	6P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**23**	7P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
A	**24**	7P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
B	**25**	PT	Mensa	A	2	**A2**	**1**	**-**
B	**26**	1P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
B	**27**	2P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
B	**28**	3P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**
B	**29**	4P	Camere	Cii	2	**Cii2**	**1**	**-**

CAPITOLO 4: “REAZIONE AL FUOCO” (S.1)

La reazione al fuoco è una misura antincendio di protezione passiva che ha ruolo fondamentale nella fase di prima propagazione dell'incendio, con l'obiettivo di limitare l'innesco dei materiali e la propagazione dell'incendio.

In base al livello di prestazione del compartimento viene attribuita una classe di reazione al fuoco, al di sotto della quale si devono trovare tutti i materiali utilizzati nel compartimento stesso.

Capitolo 4.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Viene identificato un livello di prestazione differente per le vie d’esodo e per i locali dell’attività, in quanto le vie d’esodo hanno in genere requisiti più elevati.

Nelle tabelle 7 e 8 sono riportati i criteri generalmente accettati per l'attribuzione dei livelli di prestazione per la reazione al fuoco dei materiali.

Tabella 7: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione alle vie d'esodo dell'attività

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 ,	

Tabella 8: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione ad altri locali dell’attività

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

I livelli di prestazione relativi alla classe di reazione al fuoco dei compartimenti sono attribuiti in base al valore di R_{vita} dei compartimenti stessi.

Essendo i compartimenti appartenenti alle classi A2, B2 e Cii2, essi rientreranno nelle classi riportate nella tabella sottostante.

Compartimento	*Descrizione*	*Livello (vie d'esodo)*	*Livello (altri locali)*
1	***Hall/Uffici***	*III*	*II*
2	***Bar***	*III*	*II*
3	***Sala Studio***	*III*	*II*
4	***Lavanderia***	*III*	*II*
-	***Camere***	*III*	*II*
25	***Mensa***	*I*	*I*

Capitolo 4.2: Soluzione Conforme

Sono di seguito analizzate le soluzioni conformi applicabili in base ai livelli di prestazione individuati.

La Tabella 9 fornisce un'indicazione di base del comportamento che devono avere i materiali.

Tabella 9: Livelli di prestazione per la reazione al fuoco

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	I materiali contribuiscono in modo non trascurabile all'incendio
III	I materiali contribuiscono moderatamente all'incendio
IV	I materiali contribuiscono limitatamente all'incendio
Per *contributo all'incendio* si intende l'energia rilasciata dai materiali che influenza la crescita e lo sviluppo dell'incendio in condizioni pre e post incendio generalizzato (flashover) secondo EN 13501-1.	

Capitolo 4.2.1: Soluzione conforme per livello di prestazione I

I compartimenti con livello di prestazione I non presentano requisiti di reazione al fuoco.

Capitolo 4.2.2: Soluzione conforme per livello di prestazione II

Nei compartimenti con livello di prestazione II devono essere necessariamente utilizzati materiali appartenenti alla classe di reazione al fuoco GM3 o superiori.

Capitolo 4.2.3: Soluzione conforme per livello di prestazione III

Nei compartimenti con livello di prestazione III devono essere necessariamente utilizzati materiali appartenenti alla classe di reazione al fuoco GM2 o superiori.

Le classi di reazione al fuoco sono riferite alla classificazione italiana (DM 26/6/1984) e alla classificazione europea (DM 10/3/2015). L'appartenenza dei diversi materiali alla relativa classe di reazione è riportata nelle tabelle sottostanti.

La classificazione si riferisce al comportamento al fuoco dei materiali nelle effettive condizioni finali di applicazione, con particolare riguardo al grado di partecipazione all'incendio che essi manifestano in condizioni standardizzate di prova.

Tabella 10: Classificazione dei materiali

<table>
<tr><th rowspan="2">Descrizione materiali</th><th colspan="2">GM1</th><th colspan="2">GM2</th><th colspan="2">GM3</th></tr>
<tr><th>Ita</th><th>EU</th><th>Ita</th><th>EU</th><th>Ita</th><th>EU</th></tr>
<tr><td>Mobili imbottiti
(poltrone, divani, divani letto, materassi, sommier, guanciali, topper, cuscini)</td><td>1 IM</td><td rowspan="6">[na]</td><td>1 IM</td><td rowspan="6">[na]</td><td>2 IM</td><td rowspan="6">[na]</td></tr>
<tr><td>Bedding
(coperte, copriletti, coprimaterassi)</td><td rowspan="5">1</td><td rowspan="5">1</td><td rowspan="5">2</td></tr>
<tr><td>Mobili fissati e non agli elementi strutturali (sedie e sedili non imbottiti)</td></tr>
<tr><td>Tendoni per tensostrutture, strutture pressostatiche e tunnel mobili</td></tr>
<tr><td>Sipari, drappeggi, tendaggi,</td></tr>
<tr><td>Materiale scenico, scenari fissi e mobili (quinte, velari, tendaggi e simili)</td></tr>
<tr><td colspan="7">[na] Non applicabile</td></tr>
</table>

Descrizione materiali	GM1		GM2		GM3	
	Ita	EU	Ita	EU	Ita	EU
Rivestimenti a soffitto [1]	0	A2-s1,d0	1	B-s2,d0	2	C-s1,d0
Controsoffitti						
Pavimentazioni sopraelevate (superficie nascosta)						
Rivestimenti a parete [1]	1	B-s1,d0				
Partizioni interne, pareti, pareti sospese						
Rivestimenti a pavimento [1]	1	B_{fl}-s1	1	C_{fl}-s1	2	C_{fl}-s2
Pavimentazioni sopraelevate (superficie calpestabile)						
[1] Qualora trattati con prodotti vernicianti ignifughi, questi ultimi devono avere la corrispondente classificazione indicata ed essere idonei all'impiego previsto.						

Descrizione materiali	GM1		GM2		GM3	
	Ita	EU	Ita	EU	Ita	EU
Isolanti protetti [1]	2	C-s2,d0	3	D-s2,d2	4	E
Isolanti lineari protetti [1], [3]		C_L-s2,d0		D_L-s2,d2		E_L
Isolanti in vista [2], [4]	0, 0-1	A2-s1,d0	1, 0-1	B-s2,d0	1, 1-1	B-s3,d0
Isolanti lineari in vista [2], [3], [4]		$A2_L$-s1,d0		B_L-s3,d0		B_L-s3,d0
[1] Protetti con materiali non metallici del gruppo GM0 ovvero prodotti di classe di resistenza al fuoco K 10 e classe minima di reazione al fuoco B-s1,d0. [2] Non protetti come indicato nella nota [1] della presente tabella [3] Classificazione riferita a prodotti di forma lineare destinati all'isolamento termico di condutture di diametro massimo comprensivo dell'isolamento di 300 mm [4] Eventuale doppia classificazione italiana (materiale nel suo complesso- componente isolante a sé stante) riferita a *materiale isolante in vista* realizzato come prodotto a più strati di cui almeno uno sia componente isolante; quest'ultimo non esposto direttamente alle fiamme						

Descrizione materiali	GM1		GM2		GM3	
	Ita	EU	Ita	EU	Ita	EU
Condotte di ventilazione e riscaldamento	0	A2-s1,d0	1	B-s2,d0	1	B-s3,d0
Condotte di ventilazione e riscaldamento preisolate [1]	0-1	A2-s1,d0 B-s2,d0	0-1	B-s2,d0 B-s3,d0	1-1	B-s3,d0 C-s1,d0
Raccordi e giunti per condotte di ventilazione e riscaldamento (L≤1,5 m)	1	B-s1,d0	1	B-s2,d0	2	C-s1,d0
Canalizzazioni per cavi elettrici	0	[na]	1	[na]	1	[na]
Cavi elettrici o di segnalazione [2] [3]	[na]	$B2_{ca}$-s1,d0,a1	[na]	C_{ca}-s1,d0,a2	[na]	E_{ca}
[na] Non applicabile [1] Eventuale doppia classificazione riferita a *condotta preisolata* con componente isolante non esposto direttamente alle fiamme ; la prima classe è riferita al materiale nel suo complesso la seconda al componente isolante non esposto direttamente alle fiamme [2] Prestazione di reazione al fuoco richiesta solo quando le condutture non sono incassate in materiali incombustibili [3] La classificazione aggiuntiva relativa al gocciolamento *d0* può essere declassata a *d1* qualora i cavi siano posati a pavimento						

CAPITOLO 5: “RESISTENZA AL FUOCO” (S.2)

La finalità della resistenza al fuoco è quella di garantire la capacità portante delle strutture in condizioni di incendio nonché la capacità di compartimentazione, per un tempo minimo necessario al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza di prevenzione incendi.

Il capitolo 6 sulle misure di compartimentazione costituisce complemento al presente capitolo.

Capitolo 5.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Nella Tabella 11 sono riportati i criteri generalmente accettati per l'attribuzione alle costruzioni dei singoli livelli di prestazione.

Tabella 11: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per la resistenza al fuoco

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Opere da Costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate *tutte* le seguenti condizioni: • 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; • adibite ad attività afferenti ad un solo *responsabile dell'attività* e con i seguenti profili di rischio: ◦ R_{beni} pari a 1; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • non adibite ad attività che comportino presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto.
II	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 *tutte* le seguenti condizioni: • 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 ovvero, in caso di assenza di separazione strutturale, tali che l'eventuale cedimento della porzione non arrechi danni al resto dell'opera da costruzione; • adibite ad attività afferenti ad un solo *responsabile dell'attività* e con i seguenti profili di rischio: ◦ R_{vita} compresi in A1, A2, A3, A4; ◦ R_{beni} pari a 1; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • densità di affollamento non superiore a 0,2 persone/m^2; • 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 costruzioni destinate ad attività di particolare importanza.

Visto che le caratteristiche dei compartimenti non rientrano nella classificazione dei criteri I e II, viene attribuito il livello di prestazione III.

Compartimento	*Descrizione*	*Livello*
1	***Hall/Uffici***	*III*
2	***Bar***	*III*
3	***Sala Studio***	*III*
4	***Lavanderia***	*III*
-	***Camere***	*III*
26	***Mensa***	*III*

Capitolo 5.2: Soluzione conforme

La Tabella 12 riporta i livelli di prestazione per la resistenza al fuoco attribuibili alle opere da costruzione.

Tabella 12: Livelli di prestazione per la resistenza al fuoco

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

Capitolo 5.2.1: Soluzione conforme per livello di prestazione III

La soluzione conforme da implementare per il livello di prestazione III prevede l'attribuzione, ad ogni compartimento, di una classe minima di resistenza al fuoco. Tale classe è ricavata in base al carico di incendio specifico di progetto del compartimento.

Per carico di incendio si intende il potenziale termico netto della totalità dei materiali presenti in ogni compartimento, tenendo in considerazione la loro partecipazione all'incendio.

Il carico di incendio specifico è il carico di incendio riferito alla superficie del compartimento, ed è espresso in MJ/m^2.

E' possibile determinare il carico specifico d'incendio ($q_{f,d}$) secondo la seguente relazione:

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

Dove:

- δ_{q1} e δ_{q2} sono ricavabili dalle tabelle sottostanti.

Tabella 13: Determinazione di δq1

Superficie lorda del compartimento (m^2)	δ_{q1}	Superficie lorda del compartimento (m^2)	δ_{q1}
A < 500	1,00	2.500 ≤ A < 5.000	1,60
500 ≤ A < 1.000	1,20	5.000 ≤ A < 10.000	1,80
1.000 ≤ A < 2.500	1,40	A ≥ 10.000	2,00

Tabella 14: Determinazione di δq2

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

- δ_n è il prodotto di una serie di fattori che tengono in considerazione le differenti misure antincendio presenti nel compartimento. E' determinabile grazie alla tabella sottostante.

Tabella 15: Determinazione di δn

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

Nell'edificio in esame è presente un sistema di controllo dell'incendio automatico ad acqua con protezione interna ed esterna, un sistema di gestione della sicurezza antincendio di livello III, un sistema di rivelazione ed allarme di livello IV, ed un'operatività antincendio di livello IV.

Pertanto i coefficienti che contribuiscono al calcolo sono δ5, δ7, δ9 e δ10.

- qf è il valore nominale del carico di incendio specifico. Esso viene calcolato su base statistica come valore frattile all' 80%, cioè con probabilità che il suo valore venga superato inferiore al 20%.
  I valori statistici sono reperiti tramite letteratura tecnica e tramite la norma UNI EN 1991-1-2.

In tabella 16 sono riepilogati valori ottenuti per il carico di incendio specifico di progetto.

Tabella 16: Calcolo $q_{f,d}$

COMP.	PIANO	m²	Sq1	Sq2	Sn1	Sn2	Sn3	Sn4	Sn5	Sn6	Sn7	Sn8	Sn9	Sn10	q_f	$q_{f,d}$
1	PT	270	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	511	**151,99**
2	PT	141	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	700	**208,20**
3	PT	290	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	347	**103,21**
4	PT	33	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**112,13**
5	1P	512	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
6	1P	401	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**112,13**
7	1P	767	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
8	2P	512	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
9	2P	401	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**112,13**
10	2P	767	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
11	3P	512	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
12	3P	401	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**112,13**
13	3P	767	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
14	4P	512	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
15	4P	401	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**112,13**
16	4P	767	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
17	5P	512	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
18	5P	401	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**112,13**
19	5P	767	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
20	6P	512	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
21	6P	401	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**112,13**
22	6P	767	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
23	7P	512	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
24	7P	401	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**112,13**
25	PT	316	1	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	700	**208,20**
26	1P	792	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
27	2P	792	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
28	3P	792	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**
29	4P	792	1,2	1	1	1	1	1	0,48	1	0,9	1	0,85	0,81	377	**134,56**

La classe minima di resistenza al fuoco degli elementi costruttivi è determinata secondo la tabella sottostante.

Tabella 17: Resistenza al fuoco

Carico di incendio specifico di progetto	Classe minima di resistenza al fuoco
$q_{f,d} \leq 200$ MJ/m²	Nessun requisito
$q_{f,d} \leq 300$ MJ/m²	15
$q_{f,d} \leq 450$ MJ/m²	30
$q_{f,d} \leq 600$ MJ/m²	45
$q_{f,d} \leq 900$ MJ/m²	60
$q_{f,d} \leq 1200$ MJ/m²	90
$q_{f,d} \leq 1800$ MJ/m²	120
$q_{f,d} \leq 2400$ MJ/m²	180
$q_{f,d} > 2400$ MJ/m²	240

Quasi tutti i compartimenti risultano avere un carico di incendio specifico di progetto inferiore ai 220 MJ/m² perciò non presentano requisiti di resistenza al fuoco.

Gli unici compartimenti con carico maggiore di 200 MJ/m² sono i compartimenti 2 e 25 per i quali deve essere prevista una classe di resistenza al fuoco minima di 15.

CAPITOLO 6: “COMPARTIMENTAZIONE” (S.3)

La finalità della compartimentazione è di limitare la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti verso altre attività o all'interno della stessa attività.

Capitolo 6.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Nella Tabella 18 sono riportati i criteri generalmente accettati per l'attribuzione all'attività dei singoli livelli di prestazione.

Tabella 18: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per la compartimentazione

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
III	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. attività con elevato affollamento, attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico q_f, presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio o dell'esplosione, ...). 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.

La norma prevede un’attenzione maggiore per i compartimenti in cui vi sia presenza di occupanti che dormono, come nel caso di camere d’albergo e residence.

Per tali compartimenti viene attribuito il livello di prestazione III.

I restanti compartimenti, in particolare quelli appartenenti al piano terra di entrambi gli edifici, rientrano nel livello di prestazione II.

Compartimento	*Descrizione*	*Livello*
1	***Hall/Uffici***	*II*
2	***Bar***	*II*
3	***Sala Studio***	*II*
4	***Lavanderia***	*II*
-	***Camere***	*III*
26	***Mensa***	*II*

Capitolo 6.2: Soluzione conforme

La Tabella 19 indica i livelli di prestazione per la compartimentazione.

Tabella 19: Livelli di prestazione per la compartimentazione

Livelli di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	È contrastata per un periodo congruo con la durata dell'incendio: • la propagazione dell'incendio verso altre attività; • la propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività.
III	È contrastata per un periodo congruo con la durata dell'incendio: • la propagazione dell'incendio verso altre attività; • la propagazione dell'incendio e dei fumi *freddi* all'interno della stessa attività.

Capitolo 6.2.1: Soluzione conforme per livello di prestazione II

La norma richiede di limitare sia la propagazione dell'incendio verso altre attività, sia all'interno dell'edificio stesso, attraverso opportune separazioni.

Essendo il complesso circondato da spazi verdi e separato da altri edifici tramite via pubblica, si ritiene sufficiente come misura antincendio verso altre attività lo spazio a cielo libero presente.

Per quanto riguarda la compartimentazione interna si procede suddividendo inizialmente i due edifici che compongono il complesso, in quanto unità strutturalmente separate. I due edifici vengono indicati con i nomi "EDIFICIO A" ed "EDIFICIO B".

Successivamente viene effettuata una compartimentazione per piano tenendo presente il profilo di rischio e la destinazione d'uso di ciascuna attività.

In particolare il piano terra di entrambi gli edifici risulta adibito ad attività differenti rispetto ai piani superiori, i quali sono costituiti esclusivamente da camere.

EDIFICIO A

Al piano terra dell'edificio A sono presenti attività di vario genere che prevedono la presenza di un elevato numero di persone con poca familiarità con l'edificio.

Tali attività sono: una reception (comprendente anche alcuni uffici), un bar/ristorante, una sala studio pubblica ed una lavanderia.

Ognuna di queste attività è compartimentata separatamente.

I piani superiori sono invece occupati dalle camere del residence.

Vista l'elevata superficie e la geometria dei piani si è proceduto suddividendo ognuno di essi in tre compartimenti distinti.

Tale suddivisione è stata effettuata tenendo in considerazione la posizione delle vie d'esodo che quindi fungono da filtro tra i compartimenti.

EDIFICIO B

Il piano terra dell'edificio B ospita una sala pranzo ad uso esclusivo dei residenti nel residence.

Non si è ritenuto necessario suddividere i piani superiori dell'edificio, anch'essi occupati da camere, in compartimenti separati.

Il codice di prevenzione incendi riporta la superficie massima che possono avere i compartimenti in base al proprio profilo di rischio e alla loro altezza rispetto al livello del terreno; tutti i compartimenti risultano di dimensioni inferiori rispetto a tali valori.

Ogni compartimento deve avere classe di resistenza al fuoco come descritto nel paragrafo S.2; tutti i varchi di comunicazione e le porte devono avere medesima classe di resistenza ed essere muniti di dispositivi di auto chiusura.

Ciò significa che l'isolamento deve essere mantenuto anche negli elementi di congiunzione tra i compartimenti e nei varchi di passaggio degli impianti tecnologici e nei camini.

Le scale che servono i piani costituiscono le vie d'esodo e risultano compartimentate a tenuta di fumo.

Esse sono dotate di condotti di aspirazione che permettono ai fumi di defluire verso l'alto senza entrare in contatto con gli altri piani, e venire espulsi da un'apertura all'ultimo piano.

Capitolo 6.2.2: Soluzione conforme per livello di prestazione III

Il livello di prestazione III prevede l'applicazione di tutte le soluzioni conforme applicate per il livello II, con l'aggiunta che gli elementi di comunicazione tra i compartimenti deve essere a tenuta di fumo.

Questa richiesta è verificata dal fatto che i compartimenti sono messi in comunicazione tramite le vie d'esodo, le quali risultano compartimentate a prova di fumo.

CAPITOLO 7: “ESODO” (S.4)

La finalità del sistema d'esodo è di assicurare che gli occupanti dell'attività possano raggiungere o permanere in un luogo sicuro, a prescindere dall'intervento dei Vigili del Fuoco.

Le tipologie di esodo attuabili sono le seguenti:

- Esodo simultaneo
- Esodo per fasi
- Esodo orizzontale progressivo
- Protezione sul posto

L’esodo simultaneo è una modalità d’esodo che prevede il movimento simultaneo di tutti gli occupanti verso le uscite di sicurezza.

L’esodo per fasi prevede invece il movimento degli occupanti a partire dai compartimenti più vicini all’innesco ed in sequenza dai restanti compartimenti dell’edificio. Questo metodo è applicato in edifici di notevole dimensione e complessità per evitare un affollamento eccessivo delle vie d’esodo. L’emergenza deve essere gestita tramite l’ausilio di sistemi di protezione attive, passive e gestionali appropriate.

L’esodo orizzontale progressivo prevede lo spostamento degli occupanti verso un compartimento adiacente in grado di contenerli e proteggerli fino a quando l’incendio non viene estinto o fino al momento in cui risulta sicuro spostarli verso il successivo luogo sicuro.

Infine la protezione sul posto prevede la protezione degli occupanti nel compartimento in cui si trovano al momento dello scoppio dell’incendio.

Essendo l’edificionon eccessivamente grande, e senza complessità di geometria, si ritiene come soluzione progettuale più adeguata l’esodo simultaneo.

Le complicazioni progettuali richieste dagli altri tipi di esodo non produrrebbero un miglioramento significativo alla sicurezza.

Capitolo 7.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Nella Tabella 20 sono riportati i criteri generalmente accettati per l'attribuzione all'attività dei singoli livelli di prestazione.

Tabella 20: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per l'esodo

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Tutte le attività
II	Compartimenti per i quali non sia possibile garantire il livello di prestazione I (es. a causa della dimensione del compartimento, ubicazione, tipologia degli occupanti o dell'attività ...)

Non essendoci adeguate complicazioni che giustifichino il livello II viene attribuito il livello di prestazione I.

Compartimento	*Descrizione*	*Livello*
1	***Hall/Uffici***	*I*
2	***Bar***	*I*
3	***Sala Studio***	*I*
4	***Lavanderia***	*I*
-	***Camere***	*I*
26	***Mensa***	*I*

Capitolo 7.2: Soluzione conforme

La Tabella 21 fornisce un'indicazione del sistema d'esodo da applicare in base ai livelli di prestazione per l'esodo.

Tabella 21. Livelli di prestazione per l'esodo

Livello di prestazione	Descrizione
I	Esodo degli occupanti verso luogo sicuro
II	Protezione degli occupanti sul posto

Capitolo 7.2.1: Soluzione conforme per livello di prestazione I

Si intende come luogo sicuro verso il quale gli occupanti possono defluire un qualsiasi luogo, posto in posizione di sicurezza all'esterno dell'edificio, in cui gli occupanti non siano investiti dai prodotti di combustione. Tale luogo coincide con la pubblica via adiacente al complesso.

Il cortile interno, che separa l'edificio A dall' edificio B è considerato un luogo sicuro temporaneo che gli occupanti devono attraversare per raggiungere l'esterno.

Le porte situate lungo le vie d'esodo devono aprirsi nel verso dell'esodo senza ostacolare il deflusso degli occupanti; devono essere inoltre dotate di maniglione antipanico e rispettare i requisiti della norma UNI EN 1125, in quanto trattasi di edificio aperto al pubblico con affluenza maggiore di 25 persone.

Le vie d'esodo devono essere facilmente identificabili tramite apposita segnaletica.

All'interno di ogni stanza e nei luoghi di raccoglimento deve essere presente una pianta dell'edificio di facile comprensione contenente la posizione degli occupanti e la strada per raggiungere la via d'esodo più vicina.

Lungo le vie d'esodo deve essere installato un impianto di illuminazione d'emergenza che si attivi automaticamente il caso di mancanza della fornitura di corrente principale.

Nel caso di esodo simultaneo la norma prevede dei requisiti minimi da soddisfare; in particolare è richiesto che l'attività sia sorvegliata da un sistema IRAI con livello di prestazione III per i compartimenti con profilo di rischio A2 e B2, e da un sistema IRAI con livello di prestazione IV per i compartimenti con profilo id rischio Cii2 (si rimanda al capitolo 10 per una trattazione più dettagliata).

Essendo l'occupazione inferiore alle 500 persone sono richieste 2 vie d'esodo indipendenti per ogni compartimento. Due vie d'esodo si definiscono indipendenti se l'ostruzione di una delle due non pregiudichi l'utilizzo dell'altra.

Nell'edificio analizzato ogni compartimento risulta collegato con due vie d'esodo situate agli estremi opposti del compartimento, e pertanto indipendenti.

Nel complesso sono presenti dei corridoi ciechi ai piani superiori corrispondenti alle uscite delle camere più esterne dell'edificio.

Nella tabella 22 sono indicate le lunghezze massime delle vie d'esodo e dei corridoi ciechi ammesse.

Tabella 22. Limite lunghezze d'esodo

R_{vita}	Max lunghezza d'esodo L_{es} [m]	Max lunghezza corrid. cieco L_{cc} [m]	R_{vita}	Max lunghezza d'esodo L_{es} [m]	Max lunghezza corrid. cieco L_{cc} [m]
A1	70	30	**B1, E1**	60	25
A2	60	25	**B2, E2**	50	20
A3	45	20	**B3, E3**	40	15
A4	30	15	**C1**	40	20
D1	30	15	**C2**	30	15
D2	20	10	**C3**	20	10
I valori delle massime lunghezze d'esodo e dei corridoi ciechi di riferimento possono essere incrementati in relazione a *misure antincendio aggiuntive* secondo la metodologia di cui al paragrafo S.4.10.					

Tutti i corridoi ciechi risultano inferiori alla lunghezza massima di 15 metri imposta.

Si verifica invece una criticità sulla lunghezza massima delle vie d'esodo. Infatti, come riportato in figura 3, il percorso d'esodo che parte da una delle camere posta sul ballatoio dei piani superiori risulta di 37 metri.

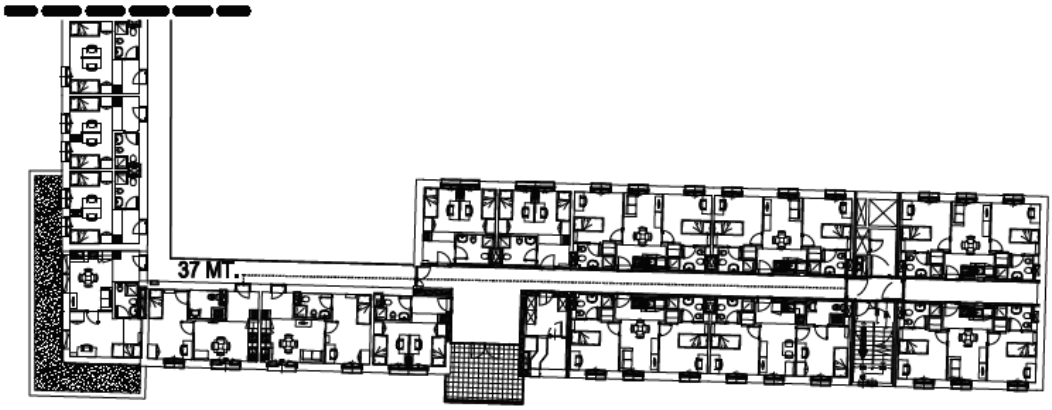


Immagine 3: Massima lunghezza d'esodo

La lunghezza massima imposta dalla norma è però di 30 metri, pertanto tale via d'esodo risulta fuori norma. Questo problema si verifica su tutti i piani superiori dell'edificio A.

Per questo motivo si ritiene necessario effettuare uno studio più dettagliato, utilizzando l'approccio prestazionale, per dimostrare la totale sicurezza degli occupanti nonostante la norma non sia rispettata.

L'approccio ingegneristico applicato e riportato nella Sezione B "L'approccio prestazionale".

Grazie alle stesse considerazioni si ritengono soddisfatti i limiti di larghezza minima per le vie d'esodo orizzontali e verticali.

CAPITOLO 8: “GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO” (S.5)

La gestione della sicurezza antincendio (GSA) rappresenta la misura antincendio organizzativa e gestionale atta a garantire, nel tempo, un adeguato livello di sicurezza dell'attività in caso di incendio.

Capitolo 8.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Nella Tabella 23 sono riportati i criteri generalmente accettati per l'attribuzione all'attività dei singoli livelli di prestazione.

Tabella 23: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Attività ove siano verificate *tutte* le seguenti condizioni: • profili di rischio: ◦ R_{vita} compresi in A1, A2, Ci1, Ci2, Ci3; ◦ R_{beni} pari a 1; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • non prevalentemente destinata ad occupanti con disabilità; • tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -10 m e 54 m; • carico di incendio specifico q_f non superiore a 1200 MJ/m^2; • non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; • non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio o dell'esplosione.
II	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
III	Attività ove sia verificato *almeno una* delle seguenti condizioni: • profilo di rischio R_{beni} compreso in 3, 4; • elevato affollamento complessivo: ◦ se aperta al pubblico: affollamento complessivo superiore a 300 persone; ◦ se non aperta al pubblico: affollamento complessivo superiore a 1000 persone; • numero complessivo di posti letto superiore a 100 e profili di rischio R_{vita} compresi in D1, D2, Ciii1, Ciii2, Ciii3; • si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative e affollamento complessivo superiore a 25 persone; • si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio o dell'esplosione e affollamento complessivo superiore a 25 persone.

Trattandosi di attività aperta al pubblico con affollamento superiore alle 300 persone l’attività rientra nei criteri del livello di prestazione III.

Compartimento	*Descrizione*	*Livello*
1	***Hall/Uffici***	*III*
2	***Bar***	*III*
3	***Sala Studio***	*III*
4	***Lavanderia***	*III*
-	***Camere***	*III*
26	***Mensa***	*III*

Capitolo 8.2: Soluzione conforme

Nella Tabella 24 sono riportati i livelli di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio.

Tabella 24: Livelli di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio

Livello di prestazione	Descrizione
I	Gestione della sicurezza antincendio di livello base
II	Gestione della sicurezza antincendio di livello avanzato
III	Gestione della sicurezza antincendio di livello avanzato per attività complesse

Capitolo 8.2.1: Soluzione conforme per livello di prestazione III

La gestione della sicurezza antincendio comprende tutte quelle attività che hanno lo scopo di garantire un adeguata risposta alla situazione incidentale durante tutto l'arco di vita dell'edificio.

Comprende anche tutte quelle operazioni da eseguire periodicamente in corso di esercizio dell'attività per garantire il funzionamento del sistema antincendio.

Sono di seguito riassunti i compiti e i requisiti principali che il responsabile dell'attività è tenuto ad adempiere per garantire un adeguato livello di sicurezza.

- Predisporre e verificare periodicamente il piano di emergenza.
- Garantire il mantenimento dell'efficienza di tutti i sistemi nel tempo.
- Predisporre un adeguata cartellonistica per tutti gli ambienti dell'attività.
- Vigilare sull'osservanza dei divieti riguardanti l'antincendio.
- Formare il personale addetto alla gestione delle emergenze.
- Attuare le misure di incendio preventive all'arrivo dei Vigili del Fuoco.

- Garantire la fruibilità delle vie d'esodo in qualsiasi situazione.
- Offrire assistenza alle squadre di soccorso.
- Predisporre un centro di gestione dell'emergenza all'interno dell'attività.
- Pianificare la gestione dell'incendio in base ai differenti scenari di incendio possibili.
- Verificare l'osservanza dell'affollamento massimo di ogni ambiente.
- Vigilare su attività straordinarie che possano portare ad un aumento del rischio di incendio.

CAPITOLO 9: “CONTROLLO DELL’INCENDIO” (S.6)

La presente misura antincendio ha come scopo l'individuazione dei presidi antincendio da installare nell'attività per la sua protezione di base, attuata con estintori, per la sua protezione manuale e protezione automatica

Il fine dei presidi è principalmente il controllo dell'incendio ma, grazie a specifici impianti, anche alla sua completa estinzione.

I presidi antincendio utilizzati sono gli estintori antincendio, la rete idranti, la rete sprinkler e, in generale, qualsiasi altro impianto manuale o automatico di controllo o di estinzione, ad acqua o ad altri agenti estinguenti.

Capitolo 9.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Nella Tabella 25 sono riportati i criteri generalmente accettati per l'attribuzione all'attività dei singoli livelli di prestazione della presente strategia antincendio.

Tabella 25: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per il controllo dell’incendio

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette

II	Attività dove siano verificate ***tutte*** le seguenti condizioni:
	• profili di rischio:
	  ○ R_{vita} compresi in A1, A2, B1, B2, Ci1, Ci2, Cii1, Cii2, Ciii1, Ciii2;
	  ○ R_{beni} pari a 1, 2;
	  ○ $R_{ambiente}$ non significativo;
	• densità di affollamento non superiore a 0,7 persone/m^2;
	• tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -5 m e 32 m;
	• carico di incendio specifico q_f non superiore a 600 MJ/m^2;
	• superficie lorda di ciascun compartimento non superiore a 4000 m^2;
	• non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative;
	• non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.

III	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
IV	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, ...).
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.

Il complesso rispetta tutti i requisiti per il livello di prestazione II, tuttavia la regola tecnica verticale relativa alle "Attività ricettive turistico-alberghiero" impone un controllo di incendio di livello minimo IV.

Compartimento	*Descrizione*	*Livello*
1	***Hall/Uffici***	*IV*
2	***Bar***	*IV*
3	***Sala Studio***	*IV*
4	***Lavanderia***	*IV*
-	***Camere***	*IV*
26	***Mensa***	*IV*

Capitolo 9.2: Soluzione conforme

La Tabella 26 riporta i livelli di prestazione per il controllo e l'estinzione dell'incendio.

Tabella 26: Livelli di prestazione per il controllo o l'estinzione dell'incendio

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Protezione di base
III	Protezione di base e protezione manuale
IV	Protezione di base, protezione manuale e protezione automatica estesa a porzioni dell'attività
V	Protezione di base, protezione manuale e protezione automatica estesa a tutta l'attività

Capitolo 9.2.1: Soluzione conforme per livello di prestazione IV

Il livello di prestazione IV prevede l'installazione integrale di presidi antincendio quali estintori, rete idranti e rete sprinkler.

Gli estintori sono presidi utili allo spegnimento di principi antincendio; devono pertanto essere posizionati in luoghi facilmente accessibili e chiaramente riconoscibili tramite apposita segnaletica.

Esistono in commercio varie tipologie di estintori che si differenziano in base alla loro capacità estinguente e alla tipologia di incendio per cui sono adatti.

Le tipologie di estintori più diffuse sono di tipo "a schiuma" adatti per estinguere incendi di tipologia A, B e C.

La tabella 27 riporta le categorie di incendio che si possono verificare.

Tabella 27: Tipologie di incendio

Classe di incendio	Descrizione
A	Incendi di materiali solidi, usualmente di natura organica, che portano alla formazione di braci
B	Incendi di materiali liquidi o solidi liquefacibili, quali petrolio, paraffina, vernici, oli e grassi minerali, plastiche, ecc.
C	Incendi di gas
D	Incendi di metalli
F	Incendi di oli e grassi vegetali o animali (es. apparecchi di cottura)

Il calcolo del numero minimo di estintori da installare in ogni compartimento viene effettuato per le tipologie di incendio A e B, in quanto più probabili a verificarsi.

Verrà calcolata la capacità estinguente minima per le due tipologie e verrà scelto il numero minimo di estintori in base alla condizione più restrittiva.

La capacità estinguente minima nel caso A viene calcolata secondo la formula:

$$C_{A,min} = 0.21 * S$$

Dove S è la superficie del compartimento.

Almeno il 50% della capacità estinguente deve essere soddisfatta da estintori con capacità non inferiore a 34A.

In compartimenti con superficie inferiore a 200 m² devono essere installati almeno due estintori con capacità estinguente di 34A.

La capacità estinguente minima nel caso B viene calcolata secondo la formula:

$$C_{A,min} = 1.44 * S$$

Dove S è la superficie del compartimento.

Almeno il 50% della capacità estinguente deve essere soddisfatta da estintori con capacità non inferiore a 144B.

In compartimenti con superficie inferiore a 200 m² devono essere installati almeno due estintori con capacità estinguente di 144B.

Si decide di utilizzare per l'intera attività estintori 34A 233BC in quanto presidi normalmente diffusi in commercio.

Il numero minimo di estintori da installare è riportato in tabella 28. Gli estintori dovranno essere posizionati in modo tale da essere raggiungibili con un percorso inferiore ai 20 m da qualsiasi punto dell'attività e possibilmente vicino agli accessi ai compartimenti.

Tabella 28: Numero minimo di estintori

COMPARTIMENTO	**Descrizione**	**m²**	**$C_{a,min}$**	**34A**	**$C_{b,min}$**	**233B**
1	Hall/Uffici	270	56,78	**2**	389,32	**2**
2	Bar	141	29,53	**2**	202,52	**2**
3	Sala Studio	290	60,94	**2**	417,89	**2**
4	Lavanderia	33	6,97	**2**	47,81	**2**
5	Camere	512	107,49	**4**	737,11	**4**
6	Camere	401	84,17	**3**	577,15	**3**
7	Camere	767	161,07	**5**	1104,48	**5**
8	Camere	512	107,49	**4**	737,11	**4**
9	Camere	401	84,17	**3**	577,15	**3**
10	Camere	767	161,07	**5**	1104,48	**5**
11	Camere	512	107,49	**4**	737,11	**4**
12	Camere	401	84,17	**3**	577,15	**3**
13	Camere	767	161,07	**5**	1104,48	**5**
14	Camere	512	107,49	**4**	737,11	**4**
15	Camere	401	84,17	**3**	577,15	**3**
16	Camere	767	161,07	**5**	1104,48	**5**
17	Camere	512	107,49	**4**	737,11	**4**

18	Camere	401	84,17	**3**	577,15	**3**
19	Camere	767	161,07	**5**	1104,48	**5**
20	Camere	512	107,49	**4**	737,11	**4**
21	Camere	401	84,17	**3**	577,15	**3**
22	Camere	767	161,07	**5**	1104,48	**5**
23	Camere	512	107,49	**4**	737,11	**4**
24	Camere	401	84,17	**3**	577,15	**3**
25	Mensa	316	66,36	**2**	455,04	**2**
26	Camere	792	166,32	**5**	1140,48	**5**
27	Camere	792	166,32	**5**	1140,48	**5**
28	Camere	792	166,32	**5**	1140,48	**5**
29	Camere	792	166,32	**5**	1140,48	**5**

La rete idranti è un presidio di protezione manuale che permette agli occupanti o alle squadre di soccorso di mitigare l'incendio in una porzione dell'edificio.

La rete è composta da tubazioni fisse, preferibilmente chiuse ad anello, che forniscono l'alimentazione idrica a degli apparecchi erogatori posizionati in modo opportuno.

Per attività civili come le strutture alberghiere è preferibile l'utilizzo di naspi al posto degli idranti a muro.

La progettazione della rete idranti viene eseguita in relazione al livello di pericolosità dei compartimenti. Il livello di pericolosità è individuato secondo le indicazioni della norma UNI 10779. Si rimanda alla norma per una trattazione più dettagliata.

Deve infine essere previsto un sistema automatico di controllo o estinzione dell'incendio (più comunemente impianto sprinkler).

È considerata soluzione conforme la progettazione dell'impianto secondo le più recenti norme e regole tecniche vigenti.

È necessario infine che sia garantita l'operabilità contemporanea dell'impianto sprinkler e della rete idranti, in modo che entrambi i sistemi ricevano un'adeguata portata d'acqua anche nelle condizioni più gravose.

La progettazione tecnica della rete idranti e della rete sprinkler si discosta dagli obiettivi di questa tesi e pertanto verrà omessa.

CAPITOLO 10: “RIVELAZIONE E ALLARME” (S.7)

Gli impianti di rivelazione incendio e segnalazione allarme incendi (IRAI) nascono con l’obiettivo principale di rivelare un incendio quanto prima possibile e di lanciare l’allarme al fine di attivare le misure protettive (es. impianti automatici di controllo o estinzione, compartimentazione, evacuazione di fumi e calore) e gestionali (es. piano e procedure di emergenza e di esodo) progettate e programmate in relazione all’incendio rivelato ed all’area dove tale principio di incendio si è sviluppato rispetto all’intera attività sorvegliata.

Capitolo 10.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Nella Tabella 29 sono riportati i criteri generalmente accettati per l'attribuzione all'attività dei singoli livelli di prestazione della presente strategia antincendio.

Tabella 29: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per la rivelazione e l’allarme

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Attività dove siano verificate *tutte* le seguenti condizioni: • profili di rischio: ◦ R_{vita} compresi in A1, A2, Ci1, Ci2, Ci3; ◦ R_{beni} pari a 1; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • attività non aperta al pubblico; • densità di affollamento non superiore a 0,2 persone/m^2; • non prevalentemente destinata ad occupanti con disabilità; • tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -5 m e 12 m; • superficie lorda di ciascun compartimento non superiore a 4000 m^2; • carico di incendio specifico q_f non superiore a 600 MJ/m^2; [1] • non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; • non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
II	Attività dove siano verificate *tutte* le seguenti condizioni: • profili di rischio: ◦ R_{vita} compresi in A1, A2, B1, B2, Ci1, Ci2, Ci3; ◦ R_{beni} pari a 1; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • densità di affollamento non superiore a 0,7 persone/m^2; • tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -10 m e 54 m; • carico di incendio specifico q_f non superiore a 600 MJ/m^2; [1] • non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; • non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
III	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
IV	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, ...).
[1] Per attività di civile abitazione: carico di incendio specifico q_f non superiore a 900 MJ/m^2	

In base ai criteri riportati in tabella l'attività ricadrebbe nel livello di prestazione III.

Tuttavia la scelta di un esodo di tipo simultaneo impone un livello di sicurezza per la rilevazione dell'allarme di livello minimo IV.

Inoltre anche la regola tecnica verticale "Attività ricettive turistico-alberghiero" impone un livello minimo IV per attività con numero di occupanti tra 500 e 1000 e altezza massima inferiore ai 32 mt.

Perciò viene assunto il livello di prestazione IV.

Compartimento	*Descrizione*	*Livello*
1	***Hall/Uffici***	*IV*
2	***Bar***	*IV*
3	***Sala Studio***	*IV*
4	***Lavanderia***	*IV*
-	***Camere***	*IV*
26	***Mensa***	*IV*

Capitolo 10.2: Soluzione conforme

Nella Tabella 30 sono indicati i livelli di prestazione per la rivelazione e l'allarme antincendio.

Tabella 30: Livelli di prestazione per rivelazione e allarme incendio

Livello di prestazione	Descrizione
I	La rivelazione e allarme incendio è demandata agli occupanti
II	Segnalazione manuale e sistema d'allarme esteso a tutta l'attività
III	Rivelazione automatica estesa a porzioni dell'attività, sistema d'allarme, eventuale avvio automatico di sistemi di protezione attiva
IV	Rivelazione automatica estesa a tutta l'attività, sistema d'allarme, eventuale avvio automatico di sistemi di protezione attiva

Capitolo 10.2.1: Soluzione conforme per livello di prestazione IV

L'applicazione della norma prevede l'installazione di un sistema IRAI (Impianti Rivelazione e Allarme Incendio) con caratteristiche principali e secondarie dipendenti dal livello di prestazione richiesto.

Le funzioni principali e secondarie sono riportate nelle tabelle seguenti e devono essere implementate in ottemperanza alla più recente normativa tecnica in merito.

Deve inoltre essere eseguita, prima della messa in opera dell'attività, la verifica della compatibilità e della corretta interconnessione dei componenti, oltre alla verifica delle sequenze operative programmate.

Tabella 31: Funzioni principali degli IRAI

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

Tabella 32: Funzioni secondarie degli IRAI

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 (*building management*)

La tabella 33 indica le funzioni da adottare per il livello di prestazione IV.

Richiede inoltre, come specificato anche nella regola tecnica verticale, l'installazione di un sistema EVAC, cioè un sistema sonoro di allarme ed evacuazione guidata in grado di funzionare anche in condizioni di incendio.

Tabella 33: Soluzioni conformi in base al livello di prestazione

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

[1] Non sono previste funzioni, la rivelazione e l'allarme sono demandate agli occupanti.
[2] 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.
[3] Demandate a procedure operative nella pianificazione d'emergenza.
[4] Non previste ove l'avvio dei sistemi di protezione attiva ed arresto altri impianti sia demandato a procedure operative nella pianificazione d'emergenza
[5] Con dispositivi di diffusione visuale e sonora o altri dispositivi adeguati alle capacita percettive degli occupanti ed alle condizioni ambientali (es. segnalazione di allarme ottica, a vibrazione, ...).
[6] Per elevati affollamenti, geometrie complesse, sia previsto sistema EVAC secondo norme adottate dall'ente di normazione nazionale.
[7] Automatiche su comando della centrale o mediante centrali autonome di azionamento (asservite alla centrale master), richiede le ulteriori funzioni E, F, G, H della tabella S.7-4.
[8] Spazi comuni, vie d'esodo e spazi limitrofi, aree dei beni da proteggere, aree a rischio specifico.

CAPITOLO 11: “CONTROLLO DI FUMI E CALORE” (S.8)

La misura antincendio di controllo di fumo e calore ha come scopo l'individuazione dei presidi antincendio da installare nell'attività per consentire il controllo, l'evacuazione o lo smaltimento dei prodotti della combustione in caso di incendio.

In generale, la misura antincendio di cui al presente capitolo si attua attraverso la realizzazione di:

- aperture di smaltimento di fumo e calore d'emergenza per allontanare i prodotti della combustione durante le operazioni di estinzione dell'incendio da parte delle squadre di soccorso;
- sistemi per l'evacuazione di fumo e calore (SEFC) per l'evacuazione controllata dei prodotti della combustione durante tutte le fasi dell'incendio.

Capitolo 11.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Nella Tabella 34 sono riportati i criteri generalmente accettati per l'attribuzione ai compartimenti dell'attività dei singoli livelli di prestazione della presente strategia antincendio.

Tabella 34: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione per il controllo di fumi e calore

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Compartimenti dove siano verificate *tutte* le seguenti condizioni: • non adibiti ad attività che comportino presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto; • superficie lorda di ciascun compartimento non superiore a 25 m²; • carico di incendio specifico q_f non superiore a 600 MJ/m²; • non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; • non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
II	Compartimento non ricompreso negli altri criteri di attribuzione.
III	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. attività con elevato affollamento, attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico q_f, presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, ...).

Il livello di prestazione adottato per questa misura antincendio è il II.

Non sono rispettati i requisiti necessari per il livello I e non si ritiene necessario un livello di prestazione III.

Compartimento	*Descrizione*	*Livello*
1	***Hall/Uffici***	*II*
2	***Bar***	*II*
3	***Sala Studio***	*II*
4	***Lavanderia***	*II*
-	***Camere***	*II*
26	***Mensa***	*II*

Capitolo 11.2: Soluzione conforme

Nella Tabella 35 sono indicati i livelli di prestazione per la misura antincendio di controllo di fumo e calore.

Tabella 35: Livelli di prestazione per controllo di fumo e calore

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Deve essere possibile smaltire fumi e calore dell'incendio da piani e locali del compartimento durante le operazioni di estinzione condotte dalle squadre di soccorso
III	Deve essere mantenuto nel compartimento uno strato libero dai fumi che permetta: • la salvaguardia degli occupanti e delle squadre di soccorso, • la protezione dei beni, se richiesta. Fumi e calore generati nel compartimento non devono propagarsi ai compartimenti limitrofi.

Capitolo 11.2.1: Soluzione conforme per livello di prestazione II

Il livello di prestazione II prevede il dimensionamento di un sistema di smaltimento fumi e calore d'emergenza appropriato.

Lo scopo del sistema di smaltimento è quello di facilitare le operazioni delle squadre di sicurezza espellendo parte del fumo e del calore.

Le aperture di emergenza possono coincidere con quelle già presenti nell' edificio, come porte e finestre, purché siano comunicanti con l'esterno, non permettano la diffusione dell'incendio verso altri compartimenti e non pregiudichino le vie d'esodo.

La superficie minima delle aperture dipende dal carico d'incendio specifico del compartimento, come indicato nella tabella sottostante.

Tabella 36: Dimensionamento delle aperture antincendio

Tipo	Carico di incendio specifico q_f	Superficie utile minima delle aperture di smaltimento S_{sm}	Requisiti aggiuntivi
SE1	$q_f \leq 600$ MJ/m^2	A / 40	-
SE2	$600 < q_f \leq 1200$ MJ/m^2	$A \cdot q_f$ / 40000 + A / 100	-
SE3	$q_f > 1200$ MJ/m^2	A / 25	10% di S_{sm} di tipo Sea o SEb o SEc
A -superficie lorda del piano del compartimento [m^2]; S_{sm} -superficie utile delle aperture di smaltimento [m^2]			

In ognuno dei compartimenti la superficie degli infissi rivolti verso l'esterno e nettamente superiore all'area minima richiesta, pertanto si ritengono sufficienti le aperture già presenti nella struttura senza bisogno di crearne ulteriori.

CAPITOLO 12: “OPERATIVITÀ ANTINCENDIO” (S.9)

L’operatività antincendio è l’insieme di tutte quelle attività atte a facilitare le operazioni di soccorso da parte dei Vigili del fuoco.

Capitolo 12.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Nella Tabella 37 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**sono riportati i criteri generalmente accettati per l'attribuzione all'attività dei singoli livelli di prestazione.

Tabella 37: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione dell’operatività antincendio

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	Attività dove siano verificate *tutte* le seguenti condizioni: • profili di rischio: ◦ R_{vita} compresi in A1, A2, B1, B2, Ci1, Ci2; ◦ R_{beni} pari a 1; ◦ $R_{ambiente}$ non significativo; • densità di affollamento non superiore a 0,2 persone/m^2; • tutti i piani dell'attività situati a quota compresa tra -5 m e 12 m; • superficie lorda di ciascun compartimento non superiore a 4000 m^2; • carico di incendio specifico q_f non superiore a 600 MJ/m^2; • non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; • non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio o dell'esplosione.
III	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
IV	Attività dove sia verificata *almeno una* delle seguenti condizioni: • profilo di rischio R_{beni} compreso in 3, 4; • elevato affollamento complessivo: ◦ se aperta al pubblico: affollamento complessivo superiore a 300 persone; ◦ se non aperta al pubblico: affollamento complessivo superiore a 1000 persone; • numero totale di posti letto superiore a 100 e profili di rischio R_{vita} compresi in D1, D2, Ciii1, Ciii2, Ciii3; • si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative e affollamento complessivo superiore a 25 persone; • si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio o dell'esplosione e affollamento complessivo superiore a 25 persone.

L’attività prevede un affollamento maggiore di 300 persone, perciò il livello di prestazione appropriato è il livello IV

Compartimento	*Descrizione*	*Livello*
1	***Hall/Uffici***	*IV*
2	***Bar***	*IV*
3	***Sala Studio***	*IV*
4	***Lavanderia***	*IV*
-	***Camere***	*IV*
26	***Mensa***	*IV*

Capitolo 12.2: Soluzione conforme

I livelli di prestazione per l'operatività antincendio sono riportati nella Tabella 38.

Tabella 38: Livello di prestazione per l'operatività antincendio

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio
III	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio Pronta disponibilità di agenti estinguenti
IV	Accessibilità per mezzi di soccorso antincendio Pronta disponibilità di agenti estinguenti Accessibilità *protetta* per Vigili del fuoco a tutti i locali dell'attività

Capitolo 12.2.1: Soluzione conforme per livello di prestazione IV

La soluzione di prestazione IV prevede la possibilità dei mezzi di soccorso di potersi accostare all'edificio in qualsiasi momento, pertanto deve essere prevista uno spazio apposito, vicino al complesso, sempre libero da impedimenti.

Poiché l'edificio è provvisto di rete idranti con protezione interna ed esterna è garantito un elevato grado di operatività antincendio.

La norma prevede anche la presenza di scale antincendio protette per raggiungere tutti i piani dell'attività. Tali requisiti sono soddisfatti in quanto tutte le vie d'esodo sono di tipo protetto.

CAPITOLO 13: "SICUREZZA DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI E DI SERVIZIO" (S.10)

Questo capitolo ha lo scopo di valutare il rischio introdotto dagli impianti presenti nell'edificio.

In generale, ai fini della sicurezza antincendio, devono essere considerati almeno i seguenti impianti tecnologici e di servizio:

- produzione, trasformazione, trasporto, distribuzione e di utilizzazione dell'energia elettrica;
- protezione contro le scariche atmosferiche;
- sollevamento/trasporto di cose e persone;
- deposito, trasporto, distribuzione e utilizzazione di solidi, liquidi e gas combustibili, infiammabili e comburenti
- riscaldamento, climatizzazione, condizionamento e refrigerazione, comprese le opere di evacuazione dei prodotti della combustione, e di ventilazione ed aerazione dei locali
- controllo delle esplosioni.

Capitolo 13.1: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

Il livello di prestazione I deve essere attribuito a tutte le attività.

Compartimento	*Descrizione*	*Livello*
1	***Hall/Uffici***	*I*
2	***Bar***	*I*
3	***Sala Studio***	*I*
4	***Lavanderia***	*I*
-	***Camere***	*I*
26	***Mensa***	*I*

Capitolo 13.2: Soluzione conforme

I livelli di prestazione per la sicurezza degli impianti sono indicati nella Tabella 39.

Tabella 39: Livello di prestazione per la sicurezza degli impianti

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

Capitolo 13.2.1: Soluzione conforme per livello di prestazione I

Si ritengono conformi gli impianti tecnologici progettati ed eserciti a regola d'arte che garantiscano gli obiettivi di sicurezza antincendio.

Tali obbiettivi generali comprendono:

- Limitare la probabilità di costituire causa di incendio e la sua propagazione
- Non rendere inefficaci le altre misure antincendio, specialmente la continuità di compartimentazione nei passaggi tra gli stessi
- Consentire agli occupanti di lasciare gli ambienti in condizioni di sicurezza
- Essere disattivabili in caso di incendio da postazioni protette

Gli impianti per la distribuzione e utilizzo dell'energia elettrica devono essere realizzati in modo da non costituire pericolo durante le operazioni di estinzione dell'incendio.

Gli impianti devono essere suddivisi in più circuiti terminali, in modo che una condizione di guasto non generi panico nell'intera attività e che sia possibile sezionare parti dell'impianto dalle squadre di emergenza.

L'impianto di illuminazione di emergenza e l'impianto IRAI devono avere un'autonomia minima di 30 minuti e possono subire un' interruzione massima, a causa dell'incendio, di 0,5 secondi.

Deve essere eseguita una valutazione di rischio da fulminazione, e, nel caso essa risulti rilevante, predisporre un sistema di protezione contro le scariche atmosferiche.

Infine, poiché gli ascensori utilizzati non sono progettati per funzionare in caso di incendio, deve essere impedito il loro utilizzo, anche accidentale.

SEZIONE B. L' APPROCCIO PRESTAZIONALE

INTRODUZIONE

Nell' applicazione del metodo prestazionale per la verifica delle prestazioni d'esodo è necessario dimostrare che tutti gli occupanti abbiano il tempo necessario per raggiungere un luogo sicuro senza essere esposti a pericolo.

La verifica delle prestazioni dell'edificio viene effettuata tramite il calcolo di due indici temporali:

- ASET: Available Safe Escape Time
- RSET: Required Safe Escape Time

Il parametro ASET rappresenta il tempo massimo per cui è garantito che l'edificio mantenga le sue caratteristiche strutturali e per cui gli occupanti risultino in grado di raggiungere l'esterno in sicurezza.

Il parametro RSET rappresenta il tempo che impiegano tutti gli occupanti a raggiungere un luogo sicuro, e quindi a mettersi in condizioni di sicurezza.

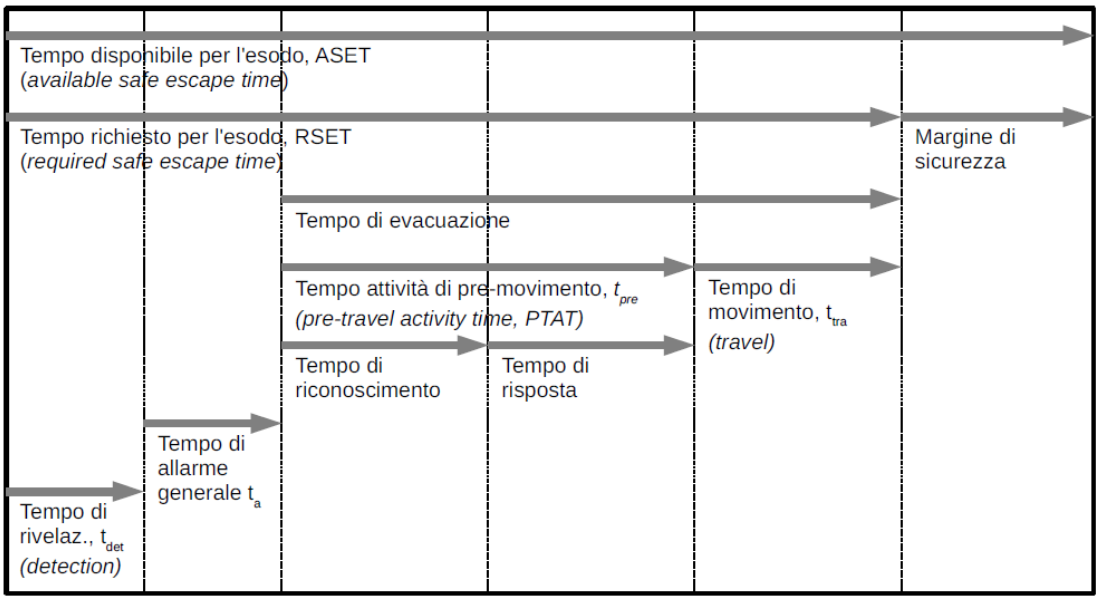
Viene considerato efficace un sistema d'esodo per cui ASET>RSET, se cioè tutte le persone riescono a mettersi in sicurezza prima che l'edificio diventi inagibile.

La differenza tra questi due parametri è chiamato "margine di sicurezza" (t_{marg}); esso deve essere massimizzato per rendere trascurabili le incertezze nel calcolo dei parametri ASET e RSET.

Come parametro cautelativo viene assunto T_{marg} > 100% * RSET e comunque sempre maggiore di 30 secondi.

Il calcolo di questi due parametri verrà effettuato secondo quanto richiesto dalla normativa vigente, ed in particolare dal D.M. 3/8/15 e dalla norma ISO/TR 16738.

Tabella 40: Confronto tra ASET e RSET



La norma prevede l'utilizzo di software commerciali per la modellazione fluidodinamica dell'edificio tramite i quali verrà calcolato il tempo necessario agli occupanti per completare l'esodo.

Scopo di questa sezione è anche una valutazione critica dei software utilizzati.

Per dimostrare il metodo utilizzato la modellazione tridimensionale è stata limitata all'edificio B.

I criteri con cui sono valutati i parametri ASET e RSET sono descritti nei successivi capitoli 2 e 3.

CAPITOLO 1: SCENARI DI INCENDIO

Al fine di una valutazione ottimale del tempo massimo di esodo richiesto, vengono identificati degli scenari di incendio, cioè delle ipotesi sulla posizione e sulla modalità di scoppio dell'emergenza.

Con gli scenari di incendio si cerca di valutare le condizioni che possono mettere più in difficoltà il sistema di gestione dell'incendio, scegliendo poi la situazione più critica per portare avanti l'analisi.

Vista la relativa semplicità dell'edificio in esame e la presenza di due scale d'esodo che collegano tutti i piani, sono stati identificati i seguenti scenari di incendio:

- SC1: Si ipotizza la nascita di un focolaio di incendio in una delle camere situate al terzo piano dell'edificio, in prossimità di una delle due scale d'esodo.
  È lecito pensare che il fumo che si propaga dalla camera renda inutilizzabile il percorso verso la scala d'esodo adiacente.

  La scala d'esodo risulta però a prova di fumo, perciò essa rimarrà fruibile comunque dagli occupanti dei piani superiori, i quali la potranno impegnare per scendere.

  Gli occupanti del terzo piano, che in condizioni ottimali si sarebbero distribuiti uniformemente tra le due vie d'esodo, non potranno invece utilizzare la scala in esame, poiché il fumo davanti alla porta ne impedirà l'accesso.

  Essi si muoveranno quindi verso la scala d'esodo posta nella parte opposta dell'edificio, aumentandone l'affollamento.

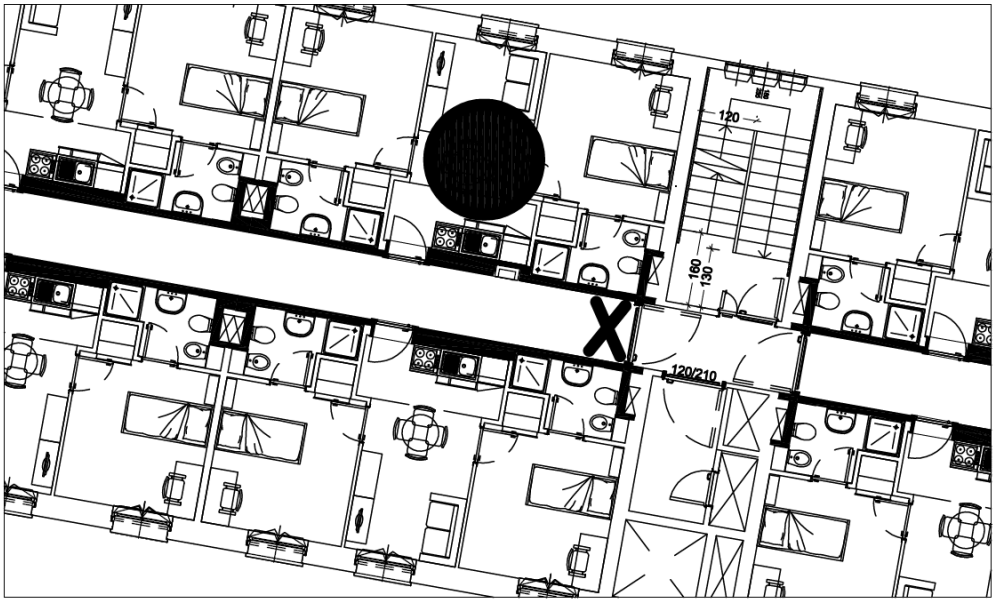


Immagine 4: Scenario di incendio 1

- SC2: Si ipotizza la nascita di un incendio all'ingresso di una delle due scale d'esodo al piano terra dell'edificio.

  Le scale sono dotate di aspiratori di fumo ad ogni piano, perciò il fumo che si genererà a causa dell'incendio non si propagherà ai piani superiori. Gli occupanti potranno comunque impegnare la scala d'esodo, ma non saranno in grado di lasciare l'edificio poiché la rampa di scale finale risulterà interdetta.

  Tutti gli occupanti convergeranno quindi verso la seconda scala d'esodo che dovrà sostenere l'affollamento dell'intero edificio.

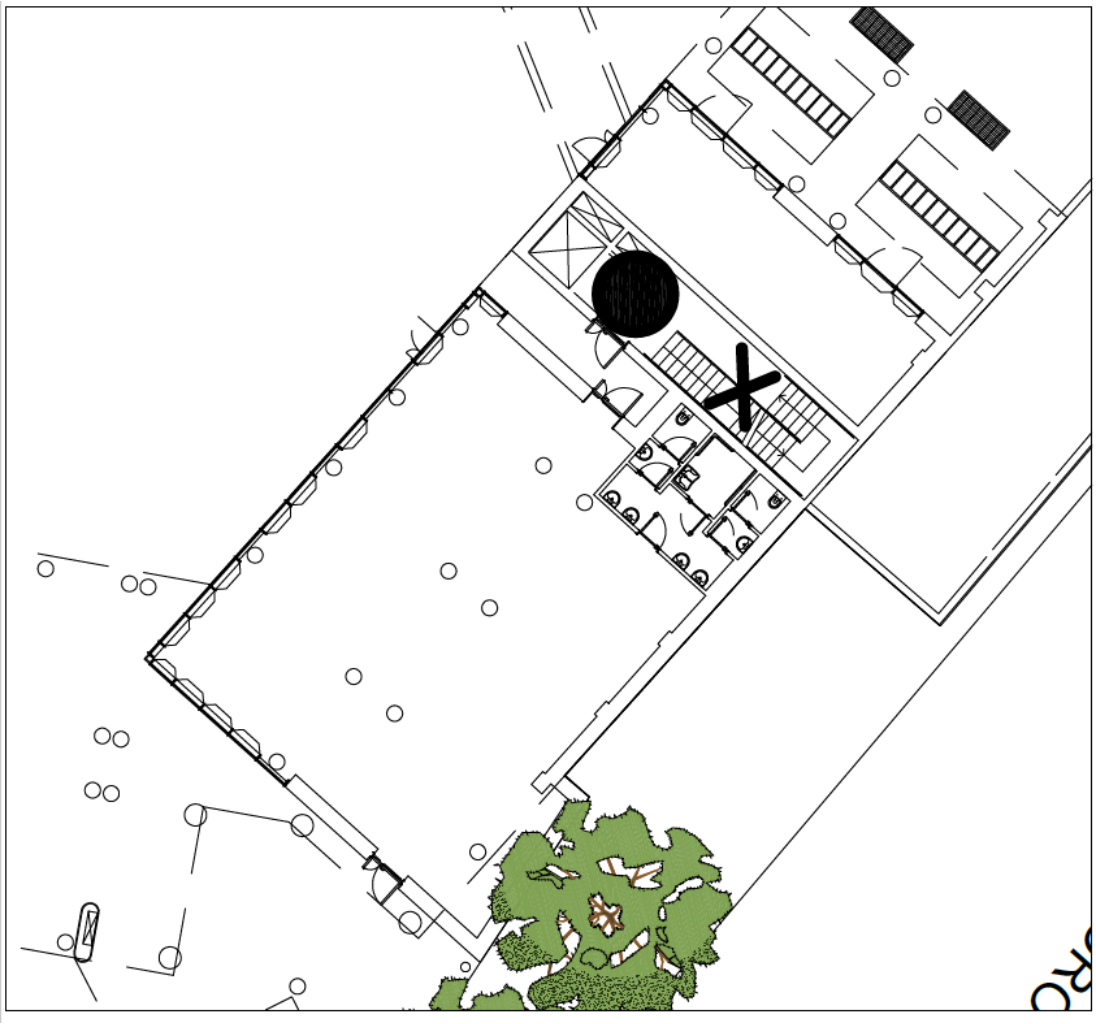


Immagine 5: Scenario di incendio 2

Lo scenario 1 risulta inoltre particolarmente critico poiché l'incendio si genera all'interno di una camera, dove è possibile che gli occupanti siano addormentati, specialmente durante le ore notturne.

Pertanto verrà posta particolare attenzione al calcolo del tempo di esodo degli occupanti all'interno della camera analizzata.

Per entrambi gli scenari si assume lo sviluppo di un incendio con velocità caratteristica prevalente di crescita di tipo medio.

Secondo la classificazione riportata nel D.M. 23/08/15 ad essa corrisponde un tempo di 300 secondi, cioè il tempo che impiega l'incendio a raggiungere una potenza di 1000 kW.

Tabella 41: Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio

δ_α	Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio t_α [s]		Esempi
1	600	Lenta	Materiali poco combustibili distribuiti in modo discontinuo o inseriti in contenitori non combustibili.
2	300	Media	Scatole di cartone impilate; pallets di legno; libri ordinati su scaffale; mobilio in legno; automobili; materiali classificati per reazione al fuoco (capitolo S.1)
3	150	Rapida	Materiali plastici impilati; prodotti tessili sintetici; apparecchiature elettroniche; materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco.
4	75	Ultra-rapida	Liquidi infiammabili; materiali plastici cellulari o espansi e schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.

La potenza sviluppata dell'incendio si assume dipendente quadraticamente dal tempo, secondo la seguente formula:

$$Q = \alpha * t^2$$

Dove α è pari a 0.012 kW/s^2.

L'andamento della potenza generata dall'incendio è riportata nella figura sottostante, come già detto al tempo di 300 secondi corrisponde una potenza di 1000 kW.

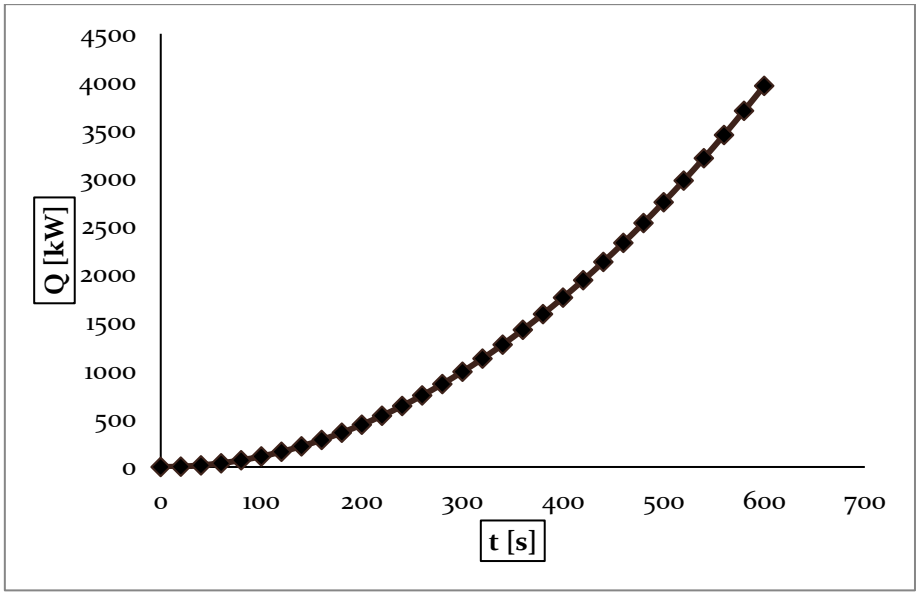


Immagine 6: Curva dello sviluppo dell'incendio

CAPITOLO 2: CALCOLO RSET

Anche il parametro RSET dipende strettamente dal tipo di incendio e dalle caratteristiche dei presidi antincendio, poiché l'incendio potrebbe ostruire delle vie di fuga e rallentare la fuga degli occupanti.

RSET non rappresenta solamente il tempo fisico che impiegano le persone a recarsi all'esterno ma è la somma di quattro parametri che, come riportato nella ISO/TR 16738, possono essere riassunti nella formula seguente.

$$t_{RSET} = t_{det} + t_{warn} + (t_{pre} + t_{trav})$$

Dove:

- t_{det} rappresenta il tempo di rivelazione.
- t_{warn} rappresenta il tempo di allarme generale.
- t_{pre} rappresenta il tempo di attività pre-movimento.
- t_{trav} rappresenta il tempo di movimento.

Capitolo 2.1: Tempo di rivelazione t_{det}

Il tempo di rivelazione è il tempo necessario al sistema di rilevazione per accorgersi della presenza dell'incendio oppure il tempo dopo il quale un occupante dà l'allarme tramite un pulsante manuale.

Il sistema di rivelazione prevede la presenza in ogni camera di un rilevatore di fumo ottico a soffitto per ogni ambiente, per un totale di 2 rilevatori nelle camere singole e 3 rilevatori nelle camere doppie.

Inoltre sono presenti dei rilevatori della stessa tipologia nei corridoi, disposti uniformemente.

I rilevatori sono posizionati al centro dell'ambiente che devono controllare; ipotizzando la condizione più critica, cioè in cui il focolaio si sviluppi all'estremo più lontano dal rilevatore, esso segnalerà l'incendio solo dopo essere investito dai fumi.

Lo spessore del rilevatore è di circa 5 cm, perciò esso rileverà la presenza dell'incendio solamente dopo che si sarà formato uno strato di fumi pari a 5 cm dal soffitto.

Lo sviluppo dello strato di fumi caldi viene calcolato tramite i fogli di calcolo di Mowrer, sviluppati nel 2003 per l'Università del Maryland.

In particolare il foglio di calcolo "Laydscnt Template" permette di calcolare l'evoluzione dei fumi in base ai seguenti parametri di input:

- Room area (A): area del locale.
- Celing height (H): altezza del locale.
- Fire Heat Release Rate (Q): Potenza termica generate dall'incendio.
- Mass Entrainment coefficient (km): coefficiente di Kuzoski pari a 0.076.
- Calculation time (t): intervallo di tempo pari a 10 secondi.

La velocità caratteristica di crescita dell'incendio è stata considerata "media", cioè pari a 300 secondi.

Visto che il foglio di calcolo permette di calcolare solo incendi con potenza sviluppata costante nel tempo i calcoli sono stati eseguiti per brevi intervalli di 10 secondi durante i quali si è assunto un valore medio della potenza Q.

Tabella 42: Foglio di calcolo di Mowrer LAYDSCNT

INPUT PARAMETERS		
ROOM AREA (A)	21	m2
CEILING HEIGHT (H)	3,1	m
FIRE HEAT RELEASE RATE (Q)	10	kW
MASS ENTRAIN. COEFF (km)	0,076	
CALCULATION TIME (t)	10	s
CALCULATED PARAMETERS		
FILLING TIME CONSTANT (tau)	72	s
SMOKE LAYER DEPTH (Zu)	0,38	m

Prendendo come riferimento la camera in cui si ipotizza l'incendio si ottiene il seguente sviluppo dei fumi.

Tabella 43: Risultati foglio di calcolo di Mowrer LAYDSCNT

t [s]	Q [kW]	Zu [m]	Zu cum [m]	Zi [m]
0	0	0	0	3,1
10	0,4	0,14	0,14	2,96
20	1,6	0,22	0,36	2,74
30	3,6	0,28	0,64	2,46
40	6,4	0,34	0,98	2,12
50	10	0,38	1,36	1,74

Con:

t= tempo trascorso.

Q= potenza termica media generata dall'incendio nell'intervallo di tempo

Zu= aumento di spessore dello strato di fumi a partire dal soffitto nell'intervallo di tempo

Zu cum= spessore totale dello strato di fumi a partire dal soffitto

Zi= strato d'aria libero da fumi a partire dal pavimento

Si nota che lo strato di fumi è pari a 14 cm dopo 10 secondi dalla nascita dell'incendio, perciò, in maniera cautelativa si assume t_{det} pari a 10 secondi.

Essendo tutti gli ambienti del complesso di limitate dimensioni, una copertura dei rilevatori uniforme in tutti gli ambienti, e il valore cautelativo scelto, si assume il tempo t_{det} pari a 10 secondi in tutti gli ambienti del complesso.

Capitolo 2.2: Tempo di allarme generale t_{warn}

Il tempo di allarme è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e l'intervento dell'allarme sonoro generale.

t_{warn} è pari a zero negli edifici in cui la rivelazione dell'incendio fa scattare immediatamente l'allarme sonoro.

Nei sistemi più complessi, come quello in esame, l'impianto di rilevazione invia un segnale di preallarme ad un sistema di sicurezza centralizzato, dal quale l'allarme deve essere validato. Ciò viene effettuato principalmente per evitare che un malfunzionamento di un rilevatore generi situazioni di panico nell'intero edificio.

In particolare la rilevazione da parte di un qualsiasi rilevatore invia un segnale acustico e luminoso alla centrale di controllo posta in vicinanza della reception; un operatore avrà quindi il compito di validare o annullare l'emergenza.

Nel caso l'emergenza non venisse gestita per assenza del personale, l'allarme scatta ugualmente dopo 2 minuti, nel caso più di un rilevatore abbia inviato un segnale, oppure dopo 5 minuti, nel caso un solo rilevatore sia intervenuto.

L'allarme scatta immediatamente nel caso in cui venga azionato un pulsante manuale di emergenza.

Visto che in ogni caso l'allarme entra in funzione dopo un tempo di 5 minuti verrà assunto t_{warn} = 5 minuti.

Capitolo 2.3: Tempo di attività pre-movimento t_{pre}

Il tempo di pre-movimento è il tempo più difficile da determinare con precisione, poiché soggetto a moltissime variabili non prevedibili.

Rappresenta il tempo che intercorre da quando gli occupanti sentono l'allarme, a quando effettivamente si mettono in moto verso l'uscita.

Infatti le persone, in seguito ad un allarme, non si recano immediatamente verso le uscite di emergenza, ma si dedicano ad altre attività legate allo sviluppo dell'emergenza.

Tali attività sono ad esempio la raccolta di informazioni più dettagliate sulla situazione, e se si tratti di una reale emergenza, la raccolta dei propri effetti personali, la lotta all'incendio, la messa in sicurezza delle apparecchiature, la verifica dello stato dei propri conoscenti (parenti, colleghi o amici), ed una serie di altre attività che spesso si rivelano errate ed inappropriate e che possono contribuire alla nascita di situazioni di panico.

Statisticamente questa fase occupa la maggior parte del tempo totale d'esodo.

Questo tempo dipende principalmente da tre fattori: il livello del sistema d'allarme installato, la complessità della geometria dell'edificio e la qualità del sistema di gestione dell'emergenza.

Secondo la classificazione della ISO 16738 l'edificio in esame ricade nelle seguenti categorie:

- Alarm System Level A2: rivelazione automatica dell'incendio con comunicazione ad un centro di controllo dell'emergenza con il compito di validare l'allarme.
  La segnalazione di allarme è estesa a tutto l'edificio in caso di mancato intervento del personale addetto.
- Building Level B2: edificio multipiano con geometria interna non particolarmente complessa.
- Management Level M2: edificio su cui è stata eseguita un'analisi antincendio ed in cui è presente un numero limitato di personale addestrato per rispondere all'emergenza

La norma propone, sulla base di questi tre parametri, dei valori tabellari del tempo di pre-movimento, suddivisi in base alla tipologia di edificio.

Tuttavia per un'analisi più dettagliata è stato utilizzato il software di calcolo F.L.A.M.E. (Fire risk Level Assessment Matrix for Enterprises).

Tramite il software è possibile assegnare dei valori numerici empirici alle caratteristiche degli occupanti nella situazione di emergenza, i quali, essendo molto vari, avranno comportamenti sono anche molto difficili da prevedere.

In questo modo è possibile caratterizzare il tipo di occupanti presenti ed effettuare un'analisi più dettagliata

I parametri considerati sono i seguenti:

- Allertabilità: stato degli occupanti (svegli, addormentati).
- Mobilità: capacità di movimento degli occupanti (presenza di persone con mobilità limitata, disabili, infortunati).
- Affiliazione Sociale: probabilità che un occupante venga soccorso dagli altri occupanti presenti in caso di necessità (ad esempio da familiari o amici).
- Ruolo: rapporto tra il pubblico e lo staff addestrato alle emergenze.
- Posizione: probabilità di essere sdraiati, seduti, in piedi o in movimento.
- Determinazione: impegno degli occupanti nel finire l'azione che stanno svolgendo (ad esempio rimanere in coda per ottenere un biglietto, fermarsi per raccogliere i propri effetti personali, ecc.).
- Focal Point: focalizzazione degli occupanti nell'azione che stanno svolgendo che impedisce il riconoscimento dell'emergenza (ad esempio la visione di un film o un lavoro che necessita concentrazione).
- Familiarità con l'edificio: familiarità dell'occupante con l'edificio.

Ad esempio, nell'edificio in questione, gli occupanti avranno una bassa allertabilità, poiché possibilmente addormentati ed un'elevata mobilità, poiché principalmente giovani e quindi con limitate difficoltà motorie.

Inoltre, il sistema di allertamento presente nell'edificio è di tipo avanzato, con voce preregistrata che fornisce indicazioni sull'esodo, cosa che diminuisce il tempo di pre-movimento.

Il risultato ottenuto è un tempo di pre-movimento di categoria PT3 pari a 6,8 minuti.

Capitolo 2.4: Tempo di movimento t_{trav}

Il tempo di movimento rappresenta infine il tempo che impiegano gli occupanti dal momento in cui decidono di recarsi verso una via d'uscita, al momento in cui raggiungono un luogo sicuro.

Tale tempo è stato calcolato tramite software di modellazione fluidodinamica che permettono di approssimare il movimento delle persone all'interno degli ambienti.

I due programmi utilizzati sono:

- Pathfinder
- Pedestrian Dynamics

L'analisi è stata effettuata con entrambi i programmi per poter realizzare un confronto critico dei risultati.

Si riportano i risultati ottenuti nella tabella 44.

Tabella 44: Risultati t_{trav}

[minuti]	Pathfinder	Pedestrian Dynamics	Media
No Fire	2,06	2,15	2,10
SC1	2,78	2,66	2,72
SC2	4,33	4,24	4,29

Dove la condizione No Fire rappresenta il tempo impiegato da tutti gli occupanti per raggiungere l'esterno dell'edificio senza che sia presente un incendio, cioè senza che nessuna delle vie d'esodo risulti ostruita.

Le condizioni SC1 e SC2 corrispondono invece allo “Scenario 1” e allo “Scenario 2” descritti nel Capitolo 1.

È interessante notare come per lo scenario 1 il tempo di esodo non aumenta di molto rispetto alla condizione senza incendio. Infatti questo scenario influisce unicamente sulle persone presenti in un compartimento, impendendo l’accesso ad una delle due scale d’esodo.

Le restanti persone possono comunque accedere normalmente ad entrambe le scale d’esodo, poiché, almeno nella prima fase dell’emergenza, esse non vengono toccate dall’incendio.

Nello scenario 2 invece l’incendio si genera all’interno di una via d’esodo, impedendone completamente l’utilizzo a tutti gli occupanti.

Questa situazione porta il tempo di movimento ad un valore doppio rispetto alla condizione “No Fire”, poiché tutti gli occupanti devono utilizzare un’unica scala d’esodo al posto di due.

Questi risultati rendono evidente come sia importante progettare correttamente le vie d’esodo, poiché una situazione incidentale può facilmente allungare considerevolmente il tempo impiegato dalle persone per mettersi in condizione di sicurezza.

CAPITOLO 3: CALCOLO ASET

La fruibilità dell'edificio dipende strettamente dal tipo di incendio che si sviluppa, dalle caratteristiche dei materiali utilizzati e dai presidi di sicurezza installati.

Il parametro ASET tiene in considerazione l'interazione di questi tre effetti.

Ogni occupante, nel momento dell'emergenza, è occupato in attività diverse, e possiede caratteristiche fisiche e di movimentazione differenti, perciò ognuno di essi avrà un valore dell'indice ASET proprio.

Tale diversità viene risolta con un approccio statistico ed applicando delle ipotesi semplificative, utilizzando sempre un margine di sicurezza t_{marg} elevato.

La norma ISO/TR 16738 prevede la possibilità di calcolare l'ASET tramite l'ipotesi semplificativa del modello "zero exposure".

Tale modello prevede che gli occupanti siano in grado di impiegare le vie d'esodo e raggiungere un luogo sicuro senza subire danni fintanto che le seguenti soglie di prestazione rimangono rispettate:

- Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m, al di sotto del quale permane lo strato di aria indisturbata.
- Temperatura media dello strato di fumi caldi non superiore a 200 °C.

Gli scenari di incendio ipotizzati non prevedono l'instaurarsi di incendi di grandi dimensioni, generati ad esempio da materiale altamente infiammabile e che pertanto possano innalzare bruscamente la temperatura.

Pertanto, come accade frequentemente, la condizione più restrittiva risulta quella relativa all'altezza dello strato di fumi.

Lo sviluppo dello strato di fumi è stato calcolato nuovamente con il foglio di calcolo di Mowrer "LAYDSNT TEMPLATE".

Capitolo 3.1: Scenario 1

Lo scenario ipotizza che l'incendio generatosi in una stanza renda indisponibile il corridoio e la scala d'esodo adiacente alla camera stessa.

Ogni camera è separata dal corridoio attraverso una porta REI 30, che perciò garantisce una tenuta dei fumi di almeno 30 minuti.

L'ASET risulta quindi pari al tempo impiegato dai fumi per scendere al di sotto di 2 metri in tutto il corridoio e nelle stanze, tenendo conto del ritardo che subiscono prima di invadere il corridoio.

La superficie interessata dai fumi è di circa 50 m^2; nella tabella sottostante sono riportati i valori ottenuti.

Tabella 45: Risultati foglio di Mowrer LAYDSCNT SC1

t [s]	**Q [kW]**	**Zu [m]**	**Zu cum [m]**	**Zi [m]**
0	0	0	0	3,1
10	0,4	0,06	0,06	3,04
20	1,6	0,1	0,16	2,94
30	3,6	0,12	0,28	2,82
40	6,4	0,15	0,43	2,67
50	10	0,17	0,6	2,5
60	14,4	0,19	0,79	2,31
70	19,6	0,21	1	2,1
80	25,6	0,23	1,23	1,87

Con:

t= tempo trascorso.

Q= potenza termica media generata dall'incendio nell'intervallo di tempo

Zu= aumento di spessore dello strato di fumi a partire dal soffitto nell'intervallo di tempo

Zu cum= spessore totale dello strato di fumi a partire dal soffitto

Zi= strato d'aria libero da fumi a partire dal pavimento

Risulta quindi dai calcoli un tempo di circa 70 secondi, pari a 1,1 minuti.

Dal calcolo è stata esclusa la camera in cui si verifica l'incendio, poiché merita un'analisi separata

Pertanto l'ASET per il compartimento in esame sarà pari a:

ASET = 1,1 + 30= 31.1 minuti.

È interessante però valutare le condizioni che si generano all'interno della stanza in cui si verifica l'incendio, poiché i suoi occupanti avranno un margine di sicurezza notevolmente inferiore, non essendoci una porta antincendio a proteggerli.

Limitando il calcolo dello sviluppo dello strato di fumi alla sola stanza, di superficie di circa 21 m^2, si ottiene quanto riportato nella tabella 45.

Tabella 46: Risultati foglio di Mowrer LAYDSCNT SC1 Camera

t [s]	**Q [kW]**	**Zu [m]**	**Zu cum [m]**	**Zi [m]**
0	0	0	0	3,1
10	0,4	0,14	0,14	2,96
20	1,6	0,22	0,36	2,74
30	3,6	0,28	0,64	2,46
40	6,4	0,34	0,98	2,12
50	10	0,38	1,36	1,74

Con:

t= tempo trascorso.

Q= potenza termica media generata dall'incendio nell'intervallo di tempo

Zu= aumento di spessore dello strato di fumi a partire dal soffitto nell'intervallo di tempo

Zu cum= spessore totale dello strato di fumi a partire dal soffitto

Zi= strato d'aria libero da fumi a partire dal pavimento

Gli occupanti avranno quindi solamente circa 40 secondi per lasciare la camera.

Pertanto considerando nello specifico gli occupanti di una singola stanza, essi avranno un ASET di 40 secondi.

Capitolo 3.2: Scenario 2

In questo scenario si ipotizza la nascita dell'incendio all'interno di una delle due scale d'esodo, tale per cui la scala diventi inagibile.

Le scale hanno resistenza REI120, perciò il fumo non si propagherà ai piani superiori e nei compartimenti adiacenti per almeno 120 minuti.

Tutti gli occupanti dovranno quindi essere in grado di mettersi in sicurezza tramite l'altra via d'esodo entro questo tempo.

CAPITOLO 4: CONFRONTO RSET – ASET

I risultati ottenuti nei paragrafi precedenti sono riassunti nella tabella sottostante.

Tabella 47: Riepilogo risultati

[minuti]	t_{det}	t_{warn}	t_{pre}	t_{mov}	RSET	ASET	t_{marg}	%
SC1	0,16	5	6,8	0,83	12,79	31,1	18,31	143,16 %
SC1 (camera)	0,16	5	0	0,08	5,24	0,66	-4,58	
SC2	0,16	5	6,8	4,29	16,25	120	103,75	638,46 %

Entrambi gli scenari 1 e 2 presentano un margine di sicurezza elevato, superiore al 100% e pertanto si può assumere che la sicurezza degli occupanti sia garantita.

Risulta una situazione di criticità se si esaminano le condizioni degli occupanti nella stanza in cui si sviluppa l'incendio nello scenario 1 (SC1 camera).

La normativa non richiede questa verifica, poiché l'analisi viene effettuata a livello di compartimento, e non di singola stanza; tuttavia il rischio per la sicurezza degli occupanti risulta comunque evidente.

Considerando sempre il caso più critico, in cui l'incendio si sviluppi durante la notte, con gli occupanti addormentati, è ragionevole assumere, solamente per la stanza in esame, un tempo di pre-movimento pari a pochi secondi, tendente a zero.

Gli occupanti della stanza infatti, dopo essere stati svegliati dall'allarme sonoro, si accorgeranno immediatamente della reale situazione di pericolo presente nella loro stessa stanza, e pertanto procederanno immediatamente verso l'uscita.

Tuttavia, viste le ridotte dimensioni della camera, il fumo raggiungerà un'altezza critica prima ancora che l'allarme sonoro entri in funzione, poiché t_{warn} è pari a 5 minuti.

In letteratura tecnica non sono presenti studi che certifichino che una persona addormentata si svegli comunque a causa del fumo, anche senza che l'allarme intervenga, e sono invece accertati numerosi casi di persone che sono soffocate nel sonno.

Il buffer di tempo t_{warn} di 5 minuti ha lo scopo di evitare falsi allarmi dovuti al malfunzionamento di un singolo rilevatore.

Tuttavia, per tutelare la sicurezza degli occupanti delle singole stanze, sarebbe opportuno suggerire al gestore della sicurezza antincendio di eliminare questo buffer solamente durante le ore notturne.

Eliminando il tempo tra la rilevazione e l'intervento dell'allarme, cioè ponendo t_{warn} pari a 0, si otterrebbe un margine di sicurezza appropriato, come riportato nella tabella.

Tabella 48: SC1 (camera) modificato

[minuti]	t_{det}	t_{warn}	t_{pre}	t_{mov}	RSET	ASET	t_{marg}	%
SC1 (camera)	0,16	0	0	0,08	0,24	0,66	0,42	175,00%

Tale intervento sarebbe anche di facile attuazione, poiché si tratterebbe di una modifica a livello di software di gestione, senza necessità di interventi fisici o lavori.

Per quanto riguarda gli occupanti delle restanti camere, essi si trovano comunque in situazione di sicurezza, poiché le porte REI 30 presenti in ogni camera impediscono ai fumi di propagarsi rapidamente in tutto il compartimento.

Nello scenario 2 invece, il tempo necessario a tutti gli occupanti per lasciare l'edificio è stato calcolato pari a circa 16 minuti; tale tempo è notevolmente inferiore all' ASET dovuto alle porte REI 120 presenti.

CAPITOLO 5: PATHFINDER

Pathfinder è un programma commerciale per lo studio dell'esodo, venduto dalla Thunderhead Engineering, che si basa sul motore di calcolo di FDS (Fire Dynamic Simulator).

FDS è un modello di calcolo di computazione fluidodinamica (CFD) sviluppato dal NIST negli USA.

Il software è in grado di modellare le persone come fluidi in movimento all'interno di uno spazio confinato, secondo le equazioni di Navier – Stokes.

L'autorevolezza della fonte che distribuisce questo software è garanzia dell'accuratezza dei calcoli.

Pathfinder fornisce un'interfaccia grafica e dei comandi abbastanza intuitivi che permettono di arrivare alla soluzione in maniera relativamente più facile e veloce rispetto all'utilizzo del solo FDS.

Il programma consente l'importazione delle planimetrie dell'edificio in formato CAD 2D da utilizzarsi come base per poter creare il modello tridimensionale della struttura.

Tuttavia per edifici leggermente complessi diventa necessario importare direttamente la struttura in formato 3D, realizzandola con un software esterno.

Gli strumenti messi a disposizione dal programma per modificare la struttura dell'edificio (muri, solai, porte, ecc.) risultano estremamente limitati e anche i comandi per muoversi nello spazio di lavoro sono macchinosi.

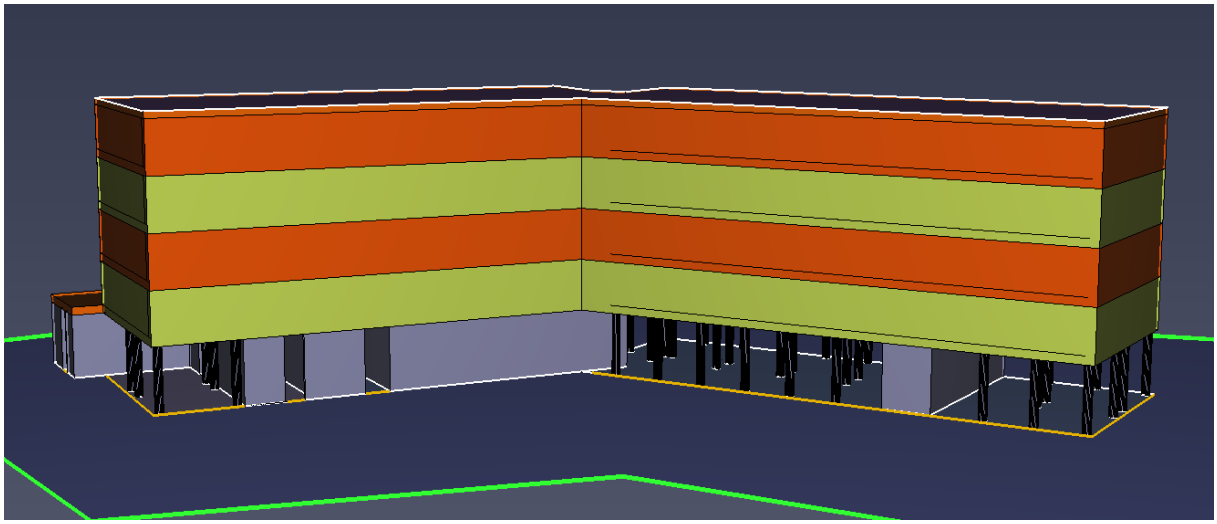


Immagine 7: Vista esterna edificio

È necessario avere una struttura in input estremamente dettagliata, poiché l'impossibilità di correggerne eventuali piccoli errori costringe a ricominciare il lavoro da capo allungando significativamente i tempi di lavoro. In caso si trovino questi errori nella struttura bisogna correggerli tramite un software esterno, reimportare il modello 3D su Pathfinder e ricominciare da capo l'analisi antincendio.

Per quanto riguarda la modellazione delle persone all'interno dell'edificio il programma risulta invece molto dettagliato, permettendo un'elevata personalizzazione dei parametri.

È possibile posizionare, anche singolarmente, gli occupanti nelle posizioni desiderate in base all'affollamento previsto.

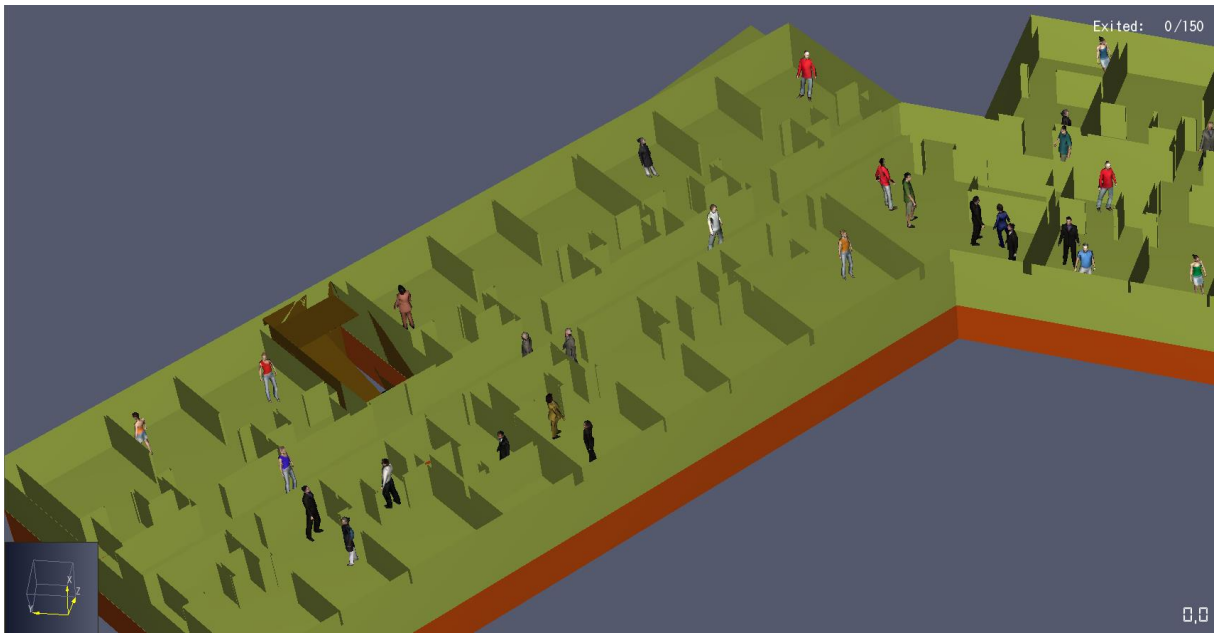


Immagine 8: Dettaglio terzo piano

Nel caso in esame è noto a priori il numero di occupanti nelle stanze, in base al numero dei posti letto disponibili, mentre viene ipotizzato un affollamento realistico nelle zone comuni.

Ad ogni gruppo di occupanti è possibile attribuire caratteristiche personalizzate, come la velocità di movimento e il comportamento; di default tutti gli occupanti tendono a dirigersi con il percorso più breve all'uscita d'emergenza più vicina, ma è possibile impostare comportamenti personalizzati in base al caso in esame.

È inoltre possibile prevedere la presenza di persone sulla sedia a rotelle oppure costrette a letto, le quali non sono in grado di muoversi autonomamente e per cui alcune vie d'esodo possono risultare inadeguate.

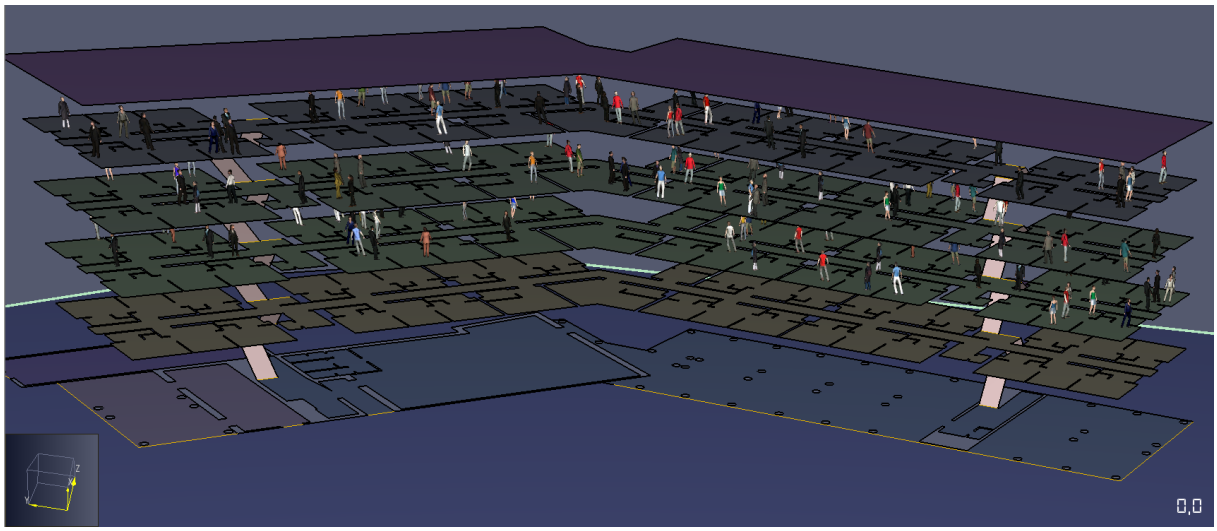


Immagine 9: Piani esplosi

È possibile anche inserire la presenza di personale addestrato con lo scopo di gestire la situazione d'emergenza; tali persone velocizzano le operazioni d'esodo degli altri occupanti e gestiscono le esigenze dei presenti.

Inoltre è possibile gestire le scale e gli ascensori permettendo di distinguere quali sono utilizzabili in caso di incendio e quali no.

Infine è da tenere in considerazione la compatibilità e integrabilità di Pathfinder con Pyrosim, altro software della stessa casa produttrice, utilizzato per modellizzare lo sviluppo dell'incendio, il movimento dei fumi e la resistenza strutturale della struttura.

L'integrazione di questi due programmi permette un'analisi a 360 gradi della situazione incidentale.

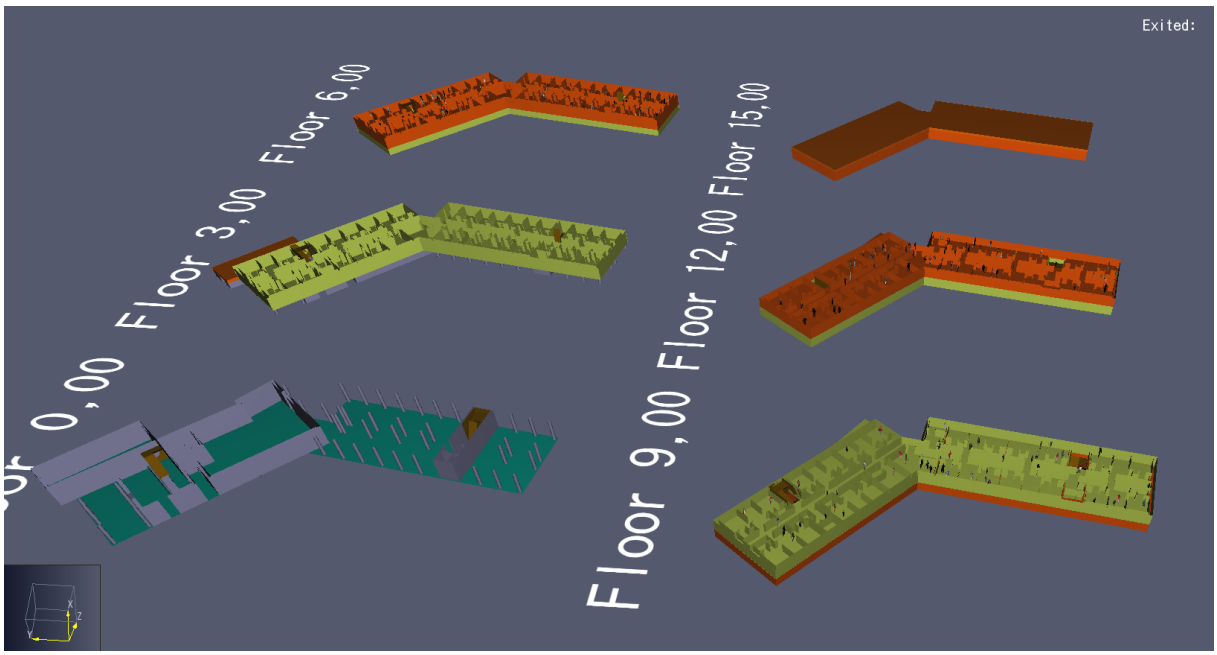


Immagine 10: Piani dell'edificio

CAPITOLO 6: PEDESTRIAN DYNAMICS

Pedestrian Dynamics è un software sviluppato dalla Incontrol Simulation Software.

Anche questo programma permette di importare la struttura dell'edificio da analizzare sia in formato 2D che in 3D, e presenta una comoda funzione che genera la struttura tridimensionale dell'edificio partendo dalla pianta dei piani, evitando di dover utilizzare un software esterno.

Il programma è improntato per la modellazione di edifici di grosse dimensioni, come centri commerciali, stadi e stazioni.

È un software pensato non principalmente per l'analisi dell'esodo in caso di incendio, ma più per valutare lo spostamento delle masse di persone e per valutare dove esse si possano accumulare eccessivamente.

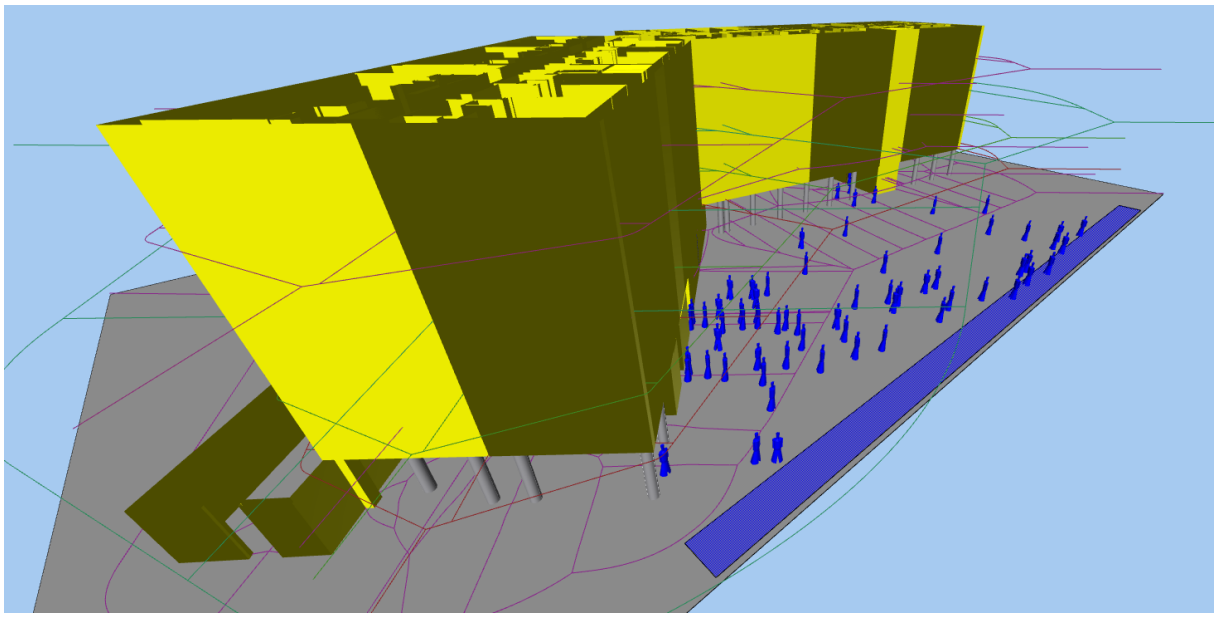


Immagine 11: Vista laterale

Le possibilità di personalizzazione del comportamento degli occupanti sono più ampie rispetto a Pathfinder; ad esempio è possibile prevedere un afflusso continuo di persone all'interno dell'edificio, impostando il tempo di permanenza e le attività da svolgere all'interno dello stesso, oppure lo stazionamento in una zona per simulare la presenza di code o di controlli di sicurezza.

È anche possibile impostare una scheda con gli orari dei mezzi di trasporto (treni, autobus) che portano le persone lontano dall'edificio in esame; questa peculiarità è specialmente usata per l'analisi delle stazioni.

Se però utilizzato per l'analisi dell'esodo in edifici residenziali o uffici, questo software si dimostra limitato, in particolare nel valutare come le persone si comportano in ambienti relativamente piccoli.

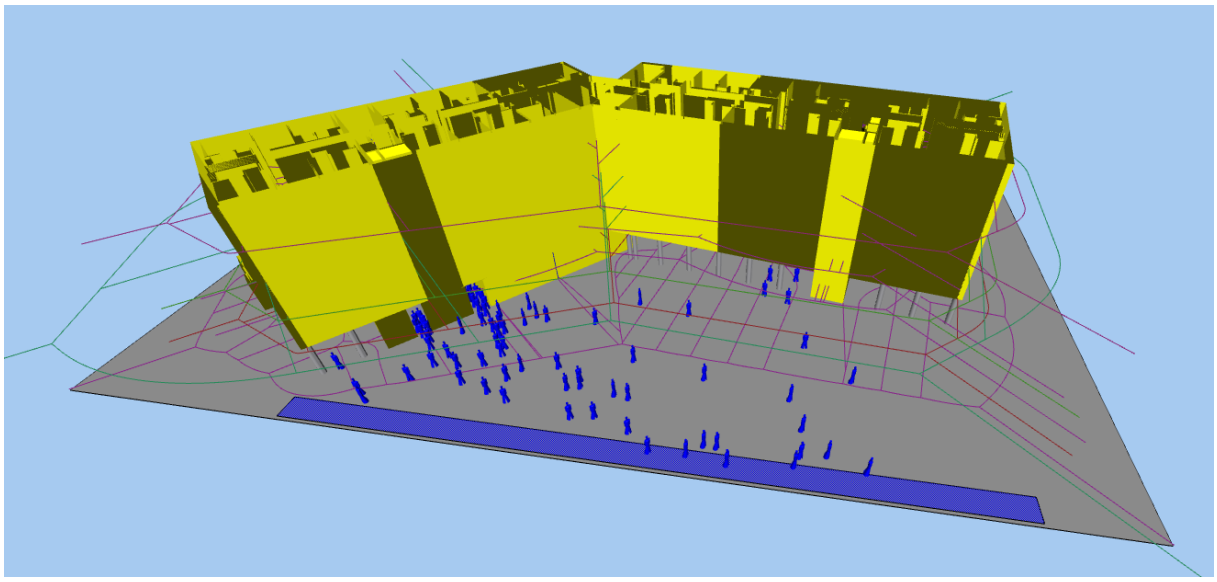


Immagine 12: Vista frontale

CAPITOLO 7: CONCLUSIONI

L'analisi conseguita dimostra come l'approccio prestazionale della Fire Safety Engeneering sia fondamentale per risolvere delle situazioni che con una trattazione "classica" non risulterebbero attuabili.

Nell'ultimo decennio la normativa tecnica ha fatto molti passi avanti in questo campo, rendendo l'approccio prestazionale attuabile in moltissimi ambiti.

Per una attività professionale risulta però ancora molto dispendioso, sia a causa dell'elevato tempo necessario per eseguire un'analisi completa, sia a causa del costo dei software di cui uno studio si deve dotare.

In questo tipo di analisi è di estrema importanza la bravura e l'esperienza del progettista, che deve innanzitutto essere in grado di scegliere gli scenari di incendio più significativi.

Gli scenari d'incendio sono fondamentali per identificare le situazioni più critiche a cui una struttura può essere sottoposta in caso di incendio, ed una scelta sbagliata può portare ad una grave sottostima del rischio.

In particolare, in questa tesi, la scelta di uno scenario in cui l'incendio scaturisca all'interno di una camera occupata da persone addormentate, ha portato alla scoperta di una criticità nel sistema di sicurezza antincendio.

La normativa vigente richiede una verifica dei requisiti di sicurezza per compartimento, senza prestare particolare attenzione alle stanze di cui il compartimento è composto.

Quando si opera nel campo della sicurezza è noto che è impossibile azzerare il rischio di un incidente; è solo possibile operare in modo da minimizzare il più possibile tale rischio, fino ad un limite di accettabilità stabilito dalla normativa.

Tale limite è attualmente impostato all'analisi per compartimento.

Tuttavia, come dimostrato nei capitoli precedenti, il rischio rimane comunque elevato per una limitata percentuale degli occupanti della struttura.

BIBLIOGRAFIA

- Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, D.M. 3 Agosto 2015 “Codice di Prevenzione Incendi”.
- Ministero dell’Interno, D.M. 7 Agosto 2012 “Disposizioni relative alle modalità di presentazione delle istanze concernenti i procedimenti di prevenzione incendi e alla documentazione da allegare”.
- Ente Italiano di Normazione UNI, ISO 16738/2019 “Fire Safety Engineering – Technical information on methods for evaluating behavior and movement of people”.
- Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, D.M. 9 Maggio 2007 “Approccio ingegneristico alla prevenzione incendi”.
- British Standard Institution, PD 7974-6:2014 “The application of Fire Safety Engineering principles to fire safety design of buildings”.
- Thunderhead Engineering, Pathfinder User Manual
- Incontrol, Pedestrian Dynamics User Manual
- James G. Quintere, Principles of fire Behavior
- Ministero dell’Interno, D.M. 26 Giugno 1984 “Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi”.
- Ente Italiano di Normazione UNI, UNI EN 1125 “Dispositivi per le uscite antipanico azionati mediante una barra orizzontale per l’utilizzo sulle vie d’esodo”.
- Ente Italiano di Normazione UNI, UNI 10779 “Impianti di estinzione incendi - Reti di idranti - Progettazione, installazione ed esercizio”.
- Frederick W. Mowrer, Spreadsheet template for fire dynamics calculations.