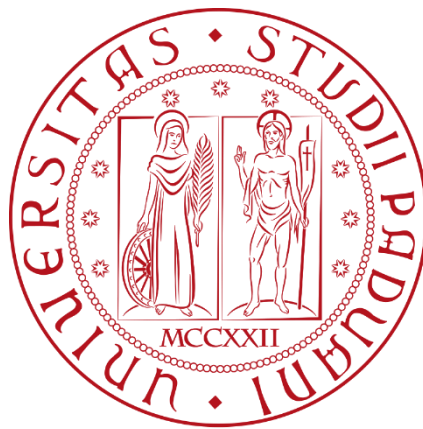


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE EDILE E AMBIENTALE

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLA SICUREZZA
CIVILE E INDUSTRIALE**



Tesi di Laurea Magistrale in ingegneria della sicurezza civile e industriale

**APPROCCIO F.S.E. APPLICATO AD UN IMPIANTO DI
RICICLAGGIO PLASTICA: EVACUAZIONE FUMI E CALORE**

Relatore: Prof. Angelo Bertolazzi

Correlatore: Prof. Paolo Mocellin

Laureando: Matteo Palazzari

ANNO ACCADEMICO 2023 - 2024

Abstract

Il presente elaborato è un approfondimento della situazione italiana in materia di trattamento e stoccaggio rifiuti, con particolare attenzione sui depositi di rifiuti plastici e alle problematiche che si verrebbero a creare se in tali luoghi si verificasse un incendio. Inizialmente è stata descritta la situazione in ambito di gestione dei rifiuti, dopodiché si è cercato di individuare le possibili cause e conseguenze di un eventuale incendio in un deposito di rifiuti anche attraverso lo studio di casi reali. Poi si è scelto di dedicare un intero capitolo ai polimeri plastici e, solo dopo ciò, è stato presentato il caso studio. A questo punto è stato presentato il programma utilizzato per la costruzione degli scenari d'incendio, PyroSim, è stato descritto “*step by step*” come tali scenari sono stati modellati e infine sono stati mostrati i risultati ottenuti.

Indice

| | |
|--|-----------|
| Indice | 5 |
| Introduzione | 9 |
| Capitolo 1: I Depositi Di Rifiuti | 10 |
| 1.1 Descrizione generale | 10 |
| 1.2 Contesto Normativo..... | 13 |
| 1.2.1 <i>Contesto normativo In campo ambientale</i> | 13 |
| 1.2.2 <i>Riferimenti normativi per la prevenzione incendi</i> | 15 |
| 1.3 Problematiche legate ai depositi di rifiuti | 23 |
| 1.3.1 <i>Trattazione Generale</i> | 23 |
| 1.3.2 <i>Cause Factor Tree Analysis – Le Cause</i> | 24 |
| 1.3.3 <i>Effetti e conseguenze</i> | 25 |
| 1.3.4 <i>Programma Nazionale di Gestione dei Rifiuti – Possibili Soluzioni</i> | 25 |
| 1.4 Conclusioni | 26 |
| Capitolo 2: Incendi nei depositi di rifiuti | 28 |
| 2.1 Analisi incidentale | 28 |
| 2.1.1 <i>Analisi dei dati</i> | 28 |
| 2.1.2 <i>Analisi dei casi incidentali</i> | 33 |
| 2.2 Le cause..... | 39 |
| 2.2.1 <i>Fragilità degli impianti</i> | 39 |
| 2.2.2 <i>Non conformità dal punto di vista della prevenzione incendi</i> | 39 |
| 2.2.3 <i>Sovraccarico degli impianti</i> | 40 |
| 2.2.4 <i>Necessità di coprire altri reati</i> | 40 |
| 2.3 Le conseguenze..... | 41 |
| 2.3.1 <i>Effetti sulla vita umana</i> | 42 |
| 2.3.2 <i>Effetti sull'ambiente</i> | 42 |
| 2.4 Il ruolo della prevenzione incendi..... | 43 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5 Conclusioni | 44 |
| Capitolo 3: Plastica e rifiuti plastici | 47 |
| 3.1 Descrizione generale | 47 |
| 3.2 Caratteristiche chimico-fisiche dei materiali plastici..... | 48 |
| 3.2.1 <i>Plastica come isolante termico</i> | 48 |
| 3.2.2 <i>Plastica come isolante elettrico</i> | 50 |
| 3.3 Comportamento al fuoco dei materiali plastici | 50 |
| 3.3.1 <i>La Reazione al Fuoco</i> | 51 |
| 3.3.2 <i>Propagazione della fiamma e produzione di fumi nei materiali plastici</i> | 54 |
| 3.4 Gestione dei rifiuti plastici..... | 56 |
| 3.4.1 <i>Considerazioni generali</i> | 56 |
| 3.4.2 <i>Trattamento dei rifiuti plastici</i> | 57 |
| 3.5 Conclusioni | 57 |
| Capitolo 4: Analisi del caso studio..... | 59 |
| 4.1 FSE – Fire Safety Engineering..... | 59 |
| 4.2 Descrizione generale dell'azienda | 60 |
| 4.2.1 <i>Principali criticità</i> | 63 |
| 4.2.2 <i>Normative di riferimento</i> | 65 |
| 4.3 Progettazione Antincendio | 66 |
| 4.3.1 <i>Reazione al Fuoco</i> | 66 |
| 4.3.2 <i>Resistenza al Fuoco</i> | 67 |
| 4.3.3 <i>Compartimentazione</i> | 67 |
| 4.3.4 <i>Esodo</i> | 68 |
| 4.3.5 <i>Gestione della sicurezza antincendio</i> | 69 |
| 4.3.6 <i>Controllo dell'incendio</i> | 70 |
| 4.3.7 <i>Rivelazione ed allarme antincendio</i> | 70 |
| 4.3.8 <i>Operatività Antincendio</i> | 71 |
| 4.3.9 <i>Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio</i> | 71 |
| 4.4 Controllo di fumi e calore..... | 72 |
| 4.4.1 <i>Soluzione progettuale conforme</i> | 73 |
| 4.4.2 <i>Soluzione progettuale alternativa</i> | 75 |

| | |
|---|------------|
| 4.5 Obiettivi prestazionali | 75 |
| 4.5.1 ASET e RSET | 75 |
| 4.6 Conclusioni | 76 |
| Capitolo 5: Modellazione degli scenari d'incendio | 78 |
| 5.1 Nozioni di base..... | 78 |
| 5.1.1 Processo di combustione | 78 |
| 5.1.2 Curva RHR | 79 |
| 5.2 Il software PyroSim – FDS | 83 |
| 5.3 Scenari d'incendio | 89 |
| 5.3.1 Scenario I – Capannone privo di un sistema evacuazione fumo e calore | 89 |
| 5.3.2 Scenario II – Capannone dotato di un Sistema di Evacuazione Naturale Fumi e Calore (SENFC)..... | 95 |
| 5.3.3 Scenario III – Capannone dotato di un Sistema di Evacuazione Forzata Fumi e Calore (SEFFC)..... | 98 |
| 5.4 Conclusioni | 104 |
| Capitolo 6: Analisi dei risultati..... | 106 |
| 6.1 Attendibilità dei risultati | 106 |
| 6.2 Scenario I - Capannone privo di un sistema evacuazione fumo e calore | 107 |
| 6.2.1 Salvaguardia degli occupanti | 109 |
| 6.2.2 Salvaguardia dei soccorritori | 115 |
| 6.2.3 Qr Code..... | 120 |
| 6.3 Scenario II - Capannone dotato di un Sistema di Evacuazione Naturale Fumo e Calore (SENFC) | 120 |
| 6.3.1 Salvaguardia degli occupanti | 122 |
| 6.3.2 Salvaguardia dei soccorritori | 127 |
| 6.3.3 Qr Code..... | 132 |
| 6.4 Scenario III - Capannone dotato di un Sistema di Evacuazione Forzata Fumo e Calore (SEFFC)..... | 133 |
| 6.4.1 Salvaguardia degli occupanti | 135 |
| 6.4.2 Salvaguardia dei soccorritori | 140 |
| 6.4.3 Qr Code..... | 145 |
| 6.5 Confronto fra gli scenari..... | 146 |

| | |
|---|-------------|
| 6.5.1 Rate of Heat Released (RHR)..... | 146 |
| 6.5.2 Temperatura..... | 147 |
| 6.5.3 Strato libero dai fumi..... | 148 |
| 6.5.4 Available Safe Escape Time (ASET) | 150 |
| 6.6 Considerazioni finali | 151 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 153 |
| SITOGRAFIA | 1535 |

Introduzione

La società odierna è rappresentabile come un complesso sistema costituito da infinite equazioni e infinite incognite il cui motore principale è la continua necessità di soddisfare un qualche bisogno. Questo tipo di atteggiamento è identificato dal termine consumismo; letteralmente per consumismo si intende quel tipo di atteggiamento volto al soddisfacimento indiscriminato di bisogni non essenziali, alieno da ideali, programmi, propositi, e tipico della civiltà dei consumi. Tale atteggiamento porta alla produzione di beni spesso futili e di breve durata e ad un conseguente aumento della produzione di rifiuti.

In questo elaborato saranno analizzate tutte le principali cause che contribuiscono all'aumento dei rifiuti e le conseguenze che da esso ne derivano come ad esempio incendi dolosi appiccati spesso per l'incapacità di smaltire diversamente grandi quantità di rifiuti.

L'incendio all'interno di un deposito di rifiuti, sia doloso che non, è un fenomeno potenzialmente devastante che in base alla quantità e alla tipologia di materiale stoccato può raggiungere proporzioni catastrofiche con effetti anche irreversibili sull'uomo e sull'ambiente. L'entità del danno potenziale così elevata unita alla frequenza di accadimento sempre più frequente legata a questo tipo di incendio ha fatto sì che il 26 Luglio del 2022 sia stata pubblicata la prima regola tecnica specifica per depositi di rifiuti.

È sicuramente ancora troppo presto per trarre conclusioni affidabili circa la bontà e l'efficacia delle misure previste dalla regola tecnica, però può essere di notevole interesse analizzare cosa succederebbe se scoppiasse un incendio in un deposito di rifiuti in cui siano state applicate sia le disposizioni previste dal Codice sia le integrazioni previste dalla regola tecnica.

Proprio per rispondere a questa domanda nasce la presente Tesi. Infatti in primo luogo è stato analizzato come caso studio un capannone adibito a trattamento e deposito di rifiuti plastici, in secondo luogo è stato ricavato un modello realistico del capannone e in seguito state effettuate delle simulazioni di vari scenari d'incendio.

Lo scopo di queste simulazioni è stato quello di valutare le possibili conseguenze di un incendio all'interno del deposito di rifiuti considerato, ponendo particolare attenzione sull'evacuazione di fumo e calore.

La progettazione e la modellazione degli scenari d'incendio e la trattazione dei risultati ottenuti hanno come comun denominatore il tipo di approccio utilizzato, detto: "*FSE Approach*".

Tale approccio, è un approccio di tipo prestazionale che attraverso i metodi della "*Fire Safety Engineering*" (FSE) fornisce risultati quantitativi affidabili; grazie a tali risultati è stato possibile valutare il raggiungimento di specifiche soglie di prestazione.

Capitolo 1

I Depositi Di Rifiuti

Il primo capitolo sarà così strutturato: descrizione generale dei depositi di rifiuti, trattazione del contesto normativo italiano di riferimento e analisi delle criticità principali legate allo stoccaggio dei rifiuti nel territorio italiano.

1.1 Descrizione generale

Il deposito di rifiuti è una modalità di stoccaggio di rifiuti che consistete in un raggruppamento degli stessi in un luogo ben preciso. Il deposito di rifiuti può essere classificato in 2 categorie:

- deposito temporaneo;
- deposito per il recupero/smaltimento.

Per deposito temporaneo di rifiuti si intende il raggruppamento dei rifiuti ai fini del trasporto degli stessi in un impianto di recupero o smaltimento.

Il deposito temporaneo ha un limite temporale che deve essere osservato prima dello smaltimento (il deposito temporaneo non può avere durata superiore a 18 mesi) in relazione però anche a limiti volumetrici di rifiuti che si possono accantonare.

A tal proposito il produttore ha due possibilità, a seconda delle proprie esigenze:

- raggruppare in deposito temporaneo all'interno del proprio luogo di produzione un quantitativo illimitato di rifiuti pericolosi provvedendo alla raccolta e alle operazioni di recupero o di smaltimento entro il termine massimo di tre mesi;
- raggruppare in deposito temporaneo all'interno del proprio luogo di produzione un quantitativo massimo di 60 metri cubi di rifiuti, di cui al massimo 10 metri cubi di rifiuti pericolosi (rifiuti che contengono una dose elevata di sostanze inquinanti), avviandoli alle operazioni di recupero o di smaltimento al raggiungimento del limite massimo anche se ciò avviene dopo più di tre mesi; tuttavia, anche se non si è raggiunto il quantitativo massimo, il termine di giacenza non può superare mai i 18 mesi.

Un altro aspetto da non sottovalutare nella trattazione dei depositi temporanei sono le modalità di stoccaggio dei rifiuti, le quali vengono stabilite in funzione del tipo di rifiuto:

- Stoccaggio in recipienti fissi e mobili (Figura. 1.1);
- Stoccaggio in cumuli (Figura. 1.2);
- Stoccaggio in serbatoi fuori terra (Figura. 1.3).

Lo stoccaggio in recipienti fissi e mobili avviene attraverso recipienti destinati a contenere rifiuti tossici e nocivi; essi devono inoltre possedere adeguati requisiti di resistenza in relazione alle proprietà chimico fisiche ed alle caratteristiche di pericolosità dei rifiuti contenuti.

Se invece lo stoccaggio avviene in cumuli, questi devono essere realizzati su basamenti resistenti all'azione dei rifiuti. I rifiuti stoccati in cumuli devono essere protetti dall'azione delle acque meteoriche, e, ove allo stato polverulento, dall'azione del vento.

Infine nel caso dello stoccaggio in contenitori e serbatoi fuori terra questi devono possedere adeguati requisiti di resistenza in relazione alle proprietà chimico-fisiche ed alle caratteristiche di pericolosità del rifiuto. I contenitori e i serbatoi devono essere provvisti di sistema di chiusura, accessori e dispositivi atti ad effettuare in condizioni di sicurezza le operazioni di riempimento, travaso e svuotamento. Le manichette ed i raccordi dei tubi utilizzati per il carico e lo scarico dei rifiuti liquidi contenuti nelle cisterne devono essere mantenuti in perfetta efficienza al fine di evitare dispersioni nell'ambiente. Il contenitore o serbatoio fisso o mobile deve riservare un volume residuo di sicurezza pari al 10%, ed essere dotato di dispositivo antitraboccamento o da tubazioni di troppo pieno e di indicatori e di allarmi di livello. Gli sfiati dei serbatoi che contengono sostanze volatili e/o rifiuti liquidi devono essere captati ed inviati ad apposito sistema di abbattimento.



Figura. 1.1 *Cisterna IBC in plastica*



Figura. 1.3 *Serbatoio fuori terra con bacino di contenimento*



Figura. 1.2 *Silos in acciaio*

I depositi finalizzati al recupero/smaltimento di rifiuti invece sono dei luoghi in cui alla mera attività di stoccaggio si abbina un'attività di trattamento dei rifiuti.

Le attività di recupero dei rifiuti possono essere suddivise in:

- attività di recupero di materia;
- attività di recupero di energia.

Il recupero di materia, a sua volta, e a seconda della natura merceologica del rifiuto, comprende diverse tipologie di recupero.

La classificazione delle attività di recupero dei rifiuti si basa, attualmente, sull'elenco delle operazioni R dell'allegato C alla parte IV del d.lgs. 152/06⁽¹⁾:

- rigenerazione/recupero di solventi;
- riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche);
- riciclo/recupero dei metalli o dei composti metallici;
- riciclo/recupero di altre sostanze inorganiche;
- rigenerazione degli acidi o delle basi;
- recupero dei prodotti che servono a captare gli inquinanti;
- recupero dei prodotti provenienti dai catalizzatori;
- rigenerazione o altri reimpieghi degli oli;
- spandimento sul suolo a beneficio dell'agricoltura.

La modalità principale attraverso cui avviene il recupero di energia consiste nello sfruttare i rifiuti come combustibile o altro mezzo per produrre energia, ad esempio possono essere usati come combustibile per termovalorizzatori.

In tutti i casi in cui non è più ricavare un qualche beneficio dal rifiuto, esso viene smaltito. Le attività di smaltimento, consistono nel trattamento e deposito definitivo di rifiuti e scarti non ulteriormente valorizzabili. La classificazione delle attività di trattamento-smaltimento dei rifiuti attualmente si basa sull'elenco delle operazioni D dell'allegato B alla parte IV del d.lgs. 152/06⁽²⁾:

- Deposito sul o nel suolo (ad esempio discarica);
- Trattamento in ambiente terrestre (a esempio biodegradazione di rifiuti liquidi o fanghi nei suoli)
- Iniezioni in profondità (a esempio iniezioni dei rifiuti pompabili in pozzi. In cupole saline o faglie geologiche naturali);
- Lagunaggio (a esempio scarico di rifiuti liquidi o di fanghi in pozzi, stagni o lagune, ecc.);
- Messa in discarica specialmente allestita (a esempio sistematizzazione in alveoli stagni separati, ricoperti o isolati gli uni dagli altri e dall'ambiente);
- Scarico dei rifiuti solidi nell'ambiente idrico eccetto l'immersione;
- Immersione, compreso il seppellimento nel sottosuolo marino;

- Trattamento biologico non specificato altrove nel presente allegato, che dia origine a composti o a miscugli che vengono eliminati secondo uno dei procedimenti elencati nei punti da D1 a D12;
- Trattamento fisico-chimico non specificato altrove nel presente allegato che dia origine a composti o a miscugli eliminati secondo uno dei procedimenti elencati nei punti da D1 a D12 (a esempio evaporazione, essiccazione, calcinazione, ecc.);
- Incenerimento a terra;
- Incenerimento in mare;
- Deposito permanente (a esempio sistemazione di contenitori in una miniera, ecc.);
- Raggruppamento preliminare prima di una delle operazioni di cui ai punti da D1 a D12;
- Ricondizionamento preliminare prima di una delle operazioni di cui ai punti da D1 a D13;
- Deposito preliminare prima di una delle operazioni di cui ai punti da D1 a D14 (escluso il deposito temporaneo, prima della raccolta, nel luogo in cui sono prodotti).

Dunque, le attività di smaltimento principali sono: deposito definitivo nelle discariche e incenerimento (anche processi di termovalorizzazione scarsamente efficienti vengono considerati alla stregua delle di operazioni di smaltimento). Tali attività sono individuate dalla normativa come residuali nella gerarchia della gestione dei rifiuti, infatti, al fine di un'efficace e sostenibile gestione degli stessi, è necessario che siano smaltiti soltanto rifiuti e scarti non ulteriormente valorizzabili.

1.2 Contesto Normativo

In questo paragrafo sarà descritto il “quadro normativo” di tutte le disposizioni che regolamentano i depositi di rifiuti sia dal punto di vista ambientale sia da quello della prevenzione incendi.

Dal punto di vista della prevenzione incendi ci si soffermerà sull'importanza della nuova regola tecnica recante disposizioni per gli stabilimenti di stoccaggio e trattamento di rifiuti, pubblicata attraverso il D.M. 26/07/2022 "*Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per gli stabilimenti ed impianti di stoccaggio e trattamento rifiuti.*"

1.2.1 Contesto normativo In campo ambientale

La regolamentazione della problematica ambientale legata alla gestione dei rifiuti è, a livello europeo, risalente agli anni Settanta, quando nacque il “I Programma d’Azione Ambientale Comunitario” (1975). L’ordinamento giuridico italiano accolse tale direttiva con il DPR del 10/09/1982, n. 915 che fece chiarezza sul problema dei rifiuti e pose le basi per affrontarlo in modo adeguato con il grande merito di fissare i principi generali della materia. Tale DPR 915/82 venne poi sostituito dal d.lgs. 22 del 1997 meglio noto come “Decreto Ronchi” il quale recepì le direttive europee emanate nella prima metà degli anni Novanta, a seguito del IV Programma di Azione Ambientale. Continuando con la trattazione cronologica delle norme in materia di rifiuti si arriva al 2006 anno in cui in Italia viene pubblicato il d.lgs 152 del 2006 – Il Codice Ambientale, Testo Unico in materia ambientale, tale decreto viene poi aggiornato in recepimento alla Direttiva 2008/98/CE, che di fatto abroga tutte le

precedenti direttive di settore. Il Codice Ambientale nasce dall'esigenza di mantenere la legislazione aggiornata sia nei confronti dei nuovi Programmi di Azione Comunitari sia nei confronti dei sistemi integrati di gestione dei rifiuti che iniziano in quegli anni a prendere piede nelle realtà aziendali. Il cosiddetto "*Codice Ambientale*" articolato in 6 parti e 318 articoli modifica la legislazione esistente ed introduce la normativa su valutazione di impatto ambientale, difesa del suolo e tutela delle acque, rifiuti e bonifica dei siti inquinati, tutela dell'aria e risarcimento del danno ambientale; in aggiunta a ciò il T.U. ambientale (e successive modifiche) riporta anche la definizione di rifiuto inteso come: "*qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi*"⁽³⁾.

Nel d.lgs. 152/06 viene confermato l'approccio, non più basato sullo smaltimento dei rifiuti, bensì sulla loro gestione ed è proprio la complessità di questo processo che il provvedimento va a regolamentare e disciplinare. I principi di riferimento, sono riportati all'art. 178: "*precauzione, prevenzione, sostenibilità, proporzionalità, responsabilizzazione e cooperazione di tutti i soggetti coinvolti nella produzione, nella distribuzione, nell'utilizzo e nel consumo di beni da cui originano i rifiuti, nel rispetto del principio di concorrenza nonché del principio chi inquina paga. A tale fine la gestione dei rifiuti è effettuata secondo criteri di efficacia, efficienza, economicità, trasparenza, fattibilità tecnica ed economica, nonché nel rispetto delle norme vigenti in materia di partecipazione e di accesso alle informazioni ambientali*"⁽⁴⁾; ne segue che la gestione è effettuata secondo criteri di efficacia, efficienza, economicità, trasparenza, fattibilità tecnica ed economica, nonché nel rispetto delle norme in materia di partecipazione e di accesso alle informazioni ambientali.

Viene introdotto la Responsabilità estesa del Produttore, che prevede che i costi della gestione di alcuni determinati flussi di rifiuti siano parzialmente o totalmente sostenuti dai produttori dei prodotti, anche in collaborazione con i distributori di tali prodotti.

Viene ampliata la gerarchia d'azione, che con riguardo alla finalità, si prefigge di proteggere l'ambiente e la salute umana, prevenendo o riducendo gli impatti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti, riducendo gli impatti complessivi dell'uso delle risorse e migliorandone l'efficacia. Lo smaltimento viene confermato come attività "residuale" e viene confermata l'introduzione del sistema gerarchico di rifiuti, dove trovano sempre più spazio le attività di riciclo e recupero come si intuisce dalla Figura 1.4.

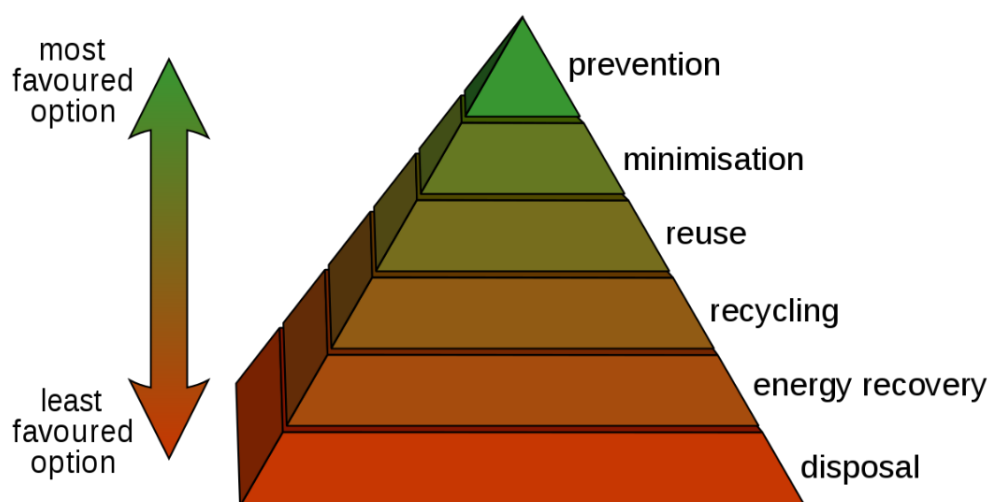


Figura.1.4. Piramide gerarchica della gestione dei rifiuti

Il d.lgs. 152/06 è stato infine modificato con il d.lgs. 116 del 2020, il quale modifica in particolare la parte riguardante la gestione dei rifiuti.

1.2.2 Riferimenti normativi per la prevenzione incendi

In questo paragrafo verrà fatta un'ampia trattazione dei principali decreti che, direttamente o indirettamente, intervengono nella prevenzione incendi dei depositi di rifiuti:

- Decreto Legislativo 9 Aprile 2008, n. 81;
- Decreto del Presidente della Repubblica 1 Agosto 2011, n. 11;
- Decreto del Ministero dell'interno 7 Agosto 2012;
- Decreto del Ministero dell'interno 3 Agosto 2015 (All. 1);
- Decreto del Ministero dell'interno 26 Luglio 2022.

Gli stabilimenti e impianti che effettuano stoccaggio e operazioni di trattamento di rifiuti non sono attività soggette ai controlli di prevenzione incendi in quanto non ricomprese nell'attuale elenco delle 80 attività riportate nell'allegato I al D.P.R. 1° agosto 2011, n. 151. Tuttavia, nell'ambito delle stesse, potrebbero essere presenti attività ricomprese in tale allegato. Inoltre, le attività di stoccaggio e trattamento rifiuti, pur non essendo soggette al controllo dei vigili del fuoco, sono dotate di specifica regola tecnica contenuta all'interno del D.M. 26/07/2022 "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per gli stabilimenti ed impianti di stoccaggio e trattamento rifiuti."

1.2.2.1 Decreto Legislativo 9 Aprile 2008, n. 81

Il Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i, Testo Unico per la salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, si applica a tutti i settori di attività, privati e pubblici, e a tutte le tipologie di rischio, motivo per il quale è applicabile anche ai depositi di rifiuti. Tale provvedimento ha lo scopo di riordinare e coordinare all'interno dello stesso testo tutte le norme in materia di salute e sicurezza dei lavoratori ed è composto da 13 titoli (Tabella. 1.1), 306 articoli e 51 allegati.

| d.lgs. 81/08 | |
|--------------|--|
| I | Disposizioni generali |
| II | Luoghi di lavoro |
| III | Uso delle attrezzature di lavoro e dei dispositivi di protezione individuale |
| IV | Cantieri temporanei o mobili |
| V | Segnaletica di salute e sicurezza sul lavoro |
| VI | Movimentazione manuale dei carichi |
| VII | Attrezzature munite di videoterminali |
| VIII | Agenti fisici |
| IX | Sostanze pericolose |
| X | Esposizione ad agenti biologici |
| Xbis | Protezione dalle ferite da taglio e da punta nel settore ospedaliero e sanitario |
| XI | Protezione da atmosfere esplosive |
| XII | Disposizioni in materia penale e di procedura penale |
| XIII | Disposizioni finali |

Tabella 1.1 *Struttura del D.lgs 81/08*

L'articolo 17 contiene i due obblighi del datore di lavoro non delegabili: la valutazione di tutti i rischi con la conseguente redazione del documento di valutazione dei rischi e la designazione del responsabile del servizio di prevenzione e protezione (RSPP). Questo concetto secondo cui la sicurezza dell'attività lavorativa è in capo al datore di lavoro il quale di fatto ne diventa il garante, è riportato anche all'art. 2082 del Codice Civile *"l'imprenditore è tenuto ad adottare nell'esercizio dell'impresa le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro"*⁽⁵⁾.

Durante la fase di valutazione di tutti i rischi, il datore di lavoro prende in considerazione anche il rischio incendio individuando le opportune misure di prevenzione e protezione. L'articolo 46 riguarda la prevenzione incendi e riprende il concetto appena citato, cioè che *"nei luoghi di lavoro soggetti al presente decreto legislativo devono essere adottate idonee misure per prevenire gli incendi e per tutelare l'incolumità dei lavoratori"*⁽⁶⁾.

1.2.2.2 Decreto del Presidente della Repubblica 1 Agosto 2011, n. 11

Il D.P.R. 151, "Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi [...]", individua le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi. Nell'Allegato I del Regolamento è riportato l'elenco di tutte le (ottanta) attività soggette, ma non è presente nessuna in grado di individuare in modo univoco gli impianti di trattamento e deposito di rifiuti. In tale allegato è possibile trovare alcune attività connesse al deposito di vario genere, in particolare le attività 34, 36, 43, 44, 47 e 70; dunque anche se l'attività di deposito di rifiuti non è univocamente determinata, essa può essere associata ad una di quelle appena menzionata.

Il Decreto suddivide le attività in tre categorie (A, B e C) in relazione alla dimensione dell'impresa, al settore di attività, all'esistenza di specifiche regole tecniche e alle esigenze di tutela della pubblica incolumità (Tabella. 1.2). Ad ogni categoria corrispondono procedure, controlli, valutazioni e obblighi differenti.

| A | B | C |
|--|--|--|
| Attività a basso rischio e standardizzate | Attività a medio rischio e non standardizzate | Attività a rischio elevato |
| Non è richiesta la valutazione del progetto per l'ottenimento del parere di conformità, ma ad opere terminate viene presentata la SCIA (Segnalazione Certificata di Inizio Attività). In questo caso entro 60 gg. possono essere effettuati dei controlli a campione da parte del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco. | È richiesta la valutazione del progetto per l'ottenimento del parere di conformità, ma ad opere terminate viene presentata la SCIA (Segnalazione Certificata di Inizio Attività). In questo caso entro 60 gg. dalla presentazione della SCIA, possono essere effettuati dei controlli a campione da parte del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco. | È richiesta la valutazione del progetto per l'ottenimento del parere di conformità, ma ad opere terminate viene presentata la SCIA (Segnalazione Certificata di Inizio Attività). In questo caso entro 60 gg. dalla presentazione della SCIA, sarà effettuato il sopralluogo obbligatorio da parte del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco al termine del quale sarà rilasciato il Certificato di Prevenzione Incendi CPI. |

Tabella.1.2 *Categorie individuate dal D.P.R. 151/2011 e procedure richieste*

Con questo decreto si è cercato di ridurre la mole di lavoro del Comando, semplificando le procedure di alcuni documenti e attribuendo nuovi obblighi e una maggiore responsabilità ai professionisti antincendio.

1.2.2.3 Decreto del Ministero dell'interno 7 Agosto 2012

Definisce gli aspetti operativi per la presentazione dei progetti di prevenzione incendi, individuando:

- La documentazione da presentare per ottenere il parere di conformità e il successivo Certificato di Prevenzione Incendi (All.1);

Il CPI non è più il provvedimento finale di un procedimento amministrativo ma costituisce solamente il risultato del controllo effettuato dai VVF nel caso di attività di categoria C.

Il CPI viene rilasciato entro 60 gg dall'istanza di valutazione progetto, la documentazione da allegare a tale istanza è costituita da: istanza di valutazione del progetto, relazione tecnica ed elaborati grafici.

- La documentazione da allegare alla SCIA (All.2);

La documentazione da allegare alla SCIA è costituita da: modulo a firma del titolare dell'attività, relazione ed elaborati grafici a firma del tecnico abilitato, asseverazione di conformità da parte del tecnico abilitato, CERT-REI certificazione a firma del professionista antincendio degli elementi strutturali portanti e separanti ai fini della resistenza al fuoco, DICH-PROD, DICH-CONF, DICH-IMP, CERT-IMP e attestato di versamento.

- Le sottoclassi per definire meglio la complessità delle attività soggette alla prevenzione incendi (All.3);

Le categorie individuate dal DPR 151/2011 sono state a loro volta suddivise in sottoclassi per individuare meglio la complessità delle attività soggette alla prevenzione incendi.

- La disciplina delle modifiche alle attività esistenti (All.4);

Nel caso di modifiche sostanziali con aggravio del rischio di incendio è necessario presentare una nuova istanza di valutazione del progetto a cui seguirà un parere dei VVF e la SCIA. Nel caso di modifiche sostanziali senza aggravio del rischio di incendio viene presentata la SCIA corredata dalla dichiarazione di non aggravio del rischio a firma del tecnico abilitato. Nel caso di modifiche non sostanziali ai fini antincendio, che non aumentano o diminuiscono il rischio di incendio alla scadenza del rinnovo si modifica la pratica ARPCA (Attestazione Rinnovo per Conformità Antincendio).

- L'attestazione di rinnovo periodico di conformità ARPCA (All.5);

L'attestazione rinnovo periodico di conformità antincendio (ARPCA) viene prevista dopo 5 anni (10 solo per alcune attività). In caso di assenza di variazione delle condizioni di sicurezza antincendio viene fatta semplice richiesta di rinnovo. Nel caso di modifiche non sostanziali ai fini antincendio in occasione del rinnovo periodico e del rilascio dell'ARPCA è necessario aggiornare la pratica.

- Le nuove regole per l'istanza di deroga (All.6);

La deroga può essere richiesta qualora non possano essere soddisfatte le norme per il raggiungimento degli obiettivi della prevenzione incendi (tutela delle persone, sicurezza dei soccorritori, tutela dei beni e dell'ambiente) che devono comunque essere raggiunti. Il ricorso alla deroga è consentito solo per attività normate ovvero dotate di regola tecnica. La deroga deve essere corredata da apposita documentazione: documentazione tecnica di cui all'All.1, valutazione del rischio aggiuntivo dato dal mancato rispetto di alcune norme, indicazione delle misure compensative e attestato di versamento. Si precisa che comunque l'approccio attuale della prevenzione incendi è quello di andare in deroga il meno possibile: "Obiettivo 0 deroghe."

- Nulla osta di fattibilità "NOF" (All.7);

In caso di attività particolarmente complesse che richiedono un progetto particolarmente oneroso è possibile richiedere il Nulla Osta di Fattibilità (NOF). Questo è un procedimento volontario, previsto solo per le attività di categoria B e C che non elimina tuttavia l'obbligo di acquisire il parere di conformità del progetto.

- Visite in corso d'opera (All.8).

In caso di attività particolarmente complesse che prevedono interventi significativi relativi alla prevenzione incendi è possibile richiedere le visite in corso d'opera durante il cantiere, in modo da avere una fotografia dello stato di avanzamento e la correttezza tecnica delle soluzioni poste in opera.

1.2.2.4 Decreto Del Ministero dell'interno 3 Agosto 2015

Il D.M. 3 agosto 2015, Codice di prevenzione incendi, tratta le metodologie di progettazione della sicurezza antincendio finalizzate al raggiungimento degli obiettivi primari della prevenzione incendi che sono:

- sicurezza della vita umana;
- incolumità delle persone;
- tutela dei beni e dell'ambiente.

Il Codice si applica a tutte le attività soggette e dal 2019 è cogente per quelle non normate ovvero non dotate di specifica regola tecnica; infatti, in seguito al D.M. del 12/04/2019, per tali attività non è più ammesso il cosiddetto “doppio binario” ovvero la possibilità di utilizzare a proprio piacimento o il Codice o la normativa tradizionale: *“All'art. 1 del decreto del Ministro dell'interno 3 agosto 2015 il comma 2 e' abrogato”*⁽⁷⁾.

Attualmente, dunque, l'utilizzo del Codice è cogente per tutte le attività soggette che non dispongono di specifica regola tecnica, mentre resta consigliato per quelle dotate di regola tecnica; con tutta probabilità la strada intrapresa dalla legislatura in tale ambito porterà prima o poi alla cancellazione definitiva del “doppio binario”.

La struttura del Codice, presentata nella Tabella 1.3, si compone di quattro sezioni che disciplinano l'intera materia antincendio.

| Sezione | Contenuto | Paragrafi | |
|------------------------------|--|-----------|--|
| G (Generalità) | Principi fondamentali per la progettazione della sicurezza antincendio applicabili indistintamente a tutte le attività | G.1 | Termini, definizioni e simboli grafici |
| | | G.2 | Progettazione per la sicurezza antincendio |
| | | G.3 | Determinazione dei profili di rischio delle attività |
| S (Strategia antincendio) | Misure antincendio di prevenzione, protezione e gestionali applicabili a tutte le attività, per comporre la strategia antincendio al fine di | 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 |

| | | | |
|----------------------------------|---|------|---|
| | mitigare il rischio di incendio | S.7 | Rivelazione ed allarme |
| | | S.8 | Controllo fumi e calore |
| | | S.9 | Operatività antincendio |
| | | S.10 | Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio |
| V (Regole tecniche Verticali) | Regole tecniche verticali | V.1 | Aree a rischio specifico |
| | | V.2 | Aree a rischio per atmosfere esplosive |
| | | V.3 | Vani degli ascensori |
| | | V.4 | Uffici |
| | | V.5 | Attività ricettive turistico-alberghiere |
| | | V.6 | Autorimesse |
| | | V.7 | Attività scolastiche |
| | | V.8 | Attività commerciali |
| | | V.9 | Asili nido |
| | | V.10 | Musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati |
| | | V.11 | Strutture sanitarie |
| | | V.12 | Altre attività in edifici tutelati |
| | | V.13 | Chiusure d'ambito degli edifici civili |
| | | V.14 | Edifici di civile abitazione |
| | | V.15 | Attività di intrattenimento e di spettacolo a carattere pubblico |
| M (Metodi) | Descrizione di metodologie progettuali quantitative utili a risolvere specifiche problematiche tecniche | M.1 | Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio |
| | | M.2 | Scenari di incendio per la progettazione prestazionale |
| | | M.3 | Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale |

Tabella. 1.3 *Struttura del Codice di Prevenzione Incendi*

La metodologia iterativa che deve essere applicata a tutte le attività, comprese quelle trattate dalle regole tecniche verticali, si articola nei seguenti passi⁽⁸⁾:

- descrizione qualitativa e quantitativa dell'attività per individuare lo scopo della progettazione; esplicitazione degli obiettivi di sicurezza della progettazione;
- valutazione del rischio incendio;
- determinazione dei profili di rischio (Rvita, Rbeni, Rambiente);
- individuazione di strategie antincendio per mitigare il rischio;

- iterazione dei passi sopra descritti nel caso in cui il risultato ottenuto non consenta il raggiungimento dello scopo individuato al primo punto.

Ad ogni strategia antincendio corrispondono diversi (al massimo cinque) livelli di prestazione via via più restrittivi.

Esistono, inoltre, tre tipologie di soluzioni progettuali applicabili ai livelli di prestazione:

- soluzioni progettuali conformi;
- soluzioni progettuali alternative;
- soluzioni in deroga.

Le prime non necessitano di ulteriori valutazioni, in quanto la valutazione del rischio è già stata fatta dal legislatore; dunque, la sola attuazione delle soluzioni antincendio garantisce il raggiungimento degli obiettivi della prevenzione incendi. Sono proposte nei paragrafi della sezione riguardante le strategie antincendio e le regole tecniche verticali.

Le soluzioni alternative sono invece soluzioni che il professionista antincendio adotta quando non risulta possibile l'attuazione delle soluzioni conformi. In questo caso la valutazione del rischio è in capo al professionista al quale spetta il compito di dimostrare il raggiungimento del livello di prestazione richiesto attraverso una delle seguenti modalità:

- Applicazioni di norme o documenti tecnici;
- Soluzioni progettuali innovative;
- Fire Safety Engineering (FSE);
- Prove sperimentali.

Per quanto riguarda invece le soluzioni in deroga, vi si ricorre quando si reputa infattibile il raggiungimento degli obiettivi della prevenzione incendi attraverso le soluzioni conformi. Il procedimento di deroga è un procedimento oneroso nel quale il progettista deve indicare le soluzioni conformi non attuabili, l'aggravio del rischio conseguente alla mancata attuazione delle stesse e le misure compensative del rischio che consentono comunque di raggiungere il livello di prestazione richiesto. Si ricorda però, che l'approccio del codice è proprio quello di andare in deroga il meno possibile grazie all'ausilio delle soluzioni progettuali alternative.

Tutta la metodologia di progettazione del Codice appena enunciata può essere rappresentata schematicamente come in Figura 1.5.

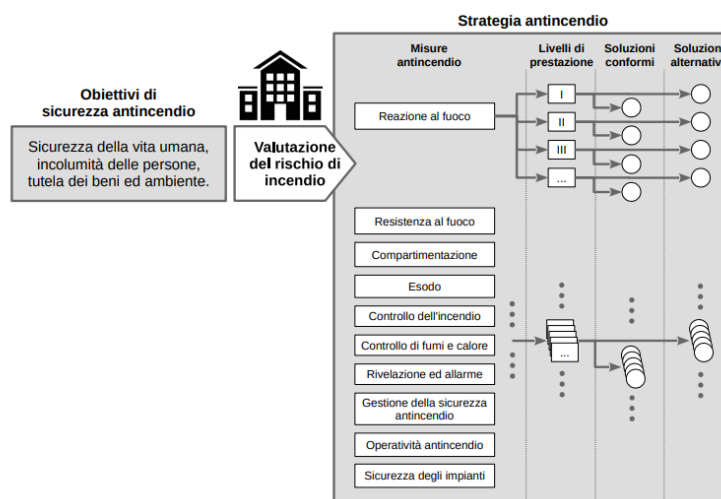


Figura. 1.5 Metodologia di progettazione generale

1.2.2.5 Decreto del Ministero dell'interno 26 Luglio 2022

Negli ultimi anni c'è stato un costante aumento del numero di incendi che hanno coinvolto depositi di stoccaggio o trattamento rifiuti, il verificarsi di questi incendi ha reso sempre più evidente la necessità di una regola tecnica che recasse disposizioni per gli impianti di gestione dei rifiuti; tale necessità viene soddisfatta con la pubblicazione del Decreto del Ministero dell'interno 26 luglio 2022, "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per gli stabilimenti ed impianti di stoccaggio e trattamento rifiuti" entrata in vigore il 9 Novembre 2022

Sarebbe comunque ingenuo aspettarsi che la sola pubblicazione della regola tecnica possa risolvere definitivamente il problema, in quanto nel 2017, circa il 20% di questi incendi sono di origine dolosa.⁽⁹⁾ e il trend è in netto aumento; infatti, le ipotesi su cui si basa la prevenzione incendi sono 2:

- Rischio 0 non esiste;
- Ogni incendio ha un solo punto di innesco.

Il secondo punto in particolare fa riferimento al fatto che la prevenzione incendi risulta inefficace in caso di incendi che hanno più punti di innesco, ovvero incendi che, con tutta probabilità, hanno origine dolosa.

La regola tecnica sui depositi di rifiuti, comunque, segna un punto di svolta, in quanto prescrive delle misure aggiuntive alle attività di deposito e trattamento rifiuti che prima venivano semplicemente accorpate ad attività di stoccaggio di vario tipo. In altre parole un'attività di deposito e trattamento di rifiuti plastici veniva considerata alla stregua di un deposito di plastica generico, senza tenere conto di tutte le problematiche legate alla presenza di rifiuti di cui si avrà un'ampia trattazione al *Capitolo 2*.

Le norme tecniche di cui al D.M. 26 luglio 2022 sono state emanate nell'ottica di continuare l'azione di semplificazione, razionalizzazione e implementazione dell'attuale corpo normativo relativo alla prevenzione incendi, mediante l'utilizzo di un nuovo approccio metodologico più aderente al progresso tecnologico e agli standard internazionali e fanno esplicito riferimento al testo del Codice di prevenzione incendi. Il Decreto si applica agli stabilimenti e impianti che effettuano stoccaggio dei

rifiuti in via esclusiva o a servizio degli impianti di trattamento di rifiuti, esclusi i rifiuti inerti e radioattivi, nonché ai centri di raccolta di rifiuti di superficie superiore a 3.000 m². Il campo di applicazione della norma riguarda le attività di nuova realizzazione e quelle esistenti alla data di entrata in vigore del Decreto stesso che avranno 5 anni di tempo a partire dall'entrata in vigore della norma (9 Novembre 2022), per adeguarsi ed attuare le prescrizioni aggiuntive, a patto che queste siano compatibili e non interferiscano con le misure già attuate dall'attività. Tale norma Di fatto non costituisce una RTV del Codice di P.I., ma la sua applicazione è coordinata con le sezioni G, S, M e V (solo V.1, V.2 e V.3), non potendo prescindere dalle stesse.

Bisogna comunque sottolineare che l'allegato a tale decreto ha struttura, linguaggio e impostazione analoga alle RTV della sezione V del Codice di P.I., fornendo indicazioni complementari o sostitutive delle soluzioni conformi previste dai corrispondenti livelli di prestazione della RTO. Pertanto, la progettazione si condurrà utilizzando la RTO per l'intera strategia antincendio e le indicazioni complementari o sostitutive del decreto per tutte le misure antincendio della strategia, fatta eccezione per S.4 Esodo e S.8 Controllo fumi e calore, per le quali sarà applicato quanto risultante dalla progettazione con la RTO.

Infine, si riporta la struttura dell'allegato I di tale Decreto, vale a dire quello che costituisce la regola tecnica vera e propria:

- Reazione al fuoco;
- Resistenza al fuoco;
- Compartimentazione;
- Gestione della sicurezza antincendio;
- Controllo dell'incendio;
- Rivelazione ed allarme;
- Operatività antincendio;
- Sicurezza degli impianti tecnologici.

1.3 Problematiche legate ai depositi di rifiuti

In questo capitolo saranno descritte le principali criticità legate ai depositi di rifiuti, analizzandone: le cause, gli effetti, e le possibili soluzioni.

1.3.1 Trattazione Generale

Innanzitutto, risulta conveniente richiamare la classificazione dei rifiuti. I rifiuti si dividono in due grandi categorie: rifiuti urbani (RU) e rifiuti speciali (RS); i rifiuti urbani sono sostanzialmente tutti quei rifiuti provenienti da civili abitazioni, spazzamento delle strade e da aree verdi, mentre i rifiuti speciali sono quei rifiuti che derivano da attività produttive e di servizi. A loro volta sia i rifiuti urbani sia quelli speciali possono classificarsi come pericolosi e non pericolosi.

Secondo quanto riportato dal documento "Rifiuti e divari territoriali: quali prospettive per l'Italia?"⁽¹⁰⁾, diffuso il 30/01/2023, l'Italia registra una "performance eccellente" nel tasso di riciclo dei rifiuti speciali (82%, prodotti da industrie e servizi), mentre sul fronte dei rifiuti urbani deve

accelerare il passo per raggiungere entro il 2035 i due obiettivi europei per il tasso di riciclo e il tasso di utilizzo della discarica. Nel primo caso si registra un valore di circa il 50% rispetto al target di almeno il 65%, nel secondo caso la discarica viene utilizzata con un tasso pari al 19%, ben 30 volte oltre la media dei migliori paesi europei, rispetto all’obiettivo europeo fissato al di sotto del 10%. Risulta dunque evidente che le prime problematiche sono: basso tasso di riciclo e ricorso eccessivo allo smaltimento in discarica, inoltre per completare il quadro della situazione nazionale legata allo stoccaggio dei rifiuti è necessario fare menzione di tutti gli incendi dolosi appiccati nei depositi di rifiuti con il fine di “guadagnare” spazio utile per lo stoccaggio.

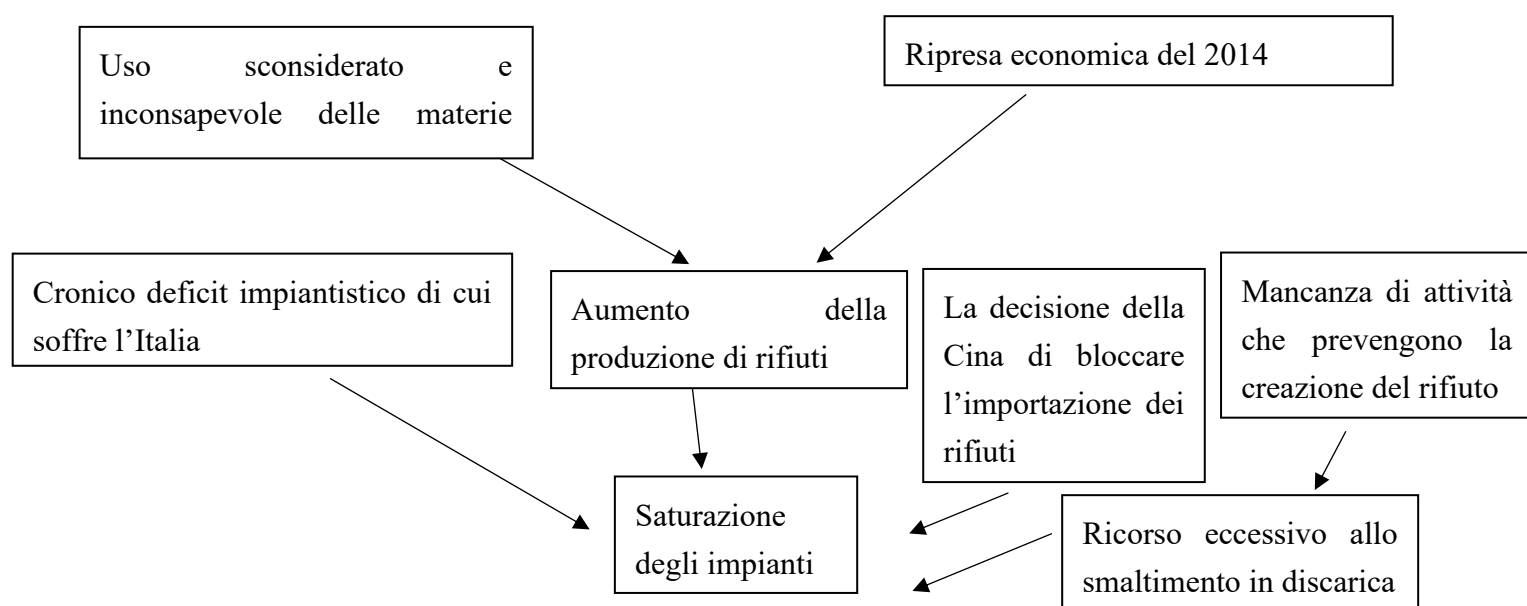
1.3.2 Cause Factor Tree Analysis – Le Cause

Per comprendere a pieno la situazione appena descritta è però necessario risalire alle cause, e per farlo useremo l’approccio del “CFTA” (Cause Factor Tree Analysis) *Schema. 1.1.*

Il CFTA è una metodologia generalmente usata nell’analisi post-incidentale, che consiste nell’elencare dapprima tutte le cause che portano ad un evento, e poi nel disporle attraverso uno schema ad albero in base alla “gerarchia” delle varie cause. Le cause che principalmente hanno portato ad una saturazione dei depositi di rifiuti sono:

- Uso sconsiderato e inconsapevole delle materie prime;
- Mancanza di attività che prevengono la creazione del rifiuto;
- Ripresa economica del 2014;
- Aumento della produzione di rifiuti;
- Cronico deficit impiantistico di cui soffre l’Italia;
- La decisione della Cina di bloccare l’importazione dei rifiuti.

Da questo elenco di cause ne deriva il seguente “Cause Factor Tree” (*Schema. 1.1.*).



Schema 1.1 Cause Factor Tree

1.3.3 Effetti e conseguenze

La saturazione degli impianti di stoccaggio di rifiuti porta con sé molteplici problematiche di carattere: economico, sanitario e ambientale. Dal punto di vista economico, centri di stoccaggio saturi fanno sì che i costi di trattamento dei rifiuti siano sempre più elevati. Dal punto di vista sanitario e ambientale invece abbiamo problemi legati allo stoccaggio di quantità maggiori rispetto a quelle autorizzate o addirittura di abbandono di rifiuti in luoghi non adibiti a discarica, questo innanzitutto può recare problemi all'ambiente circostante e alle falde acquifere eventualmente presenti, in secondo luogo è la causa scatenante di molti degli incendi dolosi di rifiuti verificatisi negli ultimi anni. In aggiunta a questo, il massivo ricorso alle discariche che avviene nel territorio nazionale, va in controtendenza con il piano nazionale di gestione dei rifiuti P.N.G.R. che segue la politica della “circular economy”, e che dunque ha l'obiettivo di “chiudere il ciclo dei rifiuti”.

1.3.4 Programma Nazionale di Gestione dei Rifiuti – Possibili Soluzioni

Il Programma nazionale di gestione dei rifiuti (P.N.G.R.) rappresenta lo strumento nazionale di programmazione del settore dei rifiuti e costituisce una riforma strutturale prevista dal P.N.R.R. nella relativa Missione 2: “Rivoluzione verde e transizione ecologica, Componente 1 – Economia circolare e agricoltura sostenibile”. Il Programma contiene gli indirizzi strategici ai quali le Regioni e le Province autonome devono attenersi nell'elaborazione dei Piani regionali di gestione dei rifiuti, previsti dall'articolo 199 del d.lgs.152/2006, ed ha come obiettivo principale quello di colmare il gap impiantistico e aumentare il tasso di raccolta differenziata e di riciclaggio anche al fine di sviluppare nuove catene di approvvigionamento di materie prime secondarie dal ciclo dei rifiuti, in sostituzione di quelle tradizionali (es. attraverso l'uso dei termovalorizzatori), contribuendo così alla transizione energetica. Il P.N.G.R. è composto dalla seguente documentazione:

- Avviso al pubblico del 16 Marzo 2022;
- Rapporto Ambientale;
- Sintesi non Tecnica del Rapporto Ambientale;
- Proposta di Programma.

All'interno del documento “Proposta di Programma” sono delineate le possibili soluzioni alla situazione nazionale in materia di gestione dei rifiuti:

- Ridurre il divario di pianificazione e di dotazione impiantistica tra le diverse regioni e aree del territorio nazionale;
- Garantire il raggiungimento degli obiettivi di prevenzione, preparazione per il riutilizzo, riciclaggio e recupero dei rifiuti e di riduzione dello smaltimento;
- Razionalizzazione e ottimizzare il sistema impiantistico e infrastrutturale nazionale secondo criteri di sostenibilità, inclusi quelli relativi ai beni culturali e paesaggistici, efficienza, efficacia ed economicità, nel rispetto dei principi di autosufficienza e prossimità;

- Garantire una dotazione impiantistica con elevati standard qualitativi di tipo gestionale e tecnologico
- E. Aumentare la conoscenza ambientale e migliorare i comportamenti ambientali (incluso beni culturali e paesaggio) per quanto riguarda il tema di rifiuti e l'economia circolare.

Il Programma si pone quindi come uno strumento fondamentale per garantire l'attuazione della Strategia Nazionale dell'Economia Circolare e si relaziona con altri strumenti finanziari e regolatori per l'economia circolare tra cui il PNRR, il Programma Nazionale di Prevenzione dei Rifiuti al quale è strettamente correlato anche in considerazione della predisposizione dei Piani Regionali di gestione dei rifiuti.

1.4 Conclusioni

Il tema dei rifiuti in Italia è un argomento molto spinoso e da sempre uno dei “*dossier*” più complessi da gestire per tutti i governi che si sono succeduti negli ultimi anni. Infatti, “*l'ecosistema*” costituito da tutte le aziende che si occupano di rifiuti è un mondo a sé che sfrutta una legislazione debole in materia (sanzioni e pene poco severe) per agevolare la proliferazione dell'illegalità. In un contesto del genere accade sovente che titolari di tali aziende commettano degli illeciti al fine di ottenere un maggiore guadagno ed è cosa acclarata che pure la criminalità organizzata si è ormai inserita in questo “*business*”. Tutto ciò ovviamente va a discapito della sicurezza sia ambientale sia della vita umana in quanto depositi di rifiuti non regolamentati possono danneggiare gli ambienti circostanti e di conseguenza le falde acquifere o l'aria delle zone limitrofe, e in quanto gli incendi dolosi appiccati in tali depositi hanno un impatto ambientale devastante oltre che mettono a repentaglio la vita di chi eventualmente si trovasse nelle immediate vicinanze del rogo.

Tuttavia, come mostrato al §. 1.3.4, non mancano le possibili soluzioni, la difficoltà sta nell'applicarle dato tutto il contesto criminoso che fa da cornice al mondo dei rifiuti in Italia.

Capitolo 2

Incendi nei depositi di rifiuti

Gli incendi che si sviluppano all'interno di un deposito di rifiuti sono incendi che meritano di essere trattati in modo specifico e non devono essere considerati alla pari di incendi generalizzati in quanto generalmente non si sa cosa stai effettivamente bruciando. Infatti, all'interno dei depositi di rifiuti possono essere stoccati materiali diversi e di qualsivoglia tipologia e questo sia perché il rifiuto di per sé non è univocamente associabile ad un materiale e sia perché talvolta vengono stoccati rifiuti di diverso tipo rispetto a quelli per cui le aziende avrebbero il permesso.

In questo capitolo il fenomeno degli incendi nei depositi di rifiuti verrà trattato analizzando la frequenza con cui tali incendi si sono susseguiti negli anni, studiandone le cause e gli effetti e valutando il contributo della prevenzione incendi.

2.1 Analisi incidentale

L'analisi incidentale che seguirà sarà così strutturata: una prima parte in cui verranno mostrati e analizzati i dati statistici e una seconda parte in cui verranno descritti, a titolo esemplificativo, una serie di casi incidentali.

2.1.1 *Analisi dei dati*

Per caratterizzare la situazione nazionale in materia di incendi e più nello specifico di incendi di rifiuti, la prima cosa da fare è senza dubbio partire da alcuni dati così da poter fare un'analisi quantitativa. I dati più attendibili, aggiornati all'anno solare precedente, sono quelli che si trovano consultando gli annuari statistici del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.⁽¹¹⁾ L'annuario dei VV.F. è un report in cui sono riportati i dati e le statistiche relative a tutti gli interventi dei Vigili del Fuoco nell'arco dell'intero anno solare. In primo luogo, viene riportato il numero complessivo degli interventi svolti, dopodiché, nelle pagine successive, si riportano tutti gli interventi divisi per tipologia. Incrociando i dati del 2022 con quelli degli anni passati fino al 2015, si ottiene il seguente grafico in cui è riportato lo storico degli interventi effettuati dai VV.F. (Figura 2.1).

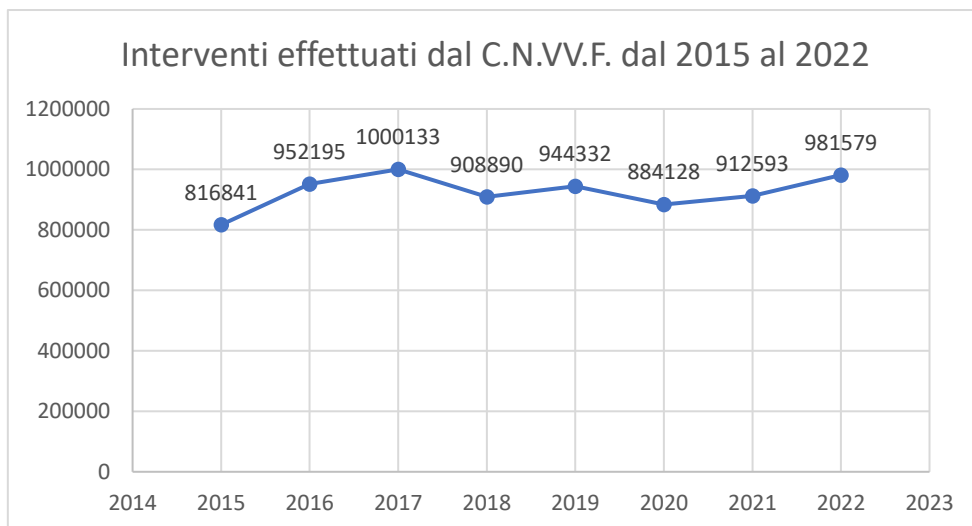


Figura 2.1. Numero di interventi del C.N.VV.F., periodo 2015-2022 (Annuario VVF)

In secondo luogo, tutti gli interventi effettuati dai Vigili del Fuoco nell'anno solare vengono suddivisi in base alla tipologia di intervento, facendo riferimento al 2022 si ottiene il seguente grafico a torta (Figura 2.2).

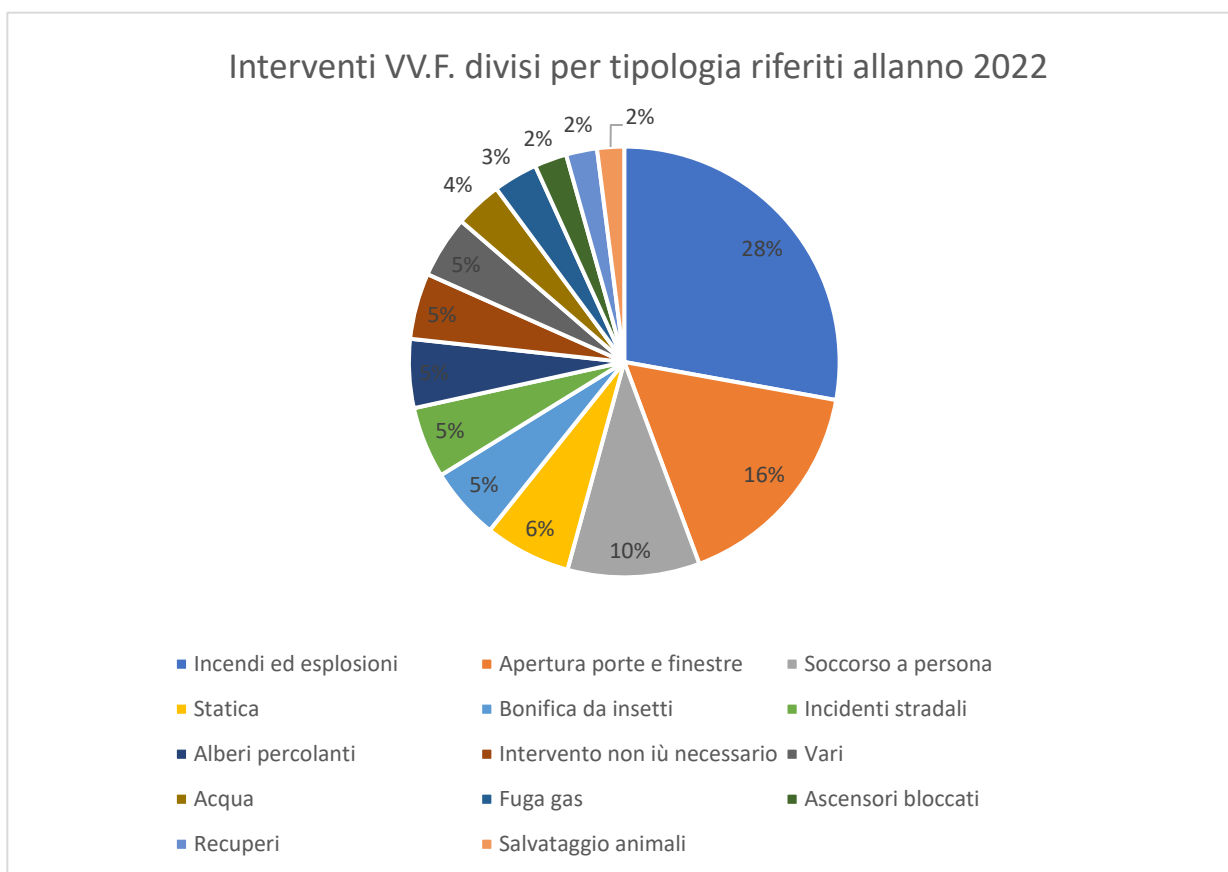


Figura 2.2 Interventi VV.F. divisi per tipologia riferiti all'anno 2022 (Annuario VV.F.)

Osservando il grafico di Figura 2.2, si osserva che l'attività che maggiormente impegna i Vigili del Fuoco sia quella legata allo spegnimento di incendi, che rappresenta circa il 28% del totale e dunque circa 216.000 casi. Ora intrecciando questo dato con i dati degli anni passati fino al 2023 si ottiene il grafico in Figura 2.3.

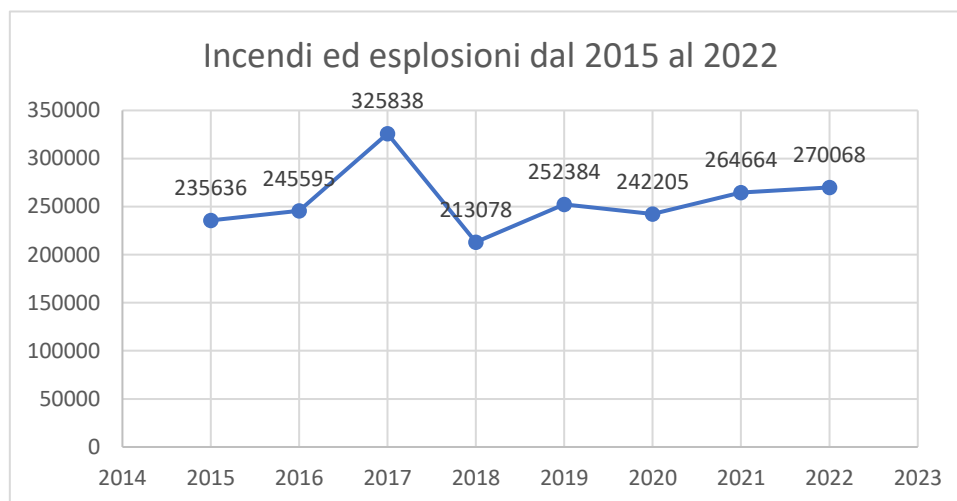


Figura 2.3 Interventi dei VV.F. per incendi ed esplosioni dal 2015 al 2022 (Annuario VV.F.)

In terzo luogo, nell'annuario si possono trovare ulteriori suddivisioni. Nel particolare vengono suddivisi i casi di incendi a seconda: del luogo in cui l'incendio si è verificato (Figura 2.4), della causa scatenante (Figura 2.5) e della sostanza coinvolta (Figura 2.6). A titolo esemplificativo si riporteranno i dati delle tre suddivisioni appena citate relative all'anno 2022.

| SOSTANZA | DETTAGLIO SOSTANZA | (ANNO 2022) | |
|-----------------------------------|--|-------------|-------|
| | | | % |
| Combustibili solidi | Sterpaglie | 73.892 | 27,4% |
| | Rifiuti | 21.055 | 7,8% |
| | Arbusti e macchia mediterranea | 10.864 | 4,0% |
| | Legno e sughero | 9.147 | 3,4% |
| | Alberi | 8.726 | 3,2% |
| | Fuliggine | 8.517 | 3,2% |
| | Fieno, paglia e simili | 7.631 | 2,8% |
| | Arredamenti | 5.938 | 2,2% |
| | Cellulosa e carta | 3.925 | 1,5% |
| | Plastica | 3.332 | 1,2% |
| | Piantagioni in genere | 3.268 | 1,2% |
| | Strutture portanti in legno | 1.654 | 0,6% |
| | Stoffe, abbigliamento e fibre | 1.239 | 0,5% |
| | Polveri di legno e simili | 820 | 0,3% |
| | Carbone naturale e vegetale | 566 | 0,2% |
| Altri | 18.669 | 6,9% | |
| Elementi da costruzioni | Camini, canne fumarie, comignoli | 6.686 | 2,5% |
| | Tetti | 3.302 | 1,2% |
| | Copertura in genere | 628 | 0,2% |
| Mezzi di trasporto | Altri | 1.308 | 0,5% |
| | Autovetture | 14.658 | 5,4% |
| | Autocarri - autosnodati, rimorchi, semi-rimorchi | 2.897 | 1,1% |
| | Mezzi d'opera - macchine operatrici (trattori escavatori etc.) | 874 | 0,3% |
| | Motoveicoli - ciclomotori | 740 | 0,3% |
| Altri infiammabili e combustibili | Altri | 732 | 0,3% |
| | Gas di petrolio liquefatto (GPL) | 722 | 0,3% |
| Altri | Quadri elettrici parti d'impianto elettrico | 3.981 | 1,5% |
| | Bidone ecologico o cassonetto | 2.392 | 0,9% |
| | Apparecchi elettrici utilizzatori | 2.372 | 0,9% |
| | Palo elettrico | 1.045 | 0,4% |
| | Macchinari in genere | 1.029 | 0,4% |
| | Non considerato | 10.383 | 3,8% |
| | Altri | 9.385 | 3,5% |

Figura 2.4 Suddivisione per sostanza coinvolta negli incendi ed esplosioni relativi all'anno 2022 (Annuario VV.F.)

| CAUSA | DETTAGLIO CAUSA | INCENDI ED ESPLOSIONI (ANNO 2022) | |
|--|--|--------------------------------------|--------|
| | | N° INTERVENTI | % |
| Cause di innesco di incendio | Cause elettriche | 11.468 | 4,2% |
| | Camino e/o canna fumaria | 11.252 | 4,2% |
| | Mozzicone di sigaretta e fiammiferi | 4.431 | 1,6% |
| | Non corretta o mancata adozione di misure precauzionali, di esercizio e di sicurezza | 2.002 | 0,7% |
| | Autocombustione | 1.788 | 0,7% |
| | Surriscaldamento di motori e macchine varie | 1.425 | 0,5% |
| | Elettrodomestici (TV, Lavatrice, lavastoviglie, Computer, ecc.) | 914 | 0,3% |
| | Fulmine | 763 | 0,3% |
| | Faville generate dallo sfregamento di parti meccaniche | 609 | 0,2% |
| | Altre | 16.354 | 6,1% |
| | Dolose | Probabile dolo | 10.790 |
| Probabile colpa | | 3.807 | 1,4% |
| Cause che determinano altri tipi di interventi | Cause impreviste | 3.149 | 1,2% |
| | Disattenzione generale | 2.463 | 0,9% |
| | Funzionamento difettoso di impianti e/o macchinari in genere | 915 | 0,3% |
| | Altre | 4.593 | 1,7% |
| Cause che determinano soccorso a persone | Non potute accertare nell'immediatezza dell'evento | 901 | 0,3% |
| Non considerato | Non considerato | 4.698 | 1,7% |
| Non potute accertare nell'immediatezza dell'evento | Non potute accertare nell'immediatezza dell'evento | 163.462 | 60,5% |

Figura 2.5 *Suddivisione per causa scatenante degli incendi ed esplosioni relativi all'anno 2022 (Annuario VV.F.)*

| LUOGO | DETTAGLIO LUOGO | INCENDI ED ESPLOSIONI (ANNO 2022) | |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--------|
| | | N° | % |
| Ambienti ad uso particolare | Scuole di ogni ordine e grado | 654 | 0,2% |
| | Strutture ricettive turistico alberghiere | 547 | 0,2% |
| | Altri | 1.245 | 0,5% |
| Luoghi di civile abitazione | Appartamenti e locali di abitazione | 39.061 | 14,5% |
| | Edifici in genere | 10.664 | 3,9% |
| | Autorimesse private | 1.919 | 0,7% |
| | Campi nomadi | 980 | 0,4% |
| | Costruzioni provvisorie (dormitori di operai, baracche, ecc) | 857 | 0,3% |
| | Locali quadri elettrici | 674 | 0,2% |
| | Altri | 5.354 | 2,0% |
| | Zone di montagna in genere | Altre | 651 |
| Località agricole o per allevamento | Campi | 36.942 | 13,7% |
| | Zone rurali | 22.218 | 8,2% |
| | Boschi | 11.850 | 4,4% |
| | Zona alberata | 3.393 | 1,3% |
| | Fabbricati agricoli | 1.489 | 0,6% |
| | Capannoni | 1.237 | 0,5% |
| | Altre | 3.582 | 1,3% |
| | Zona di sosta e traffico | Strade e/o piazze cittadine | 43.553 |
| Strade extraurbane | | 21.370 | 7,9% |
| Autostrade e tangenziali | | 5.337 | 2,0% |
| Cortili | | 3.291 | 1,2% |
| Parcheggi all'aperto | | 2.519 | 0,9% |
| Giardini | | 2.196 | 0,8% |
| Sedi ferroviarie | | 613 | 0,2% |
| Altre | | 774 | 0,3% |
| Altri luoghi | | Fiumi, corsi d'acqua, zone fluviali | 1.197 |
| | Zone costiere (di mare) | 730 | 0,3% |
| | Non considerato | 1.405 | 0,5% |
| | Altre | 2.743 | 1,0% |
| Aziende varie | Altre | 541 | 0,2% |
| Depositi di combustibili solidi | Depositi di foraggi, paglia e simili | 874 | 0,3% |
| | Depositi di rifiuti | 809 | 0,3% |
| Esercizi commerciali | Ristoranti, mense e simili | 1.135 | 0,4% |
| | Altri | 553 | 0,2% |

Figura 2.6 *Suddivisione per luoghi degli incendi ed esplosioni relativi all'anno 2022 (Annuario V.V.F.)*

Facendo riferimento alla Figura 2.6, coerentemente con gli obiettivi del presente capitolo, risulta interessante il dato legato agli incendi nei depositi di rifiuti che rappresenta lo 0,3% degli incendi totali del 2022. Volendo fare una ricerca a più ampio intervallo temporale, andando a considerare la percentuale di incendi avvenuta in depositi di rifiuti dal 2015 al 2022 si ottiene il seguente andamento (Figura 2.7).

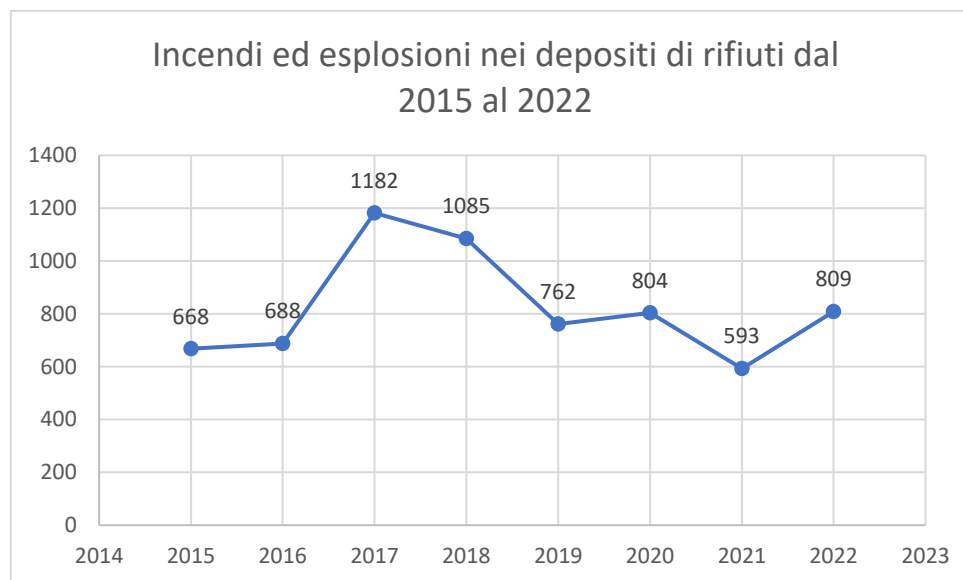


Figura 2.7 Incendi avvenuti nei depositi di rifiuti dal 2015 al 2022 (Annuario VV.F.)

Dunque, il numero degli incendi nei depositi di rifiuti nel 2022 è stato di 809 eventi, in aumento del 36% rispetto al 2021 ma in linea con il *trend* se si considera l'intervallo di tempo 2015-2022.

Il 26 Luglio 2022 è inoltre stata pubblicata la regola tecnica recante disposizioni per gli stabilimenti di stoccaggio e trattamento di rifiuti, tuttavia, essendo entrata in vigore il 9 Novembre 2022 è evidente che non possa aver avuto una grande incidenza sul dato del 2022; gli eventuali benefici della regola tecnica potrebbero invece essere apprezzati attraverso la consultazione dell'annuario statistico dei VV.F. del 2024, il quale farà riferimento agli incendi nei depositi di rifiuti avvenuti nel 2023.

Infine, comparando i grafici di Figura 2.1, Figura 2.3 e Figura 2.7 si nota che hanno tutti il punto di massimo in corrispondenza dell'anno 2017, anno molto critico per numero di incendi nel territorio italiano.

2.1.2 Analisi dei casi incidentali

A supporto di tutti i dati di cui al § 2.1.1 si vuole ora riportare alcuni casi reali di incendi nei depositi di rifiuti, per farlo ci si servirà delle informazioni raccolte all'interno della "relazione sul fenomeno degli incendi negli impianti di trattamento e smaltimento di rifiuti" approvata dalla "Commissione parlamentare di inchiesta sulle attività illecite connesse al ciclo dei rifiuti e su illeciti ambientali ad esse correlati" in data 17 Gennaio 2018. La "Commissione parlamentare di inchiesta sulle attività illecite connesse al ciclo dei rifiuti e su illeciti ambientali ad esse correlati" è una commissione che

svolge indagini in materia di rifiuti e ambiente, con gli stessi poteri delle autorità giudiziarie. La Commissione ha deciso di procedere con un'inchiesta, in seguito al ripetersi degli incendi sviluppatasi nei depositi di rifiuti a inizio nel periodo 2014-2017. In primo luogo, la Commissione ha richiesto a tutte le agenzie regionali per la protezione dell'ambiente dei dati generali circa questi eventi incendiari, in secondo luogo la Commissione si è rivolta alle procure della Repubblica territorialmente competenti per capire se e quali indagini fossero state effettuate. Infine, la Commissione si è occupata di verificare la qualità delle informazioni raccolte. Inoltre nel Capitolo 1 *“Metodologia e attività della commissione”* viene riportato quanto segue: *“A queste interlocuzioni istituzionali la Commissione ha aggiunto, nella propria attività, una specifica attenzione alle segnalazioni di eventi di questo tipo nei territori in cui, nel successivo periodo, ha svolto missioni, ed ha anzi dedicato specifici sopralluoghi – tra la fine di maggio 2017 e l'inizio di dicembre 2017 – a impianti in cui si sono verificati incendi particolarmente significativi per le circostanze o per l'impatto ambientale.”*⁽⁹⁾ Viene dunque spiegato che in tale relazione verrà posta una particolare attenzione ad alcuni eventi particolarmente significativi, tra questi eventi quelli che verranno riportati in questo paragrafo sono i seguenti (gli eventi vengono identificati con il nome della città nella quale si sono verificati):

- Cinisello Balsamo (Milano);
- Vidor (Treviso);
- Pomezia (Roma).

2.1.2.1 Cinisello Balsamo (Milano)

Il 2 Ottobre 2017 si è verificato un incendio presso la ditta smaltimenti e recupero rifiuti di proprietà della Carluccio S.r.l. sita in Via Palazzi 10, Cinisello Balsamo, (MI).



Figura 2.8 Capannone oggetto dell'incendio

I Vigili del Fuoco sono arrivati sul posto intorno alle 5 del mattino, ma appena arrivati le dimensioni del rogo erano già notevoli, di conseguenza si è stimato che l'insacco fosse stato intorno alle 3.30, le attività di spegnimento hanno impegnato 18 mezzi degli operatori dei Vigili del fuoco, circa 40 operanti, per una durata totale di 13 ore.

Per quanto riguarda le cause dell'incendio l'ipotesi più accreditata è quella del dolo; infatti, come riportato nella relazione, le squadre di soccorso al loro arrivo hanno trovato il portellone principale dell'azienda spalancato, e come se non bastasse qualche mese prima si erano verificati altri 2 incendi presso ditte di proprietà della Carluccio S.r.l. uno dei quali proprio nel medesimo impianto di Cinisello Balsamo (MI).

Per quanto riguarda invece gli effetti dell'incendio, le fiamme si sono mantenute all'interno del capannone, questo fece sì che il fumo, una volta uscito dalle aperture di aerazione del capannone, non potesse sfruttare l'effetto di galleggiamento "*buoyancy*" e dunque non si è disperso in quota. Per definire il termine "*buoyancy*" si fa riferimento alla definizione riportata nel libro "Ingegneria della sicurezza antincendio": "*spinta termica ascensionale, causata dalla differenza di densità, a seguito della quale un fluido si muove in un campo gravitazionale (in genere, essa si produce durante un incendio)*"⁽¹²⁾.

L'intervento dei Vigili del Fuoco si è protratto fino a sera; infatti, una volta spente le fiamme, si sono iniziate le operazioni di smassamento del materiale per evitare la riaccensione di braci da materiali non completamente combustibili. È stato poi attivato il GSS – CA "Gruppo di supporto specialistico contaminazione atmosferica (GSS – CA) che ha installato nei pressi del capannone, tenendo conto delle previsioni meteorologiche del vento, un centro di campionamento dell'aria che ha agito a cavallo tra il 2 e il 3 Ottobre, i dati raccolti sono poi stati fatti esaminare all'ARPA Lombardia. Infatti, il materiale coinvolto nelle fiamme era un misto di: materassi, carta, poliuretano, lana e parti in plastica e dunque data l'eterogeneità del materiale, è stato richiesto all'ARPA l'analisi delle diossine, dei furani (PCDD-DF) e di alcuni idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Per i PCDD-DF non è previsto un limite di legge mentre per quanto riguarda le diossine il valore rilevato è risultato inferiore rispetto al valore limite fissato dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità). Per quanto concerne gli IPA invece la concentrazione limite stabilita dalla legislazione nazionale è stata superata solo il giorno stesso dell'evento, mentre già il giorno successivo era rientrata al di sotto della concentrazione limite.

2.1.2.2 Vidor (Treviso)

Il 18 Agosto 2017, verso le 13.00, si è sviluppato un incendio all'interno di un capannone di proprietà della Vidori Servizi Ambientali S.p.a. sita in via Tittoni 14, Vidor (TV).

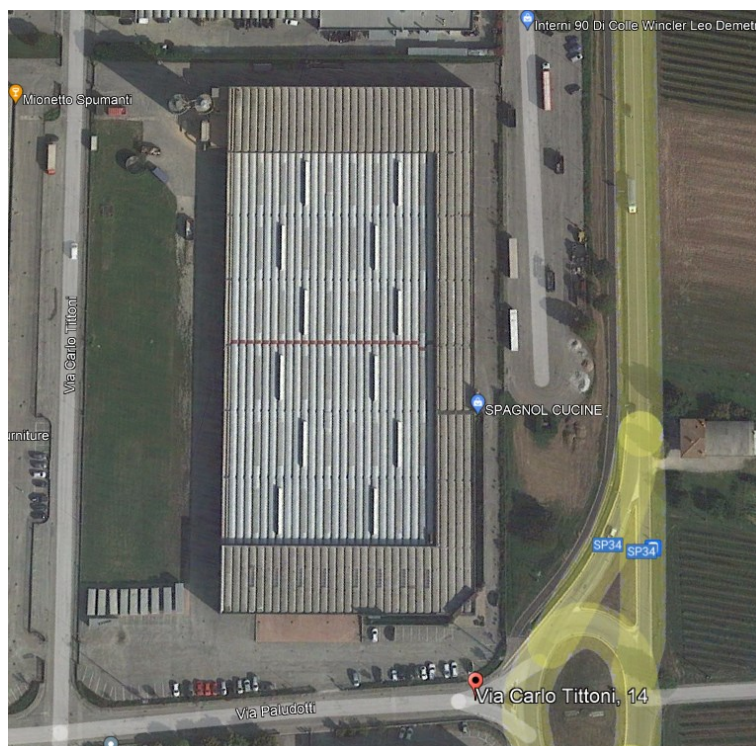


Figura 2.9 Capannone della Vidori Servizi Ambientali S.p.a.

Le squadre di soccorso sono intervenute per spegnere il vasto incendio alle 14.12 del 18 Agosto 2017 e hanno proseguito fino alle 17.30 del giorno seguente. L'incendio ha interessato il capannone riportato in Figura 2.9, struttura di circa 3000 m² adibito allo stoccaggio, smaltimento e rifiuti industriali. In particolare, il rogo ha interessato: un deposito, un officina, un laboratorio, bombole di Gpl, eternit e tonnellate di carta, cartone e polistirolo.

Per quanto riguarda l'origine dell'incendio, è stato confermato dagli inquirenti e dagli esperti, dopo numerosi sopralluoghi e rilievi, che la causa è di origine dolosa: *“Almeno tre focolai, un liquido accelerante più infiammabile della benzina e la mano di un piromane esperto. Sono questi gli elementi che hanno indotto il perito della procura a stabilire che l'incendio che, il 18 agosto scorso, devastò l'impianto della Vidori Servizi Ambientali di Vidor fu doloso”*⁽¹³⁾. Inoltre altri elementi che hanno portato all'attribuzione del dolo come causa dell'evento è che il capannone fosse stato trovato aperto nonostante l'impianto fosse chiuso per ferie e che l'impianto di sorveglianza fosse spento. Inoltre, durante le perizie sono state rilevate diverse non conformità circa le modalità di stoccaggio e i materiali stoccati, diversi da quelli dichiarati, non è dunque da escludere che l'incendio sia stato appiccato per cercare di coprire tutto ciò che di illegale accadeva nella ditta.

Per quanto riguarda gli effetti, ha destato forte preoccupazione la grande nube di fumo che si è dispersa nell'aria sia per l'incolumità delle persone, sia per la salubrità dei raccolti, poiché, come si vede dalla Figura 2.9, l'area circostante al capannone è prevalentemente costituita da campi coltivati.

A questo proposito l'ARPA Veneto ha effettuato dei campionamenti tra il 18 e il 19 Agosto e i risultati per nulla positivi sono che i valori di diossine e furani erano di gran lunga superiori al normale: *“Il campione prelevato vicino alla chiesa parrocchiale, pari a 1,82 pg/m³ espresso come sommatorie I-*

TEQ, è risultato di 2 ordini di grandezza superiori alle normali condizioni ambientali (0,01-0,07 pg/m³); nei due campioni relativi al parco di via Papa Giovanni XXIII i risultati sono 0,84 pg/ Nm³ per il campione del 18 agosto, sceso a 0,14 pg/ Nm³ per il campione del 19 agosto, valori circa 10 volte superiori al valore ambientale per il primo e 2-3 volte per il secondo. "⁽¹⁴⁾ Ne risulta dunque che nei giorni successivi all'incendio l'aria era fortemente contaminata, motivo per cui il sindaco ha diramato un'ordinanza con le procedure comportamentali da osservare per tutti coloro che abitassero nelle vicinanze del capannone interessato dal rogo.

2.1.2.3 Pomezia (Roma)

L'evento in questione è l'incendio del 5 Maggio 2017 sviluppatosi all'interno dello stabilimento di stoccaggio e trattamento rifiuti di proprietà della "Eco Servizi per l'ambiente S.r.l." subentrata nel 2014 alla "Eco X S.r.l.". La ditta è sita in Via Pontina Vecchia 300/33, Pomezia, Roma. L'impianto in questione è un impianto autorizzato a trattare rifiuti speciali non pericolosi (plastica, carta, legno, materiale da demolizione, ecc..) per un quantitativo totale di 85.000 tonnellate all'anno. L'impianto compreso di tutta l'area di stoccaggio si estende per circa 20.000 m². A differenza degli incendi precedentemente descritti, questo è scoppiato con l'impianto in funzione mentre degli operai stavano eseguendo le operazioni di carico/scarico merci, a nulla è servito il tentativo di spengere l'incendio con gli estintori da parte dei lavoratori presenti; l'incendio sarà poi domato, non senza difficoltà, dai Vigili del Fuoco che hanno lavorato ininterrottamente per oltre 24 ore.

Per quanto riguarda le cause dell'incendio uno dei manager della Eco X S.r.l., Salvatore Guglielmino, si è pronunciato affermando che l'innesco sia da imputarsi all'accensione di uno dei 2 gruppi elettrogeni (1 MW ciascuno di potenza), in quanto lo scoppio del focolare è concomitante con tale accensione. Dunque, si tratterebbe di incendio colposo come poi sarà confermato 3 anni dopo con la condanna a 3 anni di reclusione per l'amministratore della "Eco Servizi per l'ambiente S.r.l." come riportato nel seguente articolo di Repubblica :” *A tre anni di distanza dal disastro Eco X, il rogo dell'azienda di recupero rifiuti di Pomezia da cui si sprigionò una nube tossica che tenne per giorni la capitale, parte della provincia romana e di quella di Latina col fiato sospeso, è arrivata la condanna per l'unico imputato...il giudice per l'udienza preliminare del Tribunale di Velletri ha condannato a tre anni di reclusione e a risarcire le parti civili l'imprenditore Antonio Buongiovanni, 62enne di Ardea, accusato di incendio colposo e inquinamento ambientale colposo.* "⁽¹⁵⁾

Nonostante dunque l'innesco sia colposo, ci sono diversi fattori "dolosi" che hanno fatto sì che l'evento assumesse una portata gigantesca. Infatti, il Procuratore della repubblica di Velletri ha evidenziato che sia le modalità di stoccaggio che le quantità stoccate, fossero non conformi rispetto a quelle autorizzate. Anche il Comandante della Polizia locale di Pomezia ha reso note alcune criticità: la ditta non era in possesso del Certificato di prevenzione incendi, e inoltre non disponeva di un impianto idrico adeguato allo spegnimento di un eventuale incendi, questo ha fatto sì che i vigili del fuoco abbiano dovuto attingere ad un bacino idrico distante circa 2 km dal luogo dell'evento; in

aggiunta a ciò le mura delle strutture della ditta non avevano la capacità di compartimentazione che avrebbero dovuto avere motivo per cui le fiamme si sono propagate con estrema facilità questo ha fatto sì che i Vigili del Fuoco una volta sul posto si sono trovati dinnanzi ad un “incendio generalizzato” ovvero nella fase post “flash-over”.

Per quanto riguarda gli effetti dell’incendio, si è espresso Marco Lupo, direttore generale di ARPA Lazio affermando che le diossine prodotte dall’incendio sono molto pericolose se entrano nella catena alimentare motivo per cui i sindaci delle città limitrofe hanno emanato delle ordinanze per limitare il consumo dei cibi provenienti da quelle terre.

Presso il tribunale di Velletri si è inoltre espresso il procuratore della Repubblica Francesco Prete il quale ha affermato che sono state rilevate sostanze nocive in un campo ad 1,3 km dall’impianto in questione, che le diossine non si sono sparse per più di 200-300 metri e che i valori del PM₁₀ nei giorni successivi all’evento ha toccato un picco di 373 µg/m³, superando di gran lunga il valore soglia fermo a 50 µg/m³. In riferimento agli effetti sulle persone, si segnalano soltanto alcuni casi lievi di faringodinia e lievi intossicazioni.

In seguito all’incendio, al termine delle indagini, l’impianto della “Eco Servizi per l’ambiente S.r.l.” è stato chiuso definitivamente.

2.1.2.4 Confronto fra i casi studio

Di seguito sarà riportata una tabella riassuntiva dove saranno riportati: tipologia di materiale bruciato, superficie in pianta dello stabilimento, tipologia dell’incendio (doloso o colposo) e i valori di diossine e furani registrati nei giorni successivi all’incendio.

| Caso studio | Materiale bruciato | Superficie di estensione | Tipologia d’incendio | Diossine e furani |
|---------------------------------|--|--------------------------|----------------------|---|
| Carluccio S.r.l. | Poliuretano, plastica, carta e lana | 2.200 m ² | Probabilmente doloso | Inferiore al valore limite (0,1 pg/m ³) |
| Vidori Servizi Ambientali S.p.A | Carta, cartone e polistirolo | 3.000 m ² | Doloso | 1,82 pg/m ³ |
| Eco X S.r.l. | Plastica, carta, legno e materiale da demolizione. | 20.000 m ² | Colposo | 77,5 pg/m ³ |

Tabella 2.1 Tabella comparativa dei casi studio analizzati

Da tale tabella risulta evidente come l’incendio che ha coinvolto la “Eco X S.r.l.” sia stato quello di maggiore entità e quello che abbia avuto un maggiore impatto ambientale, in quanto l’area

che era adibita a stoccaggio dei rifiuti è circa 10 volte superiore a quella delle altre due ditte considerate.

2.2 Le cause

Le cause direttamente o indirettamente associabili al fenomeno degli incendi nei depositi di rifiuti sono molteplici e la maggior parte di esse sono riportate nella parte conclusiva della *“relazione sul fenomeno degli incendi negli impianti di trattamento e smaltimento di rifiuti”* già menzionata al precedente paragrafo.

Le cause e i fattori che hanno fatto sì che il fenomeno degli incendi nei depositi dei rifiuti abbia raggiunto una tale portata (vedi Figura 2.7) sono:

- Fragilità degli impianti, spesso non dotati di sistemi adeguati di sorveglianza e controllo;
- Impianti non conformi dal punto di vista della prevenzione incendi;
- Sovraccarico degli impianti;
- Necessità di coprire altri reati.

Le cause appena elencate verranno di seguito analizzate singolarmente.

2.2.1 Fragilità degli impianti

La fragilità degli impianti di stoccaggio e trattamento dei rifiuti consiste nel non avere un sistema adeguato di sorveglianza e controllo, al fine di ottenere tale sistema si è reso obbligatorio presentare un Piano di Sorveglianza e Controllo (PSC) da allegare all’istanza di autorizzazione per la costruzione e la messa in esercizio di impianti di smaltimento come riportato all’allegato 2 del D.lgs. n.36 del 2003. In tale allegato si riportano i contenuti del PSC, in esso devono essere riportate: *“tutte le misure necessarie per prevenire i rischi d’incidenti causati dal funzionamento della discarica e per limitarne le conseguenze, sia in fase operativa che post-operativa, con particolare riferimento alle precauzioni adottate a tutela delle acque dall’inquinamento provocato da infiltrazioni di percolato nel terreno e alle altre misure di prevenzione e protezione contro qualsiasi danno all’ambiente”*⁽¹⁶⁾.

2.2.2 Non conformità dal punto di vista della prevenzione incendi

Nonostante gli impianti di gestione dei rifiuti non siano annoverati univocamente tra le attività presenti nell’ Allegato I del D.P.R. 151/2011, spesso questi vengono associati ad attività effettivamente presenti; per esempio, un impianto di deposito e trattamento di rifiuti plastici può ricadere nell’attività 44: *“Stabilimenti, impianti, depositi ove si producono, lavorano e/o detengono materie plastiche, con quantitativi in massa superiori a 5.000 kg”* di conseguenza accade sovente che un’azienda di gestione di rifiuti comprenda una o più attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco, nonostante ciò molte aziende ignorano i loro obblighi in materia di sicurezza antincendio e operano senza essere in possesso del Certificato di Prevenzione Incendi (CPI).

Avere un impianto che sia a norma dal punto di vista antincendio, consente di limitare sensibilmente la propagazione dell'incendio e la probabilità che questo si inneschi.

2.2.3 Sovraccarico degli impianti

Il sovraccarico degli impianti è spesso causa di incendi sia perché va ad aumentare sensibilmente il carico d'incendio della struttura e dunque aumenta la probabilità che da una scintilla si sviluppi un incendio devastante, sia perché spesso i titolari degli impianti, per continuare ad accogliere rifiuti, danno origine a incendi "liberatori".

Il sovraccarico degli impianti è dovuto principalmente da 2 fattori: mancanza di controlli e blocco dell'import della Cina dei rifiuti esteri.

La mancanza di controlli rigidi e pene severe portano i titolari di questi impianti ad accogliere più rifiuti di quelli per cui sono stati autorizzati, così da avere un maggiore utile.

Il secondo fattore invece riguarda il blocco dell'importazione dei rifiuti riciclabili da paesi esteri attuato dalla Cina nel 2017. Il mercato europeo dei rifiuti riciclabili non riesce a soddisfare la grande quantità di domanda e questo fa sì che gli impianti europei e di conseguenza italiani si intasino. Un esempio può essere fornito dagli inceneritori italiani, che da soli non sono sufficienti a rigenerare la quantità di rifiuti prodotti: *"In Italia, frenate le esportazioni di residui riciclabili e cominciate il flusso di importazione incentivata dalla Germania, si sono riempiti presto i pochi inceneritori, affamati di combustibile con cui sostenere la produzione di elettricità ma soprattutto per riscaldare le città come Milano, Venezia, Torino, Parma, Brescia e tante altre.*

I pochi impianti italiani di ricupero energetico marciano a tutta forza e non bastano; in una situazione di forte domanda di incenerimento e di poca offerta di impianti di ricupero energetico le tariffe praticate dagli inceneritori salgono a prezzi sempre più alti, oltre i 140 euro la tonnellata."⁽¹⁷⁾

2.2.4 Necessità di coprire altri reati

Gli incendi appiccati per coprire altri reati, sono incendi dolosi architettati generalmente dal titolare dell'attività che, con la speranza di far sembrare l'incendio un incidente, vuole coprire reati legati alla gestione dei rifiuti e allo stesso tempo incassare i soldi dell'assicurazione.

Le casistiche per cui questo può accadere sono varie, il proprietario può non riuscire a sostenere i costi legati ad una gestione corretta dei rifiuti oppure sa di non poter superare imminenti controlli sulla qualità e sulla quantità dei rifiuti stoccati, vedasi il caso della ECO X di cui al § 2.1.2.3, oppure ancora si appicca un incendio per coprire un traffico di rifiuti clandestini. In quest'ultimo caso accade che organizzazioni criminali, spesso di stampo mafioso, facciano accordi con il proprietario dell'impianto affinché questo smaltisca dei rifiuti non autorizzati in cambio di denaro, classificandoli con un codice CER fasullo.

2.3 Le conseguenze

Il fenomeno degli incendi di rifiuti è un fenomeno tutt'altro che superato nel nostro paese come è dimostrato in Figura 2.7, di seguito si intende esaminare gli effetti degli incendi di rifiuti facendo riferimento ai prodotti della combustione e a come questi costituiscano un pericolo per l'ambiente e per la salute umana.

Uno dei principali problemi connessi agli incendi di rifiuti è la produzione dei gas di combustione, questi dipendono: dalla tipologia di combustibile, dalla quantità di ossigeno e dalla temperatura di combustione. Generalmente, dalla combustione dei rifiuti si producono i cosiddetti macroinquinanti (si esprimono di solito in mg/Nm^3), quali, ad esempio, particolato, gas acidi, ossidi di azoto e gas incombusti (aldeidi, chetoni, monossido di carbonio, benzopirene ecc..) ed i cosiddetti microinquinanti (si esprimono di solito in $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$), quali ad esempio i metalli pesanti ed i composti organoclorurati.

A titolo esemplificativo, si riportano i valori delle sostanze inquinanti che sono stati rilevati dall'ARPA Lazio in seguito all'incendio di un deposito di rifiuti a Colferro, in provincia di Frosinone, in data 1 Febbraio 2020⁽¹⁸⁾; tali valori saranno affiancati dai rispettivi valori di soglia secondo la normativa nazionale di riferimento. Le sostanze inquinanti campionate sono: diossina e furani, policlorobifenili (PCB) espressi in termini di tossicità equivalente (TEQ) e benzopirene.

| Punto di prelievo | Data | Diossine e furani Conversione TEQ | PCB Totali | Benzopirene |
|----------------------|------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|
| | | fg/m^3 | pg/m^3 | ng/m^3 |
| Azienda "Gemafer" | 03.02.2020 | 33 | 1429 | 2,99 |

Tabella 2.2 Risultati analisi qualità dell'aria nell'area adiacente all'incendio (ARPA Lazio).

I valori riportati in tabella rappresentano valori pericolosi sia per la salute umana che per l'ambiente; ma mentre per le diossine e i furani e per i PCB non esistono valori limite stabiliti, per il Benzopirene la normativa italiana (DL155/10) ed europea (DIR 50/2008) stabilisce un valore limite per la concentrazione media annuale di $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ che risulta abbondantemente superato in tale caso.

Tutte queste sostanze sono per l'appunto sostanze inquinanti ovvero sostanze che alterano la composizione chimica dell'aria rendendola dannosa per l'uomo e per l'ambiente, di seguito saranno analizzati gli effetti degli incendi di rifiuti sia sulla vita umana che sull'ambiente.

2.3.1 Effetti sulla vita umana

Come accennato in precedenza gli effetti degli incendi di rifiuti sono da imputarsi ai prodotti della combustione, gas acidi, ossidi di azoto, gas incombusti e ai microinquinanti. Tra i gas incombusti uno particolarmente pericoloso è il monossido di carbonio. Il monossido di carbonio CO si forma in seguito ad una combustione che deficiata di ossigeno, come ad esempio un incendio in un capannone con poche aperture di aerazione; è un gas tossico che altera la composizione del sangue, ad una concentrazione dell'1.3% comporta perdita di coscienza e morte in poco tempo. Oltre al monossido di carbonio è verosimile la produzione di acido solfidrico, laddove siano presenti materiali contenenti zolfo come pelli e lane, tale sostanza a basse concentrazioni (10 ppm) può causare irritazione ad occhi e vie respiratorie ma ad elevate concentrazione (700 ppm) porta a morte certa. Un altro gas incombusto derivante da incendi di materiale tessile è l'acido cianidrico gas estremamente tossico e letale per l'uomo anche a bassa concentrazione, se invece il materiale che brucia è di tipo plastico può generare il fosgene, gas tossico i cui effetti pervengono solo 24-72 ore dopo l'esposizione, può causare emorragie interne ed insufficienza respiratoria. Altri composti che possono generarsi in caso di incendio sono gli ossidi di azoto anch'essi potenzialmente letali.

Per quanto riguarda invece i microinquinanti si dividono in: metalli pesanti di cui i più tossici sono il piombo, il cadmio e il mercurio e in microinquinanti organici come le diossine e i furani (PCCD/PCDF) i primi classificati dall'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) come "sicuramente cancerogeno per l'uomo", i secondi come "possibile cancerogeno per l'uomo". Infine, occorre citare il fumo di combustione, costituito da particelle solide trasportate dal flusso di gas, il suo effetto è quello di irritare le vie respiratorie prima che il calore possa raggiungere temperature insostenibili per l'organismo.

2.3.2 Effetti sull'ambiente

Gli effetti sull'ambiente legati ad un incendio di rifiuti invece sono causati dall'emissione di gas come l'anidride carbonica CO₂, il metano CH₄ e il protossido d'azoto N₂O.

Questi sono tutti e 3 "gas serra" ovvero quei gas che permangono a lungo nell'atmosfera e impediscono al calore del sole di disperdersi nello spazio, così facendo si innalza la temperatura media terrestre accelerando il cambiamento climatico e ciò, come è noto, genera uno squilibrio in tutto l'ecosistema che si manifesta sotto l'effetto di calamità naturali come alluvioni, siccità, tempeste ecc... oltre che ovviamente allo scioglimento dei ghiacciai e al pericoloso innalzamento del livello del mare.

Dunque, si può concludere che, seppur in minima parte, gli incendi negli impianti di gestione dei rifiuti, contribuiscono al riscaldamento globale.

2.4 Il ruolo della prevenzione incendi

L'attività svolta negli impianti di gestione dei rifiuti deve rispondere alla normativa sulla sicurezza nei luoghi di lavoro, nonché alle norme generali di prevenzione degli incendi, che impongono al datore di lavoro di valutare tutti i rischi connessi all'esercizio dell'impianto, adottando le conseguenti misure di prevenzione e protezione.

La prevenzione incendi ha un ruolo fondamentale in quanto diminuisce sia la probabilità di innesco di un eventuale incendio sia l'entità. La prevenzione incendi nei depositi dei rifiuti è regolamentata dal Codice di Prevenzione Incendi e dalla nuova regola tecnica in vigore dal 9 Novembre 2022 "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per gli stabilimenti ed impianti di stoccaggio e trattamento rifiuti". Il Codice reca disposizioni di carattere generale per le attività soggette, mentre la regola tecnica è specifica per gli impianti di deposito e trattamento dei rifiuti. Quest'ultima detta disposizioni per quanto riguarda:

- Reazione al fuoco;
- Resistenza al fuoco;
- Compartimentazione;
- Gestione della sicurezza antincendio;
- Controllo dell'incendio;
- Rivelazione ed allarme;
- Operatività antincendio;
- Sicurezza degli impianti tecnologici.

Ognuno dei punti appena elencati rappresenta un capitolo della norma, in particolare, nel capitolo relativo alla gestione della sicurezza antincendio vengono fornite delle modalità di stoccaggio che permettano di diminuire i fenomeni (se pur molto rari) di autocombustione andando a limitare la probabilità di innesco; a supporto di quanto detto si riporta un estratto della norma: "I rifiuti devono essere stoccati per categorie omogenee e comunque tenendo conto della compatibilità tra di essi. Sono fatte salve le operazioni di accorpamento, raggruppamento e miscelazione consentite ed autorizzate nel rispetto delle disposizioni vigenti"⁽¹⁹⁾; Gli altri capitoli invece sono maggiormente incentrati sul limitare la propagazione dell'incendio e dunque sull'entità del fenomeno più che sulla probabilità di accadimento. Nel capitolo della compartimentazione, per esempio, vengono fornite le distanze da rispettare sia rispettivamente tra i cumuli di rifiuti (Tabella 2.2) e sia tra i cumuli e le opere da costruzione.

| Lunghezza del cumulo [m] | Distanza di separazione tra stoccaggi [m] | |
|--------------------------|---|-------------------|
| | Rifiuti sciolti | Rifiuti imballati |
| 5 | 5 | 9 |
| 10 | 7 | 13 |
| 15 | 9 | 15 |
| 20 | 10 | 17 |
| 30 | 11 | 20 |
| 50 | 12 | 23 |

Tabella 2.3 Distanze di separazioni tra cumuli per il livello II della compartimentazione (S.3) con Rvita A1 o A2 (D.M. 26/07/2022, Allegato 1)

Molto importante per contrastare l'incendio nei depositi dei rifiuti è anche il capitolo legato al controllo dell'incendio, nel quale viene sia specificato il livello di prestazione da ottenere in relazione al carico d'incendio e in base all'area dell'attività e sia i requisiti progettuali della rete idranti (Tabella 2.3).

| Carico di incendio | Livello di pericolosità | Protezione esterna | Caratteristiche alimentazione idrica (UNI EN 12845) |
|---|-------------------------|--------------------|---|
| $q_f < 1200 \text{ MJ/m}^2$ | 2 | Non richiesta | Singola superiore |
| $q_f \geq 1200 \text{ MJ/m}^2$ | 3 | Si [1] | Singola superiore |
| [1] Se l'attività è protetta da una rete idranti all'aperto, la protezione esterna non è richiesta. | | | |

Tabella 2.4 Requisiti progettuali per la rete idranti in conformità alla UNI 10779 e UNI EN 12845 (D.M. 26/07/2022, Allegato 1)

Per comprendere meglio la Tabella 2.2 si consideri che, se l'attività ricade nel livello di pericolosità 3, l'impianto idrico dovrà essere in grado di fornire acqua ad almeno 6 idranti a colonna soprassuolo contemporaneamente ad almeno 4 bar di pressione ad una portata non inferiore a 300 l/min per almeno 120 minuti. Adesso risulta più facile capire quanto sia oneroso ottenere un tale impianto, ma allo stesso tempo quanto possa fare la differenza in caso di incendio; infatti, un'attività di deposito di rifiuti conforme dal punto di vista antincendio e in generale alla legislazione vigente è un'attività in cui qualora scoppiasse un incendio l'intervento delle squadre di soccorso sarebbe molto più agevolato rispetto ad una non conforme. Un esempio di quanto appena detto è quello di cui al §2.1.2.3 riguardante l'incendio nel deposito di rifiuti a Pomezia, in cui l'intervento dei Vigili del Fuoco è stato molto complesso a causa del fatto che l'attività non avesse un impianto antincendio adeguato; ma questo è solo uno dei tantissimi casi, se infatti ancora oggi gli incendi nei depositi di rifiuti sono così numerosi e così catastrofici, è perché le norme di prevenzione incendi sono ritenute troppo onerose per essere attuate.

Dunque, si può concludere che la prevenzione incendi potenzialmente potrebbe svolgere un ruolo da protagonista nel contrastare gli incendi di rifiuti, ma troppo poco spesso viene presa in considerazione.

2.5 Conclusioni

In conclusione, si è visto, dai dati degli annuari del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, come il fenomeno degli incendi negli impianti di gestione dei rifiuti è tutt'altro che in declino principalmente a causa degli interessi economici che prevalgono su quelli legati alla sicurezza antincendio con conseguenze disastrose sulla salute e sull'ambiente. In questo capitolo si è visto come il contesto in cui operano le aziende che trattano i rifiuti sia un contesto in cui l'illegalità la fa da padrona e in cui anche la criminalità organizzata ha trovato terreno fertile per i propri loschi scopi.

In una situazione così complessa e drammatica la prevenzione incendi rappresenterebbe un aiuto molto importante per ridimensionare il fenomeno dei roghi di rifiuti se non fosse che molto spesso

non viene considerata. Va inoltre detto che, se da una parte è vero che un impianto antincendio adeguato limita fortemente le conseguenze negative di un incendio, dall'altra poco può fare per limitare il numero degli eventi dato che la maggior parte di questi sono di origine dolosa. In quest'ottica anche in seguito all'entrata in vigore della regola tecnica sugli impianti di deposito e trattamento di rifiuti, non ci si aspetta grandi risultati in termini di diminuzione del numero degli eventi.

In ogni caso per poter dare un giudizio attendibile circa l'utilità o meno della regola tecnica in questione bisognerà aspettare la pubblicazione degli annuari statistici dei Vigili del Fuoco relativi all'anno 2023 poiché la regola tecnica verticale è entrata in vigore a fine 2022.

Capitolo 3

Plastica e rifiuti plastici

I rifiuti plastici sono tra le tipologie più comuni di rifiuti, per questo è fondamentale che le operazioni di trattamento di tali rifiuti siano il più efficienti possibili. Queste operazioni permettono di trasformare il rifiuto in materia prima riutilizzabile evitando la creazione di tutte le emissioni di carbonio legate alla creazione di nuova plastica. I rifiuti plastici sono però anche una tipologia di rifiuto facilmente infiammabile, dunque, il deposito e il trattamento degli stessi nasconde non pochi pericoli.

In questo capitolo verrà fatta un'iniziale trattazione generale sui materiali plastici, verranno analizzate le loro caratteristiche chimico-fisiche, il loro comportamento in caso d'incendio e infine verrà trattata la gestione dei rifiuti derivanti da questi materiali spiegando come avviene il trattamento e la trasformazione da rifiuto a risorsa e come questo impatti sull'ambiente.

3.1 Descrizione generale

La parola plastica deriva dal greco antico “πλαστικός” che tradotto significa “in grado di essere modellato”. Il materiale plastico è un polimero creato dall'uomo, ovvero una macromolecola caratterizzata dalla sequenza di atomi o insieme di atomi detti monomeri. La IUPAC (Unione internazionale di chimica pura e applicata), definisce le materie plastiche come "*materiali polimerici che possono contenere altre sostanze finalizzate a migliorarne le proprietà o ridurre i costi*"⁽²⁰⁾. Inizialmente doveva essere un semplice surrogato dei materiali naturali, ma poi hanno invaso ogni angolo del pianeta, se a questo si aggiunge il fatto che la plastica è considerata, nonostante la sua durabilità, un materiale usa e getta si capisce come mai la quantità di plastica prodotta dall'uomo abbia raggiunto le 350 milioni di tonnellate nel 2022⁽²¹⁾.

Ci sono diversi tipi di plastiche che differiscono per destinazione d'uso e aspetto esteriore, ma hanno alcune caratteristiche in comune:

- Leggerezza;
- Lavabilità;
- Economicità;
- Malleabilità;
- Riproducibilità;
- Resistenza alla corrosione;
- Capacità di conservazione dei cibi.

I principali tipi di plastiche sono: il polietilene (PE), usato per la produzione di sacchetti, cassette, nastri adesivi, bottiglie, tubi, giocatoli, ecc... Il polipropilene (PP) usato principalmente per oggetti di arredamento, contenitori per alimenti e flaconi per detersivi. Il cloruro di polivinile (PVC) usato nella maggior parte dei casi per la produzione di materiale ad uso edilizio. Il polietilentereftalato (PET) usato per la creazione di bottigliette di plastica ma anche per la produzione di materiale sintetico. Il polistirene (PS) usato per imballaggi, piatti e posate.

Bisogna specificare che però non tutta la plastica è riciclabile ma soltanto i prodotti che hanno riportato sulla confezione “PE”, “PET” e “PVC”, contenitori con tracce di sostanze pericolose o con tracce di rifiuti organici, elettrodomestici, articoli per l’edilizia, ecc...

3.2 Caratteristiche chimico-fisiche dei materiali plastici

Dal punto di vista chimico le materie plastiche sono resine sintetiche, ovvero ottenute attraverso la sintesi di sostanze come: ossigeno, carbonio, azoto, ecc... le quali possono essere ricavate da aria, acqua, carbone, petrolio ecc...

Le caratteristiche chimico-fisiche della plastica sono di seguito elencate:

- Composizione chimica: sostanza organica macromolecolare;
- Peso molecolare: elevato;
- Peso specifico: 0,9-2,2 g/cm³;
- Isolante termico;
- Isolante elettrico.

Tra queste caratteristiche quella che vale la pena approfondire è la capacità della plastica di isolare sia termicamente sia elettricamente.

3.2.1 Plastica come isolante termico

Dal punto di vista termico, dunque, la plastica è un materiale isolante, ovvero in grado di limitare la trasmissione del calore grazie alla bassa conducibilità termica. L’utilizzo dei materiali plastici come isolante si riscontra in molti ambiti: da quello domestico, si pensi ad esempio ai rivestimenti dei manici delle padelle, a quello edilizio, si pensi ad esempio all’uso del polistirene espanso sinterizzato EPS (Figura 3.1).

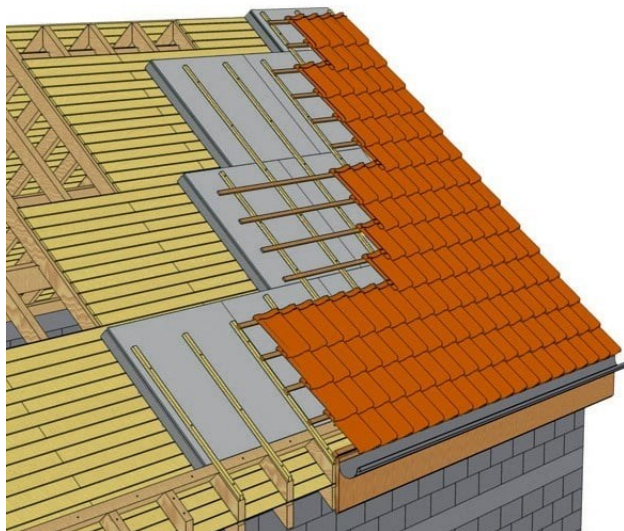


Figura 3.1 Applicazione dell'EPS come isolante termico in copertura

In campo edilizio i materiali plastici usati come isolanti rappresentano un'ottima soluzione data la loro efficienza termica unita alla maggiore leggerezza e minore costo di altri materiali isolanti. Inoltre ci sono anche fattori ambientali e di sicurezza che spiegano come mai sempre più spesso la scelta dell'isolante, in campo edilizio, ricada su un materiale plastico.

Per quanto concerne i vantaggi ambientali questi sono legati al fatto che:

- Essendo più leggeri di molti altri isolanti, il carburante necessario per il trasporto sarà minore;
- Modesta quantità di petrolio per essere prodotti;
- Sono riciclabili.

Per quanto concerne invece gli aspetti legati alla sicurezza, coibentare un edificio con materiali plastici permette di avere un isolamento atossico e con una reazione al fuoco conforme alla normativa vigente.

A dimostrazione di quanto detto si riporta un'immagine in cui vengono messi a confronto due scatti ottenuti mediante una fotocamera termica uno relativo ad un edificio non isolato e l'altro isolato con materiali plastici (Figura 3.2).

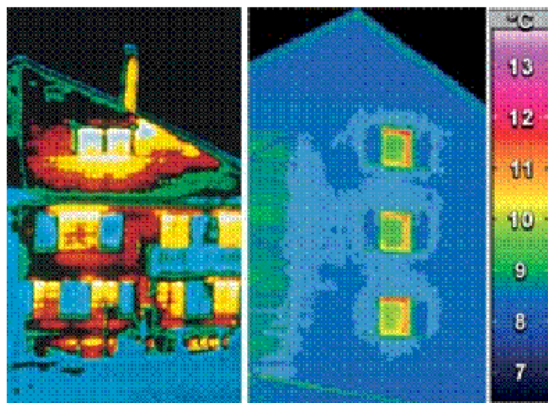


Figura 3.2 Confronto tra un edificio non isolato e uno isolato con materiali plastici (Fonte Federchimica)
Come è evidente, l'edificio isolato disperde molto meno calore, e di conseguenza è più efficiente dal punto di vista termico.

3.2.2 Plastica come isolante elettrico

Un isolante elettrico è un materiale che ha la capacità di trattenere la carica elettrica impedendo il passaggio della corrente; gli isolanti elettrici più comuni sono: gomma, ceramica, vetro e plastica. Per capire il principio chimico-fisico alla base del funzionamento degli isolanti, vale la pena descrivere come si genera la corrente elettrica. La corrente elettrica si genera dallo spostamento di elettroni all'interno di un materiale conduttore, il movimento è causato da una differenza di potenziale generata ai capi del conduttore; per poter trattare con chiarezza l'argomento risulta necessario partire dalla struttura dell'atomo. Un atomo è composto da un nucleo composto a sua volta da protoni e neutroni e da elettroni (particelle cariche elettricamente) che ruotano intorno al nucleo (Figura 3.3).

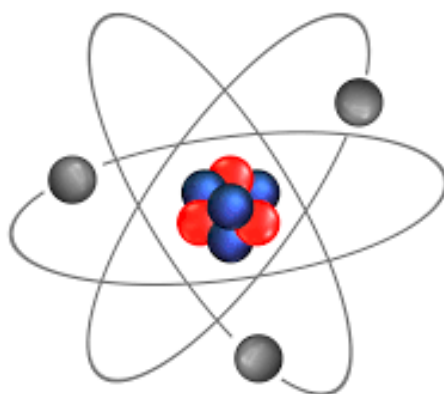


Figura 3.3 *Struttura atomica schematizzata*

Nei materiali conduttori gli elettroni sono legati in maniera “debole” al nucleo, e questo fa sì che un elettrone dell'ultimo orbitale di un atomo possa ruotare contemporaneamente intorno al suo nucleo e intorno a quello del nucleo vicino, questo “svincola” un elettrone dell'atomo vicino che dunque è libero di muoversi, moltiplicando quanto appena detto per più atomi si ha un flusso di elettroni che costituisce proprio la corrente elettrica.

Nei materiali isolanti invece accade che gli elettroni dell'ultimo orbitale sono fortemente legati al nucleo dell'atomo e dunque il fenomeno precedentemente descritto non si verifica, tranne in casi estremi in cui la differenza di potenziale è talmente elevata da “rompere” gli atomi dell'isolante e annullare l'isolamento.

Per quanto riguarda l'uso della plastica come materiale isolante una delle principali applicazioni riguarda il rivestimento degli utensili usati dagli elettricisti, tale isolamento generalmente è dimensionato per impedire il passaggio di corrente ad un voltaggio massimo di 1000 Volt in corrente alternata (bassa tensione).

3.3 Comportamento al fuoco dei materiali plastici

Dopo aver trattato sia in generale che nel dettaglio le caratteristiche principali dei materiali plastici ai fini della presente relazione risulta necessario studiare la combustione di questi materiali, analizzando la reazione al fuoco, la propagazione dell'incendio e la produzione di fumi.

3.3.1 La Reazione al Fuoco

Con il termine reazione si indica la capacità che un materiale ha di contribuire ad un incendio, è una caratteristica propria di ogni materiale ed ha un ruolo di grande rilevanza nel campo della prevenzione incendi, proprio per questo, prima di trattare nello specifico la reazione al fuoco dei materiali plastici, vale la pena soffermarsi sul quadro normativo di riferimento.

3.3.1.1 Quadro normativo di riferimento

Il Codice di Prevenzione Incendi al capitolo G.1 “*Termini, definizioni e simboli grafici*” definisce la reazione fuoco come segue: “*una delle misure antincendio di protezione da perseguire per garantire un adeguato livello di sicurezza in condizione di incendio ed in particolare nella fase di prima propagazione dell’incendio (pre-flashover). Essa esprime il comportamento di un materiale che, con la sua decomposizione, partecipa al fuoco al quale è stato sottoposto in specifiche condizioni*”. Nel Codice, infatti, la Reazione al Fuoco rappresenta una delle misure antincendio da perseguire e un intero capitolo, il Capitolo S.1, è dedicato appunto ad essa.

La reazione al fuoco non è una caratteristica intrinseca del materiale, ma varia a seconda dell’impegno e di come questo venga posato.

In Italia il primo Decreto che si è interessato della reazione al fuoco è stato il DM 26/06/1984 “*Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi*” esso ha stabilito criteri e procedure per la classificazione dei materiali in base alla loro reazione al fuoco e le varie procedure di omologazione di un prodotto ai fini della prevenzione incendi.

Le norme italiane che si occupano della classificazione dei materiali in base alle loro caratteristiche di reazione al fuoco sono la UNI 9177 che si occupa di prodotti a livello generale e poi la UNI 9175 che invece si occupa di prodotti imbottiti e definisce tre classi 1IM, 2IM e 3IM in ordine crescente di reazione al fuoco. La classificazione della UNI 9177 è mostrata nella Tabella 3.1.

| Classe Italiana | Definizione |
|-----------------|---|
| 0 | Materiali incombustibili |
| 1 | Materiali combustibili non infiammabili |
| 2 | Materiali combustibili difficilmente infiammabili |
| 3 | Materiali combustibili infiammabili |
| 4 | Materiali combustibili facilmente infiammabili |
| 5 | Materiali combustibili estremamente infiammabili |

Tabella 3.1 *Classificazione prodotti in base alla reazione al fuoco secondo la UNI 9175*

Tuttavia, il 14 Ottobre 2022 è stato pubblicato dal Ministero dell’interno un decreto che di fatto abroga la classificazione italiana lasciando valida solo quella europea. La norma europea che si occupa di suddetta classificazione è la norma EN 13501-1. La classificazione europea è senz’altro

più dettagliata di quella italiana, infatti, ad una classe di reazione italiana corrispondono più classi europee, di seguito si riporta la tabella che riassume questa classificazione.

| CLASSIFICAZIONE | | CLASSIFICAZIONE ADDIZIONALE | | | CLASSIFICAZIONE ADDIZIONALE | | | | |
|-----------------|--|-----------------------------|----------------------------|---|-----------------------------|-------------------------|---|----------------------|-----------------------|
| A1 | Il materiale non è combustibile | Non necessaria | | | Non necessaria | | | | |
| A2 | Il materiale non contribuisce in maniera significativa alla propagazione dell'incendio | S | Classe di opacità dei fumi | 1 | d | Classe di gocciolamento | 0 | Nessun gocciolamento | |
| B | Il materiale è debolmente combustibile | | | 2 | | | 1 | Lento gocciolamento | |
| C | Il materiale è combustibile | | | 3 | | | 2 | 2 | Elevato gocciolamento |
| D | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | |
| F | Non classificato | | | | | | | | |

Tabella 3.2 *Classificazione prodotti in base alla reazione al fuoco secondo la EN 13501-1*

Si specifica che non esistono materiali plastici incombustibili, dunque, non esistono materiali plastici aventi classe di reazione al fuoco A1 (0 secondo la classificazione italiana).

3.3.1.2 Reazione al fuoco dei materiali plastici

La plastica è un polimero organico e di conseguenza è combustibile; in Italia, generalmente, per quanto riguarda la reazione al fuoco si richiede che il prodotto sia almeno Bs1-d0 ovvero un prodotto debolmente combustibile che dà origine a una scarsa quantità di fumi e non soggetto a sgocciolamento durante la combustione.

I polimeri plastici se sono esposti ad una sorgente di calore di sufficiente entità iniziano prima a degradarsi e poi si decompongono, dando origine a gas infiammabili che si miscelano con l'aria circostante a questo se la temperatura è sufficientemente elevata, questo mix di gas infiammabili e ossigeno viene innescato dando origine alla combustione.

Per maggiore chiarezza risulta utile mostrare le temperature alle quali alcuni polimeri plastici si decompongono e si innescano (Tabella 3.3), a tal proposito definiamo come “Temperatura di Fiamma” o “Flash Point” la temperatura minima alla quale il materiale inizia a decomporre producendo gas infiammabili (tale fenomeno è detto pirolisi) e come “Temperatura di autoignizione” la temperatura minima alla quale il materiale inizia a bruciare senza bisogno di un innesco specifico.

| Polimero | Temperatura di fiamma [C°] | Temperatura di autoignizione [C°] |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Polietilene (PE) | 341 | 445 |
| Polivinilcloruro (PVC) | 390 | 455 |
| Polistirolo (PS) | 350 | 490 |
| Polietilentereftalato (PET) | 350 | 454 |

Tabella 3.3 *Temperatura di fiamma e di autoignizione di alcuni polimeri plastici*

Il processo che porta i materiali plastici alla combustione può essere riassunto in tre fasi:

- Fase iniziale di riscaldamento;
- Fase di decomposizione termica (pirolisi);
- Innesco.

Nella prima fase la plastica, sottoposta ad una sorgente termica, subisce un cambiamento di stato e passa da solido a liquido, con conseguenti cambiamenti chimici. Questa prima fase da origine ad una reazione a catena che porta alla disgregazione del materiale, il quale decomponendosi produce idrocarburi infiammabili in fase gassosa che si mescolano con l'aria circostante e se innescati danno origine alla reazione endotermica della combustione.

Nella trattazione della reazione al fuoco dei materiali plastici, però, deve essere considerato anche l'effetto dei cosiddetti ritardanti di fiamma; i ritardanti di fiamma sono composti chimici aggiunti ai prodotti plastici il cui obiettivo è quello di rendere più difficoltoso l'innescò e/o di limitare la propagazione della fiamma.

I ritardanti di fiamma agiscono mediante una delle seguenti modalità:

- Portando il calore sviluppato dalla combustione al di sotto del livello necessario per far sì che l'incendio si autosostenga;
- Modificando il processo di pirolisi e facendo in modo che la quantità di gas infiammabili prodotta diminuisca in favore di uno sfrido carbonioso meno infiammabile, più stabile e che funge da barriera tra la fiamma e il polimero;
- Isolando la fiamma dal rifornimento di ossigeno;
- Rilasciando atomi di bromo e cloro quando il polimero raggiunge la temperatura di fiamma che reagendo con i radicali liberi rilasciati dal materiale ne ostacolano l'innescò. Questo porta a ridurre il flusso di calore di ritorno dovuto dall'effetto radiante della fiamma cercando di evitare fenomeni di pirolisi;
- Attraverso l'aggiunta di dissipatori di calore come l'idrossido di alluminio $Al(OH)_2$ e l'idrossido magnesio $Mg(OH)_2$. Questi composti inorganici, quando si decompongono endotermicamente raffreddano il polimero e rilasciano vapore acqueo che diminuisce la concentrazione di ossigeno ostacolando la combustione.

Infine, si sottolinea che questi composti chimici ritardanti, se da un lato prevengono gli incendi o comunque ne limitano gli effetti catastrofici, dall'altro hanno un grande impatto sull'ambiente come si vedrà al §3.3.2.

3.3.2 Propagazione della fiamma e produzione di fumi nei materiali plastici

Dopo aver trattato la reazione al fuoco, si vuole ora analizzare la fase di propagazione della fiamma e di produzione dei fumi dei materiali plastici, a tal fine si partirà dalla descrizione del ciclo di combustione.

Il ciclo di combustione dei polimeri plastici, schematizzato in figura 3.4, consiste in una combustione che si autoalimenta, questo accade poiché la fiamma, una volta innescata, sviluppa un calore di ritorno che agisce sul materiale, a questo punto se questo calore è sufficiente per fare in modo che la velocità di decomposizione del polimero garantisca una concentrazione dei prodotti volatili combustibili che rientri nei limiti di infiammabilità considerati, allora il ciclo di combustione si autosostiene.

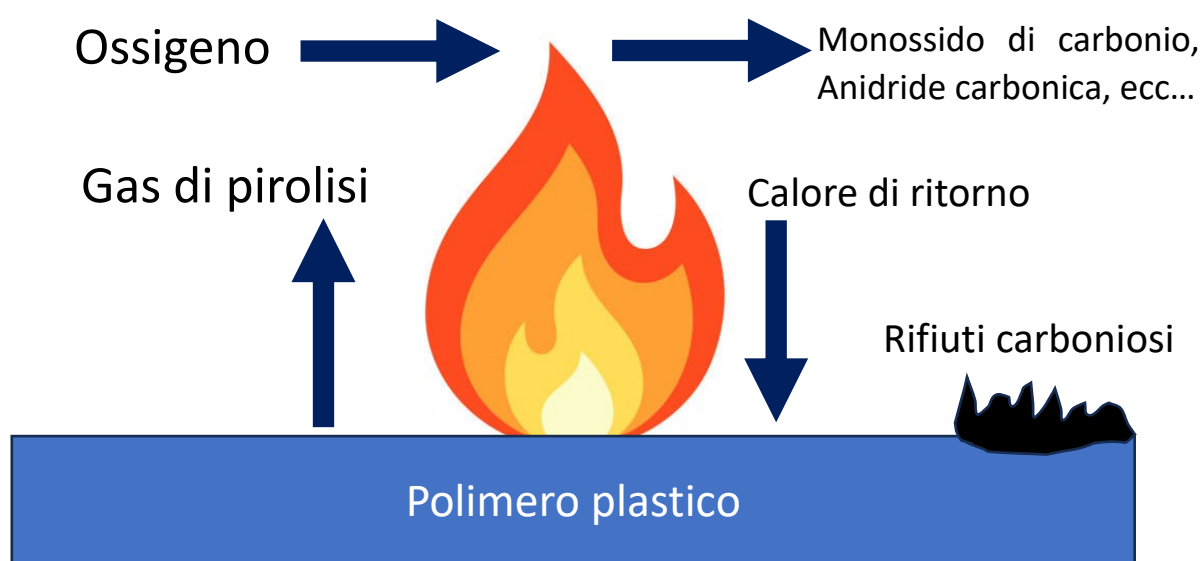


Figura 3.4 *Ciclo di combustione di un polimero*

Nel caso di Figura 3.4 il processo di combustione sostiene il fenomeno della pirolisi, per far sì che la fiamma si propaghi, la combustione deve fare in modo che aumenti la velocità di pirolisi, così sempre più combustibile sarà messo a disposizione della fiamma che inevitabilmente tenderà ad espandersi. Uno dei fattori che maggiormente influenza la propagazione della fiamma è il calore di combustione che è un parametro proprio di ogni materiale. Il calore di combustione rappresenta il massimo calore che un materiale è in grado di sviluppare in una reazione di combustione e si esprime in kJ/kg dunque risulta immediata l'associazione con la propagazione di fiamma in quanto maggiore calore si sviluppa e più è probabile che la fiamma si propaghi, si può dunque affermare che materiali con elevato calore di combustione abbiano più probabilità di dare origine ad incendi di grande entità a parità di infiammabilità del materiale; è importante fare questa specificazione in quanto non è detta che se un materiale abbia un altro calore di combustione allora sia facilmente infiammabile o viceversa ad esempio il cotone ha un basso calore di combustione (17,0 kJ/kg), ma è estremamente infiammabile. Tornando a parlare di materiali plastici, questi generalmente hanno un elevato calore di combustione, di seguito nella Tabella 3.4 si riportano i valori di alcuni di loro.

| Polimero | Calore di combustione [MJ/kg] |
|------------------------|--------------------------------------|
| Polietilene (PE) | 46,0 |
| Polivinilcloruro (PVC) | 20,0 |
| Polistirolo (PS) | 42,0 |
| Polipropilene (PP) | 42,7 |

Tabella 3.4 *Calore di combustione di alcuni materiali plastici*

Per quanto riguarda la fase di produzione di fumi, il fumo che si origina a partire da un incendio di materiali plastici è il risultato di una combustione incompleta causata da una scarsa miscelazione tra combustibile e comburente. In generale si può affermare che i polimeri contenenti ossigeno hanno minore capacità di produrre fumi così come anche quelli che tendono a carbonizzare con molta facilità; inoltre così come è possibile aggiungere degli additivi o effettuare specifiche lavorazioni superficiali per limitare la produzione di fumi di un polimero.

In ogni caso la capacità di un polimero di produrre fumi deve essere considerata attentamente in quanto il fumo, oltre a generare problematiche alle vie respiratorie, ostacola l'esodo ed essendo corrosivo può danneggiare alcune apparecchiature, inoltre per un'analisi completa è necessario considerare anche la presenza di eventuali additivi ritardanti presenti nel materiale che brucia. Infatti, se questi additivi prendono parte alla combustione si originano sostanze inquinanti come diossine e furani che sono tossiche sia per l'uomo che per l'ambiente.

3.4 Gestione dei rifiuti plastici

Per gestione di rifiuti si intende tutte le operazioni messe in atto per smaltire o riciclare i rifiuti.

La gestione dei rifiuti plastici, o comunque la gestione dei rifiuti in generale, rappresenta un'attività di vitale importanza in una società consumistica come quella odierna.

È infatti cosa nota che in Europa si stiano producendo più rifiuti di quelli che si riescono a smaltire (come visto al §2.2.3) per questo è importante che più rifiuti possibili siano convertiti in risorse, e questo è possibile solo attraverso un'efficace gestione dei rifiuti.

3.4.1 Considerazioni generali

Per quanto riguarda i prodotti plastici questi hanno un elevato impatto sull'ambiente, infatti, attraverso un "LCA" ("*Life Cycle Assessment*" tipo di valutazione che prende in considerazione tutto il ciclo di vita del prodotto), si può vedere come questi impattino sull'ambiente in ogni fase della loro vita, dalla loro creazione al loro smaltimento. Per quanto riguarda la creazione ci sono due fattori che impattano sull'ambiente: il consumo di risorse come petrolio e metano necessario per il processo di genesi della plastica e le emissioni di anidride carbonica emessa sia nel processo di approvvigionamento delle risorse appena citate sia nel processo di produzione della plastica.

Per quanto riguarda invece lo smaltimento il problema principale sta nel fatto che la plastica non è biodegradabile e può permanere nell'ambiente anche per centinaia di anni con tutto ciò che ne consegue: inquinamento degli oceani, dispersione in acqua di microplastiche, inquinamento del terreno, morte di animali. La gestione dei rifiuti plastici interviene proprio per diminuire l'impatto ambientale del prodotto nella sua ultima fase del ciclo vita trasformando il rifiuto in materia prima riutilizzabile, evitando di doverne produrre una "vergine", se questo non fosse possibile un'efficace gestione dei rifiuti dovrebbe comunque consentire uno smaltimento sicuro del rifiuto.

Il rifiuto una volta riconvertito in materia riutilizzabile e reinseribile nel mercato viene classificato come "*End of Waste*" (EoW) proprio per indicare il fatto che non è più catalogabile come rifiuto.

Quanto appena detto è perfettamente coerente con le più recenti politiche europee che mirano allo sviluppo di un'economia circolare.

La plastica è dunque un materiale riciclabile, ma in Italia non tutti i rifiuti plastici vengono riciclati, una parte è destinata agli inceneritori, una parte viene smaltita in discarica ed un'altra ancora viene avviata alle operazioni di riciclaggio; di quest'ultima parte però solo il 60%⁽²²⁾ viene effettivamente riciclato in quanto la restante parte è costituita da rifiuti composti da diverse varietà di polimeri e non sono dunque "plastica pura".

Di seguito, verrà trattata nello specifico l'attività di trattamento della plastica volta alla conversione in materia prima riutilizzabile.

3.4.2 *Trattamento dei rifiuti plastici*

Il trattamento dei rifiuti plastici è un processo che comprende le seguenti fasi:

- Smistamento dei rifiuti per dimensione;
- Smistamento dei rifiuti per tipologia di plastica;
- Smistamento per tipologia di prodotto.
- Lavaggio dei rifiuti;
- Triturazione dei rifiuti selezionati;
- Smistamento per colore;
- Ottenimento di materiale plastico riciclato sottoforma di pellet.

Innanzitutto, i rifiuti vengono divisi in base alle loro dimensioni, questo iniziale smistamento viene fatto con l'ausilio di un macchinario, un filtro rotante con maglie di diversa grandezza che, grazie alla forza centrifuga, indirizza i prodotti verso una di queste maglie dividendoli. Questa divisione risulterà poi fondamentale per la fase di triturazione.

In seguito si ha la divisione per tipologia di plastica, PVC, PP, PET, ecc... in questa fase una macchina dotata di uno scanner, individua la tipologia di rifiuto e generalmente attraverso un getto di aria compressa la indirizza nel percorso indicato. A questo punto vengono impacchettati e inviati agli impianti di trasformazione del rifiuto plastico in nuova materia prima, qua vengono nuovamente divisi, questa volta per tipologia di prodotto, poiché diversi prodotti, se pur fatti con la stessa tipologia di plastica possono contenere additivi diversi. Fatta quest'ultima divisione i rifiuti vengono lavati e tritati in apposite macchine trituratrici così da ottenere i così detti "*Flakes*" ovvero una sorta di coriandoli di plastica. Infine, tali coriandoli vengono divisi per colore, riscaldati e trasformati in nuova materia prima sotto forma di pellet.

3.5 Conclusioni

In questo Capitolo si è scelto di dare risalto ai materiali plastici e ai rifiuti che da essi ne conseguono. In particolare, sono state mostrate le straordinarie proprietà della plastica sia dal punto di vista meccanico che tecnologico che spiega come mai sia un materiale usato per una vasta gamma di applicazioni. Tuttavia, si è mostrato anche l'altro lato della medaglia, infatti i polimeri plastici sono polimeri combustibili che sviluppano un calore di combustione piuttosto elevato e che quindi costituiscono un aggravio del rischio di incendio, tale aggravio sarà preso in considerazione al § 4.2.1. Infine, si è scelto di trattare il tema del riciclaggio della plastica e di quanto questo sia importante per diminuire l'impatto dell'uomo sull'ambiente.

In conclusione, si può affermare che la plastica è un materiale di cui l'uomo non riesce ancora a fare a meno, dunque, è necessario che gli effetti negativi che questo materiale presenta siano mitigati il più possibile. Per fare ciò dal punto di vista ambientale si dovrà puntare sul miglioramento della raccolta differenziata e sull'efficientamento del riciclaggio in quanto una grande quantità di rifiuti plastici vengono ancora oggi smaltiti invece che essere convertiti in materia prima di "seconda mano".

Dal punto di vista della prevenzione incendi invece si potrebbe iniziare con il riconoscere all'unanimità che la presenza di plastica in grande quantità rappresenta sempre un aggravio del rischio incendio così da attuare specifiche misure compensative. Attualmente invece non si ha una norma che prescrive delle misure apposite in caso di presenza di polimeri plastici; pertanto la responsabilità ricade sul Professionista Antincendio il quale decide in base ad una propria valutazione del rischio.

Capitolo 4

Analisi del caso studio

In questo capitolo sarà descritto e analizzato il caso studio preso in esame, una ditta di trattamento di rifiuti plastici. In particolare, ci si concentrerà su uno solo dei 3 capannoni costituenti la ditta, il più critico; tale capannone sarà descritto dal punto di vista geometrico e funzionale e saranno riportate le misure necessarie per renderlo conforme dal punto di vista antincendio secondo la normativa vigente.

Tuttavia, l'aspetto di maggior rilevanza sarà quello legato al controllo dei fumi e del calore, in quanto l'obiettivo della presente Tesi è quello di mostrare vari scenari d'incendio, ognuno con una diversa soluzione adottata, metterli a confronto e analizzarne le differenze.

La modellazione degli scenari d'incendio sarà svolta con l'ausilio della “*Fire Safety Engineering*” (FSE), ovvero attraverso l'uso di un software in grado di simulare un incendio.

4.1 FSE – Fire Safety Engineering

Nella sezione M-Metodi del Codice al Capitolo M.1 “*Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio*” viene definita e spiegata l'ingegneria della sicurezza antincendio che altro non è se non la traduzione italiana del termine “*Fire Safety Engineering*” (FSE). L'FSE è dunque definita come segue: “*Applicazione di principi ingegneristici, di regole e di giudizi esperti basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano, finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione dei rischi di incendio e dei relativi effetti ed alla valutazione analitica delle misure antincendio ottimali, necessarie a limitare entro livelli prestabiliti le conseguenze dell'incendio*”.

L'FSE è caratterizzata da un approccio “*performance based*” ovvero basato sulle performance, questo approccio è detto approccio prestazionale che si differenzia da quello che ha caratterizzato la prevenzione incendi ante-Codice che invece era un approccio di tipo prescrittivo. L'approccio prescrittivo è un approccio in cui la valutazione del rischio incendio è già stata fatta dal legislatore dunque al professionista antincendio non resta che applicare ciò che prevede la normativa di riferimento, invece l'approccio prestazionale è basato sullo studio quantitativo del comportamento di un edificio in caso di incendio valutandone le prestazioni (temperatura, visibilità, strato libero dai fumi, ecc...) e il raggiungimento dei livelli minimi di prestazione attraverso l'attuazione di soluzioni alternative.

Per quanto riguarda lo studio del caso in esame l'analisi del comportamento del capannone in caso d'incendio sarà eseguita attraverso la modellazione di scenari d'incendio effettuata con il software “*PyroSim*” i dettagli della modellazione saranno descritti nel prossimo capitolo.

4.2 Descrizione generale dell'azienda

L'azienda in questione è una società che si occupa di riciclo e recupero di rifiuti plastici con sede in provincia di Vicenza, tale attività di recupero si svolge parzialmente all'interno di 3 capannoni e parzialmente su piazzale aperto, ai fini della presente Tesi si prenderà in considerazione soltanto l'edificio 2 ovvero quello adibito alle attività di riciclo in quanto il più critico dal punto di vista del rischio incendio; gli altri due edifici e il piazzale esterno sono prevalentemente usati come deposito di plastica EoW stoccata in big-bags da 1.000 kg cad. (Figura 4.1).



Figura 4.1 Big-bags stoccate sul piazzale esterno (Google Earth street view)

L'attività è situata in zona industriale facilmente raggiungibile e comunica con strada pubblica a doppia corsia con ampio spazio di manovra, per ulteriore chiarezza circa il contesto ambientale nel quale sorge l'attività si riporta la foto aerea dello stabile (Figura 4.2).



Figura 4.2 Immagine aerea del contesto ambientale in cui sorge lo stabile (Google Earth)

L'edificio 1 (quello a destra) è adibito ad attività di uffici e stoccaggio di plastica riciclata l'edificio 2 (quello al centro) è adibito alle attività di trattamento di rifiuti e di stoccaggio e infine l'edificio 3 è occupato solo per metà ed è adibito ad attività di officina meccanica, l'altra metà dell'edificio 3 è di competenza di un'altra ditta, le due parti sono strutturalmente e funzionalmente separate. Per maggiore chiarezza si riporta la tabella con le superfici dei 3 edifici e del piazzale esterno (Tabella 4.1).

| Nome | Superficie (m ²) | Quota (m) |
|--|------------------------------|-----------|
| Edificio 1 | 1370 | 0.00 |
| Edificio 2 | 1456 | 0.00 |
| Edificio 3 | 600 | 0.00 |
| Piazzali esterni | 4100 | 0.00 |
| Totale superficie dell'impianto | 7470 | - |

Tabella 4.1 Superfici degli ambiti che compongono l'attività

Come detto in precedenza ci si concentrerà sull'edificio 2 in quanto questo è l'edificio più critico non che anche l'unico in cui vengono depositati i rifiuti pronti per essere trattati. Le attività di lavoro consistono in un'iniziale attività di scarico dei rifiuti plastici in cui un camion pieno di rifiuti deposita tutto il carico nel capannone, mentre un operaio con il muletto li compatta e li dispone all'interno dello stesso, e dalla fase di trattamento vera e propria nella quale i rifiuti vengono caricati su un nastro trasportatore che li conduce all'interno di un tritatore alimentato da un gruppo elettrogeno posto esternamente. I rifiuti in uscita dal tritatore vengono poi trattati come spiegato al §3.4.2 e trasformati in Plastica EoW sottoforma di pellet stoccata all'interno di big-bags poste sopra dei pallet a vengono trasportate e disposte nelle varie aree dell'attività come detto in precedenza.

L'edificio 2 presenta vari macchinari alimentati elettricamente e piuttosto datati che possono essere fonte di innesco per un incendio ed è l'edificio in cui è stoccata oltre ad essere quello con il maggiore quantitativo di merce stoccata. Di seguito si riportano la vista in pianta, le viste frontali e laterali del capannone e un modello 3D dello stesso così da rendere note le principali caratteristiche dello stabile come misure, aerazione e layout interno.

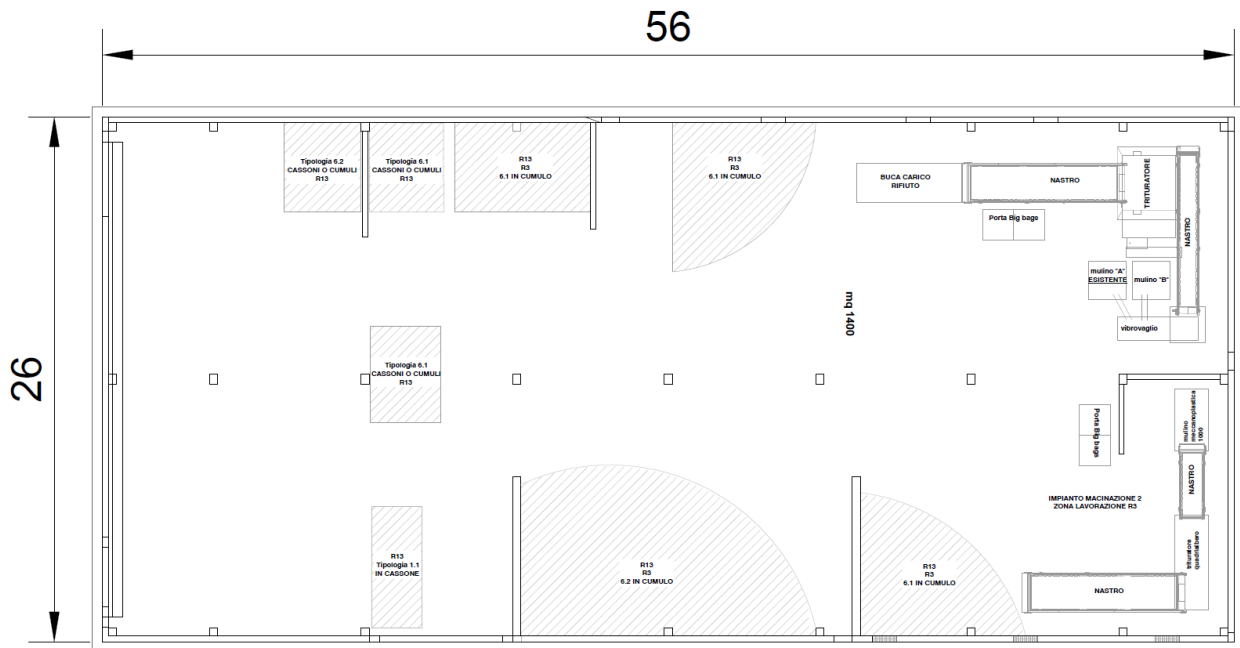


Figura 4.3 Vista in pianta del capannone in esame

Da questa vista si possono apprezzare le quote dei muri perimetrali e la disposizione interna dei cumuli di rifiuti e dei macchinari per il trattamento



Figura 4.4 Prospetto ovest del capannone in esame

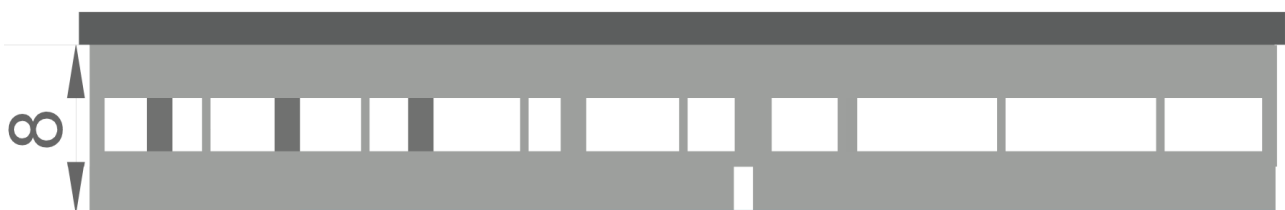


Figura 4.5 Prospetto est del capannone in esame

Da queste viste si evince l'altezza interna del capannone per l'appunto 8 metri e si possono notare le aperture (finestre e porte di accesso) e le griglie per l'areazione (rappresentate in grigio scuro).



Figura 4.6 *Prospetto nord del capannone*



Figura 4.7 *Prospetto sud del capannone*

Infine, si riporta il modello 3D del capannone per avere una visione di insieme.

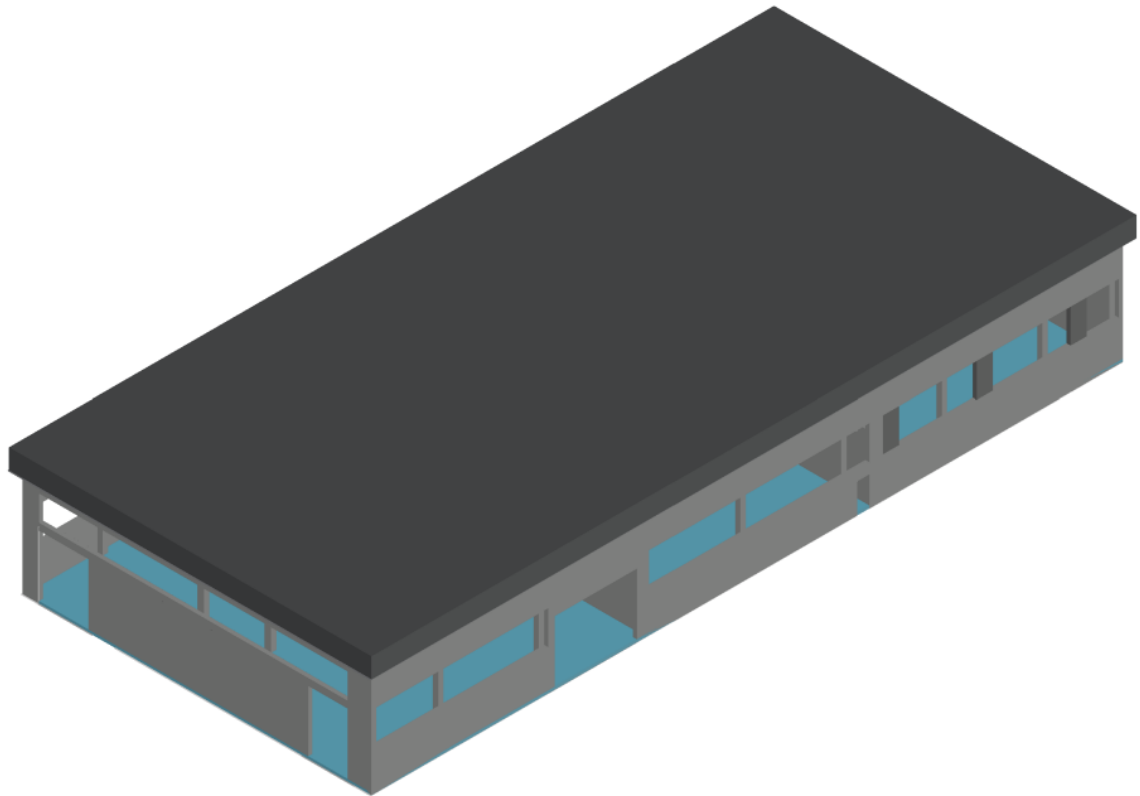


Figura 4.8 *Modello 3D del capannone*

Come si evince dalle figure il capannone presenta una notevole superficie aerante data dall'insieme delle numerose aperture (vetrate e porte d'accesso) tuttavia presenta anche diverse criticità.

4.2.1 *Principali criticità*

Le principali criticità dell'azienda sono dovute al fatto che in essa è presente circa 50.000 kg di materiale plastico, i problemi che ne derivano sono i seguenti:

- Problemi nell'esodo, in quanto il quantitativo supera quello effettivamente stoccabile e dunque va ad ostruire le vie d'esodo (Figura 4.9);



Figura 4.9 Foto scattata durante un sopralluogo che mostra una delle vie d'esodo ostruite dai rifiuti

- Rischio ambientale elevato in quanto se dovesse scoppiare un incendio, data la mole di plastica coinvolta, i fumi che ne deriverebbero potrebbero recare danni disastrosi ai raccolti limitrofi;
- Velocità caratteristica prevalente dell'incendio: ultra-rapida, rappresenta la velocità con cui la potenza termica dell'incendio raggiunge 1000 kW, in questo caso non più di 75 secondi;
- Carico d'incendio molto elevato.

Il carico d'incendio è un indicatore molto importante su cui si basano molte delle Strategie antincendio del Codice, compresa la S.8 che è la Strategia che verrà presa in considerazione per lo studio del caso in esame per tale ragione vale la pena approfondire l'argomento.

Si definisce "Carico d'incendio": il potenziale termico netto della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio, corretto in base ai parametri indicativi della partecipazione alla combustione dei singoli materiali, la sua unità di misura è il [MJ]. In verità però il parametro che si considera durante la progettazione non è il semplice carico d'incendio ma il "Carico d'incendio specifico" ovvero il carico d'incendio riferito all'unità di superficie lorda del piano considerato e si esprime in [MJ/m²] e si indica con:

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A}$$

Riferimento: Equazione S.2-5 del Codice di Prevenzione Incendi.

Nel capannone in questione il carico d'incendio stimato in relazione ai quantitativi di materiale dichiarato è di seguito riportato.

| Materiale | Descrizione | m | Ψ | Qnt | H | Calore totale (MJ) | Fr. 80% |
|-----------|------------------|------|--------|--------------|-------------|--------------------|---------|
| Plastica | CER 191204 | 1,00 | 1,00 | 26.000,00 kg | 40,00 MJ/kg | 1.040.000,00 | - |
| Legno | Pallet e bancali | 0,80 | 1,00 | 500,00 kg | 17,00 MJ/kg | 6.800,00 | - |
| Plastica | MPS EoW | 0,80 | 1,00 | 20.000,00 kg | 30,00 MJ/kg | 600.000,00 | - |
| Cartone | Imballaggi vari | 1,00 | 1,00 | 500,00 kg | 17,00 MJ/kg | 6.800,00 | - |

Tabella 4.2 *Quantitativi di materiale dichiarati nel capannone*

Da qua ne consegue che il carico d'incendio specifico q_f è pari a 1.181,10 MJ/m².

Come si vedrà al §4.3 questo valore così alto del carico d'incendio influenzerà la progettazione antincendio del capannone in quanto in molti casi andrà ad influire sulla scelta del livello di prestazione, come mostrato in Figura 1.5.

4.2.2 Normative di riferimento

L'impianto è autorizzato al ricevimento, selezione, trattamento e recupero di rifiuti plastici e rientra nel campo di applicazione del D.Lgs. 152/2006, "Norme in materia ambientale".

Dal punto di vista della prevenzione incendi si individuano le seguenti attività secondo il DPR 151/2011:

Attività 44.3.C: Stabilimenti e impianti ove si producono, lavorano e/o detengono materie plastiche, con quantitativi in massa superiori a 5.000 kg.

Attività 49.3.C: Gruppi per la produzione di energia elettrica sussidiaria con motori endotermici ed impianti di cogenerazione di potenza complessiva da 350 a 700 Kw.

Ai fini della presente Tesi ci si concentrerà sull'attività 44, trascurando completamente la 49.

Per quanto riguarda la progettazione antincendio si seguirà il Codice di Prevenzione Incendi e le integrazioni riportate dalla regola tecnica specifica sui depositi di rifiuti: DM 26/07/2022 "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per gli stabilimenti ed impianti di stoccaggio e trattamento rifiuti."

4.3 Progettazione Antincendio

In questo paragrafo si riporteranno le misure antincendio divise per ogni Strategia che la ditta dovrebbe attuare per ottenere il CPI in ottemperanza a quanto previsto dal Codice e dalla regola tecnica di riferimento. Per fare ciò, come prevede la metodologia antincendio, bisogna prima individuare il Rischio vita, il Rischio beni e il Rischio ambiente.

Per quanto riguarda il rischio vita i parametri da considerare sono 2: caratteristiche prevalenti degli occupanti e velocità caratteristica dell'incendio. Gli occupanti sono operai in stato di veglia, e dunque persone che hanno familiarità con l'ambiente, per quanto riguarda la velocità di un ipotetico incendio questa sarà sicuramente "ultra-rapida" di conseguenza il rischio vita assegnato è "A4".

Per quanto riguarda il Rischio beni, il capannone non è né un edificio strategico, né vincolato di conseguenza il Rischio beni assegnato è "1".

In conclusione, per quanto riguarda il Rischio ambiente, essendo presenti circa 50.000 kg di plastica, esso non può che essere "significativo", in quanto i fumi derivati da un incendio di polimeri plastici sono altamente inquinanti, oltre a intossicare eventuali colture limitrofi.

4.3.1 Reazione al Fuoco

Per la reazione al fuoco il Codice distingue tra la reazione al fuoco lungo le vie d'esodo e quella negli altri locali dell'attività. Alla Tabella 4.3 si riporta il valore del Rischio vita (discriminante principale per l'attribuzione del livello di prestazione.), livello di prestazione previsto e la relativa soluzione conforme per la reazione nelle vie d'esodo e negli altri locali

| RVita | Livello prestazione | Soluzione progettuale |
|---------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Reazione al fuoco vie d'esodo | | |
| A4 | Livello I | Gruppo materiale scelto: GM4 |
| Reazione al fuoco altri locali | | |
| A4 | Livello I | Gruppo materiale scelto: GM4 |

Tabella 4.3 *RVita, Livello di prestazione, Soluzione progettuale*

Data la natura dell'attività, non esistono specifiche prescrizioni da rispettare per quanto riguarda la reazione al fuoco.

Non sono presenti tendaggi né rivestimenti a pavimento.

Il Codice classifica i materiali in 5 gruppi: GM0, GM1, GM2, GM3 e GM4, il livello di prestazione I permette l'utilizzo di materiali appartenenti al gruppo GM4 ovvero i materiali con la reazione al fuoco più elevata.

4.3.1.1 Prescrizioni relative al DM 26/07/2022

Innanzitutto, bisogna specificare che il DM 26/07/2022 denomina le aree di stoccaggio come aree TS e distingue tra:

- Area TSC: aree di stoccaggio di rifiuti al chiuso, interne alle opere da costruzione;
- Area TSA: aree di stoccaggio di rifiuti all'aperto;
- Area TSP: aree di stoccaggio di rifiuti a parete, all'aperto o al chiuso;
- Area TSB: aree di stoccaggio di rifiuti in baia o bunker, all'aperto o al chiuso, delimitate da almeno due pareti con uno o più lati liberi.

Il decreto prevede che le pareti delle aree TSP siano in CIs appartenente al Gruppo GM0, così come le pareti delle baie delle aree TSB.

4.3.2 Resistenza al Fuoco

Per la Resistenza al fuoco si riporta alla Tabella 4.4 il valore del Rischio vita (discriminante principale per l'attribuzione del livello di prestazione), livello di prestazione previsto e la relativa soluzione conforme.

| RVita | Livello prestazione | Classe minima di resistenza al fuoco |
|--------------|----------------------------|---|
| A4 | Livello II | 30 |

Tabella 4.4 *RVita, Livello di prestazione, Classe di resistenza al fuoco*

Il livello di prestazione II impone che il capannone mantenga le sue capacità portanti per un periodo sufficiente a consentire l'esodo degli occupanti.

Nonostante la classe minima imponibile sia 30, la classe di resistenza al fuoco del capannone risulta essere 60.

4.3.2.1 Prescrizioni relative al DM 26/07/2022

Le pareti divisorie delle baie di stoccaggio rifiuti sono composte da blocchi in calcestruzzo Classe A1 IT.

Le pareti delle TSB e TSP al chiuso sono pari alla classe del compartimento REI 60.

Le pareti di separazione tra baie in batteria al chiuso hanno classe REI commisurata con quella del compartimento.

4.3.3 Compartimentazione

Per quanto riguarda la compartimentazione, il capannone costituisce un unico compartimento antincendio essendo privo di compartimentazione interna, ad esso si attribuisce il livello di prestazione II che ha come obiettivo la propagazione dell'incendio all'interno dell'attività e all'esterno di essa; nel caso specifico, dunque, l'obiettivo è quello di evitare che l'incendio eventualmente scoppiato all'interno del capannone in esame, non raggiunga gli altri edifici della ditta.

Le strutture portanti del capannone avendo classe minima di resistenza al fuoco REI 60, permettono di raggiungere questo obiettivo.

4.3.3.1 Prescrizioni relative al DM 26/07/2022

È rispettata la superficie massima del compartimento $\leq 32.000 \text{ m}^2$.

La superficie massima del compartimento, dimezzata a causa del Rischio Ambiente Significativo, è comunque $\leq 16.000 \text{ m}^2$.

Per gli stoccaggi di rifiuti in baia **aree TSB** sono rispettati:

- I cumuli aperti su un solo lato (a forma di C) hanno larghezza massima 20 metri.
- Larghezza massima delle pareti di contenimento laterale: 10m
- È garantita l'accessibilità ai soccorritori ad almeno un lato del cumulo, alcuni cumuli sono accessibili da più lati
- L'altezza delle strutture di contenimento verticali (baie) è almeno 1 metro maggiore rispetto all'altezza del cumulo (max 4 m)
- Classe di reazione al fuoco dei muri di contenimento delle baie Classe 1/GMO blocchi di calcestruzzo

Per gli stoccaggi di rifiuti sciolti **aree TSC**:

- I cumuli hanno altezza $\leq 4\text{m}$ e sono stoccati in modo stabile;
- Il massimo quantitativo del singolo cumulo è $\leq 450\text{mc}$;
- Gli stoccaggi privi di barriere laterali hanno inclinazione $\leq 45^\circ$;
- È garantita l'accessibilità ai soccorritori ad almeno un lato del cumulo;
- Per gli stoccaggi all'aperto sono rispettate le distanze di separazione ricavate mediante la procedura analitica del capitolo S.3 del DM 03/08/2015 imponendo il valore massimo dell'irraggiamento termico $E_{soglia} = 12,6 \text{ kW/m}^2$. Si riporta la procedura adottata.

4.3.4 Esodo

Per quanto riguarda l'esodo alla Tabella 4.5 si riportano le caratteristiche del sistema d'esodo del capannone in esame.

| Edificio 2 | |
|-----------------------------------|---|
| Numero vie di esodo indipendenti | 4 |
| Tipologia di uscita d'esodo | Porta con maniglione antipánico – Portoni carrabili |
| Larghezza uscita d'esodo | 120 cm - 400cm |
| Sbarco via di esodo | Spazio a cielo scoperto |
| Lunghezza corridoio cieco | Non presente |
| Massima lunghezza d'esodo ammessa | 45 m |

| | |
|---|-----------------|
| Massima Lunghezza d'esodo | 30 m |
| Presenti vie di esodo esterne (scale esterne) | No |
| Presente illuminazione di sicurezza | Si |
| Altezza vie di esodo | Maggiore di 2 m |

Tabella 4.5 Caratteristiche sistema d'esodo

Per quanto riguarda l'esodo, ammesso che non ci siano rifiuti che rendono inaccessibili le vie d'esodo, non ci sono particolari criticità, la struttura del capannone, infatti, permette l'esodo verso luogo sicuro in breve tempo a tutti gli occupanti.

In questo caso non ci sono ulteriori prescrizioni fornite dalla regola tecnica.

4.3.5 Gestione della sicurezza antincendio

Il livello di prestazione per la G.S.A attribuito all'intera attività è: **Livello II**

Per la G.S.A. sono applicate le soluzioni riportate di seguito.

Responsabile dell'attività:

- organizza la GSA in esercizio;
- organizza la GSA in emergenza;
- predispone, attua e verifica periodicamente il piano d'emergenza;
- provvede alla formazione ed informazione del personale su procedure ed attrezzature.

Coordinatore degli addetti al servizio antincendio:

- Addetto al servizio antincendio, individuato dal responsabile dell'attività, che:
- sovrintende ai servizi relativi all'attuazione delle misure antincendio previste;
- coordina operativamente gli interventi degli addetti al servizio antincendio e la messa in sicurezza degli impianti;
- si interfaccia con i responsabili delle squadre dei soccorritori;
- segnala al responsabile dell'attività eventuali necessità di modifica delle procedure di emergenza.

Addetti al servizio antincendio:

Attuano la GSA in esercizio ed in emergenza.

4.3.5.1 Prescrizioni relative al DM 26/07/2022

Il D.M. 26/07/2022 stabilisce per le aree TS in tipologia AB livello minimo II.

Gli addetti antincendio sono sempre presenti durante l'orario lavorativo, gli addetti hanno seguito il corso di formazione antincendio "Livello III".

La prova di emergenza ed evacuazione è effettuata annualmente.

È nominato il coordinatore del servizio antincendio, reperibile anche fuori dall'orario di esercizio dell'attività.

Viene redatto, periodicamente aggiornato il piano di emergenza ed evacuazione (PEE) e si verifica il suo funzionamento e comprensione tramite prove

Le aree TSA, TSP e TSB sono contrassegnate da codice e dal tipo di rifiuto.

All'interno di ogni baia o cassone è stoccata una sola categoria omogenea di rifiuto.

All'interno dell'impianto sono disponibili planimetrie riportanti il lay-out dell'impianto.

È garantita la stabilità, anche in caso di incendio, dei rifiuti stoccati nelle baie.

4.3.6 Controllo dell'incendio

In questo caso per la prima volta il carico d'incendio gioca un ruolo fondamentale per la determinazione del livello di prestazione, nel caso in esame il carico d'incendio pari a 1.181,10 MJ/m² impone il livello di prestazione III il quale a sua volta impone l'uso di estintori e di una rete idranti progettata, installata ed esercita in conformità alla UNI 10779. Dunque per l'ottenimento del CPI, la ditta dovrà installare una rete idranti e disporre gli estintori così come riportato dalla Tabella 4.6.

| Classe d'incendio | Capacità | N° estintori | Tipo |
|-------------------|----------|--------------|--------------------|
| Classe AB-C | 6Kg | 5 | Polvere portatile |
| Classe B | 5kg | 2 | CO2 portatile |
| Classe AB-C | 30Kg | 1 | Polvere Carrellato |

Tabella 4.6 caratteristiche degli estintori

4.3.6.1 Prescrizioni relative al DM 26/07/2022

La regola tecnica impone livello di prestazione III nelle aree TSA e TSC con carico d'incendio compreso tra 600 e 1200 MJ/m² e dunque non aggiunge nulla rispetto a quanto già prescritto dal Codice.

4.3.7 Rivelazione ed allarme antincendio

Anche in questo caso il carico d'incendio influisce sulla scelta del livello di prestazione, infatti superati i 600 MJ/m² il Codice impone il livello di prestazione III.

| Carico d'incendio | Livello prestazione | Soluzione progettuale |
|----------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1.181,10 MJ/m ² | Livello III | Impianto di rivelazione automatica |

Tabella 4.7 Carico d'incendio, Livello di prestazione, Soluzione progettuale.

Dunque, per essere conforme dal punto di vista dell'antincendio il capannone dovrà essere dotato di un impianto automatico di rivelazione dell'incendio ovvero da un impianto costituito da rilevatori di

fumo o di fiamma, che in caso di incendio mandino un segnale alla centrale l'allarme antincendio la quale attiva l'allarme e gli eventuali sistemi di protezione attiva (SEFC, sprinkler, ecc...).

Il livello di prestazione III non esclude le prescrizioni previste dal livello II, di conseguenza anche la rivelazione dell'incendio tramite appositi pulsanti antincendio deve essere possibile.

Non ci sono alcune prescrizioni aggiuntive relative al DM 26/07/2022.

4.3.8 Operatività Antincendio

Per quanto riguarda l'operatività antincendio il livello attribuito è il livello di prestazione IV che impone:

- È permanentemente assicurata la possibilità di avvicinare i mezzi di soccorso antincendio, adeguati al rischio d'incendio, a distanza minore uguale di 50 m dagli accessi per soccorritori dell'attività;
- Gli organi di intercettazione, controllo, arresto e manovra degli impianti tecnologici e di processo al servizio dell'attività rilevanti ai fini dell'incendio (es. impianto elettrico, adduzione gas naturale, impianti di ventilazione, impianti di produzione, ...) devono essere ubicati in posizione segnalata e facilmente raggiungibile durante l'incendio;
- L'autoscala è accostabile ad ogni piano dell'attività.

4.3.8.1 Prescrizioni relative al DM 26/07/2022

Le pareti di contenimento laterale delle baie hanno larghezza non superiore a 10m.

È assicurata la percorribilità dei mezzi di soccorso fra le aree di stoccaggio dei rifiuti all'aperto e comunque è assicurata la possibilità di accostamento deposito.

4.3.9 Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio

Questa strategia presenta un unico livello di prestazione, dunque la scelta è immediata.

L'attività dispone di impianti tecnologici e di servizio progettati, installati, verificati, eserciti e mantenuti a regola d'arte, in conformità alla regolamentazione vigente, secondo le norme di buona tecnica applicabili.

I suddetti impianti consentono agli occupanti di lasciare gli ambienti in condizione di sicurezza e alle squadre di soccorso le condizioni idonee al loro operato.

In caso di occorrenza di un incendio sono disattivabili da posizioni opportunamente segnalate, protette dall'incendio e facilmente raggiungibili.

Le modalità operative, la disattivazione degli impianti è prevista e descritta nel piano di emergenza.

4.3.9.1 Prescrizioni relative al DM 26/07/2022

L'attività è dotata di impianto antintrusione di Tipo 2 composto da recinzione lungo tutta l'area di h>2m e sistema di antintrusione e videosorveglianza.

L'attività è dotata di sistemi per la rivelazione della temperatura di Tipo 1. Il personale è dotato di termo camera portatile, è stato correttamente formato e verrà instaurata procedura di controllo delle temperature.

4.4 Controllo di fumi e calore

Il controllo di fumi e calore rappresenta la misura S.8 del Codice ed ha come scopo quello di controllare, smaltire ed evacuare i prodotti della combustione. Sono previsti 3 livelli di prestazione riportati alla seguente tabella con i rispettivi requisiti.

| Livello di prestazione | Requisiti antincendio |
|------------------------|---|
| I | Nessun requisito |
| II | Deve essere possibile smaltire fumi e calore per facilitare le operazioni di soccorso |
| III | Deve essere mantenuto uno strato libero dai fumi che permetta: <ul style="list-style-type: none"> • la salvaguardia degli occupanti e delle squadre di soccorso; • la protezione dei beni se richiesta. |

Tabella 4.8 Livelli di prestazione e requisiti antincendio

Nel caso in esame la quantità elevata di plastica e il conseguente carico d'incendio pari a 1.181,10 MJ/m² uniti al fatto che il danno ambientale che ne seguirebbe in caso d'incendio sarebbe rilevante fanno protendere verso la scelta del Livello III. Ovviamente il rispetto del Livello III implica automaticamente il rispetto del Livello II il quale in base al tipo di dimensionamento prevede una superficie minima di aerazione, superficie di cui il capannone in esame dispone, come è mostrato di seguito.

La scelta del tipo di dimensionamento è mostrata alla tabella 4.9.

| Tipo di dimensionamento | Carico di incendio specifico q_f | Requisiti minimi | Requisiti aggiuntivi |
|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| SE1 | $q_f \leq 600$ | A/40 | |
| SE2 | $600 < q_f \leq 1200$ | $A * q_f / 40000 + A / 100$ | |
| SE3 | $q_f > 1200$ | A/25 | 10% del tipo SEa. SEb o SEc |

Tabella 4.9 Criteri di scelta per il tipo di dimensionamento

Nel caso in esame il tipo di dimensionamento scelto è il dimensionamento SE2 che impone una superficie di aerazione minima di 53,50 m²; essendo la superficie di aerazione del capannone pari a 58,50 m² la condizione risulta soddisfatta. La superficie di aerazione è costituita da porte e portoni d'accesso sempre aperte durante l'orario lavorativo e da aperture del tipo SEe ovvero aperture che in condizioni d'incendio si possono considerare aperte in quanto costituite da materiali bassofondenti; in questo caso specifico le vetrate sono realizzate in plexiglas.

Per quanto riguarda invece il Livello di prestazione III, come si vede dalla tabella 4.8, esso ha come requisito quello di garantire uno strato d'aria libero dai fumi che garantisca la salvaguardia della vita umana.

Lo studio dei vari scenari d'incendio dunque, verterà principalmente proprio sul valutare se i requisiti antincendio previsto dal Livello di prestazione III dell' S.8 sia rispettato.

Gli scenari che si andranno a valutare sono i seguenti:

- Capannone a cui non è applicata alcuna misura dal punto di vista della gestione dei fumi (Scenario I);
- Capannone a cui è applicata una delle soluzioni progettuali previste dall' S.8, SENFC (Scenario II);
- Capannone a cui è applicata una delle soluzioni progettuali conformi previste dall' S.8, SEFFC (Scenario III).

4.4.1 Soluzione progettuale conforme

Il livello di prestazione III prevede come soluzione progettuale conforme l'installazione di un sistema di evacuazione fumo e calore (SEFC) che rispetti quanto previsto dalla UNI 9494.

I sistemi di evacuazione di fumo e calore possono essere o naturali o forzati.

I sistemi di evacuazione naturale fumo e calore (SENFC) sono sistemi in cui il fumo e il calore prodotto dall'incendio viene espulso dall'aria che naturalmente entra nel capannone; l'aria esterna essendo a pressione atmosferica, avrà una pressione maggiore di quella dei fumi e dunque tenderà a spingerli verso il soffitto sul quale saranno posizionati gli evacuatori che una volta azionati permetteranno al fumo di evacuare all'esterno della struttura, garantendo così uno strato libero dai fumi.

Il funzionamento dei SENFC è rappresentato chiaramente alla figura 4.10.

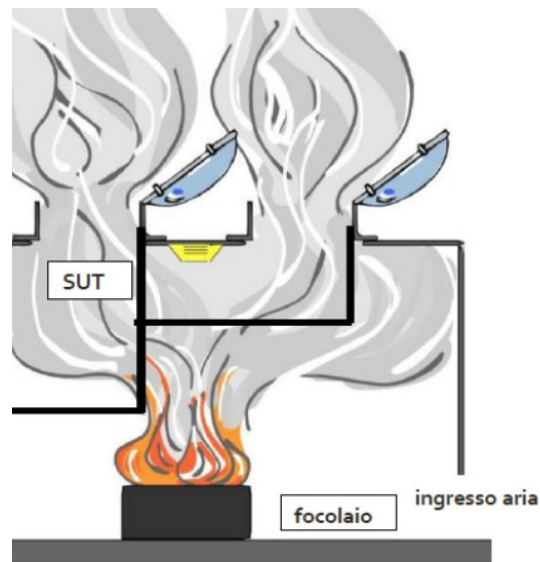


Figura 4.10 Rappresentazione grafica di un'evacuazione naturale di fumo e calore

Per quanto riguarda i sistemi di evacuazione forzati fumo e calore (SEFFC) il funzionamento è diverso, in questo caso infatti il fumo non viene smaltito naturalmente ma aspirato in maniera forzata mediante l'attivazione di appositi dispositivi come estrattori di fumo o "jetfun".

Il funzionamento dei SEFFC appena citato è rappresentato alla figura 4.11.

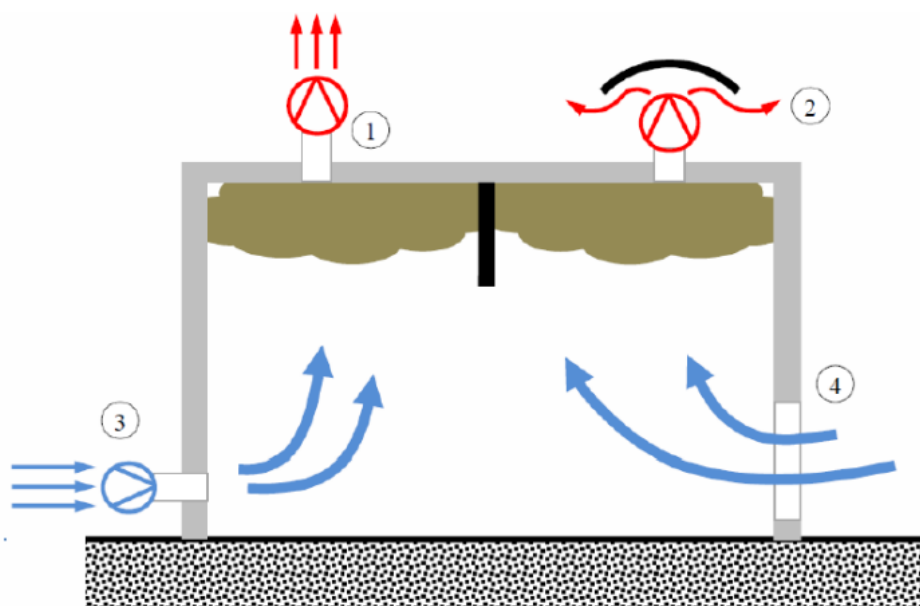


Figura 4.11 Evacuazione fumi e calore con estrazione meccanica dell'aria esterna

Comunque sia in caso di evacuazione naturale che forzata, il sistema d'evacuazione viene azionato dalla centrale antincendio a cui il segnale di allarme può arrivare o in maniera automatica grazie ai rilevatori di fumo, o manualmente tramite pulsante antincendio.

È importante che il sistema di evacuazione non interferisca con altri impianti, ad esempio non deve attivarsi prima dei rilevatori di fumo.

4.4.2 Soluzione progettuale alternativa

La soluzione progettuale alternativa proposta dal Codice per la Strategia S.8, con riferimento al livello di prestazione III è quella di dimostrare che attraverso la ventilazione meccanica si possa raggiungere il requisito che impone uno strato libero dai fumi in caso d'incendio.

Tale dimostrazione, ad esempio, può avvenire attraverso modelli di calcolo numerico, ai fini della presente Tesi, la verifica del raggiungimento o meno di quanto richiesto dal livello di prestazione III sarà effettuata attraverso la modellazione con il software PyroSim,

4.5 Obiettivi prestazionali

Gli obiettivi prestazionali rappresentano la traduzione concreta dei requisiti del Livello di prestazione. Nel caso in esame il Livello di prestazione III richiede la salvaguardia della vita degli occupanti e delle squadre di soccorso; nella sezione M del codice tali obiettivi vengono quantificati e tradotti in "soglie di prestazione", per facilitare il lavoro del professionista antincendio.

Nel caso in esame verranno prese come riferimento le seguenti soglie di prestazione:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m (1,5 m per i soccorritori), al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata;
- temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 200^{\circ}\text{C}$ (250°C per i soccorritori).

Tale approccio è un approccio conservativo riportato nella sezione "M" del codice, il rispetto di queste soglie garantisce un'esposizione per irraggiamento in ogni caso minore di $2,5 \text{ kW/m}^2$ ed un esodo sicuro a tutti gli occupanti. Si precisa che per soccorritori non si intendono le squadre di soccorso dei VV.F. ma gli addetti antincendio opportunamente formati e dotati di dispositivi di protezione, nella azienda in questione tali addetti sono sempre presenti durante l'attività lavorativa come indicato al §4.3.5; in favore di sicurezza, le soglie usate relative per i soccorritori interni all'azienda saranno le stesse usate per valutare la salvaguardia delle squadre di soccorso.

4.5.1 ASET e RSET

Le soglie appena menzionate, inoltre, sono le stesse che vengono utilizzate per il calcolo semplificato dell'ASET.

L'ASET, *Available safe escape time*, rappresenta il tempo che gli occupanti hanno a disposizione per raggiungere un luogo sicuro, prima che questi siano investiti dagli effetti dell'incendio; questo parametro deve essere maggiore del tempo che effettivamente occorre agli occupanti per raggiungere luogo sicuro, tale tempo è detto RSET, *required safe escape time*. Un sistema d'esodo risulta tanto più efficace quanto ASET è maggiore di RSET.

Dunque, negli scenari d'incendio che verranno analizzati per valutare se è garantita la salvaguardia degli occupanti dovranno essere garantite le 2 condizioni precedentemente elencate, per un tempo ASET maggiore di RSET.

Dunque, se per quanto riguarda l'ASET esso varia da scenario a scenario (essendo questo pari al tempo che intercorre tra l'innesco dell'incendio e il momento in cui le condizioni prima enunciate), per quanto riguarda l'RSET questo è un parametro che non dipende dalle condizioni dell'incendio e può essere calcolato come dSw:

$$\text{RSET: } t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$$

Ove:

t_{det} rappresenta il tempo entro cui il sistema di rivelazione automatico segnala l'incendio.

t_a rappresenta il tempo che intercorre tra la rivelazione e la diffusione dell'allarme tra gli occupanti, in caso di rivelazione automatica è pari a 0.

t_{pre} è il tempo impiegato dagli occupanti a riconoscere l'emergenza e a svolgere tutta una serie di attività che precedono il mettersi in fuga come, ad esempio, arrestare gli impianti ed attuare le procedure riportate nel piano d'emergenza.

t_{tra} rappresenta il tempo effettivo impiegato dagli occupanti a raggiungere un luogo sicuro.

Nel caso in esame, facendo affidamento su dati ottenuti dalle precedenti prove di evacuazione si perviene al seguente valore di RSET: $t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra} = 60 \text{ s} + 0 \text{ s} + 20 \text{ s} + 15 \text{ s} = 95 \text{ s}$.

Dunque, 95 s corrisponde al tempo entro cui tutti gli occupanti sono in grado di mettersi al sicuro dall'incendio. Per quanto riguarda il calcolo di ASET, questo sarà desunto dai risultati delle simulazioni, si precisa che il valore di ASET relativo ai lavoratori semplici sarà diverso da quello relativo ai soccorritori i quali, essendo protetti e adeguatamente addestrati, possono permanere più tempo all'interno del capannone in caso di incendio.

4.6 Conclusioni

In questo capitolo sono stati delineati gli obiettivi della presente Tesi, ovvero a livello generale analizzare i risultati relativi alle simulazioni dei 3 scenari d'incendio e confrontarli tra loro. mentre nel particolare valutare se i fumi e il calore formati nel capannone in esame possano mettere a repentaglio la vita degli occupanti delle squadre di soccorso. A tal proposito è stata fatta una dettagliata descrizione dello stabile analizzandone sia gli aspetti geometrici, sia gli aspetti legati alla prevenzione incendi, soffermandosi in particolar modo sull'evacuazione dei fumi e del calore. Infine, sono state delineate le soglie di prestazione che verranno prese come riferimento per la parte di simulazione e di analisi dei risultati ottenuti, tali soglie sono proprie del metodo di calcolo semplificato per l'ASET e il rispetto di queste garantisce la salvaguardia degli occupanti.

Infine, dopo aver consultato i report delle varie prove di evacuazione periodiche eseguite dalla società di riciclaggio, è stato stimato un valore di RSET pari a 95 s.

Capitolo 5

Modellazione degli scenari d'incendio

In questo capitolo saranno mostrati e descritti gli scenari d'incendio studiati, prima però risulta necessario un richiamo teorico circa la chimica dell'incendio e circa alcune nozioni di base fondamentali per comprendere i risultati ottenuti dalle simulazioni. Per questo motivo la parte iniziale del capitolo sarà incentrata sulla teoria che sta alla base delle simulazioni effettuate con il software, seguita dalla presentazione e spiegazione del software stesso. Solo dopo queste doverose premesse saranno presentati i 3 scenari d'incendio già menzionati al §4.4 ovvero:

- Incendio sviluppato all'interno del capannone al quale non è stata apportata alcuna misura migliorativa per quanto riguarda l'evacuazione di fumo e del calore;
- Incendio sviluppato all'interno del capannone al quale è stato installato un sistema di evacuazione naturale di fumi e calore (SENFEC);
- Incendio sviluppato all'interno del capannone al quale è stato installato un sistema di evacuazione forzata di fumi e calore (SEFFEC).

5.1 Nozioni di base

Di seguito saranno riportate alcune nozioni che stanno alla base dello studio degli scenari d'incendio sopra citati; le nozioni riguarderanno principalmente: il processo di combustione, la curva RHR e il comportamento dei fumi.

5.1.1 Processo di combustione

La combustione è una reazione di ossidazione incontrollata che avviene velocemente e con forte sviluppo di energia termica (reazione esotermica) e luce; essa può essere rappresentata, in modo schematico, da un triangolo i cui vertici sono costituiti dai tre elementi necessari affinché essa possa verificarsi: combustibile, comburente ed energia.



Fig. 5.1 *Triangolo del fuoco*

In assenza di uno di questi non si ottiene la combustione; infatti, questa nozione è alla base del principio dei sistemi di spegnimento.

Volendo andare più nello specifico si può dire che per far sì che un incendio si verifichi, devono contemporaneamente coesistere questi 4 elementi:

- Il combustibile, materiale che combinandosi con il comburente genera energia termica;
- Il comburente (ossigeno) che attraverso l'ossidazione del combustibile alimenta il processo di combustione;
- Una fonte di calore in grado di sprigionare un'energia termica sufficiente a far raggiungere al combustibile la sua temperatura di fiamma (temperatura alla quale si sprigionano i gas di pirolisi);
- Formazione di radicali attivi che innescano reazioni a catena dando origine a composti chimici di minore dimensione, piccole molecole e gas.

Quando la combustione ha inizio il combustibile si trova allo stato gassoso; infatti, sono i gas di pirolisi che reagendo con l'ossigeno avviano la combustione.

L'incendio come qualsiasi altra reazione chimica è composto da un inizio uno sviluppo ed una fine; l'andamento dell'incendio è però meglio schematizzabile attraverso 3 fasi: fase di innesco e propagazione, fase stazionaria e decadimento. Queste fasi sono spesso rappresentate attraverso la curva RHR.

5.1.2 Curva RHR

La curva RHR, "Rate of Heat Released", è la curva che descrive l'andamento della potenza termica scaturita dall'incendio in funzione del tempo. La potenza termica è espressa in kW mentre il tempo in secondi.

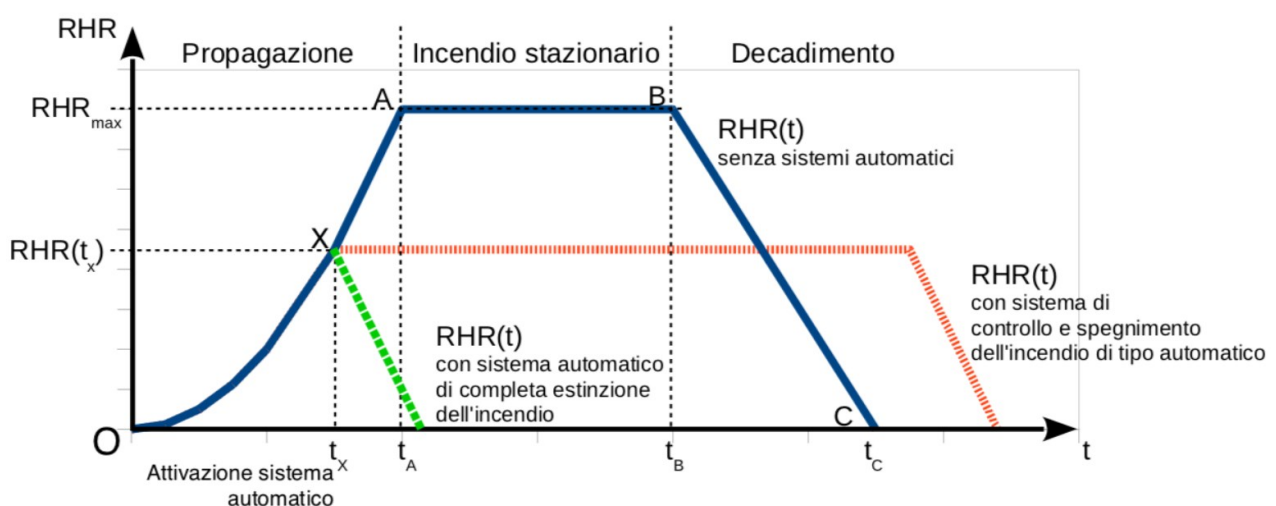


Fig. 5.2 Curva RHR

Come si evince dalla figura 5.2, l'andamento della curva è riassumibile in 3 macro-fasi.

5.1.2.1 Propagazione dell'incendio

Questa è la fase in cui l'incendio si innesca e si propaga, in questa fase la potenza termica ha una crescita quadratica, il suo andamento è descritto dalla seguente equazione:

$$\text{RHR}(t) = 1000(t/t_{\alpha})^2 \text{ per } t < t_{\alpha} \quad 5.1-1$$

Ove:

RHR(t): potenza termica rilasciata dall'incendio [kW]

t: tempo [s]

t_{α} : il tempo necessario affinché la potenza termica rilasciata raggiunga i 1000 kW.

In questa fase l'eventuale presenza di un impianto automatico di spegnimento fa sì che il focolare non rilasci il massimo valore di potenza termica previsto ma che questo si stabilizzi intorno al valore di potenza termica effettivamente rilasciata all'istante di attivazione dell'impianto per poi decadere. Se invece si ha la presenza di un impianto di completa estinzione, la curva decade poco dopo l'istante in cui tale impianto entra in funzione.

In assenza di un impianto automatico di spegnimento (es. sprinkler), la fase di propagazione è la fase che va dall'innescò al momento di flash-over, dopo il quale inizia il così detto "incendio generalizzato". Il flash-over rappresenta il momento in cui i gas e i fumi prodotti dalla combustione fino a quel momento raggiungono la temperatura di auto ignizione e si innescano rilasciando un elevato valore di potenza termica; una volta avvenuto il flash-over, la curva RHR continua seguendo la (1) fino a raggiungere il valore di RHR_{max} .

Non sempre si generano le condizioni necessarie per dare origine al flash-over, ma una volta che questo avviene si considera non più realizzabile la salvaguardia degli occupanti, e l'obiettivo diventa quello di tutelare i beni e di limitare gli effetti dell'incendio.

5.1.2.2 Incendio stazionario

La fase di incendio stazionario corrisponde alla fase di stallo della curva RHR, in questa fase il valore della potenza termica rilasciata non cresce, ma rimane stabile intorno al valore di RHR_{max} ; questo è possibile solo se l'energia termica disponibile è sufficiente a superare la fase di propagazione e a raggiungere le condizioni di incendio stazionario, altrimenti la curva raggiunge il picco e dopo qualche secondo decade.

Se l'incendio risulta "controllato dal combustibile" come accade in edifici ad elevata ventilazione RHR_{max} può essere calcolato come segue:

$$\text{RHR}_{\text{max}} = \text{RHR}_f \cdot A_f \quad 5.1-2$$

Ove:

RHR_f : valore della potenza massima rilasciata per unità di superficie lorda [kW/m²]

A_f : superficie lorda del compartimento oppure superficie lorda effettivamente occupata dal combustibile [m²].

Una volta nota RHR_{max} , risolvendo la 5.2-1 in funzione di t_A si ottiene:

$$t_A = \sqrt{RHR_{max} t_\alpha^2 / 1000} \quad 5.1-3$$

Ove:

t_A : tempo di inizio della fase di incendio stazionario.

Una volta trovata t_A si può ottenere l'istante in cui termina la fase di incendio stazionario t_B , come segue:

$$t_B = t_A + \frac{70\% q_f A_f - \frac{1}{3} \frac{1000}{t_\alpha^2} t_A^3}{RHR_{max}} \quad 5.1-4$$

Ove:

t_B : tempo di fine della fase di incendio stazionario [s]

q_f : carico di incendio specifico [kJ/m²]

5.1.2.3 Decadimento dell'incendio

Questa è la fase in cui l'incendio inizia a indebolirsi, in questo caso si assume che solo il 30% di combustibile sia ancora disponibile per essere bruciato, questo fa sì che l'energia termica generata non sia sufficiente a mantenere l'incendio che così, piano piano si spegne. Quando la temperatura nel compartimento torna a 200°C, la fase di decadimento può considerarsi conclusa.

Il tempo t_C che è corrisponde al momento in cui il valore di RHR è pari a zero, in virtù dell'ipotesi menzionata sopra, può essere ricavata come segue:

$$t_C = t_B + \frac{2 \cdot 30\% q_f A_f}{RHR_{max}} \quad 5.1-5$$

Durante la fase di decadimento, l'andamento non è quadratico come nella fase di propagazione ma lineare:

$$RHR(t) = RHR_{\max} \frac{t_C - t}{t_C - t_B} \quad \text{per } t_B \leq t \leq t_C \quad 5.1-6$$

5.1.2.4 Effetto della variazione di combustibile

La variazione del combustibile in uno scenario d'incendio va a variare quella che è l'energia termica emessa, ma non la potenza termica. Infatti, come si vede dalla figura 5.3, quello che varia è l'istante in cui inizia e finisce la fase di incendio stazionario, ma il valore massimo di RHR con cambia.

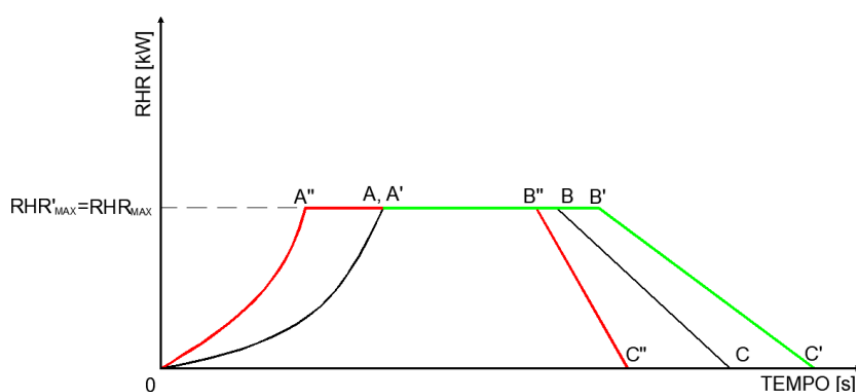


Figura 5.3 Effetto della variazione di massa del combustibile sulla curva RHR

5.1.2.5 Effetto della variazione della ventilazione

L'aumento della superficie di aerazione causa un aumento del valore massimo raggiunto dalla curva RHR, ma diminuisce la durata dell'incendio, come è evidente dalla figura 5.4.

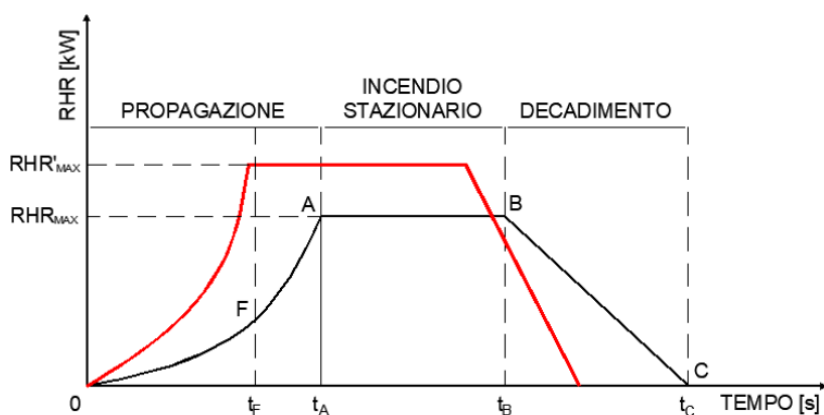


Figura 5.4 Effetto della variazione della superficie di ventilazione sulla curva RHR

5.1.2.6 Ulteriori indicazioni

Qualora la rappresentazione dell'incendio basata semplicemente sul tempo caratteristico t_{α} , non dovesse fornire risultati attendibili, il professionista antincendio può utilizzare approcci più complessi

e realistici. Ad esempio, qualora ci siano più oggetti che possano prendere fuoco all'interno del compartimento, il professionista deve valutare se e quando l'irraggiamento termico scaturito dal focolare di primo innesco sia sufficiente ad innescare altri oggetti presenti nel compartimento, che a loro volta potrebbero innescarne altri e così via. A tal proposito la norma NFPA 555 (*National Fire Protection Association*) ha messo a disposizione 3 diverse formule relative e 3 tipologie di materiale, per calcolare il valore minimo di irraggiamento termico che ne causa l'accensione.

Al riguardo, si rappresenta che tale circostanza appare verosimile nelle prime fasi di crescita di un incendio, quando lo strato di fumo e gas caldi di combustione, che si forma nel soffitto di un locale, ha ancora una temperatura relativamente bassa e non risulta vicino ai vari oggetti combustibili presenti (in tale caso, il flusso termico convettivo che interessa in combustibili disposti sul pavimento del locale è modesto).

Tale calcolo consente di stabilire in presenza di determinati materiali combustibili posti uno vicino all'altro, se l'ignizione di uno di essi è in grado di propagare l'incendio a quelli adiacenti e prevedere, conoscendo l'andamento nel tempo della potenza termica totale rilasciata dall'oggetto per primo incendiato, il tempo necessario affinché ciò avvenga.

Le formule sono riportate alla seguente tabella, ed indicano il valore minimo dell'RHR espressi in chilowatt, in funzione della distanza "D", espressa in metri.

| Tipologia di materiale | Soglia limite |
|--|--|
| Difficilmente accendibili (40 kW/m ²) | $RHR_{\min} = 30 \cdot (D + 0,02) / 0,0092$ |
| Normalmente resistenti all'ignizione (20 kW/m ²) | $RHR_{\min} = 30 \cdot (D + 0,05) / 0,019$ |
| Facilmente accendibili (10 kW/m ²) | $RHR_{\min} = 30 \cdot 10^{(D + 0,08) / 0,89}$ |

Tabella 5.1 Soglie limite di accensione per irraggiamento (NFPA 555)

Dunque, una volta stabilita la sequenza con cui vari oggetti/cumuli di materiale prendono fuoco, si può ricavare la curva RHR totale come somma dei contributi nel tempo dei singoli oggetti che prendono fuoco.

5.2 Il software PyroSim – FDS

Per svolgere le simulazioni degli incendi nei diversi layout ipotizzati si è deciso di ricorrere all'utilizzo di un programma di fluidodinamica in grado di riprodurre il fenomeno dell'incendio e i suoi effetti. È ormai frequente l'utilizzo di programmi informatici poiché permettono di ottenere risultati accurati e di analizzare molte variabili contemporaneamente. Inoltre, nella sezione M del Codice viene chiaramente autorizzato l'utilizzo di modelli di simulazione con codice di calcolo purché "il professionista antincendio abbia una particolare competenza nel loro utilizzo e

un'approfondita conoscenza sia dei fondamenti teorici che ne sono alla base che della dinamica dell'incendio”.

I modelli numerici citati dal Codice sono:

- modelli di simulazione dell'incendio a zone per ambienti confinati (es. codice di calcolo CFAST);
- modelli di simulazione dell'incendio di campo (es. codici di calcolo CFX, FDS);
- modelli di simulazione dell'esodo (es. codice di calcolo FDS + EVAC);
- modelli di analisi termostrutturale (es. codici di calcolo Abaqus, Ansys).

La fluidodinamica computazionale è una metodologia che serve ad analizzare il comportamento dei fluidi attraverso l'uso di un calcolatore. Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi software che hanno alla base lo studio dei parametri legati alla combustione, di cui i più noti sono FDS (Fire Dynamics Simulator), CPI win FSE, FDTs (Fire Dynamics Tools), CFAST e Smartfire. Per svolgere le simulazioni si è deciso di utilizzare FDS che è un modello di calcolo elaborato dai ricercatori del NIST (National Institute of Standards and Technology) con ottime potenzialità e capacità di calcolo che abbinato alla possibilità di poterlo installare gratuitamente lo rendono uno dei software più utilizzati in questo ambito. FDS risolve numericamente una forma delle equazioni di Navier-Stokes, ovvero le equazioni che descrivono il moto di un fluido reale.

Il software che verrà usato per le simulazioni è “PyroSim” (Figura 5.5), un software che fornisce un'interfaccia grafica per il pre e post processing della modellazione con FDS; tale interfaccia risulta estremamente intuitiva e non richiede la scrittura di righe di codice per funzionare, al contrario di FDS. Inoltre, permette di importare direttamente file da AutoCAD in formato DXF e DWG, ma anche file in formato JPEG, PNG e GIF.



Figura 5.5 Logo di PyroSim

Attraverso PyroSim è dunque possibile configurare il modello assegnando tutti gli input tipici della progettazione antincendio, eseguire le simulazioni FDS ed infine elaborare i risultati.

5.2.1 Guida ai comandi principali

In PyroSim la prima cosa che è necessario fare per iniziare la modellazione è la definizione della Mesh, la quale dipende sia dalla geometria del modello sia dal grado di dettaglio che si vuole avere, va però tenuto in considerazione che dimezzando le dimensioni della mesh, si aumenta di 16 volte il tempo di computazione dei risultati. Per impostare la mesh basta fare “click” sull'icona “Mesh” ed impostare i parametri nella finestra che si aprirà (Figura 5.6).

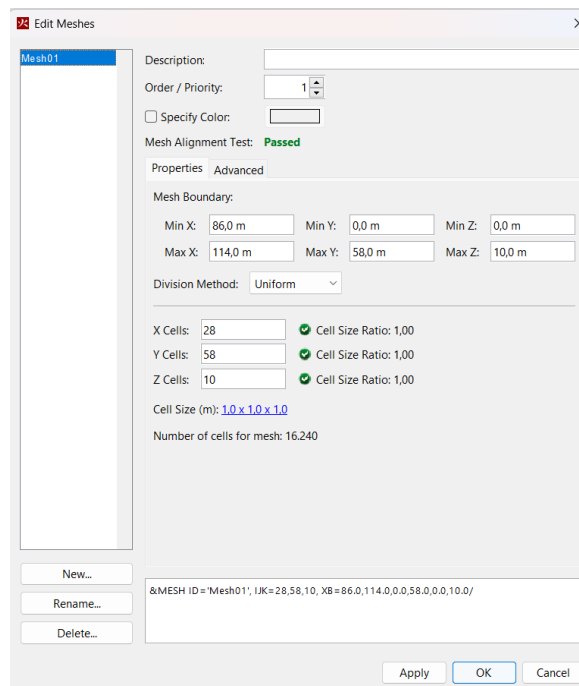


Figura 5.6 Finestra per l'impostazione della mesh

Oltre alla dimensione della mesh, l'altro parametro che maggiormente influisce sul tempo di computazione è la durata della simulazione essa si può impostare dalla finestra (Figura 5.7) che si apre con la seguente sequenza di comandi: Analysis > Simulation Parameters.

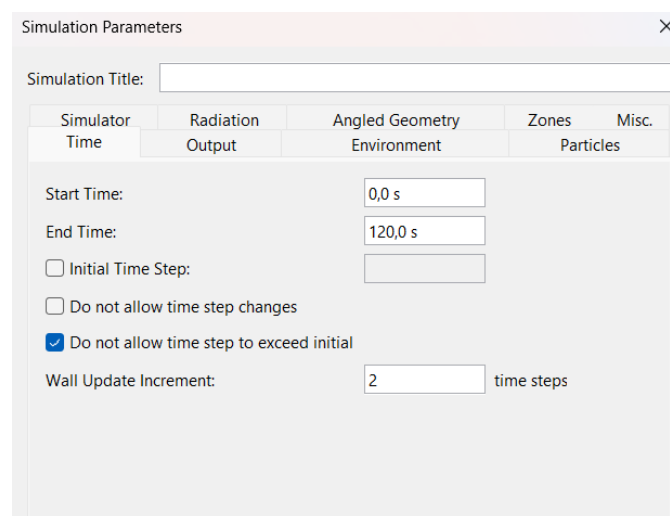


Figura 5.7 Finestra per l'impostazione della durata della simulazione

Dopo aver definito la geometria è importante definire i materiali coinvolti nella modellazione, per fare ciò PyroSim permette o di attingere alla “*library*” o di crearne di nuovi impostando tutta una serie di parametri che ne definiscono le caratteristiche chimico-fisiche.

Un altro step fondamentale è la scelta e la definizione delle “*surface*”, infatti, PyroSim funziona attraverso l’inserimento all’interno del modello di queste superfici. In totale ci sono sette “*surface*” dette elementari (Figura 5.8) e altre nove “*surface*” che possono essere aggiunte e che sono generalmente attribuite ad oggetti specifici.

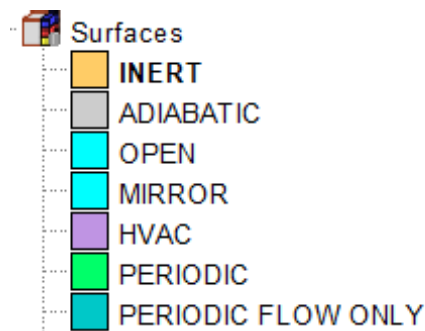


Figura 5.8 *Surfaces elementari*

Le altre nove sopra menzionate sono: Air Leak, Basic, Burner, Exhaust, General Surface, Heater/Cooler, Layered, Supply e 3D Heat Transfer; per ognuna di queste superfici poi dovranno essere stabiliti determinati parametri.

Di seguito si riporta l’esempio della superficie “*burner*” usata per simulare un focolare, visto che sicuramente sarà presente all’interno degli scenari che si andrà a modellare.

Innanzitutto, occorre definire una nuova superficie alla quale si assegnerà la surface “*burner*” ed un nome fittizio ad esempio “*FIRE*”, poi occorre creare un “*vent*”, ovvero la rappresentazione geometrica del focolare che si vuole modellare, e infine si assegna a questo *vent* la superficie “*burner*”.

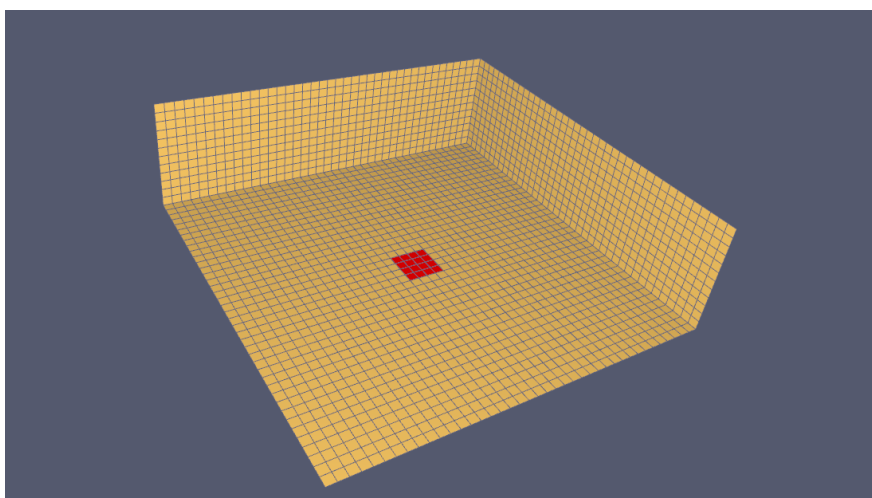


Figura 5.10 *Esempio di vent posto al centro della mesh al quale è assegnato la superficie “burner”*

Una volta fatto ciò occorre definire i parametri del focolare, per farlo occorre fare doppio clic sulla superficie “FIRE” appena creata e inserire i parametri nell’apposita finestra che si aprirà.

Surface ID: FIRE

Description:

Color: Appearance: ⊘

Surface Type: Burner

Heat Release Thermal Fuel Composition Geometry Particle Injection Advanced

Heat Release

Heat Release Rate Per Area (HRRPUA): 785,0 kW/m²

Mass Loss Rate: 0,0 kg/(m²·s)

Ramp-Up Time: t² 75,0 s

Extinguishing Coefficient: 0,0 m²/(kg·s)

Figura 5.11 Impostazioni parametri della “burner surface”

PyroSim inoltre offre la possibilità di inserire una serie di “device” ovvero strumenti che possono misurare diverse grandezze durante la simulazione come ad esempio: Temperatura, Potenza termica rilasciata, portata dei fumi, ecc, per poter inserire uno di questi device basta fare click alla voce “Device” che si trova in alto a sinistra e apparirà la seguente tendina.

- Edit Activation Controls...
- New Sim Control Device...
- 🕒 New Time Device...
- New Aspirator Sampler...
- New Aspirator...
- New Gas-phase Device...
- New Solid-phase Device...
- New Thermocouple...
- New Flow Measuring Device...
- New Heat Release Rate Device...
- New Layer Zoning Device...
- New Beam Detector Device...
- 🔥 New Heat Detector...
- Edit Heat Detector Models...
- 🌫️ New Smoke Detector...
- Edit Smoke Detector Models...
- 🏠 New HVAC Duct Device...
- 🏠 New HVAC Node Device...
- 🌸 New Sprinkler...
- New Nozzle...
- New Sprinkler Link...
- Edit Spray Models...
- Edit Sprinkler Link Models...
- New Dry Pipe...

Figura 5.12 Elenco dei vari “Devices” presenti in PyroSim

Infine, prima di far partire la simulazione occorre definire le grandezze che si vogliono avere come output: Temperatura, visibilità, pressione, velocità, ecc. Per farlo occorre fare click su “result” e poi fare doppio click o su “2D Slices” o su “3D Slices” a seconda che si voglia una visualizzazione bidimensionale (Figura 5.13) o tridimensionale (Figura 5.14) della grandezza scelta.

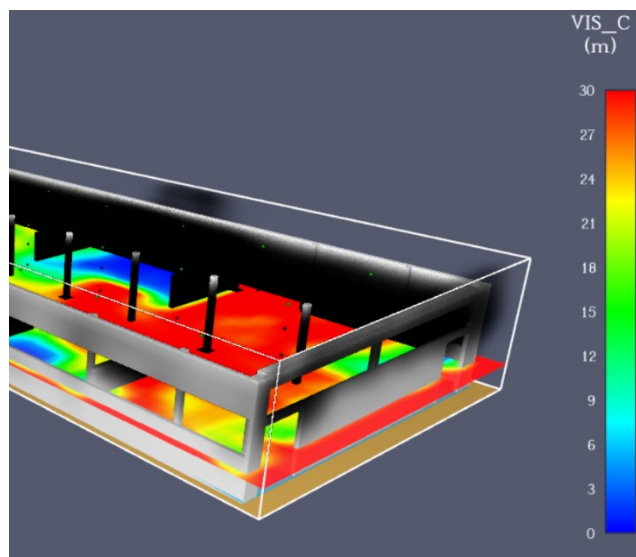


Figura 5.13 *Rappresentazione bidimensionale della visibilità durante uno scenario di incendio*

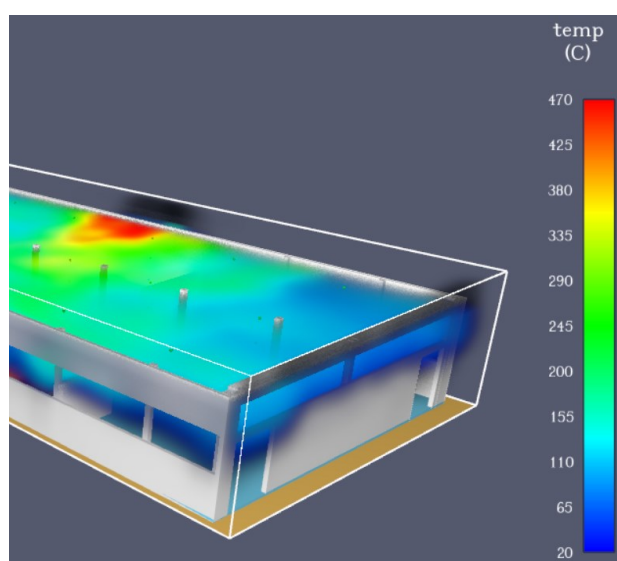


Figura 5.14 *Rappresentazione tridimensionale della temperatura durante uno scenario di incendio*

5.3 Scenari d'incendio

Come stabilito al Capitolo 4 si prenderanno in considerazione i 3 scenari d'incendio seguenti:

- Capannone a cui non è applicata alcuna misura dal punto di vista della gestione dei fumi e del calore (Scenario 1);
- Capannone a cui è applicata una delle soluzioni progettuali conformi previste dall' S.8, SENFC (Scenario 2);
- Capannone a cui è applicata una delle soluzioni progettuali conformi previste dall' S.8, SEFFC (Scenario 3).

Tutti e 3 gli scenari considerano il medesimo capannone nel quale si sviluppa il medesimo incendio, l'unica cosa che differenzia gli scenari è la presenza o meno di sistemi di evacuazione fumi e calore e la tipologia (naturali o forzati). Dunque, per quanto riguarda la costruzione degli scenari la parte di costruzione del fabbricato e di modellazione dell'incendio risulta analoga per tutti i 3. Questa parte sarà trattata una sola volta al §5.3.1 in quanto sarebbe superfluo ripeterla per tutti gli scenari.

Come già ribadito più volte lo scopo della presente Tesi è quello di valutare la salvaguardia della vita umana, a tal proposito, per ogni scenario, verrà valutata:

- Salvaguardia degli occupanti;
- Salvaguardia dei soccorritori (squadra di addetti antincendio interna all'azienda);
- Salvaguardia delle squadre di soccorso (squadre del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco).

5.3.1 Scenario I – Capannone privo di un sistema evacuazione fumo e calore

In questo paragrafo saranno riportati tutti gli step per arrivare alla costruzione dello scenario I.

Il primo passo è stato quello di importare il modello 3D del capannone (Figura 4.8) direttamente da AutoCAD al quale sono state aggiunte le vetrate; dopodiché si è impostata la mesh e le dimensioni della mesh come mostrato al § 5.2.1. In questo caso si è scelto di adottare una mesh di 1,00 m x 1,00m x 1,00 m, tale mesh se pur un po' grossolana permette di non avere a che fare con tempi di computazione infiniti. Tutti i lati perimetrali della mesh e quello superiore sono caratterizzati da superficie di tipo "OPEN" poiché rappresentano spazio a cielo libero mentre quello inferiore da superficie del tipo "INERT" poiché rappresenta il terreno su cui poggia il capannone.

Un altro step molto importante è stato quello relativo alla scelta del materiale, infatti si ricorda che all'interno del capannone in analisi tra rifiuti plastici di varia natura e plastica già riciclata sono presenti circa 46000 kg di materiale. In virtù di ciò si è scelto il materiale generalmente più comune tra i rifiuti e anche quello con il potere calorifico più elevato tra i polimeri plastici ovvero il Polietilene (PE). Il Polietilene, le cui caratteristiche di reazione al fuoco sono riportate al 3.3.1.2, non è un materiale tra quelli preesistenti nella "library" di PyroSim, dunque, per poterlo inserire nel modello, è stato necessario definire un nuovo materiale. Una volta fatto ciò è necessario definire una "reaction", altrimenti non si avrebbe l'innesco, per farlo occorre fare doppio click su "reactions" e

scegliere il materiale che si vuole far reagire con l'ossigeno per avere la combustione, come già detto è stato scelto il Polietilene a cui sono stati assegnati i valori riportati nella seguente tabella.

| | |
|------------------------------|-------------------------------|
| Composizione chimica | C ₂ H ₄ |
| Temperatura di fiamma | 341°C |
| Temperatura di autoignizione | 350°C |
| Potere calorifico | 46000 kJ/kg |
| CO Yield | 0.027 ⁽²³⁾ |
| SOOT Yield | 0.077 ⁽²³⁾ |

Tabella 5.2 Parametri in input del Polietilene

A questo punto occorre definire il punto di primo innesco, per farlo è stata studiata la disposizione dei cumuli di plastica in figura 4.3 e si è considerata l'ipotesi peggiore, ovvero che a prendere fuoco fosse il cumulo più grande, nel modello questo cumulo è stato schematizzato come una superficie rettangolare di 78 m². Analizzando la disposizione dei cumuli, però, si è notato che due cumuli in particolare fossero esposti direttamente all'irraggiamento del cumulo di primo innesco, mentre gli altri fossero o stoccati in cassoni metallici o protetti da pareti di separazione REI. Una volta appurato ciò è sembrato opportuno ricavare la potenza termica minima necessaria a innescare i 2 cumuli di fronte, a tal proposito si è fatto ricorso alle formule riportate in Tabella 5.1 in particolare quella relativa ai materiali "Normalmente resistenti all'ignizione". Da questo calcolo sono stati ricavati i due valori di RHR minimi che innescano i cumuli: 15868 kW per il cumulo più vicino e circa 20000 kW per quello più lontano, in seguito si valuterà singolarmente per ogni scenario se la potenza termica emessa dal cumulo di innesco raggiunge questi valori di RHR minimi.

Infine secondo quanto già visto al §5.2.1 occorre definire una "burner surface" in corrispondenza del "vent" rappresentativo del cumulo di primo innesco, la superficie scelta presenta le seguenti caratteristiche:

| | |
|---|---|
| Nome | FIRE |
| HRRPUA (Heat Release Rate per unit area) | 785 kJ/m ² . ⁽²⁴⁾ |
| Andamento potenza termica emessa nella fase pre-flashover | Quadratico |
| t _α | 75 s (Ultra fast) |
| t _A | 587 s |

Tabella 5.3 Parametri in input per la determinazione della "burner surface"

Si specifica che:

- Il valore dell'HRRPUA è stato reperito in letteratura;
- Il valore di t_α è stato ragionevolmente ipotizzato secondo l'esperienza e secondo quanto riportato dal codice alla tabella G.3-2;

- Il valore di t_A è stato calcolato sfruttando le equazioni 5.1-2 e 5.1-3.

Al netto di quanto appena la situazione è rappresentata in figura 5.14 ovvero un capannone con all'interno un cumulo di rifiuti che brucia e due altri cumuli che costituiscono potenziali focolari rappresentati dai rettangoli marroncini di superficie equivalente pari a 45 m^2 e 30 m^2 .

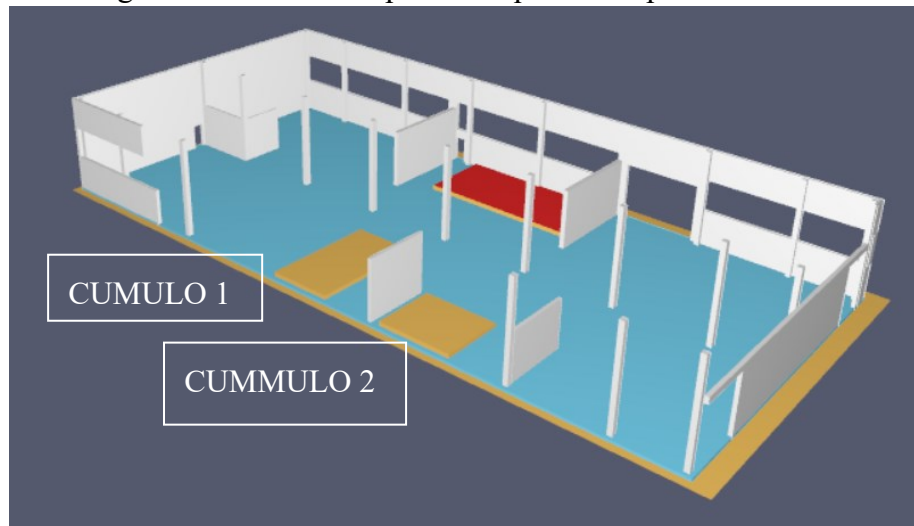


Figura 5.15 Rappresentazione grafica del capannone sezionato

Per ovvie ragioni di visualizzazione grafica si è scelto di “nascondere” la copertura, le vetrate e parte del muro perimetrale.

Come accennato in precedenza è necessario valutare se l'incendio sviluppatosi dal cumulo di primo innesco sia in grado di accendere gli altri due cumuli, ciò equivale a valutare se la potenza termica emessa raggiunge i due valori soglia precedente calcolati ovvero :15868 kW e 20000 kW per farlo è necessario ricavare la curva RHR riferita all'incendio di primo innesco. A questo punto, utilizzando l'equazione 5.1-2 si ricava un RHR_{max} pari a 61230 kW e attraverso la 5.1-3 si ricava il valore t_A pari a 587 s alla luce di questi dati è evidente che anche gli altri 2 cumuli verranno innescati, inoltre conoscendo la funzione che descrive la curva di propagazione è possibile ricavare il tempo di accensione “ t_{acc} ” per i due cumuli, in particolare avremo:

- $t_{acc1} = 299 \text{ s}$ per il cumulo 1;
- $t_{acc2} = 335 \text{ s}$ per il cumulo 2.

A questo punto vale la pena ricavare gli altri punti della curva RHR del cumulo di primo innesco e le curve RHR_1 e RHR_2 rispettivamente del cumulo 1 e 2. Così attraverso la 5.1-4 si ricava t_B e attraverso la 5.1-5 si ricava t_C e si ottengono tutti i punti necessari per costruire la curva, si ripete il procedimento per il cumulo 1 e il cumulo 2 e si ottengono le curve RHR_1 e RHR_2 . Tutti i risultati appena trovati relativi alle curve RHR dei 3 cumuli: Cumulo di primo innesco, Cumulo 1 e Cumulo 2 sono riportati alla Tabella 5.4.

| | RHR_{max} | t_A | t_B | t_C |
|-------------------------|-------------|-------|--------|---------|
| Cumulo di primo innesco | 61230 kW | 587 s | 9858 s | 17972 s |
| Cumulo 1 | 35325 kW | 446 s | 7134 s | 12994 s |
| Cumulo 2 | 23550 kW | 364 s | 6396 s | 11670 s |

Tabella 5.4 Punti necessari per rappresentare le 3 curve RHR.

Dunque, conoscendo la legge che regola la propagazione dell'incendio (5.1-1), conoscendo t_{α} (75 s) e conoscendo i valori riportati in Tabella 5.4 è possibile rappresentare le Curve RHR dei 3 cumuli calcolate analiticamente.

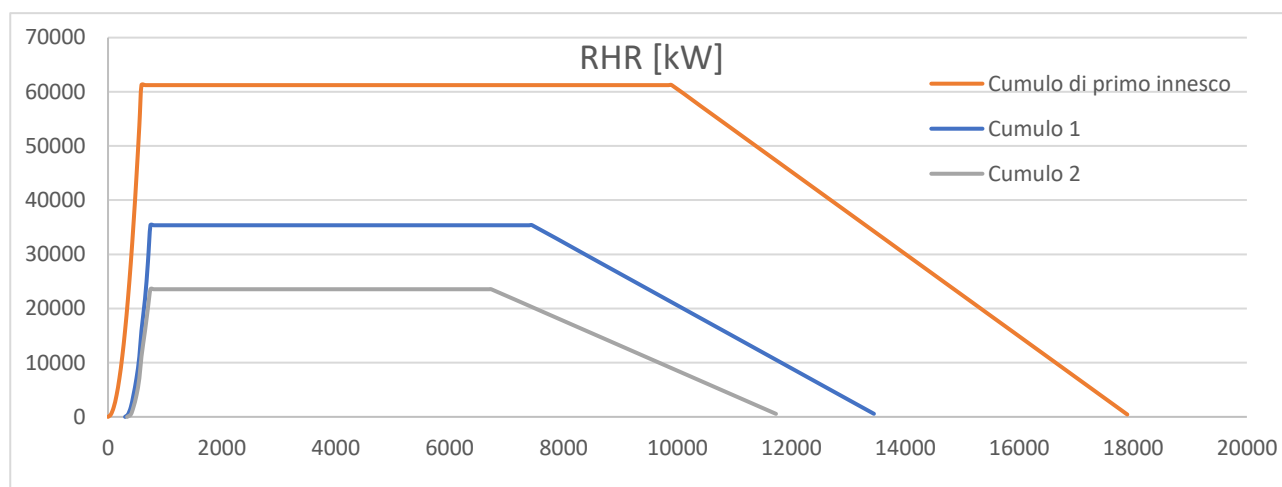


Figura 5.16 Curva RHR calcolata analiticamente relative ai 3 cumuli di rifiuti considerati

A questo punto è possibile ottenere la curva RHR complessiva come somma dei contributi nel tempo dei 3 focolari.

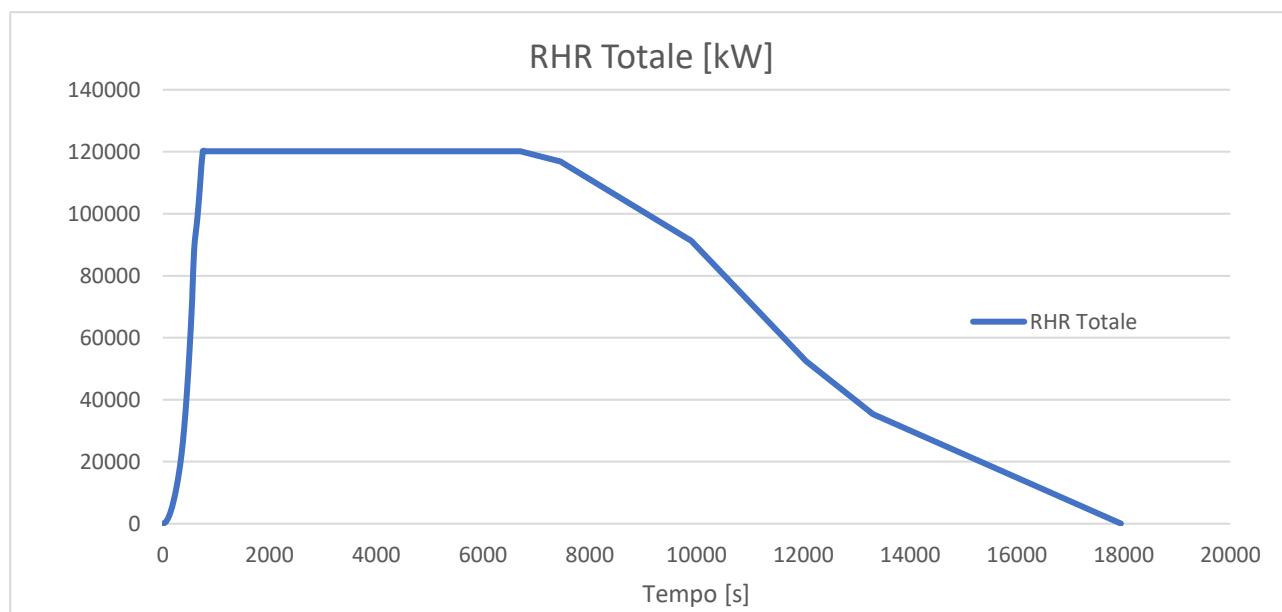


Figura 5.17 Curva RHR Totale calcolata analiticamente

Dunque, è stato dimostrato che il cumulo di primo innesco sia in grado di accendere anche gli altri due cumuli, dando origine ad un incendio di elevata entità. Alla luce di quanto appena detto, occorre fare in modo che anche nella simulazione dello scenario d'incendio il cumulo di primo innesco, accenda gli altri 2; per fare ciò occorre avvalersi dei “controls” di PyroSim, combinando questo

comando con altri strumenti di PyroSim è possibile creare logiche di controllo del tipo “*actives*” <...> “*when*” <...> “*activates*” oppure “*actives*” <...> “*at time*” < >, applicando quanto detto al caso in esame si deve fare in modo che le superfici relative ai 2 cumuli da innescare, si attivino quando il cumulo di primo innesco raggiunga i valori soglia di accensione precedentemente calcolati: 15868 kW e 20000 kW.

Dunque, innanzitutto si andranno a definire altre due “*burner surface*” con le caratteristiche riportate in Tabella 5.3 denominate FIRE_1 e FIRE_2, dopodiché si andranno a posizionare 2 “*devices*” sopra il cumulo di primo innesco che misuri la potenza termica emessa: “HRR” e “HRR01” a tali device sarà assegnato come valore di setpoint i due valori soglia, quindi rispettivamente 15868 kW e 20000 kW. Una volta fatto ciò basterà creare la logica di controllo che accenda i due cumuli, per farlo bisogna fare doppio click su “*controls*” e creare due nuovi control: Control01 e Control02 impostare la seguente logica di controllo: “*actives*” <FIRE_1>, “*when*” <HRR> “*activates*” per il Control01 e “*actives*” <FIRE_2>, “*when*” <HRR01> “*activates*”.

Per maggiore di chiarezza si riporta a titolo esemplare la schermata di PyroSim relativa al Control01 (Figura 5.17).

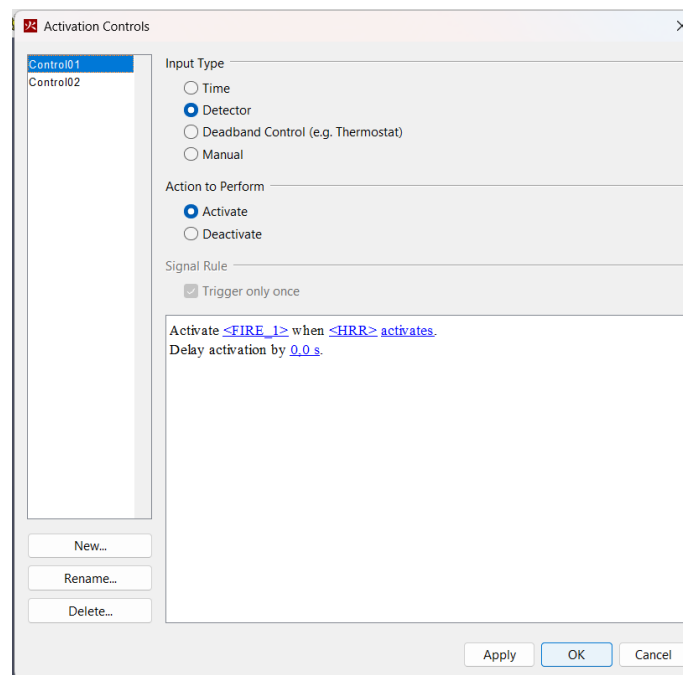


Figura 5.18 Schermata di PyroSim relativa al Control01

Impostando i 2 control in questo modo il cumulo 1 e il cumulo 2 si accenderanno quando la potenza termica emessa dal focolare di primo innesco sarà tale da raggiungere il valore di setpoint dei device che equivale ai valori di RHR minimi necessari per l'accensione dei due cumuli.

Una volta fatto ciò è necessario riuscire a modellare il comportamento delle vetrate del capannone in caso d'incendio. Si specifica che le vetrate del capannone realizzate in plexiglass sono state modellate come 8 blocchi differenti nominati come “Windows01...Windows08”, e si vuole fare in modo che ognuna scompaia quando si raggiunge la temperatura di fusione del plexiglass. Per fare ciò occorre creare 8 “*devices*” del tipo “*gas phase quantity*” che misurino la temperatura, nominarli come “W1...W8” e posizzionarli in corrispondenza delle vetrate in modo che ogni vetrata abbia il suo

senso di temperatura di riferimento. A questo punto occorre settare il setpoint sui vari sensori che sarà la temperatura di fusione del plexiglass, in favore di sicurezza si è scelto di impostare il setpoint a 200°C. Infine non resta che creare altre 8 logiche di controllo definendo 8 *controls*, in questo caso la logica di controllo sarà del tipo “*deactive*” <Windo0i> “*when*” <Wi> “*activates*”. Così facendo le vetrate verranno disattivate quando la temperatura raggiungerà i 200°C.

Come già ripetuto più volte questo studio si pone come obiettivo quello di valutare la salvaguardia della vita avvalendosi delle soglie di prestazione fornite dal “*Metodo di calcolo semplificato per ASET*” ovvero:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m (1,5 m per i soccorritori), al di sotto del quale permanga lo strato d’aria indisturbata;
- temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 200^{\circ}\text{C}$ (250°C per i soccorritori).

Per valutare la presenza o meno di uno strato d’aria libero dai fumi basta selezionare “*3D smoke*” nella visualizzazione grafica attraverso cui PyroSim mostra i risultati della simulazione se però si vuole valutare anche l’altezza di questo strato d’aria e non solo la presenza allora occorre avvalersi dello strumento: “*2D slices*” già menzionato al §5.2.1. Attraverso questa funzione è possibile creare dei piani XY, XZ o YZ che consentano una visualizzazione immediata che attraverso una scala cromatica restituisce il valore di una delle grandezze che è possibile misurare: temperatura, visibilità, pressione, calore specifico, velocità, ecc...

Dunque, per valutare la presenza dello strato libero d’aria di altezza 2 m basterà creare attraverso la funzione “*2D slices*” un piano XY a quota 2 m che misuri la visibilità (Figura 5.18).

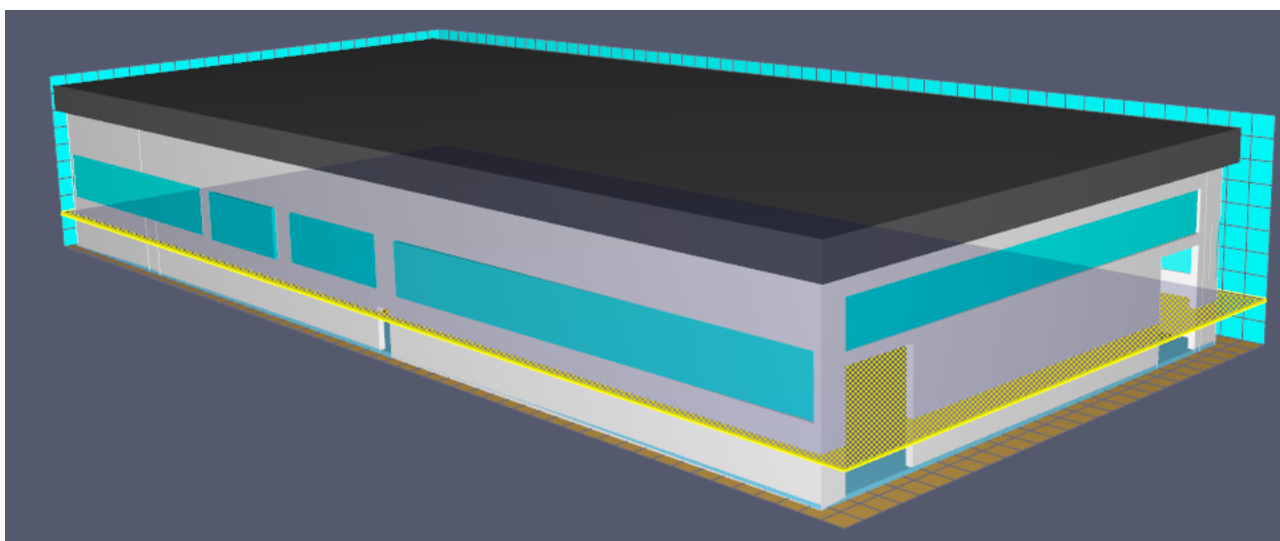


Figura 5.19 *2D Slices: piano XY a quota 2 m che misura la visibilità*

Per quanto riguarda invece la misura della temperatura media dei gas caldi, la situazione è più complessa in quanto questo è un modello 3D, e dunque le misurazioni della temperatura dei gas caldi andranno fatte lungo le 3 dimensioni X, Y e Z. Per avere una stima qualitativa della situazione sarebbe

sufficiente la funzione “3D Slices” applicata così come mostrato in Figura 5.13, ma per un’analisi quantitativa come quella necessaria per valutare la salvaguardia della vita non è sufficiente.

Per ovviare a questo problema la soluzione che si è pensato di attuare consiste nel distribuire all’interno del capannone ed in maniera uniforme (a 3 differenti altezze: 4 m, 6 m e 8 m) altri 54 *device* della stessa tipologia di quelli già menzionati. L’ipotesi implicitamente assunta per giungere a questa soluzione è che i fumi caldi stratifichino a partire da una quota Z pari a 4 m il che equivale a dire che al di sotto di tale quota gli eventuali fumi caldi presenti non saranno presi in considerazione. Dunque, così è come si presenta il modello definitivo nello Scenario I prima del “lancio” del programma, i puntini verdi rappresentano i “*devices*” di cui si è parlato. I risultati della simulazione saranno poi discussi e commentati al Capitolo 6.

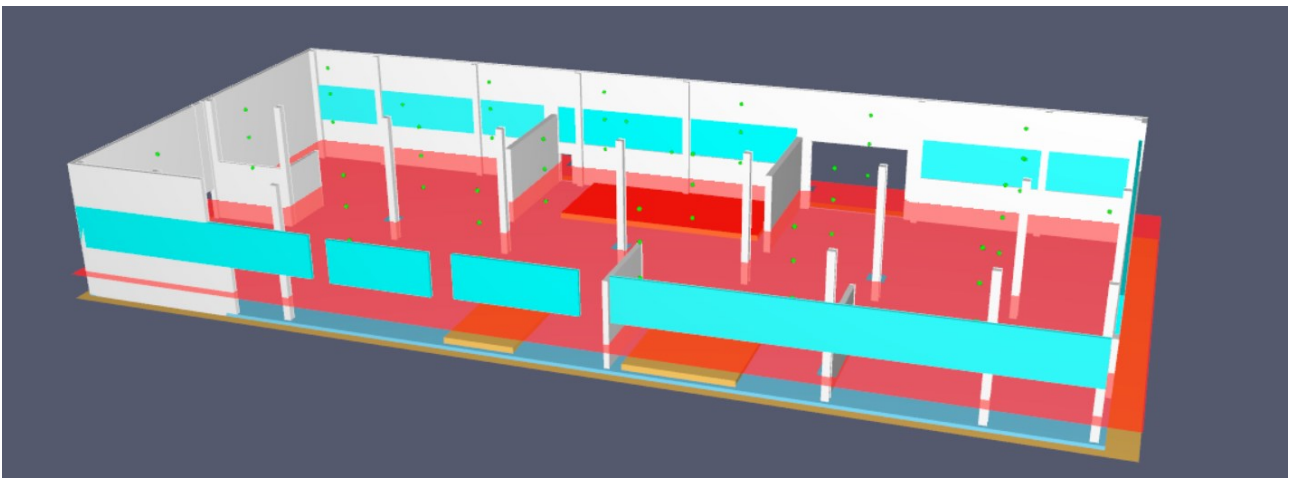


Figura 5.20 Modello definitivo pronto per la simulazione – Scenario I

5.3.2 Scenario II – Capannone dotato di un Sistema di Evacuazione Naturale Fumi e Calore (SENFC)

In questo scenario si valuta l’andamento dell’incendio con le stesse caratteristiche di quello dello Scenario I e all’interno del medesimo capannone, con l’unica differenza che in questo caso sono stati installati in copertura degli evacuatori di fumo e calore, dunque per tutti i dettagli riguardanti la modellazione dell’incendio, si rimanda al § 5.3.1 e al §5.3.2.

In questo scenario è stato aggiunto un Sistema di Evacuazione Naturale Fumi e Calore progettato secondo la UNI 9494-1 di seguito saranno riportate le scelte progettuali fatte per il dimensionamento del SENFC e successivamente i passaggi per la creazione di tali evacuatori all’interno di PyroSim. Per ulteriori dettagli sui SENFC si rimanda al §4.4.1.

5.3.2.1 Dimensionamento del Sistema di Evacuazione Naturale Fumi e Calore

La norma che fornisce le disposizioni per la progettazione dei SENFC è la UNI 9494-1:2017 che rappresenta la versione aggiornata e modificata della precedente UNI 9494-1:2012.

Il primo passo per la progettazione di un SENFC è la scelta del gruppo di funzionamento GD, che è funzione della durata convenzionale di sviluppo dell'incendio e della velocità di propagazione dello stesso, valori di riferimento sono riportati in Tabella 5.4.

| T[<i>min</i>] | Gruppo di dimensionamento (GD) | | |
|-----------------|--|----------------|----------------|
| | Velocità di propagazione dell'incendio | | |
| | Bassa | Media | Alta |
| ≤ 5 | 1 | 2 | 3 |
| ≤ 10 | 2 | 3 | 4 |
| ≤ 15 | 3 | 4 | 5 |
| ≤ 20 | 4 | 5 ^a | 5 ^b |
| >20 | 5 | 5 ^b | 5 ^b |

a: La scelta di GD 5 in questo caso non richiede ulteriori giustificazioni.
b: In questi casi la sola installazione di un SEFC non è sufficiente a garantire il raggiungimento degli obiettivi di protezione della norma, dunque è necessario prevedere misure aggiuntive.

Tabella 5.4 Scelta del Gruppo di Dimensionamento

Ove T : Tempo convenzionale dell'incendio= $T_1 + T_2 = 15$ min

Con $T_1 = 0$ poiché il capannone è dotato di rilevazione automatica dell'incendio

$T_2 = > 10$ min. poiché in favore di sicurezza non si considera l'intervento della squadra antincendio interna all'azienda, in particolare si considera $T_2 = 15$ min ovvero pari al tempo medio di arrivo dei Vigili del Fuoco nella regione Veneto (Fonte: Annuari statistici del C.N.VV.F.),

Per quanto riguarda la velocità di propagazione, avendo modellato un incendio "ultra-fast" la scelta non può che ricadere su "Alta". Il gruppo di dimensionamento adeguato secondo la norma è dunque il GD 5, tuttavia, come specificato in Tabella 5.4, questo non garantisce il mantenimento dello strato libero dai fumi in quanto con tutta la probabilità un incendio che si propaga velocemente, dopo 15 minuti, è già nelle condizioni di incendio generalizzato. Questo comunque non è di grande interesse per questa Tesi dato che in questo studio non si ha l'obbligo di dimostrare la presenza dello strato libero dai fumi per un tempo pari alla durata convenzionale dell'incendio, ma ci si limita a valutare se questo ci sia o no. Inoltre, per questo scenario è stata fatta la scelta conservativa di non considerare la presenza della squadra antincendio interna all'azienda che porterebbe ad una sensibile riduzione del tempo "T" così da poter scegliere un GD per cui sia garantito il mantenimento dello strato libero dai fumi.

Dunque, una volta scelto il GD 5, è possibile entrare nella Tabella 5.5 e ricavare la SUT ovvero la somma di tutte le superfici utili di apertura di ciascun evacuatore.

| Altezza del locale ^{a)} (m) | Altezza dello strato di fumo (m) | Altezza dello strato libero da fumo (m) | SUT(m ²) | | | | |
|---|----------------------------------|---|---------------------------|------|------|------|------|
| | | | Gruppo di dimensionamento | | | | |
| <i>h</i> | <i>z</i> | <i>y</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 8,0 | 5,5 | 2,5 | 1,5 | 1,9 | 2,5 | 3,3 | 4,6 |
| | 5,0 | 3,0 | 2,1 | 2,8 | 3,6 | 4,8 | 6,5 |
| | 4,5 | 3,5 | 2,8 | 3,9 | 5,0 | 6,6 | 8,8 |
| | 4,0 | 4,0 | 3,6 | 5,2 | 6,9 | 8,9 | 11,7 |
| | 3,5 | 4,5 | 4,4 | 6,5 | 9,3 | 11,8 | 15,4 |
| | 3,0 | 5,0 | 5,4 | 8,1 | 11,9 | 15,7 | 20,2 |
| | 2,5 | 5,5 | 6,5 | 9,9 | 14,8 | 20,7 | 26,5 |
| | 2,0 | 6,0 | 8,4 | 12,2 | 18,6 | 27,2 | 34,9 |
| | 1,5 | 6,5 | 11,7 | 15,2 | 23,6 | 35,2 | 47,1 |
| | 1,0 | 7,0 | 17,1 | 19,9 | 31,4 | 47,7 | 66,8 |

Tabella 5.5 Dimensionamento della SUT

Così facendo si ottiene la SUT in funzione dell'altezza del capannone e dello strato libero dai fumi. A questo punto seguendo l'indicazione di installare un evacuatore ogni 200 m² si arriva alla decisione di installarne 8 distribuiti uniformemente sulla copertura, ognuno di SUT pari a 0.81 m² così da avere una SUT leggermente maggiore di quella prevista dalla norma pari a 6.48 m². Distanza tra un evacuatore e l'altro non sarà né inferiore a 5 m né superiore a 20 m.

Infine, l'ultima cosa che rimane da calcolare è la SCT ovvero la superficie totale delle aperture per l'afflusso dell'aria corretta da dei coefficienti che variano a seconda del tipo delle aperture, in questo caso si ha SCT = 48 m². Per fare sì che il SENFC sia conforme alla norma deve essere rispettata la seguente relazione: $SCT \geq 1.5 SUT$ ovvero $SCT \geq 6.9 \text{ m}^2$, dunque la condizione è soddisfatta.

5.3.2.2 Modellazione del Sistema di Evacuazione Naturale Fumi e Calore su PyroSim

Per quanto riguarda la modellazione del SENFC su PyroSim, una volta dimensionati gli evacuatori così come al §5.3.3.1 quello che resta da fare è piuttosto semplice. Infatti, trattandosi di evacuazione naturale non ci sono impianti di aspirazione d'aria esterna da progettare, ma è sufficiente creare delle aperture sulla copertura con il comando "Draw a slab hole" e disporle e dimensionarle secondo quanto deciso in fase di progettazione. Una volta fatto ciò, non resta che creare una logica di controllo del tipo "actives" <...> "at time" < >, tra un "control" e gli evacuatori. Per farlo basta creare un nuovo control: "Control03", e programmarlo in maniera tale che attivi tutti gli evacuatori contemporaneamente al tempo "Tbegin = 60 s". Si è scelto come tempo d'attuazione 60 s poiché si considera il tempo entro cui l'impianto di rilevazione è in grado di rilevare l'incendio e mandare il segnale alla centrale antincendio che così aziona gli evacuatori. Il modello definitivo del capannone per lo scenario II si presenta così come in Figura 5.20. Questa volta si è scelto di non "nascondere" la copertura per poter mostrare con chiarezza gli evacuatori.

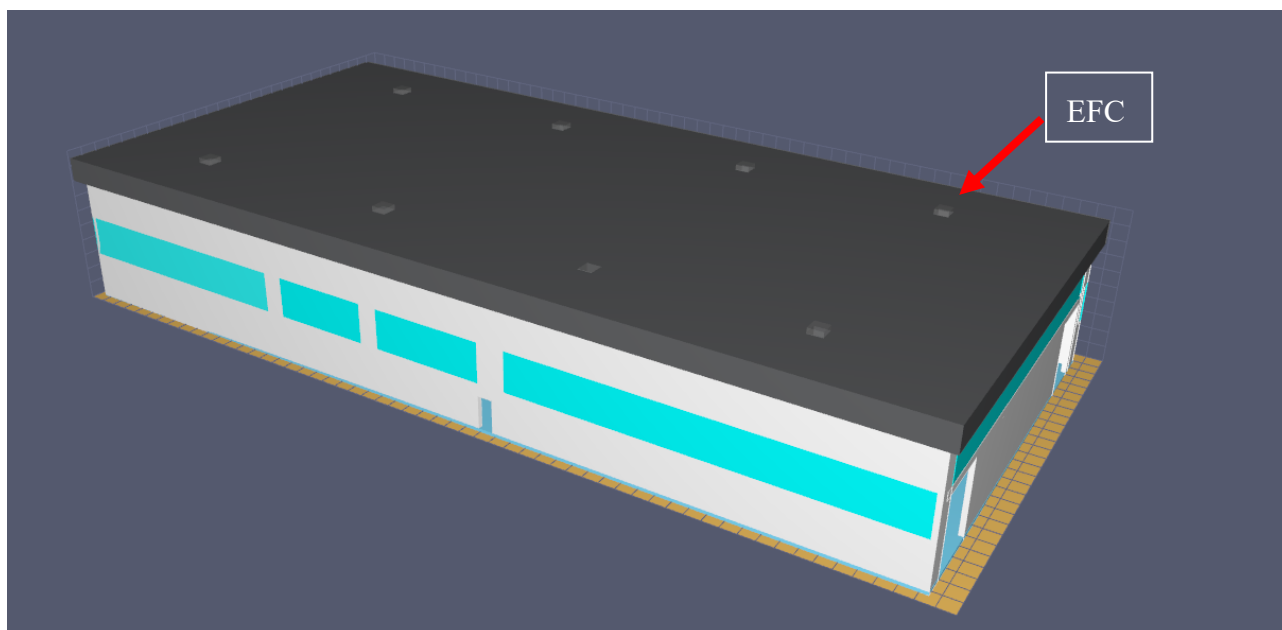


Figura 5.21 Modello definitivo pronto per la simulazione– Scenario II

5.3.3 Scenario III – Capannone dotato di un Sistema di Evacuazione Forzata Fumi e Calore (SEFFC)

In questo scenario si valuta l'andamento dell'incendio con le stesse caratteristiche di quello dello Scenario I e all'interno del medesimo capannone, con l'unica differenza che in questo caso è stato progettato ed installato un sistema di evacuazione forzata dei fumi e del calore, dunque per tutti i dettagli riguardanti la modellazione dell'incendio, si rimanda al § 5.3.1 e al §5.3.2.

In questo scenario è stato aggiunto un Sistema di Evacuazione Forzata Fumi e Calore progettato secondo la UNI 9494-2 di seguito saranno riportate le scelte progettuali fatte per il dimensionamento del SEFFC e successivamente i passaggi per la creazione di tali evacuatori all'interno di PyroSim. Per ulteriori dettagli sui SEFFC si rimanda al §4.4.1.

5.3.3.1 Dimensionamento del Sistema di Evacuazione Forzata Fumi e Calore

La norma che fornisce le disposizioni per il dimensionamento dei SEFFC è la UNI 9494-2:2017 che rappresenta la versione aggiornata e modificata della precedente UNI 9494-2:2012.

Anche in questo caso il primo step è rappresentato dalla scelta del gruppo di dimensionamento, la scelta del dimensionamento avviene in maniera analoga rispetto a quanto già detto al §5.5.3.1 dunque anche in questo caso si avrà GD 5 e anche in questo caso l'impianto di evacuazione da solo non sarà sufficiente a garantire lo strato libero dai fumi.

Dunque, una volta scelto il GD 5, è possibile entrare nella Tabella 5.6 e ricavare la portata volumetrica complessiva del sistema di evacuazione espressa in m^3/h .

| Altezza dello strato libero dal fumo [m] | Gruppo di dimensionamento | | | | |
|--|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2.5 | 29000 | 46000 | 75000 | 128000 | 223000 |
| 3 | 34000 | 55000 | 88000 | 145000 | 248000 |
| 4 | 43000 | 72000 | 115000 | 184000 | 303000 |
| 5 | 50000 | 85000 | 143000 | 229000 | 366000 |
| 6 | 59000 | 96000 | 165000 | 276000 | 436000 |
| 7 | 73000 | 105000 | 183000 | 311000 | 512000 |
| 8 | 88000 | 121000 | 197000 | 342000 | 580000 |

Tabella 5.6 Dimensionamento della portata di aspirazione totale del SEFFC

Si specifica che questo valore di 223000 m³/h rappresenta il valore minimo che il sistema deve avere per poter essere considerato conforme alla UNI 9494-2.

Lo step successivo è rappresentato dalla determinazione della temperatura media dei fumi, ricavabile dalla seguente Tabella. Tutti i valori riportati sono espressi in °C.

| Riga | Altezza dello strato libero da fumo (m) | Gruppo di dimensionamento | | | | |
|------|---|---------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 2,5 | 160 | 210 | 290 | 400 | 560 |
| 2 | 3 | 130 | 170 | 230 | 310 | 430 |
| 3 | 4 | 100 | 120 | 150 | 210 | 290 |
| 4 | 5 | 80 | 100 | 120 | 160 | 210 |
| 5 | 6 | 70 | 90 | 100 | 120 | 170 |
| 6 | 7 | 60 | 80 | 90 | 110 | 140 |
| 7 | 8 | 50 | 70 | 90 | 100 | 120 |
| 8 | 9 | 50 | 60 | 80 | 90 | 110 |
| 9 | 10 | 40 | 60 | 70 | 90 | 100 |

Tabella 5.7 Determinazione temperatura media dei fumi caldi [°C]

Da cui si ricava una temperatura media dei fumi: " $\theta_{f,media}$ " pari a 560°C. Tale temperatura sarà poi usata per dimensionare la portata di aspirazione del singolo evacuatore.

Una volta fatto ciò è necessario determinare anche la temperatura locale dei fumi, per si usufruisce della seguente Tabella.

| Riga | Altezza dello strato libero da fumo (m) | Gruppo di dimensionamento | | | | |
|------|---|---------------------------|-----|-----|-----|-------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 2,5 | 196 | 268 | 371 | 516 | 722 ¹⁾ |
| 2 | 3 | 156 | 209 | 287 | 397 | 554 |
| 3 | 4 | 121 | 148 | 193 | 265 | 367 |
| 4 | 5 | 103 | 122 | 148 | 196 | 268 |
| 5 | 6 | 90 | 108 | 127 | 155 | 209 |
| 6 | 7 | 74 | 99 | 114 | 135 | 170 |
| 7 | 8 | 64 | 87 | 106 | 122 | 146 |
| 8 | 9 | 56 | 75 | 101 | 113 | 133 |
| 9 | 10 | 50 | 67 | 91 | 107 | 123 |

Tabella 5.7 Determinazione temperatura locale dei fumi caldi [°C]

Da cui si ricava una temperatura media dei fumi: “ $\theta_{f,locale}$ ” pari a 722°C.

Tale temperatura è necessaria per poter scegliere i componenti adatti per il SEFFC che si vuole installare, infatti attraverso la Tabella 5.8 si vede come in funzione della $\theta_{f,locale}$ è possibile determinare le caratteristiche di resistenza al fuoco dei vari componenti.

| Componenti | Temperatura locale dei fumi $\theta_{f,locale}$ (°C) | | | | Nome di riferimento |
|---|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | ≤200 °C | ≤300 °C | ≤400 °C | ≤600 °C | |
| Ventilatori per SEFFC | F200 | F300 | F400 | F600 | UNI EN 12101-3 |
| Condotte di controllo del fumo (singolo compartimento) | E ₃₀₀ 30 S | E ₃₀₀ 30 S | E ₆₀₀ 30 S | E ₆₀₀ 30 S | UNI EN 12101-7 |
| Condotte di controllo del fumo (compartimenti multipli) | E _{l xxx} S | | | | |
| Serrande di controllo del fumo (singolo compartimento) | E ₃₀₀ 30 S | E ₃₀₀ 30 S | E ₆₀₀ 30 S | E ₆₀₀ 30 S | UNI EN 12101-8 |
| Serrande di controllo del fumo (compartimenti multipli) | E _{l xxx} S | | | | |
| Barriere al fumo | D 30 | | | | UNI EN 12101-1 |
| Cavi di segnale | | | | | CEI 20-105 |
| Cavi di potenza | | | | | UNI EN 13501-1 UNI EN 13501-3 |

Tabella 5.8 Determinazione prestazioni dei componenti del SEFFC

Da questa tabella risulta evidente che l’eventualità di temperature locali dei fumi superiori a 700°C non viene nemmeno presa in considerazione; dunque, per la scelta della componentistica si ricadrà su quella con le prestazioni più elevate ovvero quella dimensionata per resistere fino a 600°C. Questa

scelta come verrà dimostrato al Capitolo 6 si rivelerà azzeccata in quanto, anche nello scenario peggiore, la temperatura dei fumi non raggiungerà mai i 600°C. Questo dimostra l'approccio conservativo con cui vengono scritte le norme, le quali generalmente garantiscono un ampio margine di sicurezza.

Lo step successivo è rappresentato dal dimensionamento della portata di aspirazione (m^3/h) di un singolo evacuatore costituente il sistema di evacuazione.

Per farlo è necessario interpolare una retta all'interno di un "Nomogramma" (Figura 5.21). La retta interpolante è rappresentata dalla retta che passa per il punto del grafico che indica la $\theta_{f,media}$ e per quello che indica il " $\Delta\delta_s$ " ovvero la distanza tra la quota a cui è installato l'evacuatore di fumi e la quota relativa all'altezza dello strato libero dai fumi. Nel caso in questione la $\theta_{f,media}$ è di 560°C mentre, considerando lo strato libero dai fumi ipotizzato fino ad ora pari a 2,5 m, il $\Delta\delta_s$ dovrebbe essere pari a 5,5 m. Tuttavia, come è stato chiarito fin dal primo step, il tipo di dimensionamento previsto potrebbe non essere in grado di garantire lo strato libero dai fumi; infatti, se si interpolassero i valori sopra menzionati, si otterrebbe un valore di portata d'aspirazione del singolo evacuatore superiore ad 100000 m^3/h . Tale valore è assurdo e sarebbe impossibile da ottenere con gli evacuatori disponibili in commercio, dunque per proseguire con il dimensionamento si accetta un valore di $\Delta\delta_s$ inferiore e pari a circa 3,5 così da trovare un valore accettabile di portata pari a circa 350000 m^3/h per singolo evacuatore. Tale ipotesi è ammissibile in virtù del fatto che, come già detto, si sta progettando trascurando completamente la presenza di una squadra di soccorso interna all'azienda e dunque si ha un ampio margine di sicurezza che permette di compiere queste scelte. Così facendo inoltre si può valutare anche lo scenario in cui le squadre di soccorso arrivano con l'incendio già in fase post-flashover, scenario sicuramente interessante per quanto riguarda l'evacuazione fumi e calore.

Quanto appena detto è rappresentabile con il seguente "Nomogramma".

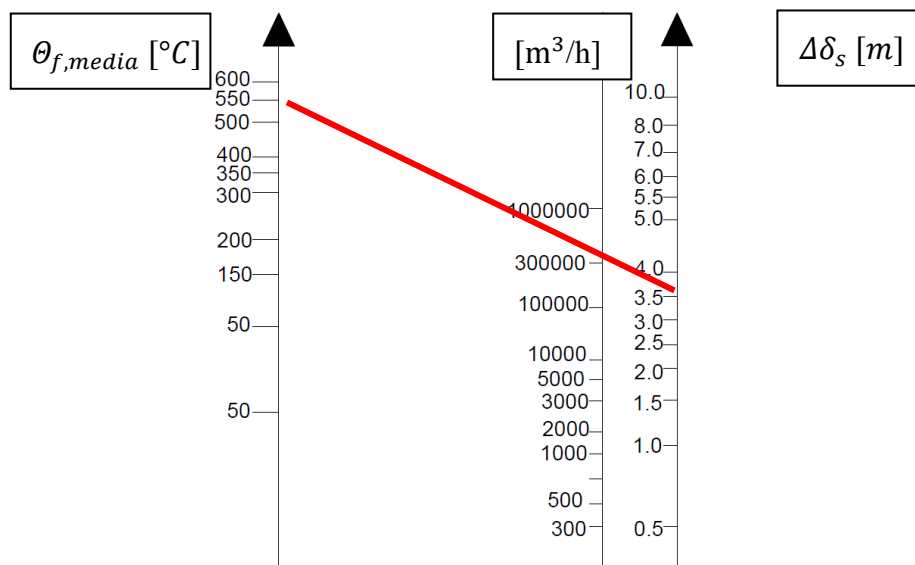


Figura 5.22 Nomogramma per la determinazione della portata di aspirazione per singolo evacuatore [m^3/h]

Dunque, dal Nomogramma appena mostrato si ricava una portata per singolo evacuatore pari a circa 350000 m³/h. Alla luce di questi dati si è scelto di installare 4 evacuatori del tipo “a torre” in copertura, in particolare è stato individuato il seguente dispositivo: “*Estrattore fumi da tetto SMHA*” (Figura 5.22), il quale rispetta le caratteristiche della tabella 5.8 ed ha una portata di aspirazione pari a 370000 m³/h. Così facendo si ottiene un sistema in grado complessivamente di aspirare 1480000 m³/h.



Figura 5.23 *Estrattore fumi da tetto SMHA*

Infine, si calcola il valore della distanza minima “ d_{\min} ” da tenere tra due evacuatori. Tale distanza è calcolabile come segue:

$$d_{\min} = 0.015 \times \sqrt{V} = 9.12 \text{ m}$$

ove:

V: Portata singola d’aspirazione [m³/h.]

I 4 estrattori saranno dunque disposti in linea al centro della copertura a distanza costante l’uno dall’altro pari a 10 m.

Infine, occorre verificare che le aperture da cui affluisce l’aria esterna nel capannone abbiano superficie maggiore di quella richiesta.

La superficie minima richiesta A_{EF} si calcola dividendo la portata d’aspirazione totale del SEFFC con la velocità massima ammissibile per l’aria di ricambio.

Da questo calcolo si ricava $A_{EF} = 50 \text{ m}^2$. La superficie effettiva per il ricambio d’aria invece risulta essere pari a 80 m², di conseguenza la verifica è soddisfatta.

5.3.3.2 Modellazione del Sistema di Evacuazione Forzata Fumi e Calore su PyroSim

Per quanto riguarda la modellazione dello scenario le operazioni da svolgere sono descritte in seguito. Innanzitutto, occorre creare una nuova superficie del tipo “*exhaust*” questa superficie è quella usata da PyroSim per simulare l'estrazione del fumo. A questa superficie attribuiremo la portata d'aspirazione stabilita al §5.4.3.1 espressa in m/s ovvero 26 m/s. Dopodiché occorre creare 4 “*vent*” ognuno dei quali rappresenta un singolo estrattore, le dimensioni del *vent* sono state ipotizzate in base a quello che potrebbe essere l'ingombro complessivo degli estrattori ovvero pari a 1.50 x 1.50 m. In seguito si posiziona i *vent* così come stabilito nel paragrafo precedente e ad ognuno di questi si associa la superficie “*exhaust*” creata in precedenza. Infine, prima di poter avviare la simulazione occorre definire un nuovo *control*: “*Control04*” il quale analogamente al “*Control03*” trattato al §5.3.3.2 attiva la superficie “*exhaust*” dopo 60 s così facendo si riesce a simulare uno scenario in cui gli estrattori di fumo entrino in azione 60 s dopo il momento dell'innesco.

Si è scelto come tempo d'attuazione 60 s poiché si considera il tempo entro cui l'impianto di rilevazione è in grado di rilevare l'incendio e mandare il segnale alla centrale antincendio che così aziona gli evacuatori.

Il modello definitivo del capannone per lo scenario III si presenta così come in Figura 5.23. Anche questa volta si è scelto di “nascondere” la copertura per poter mostrare con maggiore chiarezza gli estrattori di fumo rappresentati dai 4 quadrati verdi..

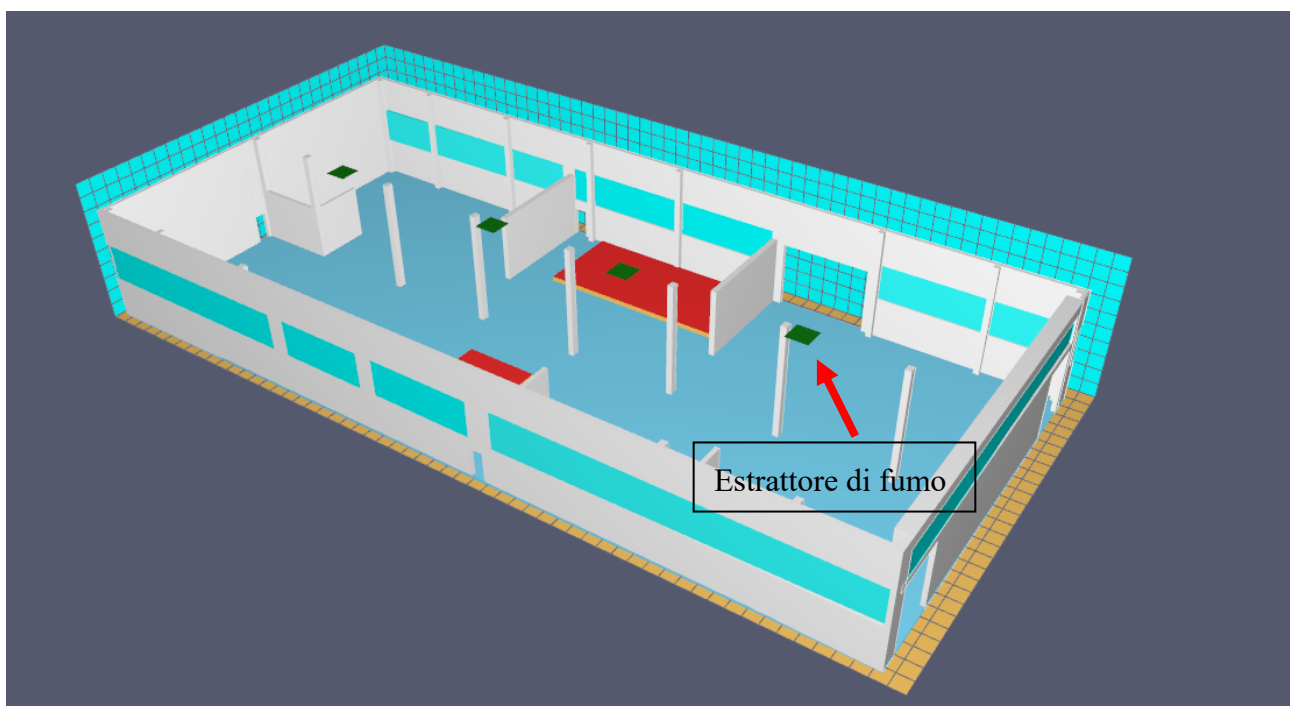


Figura 5.24 Modello definitivo pronto per la simulazione– Scenario II

5.4 Conclusioni

In questo capitolo si è deciso di porre l'attenzione sulla costruzione degli scenari d'incendio attraverso il software di calcolo PyroSim. Dunque, come prima cosa è stata fatta una descrizione generale di PyroSim e delle sue principali funzionalità e caratteristiche, in seguito, dopo un approfondimento teorico sulle nozioni di base indispensabili per la comprensione della presente Tesi, sono stati descritti nello specifico tutti i passaggi necessari per la costruzione dei 3 scenari d'incendio considerati.

Il primo scenario rappresenta il capannone così come è nella realtà e per cui è garantito il Livello II dell' S.8, il secondo scenario rappresenta il medesimo capannone al quale è stato installato un SENFC con lo scopo di raggiungere gli obiettivi stabiliti dal Livello di prestazione III dell' S.8, mentre il terzo scenario rappresenta il medesimo capannone al quale però è stato installato un SEFFC, sempre con lo scopo di raggiungere gli obiettivi stabiliti dal Livello di prestazione III dell' S.8.

Si ribadisce che questa Tesi non si ha l'obiettivo di dimostrare il raggiungimento dei requisiti dettati dai livelli di prestazione prima menzionati, ma soltanto quello di mostrare i risultati ricavati dai vari scenari, analizzarli e compiere valutazioni in merito. Nel capitolo successivo saranno infatti mostrati e analizzati ricavati dalle simulazioni.

Capitolo 6

Analisi dei risultati

In questo capitolo saranno mostrati i risultati ottenuti dallo studio degli scenari d'incendio descritti al Capitolo 5, ogni scenario sarà analizzato separatamente, e per ognuno di questi sarà valutata la salvaguardia della vita, distinguendo tra salvaguardia degli occupanti e salvaguardia dei soccorritori in accordo con quanto richiesto dal Livello di prestazione III dell'S. 8: "Controllo di fumi e calore". La salvaguardia della vita sarà valutata attraverso il rispetto (o meno) delle seguenti soglie:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m (1,5 m per i soccorritori), al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata;
- temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 200^{\circ}\text{C}$ (250°C per i soccorritori).

Infine, una volta fatto ciò, sarà fatto un confronto conclusivo tra gli scenari d'incendio considerati.

Prima dell'analisi dei risultati ottenuti però, si è ritenuto necessario dimostrare l'attendibilità dei dati ricavati dalle simulazioni, la prova della bontà di tali dati è fornita al § 6.1.

6.1 Attendibilità dei risultati

In ogni studio che si rispetti è fondamentale fornire una prova sull'attendibilità dei risultati ottenuti. A tal proposito si è scelto di mettere a confronto la curva RHR calcolata analiticamente (Figura 6.1) e le curve RHR (numeriche) fornite in output dal calcolatore per un intervallo di tempo pari a quello considerato per la simulazione ovvero 960 s (tempo d'arrivo stimato dei Vigili del Fuoco)

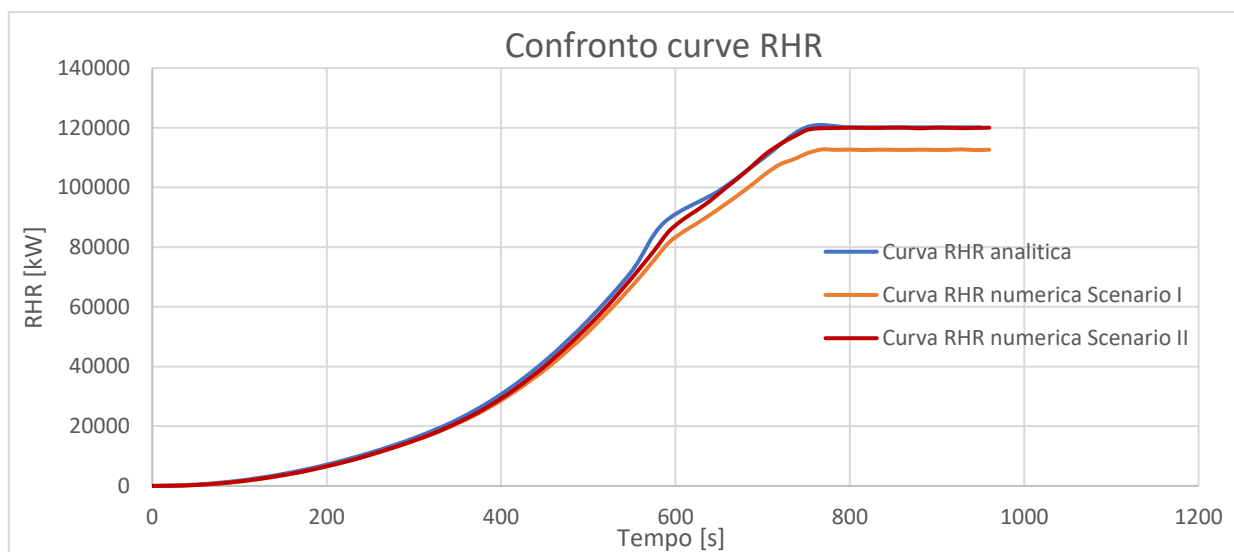


Figura 6.1 Confronto tra la curva RHR ottenuta analiticamente e quella ottenuta numericamente

Dal grafico in Figura 6.1 si vede come le curve numeriche, al netto di qualche approssimazione siano quantomeno paragonabili con quella analitica; questo dimostra che i risultati forniti in output dal software sono realistici e coerenti con quanto previsto e che i risultati che verranno mostrati in seguito godono di una certa attendibilità.

Infine, si specifica che la curva relativa allo Scenario III non è stata riportata poiché coincide quasi perfettamente con quella dello Scenario I, dunque quanto detto vale anche per lo scenario III.

6.2 Scenario I - Capannone privo di un sistema evacuazione fumo e calore

In questo paragrafo verranno mostrati i risultati delle simulazioni svolte sullo Scenario I, come già ribadito l'obiettivo è quello di valutare se è garantita la salvaguardia degli occupanti e delle squadre dei soccorritori in caso d'incendio o equivalentemente se è garantito il rispetto del Livello di prestazione III dell'S.8 perciò lo studio sarà incentrato principalmente sull'andamento dei fumi e del calore, tuttavia saranno presentati anche altri aspetti. Infatti, in primis si ritiene necessario trattare l'argomento prima in maniera generica e poi andando nel particolare, per farlo si parte mostrando la curva RHR fornita come output di default dal software.

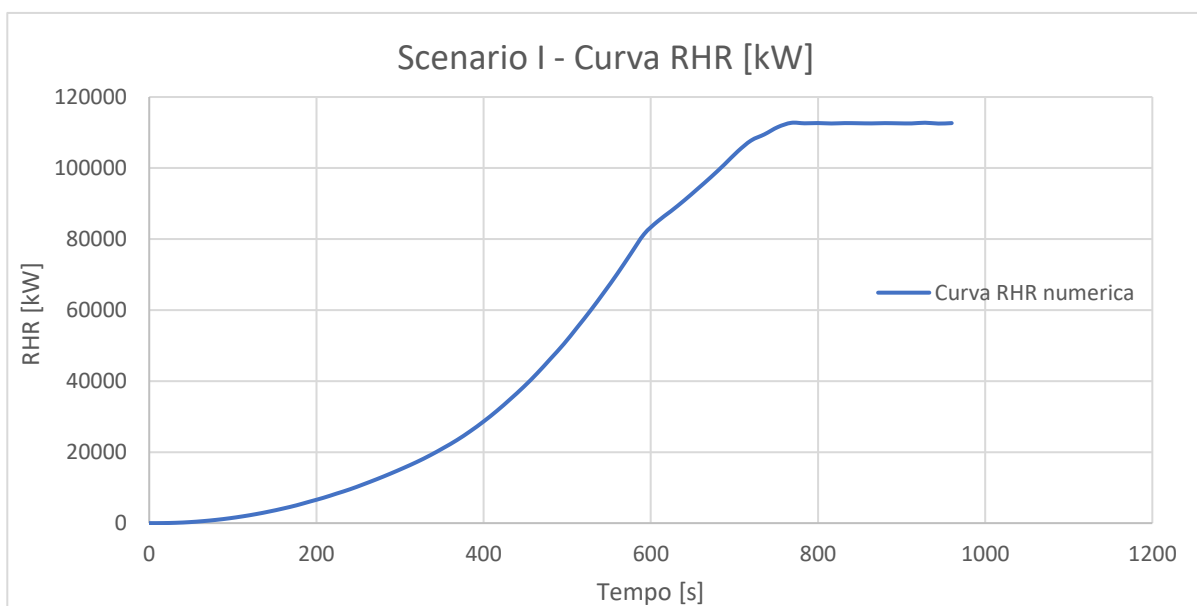


Figura 6.2 Curva RHR calcolata con PyroSim per lo Scenario I

Come si evince dalla curva la fase di propagazione rappresenta all'incirca i primi 800 secondi dell'incendio, una volta raggiunti circa 112000 kW (RHR_{max}) infatti l'incendio entra nella fase cosiddetta "stazionaria"; come già detto al §5.1.2.2 la fase dell'incendio stazionaria è quella fase in cui il valore della potenza termica rilasciata dall'incendio cessa di crescere e rimane fisso sul valore RHR_{max} . In tale fase non si ritiene possibile garantire la salvaguardia della vita, gli stessi Vigili del Fuoco una volta che l'incendio ha raggiunto la fase stazionaria non entrano nell'edificio ma cercano di limitare i danni ai beni materiali e all'ambiente tenendosi a debita distanza dalle fiamme.

Un altro parametro che vale la pena analizzare è la temperatura, per farlo si inizia mostrando i risultati ottenuti da uno dei 54 *device* disposti come in Figura 5.20 al fine di misurare l'andamento della temperatura durante l'incendio, in particolare si è scelto di mostrare il *device* che ha registrato le temperature più elevate. Il *device* che in questo caso ha registrato le temperature più elevate è il "T₃₃₃" ovvero il sensore posto alla quota di 8 m in corrispondenza del cumulo di primo innesco (Figura 6.3).

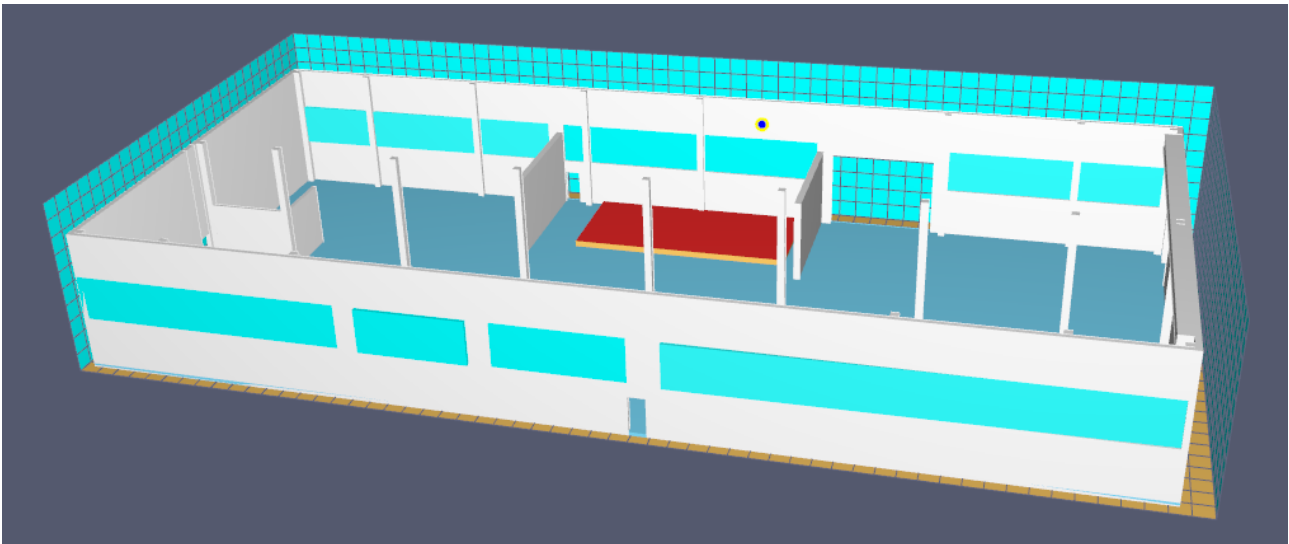


Figura 6.3 Collocazione del *device* "T₃₃₃" all'interno del capannone

L'andamento della temperatura registrato dal *device* "T₃₃₃" è rappresentato dal grafico in Figura 6.4.

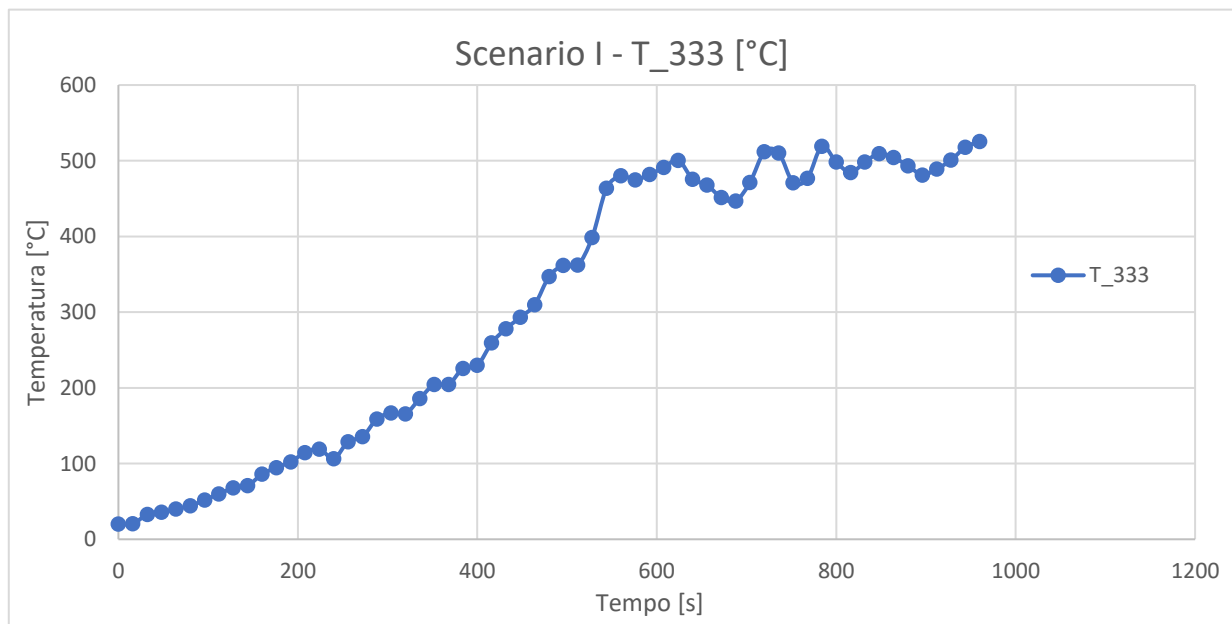


Figura 6.4 Andamento della temperatura registrato dal *device* "T₃₃₃" [°C]

Il picco in questo caso si ha dopo 960 s ed è pari a 525°C.

Dal grafico si intuisce che c'è una certa corrispondenza tra l'andamento della temperatura e quello della curva RHR. Tale corrispondenza biunivoca risulterebbe ancora più evidente se, invece di valutare la temperatura locale in uno specifico punto, si valutasse l'andamento generale andando a graficare per ogni istante di tempo "t" la media dei valori registrati da tutti i sensori.

Tale andamento è rappresentato in Figura 6.5.

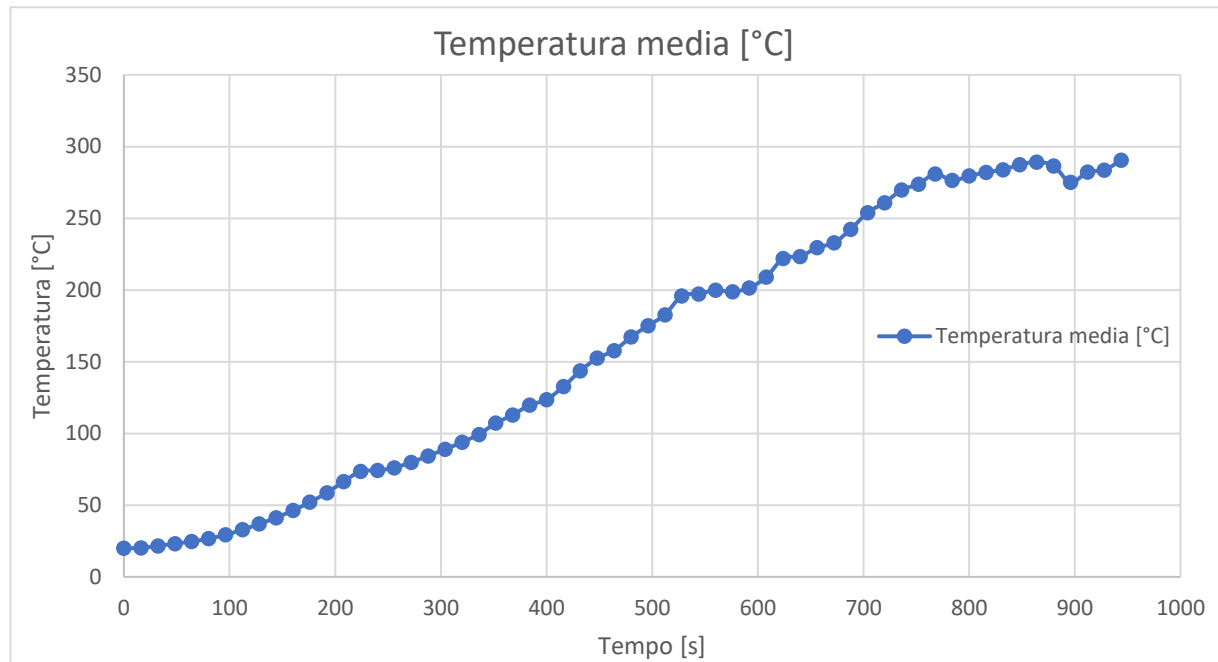


Figura 6.5 Andamento medio della temperatura registrata dai devices [°C]

Come si vede dal grafico in Figura 6.5, i valori medi della temperatura iniziano a stabilizzarsi intorno al secondo 800, ovvero proprio quando l'incendio entra nella fase di incendio generalizzato.

In conclusione, si può affermare che effettivamente c'è una correlazione tra potenza termica emessa e valori di temperatura raggiunti all'interno del capannone durante l'incendio nello Scenario I.

Dunque, dopo aver mostrato alcuni interessanti risultati in merito a RHR e Temperatura, è finalmente arrivato il momento di valutare se nello Scenario I, nonostante non sia stata attuata alcuna misura aggiuntiva per l'evacuazione fumo e calore, sia comunque garantito il rispetto dei requisiti del Livello di prestazione III e dunque la salvaguardia della vita. Si ricorda che per salvaguardia della vita umana si intende sia salvaguardia degli occupanti sia dei soccorritori, in questa Tesi si procederà valutando prima quella degli occupanti e poi quella dei soccorritori.

6.2.1 Salvaguardia degli occupanti

Per la salvaguardia degli occupanti si prende come riferimento il tempo calcolato al §4.5.1 ovvero il "required safe escape time" (RSET) pari a 95 s, questo significa che il rispetto delle due condizioni

che determinano la soglia oltre la quale non è più garantita la salvaguardia degli occupanti sarà valutato entro i primi 95 secondi dall'innescio. Le due condizioni a cui si fa riferimento sono:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata;
- temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 200^{\circ}\text{C}$.

Per quanto riguarda la prima condizione questa è la situazione dopo 95 secondi dal momento dell'innescio (Figura 6.6).

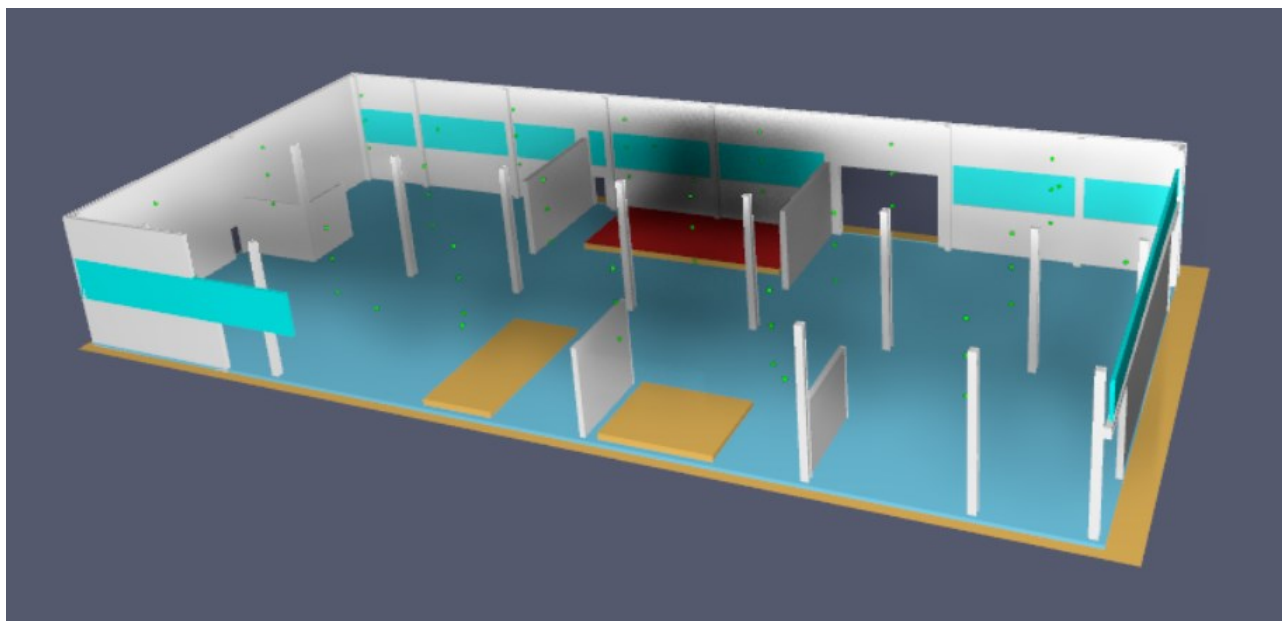


Figura 6.6 Situazione all'interno del capannone dopo 95 s.

Già solo osservando la situazione appena mostrata si può affermare che il fumo sicuramente non ostacola l'esodo degli occupanti e che non costituisce condizioni incapacitanti per gli stessi; si vede infatti come il fumo sia principalmente concentrato in prossimità del rogo mentre nel resto del capannone si va progressivamente diradando. Queste osservazioni per quanto fattuali però sono osservazioni qualitative, dunque per dimostrare l'effettivo rispetto della prima condizione si usufruisce dello strumento "2D Slices" come mostrato in figura 5.19. Tale strumento consente di porre ad una quota "h" generica una sorta di layer sul quale sono riportati secondo una precisa scala cromatica i risultati relativi ad un certo parametro; nel caso in esame la quota "h" sarà pari a 2m e il parametro considerato sarà la visibilità. Così facendo è possibile ottenere quantitativamente lo strato di visibilità dai fumi all'altezza 2 m, così da poter stabilire l'effettiva presenza dello strato libero d'aria. In Figura 6.7 e 6.8 è rappresentato quanto appena detto.

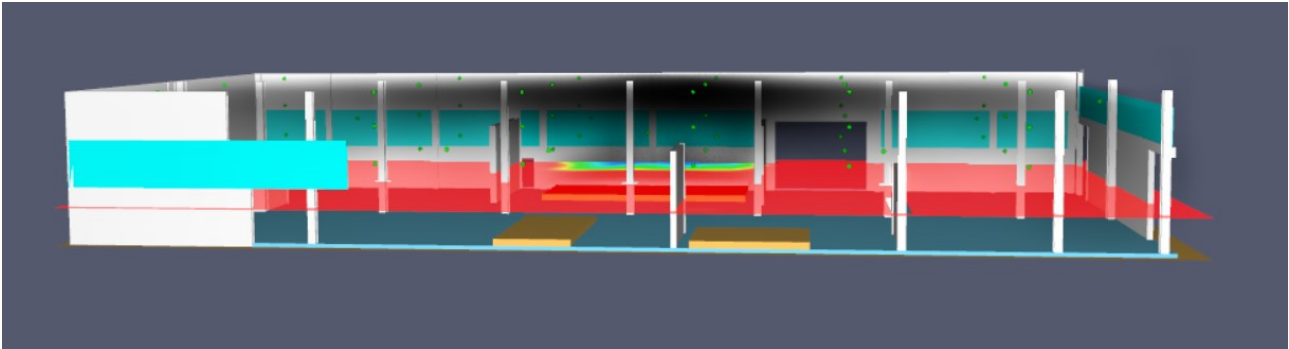


Figura 6.7 Strato libero dai fumi dopo 95 s dall'innesco

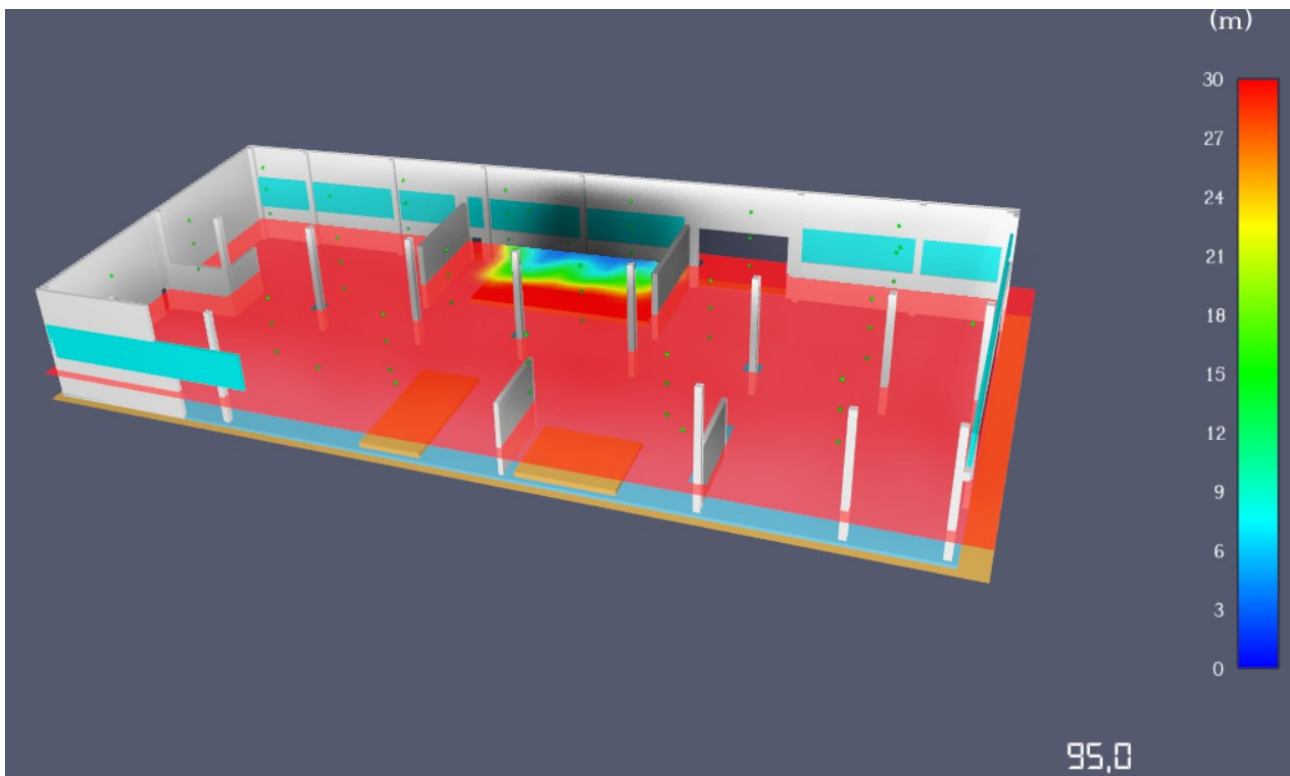


Figura 6.8 Visibilità a 2 m di quota dopo 95 s.

Si conclude dunque che, dopo 95 s dall'innesco dell'incendio, all'interno del capannone è ancora presente uno strato d'aria libero dai fumi di altezza non inferiore a 2 m e che dunque la prima condizione per la salvaguardia degli occupanti risulta soddisfatta.

Per quanto riguarda invece la seconda condizione occorre avvalersi di un altro strumento di PyroSim ovvero "3D Slices" anch'esso già trattato in precedenza al §5.2.1. Quello che è necessario fare è dunque attivare questo comando che va a creare non un layer come prima, ma un'intera area tridimensionale all'interno della quale sempre attraverso una rappresentazione cromatica vengono mostrati i risultati relativi ad un certo parametro. In questo caso si è dunque creata attraverso tale funzione un'area che ha larghezza e lunghezza analoghe al capannone ma con altezza dimezzata con lo scopo di misurare la temperatura; la base di tale area è stata posta ad una quota di 4 m così che possa mostrare le temperature relative ai fumi che si stratificano dai 4 m in su, vale a dire le temperature dei fumi caldi. Anche questa volta l'interesse ricade sull'istante di tempo $t = 95$ s, quello

che si ottiene a 95 s dall'innesco, attivando il comando "3D slices" così come sopra descritto è riportato in Figura 6.9.

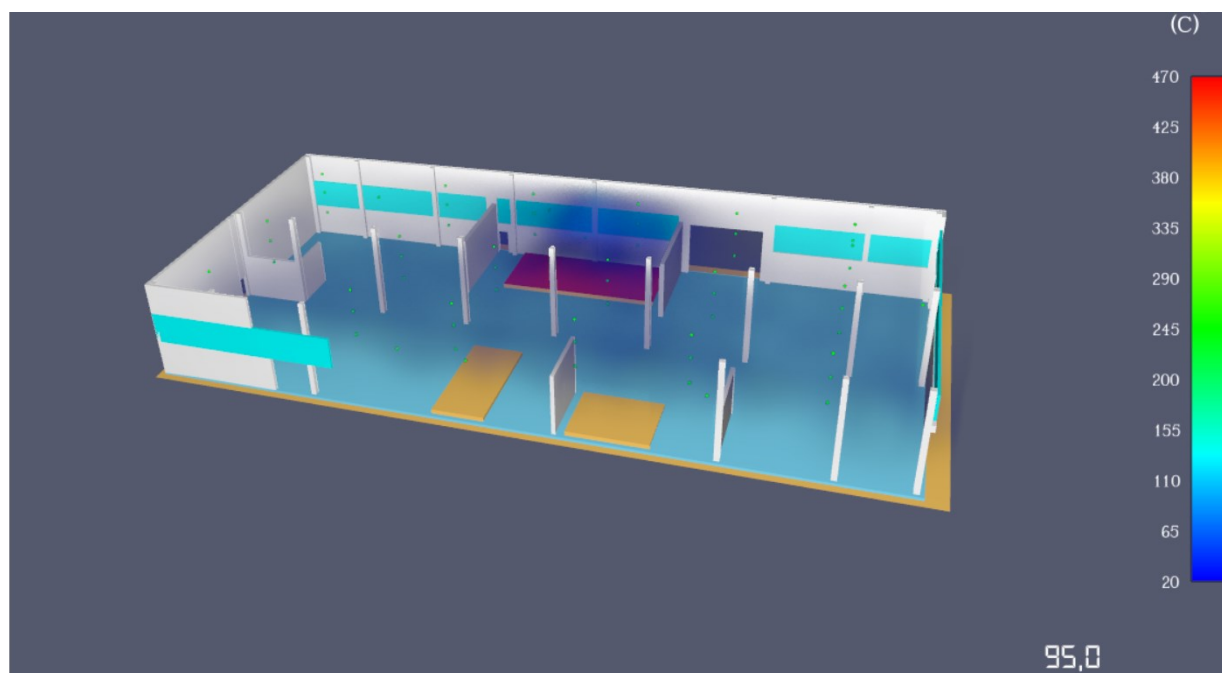


Figura 6.9 Temperatura dei fumi dopo 95 s [°C]

Dalla Figura 6.9 appena mostrata risulta evidente che la temperatura media dei fumi caldi dopo 95 s si mantiene abbondantemente al di sotto dei 200 °C. In questo caso è talmente evidente che anche una rappresentazione qualitativa come questa fornisce la sicurezza necessari per poter asserire che anche la condizione riguardante la temperatura media dei fumi caldi risulta soddisfatta.

Alla luce di questi risultati si può affermare che, poiché le condizioni limite usate per il calcolo semplificato dell'ASET non sono state raggiunte durante l'intervallo di tempo RSET = 95 s, ASET sia sicuramente maggiore di RSET e ciò equivale a dire che la salvaguardia degli occupanti è garantita.

Una volta appurato che $ASET > RSET$ però, risulta interessante capire di quanto lo sia, ovvero quantificare l'intervallo di tempo che separa ASET da RSET, in altre parole quello che si vuole ora calcolare è il cosiddetto " t_{marg} ". T_{marg} rappresenta il margine di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia degli occupanti. Secondo quanto riportato nella sezione M del Codice al §M.3.2.2 t_{marg} si assume generalmente pari almeno a RSET; talvolta in caso di specifiche valutazioni circa l'affidabilità dei dati di input impiegati per la progettazione è consentito assumere t_{marg} pari almeno al 10% di RSET ma comunque mai inferiore a 30 s. Per quantificare t_{marg} naturalmente occorre prima ricavare ASET, per ricavare ASET occorre ricavare i tempi entro cui le due condizioni limite prima menzionate non siano più rispettate e poi scegliere il tempo inferiore tra i due.

Dunque per il calcolo di ASET c'è bisogno di un'analisi quantitativa, non basta la rappresentazione cromatica mostrata in precedenza. In questo caso quello che è necessario fare è trovare l'istante di tempo esatto in cui la temperatura media dei fumi arriva a 200°C. Per fare ciò si è deciso di fare la media di tutti i valori rilevati ad un istante t dai vari sensori e di ripetere il processo per più istanti così come fatto in Figura 6.5 ma con una differenza sostanziale. Infatti poiché questa volta non occorre valutare la temperatura generica all'interno del Capannone ma la temperatura dei soli fumi caldi, si è scelto di suddividere l'intera durata della simulazione in 3 slot temporali; nel primo slot si prenderanno in considerazione i risultati dei sensori posti a 8 m di quota, nel secondo sia quelli a 8 m sia quelli a 6 m e nel terzo tutti i sensori disponibili. Questo perché inizialmente i fumi caldi si stratificano solo sul soffitto e quindi fare la media anche con i risultati letti dai sensori posti a 4 m non sarebbe rigoroso. Dunque osservando l'andamento dei fumi si è scelto di suddividere la durata totale della simulazione così: il primo slot di tempo va da 0 s a 350 s, il secondo da 350 s a 400 s e il terzo da 400 fino alla fine. Una volta fatto ciò si ottiene il seguente grafico.

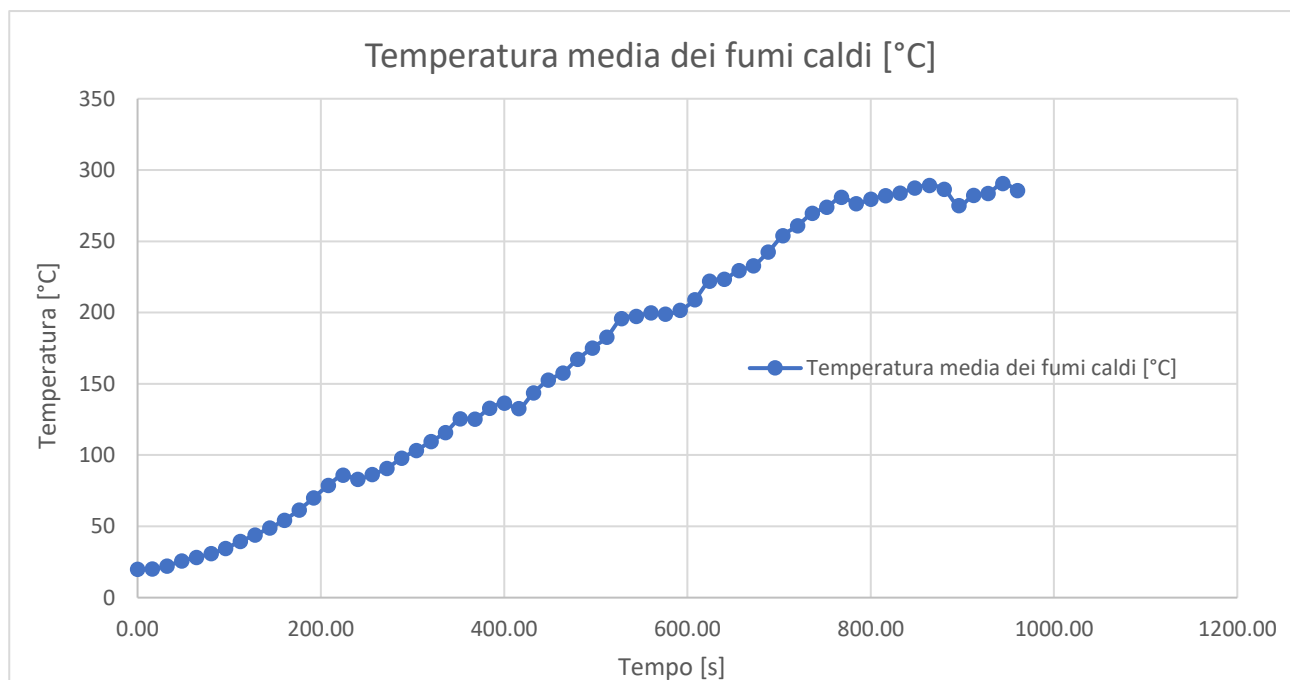


Figura 6.10 *Temperatura media dei fumi caldi [°C]*

Analizzando questi dati si scopre che la temperatura media dei fumi caldi raggiunge la temperatura limite di 200 °C dopo circa 580 s dall'innesco dell'incendio.

Dunque 580 s rappresenta il tempo in cui si raggiunge la temperatura limite dei fumi caldi, adesso per poter determinare l'ASET occorre determinare l'istante di tempo in cui la coltre di fumo scende al di sotto dei 2 m, per farlo si userà di nuovo lo strumento "2D Slices" così come già fatto per determinare la quota dei fumi dopo 95 s. In pratica quello che si farà è osservare l'andamento dell'incendio simulato e osservare quando lo strato di fumi va al di sotto del layer posto a 2 m che misura la visibilità. Così facendo si arriva a concludere che lo strato di fumi scende al di sotto dei 2 m dopo circa 190 s la prova di quanto appena detto è costituita dalla Figura 6.11 e dalla Figura 6.12.

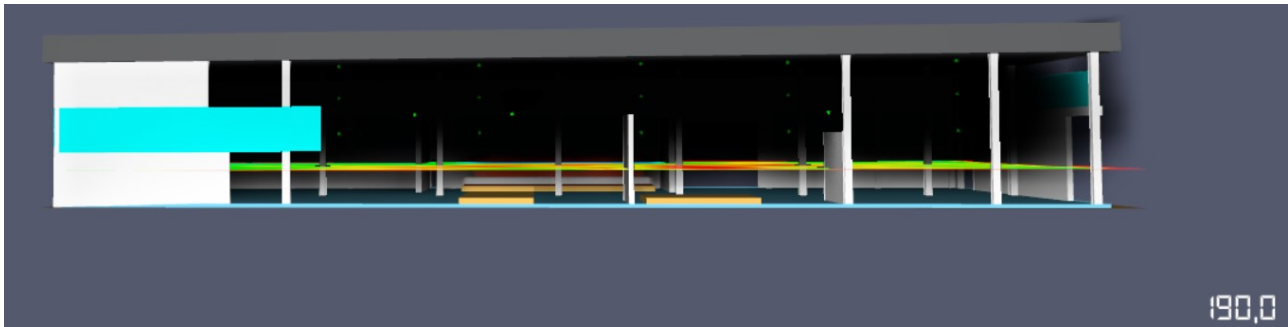


Figura 6.11 *Situazione all'interno del Capannone dopo 190 s*

Da questa immagine si vede chiaramente come dopo 190 s dall'innesco la coltre di fumo abbia ormai raggiunto il layer posto a quota 2 m. Un'ulteriore conferma di ciò è data dalla Figura 6.12 in cui si vede lo stato di visibilità alla quota di 2 m. Dalla mappa cromatica fornita dal software infatti si vede come, a 2 m di altezza, anche nelle zone più critiche, la visibilità si attesta intorno ai 15 m, valore comunque sufficiente per permettere agli occupanti di raggiungere luogo sicuro.

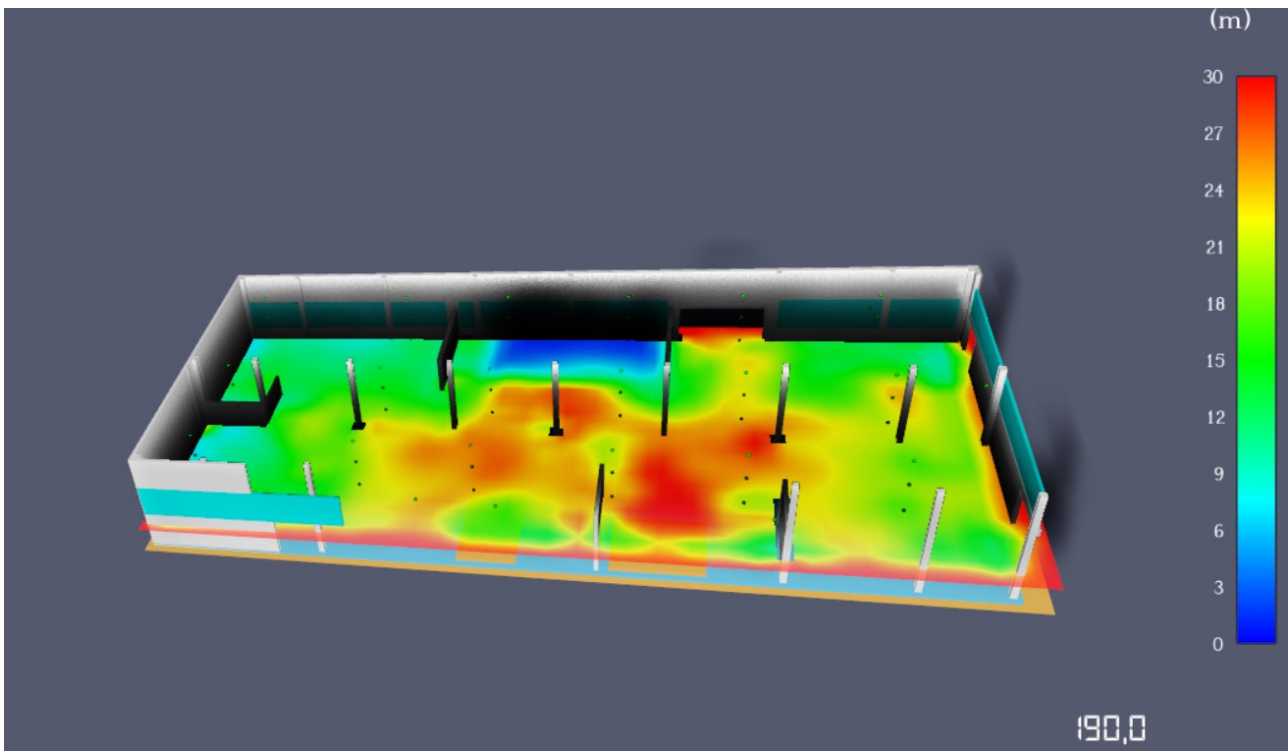


Figura 6.12 *Visibilità a 2 m di quota dopo 190 s*

Adesso risulta possibile determinare l'ASET semplicemente scegliendo il tempo inferiore tra 580 s e 190 s, ovvero 190 s. In conclusione, dunque $ASET = 190$ s.

A questo punto è possibile ricavare finalmente il t_{marg} come differenza tra ASET e RSET, per cui: $t_{\text{marg}} = ASET - RSET = 190 - 95 = 95$ s. Dunque il margine di sicurezza della progettazione prestazionale è di 95 s, esattamente pari a RSET per cui si può affermare che nello Scenario I la salvaguardia degli occupanti è garantita in quanto è rispettata la condizione $t_{\text{marg}} \geq 100\% \cdot RSET$.

Nella figura che segue si riporta un grafico che riassume quanto appena detto.

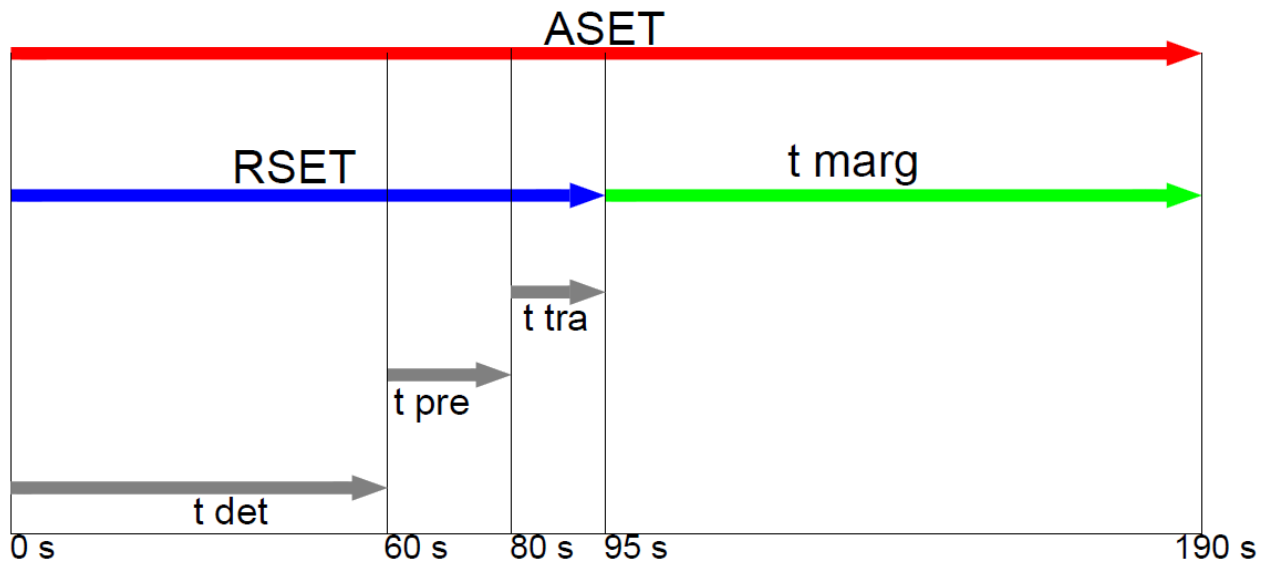


Figura 6.13 Confronto tra ASET e RSET.

6.2.2 Salvaguardia dei soccorritori

In questo paragrafo verrà valutata la salvaguardia dei soccorritori, la categoria dei soccorritori ivi considerata comprende sia i membri della squadra antincendio interna all'azienda adeguatamente formati e addestrati alla lotta antincendio sia i membri delle squadre dei Vigili del Fuoco. Nel caso studiato, poiché la regola tecnica sui rifiuti specifica che gli addetti antincendio devono aver eseguito il corso di formazione per "rischi alto" e devono essere sempre presenti durante l'orario lavorativo, è stato ipotizzato che la squadra antincendio fosse effettivamente presente al momento dell'incendio e che intervenisse dopo 150 s dall'innescio dello stesso. In aggiunta a ciò, per rendere più completo e per poter effettuare delle valutazioni anche nella fase di incendio generalizzato, verrà valutata anche la salvaguardia delle squadre dei Vigili del Fuoco. In definitiva, dunque, verranno distinte due casistiche nella prima si ipotizza l'intervento degli addetti antincendio dopo 150 s mentre nell'altra si ipotizza che, per qualche ragione, gli addetti antincendio non intervengano e che dunque intervengano direttamente i Vigili del Fuoco. Si anticipa che in quest'ultima i Vigili del Fuoco si troveranno davanti ad un incendio di elevata entità poiché saranno i primi ad intervenire dopo che questo si è propagato per vari minuti.

6.2.2.1 Salvaguardia degli addetti antincendio

Per la salvaguardia dei soccorritori devono essere soddisfatte entrambe queste due condizioni:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 1,5 m al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata;
- temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 250^{\circ}\text{C}$.

Come si vede queste soglie prestazionali sono meno stringenti delle altre, questo poiché si assume che essi siano in grado di sopravvivere a condizioni che risulterebbero mortali per un normale lavoratore dato che dispongono dell'adeguata attrezzatura per fronteggiare un incendio come: tuta antifiamma, maschera antigas, guanti anticalore, ecc...

Per la valutazione del rispetto di tali soglie si userà lo stesso procedimento usato per la valutazione della salvaguardia degli occupanti con l'unica differenza che in questo caso il rispetto di tali soglie sarà valutato dopo 150 s anziché 95 s. È stato scelto il tempo di 150 s poiché è il tempo massimo entro il quale si stima che gli addetti antincendio riescano ad intervenire.

La situazione dopo 150 s dall'innesco è la seguente.

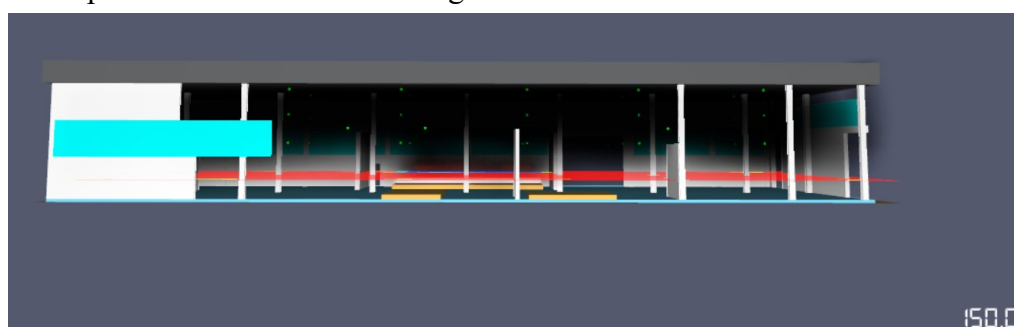


Figura 6.14 *Strato libero dai fumi dopo 150 s*

Dalla Figura 6.12 si vede che dopo 150 s ancora l'unico cumulo acceso è quello di primo innesco e che, a differenza della situazione relativa ai 95 s, iniziano a formarsi le prime fiamme. Anche in questo caso a occhio è evidente che è ancora presente uno strato d'aria libero dai fumi mentre per quanto riguarda la temperatura media dei fumi, dal grafico in Figura 6.10 si scopre che a 150 s la temperatura media dei fumi è pari a circa 50°C. Inoltre basandosi su quanto dimostrato al §6.2.1 si può affermare che in questo caso la salvaguardia dei soccorritori è automaticamente garantita, questo poiché si è mostrato come le condizioni limite relative agli occupanti (più stringenti) sono entrambe verificate fino a 190 s dunque le condizioni relative ai soccorritori (meno stringenti) saranno sicuramente verificate anche a 150 s.

A questo punto però può risultare interessante capire dopo quanto tempo le condizioni limite relative ai soccorritori non vengono più rispettate; dunque, attraverso il medesimo procedimento usato al §6.2.1 si scopre che i fumi raggiungono la quota di 1,5 m da terra dopo circa 200 s dall'innesco (Figura 6.14) e che la temperatura media dei fumi caldi raggiunge i 250 °C dopo circa 700 s.

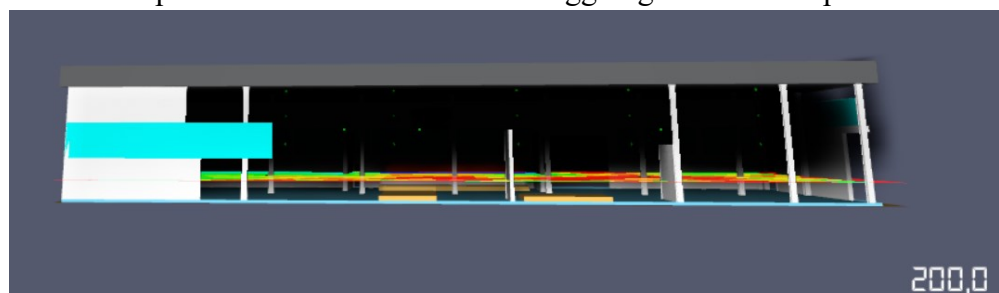


Figura 6.15 *Situazione all'interno del capannone dopo 200 s*

In conclusione si può affermare che nello Scenario I, a patto che gli addetti antincendio intervengano correttamente, è assicurato il rispetto del Livello di prestazione III dell' S.8 e di conseguenza è garantita la salvaguardia della vita umana. Infatti si è dato prova che sono garantite sia la salvaguardia degli occupanti che quella dei soccorritori (addetti antincendio).

6.2.2.2 Salvaguardia dei Vigili del Fuoco

In questo paragrafo verranno mostrati i risultati nell'ipotesi in cui i Vigili del Fuoco arrivino sul luogo dell'incendio e si trovino dinnanzi ad un incendio che si è propagato per diversi minuti, senza che nessuno sia intervenuto, in altre parole si trascura completamente l'intervento degli addetti antincendio.

L'arrivo delle squadre dei Vigili del Fuoco è stato ipotizzato sulla base dei dati registrati negli annuari statistici del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, in particolare il tempo medio d'intervento dei VV.F. nella regione Veneto è pari a 15 min a cui va sommato il tempo massimo in cui l'impianto di rivelazione riveli l'incendio e faccia partire l'allarme " t_{det} " pari a 1 min. Dunque si ipotizza che i Vigili del Fuoco riescano ad intervenire dopo 16 min ovvero 960 s.

Come si è visto dai paragrafi precedenti la salvaguardia degli occupanti è garantita fino a 190 s mentre quella dei soccorritori fino a 200 s di conseguenza si può affermare che dopo 960 s la salvaguardia della vita non è più possibile e che dunque chiunque sia ancora all'interno del capannone è da considerarsi defunto. Come si vede dal grafico in Figura 6.2 con tutta probabilità all'arrivo dei pompieri l'incendio sarà già entrato nella fase stazionaria, in tale fase l'intervento dei Vigili del Fuoco si limita a cercare di spegnere l'incendio dall'esterno, in quanto il fumo e il calore generati non permettono neppure a loro di entrare nel capannone. Quanto appena detto è confermato dai risultati ottenuti con PyroSim, tali risultati sono di seguito mostrati.

Innanzitutto per dare un'idea sulle temperature che si verrebbero a generare si riporta la rappresentazione cromatica ottenuta con il solito comando "*3D Slices*".

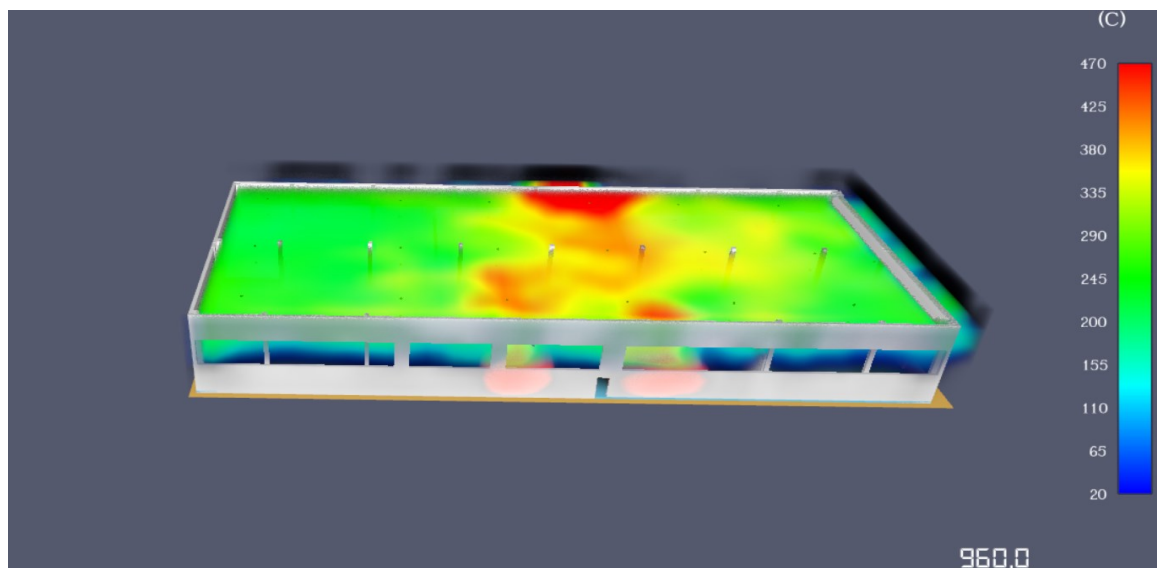


Figura 6.16 Temperatura all'interno del Capannone dopo 960 s.

Analizzando la Figura 6.16 si vede come le temperature che si vengono a generare sfiorano i 500°C e che, come era lecito aspettarsi, tali temperature si riscontrano in corrispondenza dei 3 focolai nella parte alta del capannone. La temperatura media dei fumi caldi invece si attesta intorno ai 285°C .

Come si ipotizzava prima, le temperature sono talmente elevate che neppure un pompiere munito di tutta l'attrezzatura necessaria potrebbe entrare nella struttura.

In secondo luogo è interessante valutare la stratificazione dei fumi e la visibilità, a tal proposito si mostra la Figura 6.17 e 6.18.

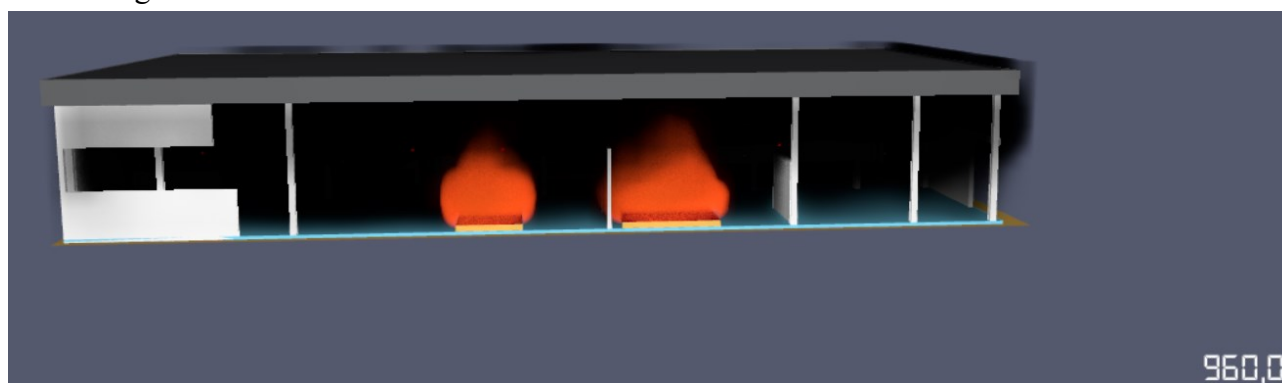


Figura 6.17 Situazione all'interno del Capannone dopo 960 s.

È evidente come il fumo abbia ormai pervaso tutta la struttura e non vi sia più alcun strato d'aria libero dai fumi. Tale conclusione è confermata dalla prossima figura che invece mostra la visibilità a 1,5 m..

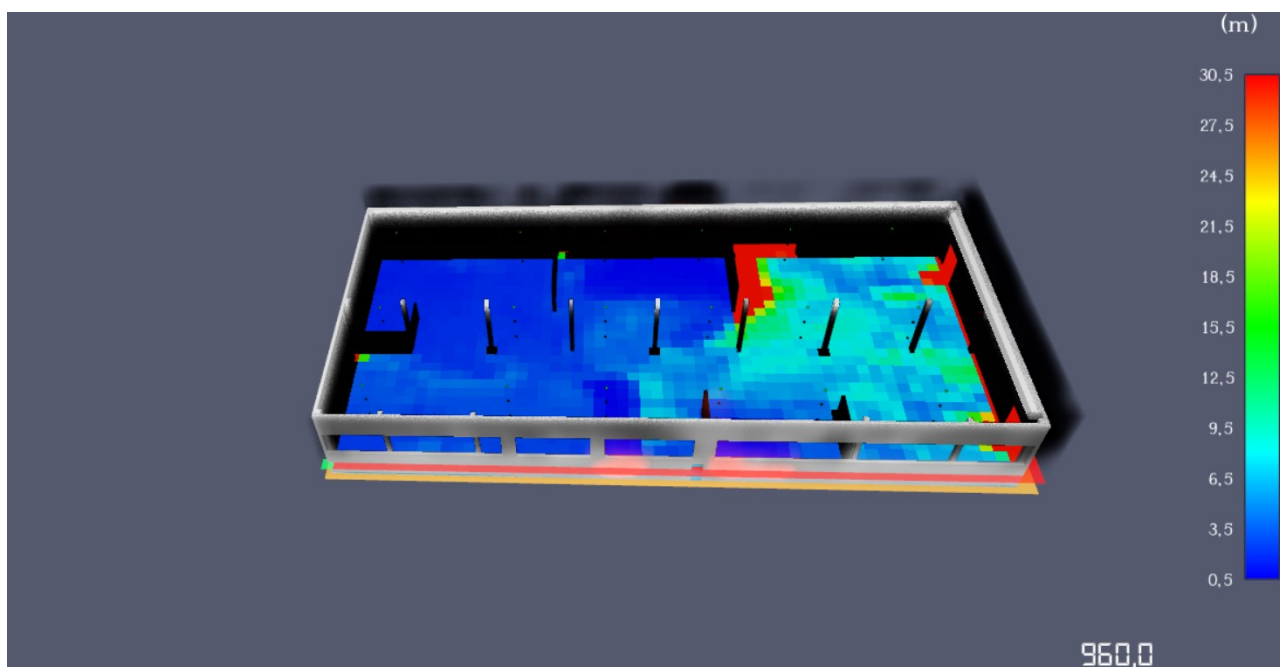


Figura 6.18 Visibilità all'interno del Capannone dopo 960 s.

Come si vede la visibilità, ad 1,5 m, rimane sotto i 3 m quasi in tutte le zone del capannone ad eccezione di quelle in prossimità degli ingressi; in tali condizioni sarebbe impossibile anche solo orientarsi per capire dove sia l'uscita più vicina.

Infine per avere una visione realistica di come si presenti effettivamente il capannone all'arrivo dei pompieri si riportano rispettivamente i prospetti nord-est e nord-ovest del capannone dopo 960 s.

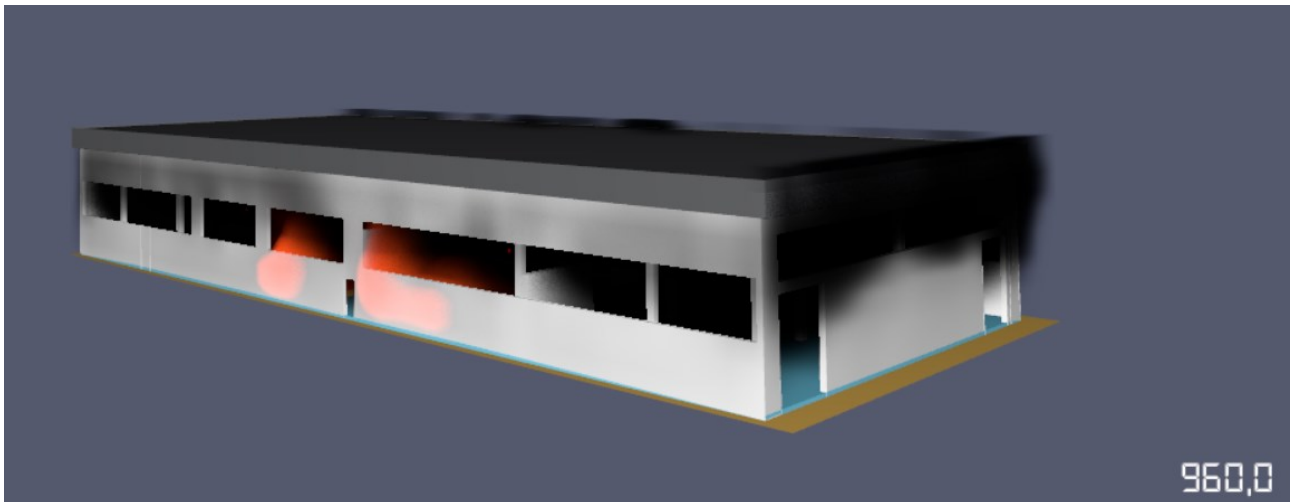


Figura 6.19 Capannone visto esternamente dopo 960 s (nord-est).

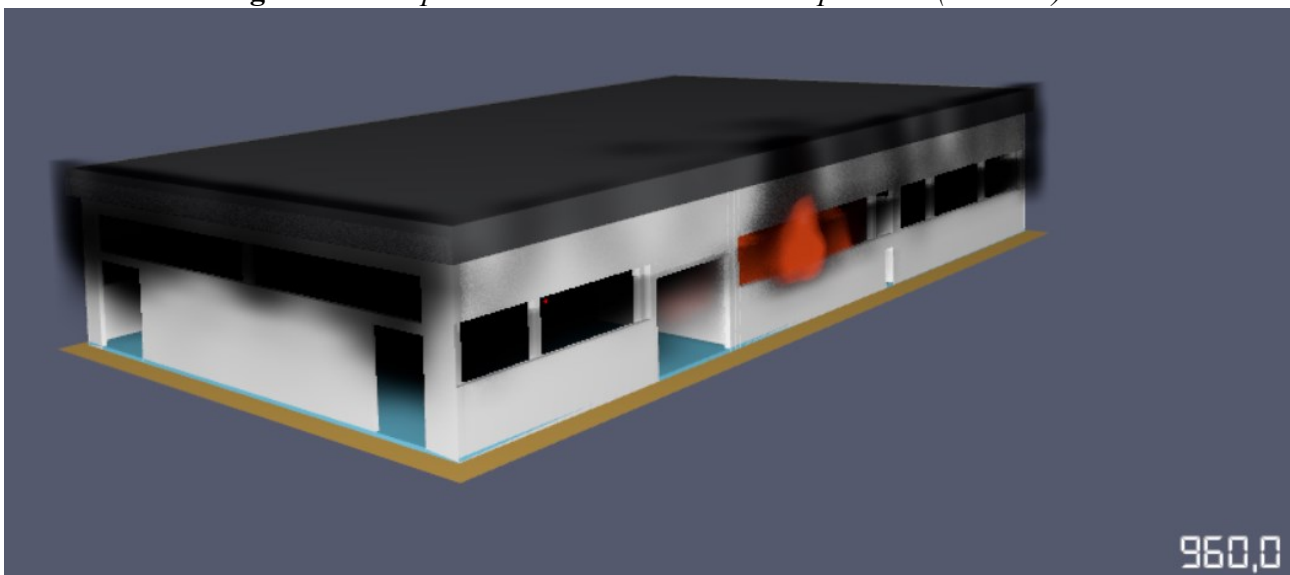


Figura 6.20 Capannone visto esternamente dopo 960 s (nord-ovest).

Da queste due immagini è ancora più evidente che la situazione che si troverebbero davanti i Vigili del Fuoco al loro arrivo è molto grave, il fumo ha invaso tutto l'edificio, tutti e 3 i cumuli bruciano contemporaneamente e le temperature all'interno del capannone sono proibitive per l'uomo. Inoltre si nota come le fiamme e il calore da esso generato siano stati in grado di distruggere tutte le vetrate. Queste ultime due immagini inoltre sono molto interessanti poiché permettono di osservare come il fumo venga smaltito attraverso le numerose aperture della struttura che una volta fuse permettono al capannone di avere una grande superficie di aerazione; superficie molto utile per lo smaltimento dei fumi, ma comunque non necessaria per l'evacuazione di questi e per la creazione di uno strato d'aria libero.

6.2.3 Qr Code

Scannerizzando il seguente *qr code* è possibile visionare la simulazione completa dello Scenario I.



Figura 6.21 *Qr code relativo alla simulazione dello Scenario I*

6.3 Scenario II - Capannone dotato di un Sistema di Evacuazione Naturale Fumo e Calore (SENFEC)

In questo paragrafo verranno mostrati i risultati delle simulazioni svolte sullo Scenario II, come già ribadito l'obiettivo è quello di valutare se è garantita la salvaguardia degli occupanti e delle squadre dei soccorritori in caso d'incendio o equivalentemente se è garantito il rispetto del Livello di prestazione III dell'S.8 perciò lo studio sarà incentrato principalmente sull'andamento dei fumi e del calore, tuttavia saranno presentati anche altri aspetti. Infatti, in primis si ritiene necessario trattare l'argomento prima in maniera generica e poi andando nel particolare, per farlo si parte mostrando la curva RHR fornita come output di default dal software.

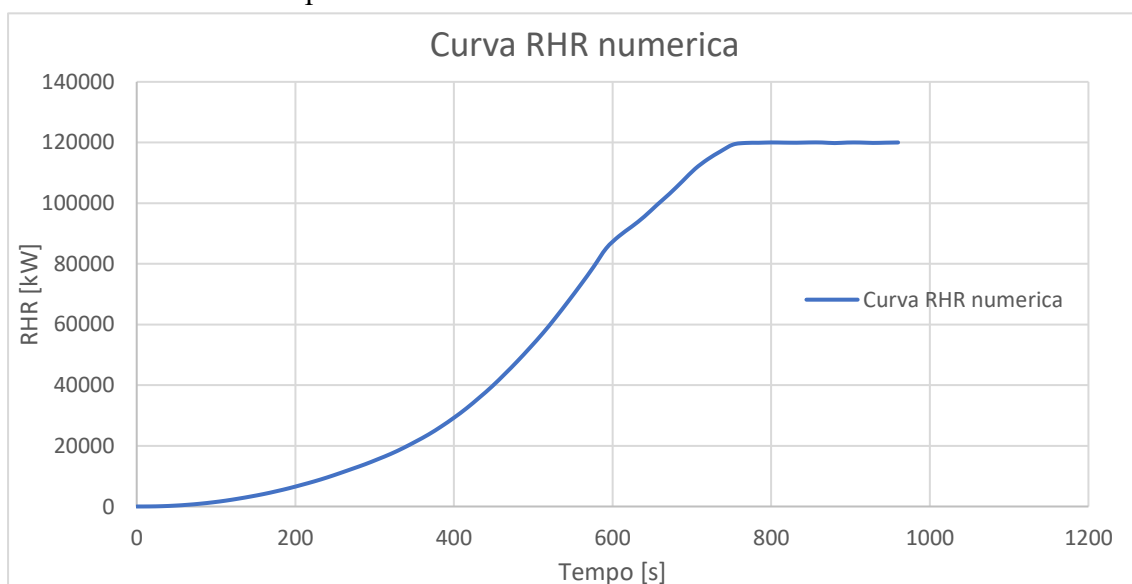


Figura 6.22 *Curva RHR calcolata con PyroSim per lo Scenario II.*

La curva RHR relativa allo Scenario II presenta un RHR_{max} pari a 120000 kW, tale valore risulta maggiore di quello registrato per lo Scenario I, questo non deve stupire in quanto come già spiegato al 5.1.2.5 l'aumento della ventilazione porta ad un aumento della potenza termica emessa dall'incendio, in questo caso l'incremento della ventilazione è dato proprio dall'azionamento del SENFC. Inoltre dal grafico appena mostrato si vede che l' RHR_{max} è raggiunto per la prima volta intorno al secondo 750, istante che segna l'inizio della fase stazionaria dell'incendio. Come già detto al §5.1.2.2 la fase dell'incendio stazionario è quella fase in cui il valore della potenza termica rilasciata dall'incendio cessa di crescere e rimane fisso sul valore RHR_{max} . In tale fase non si ritiene possibile garantire la salvaguardia della vita, gli stessi Vigili del Fuoco una volta che l'incendio ha raggiunto la fase stazionaria non entrano nell'edificio ma cercano di limitare i danni ai beni materiali e all'ambiente tenendosi a debita distanza dalle fiamme.

Un altro parametro che vale la pena analizzare è la temperatura, per farlo si inizia mostrando i risultati ottenuti da uno dei 54 *device* disposti come in Figura 5.20 al fine di misurare l'andamento della temperatura durante l'incendio, in particolare si è scelto di mostrare il *device* che ha registrato le temperature più elevate. Il *device* che in questo caso ha registrato le temperature più elevate è il "T₃₃₃" ovvero il sensore posto alla quota di 8 m in corrispondenza del cumulo di primo innesco. Dunque anche nello Scenario II il sensore "T₃₃₃" è quello che ha registrato le temperature maggiori.

L'andamento della temperatura registrato dal *device* "T₃₃₃" è rappresentato dal grafico in Figura 6.23.

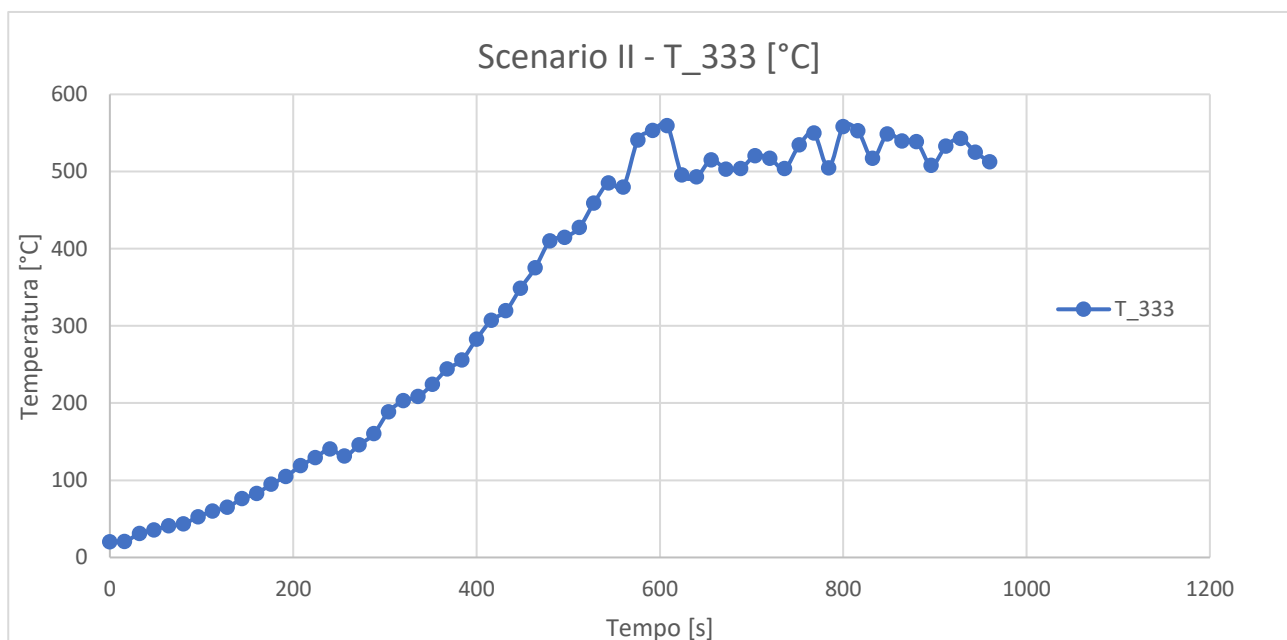


Figura 6.23 Andamento della temperatura registrato dal *device* "T₃₃₃" [°C]

Come si vede dal grafico il picco si ha intorno ai 600 s ed è pari a 559°C.

Dal grafico appena riportato si può già giungere ad una prima conclusione: le temperature nello Scenario II risultano più elevate che nello Scenario I. Sebbene questo grafico faccia riferimento

solamente ad uno dei 54 sensori posizionati nel Capannone, l'aumento di temperatura è assolutamente plausibile poiché l'azionamento degli evacuatori posti a soffitto permette un maggior afflusso di ossigeno all'interno del capannone e dunque maggiore quantità di comburente fornita al focolare.

Tale risultato viene infatti confermato dall'andamento medio della temperatura mostrato in Figura 6.24 nel quale si nota come anche i valori medi siano più elevati rispetto allo Scenario I.

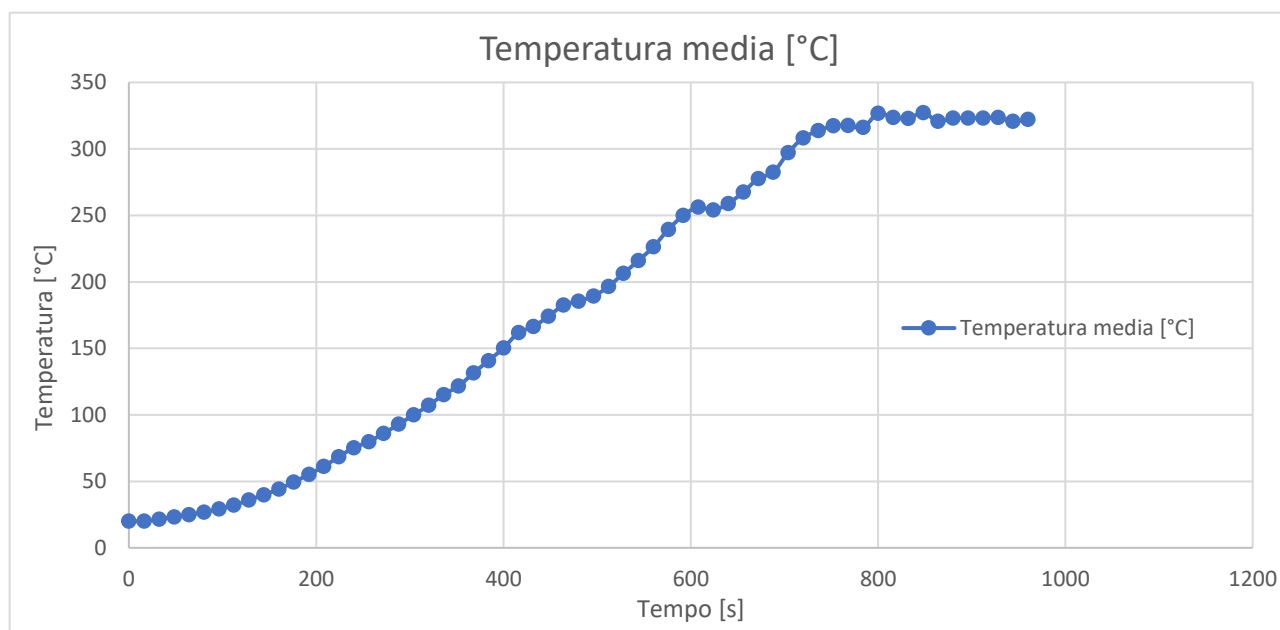


Figura 6.24 *Andamento medio della temperatura [°C]*

Dal grafico in Figura 6.24 si nota che intorno al secondo 800 i valori della temperatura tendono a stabilizzarsi dunque anche in questo caso si può attestare l'esistenza di una corrispondenza tra l'andamento della curva RHR e quello della temperatura.

Dunque, dopo aver mostrato alcuni interessanti risultati in merito a RHR e Temperatura, è arrivato il momento di valutare se nello Scenario II, sia garantito il rispetto dei requisiti del Livello di prestazione III e dunque la salvaguardia della vita. Si ricorda che per salvaguardia della vita umana si intende sia salvaguardia degli occupanti sia dei soccorritori, in questa Tesi si procederà valutando prima quella degli occupanti e poi quella dei soccorritori.

6.3.1 Salvaguardia degli occupanti

Per la salvaguardia degli occupanti si prende come riferimento il tempo calcolato al §4.5.1 ovvero il "required safe escape time" (RSET) pari a 95 s, questo significa che il rispetto delle due condizioni che determinano la soglia oltre la quale non è più garantita la salvaguardia degli occupanti sarà valutato entro i primi 95 secondi dall'innesco. Le due condizioni a cui si fa riferimento sono:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata;
- temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 200^{\circ}\text{C}$.

Si ricorda che il Capannone modellato nello scenario II è dotato di un SENFC progettato come mostrato al § 5.3.2.1 che si attiva dopo 60 s dal momento dell'innescò. Detto questo si mostra ora la situazione all'intero del Capannone dopo 95 s.

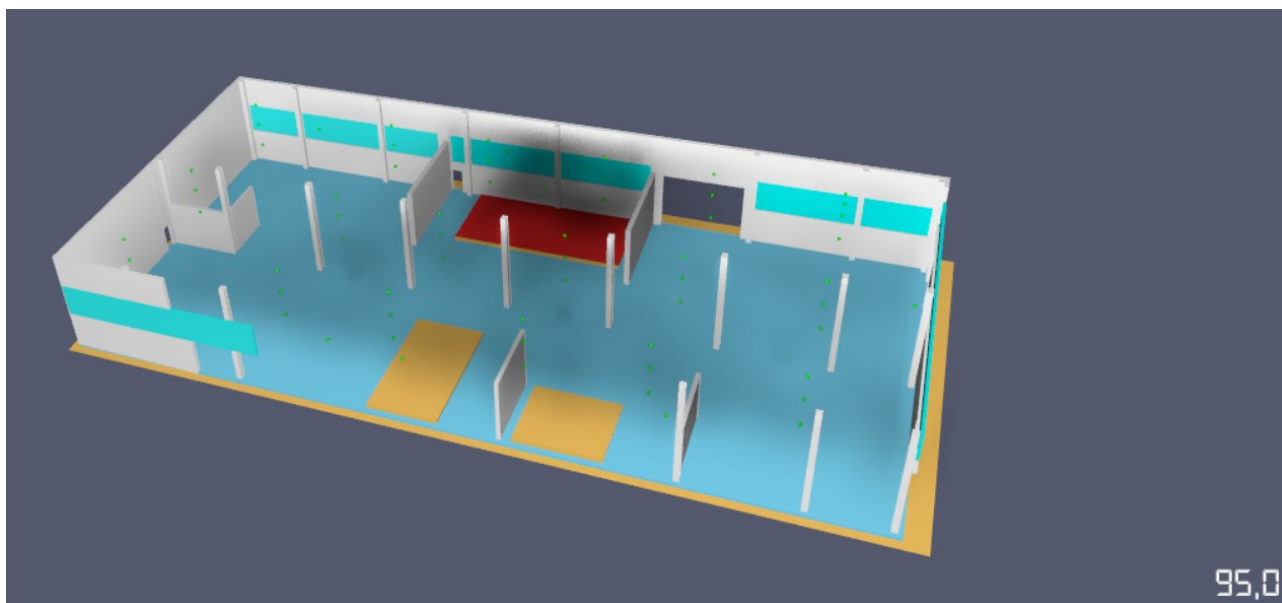


Figura 6.25 Situazione all'interno del capannone dopo 95 s.

In questa visualizzazione purtroppo risulta difficile poter osservare gli evacuatori poiché per poter mostrare l'interno si è dovuto "nascondere" la copertura e dunque anche gli evacuatori su di essa installati.

Già solo osservando la situazione appena mostrata si può affermare che il fumo sicuramente non ostacola l'esodo degli occupanti e che non costituisce condizioni incapacitanti per gli stessi; si vede infatti come il fumo sia principalmente concentrato in prossimità del rogo mentre nel resto del capannone si va progressivamente diradando. Queste osservazioni per quanto fattuali però sono osservazioni qualitative, dunque per dimostrare l'effettivo rispetto della prima condizione si usufruisce dello strumento "2D Slices" così come già fatto per lo Scenario I. Grazie a questo strumento è possibile apprezzare l'effettiva presenza dello strato libero dai fumi (Figura 6.26) e mostrare le condizioni di visibilità dopo 95 s (Figura 6.27).

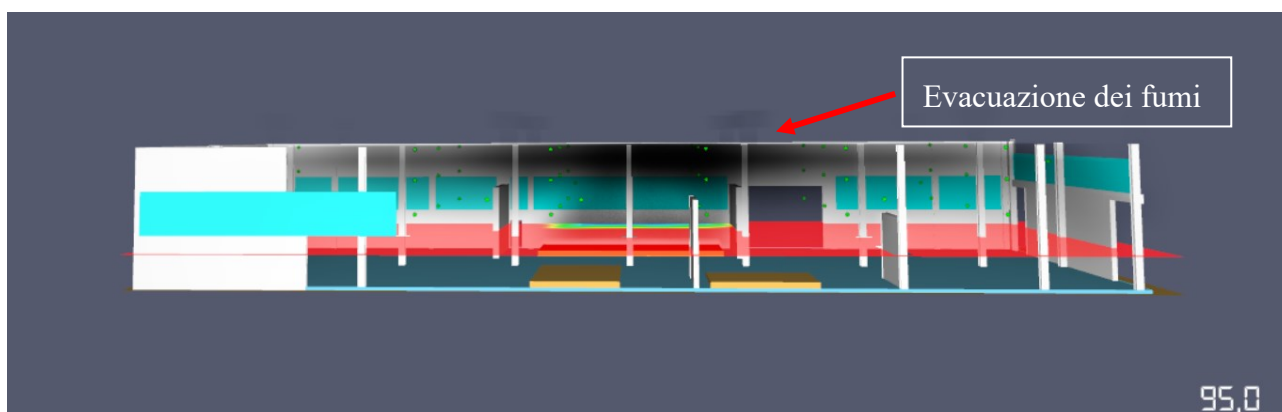


Figura 6.26 Strato libero dai fumi dopo 95 s dall'innescò

L'immagine appena mostrata conferma quanto già detto sopra ovvero che il fumo non ostacola gli occupanti e che è effettivamente presente uno strato d'aria libero dai fumi di almeno 2 m. Inoltre questa immagine risulta di particolare interesse poiché mostra come i fumi vengano effettivamente evacuati attraverso gli evacuatori posti in copertura.

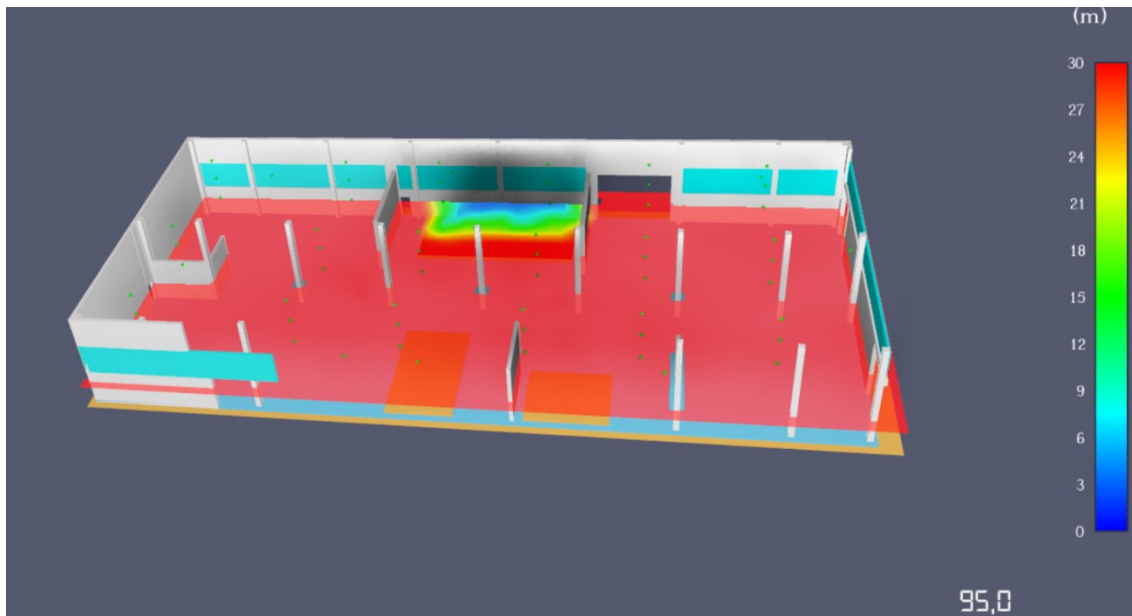


Figura 6.27 *Visibilità a 2 m di quota dopo 95 s.*

Si conclude dunque che, dopo 95 s dall'innesco dell'incendio, all'interno del capannone è ancora presente uno strato d'aria libero dai fumi di altezza non inferiore a 2 m e che dunque la prima condizione per la salvaguardia degli occupanti risulta soddisfatta.

Per quanto riguarda invece la seconda condizione occorre avvalersi di un altro strumento di PyroSim ovvero "3D Slices" così come già fatto per lo Scenario I, quello che si ottiene è rappresentato in Figura 6.28.

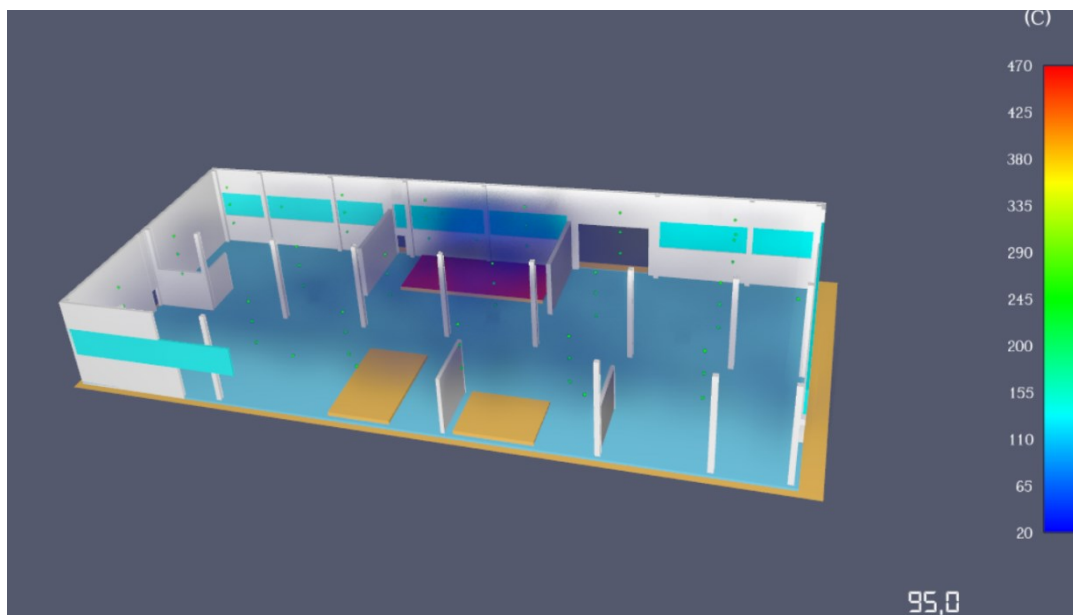


Figura 6.28 *Temperatura dei fumi dopo 95 s [°C]*

Dalla Figura 6.28 appena mostrata risulta evidente che la temperatura media dei fumi caldi dopo 95 s si mantiene abbondantemente al di sotto dei 200 °C. In questo caso è talmente evidente che anche una rappresentazione qualitativa come questa fornisce la sicurezza necessari per poter asserire che anche la condizione riguardante la temperatura media dei fumi caldi risulta soddisfatta.

Alla luce di questi risultati si può affermare che, poiché le condizioni limite usate per il calcolo semplificato dell'ASET non sono state raggiunte durante l'intervallo di tempo RSET = 95 s, ASET sia sicuramente maggiore di RSET e ciò equivale a dire che la salvaguardia degli occupanti è garantita.

Una volta appurato che $ASET > RSET$ però, risulta interessante capire di quanto lo sia, ovvero quantificare l'intervallo di tempo che separa ASET da RSET, in altre parole quello che si vuole ora calcolare è il cosiddetto " t_{marg} ". Per quantificare t_{marg} naturalmente occorre prima ricavare ASET, per ricavare ASET occorre ricavare i tempi entro cui le due condizioni limite prima menzionate non siano più rispettate e poi scegliere il tempo inferiore tra i due.

Dunque per il calcolo di ASET c'è bisogno di un'analisi quantitativa, non basta la rappresentazione cromatica mostrata in precedenza. In questo caso quello che è necessario fare è trovare l'istante di tempo esatto in cui la temperatura media dei fumi arriva a 200°C per fare ciò si usa lo stesso procedimento già usato per lo Scenario I da cui ne deriva l'andamento della temperatura media dei fumi caldi riportato in Figura 6.29.

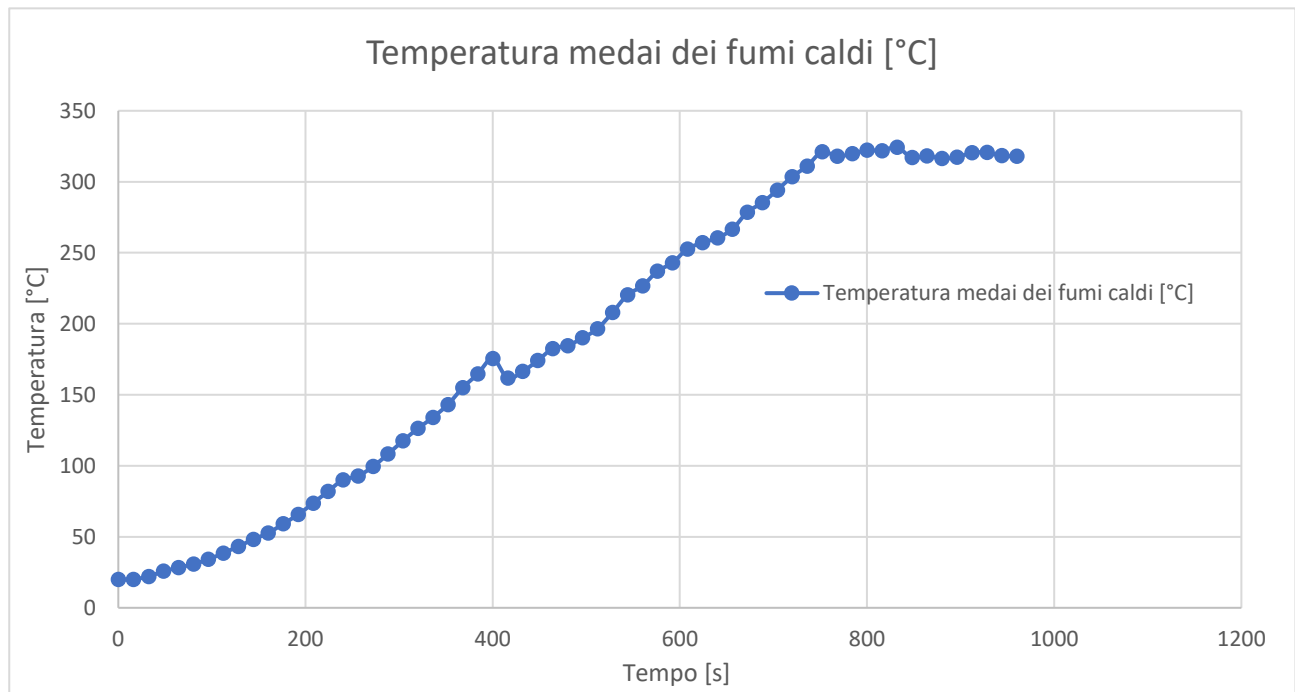


Figura 6.29 Temperatura media dei fumi caldi [°C]

Analizzando questi dati si scopre che la temperatura media dei fumi caldi raggiunge la temperatura limite di 200 °C dopo circa 520 s dall'innesco dell'incendio.

Dunque 520 s rappresenta il tempo in cui si raggiunge la temperatura limite dei fumi caldi, adesso per poter determinare l'ASET occorre determinare l'istante di tempo in cui la coltre di fumo scende al di sotto dei 2 m, per farlo si userà di nuovo lo strumento "2D Slices" così come già fatto per

determinare la quota dei fumi dopo 95 s. In pratica quello che si farà è osservare l'andamento dell'incendio simulato e osservare quando lo strato di fumi va al di sotto del layer posto a 2 m che misura la visibilità. Così facendo si arriva a concludere che lo strato di fumi scende al di sotto dei 2 m dopo circa 205 s, la prova di quanto appena detto è costituita dalla Figura 6.30 e dalla Figura 6.31.

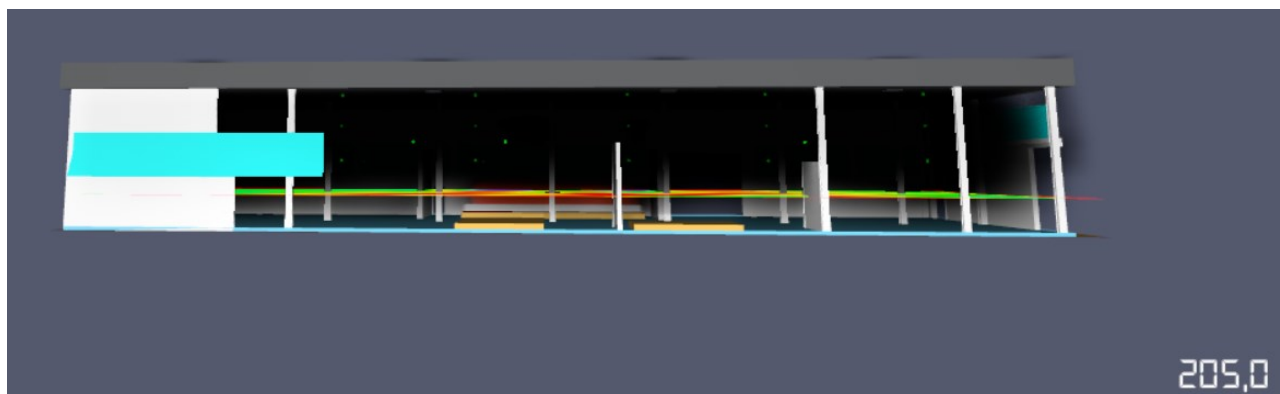


Figura 6.30 Strato libero dai fumi dopo 205 s

Da questa immagine si vede chiaramente come dopo 190 s dall'innesco la coltre di fumo abbia ormai raggiunto il layer posto a quota 2 m. Un'ulteriore conferma di ciò è data dalla Figura 6.31 in cui si vede lo stato di visibilità alla quota di 2 m. Dalla mappa cromatica fornita dal software infatti si vede come, a 2 m di altezza, anche nelle zone più critiche, la visibilità si attesta intorno ai 15 m, valore comunque sufficiente per permettere agli occupanti di raggiungere luogo sicuro.

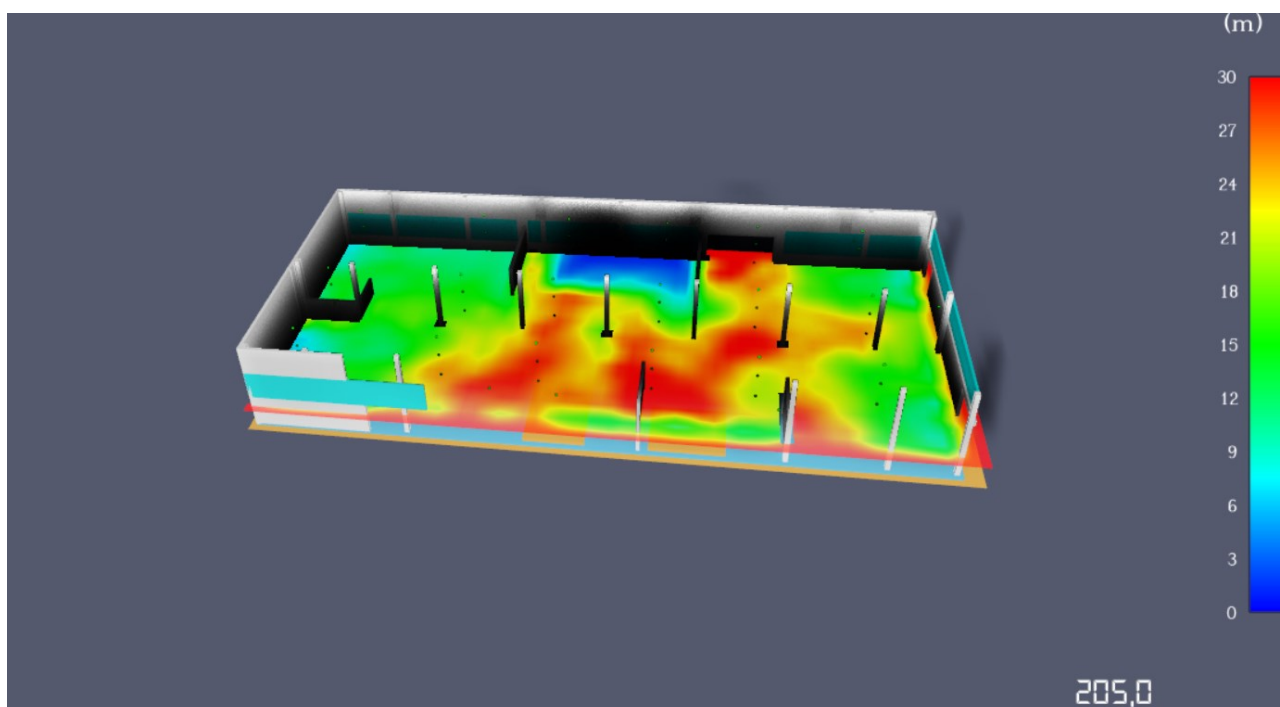


Figura 6.31 Visibilità a 2 m di quota dopo 205 s

Adesso risulta possibile determinare l'ASET semplicemente scegliendo il tempo inferiore tra 520 s e 205 s, ovvero 205 s. In conclusione, dunque $ASET = 205$ s.

A questo punto è possibile ricavare finalmente il t_{marg} come differenza tra ASET e RSET, per cui:
 $t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET} = 205 - 95 = 110 \text{ s}$. Dunque il margine di sicurezza della progettazione prestazionale è di 110 s, per cui si può affermare che anche nello Scenario II la salvaguardia degli occupanti è garantita in quanto è rispettata la condizione $t_{\text{marg}} \geq 100\% \cdot \text{RSET}$.
 Nella figura che segue si riporta un grafico che riassume quanto appena detto.

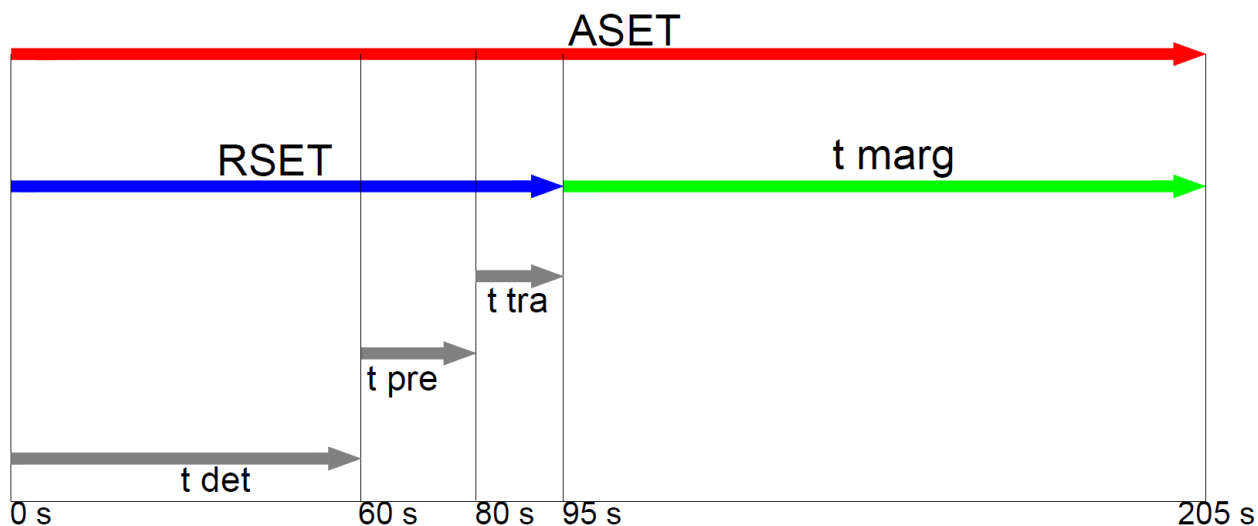


Figura 6.32 Confronto tra ASET e RSET.

Dunque l'installazione di un Sistema di Evacuazione Naturale Fumo e Calore incrementa di 15 s il margine di sicurezza della progettazione prestazionale.

6.3.2 Salvaguardia dei soccorritori

In questo paragrafo verrà valutata la salvaguardia dei soccorritori, la categoria dei soccorritori ivi considerata comprende sia i membri della squadra antincendio interna all'azienda adeguatamente formati e addestrati alla lotta antincendio sia i membri delle squadre dei Vigili del Fuoco. Nel caso studiato, poiché la regola tecnica sui rifiuti specifica che gli addetti antincendio devono aver eseguito il corso di formazione per "rischi alto" e devono essere sempre presenti durante l'orario lavorativo, è stato ipotizzato che la squadra antincendio fosse effettivamente presente al momento dell'incendio e che intervenisse dopo 150 s dall'innescio dello stesso. In aggiunta a ciò, per rendere più completo e per poter effettuare delle valutazioni anche nella fase di incendio generalizzato, verrà valutata anche la salvaguardia delle squadre dei Vigili del Fuoco. In definitiva, dunque, verranno distinte due casistiche nella prima si ipotizza l'intervento degli addetti antincendio dopo 150 s mentre nell'altra si ipotizza che, per qualche ragione, gli addetti antincendio non intervengano e che dunque intervengano direttamente i Vigili del Fuoco.

6.3.2.1 Salvaguardia degli addetti antincendio

Per la salvaguardia dei soccorritori devono essere soddisfatte entrambe queste due condizioni:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 1,5 m al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata;
- temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 250^{\circ}\text{C}$.

Come si vede queste soglie prestazionali sono meno stringenti delle altre, questo poiché si assume che essi siano in grado di sopravvivere a condizioni che risulterebbero mortali per un normale lavoratore dato che dispongono dell'adeguata attrezzatura per fronteggiare un incendio come: tuta antifiama, maschera antigas, guanti anticalore, ecc...

Per la valutazione del rispetto di tali soglie si userà lo stesso procedimento usato per la valutazione della salvaguardia degli occupanti con l'unica differenza che in questo caso il rispetto di tali soglie sarà valutato dopo 150 s anziché 95 s. È stato scelto il tempo di 150 s poiché è il tempo massimo entro il quale si stima che gli addetti antincendio riescano ad intervenire.

La situazione dopo 150 s dall'innesco è la seguente.

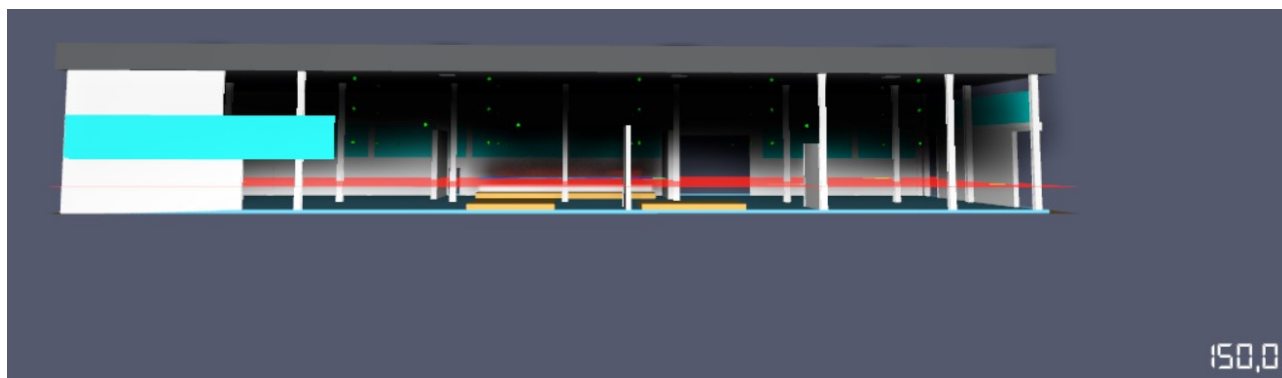


Figura 6.33 Strato libero dai fumi dopo 150 s.

Dalla Figura 6.33 si vede che dopo 150 s ancora l'unico cumulo acceso è quello di primo innesco e che, a differenza della situazione relativa ai 95 s, iniziano a intravedersi le prime fiamme. Anche in questo caso è evidente che è ancora presente uno strato d'aria libero dai fumi mentre per quanto riguarda la temperatura media dei fumi, dal grafico in Figura 6.29 si scopre che a 150 s la temperatura media dei fumi è pari a circa 50°C dunque ben al di sotto di quella limite di 250°C . Inoltre basandosi su quanto dimostrato al §6.3.1 si può affermare che in questo caso la salvaguardia dei soccorritori è automaticamente garantita, questo poiché si è mostrato come le condizioni limite relative agli occupanti (più stringenti) sono entrambe verificate fino a 205 s dunque le condizioni relative ai soccorritori (meno stringenti) saranno sicuramente verificate anche a 150 s.

A questo punto però può risultare interessante capire dopo quanto tempo le condizioni limite relative ai soccorritori non vengono più rispettate. Così, attraverso il medesimo procedimento usato al §6.3.1, si scopre che i fumi raggiungono la quota di 1,5 m da terra dopo circa 210 s dall'innesco (Figura 6.34) ovvero con soli 5 s di ritardo rispetto allo Scenario I, e che la temperatura media dei fumi caldi raggiunge i 250°C dopo circa 600 s ovvero 100 s prima rispetto allo Scenario I. Da questi risultati si

può dedurre che il SENFC porta dei miglioramenti minimi per quanto riguarda l'evacuazione dei fumi, mentre comporta un aumento sostanziale delle temperature e della loro velocità d'innalzamento.

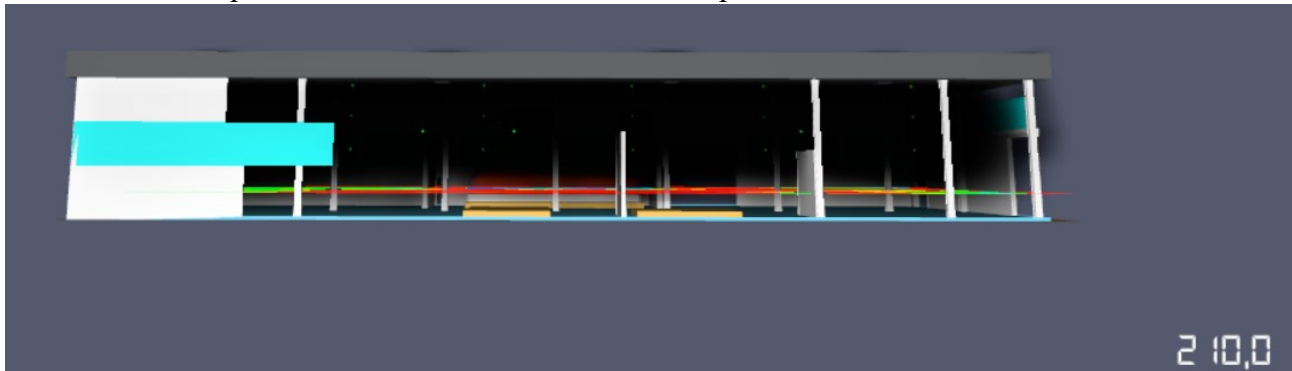


Figura 6.34 *Strato libero dai fumi dopo 210 s*

In conclusione si può affermare che anche nello Scenario II, a patto che gli addetti antincendio intervengano correttamente, è assicurato il rispetto del Livello di prestazione III dell' S.8 e di conseguenza è garantita la salvaguardia della vita umana. Infatti si è dato prova che sono garantite sia la salvaguardia degli occupanti che quella dei soccorritori (addetti antincendio).

6.3.2.2 Salvaguardia dei Vigili del Fuoco

In questo paragrafo verranno mostrati i risultati nell'ipotesi in cui i Vigili del Fuoco arrivino sul luogo dell'incendio e si trovino dinnanzi ad un incendio che si è propagato per diversi minuti, senza che nessuno sia intervenuto, in altre parole si trascura completamente l'intervento degli addetti antincendio.

L'arrivo delle squadre dei Vigili del Fuoco è stato ipotizzato sulla base dei dati registrati negli annuari statistici del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, in particolare il tempo medio d'intervento dei VV.F. nella regione Veneto è pari a 15 min a cui va sommato il tempo massimo in cui l'impianto di rivelazione riveli l'incendio e faccia partire l'allarme " t_{det} " pari a 1 min. Dunque si ipotizza che i Vigili del Fuoco riescano ad intervenire dopo 16 min ovvero 960 s.

Come si è visto dai paragrafi precedenti la salvaguardia degli occupanti è garantita fino a 205 s mentre quella dei soccorritori fino a 210 s di conseguenza si può affermare che dopo 960 s la salvaguardia della vita non è più possibile e che dunque chiunque sia ancora all'interno del capannone è da considerarsi defunto. Come si vede dal grafico in Figura 6.22 con tutta probabilità all'arrivo dei pompieri l'incendio sarà già entrato nella fase stazionaria, in tale fase l'intervento dei Vigili del Fuoco si limita a cercare di spegnere l'incendio dall'esterno, in quanto il fumo e il calore generati non permettono neppure a loro di entrare nel capannone. Quanto appena detto è confermato dai risultati ottenuti con PyroSim, tali risultati sono di seguito mostrati.

Innanzitutto, per dare un'idea sulle temperature che si verrebbero a generare, si riporta la rappresentazione cromatica ottenuta con il solito comando "*3D Slices*".

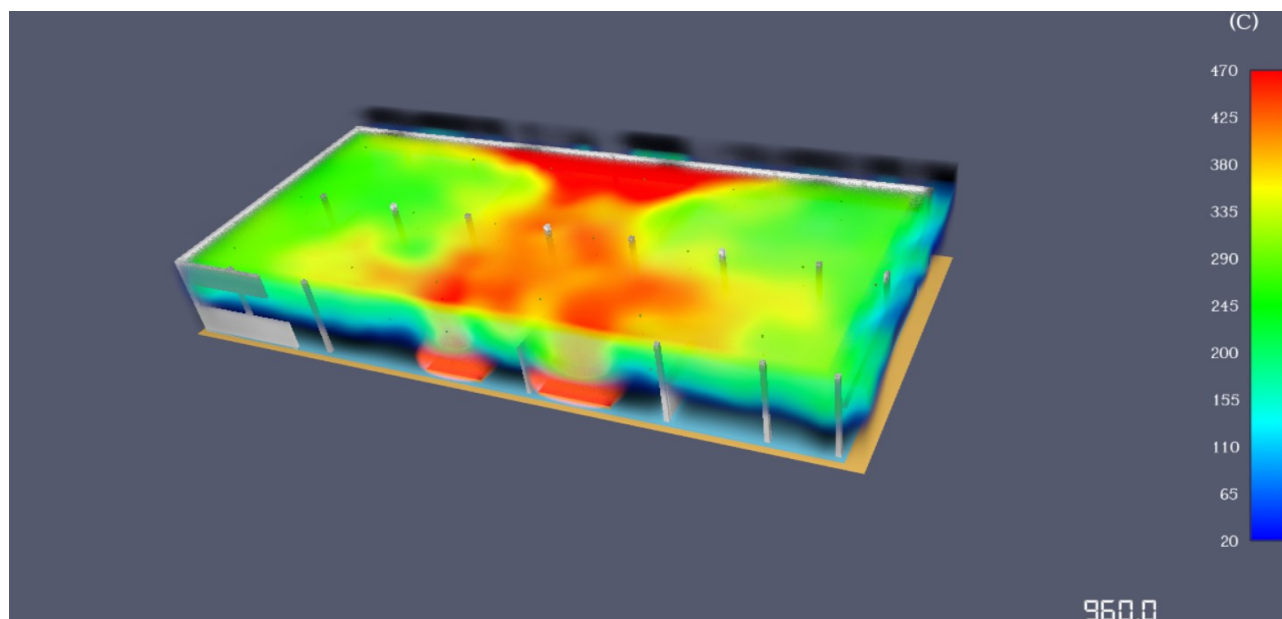


Figura 6.35 *Temperatura all'interno del Capannone dopo 960 s.*

Analizzando la Figura 6.35 si vede come le temperature che si vengono a generare sfiorano i 500°C in tutta la parte centrale del Capannone, tali temperature, come era lecito aspettarsi, si riscontrano in corrispondenza dei 3 focolai nella parte alta del capannone. La temperatura media dei fumi caldi invece si attesta intorno ai 318 °C dunque oltre 30°C in più rispetto allo Scenario I.

Come si ipotizzava prima, le temperature sono talmente elevate che neppure un pompiere munito di tutta l'attrezzatura necessaria possa entrare nella struttura.

In secondo luogo è interessante valutare la stratificazione dei fumi e la visibilità, a tal proposito si mostra la Figura 6.36 e 6.37.

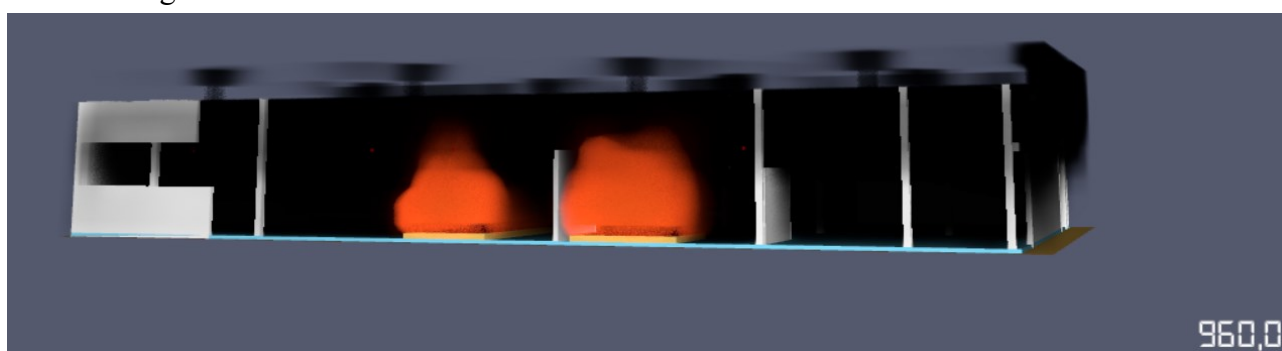


Figura 6.36 *Stratificazione dei fumi dopo 960 s*

Risulta evidente che il fumo ha ormai invaso l'intero Capannone e che coerentemente con quanto detto prima non si ha più alcuna traccia di uno strato d'aria libero dai fumi. Questa immagine inoltre è particolarmente interessante perché mostra chiaramente l'evacuazione del fumo verso l'esterno attraverso gli 8 evacuatori posti in copertura.

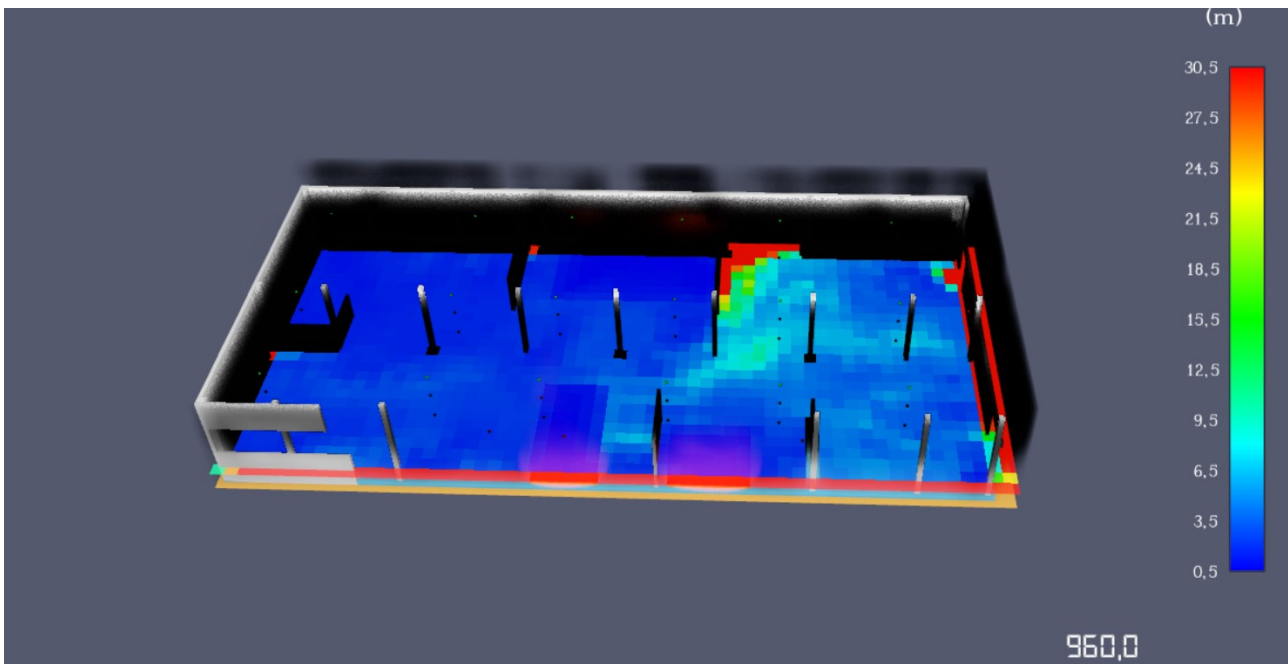


Figura 6.36 *Visibilità ad 1,5 m di quota dopo 960 s*

Come si vede la visibilità, ad 1,5 m, rimane sotto i 3 m quasi in tutte le zone del capannone ad eccezione di quelle in prossimità degli ingressi; in tali condizioni sarebbe impossibile anche solo orientarsi per capire dove sia l'uscita più vicina.

Infine per avere una visione realistica di come si presenti effettivamente il capannone all'arrivo dei pompieri si riportano rispettivamente i prospetti nord-est e nord-ovest del capannone dopo 960 s.

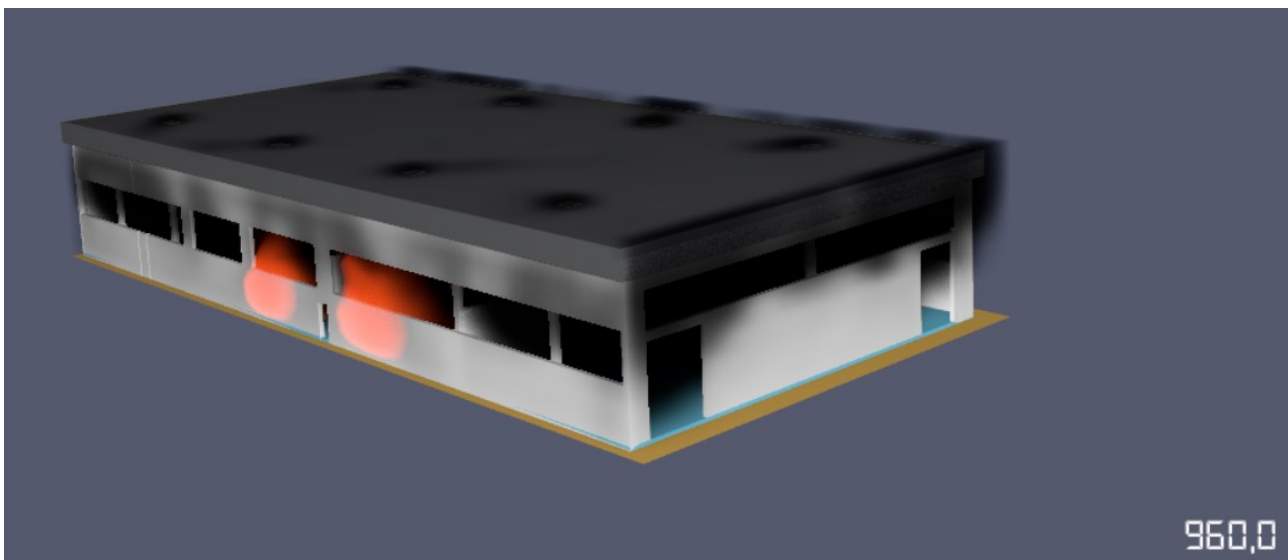


Figura 6.37 *Capannone visto esternamente dopo 960 s (nord-est).*

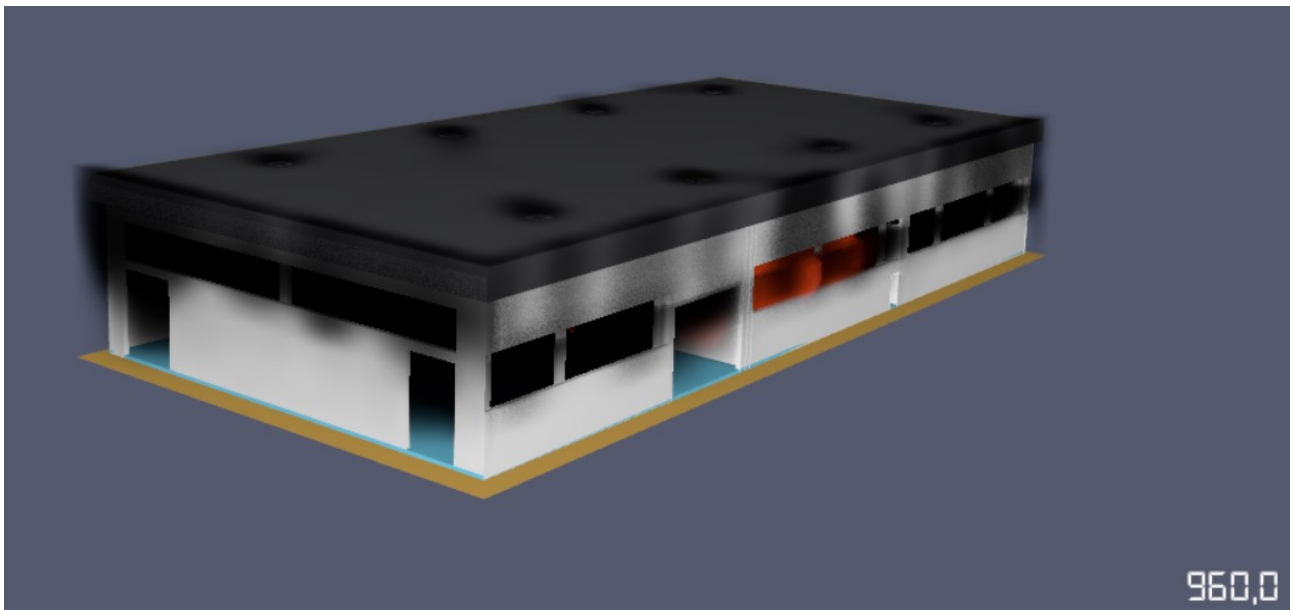


Figura 6.37 Capannone visto esternamente dopo 960 s (nord-ovest).

Da queste due immagini è ancora più evidente che la situazione che si troverebbero davanti i Vigili del Fuoco al loro arrivo è molto grave, il fumo ha invaso tutto l'edificio, tutti e 3 i cumuli bruciano contemporaneamente e le temperature all'interno del capannone sono proibitive per l'uomo. Inoltre si nota come le fiamme e il calore da esso generato siano stati in grado di distruggere tutte le vetrate. Queste ultime due immagini inoltre sono molto interessanti poiché permettono di osservare come il fumo venga smaltito attraverso gli evacuatori e le numerose aperture della struttura che una volta fuse permettono al capannone di avere una grande superficie di aerazione; superficie molto utile per lo smaltimento dei fumi, ma comunque non necessaria per l'evacuazione di questi e per la creazione di uno strato d'aria libero.

6.3.3 Qr Code

Scannerizzando il seguente *qr code* è possibile visionare la simulazione completa dello Scenario II.



Figura 6.38 Qr code relativo alla simulazione dello Scenario II

6.4 Scenario III - Capannone dotato di un Sistema di Evacuazione Forzata Fumo e Calore (SEFFC)

In questo paragrafo verranno mostrati i risultati delle simulazioni svolte sullo Scenario III, come già ribadito l'obiettivo è quello di valutare se è garantita la salvaguardia degli occupanti e delle squadre dei soccorritori in caso d'incendio o equivalentemente se è garantito il rispetto del Livello di prestazione III dell'S.8 perciò lo studio sarà incentrato principalmente sull'andamento dei fumi e del calore, tuttavia saranno presentati anche altri aspetti. Infatti, in primis si ritiene necessario trattare l'argomento prima in maniera generica e poi andando nel particolare, per farlo si parte mostrando la curva RHR fornita come output di default dal software.

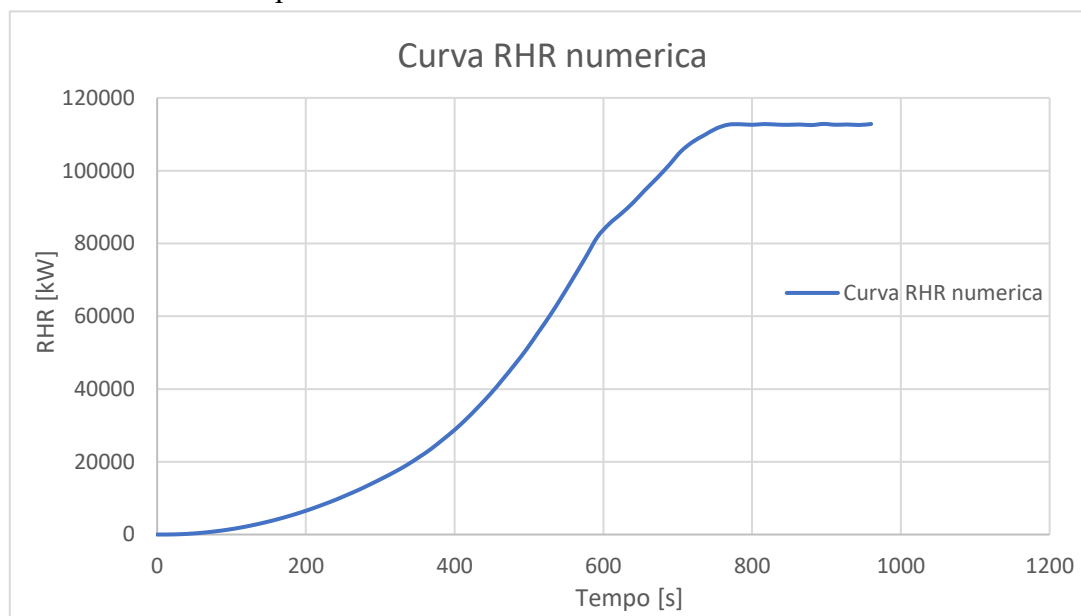


Figura 6.39 Curva RHR calcolata con PyroSim per lo Scenario III

La curva RHR relativa allo Scenario III risulta quasi identica a quella dello Scenario I, questo non deve stupire in quanto tra i due scenari non c'è differenza in termini né di ventilazione né combustibile; dato che l'unica discriminante tra lo Scenario I e lo Scenario III è la presenza del SEFFC.

Di conseguenza tutte le considerazioni fatte al §6.2 circa la curva RHR relativa allo Scenario I valgono anche per lo Scenario III dunque per non essere ridondanti si eviterà di ripeterle.

Un altro parametro che vale la pena analizzare è la temperatura, per farlo si inizia mostrando i risultati ottenuti da uno dei 54 *device* disposti come in Figura 5.20 al fine di misurare l'andamento della temperatura durante l'incendio, in particolare si è scelto di mostrare il *device* che ha registrato le temperature più elevate. Il *device* che in questo caso ha registrato le temperature più elevate è il "T₃₃₃" ovvero il sensore posto alla quota di 8 m in corrispondenza del cumulo di primo innesco. Dunque anche nello Scenario III il sensore "T₃₃₃" è quello che ha registrato le temperature maggiori.

L'andamento della temperatura registrato dal *device* "T₃₃₃" è rappresentato dal grafico in Figura 6.40

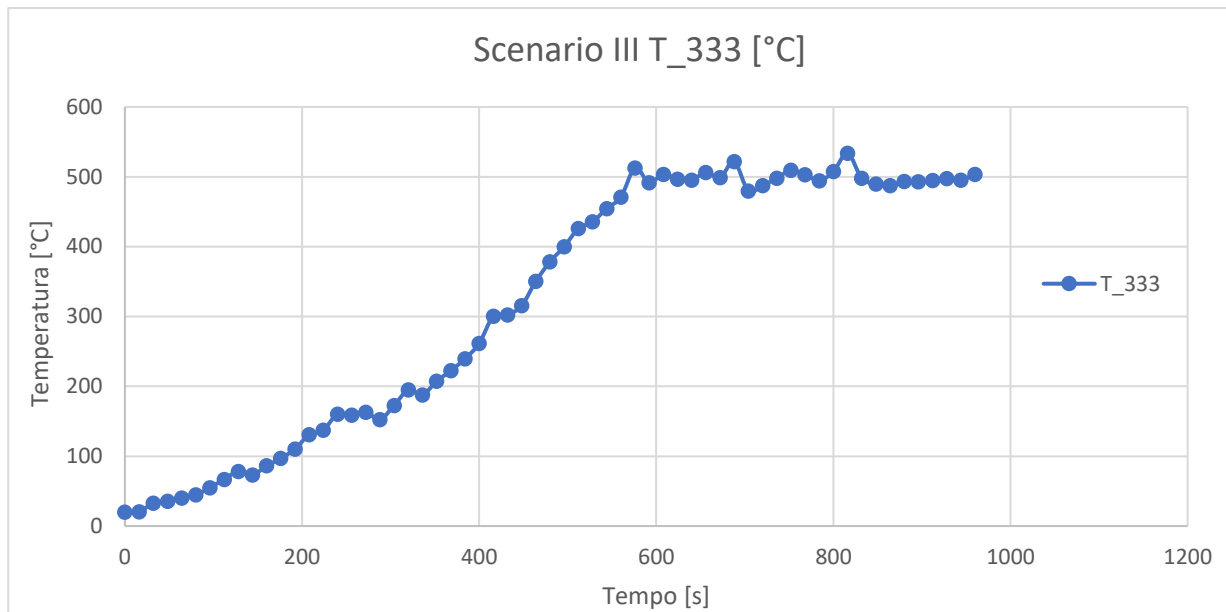


Figura 6.40 Andamento della temperatura registrato dal device “T₃₃₃” [°C]

Come si vede dal grafico il picco si ha intorno ai 816 s ed è pari a 534°C.

Dal grafico appena riportato si può già giungere ad una prima conclusione: le temperature registrate nello Scenario III sono maggiori di quelle relative allo Scenario I e minori di quelle relative allo Scenario II. Tale risultato viene in parte confermato dall’andamento medio della temperatura mostrato in Figura 6.41 nel senso che si nota come i valori medi siano effettivamente minori di quelli relativi allo scenario II ma si nota anche che tali valori, se pur di poco, siano inferiori anche rispetto a quelli dello Scenario I.

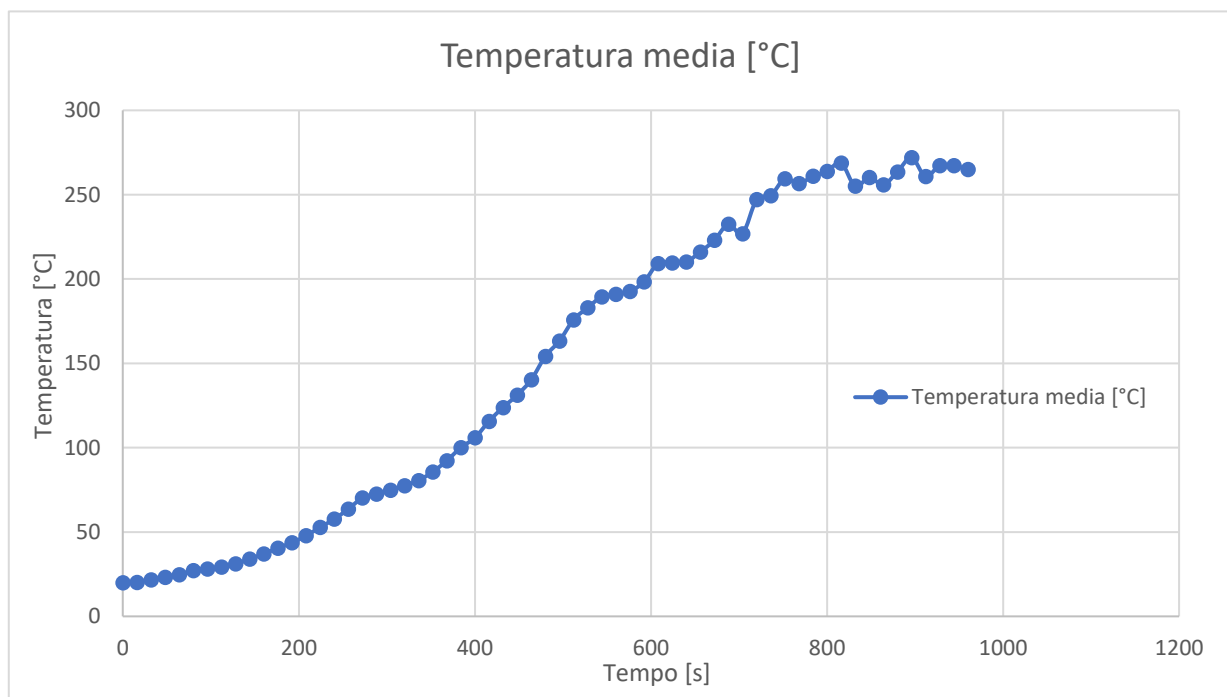


Figura 6.41 Andamento medio della temperatura registrata dai devices [°C]

Dal grafico in Figura 6.41 si nota che intorno al secondo 800 i valori della temperatura tendono a stabilizzarsi dunque anche in questo caso si può attestare l'esistenza di una corrispondenza tra l'andamento della curva RHR e quello della temperatura.

Dopo aver mostrato alcuni interessanti risultati in merito a RHR e Temperatura, è arrivato il momento di valutare se nello Scenario III, sia garantito il rispetto dei requisiti del Livello di prestazione III e dunque la salvaguardia della vita. Si ricorda che per salvaguardia della vita umana si intende sia salvaguardia degli occupanti sia dei soccorritori, in questa Tesi si procederà valutando prima quella degli occupanti e poi quella dei soccorritori.

6.4.1 Salvaguardia degli occupanti

Per la salvaguardia degli occupanti si prende come riferimento il tempo calcolato al §4.5.1 ovvero il "required safe escape time" (RSET) pari a 95 s, questo significa che il rispetto delle due condizioni che determinano la soglia oltre la quale non è più garantita la salvaguardia degli occupanti sarà valutato entro i primi 95 secondi dall'innescio. Le due condizioni a cui si fa riferimento sono:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata;
- temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 200^{\circ}\text{C}$.

Si ricorda che il Capannone modellato nello scenario III è dotato di un SEFFC progettato come mostrato al § 5.3.3.1 che si attiva dopo 60 s dal momento dell'innescio. Detto questo si mostra ora la situazione all'intero del Capannone dopo 95 s.

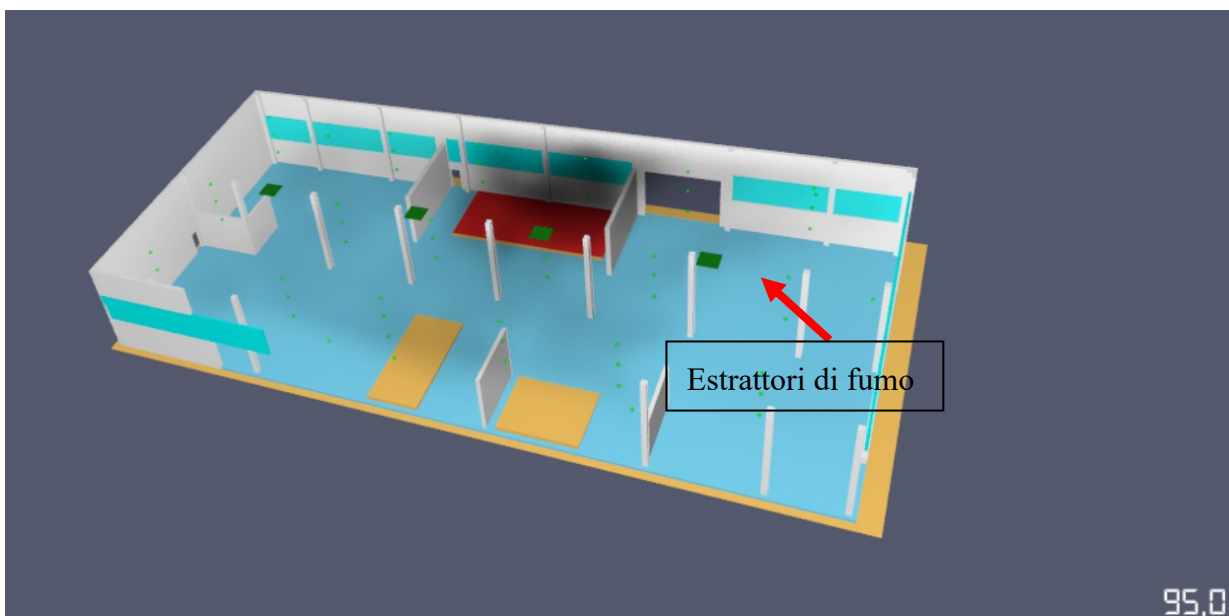


Figura 6.42 Situazione all'interno del capannone dopo 95 s.

Da questa immagine però risulta difficile apprezzare l'aspirazione dei fumi per mezzo degli estrattori, dunque si riporta di seguito un'immagine in cui grazie allo strumento *2D Slices* è possibile apprezzare l'intervento del SEFFC.

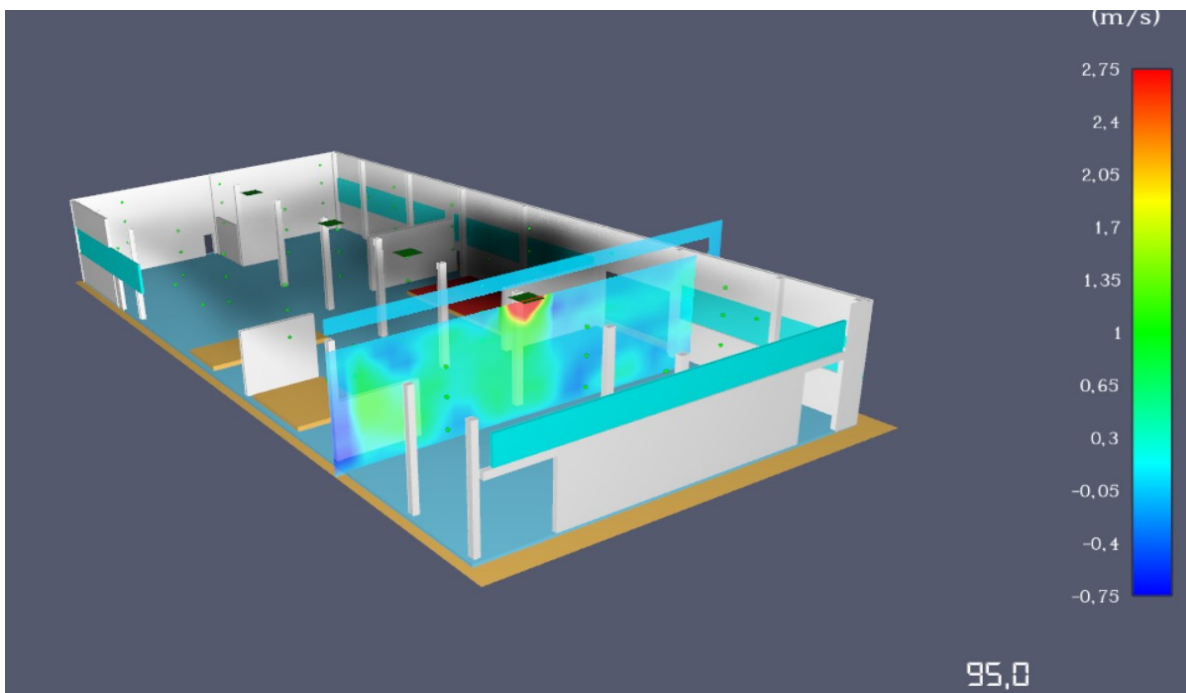


Figura 6.43 Aspirazione dei fumi di un singolo estrattore

Da questa visualizzazione risulta evidente come in prossimità dell'estrattore ci sia un brusco aumento della velocità dell'aria, dovuto proprio all'attivazione del SEFFC.

Per quanto riguarda lo strato libero dai fumi, già solo osservando la Figura 6.42 si può affermare che il fumo sicuramente non ostacola l'esodo degli occupanti e che non costituisce condizioni incapacitanti per gli stessi; si vede infatti come il fumo sia principalmente concentrato in prossimità del rogo mentre nel resto del capannone si va progressivamente diradando. Queste osservazioni per quanto fattuali però sono osservazioni qualitative, dunque per dimostrare l'effettivo rispetto della prima condizione si usufruisce dello strumento "2D Slices" così come già fatto per lo Scenario I e II. Grazie a questo strumento è possibile apprezzare l'effettiva presenza dello strato libero dai fumi (Figura 6.44) e mostrare le condizioni di visibilità dopo 95 s (Figura 6.45).

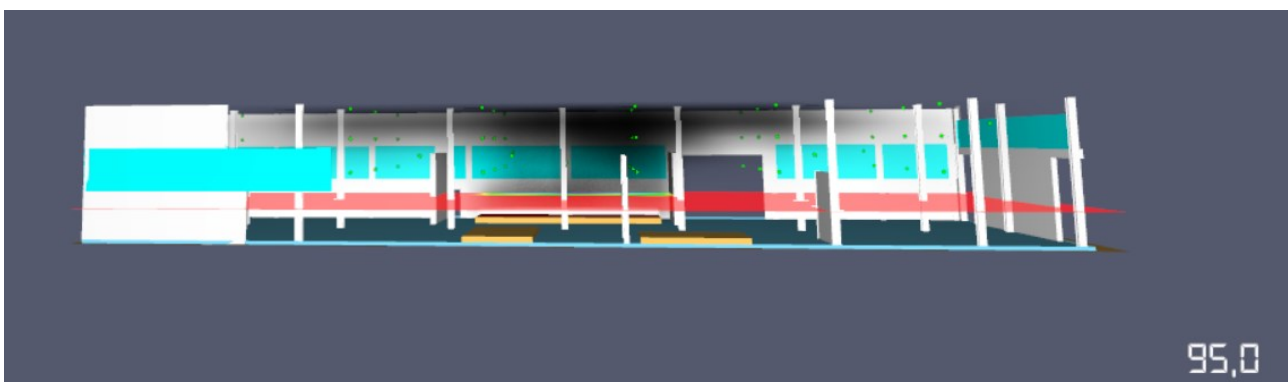


Figura 6.44 Strato libero dai fumi dopo 95 s dall'innescio

L'immagine appena mostrata conferma quanto già detto sopra ovvero che il fumo non ostacola gli occupanti e che è effettivamente presente uno strato d'aria libero dai fumi di almeno 2 m.

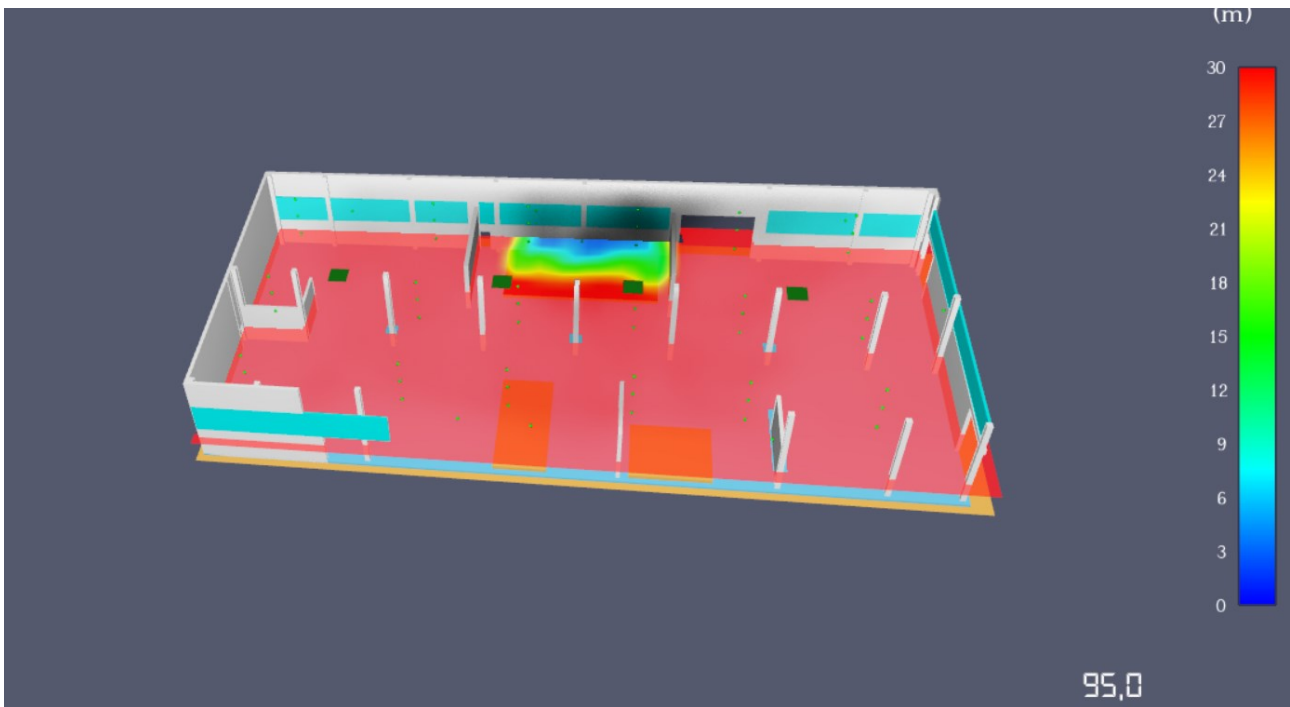


Figura 6.45 *Visibilità a 2 m di quota dopo 95 s.*

Si conclude dunque che, dopo 95 s dall'innesco dell'incendio, all'interno del capannone è ancora presente uno strato d'aria libero dai fumi di altezza non inferiore a 2 m e che dunque la prima condizione per la salvaguardia degli occupanti risulta soddisfatta.

Per quanto riguarda invece la seconda condizione occorre avvalersi di un altro strumento di PyroSim ovvero "3D Slices" così come già fatto per lo Scenario I e II, quello che si ottiene è rappresentato in Figura 6.46.

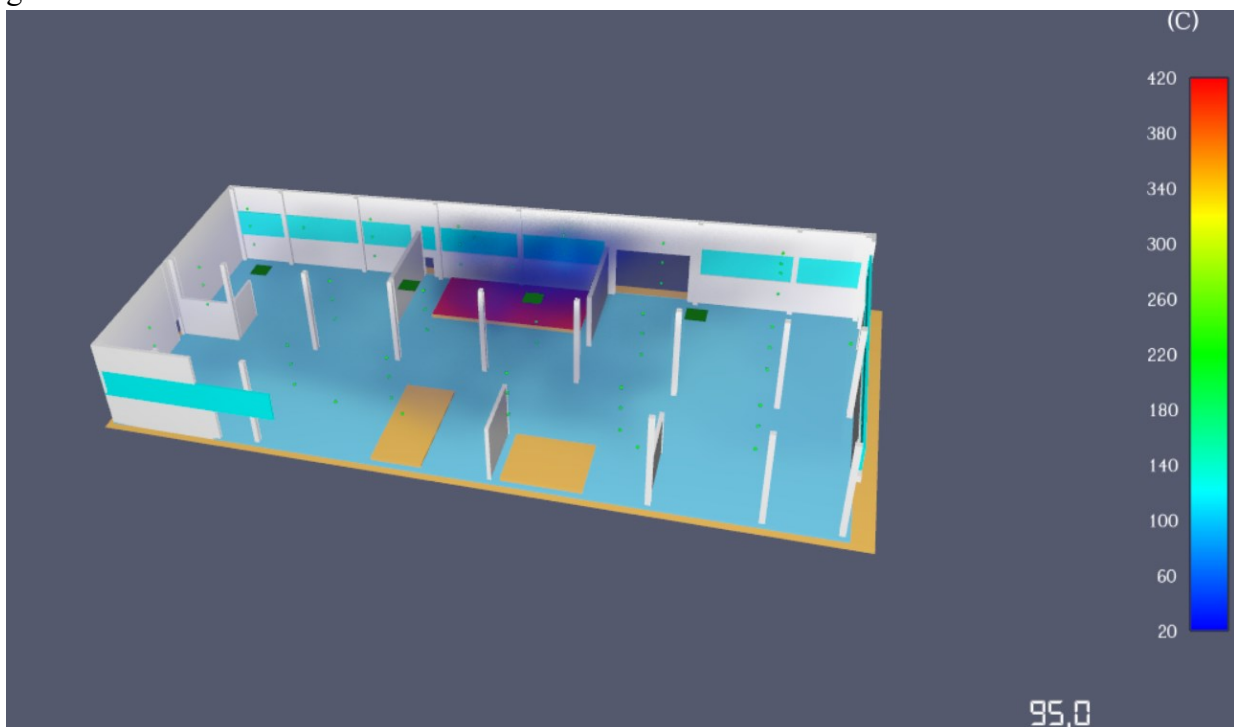


Figura 6.46 *Temperatura dei fumi dopo 95 s [°C]*

L'immagine appena mostrata è di particolare interesse perché per la prima volta si nota una differenza nei valori della scala cromatica, tale scala infatti non va oltre i 420°C, mentre negli altri scenari arrivava fino a 470°C questo va a conferma del fatto che lo Scenario III è quello con le temperature più basse.

Per quanto riguarda invece il rispetto della seconda condizione, dalla Figura 6.46 risulta evidente che la temperatura media dei fumi caldi dopo 95 s si mantiene abbondantemente al di sotto dei 200 °C. In questo caso è talmente evidente che anche una rappresentazione qualitativa come questa fornisce la sicurezza necessari per poter asserire che anche la condizione riguardante la temperatura media dei fumi caldi risulta soddisfatta.

Alla luce di questi risultati si può affermare che, poiché le condizioni limite usate per il calcolo semplificato dell'ASET non sono state raggiunte durante l'intervallo di tempo $RSET = 95$ s, ASET sia sicuramente maggiore di RSET e ciò equivale a dire che la salvaguardia degli occupanti è garantita.

Una volta appurato che $ASET > RSET$ però, risulta interessante capire di quanto lo sia, ovvero quantificare l'intervallo di tempo che separa ASET da RSET, in altre parole quello che si vuole ora calcolare è il cosiddetto " t_{marg} ". Per quantificare t_{marg} naturalmente occorre prima ricavare ASET, per ricavare ASET occorre ricavare i tempi entro cui le due condizioni limite prima menzionate non siano più rispettate e poi scegliere il tempo inferiore tra i due.

Dunque per il calcolo di ASET c'è bisogno di un'analisi quantitativa, non basta la rappresentazione cromatica mostrata in precedenza. In questo caso quello che è necessario fare è trovare l'istante di tempo esatto in cui la temperatura media dei fumi arriva a 200°C per fare ciò si usa lo stesso procedimento già usato per lo Scenario I e II da cui ne deriva l'andamento della temperatura media dei fumi caldi riportato in Figura 6.47.

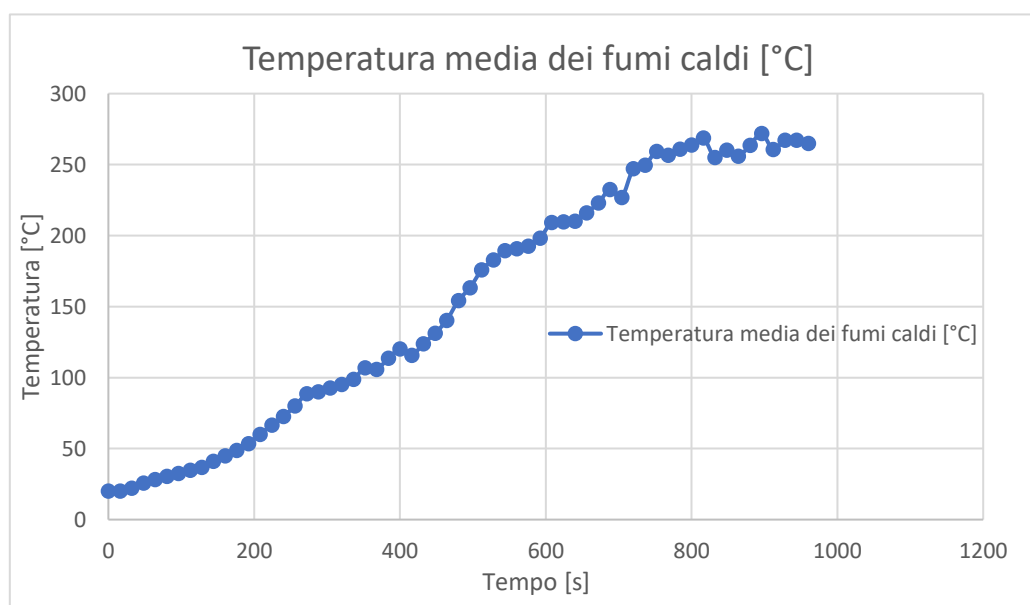


Figura 6.47 *Temperatura media dei fumi caldi [°C]*

Analizzando questi dati si scopre che la temperatura media dei fumi caldi raggiunge la temperatura limite di 200 °C dopo circa 600 s dall'innescò dell'incendio.

Dunque 600 s rappresenta il tempo in cui si raggiunge la temperatura limite dei fumi caldi, adesso per poter determinare l'ASET occorre determinare l'istante di tempo in cui la coltre di fumo scende al di sotto dei 2 m, per farlo si userà di nuovo lo strumento "2D Slices" così come già fatto per determinare la quota dei fumi dopo 95 s. In pratica quello che si farà è osservare l'andamento dell'incendio simulato e osservare quando lo strato di fumi va al di sotto del layer posto a 2 m che misura la visibilità. Così facendo si arriva a concludere che lo strato di fumi scende al di sotto dei 2 m dopo circa 270 s la prova di ciò è rappresentata dalla Figura 6.48 e 6.49.

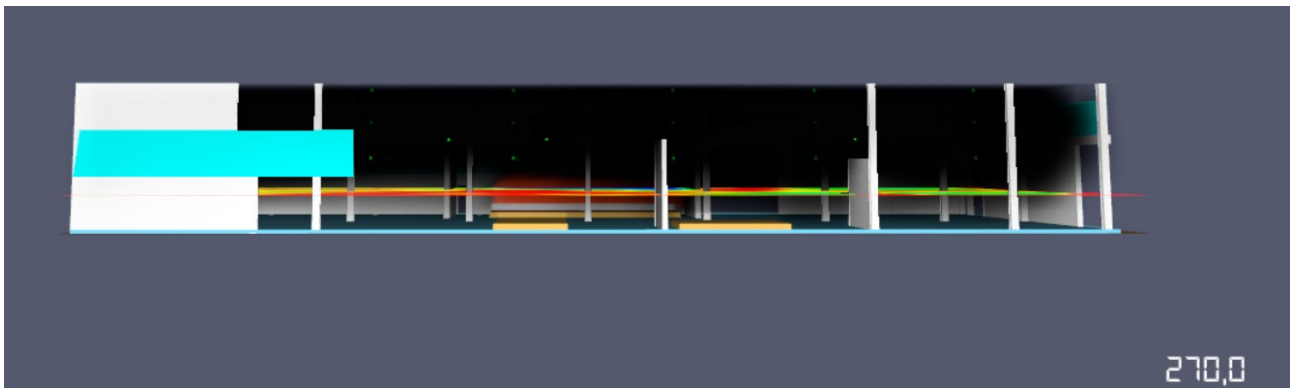


Figura 6.48 Strato libero dai fumi dopo 270 s

A differenza che negli altri scenari in quest'ultimo il fumo non stratifica in maniera uniforme, ma scende verso destra più velocemente verso sinistra, infatti, si nota come se nella parte destra del Capannone il fumo abbia ormai raggiunto la quota di 2 m, nella parte sinistra non lo ha ancora fatto. Cautelativamente nel momento in cui il fumo raggiunga la quota limite in un punto si assume che la abbia raggiunta in tutta la struttura; questo aspetto può essere osservato chiaramente mostrando la visibilità all'interno del Capannone a 270 s.

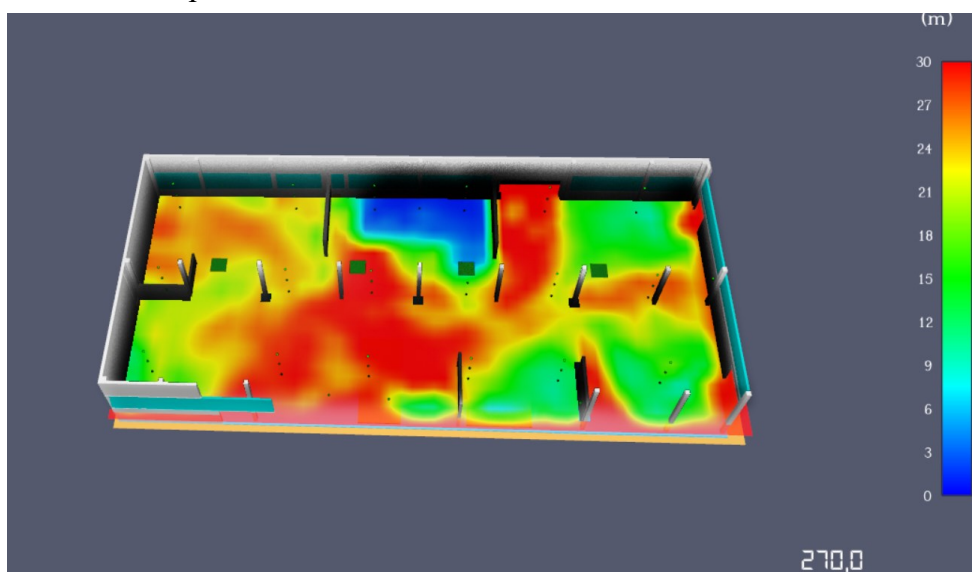


Figura 6.49 Visibilità a 2 m di quota dopo 270 s

Come si vede nella parte sinistra ci sono ancora molte zone in cui la visibilità non è per nulla intaccata dal fumo. In definitiva si può affermare che 270 s è il tempo massimo che gli occupanti hanno a disposizione per raggiungere luogo sicuro prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti per quest'ultimi.

Adesso risulta possibile determinare l'ASET semplicemente scegliendo il tempo inferiore tra 600 s e 270 s, ovvero 270 s. In conclusione, dunque $ASET = 270$ s.

A questo punto è possibile ricavare finalmente il t_{marg} come differenza tra ASET e RSET, per cui:
 $t_{\text{marg}} = ASET - RSET = 270 - 95 = 175$ s. Dunque il margine di sicurezza della progettazione prestazionale è di 175 s, per cui si può affermare che anche nello Scenario III la salvaguardia degli occupanti è garantita in quanto è rispettata la condizione $t_{\text{marg}} \geq 100\% \cdot RSET$.

Nella figura che segue si riporta un grafico che riassume quanto appena detto.

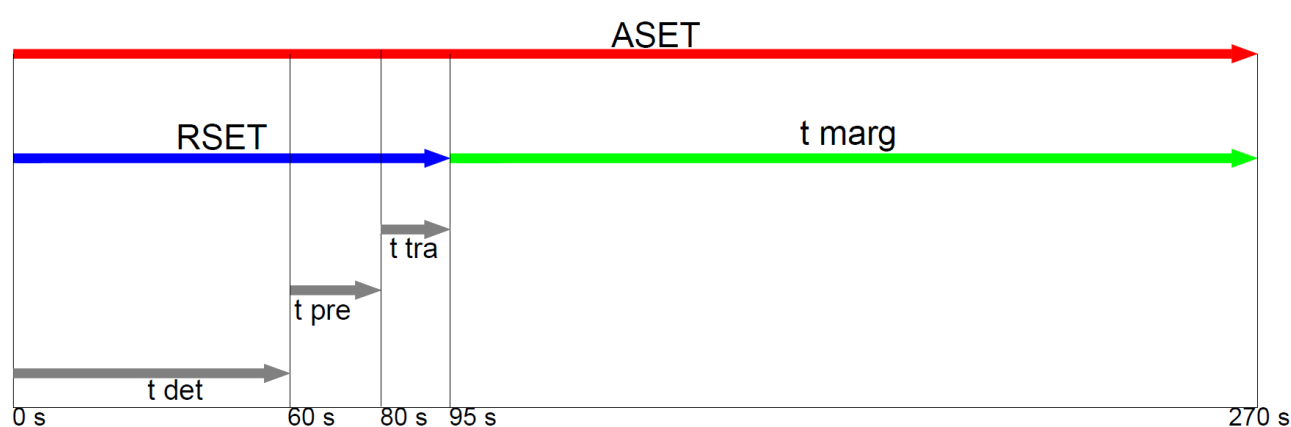


Figura 6.50 Confronto tra ASET e RSET.

Dunque l'installazione di un Sistema di Evacuazione Forzata Fumo e Calore incrementa di ben 80 s il margine di sicurezza della progettazione prestazionale rispetto allo Scenario I e di 65 s rispetto allo Scenario II.

6.4.2 Salvaguardia dei soccorritori

In questo paragrafo verrà valutata la salvaguardia dei soccorritori, la categoria dei soccorritori ivi considerata comprende sia i membri della squadra antincendio interna all'azienda adeguatamente formati e addestrati alla lotta antincendio sia i membri delle squadre dei Vigili del Fuoco. Nel caso studiato, poiché la regola tecnica sui rifiuti specifica che gli addetti antincendio devono aver eseguito il corso di formazione per "rischi alto" e devono essere sempre presenti durante l'orario lavorativo, è stato ipotizzato che la squadra antincendio fosse effettivamente presente al momento dell'incendio e che intervenisse dopo 150 s dall'innescio dello stesso. In aggiunta a ciò, per rendere più completo e per poter effettuare delle valutazioni anche nella fase di incendio generalizzato, verrà valutata anche la salvaguardia delle squadre dei Vigili del Fuoco. In definitiva, dunque, verranno distinte due casistiche nella prima si ipotizza l'intervento degli addetti antincendio dopo 150 s mentre nell'altra

si ipotizza che, per qualche ragione, gli addetti antincendio non intervengano e che dunque intervengano direttamente i Vigili del Fuoco.

6.4.2.1 Salvaguardia degli addetti antincendio

Per la salvaguardia dei soccorritori devono essere soddisfatte entrambe queste due condizioni:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 1,5 m al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata;
- temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 250^{\circ}\text{C}$.

Come si vede queste soglie prestazionali sono meno stringenti delle altre, questo poiché si assume che essi siano in grado di sopravvivere a condizioni che risulterebbero mortali per un normale lavoratore dato che dispongono dell'adeguata attrezzatura per fronteggiare un incendio come: tuta antifiama, maschera antigas, guanti anticalore, ecc...

Per la valutazione del rispetto di tali soglie si userà lo stesso procedimento usato per la valutazione della salvaguardia degli occupanti con l'unica differenza che in questo caso il rispetto di tali soglie sarà valutato dopo 150 s anziché 95 s. È stato scelto il tempo di 150 s poiché è il tempo massimo entro il quale si stima che gli addetti antincendio riescano ad intervenire.

La situazione dopo 150 s dall'innesco è la seguente.

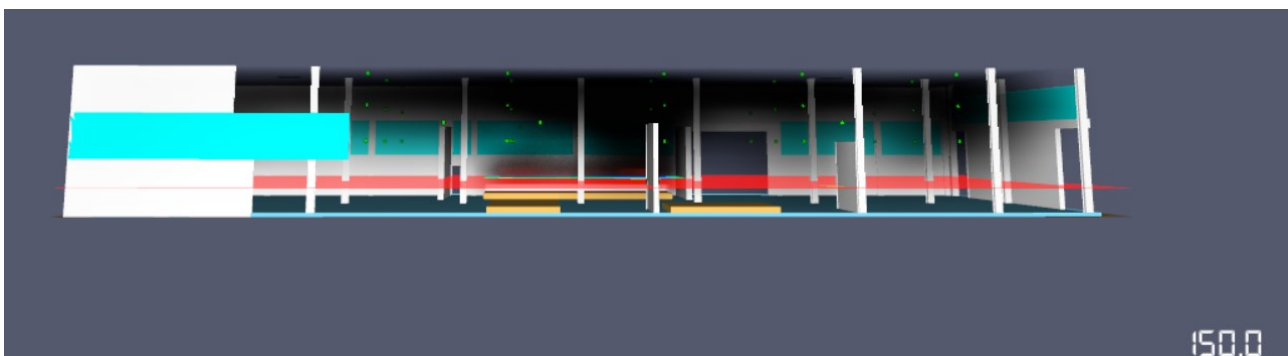


Figura 6.51 Strato libero dai fumi dopo 150 s.

Dalla Figura 6.51 si vede che dopo 150 s ancora l'unico cumulo acceso è quello di primo innesco e che, a differenza della situazione relativa ai 95 s, iniziano a intravedersi le prime fiamme. Anche in questo caso è evidente che è ancora presente uno strato d'aria libero dai fumi mentre per quanto riguarda la temperatura media dei fumi, dal grafico in Figura 6.47 si scopre che a 150 s la temperatura media dei fumi è pari a circa 42°C dunque ben al di sotto di quella limite di 250°C . Inoltre basandosi su quanto dimostrato al §6.3.1 si può affermare che in questo caso la salvaguardia dei soccorritori è automaticamente garantita, questo poiché si è mostrato come le condizioni limite relative agli occupanti (più stringenti) sono entrambe verificate fino a 270 s dunque le condizioni relative ai soccorritori (meno stringenti) saranno sicuramente verificate anche a 150 s.

A questo punto però può risultare interessante capire dopo quanto tempo le condizioni limite relative ai soccorritori non vengono più rispettate. Così, attraverso il medesimo procedimento usato al §6.4.1, si scopre che i fumi raggiungono la quota di 1,5 m da terra dopo circa 300 s dall'innesco (Figura 6.52) ovvero con ben 95 s di ritardo rispetto allo Scenario I e 90 s di ritardo rispetto allo Scenario II, e che

la temperatura media dei fumi caldi raggiunge i 250 °C dopo circa 740 s ovvero con 40 s di ritardo rispetto allo Scenario I e addirittura 140 s di ritardo rispetto allo Scenario II. Da questi risultati si può dedurre che il SEFFC porta dei miglioramenti sostanziali sia per quanto riguarda l'evacuazione dei fumi, (aumentando di molto sia l'ASET sia il tempo entro cui i soccorritori possono intervenire) sia per quanto riguarda l'innalzamento delle temperatura in quanto è stato dimostrato che nello Scenario III le temperature rilevate sono le più basse.

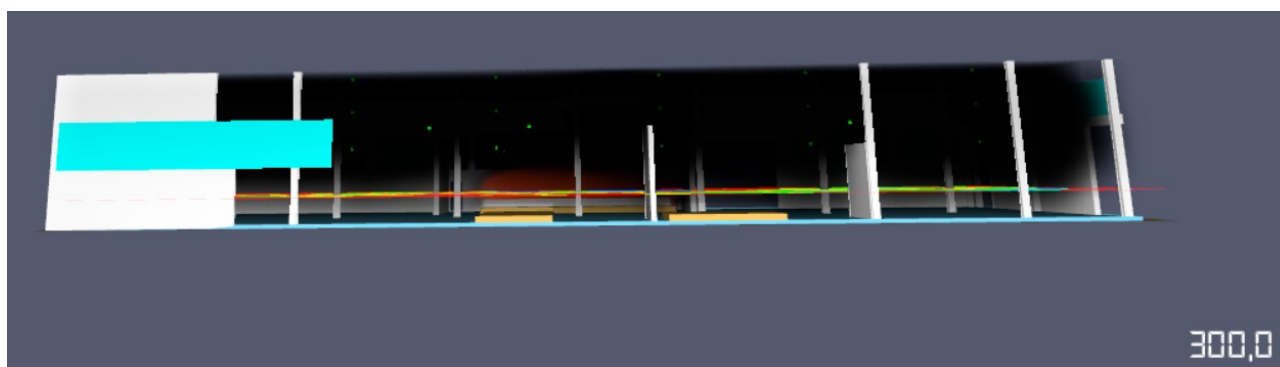


Figura 6.53 *Strato libero dai fumi dopo 300 s*

In conclusione si può affermare che anche nello Scenario III, a patto che gli addetti antincendio intervengano correttamente, è assicurato il rispetto del Livello di prestazione III dell' S.8 e di conseguenza è garantita la salvaguardia della vita umana. Infatti si è dato prova che sono garantite sia la salvaguardia degli occupanti che quella dei soccorritori (addetti antincendio).

6.4.2.2 Salvaguardia dei Vigili del Fuoco

In questo paragrafo verranno mostrati i risultati nell'ipotesi in cui i Vigili del Fuoco arrivino sul luogo dell'incendio e si trovino dinnanzi ad un incendio che si è propagato per diversi minuti, senza che nessuno sia intervenuto, in altre parole si trascura completamente l'intervento degli addetti antincendio.

L'arrivo delle squadre dei Vigili del Fuoco è stato ipotizzato sulla base dei dati registrati negli annuari statistici del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, in particolare il tempo medio d'intervento dei VV.F. nella regione Veneto è pari a 15 min a cui va sommato il tempo massimo in cui l'impianto di rivelazione riveli l'incendio e faccia partire l'allarme " t_{det} " pari a 1 min. Dunque si ipotizza che i Vigili del Fuoco riescano ad intervenire dopo 16 min ovvero 960 s.

Come si è visto dai paragrafi precedenti la salvaguardia degli occupanti è garantita fino a 270 s mentre quella dei soccorritori fino a 300 s di conseguenza si può affermare che dopo 960 s la salvaguardia della vita non è più possibile e che dunque chiunque sia ancora all'interno del capannone è da considerarsi defunto. Come si vede dal grafico in Figura 6.39 con tutta probabilità all'arrivo dei pompieri l'incendio sarà già entrato nella fase stazionaria, in tale fase l'intervento dei Vigili del Fuoco si limita a cercare di spegnere l'incendio dall'esterno, in quanto il fumo e il calore generati non

permettono neppure a loro di entrare nel capannone. Quanto appena detto è confermato dai risultati ottenuti con PyroSim, tali risultati sono di seguito mostrati.

Innanzitutto, per dare un'idea sulle temperature che si verrebbero a generare, si riporta la rappresentazione cromatica ottenuta con il solito comando "3D Slices".

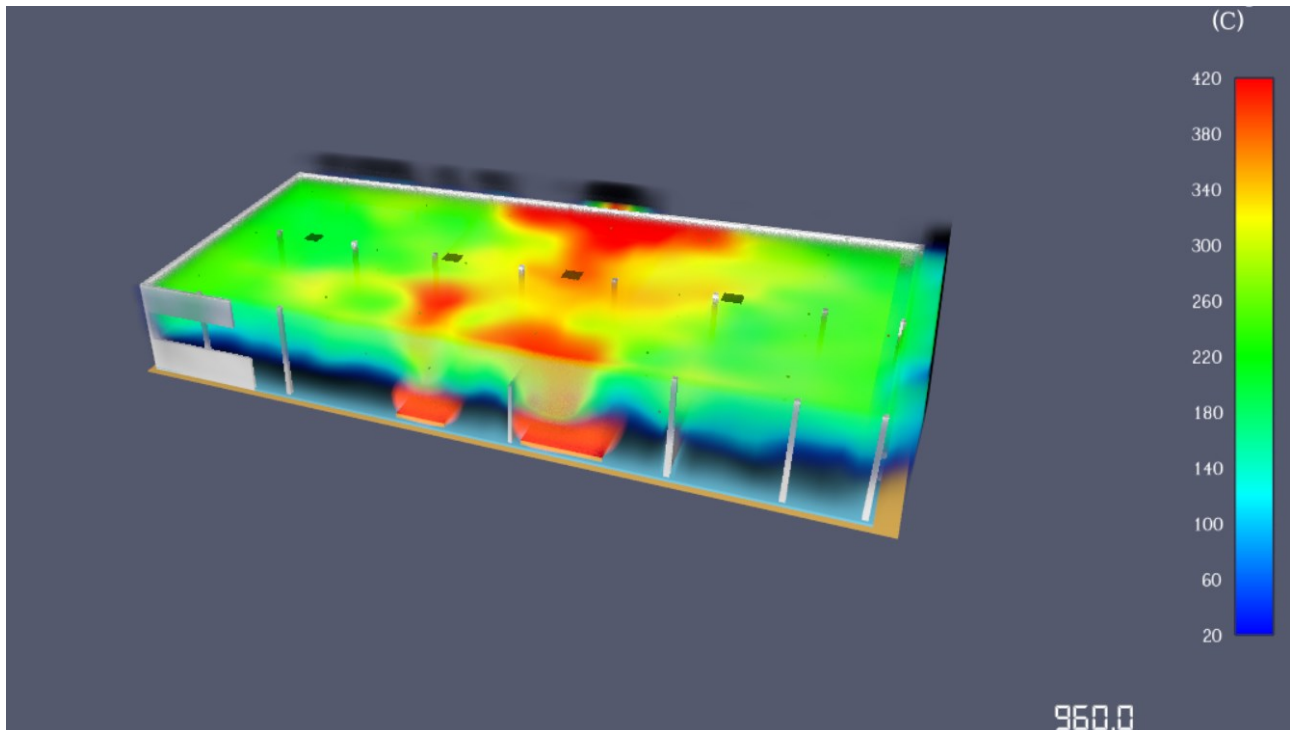


Figura 6.54 *Temperatura all'interno del Capannone dopo 960 s.*

Analizzando la Figura 6.54 si vede come le temperature che si vengono a generare superano i 400°C in tutta la parte centrale del Capannone, tali temperature, come era lecito aspettarsi, si riscontrano in corrispondenza dei 3 focolai nella parte alta del capannone. La temperatura media dei fumi caldi invece si attesta intorno ai 265°C dunque circa 20°C in meno rispetto allo Scenario I e 50°C in meno rispetto allo Scenario II.

Come si ipotizzava prima, le temperature sono talmente elevate che neppure un pompiere munito di tutta l'attrezzatura necessaria potrebbe entrare nella struttura.

In secondo luogo, è interessante valutare la stratificazione dei fumi e la visibilità, a tal proposito si mostra la Figura 6.55 e 6.56.

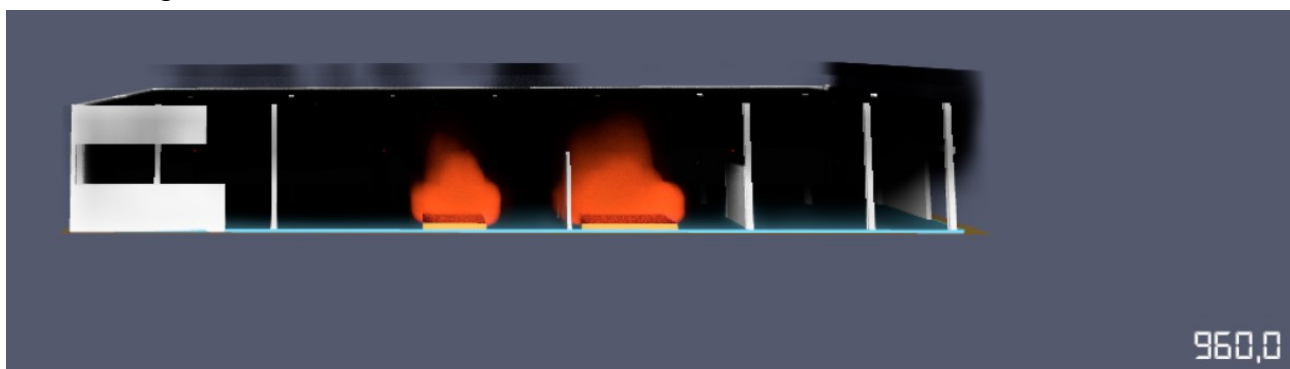


Figura 6.55 *Stratificazione dei fumi dopo 960 s*

Risulta evidente che il fumo ha ormai invaso l'intero Capannone e che coerentemente con quanto detto prima non si ha più alcuna traccia di uno strato d'aria libero dai fumi. Questa immagine inoltre è particolarmente interessante perché mostra chiaramente l'evacuazione del fumo verso l'esterno attraverso le varie aperture del Capannone (porte, portoni e finestre in plexiglass distrutte dall'incendio).

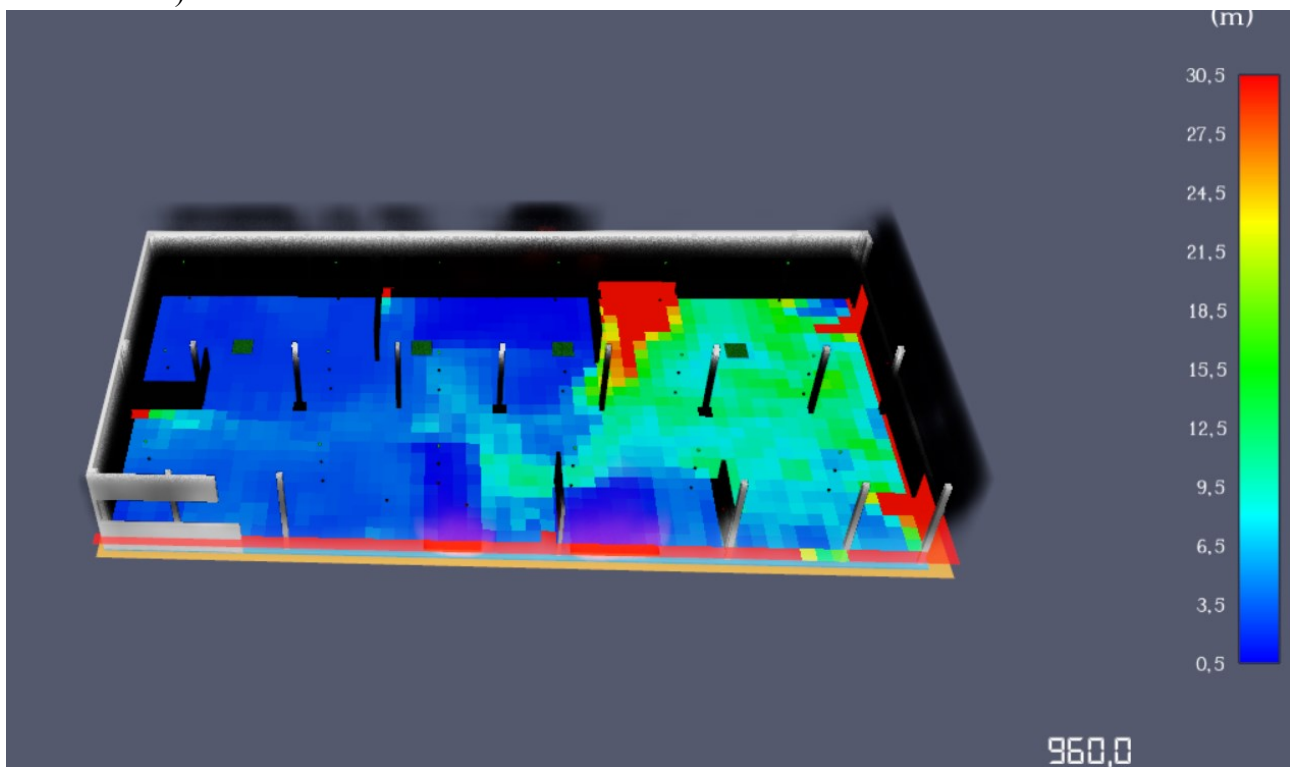


Figura 6.56 *Visibilità ad 1,5 m di quota dopo 960 s*

Come si vede la visibilità, ad 1,5 m, rimane sotto i 3 m quasi in tutte le zone del capannone ad eccezione di quelle in prossimità degli ingressi; in tali condizioni sarebbe impossibile anche solo orientarsi per capire dove sia l'uscita più vicina.

Infine per avere una visione realistica di come si presenti effettivamente il capannone all'arrivo dei pompieri si riportano rispettivamente i prospetti nord-est e nord-ovest del capannone dopo 960 s.

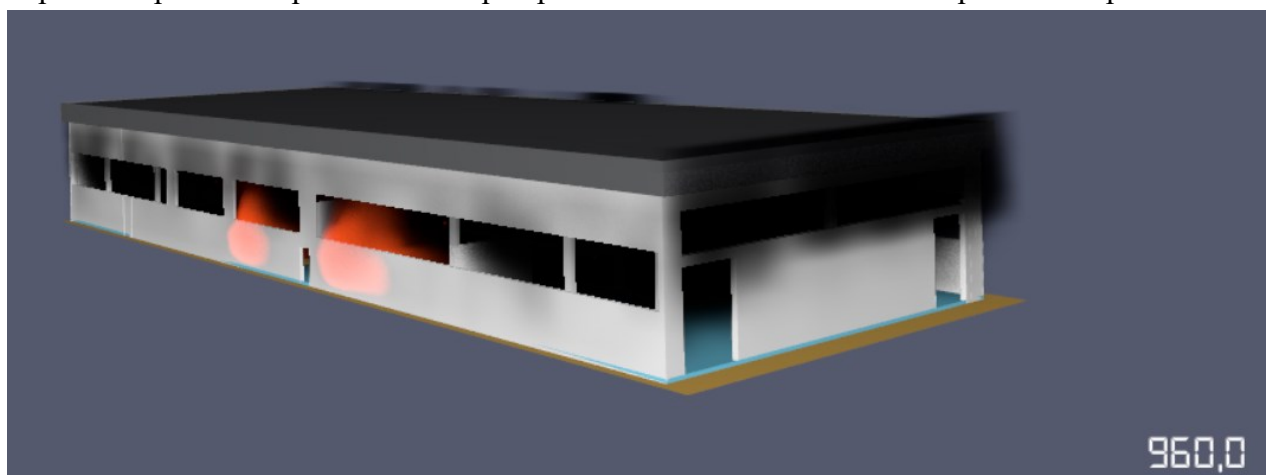


Figura 6.57 *Capannone visto esternamente dopo 960 s (nord-est).*

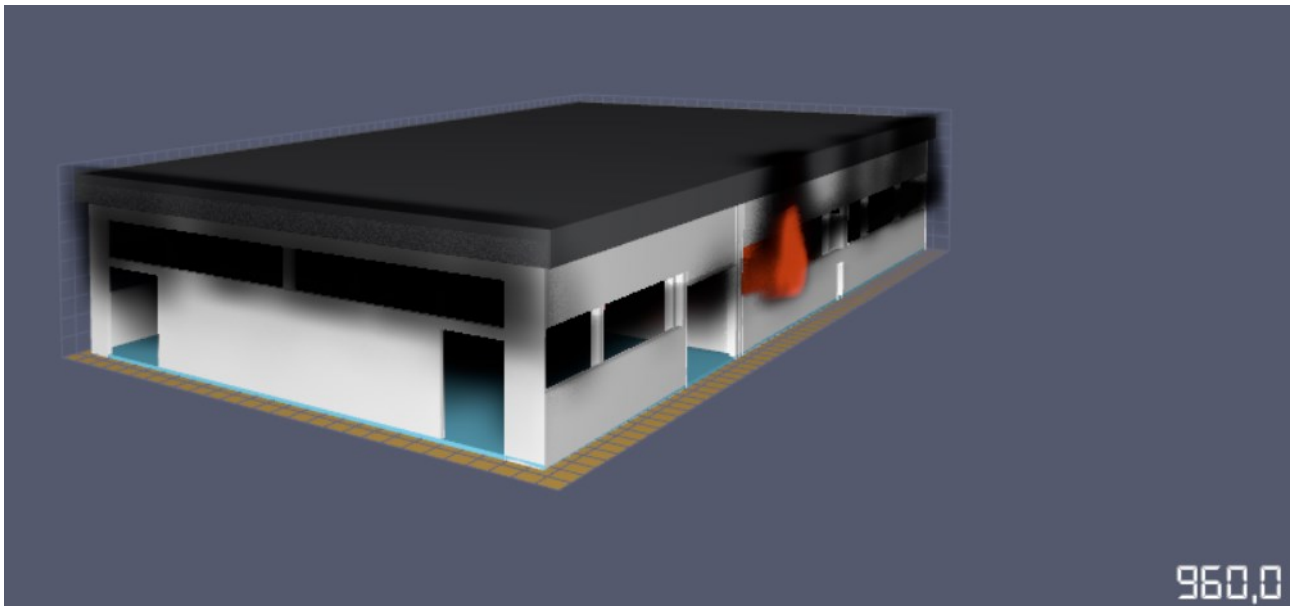


Figura 6.58 Capannone visto esternamente dopo 960 s (nord-est).

Da queste due immagini è ancora più evidente che la situazione che si troverebbero davanti i Vigili del Fuoco al loro arrivo è molto grave, il fumo ha invaso tutto l'edificio, tutti e 3 i cumuli bruciano contemporaneamente e le temperature all'interno del capannone sono proibitive per l'uomo. Inoltre si nota come le fiamme e il calore da esso generato siano stati in grado di distruggere tutte le vetrate. Queste ultime due immagini inoltre sono molto interessanti poiché permettono di osservare come il fumo venga smaltito attraverso le numerose aperture della struttura che una volta fuse permettono al capannone di avere una grande superficie di aerazione; superficie molto utile per lo smaltimento dei fumi e del calore, ma comunque non necessaria per l'evacuazione di questi e per la creazione di uno strato d'aria libero.

6.4.3 Qr Code

Scannerizzando il seguente *qr code* è possibile visionare la simulazione completa dello Scenario III.



Figura 6.59 Qr code relativo alla simulazione dello Scenario III

6.5 Confronto fra gli scenari

Al fine di avere una visione d'insieme sui risultati ottenuti è ora necessario porre a confronto i 3 scenari analizzati. Il confronto verterà sui seguenti parametri:

- Rate of Heat Released (RHR);
- Temperatura;
- Strato libero dai fumi;
- Available safe escape time (ASET).

Grazie a questo confronto sarà poi possibile fare delle conclusioni finali sullo studio effettuato e sui risultati ottenuti.

6.5.1 Rate of Heat Released (RHR)

Il “Rate of Heat Released” è l'indicatore che fornisce una stima sulla potenza radiante emessa da un incendio. Come specificato al § 5.1.2 l'andamento dell'RHR è influenzato sia dalla disponibilità di ventilazione, sia dalla quantità di combustibile degli scenari analizzati in questo studio la quantità di combustibile resta invariata mentre a variare è la disponibilità di ventilazione. In particolare si attesta un aumento della ventilazione nello Scenario II dovuto all'azionamento degli evacuatori che aumentano la superficie aerante del Capannone e dunque la ventilazione. Sempre appellandosi a quanto già detto al § 5.1.2 si è visto che l'aumento di ventilazione porta ad un incremento dell' RHR_{max} , infatti come si vede dal seguente grafico, la curva relativa allo Scenario II è quella caratterizzata dall' RHR_{max} , maggiore.

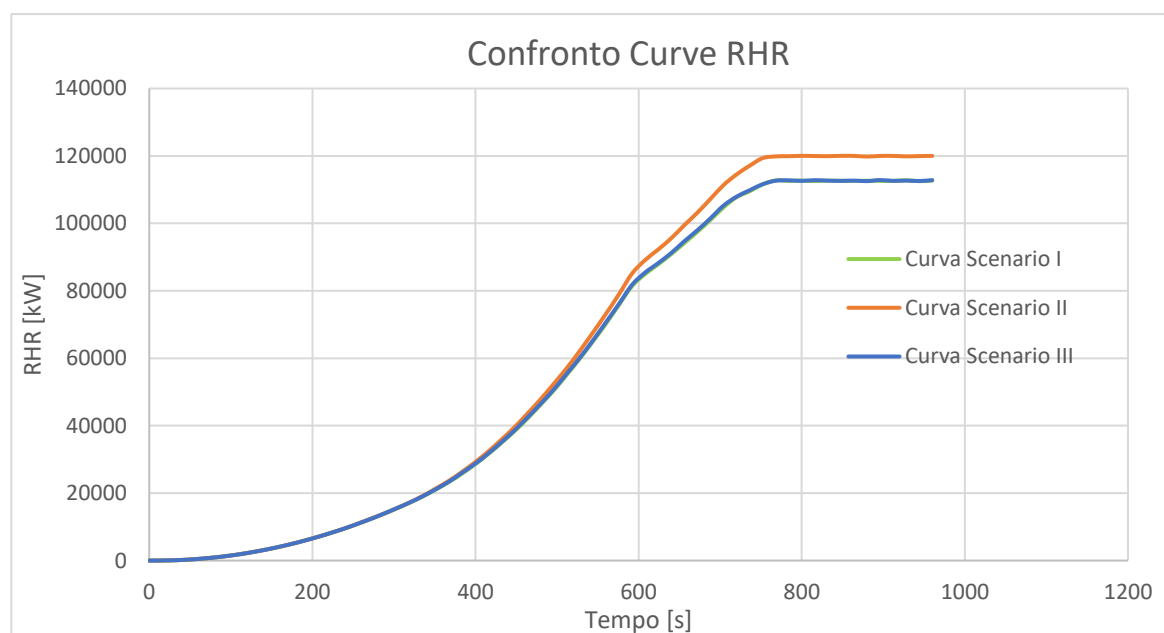


Figura 6.60 Confronto fra le curve RHR dei vari scenari

Il grafico è coerente con quanto detto sopra, infatti la curva relativa allo Scenario II è la più alta mentre quelle relative agli altri due scenari sono praticamente sovrapposte.

Per ulteriore chiarezza si riporta una tabella riassuntiva con i valori di RHR_{max} per ogni scenario.

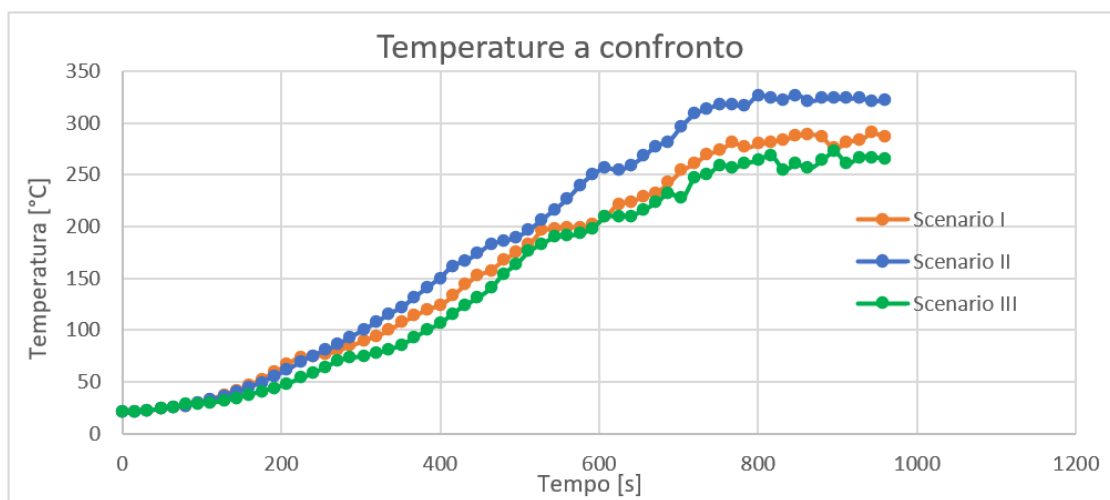
| Scenario | RHR_{max} |
|--------------|-------------|
| Scenario I | 112764 kW |
| Scenario II | 120021 kW |
| Scenario III | 112842 kW |

Tabella 6.1 Valori dell' RHR_{max} per ogni scenario

6.5.2 Temperatura

Per quanto riguarda invece il confronto basato sulla temperatura, si riporta il seguente grafico nel quale sono rappresentate 3 curve (una per ogni scenario) relative all'andamento della temperatura all'interno del capannone. Le 3 curve considerate sono le stesse già presentate rispettivamente in Figura 6.5, 6.24, 6.41.

Fire



safet

Figura 6.61 Confronto fra le temperature misurate nei vari scenari

Dal grafico è evidente che lo Scenario II è caratterizzato dalle temperature, questo poiché l'attivazione degli evacuatori aumenta la quantità di ossigeno che alimenta la combustione e di conseguenza incrementa sia i valori di temperatura sia la velocità con cui questa sale. Inoltre è interessante notare l'effetto benefico del SEFFC (Scenario III), l'attivazione degli estrattori di fumo, infatti, risulta estremamente efficace sia per l'evacuazione di fumi che del calore in quanto le temperature registrate in questo caso sono le più basse.

Risulta ora di notevole interesse prendere come termine di paragone i valori limite della temperatura media dei fumi caldi e vedere a che istante tali valori vengono raggiunti nei vari scenari.

| Condizione limite | Scenario I | Scenario II | Scenario III |
|---------------------------------------|------------|-------------|--------------|
| 200°C (salvaguardia occupanti) | 580 s | 520 s | 600 s |
| 250°C (salvaguardia dei soccorritori) | 700 s | 600 s | 740 s |

Tabella 6.2 Confronto fra i tempi di raggiungimento delle temperature limite

Infine per completezza si riportano i valori di temperatura massimi registrati e i relativi istanti temporali in cui sono stati misurati.

| | Scenario I | Scenario II | Scenario III |
|--------------------------|---------------------|----------------|----------------|
| Temperatura massima [°C] | 525 °C (dopo 960 s) | 559 °C (600 s) | 534 °C (816 s) |

Tabella 6.3 Confronto fra le temperature massime misurate

Si specifica che in tutti e 3 gli scenari le temperature massime sono state registrate dal *device* “T₃₃₃” ovvero quello posto a quota 8 m in corrispondenza del Cumulo di primo innesco.

Dunque si può concludere che, in questo caso, la differenza principale non sta nel valore di picco raggiunto ma nell’istante temporale in cui tale picco è stato raggiunto a testimonianza del fatto che l’aumento di ventilazione incrementa sia la temperatura sia la velocità con cui questa aumenta.

6.5.3 Strato libero dai fumi

Innanzitutto va detto che in tutti gli scenari è garantito il mantenimento di uno strato libero dai fumi per un tempo sufficiente a garantire la salvaguardia degli occupanti, tuttavia a seconda dello scenario considerato si osserva un comportamento dei fumi differente. Dunque per poter trarre delle conclusioni circa la bontà o meno delle soluzioni attuate per l’evacuazione dei fumi (SENFEC e SEFFC) occorre porre a confronto i 3 scenari considerando lo stesso istante di tempo. Per tale confronto si considererà l’istante $t=190$ s corrispondente all’ASET relativo allo Scenario I.

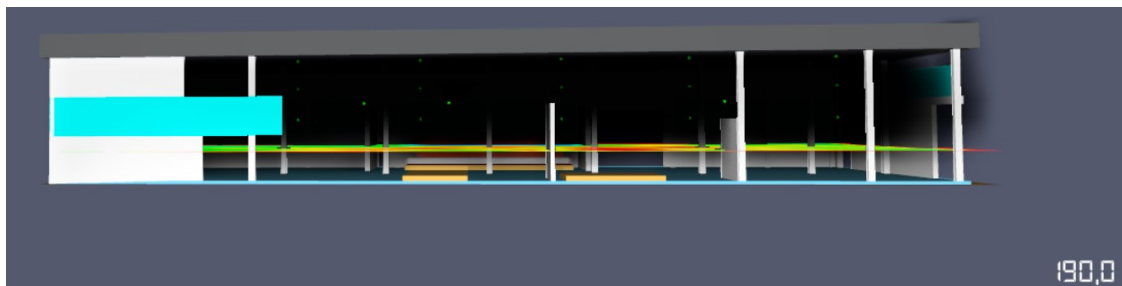


Figura 6.62 Strato libero dai fumi nello Scenario I a 190 s dall’innesco

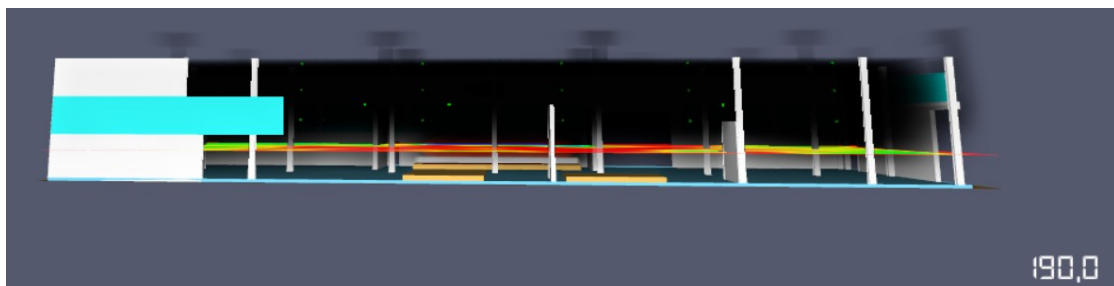


Figura 6.63 Strato libero dai fumi nello Scenario II a 190 s dall’innesco

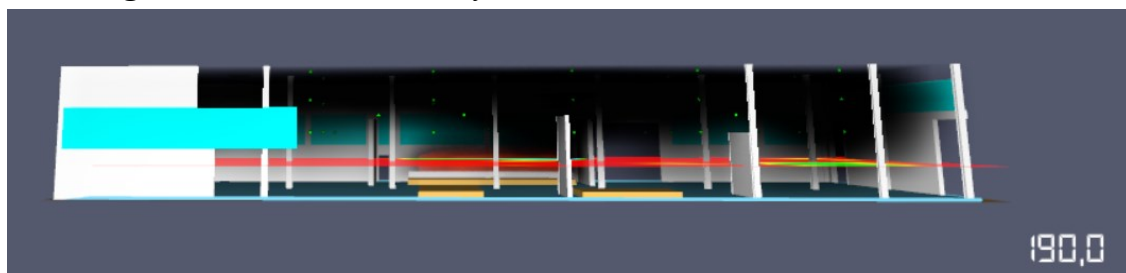


Figura 6.64 Strato libero dai fumi nello Scenario III a 190 s dall’innesco

Usando il layer posto a 2 m come punto di riferimento, si nota che la soluzione adottata nello Scenario III (evacuazione forzata dei fumi) è l'unica che consente di avere uno strato d'aria libero maggiore di 2 m all'istante considerato. Gli altri 2 scenari invece non presentano sostanziali differenze in quanto alla quota dello strato libero dei fumi, l'unica differenza è rappresentata dalla visibilità, leggermente maggiore nello Scenario II rispetto allo Scenario I, ma comunque nettamente inferiore a quella dello Scenario III. Per ulteriore chiarezza si riportano le condizioni di visibilità a 2 m di quota dopo 190 s dei 3 scenari.

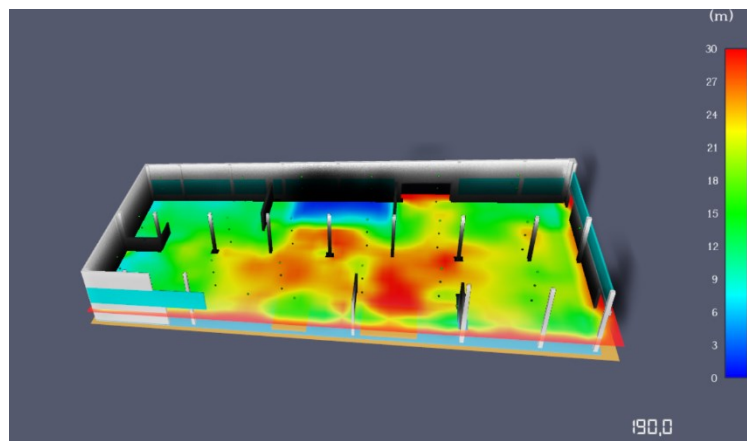


Figura 6.65 *Visibilità nello Scenario I a 2 m di quota dopo 190 s dall'innescio*

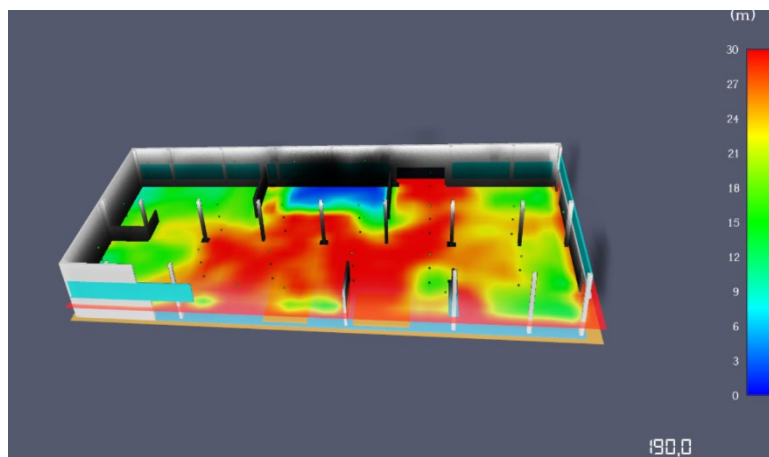


Figura 6.66 *Visibilità nello Scenario II a 2 m di quota dopo 190 s dall'innescio*

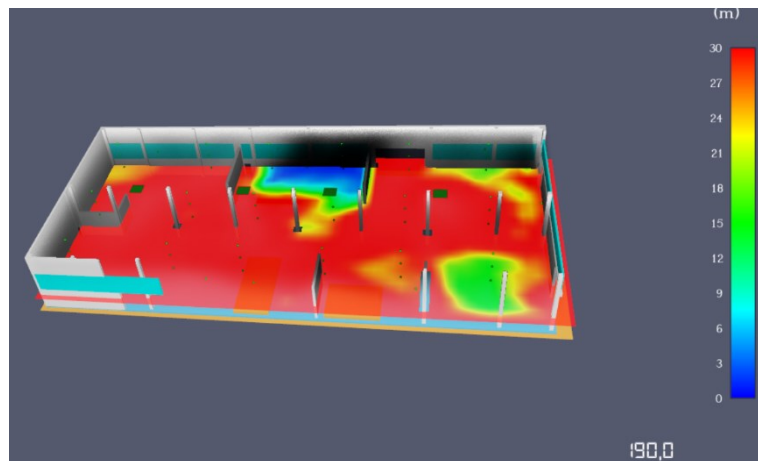


Figura 6.67 *Visibilità nello Scenario III a 2 m di quota dopo 190 s dall'innescio*

6.5.4 Available Safe Escape Time (ASET)

L'Available Safe Escape Time è il tempo che gli occupanti hanno a disposizione per raggiungere luogo sicuro prima che le condizioni dell'incendi rendano impossibile farlo.

In questo studio per determinare l'ASET si è scelto il metodo di calcolo semplificato che consiste nello scegliere il minore tra 2 tempi che fanno riferimento a 2 condizioni differenti:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m (1,5 m per i soccorritori), al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata;
- temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 200^{\circ}\text{C}$ (250°C per i soccorritori).

In questo studio il tempo minore è risultato essere quello legato all'altezza minima dei fumi dal piano di calpestio, dunque l'ASET corrisponde al momento in cui lo strato dei fumi raggiunge quota 2 m dal piano di calpestio.

Dopo questa breve introduzione si riporta uno schema riepilogativo che permette di mettere a confronto gli ASET dei vari scenari e i rispettivi margini di sicurezza.

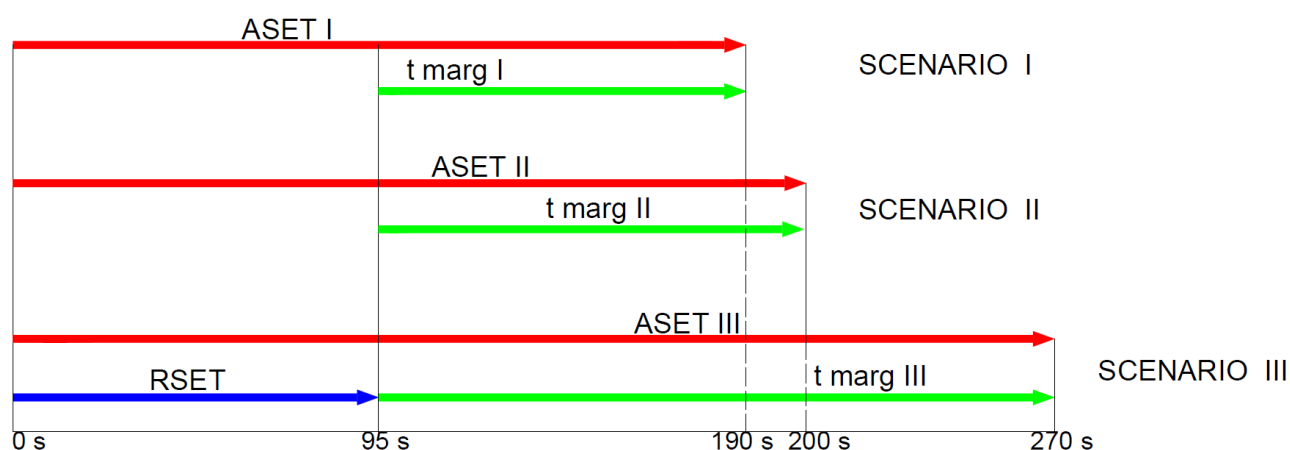


Figura 6.68 Confronto fra ASET dei vari scenari

Osservando tale rappresentazione si può affermare che la soluzione scelta nello Scenario III (SEFFC) aumenti in modo consistente il margine di sicurezza della progettazione prestazionale mentre il SENFC, soluzione adottata nello Scenario II, influisca relativamente sul t_{marg} .

Alla luce di questi risultati, tenendo conto che comunque in tutti i 3 casi è garantita la salvaguardia degli occupanti, si conclude che il beneficio in termini di sicurezza che si otterrebbe con l'evacuazione naturale dei fumi è troppo piccolo da giustificare l'investimento in un SENFC, piuttosto se proprio si volesse aumentare il margine di sicurezza sarebbe più efficace ricorrere all'evacuazione forzata di fumi e calore.

Quanto appena detto è valido per la salvaguardia degli occupanti, dunque per rendere completo il confronto si riporta una tabella riassuntiva con i margini di sicurezza riferiti ai soccorritori. Per margine di sicurezza in questo caso si intende la differenza temporale tra l'istante in cui gli addetti antincendio intervengono, e quello in cui l'incendio comporti il raggiungimento di almeno una delle due condizioni limite riportate ad inizio del presente paragrafo.

| Scenario | Tempo di intervento soccorritori | Tempo di raggiungimento condizione limite | Margine di sicurezza |
|--------------|----------------------------------|---|----------------------|
| Scenario I | 150 s | 200 s | 50 s |
| Scenario II | 150 s | 210 s | 60 s |
| Scenario III | 150 s | 300 s | 150 s |

Tabella 6.4 *Tabella riepilogativa dei margini di sicurezza per gli addetti antincendio*

Infine si ricorda che, nell'ipotesi in cui gli addetti antincendio non intervengano, in nessuno dei 3 scenari esiste un margine di sicurezza per i Vigili del Fuoco in quanto si è visto che al momento del loro arrivo l'incendio si troverebbe già nella fase stazionaria e che dunque avrebbe già abbondantemente superato le condizioni che garantiscono la salvaguardia dei soccorritori.

6.6 Considerazioni finali

Nel presente elaborato sono stati analizzati e studiati 3 scenari d'incendio, tutti e 3 sviluppatasi all'interno dello stesso capannone. Il capannone in oggetto è di proprietà di una ditta in provincia di Vicenza che basa il suo *core business* sul riciclaggio della plastica. In particolare nel capannone si ha contemporaneamente sia un'attività di trattamento dei rifiuti plastici i quali vengono triturati e convertiti in materia prima riutilizzabile sia un'attività di deposito di rifiuti plastici, stoccati in grossi cumuli all'interno della struttura. Per la costruzione dello scenario d'incendio si è ipotizzato che il più grande tra questi cumuli prenda fuoco e che poi il calore generatosi inneschi altri 2 cumuli prospicienti; partendo da questa situazione si è poi scelto di declinare questo caso in 3 scenari che differiscono tra di loro solamente per le strategie di evacuazione fumi e calore adottate:

- Scenario I, in tale scenario il capannone viene rappresentato così com'è nella realtà, l'evacuazione è affidata solamente alle porte, ai portoni e alle vetrate realizzate con materiale bassofondente (plexiglass);
- Scenario II, in tale scenario è stata prevista l'aggiunta di un Sistema di Evacuazione Naturale Fumi e Calore (SENFEC);
- Scenario III, in tale scenario è stata prevista l'aggiunta di un Sistema di Evacuazione Forzata Fumi e Calore.

Lo studio di questi scenari ha avuto come obiettivo quello di valutare se il Livello di prestazione III dell'S.8 fosse rispettato ovvero se fosse garantita la salvaguardia della vita umana. Attraverso un modello di calcolo numerico si è riusciti a dimostrare che in tutti e 3 gli scenari è garantito il rispetto del Livello di prestazione III, a patto che, come prevede la regola tecnica specifica per i depositi di rifiuti, sia garantita la presenza costante della squadra di emergenza interna pronta ad intervenire in cui tutti abbiano seguito il corso per addetti antincendio di livello 3. Infatti, qualora la squadra antincendio interna non dovesse essere presente al momento dell'insacco, si è visto come in nessuno degli scenari è possibile garantire uno strato d'aria libero dai fumi fino all'arrivo dei Vigili del Fuoco. Volendo ora andare a riportare più nel particolare quanto emerso da questo studio si può dire che per quanto riguarda lo Scenario I il risultato più incredibile è quello di aver dimostrato che il capannone

così come è nella realtà, sia in grado di garantire il rispetto del Livello di prestazione III dell'S.8 senza che su di esso siano state implementate le soluzioni progettuali conformi previste dal codice per tale livello di prestazione. Invece per quanto riguarda lo Scenario II, è importante sottolineare che se da una parte è garantita la salvaguardia della vita, dall'altra il SENFC porta ad un aumento generale delle temperature registrate e un incremento sul margine di sicurezza della progettazione prestazionale troppo piccolo per giustificare l'investimento. Lo Scenario III invece è il caso con la soluzione più onerosa tra quelle adottate ovvero l'installazione di un SEFFC ma anche quella più efficace per quanto riguarda l'evacuazione di fumi e calore, in tale scenario infatti le condizioni caratterizzanti la salvaguardia della vita vengono mantenute molto più a lungo rispetto agli altri scenari. L'installazione di un SEFFC dunque potrebbe essere opportuna non tanto per la salvaguardia degli occupanti (poiché il capannone così com'è già di per sé la garantisce con ampio margine) ma quanto per quella dei soccorritori dato che, come è mostrato nella Tabella 6.4, in questo caso l'evacuazione forzata è l'unica soluzione che consente un ampio margine di sicurezza.

Grazie a queste considerazioni questo studio diventa uno strumento fortemente applicabile anche nel mondo reale poiché qualora, in base alla valutazione del rischio, fosse necessario che il capannone in esame rispetti il Livello III dell'S.8, il datore di lavoro avrebbe a disposizione tutta una serie di dati e informazioni fondamentali per la scelta della soluzione da adottare.

Infine, come ultima considerazione, è importante sottolineare l'importanza della *Fire Safety Engineering* (FSE) grazie alla quale è stato possibile dimostrare il raggiungimento degli obiettivi imposti dal Livello III dell'S.8 senza aver adottato le soluzioni progettuali conformi previste dal Codice.

BIBLIOGRAFIA

1. Allegato B parte IV del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale.
2. Allegato C parte IV del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale.
3. Art. 183, Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale.
4. Art. 178, Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale.
5. Art. 46, Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81. *Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.*
6. Art. 2087, Regio Decreto, *Approvazione del testo del Codice civile.*
7. Art. 1, Decreto del Ministero dell'interno 12 Aprile 2019, *Modifiche al decreto 3 agosto 2015, recante l'approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139.*
8. Decreto del Ministero dell'Interno, *Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139.* Roma, 2015.
9. Camera dei deputati-Senato della Repubblica, Commissione parlamentare di inchiesta sulle attività illecite connesse al ciclo dei rifiuti e su illeciti ambientali ad esse correlati: Il fenomeno degli incendi negli impianti di trattamento e smaltimento di rifiuti, Relatori: On. Braga, Sen. Arrigoni, Sen. Puppato, On. Vignaroli, doc. XXIII, n. 35, approvato dalla Commissione nella seduta del 17 gennaio 2018.
10. *"Rifiuti e divari territoriali: quali prospettive per l'Italia?"*, Cdp, 30 Gennaio 2023.
11. *Annuario statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del fuoco.* Roma, 2021.
12. La Malfa A., La Malfa R. e La Malfa S. *Ingegneria della Sicurezza Antincendio* (10th ed.)
13. Citter, *I periti: «Il rogo alla Vidori fu doloso e appiccato con un innesco chimico»*, *I tecnici della Procura: «Voluta l'incendio nell'azienda dei rifiuti»*. Corriere del veneto, 4 Marzo 2018.
14. *Incendio del 18 agosto alla Vidori di Vidor (TV) monitoraggio delle diossine e dei furani in aria.* ARPA Veneto, 24 Agosto 2017.
15. Pistilli, *Pomezia, incendio della EcoX; condannato a tre anni imprenditore.* La Repubblica, 4 Marzo 2020.
16. Allegato 2 del Decreto Legislativo 13 gennaio 2003, n. 36. *Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti.*
17. Giliberto, *La Cina blocca l'import di rifiuti, caos riciclo in Europa.* Il Sole 24 ore, 13 Gennaio 2018.
18. *Il monitoraggio ambientale a seguito di incendi nel lazio (gennaio 2014 - giugno 2020).* ARPA Lazio.
19. Decreto del Ministero dell'interno 26 luglio 2022, *"Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per gli stabilimenti ed impianti di stoccaggio e trattamento rifiuti"*.

20. *Terminology for biorelated polymers and applications* (IUPAC Recommendations 2012) ,
in *Pure and Applied Chemistry*.
21. OECD Global Plastic Outlook, *Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*
22. COREPLA, Consorzio Nazionale per la Raccolta, il Riciclo e il Recupero degli Imballaggi in
Plastica, *Rapporto di sostenibilità 2017*.
23. “The SFPE Handbook of fire protection engineering”, 3th edition, 3-134, Table 3-4.19;
24. Caldonazzo M., “*Incendi in stoccaggi di rifiuti modellazione quantitativa di scenari di
incendio con codice di calcolo FDS*”, Tesi magistrale in Ingegneria della sicurezza A.A
2019/2020, Padova.

SITOGRAFIA

<https://www.certifico.com/newsletter/archive/view/listid-5-cem4-it/mailid-86896-vademecum-illustrato-deposito-temporaneo-rifiuti-rev-5-0-del-10-febbraio-2023> (ultimo accesso 19/09/2023).

<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/rifiuti/gestione-integrata-dei-rifiuti/attivita-di-recupero-e-di-smaltimento> (ultimo accesso 19/10/2023).

<https://www.cial.it/quadro-normativo-rifiuti/> (ultimo accesso 29/09/2023).

<https://www.recyclind.it/ita/2244/il20degliincendinegliimpiantidirifiutidoloso/> (ultimo accesso 19/10/2023)

<https://amblav.it/approfondimento-la-prevenzione-incendi-nello-stoccaggio-ed-il-trattamento-dei-rifiuti-d-m-26-luglio-2022-di-diego-cerrone/> (ultimo accesso 2/10/2023).

<https://www.promozioneacciaio.it/regolamenti-e-norme/d-m-26-luglio-2022/> (ultimo accesso 19/10/2023).

<https://mauromalizia.it/stoccaggio-e-trattamento-rifiuti/> (ultimo accesso 2/10/2023).

<https://www.confservizi.emr.it/wp-content/uploads/2018/12/055-ALLEGATO.pdf> (ultimo accesso 19/10/2023).

<https://www.vigilfuoco.it/asp/page.aspx?IdPage=450> (ultimo accesso 4/10/2023).

<https://www.arpa.veneto.it/++api++/arpav/comunicati-stampa/archivio-comunicati/comunicati-2017/incendio-del-18-agosto-alla-vidori-di-vidor-tv--monitoraggio-delle-diossine-e-dei-furani-in-aria> (ultimo accesso 26/10/2023).

<https://www.ilsole24ore.com/art/la-cina-blocca-l-import-rifiuti-caos-riciclo-europa-AELQpUhd> (ultimo accesso 29/10/2023).

<https://www.ingenio-web.it/articoli/i-gas-di-combustione-generati-dagli-incendi-di-rifiuti-e-la-loro-tossicita/> (ultimo accesso 1/11/2023).