

OPERE DI MANUTENZIONE
 STRAORDINARIA
**"PALESTRA COMUNALE SITA
 IN VIA MARI"**
 COMUNE DI RUBIERA



COMMITTENTE



COMUNE DI RUBIERA

Via Emilia Est, 11
 42048 Rubiera (RE)

PROGETTISTI



CECCHELANI PROGETTI

Via F. Ferrari, 2
 42124 Reggio Emilia (RE)

ING. MARCO CECCHELANI

ARCH. CATERINA CORRADINI

coordinamento della progettazione
 progetto architettonico
 coordinatore della sicurezza per la progettazione

ING. MARCO CECCHELANI

progetto impianti meccanici e
 prevenzione incendi

ING. MAURIZIO ROSATELLI

progetto impianti elettrici e speciali

COMMESSA n.		ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO	EMISSIONE
14158	PRIMA EMISSIONE	E.LAZZARETTI	C.CORRADINI	M.CECCHELANI	22/12/2017

REVISIONI	DESCRIZIONE	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
1					
2					
3					
4					
5					
6					

A TERMINE DI LEGGE LA SOCIETA' INTESATARIA SI RISERVA LA PROPRIETA' DELL' ELABORATO CON IL DIVIETO DI RIPRODURLO

TITOLO ELABORATO

prevenzione incendi **Relazione specialistica:**
 prevenzione incendi

INDICE

Indice.....	1
1 PREMESSA.....	3
2 LEGISLAZIONE E NORME DI RIFERIMENTO	5
3 ANALISI PRELIMINARE.....	6
3.1 Condizioni degli occupanti	6
3.2 Vincoli progettuali	6
3.3 Condizioni ambientali	7
3.4 Pericoli di incendio	8
3.4.1 Materiali.....	8
3.4.2 Spazi a rischio specifico	9
3.4.3 Impianti.....	9
3.5 Obbiettivi della sicurezza antincendio	11
3.6 Livelli di prestazione.....	11
3.7 Scenari di progetto	12
4 ANALISI QUALITATIVA – Scenario di incendio.....	13
4.1 Dipendenza dell'incendio da combustibile o ventilazione.....	13
4.2 Descrizione della curva di incendio del linoleum.....	15
4.2.1 Fase di crescita.....	16
4.2.2 Fase di pieno sviluppo.....	17
4.2.3 Fase di estinzione.....	17
4.3 Valutazione della propagazione dell'incendio alla copertura in legno.....	19
4.4 Valutazione della propagazione dell'incendio alle lastre in polycarbonato	22
5 ANALISI QUALITATIVA – caratteristiche strutturali travi.....	23
5.1 Valutazione carico di incendio.....	23
6 ANALISI QUALITATIVA - Tempo di esodo.....	26
6.1 Individuazione percorso più sfavorito	26
6.1.1 Velocità di esodo	26
6.1.2 Flusso specifico	27
6.1.3 Flusso.....	27
6.1.4 Tempo complessivo per l'esodo	28
6.1.5 Conclusione.....	29
7 ANALISI QUALITATIVA - Tempo di esodo in caso di uscita non fruibile.....	30
7.1 Caso 1 – Via di esodo campo gioco polisportivo non fruibile.....	30
7.1.1 Velocità di esodo	30
7.1.2 Flusso specifico	31
7.1.3 Flusso.....	31
7.1.4 Tempo complessivo per l'esodo	31
7.1.5 Conclusione.....	33
7.2 Caso 2 – Via di esodo disimpegno lato campo gioco polisportivo non fruibile	34
7.2.1 Velocità di esodo	34
7.2.2 Flusso specifico	35

7.2.3	Flusso.....	35
7.2.4	Tempo complessivo per l'esodo	35
7.2.5	Conclusione.....	37
7.3	Considerazioni finali.....	37
8	ANALISI QUALITATIVA – Valutazione influenza dei fumi sull'esodo	38
8.1	Valutazione altezza dei fumi dal piano di calpestio	39
8.2	Valutazione temperatura media dello strato di fumi.....	41
8.3	Conclusione	42
9	ANALISI QUALITATIVA - Analisi tiranterie e collegamenti in acciaio	44
9.1	Metodo di calcolo	44
9.2	Valutazione tiranti Φ 20 mm.....	45
9.3	Valutazione tiranti Φ 22 mm.....	46
9.4	Valutazione tiranti Φ 24 mm.....	47
10	CONCLUSIONE.....	48

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto l'aggiornamento della pratica di prevenzione incendi relativa alle opere di adeguamento della palestra comunale sita in Via Mari presso il comune di Rubiera.

L'edificio in oggetto, avente numero di pratica 28576 è stato oggetto di parere favorevole in data 20 febbraio 2015 con protocollo 0002000 da parte del Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Reggio Emilia. Sulla base del progetto approvato era previsto un intervento di adeguamento della struttura in legno che attualmente compone la copertura del fabbricato. Tale intervento consisteva nel:

- Trattamento delle componenti portati (archi di testata, archi intermedi, terziera e arcarecci) con vernice ignifuga allo scopo di garantire una classe di resistenza al fuoco R 60 e classe di reazione al fuoco B-s1,d0;
- Trattamento del tavolato in legno di copertura con vernice allo scopo di garantire classe di reazione al fuoco B-s1,d0.

A seguito di aggiornamenti relativi ai metodi di prova per le vernici ignifughe è emersa l'impossibilità da parte del prodotto di garantire la classe di resistenza al fuoco R60 prevista a progetto. Pertanto al fine di ottenere la classe di resistenza al fuoco sopra richiesta sarebbe necessario prevedere con una delle seguenti soluzioni alternative:

- Protezione degli elementi strutturali della copertura (archi di testata, archi intermedi, terziera e arcarecci) con elementi in cartongesso;
- Incremento della sezione utile degli elementi strutturali della copertura (archi di testata, archi intermedi, terziera e arcarecci) a mezzo di apporto di materiale ligneo.

A seguito di opportune verifiche è emerso che le soluzioni alternative sopra riportate non risultano applicabili all'edificio oggetto della presente relazione. Le motivazioni di tale impossibilità sono di natura strutturale ed economica:

- L'inserimento di protezioni e/o di apporti di materiale ligneo andrebbe a incrementare il carico permanente sulla struttura portante a livelli tali da non garantire i requisiti minimi strutturali richieste dalle norme attualmente in vigore (NTC 2008);
- L'inserimento di protezioni e/o di apporti di materiale ligneo necessiterebbe di lavorazioni i cui importi non risultano sostenibili dal comune di Rubiera.

La presente relazione ha come obiettivo l'analisi dell'edificio in oggetto secondo i criteri dell'approccio ingegneristico al fine di dimostrare come, anche in assenza delle opere di trattamento degli elementi strutturali e del tavolato in legno, sia garantito l'esodo in sicurezza delle persone e il mantenimento delle condizioni strutturali dell'edificio per i tempi necessari a consentire l'esodo degli occupanti.

Per quanto concerne l'impiantistica, la disposizione delle vie di esodo, gli spazi a rischio specifico e gli impianti ad uso antincendio (rilevazione fumi, allarme, estintori, illuminazione di emergenza) rimane valido quanto precedentemente approvato.

2 LEGISLAZIONE E NORME DI RIFERIMENTO

- **EN 1991-1-2 Eurocode 1:** "Action on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire";
- **NFPA 555** " Guide on Methods for Evaluating Potential for Room Flashover";
- **Decreto Ministeriale 3 agosto 2015** "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139";
- **UNI EN 1995-1-2 2005 Eurocodice 5:** "Progettazione delle strutture in legno";
- **Decreto Ministeriale 10 marzo 1998** "Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro";
- **Decreto Ministeriale 9 maggio 2007** "Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio".
- **UNI ENV 1993-1-2** "Progettazione delle strutture in acciaio";
- **Decreto Ministeriale 9 maggio 2007** "Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio".

3 ANALISI PRELIMINARE

Nel seguente capitolo sono riportati i parametri alla base della progettazione antincendio dello stabile. I parametri si dividono in:

- condizioni degli occupanti;
- vincoli progettuali;
- condizioni ambientali;
- pericoli di incendio.

3.1 *Condizioni degli occupanti*

L'edificio oggetto del seguente progetto è adibito ad attività sportiva in cui si svolgono attività sia a livello scolastico che a livello di società private.

La tipologia di occupanti risulta pertanto essere in stato di veglia con conoscenza o meno della struttura a seconda che si tratti di utenti abituali o di nuovi utilizzatori.

Visto l'utilizzo condiviso fra istituti scolastici locali e società sportive si configura la possibile presenza di bambini, essi saranno sempre tuttavia sotto la supervisione di una persona adulta.

Si esclude la presenza di persone con disabilità di tipo fisico, in quanto esse non potrebbero svolgere le attività per le quali l'edificio risulta preposto.

Come dichiarato all'interno del progetto approvato in data 20 febbraio 2015 con protocollo 0002000 il numero di occupanti è inferiore a 100 unità con assenza di pubblico.

Lo stabile risulta inoltre suddiviso in due aree gioco separate fra loro da una parete in muratura dotata di porte che consentono la comunicazione fra le due aree. Come dichiarato all'interno del progetto approvato per ogni area si suppone un affollamento massimo di 48 persone.

3.2 *Vincoli progettuali*

Come precedentemente riportato in premessa i vincoli che portano alla necessità di effettuare l'approccio ingegneristico per la struttura in oggetto sono legati a fattori di natura strutturale ed economica che impediscono di realizzare parte delle opere previste all'interno del progetto precedentemente approvato. Tali vincoli sono relativi all'impossibilità di adeguare la classe di reazione al fuoco e la classe di resistenza al fuoco della copertura in legno e della relativa struttura portante composta da archi, arcarecci e terzere. Le limitazioni sono nello specifico le seguenti:

- Impossibilità di incrementare il carico permanente sulla struttura portante;
- Presenza di lavorazioni i cui importi non risultano sostenibili dal comune di Rubiera.

Oltre a quanto sopra detto sono presenti ulteriori vincoli di natura minore che tuttavia devono essere tenuti in considerazione al fine della progettazione antincendio dell'edificio:

- 1) La tribuna esistente in calcestruzzo non sarà demolita in quanto tale attività comporterebbe interventi accessori sulla pavimentazione della palestra. Tali attività sono quantificabili in un importo economico che attualmente il comune non è in

grado di sostenere. Tuttavia la tribuna non sarà utilizzata al fine di ospitare pubblico e sarà fatto divieto di tale utilizzo;

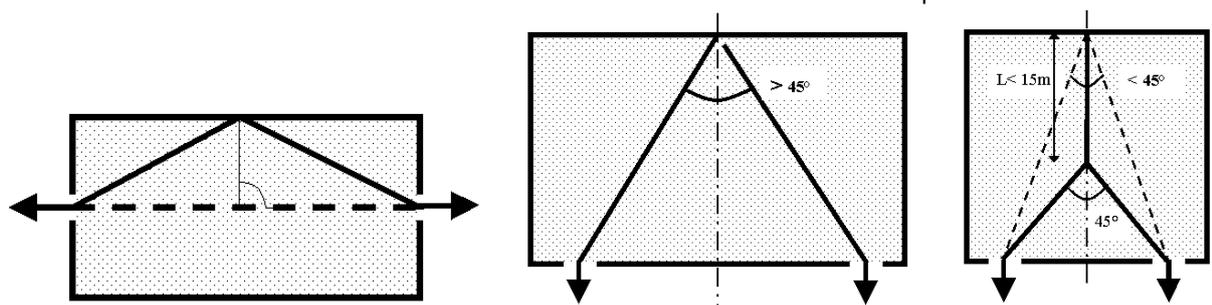
- 2) Per motivi di gestione degli spazi sportivi e al fine da consentire la sicurezza di chi transita lungo il corridoio della tribuna non sarà possibile rimuovere la ringhiera di separazione fra la tribuna e il campo da tennis in quanto tale attività comporterebbe la rimozione della rete di protezione, la quale evita che palle da tennis possano colpire chi transita lungo tale percorso per raggiungere gli spogliatoi. Sarà tuttavia mantenuto un passaggio permanentemente aperto per consentire l'esodo degli occupanti;
- 3) Per motivi legati all'utilizzo separato dei due campi il comune ha richiesto il mantenimento della separazione fra ingresso principale e campo da tennis. La motivazione è legata alla possibilità di consentire il transito degli utenti dalla zona spogliatoi al campo polisportivo senza interferire con le attività del campo da tennis. Al fine di consentire l'esodo è stata prevista la realizzazione di una porta di esodo che consente il transito nella bussola anche per gli occupanti del campo da tennis.

3.3 Condizioni ambientali

L'edificio oggetto di studio si sviluppa in un unico comparto situato sul solo piano terra. La palestra sarà separata dagli edifici adiacenti da strutture tagliafuoco di classe non inferiore a REI 60.

Si esclude la presenza di persone con disabilità di tipo fisico, in quanto esse non potrebbero svolgere le attività per le quali l'edificio risulta preposto.

Per quanto concerne le vie di esodo sono previste vie di esodo dedicate per il singolo spogliatoio. Ognuna delle due aree in cui è suddivisa la palestra è servita da non meno di due vie di esodo fra esse contrapposte che conducono direttamente all'esterno dell'edificio realizzate secondo una delle schematizzazioni sotto riportate.



Fanno eccezione esclusivamente i blocchi spogliatoi per i quali è sufficiente un percorso unidirezionale in quanto secondo il decreto Ministeriale 10 marzo 1998 per un livello medio di rischio è accettabile un percorso unidirezionale di lunghezza compresa fra 9.0 e 30.0 m.

RIEPILOGO VIE DI ESODO			
Area	Via di esodo	Moduli	Percorso
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	1	17.3 m
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	1	17.3 m
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	1	26.2 m
	1.80 x 2.10 m	3	28.7 m
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	3	20.4 m
	1.80 x 2.10 m	3	20.4 m
	1.80 x 2.10 m	3	20.4 m
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	1	28.6 m
	0.90 x 2.10 m	1	18.6 m

Fatta eccezione per la copertura in legno le rimanenti strutture assicurano tutte una classe di resistenza al fuoco idonea e comunque mai inferiore a R/REI 60.

L'edificio è privo di impianto di ventilazione meccanica e le condizioni termo-igrometriche sono garantite a mezzo di impianto di riscaldamento come descritto al punto 3.4.3.

Dal punto di vista della protezione attiva l'edificio sarà servito da un impianto a targhe ottico acustiche collegato a un sistema di rilevazione dei fumi. Visto il numero di occupanti inferiore a 100 unità non sono previsti naspi o idranti a servizio dell'edificio ma esclusivamente estintori. Sono assenti impianti di spegnimento automatico.

3.4 Pericoli di incendio

3.4.1 Materiali

L'edificio adibito a palestra è caratterizzato dal punto di vista dei materiali dalla presenza di pavimentazione in linoleum, limitato a una porzione dell'edificio e alla presenza di una struttura di copertura in legno lamellare priva di trattamento che le conferisca una classe di reazione al fuoco almeno B-s3,d0. E' inoltre presente una lastra continua di polycarbonato sita su entrambi i lati della palestra avente la funzione di serramento per garantire il rapporto illuminante minimo a garantire la visibilità all'interno degli ambienti.

Tali materiali risultano essere presenti un quantitativo considerevole. Il pericolo dal punto di vista dell'incendio emerge nel momento in cui tali materiali raggiungono la temperatura di accensione e iniziano pertanto a propagare il focolaio.

Si riporta di seguito il calcolo del quantitativo di materiale presente all'interno dell'edificio.

Pavimento in linoleum

Densità: 3.0 kg/mq

Superficie: 688.94 mq

Massa = 3.0 kg/mq * 688.94 mq = **2066.82 kg**

Strutture in legno GL36h

Densità: 450.0 kg/mc

Dimensioni

Archi di testata Dimensioni = 0.15 m * 0.76 m

Archi intermedi Dimensioni = 0.15 m * 1.26 m
Dimensioni = 0.19 m * 0.95 m

Arcarecci Dimensioni = 0.10 m * 0.13 m

Terziere Dimensioni = 0.15 m * 0.45 m

Per quanto concerne tali elementi la quantità di materiale effettivamente bruciato è in funzione della velocità di carbonizzazione e della durata dell'incendio.

La tabella sottostante riporta un riepilogo circa le caratteristiche significate relative ai materiali oggetto del presente paragrafo.

Descrizione	Classe di reazione al fuoco	Temperatura di accensione	Massa	Potere calorifico
Pavimento in linoleum	Cfl-s1	280°C	2066.82kg	20.00 MJ/kg
Copertura in legno	F	228°C		17.50 MJ/kg
Strutture in legno	F	228°C		17.50 MJ/kg
Polycarbonato	B-s3,d0	520°C	2413.32 kg	20.00 MJ/kg

3.4.2 Spazi a rischio specifico

Sulla base del progetto approvato in data 20 febbraio 2015 gli spazi a rischio specifico saranno compartimentati rispetto al resto dell'edificio, pertanto essendo questi rispondenti alla legislazione vigente non costituiscono rischio da tenere in considerazione in fase di analisi dell'edificio.

3.4.3 Impianti

L'edificio è servito da un impianto di condizionamento composto da areotermi utilizzando come fluido termovettore l'acqua calda proveniente dall'attigua centrale termica, pertanto il solo rischio di incendio che può derivare da tali elementi è di tipo elettrico.

Per quanto concerne gli impianti elettrici questi consistono in illuminazione e forza motrice, oltre gli impianti di illuminazione di emergenza e di rilevazione e allarme. Pertanto per tale tipologia di impianti il solo rischio di incendio è legato a un eventuale cortocircuito elettrico.

Per quanto concerne l'impianto fotovoltaico presente in copertura sarà prevista, come da progetto approvato in data 20 febbraio 2015, la realizzazione di un sistema di controllo

della temperatura dei pannelli fotovoltaici. Pertanto tale impianto non sarà valutato in fase di analisi ai fini del pericolo di incendio.

3.4.3.1 Impianto fotovoltaico

Al fine di rendere l'impianto sicuro e evitare che esso sia origine di inneschi di incendio è che, nel caso esso si verifichi, vi sia la possibilità di abbandonare la struttura in sicurezza è necessario fare la seguente premessa.

Un pannello fotovoltaico lavora in condizioni normali con temperature che si aggirano intorno ai 70°C. Un incremento di tale temperatura, con relativo rischio di generazione di un focolaio di incendio, può essere dovuto a una delle seguenti cause:

- Corto-circuito;
- Surriscaldamento.

Al fine di rendere sicuro l'impianto si prevede quindi di limitare la temperatura massima che il singolo pannello può raggiungere. A tale scopo si prevede di collegare ogni coppia di pannelli a un dispositivo di regolazione della potenza. Tale elemento funziona scollegando il singolo pannello fotovoltaico, qualora la sua temperatura superi i 90°C, andando di conseguenza a interrompere il passaggio di corrente elettrica continua. I singoli elementi risultano inoltre collegabili a un centrale di rilevazione e allarme con possibilità di programmare i criteri di intervento.

Il sistema composto dai dispositivi di rilievo di temperatura dei pannelli fotovoltaici funzionerà secondo le modalità riportate nella tabella sottostante.

Modalità di supervisione impianto fotovoltaico			
Temperatura FV [°C]	N° pannelli	Tempo [min]	Azione
90 < T < 150	1 - 2	2 < t < 5	Pre - allarme luminoso interno alla palestra
90 < T < 150	1 - 2	5 < t < 10	Pre-allarme + segnalazione GSM al manutentore
90 < T < 150	1 - 2	t > 10	Attivazione allarme ottico acustico per evacuazione edificio
90 < T < 150	3	2 < t < 5	Pre - allarme luminoso interno alla palestra
90 < T < 150	3	5 < t < 10	Pre-allarme + segnalazione GSM al manutentore + Attivazione allarme ottico acustico per evacuazione edificio
T > 150	1		Pre-allarme + segnalazione GSM al manutentore + Attivazione allarme ottico acustico per evacuazione edificio

Con la soluzione sopra proposta sarà quindi possibile consentire l'evacuazione dell'edificio prima che si generi il focolaio di incendio.

Ulteriore punto a favore della soluzione è che sezionando a due a due i pannelli risulta minore la tensione presente sui pannelli con conseguente minore rischio per le squadre di soccorso che si accingono a effettuare lo spegnimento di un eventuale incendio.

I quadri gli inverter saranno posti all'interno della copertura in apposito comparto EI 60 apribile dall'interno dell'edificio solo per effettuare le operazioni di manutenzione o di lettura del contatore.

Il cavidotto proveniente dalla copertura, passando all'interno della palestra sarà racchiuso all'interno di un setto EI 60 per poi entrare all'interno del comparto quadri fotovoltaico.

I moduli, le condutture elettriche, gli inverter, i quadri e gli altri apparati dell'impianto disteranno non meno di 1.0 m dai lucernari.

Periodicamente e ad ogni trasformazione, ampliamento o modifica dell'impianto saranno eseguite e documentate le verifiche ai fini del rischio incendio dell'impianto fotovoltaico, con particolare attenzione ai sistemi di giunzione e di serraggio.

L'area in cui sarà ubicato il generatore ed i suoi accessori sarà segnalata con apposita cartellonistica conforme al D.Lgs. 81/2008. La predetta cartellonistica riporta la seguente dicitura:

ATTENZIONE: IMPIANTO FOTOVOLTAICO IN TENSIONE DURANTE LE ORE DIURNE (... Volt).

La predetta segnaletica è installata in corrispondenza di ogni varco di accesso al fabbricato in quanto l'impianto sarà posizionato sulla copertura.

In prossimità dell'armadio contatori all'ingresso dell'edificio, in posizione segnalata e visibile, saranno installati i pulsanti di sgancio per rimuovere la tensione all'impianto. Tale sistema bloccherà il passaggio di corrente la quale resterà confinata all'esterno dell'edificio.

3.5 Obiettivi della sicurezza antincendio

L'edificio oggetto della presente relazione risulta essere adibito ad attività di tipo aggregativo prive di qualsiasi natura strategica. All'interno non sono inoltre presenti oggetti o materiali caratterizzati da un'importanza economica o storica rilevante.

L'obiettivo pertanto che ci si pone è esclusivamente quello di **garantire l'esodo degli occupanti in caso di incendio**.

L'eventuale crollo, a seguito di un incendio, della copertura in legno lamellare non risulta essere fonte di rischio per gli edifici adiacenti in quanto essa è strutturalmente svincolata dalle pareti di separazione.

L'eventuale propagazione dell'incendio agli edifici adiacenti non viene preso in considerazione in fase di analisi in quanto sono presenti separazione con strutture di classe REI 60 o superiore, sufficienti a garantire l'arrivo delle squadre di soccorso e lo spegnimento tramite i mezzi dei vigili del fuoco.

3.6 Livelli di prestazione

I livelli di prestazione che vengono posti come obiettivo all'interno della presente analisi sono i seguenti:

- Garantire che un eventuale incendio non intacchi le capacità strutturali dell'edificio prima che siano terminate le operazioni di esodo;
- Assicurare uno strato libero da fumi per gli occupanti durante tutta la fase di esodo di almeno 2.00m;

- Assicurare una visibilità di almeno 10 m durante tutto il corso delle operazioni di evacuazione;
- Garantire durante la fase di esodo una temperatura massima di esposizione per gli occupanti inferiore a 60°C;
- Garantire durante la fase di esodo un irraggiamento termico inferiore a 2.5 kW/mq;
- Assicurare durante le operazioni di esodo un valore di FED e FEC inferiore a 0.1.

3.7 Scenari di progetto

Sulla base di quanto sopra riportato è lecito considerare come unico scenario di progetto quello in cui l'incendio si genera a partire dal pavimento in linoleum presente nella palestra.

Si esclude come innesco l'impianto fotovoltaico in quanto esso è dotato di un sistema appositamente studiato che impedisce che la temperatura del pannello, e conseguentemente degli elementi portanti in legno sottostanti, raggiunga un valore critico. Inoltre tali sistema assicura nel caso di insorgenza di un focolaio l'immediato esodo dalla struttura attraverso un sistema di allarme a targhe ottico acustiche.

Si esclude inoltre l'insorgenza di un incendio da parte del materiale sportivo in quanto questo sarà depositato al termine dell'utilizzo negli appositi depositi, i quali risultano compartimentati rispetto alla struttura e protetti da un impianto di rilevazione e allarme di incendio.

Si esclude inoltre l'insorgenza di un incendio da parte delle finestre in polycarbonato non sono posti in vicinanza ad esse elementi che possono generare un focolaio di incendio.

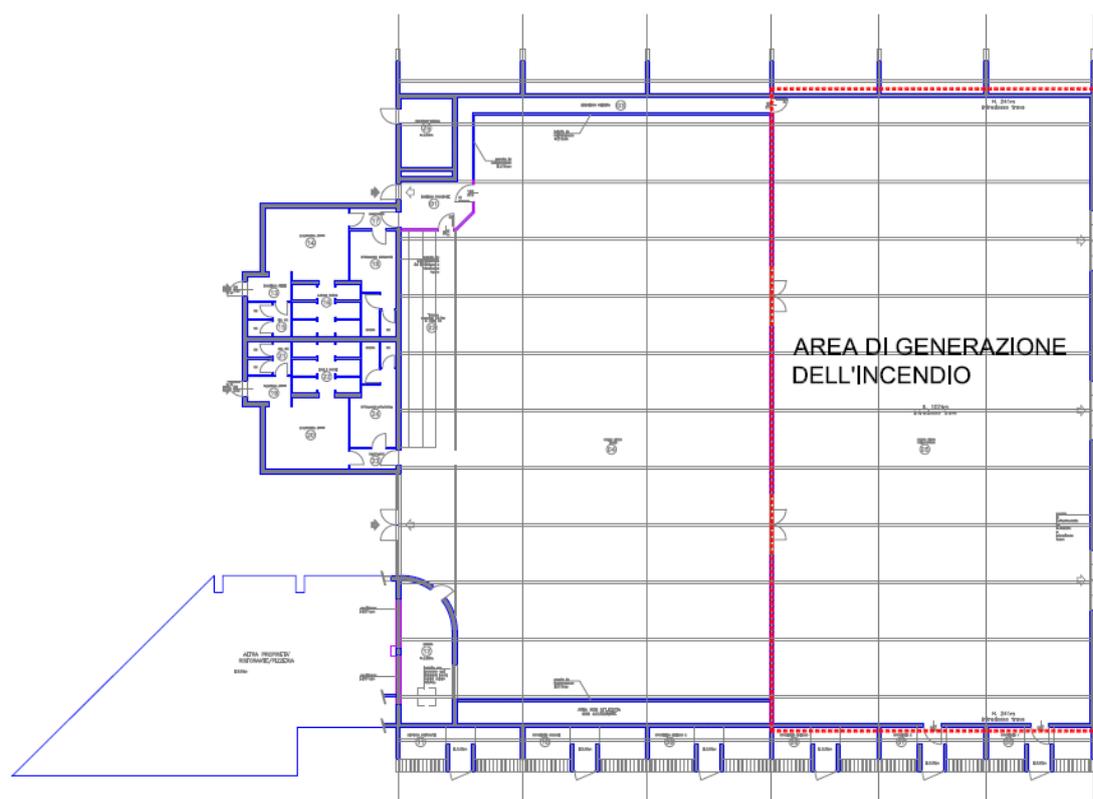


Figura 1 - Individuazione area di generazione dell'incendio

4 ANALISI QUALITATIVA – SCENARIO DI INCENDIO

Lo scenario di incendio che viene considerato è rappresentato da un possibile incendio causato dalla combustione del pavimento in linoleum presente all'interno dell'area denominata negli elaborati campo gioco polisportivo.

Lo sviluppo di un incendio della pavimentazione è un evento che può esclusivamente verificarsi in tale area, in quanto in tutte le altre zone dell'edificio sono presenti pavimentazioni in classe di reazione al fuoco A1. Si esclude inoltre l'effetto propagante delle pareti in quanto anche esse realizzate in materiale incombustibile.

<i>Descrizione</i>	<i>Classe di reazione al fuoco</i>	<i>Temperatura di accensione</i>	<i>Massa</i>	<i>Potere calorifico</i>
Pavimento in linoleum	Cfl-s1	280°C	2066.82 kg	20.00 MJ/kg

4.1 Dipendenza dell'incendio da combustibile o ventilazione

Al fine di valutare la curva di incendio relativa a un eventuale combustione del pavimento in linoleum si passa in primis a valutare i parametri geometrici dell'edificio, Nelle tabelle sottostanti vengono riportati i dati dimensionali dello stabile nonché i dati dimensionali di porte e finestre di comunicazione fra interno ed esterno.

DIMENSIONALI EDIFICIO	
Lunghezza	41.14 m
Profondità	41.33 m
Altezza minima	2.22 m
Altezza massima	10.72 m
Inclinazione tetto	0.4239 rad
Inclinazione tetto	24.30°
Superficie totale edificio	1700.32 mq
Superficie locale 1 (campo tennis)	759.84 mq
Superficie locale 2 (campo polisportivo)	688.94 mq
Altezza media	6.47 m
Profondità tetto	42.37 m

Ai fini del calcolo, essendo la copertura reale dell'edificio realizzata ad arco ed essendo tale geometria difficile da modellizzare, si è scelto di valutare un edificio equivalente avente le medesime dimensioni in pianta ma caratterizzato da una copertura piana, il cui intradosso coincide con la media fra la quota minore e la quota maggiore della struttura ad arco.

Sulla base delle aperture di ventilazione individuate si ricava il valore denominato “**opening factor o fattore di ventilazione**” che individua se l’incendio in questione, successivamente al flash-over” è dipendente dalla ventilazione o dalla quantità di materiale combustibile.

RIEPILOGO PORTE E FINESTRE PALESTRA					
ID	ALTEZZA	LARGHEZZA	SUPERFICIE	QUOTA	ZONA
1	2.10 m	1.80 m	3.78 mq	0.00 m	Campo gioco tennis
2	2.10 m	0.90 m	1.89 mq	0.00 m	Campo gioco tennis
3	2.10 m	1.80 m	3.78 mq	0.00 m	Campo polisportivo
4	2.10 m	1.80 m	3.78 mq	0.00 m	Campo polisportivo
5	2.10 m	1.80 m	3.78 mq	0.00 m	Campo polisportivo
6	2.10 m	1.80 m	3.78 mq	0.00 m	Collegamento campi
7	2.10 m	1.80 m	3.78 mq	0.00 m	Collegamento campi
8	2.10 m	0.90 m	1.89 mq	0.00 m	Collegamento campi
9	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo gioco tennis
10	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo gioco tennis
11	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo gioco tennis
12	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo gioco tennis
13	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo polisportivo
14	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo polisportivo
15	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo polisportivo
16	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo polisportivo
17	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo polisportivo
18	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo polisportivo
19	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo gioco tennis
20	1.20 m	0.90 m	1.08 mq	5.00 m	Campo gioco tennis

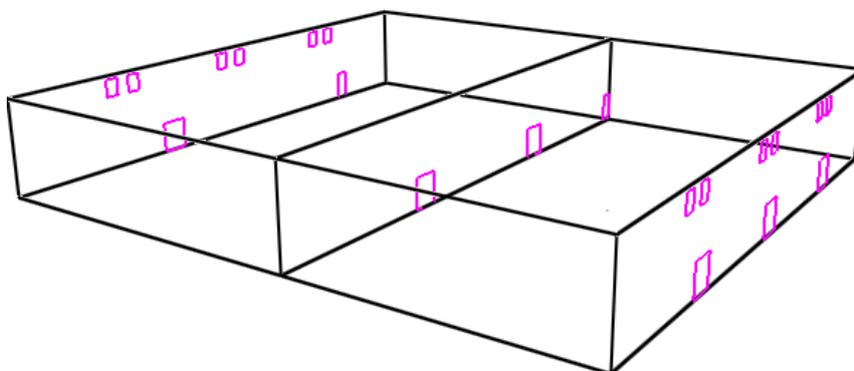


Figura 2 – Modello a CFAST edificio equivalente

$$O = \frac{A_v * \sqrt{h_{eq}}}{A_t} \text{ (opening factor)}$$

Dove

$$h_{eq} = \frac{\sum A_{vi} * h_i}{\sum A_{vi}}$$

A_v = area superfici ventilanti

A_t = area superficie totale del compartimento (pareti, soffitto e pavimento)

OPENING FACTOR		
SIMBOLO	VALORE	DESCRIZIONE
A_t	4160.89 mq	Area superficie totale del compartimento (pareti, soffitto, pavimento)
A_v	29.97 mq	Area superfici ventilanti
h_{eq}	1.35 m	Altezza normalizzata superfici ventilanti
O	0.0084 m^{0.5}	Opening factor

Dall' opening factor ricavato si evince che l'andamento dell'incendio, successivamente al flash-over, è controllato dalla ventilazione, questo in quanto il parametro assume un valore inferiore a 0.07 m^{0.5}.

4.2 Descrizione della curva di incendio del linoleum

Sulla base dei fattori precedentemente individuati si passa a modellizzare la curva di incendio tipica nel caso l'incendio sia limitato al solo pavimento in linoleum. La giustificazione di tale scelta è legata alla necessità di valutare dopo quanto tempo gli materiali iniziano a partecipare all'incendio.

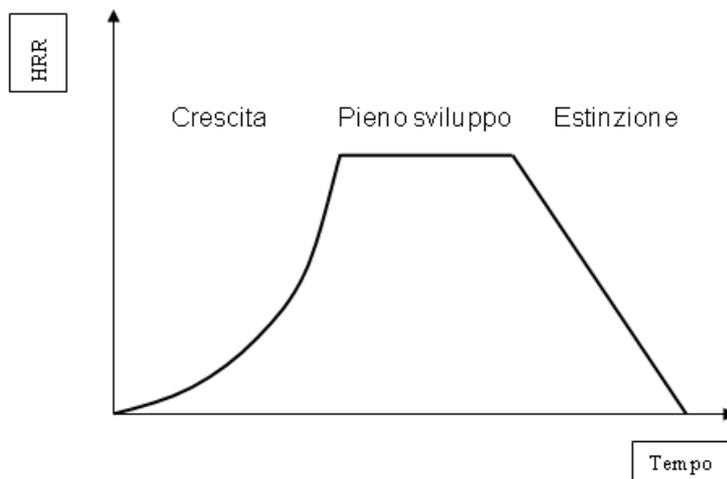


Figura 3 – Curva HRR generica

4.2.1 Fase di crescita

La fase di crescita viene modellizzata considerando una legge quadratica in funzione del tempo, che come da dati sperimentali ha validità fino al raggiungimento della condizione di flash-over.

4.2.1.1 Sviluppo iniziale

In accordo con la norma **EN 1991-1-2 Eurocode 1** la fase di sviluppo iniziale (fino al raggiungimento di 1000 kW di potenza termica rilasciata) è descritta secondo la seguente curva.

$RHR(t) = 10^6 * \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2$ dove il valore t_α rappresenta la velocità di crescita dell'incendio e

dipende dal tipo di crescita attesa.

- Fuoco a crescita lenta: 1.000 kW in 600 s
- Fuoco a crescita media: 1.000 kW in 300 s
- Fuoco a crescita veloce: 1.000 kW in 150 s
- Fuoco a crescita ultraveloce: 1.000 kW in 75 s

Nel caso del linoleum esso è un materiale classificato per reazione al fuoco pertanto, in accordo con la tabella G.3-2 del Decreto Ministeriale 3 agosto 2015, esso si configura con una velocità di crescita media. Si avrà pertanto $t_\alpha = 300s$.

4.2.1.2 Flash-over

Raggiunto l'istante 300 secondi la curva continuerà a crescere con un andamento quadratico fino al punto di flash-over.

Il flash-over è possibile solo se l'incendio rilascia un valore probabile minimo RHR_F che può essere calcolato con l'espressione di Walton & Thomas contenuta nella norma NFPA 555.

$RHR_F = 7.8A_T + 378A_{Vequiv} * \sqrt{h_{Vequiv}}$ dove

$h_{Vequiv} = 5.00 \text{ m} + 1.20 \text{ m} - 0.00 \text{ m} = 6.20 \text{ m}$ differenza fra il punto più alto e il punto più basso fra tutte le aperture di ventilazione

$A_{Vequiv} = W_{Vequiv} * h_{Vequiv}$

$W_{Vequiv} = \frac{\sum W_{vet.i} * \sqrt{h_{vent.i}^3}}{\sqrt[2]{h_{Vequiv}^3}} = 2.52m$

larghezza in m di una apertura equivalente ai fini del flash-over

$A_{Vequiv} = 15.60 \text{ mq}$

$A_T = A_t - A_{Vequiv} = 4160.89 \text{ mq} - 15.60 \text{ mq} = 4145.29 \text{ mq}$

Sulla base dei parametri sopra individuati e della correlazione di Walton & Thomas si individua un valore $RHR_F = 47.02 \text{ MW}$.

$$RHR_F = \alpha * t_F^2 = 10^6 * \left(\frac{t_F}{300s} \right)^2$$

$$t_F = \sqrt{\frac{RHR_F}{\alpha}} = 2057.08 \text{ s}$$

Sulla base dei dati sopra individuati si individua la relazione di tipo quadratico che descrive la potenza termica prodotta dall'incendio del linoleum dall'istante 300 secondi fino al punto di flash-over.

$$RHR(t) = 10^6 + (RHR_F - 10^6) * \frac{(t - 300)^2}{(t_F - 300)^2}$$

Al fine di definire completamente la condizione di flash-over si individua in ultimo la massa di combustibile coinvolta nell'incendio necessaria al raggiungimento di tale fase. A tale scopo si valuta in primis l'energia sviluppata nell'istante di un teorico flash-over e da essa si ricava la massa di combustibile coinvolta.

$$E_F = \int_0^{t_F} RHR(t) dt = \int_0^{2057.88} \alpha t^2 dt = \frac{1}{3} * \frac{1000kW}{(300s)^2} * (2057.88s)^3 = 32239411.15 \text{ kJ}$$

$$m_{cF} = \frac{E_F [MJ]}{H [MJ / kg]} = \frac{32239.41MJ}{21MJ / kg} = 1611.97kg$$

4.2.2 Fase di pieno sviluppo

La fase di pieno di sviluppo dell'incendio si manifesta nel momento in cui l'energia totale racchiusa nel compartimento è di molto superiore all'energia minima che deve essere rilasciata per raggiungere il flash-over. Si passa pertanto a valutare l'energia rilasciata al momento del flash-over e quella totale presente nel compartimento.

$$E_F = \int_0^{t_F} RHR(t) dt = \int_0^{2057.88} \alpha t^2 dt = \frac{1}{3} * \frac{1000kW}{(300s)^2} * 2057.88s = 32239411.15 \text{ kJ}$$

$$E_{tot} = m_{ctot} * H = 2066.82 \text{ kg} * 20.00 \text{ MJ/kg} = 41336.40 \text{ MJ}$$

$$\frac{E_{tot}}{E_f} = 1.282$$

pertanto l'incendio dipendente dal solo pavimento in linoleum non raggiungerà mai la condizione di pieno sviluppo.

4.2.3 Fase di estinzione

L'inizio della fase di estinzione viene individuata in letteratura (UNI EN 1991-1-2) come l'istante in cui si suppone sia bruciato il 70% della massa presente di materiale presente nel compartimento.

$$m_{cB} = 0.7m_c = 2066.82 * .07 = 1446.77kg$$

Come si può notare dal valore sopra ricavato il quantitativo di massa di materiale bruciato a cui corrisponde l'inizio della fase di estinzione è inferiore a quello necessario per il raggiungimento della fase di flash-over. Pertanto si ricava che l'incendio del solo pavimento di linoleum non potrà raggiungere la fase di flash-over in quanto il quantitativo di materiale combustibile presente all'interno dell'edificio risulta limitato.

Si passa quindi a individuare l'istante corrispondente all'inizio della fase di estinzione. Tale punto sarà posizionato sulla curva che descrive la crescita dell'incendio fino all'istante di flash-over, pertanto si avrà.

$$E_B = m_{CB} * H = 1446.77 \text{ kg} * 20 \text{ MJ} / \text{kg} = 28935.4 \text{ MJ}$$

$$E_B = \int_0^{t_B} RHR(t) dt = \int_0^{t_B} \alpha t^2 dt = \frac{1}{3} * \frac{1000 \text{ kW}}{(300 \text{ s})^2} * t_B^3$$

$$t_B = \sqrt[3]{\frac{3 * E_B * (300 \text{ s})^2}{1000 \text{ kW}}} = 2920.32 \text{ s}$$

L'istante di fine incendio (punto C) viene calcolato imponendo che l'area del triangolo individuato dai punti B e C coincida con l'energia residua dovuta al rimanente 30% di materiale combustibile.

$$RHR(t_B) = 10^6 + (RHR_F - 10^6) * \frac{(t_B - 300)^2}{(t_F - 300)^2}$$

Il punto B in particolare coincide con il punto di massima potenza raggiunta dall'incendio.

$$\frac{RHR(t_B) * (t_C - t_B)}{2} = 0.3 * m_c * H$$

$$t_C = 3275.91 \text{ s}$$

Pertanto l'incendio si estingue autonomamente poco dopo 54 minuti dall'inizio del focolaio.

Si riporta di seguito la rappresentazione grafica della curva di incendio del pavimento in linoleum precedentemente individuata con in ascissa il tempo espresso in secondi e in ordinata la potenza termica rilasciata dall'incendio espresso in MW.

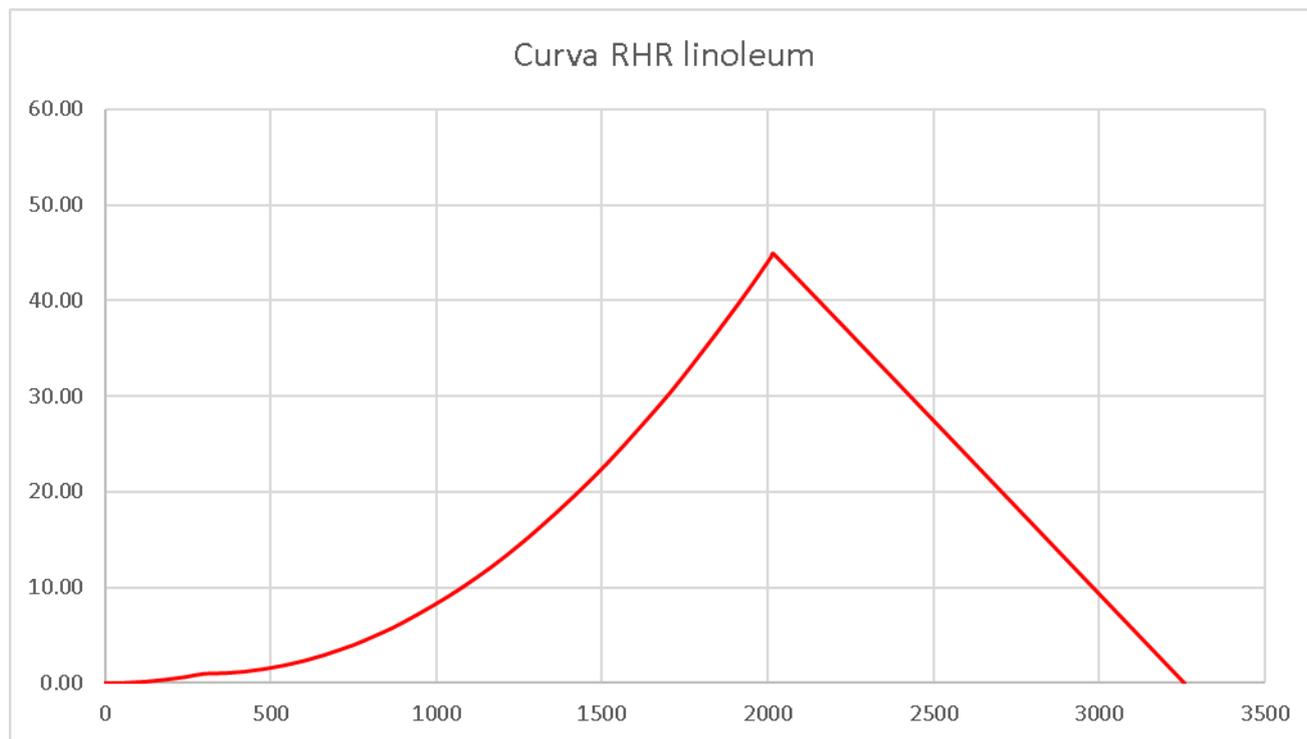


Figura 4 – Curva HHR indicativa del pavimento in linoleum

4.3 Valutazione della propagazione dell'incendio alla copertura in legno

Sulla base di quanto precedentemente enunciato si evince che un eventuale incendio del pavimento in linoleum non è in grado di portare l'incendio alle condizioni di pieno sviluppo.

Sulla base di quanto detto si passa a valutare dopo quanto tempo l'incendio si propaga alla copertura in legno. Si ricordi che tale verifica viene effettuata considerando che tutte le pareti perimetrali dell'edificio siano adiabatiche, ovvero che non sia presente una cessione di calore fra interno ed esterno, tale condizione permette quindi una verifica in sicurezza in quanto la temperatura dello strato dei fumi risulta superiore a quella che realmente si svilupperebbe. A tale scopo si utilizza il modello detto ideal plume al fine di valutare l'incremento di temperatura dei fumi alla quota corrispondente all'intradosso del solaio dell'edificio equivalente.

Lo scopo è individuare a che istante la temperatura del pennacchio dei fumi raggiunge la temperatura minima necessaria a indurre l'accensione del legno, valore che ricordiamo essere pari circa a 228°C.

$$\Delta T = 5.0 \left(\frac{T_{\infty}}{g c_p \rho_{\infty}^2} \right)^{1/3} \dot{Q}^{2/3} \cdot z^{-5/3}$$

Sulla base dei dati riportati in tabella si evince che la propagazione dell'incendio alla copertura in legno avviene poco dopo **1590 secondi** dall'inizio dell'incendio (più di 26 minuti).

Tempo [s]	RHR [MW]	ΔT [°C]	T [°C]
0	0.00	0.00	20.00
60	0.04	2.77	22.77
120	0.16	6.98	26.98
180	0.36	11.99	31.99
240	0.64	17.60	37.60
300	1.00	23.70	43.70
600	2.34	41.79	61.79
900	6.37	81.40	101.40
1200	13.07	131.52	151.52
1500	22.46	188.68	208.68
1530	23.55	194.72	214.72
1560	24.66	200.81	220.81
1590	25.80	206.95	226.95
1620	26.97	213.14	233.14
1920	40.12	277.73	297.73
2018	44.99	299.81	319.81
2057.07	47.02	308.73	328.73

Al fine di valutare in modo maggiormente realistico la propagazione dell'incendio alla copertura in legno si verifica il tempo che intercorre fra l'innesco dell'incendio del pavimento in linoleum e l'accensione del tetto in legno nel punto di minore quota dell'arco di volta, ovvero a 2.20 m dalla quota di pavimento.

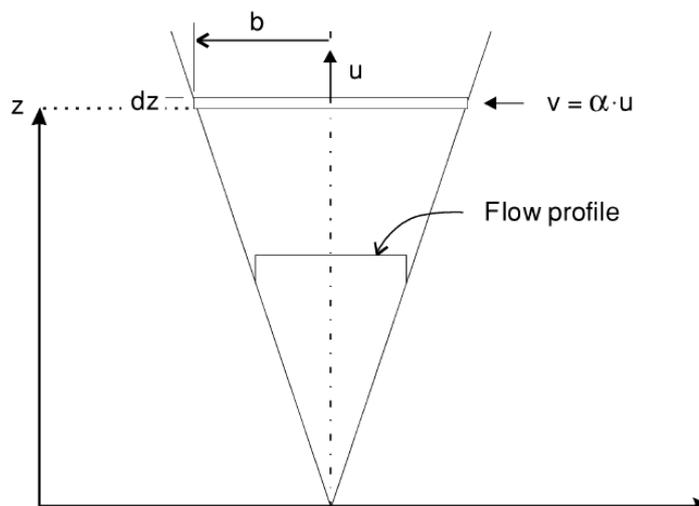


Figura 5 – schema ideal plume

A tale scopo si ipotizza un fuoco localizzato (see annex C EN 1991-1-2:2002) in cui si suppone (a fini cautelativi) di concentrare una striscia di pavimento avente lunghezza 41.33 m e profondità 2.00 m in una catasta cilindrica avente raggio 1.00 m. Lo scopo è verificare che al termine della combustione della catasta considerata, a cui corrisponderà lo spostamento della fiamma dalla zona oggetto di studio, la temperatura del legno non raggiunga temperature tali da provocare l'innesco di un focolaio della copertura.

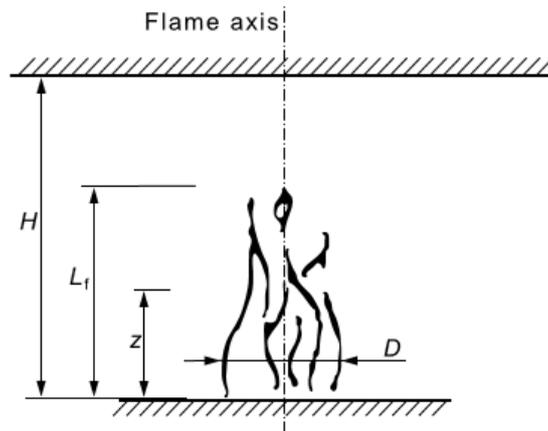


Figura 6 – schema localised fires

Al fine di valutare la temperatura dei fumi è necessario individuare la potenza termica rilasciata dalla catastro teorica di materiale. L'andamento della curva RHR che la descrive sarà la medesima di quella precedentemente individuata.

$$m_c = 3.0 \text{ kg / mq} * 41.33 \text{ m} * 2.00 \text{ m} = 247.98 \text{ kg}$$

$$E = m_c * H = 247.98 \text{ kg} * 21.00 \text{ MJ/kg} = 5207.58 \text{ MJ}$$

$$E = \int_0^t RHR(t) dt = \int_0^t \alpha t^2 dt = \frac{1}{3} * \frac{1000 \text{ kW}}{(300 \text{ s})^2} * t^3$$

$$t_B = \sqrt[3]{\frac{3 * E * (300 \text{ s})^2}{1000 \text{ kW}}} = 112.07 \text{ s}$$

Essendo il tempo necessario a bruciare la catastro teorica di materiale inferiore a 300 secondi si assume che l'andamento della potenza termica sia regolata dalla formula

$$RHR(t) = 10^6 * \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \text{ dove il valore } t_\alpha \text{ rappresenta la velocità di crescita dell'incendio e}$$

dipende dal tipo di crescita attesa.

- Fuoco a crescita media: 1.000 kW in 300 s

Si riportano di seguito le equazioni utilizzate per l'individuazione dei parametri necessari alla valutazione della temperatura dei fumi alla quota di 2.20 m, corrispondente a un eventuale impatto dei fumi sul tetto.

Lunghezza della fiamma

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q_c^{2/5} \quad [\text{m}]$$

Origine virtuale della fiamma

$$z_0 = -1,02 D + 0,00524 Q_c^{2/5} \quad [\text{m}]$$

Temperatura dei fumi

$$\Theta(z) = 20 + 0,25 Q_c^{2/3} / (z - z_0)^{-5/3} \leq 900 \quad [^\circ\text{C}]$$

Dove Q_c rappresenta di default l'80% della potenza termica ricavata dalla relazione dell'RHR sopra descritta.

<i>Tempo</i>	<i>Q</i>	<i>Lf</i>	<i>Z0</i>	<i>T fumi</i>
0.00 s	0.00 MW	-1.02 m	-1.02 m	20.00 °C
30.00 s	0.01 MW	-0.43 m	-0.81 m	35.92 °C
60.00 s	0.04 MW	0.01 m	-0.66 m	63.81 °C
90.00 s	0.09 MW	0.40 m	-0.52 m	101.75 °C
112.07 s	0.14 MW	0.67 m	-0.42 m	136.31 °C

Nella tabella sono riportati i parametri calcolati, come si può notare all'istante 112.07 s, corrispondente alla massima potenza rilasciata, la temperatura dei fumi che impattano sulla copertura risultano inferiori a 280°C e pertanto non possono causare l'innesco dell'incendio.

4.4 Valutazione della propagazione dell'incendio alle lastre in polycarbonato

Sulla base di quanto precedentemente enunciato si evince che un eventuale incendio del pavimento in linoleum non è in grado di portare l'incendio alle condizioni di pieno sviluppo.

Sulla base di quanto detto si passa a valutare dopo quanto tempo l'incendio si propaga alle pareti in polycarbonato che si sviluppano a partire da una quota di +4.00 m rispetto alla quota di pavimento. A tale scopo si utilizza il modello detto ideal plume al fine di valutare l'incremento di temperatura dei fumi alla quota di +4.00 m.

Lo scopo è individuare a che istante la temperatura dei fumi raggiunge la temperatura minima necessaria a indurre l'accensione del polycarbonato, valore che ricordiamo essere pari circa a 520°C.

$$\Delta T = 5.0 \left(\frac{T_{\infty}}{g c_p^2 \rho_{\infty}^2} \right)^{1/3} \dot{Q}^{2/3} \cdot z^{-5/3}$$

Sulla base dei dati riportati in tabella si evince che la propagazione dell'incendio alle lastre in polycarbonato avviene dopo **1650 secondi** dall'inizio dell'incendio (più di 27 minuti).

<i>Tempo</i>	<i>RHR</i>	ΔT [°C]	<i>T fumi</i> [°C]
0 s	0.00 MW	0.00	20.00
120 s	0.16 MW	15.57	35.57
360 s	1.05 MW	54.69	74.69
720 s	3.63 MW	124.75	144.75
1080 s	10.07 MW	246.29	266.29
1440 s	20.37 MW	393.99	413.99
1650 s	28.16 MW	488.97	508.97
1680 s	29.39 MW	503.00	523.00

5 ANALISI QUALITATIVA – CARATTERISTICHE STRUTTURALI TRAVI

Per la quanto concerne le caratteristiche strutturali dell'edificio esso è costituito in parte da elementi in muratura e/o calcestruzzo e in parte da componenti in legno.

La parte strutturale in calcestruzzo e/o muratura risulta verificata, da confronto tabellare, come avente classe non inferiore a R 60.

Per quanto concerne la parte strutturale in legno non si è in possesso di alcun documento tecnico che indichi la classe di resistenza al fuoco o che espliciti in modo completo le condizioni di carico prese in considerazione in fase di progettazione.

Visto quanto sopra detto si passa di seguito a valutare la classe di resistenza minima richiesta dal Decreto Ministeriale 9 marzo 2007 con riferimento alla curva naturale di incendio.

5.1 Valutazione carico di incendio

La valutazione del carico di incendio viene valutata considerando gli elementi combustibili presenti all'interno dell'edificio oggetto di analisi compresi gli elementi strutturali.

In primis si passa a valutare il carico di incendio dovuto ai singoli materiali combustibili presenti all'interno dell'edificio, ovvero il pavimento in linoleum del campo polisportivo, le lastre in policarbonato utilizzate per garantire il rapporto illuminante all'edificio e la copertura in legno lamellare.

Materiale	Massa	Carico di incendio unità	Fattore partecipazione	Carico incendio
Linoleum	2066.82 kg	20.00 MJ/kg	1.00	41336.40 MJ
Legno lamellare	44208.32 kg	17.50 MJ/kg	1.00	618916.48 MJ
Policarbonato	2413.32 kg	20.00 MJ/kg	1.00	48266.40 MJ

Per quanto concerne l'apporto degli elementi strutturali al carico di incendio il contributo di tali elementi viene a verificarsi dopo un lasso di tempo pari a 1590 secondi dall'inizio dell'incendio.

In prima istanza si assume che l'edificio debba garantire una classe di resistenza al fuoco pari a 30 minuti. Su tale lasso di tempo il legno costituente le travi in legno raggiunge la temperatura di ignizione dopo 1590 secondi. Pertanto il contributo al carico di incendio da parte della struttura portante in legno è relativo esclusivamente a 210 secondi, ovvero poco più di 3 minuti.

Considerando un'azione del fuoco su tre lati per un periodo di 210 secondi e una velocità di carbonizzazione pari a 0.55 mm/min si ricava quanto di seguito. La velocità di carbonizzazione viene considerata tale in quanto come da Decreto Ministeriale 9 marzo 2007 tale valore può essere assunto in presenza di legno duro massiccio o laminato incollato con densità non inferiore a 450 kg/mc. La tipologia di legname utilizzato per le strutture portanti ricade nella categoria GL36h, tale tipologia di materiale risulta avere una densità di 450 kg/mc ed essere catalogata come "legno lamellare incollato", pertanto l'assunzione di una velocità di carbonizzazione di 0.55 mm/min risulta conforme alle normative vigenti.

Materiale	Massa	Carico di incendio unità	Fattore partecipazione	Carico incendio
Travi testata	118.35 kg	17.50 MJ/kg	0.80	
Archi intermedi	421.96 kg	17.50 MJ/kg	0.80	
Arcarecci	379.47 kg	17.50 MJ/kg	0.80	
Terziere	486.10 kg	17.50 MJ/kg	0.80	
Totale	1405.88 kg	17.50 MJ/kg	0.80	19682.38 MJ

Sulla base dei carichi di incendio sopra individuati si passa a calcolare il carico specifico di progetto ponendo pari a 1 i coefficienti che tengono in considerazione le misure di protezione presenti nell'edificio.

Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}	Superficie in pianta 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

Figura 7 – Fattore dimensione del comparto

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

Figura 8 – Fattore classe di rischio

Il fattore riguardante la classe di rischio viene assunto pari a 1.00 come media pesata fra il rischio di innesco e la velocità di propagazione:

- Il rischio di innesco è estremamente basso in quanto non vi sono fluidi infiammabili o esplosivi all'interno della struttura. La sola causa possibile di innesco potrebbe essere un eventuale cortocircuito dell'impianto elettrico, avvenimento altamente improbabile in quanto si tratta di impianti realizzati secondo le normative vigenti;
- La velocità di propagazione risulta essere moderata in quanto gli elementi in linoleum e policarbonato, i primi soggetti all'azione del fuoco hanno una ridotta propagazione dell'incendio, in quanto catalogati come classe di reazione al fuoco pari a 1. Per quanto concerne gli elementi strutturali in legno questi hanno una velocità di propagazione alta ma entrano in gioco nella propagazione dell'incendio con un certo tempo di ritardo rispetto agli altri elementi, inoltre la distribuzione degli elementi in legno (distribuiti all'interno dell'edificio, anziché ammassati in un unico punto) consente di attenuare la propagazione.

Sulla base dei fattori precedentemente individuati e della superficie del comparto oggetto di analisi pari a 1700 mq si ricava un carico di incendio specifico di progetto pari a 599.58 MJ/mq che corrisponde a una **classe di resistenza della struttura pari 20**.

Carichi d'incendio specifici di progetto ($q_{f,d}$)	Classe
Non superiore a 300 MJ/m ²	0
Non superiore a 450 MJ/m ²	15
Non superiore a 600 MJ/m ²	20
Non superiore a 900 MJ/m ²	30
Non superiore a 1200 MJ/m ²	45
Non superiore a 1800 MJ/m ²	60
Non superiore a 2400 MJ/m ²	90
Superiore a 2400 MJ/m ²	120

Figura 9 – Classe di resistenza al fuoco in caso di curve naturali di incendio

Essendo stato verificato che la classe di resistenza al fuoco richiesta dall'edificio è pari a R 20 ed essendo che la partecipazione all'incendio degli elementi strutturali in legno non avviene prima di 26 minuti dall'inizio del focolaio si considera non necessario la verifica all'incendio degli elementi strutturali in legno in quanto questi non partecipano all'incendio per il lasso di tempo per i quali all'edificio è richiesto di mantenere i suoi requisiti strutturali.

6 ANALISI QUALITATIVA - TEMPO DI ESODO

Al fine di valutare le condizioni della struttura in termini di sicurezza degli occupanti e di salvaguardia degli stessi in caso di incendio si passa ad analizzare lo sviluppo dei fumi all'interno dell'edificio e la loro influenza con l'esodo delle persone.

L'obiettivo è incrociare i dati relativi al tempo massimo necessario per l'esodo delle persone con le concentrazioni di sostanze nocive che via via si accumulano all'interno dell'edificio.

6.1 Individuazione percorso più sfavorito

Il percorso più sfavorito da valutare al fine di garantire l'esodo in sicurezza degli occupanti dipende dai seguenti parametri:

- Velocità di esodo;
- Flusso;
- Flusso specifico.

6.1.1 Velocità di esodo

Nelle tabelle seguenti, estrapolate dalla letteratura tecnica si individua la velocità media degli occupanti presenti all'interno dell'edificio.

individuo	Larghezza al torace (m)	Profondità del corpo (m)	Velocità normale (m/s)
Media	0,50	0,30	1,30
Maschio adulto	0,54	0,32	1,35
Femmina adulta	0,48	0,28	1,15
Bambino	0,42	0,24	0,90
Anziano	0,50	0,30	0,80

Figura 10 – velocità media per persone (tratta da Evaluation of fire safety D Rasbah)

caratteristiche	Velocità in piano	Scale in discesa	Scale in salita
Sedia a ruote elettrica	0,89		
Sedia a ruote manuale	0,69		
Stampelle	0,94	0,22	0,22
Bastone	0,81	0,32	0,34
Bastone o appoggio	0,51		
rollator	0,61		
Nessun aiuto	0,93		0,41
Senza disabilità	1,24	0,70	0,70

Figura 11 – velocità media per persone con difficoltà motorie (tratta da The SFPE Task Group on human behaviour in fire – Society of Fire Protection Engineers – 2003)

Sulla base della letteratura tecnica si individua per la condizione più gravosa prevedibile, ovvero persona con difficoltà motorie che utilizzano sedie a rotelle, una velocità di esodo pari a 0.69 m/s. Pur non essendo tale condizione coincidente con quella degli occupanti

previsti all'interno dell'edificio, in quanto in fase di descrizione degli occupanti si è esclusa la presenza di persone disabili, si assume tale velocità di esodo a fini cautelativi.

Sulla base della velocità sopra individuata si calcola per ogni singola via di esodo il tempo di percorrenza necessario per raggiungere l'uscita verso l'esterno.

Area	Via di esodo	Moduli	Percorso	Tempo
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	1	17.3 m	25.07 s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	1	17.3 m	25.07 s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	1	26.2 m	37.97 s
	1.80 x 2.10 m	3	28.7 m	41.59 s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	3	20.4 m	29.57 s
	1.80 x 2.10 m	3	20.4 m	29.57 s
	1.80 x 2.10 m	3	20.4 m	29.57 s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	1	28.6 m	41.45 s
	0.90 x 2.10 m	1	18.6 m	26.96 s

6.1.2 Flusso specifico

Il flusso specifico è un parametro che viene desunto da letteratura tecnica e che dipende dal tipo di elemento di sicurezza che le persone devono attraversare per raggiungere un luogo sicuro. Nel caso in studio l'elemento di sicurezza è rappresentato dalle porte dotate di maniglione antipánico che conducono all'esterno.

$$F_s = 1.31 \frac{\text{pers}}{\text{m} * \text{s}}$$

6.1.3 Flusso

Il flusso è definito come il numero di persone che possono transitare nell'arco di un secondo attraverso un certo elemento di sicurezza, esso è ricavato moltiplicando la larghezza utile dell'elemento W per il flusso specifico.

$$F = F_s * W[\text{pers} / \text{s}]$$

Area	Via di esodo	F
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	1.048 pers/s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	1.048 pers/s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	1.179 pers/s
	1.80 x 2.10 m	2.358 pers/s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	2.358 pers/s
	1.80 x 2.10 m	2.358 pers/s
	1.80 x 2.10 m	2.358 pers/s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	1.074 pers/s
	0.90 x 2.10 m	1.179 pers/s

6.1.4 Tempo complessivo per l'esodo

Il tempo complessivo per l'esodo è composto dalla somma di una serie di parametri, alcuni caratteristici dell'esodo, altri definiti come tempi di ritardo, ovvero il tempo che intercorre fra l'individuazione dell'incendio e l'inizio delle operazioni di esodo.

I tempi di ritardo sono i seguenti e variano a seconda dello stato di veglia o meno, e delle attività che si stanno svolgendo:

- **Tempo di individuazione** dell'incendio, ovvero il tempo che intercorre fra l'inizio dell'incendio e la percezione da parte degli occupanti della sua presenza;
- **Tempo di risposta**, ovvero il tempo che serve per focalizzare la situazione;
- **Tempo di preparazione**, ovvero il tempo che intercorre fra la focalizzazione e l'inizio dell'esodo;
- **Tempo di informazione**, tempo necessario ad avvisare le altre persone presenti di un incendio.

Nella tabella successiva si riportano i valori dei vari tempi di ritardo.

<i>Descrizione</i>	<i>Valore</i>	<i>Note</i>
Tempo di individuazione	60 s	Valore in letteratura nel caso di svolgimento di attività di gruppo o doccia
Tempo di risposta	10 s	
Tempo di preparazione	60 s	Valore in letteratura nel caso di necessità di vestizione da parte delle persone
Tempo di informazione	60 s	Ridotto a 10 s qualora in prossimità della via di uscita vi sia un pulsante di allarme incendio

Di seguito si riporta pertanto per ogni percorso di esodo il corrispondente tempo di ritardo totale.

RIEPILOGO TEMPI DI RITARDO		
<i>Area</i>	<i>Via di esodo</i>	<i>Tempo ritardo totale</i>
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	60+10+60+60 = 190 s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	60+10+60+60 = 190 s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
	1.80 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
	1.80 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
	1.80 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
	0.90 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s

Si passa ora ad analizzare il tempo necessario per l'esodo considerando sia il tempo di percorrenza che il tempo necessario per attraversare la singola via di esodo.

In corrispondenza di aree dotate di più vie di esodo si è assunto che il numero di persone si dividesse equamente fra i vari percorsi possibili.

Esodo spogliatoio 20-24

$$T = (48 \text{ pers} / 1.048 \text{ pers/s}) + 25.07 \text{ s} = 70.87 \text{ s}$$

Esodo spogliatoio 14-18

$$T = (48 \text{ pers} / 1.048 \text{ pers/s}) + 25.07 \text{ s} = 70.87 \text{ s}$$

Esodo campo tennis

$$T (180) = (24 \text{ pers} / 2.358 \text{ pers/s}) + 41.59 \text{ s} = 51.77 \text{ s}$$

$$T (90) = (24 \text{ pers} / 1.179 \text{ pers/s}) + (24 \text{ pers} / 1.31 \text{ pers/s}) + 37.97 \text{ s} = 76.65 \text{ s}$$

Esodo campo polisportivo

$$T (180) = (16 \text{ pers} / 2.358 \text{ pers/s}) + 29.57 \text{ s} = 36.36 \text{ s}$$

Esodo disimpegno palestra

$$T (82) = (24 \text{ pers} / 1.074 \text{ pers/s}) + (24 \text{ pers} / 2.358 \text{ pers/s}) + 41.45 \text{ s} = 73.97 \text{ s}$$

$$T (90) = (24 \text{ pers} / 1.179 \text{ pers/s}) + 26.96 \text{ s} = 47.32 \text{ s}$$

Sulla base dei singoli tempi di esodo individuati si valuta infine il tempo totale di esodo dall'edificio per i vari percorsi di esodo.

RIEPILOGO TEMPI DI ESODO				
Area	Via di esodo	Tempo ritardo	Tempo esodo	Tempo totale
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	190 s	70.87 s	260.87 s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	190 s	70.87 s	260.87 s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	140 s	76.65 s	216.65 s
	1.80 x 2.10 m	140 s	51.77 s	191.77 s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	140 s	36.36 s	176.36 s
	1.80 x 2.10 m	140 s	36.36 s	176.36 s
	1.80 x 2.10 m	140 s	36.36 s	176.36 s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	140 s	73.97 s	213.97 s
	0.90 x 2.10 m	140 s	47.32 s	187.32 s

6.1.5 Conclusione

Sulla base dei valori sopra individuati si evince che il tempo massimo previsto per l'esodo degli occupanti è pari a 260.87 secondi, ovvero circa 4 minuti e 21 secondi.

7 ANALISI QUALITATIVA - TEMPO DI ESODO IN CASO DI USCITA NON FRUIBILE

Al fine di valutare la condizione peggiore di esodo che possa verificarsi in caso di incendio si considera a fini cautelativi che l'incendio renda inutilizzabile un'uscita di sicurezza.

Come descritto in precedenza la presenza dell'incendio all'interno della struttura può essere generato esclusivamente da un cortocircuito elettrico. Tuttavia, seppure presente l'innesco, la sola area ove il focolaio può svilupparsi è rappresentata dalla zona campo da gioco polisportivo in quanto nella zona adiacente la pavimentazione è rappresentata da materiale di classe A1.

7.1 Caso 1 – Via di esodo campo gioco polisportivo non fruibile

Sulla base dei valori provenienti da letteratura tecnica citati nel precedente capitolo si passa a valutare i parametri caratteristici dell'esodo:

- Velocità di esodo;
- Flusso;
- Flusso specifico.

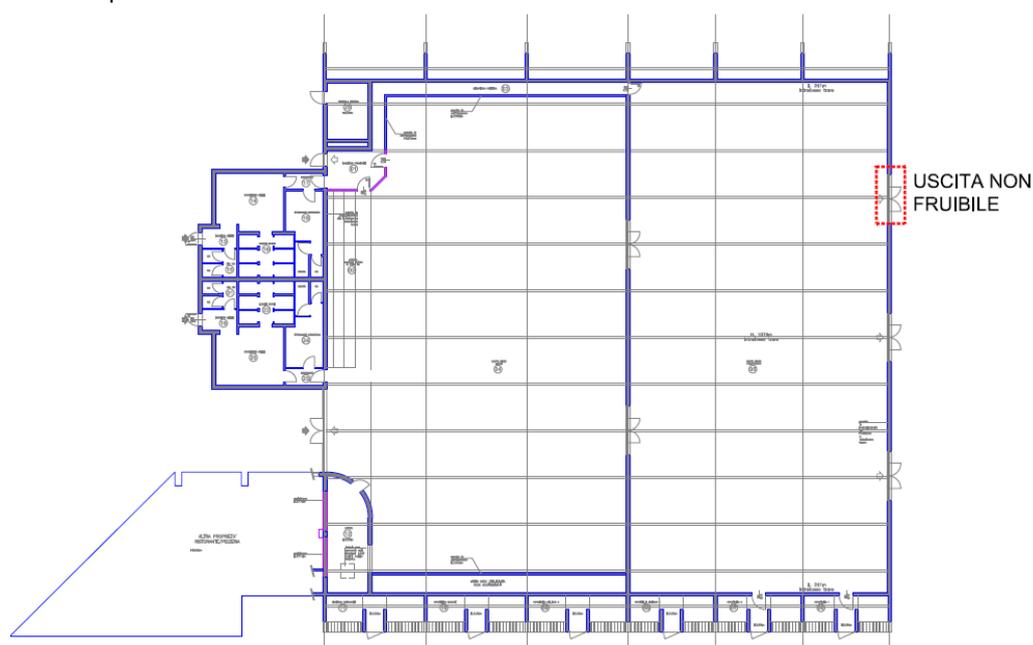


Figura 12 – Individuazione caso più sfavorito. uscita non fruibile lato campo gioco polisportivo

7.1.1 Velocità di esodo

Sulla base della letteratura tecnica si individua per la condizione più gravosa prevedibile, ovvero persona con difficoltà motorie che utilizzano sedie a rotelle, una velocità di esodo pari a 0.69 m/s.

Sulla base della velocità sopra individuata si calcola per ogni singola via di esodo il tempo di percorrenza necessario per raggiungere l'uscita verso l'esterno.

Al fine di tenere in considerazione non fruibilità di una via di esodo per essa si valuterà pari a 0 i moduli a disposizione.

Area	Via di esodo	Moduli	Percorso	Tempo
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	1	17.3 m	25.07 s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	1	17.3 m	25.07 s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	1	26.2 m	37.97 s
	1.80 x 2.10 m	3	28.7 m	41.59 s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	-	-	-
	1.80 x 2.10 m	3	25.6 m	37.10 s
	1.80 x 2.10 m	3	20.4 m	29.57 s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	1	35.3 m	51.16 s
	0.90 x 2.10 m	1	18.6 m	26.96 s

7.1.2 Flusso specifico

Il flusso specifico è un parametro che viene desunto da letteratura tecnica e che dipende dal tipo di elemento di sicurezza che le persone devono attraversare per raggiungere un luogo sicuro. Nel caso in studio l'elemento di sicurezza è rappresentato dalle porte dotate di maniglione antipánico che conducono all'esterno.

$$F_s = 1.31 \frac{\text{pers}}{\text{m} * \text{s}}$$

7.1.3 Flusso

Il flusso è definito come il numero di persone che possono transitare nell'arco di un secondo attraverso un certo elemento di sicurezza, esso è ricavato moltiplicando la larghezza utile dell'elemento W per il flusso specifico.

$$F = F_s * W [\text{pers} / \text{s}]$$

Area	Via di esodo	F
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	1.048 pers/s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	1.048 pers/s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	1.179 pers/s
	1.80 x 2.10 m	2.358 pers/s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	-
	1.80 x 2.10 m	2.358 pers/s
	1.80 x 2.10 m	2.358 pers/s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	1.074 pers/s
	0.90 x 2.10 m	1.179 pers/s

7.1.4 Tempo complessivo per l'esodo

Il tempo complessivo per l'esodo è composto dalla somma di una serie di parametri, alcuni caratteristici dell'esodo, altri definiti come tempi di ritardo, ovvero il tempo che intercorre fra l'individuazione dell'incendio e l'inizio delle operazioni di esodo.

I tempi di ritardo sono i seguenti e variano a seconda dello stato di veglia o meno, e delle attività che si stanno svolgendo:

- **Tempo di individuazione** dell'incendio, ovvero il tempo che intercorre fra l'inizio dell'incendio e la percezione da parte degli occupanti della sua presenza;
- **Tempo di risposta**, ovvero il tempo che serve per focalizzare la situazione;
- **Tempo di preparazione**, ovvero il tempo che intercorre fra la focalizzazione e l'inizio dell'esodo;
- **Tempo di informazione**, tempo necessario ad avvisare le altre persone presenti di un incendio.

Nella tabella successiva si riportano i valori dei vari tempi di ritardo.

Descrizione	Valore	Note
Tempo di individuazione	60 s	Valore in letteratura nel caso di svolgimento di attività di gruppo o doccia
Tempo di risposta	10 s	
Tempo di preparazione	60 s	Valore in letteratura nel caso di necessità di vestizione da parte delle persone
Tempo di informazione	60 s	Ridotto a 10 s qualora in prossimità della via di uscita vi sia un pulsante di allarme incendio

Di seguito si riporta pertanto per ogni percorso di esodo il corrispettivo tempo di ritardo totale.

RIEPILOGO TEMPI DI RITARDO		
Area	Via di esodo	Tempo ritardo totale
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	60+10+60+60 = 190 s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	60+10+60+60 = 190 s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
	1.80 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	-
	1.80 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
	1.80 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
	0.90 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s

Si passa ora ad analizzare il tempo necessario per l'esodo considerando sia il tempo di percorrenza che il tempo necessario per attraversare la singola via di esodo. In corrispondenza di aree dotate di più vie di esodo si è assunto che il numero di persone si dividesse equamente fra i vari percorsi possibili.

Esodo spogliatoio 20-24

$$T = (48 \text{ pers} / 1.048 \text{ pers/s}) + 25.07 \text{ s} = 70.87 \text{ s}$$

Esodo spogliatoio 14-18

$$T = (48 \text{ pers} / 1.048 \text{ pers/s}) + 25.07 \text{ s} = 70.87 \text{ s}$$

Esodo campo tennis

$$T(180) = (24 \text{ pers} / 2.358 \text{ pers/s}) + 41.59 \text{ s} = 51.77 \text{ s}$$

$$T(90) = (24 \text{ pers} / 1.179 \text{ pers/s}) + (24 \text{ pers} / 1.31 \text{ pers/s}) + 37.97 \text{ s} = 76.65 \text{ s}$$

Esodo campo polisportivo

$$T(180) = (24 \text{ pers} / 2.358 \text{ pers/s}) + 37.10 \text{ s} = 47.28 \text{ s}$$

$$T(180) = (24 \text{ pers} / 2.358 \text{ pers/s}) + 29.57 \text{ s} = 39.75 \text{ s}$$

Esodo disimpegno palestra

$$T(82) = (24 \text{ pers} / 1.074 \text{ pers/s}) + (24 \text{ pers} / 2.358 \text{ pers/s}) + 51.16 \text{ s} = 83.68 \text{ s}$$

$$T(90) = (24 \text{ pers} / 1.179 \text{ pers/s}) + 26.96 \text{ s} = 47.32 \text{ s}$$

Sulla base dei singoli tempi di esodo individuati si valuta infine il tempo totale di esodo dall'edificio per i vari percorsi di esodo.

RIEPILOGO TEMPI DI ESODO				
Area	Via di esodo	Tempo ritardo	Tempo esodo	Tempo totale
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	190 s	70.87 s	260.87 s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	190 s	70.87 s	260.87 s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	140 s	76.65 s	216.65 s
	1.80 x 2.10 m	140 s	51.77 s	191.77 s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	-	-	-
	1.80 x 2.10 m	140 s	47.28 s	187.28 s
	1.80 x 2.10 m	140 s	39.75 s	179.75 s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	140 s	83.68 s	223.68 s
	0.90 x 2.10 m	140 s	47.32 s	187.32 s

7.1.5 Conclusione

Sulla base dei valori sopra individuati si evince che il tempo massimo previsto per l'esodo degli occupanti è pari a 260.87 secondi, ovvero circa 4 minuti e 21 secondi.

7.2 Caso 2 – Via di esodo disimpegno lato campo gioco polisportivo non fruibile

Sulla base dei valori provenienti da letteratura tecnica citati nel precedente capitolo si passa a valutare i parametri caratteristici dell'esodo:

- Velocità di esodo;
- Flusso;
- Flusso specifico.

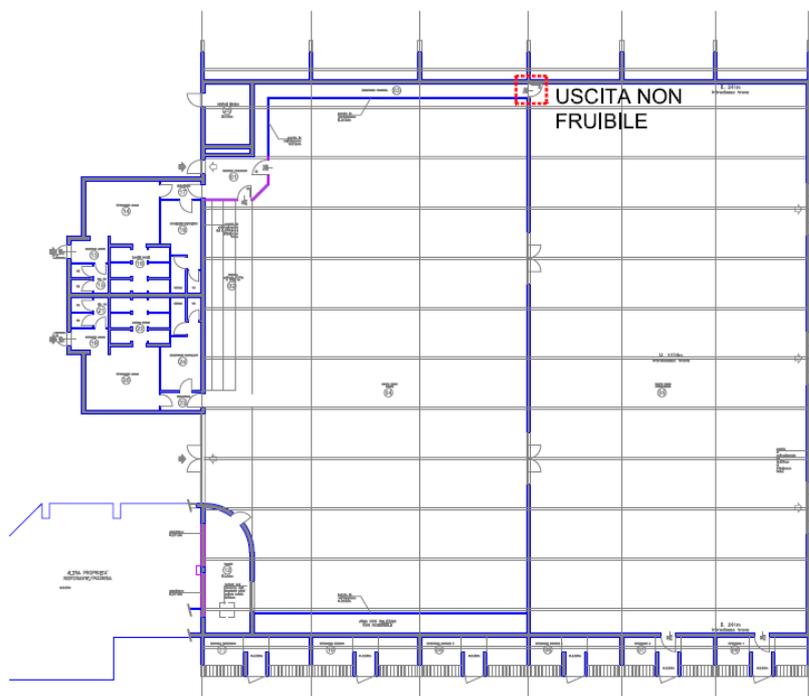


Figura 13 –Uscita non fruibile disimpegno palestra lato campo gioco polisportivo

7.2.1 Velocità di esodo

Sulla base della letteratura tecnica si individua per la condizione più gravosa prevedibile, ovvero persona con difficoltà motorie che utilizzano sedie a rotelle, una velocità di esodo pari a 0.69 m/s.

Sulla base della velocità sopra individuata si calcola per ogni singola via di esodo il tempo di percorrenza necessario per raggiungere l'uscita verso l'esterno.

Al fine di tenere in considerazione non fruibilità di una via di esodo per essa si valuterà pari a 0 i moduli a disposizione.

Area	Via di esodo	Moduli	Percorso	Tempo
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	1	17.3 m	25.07 s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	1	17.3 m	25.07 s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	1	26.2 m	37.97 s
	1.80 x 2.10 m	3	28.7 m	41.59 s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	3	20.4 m	29.57 s
	1.80 x 2.10 m	3	20.4 m	29.57 s
	1.80 x 2.10 m	3	20.4 m	29.57 s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	-	-	-
	0.90 x 2.10 m	1	18.6 m	26.96 s

7.2.2 Flusso specifico

Il flusso specifico è un parametro che viene desunto da letteratura tecnica è che dipende dal tipo di elemento di sicurezza che le persone devono attraversare per raggiungere un luogo sicuro. Nel caso in studio l'elemento di sicurezza è rappresentato dalle porte dotate di maniglione antipánico che conducono all'esterno.

$$F_s = 1.31 \frac{\text{pers}}{\text{m} * \text{s}}$$

7.2.3 Flusso

Il flusso è definito come il numero di persone che possono transitare nell'arco di un secondo attraverso un certo elemento di sicurezza, esso è ricavato moltiplicando la larghezza utile dell'elemento W per il flusso specifico.

$$F = F_s * W[\text{pers} / \text{s}]$$

Area	Via di esodo	F
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	1.048 pers/s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	1.048 pers/s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	1.179 pers/s
	1.80 x 2.10 m	2.358 pers/s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	2.358 pers/s
	1.80 x 2.10 m	2.358 pers/s
	1.80 x 2.10 m	2.358 pers/s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	-
	0.90 x 2.10 m	1.179 pers/s

7.2.4 Tempo complessivo per l'esodo

Il tempo complessivo per l'esodo è composto dalla somma di una serie di parametri, alcuni caratteristici dell'esodo, altri definiti come tempi di ritardo, ovvero il tempo che intercorre fra l'individuazione dell'incendio e l'inizio delle operazioni di esodo.

I tempi di ritardo sono i seguenti e variano a seconda dello stato di veglia o meno, e delle attività che si stanno svolgendo:

- **Tempo di individuazione** dell'incendio, ovvero il tempo che intercorre fra l'inizio dell'incendio e la percezione da parte degli occupanti della sua presenza;
- **Tempo di risposta**, ovvero il tempo che serve per focalizzare la situazione;
- **Tempo di preparazione**, ovvero il tempo che intercorre fra la focalizzazione e l'inizio dell'esodo;
- **Tempo di informazione**, tempo necessario ad avvisare le altre persone presenti di un incendio.

Nella tabella successiva si riportano i valori dei vari tempi di ritardo.

Descrizione	Valore	Note
Tempo di individuazione	60 s	Valore in letteratura nel caso di svolgimento di attività di gruppo o doccia
Tempo di risposta	10 s	
Tempo di preparazione	60 s	Valore in letteratura nel caso di necessità di vestizione da parte delle persone
Tempo di informazione	60 s	Ridotto a 10 s qualora in prossimità della via di uscita vi sia un pulsante di allarme incendio

Di seguito si riporta pertanto per ogni percorso di esodo il corrispettivo tempo di ritardo totale.

RIEPILOGO TEMPI DI RITARDO		
Area	Via di esodo	Tempo ritardo totale
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	60+10+60+60 = 190 s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	60+10+60+60 = 190 s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
	1.80 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
	1.80 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
	1.80 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	-
	0.90 x 2.10 m	60+10+60+10 = 140 s

Si passa ora ad analizzare il tempo necessario per l'esodo considerando sia il tempo di percorrenza che il tempo necessario per attraversare la singola via di esodo.

In corrispondenza di aree dotate di più vie di esodo si è assunto che il numero di persone si dividesse equamente fra i vari percorsi possibili.

Esodo spogliatoio 20-24

$$T = (48 \text{ pers} / 1.048 \text{ pers/s}) + 25.07 \text{ s} = 70.87 \text{ s}$$

Esodo spogliatoio 14-18

$$T = (48 \text{ pers} / 1.048 \text{ pers/s}) + 25.07 \text{ s} = 70.87 \text{ s}$$

Esodo campo tennis

$$T (180) = (24 \text{ pers} / 2.358 \text{ pers/s}) + 41.59 \text{ s} = 51.77 \text{ s}$$

$$T (90) = (24 \text{ pers} / 1.179 \text{ pers/s}) + (24 \text{ pers} / 1.31 \text{ pers/s}) + 37.97 \text{ s} = 76.65 \text{ s}$$

Esodo campo polisportivo

$$T (180) = (16 \text{ pers} / 2.358 \text{ pers/s}) + 29.57 \text{ s} = 36.36 \text{ s}$$

Esodo disimpegno palestra

$$T(90) = (48 \text{ pers} / 1.179 \text{ pers/s}) + 26.96 \text{ s} = 67.67 \text{ s}$$

Sulla base dei singoli tempi di esodo individuati si valuta infine il tempo totale di esodo dall'edificio per i vari percorsi di esodo.

RIEPILOGO TEMPI DI ESODO				
Area	Via di esodo	Tempo ritardo	Tempo esodo	Tempo totale
Spogliatoio 20 - 24	0.80 x 2.40 m	190 s	70.87 s	260.87 s
Spogliatoio 14 - 18	0.80 x 2.40 m	190 s	70.87 s	260.87 s
Campo gioco tennis	0.90 x 2.10 m	140 s	76.65 s	216.65 s
	1.80 x 2.10 m	140 s	51.77 s	191.77 s
Campo gioco polisportivo	1.80 x 2.10 m	140 s	36.36 s	176.36 s
	1.80 x 2.10 m	140 s	36.36 s	176.36 s
	1.80 x 2.10 m	140 s	36.36 s	176.36 s
Disimpegno palestra 03	0.82 x 2.10 m	-	-	-
	0.90 x 2.10 m	140 s	67.67 s	207.67 s

7.2.5 Conclusione

Sulla base dei valori sopra individuati si evince che il tempo massimo previsto per l'esodo degli occupanti è pari a 260.87 secondi, ovvero circa 4 minuti e 21 secondi.

7.3 Considerazioni finali

Sulla base tempi massimi di esodo valutati si individua che il tempo massimo necessario all'esodo completo dell'edificio è pari a 260.87 secondi, ovvero circa 4 minuti e 21 secondi. Ai fini cautelativi sarà tuttavia considerato un tempo massimo pari a 300 secondi, ovvero si considera un tempo di margine di sicurezza pari a 39.13 secondi, corrispondente a un 15% del tempo richiesto per l'esodo. Tale margine si ritiene idoneo in quanto in fase di analisi dei tempi di esodo si è già tenuto in considerazione un fattore di sicurezza sulla velocità di esodo delle persone

8 ANALISI QUALITATIVA – VALUTAZIONE INFLUENZA DEI FUMI SULL'ESODO

L'oggetto di questo paragrafo è la verifica che durante tutto il periodo richiesto per l'esodo sia mantenuta una condizione ambientale tale da consentire l'esodo in sicurezza degli occupanti.

Al fine di valutare l'idoneità delle condizioni ambientali si considerano i metodi riportati all'interno del Decreto Ministeriale 3 agosto 2015 riportato di seguito in forma tabellare.

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m ² : 5 m	ISO 13571-2012.
		Soccorritori: 5 m Soccorritori n locali di superficie lorda < 100m ² : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571-2012, limitando a 1,1% gli occupanti incapaci al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	--
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m ²	ISO 13571-2012, per esposizioni maggiori di 30 minuti, senza modifica significativa dei tempi di esodo (2,5 kW/m ²).
		Soccorritori: 3 kW/m ²	[1]
[1] Ai fini di questa tabella, per <i>soccorritori</i> si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per <i>hazardous conditions</i> .			

Figura 14 –Tabella M.3-2 decreto Ministeriale 3 agosto 2015.

Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata	Occupanti: 2 m	Ridotto da ISO TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: 1,5 m	[1]
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: 200°C	ISO TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: 250°C	[1]
[1] Ai fini di questa tabella, per <i>soccorritori</i> si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per <i>hazardous conditions</i> .		

Figura 15 –Tabella M.3-3 decreto Ministeriale 3 agosto 2015.

Al fine di verificare in modo cautelativo che entro il tempo necessario per l'esodo non si raggiungono condizioni ambientali pericolose per gli occupanti si adotta il metodo semplificato, pertanto sarà necessario verificare quanto di seguito:

- Altezza minima fumi dal piano di calpestio non inferiore a 2.0 m;
- Temperatura media dello strato di fumi caldi inferiore a 200°C.

8.1 Valutazione altezza dei fumi dal piano di calpestio

Sulla base delle analisi effettuate nel precedente capitolo si evince che l'esodo dall'edificio avviene entro i primi 300 secondi dell'incendio, ovvero in corrispondenza della fase di innesco.

Essendo pertanto la valutazione della temperatura dello strato di fumi limitata a tale periodo è possibile utilizzare la relazione di Heskestad per il calcolo della portata massica del fumo.

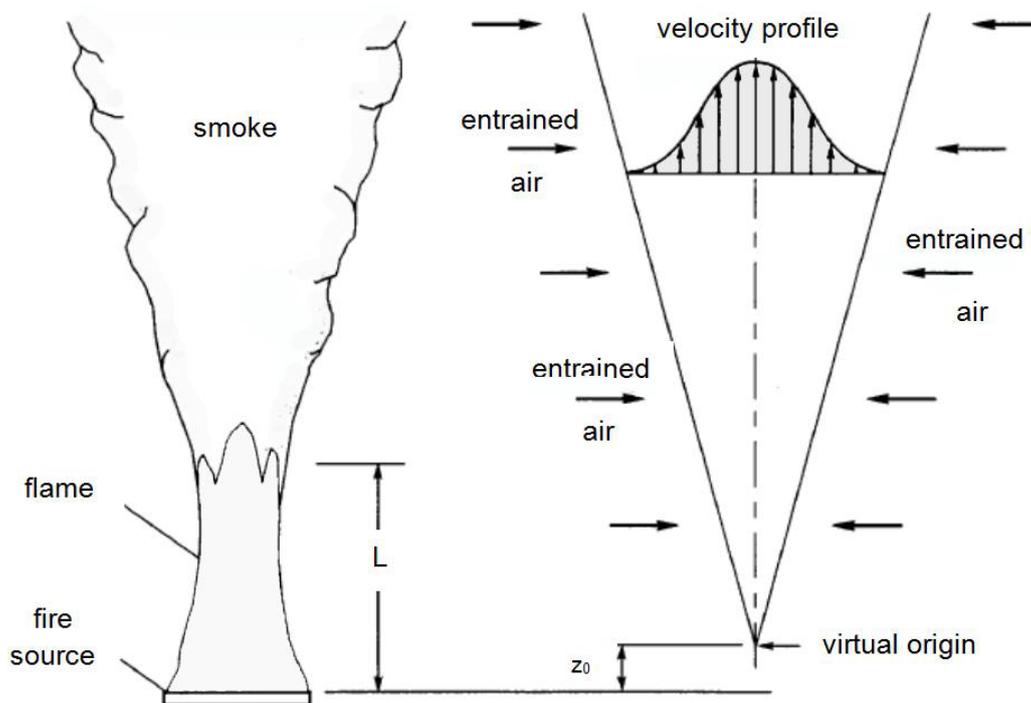


Figura 16 -Schema fire - plume

$$Q_{fumo} = 0.071 \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \left[1 + 0.026 \cdot \dot{Q}^{2/3} \cdot z^{-5/3} \right] \text{ kg/s}$$

Dove il termine z è da intendersi come differenza fra la quota di analisi del fumo e l'origine virtuale dell'incendio z₀.

$$z_0 = - 1,02D + 0,00524 \dot{Q}^{2/5} \quad [\text{m}]$$

Ipotizzando che il processo di combustione che converte l'aria comburente e il combustibile in energia e fumi sia un processo adiabatico è possibile pertanto valutare la variazione di temperatura della miscela aria - fumi nel tempo. Nella formula si considera costante il calore specifico a pressione costante dell'aria secca a una temperatura di 0°C.

$$\Delta T = \frac{Q}{Q_{fumo} \cdot c_p}$$

Al fine di valutare la quota dal pavimento alla quale inizia a generarsi il fumo si calcola l'altezza della fiamma secondo la seguente formulazione

$$L(t) = 3,7 \cdot Q^{* \frac{2}{5}} \cdot D - 1,02 \cdot D [m]$$

Considerando la potenza termica rilasciata all'istante t=300 s si individua che l'altezza della fiamma è pari a 2.68 m. Pertanto i parametri relativi ai fumi di combustione andranno calcolati a partire da una quota rispetto al piano di calpestio pari a 2.68 m in quanto per valori di altezza inferiore si andrebbe a valutare parametri non realistici in quanto coincidenti con il focolaio dell'incendio.

z= 2,68 m					
Tempo	Potenza rilasciata	Z0	Q fumo	ΔT strato gas	T strato gas
0,00 s	0,00 MW	-1,02 m	0,00 kg/s	0,00 °C	20,00 °C
30,00 s	0,01 MW	-0,81 m	1,23 kg/s	8,09 °C	28,09 °C
60,00 s	0,04 MW	-0,66 m	1,81 kg/s	21,99 °C	41,99 °C
90,00 s	0,09 MW	-0,52 m	2,21 kg/s	40,52 °C	60,52 °C
120,00 s	0,16 MW	-0,39 m	2,50 kg/s	63,70 °C	83,70 °C
150,00 s	0,25 MW	-0,26 m	2,71 kg/s	91,81 °C	111,81 °C
180,00 s	0,36 MW	-0,15 m	2,86 kg/s	125,31 °C	145,31 °C
210,00 s	0,49 MW	-0,03 m	2,96 kg/s	164,80 °C	184,80 °C
240,00 s	0,64 MW	0,08 m	3,02 kg/s	211,02 °C	231,02 °C
270,00 s	0,81 MW	0,19 m	3,04 kg/s	264,88 °C	284,88 °C
300,00 s	1,00 MW	0,30 m	3,04 kg/s	327,46 °C	347,46 °C

La valutazione della portata di fumi viene effettuata in corrispondenza dell'altezza massima della fiamma in quanto a tale quota si ha effettivamente la misura della portata di fumo generata dalla combustione del linoleum. Man mano che aumenta la quota rispetto al piano di calpestio infatti il fumo va a miscelarsi con l'aria presente in ambiente riducendo la sua temperatura e la concentrazione di sostanze dannose.

Istante di tempo (t) = 300 secondi

H = 2.68 metri

$$\Delta T = 327.46^{\circ}C$$

$$T = T_0 + \Delta T = 20^{\circ}C + 327.46^{\circ}C = 347.46^{\circ}C$$

$$Q_{fumo} = 3.04 \frac{kg}{s}$$

La densità dell'aria alla temperatura sopra individuata può essere calcolata come di seguito.

$$\rho = \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{p - \vartheta \cdot 610,78 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T - 2048,625}{T - 35,85}}}{287,58} + \frac{\vartheta \cdot 610,78 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T - 2048,625}{T - 35,85}}}{461,495} \right)$$

Pertanto si ha $\rho = 0.569 \text{ kg} / \text{m}^3$

Si ricava pertanto la portata volumetrica dei gas di combustione.

$$Q_{V, \text{fumo}} = \frac{Q_{m, \text{fumo}}}{\rho} = 5.34 \text{ mc/s}$$

Pertanto dopo 300 secondi dall'inizio dell'incendio, ovvero dopo il termine delle operazioni di esodo si individua il volume libero dai fumi e l'altezza di passaggio a disposizione per gli occupanti.

$$V_{\text{campo_pol}} = 6.47 \text{ m} \cdot 688.94 \text{ m}^2 = 4457.44 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{fumi}} = 5.34 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 300 \text{ s} = 1602.81 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{libera}} = (V_{\text{campo_pol}} - V_{\text{fumi}}) / 688.94 \text{ m}^3 = 4.14 \text{ m}$$

Pertanto si conclude che dopo 300 secondi è ancora garantito il layer di aria fresca minimo di 2.00 m libero da fumi necessaria all'esodo delle persone.

Si ricordi che tale altezza è stata calcolata, ai fini della sicurezza, valutando che non vi siano trafile di fumo nel campo adiacente. Pertanto il valore verificato è altamente a favore di sicurezza.

8.2 Valutazione temperatura media dello strato di fumi

Sulla base dei risultati precedentemente ottenuti si evidenzia che all'istante 300 secondi il campo polisportivo presenta ancora una quota libera dai fumi pari a 4.14 m.

Al fine di valutare la temperatura media dello strato dei fumi si considera pertanto di calcolare la temperatura in un range compreso fra l'altezza dell'edificio equivalente (6.47 m) e l'altezza inferiore dello strato di fumi.

z= 6,47 m					
Tempo	Potenza rilasciata	Z0	Q fumo	ΔT strato gas	T strato gas
0,00 s	0,00 MW	-1,02 m	0,00 kg/s	0,00 °C	20,00 °C
30,00 s	0,01 MW	-0,81 m	4,18 kg/s	2,38 °C	22,38 °C
60,00 s	0,04 MW	-0,66 m	6,41 kg/s	6,21 °C	26,21 °C
90,00 s	0,09 MW	-0,52 m	8,13 kg/s	11,02 °C	31,02 °C
120,00 s	0,16 MW	-0,39 m	9,54 kg/s	16,68 °C	36,68 °C
150,00 s	0,25 MW	-0,26 m	10,75 kg/s	23,15 °C	43,15 °C
180,00 s	0,36 MW	-0,15 m	11,78 kg/s	30,41 °C	50,41 °C
210,00 s	0,49 MW	-0,03 m	12,68 kg/s	38,44 °C	58,44 °C
240,00 s	0,64 MW	0,08 m	13,47 kg/s	47,27 °C	67,27 °C
270,00 s	0,81 MW	0,19 m	14,16 kg/s	56,91 °C	76,91 °C
300,00 s	1,00 MW	0,30 m	14,77 kg/s	67,37 °C	87,37 °C

z= 5,00 m					
Tempo	Potenza rilasciata	Z0	Q fumo	ΔT strato gas	T strato gas
0,00 s	0,00 MW	-1,02 m	0,00 kg/s	0,00 °C	20,00 °C
30,00 s	0,01 MW	-0,81 m	2,87 kg/s	3,46 °C	23,46 °C
60,00 s	0,04 MW	-0,66 m	4,36 kg/s	9,13 °C	29,13 °C
90,00 s	0,09 MW	-0,52 m	5,48 kg/s	16,33 °C	36,33 °C
120,00 s	0,16 MW	-0,39 m	6,38 kg/s	24,93 °C	44,93 °C
150,00 s	0,25 MW	-0,26 m	7,13 kg/s	34,89 °C	54,89 °C
180,00 s	0,36 MW	-0,15 m	7,75 kg/s	46,21 °C	66,21 °C
210,00 s	0,49 MW	-0,03 m	8,28 kg/s	58,91 °C	78,91 °C
240,00 s	0,64 MW	0,08 m	8,72 kg/s	73,06 °C	93,06 °C
270,00 s	0,81 MW	0,19 m	9,09 kg/s	88,70 °C	108,70 °C
300,00 s	1,00 MW	0,30 m	9,39 kg/s	105,92 °C	125,92 °C

z= 4,14 m					
Tempo	Potenza rilasciata	Z0	Q fumo	ΔT strato gas	T strato gas
0,00 s	0,00 MW	-1,02 m	0,00 kg/s	0,00 °C	20,00 °C
30,00 s	0,01 MW	-0,81 m	2,20 kg/s	4,52 °C	24,52 °C
60,00 s	0,04 MW	-0,66 m	3,31 kg/s	12,01 °C	32,01 °C
90,00 s	0,09 MW	-0,52 m	4,13 kg/s	21,66 °C	41,66 °C
120,00 s	0,16 MW	-0,39 m	4,78 kg/s	33,31 °C	53,31 °C
150,00 s	0,25 MW	-0,26 m	5,30 kg/s	46,96 °C	66,96 °C
180,00 s	0,36 MW	-0,15 m	5,72 kg/s	62,66 °C	82,66 °C
210,00 s	0,49 MW	-0,03 m	6,06 kg/s	80,49 °C	100,49 °C
240,00 s	0,64 MW	0,08 m	6,33 kg/s	100,58 °C	120,58 °C
270,00 s	0,81 MW	0,19 m	6,55 kg/s	123,09 °C	143,09 °C
300,00 s	1,00 MW	0,30 m	6,72 kg/s	148,18 °C	168,18 °C

Sulla base dei dati sopra tabulati si individua una temperatura media dello strato dei fumi pari a 127.16°C, ovvero inferiore al valore limite imposto dal **Decreto Ministeriale 3 agosto 2015**.

8.3 Conclusione

Sulla base dei risultati ottenuti si evince che nel tempo di 300 secondi, valutato come lasso di tempo richiesto per l'esodo, la conformazione dell'edificio, nonché la tipologia dell'incendio dovuto al linoleum assicurano il mantenimento delle condizioni minime di esodo richieste dal **Decreto Ministeriale 3 agosto 2015**.

In particolare all'istante 300 secondi l'edificio presenta uno strato libero da fumi avente altezza pari a 4.14 m, contro i 2.00 m minimi richiesti dalla legislazione vigente. Inoltre la temperatura media del layer dei fumi risulta essere pari a 127.16°C, contro i 200 °C imposti come limite dal legislatore.

Pertanto per l'edificio oggetto di analisi è assicurata fino al termine dell'esodo:

- Visibilità per gli occupanti fino a 10 m ad un'altezza di 1.80 m;
- Una concentrazione di gas tossici inferiore a 0.1 ad un'altezza di 1.80 m;
- Una temperatura di esposizione inferiore a 60°C;

- Un irraggiamento termico per gli occupanti inferiore a 2.5 kW/mq.
Tali valori risultano automaticamente rispettati in quanto è presente uno strato libero da fumi maggiore di 2.00 m e una temperatura media dei fumi minore di 200°C.

9 ANALISI QUALITATIVA - ANALISI TIRANTERIE E COLLEGAMENTI IN ACCIAIO

La copertura dell'edificio in oggetto risulta essere composta, oltre che dagli elementi in legno precedentemente analizzati, anche da tiranti e cerniere. Tali elementi fungono da collegamento e tiranterie per gli elementi strutturali in legno.

I componenti in acciaio attualmente installati sono privi di trattamenti di protezione contro l'incendio e ricadono all'interno delle seguenti tipologie:

- Feb360;
- Feb510.

La problematica principale è verificare se in assenza di trattamenti superficiali le tiranterie sono in grado di mantenere la loro capacità portate per un tempo sufficiente all'esodo delle persone presenti all'interno dell'edificio.

Tale condizione può ritenersi verificata qualora la temperatura dell'elemento in acciaio rimanga inferiore alla temperatura di collasso, ovvero alla sua temperatura critica. Tuttavia tale strada non risulta percorribile in quanto la committenza non è in possesso di alcun documento tecnico che attesti il tasso di utilizzo dei componenti.

L'analisi che si è scelto di effettuare è quella di valutare l'incremento di temperatura degli elementi in funzione del tempo. Se l'incremento di temperatura fosse infatti limitato a valori compresi fra 50°C e 70°C risulterebbe lecito assumere che tale variazioni non influiscono negativamente sulle prestazioni meccaniche del componente.

9.1 Metodo di calcolo

Il metodo di calcolo utilizzato per valutare la variazione di temperatura degli elementi in acciaio fa riferimento a quanto riportato all'interno della norma UNI ENV 1993-1-2. Si riportano di seguito le formulazioni utilizzate per il calcolo.

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{A_m/V}{c_a\rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t$$

dove:

- A_m/V è il fattore della sezione per elementi di acciaio non protetti;
 A_m è la superficie esposta dell'area dell'elemento per unità di lunghezza;
 V è il volume dell'elemento per unità di lunghezza;
 c_a è il calore specifico dell'acciaio, dal punto 3.3.1.2 [J/kgK];
 $\dot{h}_{net,d}$ è il valore di calcolo del flusso di calore per unità di superficie [W/m²];
 Δt è l'intervallo di tempo [s];
 ρ_a è la massa volumica dell'acciaio, dal punto 3.2.2(1) [kg/m³].

Massa volumica acciaio 7850 kg/mc

Calore specifico acciaio 600 J/kg*K

9.2 Valutazione tiranti ϕ 20 mm

La prima tipologia di tiranti che si passa ad analizzare ha un diametro di 20 mm. Di seguito si riporta in forma tabellare incremento della temperatura nel corso del tempo.

Come si può notare la temperatura raggiunta dall'acciaio all'istante 1200 secondi, ovvero di 20 minuti risulta inferiore a 30°C, pertanto non si ritiene necessario prevedere il trattamento dell'elemento.

Tempo	Potenza rilasciata	Flusso di calore	ΔT acciaio	T acciaio
0,00 s	0,00 MW	0,00 kW/mq	0,00 °C	20,00 °C
30,00 s	0,01 MW	0,01 kW/mq	0,00 °C	20,00 °C
60,00 s	0,04 MW	0,06 kW/mq	0,00 °C	20,00 °C
90,00 s	0,09 MW	0,13 kW/mq	0,01 °C	20,01 °C
120,00 s	0,16 MW	0,23 kW/mq	0,01 °C	20,02 °C
150,00 s	0,25 MW	0,36 kW/mq	0,02 °C	20,03 °C
180,00 s	0,36 MW	0,52 kW/mq	0,02 °C	20,06 °C
210,00 s	0,49 MW	0,71 kW/mq	0,03 °C	20,09 °C
240,00 s	0,64 MW	0,93 kW/mq	0,04 °C	20,13 °C
270,00 s	0,81 MW	1,18 kW/mq	0,05 °C	20,18 °C
300,00 s	1,00 MW	1,45 kW/mq	0,06 °C	20,24 °C
330,00 s	1,01 MW	1,47 kW/mq	0,06 °C	20,30 °C
360,00 s	1,05 MW	1,53 kW/mq	0,06 °C	20,36 °C
390,00 s	1,12 MW	1,63 kW/mq	0,07 °C	20,43 °C
420,00 s	1,21 MW	1,76 kW/mq	0,07 °C	20,51 °C
450,00 s	1,34 MW	1,94 kW/mq	0,08 °C	20,59 °C
480,00 s	1,48 MW	2,15 kW/mq	0,09 °C	20,68 °C
510,00 s	1,66 MW	2,41 kW/mq	0,10 °C	20,78 °C
540,00 s	1,86 MW	2,70 kW/mq	0,11 °C	20,90 °C
570,00 s	2,09 MW	3,03 kW/mq	0,13 °C	21,03 °C
600,00 s	2,34 MW	3,40 kW/mq	0,14 °C	21,17 °C
630,00 s	2,62 MW	3,81 kW/mq	0,16 °C	21,33 °C
660,00 s	2,93 MW	4,26 kW/mq	0,18 °C	21,51 °C
690,00 s	3,27 MW	4,74 kW/mq	0,20 °C	21,72 °C
720,00 s	3,63 MW	5,27 kW/mq	0,22 °C	21,94 °C
750,00 s	4,02 MW	5,83 kW/mq	0,25 °C	22,19 °C
780,00 s	4,43 MW	6,44 kW/mq	0,27 °C	22,46 °C
810,00 s	4,88 MW	7,08 kW/mq	0,30 °C	22,76 °C
840,00 s	5,35 MW	7,76 kW/mq	0,33 °C	23,09 °C
870,00 s	5,84 MW	8,48 kW/mq	0,36 °C	23,45 °C
900,00 s	6,37 MW	9,24 kW/mq	0,39 °C	23,84 °C
930,00 s	6,92 MW	10,04 kW/mq	0,43 °C	24,27 °C
960,00 s	7,49 MW	10,88 kW/mq	0,46 °C	24,73 °C
990,00 s	8,10 MW	11,75 kW/mq	0,50 °C	25,23 °C
1020,00 s	8,73 MW	12,67 kW/mq	0,54 °C	25,77 °C

1050,00 s	9,38 MW	13,62 kW/mq	0,58 °C	26,35 °C
1080,00 s	10,07 MW	14,61 kW/mq	0,62 °C	26,97 °C
1110,00 s	10,78 MW	15,65 kW/mq	0,66 °C	27,63 °C
1140,00 s	11,52 MW	16,72 kW/mq	0,71 °C	28,34 °C
1170,00 s	12,28 MW	17,83 kW/mq	0,76 °C	29,10 °C
1200,00 s	13,07 MW	18,98 kW/mq	0,81 °C	29,90 °C

9.3 Valutazione tiranti ϕ 22 mm

La seconda tipologia di tiranti che si passa ad analizzare ha un diametro di 22 mm. Di seguito si riporta in forma tabellare incremento della temperatura nel corso del tempo.

Come si può notare la temperatura raggiunta dall'acciaio all'istante 1200 secondi, ovvero di 20 minuti risulta inferiore a 30°C, pertanto non si ritiene necessario prevedere il trattamento dell'elemento.

Tempo	Potenza rilasciata	Flusso di calore	ΔT acciaio	T acciaio
0,00 s	0,00 MW	0,00 kW/mq	0,00 °C	20,00 °C
30,00 s	0,01 MW	0,01 kW/mq	0,00 °C	20,00 °C
60,00 s	0,04 MW	0,06 kW/mq	0,00 °C	20,00 °C
90,00 s	0,09 MW	0,13 kW/mq	0,01 °C	20,01 °C
120,00 s	0,16 MW	0,23 kW/mq	0,01 °C	20,02 °C
150,00 s	0,25 MW	0,36 kW/mq	0,01 °C	20,03 °C
180,00 s	0,36 MW	0,52 kW/mq	0,02 °C	20,05 °C
210,00 s	0,49 MW	0,71 kW/mq	0,03 °C	20,08 °C
240,00 s	0,64 MW	0,93 kW/mq	0,04 °C	20,11 °C
270,00 s	0,81 MW	1,18 kW/mq	0,05 °C	20,16 °C
300,00 s	1,00 MW	1,45 kW/mq	0,06 °C	20,22 °C
330,00 s	1,01 MW	1,47 kW/mq	0,06 °C	20,27 °C
360,00 s	1,05 MW	1,53 kW/mq	0,06 °C	20,33 °C
390,00 s	1,12 MW	1,63 kW/mq	0,06 °C	20,39 °C
420,00 s	1,21 MW	1,76 kW/mq	0,07 °C	20,46 °C
450,00 s	1,34 MW	1,94 kW/mq	0,07 °C	20,54 °C
480,00 s	1,48 MW	2,15 kW/mq	0,08 °C	20,62 °C
510,00 s	1,66 MW	2,41 kW/mq	0,09 °C	20,71 °C
540,00 s	1,86 MW	2,70 kW/mq	0,10 °C	20,82 °C
570,00 s	2,09 MW	3,03 kW/mq	0,12 °C	20,93 °C
600,00 s	2,34 MW	3,40 kW/mq	0,13 °C	21,07 °C
630,00 s	2,62 MW	3,81 kW/mq	0,15 °C	21,21 °C
660,00 s	2,93 MW	4,26 kW/mq	0,16 °C	21,38 °C
690,00 s	3,27 MW	4,74 kW/mq	0,18 °C	21,56 °C
720,00 s	3,63 MW	5,27 kW/mq	0,20 °C	21,76 °C
750,00 s	4,02 MW	5,83 kW/mq	0,23 °C	21,99 °C
780,00 s	4,43 MW	6,44 kW/mq	0,25 °C	22,24 °C

810,00 s	4,88 MW	7,08 kW/mq	0,27 °C	22,51 °C
840,00 s	5,35 MW	7,76 kW/mq	0,30 °C	22,81 °C
870,00 s	5,84 MW	8,48 kW/mq	0,33 °C	23,14 °C
900,00 s	6,37 MW	9,24 kW/mq	0,36 °C	23,49 °C
930,00 s	6,92 MW	10,04 kW/mq	0,39 °C	23,88 °C
960,00 s	7,49 MW	10,88 kW/mq	0,42 °C	24,30 °C
990,00 s	8,10 MW	11,75 kW/mq	0,45 °C	24,75 °C
1020,00 s	8,73 MW	12,67 kW/mq	0,49 °C	25,24 °C
1050,00 s	9,38 MW	13,62 kW/mq	0,53 °C	25,77 °C
1080,00 s	10,07 MW	14,61 kW/mq	0,56 °C	26,33 °C
1110,00 s	10,78 MW	15,65 kW/mq	0,60 °C	26,94 °C
1140,00 s	11,52 MW	16,72 kW/mq	0,65 °C	27,58 °C
1170,00 s	12,28 MW	17,83 kW/mq	0,69 °C	28,27 °C
1200,00 s	13,07 MW	18,98 kW/mq	0,73 °C	29,00 °C

9.4 Valutazione tiranti Φ 24 mm

Laterza tipologia di tiranti che si passa ad analizzare ha un diametro di 24 mm. Di seguito si riporta in forma tabellare incremento della temperatura nel corso del tempo.

Come si può notare la temperatura raggiunta dall'acciaio all'istante 1200 secondi, ovvero di 20 minuti risulta inferiore a 30°C, pertanto non si ritiene necessario prevedere il trattamento dell'elemento.

Tempo	Potenza rilasciata	Flusso di calore	ΔT acciaio	T acciaio
0,00 s	0,00 MW	0,00 kW/mq	0,00 °C	20,00 °C
30,00 s	0,01 MW	0,01 kW/mq	0,00 °C	20,00 °C
60,00 s	0,04 MW	0,06 kW/mq	0,00 °C	20,00 °C
90,00 s	0,09 MW	0,13 kW/mq	0,00 °C	20,01 °C
120,00 s	0,16 MW	0,23 kW/mq	0,01 °C	20,02 °C
150,00 s	0,25 MW	0,36 kW/mq	0,01 °C	20,03 °C
180,00 s	0,36 MW	0,52 kW/mq	0,02 °C	20,05 °C
210,00 s	0,49 MW	0,71 kW/mq	0,03 °C	20,07 °C
240,00 s	0,64 MW	0,93 kW/mq	0,03 °C	20,10 °C
270,00 s	0,81 MW	1,18 kW/mq	0,04 °C	20,15 °C
300,00 s	1,00 MW	1,45 kW/mq	0,05 °C	20,20 °C
330,00 s	1,01 MW	1,47 kW/mq	0,05 °C	20,25 °C
360,00 s	1,05 MW	1,53 kW/mq	0,05 °C	20,30 °C
390,00 s	1,12 MW	1,63 kW/mq	0,06 °C	20,36 °C
420,00 s	1,21 MW	1,76 kW/mq	0,06 °C	20,42 °C
450,00 s	1,34 MW	1,94 kW/mq	0,07 °C	20,49 °C
480,00 s	1,48 MW	2,15 kW/mq	0,08 °C	20,57 °C
510,00 s	1,66 MW	2,41 kW/mq	0,09 °C	20,65 °C
540,00 s	1,86 MW	2,70 kW/mq	0,10 °C	20,75 °C

570,00 s	2,09 MW	3,03 kW/mq	0,11 °C	20,86 °C
600,00 s	2,34 MW	3,40 kW/mq	0,12 °C	20,98 °C
630,00 s	2,62 MW	3,81 kW/mq	0,13 °C	21,11 °C
660,00 s	2,93 MW	4,26 kW/mq	0,15 °C	21,26 °C
690,00 s	3,27 MW	4,74 kW/mq	0,17 °C	21,43 °C
720,00 s	3,63 MW	5,27 kW/mq	0,19 °C	21,62 °C
750,00 s	4,02 MW	5,83 kW/mq	0,21 °C	21,82 °C
780,00 s	4,43 MW	6,44 kW/mq	0,23 °C	22,05 °C
810,00 s	4,88 MW	7,08 kW/mq	0,25 °C	22,30 °C
840,00 s	5,35 MW	7,76 kW/mq	0,27 °C	22,58 °C
870,00 s	5,84 MW	8,48 kW/mq	0,30 °C	22,88 °C
900,00 s	6,37 MW	9,24 kW/mq	0,33 °C	23,20 °C
930,00 s	6,92 MW	10,04 kW/mq	0,36 °C	23,56 °C
960,00 s	7,49 MW	10,88 kW/mq	0,38 °C	23,94 °C
990,00 s	8,10 MW	11,75 kW/mq	0,42 °C	24,36 °C
1020,00 s	8,73 MW	12,67 kW/mq	0,45 °C	24,81 °C
1050,00 s	9,38 MW	13,62 kW/mq	0,48 °C	25,29 °C
1080,00 s	10,07 MW	14,61 kW/mq	0,52 °C	25,81 °C
1110,00 s	10,78 MW	15,65 kW/mq	0,55 °C	26,36 °C
1140,00 s	11,52 MW	16,72 kW/mq	0,59 °C	26,95 °C
1170,00 s	12,28 MW	17,83 kW/mq	0,63 °C	27,58 °C
1200,00 s	13,07 MW	18,98 kW/mq	0,67 °C	28,25 °C

10 CONCLUSIONE

Sulla base di quanto dimostrato nel corso dell'elaborato si evince che un eventuale incendio all'interno dell'edificio oggetto di analisi non compromette l'esodo in sicurezza delle persone in quanto:

- Lo sviluppo della potenza termica rilasciata dall'incendio è tale da causare la propagazione del focolaio agli altri elementi combustibili dopo un periodo di tempo sufficiente a consentire l'esodo delle persone e a garantire le caratteristiche portanti dell'edificio per un lasso di tempo coerente con il carico d'incendio presente all'interno dello stabile
- La produzione di fumo è tale da garantire uno strato libero superiore a 2.00 m e una temperatura media di quest'ultimo inferiore a 200°C per il tempo necessario a consentire l'esodo delle persone.