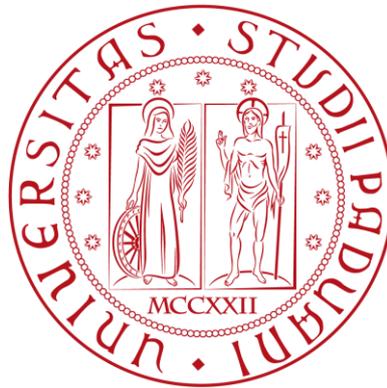


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**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

**LA PREVENZIONE INCENDI IN EDIFICI PER LO STOCCAGGIO
DEI RIFIUTI: LINEE GUIDA E CRITERI PER LA LORO GESTIONE**

Relatore: **Chiar.mo Prof. Angelo Bertolazzi**

Correlatore: **Prof. Paolo Mocellin**

Laureando: **ALBERTO GALTAROSSA**

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Abstract

Il presente elaborato è un approfondimento dell'attuale condizione italiana dei siti di deposito e stoccaggio dei rifiuti, in particolare ci si è soffermati sulla legislazione inerente alla prevenzione incendi. Inizialmente si è parlato della situazione in tema di gestione e raccolta dei rifiuti; si è poi passati a fornire una panoramica degli edifici che fungono da depositi, fornendone le caratteristiche costruttive principali. Una volta individuate le tipologie di edificio più diffuse, queste sono state prese come modelli per svolgere alcune simulazioni di incendio con il programma PyroSim, i cui risultati sono alla base delle linee guida che si è cercato di redigere per la progettazione e gestione dei depositi.

Indice

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1 : I DEPOSITI DI RIFIUTI.....	3
1.1 Il quadro normativo dei depositi di rifiuti	3
1.2 I rifiuti in Italia	17
1.3 Gli incendi nei depositi di rifiuti	24
1.4 La criminalità ambientale nel settore dei rifiuti	28
1.5 Conclusioni.....	30
CAPITOLO 2 : I CAPANNONI INDUSTRIALI.....	33
2.1 Geometria	33
2.2 Struttura	35
2.3 Materiali	37
2.4 Protezioni antincendio negli edifici industriali.....	43
2.5 Tipologie di capannoni ricorrenti	47
2.6 Conclusioni.....	47
CAPITOLO 3 : ANALISI DI UN CASO STUDIO	49
3.1 Contesto ambientale	49
3.2 Normative di riferimento	50
3.3 Geometria	50
3.4 Struttura	52
3.5 Materiali	54
3.6 Modellazione del capannone	56
3.7 Effetti dell'evento incidentale	57
3.8 Conclusioni.....	58
CAPITOLO 4: MODELLAZIONE DELL'INCENDIO	61
4.1 Nozioni base	61
4.2 Il Software PyroSim-FDS.....	74
4.3 Scenari di incendio	79
4.4 Conclusioni.....	133
CAPITOLO 5 : ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI.....	135

5.1 Considerazioni sugli scenari con copertura piana	136
5.2 Considerazioni sugli scenari con copertura curva	136
5.3 Considerazioni sugli scenari con copertura a doppia falda	137
5.4 Considerazioni sugli scenari con copertura a shed.....	137
5.5 Considerazioni sugli scenari con misure preventive e protettive	137
5.6 Considerazioni conclusive e futuri sviluppi	139
CAPITOLO 6 : LINEE GUIDA PER I DEPOSITI DI RIFIUTI	141
6.1 Campo di applicazione	141
6.2 Definizioni.....	141
6.3 Classificazioni	142
6.4 Valutazione del rischio di incendio	142
6.5 Strategia antincendio	142
6.6 Altre indicazioni	145
GLOSSARIO	147
SIGLE.....	153
SIMBOLI E UNITÀ DI MISURA	155
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E NORMATIVI.....	157
SITOGRAFIA.....	159

Introduzione

La sicurezza è un concetto che negli ultimi anni ha assunto sempre più importanza arrivando ad essere un obiettivo da perseguire in diversi ambiti, soprattutto quello lavorativo. Esistono molti fattori di rischio in grado di comprometterla tra cui gli eventi eccezionali: terremoto, esplosione, urto e incendio. Quest'ultimo è un fenomeno che può pregiudicare la salute delle persone e l'integrità dei beni se non valutato correttamente, motivo per cui oggi esiste una disciplina, la prevenzione incendi, che ha come obiettivi primari la sicurezza della vita umana, l'incolumità delle persone e la tutela dei beni e dell'ambiente. Gli incendi possono svilupparsi in tutte le attività, ma ce ne sono alcune che negli ultimi anni hanno visto un incremento significativo degli incidenti, attirando l'attenzione dell'opinione pubblica e delle autorità competenti. Tra queste troviamo i depositi di rifiuti che, come evidenziato nel 2018 dalla *Commissione parlamentare di inchiesta sulle attività illecite connesse al ciclo di rifiuti*, mostrano una certa propensione ad essere interessati da incendi di varia natura. Ad oggi non è presente ancora una regola tecnica che disciplini questo settore nonostante i dati raccolti dai Vigili del Fuoco ne evidenzino la necessità. Proprio da questa nasce il presente elaborato, che ha come scopo quello di studiare la situazione italiana degli edifici che ospitano l'attività di deposito di rifiuti, per arrivare poi a fornire delle linee guida utili alla riduzione del rischio di incendio.

Nel primo capitolo viene approfondita la situazione italiana riguardante i rifiuti: inizialmente sono presentate le principali normative attualmente in vigore riguardanti tale ambito; a seguire ci sono i dati sulla gestione dei rifiuti e degli impianti ad essa connessi. Infine, sono elencate le principali cause di incendio, tra cui quella dolosa, spesso utilizzata dalla criminalità per convenienza economica.

Nel capitolo successivo sono riportate le principali caratteristiche costruttive degli edifici per lo stoccaggio dei rifiuti: si tratta quasi sempre di capannoni industriali con geometria semplice, pianta rettangolare e che hanno come materiale costruttivo il calcestruzzo o l'acciaio. Quest'ultimo, se non trattato e difeso adeguatamente, può essere soggetto a repentine perdite di resistenza se esposto ad alte temperature, così come mostrato nel terzo capitolo nel quale viene trattato il caso di un deposito con struttura metallica crollato in seguito ad un incendio.

Nel quarto capitolo è fornita una breve spiegazione degli aspetti principali di un incendio per poi passare alla descrizione del programma di fluidodinamica PyroSim con il quale sono state svolte le simulazioni di incendio al variare della geometria dell'edificio, ottenendo l'analisi della distribuzione della temperatura. I risultati e le considerazioni sulle simulazioni sono presenti nel quinto capitolo, suddivisi per tipologia di copertura analizzata: piana, curva, a doppia falda e a shed. Inoltre, sono state svolte altre simulazioni con lo scopo di verificare l'efficacia di alcune misure di prevenzione e protezione, come la compartimentazione e

l'installazione di un impianto di spegnimento automatico. L'analisi normativa, del costruito e le simulazioni sono servite per arrivare a proporre delle linee guida per la gestione degli impianti di deposito dei rifiuti, consapevoli dei limiti dovuti alle molteplici variabili che entrano in gioco nel caso di un incendio.

Capitolo 1

I depositi di rifiuti

Nel primo capitolo vengono trattati diversi aspetti legati ai depositi di rifiuti, alle normative di riferimento e al fenomeno degli incendi. La gestione dei rifiuti costituisce attività di pubblico interesse ed è disciplinata dal D.Lgs. del 3 aprile 2006, n.152 “*Norme in materia ambientale*”, ed in particolare dalla parte quarta “*Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati*”. Nel primo paragrafo del capitolo si è cercato di riportare le definizioni e i riferimenti normativi per poter comprendere la complessità che disciplina il settore; va sottolineato che vi sono numerose norme riguardanti la classificazione dei rifiuti ma vi è una considerevole carenza per quanto riguarda gli edifici che dovrebbero svolgere la funzione di deposito e stoccaggio degli stessi. Successivamente viene approfondita l’attuale situazione italiana della filiera dei rifiuti per poter avere le conoscenze necessarie ad affrontare i paragrafi riguardanti le principali cause legate agli incendi. Infine, viene trattato il fenomeno della criminalità ambientale, fortemente legato al nostro territorio e ai temi affrontati nei paragrafi che lo precedono.

1.1 Il quadro normativo dei depositi di rifiuti

In questo paragrafo vengono presentate le normative che interessano i depositi di rifiuti e la prevenzione dagli incendi. Esistono infatti diversi riferimenti che trattano tali ambiti, sia nella legislazione nazionale sia in quella internazionale. È importante sottolineare come non sia ancora stata approvata una regola tecnica specifica per tale attività, nonostante il numero di incendi avvenuti negli impianti di gestione e trattamento dei rifiuti risulti essere elevato oltre che in continuo aumento negli ultimi anni.

1.1.1 Circolare ministeriale n.1121/2019

La circolare n. 1121 del 21 gennaio 2019 (Figura 1.1) recante “*Linee guida per la gestione operativa degli stoccaggi negli impianti di gestione dei rifiuti e per la prevenzione dei rischi*” abroga la circolare n. 4064 del 15 marzo 2018. Tali circolari sono una risposta alla preoccupazione espressa dalla Commissione parlamentare d’inchiesta nel gennaio del 2014 che segnalava come l’elevato impegno di risorse richiesto da un incendio presso impianti di gestione e trattamento di rifiuti [...], “*è tale da suggerire o imporre un investimento adeguato*

nella prevenzione, che sicuramente corrisponde a un interesse non solo di tutela ambientale ma anche di migliore gestione delle risorse pubbliche”⁽¹⁾.

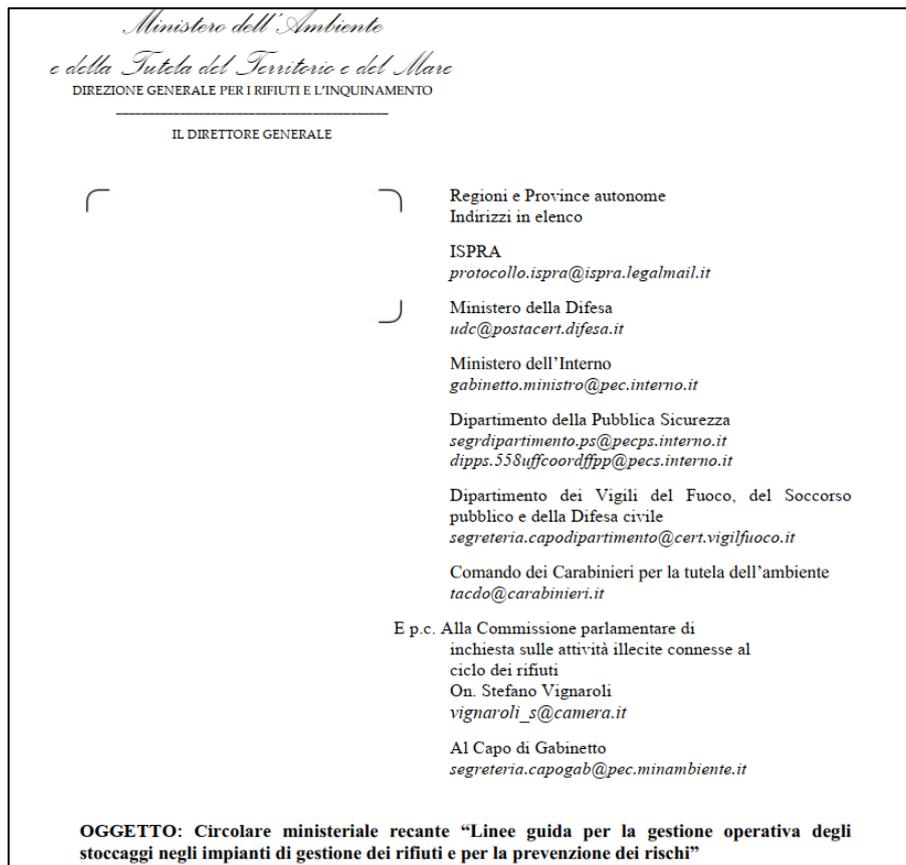


Figura 1.1 Circolare ministeriale n. 1121/2019

Come si evince dall’oggetto della circolare, il contenuto rappresenta delle linee guida che non sono cogenti; questo aspetto le rende un utile riferimento per i soli gestori virtuosi degli impianti.

Dopo una breve premessa sulle principali problematiche, la circolare tratta i seguenti argomenti:

- il contesto autorizzativo degli stoccaggi di rifiuti;
- la prevenzione del rischio negli impianti di gestione dei rifiuti;
- le prescrizioni generali da richiamare negli atti autorizzativi;
- le modalità di gestione operativa dell’impianto in fase di esercizio;
- l’attività di controllo ambientale.

1.1.2 D.L. 113/2018

Il 3 dicembre 2018 è stata pubblicata la Legge di conversione 1 dicembre 2018, n. 132 del Decreto Legge 4 ottobre 2018, n. 113, recante “*Disposizioni urgenti in materia di protezione internazionale e immigrazione, sicurezza pubblica, nonché misure per la*

funzionalità del Ministero dell'interno e l'organizzazione e il funzionamento dell'Agenzia nazionale per l'amministrazione e la destinazione dei beni sequestrati e confiscati alla criminalità organizzata". All'articolo 26-bis viene introdotto l'obbligo per i gestori di impianti di stoccaggio e di lavorazione dei rifiuti, esistenti o di nuova costruzione, di predisporre un Piano di Emergenza Interno allo scopo di:

- controllare e circoscrivere gli incidenti in modo da minimizzarne gli effetti e limitarne i danni per la salute umana, per l'ambiente e per i beni;
- mettere in atto le misure necessarie per proteggere la salute umana e l'ambiente dalle conseguenze di incidenti rilevanti;
- informare adeguatamente i lavoratori e i servizi di emergenza e le autorità locali competenti;
- provvedere al ripristino e al disinquinamento dell'ambiente dopo un incidente rilevante.

Nel medesimo articolo è presente un'ulteriore novità per i gestori degli impianti, rappresentata dall'obbligo di trasmettere tutte le informazioni necessarie affinché il Prefetto possa redigere il Piano di Emergenza Esterno che ha come obiettivo il rafforzamento della sicurezza degli impianti di stoccaggio e lavorazione dei rifiuti.

Con questo articoli del decreto si è cercato di responsabilizzare i gestori degli impianti con una norma cogente, così da rendere obbligatorie alcune procedure con lo scopo di aumentare la sicurezza dei depositi e ridurre la probabilità di incidenti.

Va sottolineato che l'articolo 26-bis non si applica agli impianti che ricadano nel D.Lgs. 105/2015, cioè quelli a rischio di incidente rilevante.

1.1.3 D.P.R. 151/2011

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, 70.

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 1.1). Ad ogni categoria corrispondono procedure, controlli, valutazioni e obblighi differenti.

Tabella 1.1. *Categorie individuate dal D.P.R. 151/2011 e procedure richieste*

A	B	C
Rischio basso	Rischio medio	Rischio alto
Dotata di regola tecnica e con limitato livello di complessità	Dotata di regola tecnica ma di complessità media o sprovviste di regola tecnica ma livello di complessità inferiore rispetto a cat. C.	Alto livello di complessità
No valutazione del progetto	Valutazione del progetto	Valutazione del progetto
Sopralluogo a campione	Sopralluogo a campione	Sopralluogo obbligatorio
SCIA e asseverazione	SCIA e asseverazione	SCIA e asseverazione
Possibilità di ricorrere alla procedura di deroga	Possibilità di ricorrere alla procedura di deroga	Possibilità di ricorrere alla procedura di deroga

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

1.1.4 D.M. 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.



Figura 1.2. *Esempio di Codice di Prevenzione Incendi*

Il campo di applicazione è molto ampio perché comprende sia le attività di nuova realizzazione sia quelle esistenti; il documento si applica alla progettazione, realizzazione e gestione della sicurezza antincendio delle attività individuate dallo stesso decreto.

La struttura del Codice, presentata nella Tabella 1.2, si compone di quattro sezioni che disciplinano l'intera materia antincendio.

Tabella 1.2. *Struttura del Codice di Prevenzione Incendi*

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 mitigare il rischio di incendio	S.1	Reazione al fuoco
		S.2	Resistenza al fuoco
		S.3	Compartimentazione
		S.4	Esodo
		S.5	Gestione della sicurezza antincendio
		S.6	Controllo dell'incendio
		S.7	Rivelazione ed allarme
		S.8	Controllo 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

SEZIONE	CONTENUTO	PARAGRAFI	
		V.10	Musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati
		V.11	Strutture sanitarie
		V.12	Altre attività in edifici tutelati
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

La metodologia iterativa che deve essere applicata a tutte le attività, comprese quelle trattate dalle regole tecniche verticali, si articola nei seguenti passi ⁽²⁾:

- 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 (R_{vita} , R_{beni} , $R_{ambiente}$);
- 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 conformi;
- soluzioni alternative;
- soluzioni in deroga.

Le prime non necessitano di ulteriori valutazioni tecniche per dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione e sono proposte nei paragrafi della sezione riguardante le strategie antincendio e le regole tecniche verticali.

Il progettista può utilizzare le soluzioni alternative proposte nelle stesse sezioni di quelle conformi, oppure può impiegare i metodi di progettazione della sicurezza antincendio presenti in un paragrafo specifico della seconda sezione; deve comunque essere garantito il raggiungimento del collegato livello di prestazione.

Quando si ricorre alle ultime, il progettista deve dimostrare il raggiungimento dei pertinenti obiettivi di prevenzione incendi utilizzando uno dei metodi presenti nel paragrafo di riferimento della seconda sezione.

Ad oggi sono presenti dodici regole tecniche verticali (RTV) ma tra queste manca un dispositivo normativo riguardante i depositi di rifiuti.

1.1.5 D.Lgs. 81/08

Il D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i (Figura 1.3), *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 1.3), 306 articoli e 51 allegati.

Tabella 1.3. *Titoli del Decreto Legislativo 81/08*

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

L'articolo 17 contiene i due obblighi del datore di lavoro non delegabili, di cui il primo è la valutazione di tutti i rischi con la conseguente redazione del documento di valutazione dei

rischi. Da questo si comprende come il datore di lavoro sia tenuto a valutare 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”* ⁽³⁾.



Figura 1.3. Esempio di Testo unico sulla Salute e Sicurezza sul lavoro

Un riferimento simile all'articolo 17 del Testo Unico è l'articolo 2087 del Codice civile che recita *“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”* ⁽⁴⁾.

1.1.6 D.Lgs. 152/2006

Il Decreto Legislativo 152/2006 (Figura 1.4), *Norme in materia ambientale*, è identificato da molti come il testo unico sull'ambiente. Il suo scopo è quello di raccogliere all'interno di una sola norma quanti più aspetti riguardanti la tematica ambientale, andando quindi ad affrontare contenuti anche molto diversi tra loro ma che hanno come matrice comune l'ambiente.



Figura 1.4. Norme in materia ambientale

Attualmente è composto dalle seguenti parti:

- parte prima: Disposizioni comuni e principi generali;
- parte seconda: Procedure per la valutazione ambientale strategica, per la valutazione d'impatto ambientale e per l'autorizzazione ambientale integrata;
- parte terza: Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche;
- parte quarta: Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati;
- parte quinta: Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera;
- parte quinta bis: Disposizioni per particolari installazioni;
- parte sesta: Norme in materia di tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente;
- parte sesta bis: Disciplina sanzionatoria degli illeciti amministrativi e penali in materia di tutela ambientale.

La quarta parte è suddivisa a sua volta in sei Titoli:

- Titolo I: Gestione dei rifiuti;
- Titolo II: Gestione degli imballaggi;
- Titolo III: Gestione di particolari categorie di rifiuti;
- Titolo IV: Tariffa per la gestione dei rifiuti urbani;
- Titolo V: Bonifica di siti contaminati;
- Titolo VI: Sistema sanzionatorio e disposizioni transitorie e finali.

Alla base della gestione dei rifiuti ci sono i principi enunciati nell'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 ⁽⁵⁾.

Molti articoli e concetti di questa Parte sono la naturale conseguenza del recepimento della Direttiva 2008/98/CE, in particolare ci si focalizza sulle fasi di vita dei rifiuti e sulle responsabilità e autorizzazioni necessarie affinché siano svolte correttamente. Una novità importante è la costituzione, presso il Ministero dell' Ambiente e tutela del territorio, dell' Albo nazionale dei gestori ambientali: per svolgere la raccolta e il trasporto dei rifiuti è necessario essere iscritti a tale Albo.

La necessità di una corretta gestione dei rifiuti ha portato alla stesura del sesto titolo nel quale è spiegata la disciplina sanzionatoria per coloro che non rispettano quanto previsto dalla normativa. Nonostante il numero elevato di articoli, le pene non sempre sono così severe, aspetto le cui conseguenze saranno affrontate nel §1.4.

1.1.7 NTC 2018

Le *Norme Tecniche per le costruzioni* (Figura 1.5) definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità.



Figura 1.5. *Norme Tecniche per le costruzioni*

Esse forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti la sicurezza strutturale delle opere. Data la vastità degli argomenti trattati, la norma si compone di dodici capitoli ognuno dei quali approfondisce una tematica differente (Tabella 1.4).

Tabella 1.4. *Indice delle Norme Tecniche per le costruzioni*

Indice NTC 2018	
1	Oggetto
2	Sicurezza e prestazioni attese
3	Azioni sulle costruzioni
4	Costruzioni civili e industriali
5	Ponti
6	Progettazione geotecnica
7	Progettazione per azioni sismiche
8	Costruzioni esistenti
9	Collaudo statico
10	Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo
11	Materiali e prodotti ad uso strutturale
12	Riferimenti tecnici

Nel terzo capitolo, *Azioni sulle costruzioni*, si parla delle azioni eccezionali tra le quali ricade anche l'incendio. Per azioni eccezionali si intendono quelle che si presentano in occasioni particolari, come esplosioni, urti e incendio appunto.

Esistono cinque livelli di prestazione ai quali sono correlati diverse classi di resistenza al fuoco (Tabella 1.5).

Tabella 1.5. Livelli di prestazione in caso di incendio ⁽⁶⁾

Livelli di prestazione	
I	Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze del collasso delle strutture siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile.
II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo sufficiente a garantire l'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione.
III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza.
IV	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento delle strutture stesse.
V	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità delle strutture stesse.

Le classi di resistenza al fuoco sono: 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360; esse esprimono il tempo (in minuti) durante il quale la resistenza al fuoco deve essere garantita. Le classi di resistenza al fuoco sono riferite all'incendio convenzionale rappresentato dalle curve di incendio nominali.

La combinazione di carico impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A è:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \dots$$

dove:

- G_1 [kN/m²]: pesi permanenti strutturali;
- G_2 [kN/m²]: pesi permanenti non strutturali;
- P [kN/m²]: parametro relativo alla precompressione;
- A_d [kN/m²]: azione eccezionale di progetto;
- ψ_{ij} [-]: fattore di combinazione;
- Q_{ki} [kN/m²]: carico variabile o accidentale.

1.1.8 Linea Guida CFPA-E, 32:2014 F

CFPA Europe è una confederazione di associazioni di prevenzione incendi ed ha lo scopo di facilitare e supportare il lavoro della prevenzione incendi nelle varie nazioni europee. CFPA crea linee guida comuni così da ottenere interpretazioni simili in tutto il territorio europeo. La linea guida 32:2014 (Figura 1.6) ha come argomento il trattamento e lo stoccaggio dei rifiuti e delle materie prime secondarie; come detto nell'introduzione, qualora la linea guida e le normative nazionali siano in conflitto, occorre applicare queste ultime.

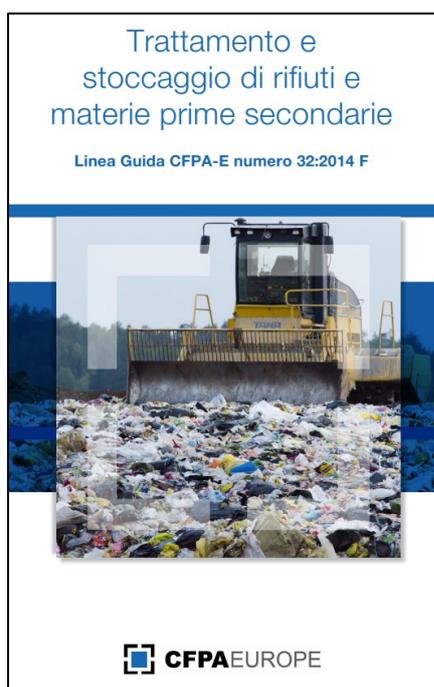


Figura 1.6. Linea Guida 32:2014 F

La struttura del documento è presentata nella Tabella 1.6, nella quale si è deciso di inserire una breve descrizione di ogni capitolo.

Tabella 1.6. Indice della Linea Guida CFPA-E, 32:2014 F

Capitolo		Descrizione
1	Introduzione	Campo di applicazione della linea guida: impianti di nuova realizzazione ma con invito a adeguare anche gli impianti esistenti.
2	Scopo	Fornire delle specifiche per gli impianti così da ridurre il rischio incendio.

Capitolo		Descrizione
3	Definizioni	Lista di definizioni necessaria per comprendere il significato del documento (rifiuto, trattamento, stoccaggio, deposito, compartimento, altezza di stoccaggio, ...).
4	Protezioni antincendio	Differenza tra prevenzione incendi e protezione antincendio. Effetti di un alto carico d'incendio.
5	Protezione contro le cause più comuni di incendio	Misure per contrastare le cause più comuni di incendio.
6	Prevenzione antincendio strutturale	Specifiche dettagliate sulle misure per i compartimenti, per i depositi all'aperto, per la protezione dai fulmini.
7	Impianti antincendio	Utilità degli impianti di rivelazione, di quelli che contrastano la propagazione e degli impianti di estinzione.
8	Difesa antincendio	Azioni legate alle procedure di intervento da parte dei Vigili del Fuoco.
9	Protezione dalle esplosioni	Misure per evitare il rischio di esplosione, come la rimozione periodica di accumuli di polvere.
10	Equipaggiamento tecnico operativo	Problemi legati ai nastri trasportatori, agli impianti di triturazione, agli impianti di processo e essiccazione, ai silos, ecc.
11	Organizzazione del deposito	Suddivisione dei compartimenti in blocchi.
12	Organizzazione della lotta antincendio	Regole generali di comportamento e procedure di emergenza.
13	Protezione ambientale	Problemi legati all'acqua usata per estinguere l'incendio e alle emissioni in atmosfera.
14	Linee guida	Lista delle linee guida CFPA suddivisa per argomenti: prevenzione incendi, calamità naturali, sicurezza.
15	Allegato A	Tabella con la resistenza al fuoco delle compartimentazioni di locali tecnici.

1.1.9 Direttiva 2008/98/CE e s.m.i.

La direttiva 2008/98/CE, parzialmente modificata dalle direttive 1357/2014 e 1127/2015, non riguarda i depositi ma gli impatti che i rifiuti possono avere sull'ambiente con lo scopo di mitigarne gli effetti. I contenuti sono molto simili a quelli del D.Lgs. 152/2006 anche se sviluppati in modo più riassuntivo; questo è dovuto allo scopo che hanno le direttive europee, cioè fissare dei principi e degli obiettivi lasciando libertà agli Stati membri riguardo le modalità di recepimento e applicazione.

Gli argomenti trattati nella direttiva sono:

- gerarchia dei rifiuti;
- elenco dei rifiuti e delle diverse tipologie;
- misure di prevenzione;
- responsabilità dei soggetti interessati;
- responsabilità estesa del produttore;
- fasi di vita dei rifiuti;
- autorizzazioni e procedure di gestione.

1.2 I rifiuti in Italia

Si definisce rifiuto “*qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi*” (art. 183, comma 1, D.Lgs. n. 152/2006 e Direttiva 2008/98/CE). I rifiuti si possono classificare in funzione della loro origine in rifiuti urbani e rifiuti speciali ⁽⁷⁾.

I rifiuti urbani sono:

- i rifiuti domestici indifferenziati e da raccolta differenziata, ivi compresi: carta e cartone, vetro, metalli, plastica, rifiuti organici, legno, tessili, imballaggi, rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, rifiuti di pile e accumulatori e rifiuti ingombranti, ivi compresi materassi e mobili;
- i rifiuti indifferenziati e da raccolta differenziata provenienti da altre fonti che sono simili per natura e composizione ai rifiuti domestici;
- i rifiuti provenienti dallo spazzamento delle strade e dallo svuotamento dei cestini portarifiuti;
- i rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua;
- i rifiuti della manutenzione del verde pubblico, come foglie, sfalci d'erba e potature di alberi, nonché i rifiuti risultanti dalla pulizia dei mercati;
- i rifiuti provenienti da aree cimiteriali, esumazioni ed estumulazioni.

I rifiuti speciali sono:

- i rifiuti prodotti nell'ambito delle attività agricole, agro-industriali e della silvicoltura, e della pesca;
- i rifiuti prodotti dalle attività di costruzione e demolizione, nonché i rifiuti che derivano dalle attività di scavo;
- i rifiuti prodotti nell'ambito delle lavorazioni industriali;
- i rifiuti prodotti nell'ambito delle lavorazioni artigianali;

- i rifiuti prodotti nell'ambito delle lavorazioni commerciali;
- i rifiuti prodotti nell'ambito delle attività di servizi;
- i rifiuti derivanti dall'attività di recupero e smaltimento di rifiuti, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue, nonché i rifiuti da abbattimento di fumi, dalle fosse settiche e dalle reti fognarie;
- i rifiuti derivanti da attività sanitarie;
- i veicoli fuori uso.

Tutti i grafici e le tabelle presenti in questo paragrafo sono stati ricavati dai dati di sintesi presentati annualmente dall'ISPRA ^(8,9). Si è deciso di analizzare solo i dati relativi la situazione italiana, evitando la comparazione con gli altri paesi europei.

La produzione annuale di rifiuti urbani è stabile a partire dal 2012, arrivando nel 2019 a quasi 30.1 milioni di tonnellate, con un lieve calo rispetto all'anno precedente. Osservando l'andamento nel lungo periodo si può osservare una drastica riduzione a partire dal 2012: se il quinquennio 2006-2011 presenta una media di poco superiore a 32 milioni di tonnellate, successivamente si passa a circa 30 milioni (Figura 1.7).

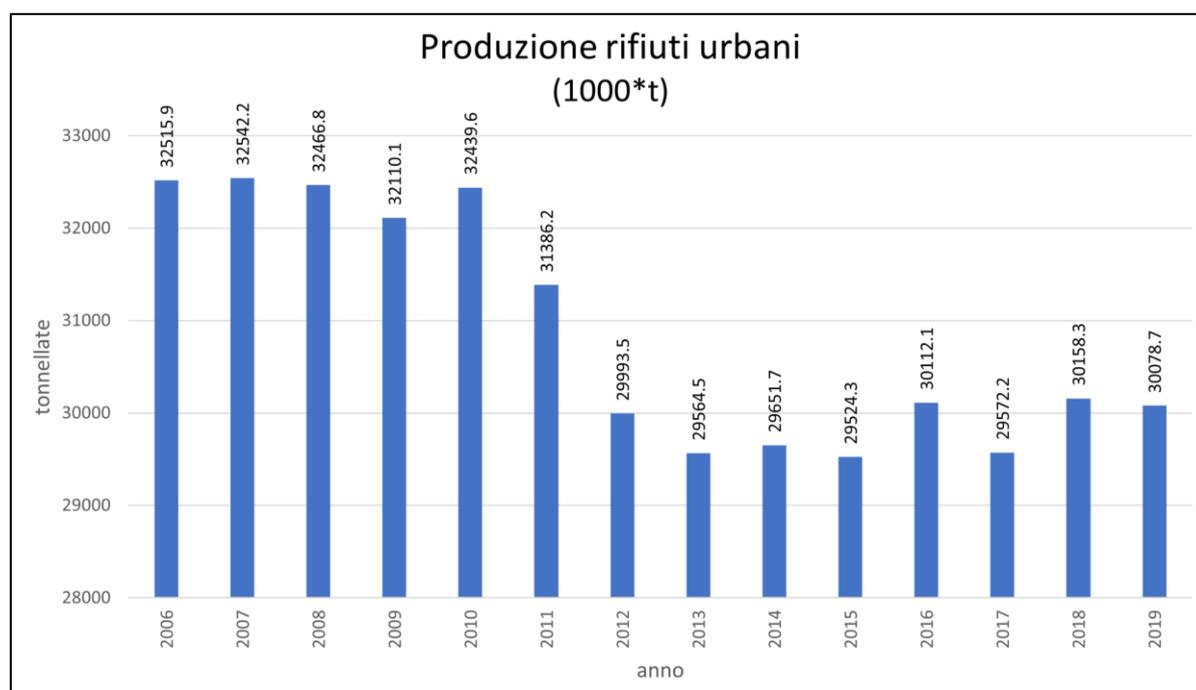


Figura 1.7. Produzione rifiuti urbani, periodo 2006-2019 (rielaborazione dati ISPRA)

Il dato della produzione *pro capite* di rifiuti urbani (Figura 1.8) è rimasto quasi costante dal 2013 (circa 500 kg/ab*anno), ma in calo rispetto agli anni precedenti. Nel biennio 2018-2019 c'è stato un lieve aumento rispetto al 2017, seppur poco significativo. Analizzando le macroaree

dell'Italia nel 2019, i valori più alti di produzione *pro capite* si registrano al Centro (548 kg/ab), seguito dal Nord (518 kg/ab) e infine il Sud (445 kg/ab).

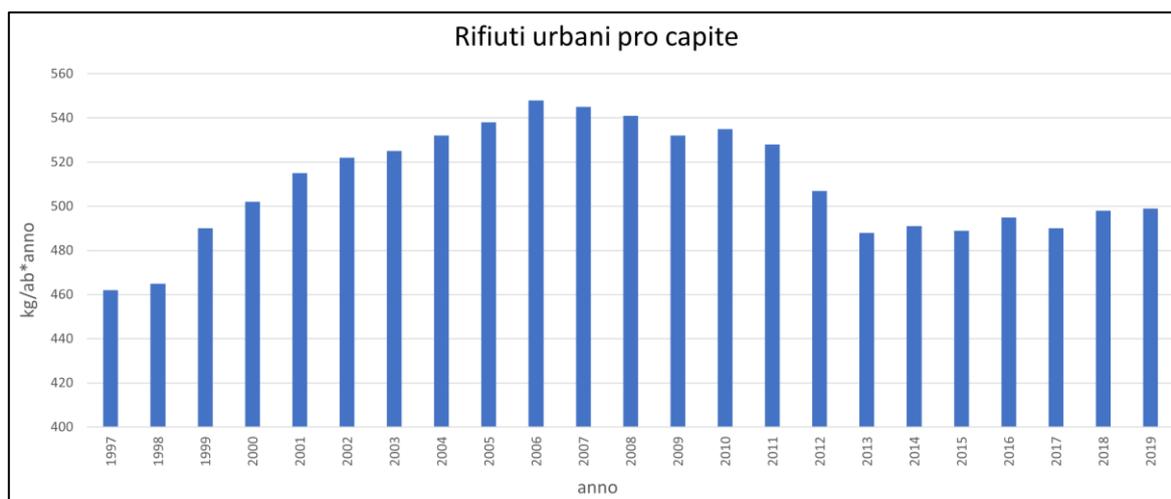


Figura 1.8. Produzione rifiuti urbani pro capite, periodo 1997-2019 (rielaborazione dati ISPRA)

La produzione annuale di rifiuti urbani è fortemente differenziata in base alla regione: nel 2019, Emilia-Romagna, Toscana e Valle d'Aosta hanno fatto registrare una produzione superiore a 600 kg/ab, mentre Basilicata, Calabria e Molise rimangono sotto i 400 kg/ab. Nella Tabella 1.7, oltre all'analisi regionale, sono stati inseriti i dati per macroaree, dai quali è evidente il divario tra la produzione del Centro e quella del Sud.

Tabella 1.7. Produzione annuale dei rifiuti urbani, periodo 2015-2019 (rielaborazione dati ISPRA)

Regione	2015	2016	2017	2018	2019
	kg/ab*anno				
Abruzzo	447.7	455.3	453.7	460.4	459.7
Basilicata	346.8	354.1	346.2	354.3	354.1
Calabria	407.5	404.0	394.8	403.4	398.6
Campania	438.8	450.0	439.5	448.6	448.5
Emilia-Romagna	642.0	652.9	642.3	660.5	662.8
Friuli-Venezia Giulia	460.6	477.9	484.6	490.2	497.9
Lazio	513.4	513.0	502.3	514.8	518.0
Liguria	555.3	540.1	533.1	536.8	532.7
Lombardia	462.2	480.3	486.1	507.0	509.6
Marche	513.7	527.2	533.4	531.1	524.4

Regione	2015	2016	2017	2018	2019
	kg/ab*anno				
Molise	390.6	388.0	378.2	381.2	368.0
Piemonte	465.8	470.3	471.6	496.3	493.8
Puglia	464.8	469.8	463.5	471.2	467.0
Sardegna	434.0	443.7	439.0	457.4	452.5
Sicilia	463.2	466.1	457.6	458.5	449.5
Toscana	607.8	616.4	600.4	612.4	611.7
Trentino-Alto Adige	461.2	480.3	486.1	507.0	508.6
Umbria	519.5	529.4	509.6	522.2	516.0
Valle d'Aosta	569.1	572.8	584.2	597.3	604.2
Veneto	445.8	486.8	476.0	481.7	489.7
Nord	494.3	510.2	503.1	516.4	518.4
Centro	543.2	548.1	537.2	547.7	547.8
Sud	443.8	449.7	441.8	449.0	445.0
Italia	486.7	497.0	488.9	499.6	499.3

È importante essere a conoscenza della frazione merceologica dei rifiuti urbani, le cui percentuali sono inserite nella Figura 1.9. Si può notare come quasi metà della quantità di rifiuti urbani sia data dalla frazione organica (7.3 milioni di tonnellate), seguita dalla frazione relativa alla carta e al vetro.

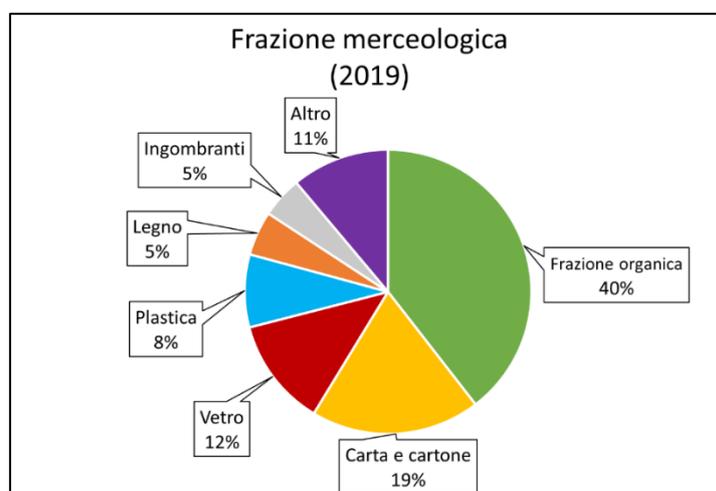


Figura 1.9. Frazione merceologica dei rifiuti urbani, anno 2019 (rielaborazione dati ISPRA)

La produzione totale di rifiuti speciali è arrivata a 154 milioni di tonnellate nel 2019, registrando un graduale aumento a partire dal 2013 (Figura 1.10). La differenza tra la produzione del 2018 e del 2019 è rappresentata quasi esclusivamente da un aumento della produzione di rifiuti speciali non pericolosi che sono circa il 90% del totale.

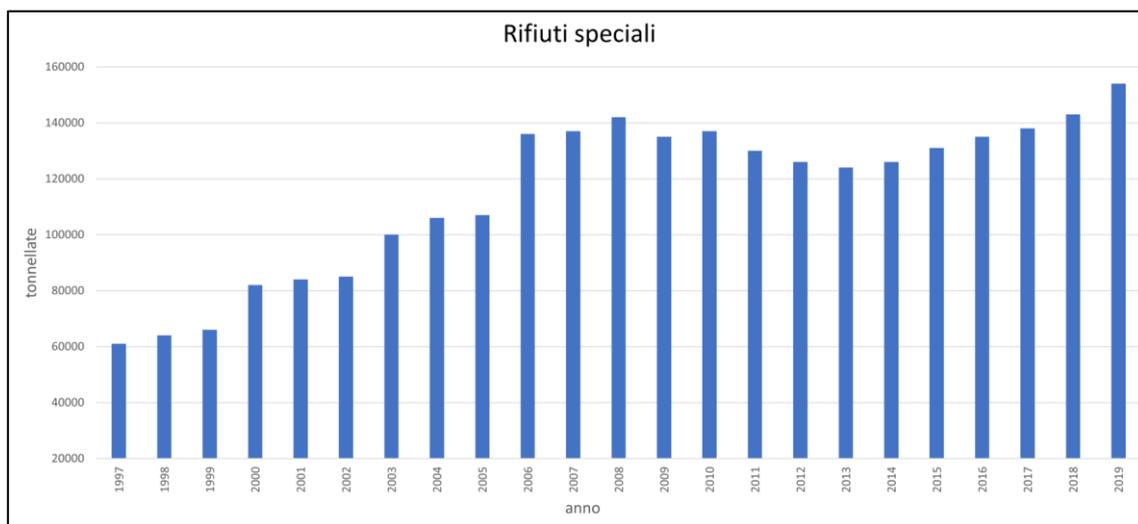


Figura 1.10. Produzione rifiuti speciali, periodo 1997-2019 (rielaborazione dati ISPRA)

Volendo analizzare la produzione dei rifiuti speciali del 2019 in base al settore, si può notare come quello delle costruzioni sia il più impattante, rappresentando il 45.5% del totale (Figura 1.11). Le attività di trattamento di rifiuti e di risanamento ambientale contribuiscono per il 25.1%, seguite dal settore manifatturiero (18.9%).

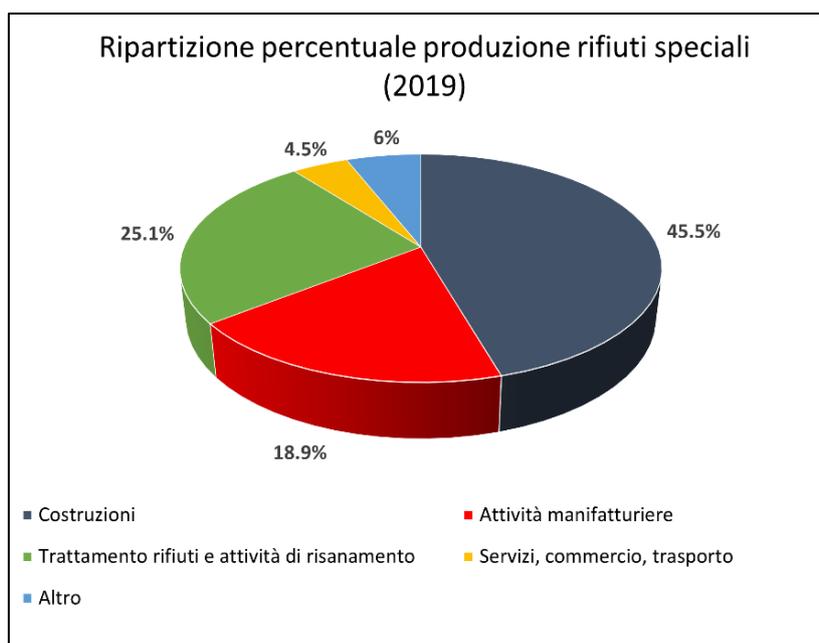


Figura 1.11. Ripartizione dei rifiuti speciali in funzione dell'attività, anno 2019 (rielaborazione dati ISPRA)

Un aspetto positivo è la tendenza che riguarda la raccolta differenziata: ogni anno i cittadini risultano essere più attenti a tale tematica, registrando nel 2019 un +3.1% rispetto all'anno precedente, arrivando quindi a 61.3% come media nazionale (Figura 1.12). Va sottolineato che la situazione non è omogenea su tutto il territorio nazionale (Figura 1.13): la percentuale più alta si registra al Nord (69.6%), seguita dal Centro (58.1%) e infine il Sud (50.6%).

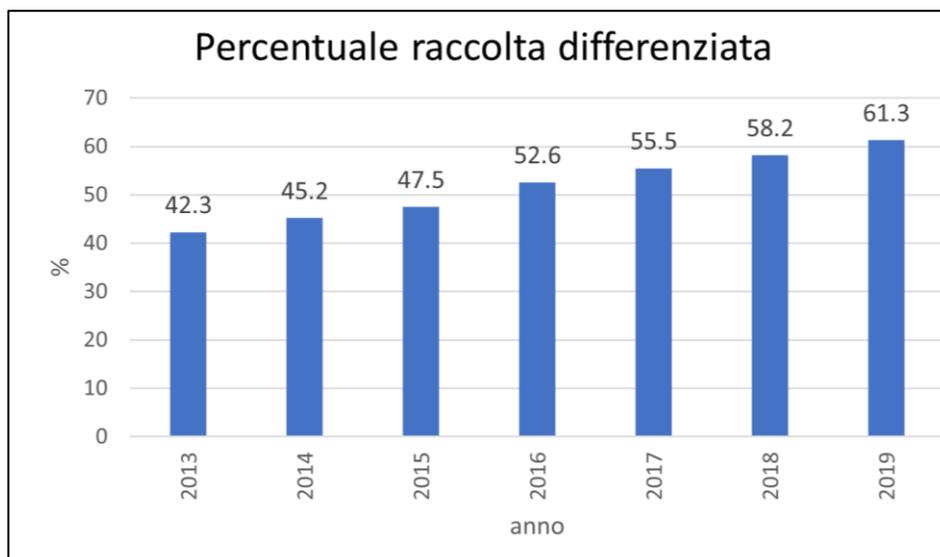


Figura 1.12. Percentuale raccolta differenziata, periodo 2013-2019 (rielaborazione dati ISPRA)

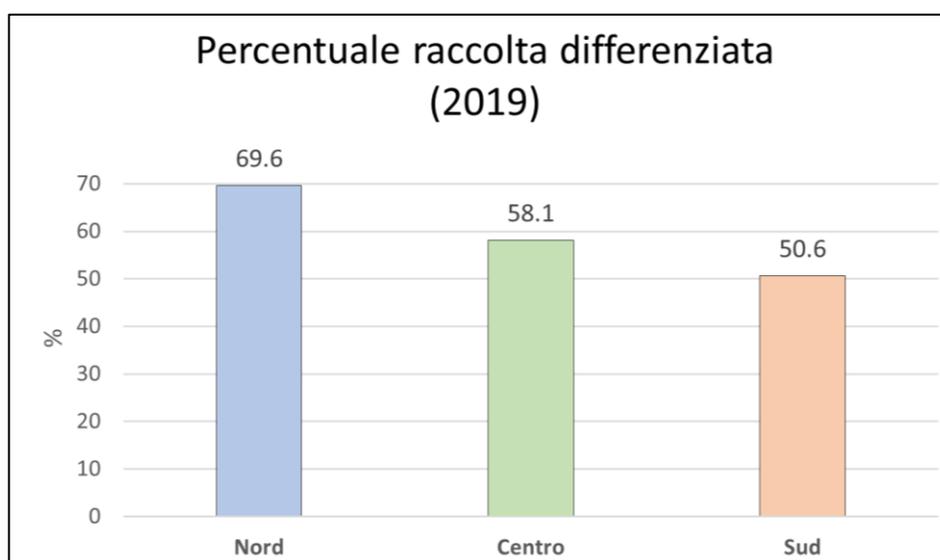
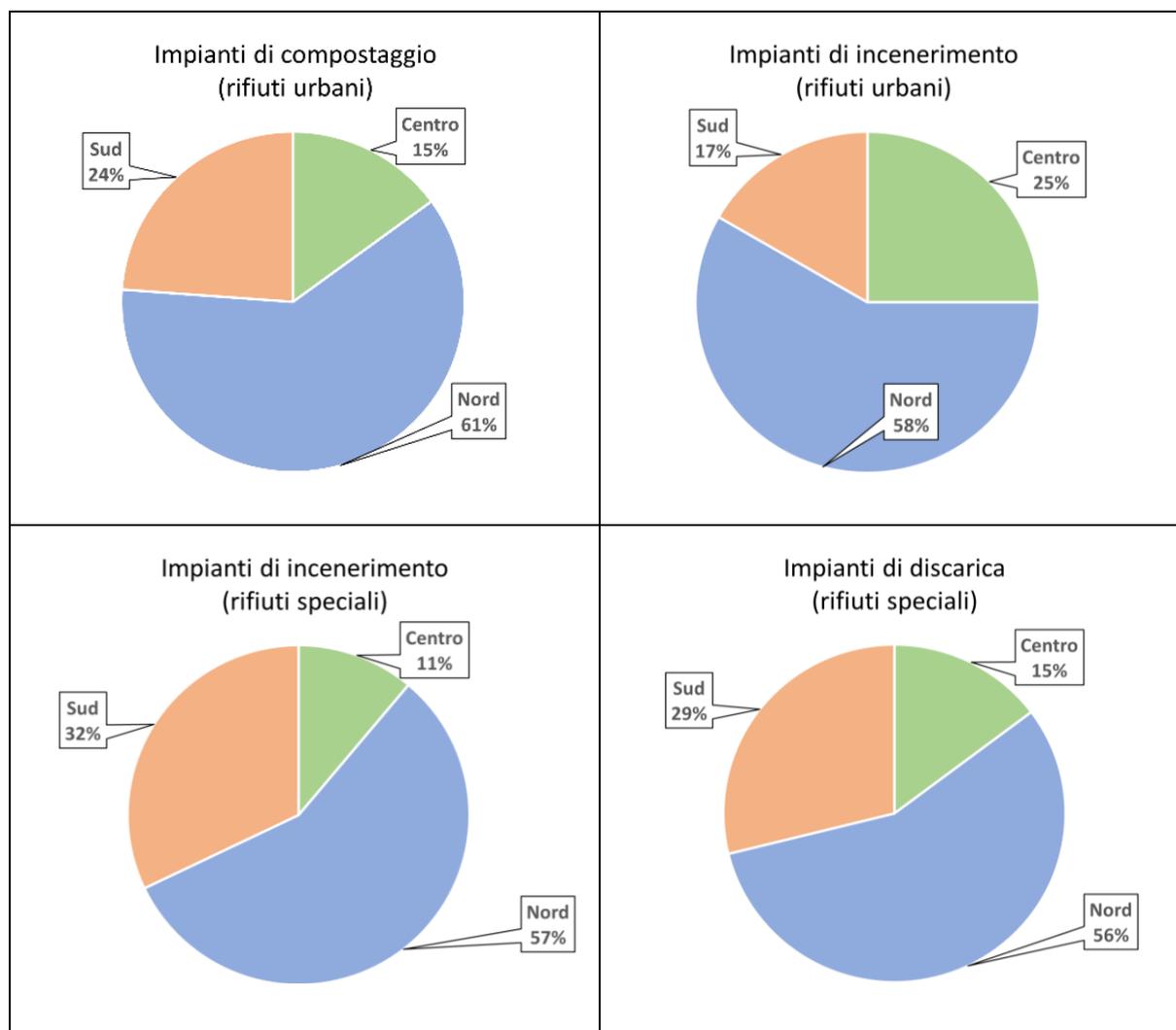


Figura 1.13. Percentuale raccolta differenziata per macroaree, anno 2019 (rielaborazione dati ISPRA)

Un'altra differenza sostanziale tra le macroaree italiane è la concentrazione dei tipi di impianto, maggiore al Nord, che permette alle regioni più attrezzate di lavorare e importare considerevoli quantità di rifiuti dalle regioni del Sud.

Facendo sempre riferimento all'anno 2019 si può osservare la distribuzione degli impianti in Tabella 1.8.

Tabella 1.8. Distribuzione di alcuni tipi di impianto sul territorio nazionale (rielaborazione dati ISPRA)



Nella Tabella 1.9 sono riportati gli impianti di gestione di rifiuti speciali suddivisi per tipologia e la percentuale rispetto alla distribuzione territoriale.

Tabella 1.9. Distribuzione degli impianti di gestione di rifiuti per macroaree (rielaborazione dati ISPRA)

Tipologia impiantistica	Nord	Centro	Sud	Italia
Recupero di materia	2625	857	1137	4619
Autodemolizione	635	236	591	1462
Rottamazione	55	25	14	94

Tipologia impiantistica	Nord	Centro	Sud	Italia
Frantumazione	19	8	5	32
Produttivi con recupero di materia	833	208	262	1303
Trattamento chimico-fisico	404	176	130	710
Stoccaggio	1060	330	366	1756
Coincenerimento	198	61	45	304
Incenerimento	46	9	26	81
Discarica	172	45	88	305
Compostaggio	105	25	43	173
Totale	6152 56.7%	1980 18.3%	2707 25%	10839

I dati sopra riportati confermano la maggiore disponibilità di impianti delle regioni del Nord, permettendo così a queste ultime di importare ingenti quantità di rifiuti dalle altre regioni.

1.3 Gli incendi nei depositi di rifiuti

Il fenomeno degli incendi negli impianti di trattamento dei rifiuti è in forte crescita negli ultimi anni tanto da essere discusso e approfondito dalla *Commissione parlamentare di inchiesta sulle attività illecite connesse al ciclo di rifiuti e su illeciti ambientali ad essi correlati* in una relazione pubblicata nel 2018. In essa vengono esaminati diversi aspetti legati al fenomeno, in particolare la distribuzione degli eventi, la descrizione di diversi casi avvenuti sul territorio italiano e le loro cause.

Gli eventi incidentali censiti (cioè quelli in cui sono intervenuti i Vigili del Fuoco) dal 2013 al 2017 sono più di 260 (Tabella 1.10) ma secondo la Commissione il numero di eventi realmente accaduti potrebbe essere quasi il doppio: la discrepanza tra questi dati è dovuta alla frequente mancata denuncia alla Procura. La distribuzione degli incendi vede una netta prevalenza al Nord (124 casi) dovuta anche al maggior numero di impianti presenti rispetto alle altre zone.

Tabella 1.10. Incendi censiti in discariche e impianti di trattamento (dati Commissione parlamentare)

Anno	Eventi
2014	42
2015	71
2016	65
2017	157

I dati elaborati da Legambiente nel rapporto annuale *Ecomafia2021* sono altrettanto utili per capire quanto siano frequenti gli incendi negli impianti di trattamento, smaltimento, recupero dei rifiuti (Tabella 1.11), e confermano quelli della Commissione.

Tabella 1.11. Incendi negli impianti di trattamento, smaltimento, recupero dei rifiuti (dati Legambiente)

Anno	Eventi
2013	11
2014	41
2015	73
2016	80
2017	157
2018	293
2019	263
2020	180

Analizzando il periodo 2013-2020, il Nord è stato interessato più delle altre zone da tali incendi, con più di 400 eventi, nonostante la regione più vulnerabile sia risultata la Sicilia con 194 casi: nella Tabella 1.12 sono inseriti i dati delle otto regioni nelle quali sono avvenuti più incendi nel periodo che va dal 1 gennaio 2013 al 15 settembre 2021.

Tabella 1.12. Distribuzione regionale degli incendi negli impianti di trattamento, smaltimento, recupero dei rifiuti (dati Legambiente)

Regione	Incendi	% sul totale nazionale
1. Sicilia	194	15
2. Campania	165	12.8
3. Lombardia	146	11.3
4. Lazio	128	9.9
5. Piemonte	101	7.8
6. Calabria	88	6.8
7. Toscana	96	7.4
8. Puglia	88	6.8

Consultando gli annuari statistici ⁽¹⁰⁾ del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco è possibile tracciare l'andamento negli anni del numero totale di interventi operati dal Corpo. Tra il 2013 e il 2017 gli interventi sono cresciuti gradualmente, per poi subire un lieve calo nei tre anni successivi probabilmente dovuto alla situazione pandemica che ha limitato molte attività produttive (Figura 1.14).

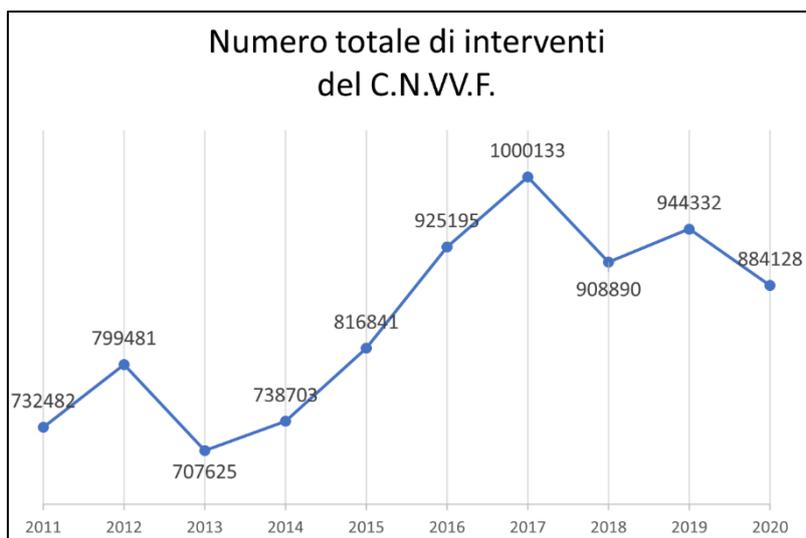


Figura 1.14. Numero di interventi del C.N.VV.F., periodo 2011-2020 (Annuario VVF)

Il numero di incendi ed esplosioni che ha richiesto l'intervento del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco segue un andamento simile a quello del numero di interventi totali operati dagli stessi (Figura 1.15). Anche per questo dato c'è una notevole differenza tra gli interventi prima e durante la pandemia.

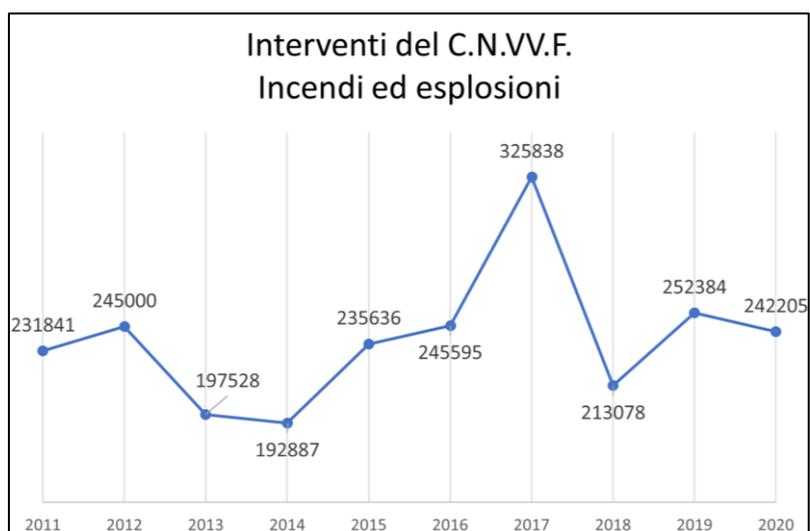


Figura 1.15. Numero di interventi del C.N.VV.F. per incendi ed esplosioni, periodo 2011-2020 (Annuario VVF)

Il grafico riguardante gli incendi e le esplosioni nei depositi di rifiuti si ferma al 2015 poiché prima non era presente una voce specifica. L'andamento rispecchia quello dei due grafici precedenti ma va ricordato che il numero di incendi non segnalati potrebbe essere quasi la metà del totale (Figura 1.16). Inoltre, gli incendi di rifiuti avvengono spesso in edifici che non sono dei veri e propri depositi ma semplici edifici abbandonati che vengono sfruttati in maniera illegale.

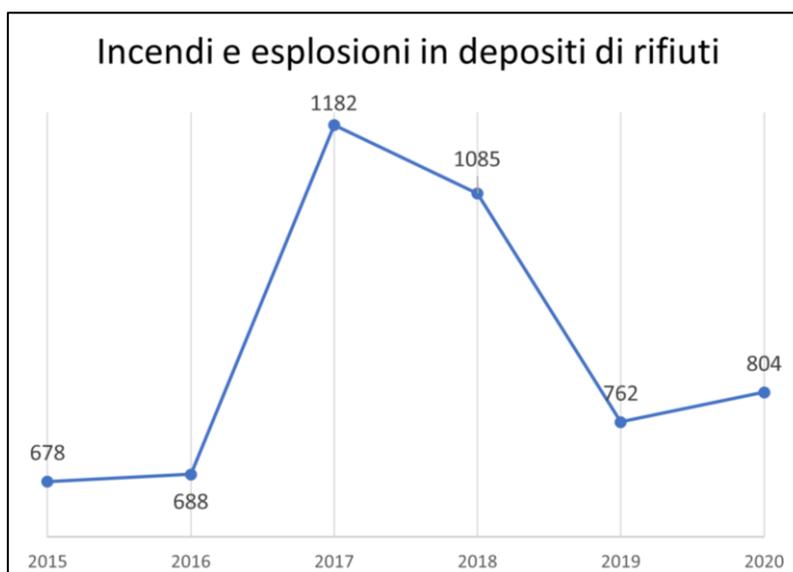


Figura 1.16. Numero di incendi ed esplosioni in depositi di rifiuti, periodo 2015-2020 (Annuario VVF)

Le cause più frequenti degli incendi nei depositi di rifiuti sono:

- presenza di rifiuti caldi;
- presenza di rifiuti pericolosi;
- autocombustione;
- presenza di superfici calde;
- guasti elettrici;
- attrito e sfregamento;
- atti dolosi.

È possibile, inoltre, avanzare delle ipotesi riguardo l'incremento del numero di incendi osservato soprattutto negli ultimi anni:

- assenza di impianti di rivelazione;
- assenza di impianti di spegnimento;
- sovraccarico degli impianti;
- crescita di incendi dolosi;
- assenza di una regola tecnica verticale;

- aumento dei costi di gestione;
- convenienza economica.

1.4 La criminalità ambientale nel settore dei rifiuti

Con *criminalità ambientale* si fa riferimento alla pratica illecita basata sul saccheggio delle risorse e dei beni comuni ambientali; fino a qualche anno fa veniva utilizzato il termine *ecomafia* ma dato il numero crescente di soggetti coinvolti, non tutti appartenenti a organizzazioni mafiose, si è deciso di ricorrere a questa definizione più generica. Nonostante la tematica ambientale sia oggi un pilastro del dibattito pubblico, vi è un aumento dei reati ad essa connessi, dovuto anche alla possibilità di facili profitti. Il mercato dei rifiuti, ad esempio, supera ogni anno i venti miliardi di fatturato ed è grazie a queste cifre che il tasso di illegalità è aumentato, attirando le attenzioni di imprenditori incensurati ma interessati ad accrescere i propri profitti, ma soprattutto delle organizzazioni mafiose che vedono nei rifiuti una fonte di guadagno sicura ⁽¹¹⁾. Nel 2020, il fatturato legato alla gestione illegale dei rifiuti speciali ha toccato i 2.9 miliardi di euro mentre quello dei rifiuti urbani supera di poco il miliardo di euro. Aumentando il numero di eventi incidentali, aumenta anche il numero di inchieste e delle persone denunciate, anche se la tendenza non è costante negli anni (Tabella 1.13).

Tabella 1.13. *Dati annuali sui reati connessi al traffico illecito di rifiuti (dati Legambiente)*

Anno	Numero inchieste	Persone arrestate	Persone denunciate	Aziende coinvolte	Regioni coinvolte
2010	30	171	608	81	19
2011	18	148	243	56	14
2012	16	53	487	24	12
2013	31	115	568	25	16
2014	35	108	2228	60	17
2015	26	50	517	24	15
2016	32	109	463	31	17
2017	76	177	992	232	18
2018	34	49	182	43	15
2019	26	183	372	71	14
2020	27	272	711	121	14

I dati complessivi delle inchieste sulle attività organizzate per il traffico illecito di rifiuti del periodo 2002-2021 (fino al 15 settembre) sono riportati nella Tabella 1.14: come si può notare, tale reato è stato commesso in tutte le regioni almeno una volta, sottolineando come il fenomeno sia diffuso e radicato in tutto il territorio italiano. In particolare, nel 2020, la Campania si è confermata al primo posto per numero di reati (2054), mentre è la Lombardia la regione con più arresti (56).

Tabella 1.14. *Inchieste sul traffico illecito di rifiuti, periodo di riferimento 2002-2021 (dati Legambiente)*

Numero inchieste	Persone arrestate	Persone denunciate	Aziende coinvolte	Regioni coinvolte
522	2611	10326	1405	20

Il numero di inchieste è così elevato perché vengono utilizzati diversi modi per commettere reato, tra cui quelli più noti sono:

- falsificazione della documentazione;
- riempimento abusivo di cave;
- sversamento di liquidi direttamente nel terreno;
- “tombamento”;
- navi a perdere;
- incendio doloso.

Un altro fattore che ha contribuito a rendere questo settore più fragile è la condizione del sistema che gestisce alcune zone del territorio, costrette ad esportare ingenti quantitativi di rifiuti a causa della carenza di impianti di trattamento. Un’ulteriore soluzione adottata dalle regioni in difficoltà è il conferimento in discarica, pratica che deve essere ridotta per fare spazio alla raccolta differenziata, al riciclo e all’eventuale incenerimento.

Data la complessità del settore, anche le tecniche e l’organizzazione criminale sono in continua evoluzione: se fino a qualche anno fa erano le regioni del Nord ad esportare i rifiuti al Sud, ora la tendenza si è rovesciata ⁽¹²⁾. Alcuni motivi del cambiamento sono già stati citati, come il numero più elevato di impianti presenti in certe regioni, ma a questi se ne aggiungono altri: l’elevato numero di capannoni abbandonati in seguito alla crisi economica del 2008, la difficoltà nello scoprire colpevoli incensurati, la crescita dei rifiuti prodotti dai grandi centri produttivi, il costo di gestione degli impianti, e altri ancora.

Il termine *ecomafia* è stato superato perché si è passati da un monopolio mafioso ad una collaborazione tra organizzazione mafiosa e altri soggetti (spesso imprenditori) legati al settore, non obbligati a partecipare per motivi di intimidazioni o violenze, ma per convenienza economica. È presente oggi una rete criminale che spazia tra la legalità e l’illegalità,

coinvolgendo aziende che lavorano già nel settore, magari iscritte alle Camere di Commercio e che possono addirittura vantare di sistemi di certificazione ambientale (ISO 9001, EMAS o altre).

Le principali tecniche illegali usate in questi anni nelle regioni del Nord sono lo stoccaggio abusivo e il conseguente incendio doloso, il tutto favorito dal numero elevato di capannoni industriali dismessi e dai tanti imprenditori con difficoltà economiche che decidono di risollevarne i profitti collaborando all'illecito.

Recentemente è sorto un altro problema che ha peggiorato ulteriormente la situazione, cioè la decisione della Cina che inizialmente ha vietato l'importazione di rifiuti plastici a partire dal 1 gennaio 2018, per poi estendere il divieto a tutti i tipi di rifiuti a partire dal 1 gennaio 2021. Per comprendere la gravità dei possibili effetti nel nostro paese, è bene ricordare che l'Italia esportava mediamente centomila tonnellate di carta in Cina, e circa duecentomila tonnellate di plastica. Questo divieto andrà quasi sicuramente a favorire il mercato legato ai depositi abusivi e agli incendi dolosi, dato che gli inceneritori presenti in Italia difficilmente saranno in grado di lavorare ulteriori quantità di rifiuti.

1.5 Conclusioni

Nel panorama nazionale ed europeo esistono diverse norme che hanno come argomento principale i rifiuti, affrontato soprattutto dal punto di vista ambientale. Ad oggi manca una regola tecnica verticale che sia in grado di fornire delle prescrizioni univoche sugli edifici con funzione di deposito e trattamento dei rifiuti. La necessità di tale regola è evidente soprattutto se si analizza il crescente fenomeno di incendi di rifiuti, come sottolineato da Legambiente e dalla Commissione parlamentare del 2018. Le motivazioni che spingono molte persone a preferire l'atto doloso rispetto al corretto trattamento dei rifiuti sono molteplici e di diversa natura, ma le principali sono:

- carenza di controlli;
- pene poco severe;
- difficoltà a rintracciare i colpevoli;
- difficoltà a scoprire la causa di un incendio;
- quantità crescente di rifiuti;
- convenienza economica.

Per cercare di fermare il fenomeno, il cui effetto ricade sull'intera popolazione sia in termini di salute sia in termini economici, è necessaria l'emanazione della regola tecnica verticale specifica per i depositi e gli impianti di trattamento di rifiuti. Oltre a questo, è necessario intensificare i controlli per cercare di arginare il traffico illegale di rifiuti e rendere le pene più severe. È inoltre opportuno incentivare lo smaltimento legalmente regolato, abbassandone i

costi; servirebbe anche un investimento per riuscire ad avere impianti adeguati in tutte le regioni, limitando così il trasferimento di materiale che può risultare difficile da tracciare.

Per quanto riguarda i cittadini, essi devono aumentare l'adesione alla raccolta differenziata, agevolando così le successive fasi di stoccaggio, smaltimento e riciclo.

Un aspetto che riguarda soprattutto le regioni del Nord Italia è la presenza di migliaia di capannoni abbandonati a causa della crisi economica del 2008, che sono il luogo ideale per lo stoccaggio illegale con successivo incendio doloso: potrebbe essere utile redigere un catasto dei capannoni così da riuscire a svolgere un'azione di controllo e vigilanza più efficace.

Capitolo 2

I capannoni industriali

La tipologia edilizia dei capannoni, come in generale di tutti gli edifici industriali, è fortemente legata alla funzione per la quale vengono costruiti mentre la loro architettura è caratterizzata dall'economia degli elementi strutturali e di chiusura dell'edificio. All'interno del capannone deve esserci il minor numero possibile di elementi costruttivi così da lasciare l'area sgombera per consentire una maggiore flessibilità interna, lasciando la scelta delle partizioni al proprietario dell'edificio; inoltre, in fase di progettazione bisogna cercare di valutare la possibilità di futuri ampliamenti o trasformazioni della struttura. In questo capitolo si è cercato di fornire una panoramica delle tipologie di capannone che si possono trovare più frequentemente nel nostro Paese, analizzando quelle che sono le caratteristiche più importanti che li differenziano: sono stati suddivisi per geometria, tipologia strutturale e tipologia di materiale di costruzione. Infine, si è costruita una “matrice tipologica dei capannoni”, fondamentale per lo svolgimento delle simulazioni che saranno approfondite nel §4.3.

2.1 Geometria

La geometria del capannone è decisa in fase di progettazione anche in funzione dell'attività che sarà svolta al suo interno; essa comprende il numero di navate, le dimensioni, l'altezza libera, l'interasse degli elementi e la conformazione delle aperture orizzontali e verticali.

2.1.1 Numero di navate

Il numero di navate non segue una regola precisa ma dipende dalle esigenze funzionali dell'attività anche se la maggior parte dei capannoni industriali di medie dimensioni ha una o due navate: nel secondo caso, esse sono affiancate tra loro o sfasate di poco (Figura 2.1).



Figura 2.1. Esempi di disposizione delle navate in pianta

Solo in casi rari di industrie con esigenze particolari è necessario avere l'affiancamento di più di due navate, che danno luogo a tipi edilizi differenti.

2.1.2 Controsoffitto

Il controsoffitto è una partizione orizzontale che viene applicata sull'estradosso della struttura di copertura, nascondendola. La sua presenza riduce l'altezza del compartimento e solitamente viene utilizzato per diversi motivi: nascondere gli impianti (illuminazione, ventilazione, antincendio), migliorare le caratteristiche della struttura (isolamento acustico e termico) o per migliorare l'estetica interna. La posa del controsoffitto è solitamente semplice e necessita solo di una struttura di sostegno e di elementi di tamponamento che possono essere di materiali e tipologie differenti. Negli ultimi anni vengono spesso realizzati per permettere di migliorare la sicurezza antincendio; tuttavia, bisogna tenere conto che il controsoffitto riduce l'altezza libera e di conseguenza abbassa anche l'altezza dello strato di fumo in caso di incendio.

È possibile classificare i controsoffiti in base alla modalità costruttiva e i tre più frequenti sono in aderenza, sospesi e autoportanti. I primi sono fissati puntualmente alla soletta con ganci di collegamento, i secondi sono costituiti da elementi di sospensione e di supporto che partono dal solaio del piano superiore mentre gli autoportanti poggiano sulle pareti perimetrali.

2.1.3 Aperture

I capannoni presentano sempre un numero considerevole di aperture, considerando sia le orizzontali sia le verticali. Al livello del piano di calpestio ci sono i portoni, che permettono il transito dei mezzi e il carico/scarico dei materiali. Sul mercato sono presenti molte soluzioni tra cui scegliere in funzione delle proprie esigenze, tenendo in considerazione la funzionalità, l'estetica, la gestione e la manutenzione. Essi possono essere di diversi tipi: scorrevoli, sezionali, a impacchettamento orizzontale, coibentati, tagliafuoco, a libro, motorizzati, ad avvolgimento rapido e altri ancora.



Figura 2.2. Esempi di portoni industriali

Oltre ai portoni sono sempre presenti altre aperture che hanno la funzione di garantire le condizioni igieniche e di salubrità, in particolare quelle di ventilazione e illuminazione naturale, che possono essere integrate da impianti ove necessario. Esistono degli obblighi che riguardano i rapporti aeroilluminanti minimi che devono sussistere e che sono funzione dell'area servita e del numero di lavoratori: alcune regole si possono trovare nel D.Lgs. 81/08.

Le finestre, che molto spesso sono della tipologia a nastro, sono elementi che non devono interrompere la continuità strutturale e le loro dimensioni devono essere valutate al fine di non ridurre la resistenza dell'edificio alle azioni, come nel caso di evento sismico.

2.2 Struttura

La progettazione è fortemente influenzata dagli schemi statici con cui si decide di modellare la struttura. I nodi strutturali possono essere cerniere o incastri in base ai carichi agenti sull'edificio e alla risposta che si vuole ottenere. È possibile classificare le strutture dal punto di vista statico in base al tipo di copertura, al modello di pilastro e al modello colonna-copertura.

2.2.1 Strutture orizzontali

In base alla disposizione delle travi di copertura possiamo avere principalmente quattro tipologie di strutture orizzontali (Figura 2.3):

- copertura piana;
- a falda (doppia o a shed);
- a capriate;
- curva.

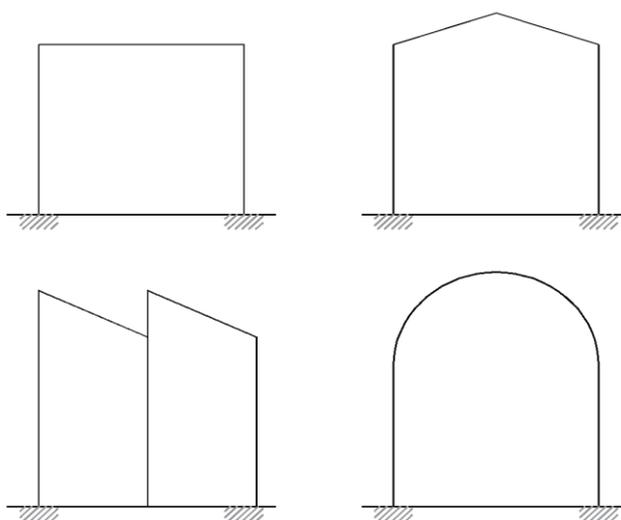


Figura 2.3. Tipologie di copertura

La scelta del tipo più idoneo dipende da molti fattori, quali la luce delle capriate, il passo dei pilastri, il manto di copertura, la presenza di lucernari e altre valutazioni di tipo estetico ed economico. Le coperture a capriate sono costituite da capriate disposte trasversalmente, appoggiate alla sommità dei pilastri. Gli elementi che completano la struttura sono i correnti longitudinali o direttamente una lamiera. Nel caso di capriate reticolari esistono molti schemi, tra cui le capriate di tipo Mohniè, Warren, Polonceau e Inglese (Figura 2.4).

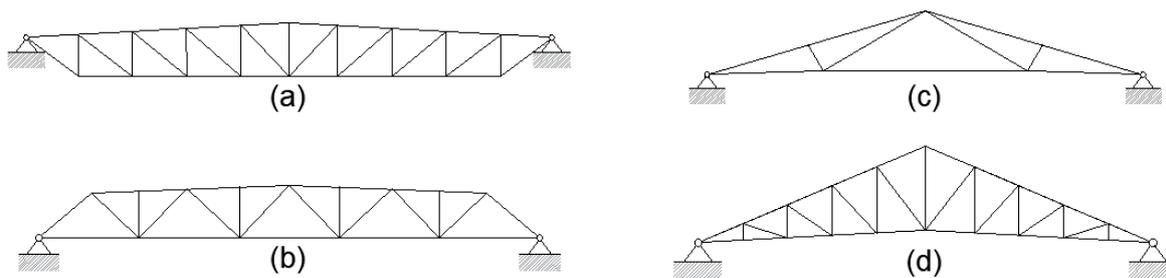


Figura 2.4. Tipologie di capriate: Mohniè (a), Warren (b), Polonceau (c) e Inglese (d)

La copertura a shed è costituita da ampie vetrate che permettono una consistente illuminazione naturale ma che necessitano di più elementi strutturali, tra cui travi porta shed, puntoni di falda, arcarecci e correnti. Di più facile realizzazione è la copertura a due falde perché può essere realizzata semplicemente appoggiando gli arcarecci alle capriate. La copertura curva è quella più difficile da realizzare e solitamente è in acciaio o calcestruzzo precompresso.

2.2.2 Strutture verticali

La scelta dello schema strutturale delle colonne dipende dal tipo di copertura, dai carichi agenti e dal tipo di controventi.

I modelli statici delle colonne possono essere principalmente di tre tipi (Figura 2.5):

- a) colonne incastrate alla base;
- b) portale a due cerniere;
- c) portale incastrato alla base.

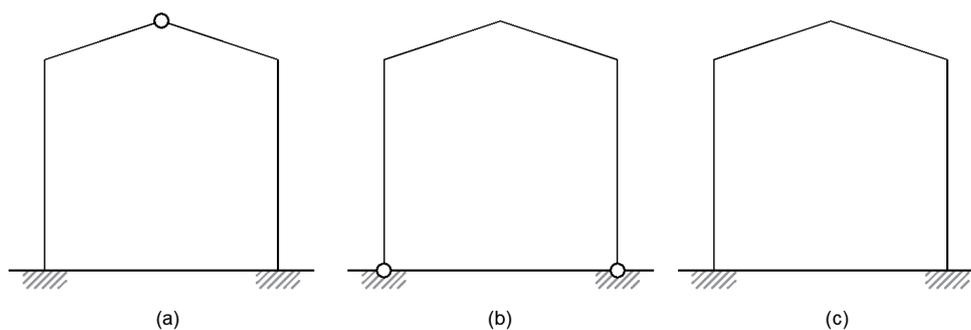


Figura 2.5. Modelli statici delle colonne e dei portali

La differenza tra colonne e portali è che i secondi hanno la struttura di copertura rigidamente collegata alle colonne mediante nodi con vincolo rappresentato da un incastro. Nel caso di portali in acciaio, questi possono essere di tipo reticolare o ad anima piena. Inoltre, i portali possono essere isostatici, ad una iperstatica o a più iperstatiche.

2.3 Materiali

I materiali più utilizzati per la realizzazione dei capannoni sono l'acciaio, il calcestruzzo e la muratura di laterizi. La scelta del materiale deve essere svolta considerando anche i rischi che l'attività comporta, avendo come obiettivo quello di individuare il materiale più adatto.

2.3.1 Acciaio

Il termine acciaio individua leghe ferro-carbonio caratterizzate da quantità ben definite dei suoi componenti che servono a differenziare le ghise, con tenore di carbonio superiore a 1.7%, e gli acciai, quando il tenore di carbonio è inferiore a 1.7%. Nell'ambito delle costruzioni civili e industriali il tenore di carbonio è solitamente compreso tra 0.1% e 0.25%.

Le norme di riferimento per gli edifici in acciaio sono principalmente due:

- “Norme tecniche per le costruzioni” D.M. 14 gennaio 2008 e Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008”;
- Eurocodice 3, “Progettazione delle strutture di acciaio”.

La legge costitutiva dell'acciaio, rappresentata nel diagramma tensione-deformazione, risulta simmetrica a trazione e compressione; si possono individuare le seguenti fasi (Figura 2.6):

- fase elastica: tratto rettilineo nel quale il comportamento si può assumere elastico lineare fino al raggiungimento della tensione di snervamento (f_y). La pendenza del tratto rappresenta il modulo di elasticità (E);
- fase plastica: la pendenza del tratto è estremamente ridotta o nulla;
- fase incrudente: tratto con pendenza minore rispetto a quella della fase elastica. La rottura avviene in corrispondenza della tensione di rottura (f_u).

Da segnalare che la tensione di snervamento è il parametro più significativo a livello progettuale, ed è determinato con prove di trazione effettuate in laboratorio.

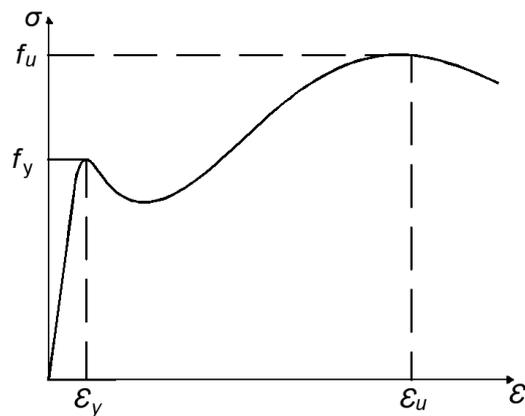


Figura 2.6. Legame costitutivo dell'acciaio

Il legame costitutivo in regime di sforzo monoassiale è schematizzabile con un modello elasto-plastico perfetto (Figura 2.7).

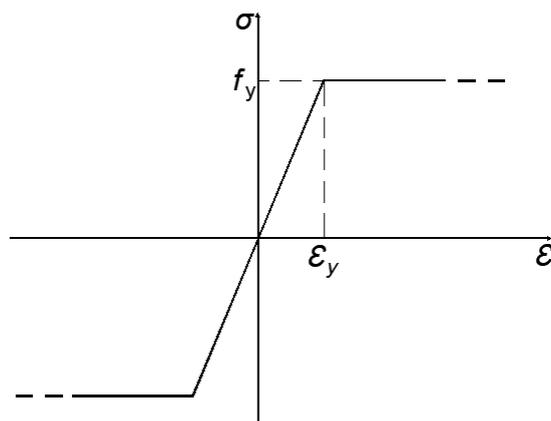


Figura 2.7. Legame costitutivo di sforzo monoassiale dell'acciaio

Merita di essere approfondito il comportamento dell'acciaio al variare della temperatura, tema affrontato nella norma EN 1993-1-2 - *Progettazione delle strutture di acciaio. Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio (luglio 2005)*. La formula che deve sempre essere verificata è:

$$E_{f_i,d} \leq R_{f_i,d,t}$$

dove:

- $E_{f_i,d}$: sollecitazione di progetto dell'elemento in caso di incendio, ottenuta attraverso la combinazione dei carichi definita nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- $R_{f_i,d,t}$: resistenza di progetto della sezione durante l'incendio, al tempo t , calcolata in accordo alla norma EN 1993-1-2.

Per verificare le caratteristiche meccaniche è possibile ricondursi al diagramma che mostra l'andamento del limite di proporzionalità, della tensione di snervamento e del modulo elastico al variare della temperatura (Figura 2.8). A causa del suo innalzamento gli elementi in acciaio subiscono variazioni chimico-fisiche a cui seguono modifiche delle proprietà meccaniche, e di conseguenza della sezione stessa che possono portare all'innescò del fenomeno dell'instabilità. Oltre a questo, si possono creare cerniere plastiche che rendono il sistema strutturale labile. Le proprietà appena citate sono conseguenza dell'alta conducibilità termica che permette un rapido trasferimento del calore dalle sezioni più esterne a quelle più interne.

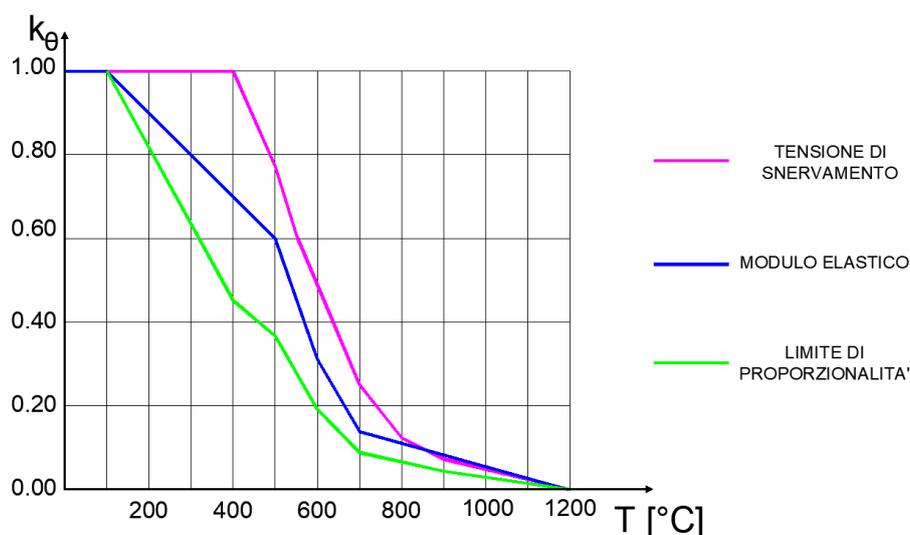


Figura 2.8. Proprietà dell'acciaio al variare della temperatura

Si può notare come la resistenza a rottura cali drasticamente oltre i 300 °C, arrivando ad una riduzione del 50% a circa 500 °C.

Per difendere le strutture in acciaio da questi effetti, esistono due metodi differenti:

- prodotti spruzzati (pitture intumescenti, intonaci);
- prodotti rigidi (sistemi a lastre, protezione con spessore di calcestruzzo).

I primi hanno il vantaggio di essere leggeri e di non variare eccessivamente la geometria degli elementi protetti; i secondi riducono notevolmente la superficie esposta al fuoco rispetto al volume.

L'acciaio viene utilizzato in edilizia industriale principalmente sotto forma di profili prefabbricati in officina e successivamente assemblati in cantiere: questa modalità permette di risparmiare tempo, ridurre i costi ma necessita di una valutazione accurata sulla modalità di trasporto. Questo materiale, grazie al suo elevato rapporto resistenza-peso, permette un'esecuzione ancora più rapida nelle fasi di montaggio rispetto agli altri. Inoltre, il dimensionamento dei singoli componenti di un edificio è reso più facile dalla disponibilità di

una gamma quasi infinita di profilati e lamiere, che si differenzia per le caratteristiche dimensionali e per le proprietà dell'acciaio utilizzato.

Una grande distinzione che è possibile fare parlando delle strutture in acciaio è la modalità di collegamento tra gli elementi: quella più facile e veloce da eseguire in cantiere è la bullonatura, ma in alcuni casi è necessario optare per giunzioni saldate, più complicate da eseguire in cantiere e solitamente più onerose sia in termini temporali sia economici.

I capannoni sono spesso eseguiti con elementi di acciaio perché permettono di avere un'elevata libertà espressiva sulla forma degli stessi; inoltre, è anche agevole effettuare ampliamenti e modifiche avendo un impegno economico inferiore rispetto a tutti gli altri materiali.

2.3.2 Calcestruzzo

Il calcestruzzo è un conglomerato artificiale, formato da ghiaia, sabbia, acqua e cemento, che una volta miscelati danno vita ad un composto monolitico. Le caratteristiche meccaniche dell'impasto dipendono principalmente dalla proporzione dei componenti appena citati e dalla quantità di additivi. Questo materiale presenta un'ottima resistenza alla compressione ma scarsa resistenza alla trazione, e per questo motivo solitamente vengono poste barre di acciaio nelle zone tese incaricate di assorbire gli sforzi di trazione. A differenza dell'acciaio, il calcestruzzo può essere gettato in opera allo stato "fluidico" all'interno di apposita cassaforma e successivamente solidificherà attraverso la fase di maturazione la cui durata dipende dal rapporto acqua/cemento. Un'altra caratteristica peculiare del calcestruzzo è il meccanismo di rottura di tipo fragile, comportamento opposto a quello dell'acciaio che invece presenta una rottura duttile.

Il calcestruzzo può essere classificato in base alla resistenza, all'esposizione e alla consistenza. La prima differenzia il materiale in base alla resistenza a compressione, espressa con due valori che rappresentano la resistenza caratteristica cilindrica e la resistenza caratteristica cubica: per ogni classe il primo valore è la resistenza cubica, mentre il secondo è la resistenza cilindrica (es. C25/30), espresse in N/mm^2 . La classificazione secondo l'esposizione prevede l'individuazione di 6 classi e 17 sottoclassi in funzione dell'entità del degrado. Il terzo modo per classificare il calcestruzzo è in funzione della consistenza, parametro che esprime il comportamento del materiale nell'intervallo temporale tra la sua produzione e il successivo getto.

Il diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo allo stato limite ultimo non è unico, bensì esistono tre modelli (Figura 2.9) che si differenziano per i valori della resistenza di calcolo (f_{cd}) e della deformazione ultima (\mathcal{E}_{cu}):

- diagramma parabola-rettangolo;
- diagramma triangolo-rettangolo;
- diagramma stress-block.

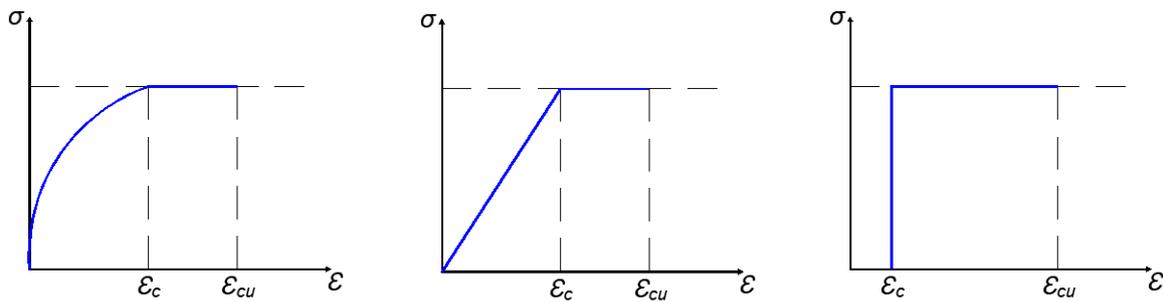


Figura 2.9. Legami costitutivi del calcestruzzo

Come si può notare, nessuno dei tre diagrammi è simmetrico rispetto all'origine perché il calcestruzzo ha comportamenti differenti a trazione e compressione.

Le norme di riferimento per le costruzioni in calcestruzzo sono:

- “Norme tecniche per le costruzioni” D.M. 14 gennaio 2008 e Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008”;
- Eurocodice 2, “Progettazione delle strutture in calcestruzzo”.

Il calcestruzzo ha una buona reazione al fuoco tanto da essere utilizzato frequentemente come protezione degli elementi in acciaio che, al contrario, subiscono una drastica diminuzione delle proprietà anche a temperature di 300 °C. Nella Figura 2.10 è stato inserito il grafico che rappresenta l'andamento del fattore di riduzione in funzione della temperatura nel caso della resistenza a trazione e compressione.

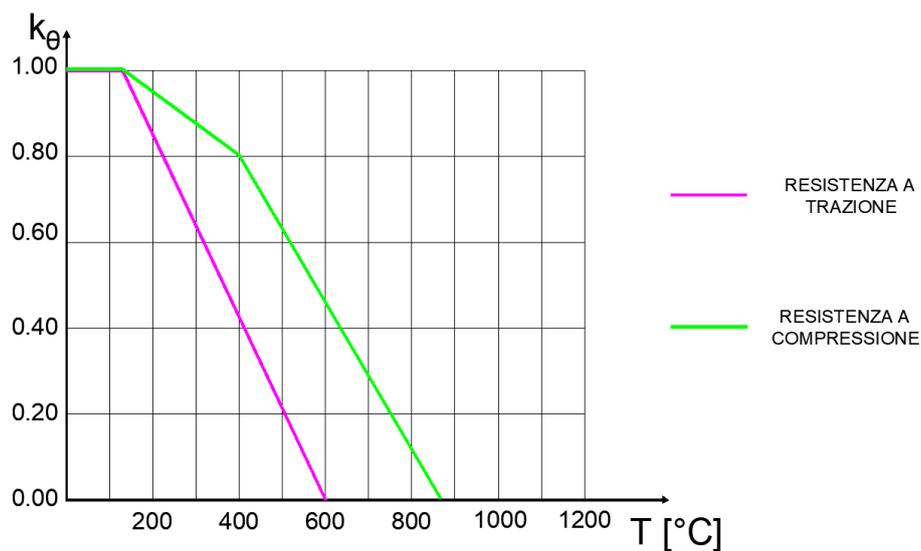


Figura 2.10. Proprietà del calcestruzzo al variare della temperatura

Gli edifici industriali con struttura in calcestruzzo sono frequenti perché presentano alcuni vantaggi:

- isolamento termico ed acustico;
- resistenza agli agenti atmosferici;
- resistenza al fuoco.

Come tutti i materiali anch'esso presenta alcuni aspetti negativi che, in questo caso, riguardano soprattutto il peso delle strutture: se si decide di utilizzare elementi prefabbricati è necessario avere mezzi di trasporto di dimensioni considerevoli per poterli movimentare in sicurezza senza danneggiarli, mentre se si decide di gettare in opera è necessario un periodo di maturazione di diversi giorni.

2.3.3 Involucro

La scelta dell'involucro di un edificio industriale dipende principalmente dalla tipologia strutturale: le costruzioni in acciaio necessitano di essere ricoperte anche nelle loro strutture portanti mentre il calcestruzzo, grazie alle sue proprietà, può essere posto in contatto diretto con l'ambiente esterno. L'involucro può essere composto da diversi strati in base alle necessità funzionali ed estetiche, ma il suo scopo principale è separare la zona interna da quella esterna. Questa separazione serve a garantire il comfort dei lavoratori in termini di salubrità dell'ambiente di lavoro (temperatura e illuminazione) e ad impedire che i rumori e gli odori possano fuoriuscire dall'attività andando ad interessare gli stabilimenti vicini o la popolazione; inoltre, difende gli elementi strutturali dalla corrosione e dagli effetti degradanti dovuti agli eventi atmosferici.

Esistono diversi tipi di involucro ma quelli più diffusi sono:

- lamiere grecate;
- lamiere ondulate;
- pannelli isolanti;
- pareti sandwich;
- tamponamenti di muratura.

Nonostante la legge n. 257 del 12 marzo 1992 abbia messo al bando l'uso dell'amianto, purtroppo questo è ancora presente in alcuni edifici la cui realizzazione è antecedente tale legge (Figura 2.11). Fino agli anni Novanta è stato uno dei materiali più utilizzati nelle costruzioni perché garantiva ottime prestazioni di protezione dal fuoco, coibentazione termica e acustica; ad oggi è ancora presente perché il suo smaltimento e trattamento risulta essere molto oneroso, anche se necessario per la salute dei lavoratori, come previsto anche da precisi dispositivi normativi.



Figura 2.11. Esempio di copertura in amianto

2.4 Protezioni antincendio negli edifici industriali

La protezione antincendio si divide in attiva, che necessita di un intervento, e passiva, che invece non ha bisogno di alcun intervento umano o azionamento di impianto. Queste misure hanno lo scopo di ridurre i danni provocati dall'incendio e si trovano con più facilità nei depositi di nuova realizzazione.

2.4.1 Protezioni attive

Le protezioni attive hanno lo scopo di rilevare l'incendio, segnalarlo ed estinguerlo, riducendone così le possibili conseguenze; le soluzioni sono diverse e sempre più efficaci grazie allo sviluppo tecnologico degli ultimi anni. Volendo fare riferimento al Codice, le strategie che richiamano l'argomento sono la sesta (Controllo dell'incendio), la settima (Rivelazione ed allarme) e l'ottava (Controllo di fumi e calore). Le soluzioni che si trovano più frequentemente sono:

- estintori;
- idranti;
- impianti di spegnimento automatici;
- impianti di rivelazione;
- rete idrica;
- evacuatori di fumo e calore.

Gli estintori sono strumenti di primo intervento che hanno efficacia solo nella prima fase dell'incendio; sono classificati in base al peso e si dividono in portatili e carrellati. Un'altra classificazione possibile è in relazione alla sostanza estinguente, che deve essere adeguata al contesto e al tipo di incendio (Tabella 2.1): possiamo trovare estintori a polvere, ad acqua, a schiuma, ad anidride carbonica e ad idrocarburi alogenati.

Tabella 2.1. *Efficacia del tipo di estintore in funzione dell'incendio*

Tipo di incendio		Tipo di estintore				
		CO ₂	Polvere	Schiuma	Acqua	Halon
A	Fuochi di solidi	A	A	A	A	N.A.
B	Fuochi di liquidi	A	A	A	A	A
C	Fuochi di gas	A	A	N.A.	A	A
D	Fuochi di metalli	N.A.	A	N.A.	N.A.	N.A.
E	Apparecchi elettrici	A	A	N.A.	N.A.	A

N.A.: non adatto.

A: adatto.

La rete di idranti è un sistema di tubazioni per l'alimentazione idrica che necessita di apparecchi di erogazione; è l'impianto più utilizzato ma prima di essere attivato ha bisogno di una verifica sulla compatibilità con la tipologia d'incendio. I terminali della rete di idranti possono essere naspi o idranti a muro in base al livello di pericolosità dell'attività, l'importante è che la soluzione adottata permetta il raggiungimento con il getto di tutta l'area.

Gli impianti di spegnimento automatici, la cui efficacia è maggiore rispetto alle misure appena descritte, sono classificati in funzione dell'agente estinguente. Gli impianti di rivelazione e allarme incendio (IRAI) hanno lo scopo di rivelare nel minor tempo possibile l'inizio della combustione, così da poter agire nelle prime fasi evitando il flashover; inoltre, consentono di avere più tempo per le fasi di esodo e per attivare le misure gestionali. I rivelatori hanno un sensore che sorveglia costantemente o a intervalli almeno un fenomeno chimico o fisico tra calore, fumo, gas e fiamme. Un'altra distinzione possibile tra i metodi di rivelazione è in base al metodo di misura che può essere:

- statico: misura l'entità del fenomeno;
- differenziale: misura la differenza;
- velocimetro: misura la velocità di variazione.

Il controllo di fumo e calore può essere realizzato con:

- aperture di smaltimento;
- sistemi di ventilazione orizzontale forzata (SVOF);
- sistemi di evacuazione di fumo e calore (SEFC).

Le aperture di smaltimento, che spesso coincidono con finestre, lucernari e porte, hanno la funzione di facilitare l'estinzione dei soccorritori, favorendo la diminuzione della presenza dei prodotti di combustione. Quello che differenzia le prime con i sistemi di evacuazione di fumo e calore è che questi ultimi hanno come scopo il mantenimento di uno strato d'aria indisturbato.

2.4.2 Protezioni passive

Le misure di protezione passiva sono:

- reazione al fuoco;
- resistenza al fuoco;
- compartimentazione;
- distanze di separazione;
- vie di esodo.

La reazione al fuoco rappresenta il grado di partecipazione all'incendio dei materiali e viene determinata in condizioni standardizzate di prova. Lo scopo di questa misura è limitare l'innesco e la propagazione dell'incendio, evitando che esso coinvolga altri materiali combustibili. Esiste sia una classificazione italiana che una europea: la prima si trova nel D.M. 26 giugno 1984 e nel successivo D.M. 3 settembre 2001, oltre ad essere la prima strategia affrontata dal Codice; la seconda è trattata nella norma UNI EN 13501-1:2009. Nel Codice, che è la norma più recente, sono presenti quattro livelli di prestazione (Tabella 2.2).

Tabella 2.2. Livelli di prestazione della reazione al fuoco

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

La resistenza al fuoco ha lo scopo di garantire la capacità portante delle strutture in condizioni di incendio e la capacità di compartimentazione. Gli elementi sono classificati in base al numero di minuti per i quali riescono a conservare le caratteristiche di resistenza meccanica, tenuta ai fumi e isolamento termico. Esistono alcuni riferimenti normativi che trattano la resistenza al fuoco, in particolare il D.M. 9 marzo 2007, *Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco*, e il D.M. 16 febbraio 2007, *Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione*; il riferimento europeo è invece la Direttiva 89/106/CEE. Le prestazioni di resistenza al fuoco possono essere determinate con tre metodi: prove, calcoli e confronti con tabelle. Il Codice tratta la resistenza al fuoco come seconda strategia antincendio e in particolare presenta cinque livelli di prestazione (Tabella 2.3).

Tabella 2.3. *Livelli di prestazione della resistenza al fuoco*

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

La terza strategia affrontata dal Codice è la compartimentazione, che ha l'obiettivo di limitare la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti mediante compartimenti antincendio e interposizione di distanze di separazione. Per questa strategia ci sono tre livelli di prestazione (Tabella 2.4) ma il primo non è ammesso nelle attività soggette.

Tabella 2.4. *Livelli di prestazione della compartimentazione*

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

L'ultima protezione passiva da riportare è l'esodo, il cui scopo è permettere agli occupanti di raggiungere o permanere in un luogo sicuro, prima che l'incendio provochi l'insorgere di condizioni incapacitanti. Nel caso dei depositi di rifiuti è molto importante come strategia perché l'incendio può svilupparsi rapidamente e provocare fumi e gas pericolosi per l'uomo; va però detto che negli impianti solitamente la presenza degli occupanti è molto bassa e per

motivi di organizzazione sono quasi sempre presenti diverse uscite di notevoli dimensioni che collegano l'interno dell'attività con l'esterno.

2.5 Tipologie di capannoni ricorrenti

Date le numerose possibilità di tecniche e soluzioni costruttive è stato necessario concentrarsi sulle tipologie di capannone più ricorrenti. In particolare, data la volontà di tenere in considerazione sia l'aspetto strutturale sia la prevenzione incendi, conviene soffermarsi sui capannoni con struttura portante in acciaio perché, come spiegato al §2.3, maggiormente soggetti agli effetti delle alte temperature che possono svilupparsi in seguito ad un incendio di rifiuti. Il numero di navate dipende dalle necessità imprenditoriali, ma i depositi di rifiuti ne hanno solitamente una o due; anche la loro larghezza è variabile e si è deciso di prendere come misure di riferimento 15 e 30 metri.

Le tipologie di copertura utilizzate nei modelli costruiti sono quelle elencate al §2.2.1

Un'altra variabile che si sarebbe potuta tenere in considerazione è la presenza o meno del controsoffitto, così da valutare la differenza di entità del danno; per creare le situazioni più sfavorevoli, non è stata presa in considerazione alcuna misura di protezione attiva.

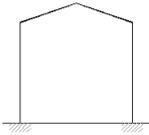
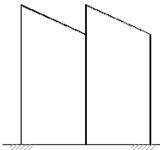
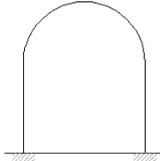
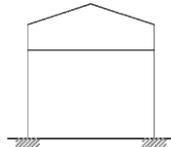
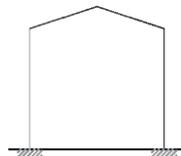
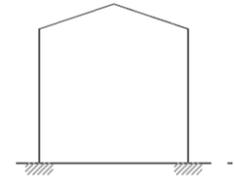
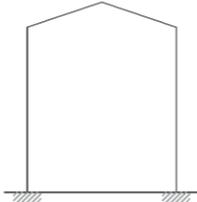
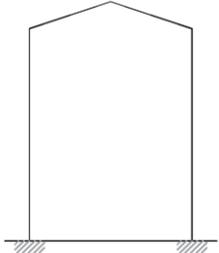
Nella Tabella 2.5. sono inserite le principali scelte adottate nella costruzione dei modelli; le caratteristiche che invece sono state mantenute uguali per tutti i modelli sono:

- pianta rettangolare;
- finestre a nastro;
- nessuna compartimentazione interna;
- nessuna misura di protezione attiva;
- profili di acciaio non protetti;
- involucro perimetrale.

2.6 Conclusioni

Esistono diverse tecniche costruttive riguardanti i capannoni, dato che devono rispondere a molteplici necessità funzionali; inoltre, il progettista deve valutare altri aspetti quali il numero e le dimensioni delle aperture, il tipo di copertura, il numero e le dimensioni delle navate. Si è quindi svolta un'analisi generale di queste variabili e costruita una matrice dei capannoni più ricorrenti sul nostro territorio. I modelli sono stati creati con il programma di disegno AutoCAD e sono stati successivamente importati in PyroSim per svolgere le simulazioni di incendio, valutando così alcuni possibili effetti sulla struttura. Siccome le variabili costruttive possono considerarsi infinite, si è deciso di analizzare solamente gli edifici con struttura di acciaio poiché soggetti ad effetti peggiori del calcestruzzo a parità di temperatura.

Tabella 2.5. Matrice tipologica

Caratteristica costruttiva	Variabili			
Numero di navate	 1		 2	
Larghezza delle navate	 15 m		 30 m	
Tipologia di copertura	 A doppia falda	 Shed	 Piana	 Curva
Presenza del controsoffitto	 Sì		 No	
Altezza libera	 7 m	 10 m	 13 m	

Capitolo 3

Analisi di un caso studio

Di seguito viene trattato un caso reale di impianto per il trattamento di rifiuti interessato da un vasto incendio. Essendo le indagini ancora in corso si è deciso di rendere anonimo il deposito e di riportare solo le informazioni necessarie per comprendere l'evento ed i suoi effetti.

Nello stabilimento sono presenti diversi fabbricati, ognuno avente al suo interno processi di lavorazione differenti ma nel presente capitolo viene analizzato solo quello interessato dall'incendio, escludendo quindi tutti gli altri. Le caratteristiche dell'edificio in esame sono quelle che si riscontrano con più facilità nei capannoni con funzione di deposito presenti nel territorio del nord Italia, e sono in linea con quelle individuate nel capitolo precedente al §2.5.

I temi di seguito trattati possono essere visti come un'applicazione reale dei concetti citati nei capitoli precedenti.

3.1 Contesto ambientale

Lo stabilimento si trova ad alcuni chilometri di distanza dal più vicino centro abitato e ricopre un'area di oltre diecimila metri quadrati (Figura 3.1). Non sono presenti altre attività produttive nelle immediate vicinanze né civili abitazioni; la funzione di perimetro esterno è svolta da una recinzione ricoperta da una folta vegetazione alta alcuni metri che permette di mimetizzare lo stabilimento nel contesto ambientale nel quale si trova.



Figura 3.1. Immagine aerea della localizzazione del deposito

3.2 Normative di riferimento

L'impianto è autorizzato al ricevimento, selezione, trattamento e recupero di rifiuti; è inoltre un riferimento regionale per la gestione sostenibile delle raccolte differenziate. Riceve diverse tipologie di rifiuti (secco indifferenziato, plastica, carta, umido, vetro, legno, ecc.), ognuna destinata ad aree differenti dell'impianto adibite specificatamente per il trattamento e lo stoccaggio.

L'impianto rientra nel campo di applicazione del D.Lgs. 152/2006, *Norme in materia ambientale*; dal punto di vista della prevenzione incendi possono essere applicate le procedure delle seguenti attività del D.P.R. 151/2011:

- Att. 34: depositi di carta, cartoni e prodotti cartotecnici, archivi di materiale cartaceo, biblioteche, depositi per la cernita della carta usata, di stracci di cascami e di fibre tessili per l'industria della carta, con quantitativi in massa superiori a 5.000 kg;
- Att. 36: depositi di legnami da costruzione e da lavorazione, di legna da ardere, di paglia, di fieno, di canne, di fascine, di carbone vegetale e minerale, di carbonella, di sughero e di altri prodotti affini con quantitativi in massa superiori a 50.000 kg con esclusione dei depositi all'aperto con distanze di sicurezza esterne superiori a 100m;
- Att. 43: stabilimenti ed impianti per la produzione, lavorazione e rigenerazione della gomma e/o lavoratori di vulcanizzazione di oggetti di gomma con quantitativi in massa superiori a 5.000 kg; depositi di prodotti di gomma, pneumatici e simili, con quantitativi in massa superiori a 10.000 kg;
- Att. 44: stabilimenti, impianti, depositi ove si producono, lavorano e/o detengono materie plastiche, con quantitativi in massa superiori a 5.000 kg;
- Att. 70: locali adibiti a depositi di superficie lorda superiore a 1000 m² con quantitativi di merci e materiali combustibili superiori complessivamente a 5.000kg.

Il D.M. 3 agosto 2015 e il suo predecessore D.M. 10 marzo 1998 non sono applicabili perché il progetto e la realizzazione dell'impianto sono precedenti tali anni. Analizzando l'edificio e la sua organizzazione si può notare come l'azienda abbia deciso di non rispettare la linea guida CFPA-E 32:2014 F, che va ricordato non essere cogente. Essendo trattati diversi tipi di rifiuti, l'azienda deve rispettare tutte le normative in materia ambientale, a partire da quelle presentate al §1.1.

3.3 Geometria

In questo paragrafo sono analizzati gli aspetti legati alla geometria del fabbricato.

3.3.1 Pianta

L'edificio è composto da due navate di pianta rettangolare affiancate tra loro, della medesima larghezza pari a circa 31 metri ma che differiscono per la lunghezza: una navata (che da ora sarà definita 'navata nord') arriva a misurare quasi 120 metri mentre la seconda (che da ora sarà chiamata 'navata sud') arriva a circa 100 metri. La geometria della pianta è inserita nella Figura 3.2; l'edificio oltre ad essere di forma regolare, si sviluppa su un solo piano fuori terra.

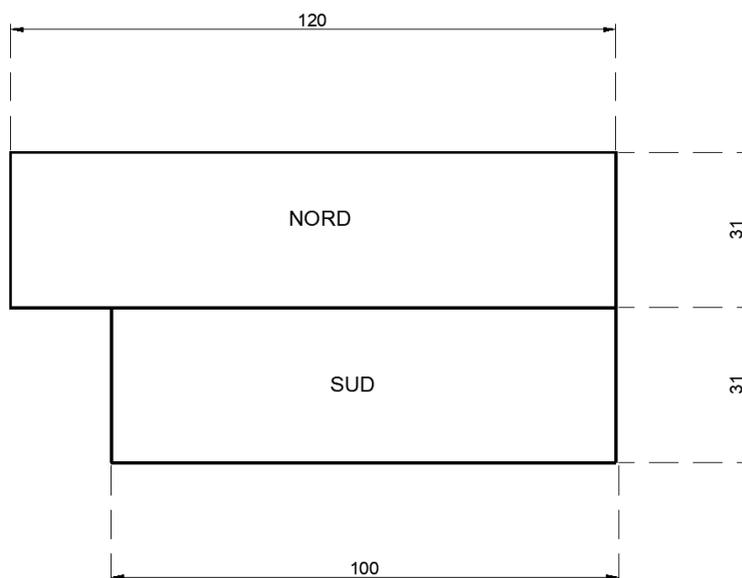


Figura 3.2. Dimensioni in pianta del deposito

3.3.2 Altezza del controsoffitto

La struttura presenta un controsoffitto posto ad altezza 8.5 metri dal livello zero (Figura 3.3), utile a proteggere dagli effetti diretti dell'incendio i profili sui quali insiste la capriata.

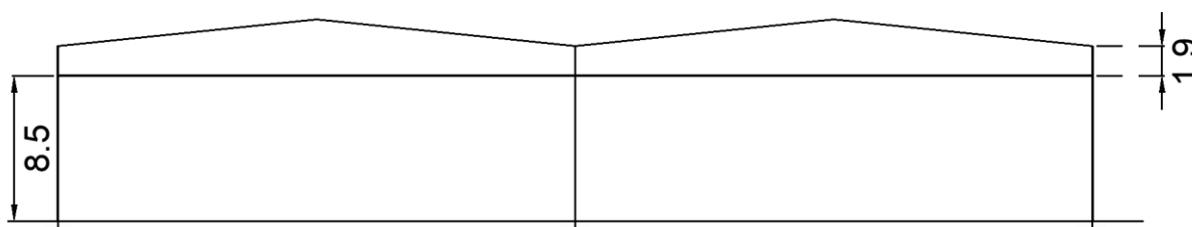


Figura 3.3. Prospetto con misure relative all'altezza del controsoffitto

3.3.3 Aperture

Sono presenti diverse aperture sia sui lati lunghi (Figura 3.4) sia sui lati corti (Figura 3.5) per permettere un'adeguata ventilazione e per il transito dei mezzi. I portoni hanno larghezza pari a cinque metri e altezza di poco superiore. Le finestre si trovano ad un'altezza di sette metri dal

piano di calpestio e presentano un'altezza di 1.6 metri e una larghezza di poco superiore a cinque metri.



Figura 3.4. *Prospetto laterale*

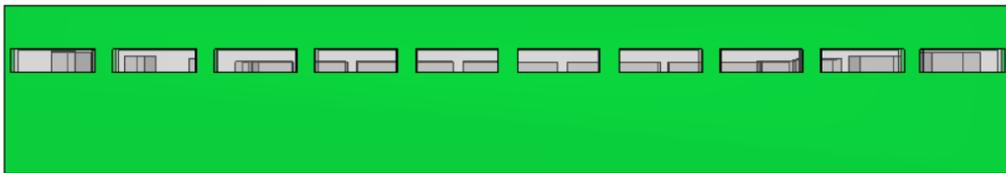


Figura 3.5. *Prospetto frontale*

3.4 Struttura

Di seguito viene analizzata la struttura del deposito, accompagnata da alcune immagini utili per comprendere meglio quanto descritto.

3.4.1 Tipologia strutturale

La struttura portante è composta da telai con colonne ad anima piena e capriate reticolari di luce 31.35 m, posti ad interasse di 6.27 m. Sono presenti diciotto pilastri sul lato lungo della navata sud e venti pilastri sul lato lungo della navata nord. Le due navate sono adiacenti su un lato lungo e condividono quindi diciotto pilastri.

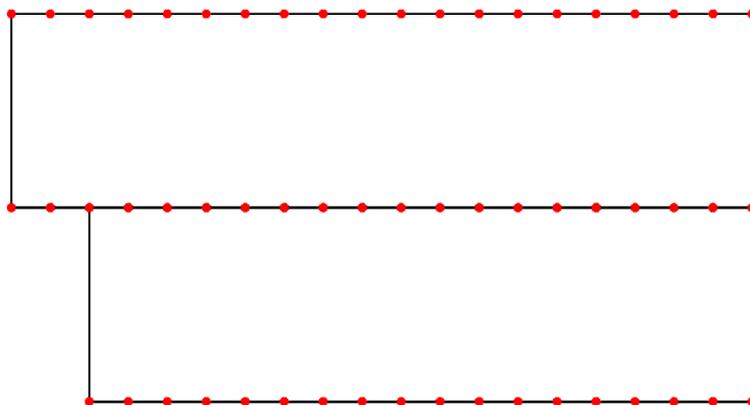


Figura 3.6. *Disposizione dei profili HEA320*

Le colonne, con profilo HEA320, sono considerate incastrate alla base (Figura 3.7) nel senso trasversale mentre le capriate sono incastrate alle colonne.

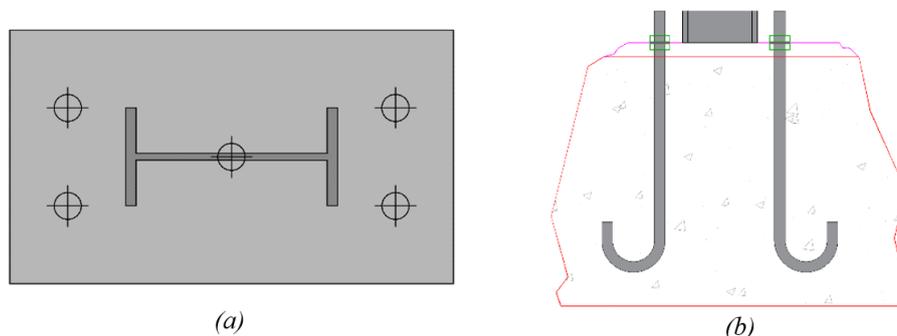


Figura 3.7. Collegamento della colonna alla fondazione

Nel senso longitudinale le colonne sono considerate incernierate e quindi la stabilità è assicurata prevalentemente dai portali di controvento. Inoltre, sono presenti quattro colonne (montanti) di acciaio IPE270 su ciascun lato corto (Figura 3.8) aventi la funzione di sostenere la capriata.

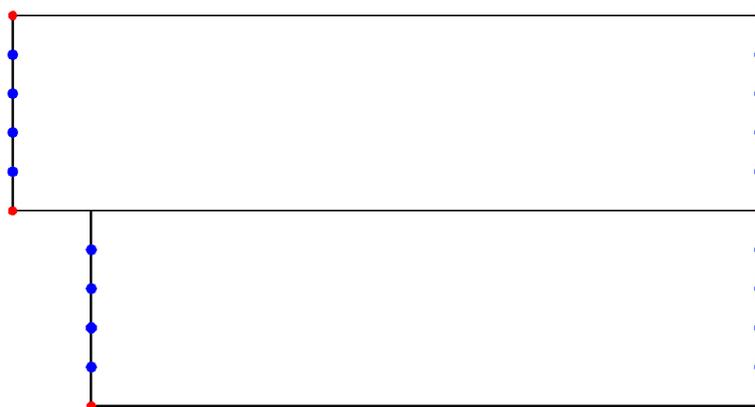


Figura 3.8. Disposizione dei profili IPE270

In alcuni tratti dell'edificio sono presenti in sommità le mensole a supporto dei binari dei carriponte della navata più lunga. Nel senso longitudinale sono presenti portali di controvento con schema a V rovesciato con funzione di stabilizzazione dei telai nei confronti delle azioni del vento e del sisma (Figura 3.9). La tamponatura dell'edificio è sorretta da listelli di parete in profilo a C pressopiegato vincolati alle colonne con passo di circa 2 m.

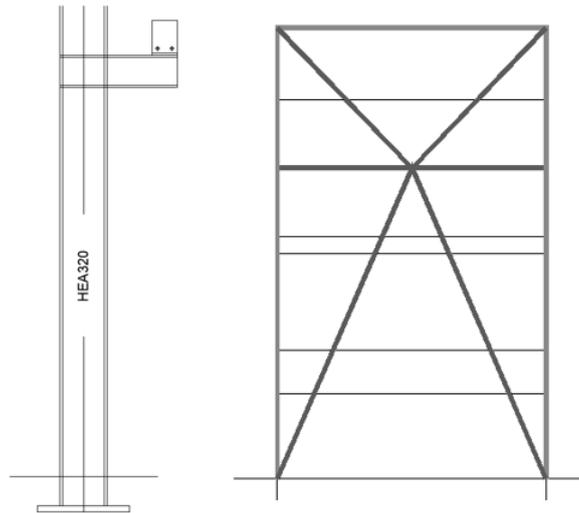


Figura 3.9. Particolari costruttivi (mensola per carroponte e controvento longitudinale)

3.4.2 Copertura

La struttura presenta una copertura di tipo “a falda”, più precisamente a doppia falda avente la medesima larghezza. La copertura è essenzialmente priva di elementi passanti quali camini di ventilazione, estrazione e simili. Sono inoltre presenti due fasce di lucernari che hanno la funzione di garantire l’illuminazione naturale all’interno del fabbricato.

3.4.3 Capriate

Sono presenti trentotto capriate (venti nella navata nord e diciotto nella navata sud) aventi una struttura reticolare come in Figura 3.10.



Figura 3.10. Schema delle capriate

3.5 Materiali

Sono brevemente presentati i materiali utilizzati per la costruzione del fabbricato e alcune loro caratteristiche tecniche.

3.5.1 Materiali da costruzione

I materiali utilizzati nel fabbricato sono principalmente l’acciaio, il calcestruzzo e quelli costituenti i pannelli di copertura e delle pareti laterali.

Per la struttura portante sono stati utilizzati due tipi di acciaio:

- acciaio Fe430B secondo UNI-EN 10025 per profilati, laminati mercantili, larghi piatti e lamiere di spessore inferiore a 40 mm, con:
 - $f_u > 430 \text{ N/mm}^2$;
 - $f_y > 275 \text{ N/mm}^2$;
 - $A > 23 \%$.
- acciaio Fe510B secondo UNI-EN 10025 per profilati, laminati mercantili, larghi piatti e lamiere di spessore inferiore a 40 mm, con:
 - $f_u > 510 \text{ N/mm}^2$;
 - $f_y > 335 \text{ N/mm}^2$;
 - $A > 21\%$

dove:

- f_u [N/mm^2]: tensione di rottura;
- f_y [N/mm^2]: tensione di snervamento;
- A [-]: allungamento totale a carico massimo.

Per gli accoppiamenti bullonati si deve fare riferimento alle seguenti classi:

- vite classe 5.6 + dado classe 4D (UNI-EN 20898);
- vite classe 8.8 + dado classe 6S (UNI-EN 20898).

3.5.2 Copertura

Il manto di copertura è costituito da una doppia lamiera grecata in acciaio preverniciato dello spessore di 0.6 mm, con interposto un materasso isolante in lana di roccia di spessore 5 cm.

3.5.3 Involucro

La struttura portante sostiene i tamponamenti esterni che sono di tipo “sandwich” con pannello isolante fonoassorbente di spessore 4 cm (Figura 3.11).

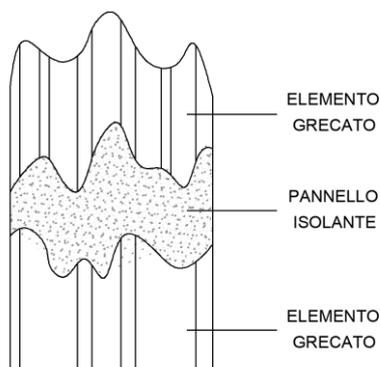


Figura 3.11. Particolare del pannello

3.5.4 Muri interni

All'interno del fabbricato è presente un muro di calcestruzzo armato (Figura 3.12) di altezza poco superiore a due metri avente una doppia funzione: sostegno per i cumuli di rifiuti stoccati e protezione della base dei pilastri di acciaio da un possibile incendio nel compartimento.

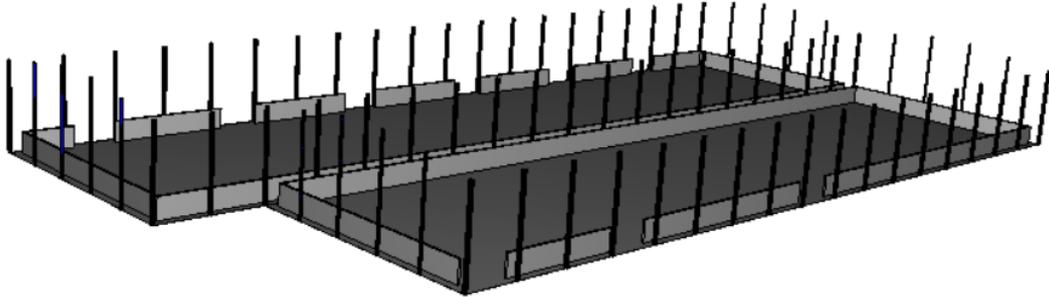


Figura 3.12. Muri di calcestruzzo con funzione di sostegno dei rifiuti e difesa dei profili di acciaio

3.6 Modellazione del capannone

Per la modellazione del capannone si è utilizzato il programma di disegno tecnico AutoCAD nella versione 3D, avendo come riferimento gli elaborati progettuali originali del deposito. Successivamente il progetto è stato importato in PyroSim (Figura 3.12 e 3.13) così da poter inserire i dati relativi all'incendio. Lo scopo non è stato quello di riprodurre i dettagli architettonici, ma di considerare la struttura portante e gli elementi costruttivi per poter poi studiare il comportamento globale della struttura.

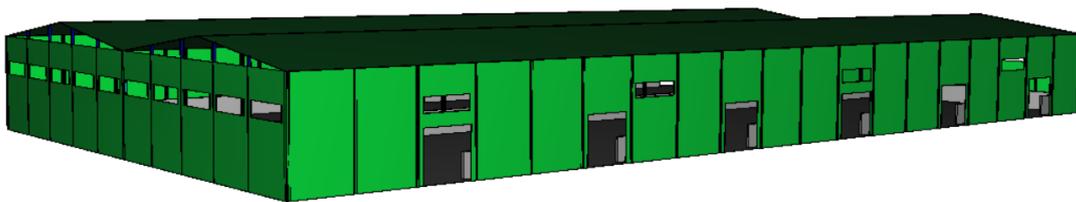


Figura 3.12. Prospetto del capannone eseguito con PyroSim

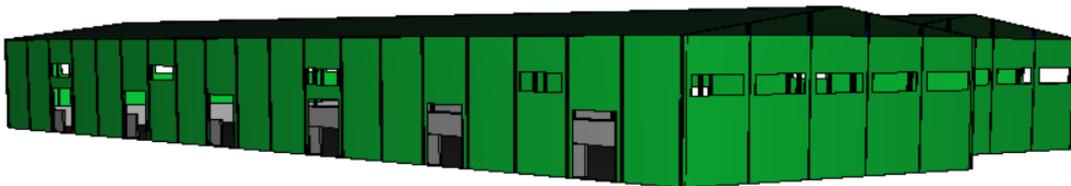


Figura 3.13. Secondo prospetto del capannone eseguito con PyroSim

3.7 Effetti dell'evento incidentale

L'incendio è scoppiato nella tarda serata e ha interessato gran parte del deposito compromettendone la capacità portante. È stato necessario l'intervento di diverse squadre di Vigili del fuoco e più di un giorno per estinguere completamente il focolare. Il fumo denso sprigionato dalla combustione è stato visibile per circa dieci chilometri di distanza e si sono rese necessarie le operazioni di monitoraggio della qualità dell'aria che è rientrata nei valori accettabili solamente la mattina successiva.

La parte di deposito interessata dall'incendio non presentava impianti di rilevazione né impianti di spegnimento automatico, fattori che hanno contribuito a rendere le operazioni di spegnimento lunghe e difficoltose. Gli effetti delle alte temperature hanno alterato la geometria dell'edificio e, oltre ad aver provocato l'immediato collasso della copertura, hanno anche compromesso la resistenza dell'intero fabbricato.

Nella Figura 3.14 è presente una ricostruzione qualitativa della distribuzione della temperatura, utile per individuare gli elementi più sollecitati.

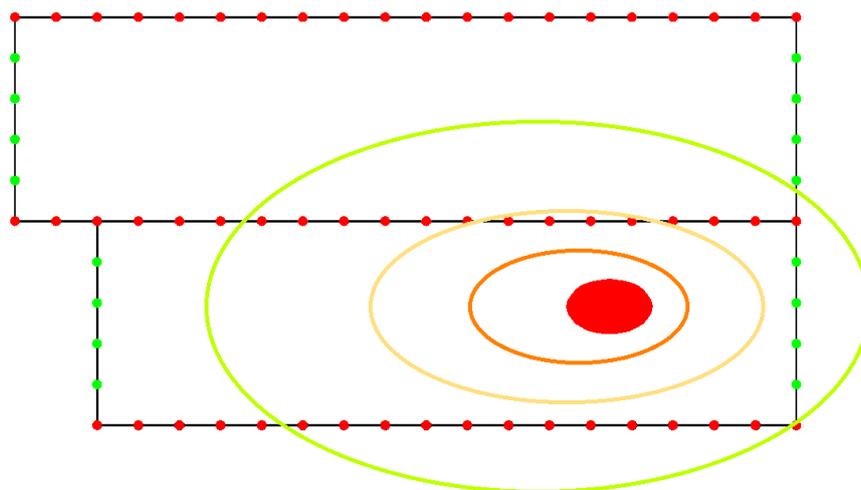


Figura 3.14. *Rappresentazione qualitativa delle temperature raggiunte nel fabbricato*

Nei mesi successivi sono state svolte numerose indagini di laboratorio da una società specializzata, in particolare:

- prelievo di profili di carpenteria metallica;
- indagini di resistenza;
- verifica della verticalità delle colonne.

In seguito ad esse è risultato evidente che per alcuni profili, evidenziati in rosso nella Figura 3.15 fosse necessaria la loro completa sostituzione soprattutto a causa di una variazione della verticalità dell'ordine dei centimetri; per altri, evidenziati in giallo, sono necessarie ulteriori analisi prima di decidere se optare per la loro sostituzione o se basta un intervento di riparazione. Gli effetti sugli elementi strutturali sono stati così dannosi perché, come è noto, la resistenza dell'acciaio subisce una drastica riduzione a partire da circa 300°C.



Figura 3.15. Danneggiamento dei pilastri

3.8 Conclusioni

Nel terzo capitolo è stato analizzato il caso di un deposito di rifiuti che ha subito ingenti danni in seguito ad un incendio sviluppatosi al suo interno; la scelta del caso studio è dovuta al fatto che mi è stata data la possibilità di effettuare un sopralluogo e di consultare alcuni documenti riguardanti l'evento.

Gli effetti dell'evento sono stati considerevoli perché la struttura portante è composta da telai con colonne in acciaio, materiale che alle alte temperature perde le sue caratteristiche di resistenza. Una volta ultimate le lunghe operazioni di spegnimento e messa in sicurezza dell'area, sono iniziate le indagini (attualmente ancora in corso) per comprendere quanto accaduto. Nei mesi successivi sono state inoltre svolte alcune indagini di laboratorio per valutare le operazioni di rifacimento e sostituzione degli elementi danneggiati: i risultati hanno mostrato la necessità di sostituire diversi pilastri a causa della variazione della loro verticalità. Gli effetti dell'incendio sono stati così rilevanti principalmente per due motivi:

- la tipologia strutturale del deposito, costituita da telai in acciaio che non possiede caratteristiche adeguate di resistenza al fuoco;
- assenza di impianti di rivelazione e spegnimento dell'incendio.

Per evitare che in futuro possano accadere eventi simili, e considerato che la struttura portante è difficilmente modificabile, si possono valutare alcune opzioni di miglioramento: installazione di impianti di protezione attiva, protezione dei profili di acciaio per incrementare la resistenza al fuoco, soluzioni organizzative e di gestione. Sicuramente le probabilità di accadimento di un incendio, ma anche l'entità dei danni, sarebbero inferiori se vi fosse una norma specifica per i depositi di rifiuti, che sarebbe utile sia alle società che operano nel settore che avrebbero dei vincoli normativi da rispettare, sia alla popolazione che non sarebbe più soggetta agli effetti ambientali dovuti ad un incendio, sia al Corpo dei Vigili del Fuoco che vedrebbe ridursi notevolmente i casi di chiamata.

Capitolo 4

Modellazione dell'incendio

Nel quarto capitolo sono analizzati alcuni temi riguardanti il fenomeno dell'incendio, necessari per comprendere le simulazioni presentate alla fine dello stesso. La trattazione non è esaustiva ma serve ad individuare gli argomenti più importanti per capirne i tratti salienti.

Gli incendi si possono dividere in due macrocategorie:

1. incendi all'aperto;
2. incendi di compartimento.

I primi sono controllati principalmente dalla quantità del combustibile e dalle sue proprietà; i secondi sono invece controllati dal combustibile e dal comburente ma un'altra variabile importante è la ventilazione. Dato lo scopo della tesi, vengono di seguito approfondite solamente le tematiche legate all'incendio di compartimento.

Dopo aver affrontato i temi principali riguardanti un incendio di compartimento è presente una breve descrizione di PyroSim, programma utilizzato per svolgere le simulazioni dei diversi scenari di incendio. I risultati ottenuti saranno commentati ed approfonditi nel Capitolo 5.

4.1 Nozioni base

Nel primo paragrafo vengono presentati alcuni concetti base per comprendere come può iniziare e propagarsi un incendio, in funzione del metodo di studio utilizzato e dei fattori che possono influenzarne l'andamento, come la ventilazione, la massa del combustibile e le protezioni attive. Vengono inoltre presentate le caratteristiche principali delle materie plastiche che sono solitamente più frequenti nei depositi di rifiuti.

4.1.1 Il triangolo del fuoco

L'incendio è una reazione chimica di ossidazione di materiali combustibili a seguito della quale vengono sviluppati:

- calore;
- gas;
- fumo;
- prodotti tossici (monossido di carbonio);
- luce.

La combustione è una reazione chimica che comporta l'ossidazione di un combustibile da parte di un comburente e può avvenire con o senza sviluppi di fiamme superficiali. Affinché vi sia combustione devono coesistere tre elementi essenziali:

- comburente;
- combustibile;
- innesco.

Proprio per la necessità della contemporanea presenza dei tre elementi citati, la combustione viene spesso rappresentata graficamente con un triangolo avente i lati costituiti dai tre elementi (Figura 4.1). In assenza di uno solo di essi, l'incendio non si sviluppa o si estingue.



Figura 4.1. *Triangolo del fuoco*

I combustibili possono essere di natura:

- solida;
- liquida;
- gassosa.

I primi necessitano di una prolungata esposizione al calore prima di avviare la combustione ed i più frequenti sono il legno e le materie plastiche. I secondi possiedono un elevato potere calorifico e spesso si trovano sotto forma di idrocarburi (benzina, gasolio); un loro parametro importante è la temperatura di infiammabilità. Gli ultimi sono solitamente conservati in serbatoi o recipienti e anche in questo caso i più frequenti sono gli idrocarburi (metano, GPL).

Il comburente alimenta la combustione ed il più noto è l'ossigeno (O_2) contenuto nell'aria; oltre a questo si possono trovare il protossido di azoto, il biossido di azoto e l'ossido di azoto.

Affinché avvenga la combustione, il comburente e il combustibile devono essere presenti in rapporti definiti, e le sostanze devono essere ben miscelate e trovarsi nei limiti di infiammabilità. Questi sono tipici di ogni combustibile, in funzione del comburente, e dipendono anche dalla pressione e dalla temperatura dell'ambiente in cui si trovano: molti

valori sono tabellati e si possono ricavare facilmente dalla letteratura oppure possono essere calcolati analiticamente.

Un aspetto molto importante negli incendi di compartimento è la quantità di comburente disponibile: a differenza di un incendio all'aperto, il comburente può venire meno poiché dipende dalla quantità già presente nel compartimento e dalla presenza di aperture di ventilazione. Inoltre, qualsiasi incendio in ambiente confinato ha una potenzialità termica che è strettamente legata alla disponibilità e all'efficacia della ventilazione.

La sorgente di innesco è l'elemento che rilascia un valore di energia termica in grado di dare avvio al processo di combustione. Le fonti di innesco, che non sempre sono efficaci, possono essere di quattro tipi:

- accensione diretta (scintilla);
- accensione indiretta (convezione, conduzione o irraggiamento);
- attrito (sfregamento di due materiali);
- autocombustione (calore prodotto dallo stesso combustibile).

I fuochi possono essere distinti in cinque classi e per ognuna di esse sono individuati gli agenti estinguenti più idonei (Tabella 4.1).

Tabella 4.1. *Classi di fuoco e agente estinguente più idoneo*

Classe di fuoco	Descrizione	Estinguente
A	Fuochi di materiali solidi, usualmente di natura organica, che portano alla formazione di braci	L'acqua, l'acqua con additivi per classe A, la schiuma e la polvere sono le sostanze estinguenti più comunemente utilizzate per tali fuochi.
B	Fuochi di materiali liquidi o solidi liquefabili	Acqua con additivi per classe B, schiuma, polvere e biossido di carbonio.
C	Fuochi di gas	L'intervento principale contro tali fuochi è quello di bloccare il flusso di gas chiudendo la valvola di intercettazione o otturando la falla. A tale proposito si richiama il fatto che esiste il rischio di esplosione se un incendio di gas viene estinto prima di intercettare il flusso del gas.

Classe di fuoco	Descrizione	Estinguente
D	Fuochi di metalli	Nessuno degli estinguenti normalmente utilizzati per i fuochi di classe A e B è idoneo per fuochi di sostanze metalliche che bruciano (alluminio, magnesio, potassio, sodio). In tali condizioni occorre utilizzare delle polveri speciali ed operare con personale specificamente addestrato.
F	Fuochi che interessano mezzi di cottura	Gli estinguenti per fuochi di classe F spengono principalmente per azione chimica intervenendo sui prodotti intermedi della combustione di olii vegetali o animali. Gli estintori idonei per la classe F hanno superato positivamente la prova dielettrica. L'utilizzo di estintori a polvere e di estintori a biossido di carbonio contro fuochi di classe F è considerato pericoloso.

È necessario, inoltre, riportare i parametri fisici e chimici che caratterizzano maggiormente la combustione:

- temperatura di accensione;
- temperatura teorica di combustione;
- aria teorica di combustione;
- potere calorifico;
- temperatura di infiammabilità;
- limiti di infiammabilità.

4.1.2 Dinamica dell'incendio

In un incendio di compartimento si possono distinguere principalmente cinque fasi:

- 1) ignizione;
- 2) crescita/propagazione;
- 3) flashover/incendio generalizzato;
- 4) fase stazionaria;
- 5) decadimento/estinzione.

Un'ulteriore distinzione che è possibile fare è tra "curve nominali" e 'curve naturali': le prime rappresentano incendi convenzionali di progetto per l'intervallo di tempo pari alla classe di

resistenza al fuoco prevista senza fase di raffreddamento e sono ben riproducibili in laboratorio; le seconde considerano anche la fase di raffreddamento fino al ritorno alla temperatura ambiente.

Le curve nominali (Figura 4.2) di incendio sono generalmente monotone crescenti e ne esistono tre che sono più ricorrenti delle altre:

- curva standard (ISO 834): $\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$ [°C]
- curva da idrocarburi: $\theta_g = 1080 \cdot (1 - 0,325 e^{-0,167t} - 0,675 e^{-2,5t}) + 20$ [°C]
- curva da esterni: $\theta_g = 660 \cdot (1 - 0,687 e^{-0,32t} - 0,313 e^{-3,8t}) + 20$ [°C]

dove:

- θ_g [°C]: temperatura media dei gas di combustione;
- t [min]: tempo.

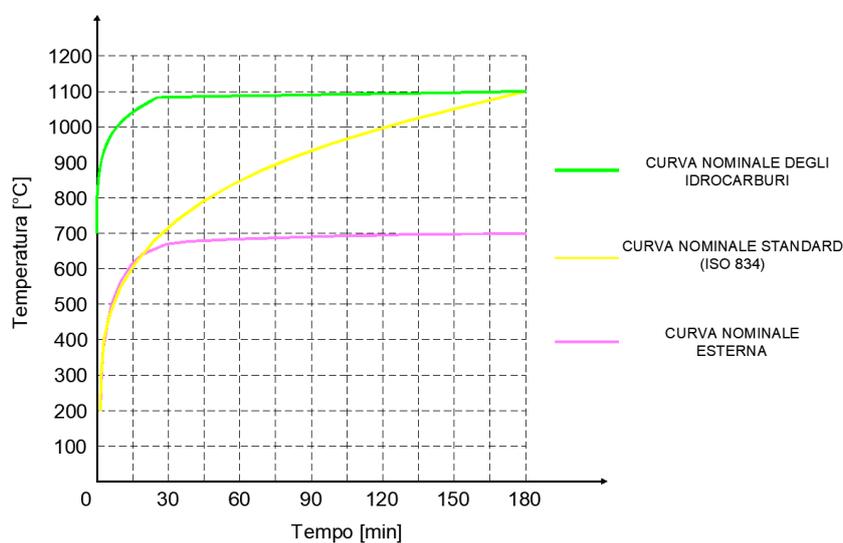


Figura 4.2. Curve nominali di incendio

Le curve naturali di incendio vengono utilizzate come riferimento per i progetti con approccio prestazionale e si possono ricavare attraverso i seguenti modelli di incendio:

- sperimentali;
- numerici semplificati;
- numerici avanzati.

4.1.3 Curva RHR

La curva RHR (Rate of Heat Released), tipica di un incendio di compartimento, rappresenta la curva di rilascio termico ed è la variazione della potenza di rilascio termico dovuta ad una reazione di combustione. Essa viene utilizzata quando si vuole svolgere una descrizione quantitativa dell'incendio ed è costruita in un grafico avente in ascissa il tempo, misurato in secondi, e in ordinata il rilascio termico, espresso in kW. Da segnalare che un incendio di

compartimento ha sempre una durata finita, a differenza di un incendio all'aperto che teoricamente potrebbe avere durata infinita. La *curva RHR* può non essere rappresentativa del caso reale, e quindi è responsabilità del progettista considerare soluzioni diverse come, ad esempio, adottare approcci più rigorosi.

I fattori che influenzano lo sviluppo di un incendio di compartimento sono:

- quantità e proprietà del combustibile;
- disponibilità della ventilazione;
- proprietà dei materiali, soprattutto resistenza e reazione al fuoco;
- presenza di protezioni attive o presidi di controllo.

Come evidenziato in Figura 4.3, si possono distinguere principalmente tre fasi:

- 1) iniziale, o di propagazione;
- 2) intermedia, o stazionaria;
- 3) finale, o di decadimento.

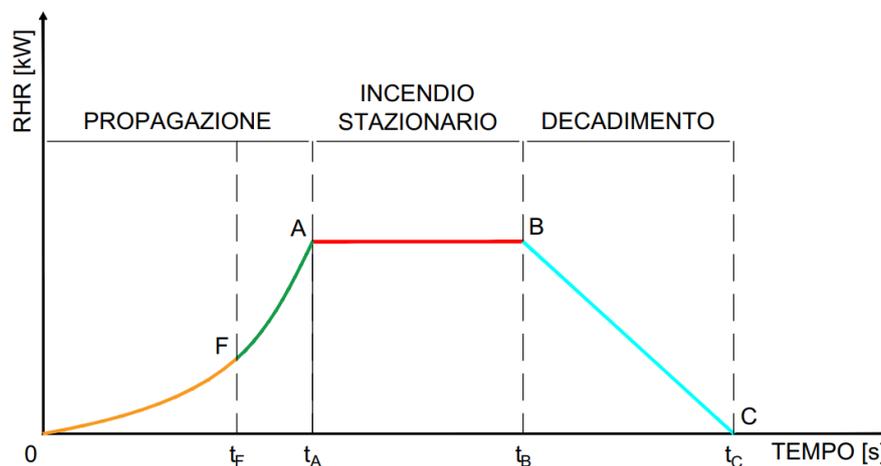


Figura 4.3. Fasi individuate dalla curva RHR

4.1.3.1 Fase di propagazione: 0-A

Nella fase iniziale, che è quasi sempre quella con durata minore, la potenza termica rilasciata dall'incendio ha un andamento quadratico descritto dall'equazione:

$$RHR(t) = 1000 \cdot \left(\frac{t}{t_\alpha}\right)^2 \quad t < t_A$$

dove:

- $RHR(t)$ [kW]: potenza termica rilasciata dall'incendio
- t [s]: tempo
- t_α [s]: tempo necessario affinché la potenza termica rilasciata raggiunga il valore di 1000 kW.

In letteratura è possibile trovare il valore t_a per diverse attività, e grazie ad esso si possono distinguere quattro tipologie di incendio così come indicato nella sezione G del Codice: lento, medio, rapido e ultra-rapido (Tabella 4.2).

Tabella 4.2. *Tipologie di incendio in base alla velocità del suo sviluppo*

Sviluppo dell'incendio	Esempio combustibile	Esempio scenario	t_a [s]	α [kW/s ²]
Lento	Oggetti solidi massicci (tavoli, armadi, ...)	Spazio aperto	600	$2.77 \cdot 10^{-3}$
Medio	Combustibile a bassa densità (poltrone imbottite, divani, ...)	Abitazione, locali di ospedali, aule, uffici, autorimesse	300	$11.11 \cdot 10^{-3}$
Rapido	Combustibile a bassa densità e piccola pezzatura (carta, scatole cartone, tessuti, ...)	Libreria, centro commerciale, teatro	150	$44.44 \cdot 10^{-3}$
Ultra-rapido	Liquidi infiammabili, altamente volatili		75	$177.77 \cdot 10^{-3}$

In questa fase avvengono l'innescò, dovuto ad una sorgente termica che riscalda il combustibile fino alla temperatura di ignizione, e la propagazione dell'incendio; essi sono funzione di:

- tipo di materiale combustibile;
- intensità dell'innescò;
- quantitativo del materiale combustibile;
- proprietà del materiale combustibile (infiammabilità/velocità di propagazione/combustione).

La durata della fase di innescò dipende da:

- caratteristiche superficiali del combustibile;
- contenuto di umidità, pezzatura e distribuzione spaziale del combustibile;
- grado di partecipazione all'incendio;
- velocità di decomposizione del combustibile.

In assenza di interventi di impianti di estinzione e se non vi è carenza di ossigeno (Figura 4.4), si arriva al punto di flashover, o incendio generalizzato. È fondamentale riuscire a stimarlo in fase di progettazione poiché, una volta superato, nel compartimento non sussistono più le condizioni compatibili con la sopravvivenza degli occupanti: se prima del flashover l'obiettivo

è l'esodo degli occupanti, dopo di esso l'obiettivo è interamente rivolto alla resistenza della struttura e alla salvaguardia dei beni.

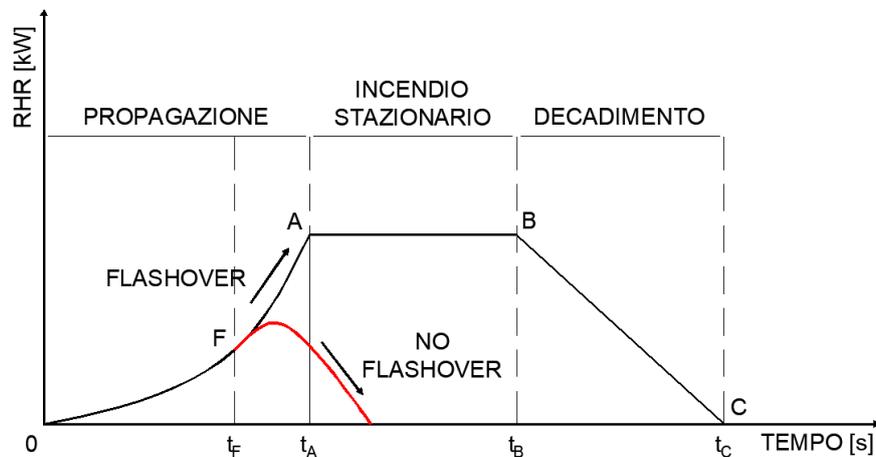


Figura 4.4. Scenari della curva RHR

Affinché avvenga il flashover devono coesistere le seguenti condizioni:

- quantità di combustibile sufficiente rispetto al volume di compartimento;
- presenza di una sufficiente ventilazione;
- partecipazione al fuoco di tutte le superfici;
- temperatura al soffitto di 600 °C;
- flusso termico nel compartimento pari ad almeno 20 kW/m².

Gli effetti del flashover sono essenzialmente un forte innalzamento della velocità di combustione, un elevato rilascio di calore, un innalzamento della temperatura e un'elevata produzione di fumo e di gas di combustione. Una volta accaduto il flashover, la curva continua a crescere con legge quadratica fino al valore RHR_{max} (massima potenza termica rilasciata).

4.1.3.2 Fase stazionaria: A-B

La seconda fase, detta stazionaria, è rappresentata nel grafico da un tratto di curva parallelo all'asse delle ascisse con $RHR = RHR_{max}$. Questa fase è governata principalmente dalla ventilazione.

Di seguito sono riportati due metodi per calcolare RHR_{max} :

- se l'incendio è all'aperto o in un edificio con elevata superficie di ventilazione, allora

$$RHR_{max} = RHR_f \cdot A_f \quad [\text{kW}]$$

dove:

- RHR_{max} [kW]: valore massimo della potenza termica;
- RHR_f [kW/m²]: massima potenza rilasciata per unità di superficie;

- A_f [m²]: superficie lorda del compartimento o superficie lorda effettivamente occupata dal combustibile.
- se l'incendio risulta limitato dal valore della superficie di ventilazione, allora RHR_{max} deve essere ridotto in conseguenza della quantità di comburente disponibile che può affluire dalle superfici di ventilazione presenti nella fase di post-flashover e se sono presenti solo aperture verticali allora $RHR_{max} = 0.1 \cdot m \cdot H_u \cdot A_v \cdot (h_{eq})^{0.5}$

dove:

- m [-]: fattore di partecipazione alla combustione;
- H_u [kJ/kg]: potere calorifico inferiore del legno pari a 17500 kJ/kg;
- A_v [m²]: area totale delle aperture verticali su tutte le pareti del compartimento;
- h_{eq} [m]: altezza equivalente delle aperture verticali.

4.1.3.3 Fase di decadimento: B-C

L'ultima fase della curva, avente un andamento lineare e descritta dall'equazione [xxxx](#), è quella che rappresenta il decadimento dell'incendio. Un'ipotesi accettata e ragionevole è che nelle fasi precedenti sia consumato il 70% dell'energia termica disponibile, e il rimanente 30% sia consumato in quest'ultima fase. Questo aspetto è possibile notarlo anche graficamente: l'area sottesa dalla curva sino al tempo t_b rappresenta il 70% dell'area totale.

Inoltre, vi è una progressiva diminuzione della temperatura media del compartimento, dovuta all'esaurimento del combustibile. La fase di decadimento si può considerare terminata quando la temperatura nel compartimento raggiunge i 200 °C.

$$RHR(t) = RHR_{max} \cdot \frac{t_c - t}{t_c - t_b} \quad \text{per } t_B \leq t \leq t_C$$

dove:

- t_c [s]: tempo a cui corrisponde una potenza termica rilasciata dall'incendio nulla.

4.1.3.4 Effetto della variazione della massa di combustibile

Esistono delle variazioni possibili rispetto alla curva vista fino ad ora e la prima è la variazione della massa di combustibile e di conseguenza del carico di incendio. All'aumentare del carico di incendio è possibile che la curva diventi quella rappresentata da 0 - A' - B' oppure 0 - A'' - B'' (Figura 4.5).

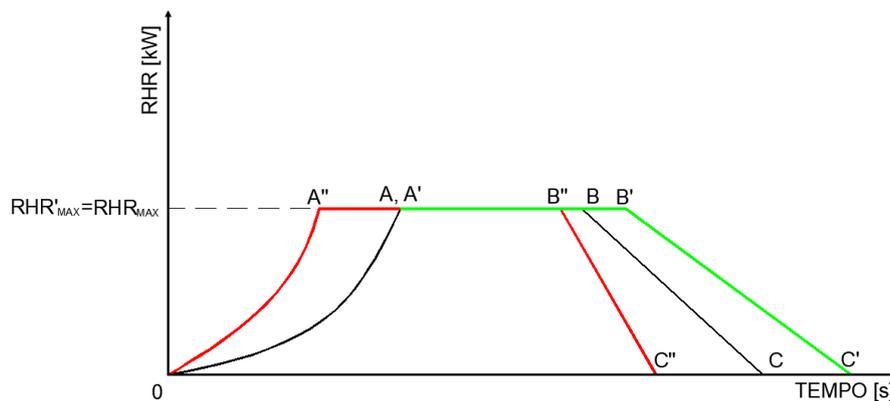


Figura 4.5. Effetto della variazione di combustibile sulla curva RHR

Una variazione della quantità di combustibile può incidere sulla durata totale dell'incendio e/o delle singole fasi. Nella figura sopra riportata, la curva rossa potrebbe essere l'unica che comprende il fenomeno del flashover. Da sottolineare che il valore RHR_{\max} non varia perché è legato solamente alla ventilazione.

4.1.3.5 Effetto della variazione della superficie di ventilazione

Un'altra variazione può essere rappresentata da una maggiore ventilazione che fa crescere la massima temperatura raggiunta del locale ma diminuire la durata dello scenario (Figura 4.6).

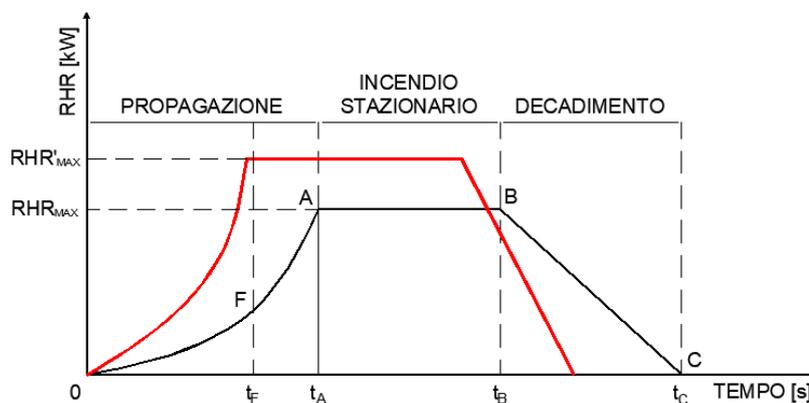


Figura 4.6. Effetto della variazione della superficie di ventilazione sulla curva RHR

4.1.3.6 Effetto dei sistemi di protezione attiva

Esiste la possibilità che nel compartimento ci sia un sistema di controllo dell'incendio di tipo automatico (es. impianto sprinkler): tale misura modifica la curva, in particolare $RHR(t)$ non raggiunge il valore massimo RHR_{\max} ma può ritenersi costante e pari al valore $RHR(t_x)$ raggiunto all'istante di entrata in funzione dell'impianto automatico. Tale valore permane per un intervallo di tempo pari alla durata di alimentazione prevista per l'impianto.

Se invece è presente un sistema automatico di estinzione completa dell'incendio (es. ESFR), l'andamento della curva dovrà essere valutato caso per caso.

È importante far notare che l'intervento manuale effettuato dalle squadre antincendio non può essere considerato in fase progettuale ai fini della modifica dell'andamento della potenza termica emessa. Dalla Figura 4.7 si può notare chiaramente che un impianto di estinzione con inerte (ad es. anidride carbonica o azoto) è generalmente più efficace di un impianto con erogazione di acqua.

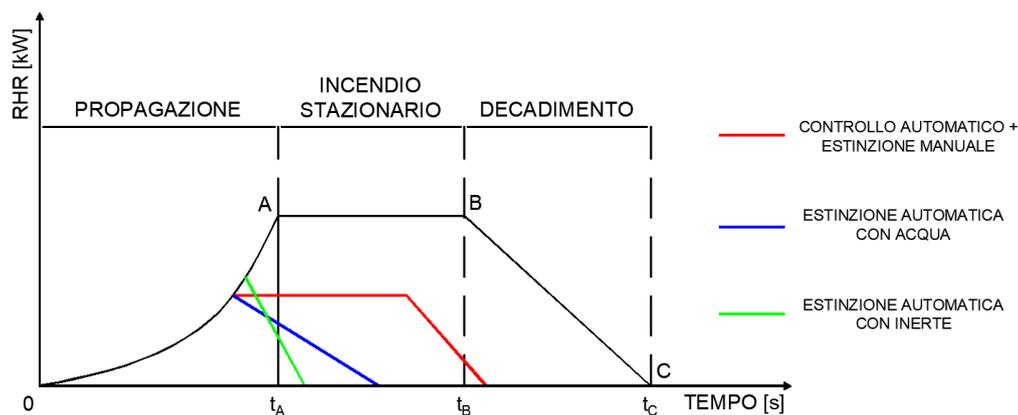


Figura 4.7. Effetto delle protezioni attive sulla curva RHR

4.1.4 Combustione materie plastiche

Come visto nel primo capitolo, la plastica presente nei rifiuti rappresenta una percentuale importante sul totale e per questo motivo è utile approfondire le caratteristiche delle materie plastiche maggiormente diffuse.

Le plastiche, che sono materiali organici aventi un elevato peso molecolare, possono essere costituite da polimeri puri o miscelati di cui la maggior parte sono composti da monomeri derivanti dal petrolio. Nella Tabella 4.3 sono presenti le materie plastiche e le loro caratteristiche principali.

Tabella 4.3. Matrici plastiche e loro principali caratteristiche

Materia plastica	Descrizione
PVC	<p>Il Polivinilcloruro è molto utilizzato perché a seconda degli additivi può variare le sue proprietà e quindi essere utilizzato in più settori. Può essere rigido o tenace, ma è molto sensibile alla luce e al calore.</p> <p>Formula chimica: $(C_2H_3Cl)_n$</p> <p>Settori di utilizzo: tubi per edilizia, profili di infissi, flaconi per imballaggio, cavi elettrici, pellicola, dischi in vinile, guaine e teloni, attrezzature sportive.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p>Densità: 1.37-1.43 g/cm³ Temperatura di fusione: 185-195 °C Temperatura di autoignizione: 600 °C Temperatura di infiammabilità: 390 °C Potere calorifico: 20 MJ/kg Prodotti di combustione: HCl, acido cloridrico</p>
PP	<p>Il Polipropilene è il secondo materiale più utilizzato dopo il Polietilene ed è un polimero termoplastico. Possiede un elevato carico a rottura, elevata duttilità, bassa densità, ottima resistenza termica. Il PP risulta permeabile alla CO₂, e non resiste all'ossidazione ad elevate temperature, a differenza del PE.</p> <p>Formula chimica: $(C_3H_6)_n$</p> <p>Settori di utilizzo: automotive, elettrodomestici, giardinaggio, tappi.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p>Densità: 0.85-0.9 g/cm³ Temperatura di fusione: 165-175 °C Temperatura di infiammabilità: 320 °C Potere calorifico: 45 MJ/kg Prodotti della combustione: CO e CO₂</p>

Materia plastica	Descrizione
<p>PE</p>	<p>Il Polietilene è molto leggero e rappresenta il 40% del volume totale di materie plastiche prodotte nel mondo. È una resina termoplastica, possiede un'elevata resistenza agli agenti chimici e non assorbe acqua. È molto utilizzato per il suo costo ridotto e per la versatilità. È atossico e assorbe ridotte quantità d'acqua, proprietà che lo rendono adatto al settore alimentare; inoltre ha un'ottima resistenza agli urti.</p> <p>Formula chimica: $(C_2H_4)_n$</p> <p>Settori di utilizzo: meccanico, chimico, elettrico, alimentare.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p>Densità: 0.88-0.96 g/cm³ Temperatura di fusione: 115-140 °C Temperatura autoignizione: 330-410 °C Temperatura di infiammabilità: 341 °C Potere calorifico: 46 MJ/kg Prodotti di combustione: idrocarburi ciclici e aromatici; CO e CO₂</p>
<p>PS</p>	<p>Il Polistirene è un polimero termoplastico ed è inerte rispetto a molti agenti corrosivi. Possiede una buona resistenza agli urti e un discreto potere coibentante.</p> <p>Formula chimica: $(C_8H_8)_n$</p> <p>Settori di utilizzo: alimentare, contenitori di CD e DVD.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p>Densità: 1.05 g/cm³ Temperatura di rammollimento: 70-100 °C Temperatura di autoignizione: 427 °C Temperatura di infiammabilità: 345-360 °C Potere calorifico: 41 MJ/kg Prodotti di combustione: acido benzoico, fenoli, CO e CO₂.</p>

Materia plastica	Descrizione
<p>PET</p>	<p>Il Polietilen-tereftalato è un polimero termoplastico appartenente ai poliesteri. Possiede un'eccellente resistenza chimica e proprietà di barriera, buona solidità, rigidità, resistenza all'usura. È inoltre sensibile all'umidità a temperature elevate ma è dotato di grande resistenza al calore.</p> <p>Formula chimica: $(C_{10}H_8O_4)_n$</p> <p>Settori di utilizzo: automotive, imbottigliamento, vaschette alimentari.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p>È il polimero plastico più riciclato.</p> <p>Densità: 1.3-1.4 g/cm³</p> <p>Temperatura di fusione: 245-265 °C</p> <p>Temperatura di autoignizione: 407 °C</p> <p>Potere calorifico: 18-25 MJ/kg</p> <p>Prodotti di combustione: acido benzoico, acetaldeide, CO₂</p>

Parlando di materie plastiche è importante distinguere i polimeri termoindurenti e i polimeri termoplastici. I primi, se riscaldati, subiscono variazioni permanenti: una volta realizzato un oggetto, se sottoposto ad alte temperature prossime a quella di fusione carbonizza senza cambiare forma e senza bruciare. I polimeri termoindurenti più comuni sono il poliuretano, il polifenolo e politetrafluoroetilene.

I polimeri termoplastici possono essere riscaldati e lavorati più volte, e quelli usati più frequentemente sono Polietilene, Polipropilene e Polistirene.

4.2 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. Più precisamente si è fatto ricorso all'utilizzo di PyroSim, che è un programma che riproduce gli scenari di incendio in funzione dei parametri di interesse. PyroSim si serve di un'intuitiva interfaccia grafica e al contrario di FDS non necessita di un file con righe di comando che può risultare di più difficile stesura; in PyroSim si può creare la geometria direttamente nello spazio di lavoro che automaticamente viene convertita nel file con le righe di comando che può essere copiato in altri programmi se si desidera approfondire ulteriori tematiche.



Figura 4.8. Logo del software PyroSim

Un aspetto fondamentale per la corretta realizzazione di uno scenario di incendio è la scelta del grado di dettaglio che in questo programma è legato alla grandezza della mesh (Figura 4.9). Tale scelta è funzione della geometria che si vuole studiare ma bisogna tenere in considerazione che riducendo la mesh di un fattore due, il tempo di computazione aumenterà di un fattore sedici. Una soluzione spesso adottata è impostare una mesh di dimensioni più piccole nell'intorno del focolare, aumentando le dimensioni via via che ci si allontana da esso.

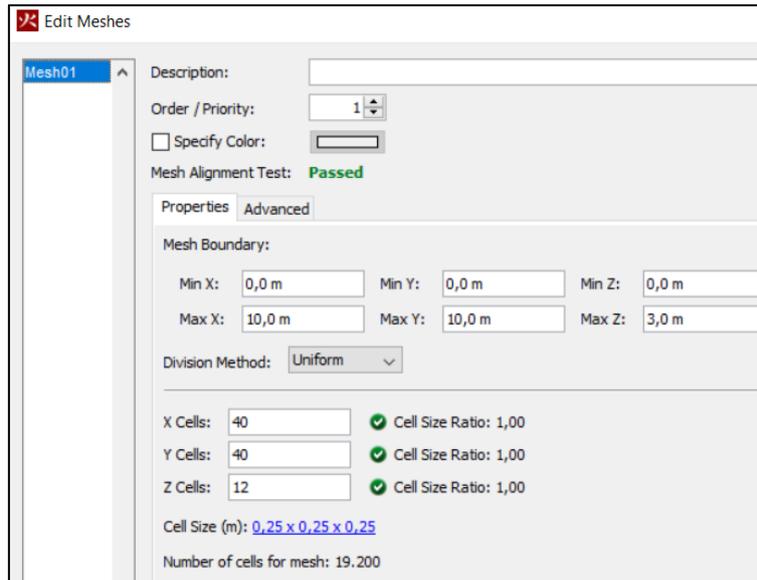


Figura 4.9. Finestra per impostare la mesh

Un altro parametro che influenza il tempo di computazione è la durata dell'evento (Figura 4.10), che può essere facilmente impostato dalla *Navigation View*: maggiore è il valore di *End Time* e maggiore è il tempo di computazione.

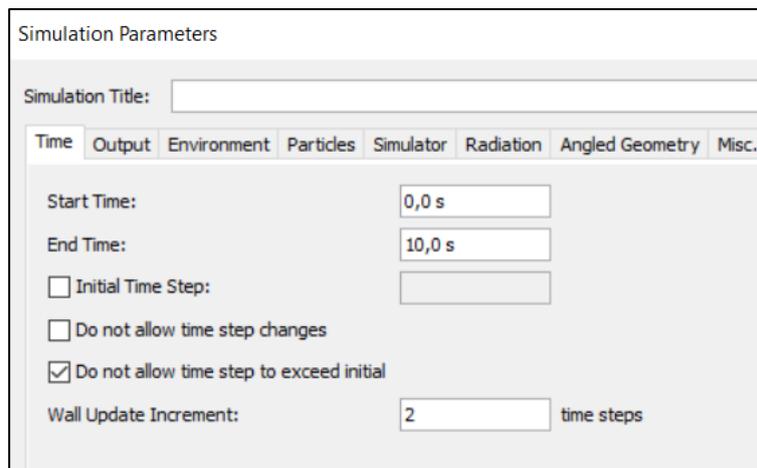


Figura 4.10. Finestra per impostare la durata della simulazione

PyroSim risulta essere molto comodo perché è possibile importare file salvati con altre estensioni; ad esempio, si possono importare le geometrie create utilizzando il programma AutoCAD che possono essere successivamente modificate con i comandi presenti in PyroSim. Una volta creata la geometria bisogna assegnare le proprietà ai solidi utilizzando i materiali già presenti nella *library* oppure creandone di nuovi. Se si opta per la seconda opzione, è necessario definire diverse proprietà che caratterizzano il materiale come la densità, il calore specifico, l'emissività ed altre ancora (Figura 4.11).

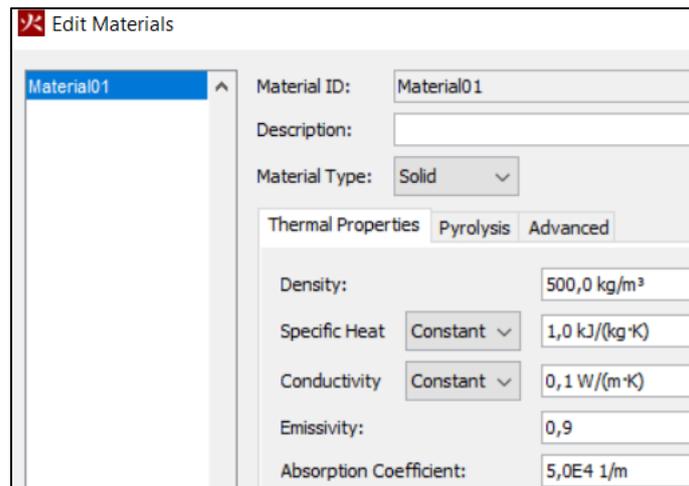


Figura 4.11. Finestra per impostare le proprietà di un materiale

Le *surfaces* sono utilizzate per definire le proprietà degli oggetti e delle aperture; nel programma ne sono presenti sei elementari (Figura 4.12):

- Adiabatic: non c'è trasferimento di calore dal gas al solido;
- Inert: la temperatura rimane costante e uguale a quella ambiente;
- Mirror: è usata solamente per le aperture del perimetro esterno della mesh e serve ad invertire il flusso;
- Open: è usata solamente per le aperture del perimetro esterno della mesh ed è solitamente utilizzata per definire le porte e le finestre;
- Periodic: è usata solamente per le aperture del perimetro esterno della mesh per approssimare un sistema infinitamente grande;
- HVAC: utilizzata solo per le superfici che fanno parte di un sistema HVAC.

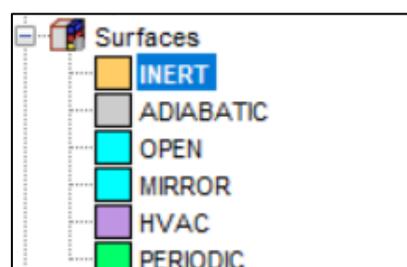


Figura 4.12. Tipologie di surfaces elementari

È poi possibile definire altri otto tipi di *surfaces* utili a caratterizzare in modo più accurato il focolare e gli altri oggetti: *Air Leak*, *Basic*, *Burner*, *Exhaust*, *General Surface*, *Heater/Cooler*, *Layered*, *Supply* (Figura 4.13).

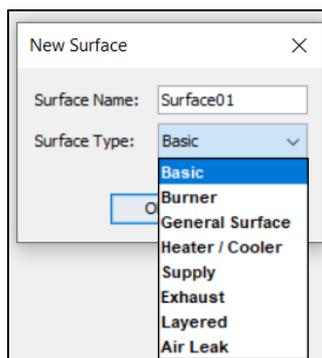


Figura 4.13. Tipologie di surfaces

Per definire correttamente il processo di combustione è necessario fare uso della finestra *Reactions* che permette di scegliere tra una reazione semplice oppure complessa; per quest'ultima devono essere definiti tutti i parametri fondamentali che caratterizzano la reazione di combustione come la temperatura di ignizione, la temperatura critica di fiamma, l'energia rilasciata e il calore di combustione.

Altri parametri riguardanti la combustione si possono impostare nei comandi riguardanti le superfici, soprattutto se si decide di utilizzare *Burner* e *Heater/Cooler*. La prima è solitamente scelta se si vuole definire un processo di pirolisi attraverso il parametro *Heat Release Rate Per Unit Area* (Figura 4.14); si può anche definire la legge che governa la velocità di crescita della combustione che può essere lineare, quadratica oppure definita analiticamente.

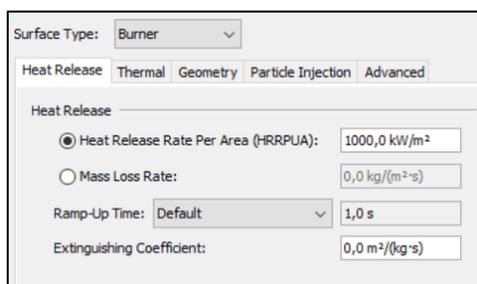


Figura 4.14. Impostazioni di surface Burner

PyroSim offre la possibilità di inserire diverse tipologie di sensori, di impianti di rilevazione e spegnimento dell'incendio. Per ognuno di essi si può fissare l'istante di attivazione e spegnimento; inoltre, si possono creare delle "logiche di comando" tra dispositivi differenti, ad esempio si può impostare che un impianto di spegnimento sia attivato nel momento in cui un sensore rileva il valore di un certo parametro. In Figura 4.15 è presente una lista parziale dei dispositivi che possono essere impostati in una simulazione.

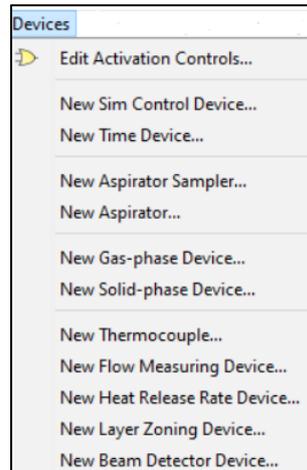


Figura 4.15. Lista di devices

Prima di “lanciare” la simulazione bisogna impostare le grandezze delle quali si vuole avere un valore di output. La loro lista è molto lunga ed esaustiva e comprende temperatura, velocità, densità, visibilità, calore specifico. Inoltre, gli output sono facilmente visualizzabili (Figura 4.16) graficamente (in 2D o 3D) nel file contenente i risultati dell’analisi.

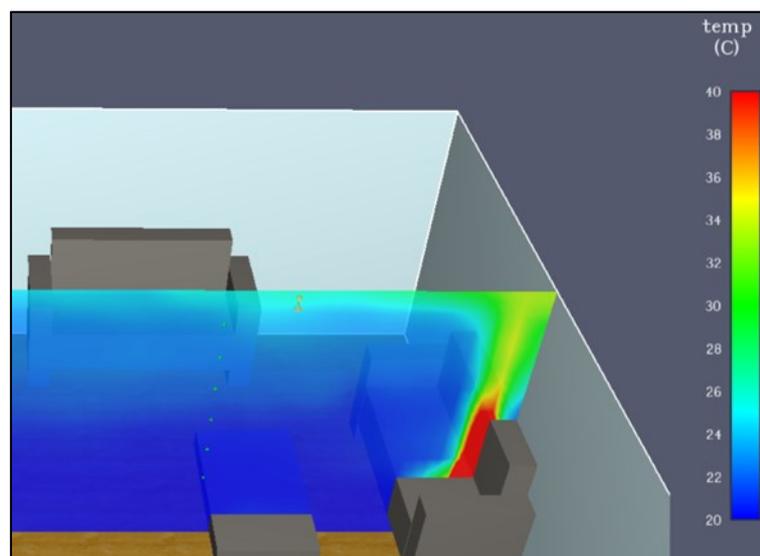


Figura 4.16. Esempio di output di una simulazione

4.3 Scenari di incendio

Le simulazioni in PyroSim sono state svolte assumendo alcune ipotesi e semplificazioni, necessarie per ottenere dei risultati attendibili in tempi ragionevoli.

Innanzitutto, è stato utilizzato un focolare predefinito così come previsto dalla sezione M del Codice di prevenzione incendi, i cui parametri sono riportati nella Tabella 4.4. Questa scelta è dettata dal fatto che la composizione dei rifiuti può essere varia e, anche se in letteratura esistono

alcuni studi sulla curva di incendio, si è preferito utilizzare quella del Codice. Analizzando la velocità caratteristica dell'incendio, pari a 75 secondi, è chiaro che il focolare ha uno sviluppo ultra-rapido (sezione G del Codice); il valore di RHR è stato posto uguale a 1000 kW/m².

Tabella 4.4. Parametri del focolare predefinito dal Codice

Parametro	Attività non civili
Velocità caratteristica di crescita dell'incendio $\tau\alpha$	75 s
RHR _{max} totale	50 MW
RHR _{max} per m ² di superficie di focolare	500-1000 kW/m ²
Resa in particolato Y_{soot}	Pre flashover: 0.18 kg/kg Post flashover: 0.36 kg/kg
Resa in monossido di carbonio Y_{CO}	Pre flashover: 0.10 kg/kg Post flashover: 0.40 kg/kg
Calore di combustione effettivo ΔH_c	20 MJ/kg
Resa di biossido di carbonio Y_{CO_2}	1.5 kg/kg
Resa in acqua $Y_{\text{H}_2\text{O}}$	0.82 kg/kg
Frazione di RHR in irraggiamento	35%

In particolare, le proprietà del focolare sono state assegnate alla sola faccia superiore della *obstruction*, mantenendo le altre come *inert surfaces* (Figura 4.17).

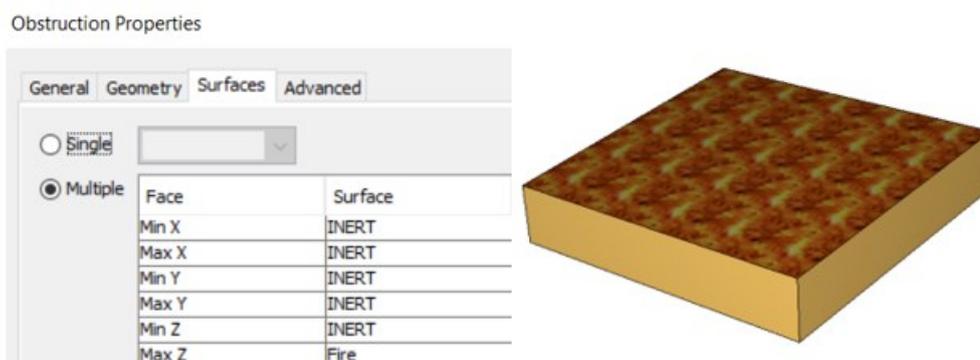


Figura 4.17. Esempio di focolare creato con una *obstruction*

Alla *mesh* è stata assegnata una dimensione minore vicino al focolare, e più grande nelle altre zone, questo per ottenere risultati più accurati dove è necessario maggiore dettaglio e meno precisi distante dal focolare dove anche gli output risultano essere di minor interesse ai fini dell'analisi: le dimensioni scelte sono state 0.25 m, 0.5 m e 1 m. Bisogna sottolineare che queste

dimensioni tengono in considerazione che il volume da analizzare è di diverse centinaia di metri cubi; in simulazioni con volumi inferiori è consigliato utilizzare un grado di dettaglio maggiore. Le geometrie degli edifici sono state costruite in AutoCAD e successivamente importate in PyroSim; i modelli sono quelli presentati al §2.5, quindi fabbricati con un unico compartimento e con piante rettangolari con altezze, larghezze, e tipologie di coperture differenti.

Date le considerazioni svolte al §2.2, l'output che si è deciso di indagare è stato principalmente la temperatura in relazione al tempo trascorso dall'innesco. Questo è stato scelto perché è un parametro importante legato alla resistenza di un edificio, soprattutto se la struttura portante è in acciaio, materiale vulnerabile alle alte temperature. La misurazione è stata ottenuta con l'inserimento di piani 2D (*planar slices*), di volumi 3D *slice* e di *devices* puntuali. La durata dell'evento è stata posta uguale a 480 secondi, tempo che permette il pieno sviluppo dell'incendio. Infine, le coordinate che vengono utilizzate nel riportare i risultati degli scenari sono quelle mostrate in Figura 4.18 e Figura 4.19: l'altezza corrisponde alla *slice Z*, il lato corto alla *slice X* e il lato lungo alla *slice Y*.

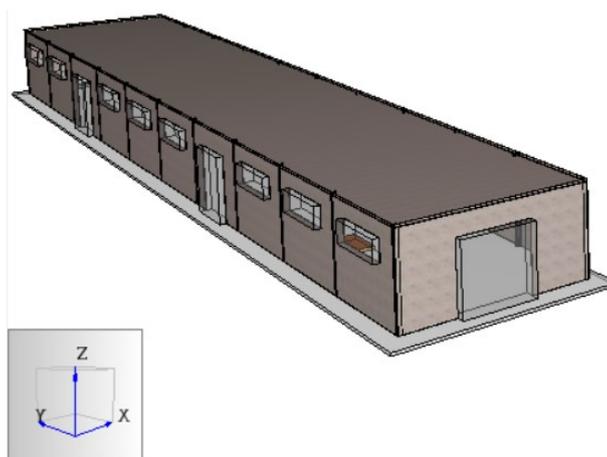


Figura 4.18. Orientamento degli assi nelle simulazioni

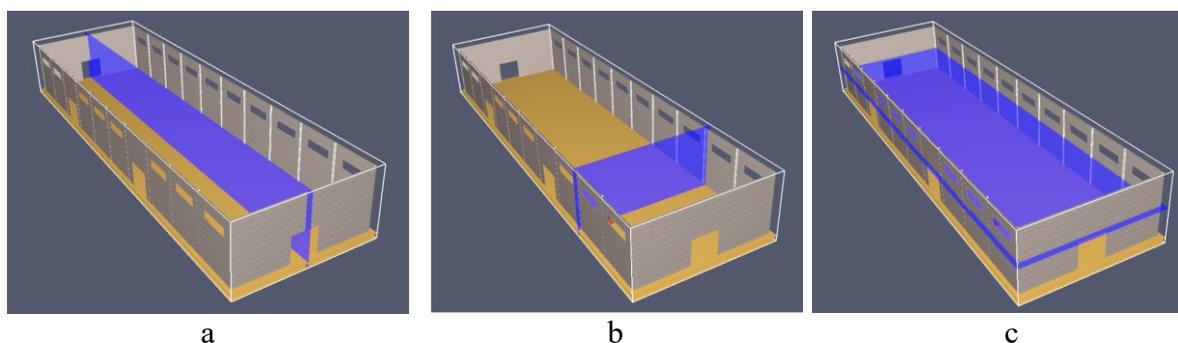
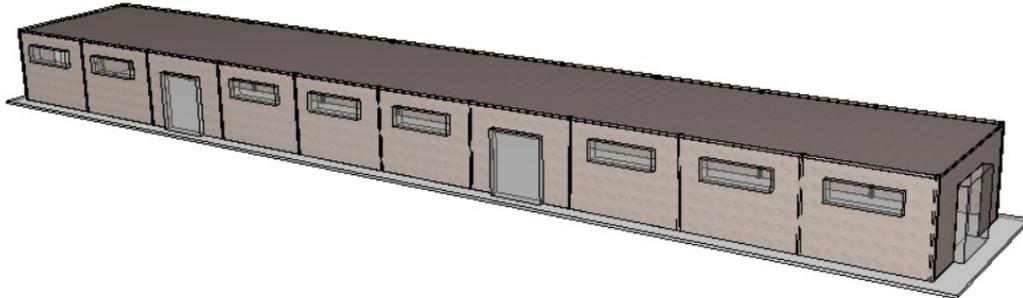


Figura 4.19. Esempio di slice X (a), Y (b) e Z (c)

4.3.1 Scenario 1

Nello scenario 1 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza libera
Piana	15 m	8 m

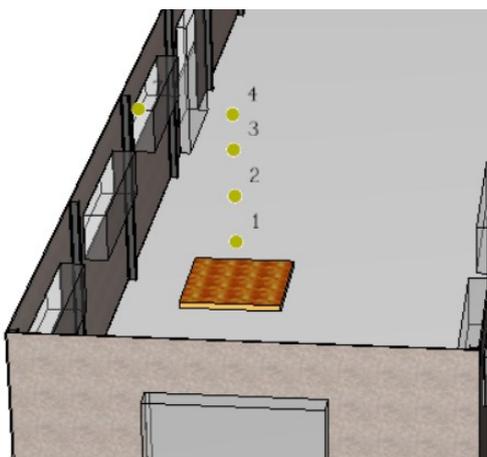


Le *slices* più significative sono così posizionate:

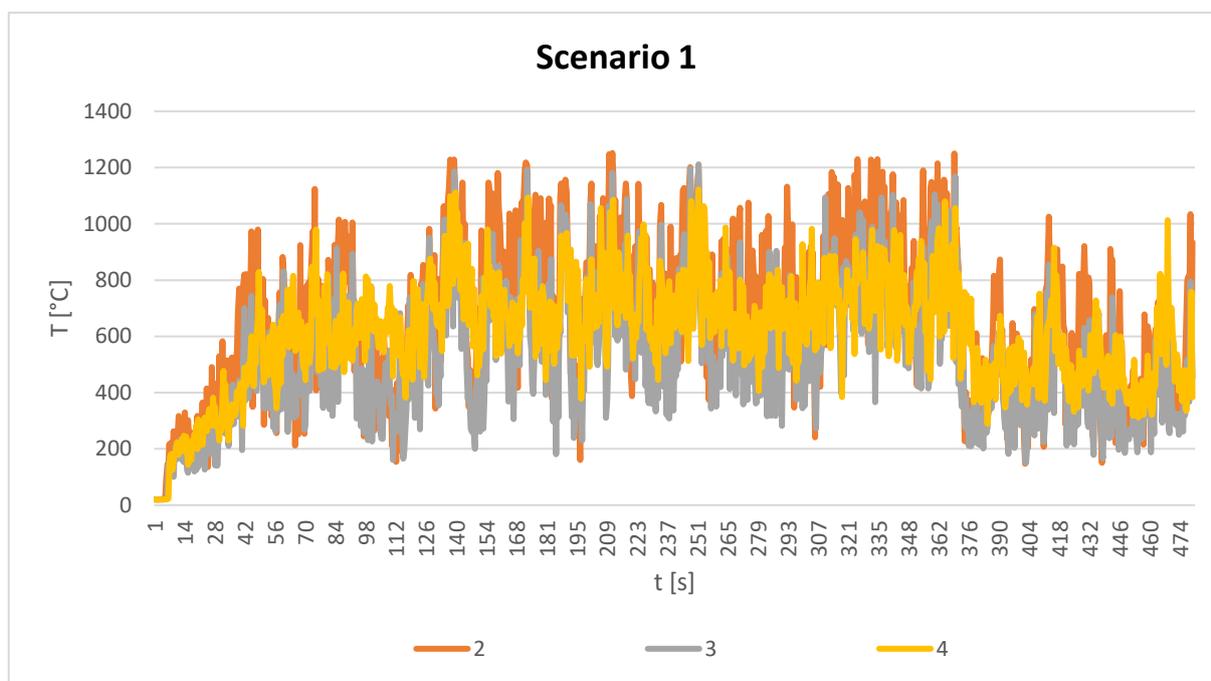
Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 4	10 s	18 s	20 s
Z = 5	13 s	19 s	23 s
Z = 6	14 s	20 s	28 s
Z = 7	19 s	26 s	37 s
Z = 8	43 s	48 s	75 s
X = 1 Muro lato lungo	45 s	57 s	92 s

I *devices* più significativi sono così posizionati:

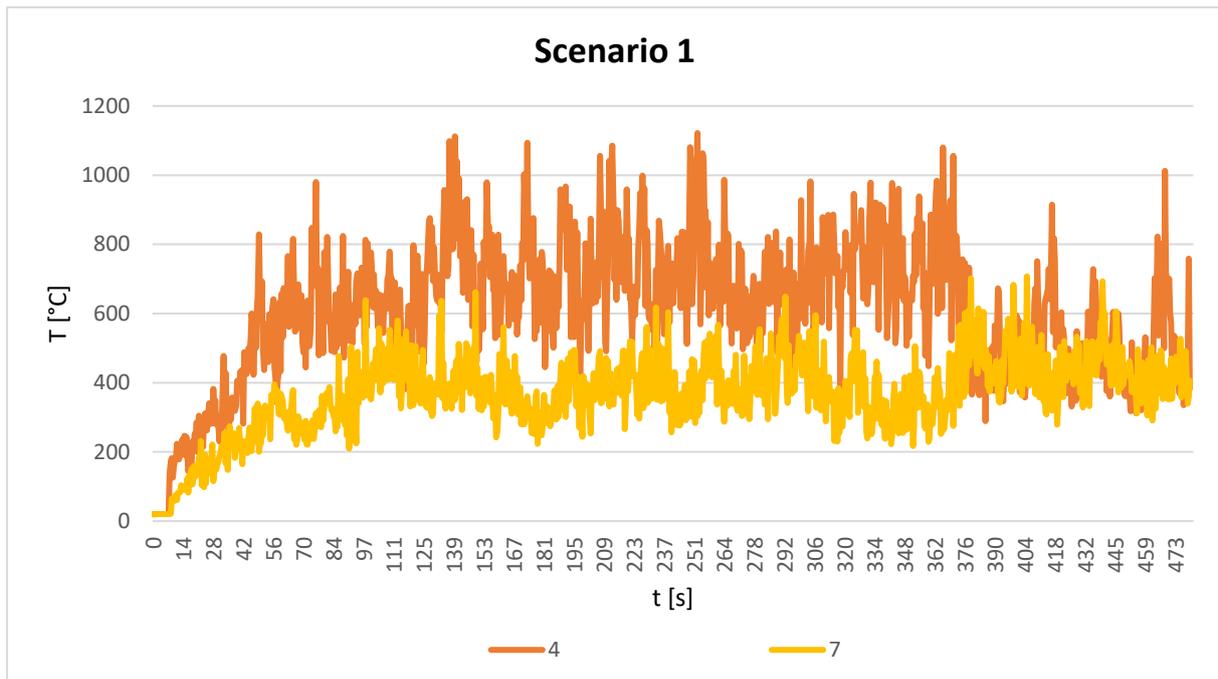
Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
2	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	4
3	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	6
4	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	7.5
7	Muro lato lungo	Mezzeria focolare	7.5



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:



I tre dispositivi sono posizionati verticalmente uno sopra l'altro (l'unica coordinata che varia è la Z), in particolare il dispositivo '2', che è quello con la Z inferiore, ha una maggiore variazione di temperatura rispetto agli altri: il range di temperatura risulta essere minore all'aumentare dell'altezza.

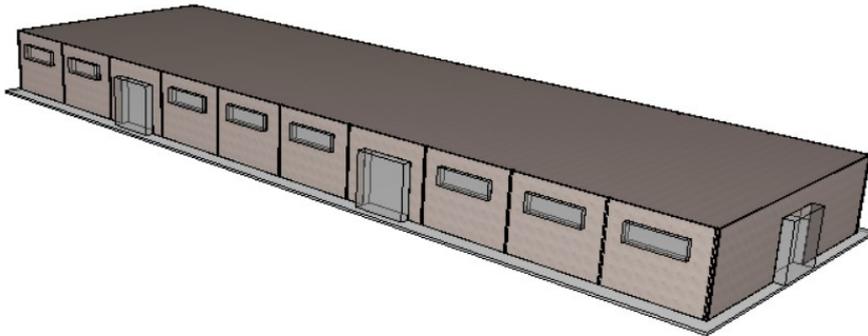


I dispositivi '4' e '7' hanno la medesima coordinata Z e Y, mentre varia la X: il '4' è collocato esattamente al di sopra del focolare mentre il '7' è spostato lateralmente di alcuni metri e posizionato vicino al muro posto sul lato lungo. La temperatura registrata da '7' risulta essere sempre maggiore rispetto a '4', data la posizione più vicina alla fonte di calore. Il dispositivo '4' registra comunque un range di temperature elevato, tra i 200 °C e 500 °C, con picchi che superano i 600 °C.

4.3.2 Scenario 2

Nello scenario 2 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza libera
Piana	30 m	8 m

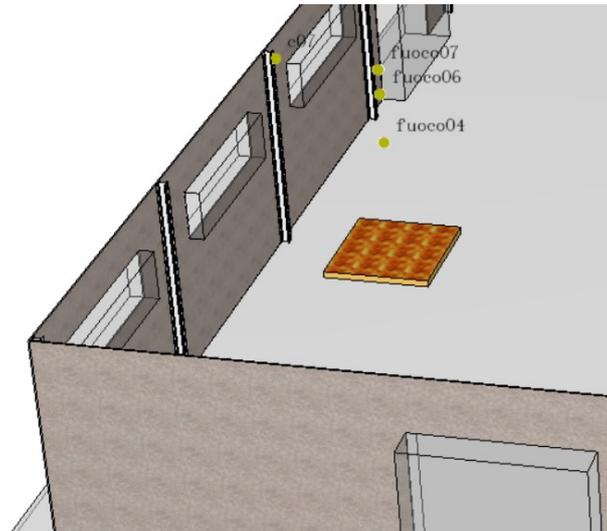


Le *slices* più significative sono così posizionate:

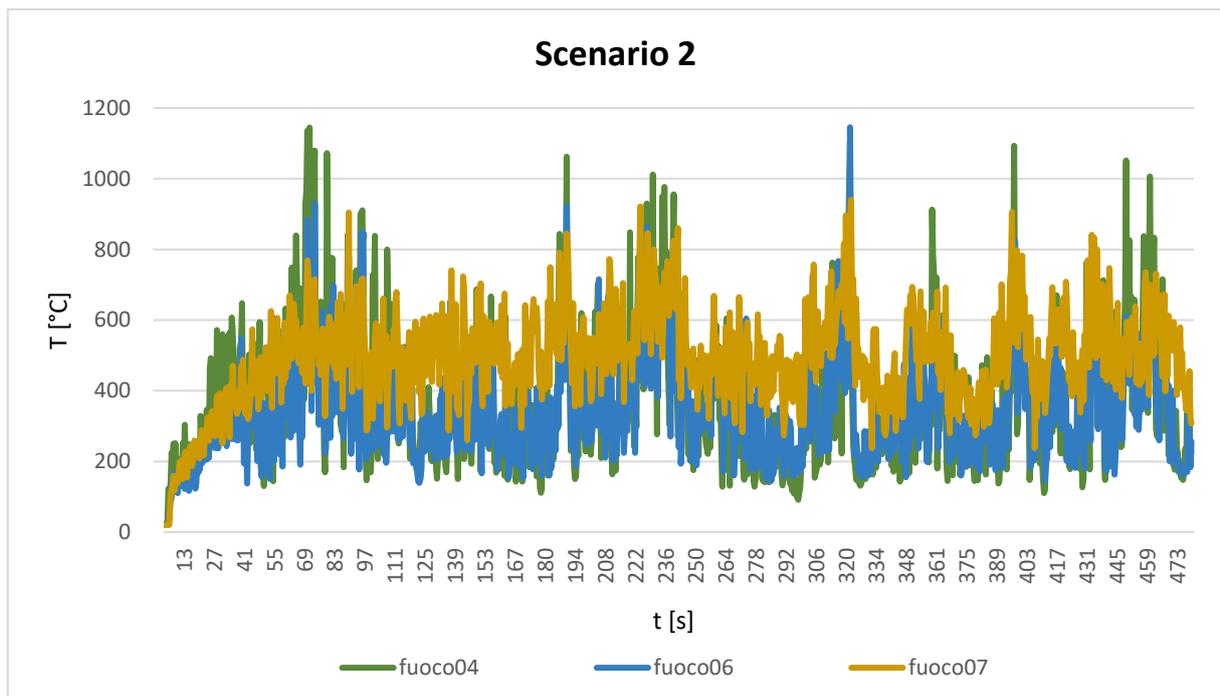
Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 4	11 s	15 s	18 s
Z = 6	13 s	21 s	30 s
Z = 7	17 s	27 s	35 s
Z = 8	19 s	29 s	37 s
X = 1 Muro lato lungo	44 s	65 s	76 s

I *devices* più significativi sono così posizionati:

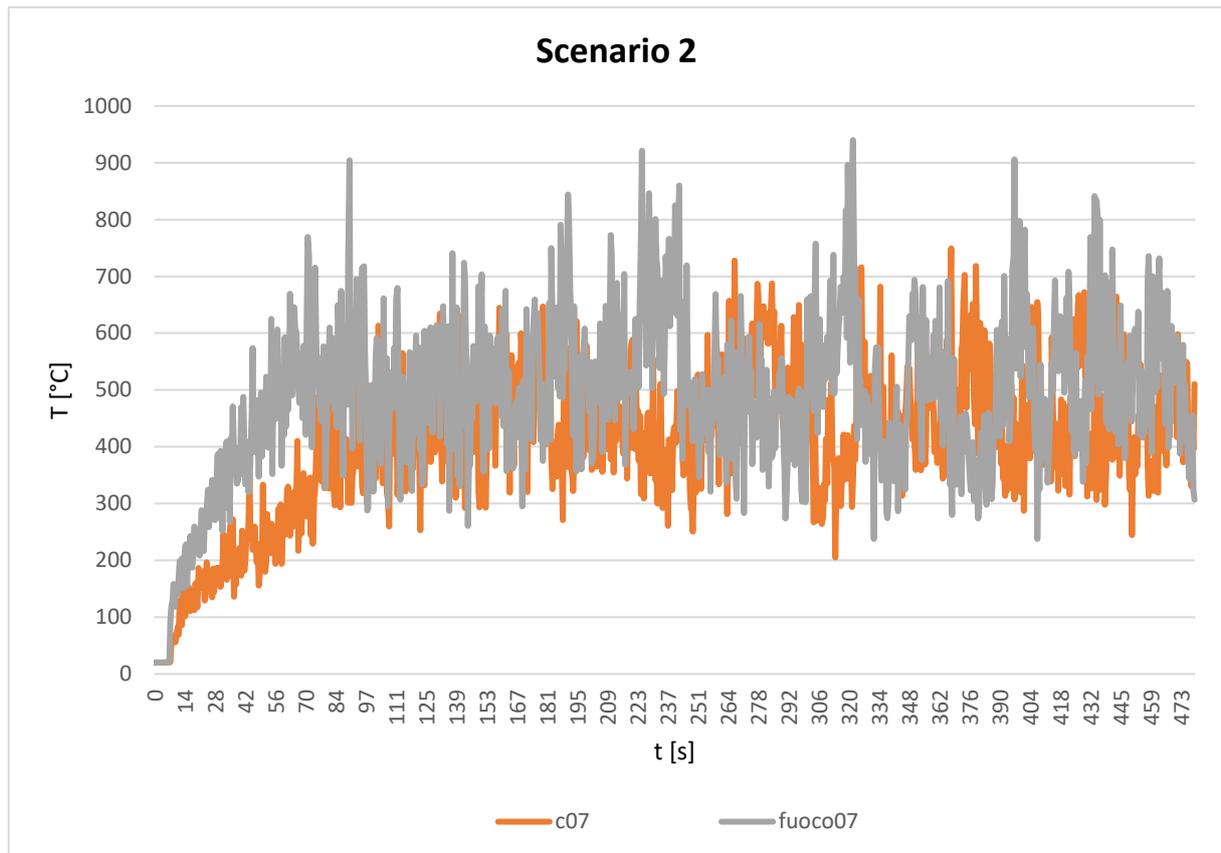
Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
fuoco04	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	5
fuoco06	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	7
fuoco07	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	8
c07	Muro lato lungo	Mezzeria focolare	8



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:



I dispositivi 'fuoco04', 'fuoco06' e 'fuoco07' sono posizionati sopra al focolare e l'unica coordinata che li differenzia è la Z: il primo è quello con Z inferiore e l'ultimo quello con Z maggiore e più vicino alla copertura. Il dispositivo posto più in alto è quello con la variazione di temperatura minore, mentre quello più vicino al focolare registra temperature più elevate e un andamento meno regolare.

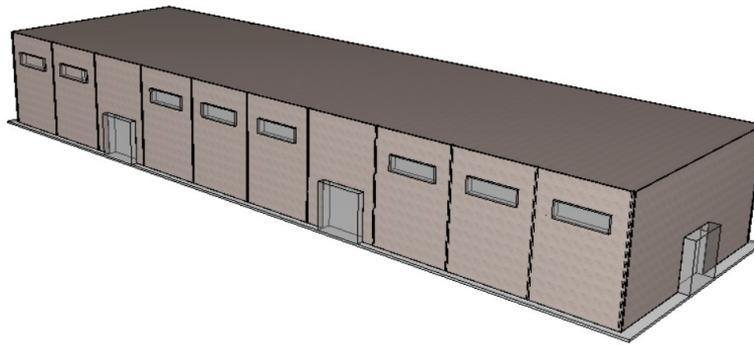


Il dispositivo 'fuoco07' è posto 8 metri sopra il focolare, mentre il dispositivo 'c07' si trova alla medesima altezza ma spostato lateralmente di alcuni metri e posizionato vicino al muro posto sul lato lungo. La temperatura registrata da 'fuoco07' risulta essere quasi sempre maggiore rispetto a 'c07', data la posizione più vicina alla fonte di calore. Il dispositivo 'c07' registra comunque un range di temperature elevato, tra i 300 °C e 600 °C, con picchi che superano i 700 °C.

4.3.3 Scenario 3

Nello scenario 3 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza libera
Piana	30 m	14 m



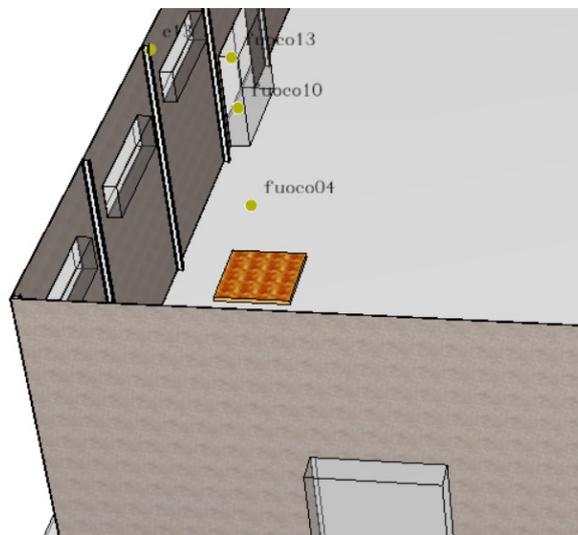
Le *slices* più significative sono così posizionate:

Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 5	13 s	20 s	29 s
Z = 7	19 s	31 s	47 s
Z = 9	31 s	39 s	64 s
Z = 11	43 s	71 s	> 100 s
Z = 13	45 s	75 s	> 100 s
Z = 13.5	47 s	78 s	> 100 s
X = 1.5 Muto lato lungo	82 s	-	-

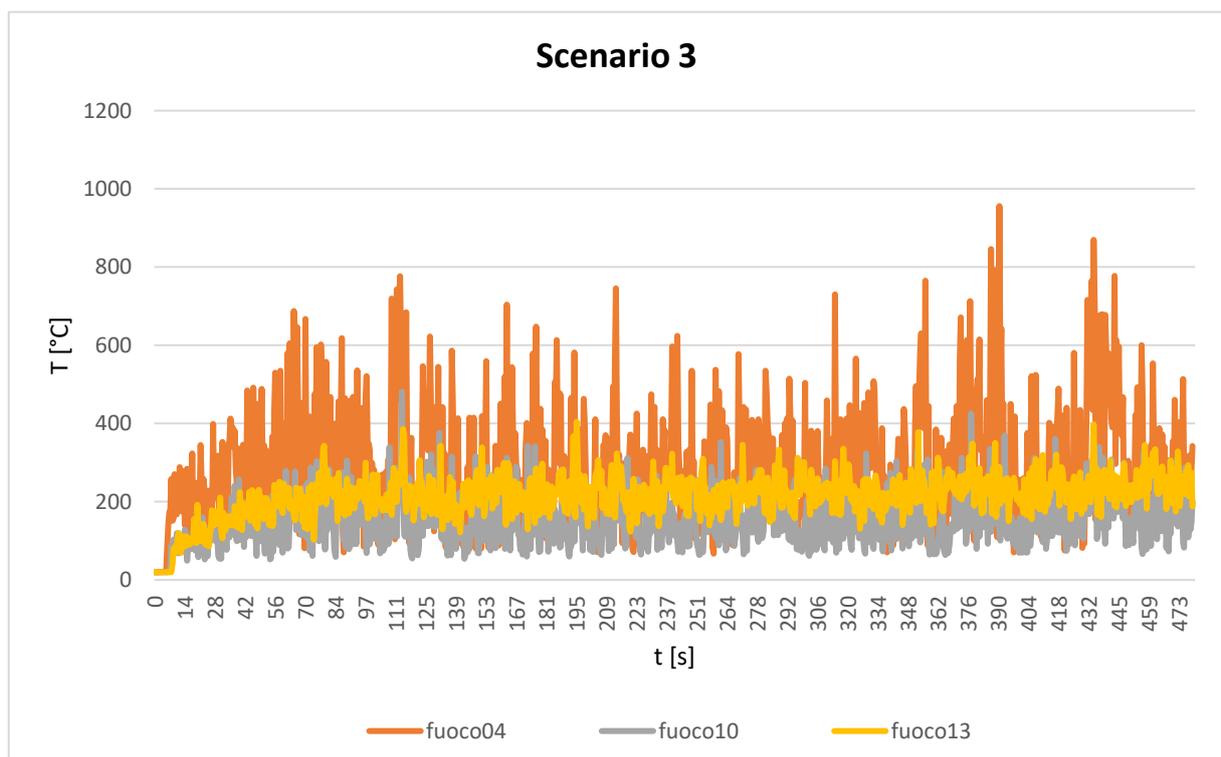
I *devices* più significativi sono così posizionati:

Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
fuoco04	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	5
fuoco10	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	11
fuoco13	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	14

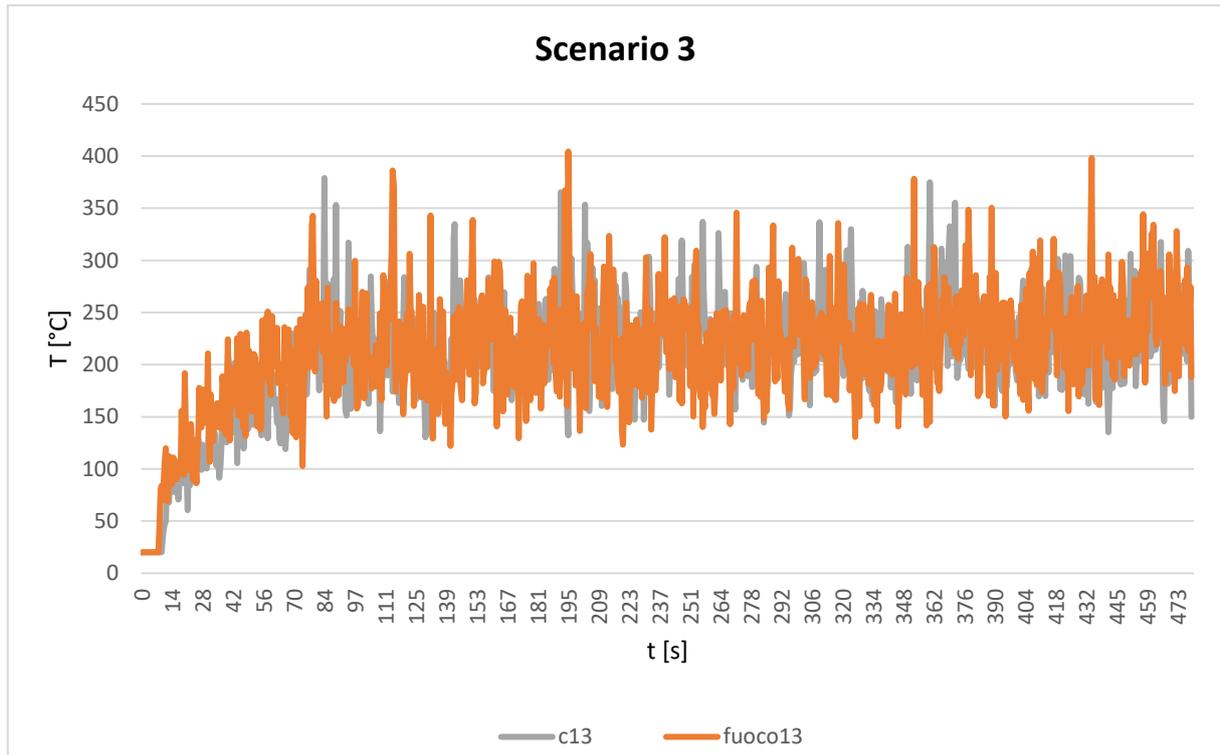
c13	Muro lato lungo	Mezzeria focolare	14
-----	-----------------	-------------------	----



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:



I dispositivi 'fuoco04', 'fuoco10' e 'fuoco13' sono posizionati sopra al focolare e l'unica coordinata che li differenzia è la Z: il primo è quello con Z inferiore (5 m) e l'ultimo quello con Z maggiore (14 m) e più vicino alla copertura. Il dispositivo posto più in alto è quello con la variazione di temperatura minore che si assesta attorno ai 200 °C, mentre quello più vicino al focolare registra temperature più elevate (con picchi che superano gli 800 °C) e un andamento meno regolare.

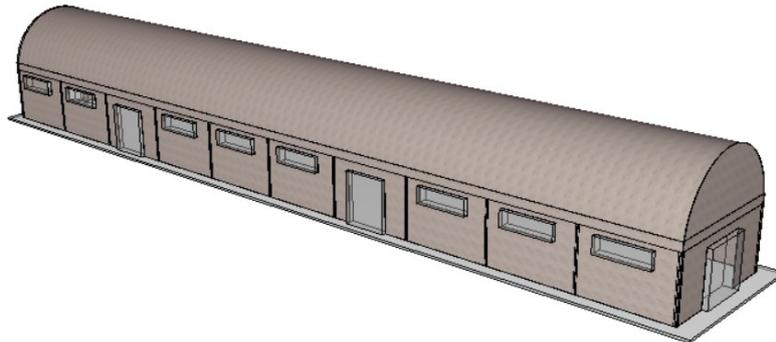


Il dispositivo 'fuoco13' è posto 14 metri sopra il focolare, mentre il dispositivo 'c13' si trova alla medesima altezza ma spostato lateralmente di alcuni metri e posizionato vicino al muro posto sul lato lungo. La temperatura registrata dai due dispositivi non si differenzia come negli scenari precedenti poiché le altezze in gioco sono maggiori e risentono meno degli effetti della vicinanza al focolare. Il range di temperature varia da circa 150 °C a 300 °C, con picchi che superano i 350 °C per entrambi i casi. I due grafici si sovrappongono ma presentano comunque delle differenze.

4.3.4 Scenario 4

Nello scenario 4 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Curva	15 m	8 m	15 m



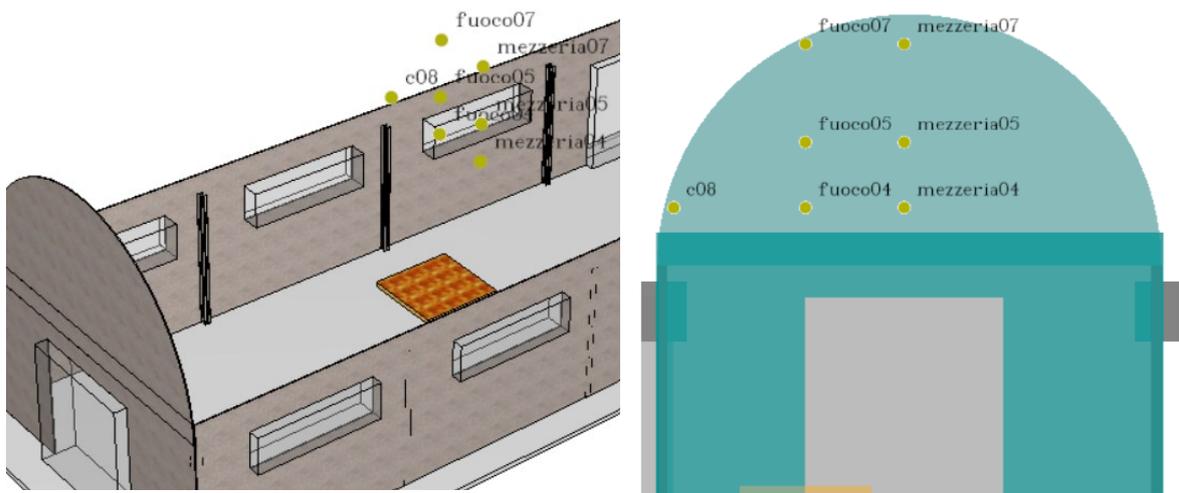
Le *slices* più significative sono così posizionate:

Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 6	21 s	42 s	57 s
Z = 8	27 s	45 s	62 s
Z = 10	30 s	56 s	71 s
Z = 12	46 s	66 s	>100 s
Z = 13	50 s	72 s	>100 s
Z = 14	58 s	>100 s	>100 s
X = 0.5 Muro lato lungo	>100 s	-	-

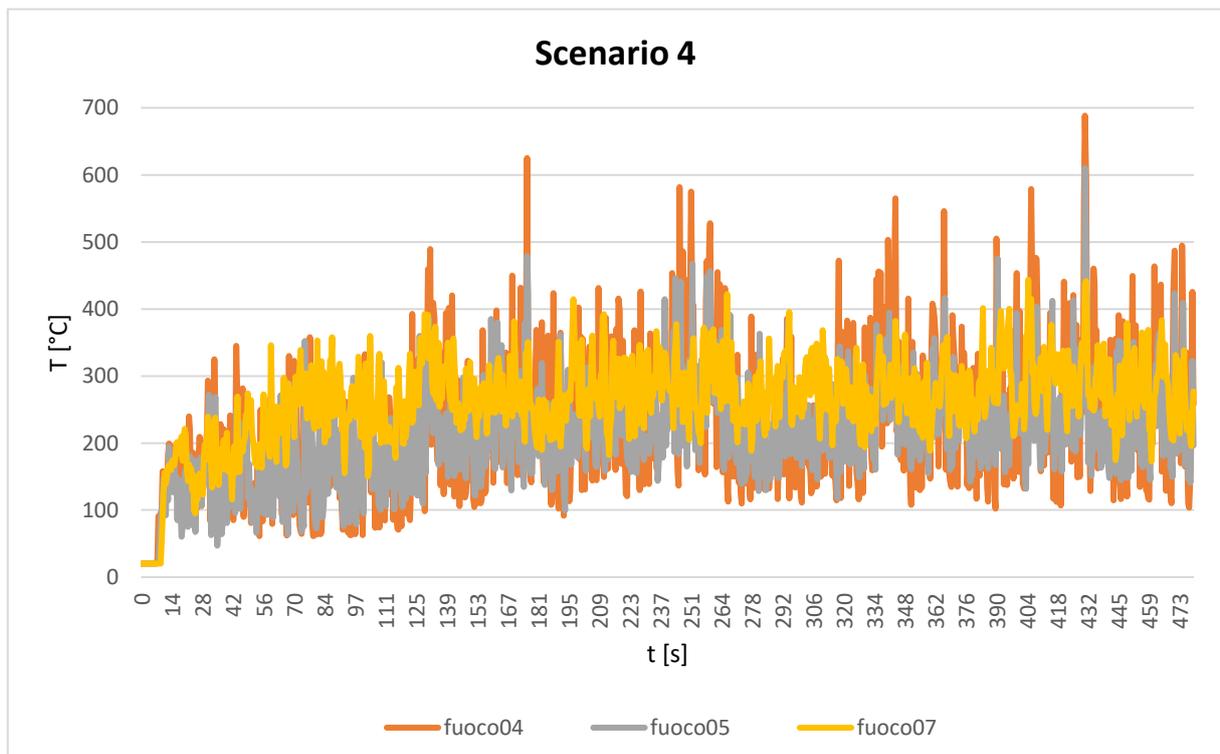
I *devices* più significativi sono così posizionati:

Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
fuoco04	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	9
fuoco05	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	11
fuoco07	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	14

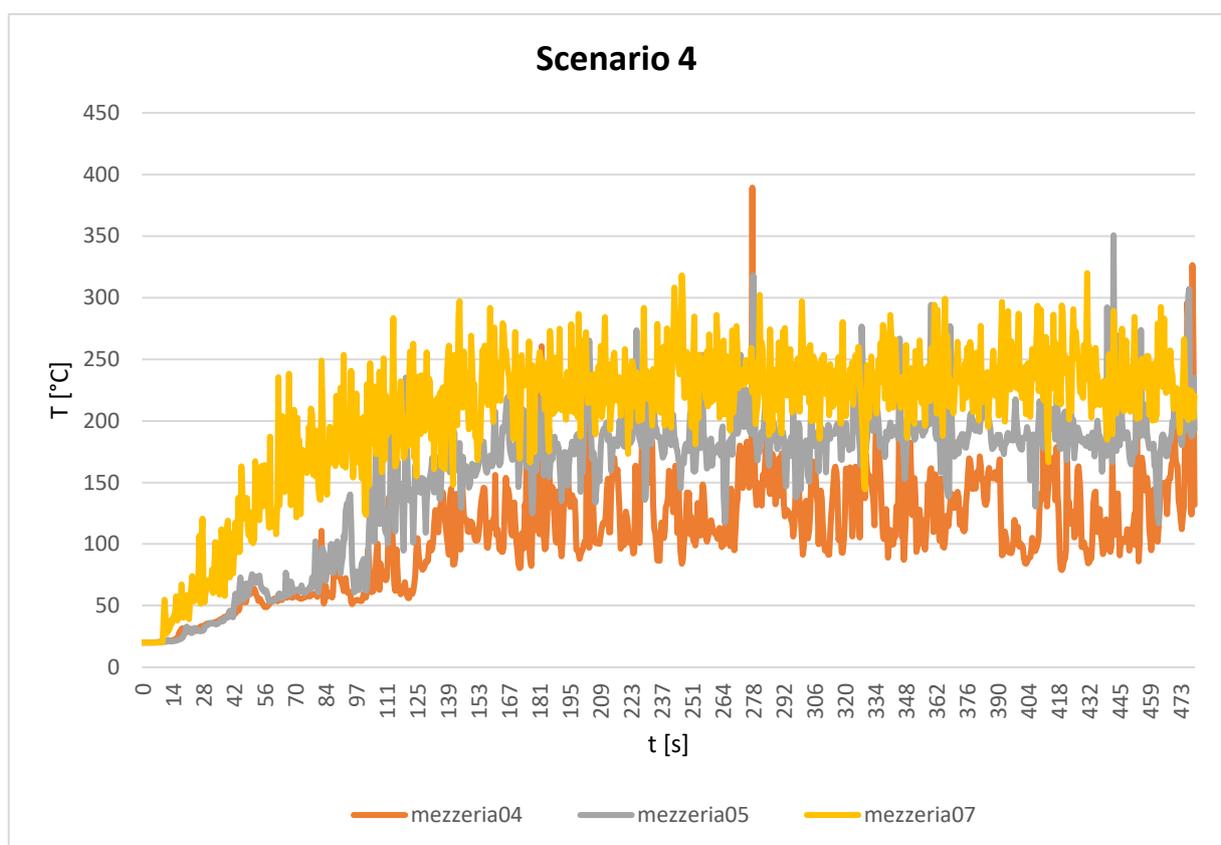
mezzeria04	Asse lato corto	Mezzeria focolare	9
mezzeria05	Asse lato corto	Mezzeria focolare	11
mezzeria07	Asse lato corto	Mezzeria focolare	14
c08	Muro lato lungo	Mezzeria focolare	9



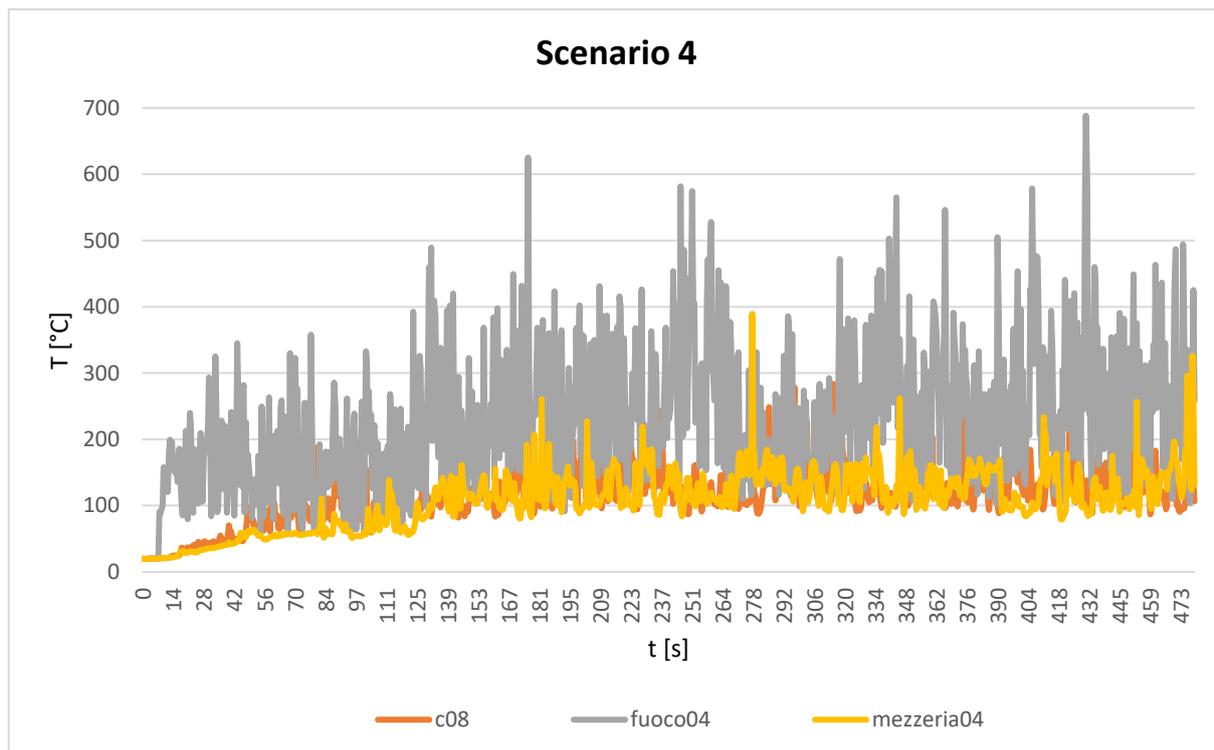
I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:



I dispositivi 'fuoco04', 'fuoco05' e 'fuoco07' sono posizionati sopra al focolare e l'unica coordinata che li differenzia è la Z: il primo è quello con Z inferiore (9 m) e l'ultimo quello con Z maggiore (14 m) e più vicino alla copertura. Il dispositivo posto più in alto è quello con la variazione di temperatura minore e che si assesta attorno ai 250 °C. Il dispositivo 'fuoco04' è quello più vicino al focolare e l'andamento della sua temperatura è quello meno regolare tra i tre, presentando picchi che superano i 600 °C. Il dispositivo 'fuoco07' ha una temperatura media superiore a 'fuoco05' nonostante sia posto più lontano dalla fonte di calore.



I dispositivi 'mezzeria04', 'mezzeria05' e 'mezzeria07' sono posizionati in corrispondenza dell'asse trasversale del lato corto, quindi hanno la coordinata X uguale a quella del punto più alto della copertura curva. Il dispositivo posizionato più vicino alla copertura ('mezzeria07', posto a 14 metri di altezza) ha una temperatura media maggiore degli altri due e un andamento abbastanza regolare.

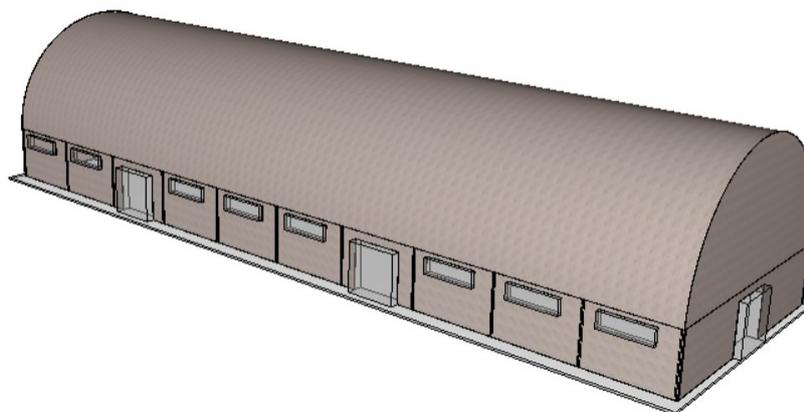


I dispositivi 'c08', 'fuoco04' e 'mezzeria04' hanno la stessa altezza pari a 9 metri ma presentano una diversa coordinata X: 'fuoco04' è sopra al focolare, 'c08' è vicino al muro laterale mentre 'mezzeria04' si trova sull'asse trasversale del lato più corto. In questo caso è evidente la differenza di valori registrati, infatti la temperatura in corrispondenza di 'fuoco04' è molto maggiore delle altre. 'c08' e 'mezzeria04' essendo più lontani dal focolare registrano temperature basse e con pochi picchi.

4.3.5 Scenario 5

Nello scenario 5 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Curva	30 m	7 m	22.5 m

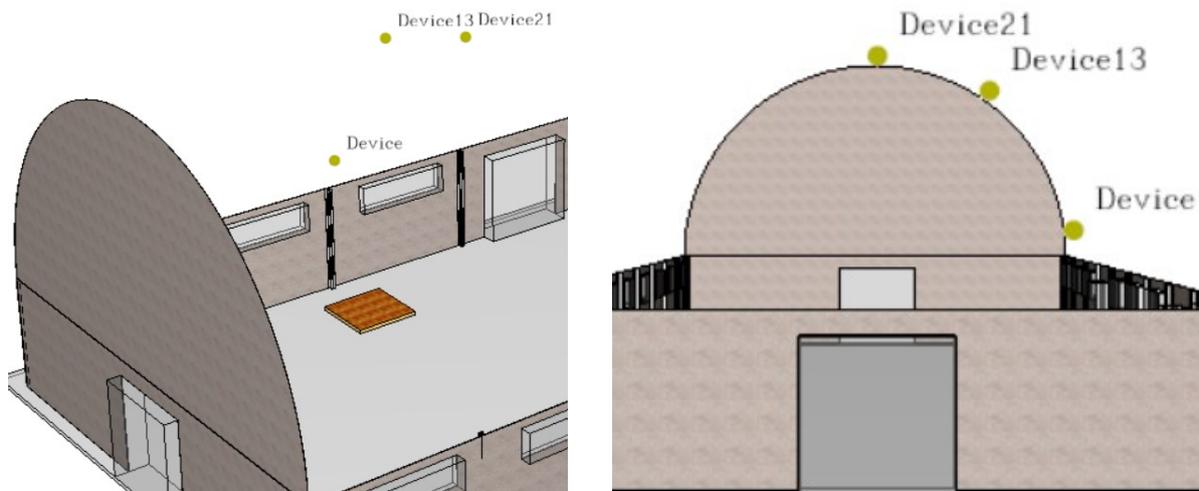


Le *slices* più significative sono così posizionate:

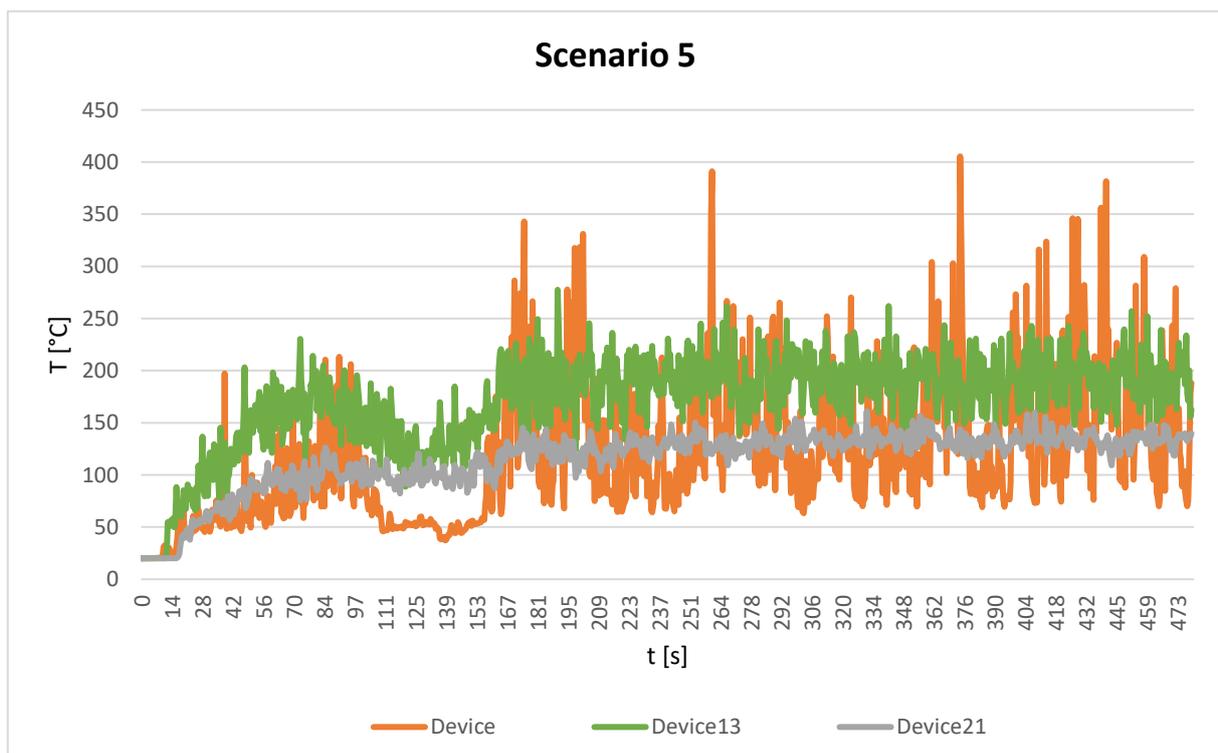
Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 5	19	28	36
Z = 7	25	32	42
Z = 9	30	40	48
Z = 11	34	51	>100
Z = 13	42	67	-
Z = 15	58	>100	-
Z = 17	78	-	-
Z = 19	>100	-	-
Z = 21	-	-	-
X = 3 Muro lato lungo	85	>100	-

I *devices* più significativi sono così posizionati:

Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
Device	Muro lato lungo	Mezzeria focolare	9.5
Device13	9	Mezzeria focolare	19.5
Device21	Asse lato corto	Mezzeria focolare	22



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:

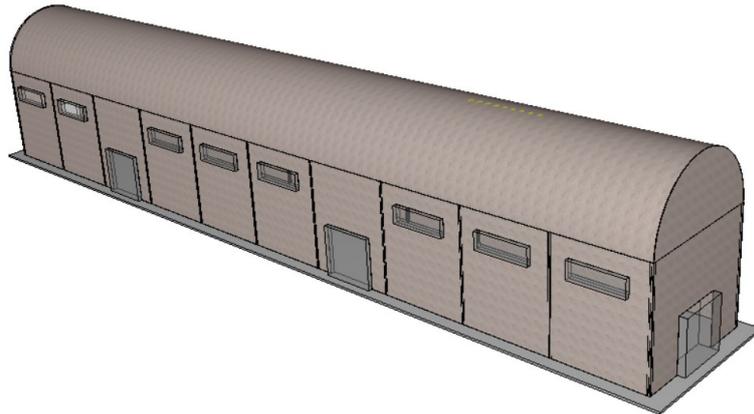


I dispositivi 'Device', 'Device13' e 'Device21' hanno altezze differenti e sono posizionati appena sotto la copertura curva ma hanno la coordinata X diversa: il primo è posizionato vicino al muro laterale, il secondo in corrispondenza del focolare e il terzo è nel punto più alto dell'edificio. Si può notare come la temperatura in corrispondenza del focolare sia maggiore di quella registrata nel punto più alto della copertura; inoltre, ha un andamento più regolare rispetto a quella di 'Device'.

4.3.6 Scenario 6

Nello scenario 6 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Curva	15 m	13 m	21 m

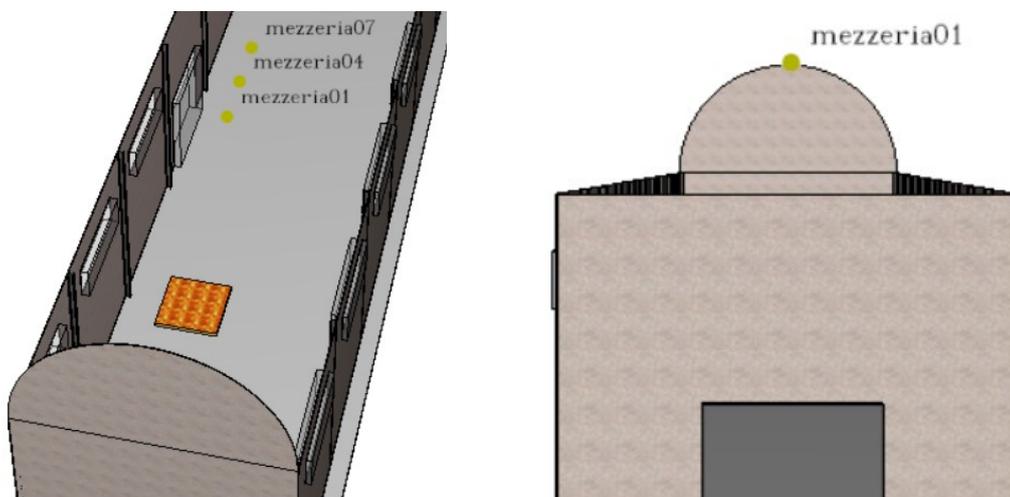


Le *slices* più significative sono così posizionate:

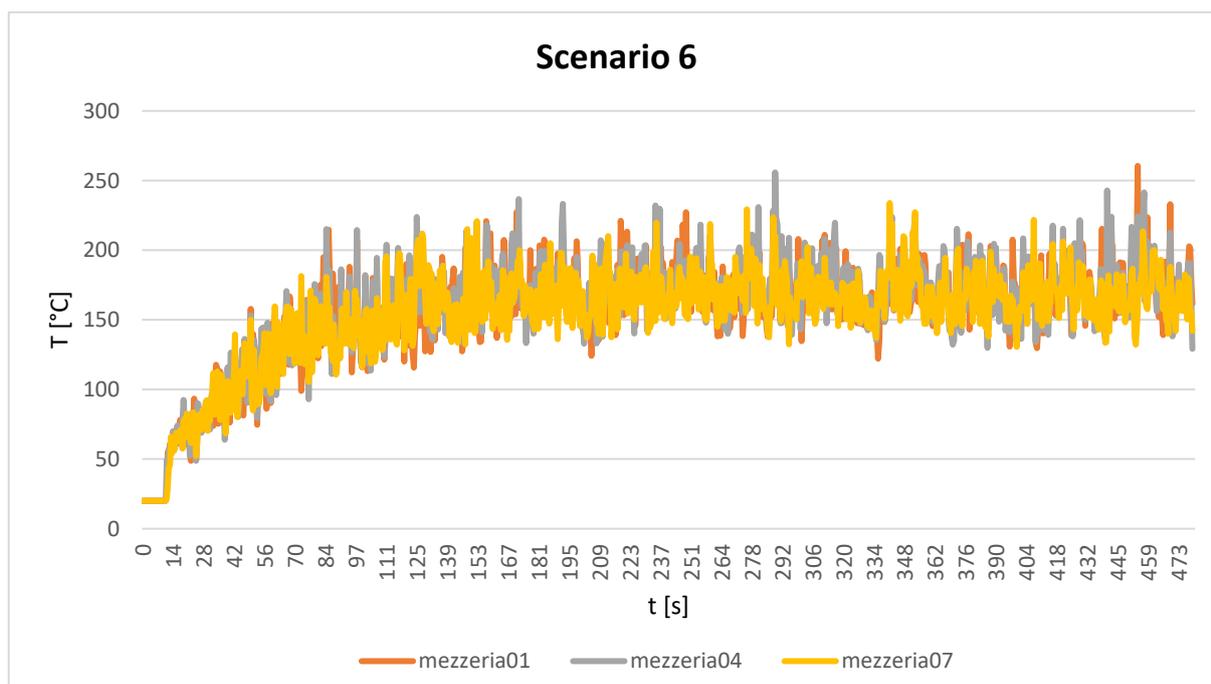
Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 5	20 s	31 s	44 s
Z = 7	28 s	44 s	63 s
Z = 9	42 s	56 s	>100 s
Z = 11	44 s	64 s	-
Z = 13	46 s	82 s	-
Z = 15	64 s	>100 s	-
Z = 17	>100 s	-	-
Z = 19	>100 s	-	-
X = 2 muro lato lungo	>100 s	>100 s	-

I devices più significativi sono così posizionati:

Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
mezzeria01	Asse lato corto	19	20.5
mezzeria04	Asse lato corto	Mezzeria focolare (22)	20.5
mezzeria07	Asse lato corto	25	20.5



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:

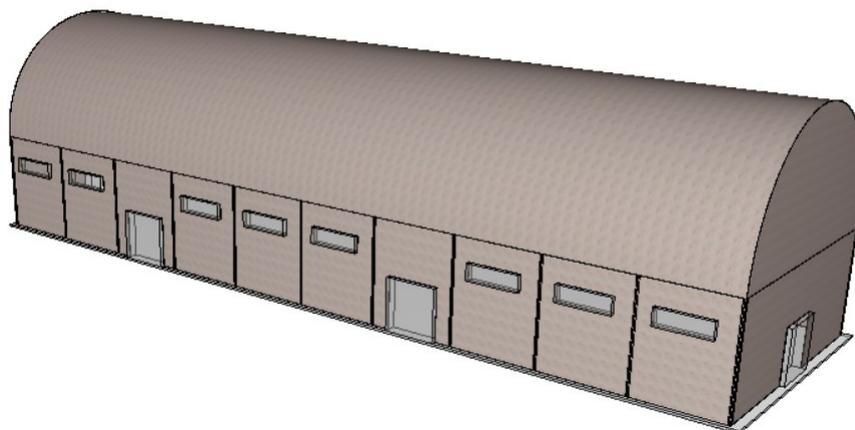


I dispositivi 'mezzeria01', 'mezzeria04' e 'mezzeria07' hanno la medesima altezza pari a 20.5 metri (cioè sono posizioni appena sotto l'apice della copertura curva) ma hanno la coordinata X diversa. La temperatura registrata nei tre casi è simile e di poco superiore a 150 °C: tale valore non è elevato a causa dell'altezza considerevole dell'edificio.

4.3.7 Scenario 7

Nello scenario 7 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Curva	30 m	13 m	27.5 m

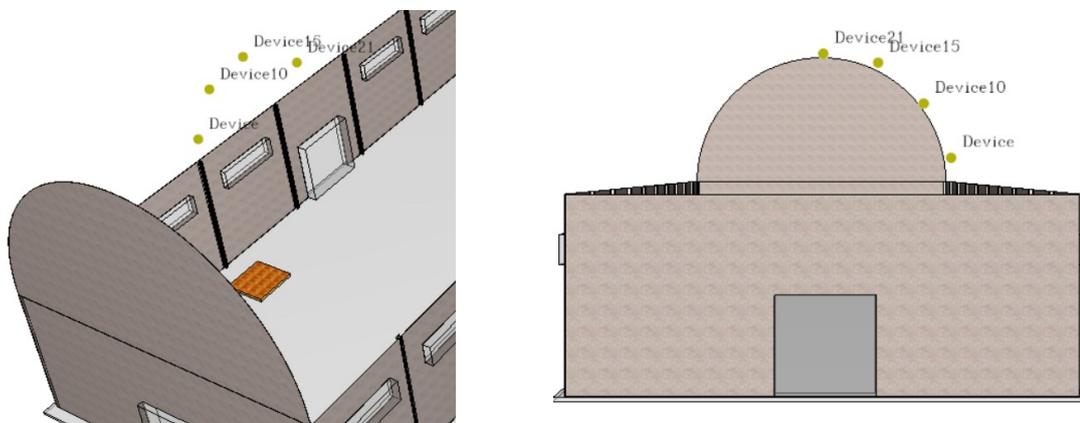


Le *slices* più significative sono così posizionate:

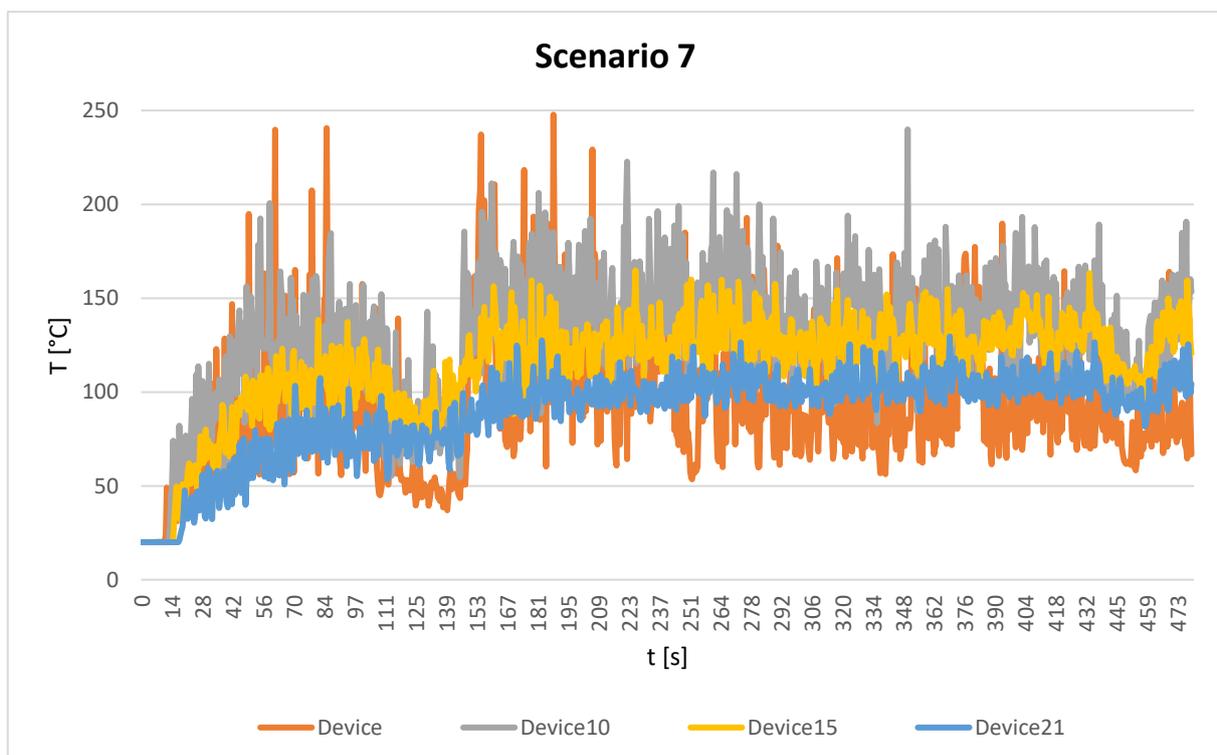
Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 6	20 s	29 s	42 s
Z = 8	27 s	36 s	47 s
Z = 10	35 s	46 s	-
Z = 12	42 s	58 s	-
Z = 15	52 s	70 s	-
Z = 17	74 s	>100 s	-
Z = 21	>100 s	-	-
Z = 27	-	-	-
X = 3 muro lato lungo	75 s	-	-
X = 17 asse lato corto	-	-	-

I *devices* più significativi sono così posizionati:

Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
Device	Muro lato lungo	Mezzeria focolare	15
Device10	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	21
Device15	11	Mezzeria focolare	25.5
Device21	Asse lato corto	Mezzeria focolare	26.5



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:

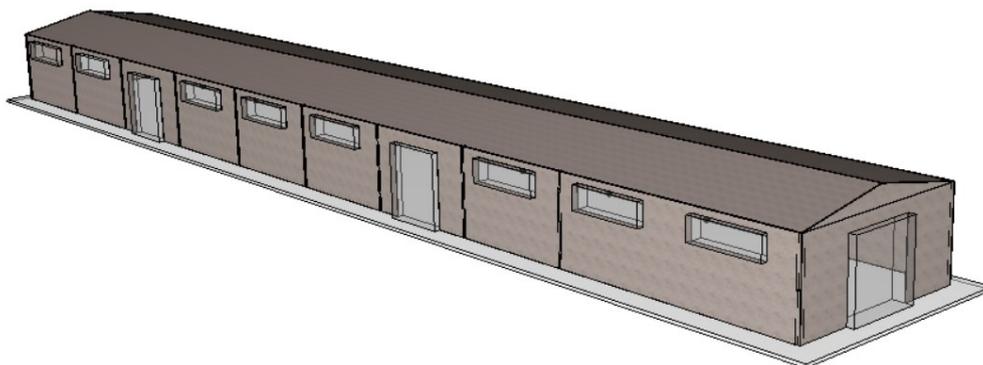


I dispositivi 'Device', 'Device10', 'Device15' e 'Device21' hanno altezze differenti e sono posizionati appena sotto la copertura curva ma hanno la coordinata X diversa: il primo è posizionato vicino al muro laterale, il secondo in corrispondenza del focolare, il quarto è nel punto più alto dell'edificio. Il dispositivo 'Device' è quello con il range di temperatura maggiore mentre le altre tre registrazioni hanno andamenti simili. I valori di 'Device21' sono i più bassi a causa dell'altezza a cui si trova e della contemporanea distanza dal focolare: la temperatura rimane al di sotto dei 100 °C per i primi 150 secondi, per poi stabilizzarsi su tale valore fino alla fine della simulazione.

4.3.8 Scenario 8

Nello scenario 8 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Doppia falda	15 m	7 m	8.5 m

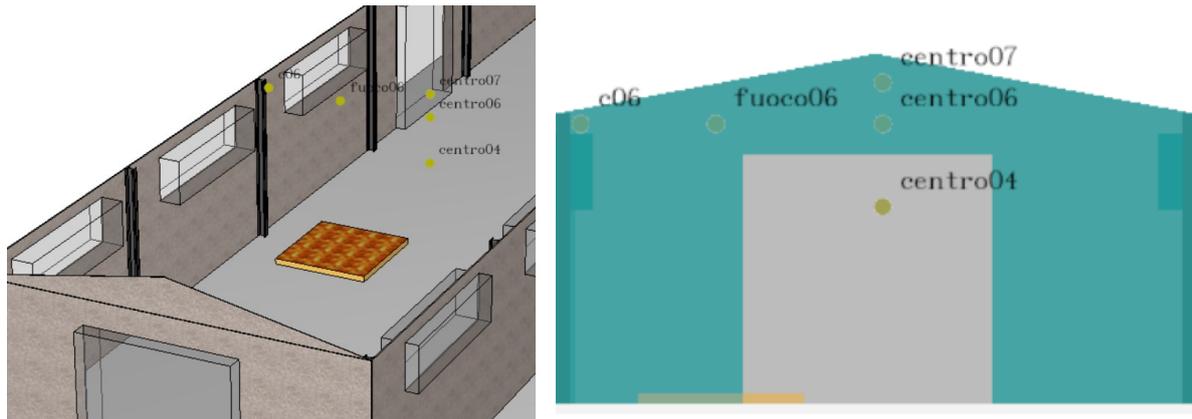


Le *slices* più significative sono così posizionate:

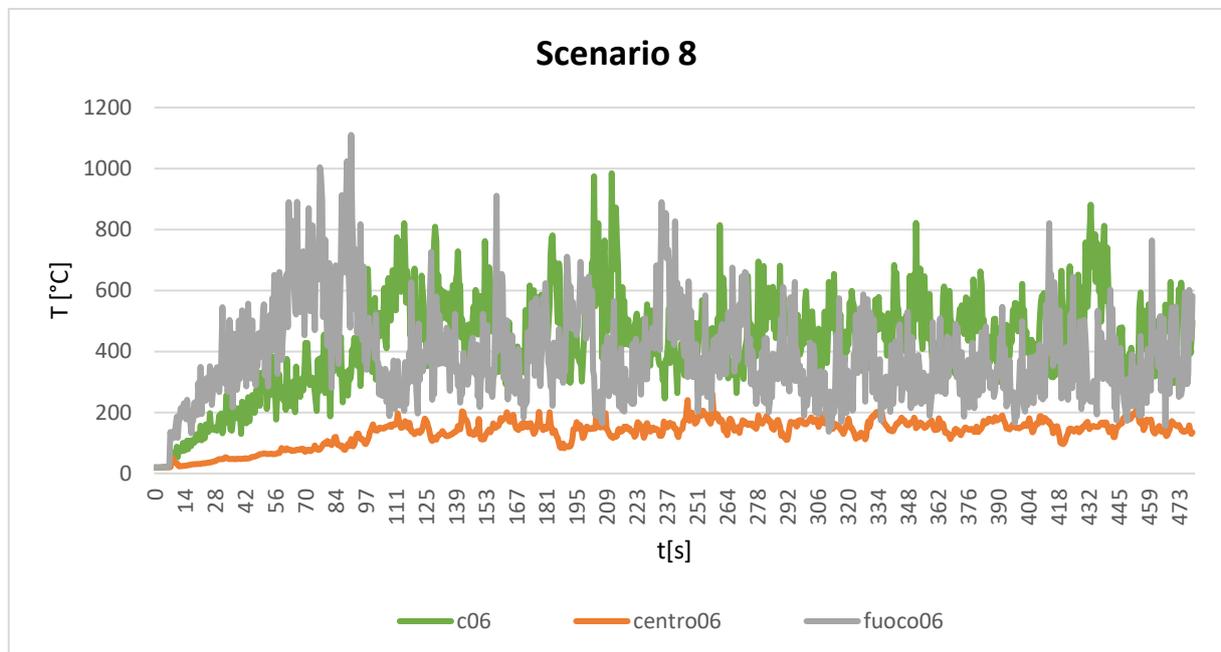
Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 4	9 s	17 s	20 s
Z = 6	18 s	20 s	29 s
Z = 7	19 s	26 s	30 s
Z = 8	26 s	33 s	43 s

I *devices* più significativi sono così posizionati:

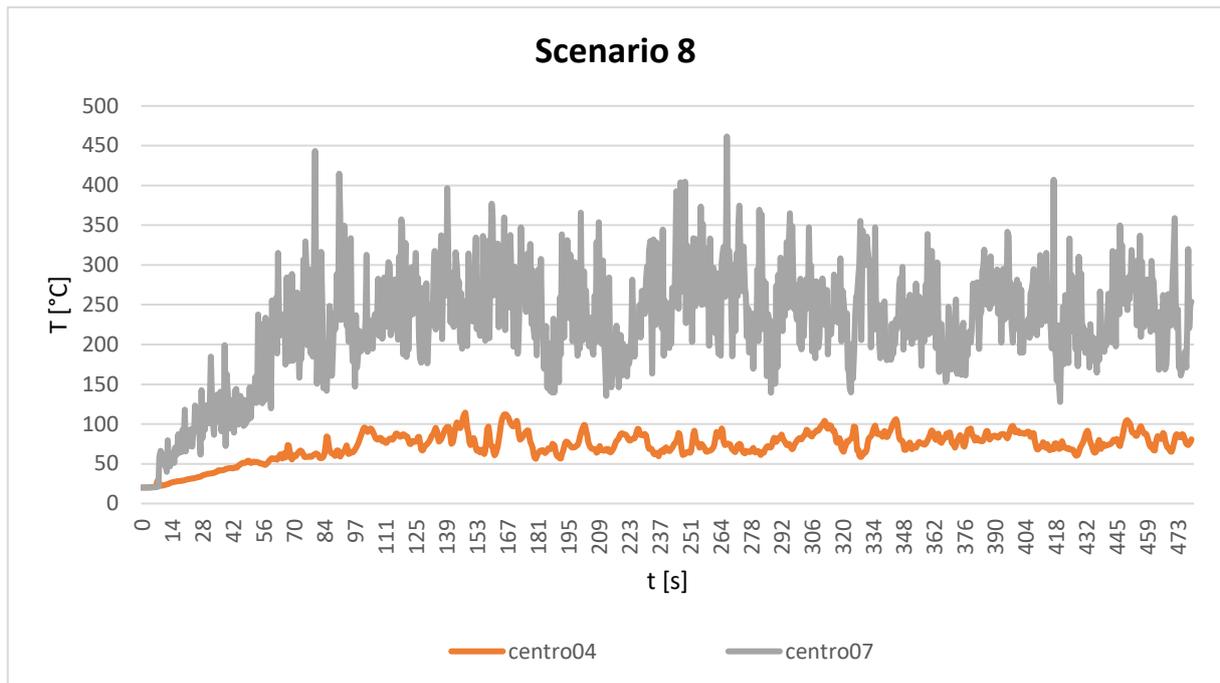
Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
c06	Muro lato lungo	Mezzeria focolare	7
fuoco06	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	7
centro04	Asse lato corto	Mezzeria focolare	4
centro06	Asse lato corto	Mezzeria focolare	7
centro07	Asse lato corto	Mezzeria focolare	8



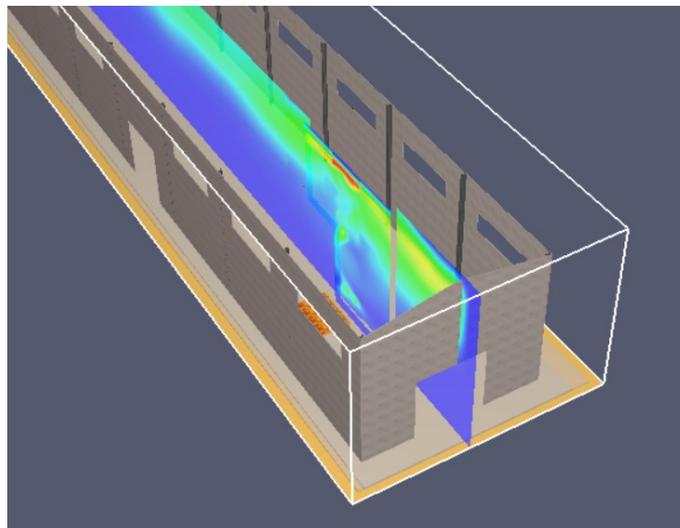
I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:



I dispositivi 'c06', 'centro06' e 'fuoco06' hanno la medesima altezza pari a 7 metri ma hanno la coordinata X diversa. La temperatura registrata da 'centro06' è sensibilmente inferiore rispetto alle registrazioni degli altri due dispositivi, i quali presentano un andamento poco regolare. In particolare, in corrispondenza del focolare le temperature sono mediamente elevate con picchi che superano gli 800 °C: questi valori sono influenzati dall'altezza dell'edificio che raggiunge il valore massimo di 8.5 metri e dalla vicinanza con il focolare.



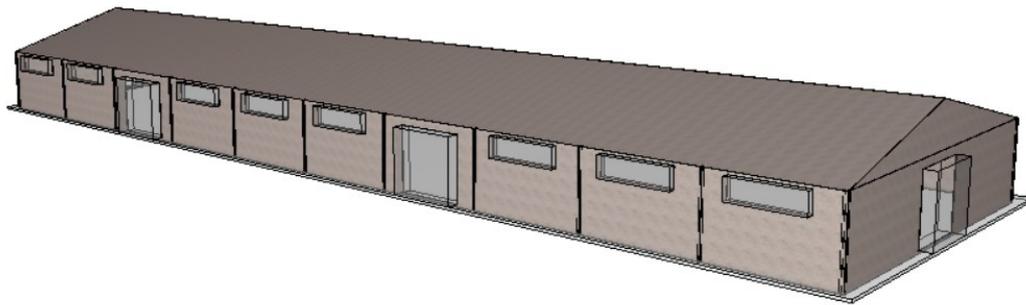
I dispositivi 'centro04' e 'centro07' sono entrambi collocati sull'asse trasversale al lato più corto, in corrispondenza del picco della copertura; le loro altezze sono rispettivamente pari a 4 e 8 metri ed è proprio tale differenza che giustifica i risultati ottenuti: i valori registrati dal primo sono molto inferiori del secondo. La stratificazione delle temperature è visibile anche nell'immagine sottostante.



4.3.9 Scenario 9

Nello scenario 9 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Doppia falda	30 m	7 m	10.8 m



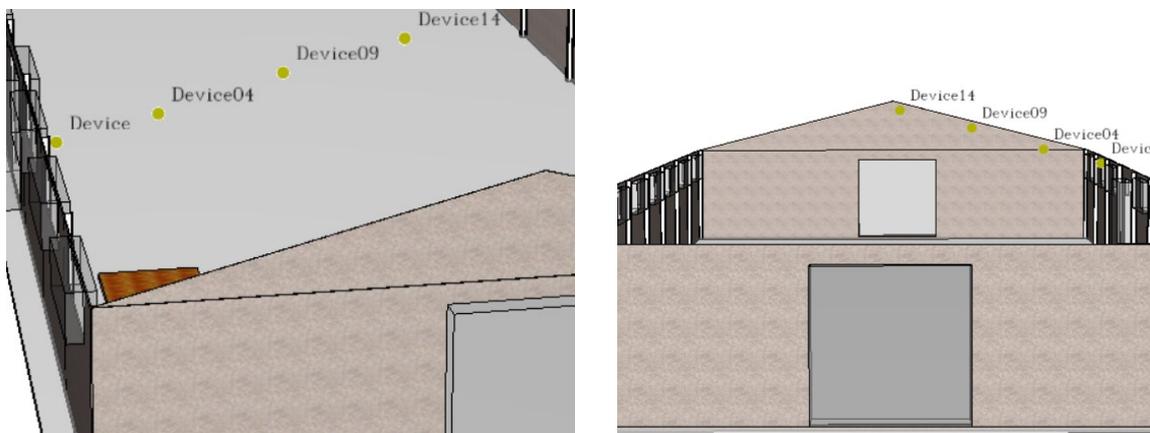
Le *slices* più significative sono così posizionate:

Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 5	13 s	23 s	29 s
Z = 6	15 s	28 s	37 s
Z = 7	21 s	36 s	42 s
Z = 8	34 s	45 s	56 s
Z = 9	72 s	85 s	-
Z = 10	-	-	-
X = muro lato lungo 1.5	46 s	>100 s	>100 s

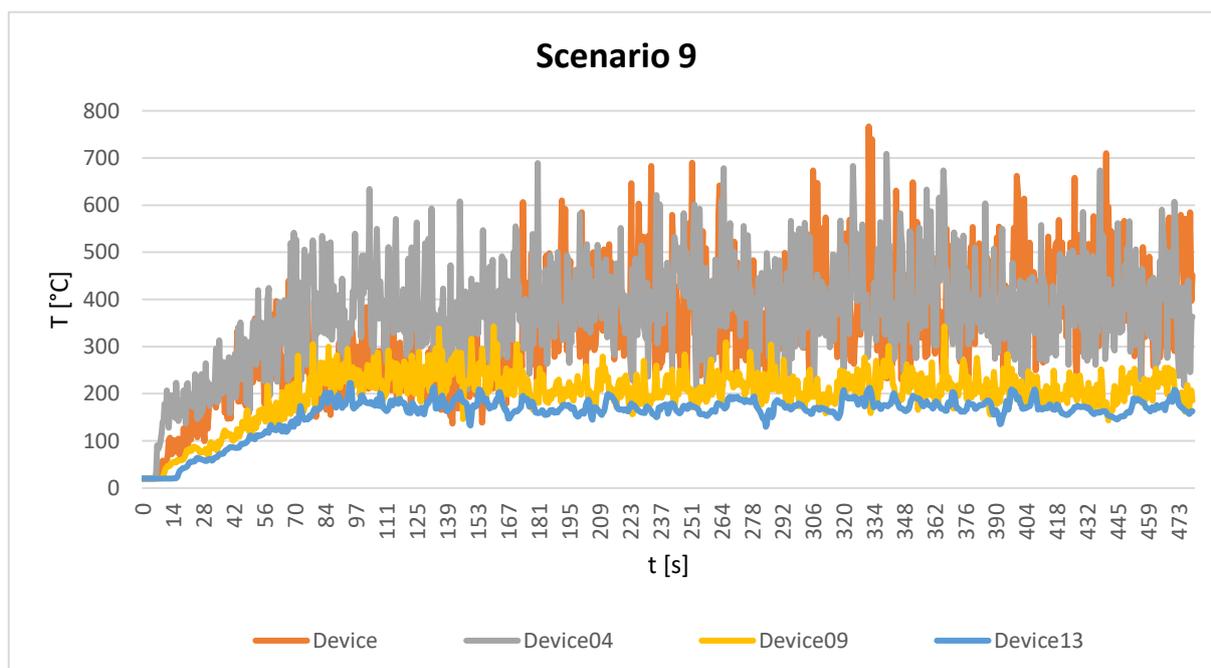
I *devices* più significativi sono così posizionati:

Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
Device	Muro lato lungo	Mezzeria focolare	7
Device04	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	7.5

Device09	10	Mezzeria focolare	9
Device13	Asse lato corto	Mezzeria focolare	11.5



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:

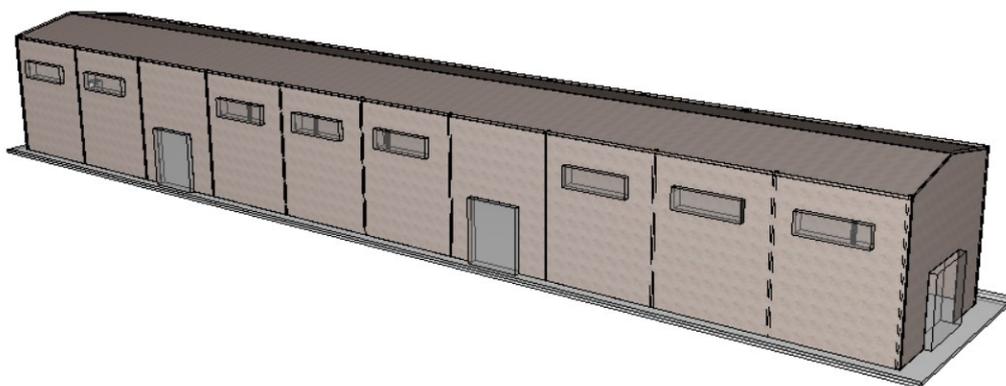


I dispositivi 'Device', 'Device04', 'Device09' e Device13' hanno altezze differenti, sono posizionati appena sotto la copertura ma hanno la coordinata X diversa: il primo è posizionato vicino al muro laterale, il secondo in corrispondenza del focolare, il quarto è nel punto più alto dell'edificio. I dispositivi 'Device' e 'Device04' registrano temperature simili e maggiori rispetto agli altri due: i valori sono dovuti all'altezza inferiore e alla vicinanza al focolare.

4.3.10 Scenario 10

Nello scenario 10 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Doppia falda	15 m	13 m	14.5 m



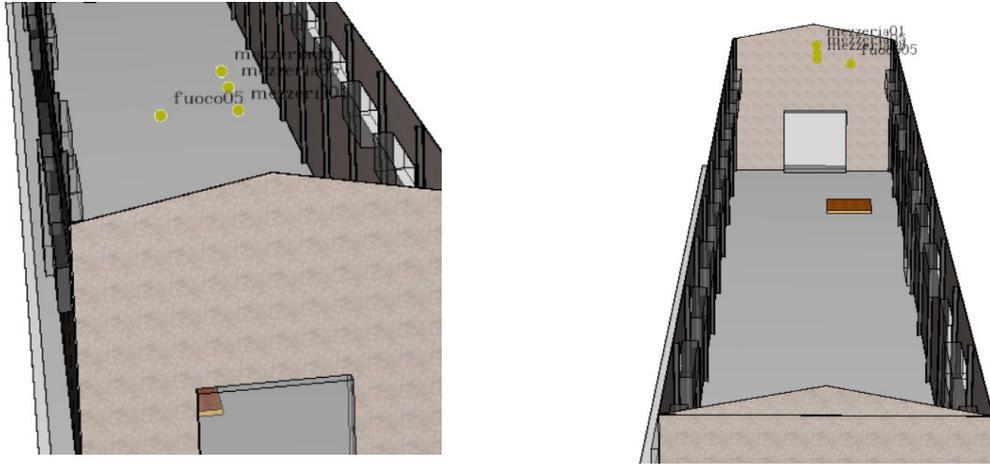
Le *slices* più significative sono così posizionate:

Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 5	16 s	21 s	28 s
Z = 7	19 s	25 s	35 s
Z = 9	29 s	40 s	54 s
Z = 11	39 s	61 s	67 s
Z = 12	41 s	64 s	86 s
Z = 13.5	57 s	78 s	-

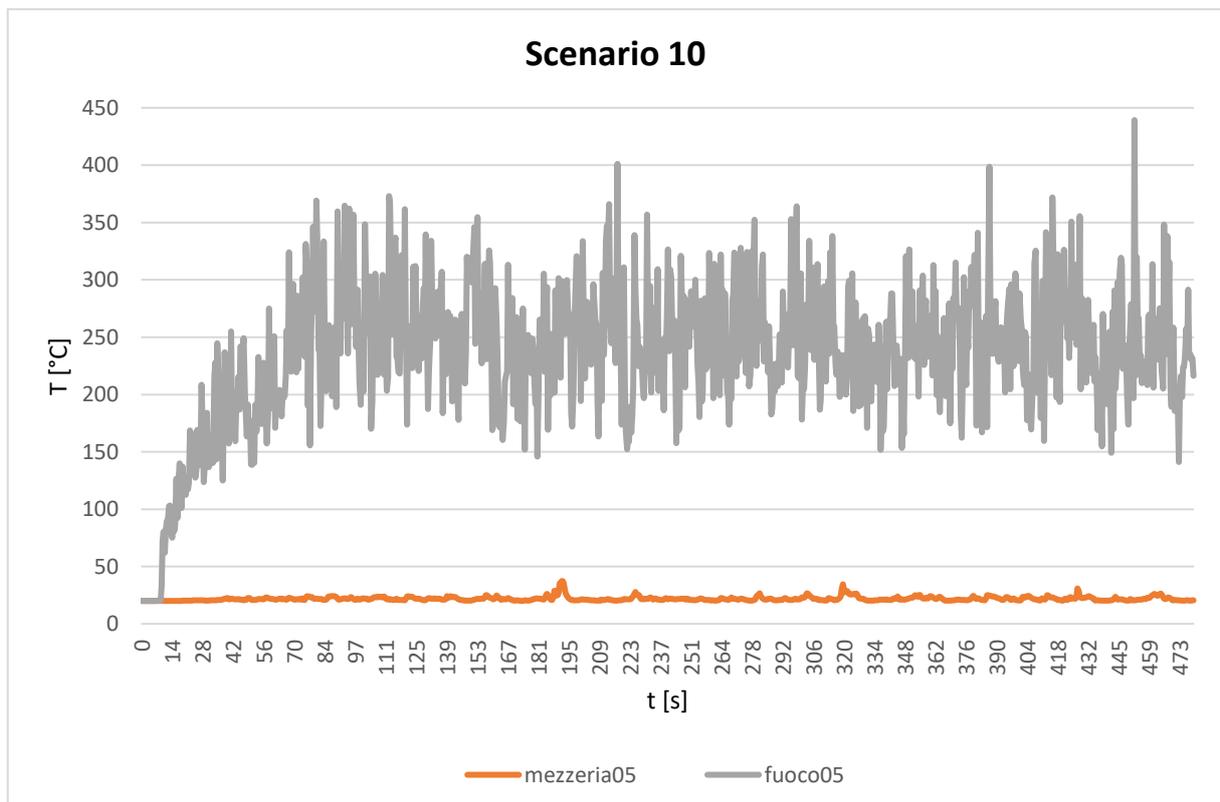
I *devices* più significativi sono così posizionati:

Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
fuoco05	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	13.5
mezzeria01	Asse lato corto	Mezzeria focolare 19	14.5

mezzeria05	10	16	14.5
mezzeria08	Asse lato corto	22	14.5



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:

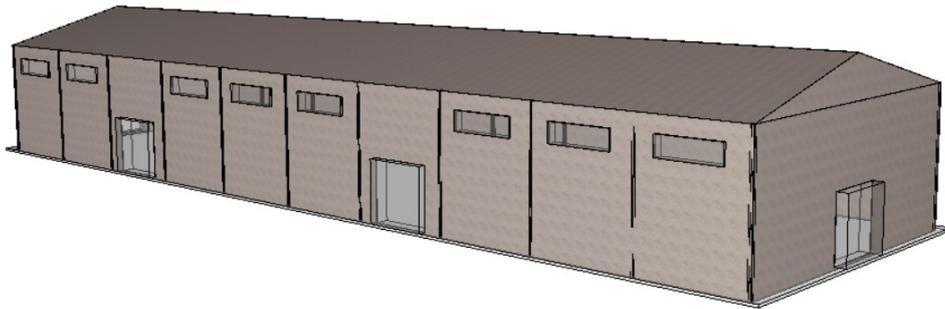


Il dispositivo 'fuoco05' registra un andamento della temperatura regolare con alcuni picchi che superano i 400 °C nonostante sia collocato ad un'altezza di 13.5 metri sopra al focolare. Il dispositivo 'mezzeria05' invece è stato inserito nel grafico nonostante i risultati ottenuti siano poco realistici, probabilmente dovuti ad una mesh troppo grande che quindi non ha reso possibile la lettura dei dati.

4.3.11 Scenario 11

Nello scenario 11 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Doppia falda	30 m	13 m	17 m

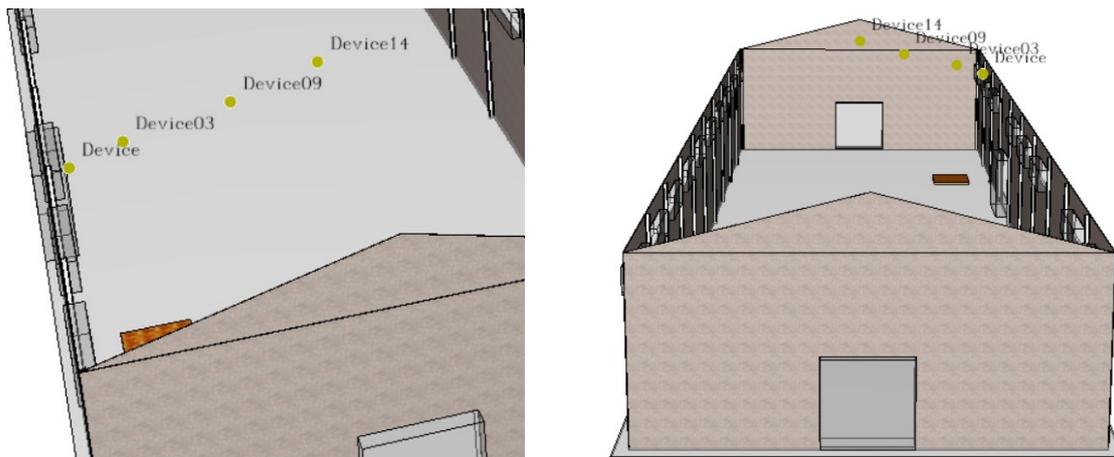


Le *slices* più significative sono così posizionate:

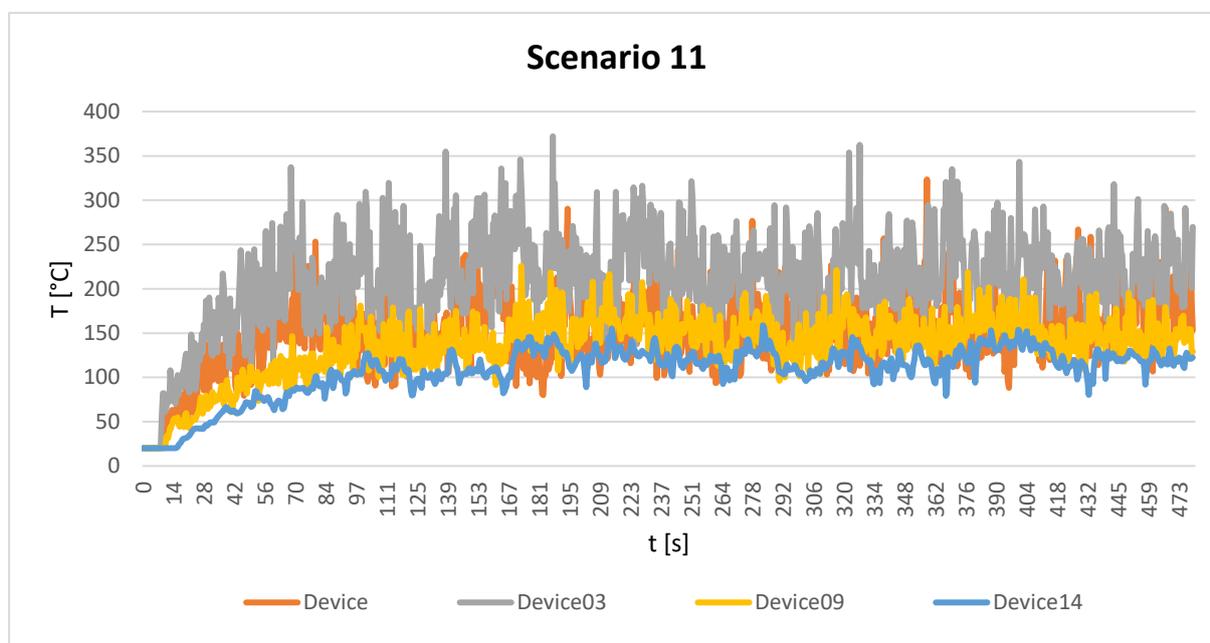
Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 5	15 s	27 s	35 s
Z = 7	28 s	34 s	40 s
Z = 9	30 s	45 s	61 s
Z = 11	38 s	56 s	92 s
Z = 13	46 s	>100 s	-
Z = 15	-	-	-

I *devices* più significativi sono così posizionati:

Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
Device	Muro lato lungo	Mezzeria focolare	13
Device03	Mezzeria focolare 5	Mezzeria focolare	14
Device09	11	Mezzeria focolare	15
Device14	Asse lato corto	Mezzeria focolare	16.5



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:

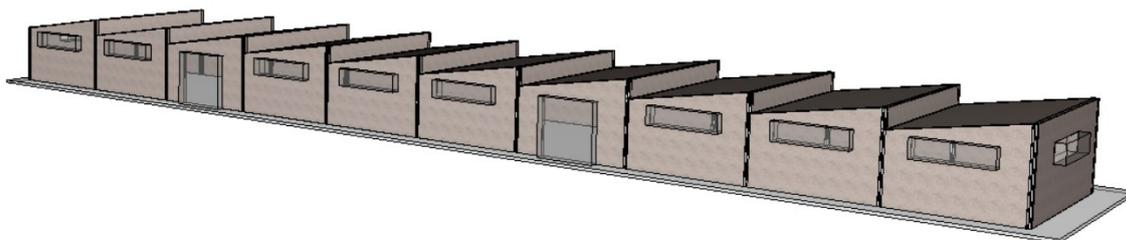


I dispositivi 'Device', 'Device03', 'Device09' e Device14' hanno altezze differenti, sono posizionati appena sotto la copertura ma hanno la coordinata X diversa: il primo è posizionato vicino al muro laterale, il secondo in corrispondenza del focolare, il quarto è nel punto più alto dell'edificio. La temperatura dei 'Device' e 'Device03' è più variabile rispetto a quella degli altri due, e presenta picchi che superano i 300 °C, nonostante siano collocati ad altezze considerevoli. Anche i due dispositivi più distanti dal focolare si assestano a temperature superiori a 100 °C.

4.3.12 Scenario 12

Nello scenario 12 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Shed	15 m	5.5 m	7 m

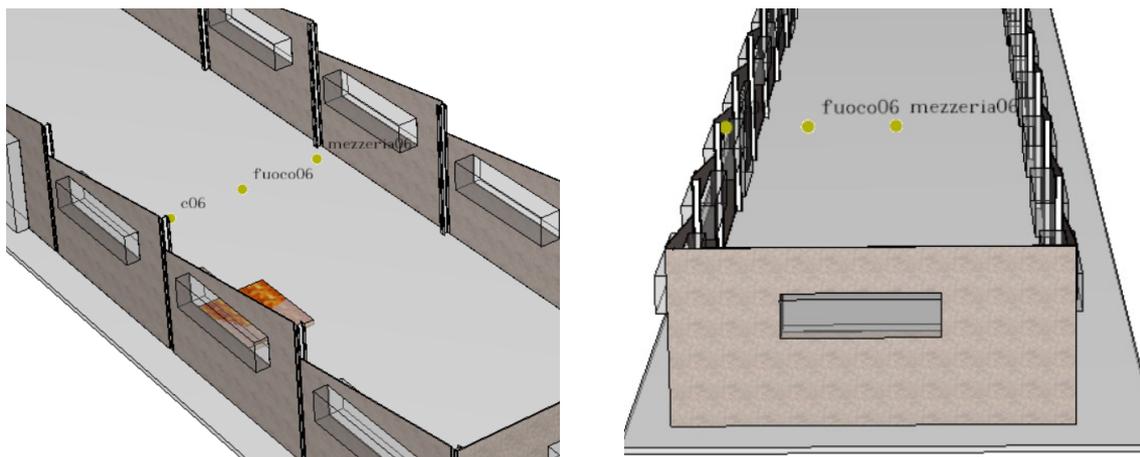


Le *slices* più significative sono così posizionate:

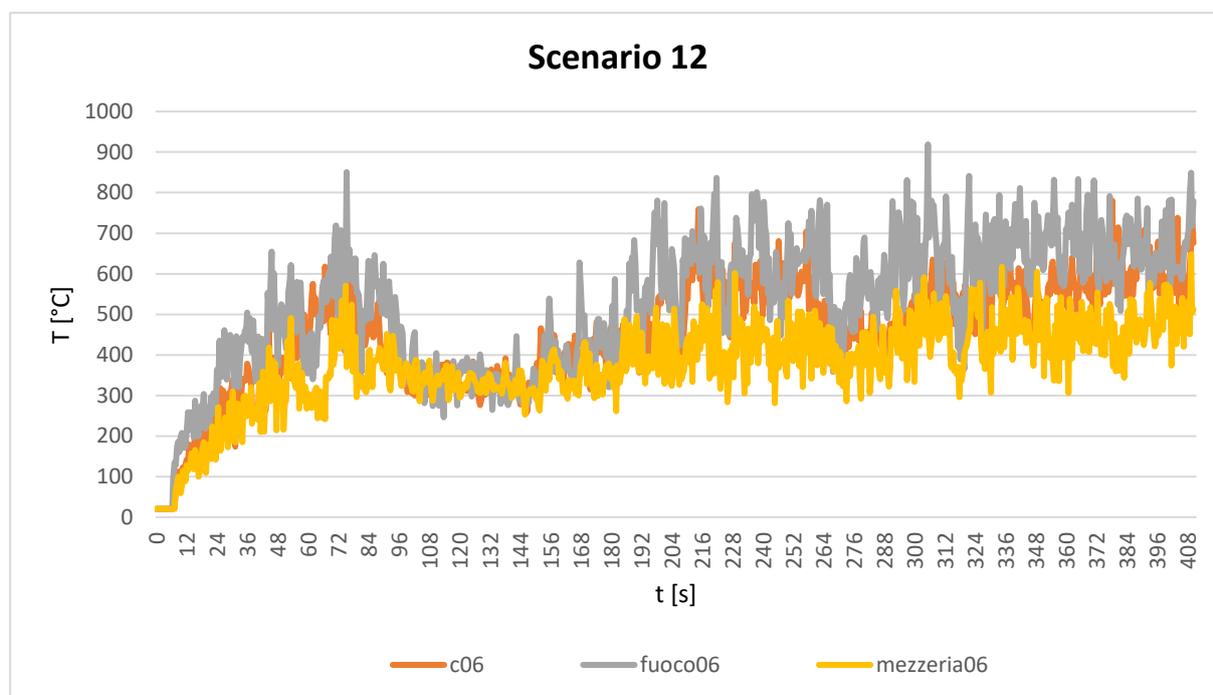
Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 4	11 s	18 s	24 s
Z = 5	13 s	23 s	26 s
Z = 6	17 s	25 s	34 s
Z = 7	19 s	26 s	43 s
X= muro lato lungo 64	27 s (parte alta) 57 s (parte bassa copertura)	52 s (parte alta) 59 s (parte bassa copertura)	-

I *devices* più significativi sono così posizionati:

Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
c06	Muro lato lungo	Shed alto	7
fuoco06	Mezzeria focolare	Shed alto	7
mezzeria06	Asse lato corto	Shed alto	7



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:

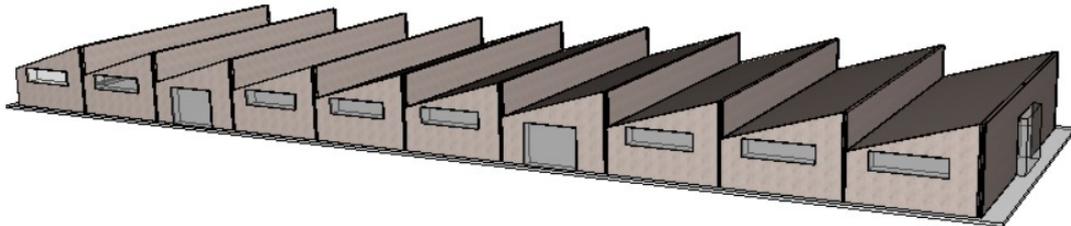


I dispositivi 'c06', 'fuoco06' e 'mezzeria06' sono collocati all'apice della parte alta dello shed più vicino al focolare; si differenziano per la coordinata X, in particolare il primo è posizionato vicino al muro laterale, il secondo in corrispondenza del focolare e il terzo sull'asse trasversale al lato più corto. In questo caso, tutte e tre le misurazioni riportano valori abbastanza elevati di temperatura: la media di tutti e tre supera i 300 °C. Le temperature sono alte anche a causa dell'altezza limitata dell'edificio e della sua conformazione, oltre che per la posizione dei dispositivi che sono nelle vicinanze della fonte di calore.

4.3.13 Scenario 13

Nello scenario 13 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Shed	30 m	4 m	7 m



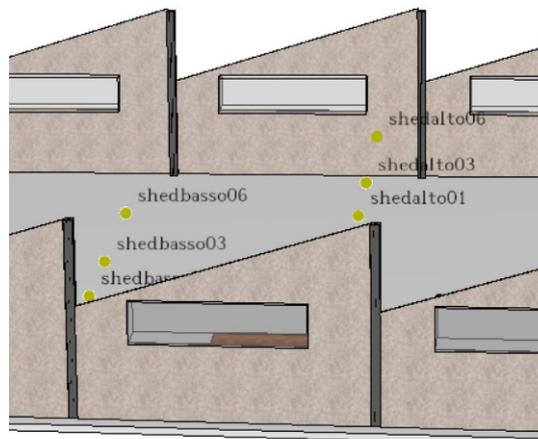
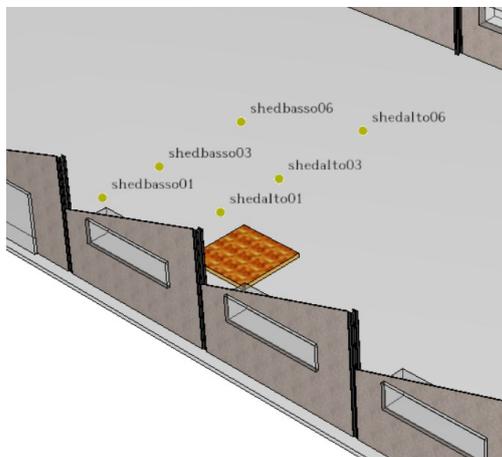
Le slices più significative sono così posizionate:

Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 3	8 s	12 s	15 s
Z = 5	12 s	17 s	23 s
Z = 6	14 s	19 s	29 s
Z = 7	33 s	45 s	56 s
X= muro lato lungo 1.5	42 s	54 s	62 s

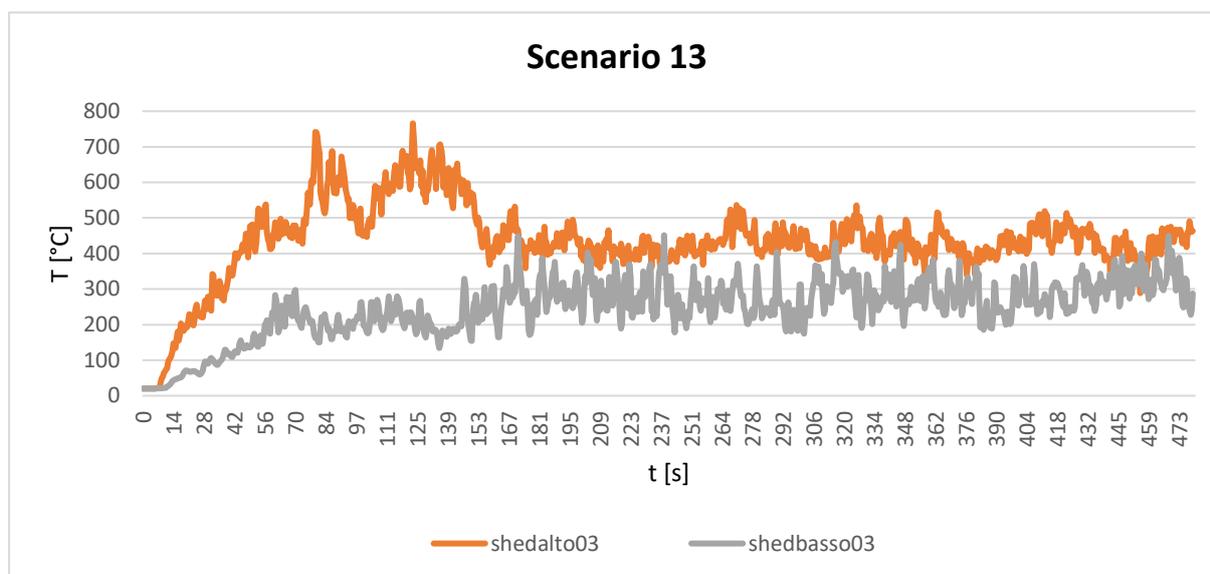
I devices più significativi sono così posizionati:

Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
shedbasso01	Muro lato lungo	Shed basso	4
shedbasso03	Mezzeria focolare 7.5	Shed basso	4
shedbasso06	13.5	Shed basso	4
shedalto01	Muro lato lungo	Shed alto	7

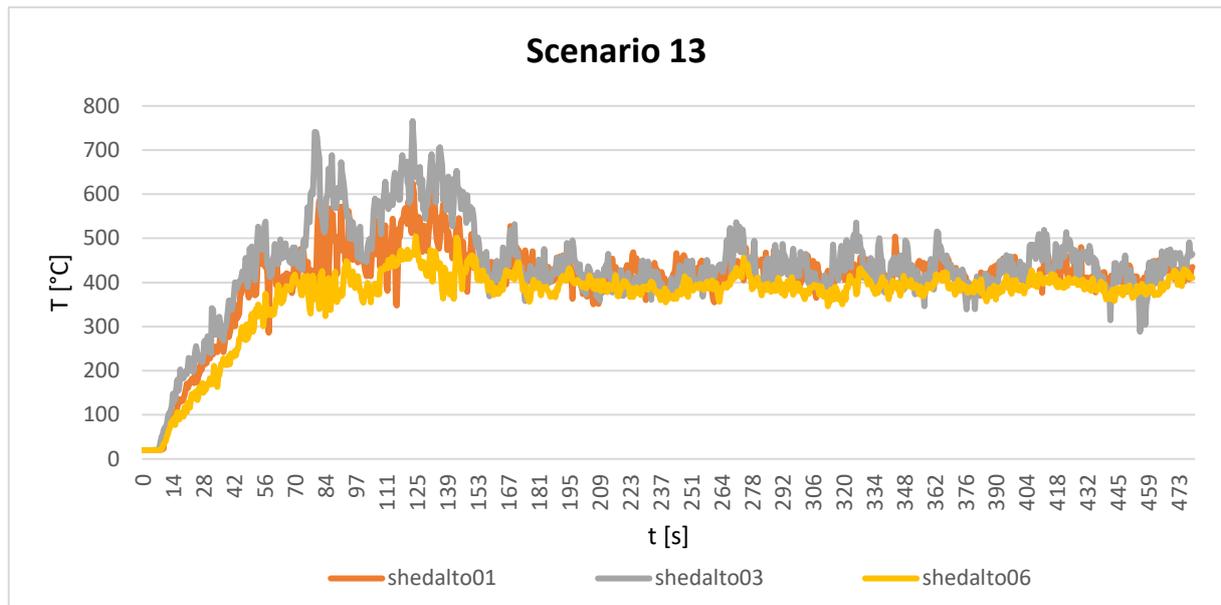
shedalto03	Mezzeria focolare	Shed alto	7
shedalto06	13.5	Shed alto	7



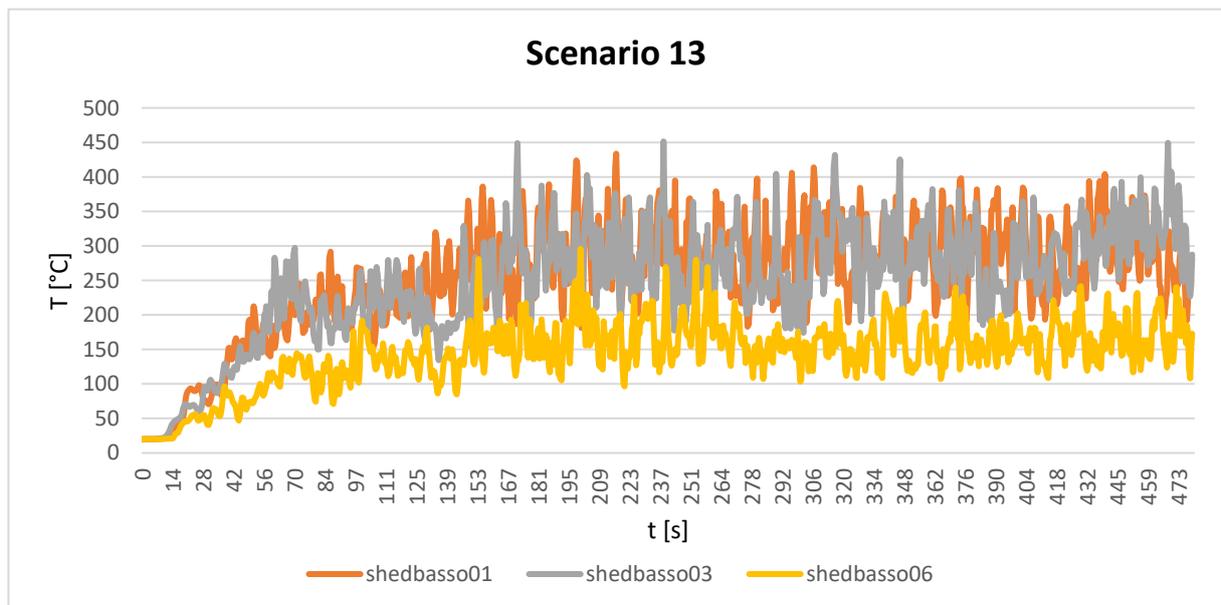
I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:



In questo caso si è deciso di confrontare la temperatura registrata dai dispositivi 'shedalto03' e 'shedbasso03': essi presentano la stessa coordinata X ma hanno altezze diverse, poiché il primo è posto all'apice della parte alta dello shed più vicino al focolare, mentre il secondo nella parte più bassa dello shed più vicino al focolare. Si può notare come i valori del primo dispositivo siano più alti di quelli del secondo nonostante la differenza di altezza. Questa differenza si può ricondurre alla particolare posizione di 'shedalto13', posizionato in un punto nel quale è più facile che vi sia accumulo di calore e fumo, data la conformazione della copertura.



I tre dispositivi sono collocati tutti all'apice della parte alta dello shed più vicino al focolare ma si differenziano per la coordinata X: 'shedalto01' è più vicino al muro laterale, 'shedalto03' è sopra al focolare e 'shedalto06' è più vicino all'asse trasversale al lato corto. L'andamento della temperatura è simile per tutti e tre, anche se il secondo presenta picchi più evidenti. Dopo una fase di crescita, i valori sono quasi sovrapponibili nonostante la posizione differente. In questo caso, essendo posizionati tutti e tre nella zona dove si accumulano calore e fumo, i valori rimangono alti per tutto il tempo della simulazione.



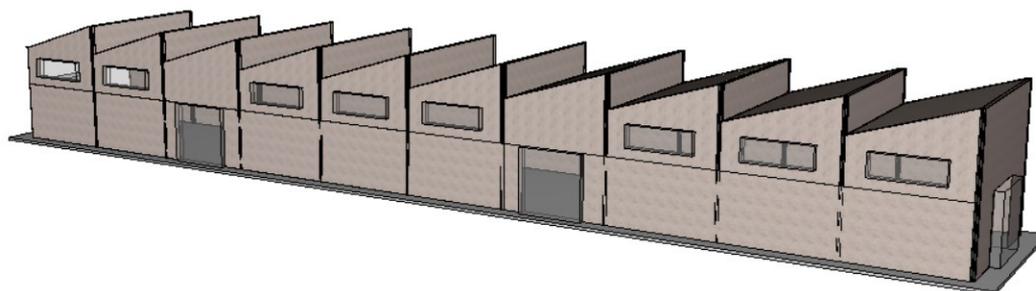
I tre dispositivi sono collocati nella parte più bassa dello shed più vicino al focolare ma si differenziano per la coordinata X: 'shedbasso01' è più vicino al muro laterale, 'shedbasso03' è sopra al focolare e 'shedbasso06' è più vicino all'asse trasversale al lato corto. A differenza del

grafico precedentemente analizzato, in questo caso uno dei dispositivi registra temperature notevolmente più basse degli altri e, inoltre, l'andamento è meno regolare e ha molti più picchi.

4.3.14 Scenario 14

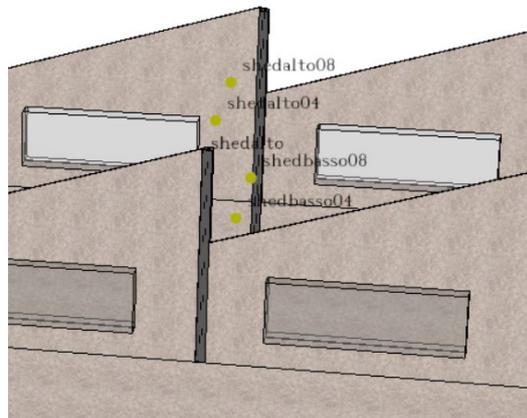
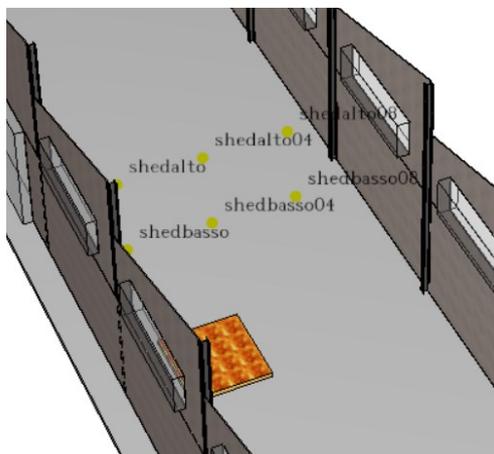
Nello scenario 14 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Shed	15 m	10 m	13 m

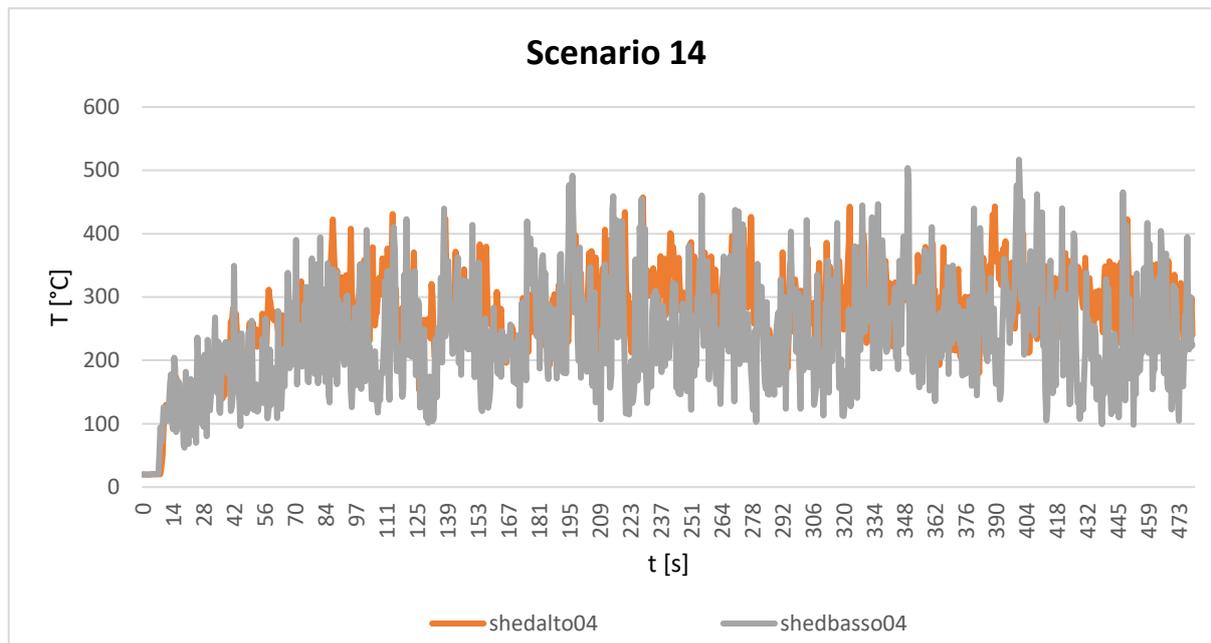


I devices più significativi sono così posizionati:

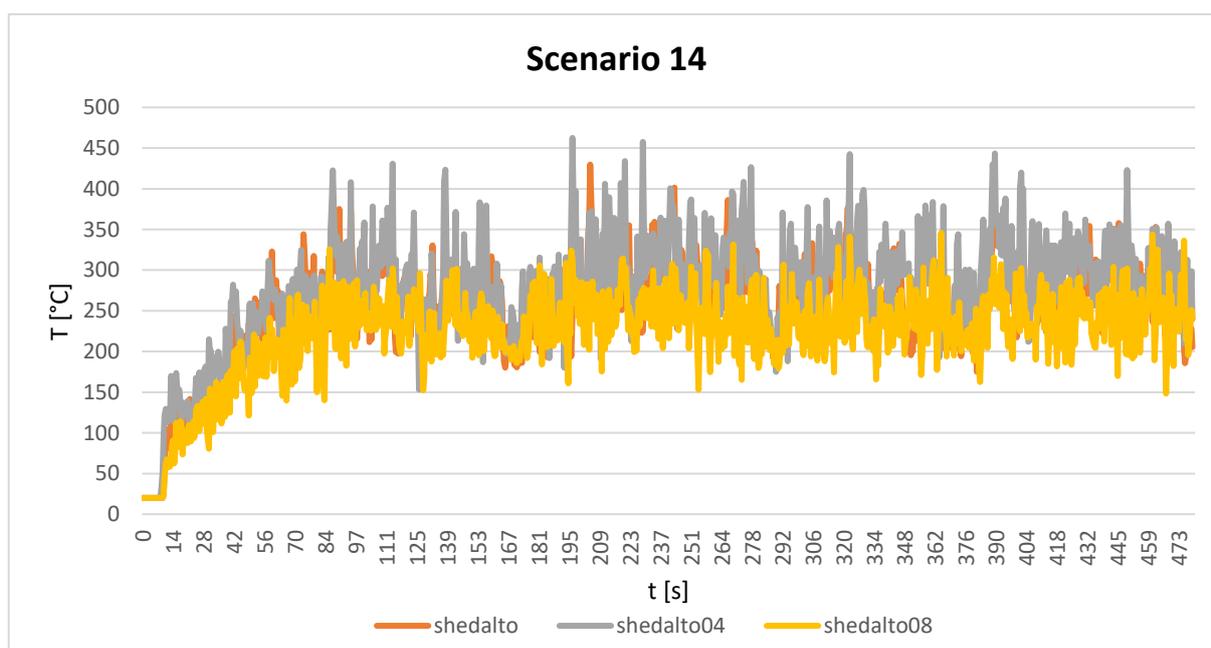
Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
shedalto	Muro lato lungo 2.5	Shed alto	12.5
shedalto04	Mezzeria focolare 6.5	Shed alto	12.5
shedalto08	10.5	Shed alto	12.5
shedbasso	Muro lato lungo	Shed basso	9
shedbasso04	Mezzeria focolare	Shed basso	9
shedbasso08	10.5	Shed basso	9



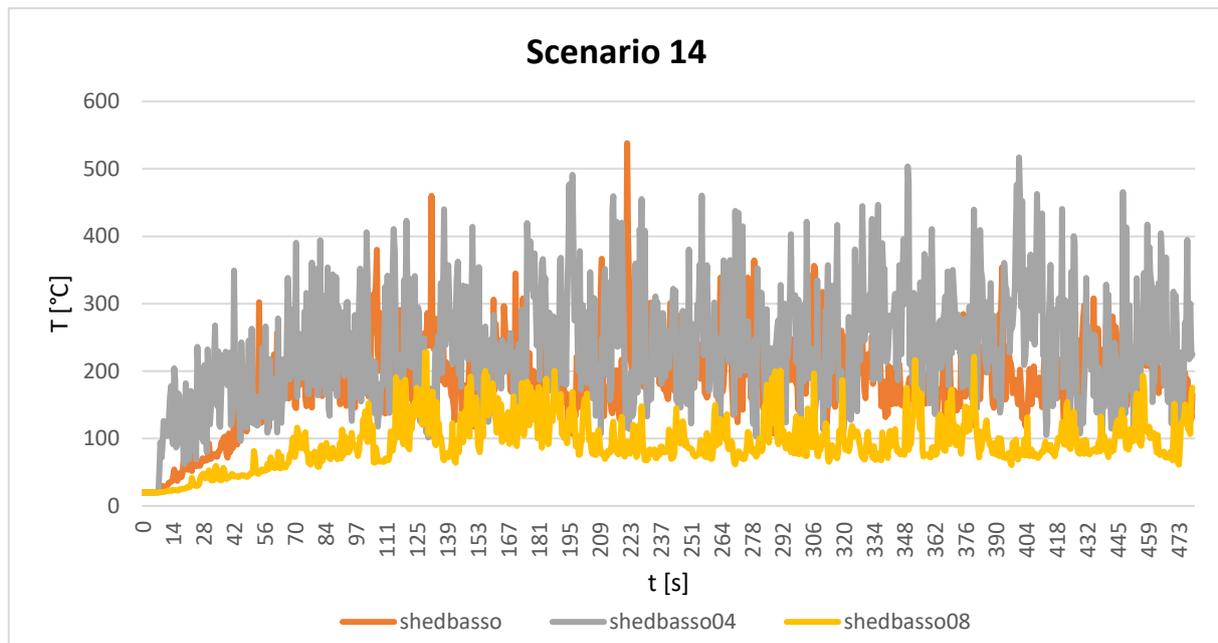
I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:



Si è deciso di confrontare la temperatura registrata dai dispositivi 'shedalto04' e 'shedbasso04': essi presentano la stessa coordinata X ma hanno altezze diverse, poiché il primo è posto all'apice della parte alta dello shed più vicino al focolare, mentre il secondo nella parte più bassa dello shed più vicino al focolare. Il dispositivo posto ad altezza inferiore registra un andamento meno regolare e con più picchi, e i valori medi della temperatura sono inferiori rispetto a 'shedalto04': anche in questo caso, il dispositivo posto nella zona di accumulo di fumi e calore mostra temperature più elevate.



I tre dispositivi sono collocati tutti all'apice della parte alta dello shed più vicino al focolare ma si differenziano per la coordinata X: 'shedalto' è più vicino al muro laterale, 'shedalto04' è sopra al focolare e 'shedalto08' è più vicino all'asse trasversale al lato corto. L'andamento della temperatura è simile per tutti e tre, anche se il secondo presenta picchi più alti. Nonostante siano posizionati ad un'altezza di circa 12 metri, la temperatura media (dopo la fase di crescita) è superiore a 200 °C.

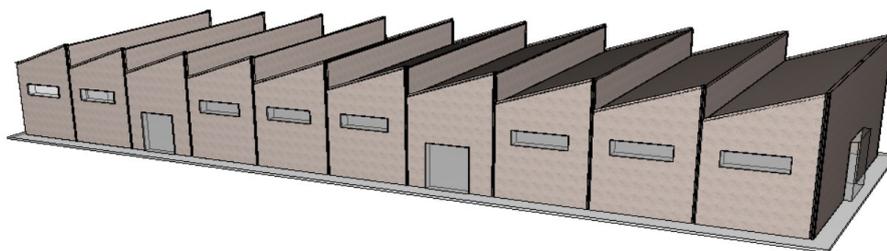


I tre dispositivi sono collocati nella parte più bassa dello shed più vicino al focolare ma si differenziano per la coordinata X: 'shedbasso' è più vicino al muro laterale, 'shedbasso04' è sopra al focolare e 'shedbasso08' è più vicino all'asse trasversale al lato corto. Quest'ultimo presenta le temperature inferiori, arrivando raramente a superare i 200 °C.

4.3.15 Scenario 15

Nello scenario 15 le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza minima copertura	Altezza massima copertura
Shed	30 m	10 m	13 m

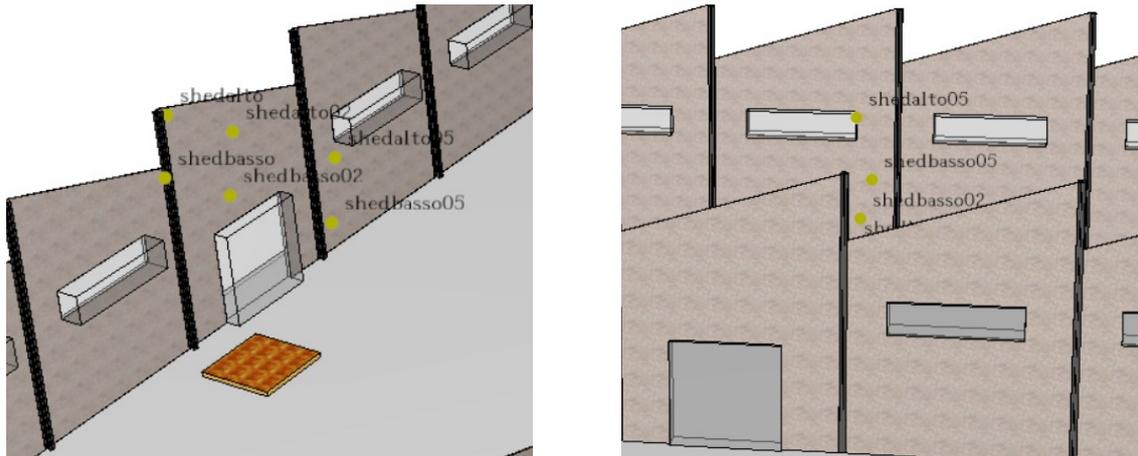


Le *slices* più significative sono così posizionate:

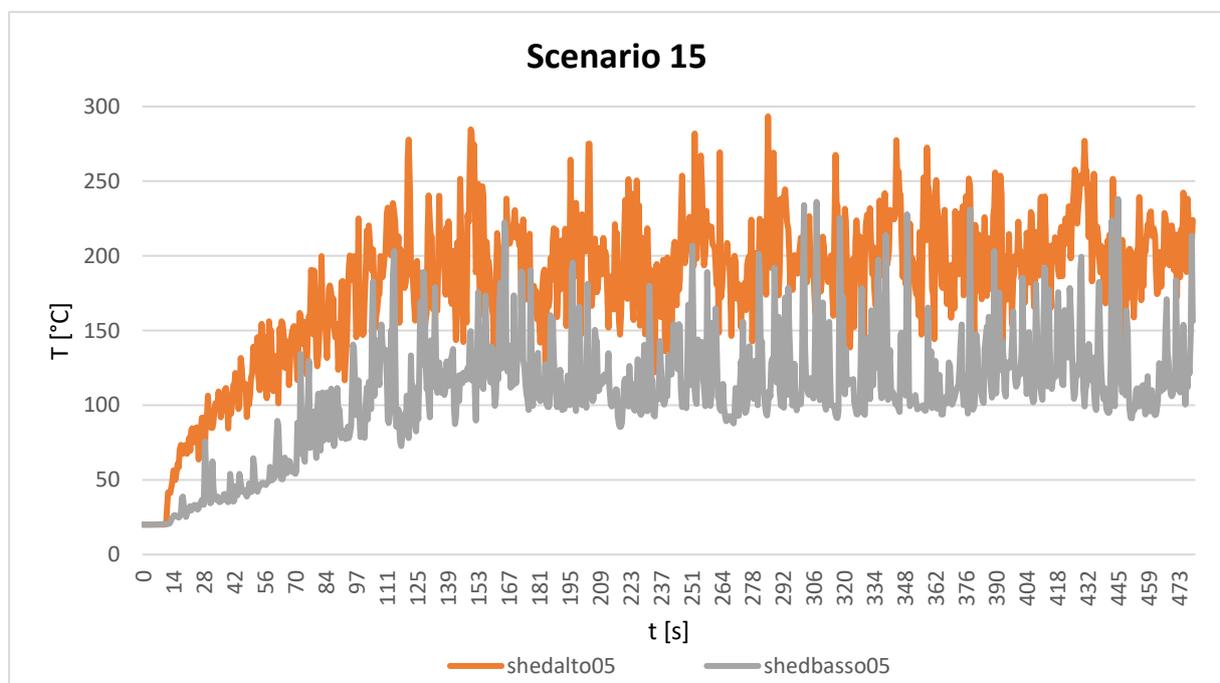
Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 6	17 s	28 s	37 s
Z = 8	23 s	35 s	46 s
Z = 10	35 s	48 s	57 s
Z = 12	38 s	63 s	72 s

I *devices* più significativi sono così posizionati:

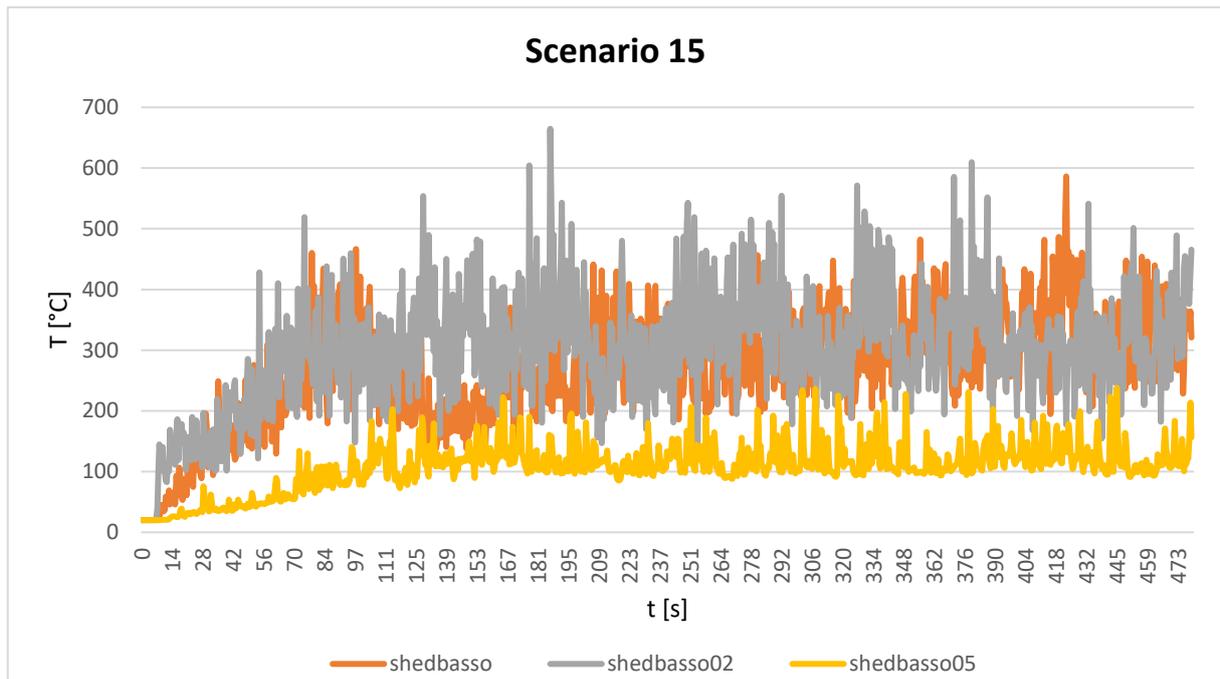
Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
shedalto05	12	Shed alto	13
shedbasso	Muro lato lungo	Shed basso	10
shedbasso02	Mezzeria focolare 6.5	Shed basso	10
shedbasso05	12	Shed basso	10



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:



Il confronto tra 'shedalto05' e 'shedbasso05' mostra una differenza evidente tra le temperature registrate: per il primo sono significativamente più alte rispetto al secondo nonostante sia collocato ad un'altezza maggiore. La differenza potrebbe essere motivata dalla conformazione particolare della copertura che ha zone di accumulo di fumi e calore.



I tre dispositivi sono collocati nella parte più bassa dello shed più vicino al focolare ma si differenziano per la coordinata X: 'shedbasso' è più vicino al muro laterale, 'shedbasso02' è sopra al focolare e 'shedbasso05' è più vicino all'asse trasversale al lato corto. Quest'ultimo presenta le temperature inferiori, arrivando raramente a superare i 200 °C; gli altri due dispositivi invece mostrano temperature sensibilmente più alte che possono essere motivate dalla distanza minore dal focolare.

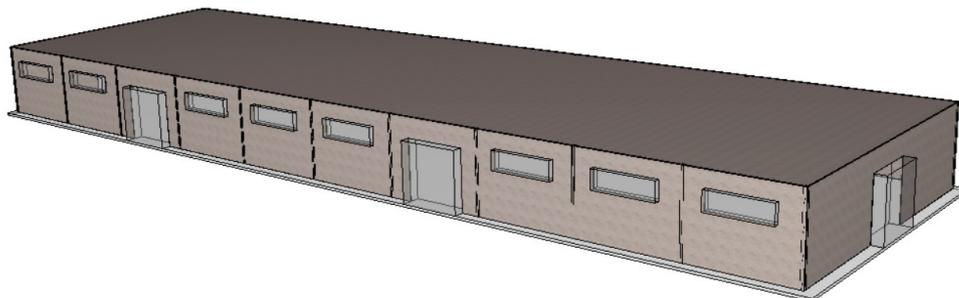
Si è deciso di eseguire alcune simulazioni di durata inferiore ai casi precedentemente analizzati e di inserire delle differenziazioni, come l'inserimento di dispositivi di rivelazione, impianti di spegnimento automatici e compartimentazioni. Con queste si vuole indagare l'utilità e l'efficacia di tali misure e la differenza dei risultati ottenuti. I devices omonimi hanno mantenuto le medesime coordinate nei diversi scenari, così da rendere possibile il loro confronto.

4.3.16 Scenario base

Nello scenario base le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza libera
Piana	30 m	8 m

Questo scenario viene preso come modello base per eseguire le successive modifiche e per il confronto dei risultati.



Le *slices* più significative sono così posizionate:

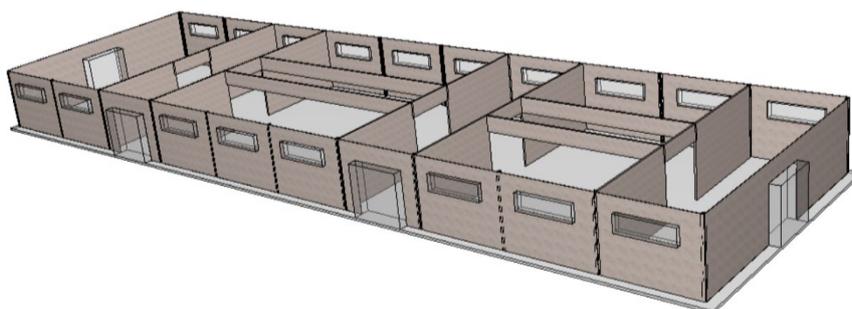
Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 4	8 s	14 s	19 s
Z = 6	13 s	19 s	26 s
Z = 7	16 s	26 s	28 s
Z = 7.5	18 s	27 s	31 s
Z = 8	20 s	28 s	34 s
X = 1 Muro lato lungo	41 s	64 s	75 s

4.3.17 Scenario con compartimentazione

Nello scenario le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza libera
Piana	30 m	8 m

In questo modello si è deciso di inserire una “compartimentazione” che consiste nell’aggiunta di due muri divisori paralleli al lato corto e di una barriera fissa di contenimento del fumo.

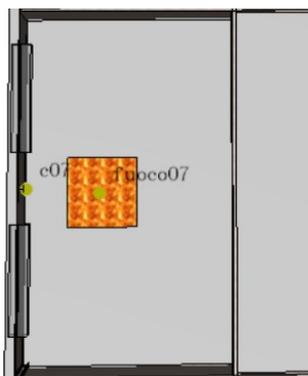


Le *slices* più significative sono così posizionate:

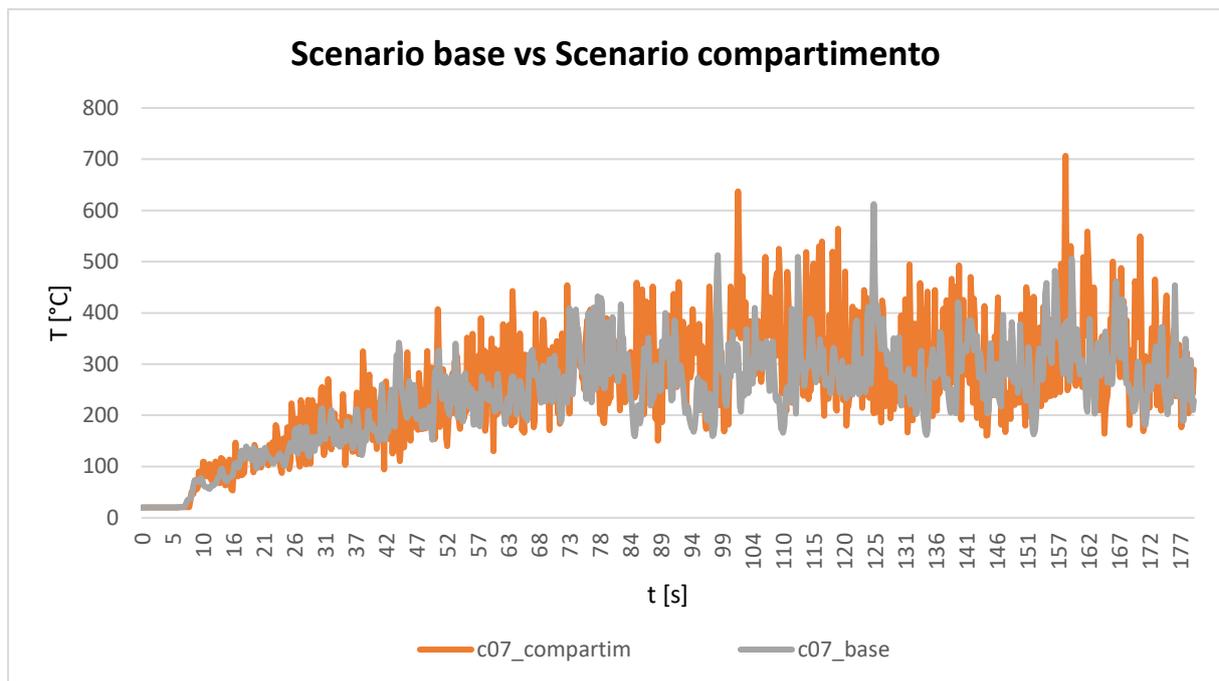
Slice [m]	Temperatura		
	300 °C	400 °C	500 °C
Z = 4	8 s	14 s	19 s
Z = 8	18 s	24 s	38 s

I *devices* più significativi sono così posizionati:

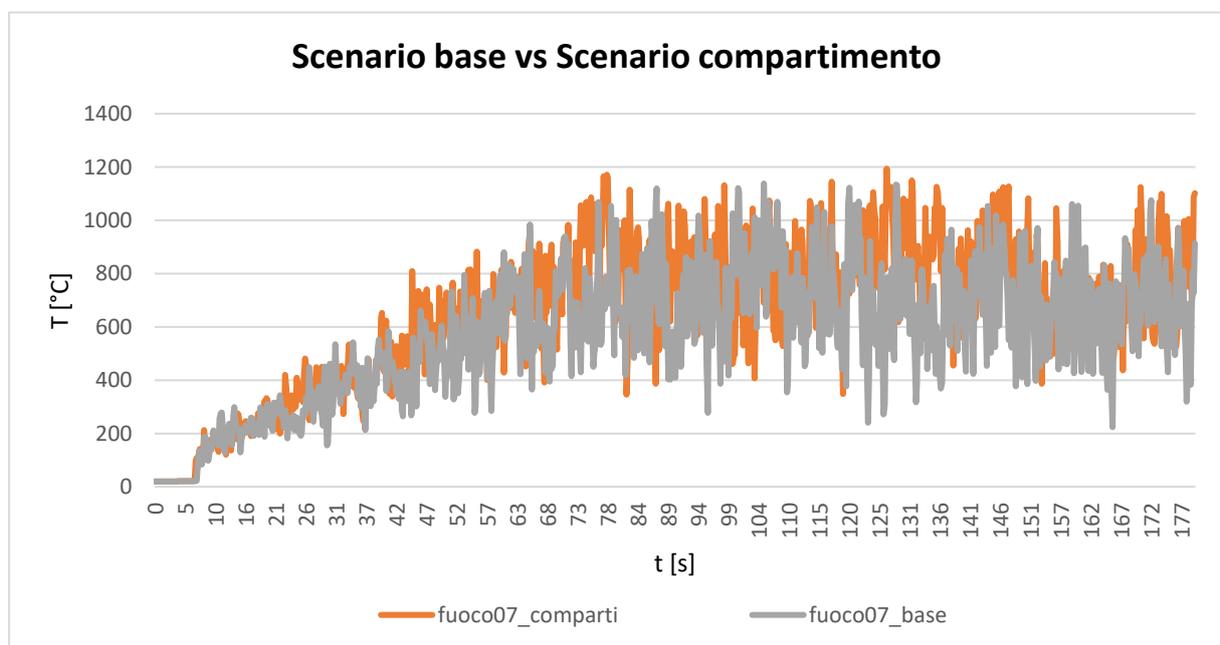
Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
c07	Muro lato lungo	Mezzeria focolare	8
fuoco07	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	8



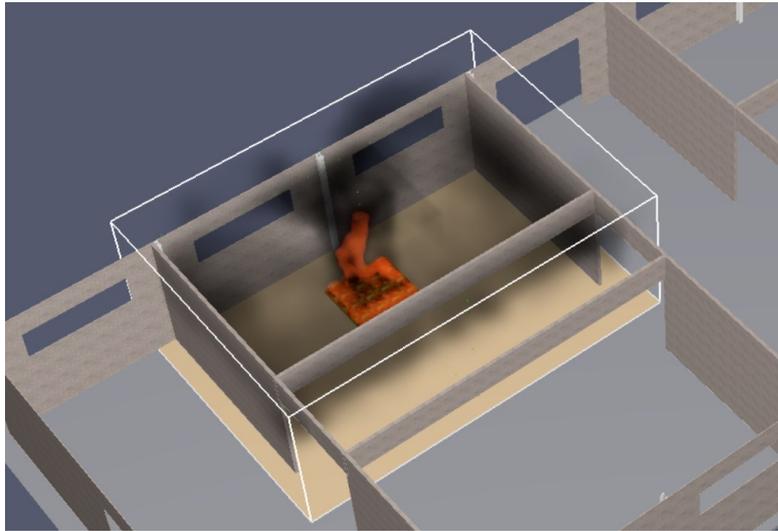
I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:



Nello scenario compartimentato la temperatura registrata dal dispositivo 'c07_compartim' è leggermente superiore a quella dello 'Scenario base' e sono presenti anche picchi maggiori.



Anche in questo secondo grafico, la temperatura dello 'Scenario compartimento' è tendenzialmente superiore, anche se le differenze sono minime. Le temperature registrate sono in entrambi casi elevate, data la posizione dei dispositivi posti sopra al focolare.



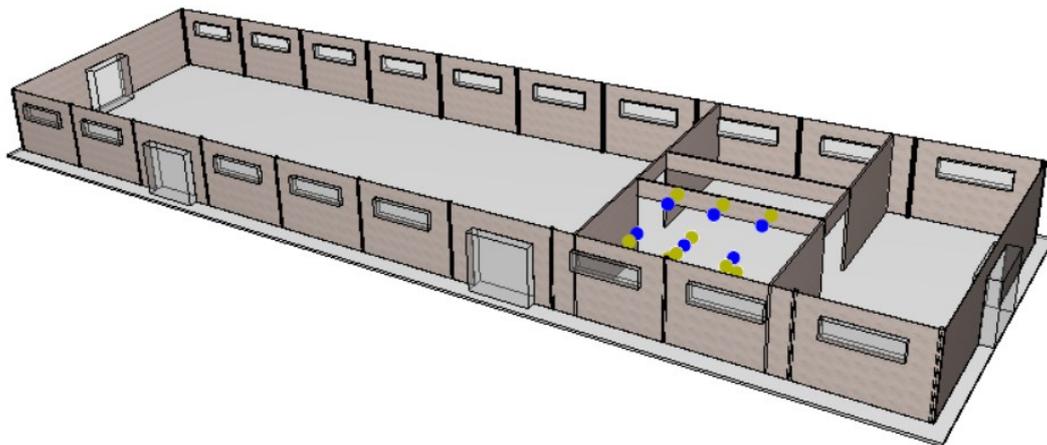
Come si può notare dalla Figura sopra, il fumo che si crea a seguito della combustione rimane circoscritto al compartimento, riducendo le possibilità di propagazione nei compartimenti adiacenti.

4.3.18 Scenario con Sprinkler

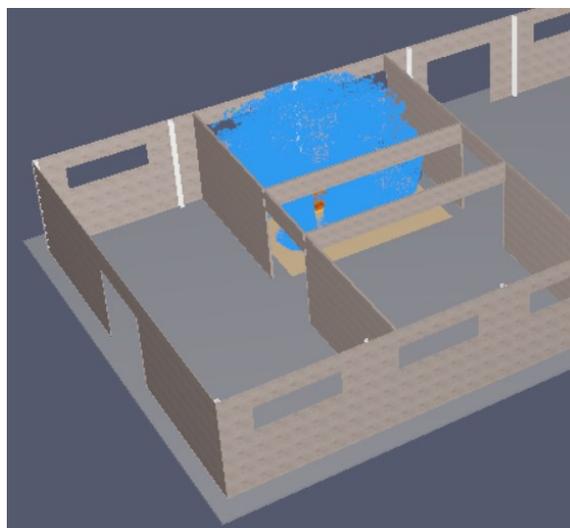
Nello scenario le caratteristiche dell'edificio sono:

Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza libera
Piana	30 m	8 m

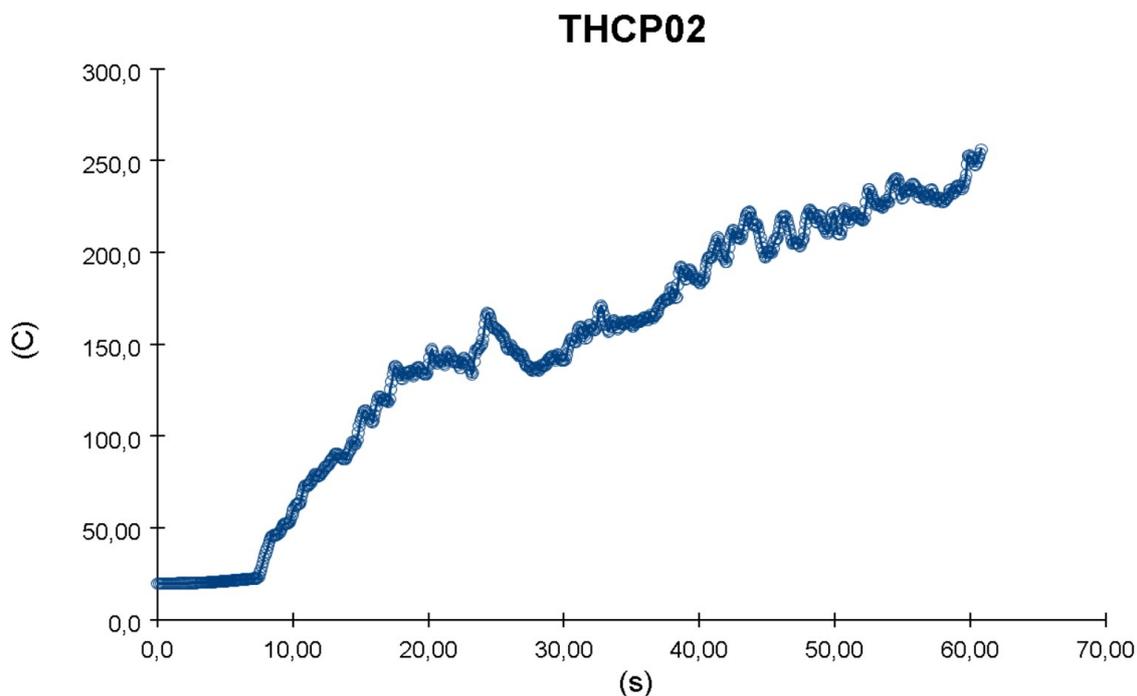
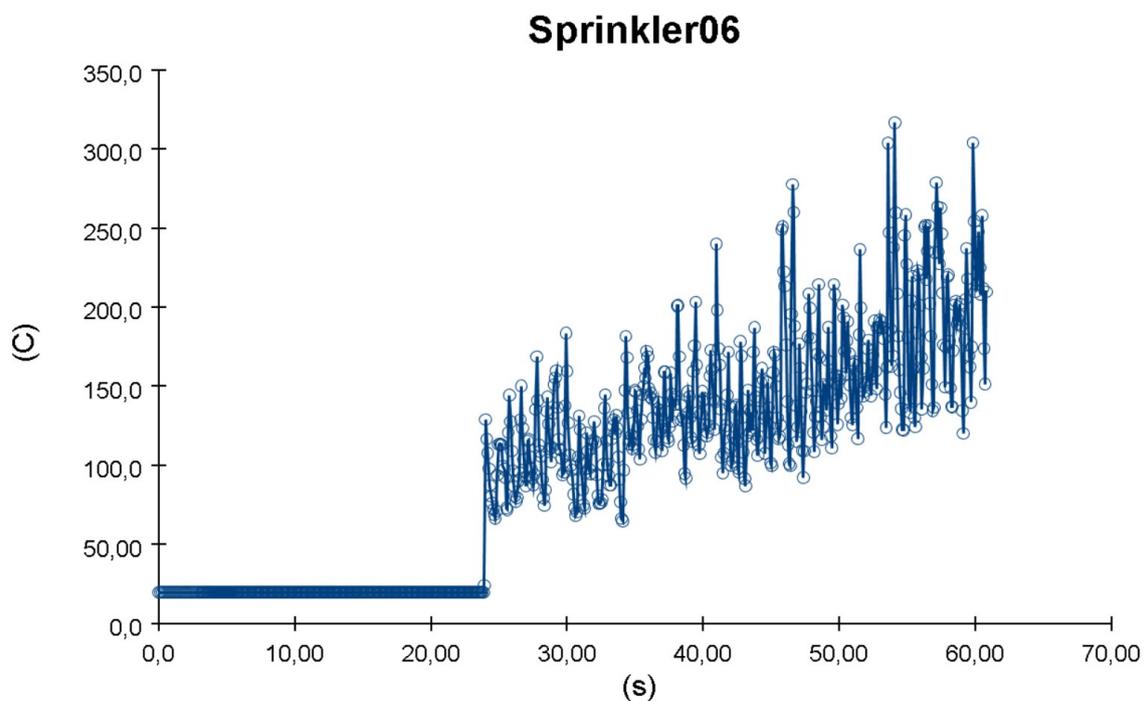
Inoltre, sono stati inseriti dieci dispositivi di rilevazione della temperatura (*Thermocouple*) settati a 150 °C; raggiunta tale temperatura, si attivano automaticamente i dispositivi Sprinkler. In questo scenario si è voluto riprodurre il caso un compartimento con installato un impianto di rivelazione e spegnimento automatico. Sono stati utilizzati sei dispositivi di rilevazione della temperatura e sei dispositivi sprinkler; la temperatura di attivazione dell'impianto può essere decisa e cambiata in funzione delle caratteristiche del compartimento e della conformazione dell'edificio, così da individuare la scelta migliore per ogni situazione.



Nelle immagini successive si può vedere il risultato ottenuto e il grafico che mostra l'istante dell'attivazione dell'impianto di spegnimento automatico.



In questa simulazione si è deciso di impostare l'attivazione di tutti gli impianti sprinkler nel momento in cui anche una sola delle *thermocouple* ha rilevato la temperatura di 150 °C: ovviamente tale logica può essere modificata, valutando l'attivazione dei soli sprinkler nelle vicinanze della fonte di calore.

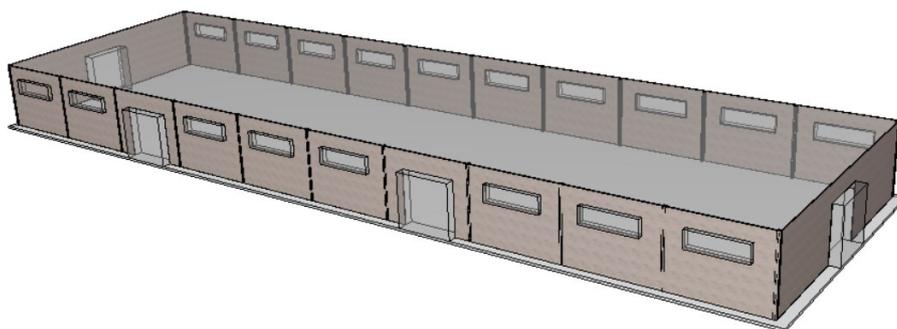


4.3.19 Scenario con focolare di 500 kW/m²

Nello scenario le caratteristiche dell'edificio sono:

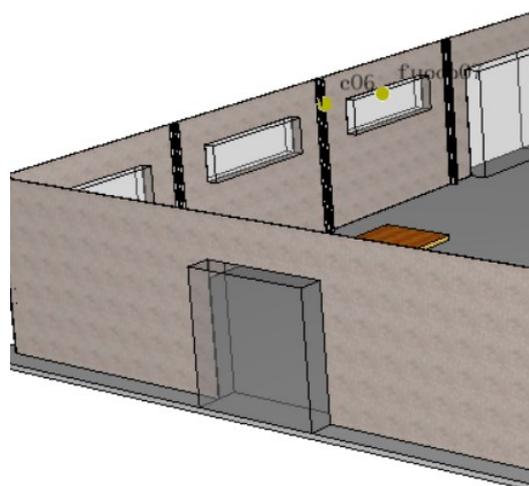
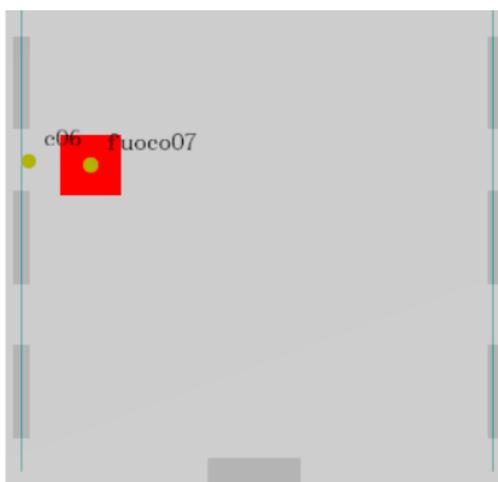
Tipologia copertura	Larghezza navata	Altezza libera
Piana	30 m	8 m

In questa simulazione è stato modificato il focolare, diminuendo il valore *Heat Release Rate Per Area* e ponendolo pari a 500 kW/m².

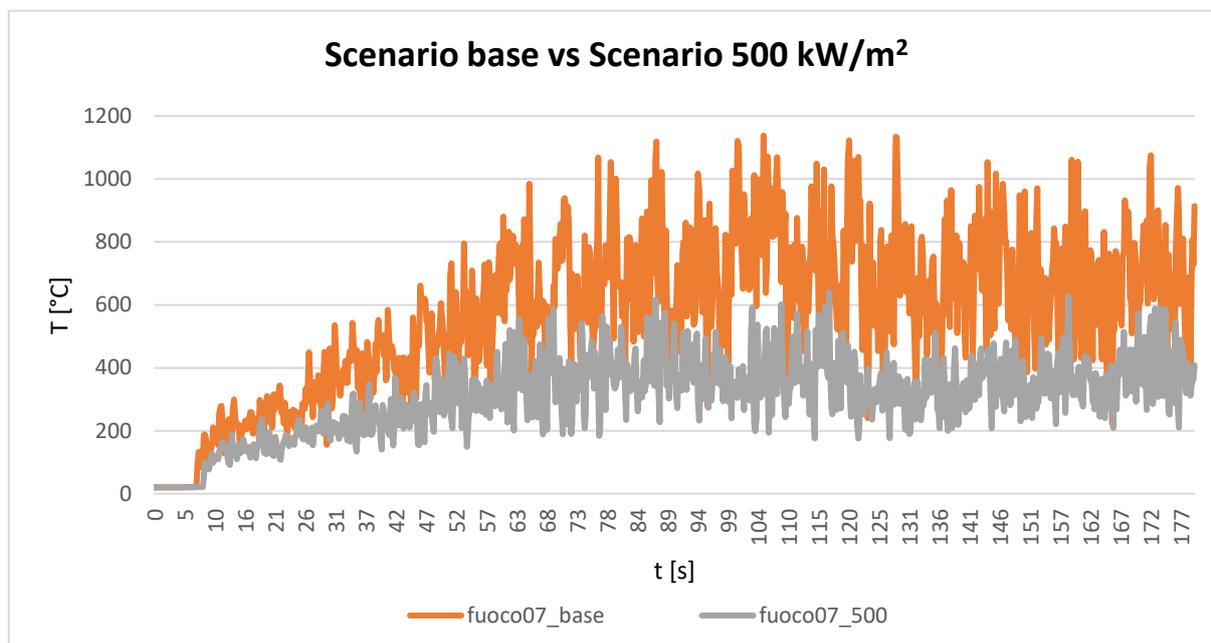


I *devices* più significativi sono così posizionati:

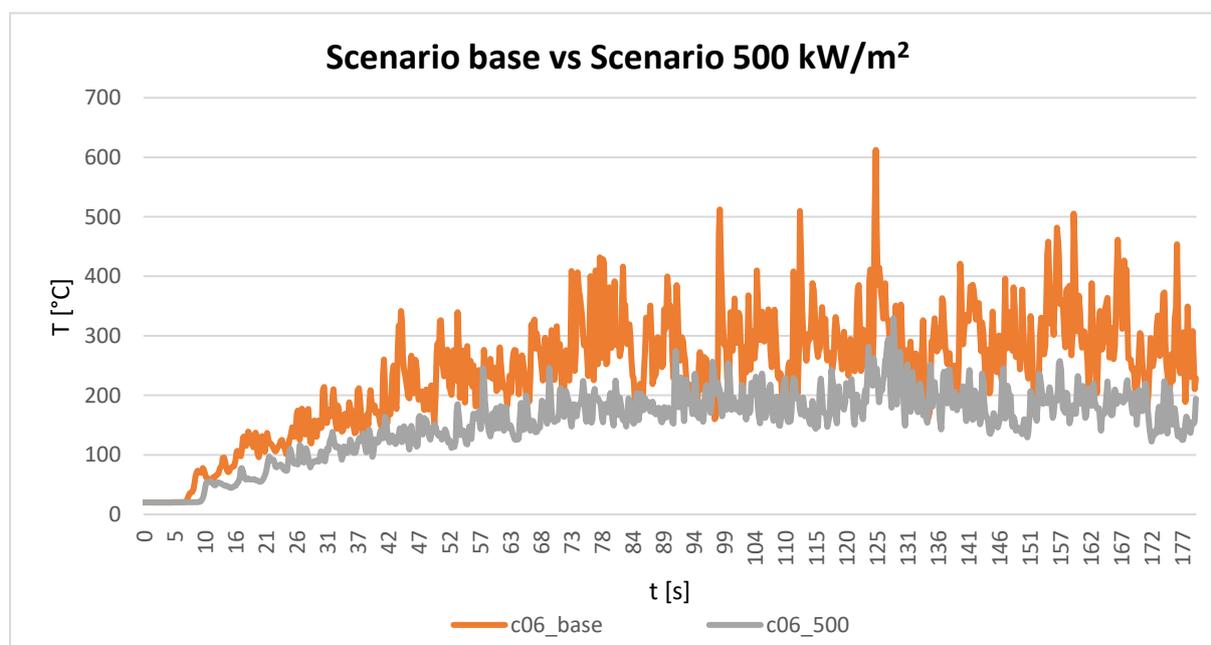
Dispositivo	Posizione		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
c06	Muro lato lungo	Mezzeria focolare	7
fuoco07	Mezzeria focolare	Mezzeria focolare	8



I risultati ottenuti dall'analisi dei dispositivi sono i seguenti:



I risultati ottenuti mostrano come la temperatura dello 'Scenario base' sia sempre maggiore di quella dello 'Scenario 500 kW/m²': la differenza è marcata, tanto che nel primo caso si hanno picchi che superano i 1000 °C mentre nel secondo non si superano i 700 °C.



Anche in questo secondo grafico è evidente la differenza tra 'Scenario base' e 'Scenario 500 kW/m²'.

4.4 Conclusioni

Nel quarto capitolo è stato approfondito il fenomeno dell'incendio, descrivendone le proprietà più importanti e le fasi caratteristiche (ignizione, crescita, flashover, fase stazionaria e decadimento). Ci si è soffermati sul caso dell'incendio di compartimento poiché quello all'aperto non è tra gli obiettivi della tesi. Dopo aver spiegato la teoria riguardante la curva RHR e alcune sue possibili variazioni, si è passati a descrivere le scelte alla base delle simulazioni svolte con il programma di fluidodinamica PyroSim. A partire dalla matrice tipologica presentata nel capitolo 2, gli edifici sono stati disegnati con AutoCAD e successivamente importati in PyroSim così da poter svolgere le simulazioni. Di seguito sono presentate le scelte progettuali considerate:

- proprietà del focolare (superficie, potenza, velocità di crescita);
- disposizione delle aperture (finestre e portoni);
- geometria degli edifici (matrice tipologica);
- durata dell'evento;
- grado di dettaglio delle simulazioni (dimensione della mesh);
- disposizione dei dispositivi di controllo (tridimensionali, planari e puntuali).

Capitolo 5

Analisi dei risultati e conclusioni

Gli incendi nei depositi di rifiuti, soprattutto quelli di natura dolosa, sono un fenomeno in forte crescita negli ultimi anni che ha attirato l'attenzione sia di persone incensurate interessate a profitti illeciti, sia della criminalità organizzata ed infine degli organismi di giustizia, preoccupati per l'escalation degli eventi. La gestione di tutte le fasi di un rifiuto, e quindi anche la raccolta, il deposito e il trattamento, è un tema che riscontra sempre più interesse nel dibattito pubblico, così come tutti quelli legati all'ambito ambientale; nonostante questo, rimanendo nell'ambito della prevenzione incendi, non è ancora stata emanata una regola tecnica verticale per tale attività costringendo i gestori degli impianti a fare riferimento al D.P.R. 151/2011 nel quale vengono citate alcune attività (34, 36, 43, 44 e 70) riconducibili al deposito. Ad aggravare la situazione del settore dei rifiuti è stata anche la crisi economica che nel 2008 ha colpito l'Italia e che ha lasciato alle sue spalle migliaia di capannoni industriali abbandonati a causa del fallimento di molte attività: tali edifici sono diventati luogo ideale per liberarsi di ingenti quantitativi di rifiuti in modo illecito. Un'altra soluzione è stata quella di adattare alcuni capannoni a depositi regolari di rifiuti con alcune modifiche necessarie per svolgere l'attività. Analizzando il panorama dei capannoni industriali, si è potuta realizzare una matrice tipologica con le caratteristiche costruttive più ricorrenti relative alla larghezza, all'altezza e alla tipologia di copertura. Tale matrice è stata utilizzata come base per le simulazioni di scenari di incendio svolte con il programma di fluidodinamica PyroSim; le caratteristiche costruttive utilizzate sono quelle presenti nella tabella sottostante.

Caratteristica costruttiva	Variabili			
Larghezza delle navate	15 m		30 m	
Tipologia di copertura	A doppia falda	Shed	Piana	Curva
Altezza libera	7 m		13 m	

Una volta disegnato l'edificio in AutoCAD e importato in PyroSim si sono rese necessarie altre valutazioni riguardanti l'impostazione della simulazione. Il focolare, date le considerazioni dei capitoli precedenti e seguendo le indicazioni fornite dal Codice alla sezione M, è stato creato con una *obstruction* di superficie pari a 16 m², con un HRRPUA pari a 1000 kW/m² e con una velocità di crescita dell'incendio lineare che raggiunge il picco dopo 75 secondi (incendio ultra-rapido) per poi mantenersi costante fino al termine della simulazione (480 secondi).

Altre scelte importanti sono la dimensione della mesh, pari a 0.25 m nell'intorno del focolare, e la disposizione di piani di controllo (2D slices) e di dispositivi puntuali per misurare la distribuzione della temperatura in funzione del tempo. Inoltre, per rendere possibile un confronto tra le simulazioni, si sono mantenuti costanti alcuni aspetti come: la pianta rettangolare, le dimensioni e la distribuzione delle aperture, l'assenza di compartimentazione e di misure di protezione attiva. L'obiettivo è stato quello di valutare la distribuzione della temperatura in funzione della tipologia costruttiva, così da riuscire ad individuare le criticità e le possibili soluzioni progettuali. Nonostante non sia stato specificato il materiale di costruzione nella fase di impostazione della simulazione, lo scopo è quello di fare riferimento a capannoni industriali con struttura portante in acciaio e con involucro esterno poiché tale materiale ha proprietà che lo rendono più vulnerabile agli effetti dell'incendio rispetto al calcestruzzo, che invece offre ottime prestazioni di reazione e resistenza al fuoco.

Nei paragrafi successivi sono inserite delle considerazioni sulle simulazioni presentate al §4.3.

5.1 Considerazioni sugli scenari con copertura piana

Dagli scenari con la copertura piana, presenti al §4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3, si è ricavato che il parametro che influisce maggiormente è l'altezza della copertura poiché non vi sono punti di accumulo di calore. Significativo è il grafico del terzo scenario (§4.3.3) nel quale sono messi a confronto i risultati dei dispositivi posti sopra al focolare ad altezze differenti da cui si può notare come al crescere dell'altezza la temperatura presenti un andamento più regolare, con meno picchi e con un valore medio nettamente inferiore. Inoltre, spostandosi dalla fonte di calore e a parità di altezza, le temperature tendono a decrescere.

Date le considerazioni appena svolte, in presenza di capannoni con copertura piana, l'altezza è uno dei fattori più importanti da considerare in fase di progettazione: al crescere di questa, aumenta lo spazio disponibile per gli eventuali fumi di combustione ed, inoltre, gli elementi che costituiscono la copertura sono meno sollecitati poiché è necessario più tempo affinché risentano degli effetti dell'incendio. Nel caso di copertura piana bisogna valutare attentamente l'altezza dei cumuli di rifiuti, che devono essere collocati ad una adeguata distanza dagli elementi portanti così da evitare la perdita repentina di resistenza con il relativo collasso della struttura.

5.2 Considerazioni sugli scenari con copertura curva

I risultati degli scenari con copertura curva (§4.3.4, 4.3.5, 4.3.6 e 4.3.7) confermano che l'altezza è il parametro più importante che influisce sulla distribuzione della temperatura ma, oltre a questo, si aggiunge l'effetto dovuto alla forma della copertura: i dispositivi distanti alcuni metri dalla fonte di calore ma che si trovano appena al di sotto della copertura registrano

temperature significative come evidente nel secondo grafico al §4.3.4. Queste simulazioni suggeriscono che la distribuzione della temperatura è influenzata dalla forma curva della copertura e il suo andamento mostra valori più alti vicino agli elementi della stessa, diminuendo al decrescere dell'altezza.

5.3 Considerazioni sugli scenari con copertura a doppia falda

Le considerazioni riguardanti gli scenari con copertura a doppia falda (§4.3.8, 4.3.9, 4.3.10 e 4.3.11) sono simili a quelle degli scenari con copertura curva; infatti, osservando il secondo grafico al §4.3.8 si può notare come, nello spazio sottostante il vertice della falda, le temperature crescano all'aumentare dell'altezza, raggiungendo il massimo vicino al vertice delle falde. Un aspetto costruttivo che potrebbe influire sulla temperatura è l'inclinazione della falda e, di conseguenza, l'angolo che si viene a formare: minore è la sua ampiezza e maggiore è la probabilità che si possano formare delle zone di accumulo della temperatura, con conseguenti danni agli elementi circostanti. È consigliato valutare l'installazione di impianti di ventilazione ed evacuazione dei fumi nelle zone con rischio più elevato di accumulo.

5.4 Considerazioni sugli scenari con copertura a shed

Negli scenari con lo shed (§4.3.12, 4.3.13, 4.3.14 e 4.3.15) la distribuzione della temperatura non è più omogenea e dipende dalla geometria della copertura. Si è notato che, nonostante l'altezza rimanga un parametro importante, la differenza maggiore dei risultati è da associare all'esistenza di zone di accumulo di calore, nelle quali la temperatura è maggiore: esse si formano nell'intorno dell'angolo convesso formato dagli elementi della copertura.

5.5 Considerazioni sugli scenari con misure preventive e protettive

Infine, sono state svolte altre tre simulazioni che hanno come scopo quello di valutare l'efficacia di alcune misure progettuali: partendo da un modello di edificio base con copertura piana (§4.3.16), sono state apportate alcune variazioni così da confrontare i risultati ottenuti dalla lettura dei dispositivi puntuali, i quali hanno mantenuto il medesimo posizionamento per tutte le simulazioni.

5.5.1 Scenario con compartimentazione

Nella prima (§4.3.17) è stata inserita una compartimentazione interna che ha modificato in modo poco sostanziale la distribuzione della temperatura: i valori, a parità di posizione, sono leggermente più alti. La compartimentazione è un'ottima soluzione per abbassare il carico di

incendio ma, allo stesso tempo, le condizioni che si vengono a creare all'interno di un compartimento di dimensioni ridotte possono essere peggiori e quindi danneggiare parte dell'edificio. I danni strutturali provocati da un incendio circoscritto ad un compartimento interno sono quasi sicuramente meno estesi, favorendo una sostituzione parziale degli elementi e non una completa ricostruzione. La soluzione della compartimentazione deve essere valutata dal progettista, così da sapere sia gli aspetti migliorativi sia quelli peggiorativi: nei primi sicuramente c'è la possibilità di evitare la propagazione dell'incendio a tutto lo stabilimento che con ogni probabilità renderebbe necessario un completo rifacimento dell'edificio; tra quelli peggiorativi ci sono le condizioni che si verrebbero a creare all'interno del compartimento, ma che possono essere mitigate da altre soluzioni, così come spiegato nel §5.5.2.

5.5.2 Scenario con sprinkler

La seconda misura inserita nella simulazione al §4.3.18 è rappresentata dall'installazione di un impianto sprinkler. In questo caso, gli impianti di erogazione sono collegati ad altrettanti dispositivi di rilevazione della temperatura: il primo che registra il valore soglia di 150 °C attiva automaticamente l'erogazione contemporanea di tutti i dispositivi che compongono l'impianto sprinkler, che deve essere dimensionato e progettato di volta in volta.

Questo scenario può essere modificato in diversi modi come, ad esempio, diversificando la temperatura di attivazione dell'impianto, posizionando diversamente gli sprinkler o cambiando la logica di attivazione. Un'altra possibile variazione, che solitamente è di maggiore efficacia, è la sostituzione dei rilevatori di temperatura con rilevatori di fumo, i quali offrono una maggiore sensibilità e quindi hanno un tempo di attivazione inferiore: è preferibile un sistema di rilevazione esteso, così da avere una copertura adeguata di tutto il compartimento.

In generale, si può dire che l'impianto di rilevazione automatica collegato ad un impianto di spegnimento automatico sia la soluzione più efficace per contrastare la propagazione di un incendio e per mantenere le condizioni migliori per l'intervento della squadra di soccorso e delle autorità competenti.

Il progettista deve essere in grado di valutare il posizionamento migliore dei dispositivi di rilevazione e di spegnimento, e la grandezza che conviene monitorare in funzione soprattutto della tipologia di rifiuti trattata dal deposito. Deve essere inoltre individuato l'agente estinguente più adeguato alla tipologia di rifiuti, poiché non è sempre detto che l'acqua sia efficace, come nel caso di matrici di materiali che tendono a rammollire o fondere.

5.5.3 Scenario con focolare di 500 kW/m²

Nella terza ed ultima simulazione, presente al §4.3.19, si è ridotta la potenza termica del focolare, portandola a 500 kW/m² (valore minimo suggerito dal Codice): tale variazione ha come risultato l'abbassamento della temperatura rispetto allo scenario base.

È preferibile organizzare i rifiuti in più cumuli di dimensioni ridotte e, se possibile, creare delle distanze di separazione che permettano all'incendio di non propagarsi da cumulo a cumulo, rimanendo così il più circoscritto possibile: più l'incendio è di dimensioni ridotte, e meno risorse sono necessarie per il suo spegnimento.

5.6 Considerazioni conclusive e futuri sviluppi

In questo elaborato si è cercato di approfondire l'attuale situazione dei depositi di rifiuti, unendo le considerazioni di ambito strutturale con quelle di prevenzione incendi. L'analisi del costruito è stata necessaria per individuare le criticità e per suggerire le migliori misure da attuare per invertire la tendenza del numero crescente di casi di incendi in queste attività. Il settore dei rifiuti è sempre più importante nella nostra società perché stiamo sviluppando un'attenzione crescente per tutti gli argomenti di tema ambientale ma, contemporaneamente, la possibilità di commettere illeciti per motivi economici sta preoccupando non solo la popolazione, ma anche le autorità. Ad oggi non è ancora stata pubblicata una regola tecnica verticale per le attività che svolgono lo stoccaggio e il deposito di rifiuti e per questo motivo si è deciso di svolgere alcune simulazioni di incendi che hanno come scopo quello di evidenziare gli aspetti critici in determinate situazioni: i risultati ottenuti sono alla base delle linee guida che si è cercato di redigere e che sono presentate nel capitolo successivo.

Va sottolineato che i risultati ottenuti dalle analisi sono la conseguenza delle scelte effettuate nella fase di impostazione degli input della simulazione. Le ipotesi assunte sono per certi versi restrittive, data l'impossibilità di indagare tutti gli aspetti che entrano in gioco in un caso reale. Quanto svolto vuole essere l'inizio di un percorso che ha come obiettivo la pubblicazione di una normativa che fornisca ai gestori degli impianti la garanzia di lavorare in modo sicuro per sé e per l'intera popolazione.

Per continuare il lavoro svolto in questa tesi, il cui argomento sarà di attualità per diversi anni, si possono migliorare alcune scelte ed indagare altre variabili. Sicuramente avendo a disposizione più calcolatori con specifiche performanti si possono riprendere le simulazioni del §4.3, dettagliando maggiormente la mesh ed ottenendo dei risultati più accurati: va ricordato che con il programma PyroSim dimezzando la dimensione della mesh, il tempo di computazione viene moltiplicato per sedici.

Un altro approfondimento può essere la variazione della ventilazione e gli effetti sui risultati: si potrebbe mantenere lo stesso edificio e lo stesso focolare, facendo variare la sola ventilazione, spostando le aperture e aumentandone o diminuendone la superficie.

Un'ultima proposta per proseguire lo studio dell'argomento è valutare il posizionamento del focolare in punti diversi dell'edificio, così da individuare gli elementi più sollecitati; oppure, variare le proprietà del focolare stesso, in linea con lo scenario al §4.3.19.

Come si è potuto capire, le variabili che possono influire sulle simulazioni possono definirsi infinite, motivo per cui non è facile redigere una norma che comprenda tutte le possibili casistiche; le simulazioni rimangono comunque un mezzo utile per riuscire a parametrare la molteplicità di contesti, ricercare e verificare strategie costruttive e soluzioni progettuali

Capitolo 6

Linee guida per i depositi di rifiuti

Le linee guida presenti in questo capitolo rappresentano la conclusione dell'elaborato e non hanno come obiettivo quello di essere una regola tecnica verticale ma solo una traccia per i gestori degli impianti e per coloro che vorranno approfondire gli argomenti trattati. Per svolgere le simulazioni del quarto capitolo sono state prese molte ipotesi restrittive, in linea con lo scopo della tesi e con le considerazioni dei capitoli precedenti: proprietà del materiale, tipologie edilizie, aperture di ventilazione e durata dell'evento. Proprio per questo motivo, anche i risultati ottenuti non possono avere validità generale, ma possono essere comunque presi in considerazione per ulteriori approfondimenti del tema. Le indicazioni presenti nei paragrafi successivi sono strutturate come le regole tecniche verticali ma solo per ottenere un riscontro grafico e una successione logica degli argomenti. Si è deciso di non inserire valori esatti riguardanti le limitazioni e il campo di applicazione poiché dovrebbero essere supportati da dati certi e da ulteriori analisi di altri parametri che entrano in gioco durante un incendio in un deposito.

6.1 Campo di applicazione

Le specifiche presenti nei successivi paragrafi possono essere applicate agli impianti con funzione di deposito e trattamento dei rifiuti solidi. Le indicazioni risultano essere più facilmente attuabili negli impianti di nuova realizzazione ma più utili per quelli già esistenti.

6.2 Definizioni

Per le definizioni riguardanti i rifiuti e le attività ad essi connesse si fa riferimento al D.Lgs. 152/06 e s.m.i. Le definizioni principali sono riportate nel capitolo *Glossario* di questo elaborato il quale è stato suddiviso in tre sezioni per semplificarne la consultazione:

1. prevenzione incendi: definizioni legate alla prevenzione incendi, come quelle riguardanti le strategie antincendio, il carico di incendio e le protezioni attive e passive;
2. strutturale: definizioni riguardanti gli aspetti strutturali di un edificio e dei suoi elementi;
3. ambientale: definizioni delle diverse tipologie di rifiuto.

6.3 Classificazioni

I depositi di rifiuti sono classificati come segue:

1. in relazione alla superficie del deposito (m^2);
2. in relazione al volume di rifiuti trattati e stoccati (m^3);
3. in relazione alle tipologie delle aree (zona deposito, ufficio, lavorazioni, percorrenza mezzi, ecc);
4. in relazione alla tipologia di rifiuto;
5. in relazione all'altezza libera di piano (m);
6. in relazione alla geometria del fabbricato.

6.4 Valutazione del rischio di incendio

La progettazione della sicurezza antincendio deve essere effettuata attuando la metodologia del capitolo G.2 del Codice di prevenzione incendi.

I profili di rischio sono determinati secondo la metodologia del capitolo G.3 del Codice di prevenzione incendi.

6.5 Strategia antincendio

1. Devono essere applicate tutte le misure antincendio della regola tecnica orizzontale del Codice, attribuendo i livelli di prestazione secondo i criteri in esso definiti, fermo restando quanto indicato al successivo comma 3.
2. Devono essere applicate le prescrizioni del capitolo V.1, *Aree a rischio specifico*, e le prescrizioni delle altre regole tecniche verticali, ove pertinenti.
3. Nei paragrafi che seguono sono riportate indicazioni utili a diminuire il livello di rischio.

6.5.1 Reazione al fuoco

1. Le pareti e gli elementi strutturali dell'edificio o del compartimento che contiene i rifiuti, devono essere realizzati con materiali appartenenti al gruppo GM0 di reazione al fuoco (capitolo S.1).
2. Se presenti zone destinate all'amministrazione o ad uffici, i materiali da costruzione devono rispettare le prestazioni previste nel capitolo V.4 qualora indipendenti dalle aree di stoccaggio e lavorazione dei rifiuti. Nel caso in cui essi si trovino nello stesso edificio, allora gli elementi dovranno appartenere al gruppo GM0.

6.5.2 Resistenza al fuoco

1. La classe di resistenza al fuoco dei compartimenti (capitolo S.2) non può essere inferiore al livello III di prestazione. Il livello di prestazione può essere inferiore qualora sia presente un carico di incendio limitato e/o un livello IV di prestazione della strategia S.6, *Controllo dell'incendio*.
2. Deve essere valutata, inoltre, la distanza dal Comando dei Vigili del Fuoco più vicino.

6.5.3 Compartimentazione

1. La superficie massima dei compartimenti deve tenere conto della tipologia di rifiuti, del carico di incendio massimo, della modalità di deposito (se all'aperto o al chiuso), dell'altezza libera del compartimento, della superficie di areazione e del livello di prestazione dei sistemi di controllo dell'incendio. Va inoltre calcolata la distanza di separazione così come indicato al paragrafo S.3.11.
2. I compartimenti devono svilupparsi su un unico piano.
3. Se presenti aree destinate ad uffici o amministrazione in edifici indipendenti, le considerazioni appena svolte non sono ad esse applicabili. Le aree dove avviene lo stoccaggio e la lavorazione devono costituire compartimento autonomo.

6.5.4 Esodo

Le aree non devono essere accessibili al pubblico. Le uniche persone che possono trovarsi nelle aree dell'impianto sono quelle che costituiscono il personale addetto o il personale delle ditte che conferisce i rifiuti.

6.5.5 Gestione della sicurezza antincendio

1. Negli impianti deve essere installata la segnaletica riferita ai divieti e alle limitazioni di esercizio.
2. È vietato fumare in tutte le aree tranne in quelle appositamente destinate che devono trovarsi a distanza di sicurezza dalle altre ed essere chiaramente individuate da apposita cartellonistica.
3. Il parcheggio degli automezzi che conferiscono e movimentano il materiale deve avvenire in apposito edificio.
4. Deve essere possibile movimentare i mezzi tra i cumuli di rifiuti, senza che questo incrementi il rischio dell'attività: vanno individuati i percorsi e deve essere presente la cartellonistica e la segnaletica necessaria e il layout dell'impianto.
5. I cumuli di rifiuti devono essere stabili; la loro altezza massima è funzione del carico di incendio, della pericolosità del rifiuto e deve essere valutata con le autorità competenti.

6. Devono essere ridotti al minimo gli inneschi: vanno evitati lavori con fiamme libere, i macchinari devono essere conformi e in buono stato.
7. È preferibile organizzare i rifiuti in più cumuli con carico di incendio inferiore e separati tra loro.

6.5.6 Controllo dell'incendio

1. Il livello di prestazione minimo per la strategia S.6 è III, e ove necessario, deve essere incrementato in funzione della valutazione del rischio. Tutto il personale deve essere formato riguardo l'uso dei dispositivi di estinzione dell'incendio e delle procedure previste.
2. I sistemi di spegnimento devono essere compatibili con la tipologia di rifiuto presente nel compartimento.
3. È sempre preferibile un sistema automatico rispetto ad uno manuale.
4. Ove non presente un sistema automatico, deve essere sempre presente un addetto in grado di intervenire in caso di necessità o un impianto automatico di rivelazione collegato ad una sala controllo.

6.5.7 Rivelazione ed allarme

1. Il livello di prestazione minimo per la strategia S.7 è III, e ove necessario, deve essere incrementato in funzione della valutazione del rischio.
2. Il posizionamento dei sensori deve tenere in considerazione la geometria del fabbricato e della copertura.
3. È preferibile l'installazione di rivelatori di fumo poiché solitamente più sensibili, ma la scelta dello strumento più corretto può prevedere la consultazione delle autorità competenti.

6.5.8 Controllo di fumi e calore

1. Il livello di prestazione minimo per la strategia S.8 è II, e ove necessario, deve essere incrementato in funzione della valutazione del rischio.
2. La superficie totale delle aperture di smaltimento deve essere funzione della tipologia di rifiuti, del carico di incendio massimo, della superficie, dell'altezza del compartimento e della geometria dell'edificio e della copertura.
3. Lo scopo è quello di permettere, in ogni situazione e condizione, alle operazioni di intervento dei Vigili del Fuoco di essere il più sicure possibili.

6.5.9 Operatività antincendio

1. Il livello di prestazione minimo per la strategia S.9 è III, e ove necessario, deve essere incrementato in funzione della valutazione del rischio.

2. Deve essere permanentemente assicurata la possibilità di avvicinare i mezzi di soccorso antincendio a distanza adeguata dagli accessi per soccorritori.

6.5.10 Sicurezza impianti tecnologici e di servizio

1. Al fine di non costituire pericolo durante le operazioni di estinzione dell'incendio, deve essere previsto in zona segnalata e di facile accesso, un dispositivo di sezionamento di emergenza che, con una sola manovra, tolga tensione a tutto l'impianto elettrico del compartimento interessato dall'incendio e ai compartimenti limitrofi.
2. Deve essere sempre attivo un sistema di videosorveglianza, con almeno un dispositivo per compartimento. Le registrazioni devono essere conservate per almeno un mese.

6.6 Altre indicazioni

1. Per ridurre al minimo il rischio di atti dolosi è necessario un impianto di videosorveglianza sempre attivo o un sistema antintrusione.
2. L'intera area dello stabilimento deve essere circondata da recinzione alta almeno 3 metri.
3. Gli accessi con l'esterno dello stabilimento devono essere controllati ed autorizzati dal personale che sorveglia l'ingresso.
4. Evitare l'ingresso ai visitatori, e ove necessario, farli accompagnare da un membro del personale.
5. Tutto il personale, ed anche gli eventuali visitatori, devono indossare indumenti ad alta visibilità e rispettare la segnaletica ed i percorsi indicati.
6. I mezzi che entrano nell'area dello stabilimento devono procedere con velocità ridotte e operare solo nelle zone previste, rispettando la segnaletica.
7. I macchinari e le apparecchiature di processo devono essere mantenuti in buone condizioni, devono essere provvisti di stop forzato e devono avere un numero adeguato di estintori o idranti a muro nelle vicinanze, così da ridurre il rischio dovuto a cause elettriche. In caso di attivazione del sistema antincendio, tutti i macchinari devono disattivarsi automaticamente ed essere riattivati manualmente.
8. L'intero impianto elettrico deve essere eseguito a regola d'arte e deve essere rilasciata la dichiarazione di conformità.
9. I rifiuti facilmente infiammabili devono essere collocati il più distanti possibile dagli elementi strutturali.
10. Deve essere presente un bacino di contenimento e raccolta dell'acqua utilizzata nelle fasi di spegnimento di un incendio.
11. L'area deve essere delimitata esternamente e devono essere assunti accorgimenti utili per renderla poco visibile ed impattante dall'esterno.

12. I depositi non devono sorgere in centri abitati, ma il più lontano possibile da essi; devono inoltre essere presenti vie di comunicazione facilmente percorribili dai mezzi di trasporto e dai mezzi utilizzati dai Vigili del fuoco per lo spegnimento degli incendi.
13. In caso di incendio, al termine della fase di spegnimento, controllare che non siano rimasti focolai attivati di piccole dimensioni.
14. Effettuare lavorazioni a caldo solo se necessario e con l'autorizzazione del responsabile, e con la presenza di dispositivi di spegnimento manuale nelle vicinanze.
15. Deve essere presente una riserva idrica che permetta lo spegnimento di ogni tipo di incendio in funzione della valutazione del rischio dello stabilimento considerato.
16. Mantenere ordine e pulizia in tutto il deposito.
17. Prevedere un sistema di filtri per l'ambiente e di purificazione dell'aria.
18. Gli elementi non strutturali devono prevedere un'adeguata reazione al fuoco, che permetta agli operatori e i soccorritori di portare a termine le fasi di spegnimento in sicurezza.
19. Accertare che non vi sia presenza di amianto in nessun elemento dell'edificio; nel caso sia rilevato, attivare le procedure necessarie per la sua rimozione sicura.
20. Nelle zone con rischio più elevato, possono essere installati ulteriori soluzioni progettuali, come cannoni estinguenti le cui caratteristiche devono essere valutate caso per caso.
21. Deve essere presente un impianto contro le scariche atmosferiche eseguito a regola d'arte.
22. Deve essere presente un impianto di messa a terra eseguito a regola d'arte.
23. Tutto il personale deve conoscere le procedure in caso di incendio, conoscere i ruoli ed i responsabili.
24. Tutto il personale deve essere formato all'utilizzo dei dispositivi di spegnimento manuali.

Glossario

PREVENZIONE INCENDI	
Attività	Complesso delle azioni organizzate svolte in un luogo delimitato, che può presentare pericolo d'incendio o esplosione.
Attività con valutazione del progetto	Attività soggetta il cui progetto antincendio è valutato, anche in deroga, dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco
Attività esistente	Attività in esercizio alla data di entrata in vigore della regola tecnica di riferimento
Attività soggetta	Attività soggetta ai controlli di prevenzione incendi di competenza del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco
Carico di incendio	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
Carico di incendio specifico	Carico di incendio riferito all'unità di superficie lorda di piano, espresso in MJ/m ²
Carico di incendio specifico di progetto	Carico d'incendio specifico corretto in base ai parametri indicatori del rischio di incendio del compartimento antincendio e dei fattori relativi alle misure antincendio presenti. Esso costituisce la grandezza di riferimento per le valutazioni della resistenza al fuoco delle opere da costruzione
Compartimento antincendio	Parte dell'opera da costruzione organizzata per rispondere alle esigenze della sicurezza in caso di incendio e delimitata da prodotti o elementi costruttivi idonei a garantire, sotto l'azione del fuoco e per un dato intervallo di tempo, la resistenza al fuoco. Qualora non sia prevista alcuna compartimentazione, si intende che il compartimento coincida con l'intera opera da costruzione
Distanza di protezione	Distanza minima misurata in pianta tra il perimetro di ciascun elemento pericoloso di un'attività ed il confine dell'area su cui sorge l'attività stessa
Distanza di separazione	Distanza di sicurezza interna, esterna o di protezione, a seconda dei casi
Distanza di sicurezza interna	Distanza minima misurata in pianta tra i perimetri dei vari elementi pericolosi di un'attività
Gestione della sicurezza antincendio	Misura finalizzata alla gestione di un'attività in condizioni di sicurezza, sia in fase di esercizio che in fase di emergenza, attraverso l'adozione di una organizzazione che prevede ruoli, compiti, responsabilità e procedure

Giudizio esperto	Analisi fondata sui principi generali di prevenzione incendi e sul bagaglio di conoscenze del progettista esperto del settore della sicurezza antincendio
Limite inferiore di infiammabilità	La più bassa concentrazione in volume di vapore al di sotto della quale non si ha accensione in presenza di innesco
Limite superiore di infiammabilità	La più alta concentrazione in volume di vapore al di sopra della quale non si ha accensione in presenza di innesco
Livello di prestazione	Specificazione oggettiva della prestazione richiesta all'attività per realizzare la misura antincendio
Metodo di progettazione della sicurezza antincendio	Metodo di progettazione specificato nel capitolo G.2 del presente documento
Misura antincendio	Categoria omogenea di strumenti di prevenzione, protezione e gestionali per la riduzione del rischio di incendio
Norma	Specificata tecnica adottata da un organismo di normazione riconosciuto, per applicazione ripetuta o continua, alla quale non è obbligatorio conformarsi, e che appartenga a una delle seguenti categorie: norma internazionale, norma europea, norma armonizzata, norma nazionale
Pericolo	Proprietà o qualità intrinseca di un determinato fattore avente il potenziale di causare danni
Potere calorifico	Quantità di calore prodotta dalla combustione completa dell'unità di massa o di volume
Prevenzione incendi	Funzione preminente di interesse pubblico diretta a conseguire, secondo criteri uniformi sul territorio italiano, gli obiettivi di sicurezza della vita umana, di incolumità delle persone e di tutela dei beni e dell'ambiente attraverso la promozione, lo studio, la predisposizione e la sperimentazione di norme, misure, provvedimenti, accorgimenti e modi di azione intesi ad evitare l'insorgenza di un incendio e degli eventi ad esso comunque connessi o a limitarne le conseguenze
Professionista antincendio	Tecnico abilitato iscritto negli appositi elenchi del Ministero dell'interno di cui all'articolo 16 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139
Profili di rischio	Indicatore speditivo della gravità di rischio di incendio associata all'esercizio ordinario di una qualsiasi attività
Progettista	Tecnico abilitato o professionista antincendio, incaricato dal responsabile dell'attività della progettazione, ai fini antincendio, dell'attività stessa o di specifici ambiti di essa, nel rispetto delle competenze attribuite dalle disposizioni regolamentari

Protezione attiva	Insieme delle misure antincendio atte a ridurre le conseguenze di un incendio, che richiedono l'azione dell'uomo o l'attivazione di un impianto
Protezione passiva	Insieme delle misure antincendio atte a ridurre le conseguenze di un incendio, non incluse nella definizione di protezione attiva e non di carattere gestionale
Reazione al fuoco	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
Regola tecnica di prevenzione incendi	Disposizione regolamentare cogente in materia di prevenzione incendi
Regola tecnica orizzontale	Regola tecnica di prevenzione incendi applicabile a tutte le attività
Regola tecnica verticale	Regola tecnica di prevenzione incendi applicabile ad una specifica attività o ad ambiti di essa, con specifiche indicazioni, complementari o sostitutive di quelle previste nella regola tecnica orizzontale
Resistenza al fuoco	Una delle misure antincendio di protezione da perseguire per garantire un adeguato livello di sicurezza di un'opera da costruzione in condizioni di incendio. Essa riguarda la capacità portante in caso di incendio, per una struttura, per una parte della struttura o per un elemento strutturale nonché la capacità di compartimentazione in caso di incendio per gli elementi di separazione strutturali e non strutturali
Responsabile dell'attività	Soggetto tenuto agli obblighi di prevenzione incendi per l'attività.
Rischio	Probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione ad un determinato fattore o agente oppure alla loro combinazione
Scenario d'incendio	Descrizione completa ed univoca dell'evoluzione dell'incendio in relazione ai suoi tre aspetti fondamentali: focolare, attività ed occupanti
Sistema d'esodo	Insieme delle misure di salvaguardia della vita che consentono agli occupanti di raggiungere un luogo sicuro o permanere al sicuro, autonomamente o con assistenza, prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività ove si trovano
Soluzione alternativa	Soluzione progettuale alternativa alle soluzioni conformi. Il professionista antincendio è tenuto a dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione impiegando uno dei metodi di progettazione della sicurezza antincendio ammessi

Soluzione conforme	Soluzione progettuale di immediata applicazione nei casi specificati, che garantisce il raggiungimento del collegato livello di prestazione
Soluzione in deroga	Soluzione progettuale per la quale è richiesta l'attivazione del procedimento di deroga, così come previsto dalla normativa vigente. Il progettista è tenuto a dimostrare il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio impiegando uno dei metodi di progettazione della sicurezza antincendio ammessi
Strategia antincendio	Combinazione delle misure antincendio finalizzate al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio
Tecnico abilitato	Professionista iscritto in albo professionale, che opera nell'ambito delle proprie competenze
Temperatura di accensione	La minima temperatura alla quale la miscela combustibile - comburente inizia a bruciare spontaneamente in modo continuo senza ulteriore apporto di calore o di energia dall'esterno
Temperatura di infiammabilità	Temperatura minima alla quale i liquidi infiammabili o combustibili emettono vapori in quantità tali da incendiarsi in caso di innesco
Temperatura teorica di combustione	Il più elevato valore di temperatura che è possibile raggiungere nei prodotti di combustione di una sostanza

STRUTTURALE	
Elementi strutturali principali	Elementi il cui cedimento per incendio compromette almeno una delle seguenti capacità: capacità portante degli altri elementi strutturali; efficacia di elementi costruttivi di compartimentazione; sistemi di protezione attiva; esodo; sicurezza soccorritori
Elementi strutturali secondari	Tutti gli elementi strutturali non principali
Elemento costruttivo	Parte o elemento di opere da costruzione, composto da uno o più prodotti da costruzione
Modulo elastico	Grandezza che esprime la propensione del materiale ad allungarsi o ad accorciarsi a seguito dell'azione di una forza di carico
Opere da costruzione	Edifici, opere di ingegneria civile ed industriale
Prodotto di costruzione	Qualsiasi prodotto o kit fabbricato e immesso sul mercato per essere incorporato permanentemente in opere da costruzione o in parti di esse e la cui prestazione incide sulla prestazione delle opere da costruzione rispetto ai requisiti di base delle opere stesse
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	Resistenza di un provino cilindrico di calcestruzzo a compressione
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Resistenza di un provino cubico di calcestruzzo a compressione
Tensione di rottura	Valore della tensione alla quale il materiale comincia a deformarsi
Tensione di snervamento	Valore della tensione alla quale il materiale subisce la rottura

AMBIENTALE	
Deposito temporaneo	Raggruppamento dei rifiuti ai fini del trasporto degli stessi in un impianto di recupero o smaltimento
Gestione dei rifiuti	Procedure o metodologie volte a gestire l'intero processo dei rifiuti
Produttore del rifiuto	Qualsiasi persona fisica o giuridica che professionalmente sviluppi, fabbrichi, trasformi, tratti, venda o importi prodotti
Recupero	Qualsiasi operazione il cui principale risultato sia di permettere ai rifiuti di svolgere un ruolo utile
Rifiuto	Qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o abbia l'obbligo di disfarsi
Rifiuto non pericoloso	Rifiuto che non rientra nella definizione di rifiuto pericoloso
Rifiuto pericoloso	Rifiuto che presenta una o più caratteristiche presenti all'Allegato I del D.Lgs. 152/2006
Smaltimento	Qualsiasi operazione diversa dal recupero anche quando l'operazione ha come conseguenza secondaria il recupero di sostanze o di energia
Stoccaggio	Attività di smaltimento consistenti nelle operazioni di deposito preliminare di rifiuti nonché le attività di recupero consistenti nelle operazioni di messa in riserva di rifiuti
Trattamento	Operazioni di recupero o smaltimento, inclusa la preparazione prima del recupero o dello smaltimento

Sigle

Sigla	Descrizione
CE	Comunità europea
CFD	Fluidodinamica computazionale, metodologia di risoluzione numerica delle equazioni della fluidodinamica, Computational Fluid Dynamics
CPR	Regolamento Prodotti da Costruzione. Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011
DCPST	Direzione centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica del Dipartimento dei Vigili del fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile del Ministero dell'interno
DVR	Documento di valutazione dei rischi secondo decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81 "Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro"
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
ESFR	Early Suppression Fast Response
FSE	Ingegneria della sicurezza antincendio, Fire Safety Engineering
IRAI	Impianti di rivelazione incendio e segnalazione allarme incendio
ISO	International Organization for Standardization
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
MIE	Minima energia di innesco, Minimum Ignition Energy
NFPA	National Fire Protection Association
NTC	Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 gennaio 2018 "Norme tecniche delle costruzioni"
RHR	Rate of Heat Release (o Heat Release Rate). Funzione che esprime l'andamento temporale della potenza termica rilasciata dall'incendio
RI	Rete di idranti
RTO	Regola tecnica orizzontale
RTV	Regola tecnica verticale
SEFC	Sistema per l'evacuazione del fumo e del calore
SEFFC	Sistema forzato per l'evacuazione del fumo e del calore
SE NFC	Sistema naturale per l'evacuazione del fumo e del calore
SPK	Sistema sprinkler
SVOF	Sistema di ventilazione orizzontale forzata

I	Isolamento
W	Irraggiamento
M	Azione meccanica
C	Dispositivo automatico di chiusura
S	Tenuta di fumo

Simboli e unità di misura

Simbolo	Descrizione	u.d.m
G_1	Carichi permanenti strutturali	[kN/m ²]
G_2	Carichi permanenti non strutturali	[kN/m ²]
P	Parametro relativo alla precompressione	[kN/m ²]
A_d	Azione eccezionale di progetto	[kN/m ²]
ψ_{ij}	Fattore di combinazione	[-]
Q_{ki}	Carico variabile o eccezionale	[kN/m ²]
f_y	Tensione di snervamento	[N/mm ²]
f_u	Tensione di rottura	[N/mm ²]
f_{cd}	Resistenza di calcolo	[N/mm ²]
E	Modulo di elasticità	[N/mm ²]
\mathcal{E}	Deformazione	[N/mm ²]
\mathcal{E}_{cu}	Deformazione ultima	[N/mm ²]
\mathcal{E}_y	Deformazione di snervamento	[N/mm ²]
σ	tensione	[N/mm ²]
$E_{fi,d}$	Sollecitazione di progetto in caso di incendio	[N/mm ²]
$R_{fi,d,t}$	Resistenza di progetto durante l'incendio	[N/mm ²]
K_θ	Fattore di riduzione	[-]
T	Temperatura	[°C]
A	Allungamento totale a carico massimo	[-]
$RHR(t)$	Potenza termica rilasciata dall'incendio	[kW]
$t(s)$	Tempo	[s]
$t_a(s)$	Tempo necessario affinché la potenza termica rilasciata raggiunga il valore di 100° kW	[s]
RHR_f	Massima potenza rilasciata per unità di superficie	[kW/m ²]
$HRRPUA$	Heat Release Rate Per Area	[kW/m ²]
A_f	Superficie lorda del compartimento	[m ²]
m	Fattore di partecipazione alla combustione	[-]

H_u	Potere calorifico inferiore del legno pari a 17500 kJ/Kg	[kJ/kg]
A_v	Area totale delle aperture verticali	[m ²]
h_{eq}	Altezza equivalente delle aperture verticali	[m]

Riferimenti bibliografici e normativi

1. Commissione parlamentare di inchiesta sulle attività illecite connesse al ciclo dei rifiuti e su illeciti ambientali ad esse correlati, *Relazione sul fenomeno degli incendi negli impianti di trattamento e smaltimento di rifiuti*. Roma, 2018.
2. 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.
3. 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*.
4. Art. 2087, Regio Decreto, *Approvazione del testo del Codice civile*.
5. Art. 178, Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale.
6. Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*. Roma, 2018.
7. Parlamento europeo e del Consiglio, *Direttiva 2008/98/CE relativa ai rifiuti che abroga alcune direttive*.
8. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, *Rapporto Rifiuti Urbani*. Roma, 2020
9. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, *Rapporto Rifiuti Speciali*. Roma, 2021.
10. Annuario statistico del Corpo Nazionale dei Vigili del fuoco. Roma, 2021.
11. Legambiente, *Ecomafia 2021. Le storie e i numeri della criminalità ambientale in Italia*. Roma, 2021.
12. Bonzanni, *Ecomafie, oggi: l'inversione della rotta dei rifiuti illeciti*, *Diacronie. Studi di Storia Contemporanea: Mafia e storiografia. Premesse culturali e prospettive attuali*.

Sitografia

<https://www.fse-italia.eu/curva-heat-release-rate-hrr/> (ultimo accesso: 10/12/2021)

<https://www.ingenio-web.it/12524-veneto-edificazione-capannoni-industriali-178-dal-2003Ambientesicurezza> (ultimo accesso: 10/12/2021)

<https://www.tuttoambiente.it/quesiti/deposito-temporaneo-rifiuti-rifiuti-pericolosi/https://www.certifico.com/ambiente/documenti-ambiente/257-documenti-riservati-ambiente/5909-vademecum-illustrato-deposito-temporaneo-rifiutiVigilidelfuoco> (ultimo accesso: 10/11/2021)

<https://www.interno.gov.it/it> (ultimo accesso: 05/11/2021)

<https://www.vigilfuoco.it/asp/home.aspx> (ultimo accesso: 16/11/2021)

<https://mauromalizia.it/testi-coordinati/codice-di-prevenzione-incendi/> (ultimo accesso: 21/11/2021)

<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/rifiuti> (ultimo accesso: 09/11/2021)

https://www.arpalombardia.it/Pages/ARPA_Home_Page.aspx (ultimo accesso: 09/11/2021)

<https://www.arpacampania.it/controlli-in-caso-d-incendi> (ultimo accesso: 10/11/2021)

https://www.ansa.it/sito/notizie/mondo/dalla_cina/2020/11/27/la-cina-vieta-limportazione-di-rifiuti-solidi-dal-2021_dd404ffb-646d-4679-bfdf-c3305e6e3dcb.html (ultimo accesso: 10/12/2021)

<https://www.corriere.it/dataroom-milena-gabanelli/inceneritori-termovalorizzatori-roghi-incendi-traffico-rifiuti-meglio-droga-690-roghi-3-anni-ecco-perche/1539f45c-e846-11e9-959d-8634d2ae544d-va.shtml> (ultimo accesso: 10/12/2021)

https://milano.corriere.it/notizie/cronaca/18_ottobre_17/04-milano-a2corriere-web-milano-eb09b444-d1f6-11e8-8c19-5eedde3c97b0.shtml (ultimo accesso: 10/12/2021)

<https://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2018/10/31/ancora-un-incendio-in-un-deposito-di-rifiutiMilano06.html> (ultimo accesso: 12/11/2021)

<https://dariozanut.wordpress.com/2017/10/29/il-trattamento-dei-rifiuti-incendi-e-prevenzione-incendi/> (ultimo accesso: 13/11/2021)

<https://www.legambiente.emiliaromagna.it/2021/11/16/ecomafia-2021-le-storie-e-i-numeri-della-criminalita-ambientale-in-italia/> (ultimo accesso: 01/12/2021)

<https://www.promozioneacciaio.it/cms/it5499-capannoni-industriali.asp> (ultimo accesso: 09/11/2021)

<https://www.idealsistem.it/cosa-pvc-caratteristiche-utilizzi/> (ultimo accesso: 24/11/2021)

<https://www.polimerica.it/articolo.asp?id=8208> (ultimo accesso: 25/11/2021)

<https://www.plasticfinder.it/pp/polipropilene-polipropene> (ultimo accesso: 24/11/2021)

<https://www.materieplastiche.eu/pe-pp-pvc/polietilene.html> (ultimo accesso: 24/11/2021)

<https://www.greensafety.it/articoli-di-approfondimento-sulla-sicurezza-antincendio/169-normativa-antincendio-depositi-stoccaggio-rifiuti.html> (ultimo accesso: 10/12/2021)

https://rosa.uniroma1.it/rosa04/moneta_e_credito/article/view/14594/14183 (ultimo accesso: 11/12/2021)