

METODI PER L'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO

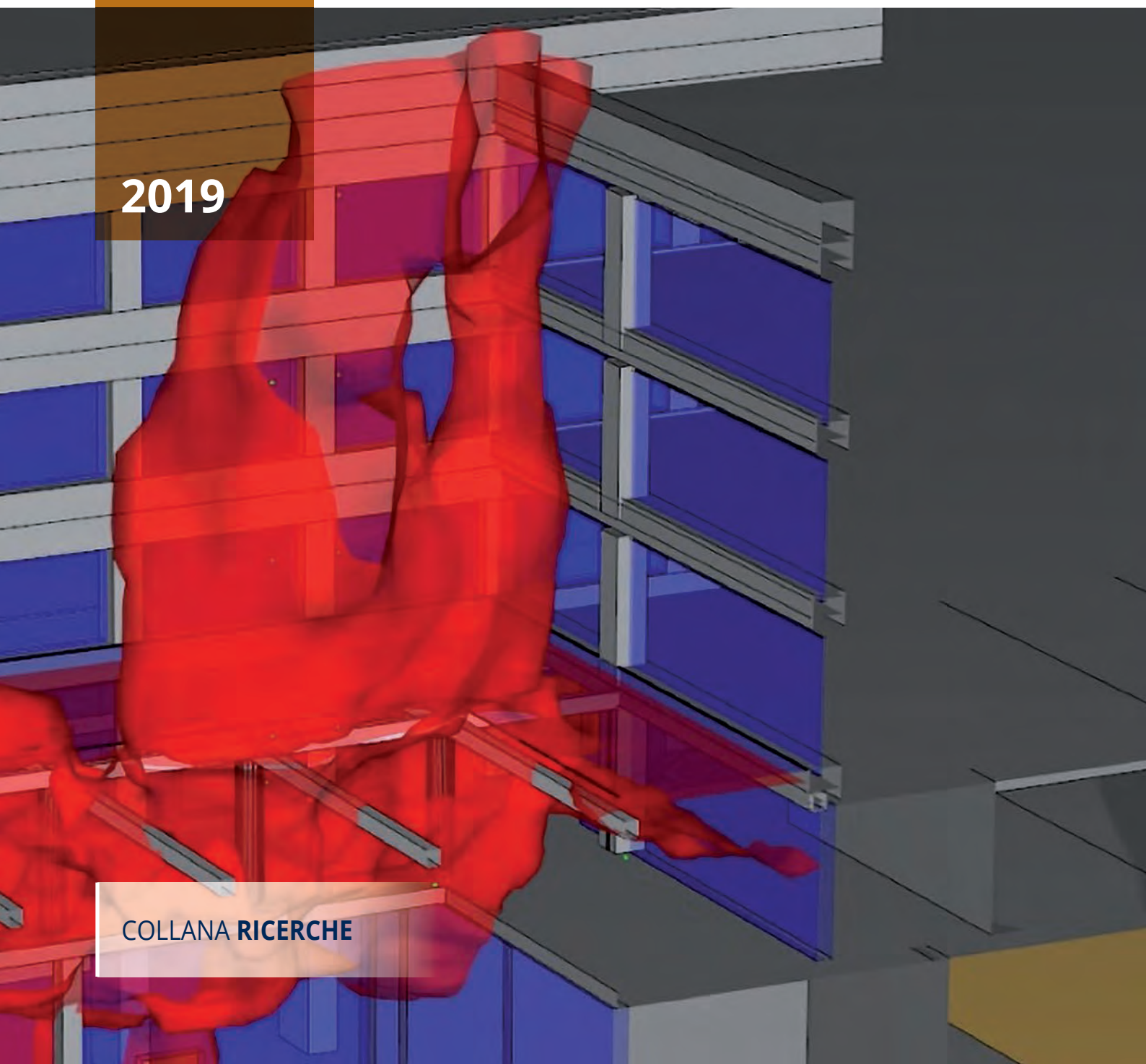
INAIL

Focus sui Metodi del Codice di prevenzione incendi

- M.1 Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio
- M.2 Scenari d'incendio per la progettazione prestazionale
- M.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

2019

COLLANA RICERCHE



METODI PER L'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO

INAIL

Focus sui Metodi del Codice di prevenzione incendi

- M.1 Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio
- M.2 Scenari d'incendio per la progettazione prestazionale
- M.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

2019

Pubblicazione realizzata da

Inail

Dipartimento innovazioni tecnologiche
e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

Responsabili scientifici

Raffaele Sabatino¹, Mara Lombardi², Marco Cavriani³, Gaetano Fede⁴

Autori

Raffaele Sabatino¹, Mara Lombardi², Nicolò Sciarretta², Piergiacomo Cancelliere³, Emanuele Gissi³, Andrea Marino³, Marco Di Felice⁴, Filippo Battistini⁵, Vincenzo Cascioli⁵, Filippo Cosi⁵, Gianluca Galeotti⁵, Alessandro Leonardi⁵, Pietro Monaco⁵

¹ Inail, Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

² Università degli Studi di Roma "La Sapienza" - DICMA

³ Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

⁴ Consiglio Nazionale degli Ingegneri

⁵ Libero professionista

per informazioni

Inail - Dipartimento innovazioni tecnologiche
e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici
via Roberto Ferruzzi, 38/40 - 00143 Roma
dit@inail.it
www.inail.it

© 2019 Inail

ISBN 978-88-7484-186-8

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nella pubblicazione, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

La presente pubblicazione è il risultato della collaborazione tra Inail, Sapienza Università di Roma, Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco e Consiglio Nazionale degli Ingegneri nell'ambito dei progetti previsti nel Piano delle attività di ricerca dell'Inail per il triennio 2016/2018

INAIL



**CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI**

Indice

Prefazione	11
1. Obiettivi	13
2. Introduzione	14
3. I Metodi per l'ingegneria della sicurezza antincendio nel Codice	15
La Fire Safety Engineering	19
4. La Sezione M del codice	20
5. Sezione M.1 - Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio	21
M.1.2 Fasi della metodologia	21
M.1.3 Prima fase - analisi preliminare	21
<i>M.1.3.1 Definizione del progetto</i>	21
<i>M.1.3.2 Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio</i>	21
<i>M.1.3.3 Definizione delle soglie di prestazione</i>	21
<i>M.1.3.4 Individuazione degli scenari d'incendio di progetto</i>	22
M.1.4 Seconda fase - analisi quantitativa:	22
<i>M.1.4.1 Elaborazione delle soluzioni progettuali</i>	22
<i>M.1.4.2 Valutazione delle soluzioni progettuali</i>	22
<i>M.1.4.3 Selezione delle soluzioni progettuali idonee</i>	22
M.1.5 Documentazione di progetto	22
M.1.6 Sommario tecnico	23
M.1.7 Relazione tecnica	23
M.1.8 Requisiti aggiuntivi per la gestione della sicurezza antincendio	23
M.1.9 Criteri di scelta e d'uso dei modelli e dei codici di calcolo	24
Analisi di sensibilità della mesh di calcolo in FDS	27
6. Sezione M.2 - Scenari d'incendio per la progettazione prestazionale	29
M.2.2 Identificazione dei possibili scenari d'incendio	29
M.2.3 Selezione degli scenari d'incendio di progetto	30
M.2.4 Descrizione quantitativa degli scenari d'incendio di progetto	31
<i>M.2.4.1 Attività</i>	31
<i>M.2.4.2 Occupanti</i>	31
<i>M.2.4.3 Incendio</i>	32
M.2.5 Durata degli scenari d'incendio di progetto	32
M.2.6 Stima della curva HRR	33
<i>M.2.6.1 Fase di propagazione dell'incendio</i>	33
<i>M.2.6.2 Effetto dei sistemi di protezione attiva antincendio</i>	33
<i>M.2.6.3 Fase dell'incendio stazionario</i>	34
<i>M.2.6.4 Fase di decadimento</i>	35
<i>M.2.6.5 Altre indicazioni</i>	35
M.2.7 Focolare predefinito	36
7. Sezione M.3 - Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale	37
M.3.2 Progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita	37
<i>M.3.2.1 Criterio ideale</i>	37
<i>M.3.2.2 Criterio $ASET > RSET$</i>	37
M.3.3 Calcolo di ASET	37
<i>M.3.3.1 Metodo di calcolo avanzato per ASET</i>	39
<i>M.3.3.1.1 Modello gas tossici</i>	39
<i>M.3.3.1.2 Modello gas irritanti</i>	39
<i>M.3.3.1.3 Modello calore</i>	39
<i>M.3.3.1.4 Modello visibilità</i>	41
<i>M.3.3.1.5 Soglia di prestazione per FED e FEC</i>	41
<i>M.3.3.2 Metodo di calcolo semplificato per ASET</i>	41
<i>M.3.3.3 Campo di applicabilità del metodo semplificato</i>	41
M.3.4 Calcolo di RSET	43
<i>M.3.4.1 Tempo di rivelazione</i>	43
<i>M.3.4.2 Tempo di allarme generale</i>	43
<i>M.3.4.3 Tempo di attività pre-movimento</i>	43

M.3.4.4 Tempo di movimento	44
M.3.5 Soglie di prestazione per la salvaguardia della vita	45
Riferimenti nel Codice per la Sezione Metodi	47
8. I Metodi nelle nuove RTV	48
Caso studio 1: soluzione alternativa per il livello di prestazione I misura S.4 - autorimessa	51
Descrizione	51
Obiettivi dello studio	52
Calcolo di RSET - aspetti teorici	53
<i>Tempo di rivelazione (tdet)</i>	53
<i>Tempo di allarme generale (ta)</i>	53
<i>Tempo di attività di pre-movimento (tpre)</i>	55
<i>Tempo di movimento (ttra)</i>	56
Il modello idraulico	56
I modelli agent-based	58
<i>Calcolo del tempo di movimento</i>	59
Calcolo di RSET - applicazione numerica	61
Considerazioni a commento	64
Caso studio 2: soluzione alternativa per il livello di prestazione I misura S.4 - scuola	65
Descrizione	65
Obiettivi dello studio	66
Calcolo di RSET - scenari d'incendio S1 e S2	67
<i>Individuazione degli scenari d'incendio di progetto</i>	67
Scenario S1, incendio nei piani diversi dal seminterrato	67
Scenario S2, incendio al piano seminterrato	68
Soluzione alternativa: porte lungo le vie di esodo	72
Considerazioni a commento	73
Caso studio 3: soluzione alternativa per il livello di prestazione I misura S.4 - attività commerciale	74
Descrizione	74
Obiettivi dello studio	75
<i>Focus sulla strategia adottata</i>	75
Definizione del progetto	76
Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio	77
<i>Individuazione degli scenari d'incendio di progetto</i>	77
<i>Focolare d'incendio materiale in esposizione</i>	77
<i>Focolare d'incendio carrello elevatore</i>	78
<i>Scelta delle posizioni critiche per i focolari d'incendio</i>	79
Risultati delle simulazioni	80
Calcolo di RSET	80
Calcolo di ASET	85
Considerazioni a commento	90
Caso studio 4: soluzione alternativa per il livello di prestazione I misura S.4 - ufficio	91
Descrizione	91
Obiettivi dello studio	92
<i>Individuazione degli scenari d'incendio di progetto</i>	92
<i>Definizione dello scenario d'incendio di progetto</i>	93
Calcolo di RSET	94
<i>Metodo ISO/TR 16738</i>	94
<i>Modello agent based</i>	95

Calcolo di ASET	98
Considerazioni a commento	105
Caso studio 5: soluzione alternativa per il livello di prestazione I misura S.4 - magazzino	106
Descrizione	106
Obiettivi dello studio	108
<i>Focus sulla strategia adottata</i>	108
Metodo degli elementi radianti - lato rampa di accesso 1	109
Metodo degli elementi radianti - lato rampa di accesso 2	112
Considerazioni a commento	116
Caso studio 6: soluzioni alternative per i livelli di prestazione I misura S.4 e III misura S. 8 - autorimessa	117
Descrizione	117
Obiettivi dello studio	118
<i>Focus sulla strategia adottata</i>	118
Definizione del progetto	120
Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio	120
<i>Individuazione degli scenari d'incendio di progetto</i>	123
<i>Scenario d'incendio di progetto S2 (autovettura)</i>	124
<i>Focolare d'incendio</i>	124
<i>Scenario di progetto S7 (autovettura)</i>	124
Risultati delle simulazioni	126
Calcolo di RSET	126
Calcolo di ASET	128
Gestione della sicurezza antincendio	134
Considerazioni a commento	135
Caso studio 7: soluzione alternativa per il livello di prestazione II misura S.8 - archivio	136
Descrizione	136
Obiettivi dello studio	137
<i>Focus sulla strategia adottata</i>	138
<i>Carico d'incendio specifico di progetto per il compartimento archivio</i>	138
<i>Controllo dell'incendio nell'archivio</i>	140
<i>Progettazione dell'impianto di ventilazione meccanica</i>	141
Esercizio ordinario	141
Esercizio in caso d'emergenza	141
Definizione del progetto	142
Obiettivi di sicurezza antincendio preposti allo sviluppo della soluzione alternativa	142
Livelli di prestazione da raggiungere nell'ambito della soluzione alternativa	142
<i>Smaltimento fumo e calore durante le fasi d'intervento dei soccorritori</i>	142
<i>Individuazione degli scenari d'incendio di progetto</i>	143
<i>Individuazione degli scenari d'incendio di progetto</i>	143
Verifica delle prestazioni con modelli semplificati	145
<i>Scelta del modello di calcolo</i>	145
Calcolo del tempo di rivelazione dell'incendio	145
<i>Calcolo dell'irraggiamento</i>	145
<i>Calcolo della produzione di fumo e dell'altezza dello strato libero dai fumi</i>	146
<i>Verifica dei livelli di prestazione raggiunti utilizzando un modello semplificato</i>	147
Verifica delle prestazioni con modelli avanzati	148
<i>Tridimensionalizzazione della struttura</i>	148
Analisi di sensibilità della mesh computazionale	148
<i>Riproduzione dell'impiantistica, della sensoristica e della strumentazione virtuale</i>	149
<i>Strategia d'intervento simulata</i>	151
Risultati delle simulazioni	152
<i>Evoluzione dell'incendio</i>	152
<i>Evoluzione della temperatura</i>	153
Evoluzione della visibilità	153
<i>Evoluzione dell'irraggiamento</i>	153

Verifica dei livelli di prestazione raggiunti utilizzando un modello avanzato	156
Soluzione conforme, per la misura S.8, nel compartimento uffici	156
Considerazioni a commento	157
Caso studio 8: soluzione alternativa per il livello di prestazione III misura S.8 - autorimessa	158
Descrizione	158
Obiettivi dello studio	159
Definizione del progetto	160
Individuazione degli scenari d'incendio di progetto	161
Focolare d'incendio	161
<i>Scelta delle posizioni critiche per i focolari d'incendio</i>	164
<i>Risultati delle simulazioni</i>	165
Calcolo di RSET	165
Calcolo di ASET	169
Considerazioni a commento	196
Caso studio 9: soluzione alternativa per il livello di prestazione III misura S.8 - autorimessa	197
Descrizione	197
Obiettivi dello studio	200
La progettazione prestazionale del SEFC e la salvaguardia della vita	200
Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio	201
Individuazione degli scenari d'incendio di progetto	203
Valutazione delle soluzioni progettuali	207
Selezione delle soluzioni progettuali idonee	212
Considerazioni a commento	214
Caso studio 10: soluzione alternativa per il livello di prestazione II misura S.8 - magazzino	215
Descrizione	215
Obiettivi dello studio	216
<i>Focus sulla strategia adottata</i>	216
<i>Controllo di fumi e calore nel progetto originario</i>	216
<i>Controllo di fumi e calore nel progetto in variante alla luce del Codice</i>	217
<i>Approfondimenti con la Fire Safety Engineering</i>	222
Individuazione degli scenari d'incendio di progetto	223
<i>Focolare d'incendio</i>	224
Risultati delle simulazioni	225
Calcolo di RSET	225
Calcolo di ASET	226
Considerazioni a commento	233
Caso studio 11: soluzione alternativa per il livello di prestazione II misura S.2 - magazzino	234
Descrizione	234
Obiettivi dello studio	235
Definizione del progetto	235
Obiettivi di sicurezza antincendio preposti allo sviluppo della soluzione alternativa	236
Livelli di prestazione da raggiungere nell'ambito della soluzione alternativa	236
<i>Contenimento dei fumi e dei prodotti dell'incendio</i>	237
<i>Esodo degli occupanti</i>	237
Individuazione degli scenari d'incendio di progetto	240
<i>Scenario S1, incendio nell'area ricevimento merci nel modulo 1</i>	240
<i>Scenario S2, incendio della merce depositata nel modulo 2</i>	241
Individuazione degli scenari d'incendio di progetto	242
Verifica delle prestazioni con modelli avanzati	244
<i>Tridimensionalizzazione della struttura</i>	244

Scenario S1 - Analisi di sensibilità della mesh computazionale	244
Scenario S2 - Analisi di sensibilità della mesh computazionale	245
Riproduzione dell'impiantistica, della sensoristica e della strumentazione virtuale	245
Risultati delle simulazioni per lo Scenario S1	247
Evoluzione dell'incendio	247
Evoluzione della temperatura	248
Evoluzione della visibilità	248
Livelli di concentrazione delle specie tossiche	249
Livelli di irraggiamento lungo le vie di esodo	249
Risultati delle simulazioni per lo Scenario S2	250
Evoluzione dell'incendio	250
Evoluzione della temperatura	250
Evoluzione della visibilità	251
Livelli di concentrazione delle specie tossiche	252
Livelli di irraggiamento lungo le vie di esodo	252
Verifica dei livelli di prestazione raggiunti	252
Considerazioni a commento	253
Caso studio 12: soluzione alternativa per il livello di prestazione III misura S.2 - autorimessa	254
Descrizione	254
Obiettivi dello studio	255
Individuazione degli scenari d'incendio di progetto	255
Definizione dello scenario d'incendio di progetto	257
Determinazione delle curve naturali d'incendio	265
Verifica della capacità portante a caldo degli elementi strutturali	268
Considerazioni a commento	281
Caso studio 13: soluzione alternativa per il livello di prestazione II misura S.3 - deposito	282
Descrizione	282
Obiettivi dello studio	283
Focus sulla strategia adottata	284
Aree a rischio specifico	284
Compartimentazione	284
Determinazione della distanza di separazione	286
Metodo tabellare: incendio nel deposito - irraggiamento verso i reparti	286
Metodo tabellare: incendio nei reparti o nel magazzino - irraggiamento verso il deposito	286
Metodo analitico: incendio nei reparti o nel magazzino - irraggiamento verso il deposito	287
Verifica dell'irraggiamento mediante modellazione	289
Scenario S3 - incendio nel deposito ed effetti dell'irraggiamento VS reparto produttivo	290
Metodo degli elementi radianti	290
Metodo delle fiamme	294
Scenario S1 - incendio nel reparto produttivo ed effetti dell'irraggiamento vs il deposito	298
Metodo degli elementi radianti	298
Considerazioni a commento	299
Bibliografia	300
Fonti immagini	301

Prefazione

La progettazione della sicurezza antincendio nelle attività soggette alle visite ed i controlli dei Vigili del Fuoco e nei luoghi di lavoro, al fine di ridurre l'insorgenza di un incendio e di limitarne le conseguenze, è sancita dal d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151 per le attività soggette, mentre nei luoghi di lavoro è prescritta dall'art. 17 del d.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i. (Testo unico per la sicurezza).

Le suddette misure, che si basano sulla preliminare valutazione del rischio incendio, possono essere individuate a partire da un approccio progettuale di tipo prescrittivo o di tipo prestazionale.

Si segnala che tali obblighi valgono anche in attività che non sono luoghi di lavoro in virtù del d.lgs. 139 dell'8 marzo 2006 e s.m.i..

La progettazione antincendio, nel rispetto della normativa vigente in materia, può essere effettuata elaborando soluzioni tecniche flessibili ed aderenti alle specifiche caratteristiche ed esigenze delle attività soggette al controllo di prevenzione incendi (metodo prestazionale).

In questo contesto si inserisce il Codice di prevenzione incendi (Co.P.I.), d.m. 3 agosto 2015 recante "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 16 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139", il quale, senza effettuare uno strappo rispetto al passato, si propone come promotore del cambiamento, privilegiando l'approccio prestazionale, in grado di garantire standard di sicurezza antincendio elevati mediante un insieme di soluzioni progettuali, sia conformi che alternative.

In sostanza, il Codice rappresenta uno strumento finalizzato all'ottenimento degli obiettivi di sicurezza antincendio, caratterizzato da un linguaggio allineato con gli standard internazionali.

La strategia antincendio in esso rappresentata, in dipendenza dei livelli di prestazione scelti, garantisce i prefissati obiettivi di sicurezza, mediante diverse soluzioni progettuali, grazie alla compresenza ed all'apporto delle varie misure antincendio.

Si segnala che il recente d.m. 12 aprile 2019, modificando il d.m. 3 agosto 2015, prevede l'eliminazione del cosiddetto "doppio binario" per la progettazione antincendio delle *attività soggette* al controllo da parte dei VV.F.; in particolare vengono introdotti due elementi:

- l'ampliamento del campo di applicazione del Codice (sono state inserite alcune nuove attività dell'allegato I al d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151);
- l'obbligatorietà dell'utilizzo del Codice per la progettazione delle attività *non normate*, in luogo dei "criteri tecnici di prevenzione incendi".

In definitiva, saranno 42 le *attività soggette*, comprese nel citato allegato 1, per le quali la Regola Tecnica Orizzontale (RTO) del Codice diverrà l'unico riferimento progettuale possibile.

Si segnala, a latere, che il 18 giugno 2019 è stato approvato, in sede di Comitato Centrale Tecnico Scientifico dei VV.F., un documento relativo alla proposta di aggiornamento del Codice.

Il Consiglio Nazionale degli Ingegneri, a proposito del reale utilizzo del Codice, ha condotto un sondaggio che ha coinvolto più di 2000 ingegneri - il 6,3% "professionisti antincendio" attualmente iscritti negli elenchi del Ministero dell'Interno - in merito ai progetti e alle richieste di deroghe che hanno fatto ricorso al Codice come metodo di progettazione.

L'indagine, i cui risultati sono stati pubblicati dal CNI sul proprio sito (www.tuttoingegnere.it) il 17 ottobre 2016, ha rivelato un notevole interesse verso le nuove potenzialità introdotte dal Codice ma, allo stesso tempo, un utilizzo non diffuso dello stesso: oltre il 62% dei progettisti, infatti, pur avendo frequentato corsi di formazione incentrati sull'utilizzo del Codice, non ha provato ad utilizzarlo oppure ha rinunciato dopo un tentativo; di quelli che lo hanno adottato, pochi hanno fatto ricorso alle cosiddette *soluzioni alternative*.

Probabilmente a causa della percepita complessità dello strumento normativo, e conseguente aumento della responsabilità, il Codice è di fatto spesso ignorato a vantaggio del più "consolidato" metodo prescrittivo.

Al fine di illustrare le potenzialità del Codice e di fornire degli strumenti esplicativi, incentrati su esempi pratici di progettazione, che sembrano rappresentare un'esigenza particolarmente sentita dai professionisti intervistati nel sondaggio, è stata attivata una collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente - Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale - Università di Roma "Sapienza", il Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici - Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (C.N.VV.F.) ed il Consiglio Nazionale degli Ingegneri.

Saranno quindi sviluppati, secondo l'approccio e con gli obiettivi sopra evidenziati, una serie di compendi riguardanti, fondamentalmente, le dieci misure della strategia antincendio presenti nel Codice. La presente pubblicazione si occupa delle tematiche relative all'applicazione dei contenuti illustrati nei capp. M1, M2 e M3.

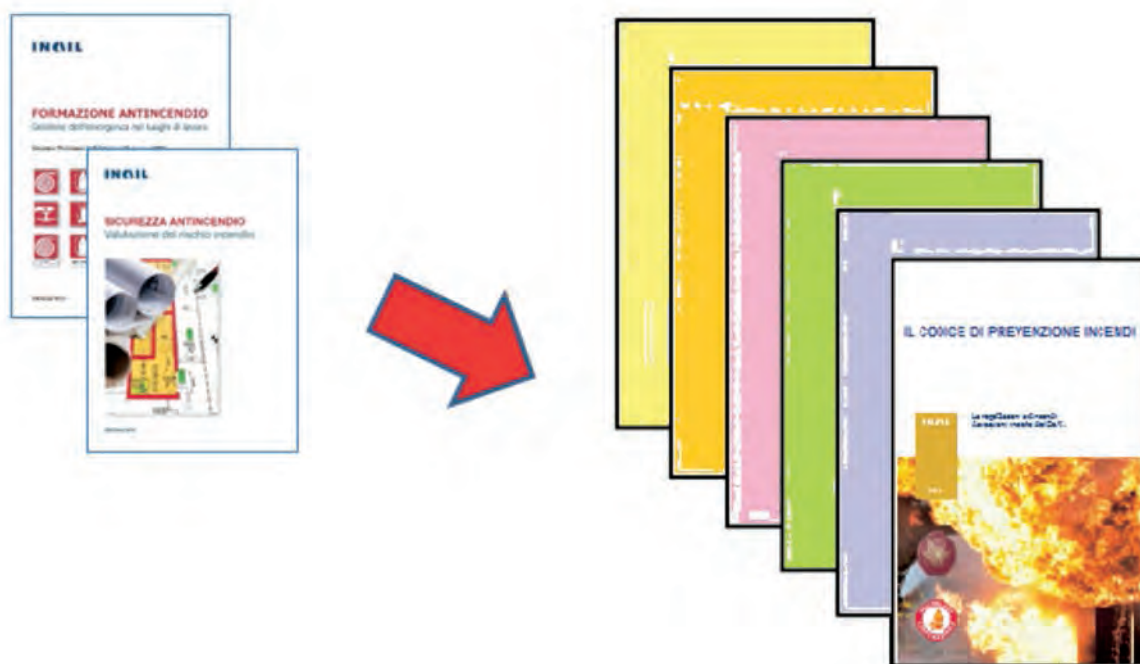
I risultati di tale attività potranno costituire, negli intenti dei promotori dell'attività di ricerca, uno strumento di supporto nella progettazione e gestione della sicurezza antincendio nei luoghi di lavoro e uno spunto di riflessione per i professionisti antincendio e, anche a scopo didattico, un ausilio pratico per gli studenti interessati alla formazione specialistica in materia di progettazione antincendio.

1. Obiettivi

L'utilizzo della metodologia del *caso studio*, normalmente utilizzata nel campo della ricerca empirica come metodologia che ha la funzione di approfondimento di una questione, nello specifico, si ritiene possa favorire l'apprendimento dei metodi e degli strumenti offerti dal Codice, illustrandone l'applicazione pratica in contesti reali.

Il *caso studio* consiste nella descrizione di una situazione realistica, a partire dalla quale s'intenderebbe sviluppare nel lettore le capacità analitiche necessarie per affrontare, in maniera sistematica, una situazione reale, nella sua effettiva complessità.

L'obiettivo del ricorso al *caso studio*, nello specifico, non è quello di risolvere un problema, bensì quello di fornire al lettore degli strumenti pratici tesi ad affrontare le varie problematiche reali, ad inquadrarle normativamente ed a collocarle nell'ambito del protocollo fornito dal Codice.



Nella presente pubblicazione saranno illustrati tredici casi studio inerenti l'applicazione dei "Metodi" contemplati nel Codice, ai capp. M1, M2 e M3.

Si rappresenta che la presente pubblicazione ha scopo divulgativo e non costituisce in alcun modo una linea guida né un canone interpretativo vincolante.

I casi studio trattati si riferiscono a situazioni ipotizzate dagli autori a soli fini esplicativi.

I giudizi di valore rappresentano l'opinione degli autori ed in nessun caso costituiscono istruzioni in merito a soluzioni tecniche vincolanti.

Anche l'impiego di modelli di calcolo, formule, valutazioni, grafici e tabelle sono riportati nella presente pubblicazione al solo fine divulgativo e pertanto viene declinata qualsiasi responsabilità in merito all'effettivo utilizzo degli stessi.

In ogni caso gli autori declinano qualsiasi responsabilità in merito alle soluzioni tecniche illustrate ed alla loro eventuale concreta applicazione.

2. Introduzione

Il presente quaderno della collana è dedicato all'approfondimento applicativo dei "Metodi" trattati nei capitoli *Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio* (cap. M.1), *Scenari d'incendio per la progettazione prestazionale* (cap. M.2) e *Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale* (cap. M.3) del Codice di prevenzione incendi.

La pubblicazione, per quanto concerne i paragrafi 5, 6 e 7, è già riferita (scritte in rosso) alla versione del Codice modificata "Codicepi_249" (documento relativo alla proposta di aggiornamento del Codice, approvato il 18 giugno 2019 in sede di Comitato Centrale Tecnico Scientifico dei VV.F.).

I casi studio sono, invece, stati redatti con riferimento al disposto del Codice (e delle RTV collegate) pubblicati in G.U..

Pertanto, alcune modifiche (una per tutte, quella relativa alle *soluzioni alternative* per il livello di prestazione II della misura S.2 (Resistenza al fuoco), che riduce da 30 a 15 min il margine di sicurezza, di cui al par. M..3.2.2, al fine di garantire la capacità portante) non sono state considerate in questa sede (vedi caso studio 10).

Il presente quaderno contiene esempi di progettazione di alcune attività, redatti focalizzando l'attenzione su una misura (es.: S.2, S.4, S.8), in relazione alla quale, si è dimostrata una *soluzione alternativa*, applicando i Metodi suggeriti dal Codice.

Il Codice prevede, in *soluzione alternativa*, che per le varie misure costituenti la strategia antincendio, al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione, il progettista deve impiegare uno dei metodi di cui al par. G.2.6.

Fra tali metodi "*ordinari di progettazione della sicurezza antincendio*" di cui al par. G.2.6 (nella versione "Codicepi_249" par. G.2.7) è citata l'"*Ingegneria della sicurezza antincendio*".

Nella tab. G.2-1 è previsto, infatti, che: "*Il progettista applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio secondo procedure, ipotesi e limiti indicati nel presente documento, in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3, e secondo le procedure previste dalla normativa vigente*".

Per completezza, si segnala che nella versione "Codicepi_249", nella medesima tabella, è invece riportato che "*il professionista antincendio applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio, secondo procedure, ipotesi e limiti indicati in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3 oppure in base a principi tecnico-scientifici riconosciuti a livello nazionale o internazionale*".

In alcuni casi studi è stato ritenuto opportuno anteporre un "focus" inerente la strategia globale del progetto antincendio, da cui è stato estrapolato il caso studio.

Il motivo di tale scelta consiste nella volontà di evidenziare le ragioni di alcune scelte progettuali che hanno inciso per la *soluzione alternativa* illustrata successivamente.

Si evidenzia che, per gli scopi della pubblicazione, ciascun caso studio non è assolutamente esaustivo della specifica progettazione antincendio bensì costituisce solamente un estratto riferito alla singola misura per la quale si applicano i *Metodi* del Codice.

Considerato che la pubblicazione è stata scritta "a più mani", grazie anche al contributo di alcuni professionisti del settore, può rilevarsi una diversa sensibilità nell'approccio alla progettazione antincendio da parte dei vari Autori; si ritiene tuttavia che tale circostanza possa costituire, a conti fatti, una preziosa risorsa per l'attento lettore che potrà esercitarsi nel ripercorrere un caso studio, adottando un approccio acquisito da un altro.

Metodologicamente, ciascun caso studio è stato trattato con un grado di approfondimento talvolta diverso, con l'obiettivo di non essere ripetitivi sui concetti e sulla rappresentazione delle procedure da seguire, ove già illustrate nei casi precedenti.

L'obiettivo della pubblicazione è quello di illustrare che la vera novità del Codice è rappresentata dalle *soluzioni alternative* e che, in tale ambito, ciascun professionista antincendio può far valere le proprie competenze e professionalità.

Si resta convinti, infatti, che pensare al Codice solamente in termini di *soluzioni conformi*, che pur costituiscono un valido supporto al progettista antincendio, ma di tipo "prescrittivo guidato", non aiuta a cogliere la reale potenza dello strumento normativo.

Questo nuovo potere comporta delle responsabilità per il progettista antincendio, ma allo stesso tempo una serie di opportunità per progettare in maniera più intelligente e puntuale, realizzando ciò che davvero influenza positivamente la sicurezza antincendio in termini di razionalità, economia e, non ultimo, soddisfazione professionale.

3. I Metodi per l'ingegneria della sicurezza antincendio nel Codice

La Sezione M del Codice descrive la metodologia di progettazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio. L'applicazione dei principi dell'ingegneria della sicurezza antincendio consente, analogamente alle altre discipline ingegneristiche, di definire soluzioni idonee al raggiungimento di obiettivi progettuali mediante analisi di tipo quantitativo.

Nel Capitolo M.1 si descrive in dettaglio la metodologia di progettazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio (o *progettazione antincendio prestazionale*). Per altri aspetti tecnici della progettazione antincendio prestazionale debbono essere impiegate le indicazioni riportate nei seguenti capitoli:

- Capitolo M.2 Scenari d'incendio per la progettazione prestazionale;
- Capitolo M.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale.

Per gli aspetti della progettazione antincendio prestazionale non esplicitamente definiti nel Codice si può fare riferimento alla regola dell'arte internazionale.

La sezione M del Codice, pertanto, è divisa in tre Capitoli dei quali si riportano, per punti, gli elementi essenziali che saranno sviluppati nei paragrafi successivi della presente pubblicazione:

Sezione M.1 - Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio

- M.1.2 Fasi della metodologia

La metodologia di progettazione prestazionale è composta da due fasi: *analisi preliminare* ed *analisi quantitativa*.

- M.1.3 Prima fase - *analisi preliminare*

Sono formalizzati i passaggi che conducono ad individuare le condizioni più rappresentative del rischio al quale l'attività è esposta e quali sono le soglie di prestazione cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire.

La fase di analisi preliminare si compone delle seguenti sotto-fasi necessarie per definire i rischi da contrastare e, di conseguenza, i criteri oggettivi di quantificazione degli stessi necessari per la successiva analisi numerica:

- M.1.3.1 Definizione del progetto
- M.1.3.2 Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio
- M.1.3.3 Definizione delle soglie di prestazione
- M.1.3.4 Individuazione degli scenari d'incendio di progetto
- M.1.4 Seconda fase - *analisi quantitativa*:

Impiegando modelli di calcolo, si esegue l'analisi quali-quantitativa degli effetti dell'incendio in relazione agli obiettivi assunti, confrontando i risultati ottenuti con le soglie di prestazione già individuate.

La fase di analisi quantitativa si compone di alcune sotto-fasi necessarie per effettuare le verifiche di sicurezza degli scenari individuati nella fase preliminare:

- M.1.4.1 Elaborazione delle soluzioni progettuali
- M.1.4.2 Valutazione delle soluzioni progettuali
- M.1.4.3 Selezione delle soluzioni progettuali idonee
- M.1.5 Documentazione di progetto

Integrata per la prima fase (*analisi preliminare*):

- M.1.6 Sommario tecnico, firmato congiuntamente dal professionista antincendio e dal responsabile dell'attività, ove è sintetizzato il processo seguito per individuare gli scenari d'incendio di progetto e le soglie di prestazione

Integrata per la seconda fase (*analisi quantitativa*):

- M.1.7 Relazione tecnica ove siano evidenziati i risultati dell'analisi ed il percorso progettuale seguito
- M.1.8 **Requisiti aggiuntivi per la GSA** (Gestione della Sicurezza Antincendio)

Sezione M.2 - Scenari d'incendio per la progettazione prestazionale

Il capitolo descrive la procedura di *identificazione*, *selezione* e *quantificazione* degli *scenari d'incendio di progetto* che sono impiegati nell'analisi quantitativa da parte del *professionista antincendio* che si avvale dell'ingegneria della sicurezza antincendio e fornisce altresì indicazioni per eseguire la verifica del raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio per le attività.

Gli *scenari d'incendio* rappresentano la descrizione dettagliata degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione a tre aspetti fondamentali:

- caratteristiche dell'incendio;
- caratteristiche dell'attività;
- caratteristiche degli occupanti.

La documentazione della procedura di *identificazione*, *selezione* e *quantificazione* degli *scenari d'incendio di progetto* deve essere conforme alle indicazioni di questo documento, per consentire la valutazione del progetto da parte delle competenti strutture dei VV.F..

Tale procedura consiste nei seguenti passi:

- M.2.2 Identificazione dei possibili scenari d'incendio che possono svilupparsi nell'attività, da cui dipende l'esito dell'intera valutazione secondo il metodo prestazionale
- M.2.3 Selezione degli scenari d'incendio di progetto
- M.2.4 Descrizione quantitativa degli scenari d'incendio di progetto
 - M.2.4.1 Attività
 - M.2.4.2 Occupanti
 - M.2.4.3 Incendio
- M.2.5 Durata degli scenari d'incendio di progetto
- M.2.6 Stima della curva HRR
 - M.2.6.1 Fase di propagazione dell'incendio
 - M.2.6.2 Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio
 - M.2.6.3 Fase dell'incendio stazionario
 - M.2.6.4 Fase di decadimento
 - M.2.6.5 Altre indicazioni
- M.2.7 Focolare predefinito

Sezione M.3 - Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

Nell'applicazione del metodo prestazionale alla sicurezza antincendio per la salvaguardia della vita, gli obiettivi del professionista antincendio possono essere:

- la dimostrazione diretta ed esplicita della possibilità per tutti gli occupanti di un'attività di raggiungere o permanere in un luogo sicuro, senza che ciò sia impedito da un'eccessiva esposizione ai prodotti dell'incendio;
- la dimostrazione della possibilità per i soccorritori di operare in sicurezza, secondo le indicazioni delle tabelle M.3-2 e M.3-3.

La progettazione deve seguire una delle procedure riconosciute a livello internazionale per valutare la posizione e la condizione degli occupanti durante l'evoluzione degli scenari d'incendio previsti per l'attività.

- M.3.2 Progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita
 - M.3.2.1 Criterio ideale

La progettazione ideale di un sistema di esodo dovrebbe assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza.

Questo è dunque il primo criterio da impiegare per la maggior parte degli occupanti dell'attività.

- M.3.2.2 Criterio $ASET > RSET$

Per risolvere l'eventuale inapplicabilità del "criterio ideale" la norma introduce il criterio $ASET > RSET$.

La progettazione prestazionale del sistema di vie di esodo consiste sostanzialmente nel calcolo e nel confronto tra due intervalli di tempo così definiti:

- ✓ ASET, tempo disponibile per l'esodo (*Available Safe Escape Time*);
- ✓ RSET, tempo richiesto per l'esodo (*Required Safe Escape Time*).

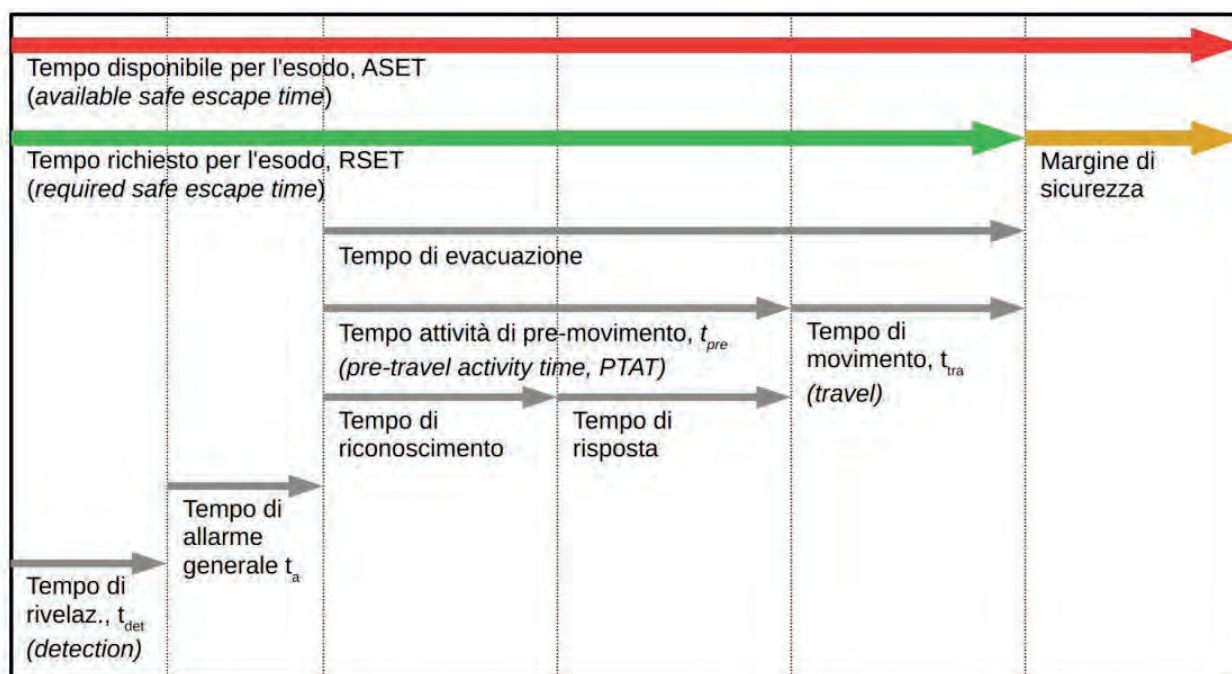


ILLUSTRAZIONE M.3-1: CONFRONTO TRA ASET E RSET

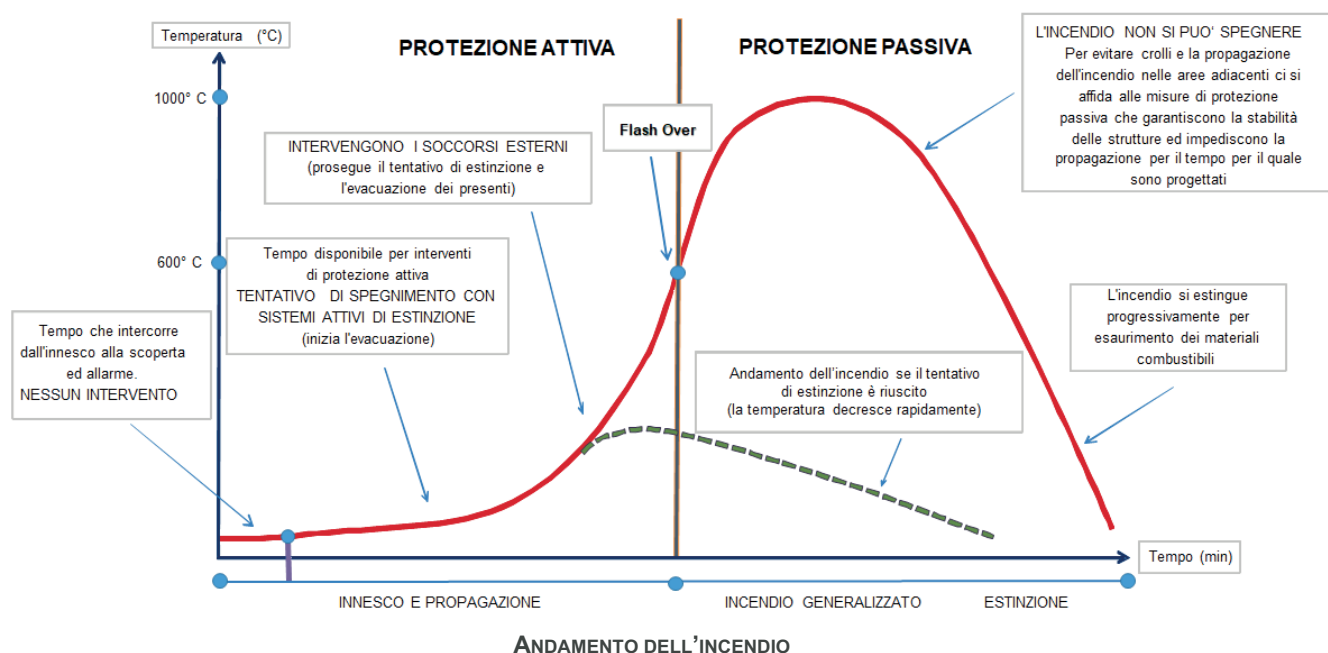
- M.3.3 Calcolo di ASET
 - M.3.3.1 Metodo di calcolo avanzato per ASET
 - M.3.3.1.1 Modello gas tossici
 - M.3.3.1.2 Modello gas irritanti
 - M.3.3.1.3 Modello calore
 - M.3.3.1.4 Modello visibilità
 - M.3.3.1.5 Soglia di prestazione per FED e FEC¹
 - M.3.3.2 Metodo di calcolo semplificato per ASET
 - M.3.3.3 Campo di applicabilità del metodo semplificato
- M.3.4 Calcolo di RSET
 - M.3.4.1 Tempo di rivelazione
 - M.3.4.2 Tempo di allarme generale
 - M.3.4.3 Tempo di attività pre-movimento
 - M.3.4.4 Tempo di movimento
- M.3.5 Soglie di prestazione per la salvaguardia della vita

¹ FED: Frazione di dose efficace, *Fractional Effective Dose* (vedi par. M.3.3.1.1); FEC: Frazione di concentrazione efficace, *Fractional Effective Concentration* (vedi par. M.3.3.1.2).

La Fire Safety Engineering

La Fire Safety Engineering (FSE) è definita (norma UNI ISO/TR 13387²) come applicazione di principi ingegneristici, di regole e di giudizi esperti basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano, finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione dei rischi d'incendio e dei relativi effetti ed alla valutazione analitica delle misure antincendio ottimali, necessarie a limitare entro livelli prestabiliti le conseguenze dell'incendio.

La valutazione quantitativa del livello di sicurezza antincendio, consentita nell'approccio di tipo prestazionale ma non in quello prescrittivo, permette di valutare e quantificare gli effetti dell'incendio, ed il livello di sicurezza antincendio, rispetto a *soglie prestazionali* prestabilite (temperatura, visibilità, altezza dello strato libero da fumo, ecc.) secondo un approccio *performance based*, con riferimento ad ipotizzati scenari d'incendio ritenuti ragionevolmente credibili.



In generale, l'applicazione dei metodi della FSE possono essere orientati o alla *Life Safety*, ovvero alla salvaguarda della vita delle persone, o alla *Structural Safety* che riguarda invece l'analisi dell'incendio dopo la fase di flashover e lo studio del livello di sicurezza delle opere da costruzione.

Life Safety - pre-flashover

Il problema pre-flashover dipende essenzialmente dal movimento di fumi e calore nell'edificio ed è legato, in prima approssimazione, all'HRR (Heat Release Rate) ed alla qualità del focolare.

Per la definizione dei vari scenari d'incendio, in generale legati alla Lyfe Safety, indicazioni utili si possono reperire nella norma UNI ISO/TR 13387, nelle norme NFPA 101 e 914, nelle norme BS XX e, in generale, nella letteratura, con i principali richiamati nella sezione riferimenti di ciascun cap. M del Codice.

Structural Safety - post-flashover

Il problema post-flashover dipende, essenzialmente, dal cimento termico della struttura ovvero dall'energia prodotta dall'incendio (carico d'incendio) e dalle condizioni di ventilazione.

Analoghe considerazioni valgono in relazione alla *Structural Safety*; ad esempio, per quanto concerne le autorimesse, utili indicazioni sui possibili scenari da verificare sono stati introdotti al par. V.6.7 della RTV 6 di cui al d.m. 21 febbraio 2017

² *Ingegneria della sicurezza antincendio - Parte 1: Applicazioni dei concetti prestazionali antincendio nella definizione degli obiettivi di progetto - Il rapporto tecnico specifica un insieme di criteri ingegneristici per il raggiungimento della sicurezza antincendio negli edifici, basato sulla quantificazione dello sviluppo dell'incendio e sul comportamento delle persone.*

4. La Sezione M del codice

Come anticipato nell'introduzione, la pubblicazione, per quanto concerne i paragrafi 5, 6 e 7, è già riferita alla versione del Codice modificata "Codicepi_249" (documento relativo alla proposta di aggiornamento del Codice, approvato il 18 giugno 2019 in sede di Comitato Centrale Tecnico Scientifico dei VV.F.). Le parti innovate nella prossima edizione del Codice saranno evidenziate in colore rosso.

Prioritariamente si segnala che nella nuova Premessa della Sezione Metodi sarà specificato che:

Il progettista definisce lo scopo della progettazione, quindi specifica gli obiettivi di sicurezza antincendio che intende garantire e li traduce in soglie di prestazione quantitative.

Successivamente identifica gli scenari d'incendio di progetto, i più gravosi eventi che possono ragionevolmente verificarsi nell'attività.

Dopodiché, grazie a strumenti di modellazione analitici o numerici, descrive o calcola gli effetti degli scenari d'incendio di progetto in relazione alla soluzione progettuale ipotizzata per l'attività.

Se gli effetti così calcolati conservano un adeguato margine di sicurezza rispetto alle soglie di prestazione precedentemente stabilite, allora la soluzione progettuale analizzata è considerata accettabile.

Nota Non è sempre necessario impiegare modelli numerici (es. CFAST, FDS, ...) per la valutazione degli effetti degli scenari d'incendio, spesso sono sufficienti considerazioni oggettive che impieghino motivatamente gli strumenti messi a disposizione dal presente documento. Ad esempio, il progettista può concludere che gli effetti dell'incendio non si propagano verso un compartimento a prova di fumo realizzato secondo soluzione conforme, evitando il ricorso a simulazioni numeriche.

Nota Non è sempre necessario impiegare modelli numerici avanzati (es. FDS, ...) per la valutazione degli effetti degli scenari d'incendio. Ad esempio, il progettista può concludere che un compartimento sia a prova di fumo, se la quota dello strato dei fumi caldi valutata semplicemente con CFAST non scende al di sotto delle architravi dei varchi di comunicazione tra i compartimenti.

5. Sezione M.1 - Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio

M.1.2 Fasi della metodologia

M.1.3 Prima fase - analisi preliminare

Le fasi della Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio, descritte al par. M.1.2, si è visto suddividersi in una prima fase, par. M.1.3, (analisi preliminare) ed una seconda fase, par. M.1.4, (analisi quantitativa).

La prima fase, si ribadisce, ha come obiettivo l'individuazione delle condizioni più rappresentative del rischio dell'attività in esame e delle soglie di prestazione di riferimento in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire.

Tale fase si compone delle seguenti sotto-fasi necessarie per definire i rischi presenti e i criteri oggettivi di quantificazione degli stessi necessari per la successiva analisi:

M.1.3.1 Definizione del progetto

Nei riferimenti internazionali tale sotto-fase è denominata *Define project scope*.

In questa sotto-fase viene definito lo scopo della progettazione antincendio.

Il professionista antincendio identifica e documenta almeno i seguenti aspetti:

- a) destinazione d'uso dell'attività;
- b) finalità della progettazione antincendio prestazionale;
- c) eventuali vincoli progettuali derivanti da previsioni normative o da esigenze peculiari dell'attività;
- d) pericoli d'incendio connessi con la destinazione d'uso prevista;
- e) condizioni al contorno per l'individuazione dei dati necessari per la valutazione degli effetti che si potrebbero produrre;
- f) caratteristiche degli occupanti in relazione alla tipologia di edificio ed alla destinazione d'uso prevista.

M.1.3.2 Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio

Nei riferimenti internazionali tale sotto-fase è denominata *Identify goals, define objectives*.

Dopo aver stabilito lo scopo del progetto, in particolare la destinazione e le modalità di impiego dell'attività, il professionista antincendio specifica gli obiettivi di sicurezza antincendio, tra quelli previsti nel presente documento, in relazione alle specifiche esigenze dell'attività in esame ed alle finalità della progettazione.

Con gli obiettivi di sicurezza antincendio si specificano qualitativamente, ad esempio, il livello di salvaguardia dell'incolumità degli occupanti, il massimo danno tollerabile all'attività ed al suo contenuto, la continuità d'esercizio a seguito di un evento incidentale.

M.1.3.3 Definizione delle soglie di prestazione

Nei riferimenti internazionali tale sotto-fase è denominata *Develop performance criteria*.

Il passo successivo consiste nella traduzione degli obiettivi antincendio in *soglie di prestazione (performance criteria)*.

Si tratta di soglie di tipo quantitativo e qualitativo rispetto alle quali si può svolgere la valutazione oggettiva di sicurezza antincendio.

Con la scelta delle *soglie di prestazione* si rendono quindi quantitativi gli effetti termici sulle strutture, la propagazione dell'incendio, i danni agli occupanti, ai beni ed all'ambiente.

Tali *soglie di prestazione* debbono poter essere utilizzate nella seconda fase della progettazione per discriminare in modo oggettivo le soluzioni progettuali che soddisfano gli obiettivi antincendio da quelle che invece non raggiungono le prestazioni richieste.

Ai fini della progettazione per la salvaguardia della vita si stabiliscono le *soglie di prestazione per la vita (life safety criteria)*.

Si tratta delle soglie impiegate per definire l'incapacitazione degli occupanti esposti al fuoco ed ai suoi **effetti**.

Nel capitolo M.3 sono riportati esempi di valori numerici utilizzabili per tali progettazioni.

Per definizione, gli occupanti raggiungono l'incapacitazione quando diventano inabili a mettersi al sicuro autonomamente; a tale condizione segue, in breve tempo, il decesso del soggetto.

Il capitolo S.2 definisce le *soglie di prestazione* per le progettazioni la cui finalità sia il mantenimento della capacità portante di tutta o parte di un'opera da costruzione.

M.1.3.4 Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

Nei riferimenti internazionali tale sotto-fase è denominata *Develop fire scenarios*.

Gli scenari d'incendio rappresentano la schematizzazione dei più gravosi eventi che possono ragionevolmente verificarsi nell'attività (*credible worst - case scenarios*), in relazione alle caratteristiche del focolare, dell'edificio e degli occupanti.

La procedura di identificazione, selezione e quantificazione degli scenari d'incendio di progetto è descritta nel capitolo M.2.

M.1.4 Seconda fase - analisi quantitativa:

La seconda fase, come illustrato nel paragrafo precedente, riguarda l'analisi quali-quantitativa, mediante l'impiego di modelli di calcolo, degli effetti dell'incendio in relazione agli obiettivi assunti, confrontando i risultati ottenuti con le soglie di prestazione già individuate e definendo il progetto da sottoporre a definitiva approvazione.

Tale fase si compone di alcune sotto-fasi necessarie per effettuare le verifiche di sicurezza degli scenari individuati nella prima fase:

M.1.4.1 Elaborazione delle soluzioni progettuali

Nei riferimenti internazionali tale sotto-fase è denominata *Develop trial designs*.

Il professionista antincendio elabora una o più soluzioni progettuali per l'attività, congruenti con le finalità già definite al paragrafo M.1.3.1, da sottoporre alla successiva verifica di soddisfacimento degli obiettivi di sicurezza antincendio.

M.1.4.2 Valutazione delle soluzioni progettuali

Nei riferimenti internazionali tale sotto-fase è denominata *Evaluate trial designs*.

In questa fase il professionista antincendio calcola gli effetti che gli scenari d'incendio di progetto determinerebbero nell'attività per ciascuna soluzione progettuale elaborata nella fase precedente.

A tal fine il professionista antincendio impiega un modello di calcolo analitico o numerico: l'applicazione del modello fornisce i risultati quantitativi che consentono di descrivere l'evoluzione dell'incendio e dei suoi effetti sulle strutture, sugli occupanti o sull'ambiente, secondo le finalità della progettazione.

La modellazione degli effetti dell'incendio consente di calcolare gli effetti dei singoli scenari per ciascuna soluzione progettuale.

I risultati della modellazione sono utilizzati per la verifica del rispetto delle soglie di prestazione per le soluzioni progettuali per ciascuno scenario d'incendio di progetto.

Le soluzioni progettuali che non rispettano tutte le soglie di prestazione per ogni scenario d'incendio di progetto debbono essere scartate.

M.1.4.3 Selezione delle soluzioni progettuali idonee

Nei riferimenti internazionali tale sotto-fase è denominata *Select final design*.

Il professionista antincendio seleziona la soluzione progettuale finale tra quelle che sono state verificate positivamente rispetto agli scenari d'incendio di progetto.

M.1.5 Documentazione di progetto

La documentazione di progetto deve essere integrata, per la prima fase (analisi preliminare), da:

- *sommario tecnico*, firmato congiuntamente dal professionista antincendio e dal responsabile dell'attività, ove è sintetizzato il processo seguito per individuare gli scenari d'incendio di progetto e le soglie di prestazione, come descritto al paragrafo M.1.6;

e per la seconda fase (analisi quantitativa) da:

- specifica *relazione tecnica* ove si presentino i risultati dell'analisi ed il percorso progettuale seguito, come descritto al paragrafo M.1.7;
- *requisiti aggiuntivi per la gestione della sicurezza antincendio*, come descritto nel paragrafo M.1.8, con le specifiche modalità d'attuazione delle misure di *gestione della sicurezza antincendio* di cui al capitolo S.5.

M.1.6 Sommario tecnico

Il sommario tecnico deve contenere le seguenti informazioni:

- a) indicazione del responsabile dell'attività;
- b) individuazione del responsabile della progettazione antincendio generale;
- c) individuazione dei professionisti antincendio che utilizzano l'ingegneria della sicurezza antincendio e che definiscono le specifiche misure di gestione della sicurezza antincendio, qualora diversi dal responsabile della progettazione antincendio generale;
- d) finalità per le quali è applicato il metodo prestazionale (es.: analisi dei campi termici, della diffusione dei fumi e verifica delle vie di esodo, valutazione dei tempi di esodo, valutazione della capacità portante delle strutture, protezione di beni o ambiente in caso d'incendio, continuità di esercizio dell'attività).

Debbono essere chiaramente evidenziati gli aspetti della progettazione antincendio esclusi dalla progettazione prestazionale.

Il sommario tecnico deve essere firmato dal responsabile dell'attività e da tutti i soggetti coinvolti nella progettazione.

M.1.7 Relazione tecnica

Nella relazione tecnica debbono risultare le soluzioni progettuali agli scenari d'incendio di progetto.

L'esito dell'analisi deve essere sintetizzato con tabelle, disegni, schemi grafici, immagini, che presentino in maniera quantitativa i parametri rilevanti ai fini del raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio.

Nello specifico si debbono fornire le seguenti indicazioni:

- a) modelli di calcolo utilizzati: il professionista antincendio deve fornire elementi a sostegno della scelta del modello utilizzato affinché sia dimostrata la coerenza delle scelte operate con lo scenario d'incendio di progetto adottato;
- b) parametri e valori associati: la scelta iniziale dei valori da assegnare ai parametri alla base dei modelli di calcolo, deve essere giustificata in modo adeguato, facendo specifico riferimento a norme, letteratura tecnico-scientifica, prove sperimentali;
- c) origine e caratteristiche dei codici di calcolo: debbono essere fornite indicazioni in merito all'origine ed alle caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati, con riferimento alla denominazione, all'autore o distributore, nonché sull'inquadramento teorico della metodologia di calcolo e sulla sua traduzione numerica e indicazioni riguardanti la riconosciuta affidabilità dei codici. Inoltre, tramite riferimento ai manuali d'uso, deve essere indicato che il codice di calcolo è impiegato nel suo *campo di applicazione* e nel rispetto delle *limitazioni d'impiego per applicazioni ingegneristiche, e validato per applicazioni analoghe a quella oggetto di modellazione e verificato*;
- d) confronto fra risultati della modellazione e soglie di prestazione: in funzione della metodologia adottata per effettuare le valutazioni relative allo scenario d'incendio considerato, debbono essere adeguatamente illustrati tutti gli elementi che consentono di verificare il rispetto delle soglie di prestazione indicate nell'analisi preliminare, al fine di evidenziare l'adeguatezza delle misure antincendio che si intendono adottare.

Debbono essere resi disponibili i tabulati relativi al calcolo e i relativi dati di input.

Nota La documentazione riportante i risultati e il percorso progettuale assicura che tutti i soggetti interessati comprendano le limitazioni imposte all'attività in relazione alla soluzione progettuale. Tale documentazione deve esplicitare il criterio con cui sono state valutate le condizioni di sicurezza del progetto, al fine di garantire la realizzazione corretta e il mantenimento nel tempo delle scelte concordate.

M.1.8 Requisiti aggiuntivi per la gestione della sicurezza antincendio

Con l'applicazione della metodologia prestazionale il professionista antincendio basa l'individuazione delle misure antincendio di prevenzione e protezione di progetto su specifiche ipotesi e limitazioni d'esercizio: debbono pertanto essere previste specifiche misure di *gestione della sicurezza antincendio* (Cap. S.5) affinché non possa verificarsi la riduzione del livello di sicurezza assicurato inizialmente.

Le specifiche misure di *gestione della sicurezza antincendio* debbono essere *riferite* agli aspetti trattati nella progettazione prestazionale, con particolare riguardo alle specifiche soluzioni progettuali, alle misure antincendio di prevenzione e protezione adottate, al mantenimento delle condizioni di esercizio da cui discendono i valori dei parametri di ingresso nella progettazione prestazionale.

Su specifiche misure di *gestione della sicurezza antincendio* sono sottoposte a verifiche periodiche da parte del responsabile dell'attività secondo le cadenze temporali già definite nel progetto.

Nell'ambito del programma per l'attuazione della gestione della sicurezza antincendio debbono essere valutati ed esplicitati i provvedimenti presi relativamente ai seguenti punti:

- a) organizzazione del personale;
- b) identificazione e valutazione dei pericoli derivanti dall'attività;
- c) controllo operativo;
- d) gestione delle modifiche;
- e) pianificazione di emergenza;
- f) sicurezza delle squadre di soccorso;
- g) controllo delle prestazioni;
- h) manutenzione dei sistemi di protezione;
- i) controllo e revisione.

Qualora i sistemi di protezione attiva siano considerati ai fini della riduzione della potenza termica rilasciata dall'incendio $RHR(t)$ (Cap. M.2) o comunque contribuiscano a mitigare gli effetti dell'incendio, devono essere installati *sistemi a disponibilità superiore*.

Nota La definizione di sistema a disponibilità superiore è riportata nel capitolo G.1

M.1.9 Criteri di scelta e d'uso dei modelli e dei codici di calcolo

Il professionista antincendio può optare tra i modelli di calcolo che le conoscenze tecniche di settore mettono a disposizione, sulla base di valutazioni inerenti la complessità del progetto.

Il professionista antincendio che adotta modelli di calcolo sofisticati, deve possedere una particolare competenza nel loro utilizzo, nonché un'approfondita conoscenza sia dei fondamenti teorici che ne sono alla base che della dinamica dell'incendio.

Allo stato attuale i modelli più frequentemente utilizzati sono:

- a) modelli analitici;

Nota Ad esempio, le correlazioni per i modelli d'incendio localizzati o fire plumes di Zukoski, Heskestad, McCaffrey, Thomas, Hasemi e Nishiata, Alpert, ...

- b) modelli numerici tra cui:
 - o modelli di simulazione dell'incendio a zone per ambienti confinati, ad es.: codici di calcolo CFAST, Ozone, ...;
 - o modelli di simulazione dell'incendio di campo, ad es.: codici di calcolo CFX, FDS, Fluent, ...;
 - o modelli di simulazione dell'esodo, ad es.: codice di calcolo FDS+EVAC, ...;
 - o modelli di analisi termostrutturale. ad es.: codici di calcolo Abaqus, Adina, Ansys, Diana, Safir,

Nel loro campo di applicazione, i modelli analitici garantiscono stime accurate di effetti specifici dell'incendio (es.: il calcolo del tempo di *flashover* in un locale).

Per analisi più complesse che coinvolgano interazioni dipendenti dal tempo di più processi di tipo fisico e chimico presenti nello sviluppo di un incendio si ricorre generalmente ai modelli numerici.

Per i parametri di input del modello più rilevanti deve essere svolta analisi di *sensibilità* dei risultati alla variazione del parametro di input.

Ad esempio, i risultati dell'analisi non debbono essere significativamente dipendenti dalle dimensioni della griglia di calcolo.

È ammesso l'utilizzo contemporaneo di più tipologie di modelli, ad esempio:

- a) si possono usare modelli specifici per la valutazione del tempo di attivazione di un impianto di rivelazione o di spegnimento e della rottura di un vetro in funzione della temperatura, per poi inserire i dati ricavati in una modellazione effettuata con modelli di campo;
- b) si può utilizzare un modello a zone per valutare in una prima fase le condizioni di maggiore criticità del fenomeno, per poi approfondire la trattazione degli effetti con modelli di campo.

I modelli d'incendio naturale, in breve, sono: il modello d'incendio *parametrico* (vedi Appendice A della norma UNI EN 1991-1-2), i modelli d'incendio a zone (vedi Appendice D della medesima norma), implementati

mediante il software CFAST (Consolidated Model of Fire and Smoke Transport), e i modelli di campo basati sulla termo-fluidodinamica computazionale (CFD), implementati mediante il software FDS (Fire Dynamics Simulator - FDS).

In sintesi, rinviando alla specifica letteratura per ulteriori approfondimenti che esulano dagli scopi della presente pubblicazione:

- Il modello d'incendio *parametrico* dell'Eurocodice rappresenta un metodo semplificato per la modellazione degli incendi, nella fase post-flashover, e si fonda sull'ipotesi che la temperatura nel compartimento si mantenga uniforme.
Tale modello tiene conto delle dimensioni geometriche del compartimento, del carico d'incendio, delle condizioni di ventilazione e delle proprietà termiche degli elementi costituenti le chiusure del compartimento medesimo.
- I modelli *a zone* sono modelli numerici rappresentati dall'individuazione, nel compartimento di primo innesco, di zone separate all'interno delle quali i parametri relativi a temperatura, densità, pressione ed energia interna del gas si possono considerare omogenei.
Il modello più semplice è quello ad una zona per incendi in fase post-flashover, in cui la temperatura e i restanti parametri nel compartimento sono considerati uniformi.
I modelli *a zone* sono basati sui principi di conservazione della massa e dell'energia.
L'evoluzione della temperatura è determinata mediante l'integrazione nel tempo di sistemi di equazioni differenziali, che rappresentano l'equilibrio della massa e dell'energia nelle varie zone.
- I modelli *di campo* forniscono la stima dell'evoluzione dell'incendio in un unico volume, risolvendo per via numerica le equazioni fondamentali del flusso dei fluidi risultante da un incendio (equazioni di Navier-Stokes).
Tale approccio è sviluppato attraverso i metodi alle differenze finite, agli elementi finiti o degli elementi di confine.

Modelli analitici

Metodo di Thomas (flashover), metodo di Heskestad e Hasemi (incendi localizzati, temperatura dei gas sotto certe condizioni)

Modelli numerici a zone

Fase pre-flashover (strato di gas caldi superiore e strato di aria fresca inferiore)
Es.: CFAST, Ozone

Modelli numerici di campo

Fase pre e post-flashover, risolvendo le equazioni di Navier-Stokes.
Es.: CFX, FDS, Fluent

Modelli di simulazione dell'esodo

Strumenti avanzati, internazionalmente riconosciuti, la cui validazione è però tuttora oggetto di studio da parte della comunità scientifica

Modelli di analisi termostrutturale

Consentono di studiare l'evoluzione dello stato tenso-deformativo della struttura con le fasi dell'incendio, con analisi di tipo non lineari in grandi spostamenti.

La resistenza al fuoco è valutata contestualmente alla modalità di collasso (implosione o esplosione della struttura).

Generalmente si utilizzano curve di incendio naturali, invece delle curve nominali monotone crescenti (ad es.: la ISO 834), nonostante sia ancora in parte dibattuto il comportamento dei materiali durante la fase di decadimento.

Es.: codici di calcolo Abaqus, Adina, Ansys, Diana, Safir

Modelli fine network (FDS+Evac, Pathfinder, Building Exodus)

Il dominio nel quale si muovono gli utenti è una mesh bidimensionale (piana o inclinata)

Modelli coarse network (Building Exodus)

Lo spazio è suddiviso in aree (stanze, corridoi) che contengono gli utenti ma il loro movimento all'interno dell'area non è simulato direttamente (aree connesse tra di loro da archi)

Modelli continui (Legion, MassMotion)

Il dominio è continuo e si simula direttamente il movimento degli utenti nello spazio di calcolo

Modelli di movimento

Il moto degli occupanti segue sostanzialmente le leggi dell'idraulica

Modelli semi-comportamentali (FDS+Evac)

Il comportamento viene inserito indirettamente per i singoli occupanti (funzioni di probabilità, tempi di reazione, familiarità con le vie di esodo)

Modelli comportamentali (MassMotion)

Più complessi nella definizione del moto avviato dagli utenti

Modelli di calcolo

Analisi quali-quantitativa degli effetti dell'incendio in relazione agli obiettivi assunti, confrontando i risultati ottenuti con le soglie di prestazione individuate

Utilizzo dei metodi avanzati della Fire Safety Engineering per la progettazione della sicurezza antincendio

G. Gai, E. Cartapati

Sapienza Università di Roma

P. Cancelliere, F.A. Ponziani, M. Mazzaro, D. De Bartolomeo

Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

MODELLI E CODICI DI CALCOLO

Analisi di sensibilità della mesh di calcolo in FDS

Il Codice, al par. M.1.9 *Criteria di scelta ed uso dei modelli e dei codici di calcolo*, recita: “Per i parametri di input del modello più rilevanti deve essere svolta analisi di sensibilità dei risultati alla variazione del parametro di input. Ad esempio, i risultati dell'analisi non devono essere significativamente dipendenti dalle dimensioni della griglia di calcolo”.

Di seguito si riportano, rinviando ai casi studio 7 e 11 per due esempi applicativi dell'analisi di sensibilità, relativa alla sola dimensione della mesh, uno studio condotto in relazione alla problematica in questione.

Si segnala, peraltro, quale utile riferimento per un approccio olistico all'analisi di sensibilità dei modelli di incendio utilizzati per l'approccio prestazionale, lo standard internazionale ISO 16730-1:2015 “Fire safety engineering - Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods - Part 1: General”.

L'analisi

L'analisi condotta consiste nella realizzazione di più modelli di calcolo con medesime caratteristiche geometriche, aperture di ventilazione, potenze e superfici dei bruciatori nonché posizionamento delle sonde.

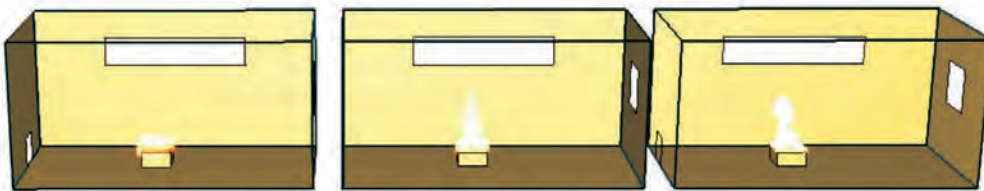
L'unica variabile risulta invece essere il passo della mesh. Come riportato nel manuale FDS, la mesh di calcolo deve essere adeguatamente dimensionata in funzione delle potenze dell'incendio (la dimensione è correlata all'altezza della fiamma) e della geometria dei locali. Questo corretto dimensionamento serve per ottenere dei risultati coerenti e convergenti ad un valore più accurato possibile. Seppur vero da un lato, che raffinando in modo significativo si hanno valori sempre più accurati, è altrettanto vero che l'onere di calcolo, e di conseguenza i tempi computazionali, ne risentono significativamente.

Il “rallentamento” prevedibile è dell'ordine di n^4 per ogni grado di raffinamento.

È pertanto necessario definire un passo sufficientemente fine oltre il quale, pur raffinando ulteriormente, non si ottengono valori sensibilmente più accurati.

Calibrazione della mesh

Sono stati realizzati tre modelli con passo mesh rispettivamente 50 cm x 50 cm; 25 cm x 25 cm; 12,5 cm x 12,5 cm; le dimensioni del dominio sono pari a 20 m x 10 m x 10 m e la potenza dell'incendio pari a 7 MW.

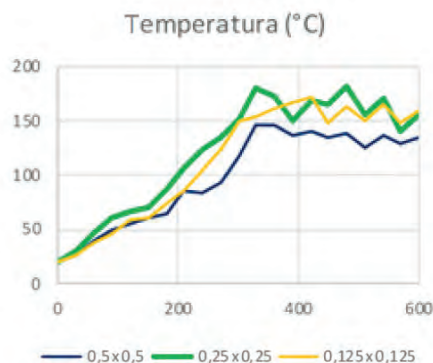


MODELLI FDS A CONFRONTO

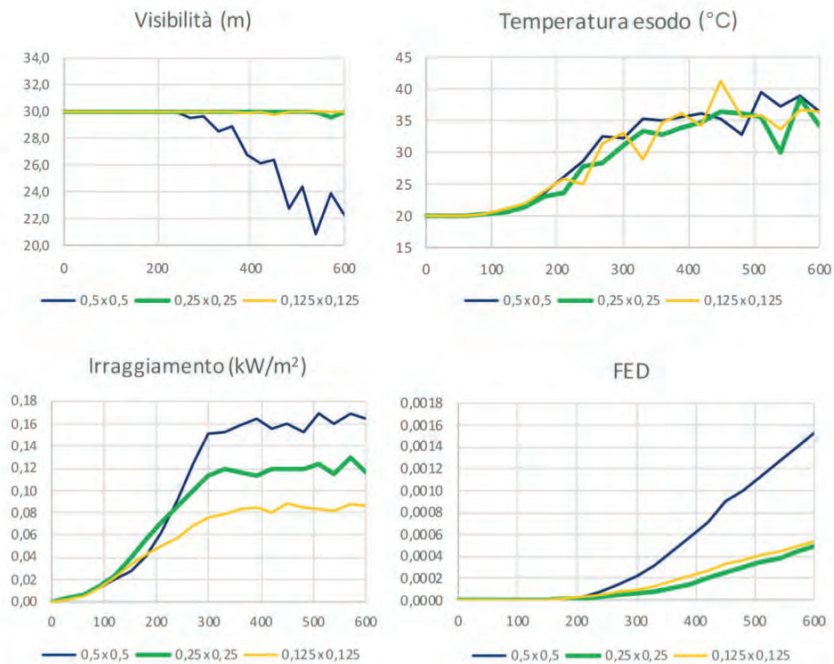
In accordo alla formula $D = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\text{aria}} \cdot C_p \cdot T_{\text{aria}} \cdot \sqrt{g}} \right)^{2/5}$ (vedi manuale FDS e casi studio 7 e 11), nello specifico, viene suggerita una mesh 25 cm x 25 cm x 25 cm e pertanto i valori saranno correlati a questa.

Parametri ottenuti

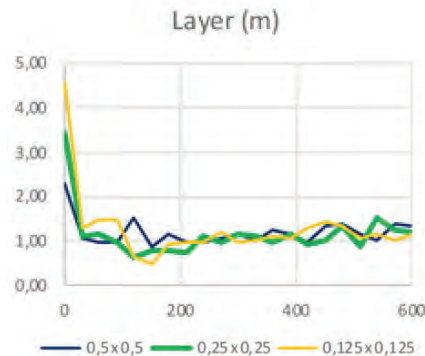
Si riportano di seguito, per le grandezze significative, i parametri ottenuti al variare del tempo nei tre modelli. Lettura necessaria al calcolo della sollecitazione termica strutturale:



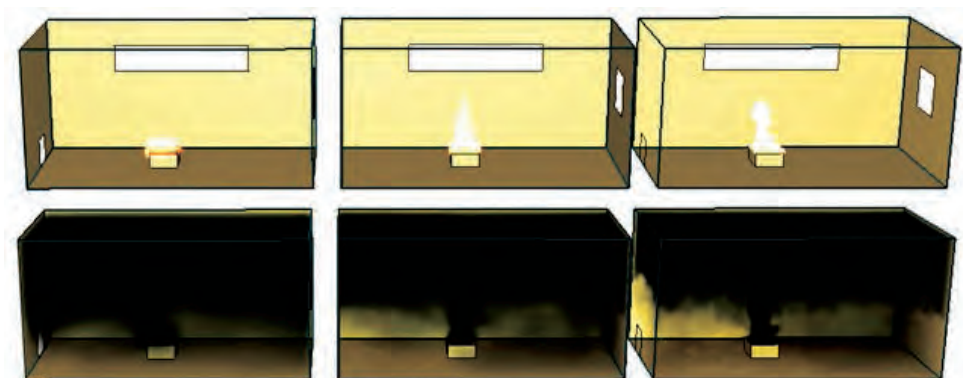
Letture necessarie per la correlazione con le soglie di prestazione relative all'esodo con *metodi di calcolo avanzati*:



Letture necessarie per la correlazione con le soglie di prestazione relative all'esodo con *metodi di calcolo semplificati*:



Gli output grafici, inerenti la discretizzazione fiamma e la stratificazione fumi sono i seguenti:



In conclusione, per i parametri di input del modello più rilevanti (par. M.1.9) è stata eseguita l'analisi di sensibilità dei risultati alla variazione dei parametri di input.

Rispettando i criteri di dimensionamento della mesh, così come suggeriti dal manuale di FDS, questi non sono significativamente dipendenti dalle dimensioni della griglia di calcolo, se adeguatamente dimensionata in accordo alla formula precedente.

In sostanza, anche raffinando ulteriormente la mesh, non si otterrebbero valori sensibilmente più corretti.

6. Sezione M.2 - Scenari d'incendio per la progettazione prestazionale

M.2.2 Identificazione dei possibili scenari d'incendio

Il primo passo della procedura consiste nell'identificare tutti i possibili scenari d'incendio che possono svilupparsi durante la vita utile dell'attività.

In relazione a ciò si debbono considerare tutte le condizioni di esercizio ragionevolmente prevedibili.

Nota Ad esempio: allestimenti temporanei, diverse configurazioni spaziali dei materiali combustibili, modifica delle vie di esodo e dell'affollamento, ...

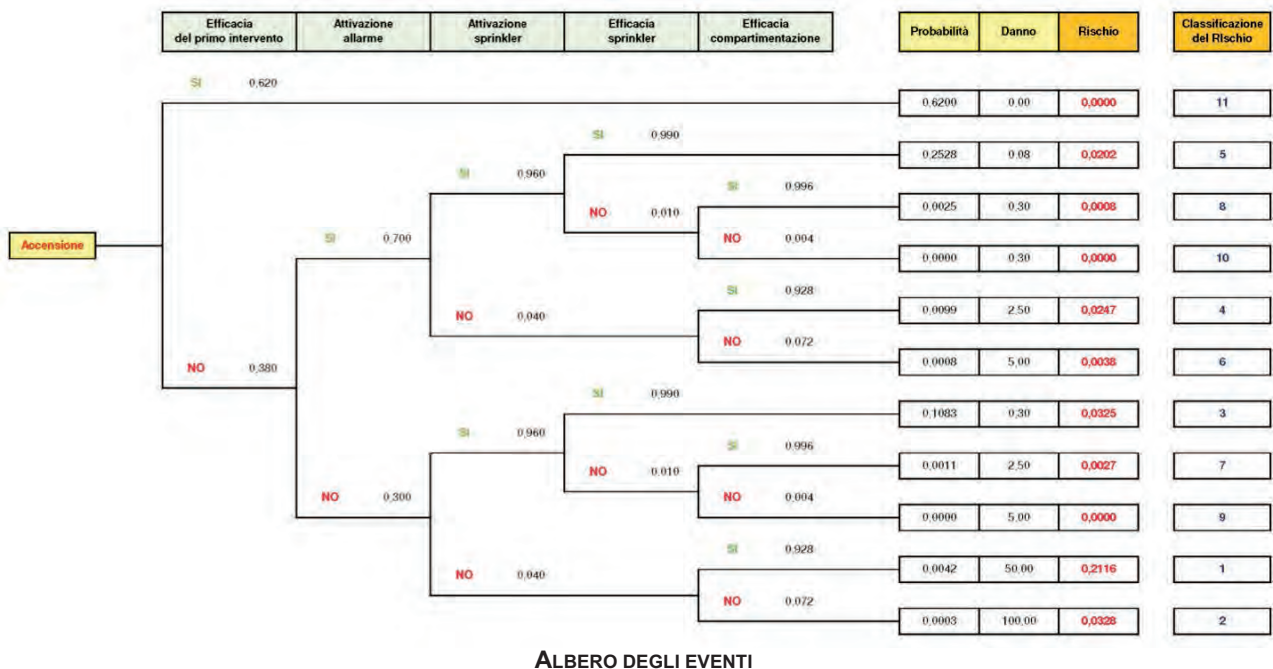
Per individuare gli scenari d'incendio, il professionista antincendio può sviluppare uno specifico albero degli eventi a partire da ogni evento iniziatore pertinente e credibile. Il processo può essere svolto in maniera qualitativa, oppure in maniera quantitativa se sono disponibili dati statistici desunti da fonti autorevoli e condivise.

Ogni scenario d'incendio identificato deve essere compiutamente ed univocamente descritto in relazione ai suoi tre aspetti fondamentali: le caratteristiche dell'incendio, le caratteristiche dell'attività e le caratteristiche degli occupanti. In ogni caso, il professionista antincendio deve specificare se lo scenario d'incendio ipotizzato sia relativo ad una condizione di *pre-flashover* oppure ad una condizione di *post-flashover*, a seconda dell'obiettivo da raggiungere.

Nota Ad esempio: salvaguardia degli occupanti, mantenimento della capacità portante delle strutture, ...

Nella fase di identificazione degli scenari, il professionista antincendio deve tenere conto degli incendi che hanno interessato edifici o attività simili a quella in esame mediante analisi storica e deve descrivere:

- evento iniziatore caratterizzato da un focolare d'incendio e dalle condizioni dell'ambiente circostante;
- propagazione dell'incendio e dei prodotti della combustione;
- azione degli impianti tecnologici e di protezione attiva contro l'incendio;
- azioni eseguite dai componenti della squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio presenti nell'ambiente;
- distribuzione e comportamento degli occupanti.



L'albero degli eventi raffigura uno schema di sequenza di eventi intercorrenti tra l'accensione dell'incendio ed il risultato finale associato ai vari scenari d'incendio, considerando probabilità e conseguenze dell'incendio.

M.2.3 Selezione degli scenari d'incendio di progetto

Nel primo passo della procedura viene in genere identificato un elevato numero di *scenari d'incendio prevedibili* nell'attività.

Lo scopo di questo secondo passo della procedura consiste nel ridurre il numero degli scenari d'incendio al minimo numero ragionevole, al fine di alleggerire il successivo lavoro di verifica delle soluzioni progettuali.

Il professionista antincendio seleziona gli *scenari d'incendio* ed estrae il sottoinsieme degli *scenari d'incendio di progetto*, esplicitando nella documentazione progettuale i motivi che portano ad escluderne alcuni dalla successiva analisi quantitativa, facendo riferimento agli alberi degli eventi già sviluppati nel precedente passo o **con altre modalità**.

Il professionista antincendio seleziona i *più gravosi* tra gli scenari d'incendio *credibili*.

Gli *scenari d'incendio di progetto* così selezionati rappresentano per l'attività un livello di rischio d'incendio non inferiore a quello compiutamente descritto dall'insieme di tutti gli *scenari d'incendio*.

Le soluzioni progettuali, rispettose delle *soglie di prestazione* richieste nell'ambito degli *scenari d'incendio di progetto*, garantiscono quindi lo stesso grado di sicurezza anche nei confronti di tutti gli altri *scenari d'incendio*. La selezione degli scenari d'incendio è fortemente influenzata dall'obiettivo che il professionista antincendio intende raggiungere.

Ad esempio, se si intende principalmente perseguire la salvaguardia degli occupanti durante la fase di esodo, possono essere selezionati scenari come quelli di seguito indicati:

- a) un incendio di breve durata e con crescita veloce, che è accompagnato da elevata produzione di fumo e gas di combustione (ad esempio, l'incendio di un mobile imbottito), risulta più critico di uno che rilascia maggiore potenza termica, ma che ha una crescita lenta e dura più a lungo, anche se quest'ultimo sollecita termicamente in modo più severo gli elementi costruttivi presenti;
- b) un incendio di limitate dimensioni, che però si sviluppa in prossimità delle vie di esodo di un locale ad alta densità di affollamento, può risultare più pericoloso di uno che emette una maggiore potenza termica, ma che si origina in un ambiente confinato e che si trova lontano dalle zone dove è prevista la presenza di occupanti.



ISO/TS 16733: SELEZIONE DEGLI SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO

M.2.4 Descrizione quantitativa degli scenari d'incendio di progetto

Terminata la selezione degli scenari d'incendio di progetto, il professionista antincendio deve procedere con la *descrizione quantitativa* di ciascuno di essi.

Il professionista antincendio traduce la descrizione qualitativa degli scenari d'incendio di progetto, già elaborata nel primo passo, in dati numerici di input appropriati per la metodologia di calcolo scelta per la verifica delle ipotesi progettuali.

In relazione alle finalità dell'analisi, il professionista antincendio specifica i dati di input per attività, occupanti ed incendio, dettagliatamente elencati nei prossimi paragrafi.

M.2.4.1 Attività

Le caratteristiche dell'attività influenzano l'esodo degli occupanti, lo sviluppo dell'incendio e la diffusione dei prodotti della combustione.

A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione quantitativa dell'attività potrà comprendere i seguenti elementi:

- a) Caratteristiche architettoniche e strutturali:
 - i. localizzazione e geometria dell'attività, dimensioni e distribuzione degli ambienti interni;
 - ii. descrizione strutturale, caratteristiche dei relativi elementi costruttivi portanti e separanti;
 - iii. descrizione materiali non strutturali e di finitura;
 - iv. sistema di esodo: dimensioni, distribuzione e uscite di sicurezza;
 - v. dimensione, localizzazione e stato di apertura/chiusura/rottura efficace delle aperture di ventilazione di progetto e potenziali, come porte, finestre, lucernari, superfici vetrate;
 - vi. barriere che influenzano il movimento dei prodotti della combustione.

- b) Impiantistica:
 - i. impianti di protezione attiva contro l'incendio;
 - ii. impianti di rivelazione, di segnalazione e di allarme incendio;
 - iii. impianti tecnologici a servizio dell'attività, come gli impianti di condizionamento, di distribuzione o di processo.

- c) Aspetti gestionali ed operativi:
 - i. destinazione d'uso dell'attività e processo produttivo che vi si svolge;
 - ii. organizzazione dell'attività ospitata;
 - iii. eventuali azioni attuate dai soccorritori, previste nel piano di emergenza, in grado di alterare la propagazione dei prodotti della combustione; tali azioni debbono essere considerate solo in via eccezionale e valutate caso per caso.

Nota Ad esempio: chiusura di porte e attivazione manuale di sistemi di allarme che possono influire sullo sviluppo dell'incendio e sull'esodo degli occupanti.

- d) Fattori ambientali che influenzano le prestazioni antincendio dell'attività.

Nota Ad esempio: temperature esterne, ventosità dell'area, livello di rumore che ha impatto sulla percezione dell'allarme.

M.2.4.2 Occupanti

A seconda dell'obiettivo dell'analisi, il professionista antincendio descrive dettagliatamente le caratteristiche **degli occupanti, in relazione all'impatto che esse possono avere sullo scenario d'incendio.**

In particolare, la descrizione deve tener conto almeno dei seguenti aspetti ove rilevanti ai fini della tipologia dell'analisi:

- a) affollamento complessivo e distribuzione degli occupanti negli ambienti dell'attività;
- b) tipologia degli occupanti;

Nota Ad esempio: lavoratori, visitatori occasionali, anziani, bambini, degenti, ...

- c) familiarità degli occupanti con l'attività e con il sistema di vie di esodo;
- d) stato di veglia/sonno degli occupanti.

M.2.4.3 Incendio

A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione dell'incendio consiste nella caratterizzazione quantitativa del focolare, in quanto sorgente di *energia termica* e di *prodotti della combustione*, secondo i seguenti parametri ove rilevanti ai fini della tipologia dell'analisi:

- a) localizzazione del focolare;
- b) tipologia di focolare: covante o con fiamma;
- c) quantità, qualità e distribuzione spaziale del materiale combustibile;
- d) fonti d'innescio;
- e) curva HRR, quale potenza termica prodotta dal focolare al variare del tempo HRR(t);
- f) generazione dei prodotti della combustione presi in considerazione (es.: CO e particolato).

Ai fini della caratterizzazione quantitativa del focolare il professionista antincendio può:

- a) impiegare dati sperimentali ottenuti da misura diretta in laboratorio secondo metodologia scientifica consolidata;
- b) usare dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise. Il professionista antincendio *cita sempre* con precisione tali fonti e *verifica la corrispondenza* del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario d'incendio di progetto, utilizzando un approccio ragionevolmente conservativo;
- c) impiegare delle *metodologie di stima*.
Nel paragrafo M.2.6 si descrivono alcune metodologie di stima mutuata dalla letteratura citata al paragrafo M.2.8.

In alternativa, può impiegare i focolari predefiniti di cui al paragrafo M.2.7 nell'ambito delle limitazioni ivi specificate.

M.2.5 Durata degli scenari d'incendio di progetto

Deve essere descritta tutta la sequenza di evoluzione dell'incendio, a partire dall'evento iniziatore per un intervallo di tempo che dipende dagli obiettivi di sicurezza da raggiungere come riportato in tabella M.2-1.

Obiettivo di sicurezza antincendio	Durata minima degli scenari d'incendio di progetto
Salvaguardia della vita degli occupanti	Dall'evento Iniziatore fino al momento in cui tutti gli occupanti dell'attività raggiungono o permangono in un luogo sicuro. Se il luogo sicuro è prossimo o interno all'opera da costruzione, devono essere valutate eventuali Interazioni tra il mantenimento della capacità portante dell'opera da costruzione ed il luogo sicuro.
Salvaguardia della vita dei soccorritori	Dall'evento iniziatore fino a 5 minuti dopo il termine delle operazioni previste per i soccorritori o l'arrivo delle squadre dei Vigili del fuoco presso l'attività. Il tempo di riferimento per l'arrivo dei Vigili del fuoco può essere assunto pari alla media dei tempi d'arrivo desunti dall' <i>Annuario statistico dei Vigili del fuoco</i> (http://www.vigilfuoco.it) considerando i dati dell'ultimo anno disponibile. riferiti all'ambito provinciale.
Mantenimento della capacità portante in caso d'incendio	Dall'evento Iniziatore fino all'arresto dell'analisi strutturale, in fase di raffreddamento, al momento in cui gli effetti dell'Incendio sono ritenuti non significativi in termini di variazione temporale delle caratteristiche della sollecitazione e degli spostamenti.

TAB. M.2-1: DURATA MINIMA DEGLI SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO

M.2.6 Stima della curva HRR

La definizione quantitativa delle varie fasi dell'incendio qui riportata si riferisce alla curva qualitativa dell'illustrazione M.2-1.

La presente metodologia può essere utilizzata per:

- costruire le curve naturali con un modello d'incendio numerico avanzato di cui al capitolo S.2, per la valutazione della capacità portante in condizioni d'incendio delle opere da costruzione;
- valutare la portata di fumo emessa durante l'incendio per la progettazione dei sistemi SEFC.

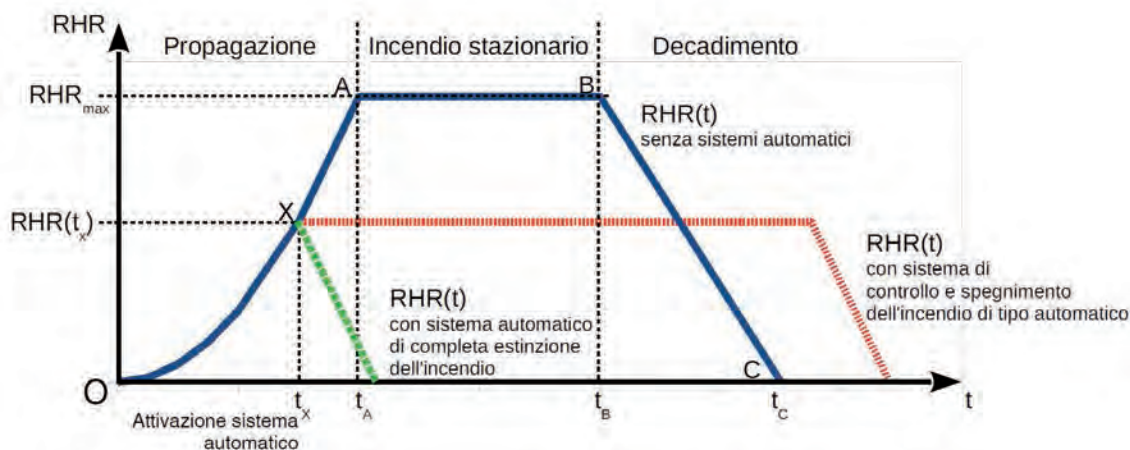


ILLUSTRAZIONE M.2-1: FASI DELL'INCENDIO

M.2.6.1 Fase di propagazione dell'incendio

Durante la fase di propagazione, la potenza termica rilasciata dall'incendio al variare del tempo $HRR(t)$ può essere rappresentata da:

$$HRR(t) = 1000 t^2 / t_\alpha^2 \quad \text{per } t < t_\alpha$$

dove:

- $HRR(t)$ è la potenza termica rilasciata dall'incendio, espressa in kW;
- t è il tempo, espresso in s;
- t_α è il tempo necessario affinché la potenza termica rilasciata raggiunga il valore di 1000 kW, come definito nel cap. G.3, espresso in s.

Per alcune attività, tale valore può essere desunto dai prospetti dell'appendice E dell'Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2.

Per le altre attività il valore di t_α può essere determinato con considerazioni basate sul giudizio esperto per analogia.

M.2.6.2 Effetto dei sistemi di protezione attiva antincendio

Se nell'attività sono previsti sistemi di controllo dell'incendio di tipo automatico (es.: impianto sprinkler), l'andamento della potenza termica rilasciata $HRR(t)$ non raggiunge il valore massimo HRR_{max} , calcolato secondo quanto previsto al paragrafo M.2.6.3, che avrebbe potuto raggiungere in relazione alle condizioni del combustibile ed a quelle ambientali, ma può essere assunta costante e pari al valore di $HRR(t_x)$ raggiunto all'istante t_x di entrata in funzione dell'impianto automatico.

Tale valore permane per un intervallo di tempo pari alla durata di alimentazione prevista per l'impianto, entro cui si presume che l'incendio controllato venga definitivamente estinto mediante l'intervento manuale.

Nota Allo stato attuale, i sistemi a deplezione di ossigeno non possono essere considerati per la modifica dell'andamento della potenza termica rilasciata $HRR(t)$.

Se nell'attività sono invece previsti sistemi automatici di estinzione completa dell'incendio (es.: ESFR, water mist, ecc.), il loro effetto deve essere valutato caso per caso in relazione alla loro efficacia ed all'affidabilità di funzionamento.

In ogni caso il progettista è tenuto a attuare le misure e le limitazioni d'esercizio previste in GSA per i sistemi automatici di protezione attiva antincendio considerati in fase progettuale, affinché non possa verificarsi la riduzione del livello di sicurezza assicurato (Cap. M.1).

A differenza dell'attivazione dei sistemi automatici, l'intervento manuale effettuato dalle *squadre antincendio* non può essere considerato in fase progettuale ai fini della modifica dell'andamento della curva HRR(t).

M.2.6.3 Fase dell'incendio stazionario

Nella maggioranza dei casi l'energia termica potenzialmente contenuta nel compartimento antincendio è sufficiente a produrre la condizione di *flashover* e si ipotizza che, anche dopo il flashover, la curva cresca con andamento ancora proporzionale a t^2 fino al tempo t_A che corrisponde alla massima potenza HRR_{max} rilasciata dall'incendio nello specifico compartimento antincendio.

Se nell'attività non sono previsti impianti di controllo o estinzione automatica dell'incendio, si suppone che dal tempo t_A fino a t_B la potenza termica prodotta dall'incendio si stabilizzi al valore massimo HRR_{max} :

$$HRR(t) = HRR_{max} \quad \text{per } t_A \leq t < t_B$$

Se lo sviluppo dell'incendio risulta *controllato dal combustibile*, come accade *all'aperto* o in edifici con *elevata superficie di ventilazione*, il valore di HRR_{max} può essere fornito dalla seguente espressione:

$$HRR_{max} = HRR_f A_f$$

dove:

- HRR_f è il valore della potenza termica massima rilasciata per unità di superficie lorda. Per alcune attività, tale valore può essere desunto dai prospetti dell'appendice E.4 dell'Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2, espressa in kW/m^2 ;
- A_f è la superficie lorda del compartimento in caso di distribuzione uniforme del carico d'incendio, oppure superficie lorda effettivamente occupata dal combustibile oppure area operativa di sistemi automatici di controllo dell'incendio, espressa in m^2 .

Se lo sviluppo dell'incendio risulta *limitato dal valore della superficie di ventilazione*, come generalmente si verifica in edifici con superficie di *ventilazione ordinaria*, allora il valore di HRR_{max} deve essere ridotto in conseguenza della quantità di comburente disponibile che può affluire dalle superfici di ventilazione presenti nella fase di post-flashover. In tal caso, se le pareti del compartimento presentano solo aperture verticali, è possibile determinare il valore di HRR_{max} ridotto tramite la seguente espressione semplificata:

$$HRR''_{max} = 0,10 \text{ m } H_u A_v \sqrt{h_{eq}}$$

dove:

- m è il fattore di partecipazione alla combustione (vedi cap. S.2);
- H_u è il potere calorifico del legno, assunto pari a 17500 kJ/kg ;
- A_v è l'area totale delle aperture verticali sulle pareti del compartimento, espressa in m^2
- $h_{eq} = \sum A_{v,i} \times h_i / A_v$ è l'altezza equivalente delle aperture verticali, espressa in m .

con:

- $A_{v,i}$ area dell'apertura verticale i -esima, espressa in m^2 ;
- h_i altezza dell'apertura verticale i -esima, espressa in m .

Se invece le pareti del compartimento presentano anche *aperture orizzontali* (ad es.: SEFC), l'eventuale riduzione del valore di HRR_{max} deve essere valutata con modelli più sofisticati, ad esempio i modelli di campo di simulazione dell'incendio considerando tutte le superfici di ventilazione aperte sin dall'innesco dell'incendio.

Nota il valore di HRR_{max} , il tempo t_A di inizio della fase d'incendio stazionario si calcola con la seguente espressione:

$$t_A = \sqrt{\frac{HRR_{max}}{1000}} t_\alpha^2$$

con:

- t_A tempo di inizio della fase d'incendio stazionario (s)

La fase d'incendio stazionario termina al tempo t_B , inizio della fase di decadimento, in cui il 70% dell'energia termica inizialmente disponibile $q_f \cdot A_f$ è stata rilasciata nel compartimento antincendio.

Il valore dell'energia q_f è valutato conformemente alle indicazioni contenute nel capitolo S.2.

Se l'energia termica inizialmente disponibile è *sufficiente* affinché l'incendio superi la fase di propagazione e raggiunga la potenza massima HRR_{max} , cioè:

$$70\% q_f A_f \geq \frac{1000}{3 t_\alpha^2} t_A^3$$

allora il tempo t_B di fine della fase d'incendio stazionario si calcola con la seguente espressione:

$$t_B = t_A + \frac{70\% q_f A_f - \frac{1000}{3 t_\alpha^2} t_A^3}{HRR_{max}}$$

dove:

- t_B è il tempo di fine della fase d'incendio stazionario, espresso in s;
- q_f è il carico d'incendio specifico, espresso in kJ/m^2 .

Se l'energia termica inizialmente disponibile non è *sufficiente* affinché l'incendio superi la fase di propagazione, la curva HRR raggiunge il valore massimo per qualche secondo poi passa direttamente alla fase di decadimento.

M.2.6.4 Fase di decadimento

Il tempo t_C , trascorso il quale la potenza termica rilasciata dall'incendio si annulla, viene calcolato considerando che nella fase di decadimento è consumato il restante 30% dell'energia termica inizialmente disponibile:

$$t_C = t_B + \frac{2 \cdot 30\% q_f A_f}{HRR_{max}}$$

dove:

- t_C è il tempo con potenza termica rilasciata dall'incendio nulla, espresso in s.

Durante la fase di decadimento l'andamento della potenza prodotta dall'incendio è lineare e quindi:

$$HRR(t) = HRR_{max} (t_C - t) / (t_C - t_B) \quad \text{per } t_B \leq t \leq t_C$$

M.2.6.5 Altre indicazioni

Qualora la definizione della fase di propagazione della curva $HRR(t)$ basata esclusivamente sul tempo caratteristico t_α fosse ritenuta non rappresentativa della reale evoluzione dell'incendio durante la fase di propagazione, in particolare negli edifici civili, si renderà necessaria una più dettagliata definizione della curva di crescita dell'incendio, con specifica attenzione alla propagazione dell'incendio e dei prodotti della combustione, che rappresentano i fenomeni di maggiore interesse per i problemi di *salvaguardia della vita*.

Il professionista antincendio può pertanto valutare le possibilità che l'incendio si propaghi dagli oggetti già coinvolti dalle fiamme ad altri elementi combustibili, per mezzo di un'appropriata valutazione del rischio d'incendio.

Tale valutazione deve essere giustificata durante l'analisi quantitativa.

Un esempio di tale approccio è chiaramente affrontato nelle NFPA 92 e NFPA 555.

Questi documenti riportano alcune correlazioni impiegabili per verificare se, nelle prime fasi di sviluppo di un incendio, la potenza termica rilasciata da un oggetto incendiato possa provocare la propagazione dell'incendio ad altri oggetti per effetto dell'irraggiamento termico, in relazione alla tipologia dei materiali ed alla distanza che li separa dagli oggetti già innescati.

La curva HRR può essere così ricostruita nel seguente modo:

- a) ipotizzare il materiale combustibile iniziatore dell'incendio;
 - b) valutare la sequenza con la quale i diversi elementi combustibili presenti nell'ambiente vengono coinvolti dalla propagazione dell'incendio;
 - c) calcolare la curva HRR(t) complessiva, per somma dei contributi nel tempo dei singoli oggetti.
- Le curve HRR(t) di molte tipologie di oggetti combustibili presenti negli edifici civili possono essere facilmente reperite in letteratura.

M.2.7 Focolare predefinito

Qualora si intenda omettere le valutazioni in merito alla descrizione quantitativa del focolare di cui al paragrafo M.2.4, possono essere impiegati i *focolari predefiniti* descritti quantitativamente secondo il metodo indicato nel paragrafo M.2.6, impiegando i valori dei parametri di cui alla tabella M.2-2.

È escluso l'impiego dei focolari predefiniti nei casi in cui si valuti che i focolari attesi risultino più gravosi di quelli previsti in tabella M.2-2.

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t_a	150 s (<i>fast</i>)	75 s (<i>ultra-fast</i>)
HRR _{max} totale HRR _{max} per m ² di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m ² [1]	50 MW 500 -1000 kW /m ² [1]
Resa in particolato Y_{soot}	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio Y_{CO}	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo ΔHC	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio Y_{CO2}	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y_{H2O}	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di HRR(t) in irraggiamento (<i>Radiative fraction</i>)	35% [3]	
<p>[1] Da impiegare in alternativa all'HRR_{max} totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico d'incendio uniformemente distribuito, ma che può essere un valore inferiore nel caso d'incendio localizzato.</p> <p>[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report No.185 "Soot Yield Values for Modelling Purposes - Residential Occupancies", BRANZ, 2008</p> <p>[3] "CIVM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code</p> <p>[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4th ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da polyurethane flexible foams.</p> <p>[5] Stec A A, Hull T R, "Fire Toxicity", woodhead Pub., 2010. § 2.4 con $ct = 1,25$ (<i>underventilated fire</i>)</p> <p>[6] In alternativa alle rese Y_{CO2} e Y_{H2O}, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico $C_{H_2}O_{0,5}$.</p>		

TAB. M.2-2: FOCOLARI PREDEFINITI

7. Sezione M.3 - Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

M.3.2 Progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita

M.3.2.1 Criterio ideale

La progettazione ideale di un sistema di esodo dovrebbe assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza **o di permanervi, senza mai incontrare gli effetti dell'incendio**.

Questo è dunque il primo criterio da impiegare per la maggior parte degli occupanti dell'attività.

Esistono situazioni ove il criterio del comma 1 non è applicabile, in particolare per gli occupanti che si trovano nel compartimento di primo innesco dell'incendio.

M.3.2.2 Criterio ASET > RSET

Come illustrato al paragrafo 3 della presente pubblicazione, per risolvere l'eventuale inapplicabilità del "criterio ideale" la norma introduce il criterio ASET > RSET, esemplificato nell'illustrazione M.3-1, dove:

- ✓ ASET è il tempo disponibile per l'esodo (*Available Safe Escape Time*);
- ✓ RSET è il tempo richiesto per l'esodo (*Required Safe Escape Time*).

Si considera efficace il sistema di esodo se ASET > RSET, se cioè il tempo in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti è superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro, non soggetto a tali condizioni ambientali sfavorevoli dovute all'incendio.

La differenza tra ASET e RSET rappresenta il *margin* di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita:

$$t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET} \quad (\text{s})$$

Nel confronto tra diverse soluzioni progettuali, il professionista antincendio rende massimo³ il margine di sicurezza t_{marg} in relazione alle ipotesi assunte, al fine di considerare l'incertezza nel calcolo dei tempi di ASET e RSET.

A meno di specifiche valutazioni si assume $t_{\text{marg}} \geq 100\% \cdot \text{RSET}$.

In caso di specifiche valutazioni sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale, è consentito assumere $t_{\text{marg}} \geq 10\% \cdot \text{RSET}$.

In ogni caso, il valore di t_{marg} **deve essere** ≥ 30 s.

M.3.3 Calcolo di ASET

ASET, il tempo a disposizione degli occupanti per mettersi in salvo, dipende strettamente dalle interazioni nel sistema incendio-edificio-occupanti: l'incendio si innesca, si propaga e diffonde nell'edificio i suoi **effetti**, fumi e calore.

L'edificio resiste all'incendio per mezzo delle misure protettive attive e passive: impianti antincendio, compartimentazioni, sistemi di controllo di fumo e calore.

Gli occupanti sono esposti agli effetti dell'incendio in relazione alla attività che svolgono, alla loro posizione iniziale, al loro percorso nell'edificio ed alla condizione fisica e psicologica.

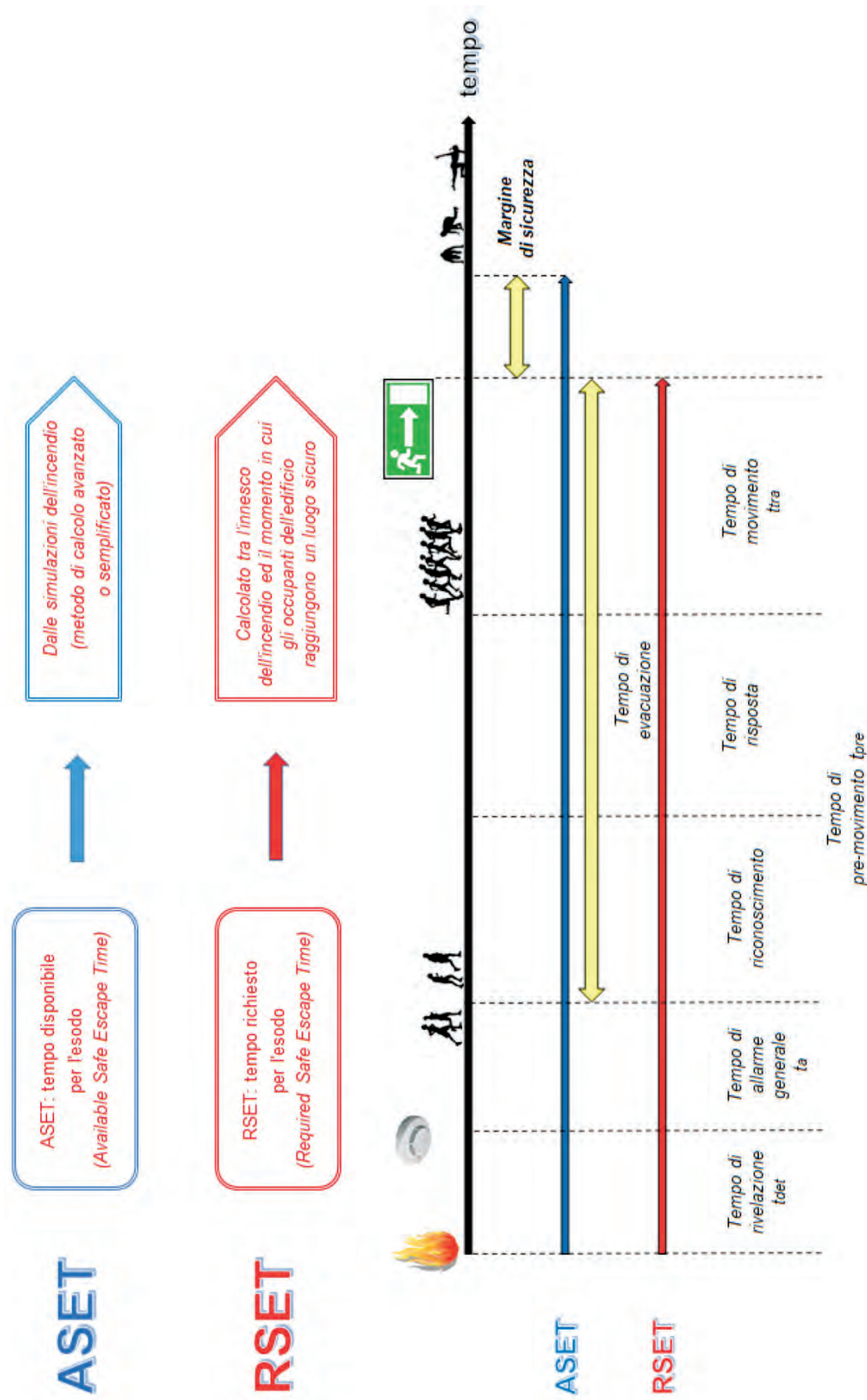
In conseguenza di quanto indicato al comma 1, ciascun occupante possiede un proprio valore di ASET.

Tale complessità viene risolta dal professionista antincendio con considerazioni statistiche, con modelli di calcolo numerici o assumendo le ipotesi semplificative descritte nel paragrafo **M.3.3.2**.

Nei seguenti paragrafi si presentano i *metodi di calcolo* di ASET ammessi dalle norme:

- a) metodo di calcolo avanzato;
- b) metodo di calcolo semplificato.

³ Babrauskas V, Fleming J M, Don Russell B, "RSET/ASET, a flawed concept for fire safety assessment" *Fire and Materials*, pagg. 34:341-355, 2010.



CONFRONTO TRA ASET E RSET

M.3.3.1 Metodo di calcolo avanzato per ASET

Il calcolo di ASET richiede la stima delle concentrazioni di prodotti tossici, delle temperature e delle densità del fumo negli ambienti a seguito dell'incendio e la loro variazione nel tempo, in quanto gli occupanti possono muoversi nel fumo, che nei casi complessi può essere ragionevolmente elaborata solo con modelli di calcolo fluidodinamici. Sono infatti la tipologia dell'incendio e dell'attività che determinano complessivamente l'andamento di tali variabili con il tempo.

La norma ISO 13571 è il riferimento più autorevole per il calcolo ASET.

ASET globale è ivi definito come il più piccolo tra gli ASET calcolati secondo quattro modelli:

- a) modello dei gas tossici;
- b) modello dei gas irritanti;
- c) modello del calore;
- d) modello dell'oscuramento della visibilità da fumo.

M.3.3.1.1 Modello gas tossici

Il modello dei gas tossici impiega il concetto di dose inalata (*exposure dose*) e di *FED* (*fractional effective dose*).

La *exposure dose* è definita come la misura della dose di un gas tossico disponibile per inalazione, cioè presente nell'aria inspirata, calcolata per integrazione della curva concentrazione-tempo della sostanza per il tempo di esposizione. La *FED* è il rapporto tra questa *exposure dose* e la dose del gas tossico che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto.

Quando $FED = 1$ si considera incapacitato il soggetto medio.

Nota: Per esempio, la dose incapacitante di CO, monossido di carbonio, prevista nella **norma ISO 13571:2012** è pari a $35000 \text{ ppm} \cdot \text{min}$. Ciò significa ipotizzare che il soggetto medio esposto ad una concentrazione di 3500 ppm per 10 minuti risulti incapacitato. In tal caso la sua *FED* è pari a 1 ed il suo ASET per il CO è pari a 10 minuti.

M.3.3.1.2 Modello gas irritanti

Il modello dei gas irritanti impiega il concetto di *FEC*, *fractional effective concentration*.

La *FEC* è definita come il rapporto tra la concentrazione di un gas irritante disponibile per inalazione e la concentrazione dello stesso gas che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto.

Al fine di semplificare l'analisi, qualora negli scenari d'incendio di progetto non siano identificati nel focolare materiali combustibili suscettibili di costituire specifica sorgente di gas irritanti (es.: sostanze o miscele pericolose, cavi elettrici in quantità significative, ecc.) la verifica del modello dei gas irritanti può essere omessa.

Il modello proposto dalla norma ISO 13571, cui si rimanda, è puramente additivo degli effetti considerati istantanei e diretti dei gas irritanti.

M.3.3.1.3 Modello calore

Per il modello del calore irraggiato e convettivo la norma propone un approccio, basato sulla *FED*, simile a quello dei gas tossici. L'equazione proposta è la seguente:

$$X_{FED} = \sum_{t_1}^{t_2} \left(\frac{1}{t_{\text{rad}}} + \frac{1}{t_{\text{conv}}} \right) \Delta t$$

I valori di t_{rad} e t_{conv} sono i tempi di incapacitazione per calore radiante e calore convettivo calcolati con altre relazioni in funzione della condizione di abbigliamento dei soggetti, reperibili nella norma ISO 13571.

La verifica del modello del calore può essere semplificata assumendo conservativamente le seguenti *soglie di prestazione*:

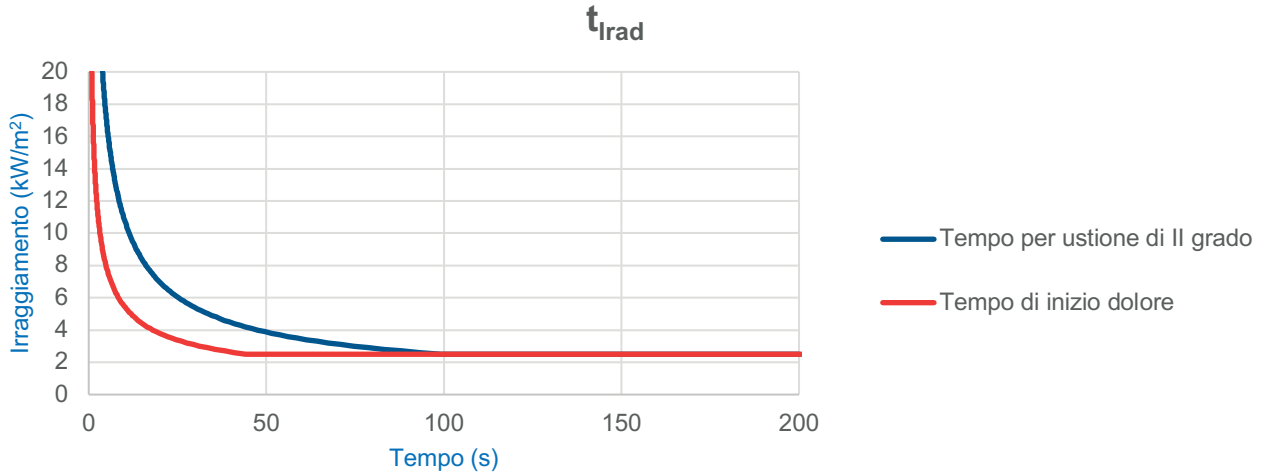
- a) irraggiamento sugli occupanti $< 2,5 \text{ kW/m}^2$;
- b) temperatura ambiente sugli occupanti $< 60^\circ\text{C}$.

Tali valori corrispondono ad un ASET oltre i 30 min per qualsiasi condizione di abbigliamento.

Modello calore - irraggiamento (Norma ISO 13571)

Con irraggiamento minore di 2,5 kW/m² è possibile resistere più di 30 min; al di sopra di tale valore:

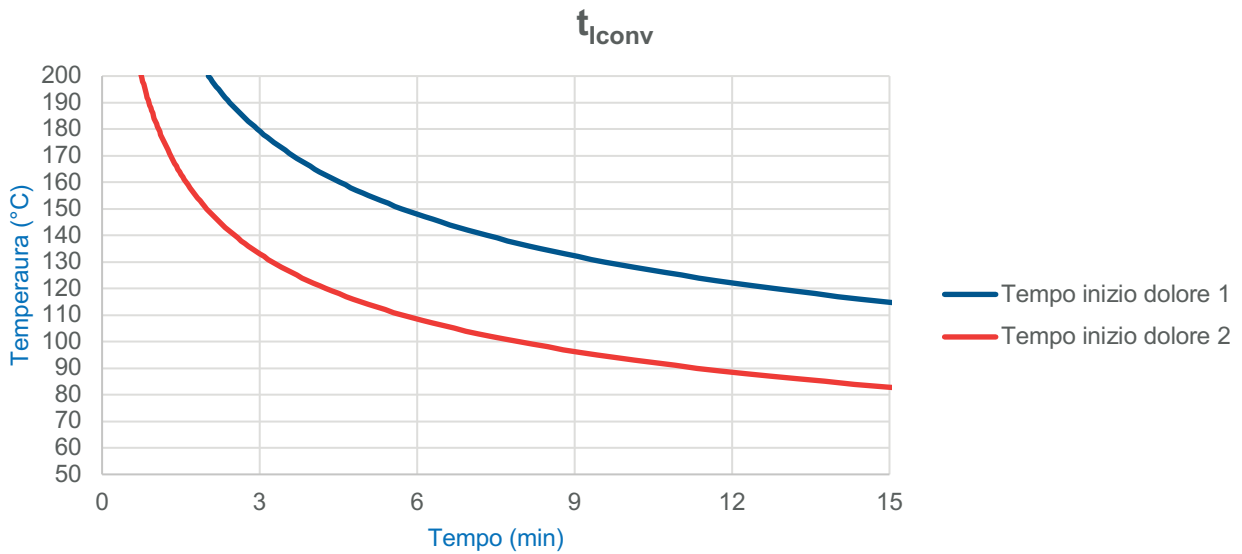
- tempo t_{Irad} per ustioni di secondo grado dovute a calore radiante q (kW/m²): $t_{\text{Irad}} = 6,9 \cdot q^{-1,56}$
- tempo t_{Irad} per sperimentare dolore dovuto a calore radiante q (kW/m²): $t_{\text{Irad}} = 4,2 \cdot q^{-1,9}$



Modello calore - convezione (Norma ISO 13571)

Ipotesi di esposizione a flusso di calore per convezione con aria contenente meno del 10% in volume di vapore acqueo:

- tempo t_{Iconv} per sperimentare dolore per flussi convettivi alla temperatura T (°C):
1. soggetti completamente vestiti: $t_{\text{Iconv}} = (4,1 \cdot 10^8) \cdot T^{-3,61}$
 2. soggetti nudi o con vestiti leggeri: $t_{\text{Iconv}} = (5 \cdot 10^7) \cdot T^{-3,4}$



M.3.3.1.4 Modello visibilità

Il modello dell'oscuramento della visibilità da fumo è basato sul concetto del minimo contrasto percettibile, cioè la minima differenza di luminosità visibile tra un oggetto e lo sfondo.

Per legare il valore della visibilità L alla massa volumica dei fumi ρ_{smoke} , si ricorre alla seguente correlazione sperimentale, applicata ad ogni punto del dominio di calcolo:

$$C = \sigma \rho_{\text{smoke}} L$$

dove:

- L è la visibilità, espressa in m;
- C è la costante adimensionale pari a 3 per **segnaletica** di esodo riflettente non illuminata o 8 per **segnaletica** retroilluminata;
- σ è il coefficiente massico di estinzione della luce, assunta pari a **8,7 m²/g** o **diverso valore adeguatamente giustificato dal progettista**;
- ρ_{smoke} è la massa volumica dei fumi (*smoke aerosol mass concentration*) (g/m³).

Grazie a questa correlazione, i codici di calcolo fluidodinamico restituiscono direttamente la ρ_{smoke} e calcolano la visibilità L per ogni punto degli ambienti simulati.

M.3.3.1.5 Soglia di prestazione per FED e FEC

I valori di FED e FEC pari ad 1 sono associati ad effetti incapacitanti dell'esodo calibrati su occupanti di media sensibilità agli effetti dei prodotti dell'incendio.

Per tenere conto delle categorie più deboli o più sensibili della popolazione, che risulterebbero incapacitate ben prima del raggiungimento di FED o FEC uguale a 1, si considera ragionevole impiegare il valore 0,1 come *soglia di prestazione* per FED e FEC (limitando a 1,1% **la porzione** di occupanti incapacitati al raggiungimento della soglia secondo ISO 13571), lasciando però al professionista antincendio l'onere di selezionare e giustificare il valore più adatto alla tipologia di popolazione coinvolta.

M.3.3.2 Metodo di calcolo semplificato per ASET

Il rapporto tecnico ISO/TR 16738⁴ prevede la possibilità di utilizzare l'ipotesi semplificativa della esposizione zero (*zero exposure*).

Invece di procedere alla verifica di tutti i modelli di cui al paragrafo M.3.3.1, il professionista antincendio impiega le seguenti *soglie di prestazione*, molto conservative:

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

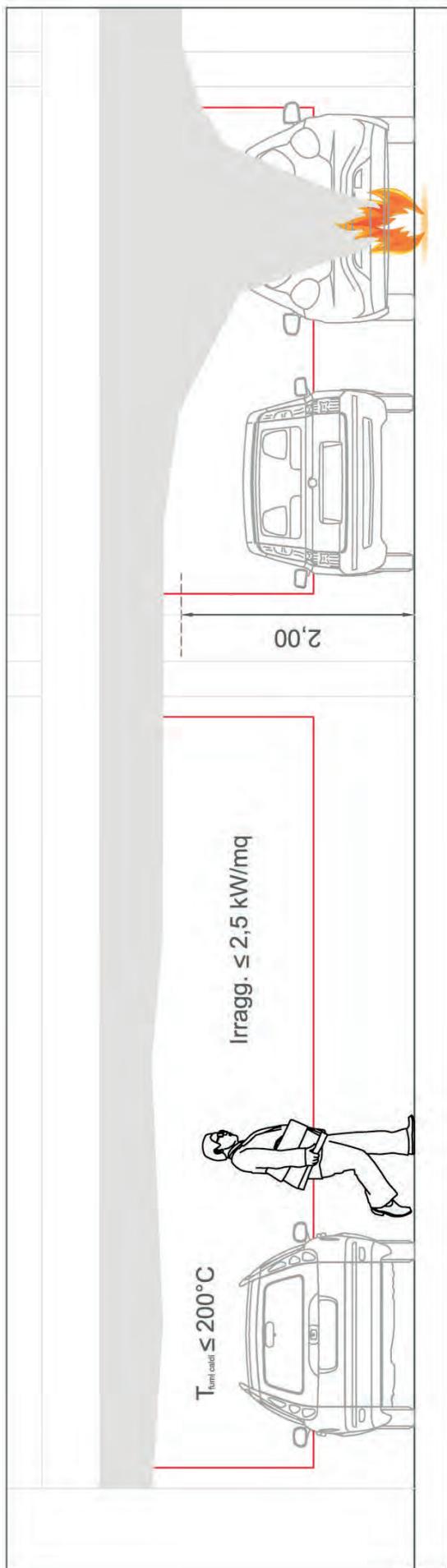
Questi criteri permettono agli occupanti la fuga in aria indisturbata, non inquinata dai prodotti della combustione, ed un valore dell'irraggiamento dai fumi cui sono esposti inferiore a 2,5 kW/m²: sono dunque automaticamente soddisfatti tutti i modelli di cui al paragrafo M.3.3.1 e l'analisi è notevolmente semplificata perché non occorre eseguire calcoli di esposizione degli occupanti a tossici, irritanti, calore e oscuramento della visibilità.

È infatti sufficiente valutare analiticamente o con modelli numerici a zone o di campo l'altezza dello strato dei fumi *pre-flashover* nell'edificio.

M.3.3.3 Campo di applicabilità del metodo semplificato

Il metodo di calcolo semplificato di cui al paragrafo M.3.3.2 è applicabile, solo se la potenza del focolare rapportata alla geometria dell'ambiente è sufficiente a garantire la formazione dello strato di fumi caldi superiore: il professionista antincendio è tenuto a verificare che tale condizione si verifichi.

⁴ Il rapporto tecnico ISO/TR 16738:2009 si intitola "Fire-safety engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people".



METODO DI CALCOLO SEMPLIFICATO PER ASET

SI SEGNA LA L'IMPORTANZA DEL CONCETTO DI REVERSIBILITÀ D'USO DEL SISTEMA DI ESODO DI EMERGENZA

Le squadre di soccorso debbono poter entrare dalle uscite di sicurezza e quindi poter percorrere, a ritroso, il sistema di esodo che, anche in condizioni d'incendio evoluto, deve costituire, almeno nelle fasi iniziali, un percorso agevolato tale da poter consentire l'intervento in ogni punto dell'attività al fine di aggredire l'incendio, di soccorrere e di essere soccorsi.



A SINISTRA ESODO OCCUPANTI, A DESTRA ATTIVITÀ DEI SOCCORRITORI

M.3.4 Calcolo di RSET

RSET è calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'edificio raggiungono un luogo sicuro. Anche RSET dipende dalle interazioni del sistema incendio-edificio-occupanti: la fuga degli occupanti è fortemente condizionata dalle geometrie dell'edificio ed è rallentata dagli effetti dell'incendio.

Il documento di riferimento per il calcolo di RSET è il rapporto tecnico ISO/TR 16738.

RSET è determinato da varie componenti, come il tempo di rivelazione (*detection*) t_{det} , il tempo di allarme generale t_a , il tempo di pre-movimento (*pre-travel activity time, PTAT*) t_{pre} , il tempo di movimento (*travel*) t_{tra} :

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$$

Al fine del calcolo di RSET il professionista antincendio deve sviluppare lo scenario comportamentale di progetto più appropriato per il caso specifico, perché l'attività di pre-movimento e le velocità dell'esodo dipendono dalla tipologia di popolazione considerata e dalle modalità d'impiego dell'edificio.

Nota I parametri variano notevolmente se gli occupanti sono svegli ed hanno familiarità con l'edificio, come in un edificio scolastico, o dormono e non conoscono la struttura, come in una struttura alberghiera.

Come già indicato per ASET, ciascun occupante possiede un proprio valore anche di RSET.

M.3.4.1 Tempo di rivelazione

Il tempo di rivelazione t_{det} è determinato dalla tipologia di sistema di rivelazione e dallo scenario d'incendio.

È il tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio.

Viene calcolato analiticamente o con apposita modellizzazione numerica degli scenari d'incendio e del sistema di rivelazione.

M.3.4.2 Tempo di allarme generale

Il tempo di allarme generale t_a è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, dell'allarme generale.

Il tempo di allarme generale sarà dunque:

- pari a zero, quando la rivelazione attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio;
- pari al ritardo valutato dal professionista antincendio, se la rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.

Negli edifici grandi e complessi si deve tenere conto della modalità di allarme che può essere diversificata, ad esempio, nel caso di una evacuazione per fasi multiple.

M.3.4.3 Tempo di attività pre-movimento

Il tempo di attività pre-movimento t_{pre} è l'oggetto della valutazione più complessa, perché si tratta del tempo necessario agli occupanti per svolgere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio verso il luogo sicuro.

La letteratura⁵ indica che questa fase occupa spesso la maggior parte del tempo totale di esodo.

Il tempo t_{pre} è composto da un tempo di *riconoscimento (recognition)* e da uno di *risposta (response)*.

Durante il tempo di riconoscimento gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo prima dell'allarme generale, finché riconoscono l'esigenza di rispondere all'allarme.

Nel tempo di risposta gli occupanti cessano le loro attività normali e si dedicano ad attività legate allo sviluppo dell'emergenza, quali: raccolta di informazioni sull'evento, arresto e messa in sicurezza delle apparecchiature, raggruppamento del proprio gruppo (lavorativo o familiare), lotta all'incendio, ricerca e determinazione della via di esodo appropriata (*wayfinding*) ed altre attività a volte anche errate ed inappropriate.

A seconda dello scenario comportamentale di progetto, questi tempi possono durare anche alcune decine di minuti.

Nella tabella M.3-1 si riportano alcuni esempi di valutazione tratti dal rapporto tecnico ISO/TR 16738.

Il professionista antincendio può impiegare valori diversi da quelli indicati in letteratura purché adeguatamente giustificati, anche in riferimento a prove di evacuazione riportate nel registro dei controlli.

⁵ Proulx G, "Movement of people: the evacuation timing", in *The SFPE Handbook of fire protection engineering, 3rd edition, NFPA, 2002.*

Parametri di descrizione dell'attività tratto da ISO/TR 16738	Tempi di attività di pre-movimento ISO/TR 16738	
	Δt_{pre} (1st) primi occupanti in fuga	Δt_{pre} (99th) ultimi occupanti in fuga
Esempio 1: albergo di media complessità <ul style="list-style-type: none"> occupanti: Ciii, sleeping and unfamiliar; sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; complessità geometrica edificio: edificio multipiano e layout semplice; gestione della sicurezza: ordinaria. 	20'	40'
Esempio 2: grande attività produttiva <ul style="list-style-type: none"> occupanti: A, awake and familiar; sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; complessità geometrica edificio: edificio multipiano e layout complesso; gestione della sicurezza: ordinaria. 	1' 30"	3' 30"
Esempio 3: residenza sanitaria assistenziale <ul style="list-style-type: none"> occupanti: D, sleeping and unfamiliar; sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; complessità geometrica edificio: edificio multipiano e layout semplice; gestione della sicurezza: ordinaria; presenza di addetti in quantità sufficiente a gestire l'evacuazione dei diversamente abili. 	5'	10'

TAB. M.3-1: ESEMPI DI VALUTAZIONE DEL TEMPO DI PRE-MOVIMENTO, TRATTO DA ISO/TR 16738

M.3.4.4 Tempo di movimento

Il tempo di movimento t_{tra} è il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento appena descritte.

Il t_{tra} è calcolato in riferimento ad alcune variabili:

- la distanza degli occupanti o gruppi di essi dalle vie di esodo;
- le velocità di esodo, che dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente costruito e gli effetti dell'incendio.
È dimostrato che la presenza di fumi e calore rallenta notevolmente la velocità di esodo in funzione delle condizioni di visibilità;
- la portata delle vie di esodo, dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli ed ostacoli.

Nella realtà, quando gli occupanti di edifici densamente affollati fuggono lungo le vie di esodo, si formano lunghe file nei restringimenti, inoltre secondo lo sviluppo degli scenari d'incendio di progetto presi in esame, alcuni percorsi possono diventare impercorribili o bloccati. Il calcolo del t_{tra} deve tenere conto di questi fenomeni.

Attualmente si impiegano comunemente due famiglie di modelli per il calcolo del tempo di movimento: *modelli idraulici* e *modelli agent based*.

I modelli idraulici predicono con ragionevole precisione alcuni aspetti del movimento degli occupanti (es.: flussi attraverso le uscite), ma non includono fattori importanti del comportamento umano, come la familiarità con l'edificio, le interazioni persona-persona e l'effetto del fumo sul movimento.

Altri tipi di modelli (es.: *macroscopic/microscopic*, *coarse network/fine network/continuous models*) sono oggetto di intensa ricerca scientifica e di sperimentazione; attualmente esistono ancora solo validazioni parziali dei risultati. Pertanto i risultati debbono essere valutati con cautela.

M.3.5 Soglie di prestazione per la salvaguardia della vita

Le soglie di prestazione per la salvaguardia della vita determinano l'incapacitazione degli occupanti e dei soccorritori quando sottoposti agli effetti dell'incendio.

Il professionista antincendio sceglie idonee soglie di prestazione per la specifica attività, in relazione agli scenari d'incendio di progetto, ed in particolare in riferimento alle caratteristiche degli occupanti coinvolti (es.: anziani, bambini, disabilità, ecc.).

Il rispetto delle soglie di prestazione per la salvaguardia della vita deve essere verificato:

- a) per gli occupanti: in tutte le zone dell'attività dove esiste contemporanea presenza di occupanti, stanziali o in movimento, e di effetti dell'incendio.
- b) per i soccorritori:
 - i. solo qualora essi abbiano un ruolo ben definito nella pianificazione d'emergenza dell'attività;
 - ii. in tutte le zone dell'attività dove esiste contemporanea presenza di soccorritori, stanziali o in movimento, e di effetti dell'incendio.

A titolo di esempio, si riportano nelle tabelle M.3-2 e M.3-3 delle soglie di prestazione per occupanti e soccorritori con riferimento ai metodi di calcolo avanzato e semplificato.

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100 m ² : 5 m	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100 m ² : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas Irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571-2012, limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapaci al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	--
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m ²	ISO 13571-2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m ²	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per *soccorritori* si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori Indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per *hazardous conditions*.

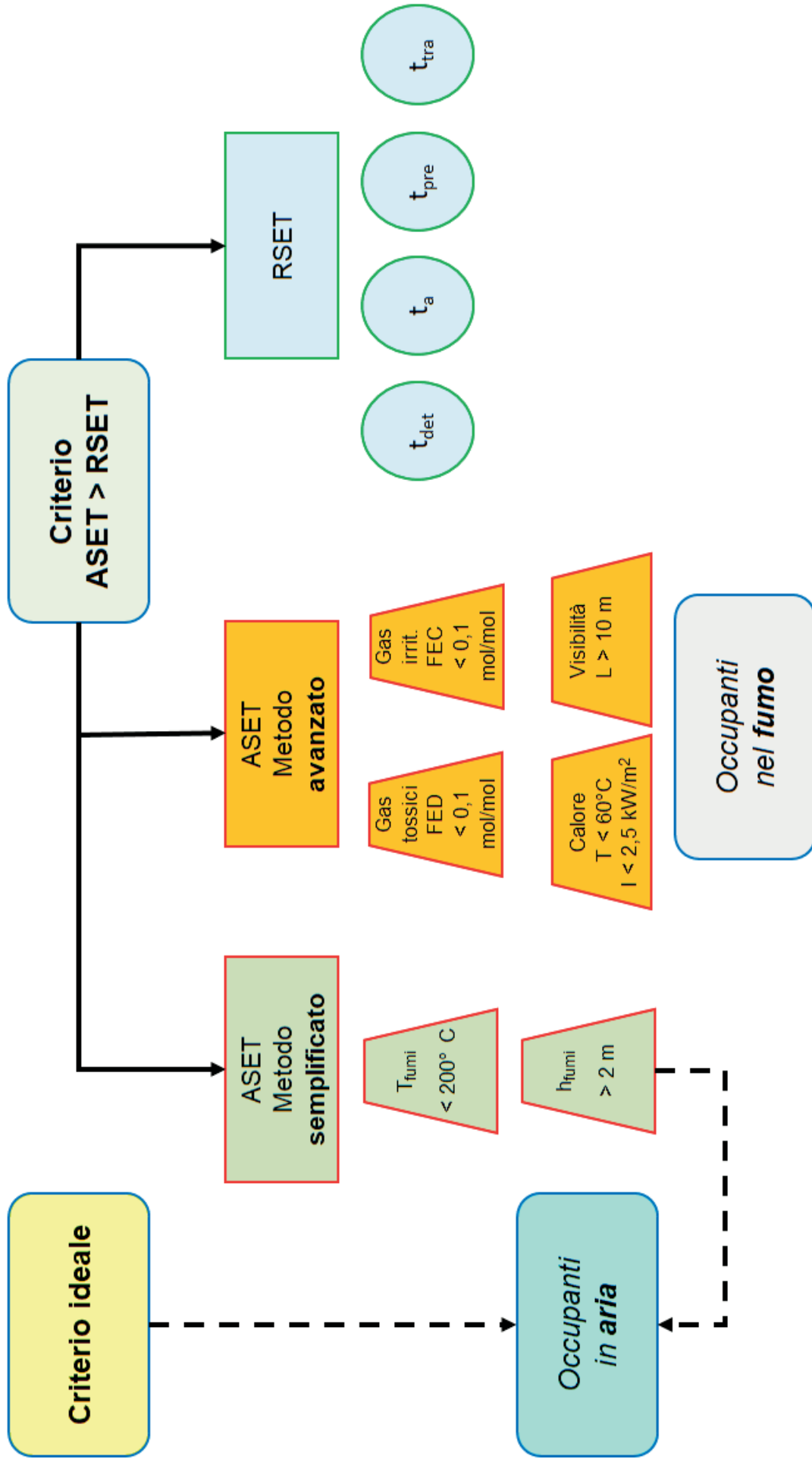
TABELLA M.3-2: ESEMPIO DI SOGLIE DI PRESTAZIONE IMPIEGABILI CON IL METODO DI CALCOLO AVANZATO

Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata	Occupanti: 2 m	Ridotto da ISO/TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: 1,50 m	[1]
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: 200°C	ISO/TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: 250°C	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per *soccorritori* si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per *hazardous conditions*.

TABELLA M.3-3: ESEMPIO DI SOGLIE DI PRESTAZIONE IMPIEGABILI CON IL METODO DI CALCOLO SEMPLIFICATO

M.3 - Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale



Riferimenti nel Codice per la Sezione Metodi

M.1.10 Riferimenti

1. I principali riferimenti sull'argomento sono i seguenti:
 - a. ISO 23932 "FSE - General principles";
 - b. BS 7974: "Application of FSE principles to the design of buildings - Code of practice";
 - c. BS PD 7974-0: "Application of FSE principles to the design of buildings - Part 0: Guide to design framework and FSE procedures";
 - d. "SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection", 2nd ed. 2007;
 - e. B. Karlsson, J. Quintiere, "Enclosure Fire Dynamics", CRC Press, 1999.

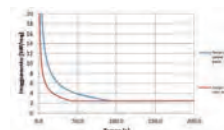
M.2.8 Riferimenti

1. I seguenti documenti forniscono un'utile guida al professionista antincendio dal punto di vista metodologico.
2. Identificazione degli scenari d'incendio:
 - a. ISO 16732-1 "Fire safety engineering - Fire risk assessment", descrive l'applicazione alla valutazione del rischio d'incendio delle metodologie proprie dell'analisi di rischio, come l'albero dei guasti e l'albero degli eventi;
 - b. NFPA 551 "Guide for the evaluation of fire risk assessment".
3. Selezione degli scenari d'incendio di progetto:
 - a. ISO/TS 16733 "Fire safety engineering - Selection of design fire scenarios and design fires";
 - b. NFPA 101 "Life Safety Code".
4. Stima della curva HRR:
 - a. Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2 "Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco";
 - b. NFPA 92 "Standard for smoke control systems";
 - c. NFPA 92B "Smoke management systems in malls, atria, and large areas";
 - d. NFPA 555 "Guide on methods for evaluating potential for room flash over".
5. Descrizione quantitativa del focolare:
 - a. "The SFPE Handbook of fire protection engineering", 5th edition, SFPE/ NFPA, 2016.

M.3.6 Riferimenti

1. L'ISO ha pubblicato due documenti fondamentali per analisi degli aspetti più tecnici della progettazione della *life safety*:
 - a. ISO 13571 "Life-threatening components of fire - Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires";
 - b. ISO/TR 16738 "Fire-safety engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people".
2. La salvaguardia della vita (*life safety*), che comprende le problematiche legate all'evacuazione dell'edificio, è il sottosistema 6 della BS 7974. In tale contesto, il documento specifico di riferimento per la progettazione del sistema d'esodo è il *published document PD 7974-6 "The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings - Part 6: Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)"*.

8. I Metodi nelle nuove RTV



METODI

Nell'ambito della RTV Autorimesse (d.m. 21 febbraio 2017) al par. V.6.7 è riportato, a proposito dei Metodi:

V.6.7.1 Scenari per la verifica della capacità portante in caso d'incendio

1. Ai fini dell'applicazione dei metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio, possono essere adottate le indicazioni di seguito riportate.
2. Possono essere impiegati gli *scenari d'incendio di progetto* (cap. M2) descritti nel presente paragrafo per le autorimesse aventi entrambe le seguenti caratteristiche:
 - a) autorimessa aperta le cui aperture di smaltimento costituiscano almeno il 50% della superficie complessiva della facciata su cui sono attestate;
 - b) autorimessa fuori terra ed a spazio aperto.

Osservazione: sono pertanto predefiniti degli scenari d'incendio di progetto per autorimesse caratterizzate da notevole aerazione e, quindi, per incendi controllati dal combustibile; per autorimesse prive delle suddette caratteristiche, tali scenari non sono utilizzabili tout court.

3. Per la definizione degli incendi naturali di progetto, si considerano le curve HRR(t) di cui alle tabelle V.6-5, V.6-6 e V. 6-7 in cui il tempo è riferito all'istante d'innesco del veicolo.

Tempo dopo l'innesco (s)	0	240	960	1440	1500	1620	2280	4200
HRR (t) (kW)	0	1400	1400	5500	8300	4500	1000	0

TABELLA V6- 5: CURVA HRR (τ) PER AUTOVEICOLO (PRIMO INNESCO, HRRMAX = 8300 kW)

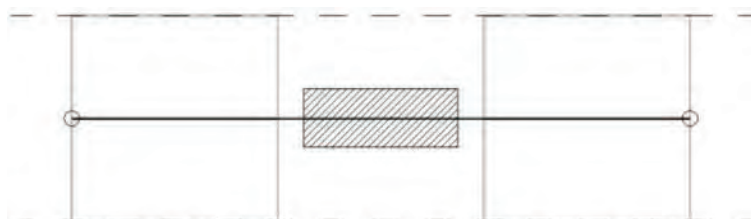
Tempo dopo l'innesco (s)	0	60	600	960	1020	1140	1800	3720
HRR (t) (kW)	0	2400	2400	5500	8300	4500	1000	0

TABELLA V6- 6: CURVA HRR (τ) PER AUTOVEICOLO (PROPAGAZIONE AL SUCCESSIVO VEICOLO, HRRMAX = 8300 kW)

Tempo dopo l'innesco (s)	0	300	900	1500
HRR (t) (kW)	0	18000	18000	0

TABELLA V6- 7: CURVA HRR (τ) PER AUTOVEICOLO COMMERCIALE (PRIMO INNESCO E PROPAGAZIONE AL SUCCESSIVO VEICOLO, HRRMAX = 18000 kW)

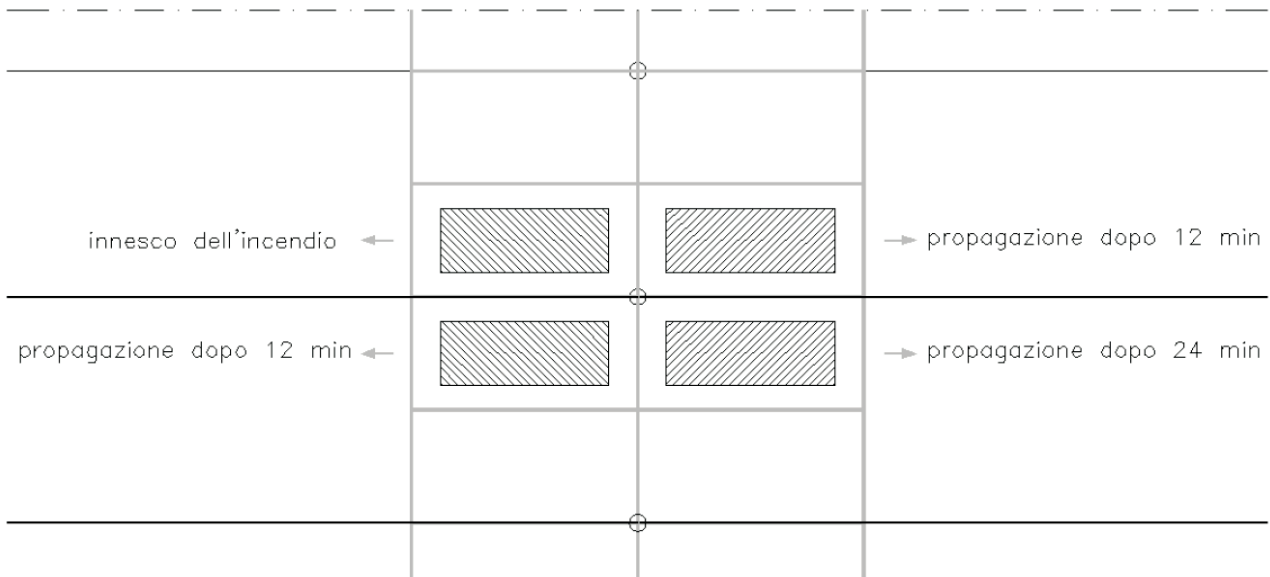
4. Con riferimento alla disposizione tipica di parcheggio all'interno di un'autorimessa, il tempo di propagazione dell'incendio da un veicolo al veicolo adiacente può essere assunto pari a 2 min.
5. Gli scenari d'incendio di progetto da impiegare (Illustrazione V.6-1) sono i seguenti:



- a) **SCENARIO S1: CARATTERIZZATO DALL'INCENDIO DI UN AUTOVEICOLO COMMERCIALE IN CORRISPONDENZA DELLA MEZZERIA DELLA TRAVE O DEL SOLAIO;**



- b) **SCENARIO S2:** CARATTERIZZATO DALLA PROPAGAZIONE SIMMETRICA DELL'INCENDIO A PARTIRE DALL'AUTOVEICOLO CENTRALE CON UN TEMPO DI RITARDO DELL'INNESCO PARI A 12 MIN, COINVOLGENDO COMPLESSIVAMENTE 7 VEICOLI. TRA QUESTI DEVE ESSERE PREVISTA LA PRESENZA DI UN AUTOVEICOLO COMMERCIALE POSTO AL CENTRO, QUINDI INCENDIATO PER PRIMO, O DI FIANCO AL PRIMO AUTOVEICOLO INNESCATO;



- c) **SCENARIO S3:** CARATTERIZZATO DALL'INCENDIO DI 4 VEICOLI POSTI INTORNO AD UNA COLONNA. L'INCENDIO SI AVVIA DA UNO DI ESSI, DOPO 12 MIN SI PROPAGA A 2 VEICOLI, DOPO ULTERIORI 12 MIN SI PROPAGA ALL'ULTIMO VEICOLO; UNO DEI VEICOLI DEVE ESSERE UN AUTOVEICOLO COMMERCIALE.

ILLUSTRAZIONE V.6- 1: SCHEMATIZZAZIONE DEGLI SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO

6. Gli scenari descritti sono adattati caso per caso in relazione ad eventuali conformazioni particolari del piano di parcheggio.

7. Nell'illustrazione V.6-2 si riportano a titolo esemplificativo le curve HRR(t) nel caso dello scenario d'incendio di progetto S3, supponendo che il secondo veicolo ad incendiarsi sia un autoveicolo commerciale.

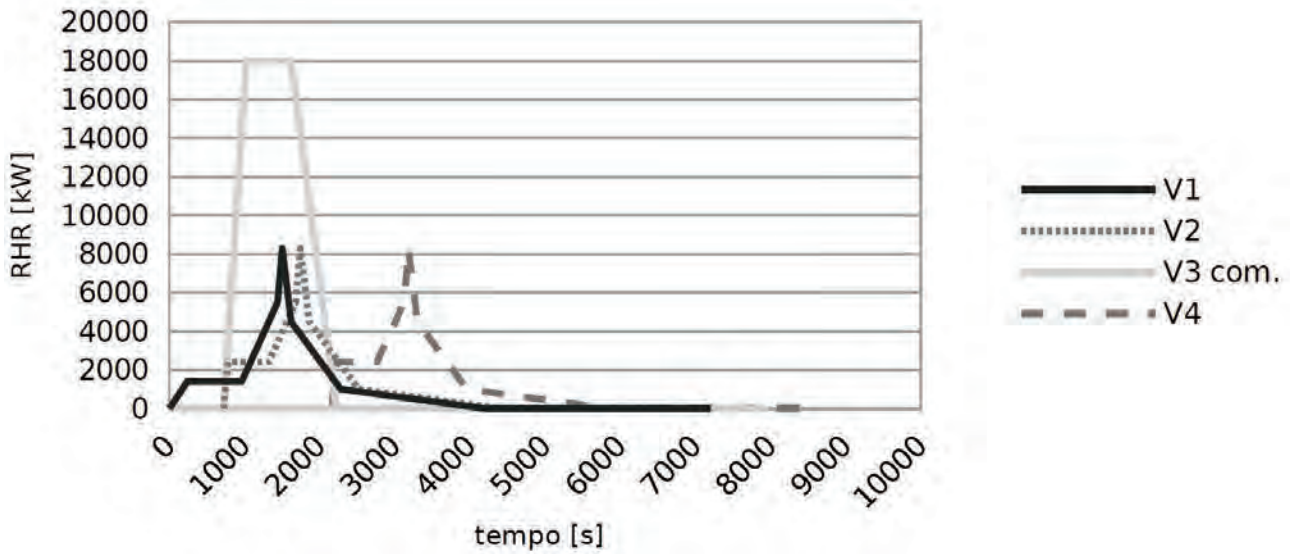


ILLUSTRAZIONE V.6- 2: CURVE HRR(T) PER LO SCENARIO S3

8. Nel caso di adozione di modelli d'incendio numerici semplificati dell'Eurocodice UNI EN 1991-1-2 rappresentativi d'incendi localizzati, gli stessi vanno applicati con le seguenti prescrizioni:
- per la determinazione della temperatura di una colonna ci si riferisce cautelativamente al riscaldamento della trave posta sulla sua sommità;
 - per gli scenari S2 ed S3, nel caso di modello d'incendio localizzato con fiamma non impattante il soffitto, la definizione del flusso termico necessaria per il modello di riscaldamento degli elementi strutturali è condotta cautelativamente con riferimento all'incendio con fiamma impattante il soffitto.

Caso studio 1: soluzione alternativa per il livello di prestazione I misura S.4 - autorimessa

Descrizione

All'interno del volume INAIL "Il Codice di prevenzione incendi", appartenente all'omonima collana ricerche, al capitolo 8, con riferimento alla progettazione dell'esodo di un'autorimessa in *soluzione conforme*, è stato evidenziato il mancato rispetto della lunghezza del corridoio cieco.

In particolare si è valutato che nella configurazione geometrica del compartimento tipo dell'autorimessa in esame, la lunghezza del corridoio è risultata essere pari a 48,25 m contro il massimo ammesso, in soluzione conforme, di 33,75 m.

In tale ambito fu rappresentato che la flessibilità del Codice consente di poter dimostrare che gli occupanti, anche in carenza di una previsione richiesta dalla *soluzione conforme*, possano disporre del tempo necessario ad evacuare in sicurezza, ricorrendo ad una progettazione con approccio prestazionale, denominata *soluzione alternativa*.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni geometriche del compartimento tipo dell'autorimessa	Vedi planimetria (A = 3985 m ²)
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti prefabbricate in C.A.

Schema planimetrico dell'autorimessa (SA/AB/HA)⁶

Compartimenti antincendio	L'autorimessa è composta da 4 compartimenti antincendio
Numero occupanti (2 x autoveicolo)	272 (è prevista la presenza di persone con disabilità anche non permanente)
Profilo di rischio R _{vita}	A2 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R _{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello II di prestazione (par. S.1.3 e par. S.1.4.1)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.2.3 e par. S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.1)
Esodo	Livello di prestazione equivalente al I (par. S.4.3 e par. S.4.4.3)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.2) Rete di idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello IV di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (par. S.8.3 e par. S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)

⁶ Classificazione ai sensi della RTV Autorimesse d.m. 21 febbraio 2017.

Obiettivi dello studio

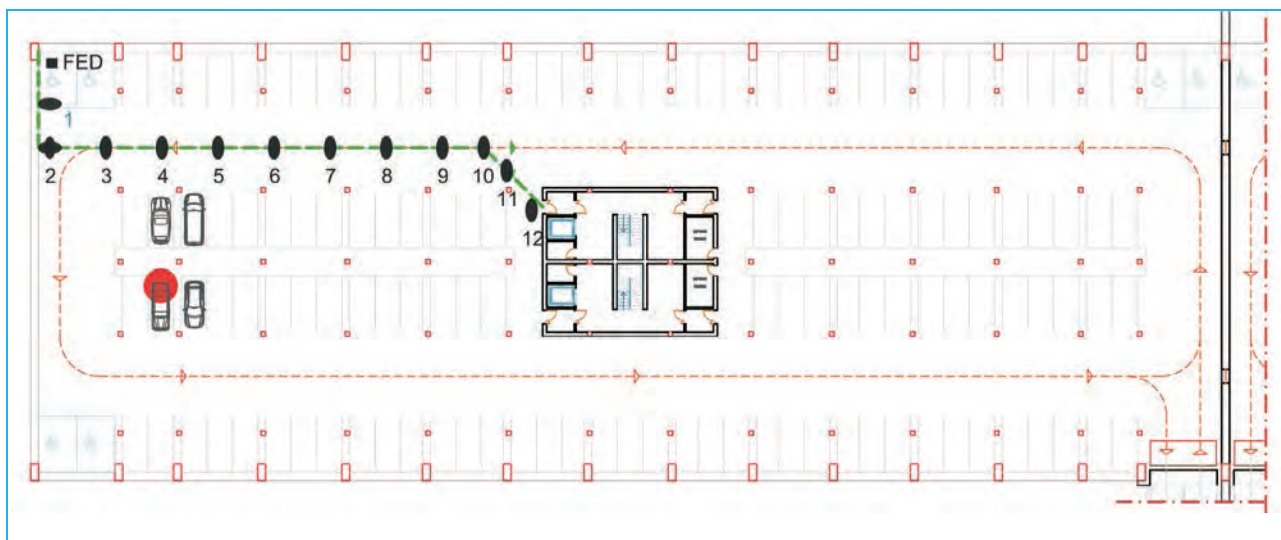
Il metodo idoneo a dimostrare la *soluzione alternativa* ricade fra i metodi ordinari di progettazione della sicurezza antincendio di cui al par. G.2.6, (tab. G.2-1) "Ingegneria della sicurezza antincendio".

In tale tabella è previsto, infatti, che: "Il progettista applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio secondo procedure, ipotesi e limiti indicati nel presente documento, in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3, e secondo le procedure previste dalla normativa vigente"⁷.

Nel citato volume, cui necessariamente si rimanda, si è proceduto al calcolo di ASET, che è risultato pari a 226 s.

Al fine di poter operare il raffronto con ASET previsto al par. M.3.2, il tempo RSET dovrà essere considerato in relazione al percorso conducente all'interno del vano scala a prova di fumo.

Una volta verificato positivamente il margine di sicurezza di ASET rispetto a RSET, si potrà concludere che la *soluzione alternativa* relativa al corridoio cieco sarà soddisfatta.



APPLICAZIONE DELLO SCENARIO S3 DELLA RTV AUTORIMESSE CON INDICAZIONE DEL POSIZIONAMENTO DEI DEVICES

⁷ Si ribadisce, come illustrato nell'introduzione, che nei casi studio si farà riferimento al disposto del Codice (e delle RTV collegate) pubblicati in G.U. e non alla versione "Codicepi_249", in fase di emanazione. Pertanto, nello specifico, il riferimento adottato nei casi studio è il par. G.2.6 (e non il futuro G.2.7).

Calcolo di RSET - aspetti teorici

Si farà riferimento, oltre che alle prescrizioni di cui al par. M.3.4, alle norme relative alla progettazione della *life safety*; al riguardo l'ISO ha pubblicato due documenti fondamentali:

- ISO 13571:2007 *"Life-threatening components of fire - Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data"*;
- ISO/TR 16738:2009 *"Fire-safety engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people"*.

L'approccio anglosassone all'ingegneria della sicurezza antincendio è dettagliato globalmente nella norma BS 7974:2019; la *life safety* è il sottosistema 6 di tale procedura.

Il documento specifico di riferimento per la progettazione del sistema di esodo è il published document PD 7974-6:2019 *"The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings - Part 6: Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)"*.

Si rammenta che RSET è il tempo tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'edificio raggiungono un luogo sicuro.

Con riferimento al rapporto tecnico ISO/TR 16738 esso è dato dalla somma dei seguenti addendi, espressi in s:

- t_{det} : tempo di rivelazione (detection);
- t_a : tempo di allarme generale;
- t_{pre} : tempo di attività di pre-movimento (pre-travel activity time, PTAT);
- t_{tra} : tempo di movimento (travel).

RSET dipende dalle interazioni del sistema incendio-edificio-occupanti; l'esodo degli occupanti, infatti, è fortemente condizionato dalle geometrie dell'edificio e viene rallentato dagli effetti dell'incendio.

Ai fini del calcolo di RSET il professionista antincendio deve sviluppare lo scenario comportamentale di progetto più appropriato per il caso specifico, perché l'attività di pre-movimento e le velocità dell'esodo dipendono dalla tipologia di popolazione considerata e dalle modalità d'impiego dell'edificio.

Si segnala, a latere, che i parametri variano notevolmente se gli occupanti sono svegli ed hanno familiarità con l'edificio, come in un edificio scolastico, ovvero dormono e/o non conoscono la struttura, come in una struttura alberghiera.

Come del resto ASET, ciascun occupante possiede un proprio valore di RSET.

Tempo di rivelazione (t_{det})

È determinato dalla tipologia di sistema di rivelazione e dallo scenario d'incendio; è il tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio.

Viene calcolato analiticamente o mediante le metodologie utilizzate per la determinazione di ASET, la sua durata varia tra 1 e 2 min.

Tempo di allarme generale (t_a)

È il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti (allarme generale); si assume:

- ✓ pari a zero, quando la rivelazione attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio;
- ✓ pari al ritardo valutato dal professionista, se la rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.

I valori dei tempi di allarme sono verificati impiegando le valutazioni analitiche disponibili in letteratura (vedi *"Calcolo dei parametri per il dimensionamento dei sistemi di esodo secondo soluzione conforme del Codice di prevenzione incendi"* di E. Gissi.⁸).

I valori dei tempi di rivelazione ed allarme sono stimati, in modo deterministico, in funzione delle *soluzioni conformi* che il Codice propone per le singole tipologie d'attività in merito agli IRAI, seguendo le indicazioni qualitative del rapporto tecnico ISO/TR 16738.

Si riporta una tabella utile per la determinazione della somma di t_{det} e t_a :

⁸ L. Qiang, "Estimation of fire detection time", *The 5 th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering, Procedia Engineering 11, pagg. 233 - 241, 2011.*

R_{vita}	$t_{det} + t_a$ (s)	Descrizione
A1	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio
A2	180	Attività probabilmente provviste di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio
A3	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni
A4	120	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, compartimenti di ridotte dimensioni
B1	360	Attività a basso rischio, probabilmente sprovviste di IRAI, basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B2	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
B3	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
Ciii1	360	Attività a basso rischio probabilmente sprovviste di IRAI basso livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
Ciii2	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato
Ciii3	180	Attività dotate di IRAI e probabilmente di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
D1	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti, presenza di pubblico non specificamente formato., compartimenti di ridotte dimensioni
D2	180	Attività dotate di IRAI e di sistema EVAC, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio elevato, addetti formati al rischio antincendio, presenza di occupanti non autosufficienti; presenza di pubblico non specificamente formato, compartimenti di ridotte dimensioni
E1	600	Attività probabilmente dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, elevata complessità geometrica
E2	360	Attività probabilmente dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio, elevata complessità geometrica
E3	180	Attività dotate di IRAI, livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato, elevata complessità geometrica

TEMPO ($t_{det} + t_a$)

Tempo di attività di pre-movimento (t_{pre})

È il tempo necessario agli occupanti per svolgere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio verso il luogo sicuro; secondo la letteratura che questa fase occupa spesso la maggior parte del tempo totale di esodo.

$$t_{pre} = \text{tempo di riconoscimento (recognition)} + \text{tempo di risposta (response)}$$

I tempi di pre-evacuazione t_{pre} delle varie tipologie d'attività, riportati nella seguente tabella, sono stimati secondo distribuzioni statistiche, in accordo con quanto previsto nella tab. E.2 del rapporto tecnico ISO/TR 16738 (tabella tratta dalla norma BS PD 7974-6:2019), secondo gli scenari comportamentali e le ipotesi sulle misure di sicurezza contenute nelle prescrizioni delle *soluzioni conformi* del Codice.

R _{vita}	$t_{pre}(1^\circ)$	$t_{pre}(99^\circ)$	Descrizione (tab. E.2 ISO/TR 16738)
A1	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A2	60	180	A: Awake and familiar, M2 B1-B2 A1-A2
A3	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
A4	30	90	A: Awake and familiar, M1 B1-B2 A1-A2
B1	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B2	60	240	B: Awake and unfamiliar, M2 B1 A1-A2
B3	30	150	B: Awake and unfamiliar, M1 B1 A1-A2
Ciii1	1200	2400	C: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
Ciii2	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
Ciii3	900	1800	C: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
D1	600	1200	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M2 B2 A1-A2
D2	300	600	D: Medical care: Sleeping and unfamiliar, M1 B2 A1-A2
E1	120	300	E: Awake and unfamiliar, M2 B3 A1-A3
E2	90	240	E: Awake and unfamiliar, M1 B3 A1-A3
E3	90	240	E: Awake and unfamiliar, M1 B3 A1-A3

$t_{pre}(1^\circ)$ tempo di pre-evacuazione dei primi occupanti a muoversi

$t_{pre}(99^\circ)$ tempo di pre-evacuazione degli ultimi occupanti a muoversi

A tipologia sistema di allarme

B complessità edificio

M efficacia gestione sicurezza

Si rammenta che la norma BS 7974-6:2019 "Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and conditions", indica gli scenari comportamentali degli occupanti (utili anche per la determinazione del t_{pre}) distinguendo tre parametri:

A: tipologia sistema di allarme; B: complessità edificio; M: efficacia gestione sicurezza:

Tipologia sistema di allarme	Livello A1	Rivelazione automatica estesa a tutto l'edificio in grado di attivare un immediato allarme generale in ogni parte dell'edificio ($t_a = 0$). Se viene utilizzato un sistema di segnalazione verbale il tempo del messaggio dovrà essere aggiunto al tempo di allarme.
	Livello A2	Il sistema di rivelazione è collegato con un pre-allarme indirizzato in un luogo presidiato, che può quindi attivare l'allarme generale; t_a ha un certo ritardo (2 - 5 min). Se viene utilizzato un sistema di segnalazione verbale il tempo del messaggio dovrà essere aggiunto al tempo di allarme.
	Livello A3	Sistema di rivelazione ed allarme solo nelle vicinanze del luogo in cui si è verificato l'incendio, con attivazione manuale dell'allarme; t_a risulta difficilmente stimabile.
Complessità edificio	Livello B1	Edificio a pianta semplice ed un solo piano, semplice layout ed un buon accesso visivo alle condizioni interne, moderate distanze per raggiungere uscite di sicurezza che conducono direttamente all'esterno.
	Livello B2	Semplice edificio in cui sono presenti più ambienti su piani diversi, con caratteristiche rispondenti alle indicazioni prescrittive e semplice layout interno.
	Livello B3	Rappresenta un edificio complesso. Questa tipologia considera complessi costituiti da più edifici tra loro integrati (centri commerciali, aeroporti, ecc.). Per la complessità e le dimensioni possono presentare difficoltà nel <i>wayfinding</i> durante una evacuazione e la gestione dell'emergenza presenta comunque particolari necessità.
Efficacia gestione sicurezza	Livello M1	Gli occupanti sono normalmente addestrati ad un buon livello di gestione della sicurezza antincendi e nella gestione della prevenzione e manutenzione. Esiste un piano di emergenza ben strutturato con prove effettuate regolarmente. Qualora siano presenti persone che non hanno familiarità con l'ambiente, esiste un buon rapporto tra il personale addestrato ed i visitatori.
	Livello M2	Come il livello M1 ma con uno staff meno articolato e personale di vigilanza non sempre presente.
	Livello M3	Rappresenta standard con un livello minimo di gestione della sicurezza. Non viene effettuato alcun audit. Non è disponibile alcun progetto ingegneristico relativamente al rischio incendio e vengono attuate misure di prevenzione incendi derivanti da altre considerazioni. Alto livello di protezione attiva e/o passiva.

Nella tabella M.3-1 si riportano alcuni esempi di valutazione tratti dal rapporto tecnico ISO TR 16738.

Tempo di movimento (t_{tra})

È il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento.

Viene calcolato in riferimento ad alcune variabili indicate al par. M.3.4.4.

Per il calcolo di t_{tra} si impiegano due tipologie di modelli:

- *modelli idraulici*, che predicono alcuni aspetti degli occupanti (es.: i flussi attraverso le uscite), ma non includono fattori importanti del comportamento umano (es.: la familiarità con l'edificio, le interazioni persona-persona e l'effetto del fumo sul movimento);
- *modelli agent-based*, basati sul comportamento, che studiano i sistemi complessi partendo dallo studio delle interazioni tra le singole unità.

Il modello idraulico

Il modello idraulico, descritto dettagliatamente nella letteratura⁹ (cui si rimanda per ulteriori approfondimenti), si utilizza per calcolare in modo deterministico il tempo di movimento degli occupanti in relazione alle geometrie del sistema di esodo.

Si tratta di un modello di flusso che permette di ottenere i tempi di evacuazione impiegando una serie di espressioni che correlano i dati sperimentali ad approssimazioni idrauliche del moto degli occupanti.

a. Per bassa densità di affollamento

Secondo il modello idraulico, quando la densità di affollamento negli ambienti è bassa, il percorso degli occupanti lungo le vie di esodo non è disturbato dalla presenza di altre persone: non c'è sostanzialmente interazione tra le velocità gli occupanti, non si formano code in corrispondenza dei componenti critici del sistema di esodo.

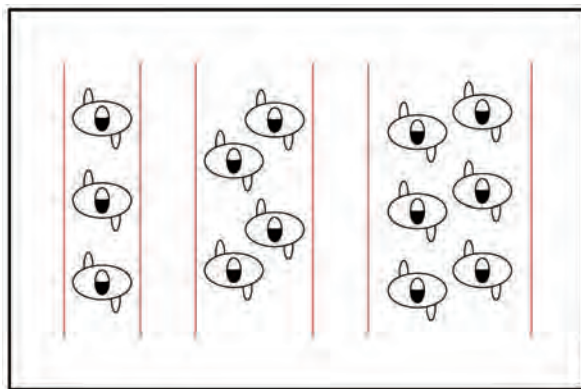
Quindi il tempo impiegato da un occupante per percorrere un tratto di via di esodo di lunghezza L_{es} a velocità costante v è pari a:

$$t_{tra(es)} = L_{es} / v$$

b. Per elevata densità di affollamento

Quando invece la densità di affollamento negli ambienti è elevata, c'è interazione tra le velocità gli occupanti in movimento, si formano code significative in corrispondenza dei componenti critici del sistema di esodo, che ritardano il termine dell'esodo.

Secondo il modello idraulico, il flusso calcolato di occupanti che impiegano una via di esodo aumenta linearmente con la larghezza efficace W_{eff} della stessa, come illustrato nell'illustrazione seguente:



ZIPPING EFFECT, DIPENDENZA LINEARE TRA FLUSSO CALCOLATO F_C E DIMENSIONE EFFICACE W_{EFF} DELLA VIA DI ESODO

⁹ S. Gwynne, E. Rosenbaum, "Employing the Hydraulic Model in Assessing Emergency Movement" in *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th Edition*, Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008, pagg. 3.373 - 3.396.

Infatti il numero di occupanti P che transitano attraverso un componente orizzontale o verticale del sistema di esodo nel tempo $t_{tra(1)}$ è pari a:

$$P = F_s \cdot t_{tra(1)} \cdot W_{eff}$$

dove:

- F_s è il flusso specifico, espresso in, espresso in p/m/s;
- $t_{tra(1)}$ è il tempo di superamento del componente della via di esodo, espresso in s;
- W_{eff} è la larghezza efficace della via di esodo, espressa in m;

Larghezza efficace delle vie di esodo

Secondo la letteratura gli occupanti che si muovono lungo le vie di esodo di un'attività non impegnano completamente la larghezza geometrica disponibile W , ma mantengono una certa distanza costante dagli ostacoli e dai confini del percorso.

La larghezza utile del percorso di esodo W_{eff} corrisponde quindi alla sua larghezza geometrica W ridotta della larghezza degli strati limite (boundary layers) generati dagli ostacoli.

Secondo i dati contenuti nel citato studio di cui alla nota [9], per tali strati limite può essere mediamente assunta la larghezza pari a 0,15 m per lato.

Pertanto, supponendo una via di esodo larga $W = 1$ m, la larghezza pari a $0,15 \cdot 2 = 0,30$ m non viene utilizzata per l'esodo.

In questo caso vale proprio $W_{eff} = 70\% W$.

Per larghezze W superiori ad 1 m la riduzione necessaria è proporzionalmente inferiore: ad esempio se $W = 2$ m allora vale $W_{eff} = 85\% \cdot W$.

Ai fini della semplicità del calcolo progettuale, è conveniente impiegare la larghezza geometrica W della via di esodo piuttosto che introdurre la W_{eff} nelle equazioni. Si sceglie pertanto di approssimare la larghezza efficace W_{eff} come segue:

$$W_{eff} \approx 70\% \cdot W$$

dove:

- W è la larghezza geometrica della via di esodo, espressa in m.

La riduzione costante del 70% della larghezza geometrica W penalizza le vie di esodo di larghezza maggiore di 1 m, senza premiare eccessivamente le vie di esodo di dimensioni inferiori ad 1 metro (+3% a $W = 0,90$ m larghezza minima imposta dal Codice per le vie di esodo orizzontali).

Inoltre la penalizzazione appare coerente con i risultati preliminari della ricerca più recente.

Pertanto l'equazione precedente può essere approssimata come segue:

$$P = 70\% \cdot F_s \cdot t_{tra(1)} \cdot W$$

Ai nodi

Il modello idraulico definisce le caratteristiche del moto degli occupanti secondo un approccio fluidodinamico, senza considerare i processi decisionali delle persone, ad esempio di fronte ad un bivio nel percorso seguito. I nodi della rete di vie di esodo ove avviene convergenza o divergenza dei flussi di occupanti possono essere modellati assegnando un rateo di mescolamento (merge ratio) o di suddivisione.

Un esempio di nodo convergente si trova presso ogni pianerottolo di un edificio multipiano, ove il flusso di occupanti che provengono dai piani superiori debbono convergere con il flusso di occupanti che sta evacuando dal piano.

I modelli agent-based

I modelli *agent-based* sono basati sul comportamento; essi studiano i sistemi complessi partendo dallo studio delle interazioni tra le singole unità.

Tali modelli sono tutt'ora oggetto di ricerca scientifica e di sperimentazioni e possono essere ulteriormente suddivisi in base ai sistemi comportamentali adottati¹⁰:

❖ *Nessuna regola comportamentale*

Questi modelli non applicano regole di comportamento e affidano le scelte decisionali solo sulla base di influenze fisiche. Quindi il movimento della popolazione e la rappresentazione fisica della geometria influenzano e determinano il processo d'evacuazione;

❖ *Analogia funzionale del comportamento*

I modelli di analogia funzionale del comportamento applicano delle equazioni alla popolazione, che complessivamente governano la risposta, minando il comportamento individuale. Questa funzione non deriva necessariamente dal comportamento di vita reale degli occupanti, ma molto più spesso proviene da altri ambiti di ricerca che si presumono essere analoghi al comportamento umano;

❖ *Comportamento implicito*

Nei modelli di comportamento implicito viene spesso dichiarato l'uso di metodi fisici complessi basati sull'applicazione di dati secondari, che incorporano le influenze psicologiche o sociologiche;

❖ *Regole basate sul sistema comportamentale*

I modelli in cui vengono riconosciuti esplicitamente i tratti comportamentali dei singoli occupanti solitamente adottano il modello con regola basata sul sistema comportamentale, permettendo di adottare scelte decisionali in base al set predefinito di regole. Queste regole possono essere attivate in circostanze specifiche e solo in tali circostanze, hanno effetto;

❖ *Intelligenza artificiale basata su sistema comportamentale*

Solo di recente, l'intelligenza artificiale è stata applicata ai modelli di comportamento dove gli occupanti individuali sono progettati per mimare l'intelligenza umana, o approssimativamente ad essa, nel rispetto dell'ambiente circostante.

Per ulteriori approfondimenti, che esulano dagli scopi della presente pubblicazione, si rimanda alla letteratura specifica; a titolo informativo e assolutamente non esaustivo si illustrano, in linea di massima, le specificità dei software utilizzati nella presente pubblicazione:

- CPI win® FSE, sviluppato da Namirial S.p.A., è un software (basato sul comportamento) che, attraverso l'applicazione dei principi della Fire Safety Engineering, consente lo studio della genesi dell'incendio e la simulazione dello sviluppo, della propagazione e degli effetti conseguenti su persone, strutture e beni, secondo gli indirizzi del Codice, utilizzando il motore di calcolo FDS+EVAC.
Il software permette, inoltre, di studiare soluzioni innovative legate ai principi della FDS, tramite la simulazione dell'evacuazione delle persone verso luoghi sicuri, tenendo conto del contesto strutturale, ambientale e comportamentale degli occupanti.
- Pathfinder, prodotto da Thunderhead Engineering Consultants, è un simulatore di vie di esodo (basato sul movimento) che utilizza comportamenti guida per modellare il movimento degli occupanti.
Ogni occupante è definito mediante un set di parametri che ne definisce il comportamento durante l'evacuazione in maniera indipendente dagli altri occupanti.
Il software è costituito da tre moduli: un'interfaccia utente grafica, il simulatore ed un visualizzatore di risultati 3D.
Il software si basa su modelli di calcolo mutuati dal campo di ricerca sui movimenti degli individui che si basano sulla tecnologia sviluppata nello sviluppo dei videogames e dei programmi di grafica.
- Pyrosim, anch'esso prodotto da Thunderhead Engineering Consultants, è un modello di calcolo che si basa sulle equazioni di Navier-Stokes dedicato, specificatamente, all'analisi dei possibili scenari di incendio.
Il software rappresenta un'interfaccia grafica dei file FDS che consente di creare, modificare e analizzare, in modo rapido e pratico, modelli di sviluppo di incendi anche complessi.

¹⁰ S. Marsella N. Sciarretta, *Usi innovativi degli strumenti di simulazione dell'esodo*, 2016.

Calcolo del tempo di movimento

Il tempo necessario al movimento degli occupanti dal luogo in cui si trovano fino a raggiungere un luogo sicuro, dipende dalla geometria dei sistemi di esodo, oltre che dalla tipologia degli occupanti presenti.

RSET termina quando tutti gli occupanti raggiungono il primo luogo sicuro incontrato lungo la via di esodo.

In tali ipotesi, il tempo di movimento $t_{tra,i}$ per l'*i*-esimo occupante, per percorrere la via di esodo dal luogo in cui si trova nel compartimento di primo innesco fino al luogo sicuro è dato dalla somma dei seguenti addendi:

$$t_{tra,i} = t_{tra(pres),i} + t_{tra(coda),i}$$

dove:

- $t_{tra(pres),i}$ è il tempo di presentazione necessario all'*i*-esimo occupante per presentarsi all'uscita verso il luogo sicuro dal luogo in cui si trova, espresso in s;
- $t_{tra(coda),i}$ è il tempo di coda che l'*i*-esimo occupante attende in coda all'uscita verso il luogo sicuro, espresso in s.

Supponendo velocità costante, il *tempo di presentazione all'uscita* $t_{tra(pres)}$ dell'*i*-esimo occupante dipende dalla distanza che percorre, quindi dalla sua posizione iniziale nel compartimento e dal suo percorso di esodo.

Il *tempo di coda* dipende invece dalla geometria della via di esodo e dal numero di occupanti in attesa prima dell'*i*-esimo occupante.

Al fine di ridurre la complessità delle iterazioni tra la distribuzione statistica del tempo di pre-evacuazione e gli altri tempi elementari che compongono RSET, si impiega l'analisi semplificata descritta nell'Annex H del rapporto tecnico ISO/TR 16738 e trattata in dettaglio in letteratura¹¹.

In relazione a tale semplificazione, per il tempo RSET può essere assunto il più gravoso tra i tempi calcolati come segue:

- $RSET_1 = t_{det} + t_a + t_{pre(99^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)}$ (situazioni ove la densità di affollamento è bassa)
- $RSET_2 = t_{det} + t_a + t_{pre(1^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)} + t_{tra(coda)}$ (situazioni ove la densità di affollamento è elevata)

dove:

- t_{det} è il tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio, espresso in s;
- t_a è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti (allarme generale), espresso in s;
- $t_{pre(1^\circ \text{ percentile})}$ è il tempo di pre-evacuazione per i primi occupanti a muoversi, secondo la distribuzione statistica di t_{pre} , espresso in s;
- $t_{pre(99^\circ \text{ percentile})}$ è il tempo di pre-evacuazione per gli ultimi occupanti a muoversi, secondo la distribuzione statistica di t_{pre} , espresso in s;
- $t_{tra(pres)}$ è il tempo necessario all'occupante più lontano per presentarsi all'uscita verso il luogo sicuro, espresso in s;
- $t_{tra(coda)}$ è il tempo di attesa in coda all'uscita verso il luogo sicuro per l'ultimo occupante a muoversi, secondo la distribuzione statistica del tempo di pre-evacuazione t_{pre} , espresso in s.

Come previsto in ISO/TR 16738:2009, ed in favore di sicurezza, nel calcolo si assume che:

- la distanza percorsa dall'occupante più lontano corrisponda alla massima lunghezza di esodo ammessa al cap. S.4 per la specifica tipologia d'attività;
- nel calcolo del tempo $t_{tra(coda)}$ non vengano scontati gli occupanti che dalla coda hanno già raggiunto il luogo sicuro, nell'istante in cui si presentano gli ultimi occupanti.

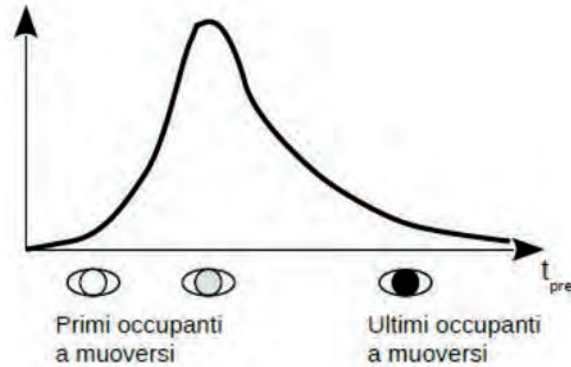
Il valore di $RSET_1$ dipende dalla somma $t_{pre(99^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)}$, cioè il tempo che gli ultimi occupanti a muoversi, secondo la distribuzione statistica di t_{pre} , impiegano per avviare l'esodo e presentarsi all'uscita verso il luogo sicuro.

¹¹ Purser D, "Dependence of modelled evacuation times on key parameters and interactions", Fire Safety Science, Proceedings of the 9th International Symposium, pagg. 353-364, 2008.

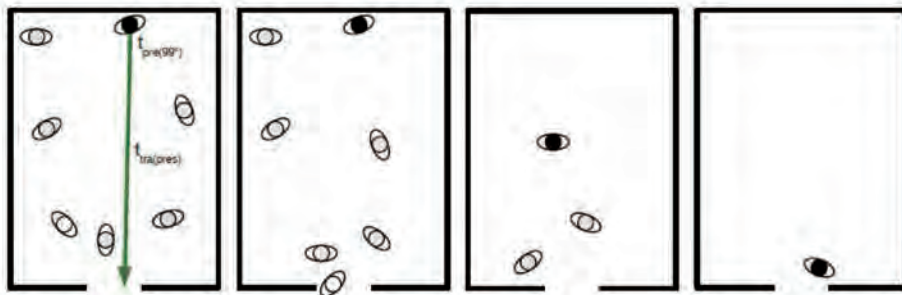
Il valore di $RSET_2$ dipende dalla somma di:

- $t_{pre(1^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)}$: tempo che i primi occupanti a muoversi, secondo la distribuzione statistica di t_{pre} , impiegano per avviare l'esodo e presentarsi all'uscita verso il luogo sicuro, espresso in s;
- $t_{tra(coda)}$: tempo che gli ultimi occupanti a muoversi, secondo la distribuzione statistica di t_{pre} , trascorrono in coda, espresso in s.

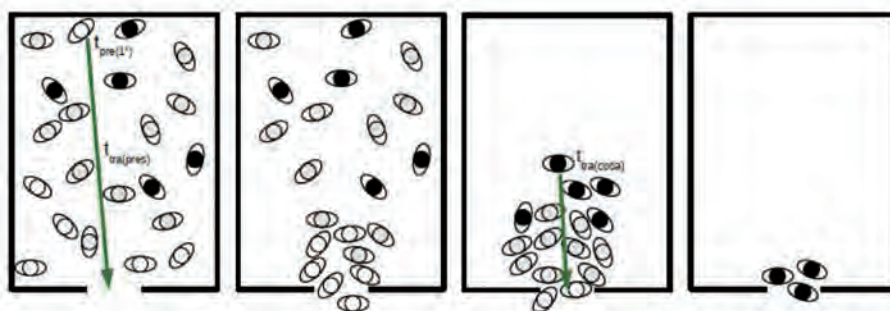
Infatti i primi occupanti a muoversi non incontrano alcuna coda all'uscita, la coda si forma immediatamente dopo ed ostacola i successivi occupanti.



ESEMPIO DI DISTRIBUZIONE LOG-NORMALE PER I TEMPI DI PRE-EVACUAZIONE T_{PRE}



CALCOLO DI $RSET_1$, PER BASSA DENSITÀ DI AFFOLLAMENTO (VISTA IN PIANTA)



CALCOLO DI $RSET_2$, PER ELEVATA DENSITÀ DI AFFOLLAMENTO (VISTA IN PIANTA)

Calcolo di RSET - applicazione numerica

Il calcolo di RSET sarà effettuato impiegando il metodo idraulico descritto al punto precedente, con l'ausilio delle indicazioni fornite dal rapporto tecnico ISO/TR 16738.

Analisi preliminare (M.1.3)

Soluzione alternativa: Corridoio cieco autorimessa

Per dimostrare la *soluzione alternativa* si applicherà il metodo "Ingegneria della sicurezza antincendio" ammesso al par. G.2.6, secondo le procedure, le ipotesi e i limiti indicati nei capp. M.1, M.2 e M.3.

Definizione del progetto

Scopo della presente *soluzione alternativa* è dimostrare che gli occupanti possano disporre del tempo necessario ad evacuare in sicurezza, fino al raggiungimento del vano scala a prova di fumo, anche in carenza della previsione della *soluzione conforme* relativa al corridoio cieco.

Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio

Tali obiettivi consistono nel garantire condizioni di "tenability" (tenibilità) per tutti gli occupanti, sino alla fine dell'esodo (raggiungimento del luogo sicuro coincidente con il vano scala a prova di fumo).

Definizione delle soglie di prestazione

Si rimanda al par. 8.2 del volume INAIL "Il Codice di prevenzione incendi" nel quale sono stabilite le soglie di prestazione per la vita (*life safety criteria*) impiegate per definire l'incapacitazione degli occupanti esposti all'incendio e ai suoi prodotti.

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

Nel citato par. 8.2 del volume INAIL "Il Codice di prevenzione incendi" è stata motivata l'adozione dello *scenario d'incendio di progetto* (curva HRR (t) di cui alla RTV autorimesse (d.m. 21 febbraio 2017) tab. V.6-5 e allo scenario S3 di cui alla illustrazione V 6-1 c).

Si ribadisce che, a titolo esemplificativo e didattico, è stato considerato esclusivamente un unico scenario d'incendio mentre, in una progettazione reale, occorrerà sempre analizzare una molteplicità di scenari, in base alle risultanze dell'analisi del rischio effettuata.

Infatti, lo scenario S3 della RTV Autorimesse, valido solo per quelle che rispettano le condizioni prima elencate, è finalizzato alla valutazione della capacità portante delle strutture e non alla valutazione della salvaguardia della vita degli occupanti.

Analisi quantitativa (M.1.4)

Elaborazione delle soluzioni progettuali

La soluzione progettuale consiste nella:

- scelta del livello di prestazione II per la compartimentazione (vedi par. 7.5.3 del volume INAIL "Il Codice di prevenzione incendi"):
 - l'autorimessa è costituita da due compartimenti per piano;
 - le scale di esodo sono protette e si impiegano chiusure tagliafuoco e a tenuta di fumi freddi (EI-Sa) di classe determinata.
- incrementazione a II del livello di prestazione per la GSA vedi par. 7.5.5 del volume INAIL "Il Codice di prevenzione incendi", affinché siano mantenute nel tempo, in termini di misure protettive e d'esercizio, le condizioni descritte nella presente progettazione.

Valutazione delle soluzioni progettuali

Si impiega la metodologia descritta nel cap. M.3 per l'obiettivo di sicurezza sopra definito. Nelle condizioni di affollamento presenti nell'autorimessa RSET è dato da:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre(99^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)}$$

dove:

- $t_{det} + t_a$ sono i tempi di rivelazione ed allarme, espressi in s;
 - $t_{pre(99^\circ \text{ percentile})}$ è il tempo di pre-evacuazione per gli ultimi occupanti a muoversi, secondo la distribuzione statistica di t_{pre} , espresso in s;
 - $t_{tra(pres)}$ è il tempo necessario all'occupante più lontano (inizio del corridoio cieco) per presentarsi all'uscita verso il luogo sicuro temporaneo¹² (vano scala a prova di fumo), espresso in s.
- $RSET_1 = t_{det} + t_a + t_{pre(99^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)}$ (situazioni ove la densità di affollamento è bassa)
- $RSET_2 = t_{det} + t_a + t_{pre(1^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)} + t_{tra(coda)}$ (situazioni ove la densità di affollamento è elevata)

Come evidenziato nel par. 8.3 del volume INAIL "Il Codice di prevenzione incendi" è possibile stimare che dopo circa 20 s l'IRAI si attivi, creando le condizioni di allarme; successivamente, dato che all'interno dell'autorimessa si trovano occupanti in stato di veglia e a conoscenza dell'ambiente, si può stimare in 90 s il tempo di pre-movimento, necessario per l'organizzazione dell'esodo, per un totale di 110 s.

Cautelativamente, non avendo modellato l'impianto IRAI presente nel compartimento, è opportuno aggiungere un margine di sicurezza di 30 s, pervenendo così ad un tempo stimato, per l'inizio dell'esodo, pari a 140 s.

L'adozione di tale valore per il tempo di pre-movimento, rispetto ai valori più conservativi proposti dal rapporto tecnico ISO/TR 16738, è giustificata dalla presenza dell'impianto EVAC che grazie alla diffusione di allarmi vocali dedicati, garantisce una maggiore consapevolezza degli occupanti sulla situazione di emergenza.

Il tempo di presentazione è calcolato come quoziente tra la massima lunghezza del percorso fino all'uscita di piano e la velocità di traslazione orizzontale assunta per gli occupanti come segue:

$$t_{tra(pres)} = L_{es} / v = 48,25 \text{ m} / 0,57 \text{ m/s} = 85 \text{ s}$$

È stata assunta, in considerazione della distribuzione planimetrica degli stalli nell'autorimessa, per la velocità di traslazione orizzontale un valore pari a 0,57 m/s, relativa ad occupanti con disabilità locomotoria (tab. G.4 del rapporto tecnico ISO/TR 16738).

Si ottiene pertanto:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre(1^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)} = 140 + 85 = 225 \text{ s}$$

Dalle simulazioni in FDS secondo le ipotesi già descritte si è ottenuto un valore di ASET pari a 226 s; tale valore deriva dalla considerazione che i punti a distanza maggiore di 10 metri dalla porta di uscita, sul vano scala a prova di fumo, perdono il requisito della *visibilità* trascorsi 226 s.

Risulta evidente che il margine di sicurezza della progettazione prestazione per la salvaguardia della vita di cui al par. M.3.2.2.3 non risulta soddisfatto.

Al fine di ovviare alla problematica, si prevede, a livello di gestione dell'autorimessa, lo spostamento degli stalli riservati ai disabili in altra area, prossima alle uscite di piano; in tale ipotesi è possibile adottare per la velocità di traslazione orizzontale un valore pari a 1,00 m/s (tab. G.4 del rapporto tecnico ISO/TR 16738), ottenendo:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre(1^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)} = 140 + 48,25 = 189 \text{ s}$$

¹² Vedi pag. 199 del volume INAIL "Il Codice di prevenzione incendi".

Critério di ASET > RSET*Considerazioni generali:*

- a) nel citato paragrafo del volume INAIL "Il Codice di prevenzione incendi", si sottolinea come le restanti quantità considerate per la determinazione di ASET, oltre alla visibilità, (irraggiamento in direzione dello strato dei fumi e irraggiamento in direzione del focolare; temperatura; frazione in volume di CO; FED) nell'intervallo temporale considerato (0 - ASET s), rimangono ampiamente al di sotto delle relative soglie individuate;
- b) in relazione alle sezioni trasversali del corridoio cieco (passanti sull'asse mediano della corsia di manovra), che illustrano la distribuzione delle temperature al tempo ASET e a 400 s, è possibile rilevare che l'altezza dei fumi rimane pressoché costante fino a 400 s, lasciando comunque uno strato libero dai fumi, che consente l'esodo in sicurezza;
- c) considerata la configurazione geometrica del compartimento, la previsione di ulteriori 30 s prima dell'inizio dell'esodo (a causa della mancata modellazione dell'impianto IRAI) appare oltremodo cautelativa.

Tali considerazioni possono consentire l'adozione di un coefficiente inferiore al 100% (par. M.3.2.2), in relazione al margine di sicurezza tra ASET e RSET.

Pertanto, anche in considerazione della cospicua conservatività del focolare assunto, la soglia di prestazione può dirsi verificata secondo le indicazioni del par. M.3.2.2, con un margine di sicurezza pari a:

$$t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET} = 37 \text{ s } (> 30 \text{ s ed equivalente al } 20\% \text{ di RSET})$$

Selezione delle soluzioni progettuali idonee

Grazie alle verifiche positive ottenute, la soluzione progettuale ipotizzata è idonea al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza prefissati.

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata dimostrata la *soluzione alternativa* con riferimento alla progettazione dell'esodo di un'autorimessa in *soluzione conforme*, essendo stato evidenziato il mancato rispetto della lunghezza del corridoio cieco.

Il caso studio è circoscritto al solo calcolo di RSET, rinviando al volume INAIL "Il Codice di prevenzione incendi" per la determinazione di ASET.

Al fine di poter operare il raffronto con ASET previsto al par. M.3.2, il tempo RSET dovrà essere considerato in relazione al percorso conducente all'interno del vano scala a prova di fumo.

Una volta verificato positivamente il margine di sicurezza di ASET rispetto a RSET, si potrà concludere che la *soluzione alternativa* relativa al corridoio cieco sarà soddisfatta.

Illustrati gli aspetti teorici legati alle problematiche di valutazione di RSET, si è proceduto al calcolo di tale tempo nella configurazione del compartimento dell'autorimessa che prevede la disposizione degli stalli riservati ai disabili in corrispondenza dell'inizio del corridoio cieco.

In tale ipotesi è risultato che il margine di sicurezza della progettazione prestazione per la salvaguardia della vita di cui al par. M.3.2.2.3 non risulta soddisfatto.

Tuttavia, provvedendo a spostare i predetti stalli in altra area, con conseguente sensibile ricaduta sul tempo di movimento, e tenendo conto di una serie di considerazioni tese a valutare l'affidabilità degli input utilizzati nella progettazione prestazionale, si è potuto dimostrare che il valore ottenuto per RSET (189 s) attesta che la soluzione progettuale ipotizzata è idonea al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza prefissati.

❖ *Commento dei risultati*

Il presente caso studio dimostra, una volta di più, come la sinergia delle dieci misure del Codice contribuiscano, ognuna per sua parte, all'efficacia della strategia finale adottata dal progettista.

La dimostrazione della *soluzione alternativa* è stata possibile attivando una misura di gestione della sicurezza organizzativa S.5 (spostamento degli stalli riservati ai disabili) ma, naturalmente con ben altri oneri, si sarebbe potuto, con il medesimo fine, ipotizzare di intervenire sulla misura S.8, prevedendo un impianto SEFC.

❖ *Eventuali sviluppi ulteriori*

L'impostazione generale del Codice è basata sulla flessibilità progettuale, cioè ad ogni prestazione di sicurezza antincendio richiesta all'attività corrisponde sempre la proposta di molteplici soluzioni progettuali prescrittive o prestazionali.

Inoltre con il Codice viene introdotto in Italia un nuovo modello per l'esodo basato su metodi quantitativi frutto dell'evidenza scientifica e su dati di input aggiornati, come documentato in letteratura.

Per tali motivi risulta molto più agevole per il progettista adottare soluzioni progettuali alternative per la salvaguardia della vita umana, adatte e sostenibili, che garantiscano effettivamente sicurezza antincendio per la specifica attività oggetto di analisi, senza indurre oneri d'investimento e d'esercizio tecnicamente ingiustificati a carico del titolare o comunque della collettività, evitando altresì il ricorso al procedimento amministrativo della progettazione in deroga.

Nel contesto di flessibilità progettuale offerto dal Codice, il ricorso alla progettazione in deroga dovrebbe dunque diventare estremamente raro, riservato ai pochissimi casi di attività che per complessità ed innovazione non possono ricadere nelle fattispecie previste dal Codice adottando le soluzioni alternative.

Caso studio 2: soluzione alternativa per il livello di prestazione I misura S.4 - scuola

Descrizione

L'edificio oggetto del caso studio, ospitante un'attività scolastica, si sviluppa su 4 piani fuori terra ed un piano seminterrato, le altezze interne dei piani sono pari a 4,50 m; il piano seminterrato ha altezza pari a 3,80 m.

In relazione alle misure S.3 (Compartimentazione) e S.4 (Esodo) non è stato possibile, ovvero conveniente, adottare una *soluzione conforme* per quanto concerne, rispettivamente, alla compartimentazione delle scale (par. S.3.4.2) e in relazione al verso di apertura delle porte lungo le vie di esodo (tab. S.4-3).

Scopo della *soluzione alternativa* di seguito illustrata è dimostrare che i due compartimenti che contengono le scale di esodo protette, di cui alle planimetrie seguenti, possano essere assimilati, nel caso specifico, a compartimenti a prova di fumo proveniente dal resto dell'attività.

Entrambe le scale conducono direttamente a luogo sicuro, mediante uscita, sul cortile, al piano terra.

La scelta progettuale di dotare l'edificio di scale a prova di fumo è dettata dall'esigenza di garantire la disponibilità di entrambe le scale, ai fini dell'esodo, in qualunque condizione, evitando che una di esse possa essere resa indisponibile a causa degli effetti dell'incendio, come previsto dalle misure antincendio grazie alle quali è possibile omettere la verifica di ridondanza per le vie di esodo verticali (par. S.4.8.7.3).

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni geometriche del piano tipo	Vedi planimetria (A = 800 m ²)
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in muratura

PLANIMETRIA PIANO TIPO

Schema planimetrico del piano tipo dell'edificio (OC/HB)¹³

PLANIMETRIA SEMINTERRATO

Schema planimetrico del piano seminterrato dell'edificio

¹³ Classificazione ai sensi della RTV Attività scolastiche d.m. 7 agosto 2017.

Compartimenti antincendio	L'edificio si sviluppa su 5 piani (max quota di piano +16,00 m; min -2,00 m)
Numero occupanti	Max affollamento contemporaneo nei 4 piani fuori terra 665 occupanti
Profilo di rischio R_{vita}	A2 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R_{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello IV di prestazione (par. S.1.3 e par. S.1.4.3)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.2.3 e par. S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello III di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.2)
Esodo	Livello di prestazione equivalente al I (par. S.4.3 e par. S.4.4.3)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio ¹⁴	Livello III di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.2) Rete di idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme ¹⁵	Livello III di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (par. S.8.3 e par. S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)

Obiettivi dello studio

Allo stesso modo con il quale è stato approcciato lo studio, si evidenzia che il metodo idoneo a dimostrare la *soluzione alternativa* inerente la compartimentazione dei vani scala ricade fra i metodi ordinari di progettazione della sicurezza antincendio di cui al par. G.2.6, (tab. G.2-1) "Ingegneria della sicurezza antincendio". In tale tabella è previsto, infatti, che: "Il progettista applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio secondo procedure, ipotesi e limiti indicati nel presente documento, in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3, e secondo le procedure previste dalla normativa vigente".

Ai fini del calcolo del tempo ASET, definito come intervallo di tempo dall'innesco dell'incendio dopo il quale il fumo entra nel vano scale se le relative chiusure sono ancora tenute aperte dagli occupanti in fuga, è stato impiegato il codice di calcolo CFAST (vers. 7.0.1), modello a zone di simulazione dell'incendio. I calcoli relativi alla determinazione di ASET, per brevità di trattazione, sono stati omessi in questa sede.

Una volta verificato positivamente il margine di sicurezza di ASET rispetto a RSET, si potrà concludere che la *soluzione alternativa* in questione sarà soddisfatta.

Nota

Sarebbe stato possibile rendere a prova di fumo i vani scale anche in *soluzione conforme* (par. S.3.5.4), ad esempio tramite la realizzazione di filtri a prova di fumo a tutti i piani oppure pressurizzando i vani scale secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 12101-6.

Si è preferito adottare la *soluzione alternativa*, in quanto consente un ridotto investimento iniziale (circa 1/10 rispetto all'ipotesi filtri a prova di fumo) ed elimina totalmente i successivi costi d'esercizio e manutenzione degli impianti di pressurizzazione.

¹⁴ Ai sensi della RTV Attività scolastiche d.m. 7 agosto 2017.

¹⁵ Ai sensi della RTV Attività scolastiche d.m. 7 agosto 2017.

Calcolo di RSET - scenari d'incendio S1 e S2

Il calcolo di RSET sarà effettuato, in analogia al precedente caso studio, impiegando il metodo idraulico descritto al punto precedente, con l'ausilio delle indicazioni fornite dal rapporto tecnico ISO/TR 16738.

Analisi preliminare (M.1.3)

Soluzione alternativa: Scale a prova di fumo

Per dimostrare la *soluzione alternativa* si applicherà il metodo "Ingegneria della sicurezza antincendio" ammesso al par. G.2.6, secondo le procedure, le ipotesi e i limiti indicati nei capp. M.1, M.2 e M.3.

Definizione del progetto

Scopo della presente *soluzione alternativa* è dimostrare che i due compartimenti che contengono le scale di esodo protette possano essere assimilati a compartimenti a prova di fumo proveniente dal resto dell'attività.

Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio

Tali obiettivi consistono nell'evitare che il fumo generato dai focolari di progetto penetri nei vani scale.

Si ipotizza che tali obiettivi siano verificati, se l'interfaccia tra lo strato dei fumi caldi ed il sottostante strato d'aria indisturbata non scende a quota inferiore a quella delle imposte delle porte di piano, fino al termine dell'evacuazione del piano interessato dall'incendio.

Dopo il termine dell'evacuazione di piano, le chiusure tagliafuoco e resistenti ai fumi freddi rimangono chiuse ed impediscono il passaggio del fumo.

Definizione delle soglie di prestazione

L'obiettivo di sicurezza si traduce in soglia di prestazione quantitativa; tale soglia è rappresentata da:

- altezza dei fumi superiore all'altezza delle porte di piano verso le scale (poste a 2,00 m dal piano di calpestio) entro il termine dell'evacuazione del piano;
- temperatura media dei fumi non superiore a 60°C, conservativamente, si tratta di una scelta molto inferiore al valore proposto nella tab. M.3-3 (200°C).

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

Si individuano due scenari d'incendio di progetto S1 e S2 definiti come segue.

Scenario S1, incendio nei piani diversi dal seminterrato

- **focolare:** incendio di una scaffalatura contenente materiale librario impilato, rappresentato conservativamente da un focolare di velocità di crescita media, HRR di picco pari ad 1 MW, esaurimento dopo 900 s¹⁶

Le caratteristiche chimiche della combustione vengono conservativamente imposte pari a quelle del focolare predefinito per le attività civili di cui al cap. M.2.

L'incendio si sviluppa in uno qualsiasi dei locali dei piani superiori con presenza di occupanti che evacuano verso le scale di esodo (si suppone l'ipotesi più conservativa nella quale tutti gli occupanti si trovino ai quattro piani superiori);

occupanti: popolazione di studenti e personale, rappresentato conservativamente dalla popolazione italiana (vedi caratteristiche riportate nel rapporto tecnico ISO/TR 16738), affollamento pari al massimo di progetto (il massimo affollamento totale contemporaneo dell'edificio è pari a 665 persone).

I locali al piano seminterrato (es.: aula informatica, aula speciale, palestra) sono utilizzati dagli occupanti alternativamente alle aule didattiche ordinarie;

- **edificio:** configurazione geometrica reale.

Si ipotizza che la finestratura del locale di primo innesco si rompa efficacemente ai fini dell'evacuazione di fumo al raggiungimento di 350°C di temperatura.

¹⁶ Karlsson B, Quintiere JG. *Enclosure Fire Dynamics*, Boca Raton, FL, CRC Press, 2000.

Scenario S2, incendio al piano seminterrato

- **focolare**: identico a scenario S1, salvo il fatto che l'incendio si sviluppa nell'aula speciale (aule e laboratorio didattico) con presenza di 25 occupanti che evacuano verso la scala di esodo. La scelta del locale, il più piccolo tra tutti, conduce ad un calcolo dell'ASET più conservativo in quanto il locale è più rapidamente riempito dal fumo. Il focolare è estremamente gravoso, anche in relazione alle attrezzature presenti nell'aula.
- **occupanti ed edificio**: identici a scenario S1, salvo il fatto che per la rapidità del fenomeno simulato si supponga non avvenga rottura efficace della finestratura del locale.

Analisi quantitativa (M.1.4)

Elaborazione delle soluzioni progettuali

La soluzione progettuale consiste nella:

- incrementazione a III del livello di prestazione per la compartimentazione:
 - l'edificio è compartimentato per piani;
 - le scale di esodo sono protette e si impiegano chiusure tagliafuoco e tagliafumo (EI-S_a) di classe determinata.
- incrementazione a II del livello di prestazione per la GSA, affinché siano mantenute nel tempo le condizioni descritte nella presente progettazione, in termini di misure protettive e d'esercizio.

Valutazione delle soluzioni progettuali

Si impiega la metodologia descritta nel cap. M.3 per l'obiettivo di sicurezza sopra definito.

Il tempo RSET è definito come intervallo di tempo dall'innesco dell'incendio richiesto agli occupanti per abbandonare il compartimento di piano di primo innesco dell'incendio.

In tale tempo si suppongono almeno parzialmente aperte le porte di piano verso il vano scale.

Scenario S1, incendio nei piani diversi dal seminterrato:

Nelle condizioni di affollamento presenti nell'attività vale:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre(1^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)} + t_{tra(coda)}$$

dove:

- $t_{det} + t_a$ sono i tempi di rivelazione ed allarme;
- $t_{pre(1^\circ \text{ percentile})}$ è il tempo di pre-movimento per i primi occupanti;
- $t_{tra(pres)} + t_{tra(coda)}$ sono i tempi di presentazione e di coda dell'ultimo occupante all'apertura di piano.

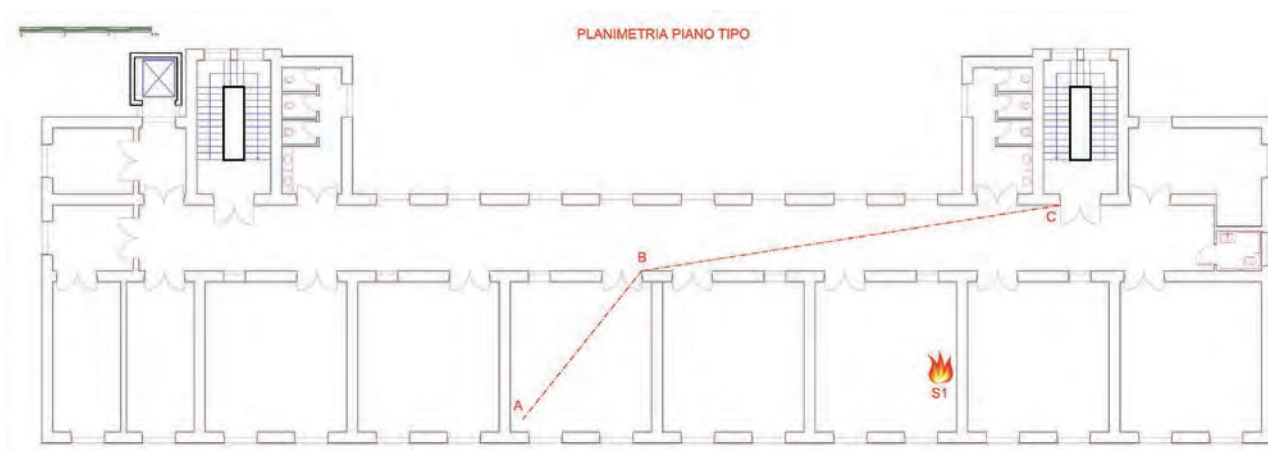
Vista la semplicità geometrica dei piani superiori, le ridotte dimensioni e l'immediata rivelazione e successivo allarme dato dagli occupanti per ipotesi presenti nel piano, si assume $t_{det} + t_a = 120$ s.

In accordo con il rapporto tecnico ISO/TR 16738 per questa tipologia di attività ed in ragione dell'incrementato livello di prestazione assunto per la GSA, si assume $t_{pre(1^\circ \text{ percentile})} = 60$ s.

Il tempo di presentazione è calcolato come quoziente tra la massima lunghezza del percorso fino all'uscita di piano (tratto ABC vedi fig. seguente) e la velocità di traslazione orizzontale assunta per gli occupanti come segue:

$$t_{tra(pres)} = L_{es} / v = 28,10 \text{ m} / 0,71 \text{ m/s} = 20 \text{ s}$$

È stata assunta, conservativamente, per la velocità di traslazione orizzontale un valore pari a 0,71 m/s (tab. G.4 del rapporto tecnico ISO/TR 16738).



APPLICAZIONE SCENARIO S1

Il tempo di coda è calcolato impiegando l'equazione seguente¹⁷, senza tener conto della maggiore capacità della scala oggetto del presente studio, esplicitando per $t_{tra(coda)}$:

$$P_{vert} = W_{vert} \cdot ((n - 1) \cdot D_{scala} \cdot 13,75 + 70\% \cdot F_{s,vert} \cdot t_{tra(coda)})$$

$$t_{tra(coda)} = (P_{vert} / W_{vert} - ((n - 1) \cdot D_{scala} \cdot 13,75)) / 70\% \cdot F_{s,vert}$$

dove:

- P_{vert} è il numero totale degli occupanti transitati attraverso le uscite di piano;
- W_{vert} è larghezza geometrica delle uscite dal compartimento di primo innesco verso le scale, espressa in m;
- n è il numero di piani serviti;
- D_{scala} è la densità di affollamento (escluse $R_{vita} = A3, B3, A4, C3, D2$) nel vano scala durante l'esodo, espressa in p/m^2 ;
- $F_{s,vert}$ è il flusso specifico per l'attraversamento della scala, espresso in $p/m/s$.

e quindi:

$$t_{tra(coda)} = (665 / 2,40 - ((4 - 1) \cdot 2,10 \cdot 13,75)) / 70\% \cdot 1,09 = 250 \text{ s}$$

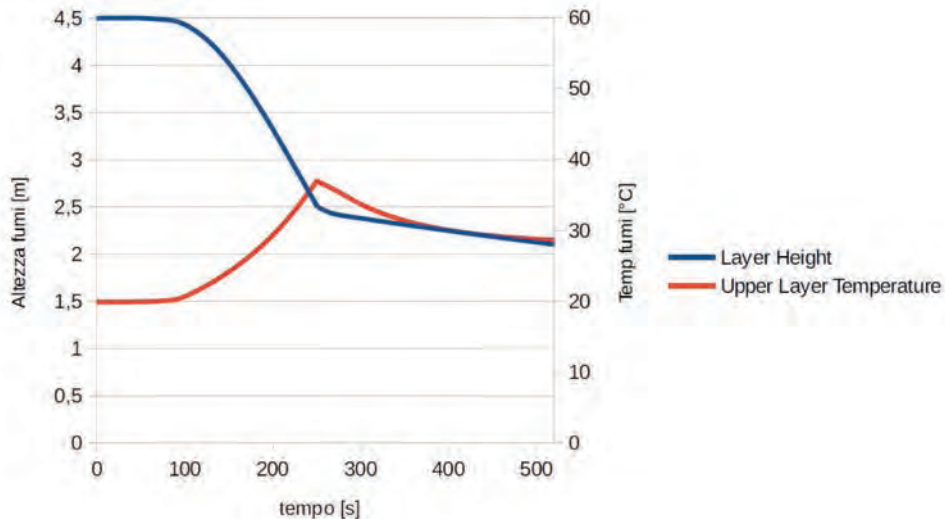
Si ottiene pertanto:

$$RSET_{S1} = t_{det} + t_a + t_{pre(1^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)} + t_{tra(coda)} = 120 + 60 + 20 + 250 = 450 \text{ s}$$

Si rammenta che entrambe le scale conducono direttamente a luogo sicuro, mediante uscita, sul cortile, al piano terra.

Dalle simulazioni in CFAST secondo le ipotesi già descritte si è ottenuto per $ASET1_{S1}$ un valore pari a 515 s per altezza fumi che diventa inferiore a 2,00 m nel corridoio nel quale si trovano gli accessi alle scale di esodo.

¹⁷ Gissi E., *Calcolo dei parametri per il dimensionamento dei sistemi d'esodo secondo soluzione conforme al Codice di prevenzione incendi*, in *Codice di prevenzione incendi commentato*, EPC Editore, 2015, pagg.465-512.



ALTEZZA DEI FUMI E TEMPERATURE NEL CORRIDOIO PER LO SCENARIO S1 NEL TEMPO

Critero di ASET > RSET

In definitiva, in relazione all'elevata conservatività delle ipotesi assunte, la soglia di prestazione è dunque verificata secondo le indicazioni del cap. M.3, con un margine di sicurezza pari a:

$$t_{\text{marg}} = \text{ASET}_{\text{S1}} - \text{RSET}_{\text{S1}} = 65 \text{ s equivalente al } 26\% \text{ di RSET}$$

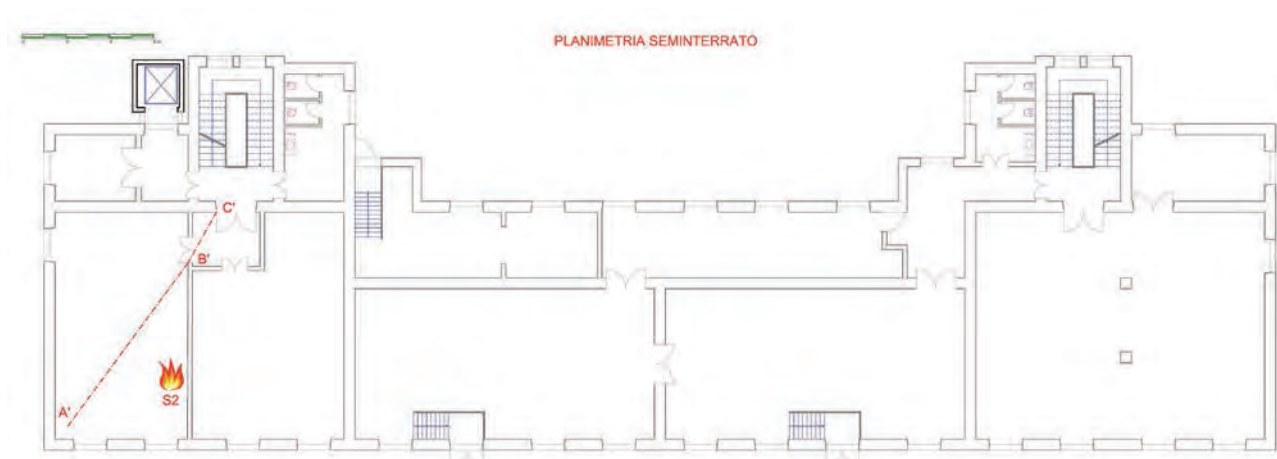
Scenario S2, incendio al piano seminterrato:

Procedendo analogamente a quanto già effettuato per lo scenario S1, ma con dati di input differenti dovuti alle ridotte geometrie, al ridotto affollamento, al diverso scenario d'incendio di progetto, si ottiene quanto segue. Vista la semplicità geometrica dell'aula speciale, le ridottissime dimensioni e l'immediata rivelazione e successivo allarme da parte degli occupanti per ipotesi presenti, si assume $t_{\text{det}} + t_a + t_{\text{pre}}(1^\circ \text{ percentile}) = 30 \text{ s}$.

I tempi di presentazione e coda sono calcolati come segue:

Il tempo di presentazione è calcolato come quoziente tra la massima lunghezza del percorso fino all'uscita di piano (tratto A'B'C' vedi fig. seguente) e la velocità di traslazione orizzontale assunta per gli occupanti come segue:

$$t_{\text{tra(pres)}} = L_{\text{es}} / v = 11,90 \text{ m} / 0,71 \text{ m/s} = 8 \text{ s}$$



APPLICAZIONE SCENARIO S2

Il tempo di coda è dato da:

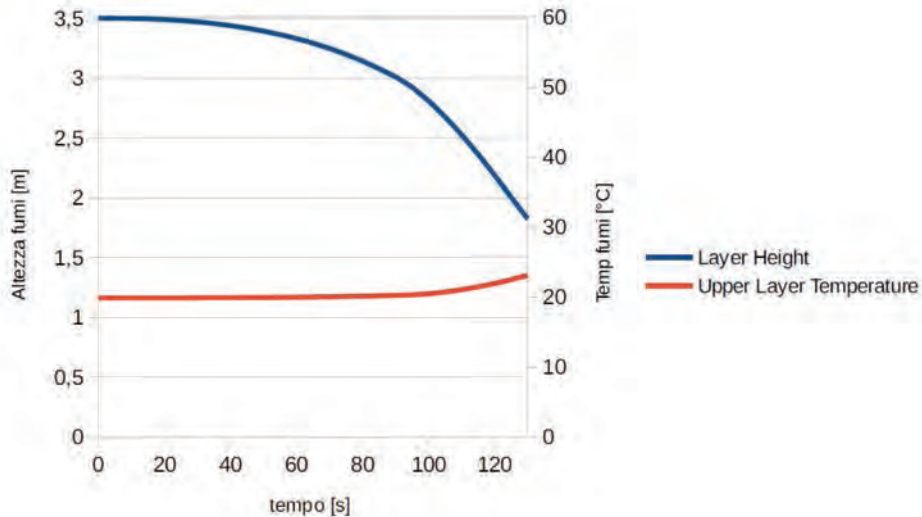
$$t_{tra(coda)} = (P_{vert} / W_{vert} - ((n - 1) \cdot D_{scala} \cdot 13,75)) / 70\% \cdot F_{s,vert}$$

$$t_{tra(coda)} = (25 / 1,20 - ((1 - 1) \cdot 2,10 \cdot 13,75)) / 70\% \cdot 1,09 = 27 \text{ s}$$

Si ottiene pertanto:

$$RSET_{S2} = t_{det} + t_a + t_{pre(1^\circ \text{percentile})} + t_{tra(pres)} + t_{tra(coda)} = 30 + 8 + 27 = 65 \text{ s}$$

Dalle simulazioni in CFAST secondo le ipotesi già descritte si è ottenuto per $ASET_{S2}$ un valore pari a 120 s per altezza fumi che diventa inferiore a 2,10 m nel locale antistante l'accesso alla scala di esodo.



ALTEZZA DEI FUMI E TEMPERATURE NEL CORRIDOIO PER LO SCENARIO S2 NEL TEMPO

criterio di $ASET > RSET$

In definitiva, in relazione all'elevata conservatività delle ipotesi assunte, la soglia di prestazione è dunque verificata secondo le indicazioni del cap. M.3, con un margine di sicurezza pari a:

$$t_{marg} = ASET_{S2} - RSET_{S2} = 55 \text{ s equivalente al } 85\% \text{ di } RSET$$

Selezione delle soluzioni progettuali idonee

Grazie alle verifiche positive ottenute, la soluzione progettuale ipotizzata è idonea al raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza prefissato.

Quindi, nel caso specifico, i due compartimenti che contengono le scale di esodo protette possono essere assimilati a compartimenti a prova di fumo proveniente dal resto dell'attività.

Soluzione alternativa: porte lungo le vie di esodo

Il metodo idoneo a dimostrare la *soluzione alternativa* inerente il verso di apertura delle porte lungo le vie di esodo ricade fra i metodi ordinari di progettazione della sicurezza antincendio di cui al par. G.2.6, (tab. G.2-1) "Applicazione di norme e documenti tecnici".

In tale tabella è previsto, infatti, che: "Il progettista applica norme o documenti tecnici adottati da organismi europei o internazionali, riconosciuti nel settore della sicurezza antincendio. Tale applicazione, fatti salvi gli obblighi connessi all'impiego di prodotti soggetti a normativa comunitaria di armonizzazione e alla regolamentazione nazionale, deve essere attuata nella sua completezza, ricorrendo a soluzioni, configurazioni e componenti richiamati nelle norme o nei documenti tecnici impiegati, evidenziandone specificatamente l'idoneità, per ciascuna configurazione considerata, in relazione ai profili di rischio dell'attività."

Nello specifico, si impiegano le previsioni della norma volontaria BS 9999:2008 (Section 5: Designing means of escape)¹⁸ adottata da organismo europeo (BSI), riconosciuto internazionalmente nel settore della sicurezza antincendio.

Tale applicazione è attuata nella sua completezza, ricorrendo a soluzioni, configurazioni e componenti richiamati nelle norme o nei documenti tecnici impiegati, evidenziandone specificatamente l'idoneità, per ciascuna configurazione considerata, in relazione ai profili di rischio dell'attività.

Per tale applicazione si impiegano prodotti soggetti a normativa comunitaria di armonizzazione ed alla regolamentazione nazionale.

Lo scopo della presente *soluzione alternativa* è di evitare l'onerosa sostituzione di larga parte delle chiusure non tagliafuoco dell'attività, a fronte del valutato ridotto rischio d'incendio dell'attività, impiegando criteri di valutazione differenti da quelli previsti in tab. S.4-3 in merito alle caratteristiche delle porte lungo le vie di esodo.

Il par. 16.5 della citata norma volontaria prevede che le porte lungo le vie di esodo debbano essere munite di dispositivo d'apertura UNI EN 1125 ed aprirsi nel senso dell'esodo solo se impiegate da più di 60 occupanti. Inoltre non è prescritta l'installazione di dispositivi UNI EN 179.



Ai fini della presente *soluzione alternativa* e conformemente ad altre applicazioni nel Codice (es.: tab. S.4-8) la soglia di 60 occupanti prevista nella norma BS 9999 è conservativamente ridotta a 50 occupanti.

Pertanto, in questa attività vengono installati dispositivi d'apertura UNI EN 1125 e si impone l'apertura nel senso dell'esodo solo per porte impiegate da più di 50 occupanti¹⁹.

In definitiva, al piano tipo, occorrerà girare il verso delle due porte che dal corridoio immettono nei due vani scala e al piano seminterrato, lato palestra, quello delle due porte che dal disimpegno immettono nel vano scale di destra e, lato aula speciale, quello della analoga porta che dal disimpegno immette nel vano scale di sinistra.

¹⁸ BS 9999:2008 Code of practice for fire safety in the design, management and use of buildings.

¹⁹ Peraltro, la formulazione del nuovo cap. S.4 (versione del Codice modificata "Codicepi_249"), nella tab. S.4-6 (che modifica la tab. S.4-3 inerente le "Caratteristiche delle porte ad apertura manuale lungo le vie d'esodo"), prevede, al fine di evitare il sovraffollamento localizzato ove la porta sia utilizzata da più di 50 occupanti, il maniglione e il verso di apertura nel senso dell'esodo.

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata dimostrata la *soluzione alternativa* con riferimento alla progettazione delle misure S.3 ed S.4 di un edificio, adibito ad attività scolastica essendo stato evidenziato, in *soluzione conforme*, il mancato rispetto della compartimentazione delle scale ed il verso di apertura delle porte lungo le vie di esodo.

Una volta verificato positivamente il margine di sicurezza di ASET rispetto a RSET, si è concluso che la *soluzione alternativa* tesa a dimostrare che i due compartimenti contenenti le scale di esodo protette possano essere assimilati a compartimenti a prova di fumo proveniente dal resto dell'attività, è stata soddisfatta.

Si è proceduto al calcolo di tale tempo in relazione a due scenari d'incendio differenti ed in entrambe le ipotesi, è risultato che il margine di sicurezza della progettazione prestazione per la salvaguardia della vita di cui al par. M.3.2.2.3 risulta soddisfatto.

❖ *Commento dei risultati*

Si vedano le conclusioni evidenziate nel precedente caso studio.

❖ *Eventuali sviluppi ulteriori*

A compendio di quanto evidenziato nelle conclusioni del precedente caso studio, si segnala come, alla luce del contesto internazionale e dello stato dell'arte, il modello tradizionale per il dimensionamento dei sistemi di esodo, previsto dalle regole tecniche verticali correntemente impiegate in Italia, appare superato e privo di qualsiasi legame con i risultati della ricerca scientifica recente.

Nel contesto di flessibilità progettuale offerto dal Codice, il ricorso alla progettazione in deroga dovrebbe dunque diventare estremamente raro, riservato ai pochissimi casi di attività che per complessità ed innovazione non possono ricadere nelle fattispecie previste dal Codice.

In sintesi, gli strumenti di flessibilità a disposizione consentono di adattare la progettazione della sicurezza antincendio sulla base del rischio d'incendio effettivamente valutato dal progettista per la specifica attività.

Caso studio 3: soluzione alternativa per il livello di prestazione I misura S.4 - attività commerciale

Descrizione

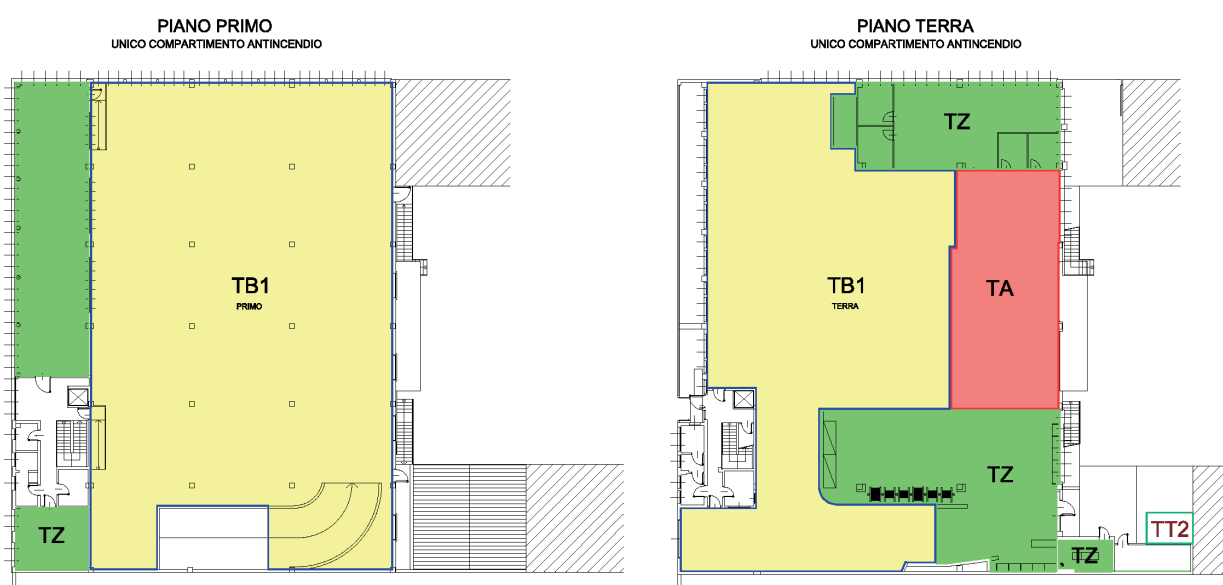
Nel presente caso studio vengono illustrati i calcoli di ASET e RSET relativi all'esodo in emergenza degli occupanti presenti all'interno di un'attività multipiano, adibita ad edificio commerciale.

L'attività è costituita da un unico compartimento antincendio multipiano

In virtù delle previsioni di cui al par. V.8.5.4 della RTV Attività Commerciali, di cui al d.m. 3 dicembre 2018, relativo al sistema di esodo, la larghezza minima delle vie di esodo verticali non risulta rispettare i vincoli della *soluzione conforme*.

Volendo evitare di aggiungere una nuova via di esodo verticale (scala esterna) o di allargare quelle esistenti, con il conseguente innalzamento dei costi di adeguamento antincendio, si ricorre ad una *soluzione alternativa* per il livello di prestazione I della misura S.4, al fine di risolvere i vincoli sopra citati.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni geometriche del compartimento multipiano	Compartimento A - PT = 1101 m ²
	Compartimento A - P1 = 1090 m ²
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in C.A.
Aree presenti (RTV Attività Commerciali)	TA, TB1, TZ e TT2
 <p style="text-align: center;">Schema planimetrico dell'attività commerciale</p>	
Compartimenti antincendio	Unico multipiano in accordo al par. S.3.6.2
Numero occupanti	371 (è prevista la presenza di persone con disabilità anche non permanente)
Profilo di rischio R _{vita}	B2 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R _{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello II e III di prestazione (par. S.1.3 e parr. S.1.4.1 e S.1.4.2)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.2.3 e par. S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.1)
Esodo	Livello di prestazione equivalente al I (par. S.4.3 e par. S.4.4.3)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.2) Rete di idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello IV di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (par. S.8.3 e par. S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello IV di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.3)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)

Obiettivi dello studio

Come ormai noto, il metodo idoneo a dimostrare la *soluzione alternativa* ricade fra i metodi ordinari di progettazione della sicurezza antincendio di cui al par. G.2.6, (tab. G.2-1) "Ingegneria della sicurezza antincendio".

In tale tabella è previsto, infatti, che: "Il progettista applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio secondo procedure, ipotesi e limiti indicati nel presente documento, in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3, e secondo le procedure previste dalla normativa vigente".

Nello specifico, al fine di determinare i tempi ASET e RSET relativi all'esodo in emergenza degli occupanti presenti all'interno dell'attività commerciale si farà riferimento ai metodi ed ai parametri contenuti nel cap. M.3 ed agli strumenti di modellazione fluidodinamica utilizzando il software agli elementi finiti FDS (vers. 6.5).

Focus sulla strategia adottata

Prioritariamente all'illustrazione della *soluzione alternativa*, si ritiene opportuno evidenziare alcune peculiarità della strategia adottata nell'ambito del progetto di prevenzione incendi in esame, specificatamente in relazione alla misura S.4 Esodo.

→ Aspetti privi di criticità nell'applicazione della *soluzione conforme* alla strategia S.4 Esodo:

❖ *Numero minimo di vie di esodo indipendenti*

- Trattandosi di R_{vita} B2 e occupanti < 500 sono necessarie almeno 2 vie di esodo indipendenti in accordo al par. S.4.8.1:
 - Piano terra: n° 3 vie di esodo indipendenti
 - Piano primo: n° 2 vie di esodo indipendenti

❖ *Lunghezze percorsi di esodo*

- L_{es} massima consentita per R_{vita} B2: 50 m incrementati a 60 m in accordo al par. S.4.10:
 - L_{es} piano terra: 36 m
 - L_{es} piano primo: 40 m
- L_{cc} massima consentita per R_{vita} B2: 20 m incrementati a 24 m in accordo al par. S.4.10:
 - L_{cc} piano terra: 13 m
 - L_{cc} piano primo: 4 m

❖ *Larghezze delle vie di esodo orizzontali*

- L_O richiesta per R_{vita} B2: 4,10 mm/persona in accordo al par. S.4.8.3:
 - L_O piano terra: 713 mm
 - L_O piano primo: 808 mm
 - L_O min: 800 mm

❖ *Altri requisiti verificati*

- calcolo della larghezza minima delle uscite finali;
- indipendenza delle vie di esodo;
- verifica di ridondanza delle vie di esodo orizzontali e verticali.

❖ *Esodo in presenza di occupanti con disabilità*

- All'interno dell'attività può esservi presenza non occasionale di occupanti che non abbiano sufficienti abilità (anche temporanee) per raggiungere autonomamente un luogo sicuro tramite vie di esodo verticale e pertanto si prevede uno spazio calmo all'interno del vano scala protetto, in accordo al par. S.4.9.1.

→ Criticità individuate nell'applicazione della *soluzione conforme* alla misura S.4 Esodo:

❖ *Larghezze delle vie di esodo verticali*

- L_V richiesta per R_{vita} B2: 4,90 mm/persona in accordo al par. S.4.8.6.2:
 - L_V piano primo: 965 mm
 - L_V min: 1200 mm (requisito non soddisfatto in quanto la scala protetta interna ha larghezza 1100 mm)

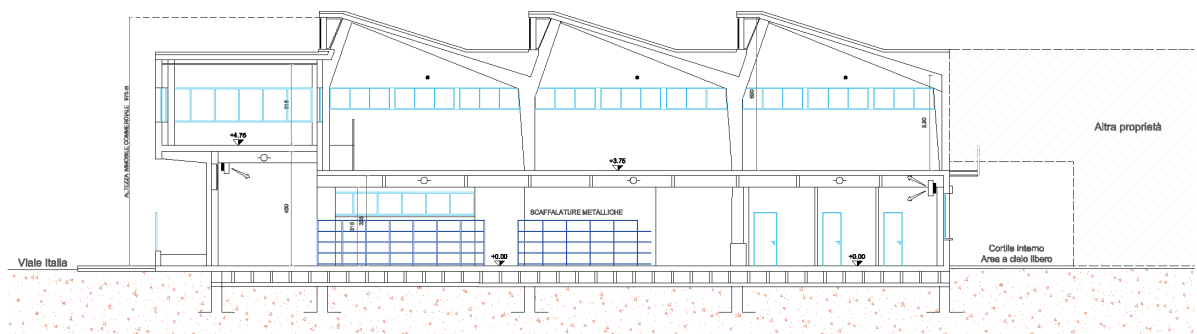
Definizione del progetto

Le criticità sopra evidenziate hanno quindi reso necessario adottare la *soluzione alternativa* tesa a dimostrare che la via di esodo verticale protetta, di larghezza inferiore al minimo richiesto dalla *soluzione conforme*, può essere comunque utilizzata per un efficace esodo di emergenza in caso d'incendio.

Peculiarità del progetto

- L'edificio multipiano è caratterizzato da altezze interne differenti, al piano terra l'altezza utile è pari a 3,55 m con ribassamenti puntuali in corrispondenza delle travi a 3,10 m che, in alcuni casi, contribuiscono a rallentare la propagazione a soffitto del fumo, creando delle piccole vasche di accumulo.

Al piano primo invece l'altezza è più elevata, essendo presente una copertura shed di 6,00 m al colmo e di 3,90 m sotto trave; in questo caso la stratificazione dei fumi è rallentata dalla notevole altezza geometrica.



- Il fumo prodotto dall'incendio, oltre che stratificarsi all'interno, ha la possibilità di essere smaltito all'esterno in modo naturale dagli infissi ricavati sulle superfici finestrate perimetrali al piano terra e sugli shed al piano primo, tutti asserviti dall'IRAI. Nello specifico, non sono dimensionati come SFNC in accordo alla norma UNI 9494-1.
- La rampa carrabile di accesso al piano primo rappresenta un'importante via di propagazione del fumo dal piano terreno; le scale di tipo protetto ed esterne non rappresentano una via di propagazione dello stesso.
- La lunghezza massima dei percorsi di esodo per gli occupanti dell'attività commerciale non supera i massimi eventualmente imposti dalla *soluzione conforme*; tali percorsi sono caratterizzati da porzioni piane e porzioni su rampa con $p < 8\%$.
- Da ciascun punto sono facilmente individuabili almeno due direzioni di esodo indipendenti, con uscita diretta su spazio scoperto.
- Entrambi i piani dell'attività sono dotati di impianto di illuminazione di sicurezza che consente l'orientamento e l'individuazione nei percorsi di esodo in qualsiasi condizione ambientale e in qualsiasi ora del giorno.
- È stato incrementato il livello di prestazione per la rivelazione ed allarme dell'attività commerciale, dal richiesto III al IV, con installazione di un IRAI esteso a tutti i locali dell'attività. Tale dotazione permette di gestire in tempi molto rapidi ogni condizione di allarme consentendo la rivelazione precoce e la diffusione immediata della comunicazione di esodo a tutti gli occupanti.
- Gli occupanti con disabilità che possono aver raggiunto il piano primo in condizioni ordinarie (fuori dall'emergenza quindi) mediante l'utilizzo dell'ascensore, in caso d'incendio potranno rifugiarsi all'interno dello spazio calmo ricavato all'interno del vano scala protetto. Al suo interno le condizioni saranno di "zero exposure" con a disposizione un sistema di comunicazione bidirezionale necessario per poter richiedere i soccorsi e mantenere la calma. Sarà pertanto garantito il concetto di inclusività in quanto, gli occupanti disabili al piano primo non avrebbero potuto utilizzare l'ascensore (non essendo di tipo antincendio) per raggiungere il piano terreno.
- Non sono stati presi in considerazione impianti idrici automatici di protezione attiva in quanto sono installati esclusivamente impianti di tipo manuale.

Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio

Obiettivo della sicurezza antincendio è quello di assicurare che gli occupanti dell'attività possano raggiungere o permanere in un luogo sicuro, a prescindere dall'intervento dei VV.F..

Nello specifico, si mette in atto un esodo di tipo simultaneo, con protezione sul posto degli occupanti, con disabilità anche temporanee.

Nell'applicazione del metodo prestazionale alla sicurezza antincendio per la salvaguardia della vita, gli obiettivi sono quelli di dimostrare in modo diretto ed esplicito la possibilità per tutti gli occupanti di raggiungere o permanere in un luogo sicuro, senza che ciò sia impedito da un'eccessiva esposizione ai prodotti dell'incendio. Tali obiettivi, quantitativamente, consistono nell'evitare che il fumo generato dai focolari di progetto ostacoli l'esodo in sicurezza degli occupanti presenti nell'attività commerciale.

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

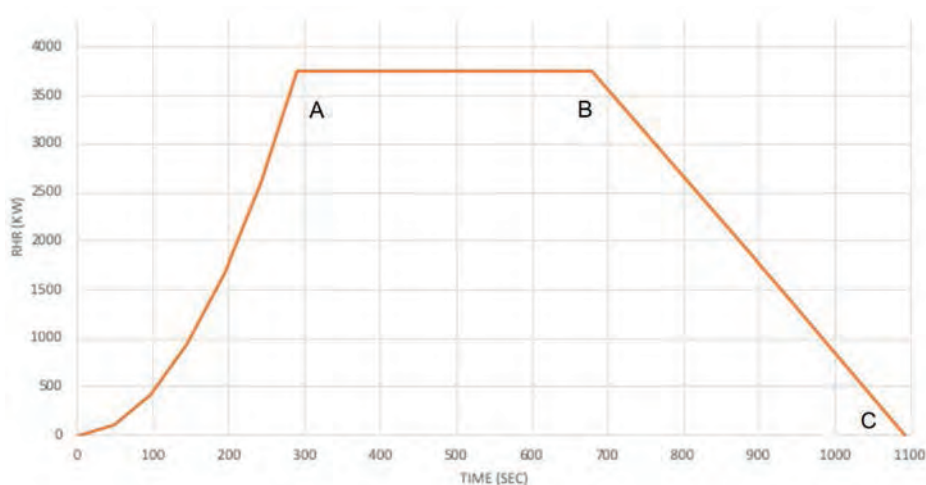
L'analisi degli scenari d'incendio è stata condotta sulla base dei seguenti criteri:

- individuazione del focolare verosimilmente più critico ipotizzabile all'interno dell'attività oggetto dello studio;
- determinazione delle posizioni più critiche del focolare all'interno di ciascun piano dell'attività.

Le tipologie di focolari individuati sono riconducibili a due, in quanto la grande variabilità del materiale depositato non consente di identificare univocamente le potenze in gioco.

Focolare d'incendio materiale in esposizione

Nello specifico, analizzando le condizioni di ventilazione, impilamento, materiale e modalità di stoccaggio, si ritiene, in favore della sicurezza, di poter verificare il sistema di esodo con un focolare caratterizzato da rateo di crescita rapida $t_{\alpha} = 150$ s e potenza di 1 MW/m^2 , associato ad un blocco pari a circa 4 m^2 .



CURVA HHR RELATIVA AL MATERIALE IN ESPOSIZIONE

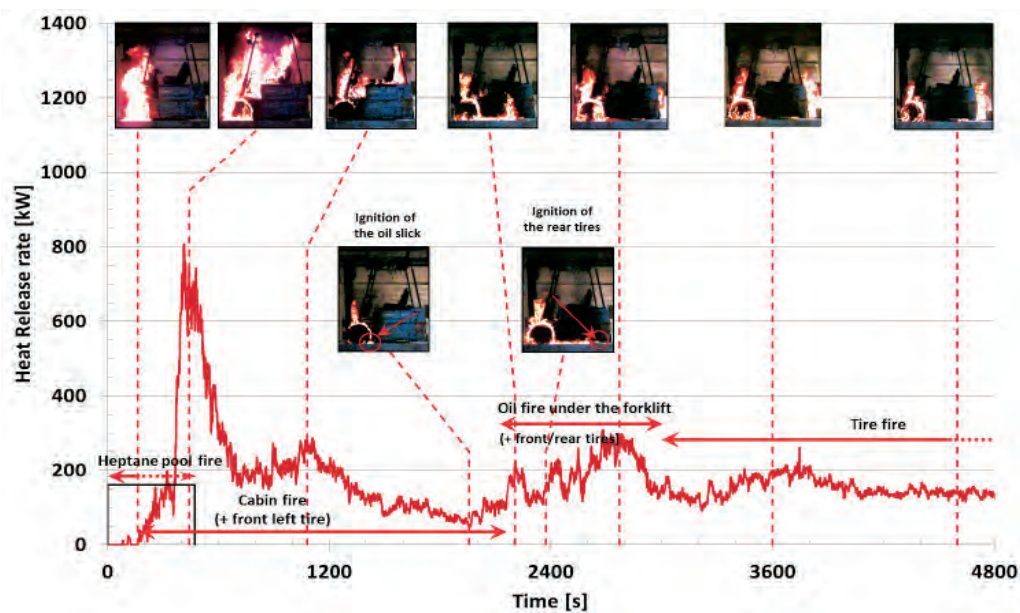
t_A	290 s
t_B	678 s
t_C	1094 s

La reazione di combustione scelta, a seguito delle valutazioni effettuate sulla tipologia di materiale prevalente, viene ricondotta, in favore di sicurezza, al PMMA:

Combustione	CO Yield	Soot Yield
PMMA	0,01	0,022

Focolare d'incendio carrello elevatore

Nello specifico, essendo disponibile in letteratura²⁰ una curva di rilascio termico di tipo sperimentale, viene utilizzata la seguente:



CURVA HHR RELATIVA AL CARRELLO ELEVATORE

La reazione di combustione scelta, a seguito di valutazioni sulla tipologia di materiale prevalente, viene ricondotta in favore di sicurezza al Poliuretano:

Combustione	CO Yield	Soot Yield
Poliuretano	0,042	0,198

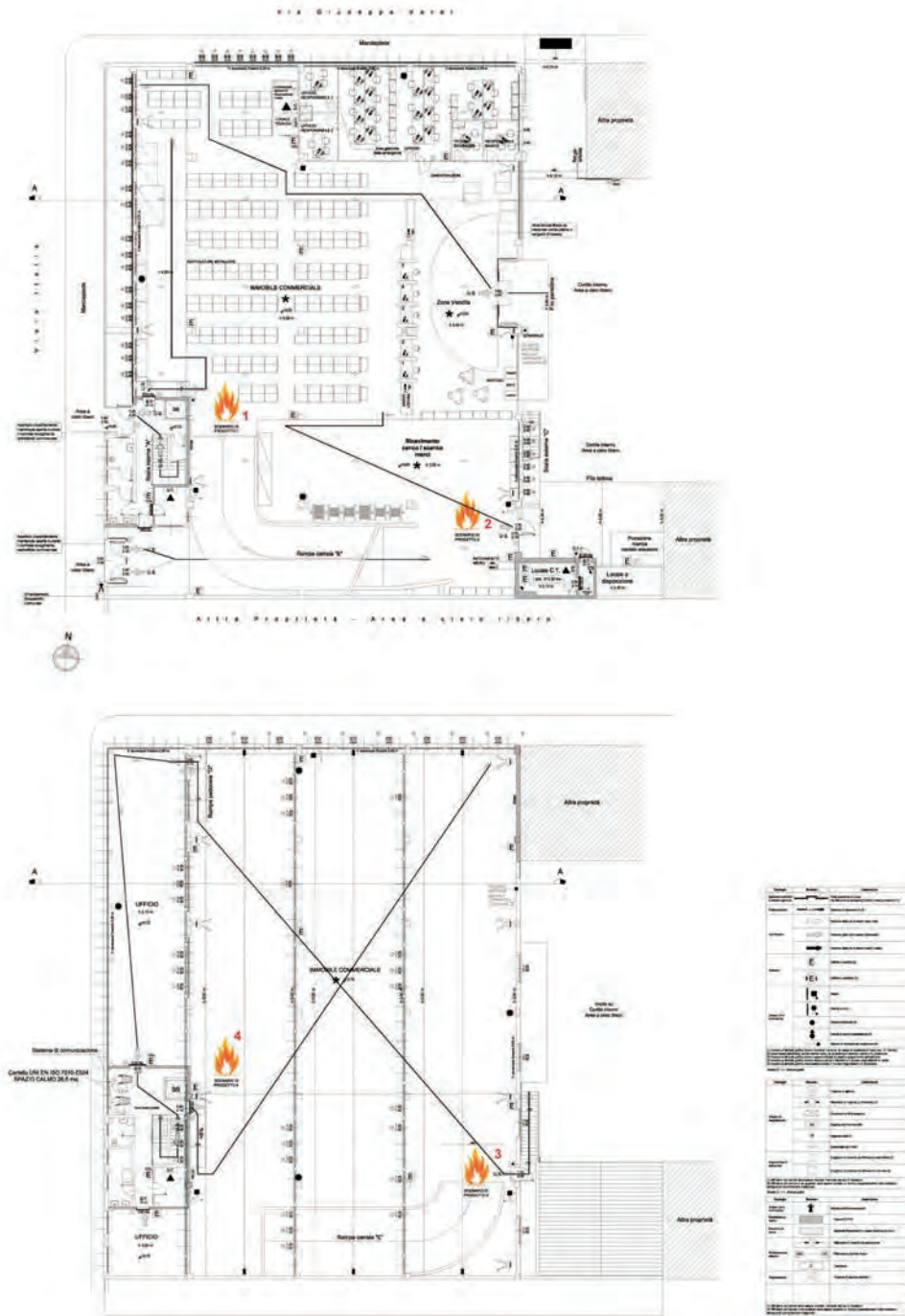
²⁰ "Experimental characterization of a forklift fire" - Laurent Audouin and Mickaël Coutin - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Saint-Paul-Lez-Durance, France.

Scelta delle posizioni critiche per i focolari d'incendio

Per le ubicazioni dei possibili inneschi dell'incendio sono state analizzate numerose disposizioni individuando gli scenari ritenuti più critici; sono stati considerati, in particolare, quelli posizionati in corrispondenza delle vie di esodo, tali da renderle indisponibili.

Dopo varie simulazioni di pre-analisi, non riportate per brevità in questa sede, sono stati quindi individuati i quattro scenari illustrati nella planimetria seguente ed identificati come segue:

- Scenario S1 - Piano Terra
- Scenario S2 - Piano Terra
- Scenario S3 - Piano Primo
- Scenario S4 - Piano Primo



SCENARI DI PROGETTO S1, S2, S3 E S4

Per ciascuno dei 4 scenari sono state sviluppate le analisi fluidodinamiche, di durata pari almeno al valore di RSET con la maggiorazione cautelativa del 10% sulla base del criterio:

$$ASET > 1,10 RSET$$

Risultati delle simulazioni

Calcolo di RSET

Il tempo RSET viene calcolato tra l'innescio dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti raggiungono un luogo sicuro, che nello specifico può essere l'esterno, la scala protetta e/o lo spazio calmo.

In conformità al cap. M.3, ed a quanto evidenziato nel caso studio 1, il tempo RSET può essere assunto il più gravoso tra i tempi calcolati come segue, rendendo indisponibili le vie di esodo, una alla volta:

$$\begin{aligned} \rightarrow RSET_1 &= t_{det} + t_a + t_{pre(99^\circ \text{ percentile})} + t_{tra,1} \\ \rightarrow RSET_2 &= t_{det} + t_a + t_{pre(99^\circ \text{ percentile})} + t_{tra,2} \\ \rightarrow RSET_3 &= t_{det} + t_a + t_{pre(99^\circ \text{ percentile})} + t_{tra,3} \\ \rightarrow RSET_4 &= t_{det} + t_a + t_{pre(99^\circ \text{ percentile})} + t_{tra,4} \end{aligned}$$

dove:

- t_{det} è il tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio, espresso in s;
- t_a è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti (allarme generale), espresso in s;
- $t_{pre(99^\circ \text{ percentile})}$ è il tempo di pre-evacuazione per gli ultimi occupanti a muoversi, secondo la distribuzione statistica di t_{pre} , espresso in s;
- $t_{tra(pres)}$ è il tempo necessario all'occupante più lontano per presentarsi all'uscita verso il luogo sicuro, espresso in s;

Tenendo conto dell'inerzia/ritardo dell'IRAI, esteso all'intera attività commerciale, e dell'influenza della temperatura ambiente iniziale, per $R_{vita} = B2$:

- attività dotata di IRAI (tempo di risposta di sistema di rivelazione di calore);
- livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato;
- presenza di addetti formati al rischio incendio.

Pertanto si adotta:

$$t_{det} = 60 \text{ s}$$

In presenza di IRAI, esteso a tutto l'attività, il tempo di allarme generale viene assunto pari a zero, quindi:

$$t_a = 0 \text{ s}$$

ottenendo:

$$t_{det} + t_a = 60 \text{ s}$$

Per la quantificazione dei tempi di pre-movimento (dei primi e degli ultimi occupanti) si ricorre ai dati di letteratura, con riferimento a quanto indicato nella tab. E.2 del rapporto tecnico ISO/TR 16738 (tab. tratta dalla norma BS PD 7974-6:2019).

Nell'allegato E del rapporto tecnico ISO/TR 16738 sono infatti riportati, in funzione dello scenario comportamentale considerato, della tipologia di allarme, della complessità dell'edificio e dell'efficacia della gestione della sicurezza, i tempi di pre-movimento sia per il 1° percentile che per il 99° percentile della distribuzione.

È importante però considerare che tali tempi di pre-movimento sono suggeriti, e non hanno necessaria valenza cogente.

In altre normative nazionali riconosciute nel settore, ad esempio sono decisamente più contenuti.

Il professionista antincendio può infatti impiegare valori diversi da quelli indicati in letteratura purché adeguatamente giustificati, anche in riferimento a prove di evacuazione riportate nel registro dei controlli.

Per l'attività commerciale in questione si ottiene:

Tipologia di occupanti: B: *"Awake and Unfamiliar"*

- Livello di sistema di allarme: Livello A1

Rivelazione automatica estesa a tutto l'edificio in grado di attivare un immediato allarme generale in ogni parte dell'edificio ($t_a = 0$ s).

- Livello di complessità dell'edificio: Livello B1

Edificio monopiano con un compartimento, con distribuzione regolare in pianta e caratterizzato da un buon accesso visivo e da moderate lunghezze delle vie di esodo che conducono direttamente all'esterno.

- Livelli di gestione della sicurezza antincendio: Livello M1

Gli occupanti sono svegli e non familiari con l'ambiente (visitatori) - buon rapporto tra personale addestrato e visitatori.

Per tale tipologia di classificazione si ricavano i seguenti tempi di pre-evacuazione:

$$t_{\text{pre}(1^\circ \text{percentile})} = 30 \text{ s}$$

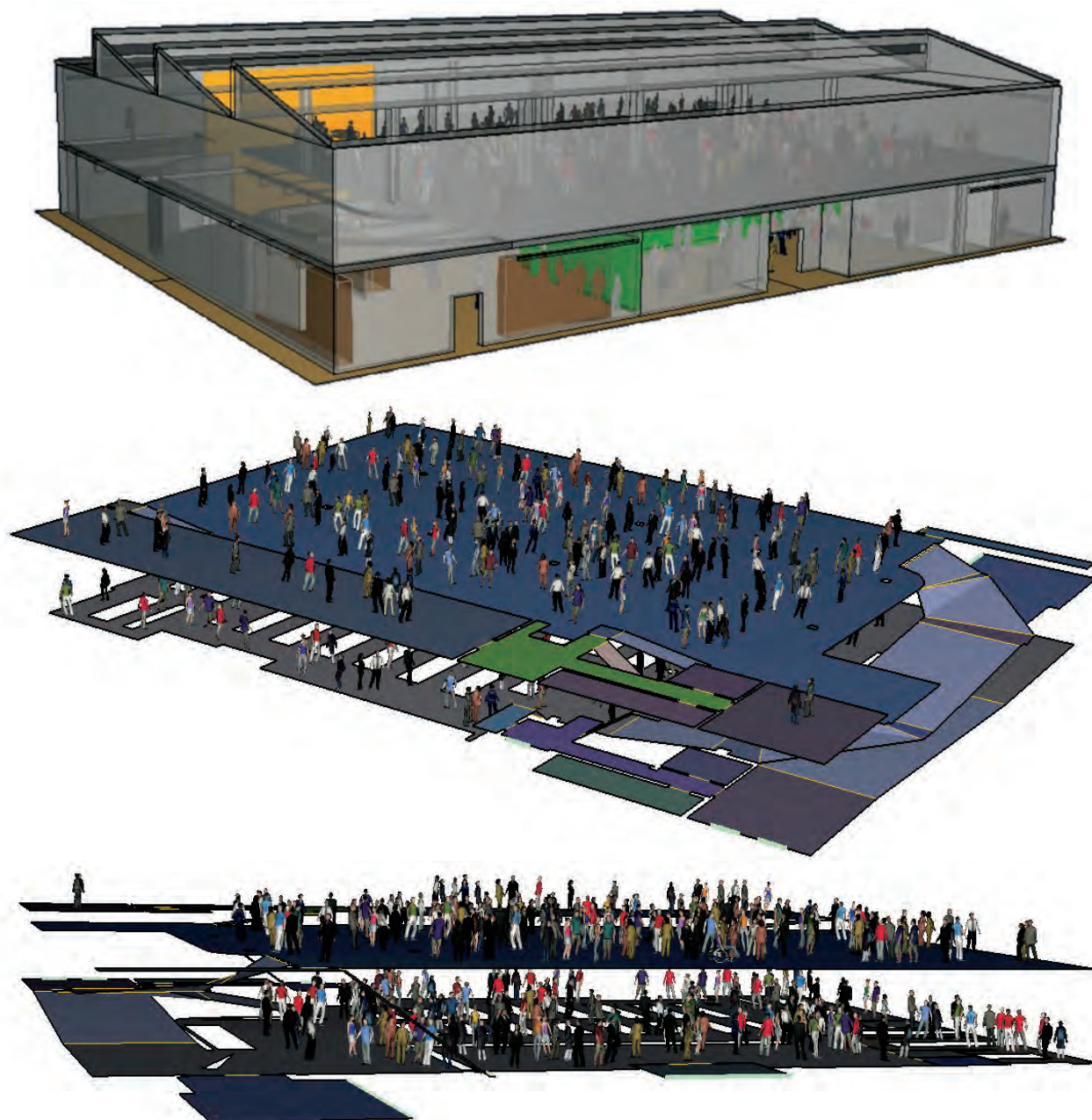
$$t_{\text{pre}(99^\circ \text{percentile})} = 150 \text{ s}$$

La valutazione del tempo di movimento viene condotta secondo le previsioni del rapporto tecnico ISO/TR 16738 utilizzando il modello di calcolo idraulico avanzato.

Si ribadisce che i modelli idraulici predicono con ragionevole precisione alcuni aspetti del movimento degli occupanti (es.: flussi attraverso le uscite), ma non includono fattori importanti del comportamento umano, come la familiarità con l'edificio, le interazioni persona-persona e l'effetto del fumo sul movimento.

Calcolo del t_{tra} con l'ausilio di una modellazione idraulica avanzata

Utilizzando il con il software Pathfinder, il primo passo è stato quello di modellare l'intero edificio, avendo cura di rappresentare esclusivamente le porzioni di pavimento, porte e scale disponibili per l'esodo, con le dimensioni reali e senza nessuna semplificazione geometrica.



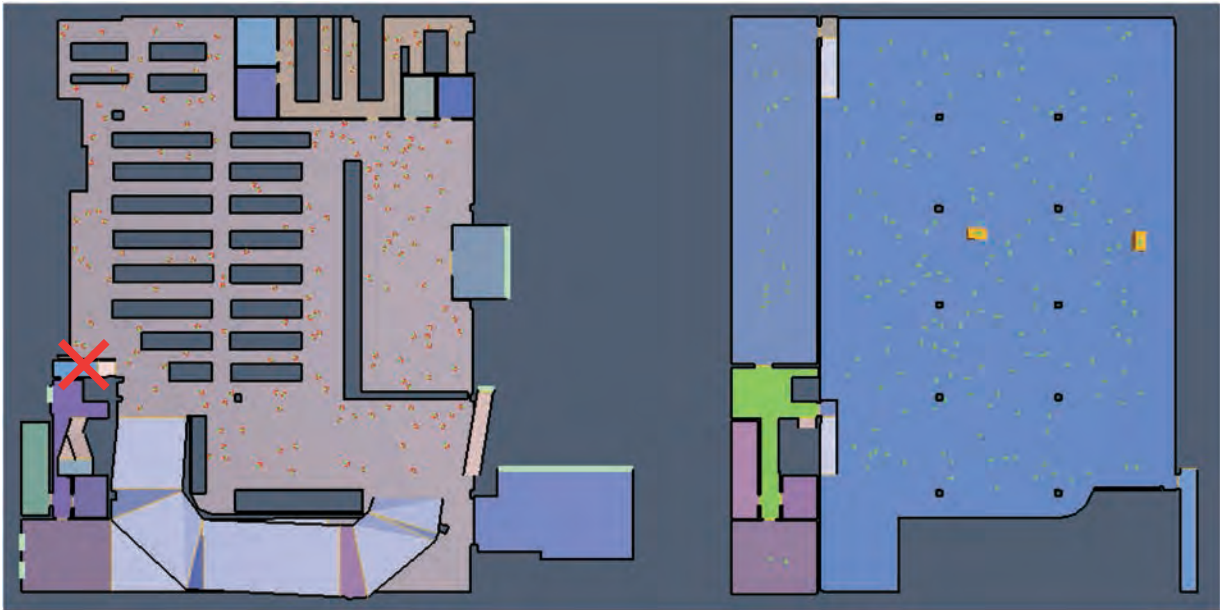
MODELLAZIONE IDRAULICA AVANZATA - PATHFINDER

Compartimento n°	Affollamento	Tipologia occupanti
Multipiano	371	B2

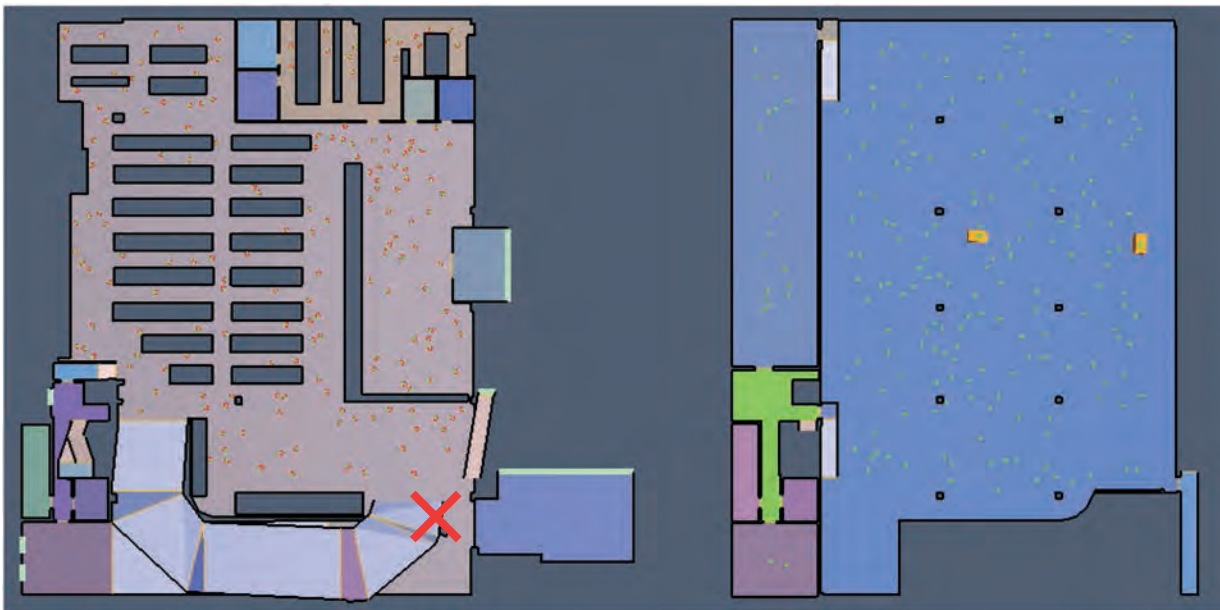
Tipologia	Velocità (m/s)	Larghezza (m)	Altezza (m)
Adulti	1,19	0,46	1,83
Disabili	0,60 - 1,80	0,70	1,00

DATI INPUT PER LA MODELLAZIONE

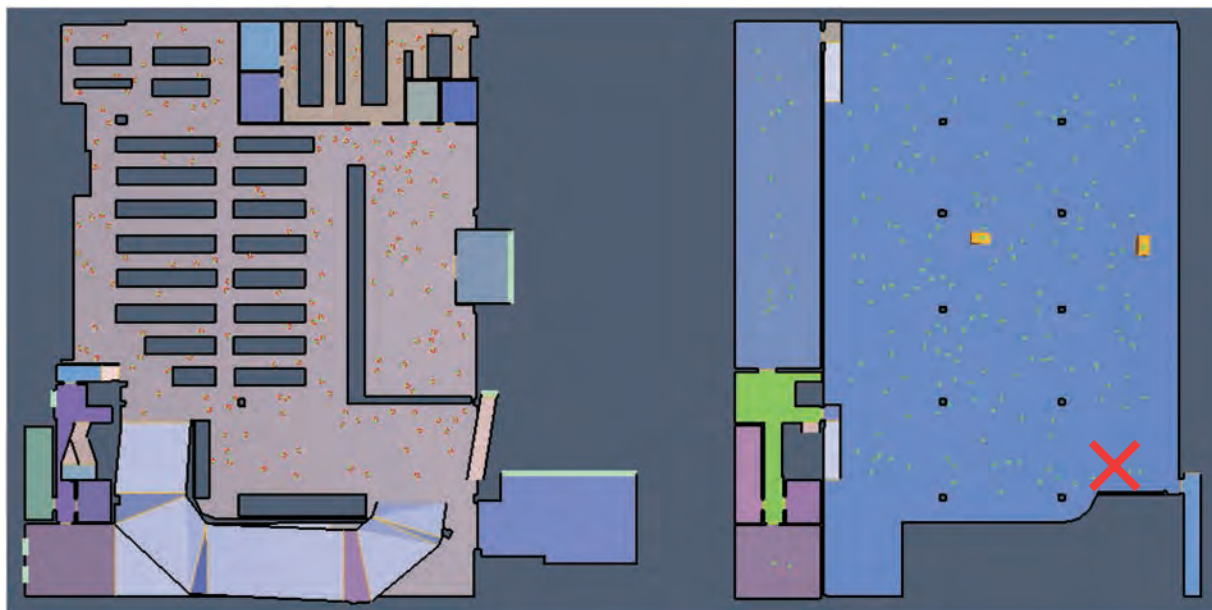
Le vie di esodo a disposizione sono state rese indisponibili in funzione dei quattro scenari d'incendio di seguito riportati.



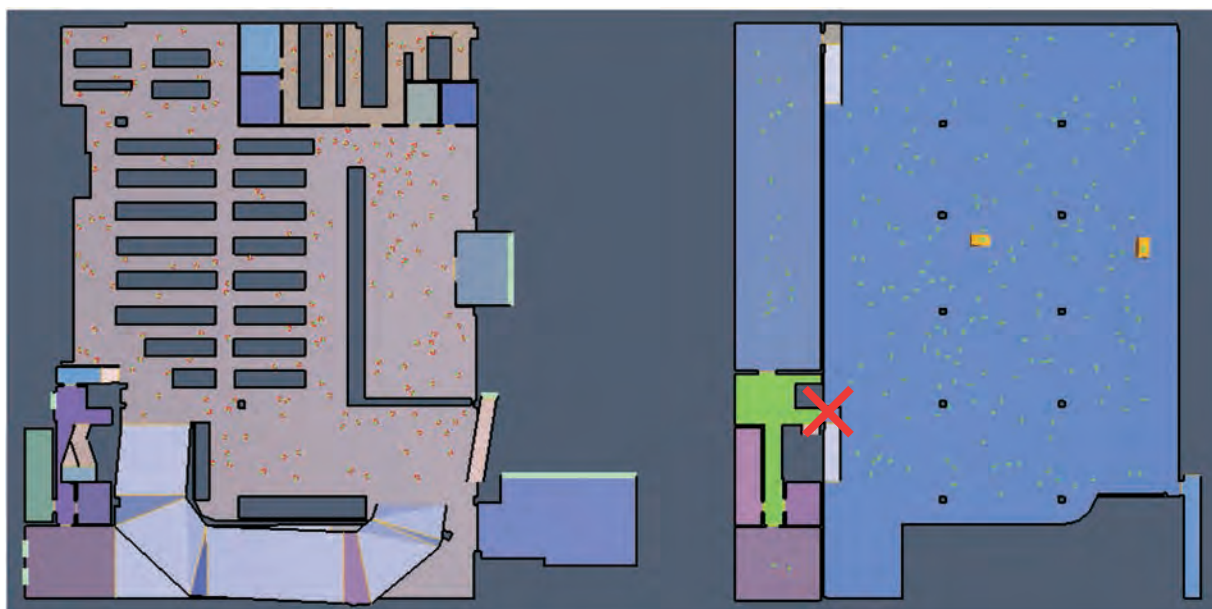
SCENARIO S1 - INDISPONIBILE LA VIA DI ESODO CHE ADDUCE AL PIEDE DEL VANO SCALA PROTETTO CHE CONSENTE DI ADDURRE ALL'ESTERNO DELL'EDIFICIO TRAMITE PERCORSO PROTETTO



SCENARIO S2 - INDISPONIBILE LA VIA DI ESODO IN PROSSIMITÀ DELLA ZONA DI CARICO/SCARICO



SCENARIO S3 - INDISPONIBILE LA VIA DI ESODO CHE ADDUCE ALLA SCALA ESTERNA



SCENARIO S4 - INDISPONIBILE LA VIA DI ESODO CHE ADDUCE AL VANO SCALA PROTETTO

Non è stata eseguita la modellazione dell'indisponibilità dell'uscita principale, in quanto la si considera sempre disponibile mediante prescrizioni specifiche individuate nel sistema di gestione della sicurezza antincendio.

I tempi precedentemente valutati sono stati inseriti nel modello come ritardi nell'attivazione al moto e il t_{pre} è stato configurato con distribuzione gaussiana random tra gli occupanti.

Sono stati quindi ottenuti dalla simulazione i seguenti valori di RSET per i quattro scenari analizzati:

- RSET₁ = 213 s
- RSET₂ = 248 s
- RSET₃ = 378 s
- RSET₄ = 289 s

Calcolo di ASET

La valutazione del tempo disponibile per l'esodo ASET sarà eseguita utilizzando il *metodo di calcolo avanzato per ASET*, secondo il par. M.3.3.1.

Per eseguire tale calcolo di ASET si prende a riferimento (vedi par. M.3.3.1.2) la norma ISO 13571, secondo la quale, come noto, il valore di ASET globale è definito come il più piccolo tra gli ASET calcolati secondo quattro modelli esaminati nella prima parte della presente pubblicazione:

- Modello dei *gas tossici*;
- Modello dei *gas irritanti*;
- Modello del *calore*;
- Modello dell'oscuramento della *visibilità* da fumo.

I risultati delle simulazioni relative ai quattro scenari d'incendio considerati restituiscono, per ciascun di essi, le visualizzazioni grafiche (ricavate mediante il visualizzatore *Smokeview* di FDS) e le rispettive scale dei valori dei seguenti parametri:

- Propagazione dei fumi
- Temperatura
- Visibilità
- Irraggiamento
- FED e FEC

Come riportato nella tabella seguente, ogni parametro significativo di inabilità in fase di esodo è stato rilevato con sonde virtuali posizionate all'altezza da terra prescritta nei metodi di cui al cap. M.3.3:

Parametro	Altezza (m)	Valore soglia occupanti
Visibilità	1,80	≥ 10 m
Temperatura	1,80	≤ 60 °C
Gas tossici	1,80	0,10 mol/mol
Irraggiamento	1,80	$\leq 2,5$ kW/m ²

Le visualizzazioni grafiche, ottenute in diverse fasi temporali, sono state realizzate collocando, per ciascun parametro, un piano di scansione orizzontale in corrispondenza della rispettiva altezza critica; la scala cromatica fornisce l'evidenza della misura del parametro al di sotto del valore di soglia.

Nelle immagini seguenti vengono mostrati, a scopo illustrativo, alcuni dei risultati ottenuti, relativi allo studio del parametro visibilità.

Sono state omesse, in questa sede, le verifiche relative alla temperatura, alla tossicità dei fumi ed all'irraggiamento in quanto i valori risultanti sono ininfluenti.

Critério di ASET > RSET

Dagli esiti ottenuti si dimostra che, per gli scenari più critici, risulta in ogni caso:

$$\begin{aligned} \text{ASET}_1 &> 1,10 \text{ RSET}_1 = 1,10 \cdot 213 \text{ s} = 235 \text{ s} \\ \text{ASET}_2 &> 1,10 \text{ RSET}_1 = 1,10 \cdot 248 \text{ s} = 273 \text{ s} \\ \text{ASET}_3 &> 1,10 \text{ RSET}_1 = 1,10 \cdot 378 \text{ s} = 416 \text{ s} \\ \text{ASET}_4 &> 1,10 \text{ RSET}_1 = 1,10 \cdot 289 \text{ s} = 312 \text{ s} \end{aligned}$$

Esodo in presenza di occupanti con disabilità

Al piano primo dell'attività vi può essere presenza non occasionale di occupanti che non abbiano sufficienti abilità per raggiungere *autonomamente* un luogo sicuro tramite vie di esodo verticali; essi, infatti, in condizioni ordinarie (fuori dall'emergenza) accedono al piano primo, tramite l'ascensore interno.

Pertanto, come anticipato in precedenza, è previsto uno spazio calmo secondo le indicazioni di cui al par. S.4.9.1:

Spazio calmo

Le dimensioni dello spazio calmo sono tali da poter ospitare tutti gli occupanti con disabilità del piano nel rispetto delle superfici lorde minime di cui alla tab. S.4-14.

Nello specifico, lo spazio calmo è ricavato all'interno del vano scala protetto, avente caratteristiche REI 60 ed elementi di chiusura E60-Sa.

Trattandosi di scala protetta, gli occupanti vi possono accedere tramite percorsi orizzontali e/o rampe di pendenza < 8% e stazionarvi in condizioni di "zero exposure".

Nello spazio calmo è presente:

- a. un sistema di comunicazione bidirezionale per permettere agli occupanti di segnalare la loro presenza e richiedere assistenza, collegato ad un servizio di call-center dedicato operativo H 24, 7 gg. su 7;
- b. indicazioni sui comportamenti da tenere in attesa dell'arrivo dell'assistenza.

Lo spazio calmo è contrassegnato da un cartello UNI EN ISO 7010 - E024; nel caso specifico non si ritiene necessario prevedere ausili per l'evacuazione particolari.

In accordo con la tab. S.4-14, di seguito riportata, la superficie dello spazio calmo, previsto in prossimità del pianerottolo della scala esterna, essendo pari a 26,50 m², potrà pertanto ospitare un numero congruo di occupanti con impedite o ridotte capacità motorie, anche se non di tipo permanente.

Tipologia	Superficie netta minima per occupante
Occupante deambulante	0,70 m ² /persona
Occupante non deambulante	2,25 m ² /persona
Le superfici lorde devono includere gli spazi di manovra necessari per l'utilizzo di eventuali ausili per il movimento (es. letto, sedia a ruote, ...).	

TAB. S.4-14: SUPERFICIE MINIMA PER OCCUPANTE

Verifica condizioni di zero exposure

All'interno delle simulazioni d'incendio, sono state predisposte sonde anche all'interno dello spazio calmo al fine di dimostrare analiticamente le condizioni di "zero exposure" necessarie per poter attendere i soccorsi in sicurezza.

La visibilità è valutabile nelle relative slice di ciascuno scenario, così come le altre grandezze quali temperature, irraggiamento e FED.

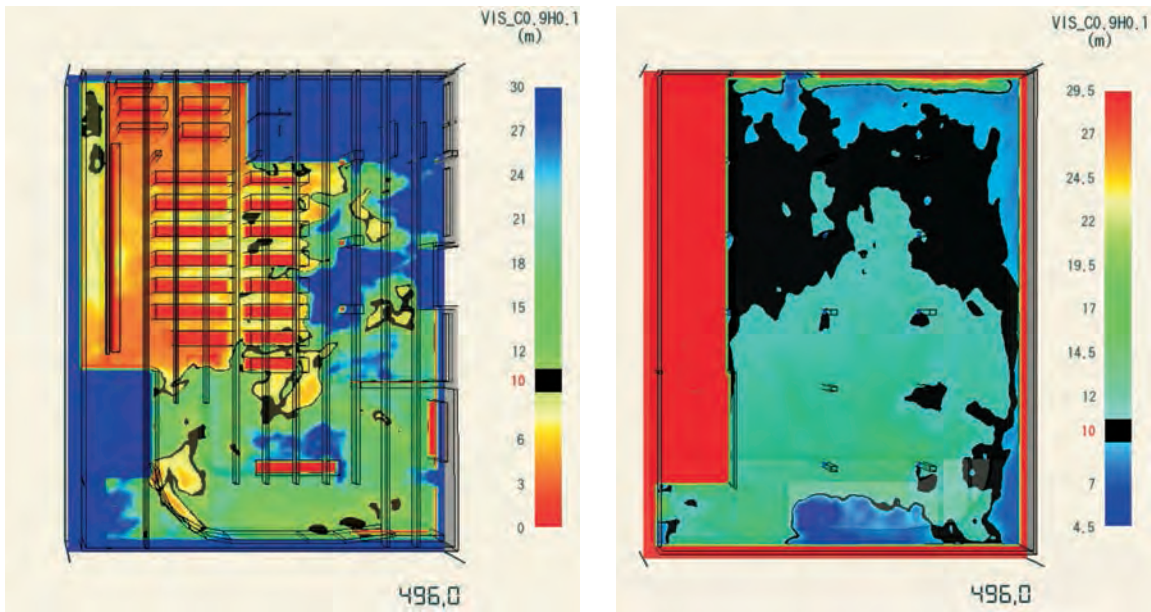
Selezione delle soluzioni progettuali idonee

Grazie alle verifiche positive ottenute, la soluzione progettuale ipotizzata è idonea al raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza prefissato.

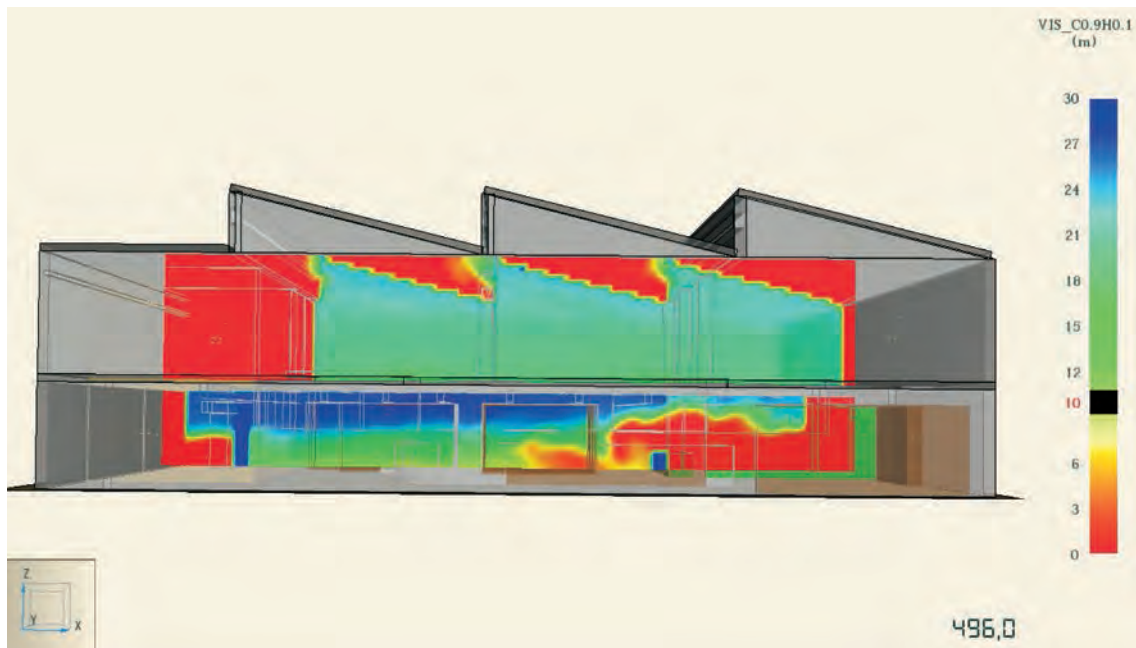
Si è pertanto dimostrato che, nei due piani dell'attività oggetto dello studio, lo sviluppo e la propagazione dei fumi in caso d'incendio non compromette le condizioni di permanenza e transito degli occupanti in fase di esodo grazie alla geometria dei locali ed alle superfici di smaltimento fumo naturale asservite da IRAI così progettate e localizzate.

Come ogni progettazione ingegneristica, tutto ciò dovrà essere mantenuto efficace ed efficiente grazie ad attenti controlli periodici ed una costante formazione ed informazione dei lavoratori e degli occupanti in genere. La gestione della problematica sarà risolta all'interno della predisposizione della misura S.5 "Gestione della sicurezza antincendio".

Slice file relative al parametro visibilità - Scenario S1

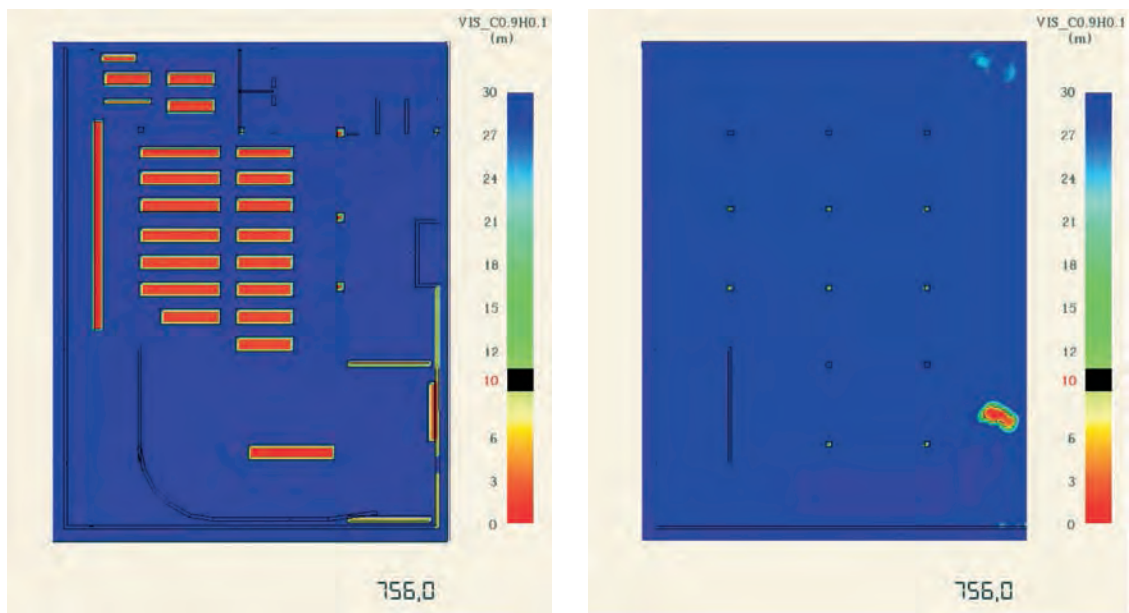


SEZIONI ORIZZONTALI (P.T. E P.P.) CON RAPPRESENTAZIONE DELLA VISIBILITÀ A 496 S DALL'INNESCO

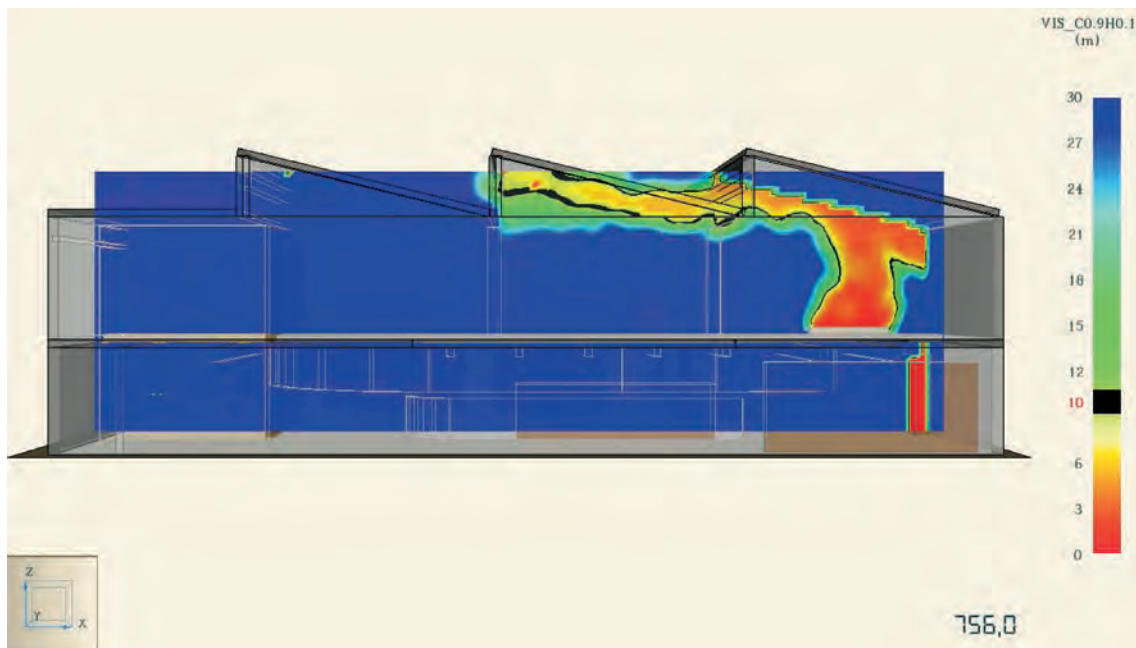


SEZIONE VERTICALE CON RAPPRESENTAZIONE DELLA VISIBILITÀ A 496 S DALL'INNESCO

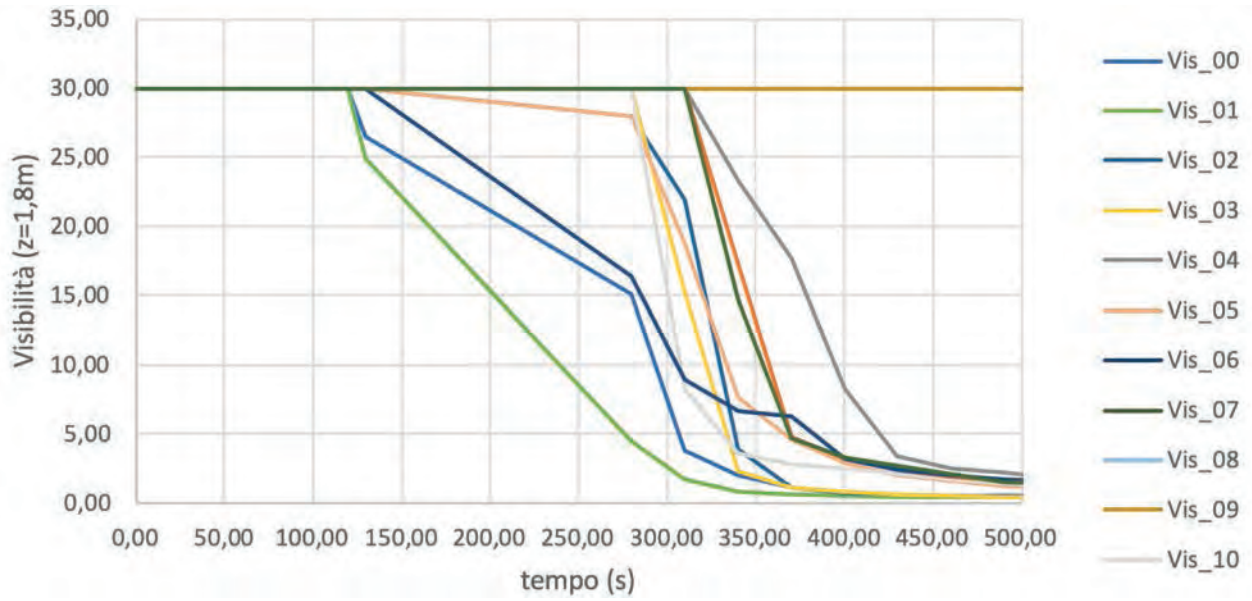
Slice file relative al parametro visibilità - Scenario S3



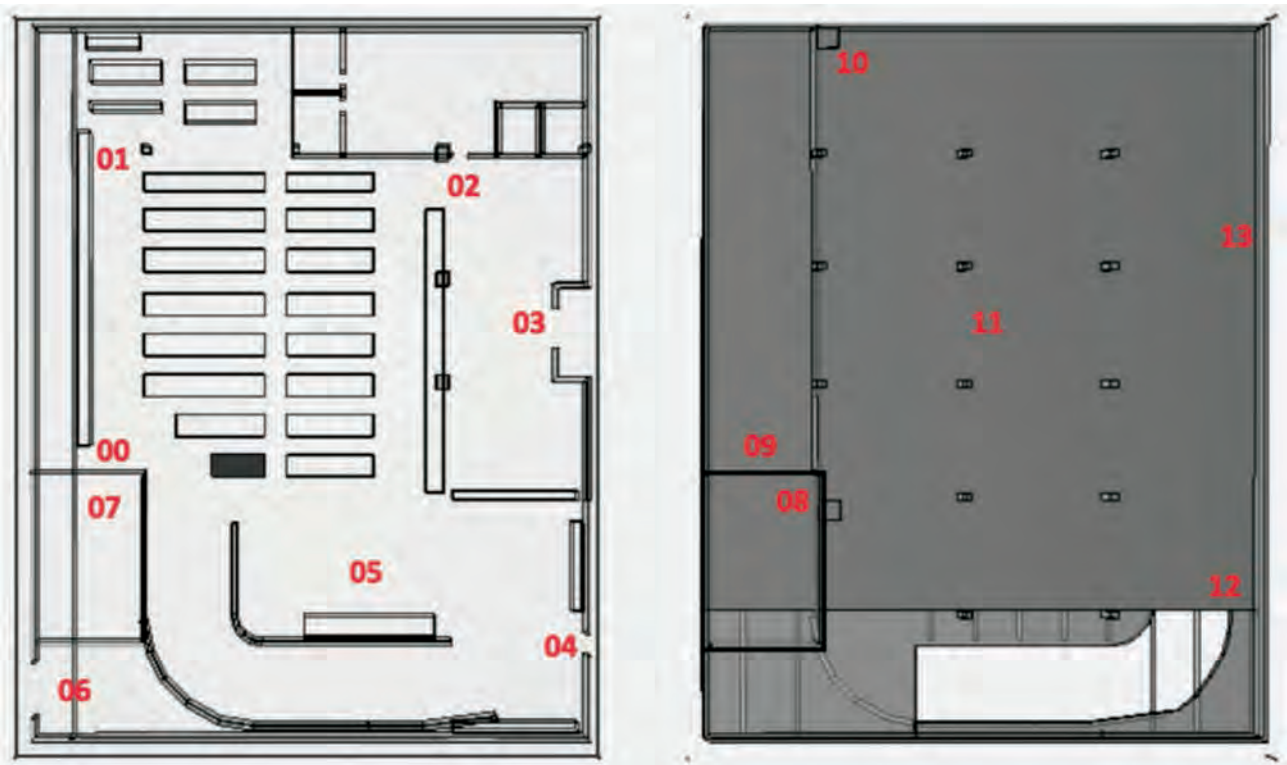
SEZIONI ORIZZONTALI (P.T. E P.P.) CON RAPPRESENTAZIONE DELLA VISIBILITÀ A 756 S DALL'INNESCO



SEZIONE VERTICALE CON RAPPRESENTAZIONE DELLA VISIBILITÀ A 756 S DALL'INNESCO



CURVE DELLA VISIBILITÀ PER LE SONDE UTILIZZATE NELLO SCENARIO S1 A QUOTA Z = 1.80 M



DISPOSIZIONE DELLE SONDE NELL'ATTIVITÀ - PIANO TERRA E PIANO PRIMO

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata dimostrata la *soluzione alternativa*, con riferimento alla progettazione della misura S.4 Esodo, in riferimento ad un'attività commerciale, essendo stato evidenziato, in *soluzione conforme*, che per il piano primo, non viene rispettata la larghezza minima della via di esodo verticale di 1200 mm.

Volendo evitare di innalzare notevolmente i costi di adeguamento, modificando la scala protetta esistente o creandone una nuova esterna, si è ricorso ad una *soluzione alternativa* per il livello di prestazione I della misura S.4.

Si è ricorso quindi al criterio $ASET > RSET$, previsto al par. M.3.2.2, per dimostrare che è assicurata agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza o stazionare all'interno di uno spazio calmo in attesa dei soccorritori.

La *soluzione alternativa* ha dimostrato che la larghezza ridotta della scala protetta, può essere comunque adeguatamente controbilanciata dalle condizioni geometriche dell'edificio, dalla posizione e dalla dimensione delle aperture di smaltimento e dalle misure gestionali.

Si è proceduto al calcolo del tempo di RSET (utilizzando il metodo fluidodinamico avanzato) in relazione ai quattro scenari di esodo differenti, ritenuti i più critici.

Si è passati quindi al calcolo del tempo ASET (utilizzando il *metodo di calcolo avanzato per ASET*, secondo il par. M.3.3.1) in relazione a quattro scenari d'incendio differenti, ritenuti i più critici, ed in tutte le ipotesi, è risultato che il margine di sicurezza della progettazione prestazione per la salvaguardia della vita di cui al par. M.3.2.2.3 risulta soddisfatto.

❖ *Commento dei risultati*

Come rilevabile dai risultati delle analisi condotte per gli scenari critici d'incendio, tutti i parametri analizzati si mantengono al di sotto della rispettiva soglia critica per tutta la durata prevista per l'indagine.

È stato possibile pertanto dimostrare che, per tutti gli scenari critici individuati, il tempo disponibile per l'esodo in caso d'incendio (ASET) risulta sempre maggiore del tempo che sarebbe necessario a qualsiasi occupante dell'attività commerciale per raggiungere un luogo sicuro (RSET) in caso d'incendio, anche tenendo conto del margine di sicurezza del 10%, in alcuni casi esteso sino al 100%.

In conclusione, si è dimostrato che, nell'attività commerciale oggetto dello studio, lo sviluppo e la propagazione dei fumi e dei prodotti della combustione in genere in caso d'incendio non compromette l'esodo degli occupanti verso luogo sicuro, e la protezione sul posto di quelli che non possono abbandonare autonomamente tramite percorsi verticali, validando e garantendo a tutti gli effetti una progettazione antincendio di tipo inclusivo, totalmente allineata con i principi cardine del Codice.

❖ *Eventuali sviluppi ulteriori*

La ricerca della flessibilità progettuale del Codice è proprio rivolta agli interventi di recupero edilizio dei fabbricati esistenti, soprattutto nelle grandi città, dove zone un tempo considerate periferiche e destinate ad edifici industriali oggi sono assorbite dal tessuto cittadino vero e proprio.

In questo caso le "scatole" esistenti mal si prestano ad essere progettate con le regole tecniche prescrittive, per la presenza di una moltitudine di vincoli strutturali: è in questo caso che il Codice rappresenta lo strumento di progettazione della sicurezza antincendio più appropriato.

Caso studio 4: soluzione alternativa per il livello di prestazione I misura S.4 - ufficio

Descrizione

Nel presente caso di studio ci si occupa di un ufficio, avente dimensioni in pianta di 9,40 m x 62,00 m, inserito in un edificio, risalente agli anni 50, con 6 piani fuori terra di altezza antincendio pari a 23,70 m, con l'ultimo piano adibito esclusivamente a locali tecnici e di servizio.

Ciascun piano dell'edificio è individuato come un compartimento a sé stante, gli stessi sono collegati attraverso una scala a prova di fumo che conduce ad un luogo sicuro identificato come pubblica via.

Si illustra, di seguito, la metodologia per la verifica della misura S.4 (Esodo) con un approccio di tipo prestazionale, ovvero utilizzando la *soluzione alternativa* secondo quanto indicato nel par. S.4.4.3, utilizzando gli scenari d'incendio indicati nella sezione M.

La scelta della *soluzione alternativa* è determinata dal fatto che non è possibile rispettare il numero minimo di vie di esodo ed uscite indipendenti, come previsto al par. S.4.8.1; infatti, nel caso in esame, essendo l'attività adibita ad uffici con un numero di lavoratori pari a 312, la *soluzione conforme* (tab. S.4-8) prevede un numero minimo di uscite indipendenti pari a 2.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni geometriche del compartimento tipo dell'ufficio	Vedi planimetria (A = 580 m ²)
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in muratura

PIANO QUARTO

PIANO TERRA

Schema planimetrico dei piani tipo dell'ufficio (OA/HB)²¹

L'affollamento ai piani dell'ufficio è il seguente:

PT	P1	P2	P3	P4
65	64	80	55	48

²¹ Classificazione ai sensi della RTV Uffici d.m.i. 8 giugno 2016.

Compartimenti antincendio	L'ufficio è composto da 5 compartimenti antincendio (uno per piano)
Numero occupanti	312 (è prevista la presenza di persone con disabilità solo al piano terra)
Profilo di rischio R_{vita}	A2 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R_{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello I di prestazione (par. S.1.3 e par. S.1.4.1)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.2.3 e par. S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.1)
Esodo	Livello di prestazione equivalente al I (par. S.4.3 e par. S.4.4.3)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.2) Rete di idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello III di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (par. S.8.3 e par. S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)

Obiettivi dello studio

Il presente studio è rivolto all'utilizzo dei metodi dell'ingegneria della sicurezza, al fine della verifica, attraverso la dimostrazione di una *soluzione alternativa*, del corretto esodo degli occupanti anche in presenza di una sola uscita di sicurezza.

In particolare, per la modellazione fluidodinamica, è stato utilizzato il motore di calcolo FDS (vers. 6.6.0).

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

Nello specifico, nella definizione delle condizioni rappresentative degli scenari d'incendio, sono state prese in considerazione specificamente:

- le attività delle persone presenti;
- il numero e la posizione delle persone presenti;
- le caratteristiche geometriche dei locali;
- la tipologia e la quantità di mobili, rivestimenti e materiale contenuto nei locali;
- le proprietà dei combustibili presenti e le fonti di innesco;
- le condizioni di ventilazione.

Nel caso in esame sono stati considerati vari scenari d'incendio credibili, poi ricondotti ad un unico scenario di progetto, considerata la simmetria dei piani dell'edificio, la conformazione degli stessi, la suddivisione in compartimenti separati, la conoscenza dei luoghi dei lavoratori coinvolti.

Come focolare è stato ipotizzato un oggetto posto alla fine del corridoio di esodo, nelle immediate vicinanze del vano di ingresso alla scala.

Le caratteristiche del focolare sono state ricavate dal Prospetto E.5 della norma UNI EN 1991-1-2 (Eurocodice 1) - Azioni sulle strutture Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco:

prospetto E.5 Velocità di crescita dell'incendio e RHR_1 per differenti destinazioni d'uso

Destinazione d'uso	Velocità di crescita dell'incendio	Velocità massima di rilascio di calore RHR_1	
		t_0 [s]	RHR_1 [kW/m ²]
Alloggio	Media	300	250
Ospedale (stanza)	Media	300	250
Albergo (stanza)	Media	300	250
Biblioteca	Veloce	150	500
Ufficio	Media	300	250
Classe di una scuola	Media	300	250
Centro commerciale	Veloce	150	250
Teatro (cinema)	Veloce	150	500
Trasporti (spazio pubblico)	Lenta	600	250

PROSPETTO E.5 DELLA NORMA UNI EN 1991-1-2

Si segnala che la velocità di crescita dell'incendio, per un'attività di tipo ufficio, è individuata come di tipo media, con picco di potenza termica pari a 250 kW/m² trascorsi 300 s.

Tale valore risulta in linea con le indicazioni riportate nel par. G.3.2, in particolare nella tab. G.3-3:

Attività soggetta [1]	δ_α
66.1.A, 67.1.A, 68.1.A, 68.2.A, 69.1.A, 71.1.A , 75.1.A, 77.1.A	2
41.1.A	3

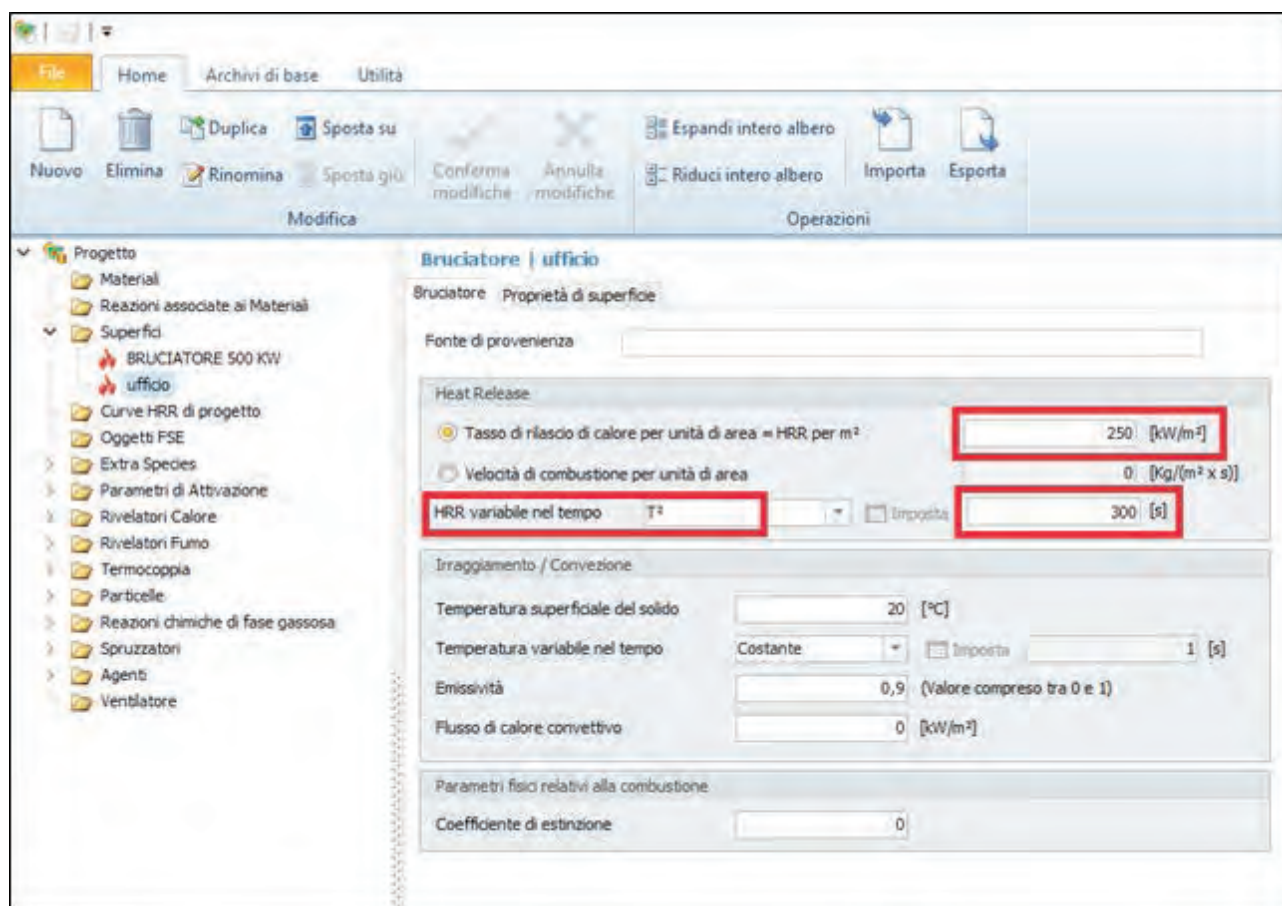
[1] Riferimento all'allegato III del d.m. 7 agosto 2012 (codice attività, sottoclasse, categoria)

TAB. G.3-3: VELOCITÀ CARATTERISTICA PREVALENTE DI CRESCITA DELL'INCENDIO

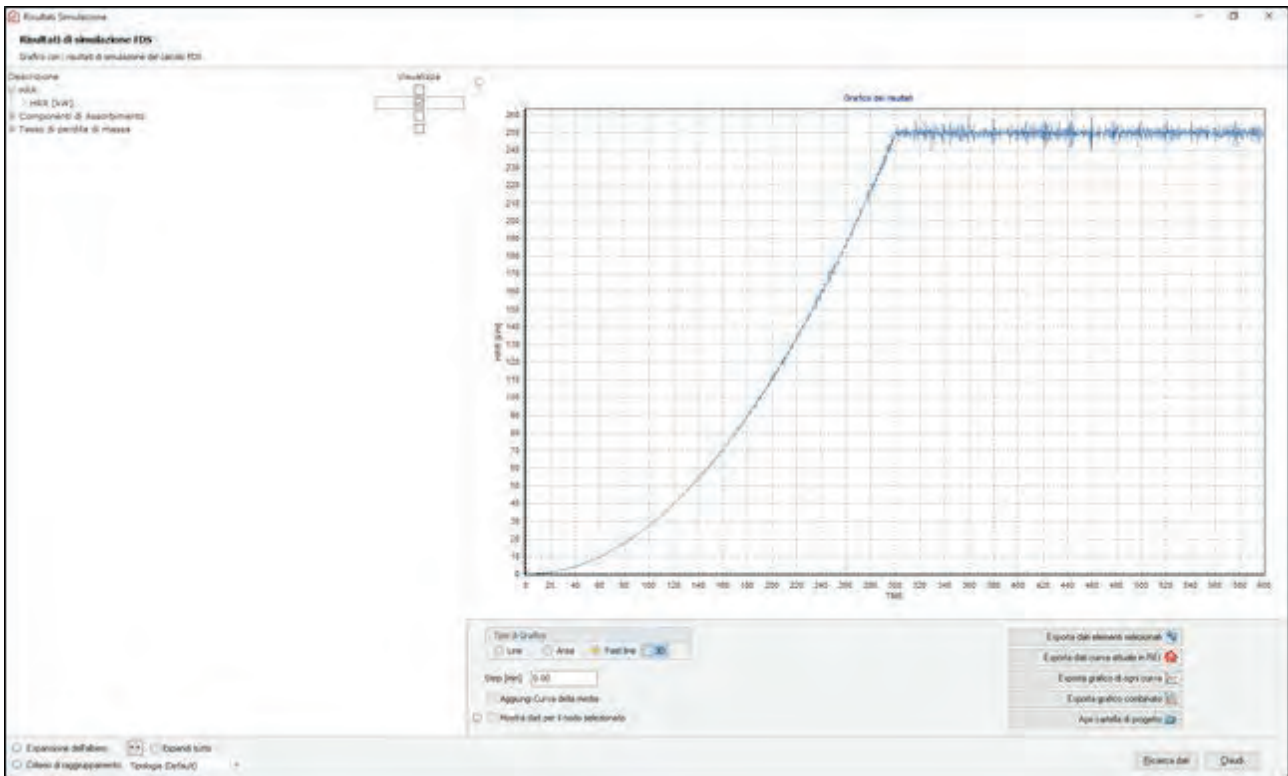
Pertanto, nell'ipotesi di sviluppo dello scenario al piano terra, si è adottato un focolare tipo, associato ad un blocco pari a circa 2 m² posto nella stanza adibita a magazzino, vicina alla porta di accesso alla scala, rappresentante la potenza termica secondo le indicazioni del precedente Prospetto E.5.

Definizione dello scenario d'incendio di progetto

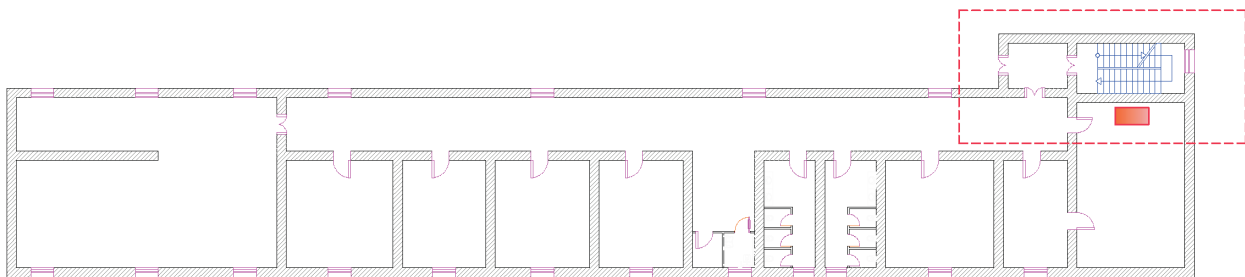
Per la definizione dello scenario d'incendio è stato utilizzato il software CPI win® FSE sviluppato da Namirial S.p.A., che altro non è che un pre e post processore nei confronti del motore di calcolo FDS.



DEFINIZIONE DELLA CURVA HRR



VISUALIZZAZIONE DEL DIAGRAMMA DELLA CURVA HRR



PIANO TERRA

POSIZIONAMENTO DEL FOCOLARE

Calcolo di RSET

Metodo ISO/TR 16738

Per verificare il raggiungimento del livello di prestazione per la misura S.4 è stato calcolato il valore di RSET, in prima battuta, sulla base del rapporto tecnico ISO/TR 16738, secondo le indicazioni del cap. M.3, in particolare del par. M.3.3.

Esso, come noto, è determinato da varie componenti, quali il tempo di rivelazione t_{det} , il tempo di allarme generale t_a , il tempo di pre-movimento t_{pre} e il tempo di movimento t_{tra} :

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$$

- Il tempo di rivelazione, così come indicato al par. M.3.4.1, è stato individuato attraverso una modellazione numerica dello scenario ipotizzato con l'indicazione del sistema di rivelazione presente. Nel caso in esame, il primo rivelatore di fumo, indicato con la sigla R. Fumo 002, si attiva a 55 s, il secondo rivelatore di fumo, indicato con la sigla R. Fumo 001, si attiva a 70 s e, pertanto, il tempo di rivelazione è stato posto pari a 70 s.

- Il tempo di allarme generale, così come indicato al par. M.3.4.2, è stato posto pari a zero, in quanto la rivelazione dell'incendio attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio.
- Per la definizione del tempo di pre-movimento, così come indicato al par. M.3.4.3, si è fatto riferimento alle valutazioni tratte dal rapporto tecnico ISO/TR 16738, in particolare utilizzando i valori della tab. M.3-1, esso è stato quindi posto pari a 90 s.
- Il tempo di movimento, così come indicato al par. M.3.4.4, è stato individuato tenendo conto della massima distanza che gli occupanti debbono compiere per raggiungere l'uscita su logo sicuro. Tale tempo di movimento, pertanto, sarà costituito:

- ✓ per gli occupanti del piano terra da:

$$t_{tra} = L_{es} / v = 45 \text{ m} / 0,50 \text{ m/s} = 90 \text{ s}$$

dove:

- L_{es} è la lunghezza massima del corridoio da percorrere, pari a circa 45 m,
 - v è la velocità di esodo posta pari a 0,50 m/s.
- ✓ per gli occupanti dei piani superiori il tempo di movimento sarà il medesimo, in quanto la scala a prova di fumo costituisce luogo sicuro temporaneo e, pertanto, il tempo necessario per percorrerla, non influenza il valore di RSET²².

In definitiva, il valore di RSET calcolato risulta essere quindi pari a:

$$RSET = 70 + 0 + 90 + 90 = 250 \text{ s}$$

Il valore di RSET utilizzato per le verifiche si pone, in favore di sicurezza introducendo un congruo margine di sicurezza, in considerazione delle possibili code in corrispondenza dell'uscita di piano, pari a 300 s.

Modello agent based

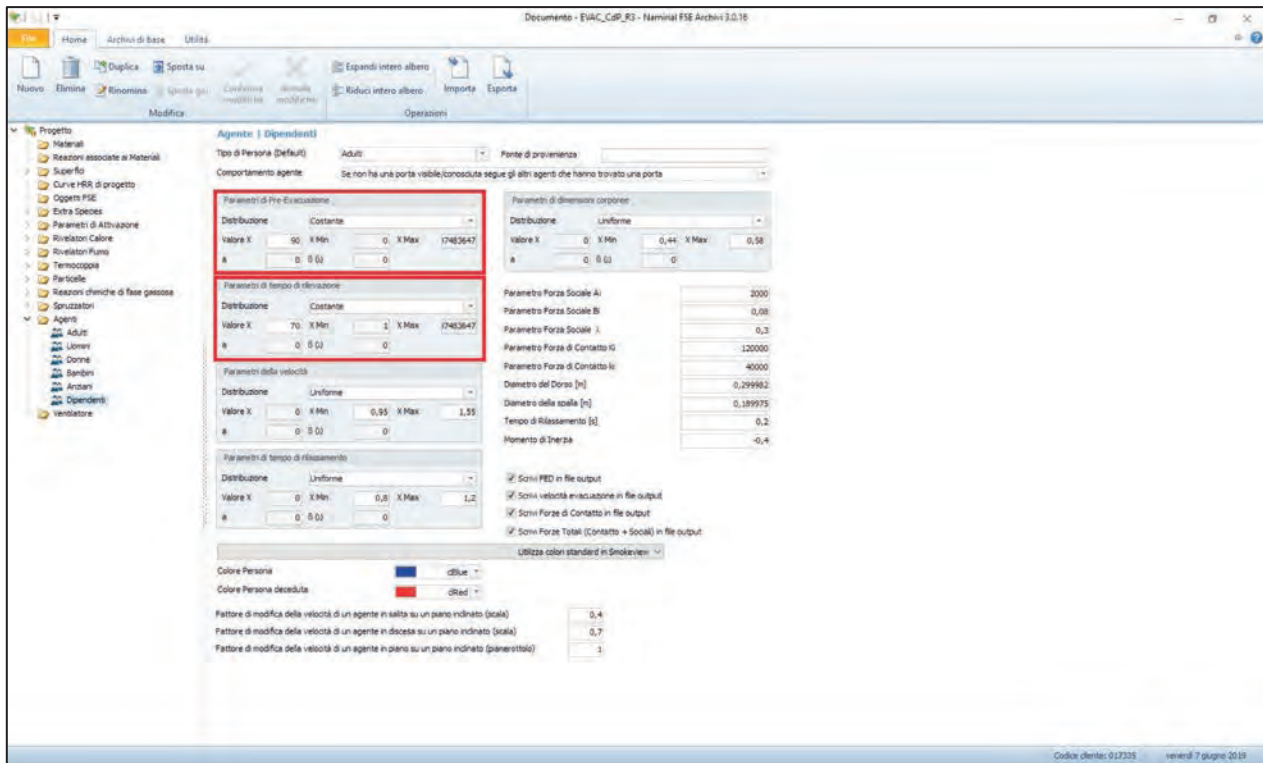
La determinazione di RSET è stata quindi eseguita anche utilizzando il modulo EVAC del software CPI win@ FSE, ovvero un modello di calcolo *agent based* che consente di calcolare il tempo di movimento impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro, tenendo conto della distanza degli occupanti, o gruppi di essi, dalle vie di esodo e della portata delle medesime, dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli ed eventuali ostacoli presenti, della velocità dell'esodo (influenzata dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente costruito).

Dall'analisi dei risultati ottenuti dal calcolo fluidodinamico, che tiene conto dell'incendio e del movimento delle persone all'interno dell'attività, si ricava il tempo che impiegano le persone per completare l'esodo.

In particolare, è stato creato un modello di agente, identificato con la sigla Dipendenti, con associati i valori del tempo di rivelazione e del tempo di pre-movimento definiti nel calcolo di RSET eseguito con il Metodo ISO/TR 16738.

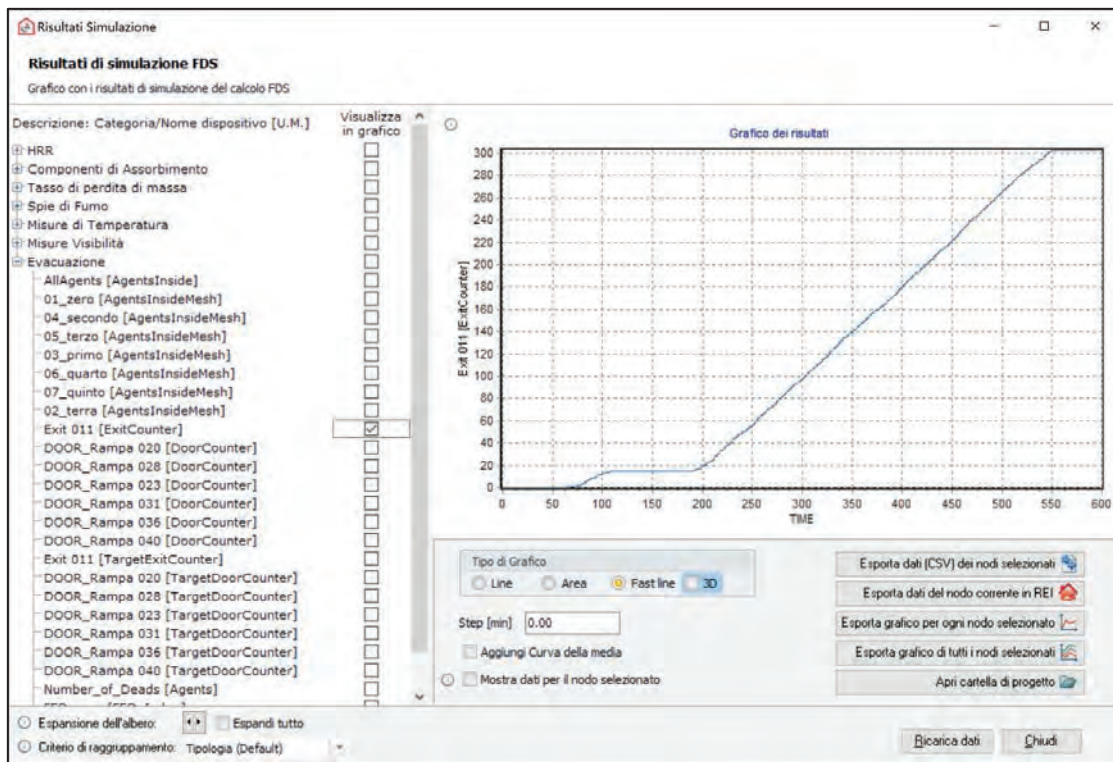
²² A differenza della situazione esaminata nel caso studio 2, considerata la presenza del filtro antistante la scala, si ritiene di omettere, nel computo di RSET, il tempo di coda $t_{tra(coda)}$, ritenendo accettabile l'ipotesi che il fumo generato dal focolare posto nel compartimento di primo innesco non possa invadere il vano scala.

Tale ipotesi è peraltro suffragata dalla previsione contenuta nella futura versione del Codice che, in soluzione conforme, prevede la possibilità di omettere dalla verifica della lunghezza d'esodo le vie d'esodo verticali con caratteristiche di filtro e le vie di esodo esterne, ritenendo improbabile che vi si inneschi un incendio.

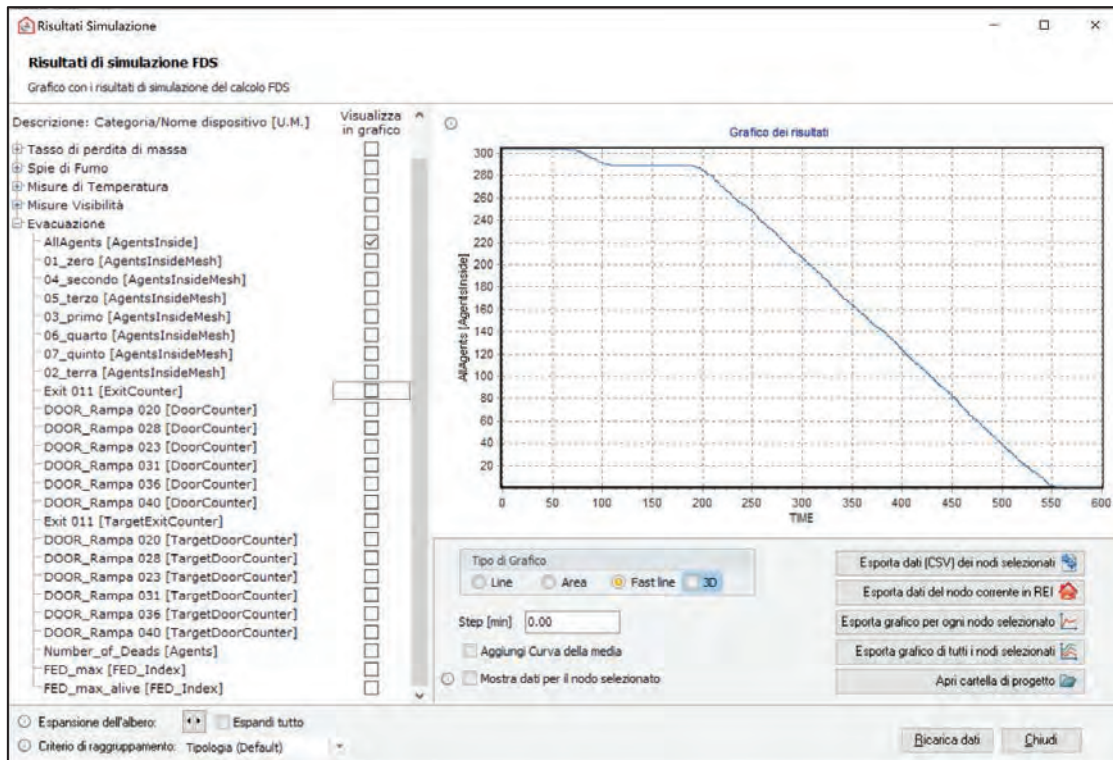


DEFINIZIONE DEGLI AGENTI CHE SIMULANO IL COMPORTAMENTO DELLE PERSONE PRESENTI ALL'INTERNO DELL'UFFICIO

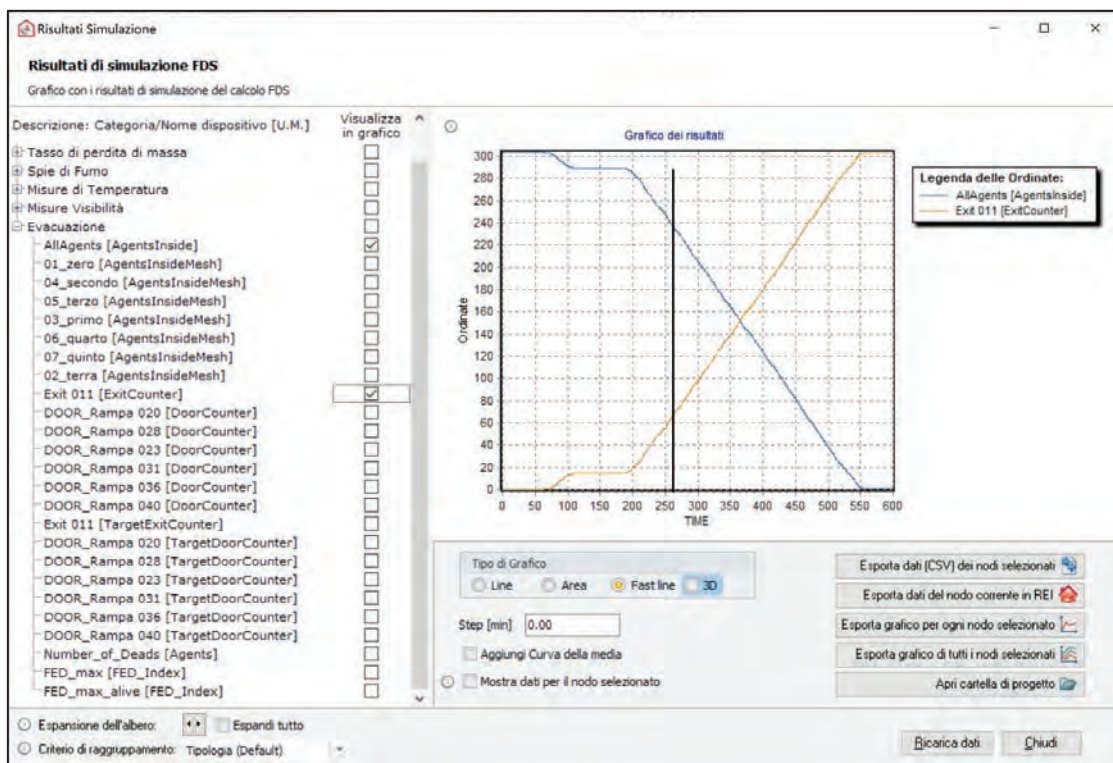
L'immagine seguente mostra l'andamento degli agenti che raggiungono il luogo sicuro; l'esodo totale degli occupanti dei piani superiori avviene trascorsi circa 550 s dall'inizio dell'incendio:



L'immagine seguente, speculare alla precedente, mostra il decremento del numero di agenti man mano che attraversano l'uscita di sicurezza e, quindi, raggiungono il luogo sicuro:



Nell'immagine seguente, che riunisce i due grafici precedenti, si nota come al tempo di 269 s, i 65 agenti del piano di riferimento sono entrati nel vano protetto (curva inferiore gialla) mentre il numero totale di agenti presenti all'interno del dominio di calcolo è diminuito di 65 unità (curva superiore blu):



I dati sono tratti dal listato dei risultati del motore di calcolo FDS+EVAC (file .out), che per brevità si omette, il quale mostra l'andamento degli agenti del compartimento di primo innesco durante la fase di esodo.

Il primo agente, avente codice 49, raggiunge l'uscita di sicurezza dopo 189 s, l'ultimo agente, avente codice 41, dopo 279 s; l'ingresso nel vano protetto avviene, rispettivamente, dopo 183 s e 269 s.

Calcolo di ASET

Per la determinazione di ASET, secondo le indicazioni di cui al par. M.3.3.2 e utilizzando le indicazioni del rapporto tecnico ISO/TR 16738, si è optato per l'applicazione dell'ipotesi semplificativa della esposizione zero (*zero exposure*).

Pertanto, sono state impiegate le seguenti soglie di prestazione, notoriamente, molto conservative:

- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m, al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata;
- temperatura media dello strato di fumi caldi non superiore a 200°C.

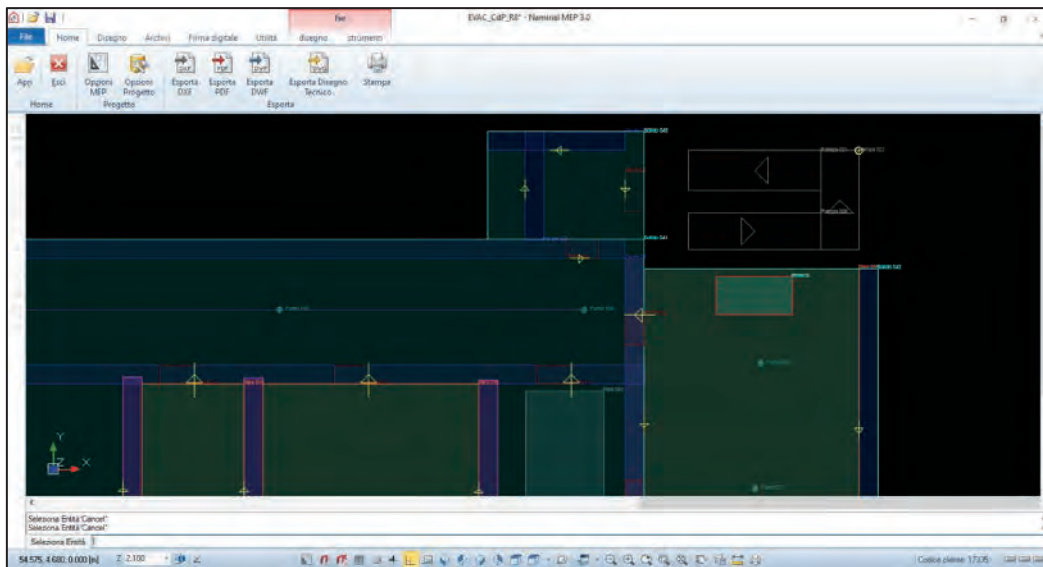
Tali criteri permettono agli occupanti la fuga in aria indisturbata, non inquinata dai prodotti della combustione, ed un valore dell'irraggiamento dai fumi cui sono esposti inferiore a 2,5 kW/m².

In tal caso, risultano automaticamente soddisfatti tutti i modelli di cui al par. M.3.3.1 e l'analisi è notevolmente semplificata, in quanto non occorre eseguire calcoli di esposizione degli occupanti ad agenti tossici, irritanti, a calore ed oscuramento della visibilità.

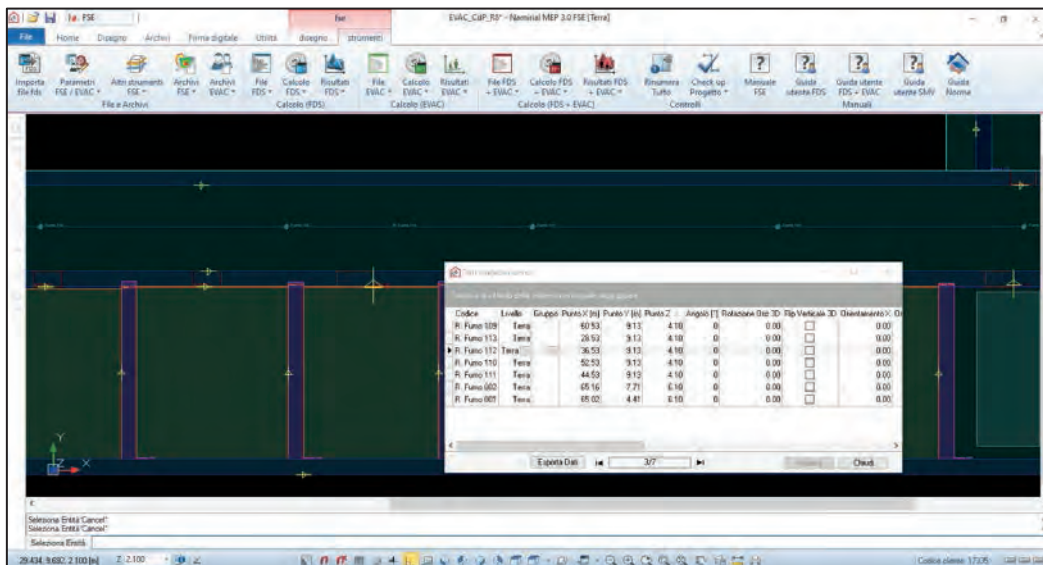
Per la determinazione dei valori di ASET sono state quindi impiegate delle sonde virtuali che leggono i valori, lungo la via di esodo, della temperatura, con sonde virtuali poste a quota 3,60 dal pavimento (h interpiano 4,10 m), dell'altezza libera da fumo e dell'andamento della visibilità.

Le varie sonde sono state posizionate, ad intervalli di 8 m, lungo il corridoio di esodo.

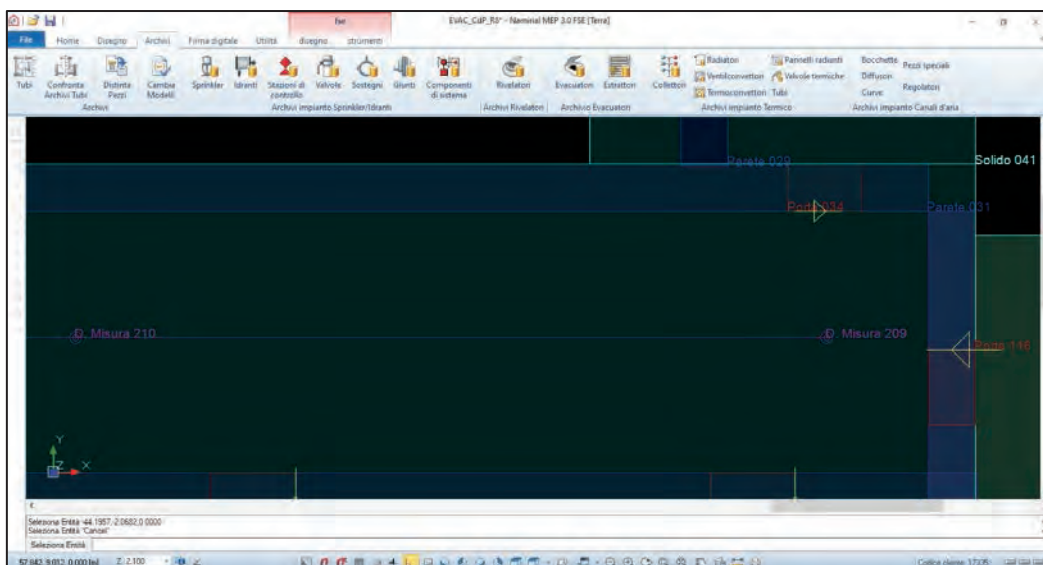
La posizione delle varie sonde virtuali è la seguente:



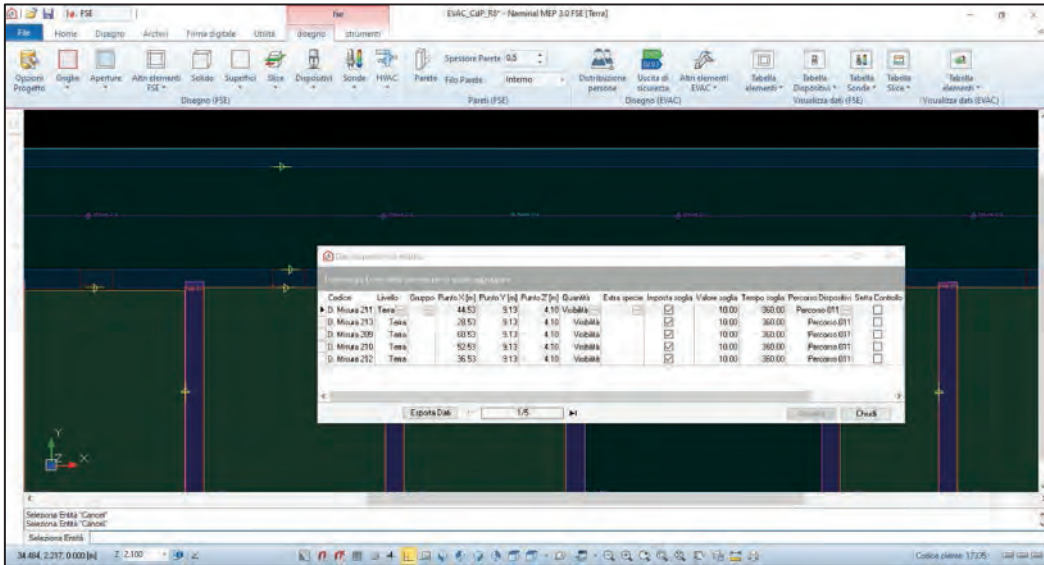
SONDE VIRTUALI PER LA LETTURA DELL'ALTEZZA LIBERA DA FUMO - AREA FILTRO CHE CONDUCE ALLA SCALA



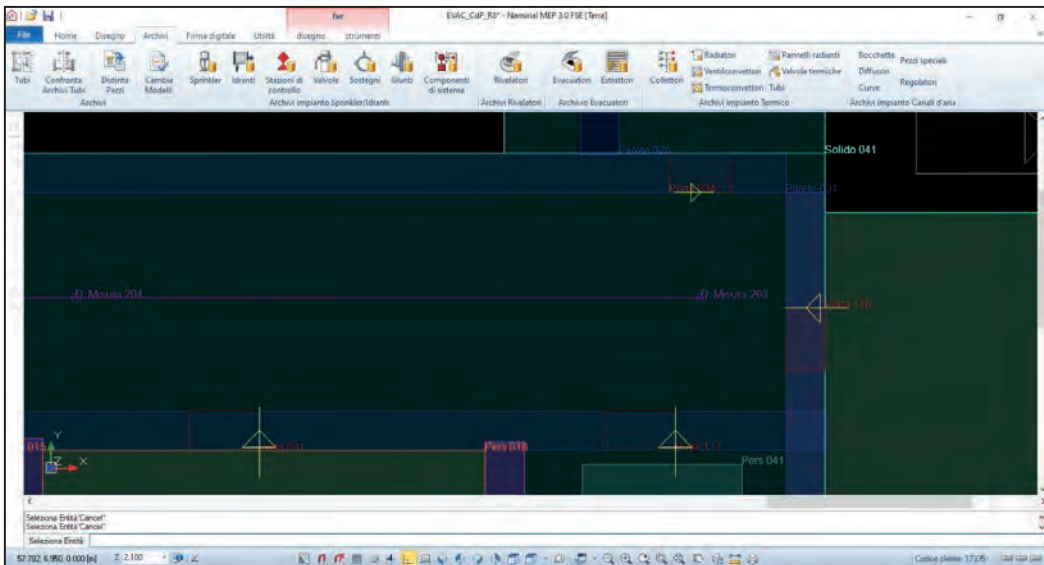
SONDE VIRTUALI PER LA LETTURA DELL'ALTEZZA LIBERA DA FUMO - CORRIDOIO DI ESODO



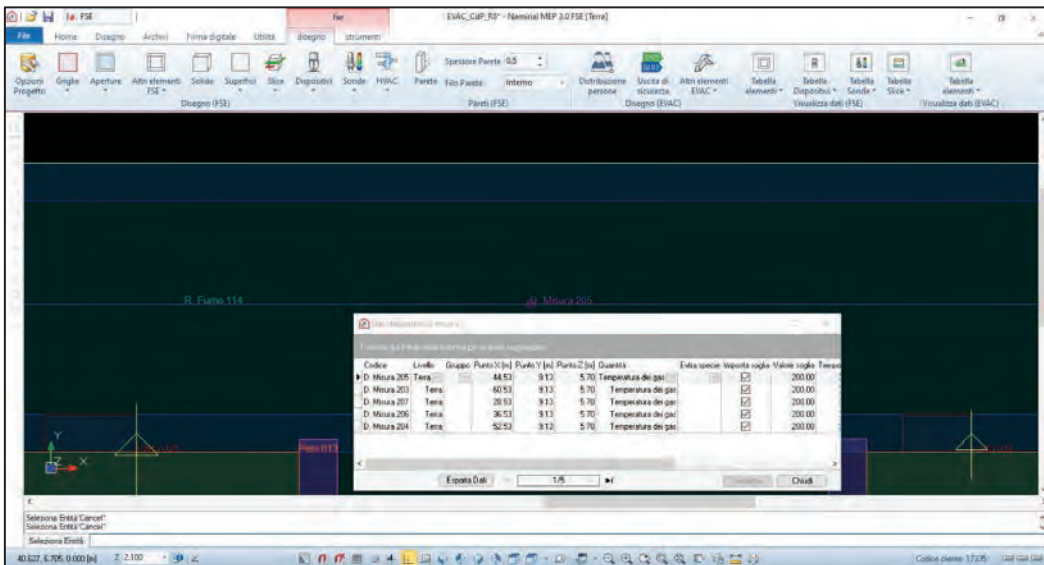
SONDE VIRTUALI PER LA LETTURA DELLA VISIBILITÀ - AREA FILTRO CHE CONDUCE ALLA SCALA



SONDE VIRTUALI PER LA LETTURA DELLA VISIBILITÀ - CORRIDOIO DI ESODO

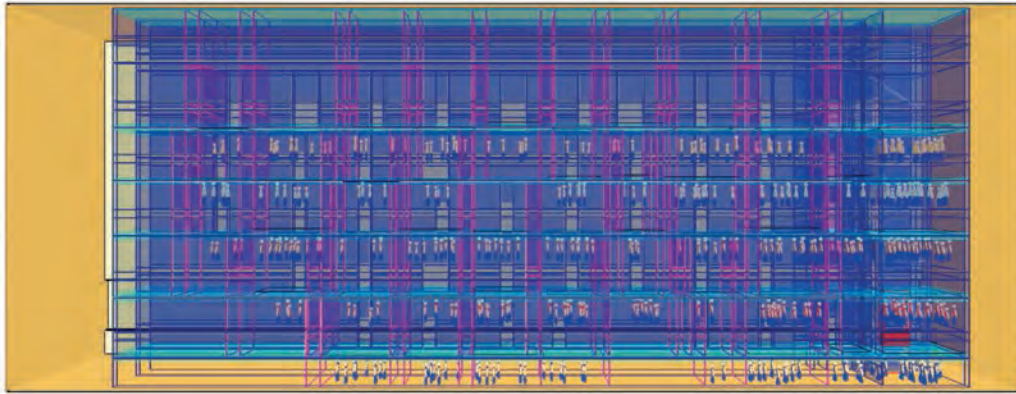


SONDE VIRTUALI PER LA LETTURA DELLA TEMPERATURA A 50 CM DAL SOFFITTO - AREA FILTRO CHE CONDUCE ALLA SCALA



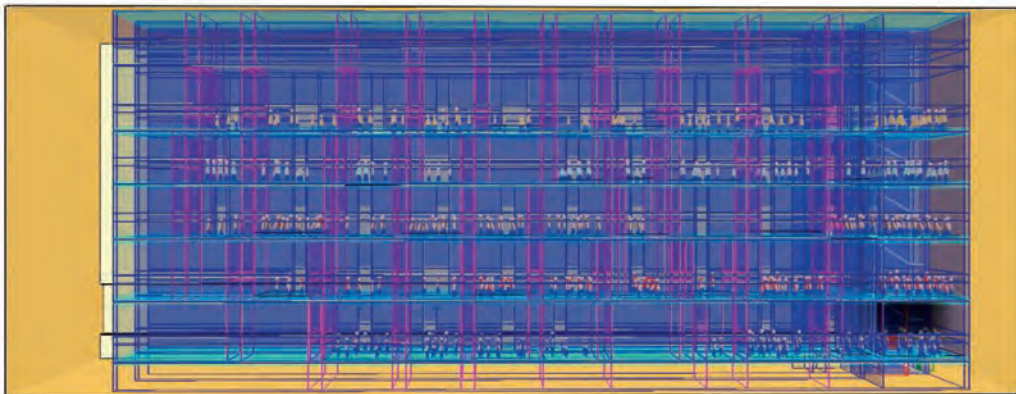
SONDE VIRTUALI PER LA LETTURA DELLA TEMPERATURA A 50 CM DAL SOFFITTO - CORRIDOIO DI ESODO

All'interno del visualizzatore *Smokeview* di FDS la rappresentazione dell'andamento dell'incendio, per lo scenario ipotizzato, è la seguente:



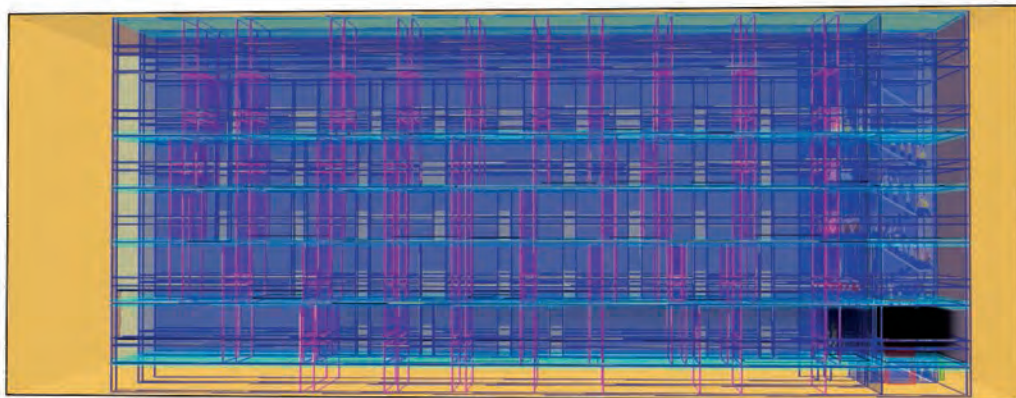
Time: 0

VISUALIZZAZIONE SCENARIO AL TEMPO T = 0



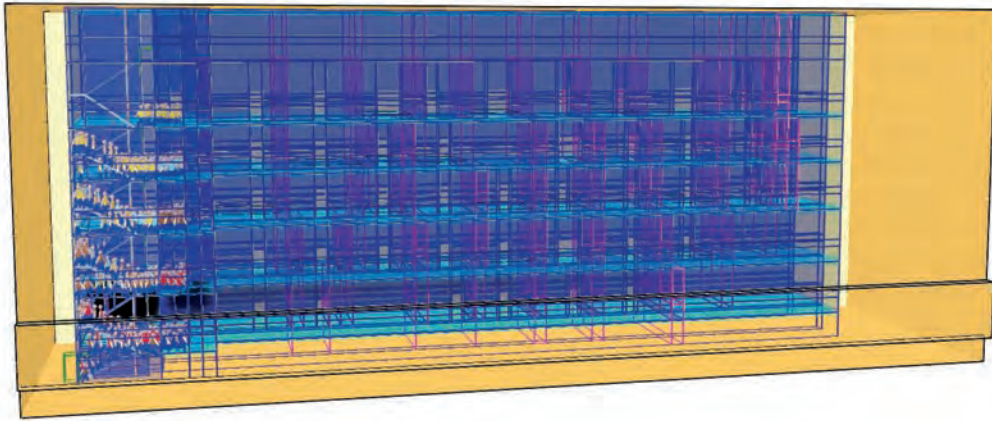
Time: 160

VISUALIZZAZIONE FUMO ED OCCUPANTI AL TEMPO T = 160 S DALL'INIZIO DELL'INCENDIO (INIZIO ESODO)



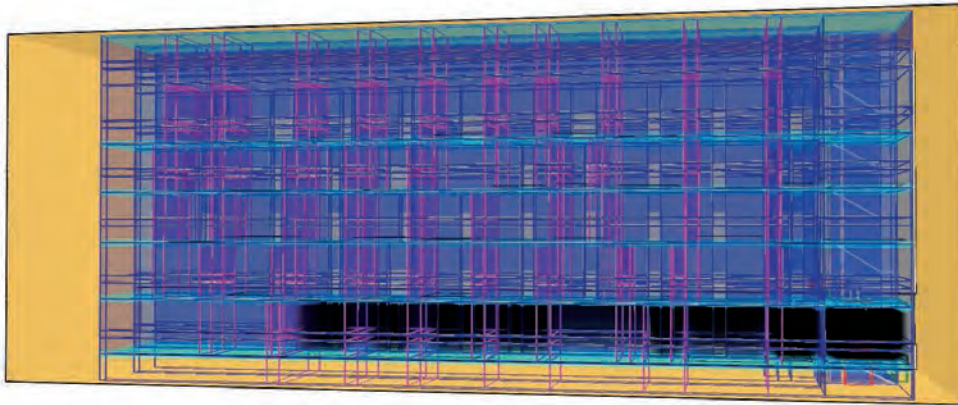
Time: 250

VISUALIZZAZIONE FUMO ED OCCUPANTI AL TEMPO T = 250 S DALL'INIZIO DELL'INCENDIO



Time: 250

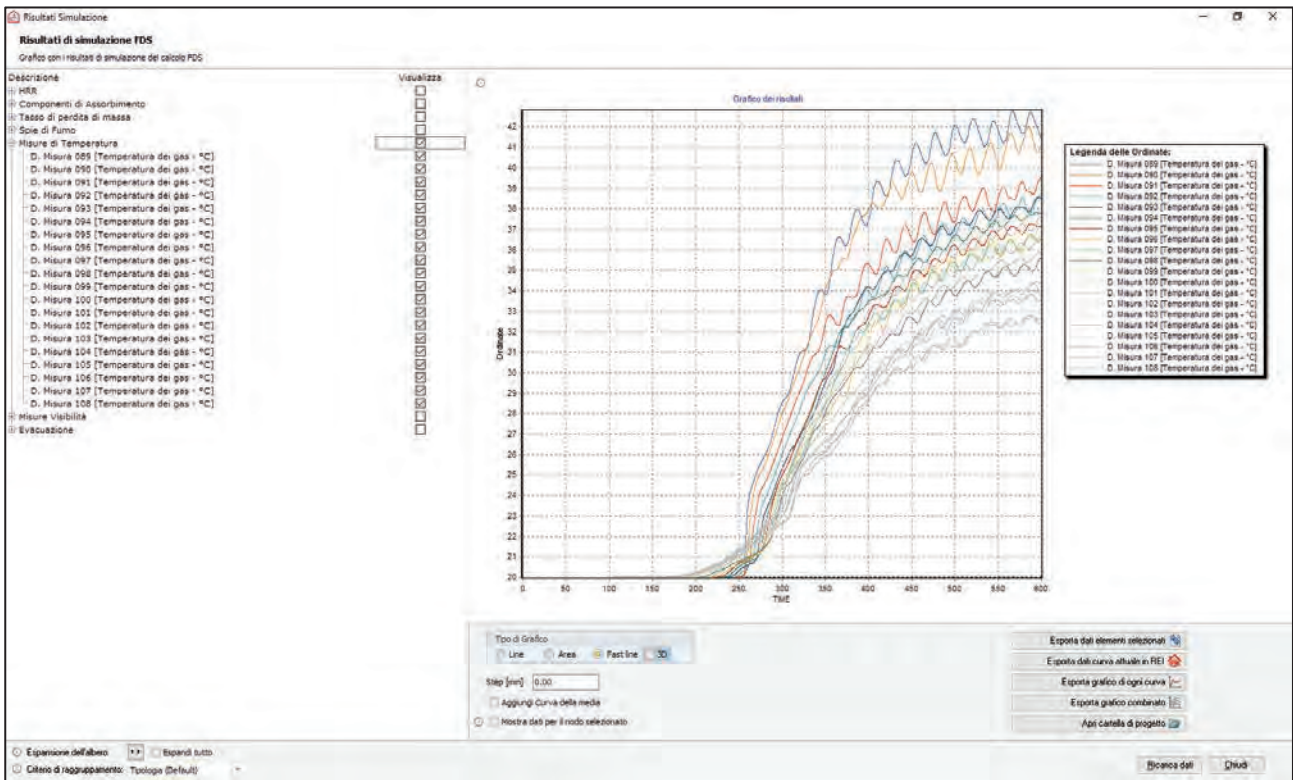
VISUALIZZAZIONE POSTERIORE ANDAMENTO FUMO ED OCCUPANTI AL TEMPO $T = 250$ S DALL'INIZIO DELL'INCENDIO



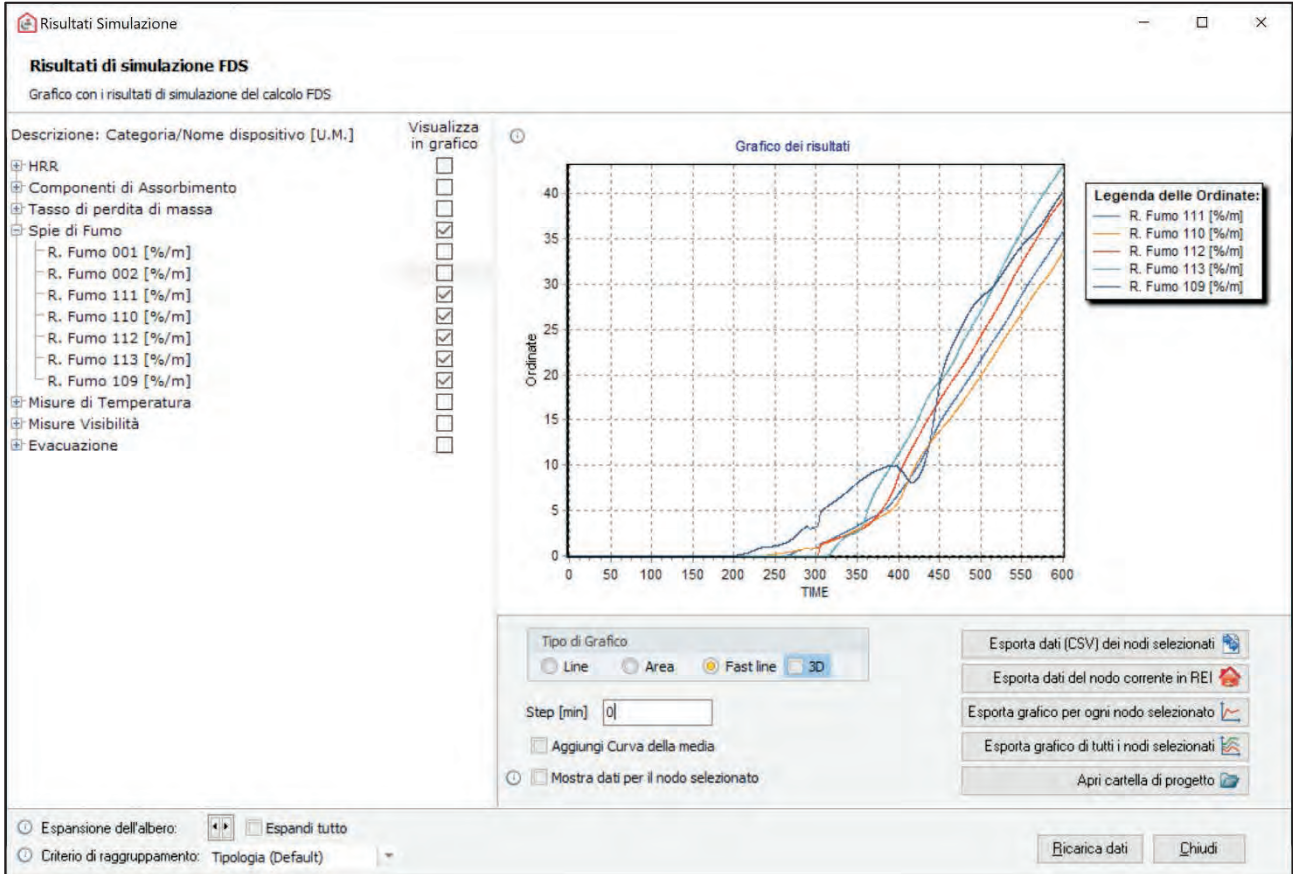
Time: 600.0

VISUALIZZAZIONE FUMO ED OCCUPANTI AL TEMPO $T = 600$ S DALL'INIZIO DELL'INCENDIO

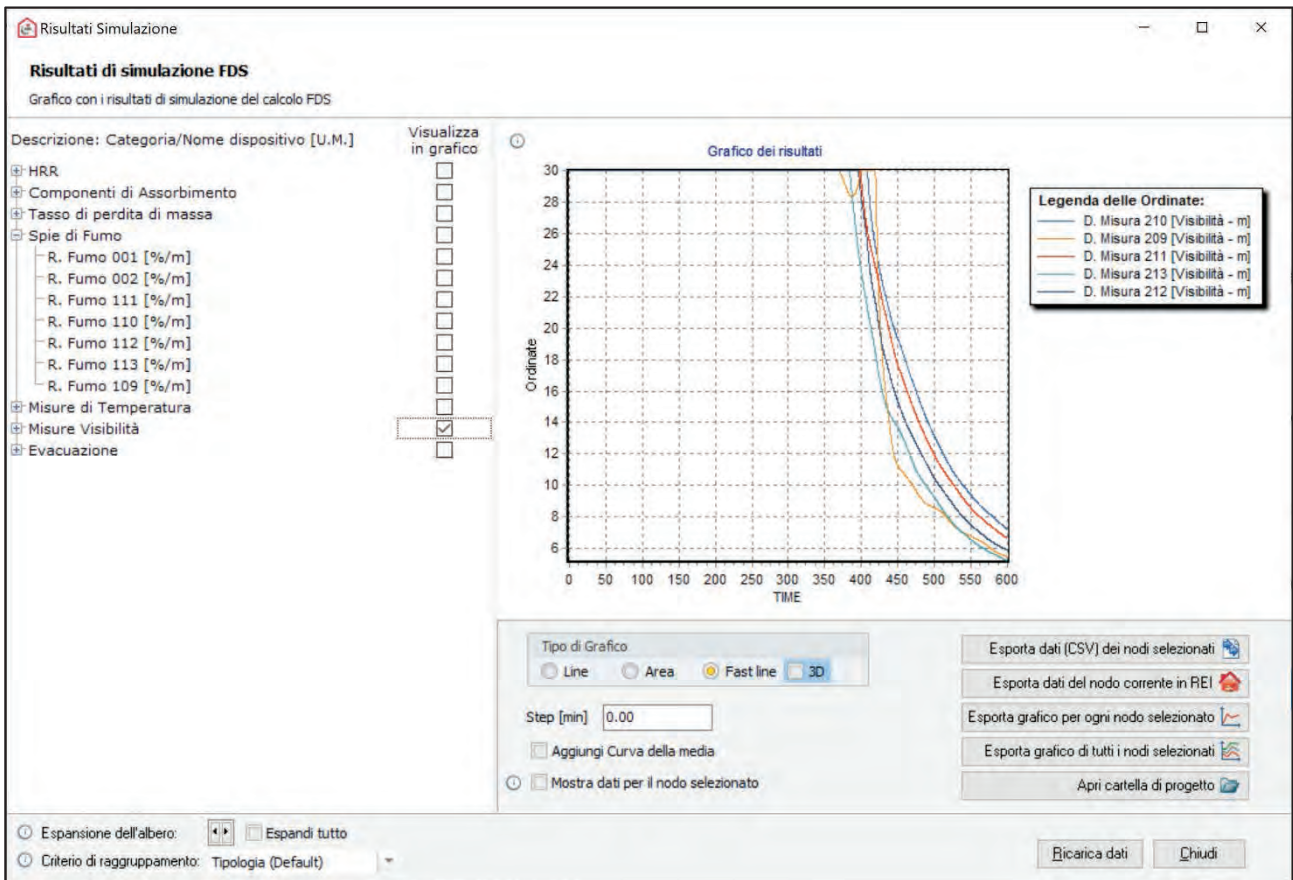
L'immagine seguente mostra la temperatura massima raggiunta lungo il corridoio utilizzato per l'esodo:



L'immagine seguente mostra l'andamento delle sonde che leggono l'altezza libera da fumo:



L'immagine seguente mostra l'andamento della visibilità:



Dai grafici si evince che la sonda R. Fumo 109, posizionata di fronte all'ingresso di fronte alla porta del magazzino ove si è posizionato il focolare, rivela la presenza di fumo a 2 m di altezza dopo 302 s. La sonda di visibilità D. Misura 209, posizionata nello stesso punto, rivela una visibilità superiore a 10 m fino a 450 s, mentre la sonda di temperatura D. Misura 203 rileva una temperatura di 44 °C dopo 450 s. La sonda R. Fumo 110, posizionata lungo il corridoio di esodo, a distanza di 8 m dalla sonda R. Fumo 109, rivela la presenza di fumo a 2 m di altezza dopo circa 350 s. La corrispondente sonda di visibilità D. Misura 210, posizionata nello stesso punto, rivela una visibilità superiore a 10 m fino a 540 s, mentre la sonda di temperatura D. Misura 204 rileva una temperatura di 40 °C dopo 450 s.

Critero di ASET > RSET

In definitiva, in relazione all'elevata conservatività delle ipotesi assunte, considerando che dalla simulazione *agent based*, l'esodo degli occupanti del compartimento di primo innesco si conclude trascorsi 279 s, valore in linea con l'RSET calcolato secondo il rapporto tecnico ISO/TR 16738, considerando il grado di conoscenza dei luoghi da parte degli occupanti, incrociando i dati delle sonda R. Fumo 109 che legge il decadimento sotto soglia dell'altezza libera da fumo a 2 m di altezza dopo 302 s, con quelli della sonda D. Misura 209 che legge, nello stesso punto, una visibilità superiore ai 10 m fino a 450 s, si tende a escludere il valore letto dalla sonda R. Fumo 109 dalla verifica, utilizzando i dati relativi alla sonda R. Fumo 110, che rivela la presenza di fumo a 2 m di altezza dopo circa 350 s²³.

In definitiva, è possibile assumere un valore di ASET pari a 350 s.

La soglia di prestazione è dunque verificata secondo le indicazioni del cap. M.3, con un margine di sicurezza pari a:

$$t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET} = 350 - 300 = 50 \text{ s equivalente al } 16 \% \text{ di RSET}$$

²³ Si segnala che, in ogni caso, una delle prescrizioni progettuali prevederà l'installazione di una porta a tenuta E Sa per il locale magazzino.

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata eseguita la verifica della via di esodo per un compartimento inserito in un edificio adibito ad uffici, dotato di un unico accesso, attraverso apposito filtro, che conduce alla scala a prova di fumo.

Lo studio è stato effettuato attraverso una simulazione fluido dinamica dell'incendio con il motore di calcolo FDS + EVAC, considerando anche la presenza degli agenti all'interno del dominio di calcolo, al fine di simulare un'ipotesi di esodo che tenga conto dei parametri di rilevazione dell'incendio e di pre movimento utilizzati per il calcolo dell'RSET.

Per il calcolo dell'ASET sono stati presi in considerazione i dati di sonde virtuali che leggono l'altezza libera da fumo, la temperatura degli strati alti del fumo e la visibilità lungo la via di esodo.

❖ *Commento dei risultati*

L'applicazione delle previsioni di cui al par. S.4.4.3, ha consentito di verificare, a seguito di apposita modellazione fluidodinamica dell'incendio, il rispetto delle condizioni di sicurezza atte a garantire l'esodo degli occupanti all'interno del compartimento e dell'attività in esame.

Dall'analisi dei risultati si evince che la temperatura degli strati alti del fumo non supera i 45 °C per tutti i 600 s della durata della simulazione, la visibilità non scende sotto i 10 m prima di 470 s, mentre il livello di fumo inizia a scendere sotto il livello di 2 m trascorsi circa 302 s in corrispondenza delle sonde poste nei pressi del magazzino ove è stato posizionato il focolare, senza tuttavia compromettere la visibilità e fruizione della via di esodo, mentre lungo il corridoio si osserva il decadimento sotto soglia dopo 350 s (assunto come ASET).

Pertanto, dai risultati della elaborazione numerica, a fronte di un RSET stabilito a 300 s, si è determinato un ASET di 350 s, ed essendo $ASET > RSET$ si è dimostrato con una modellazione fluidodinamica il raggiungimento del livello di prestazione ipotizzato per la misura S.4 (Esodo).

❖ *Eventuali sviluppi ulteriori*

Nello scenario ipotizzato non si è tenuto conto delle aperture di ventilazione (costituite dalle finestre) presenti nel corridoio e nelle varie stanze dell'ufficio.

Ulteriori sviluppi possono prevedere degli scenari che ipotizzano, ad esempio, l'apertura delle finestre prima dell'esodo, la presenza di eventuali ostacoli (ai fini della verifica del tempo di movimento *agent based*) lungo la via di esodo, il mancato funzionamento del filtro che comprometterebbe la compartimentazione del piano interessato.

Caso studio 5: soluzione alternativa per il livello di prestazione I misura S.4 - magazzino

Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un deposito di materie idrotermosanitarie, inserito in un comprensorio edilizio, situato al piano interrato, al di sotto dei quattro edifici residenziali sovrastanti.

Il deposito è destinato allo stoccaggio di materiale termoidraulico destinato al commercio all'ingrosso.

Le sostanze pericolose stoccate sono costituite, principalmente, da pallets in legno ed imballaggi in cartone a servizio del materiale in deposito.

All'interno del deposito, lo stoccaggio delle tipologie di prodotti presenti, avverrà su aree ben definite sotto forma di isole in modo da garantire sufficiente spazio per la movimentazione e limitare gli effetti propagativi in caso d'incendio.

Sono altresì presenti dei locali chiusi che ospitano materiale ritenuto, a giudizio del titolare dell'attività, meritevole di maggior attenzione e cura.

È prevista la presenza di tre addetti che si occuperanno, per periodi di breve durata, dello spostamento del materiale stoccato.

Ai lati del magazzino sono presenti due rampe scoperte, necessarie per il transito dei mezzi che caricano e scaricano i materiali nel deposito.

Nell'ambito del progetto di prevenzione incendi si è evidenziato che tali rampe, pur essendo scoperte, sono le uniche vie di esodo che conducono verso la pubblica via, ma hanno una pendenza superiore al 8%.

Tali rampe, secondo la *soluzione conforme* (par. S.4.5.3), non possono quindi essere computate nel calcolo effettivo delle vie di esodo orizzontali.

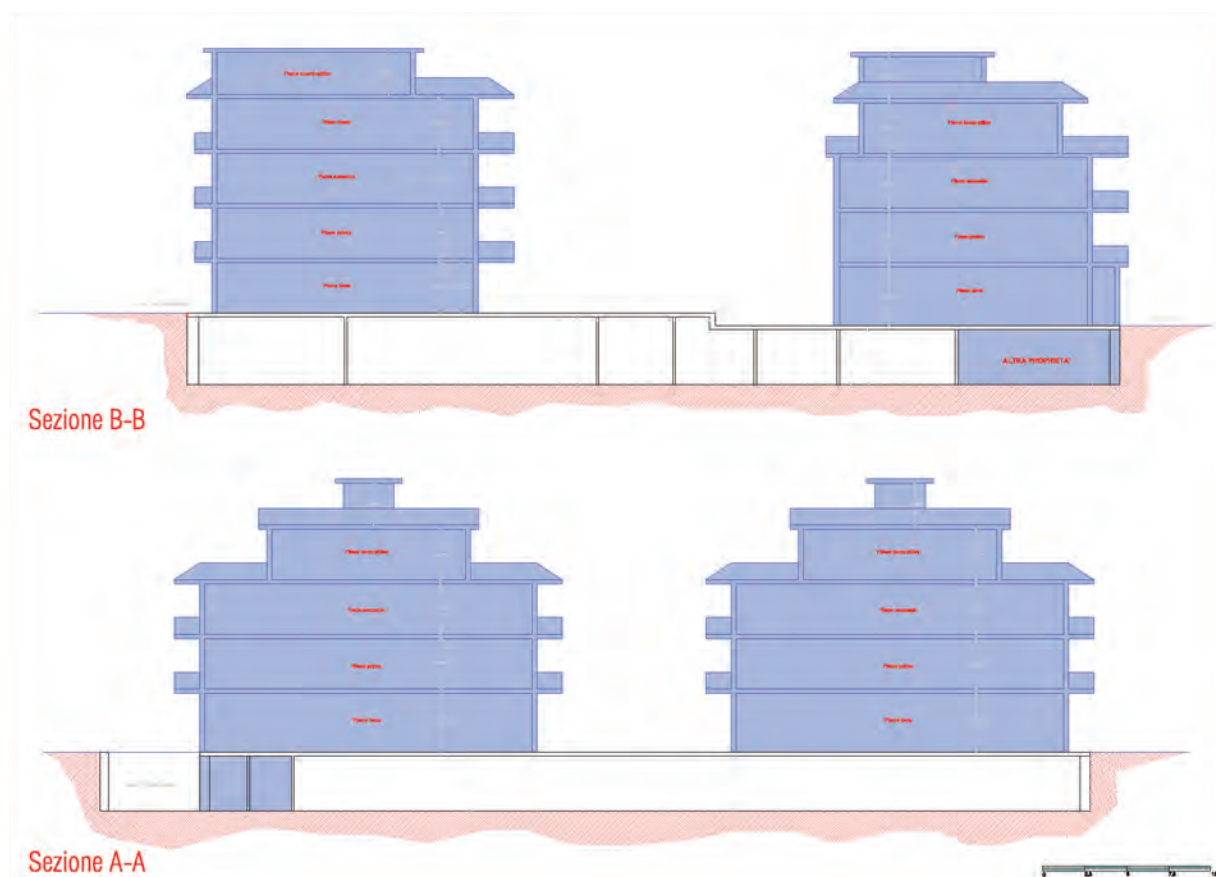
Risulta pertanto necessario indagare se vi siano le condizioni per definire tali rampe come luogo sicuro o meno, in modo tale che il percorso di esodo possa essere considerato concluso all'inizio di ciascuna rampa.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni geometriche del magazzino	Vedi planimetria (A = 2540 m ²)
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in C.A.

Schema planimetrico del magazzino

Compartimenti antincendio	Unico compartimento
Numero occupanti	3 (nessun disabile)
Profilo di rischio R_{vita}	A3 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R_{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello II di prestazione (par. S.1.3 e par. S.1.4.1)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.2.3 e par. S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.1)
Esodo	Livello di prestazione equivalente al I (par. S.4.3 e par. S.4.4.3)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello III di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.2) Rete di idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello III di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (par. S.8.3 e par. S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)



SEZIONI DEL MAGAZZINO NELL'AMBITO DEL COMPRESORIO EDILIZIO SOVRASTANTE

Obiettivi dello studio

Al fine di valutare la possibile classificazione delle rampe come luoghi sicuri, sarà condotta la valutazione dell'irraggiamento, sui lati rampe di accesso 1 e 2: la prima, ipotizzando che sia il primo accesso carrabile del magazzino, che le finestre presenti a fianco, si comportino da elementi radianti (tranne una delle finestre, che ha prestazioni EI 60); la seconda, ipotizzando che i restanti tre accessi carrabili del magazzino si comportino da elementi radianti.

Per calcolare la distanza di separazione che limita l'irraggiamento sugli occupanti, al par. S.4.5.1, comma 2, lett. b, come *soluzione conforme* si indicano i metodi previsti al cap. S.3.

Tuttavia tale metodo, applicato con una soglia di $2,5 \text{ kW/m}^2$, fornisce, nel caso in oggetto, delle distanze molto elevate, non compatibili con la larghezza delle rampe presenti.

Pertanto, è stata studiata la seguente *soluzione alternativa*, che consiste in una modellazione dell'irraggiamento eseguita con il software FDS.

Nel caso in esame saranno utilizzati i valori di potenza termica radiante dell'incendio convenzionale E_1 e di emissività ε_f definiti nel par. S.3.11.3.

Tali valori saranno quindi utilizzati come parametri di input di una modellazione FDS, nella quale il livello di irraggiamento termico sul bersaglio sarà valutato tramite sensori virtuali e immagini 3D a falsi colori.

Focus sulla strategia adottata

Prioritariamente, si ritiene opportuno evidenziare alcune peculiarità della strategia adottata nell'ambito del progetto di prevenzione incendi in esame, specificatamente in relazione alla misura S.4 (Esodo).

Esodo

Relativamente all'esodo, il livello di prestazione attribuibile, sulla base della tab. S.4-2 è pari a I; per quanto riportato nella tab. S.4-1, ciò significa garantire che l'esodo degli occupanti avvenga verso luogo sicuro.

Nell'ambito delle *soluzioni conformi* per il livello di prestazione I si osserva che:

- il sistema d'esodo deve essere progettato nel rispetto di quanto previsto al par. S.4.5 e successivi;
- possono essere eventualmente previste le misure antincendio aggiuntive di cui al par. S.4.10.

Luogo sicuro

Tra le misure indicate al par. S.4.5.1 vengono indicate le caratteristiche del luogo sicuro.

Ogni luogo sicuro deve essere idoneo a contenere gli occupanti che lo impiegano durante l'esodo.

La superficie lorda del luogo sicuro è calcolata tenendo in considerazione le superfici minime per occupante di tab. S.4-14; si considerano luogo sicuro per l'attività almeno le seguenti soluzioni:

- a. la pubblica via;
- b. ogni altro spazio scoperto esterno alla costruzione sicuramente collegato alla pubblica via in ogni condizione d'incendio, che non sia investito dai prodotti della combustione, in cui il massimo irraggiamento dovuto all'incendio sugli occupanti sia limitato a $2,5 \text{ kW/m}^2$, in cui non vi sia pericolo di crolli.

La distanza di separazione che limita l'irraggiamento sugli occupanti è calcolata con i metodi previsti al cap. S.3.

Vie d'esodo

Al par. S.4.5.3 vengono indicate le caratteristiche per le vie di esodo; l'altezza minima delle vie di esodo deve essere pari a 2 m.

Sono ammesse altezze inferiori per brevi tratti segnalati lungo le vie d'esodo da locali ove vi sia esclusiva presenza occasionale e di breve durata di personale addetto (es.: locali impianti, ecc.).

Nello stesso paragrafo viene specificato che non devono essere considerati ai fini del calcolo delle vie d'esodo i seguenti percorsi:

- a. scale portatili ed alla marinara;
- b. ascensori;
- c. rampe con pendenza superiore all'8%;
- d. scale e marciapiedi mobili non progettati secondo le indicazioni del par. S.4.5.4.

Metodo degli elementi radianti - lato rampa di accesso 1

La valutazione dell'irraggiamento è stata condotta ipotizzando che sia l'accesso carrabile del magazzino (lato rampa di accesso 1), che le finestre presenti a fianco, tranne quella indicata in rosso che ha caratteristiche di resistenza al fuoco EI60, si comportino da elementi radianti.

Per quanto riguarda l'accesso carrabile del magazzino, le caratteristiche dell'elemento radiante sono state derivate dal par. S.3.11.3 del Codice per $q_f < 1200 \text{ MJ/m}^2$:

- potenza termica radiante $E_1 = 75 \text{ kW/m}^2$ (corrispondente ad una superficie radiante posta a $800,8^\circ\text{C}$);
- emissività della fiamma $\epsilon_f = 0,503$

L'emissività della fiamma ϵ_f sopra riportata è stata calcolata secondo la formula S.3-8 dell'Allegato I del Codice ed è pari a 0,503.

Tale valore si ottiene considerando uno spessore della fiamma d_f pari a 2,33 m, ovvero corrispondente a 2/3 dell'altezza del varco da cui esce la fiamma (altezza dell'architrave dell'accesso carrabile rispetto al piano di campagna pari a 3,50 m).

Per quanto riguarda le finestre del magazzino presenti sul lato rampa di accesso 1, sono state seguite due diverse impostazioni:

- la finestra vicina all'accesso carrabile avrà caratteristiche di resistenza al fuoco pari a EI 60, come si evince dall'elaborato grafico allegato, per cui sarà ipotizzata non radiante, in quanto assimilabile a muratura;
- le altre tre finestre monteranno un vetro che non possiede particolari caratteristiche di resistenza al fuoco, quindi è possibile ipotizzare che in caso d'incendio si comportino da elementi radianti.

Le tre finestre con vetro standard sono state modellate con degli elementi radianti, aventi caratteristiche derivate dal par. S.3.11.3 del Codice per $q_f < 1200 \text{ MJ/m}^2$:

- potenza termica radiante $E_1 = 75 \text{ kW/m}^2$ (corrispondente ad una superficie radiante posta a $800,8^\circ\text{C}$);
- emissività della fiamma $\epsilon_f = 0,33$

L'emissività della fiamma ϵ_f sopra riportata è stata calcolata secondo la formula S.3-8 dell'Allegato I del Codice ed è pari a 0,33.

Tale valore si ottiene considerando uno spessore della fiamma d_f pari a 1,33 m, ovvero corrispondente a 2/3 dell'altezza del varco da cui esce la fiamma (altezza delle finestre pari a 2,00 m).

Il dominio di modellazione è stato ipotizzato pari a quello della rampa, utilizzando una definizione di mesh pari a 0,25 m.

La modellazione è stata protratta per 60 s, tempo in cui si riscontra una stabilizzazione degli effetti radiativi misurati dai sensori.

Per la modellazione è stato utilizzato il software FDS, in versione 6.7.0.

Nella modellazione sono stati introdotti una serie di sensori virtuali di irraggiamento termico, disposti su un piano a quota 2 m, di tipo "RADIATIVE HEAT FLUX GAS", in grado di captare l'irraggiamento proveniente da una determinata direzione.

Questa quantità può essere quantitativamente confrontata con il valore di soglia, fissato a $2,5 \text{ kW/m}^2$.

Per ogni punto modellato, si sono valutate tre direzioni:

- ✓ l'irraggiamento proveniente dalla direzione della parete radiante;
- ✓ l'irraggiamento captato in direzione parallela all'uscita dalla rampa, puntando in direzione opposta al cancello;
- ✓ l'irraggiamento captato in una direzione bisettrice tra le due precedenti.

Oltre ai sensori sopra descritti, si è introdotto un piano slice file sul quale viene visualizzato l'irraggiamento con falsi colori; la quantità utilizzata per tale slice file è di tipo "INTEGRATED INTENSITY".

Tale quantità, in ogni punto del piano modellato come slice file, è pari all'irraggiamento integrato su un angolo solido di 4π , ovvero su una sfera.

Pertanto, ai valori presenti nelle slice file va sottratto un offset di $1,67 \text{ kW/m}^2$ (pari all'irraggiamento da un corpo nero a $20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$ verso uno a 0 K).

Essendo una media dell'intensità di irraggiamento effettuata su tutto l'angolo solido, questa quantità non può essere confrontata con il valore di soglia, fissato a $2,5 \text{ kW/m}^2$, ma può comunque fornire un andamento qualitativo dell'irraggiamento.

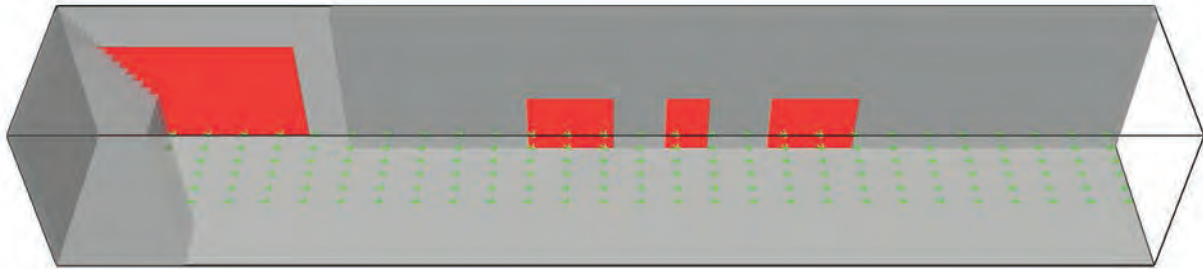
Oltre ai sensori e al piano slice file sopra descritti, è stata richiesta anche la quantità "RADIATIVE HEAT FLUX", che fornisce una misura dell'intensità di irraggiamento sui solidi investiti dalla radiazione termica. Maggiori informazioni su tali quantità possono essere individuate al paragrafo "20.10.7 Heat Flux" della User Guide di FDS.

Per semplificare il modello 3D, si specifica che non è stata volutamente modellata la pendenza delle rampe, in quanto tale operazione non avrebbe apportato scostamenti significativi rispetto a quanto esposto.

Per tali motivi le rampe sono state modellate in FDS come superfici orizzontali.

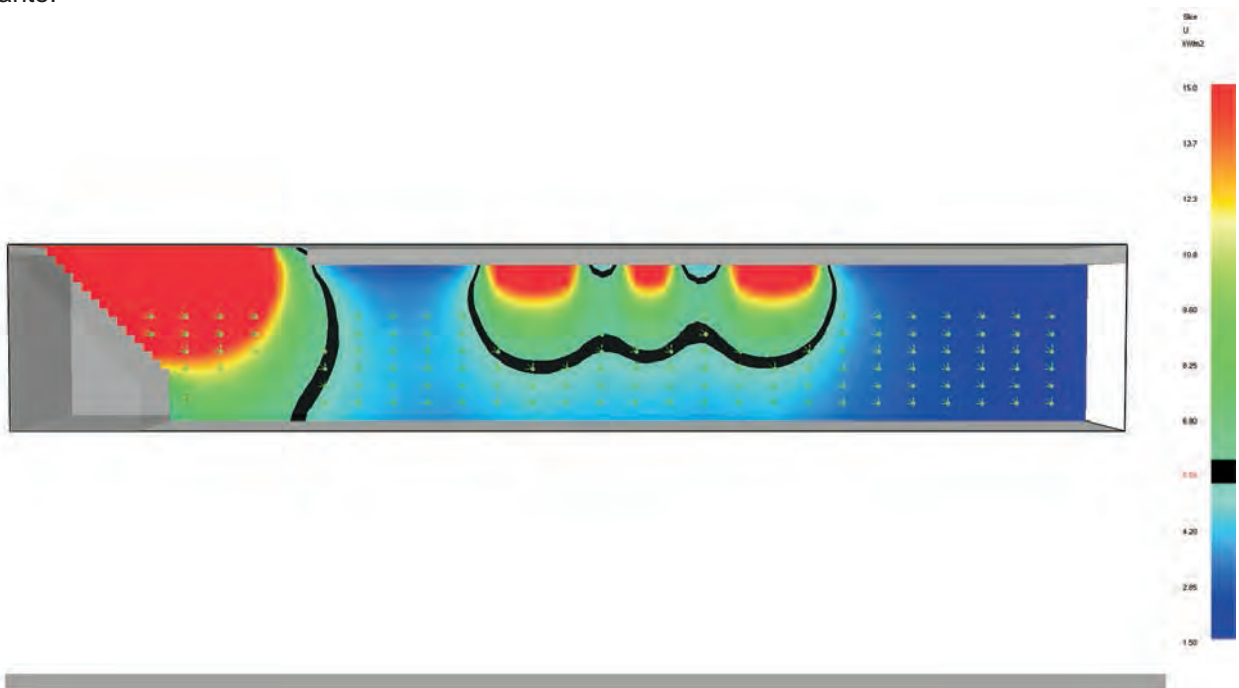
Questa quantità può essere quantitativamente confrontata con il valore di soglia, fissato a $2,5 \text{ kW/m}^2$.

La figura seguente mostra la schematizzazione della rampa, dei sensori (disposti su un piano) e degli elementi radianti.



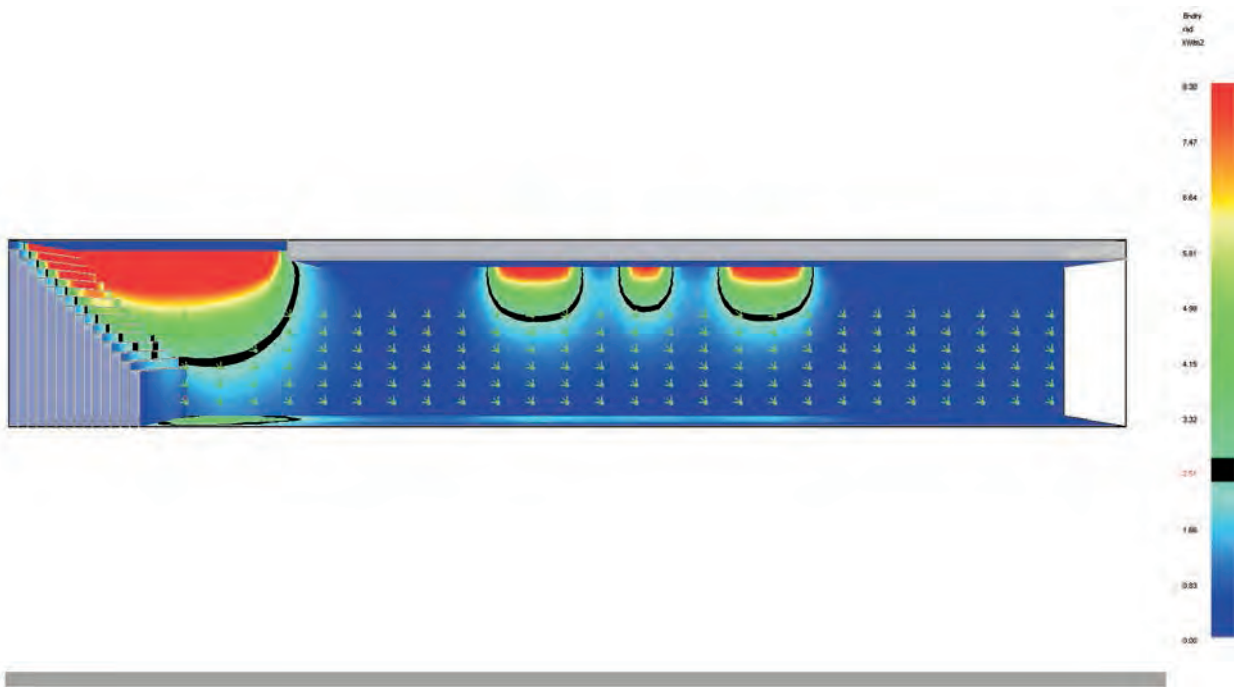
MODELLAZIONE SU LATO RAMPA DI ACCESSO 1: IN ROSSO GLI ELEMENTI RADIANTI, IN VERDE I SENSORI

Nelle figure seguenti si riportano i risultati della modellazione con l'indicazione dell'irraggiamento ottenuta con falsi colori, nella prima tramite lo slice file e nelle seguenti tramite l'irraggiamento sulla parete opposta a quella radiante.

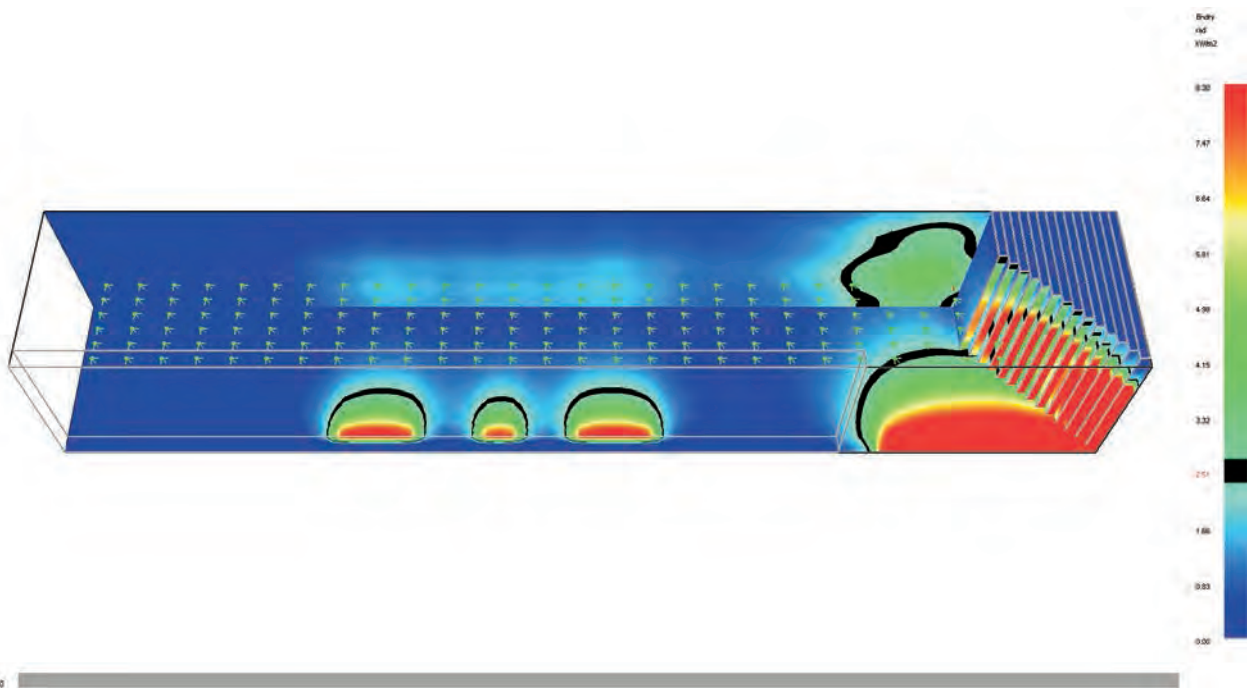


MODELLAZIONE SU LATO RAMPA DI ACCESSO 1: SLICE FILE "INTEGRATED INTENSITY" - QUOTA z = 2 M

Nella figura precedente, riferita ad uno slice file della quantità "INTEGRATED INTENSITY" a quota $z = 2 \text{ m}$, la banda nera rappresenta qualitativamente il limite di soglia, date le considerazioni precedentemente espresse. Nelle figure successive si mostrano i risultati della modellazione, con indicazione dell'irraggiamento sugli oggetti solidi ottenuta con falsi colori. In entrambe le figure, viene rappresentata la quantità "RADIATIVE HEAT FLUX" ed il livello indicato con la fascia nera corrisponde effettivamente a $2,5 \text{ kW/m}^2$.



MODELLAZIONE SU LATO RAMPA DI ACCESSO 1: QUANTITÀ "RADIATIVE HEAT FLUX" AL SUOLO - VISTA DALL'ALTO



MODELLAZIONE SU LATO RAMPA DI ACCESSO 1: QUANTITÀ "RADIATIVE HEAT FLUX"
AL SUOLO E SULLA PARETE OPPOSTA AGLI ELEMENTI RADIANTI - VISTA LATERALE

I risultati dei sensori virtuali precedentemente definiti sono stati utilizzati per determinare l'area in cui l'irraggiamento rimane inferiore al valore di soglia, pari a $2,5 \text{ kW/m}^2$.

Tale area è stata campita ed indicata nell'elaborato grafico allegato.

Dai risultati ottenuti, è pertanto possibile desumere che la rampa di accesso 1 ha un'ampia zona con irraggiamento inferiore a $E_{\text{soglia}} = 2,5 \text{ kW/m}^2$.

Tale area della rampa è stata campita in verde, ed indicata nell'elaborato grafico allegato al termine del paragrafo successivo, presenta una superficie di $64,95 \text{ m}^2$.

Tale area possiede le caratteristiche di *luogo sicuro*.

Metodo degli elementi radianti - lato rampa di accesso 2

La valutazione dell'irraggiamento è stata condotta ipotizzando che i tre accessi carrabili del magazzino (lato rampa di accesso 2) si comportino da elementi radianti.

Per quanto riguarda gli accessi carrabili del magazzino aventi altezza pari a 3,75 m, le caratteristiche degli elementi radianti sono state derivate dal par. S.3.11.3 per $q_f < 1200 \text{ MJ/m}^2$:

- potenza termica radiante $E_1 = 75 \text{ kW/m}^2$ (corrispondente ad una superficie radiante posta a $800,8^\circ\text{C}$);
- emissività della fiamma $\epsilon_f = 0,528$

L'emissività della fiamma ϵ_f sopra riportata è stata calcolata secondo la formula S.3-8 dell'Allegato I del Codice ed è pari a 0,528.

Tale valore si ottiene considerando uno spessore della fiamma d_f pari a 2,5 m, ovvero corrispondente a 2/3 dell'altezza del varco da cui esce la fiamma (altezza dell'architrave dell'accesso carrabile rispetto al piano di campagna pari a 3,75 m).

Per quanto riguarda l'accesso carrabile del magazzino avente altezza pari a 3,00 m, le caratteristiche dell'elemento radiante sono state derivate dal par. S.3.11.3 per $q_f < 1200 \text{ MJ/m}^2$:

- potenza termica radiante $E_1 = 75 \text{ kW/m}^2$ (corrispondente ad una superficie radiante posta a $800,8^\circ\text{C}$);
- emissività della fiamma $\epsilon_f = 0,451$

L'emissività della fiamma ϵ_f sopra riportata è stata calcolata secondo la formula S.3-8 dell'Allegato I del Codice ed è pari a 0,451.

Tale valore si ottiene considerando uno spessore della fiamma d_f pari a 2 m, ovvero corrispondente a 2/3 dell'altezza del varco da cui esce la fiamma (altezza dell'architrave dell'accesso carrabile rispetto al piano di campagna pari a 3 m).

Il dominio di modellazione è stato ipotizzato pari a quello della rampa, utilizzando una definizione di mesh pari a 0,25 m.

La modellazione è stata protratta per 60 s, tempo in cui si riscontra una stabilizzazione degli effetti radiativi misurati dai sensori. Per la modellazione è stato utilizzato il software FDS, in versione 6.7.0.

Nella modellazione sono stati introdotti una serie di sensori virtuali di irraggiamento termico, disposti su un piano a quota 2 m, di tipo "RADIATIVE HEAT FLUX GAS", in grado di captare l'irraggiamento proveniente da una determinata direzione.

Questa quantità può essere quantitativamente confrontata con il valore di soglia, fissato a $2,5 \text{ kW/m}^2$. Per ogni punto modellato, si sono valutate tre direzioni:

- ✓ l'irraggiamento proveniente dalla direzione della parete radiante;
- ✓ l'irraggiamento captato in direzione parallela all'uscita dalla rampa, puntando in direzione opposta al cancello;
- ✓ l'irraggiamento captato in una direzione bisettrice tra le due precedenti.

Oltre ai sensori sopra descritti, si è introdotto un piano "slice file" sul quale viene visualizzato l'irraggiamento con falsi colori; la quantità utilizzata per tale slice file è di tipo "INTEGRATED INTENSITY".

Tale quantità, in ogni punto del piano modellato come slice file, è pari all'irraggiamento integrato su un angolo solido di 4π , ovvero su una sfera.

Pertanto, ai valori presenti nelle slice file va sottratto un offset di $1,67 \text{ kW/m}^2$ (pari all'irraggiamento da un corpo nero a $20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$ verso uno a 0 K).

Essendo una media dell'intensità di irraggiamento effettuata su tutto l'angolo solido, questa quantità non può essere confrontata con il valore di soglia, fissato a $2,5 \text{ kW/m}^2$, ma può comunque fornire un andamento qualitativo dell'irraggiamento.

Oltre ai sensori e al piano slice file sopra descritti, è stata richiesta anche la quantità "RADIATIVE HEAT FLUX", che fornisce una misura dell'intensità di irraggiamento sui solidi investiti dalla radiazione termica. Maggiori informazioni su tale quantità possono essere individuate al paragrafo "20.10.7 Heat Flux" della User Guide di FDS.

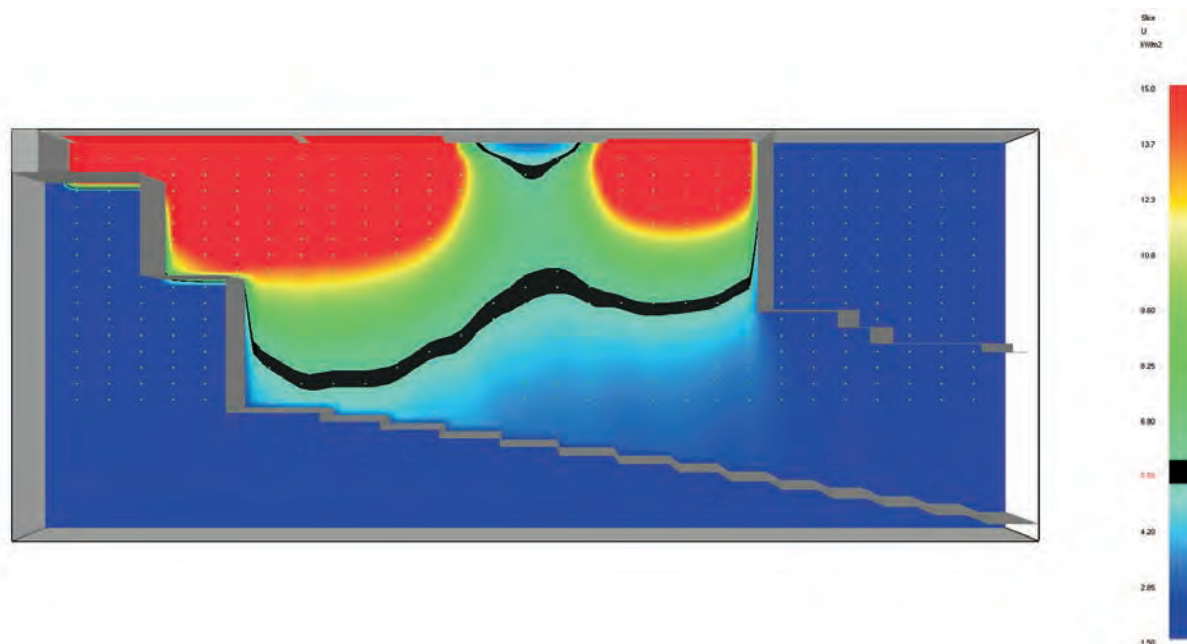
Questa quantità può essere quantitativamente confrontata con il valore di soglia, fissato a $2,5 \text{ kW/m}^2$.

La figura seguente mostra la schematizzazione della rampa, dei sensori (disposti su un piano) e degli elementi radianti.



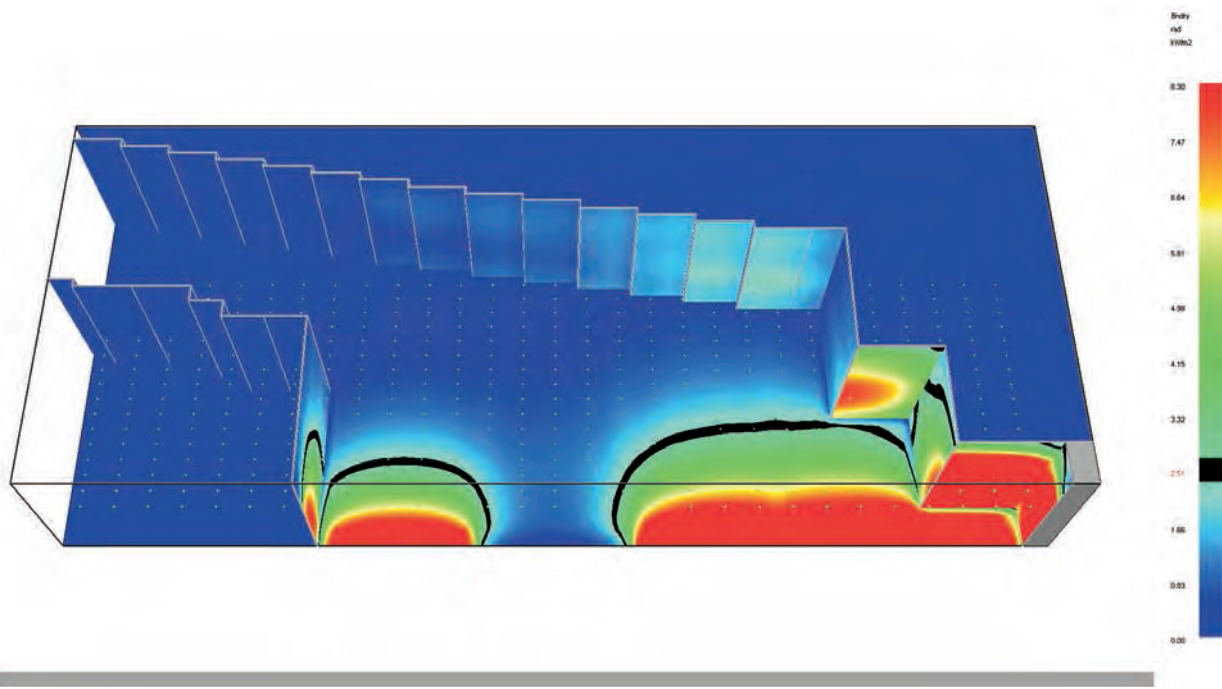
MODELLAZIONE SU LATO RAMPA DI ACCESSO 2: IN ROSSO GLI ELEMENTI RADIANTI, IN VERDE I SENSORI

Nelle figure seguenti si riportano i risultati della modellazione con l'indicazione dell'irraggiamento ottenuta con falsi colori, nella prima tramite lo slice file e nelle seguenti tramite l'irraggiamento sulla parete opposta a quella radiante.

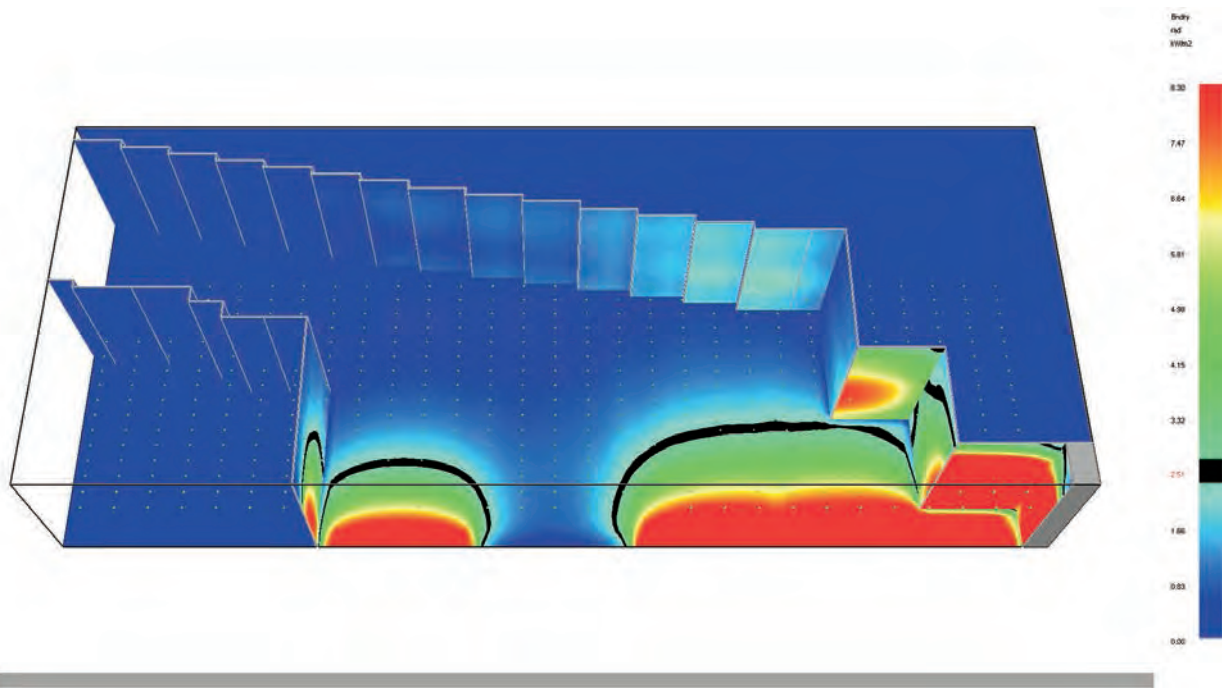


MODELLAZIONE SU LATO RAMPA DI ACCESSO 2: SLICE FILE "INTEGRATED INTENSITY" - QUOTA z = 2 M

Nella figura precedente, riferita ad uno slice file della quantità "INTEGRATED INTENSITY" a quota $z = 2$ m, la banda nera rappresenta qualitativamente il limite di soglia, date le considerazioni precedentemente espresse. Nelle figure successive si mostrano i risultati della modellazione, con indicazione dell'irraggiamento sugli oggetti solidi ottenuta con falsi colori. In entrambe le figure, viene rappresentata la quantità "RADIATIVE HEAT FLUX" ed il livello indicato con la fascia nera corrisponde effettivamente a $2,5 \text{ kW/m}^2$.



MODELLAZIONE SU LATO RAMPA DI ACCESSO 2: QUANTITÀ "RADIATIVE HEAT FLUX" AL SUOLO - VISTA DALL'ALTO



MODELLAZIONE SU LATO RAMPA DI ACCESSO 2: QUANTITÀ "RADIATIVE HEAT FLUX" AL SUOLO E SULLA PARETE OPPOSTA AGLI ELEMENTI RADIANTI - VISTA LATERALE

I risultati dei sensori virtuali precedentemente definiti sono stati utilizzati per determinare l'area in cui l'irraggiamento rimane inferiore al valore di soglia, pari a $2,5 \text{ kW/m}^2$.

Tale area è stata campita ed indicata nell'elaborato grafico allegato.

Dai risultati ottenuti, è pertanto possibile desumere che la rampa di accesso 2 presenta un'ampia zona con irraggiamento inferiore a $E_{\text{soglia}} = 2,5 \text{ kW/m}^2$.

Tale area della rampa è stata campita in verde, ed indicata nell'elaborato grafico seguente, presenta una superficie di $114,69 \text{ m}^2$.

Tale area possiede le caratteristiche di *luogo sicuro*.



**RAMPE DI ACCESSO SCOPERTE AL MAGAZZINO
CON INDICAZIONE DELLE AREE CAMPITE IN VERDE (LUOGHI SICURI)**

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio ci si è occupati di un deposito di materie idrotermosanitarie, inserito in un comprensorio edilizio, situato al piano interrato, al di sotto dei quattro edifici residenziali sovrastanti.

Nell'ambito del progetto di prevenzione incendi dell'attività è stata eseguita la valutazione dell'irraggiamento, al fine di valutare se risulti possibile rispettare le condizioni necessarie alla definizione di luogo sicuro per le due rampe di accesso al magazzino (vedi S.4.5.1, comma 2, lett. b).

L'applicazione del metodo esposto nel presente caso studio, ha permesso di valutare che una porzione di superficie di ciascuna rampa di accesso all'attività possiede una distanza di separazione tale da garantire che gli occupanti abbiano un livello di irraggiamento inferiore a $2,5 \text{ kW/m}^2$.

Affinché tali spazi scoperti esterni alla costruzione possano essere definiti *luoghi sicuri*, devono inoltre essere garantite altre condizioni (par. S.4.5.1):

- collegamento sicuro alla pubblica via in ogni condizione d'incendio;
- che esso non sia investito dai prodotti della combustione;
- che non vi sia pericolo di crolli.

Per adempiere alla prima condizione, è stato previsto che il cancello di accesso alle rampe (verso la pubblica via) sia automaticamente aperto in caso di mancanza di corrente (dispositivo di apertura automatico ridondante).

In tal modo, al momento della pressione del pulsante di sgancio di emergenza dell'impianto elettrico, il cancello si aprirà automaticamente, consentendo il collegamento sicuro delle rampe (luogo sicuro) alla pubblica via.

Nelle zone campite in verde, non si è investiti dai prodotti della combustione, in quanto sufficientemente a distanza dalle aperture del compartimento in oggetto.

Il pericolo di crolli sarà evitato grazie al rispetto del livello III di prestazione per la misura S.2, in quanto le caratteristiche di resistenza al fuoco del fabbricato saranno tali da rispettare la tab. S.2-3 (classe minima di resistenza al fuoco), avendo calcolato il carico d'incendio di progetto secondo il metodo indicato al par. S.2.9.

❖ *Commento dei risultati*

Diversamente, applicando la *soluzione conforme*, secondo la procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione (par. S.3.11.3), la superficie delle rampe non sarebbe considerabile come luogo sicuro.

Infatti, applicando tale metodologia, la distanza di separazione tale da garantire che gli occupanti abbiano un livello di irraggiamento inferiore a $2,5 \text{ kW/m}^2$ sarebbe ampiamente maggiore rispetto alla larghezza delle rampe, in quanto il fattore di vista calcolato con la formula S.3-4 tiene conto di una piastra radiante che è l'involuppo di tutti gli elementi radianti presenti sul bordo della rampa.

Di fatto, tale metodologia non tiene conto della posizione dell'occupante nella direzione parallela agli elementi radianti, ma solo della distanza di separazione, misurata in direzione perpendicolare al piano radiante.

Nella *soluzione alternativa* proposta nel caso in oggetto, l'effetto di più elementi radianti viene valutato tramite la modellazione FDS, per cui i contributi radiativi degli elementi radianti tra loro vicini vengono sommati senza effettuare approssimazioni troppo cautelative, ma con calcoli agli elementi finiti che si basano sul comportamento reale delle piastre radianti che concorrono ad irraggiare lo stesso punto.

Diversamente dalla procedura di calcolo proposta come *soluzione conforme*, con tale metodologia viene evidenziato anche il livello di irraggiamento sull'occupante sia variando la sua posizione in direzione parallela agli elementi radianti, che in direzione perpendicolare ad esso.

❖ *Eventuali sviluppi ulteriori*

L'esempio trattato mostra come le soluzioni conformi del Codice, seppur basate su rapporti sperimentali o leggi della fisica, chimica e dell'ingegneria in genere, sono state estrapolate per poter garantire sicurezza nelle configurazioni maggiormente ricorrenti.

Impiegando le stesse ipotesi, la soluzione alternativa con i metodi M.1, M.2 ed M.3 consente di dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione.

Caso studio 6: soluzioni alternative per i livelli di prestazione I misura S.4 e III misura S. 8 - autorimessa

Descrizione

Il progetto di prevenzione incendi è relativo ad autorimessa interrata, a servizio di attività alberghiera sovrastante con la quale comunica mediante vani protetti a prova di fumo non direttamente collegati verso l'esterno, in ossequio alle previsioni di cui al par. V.6.5.3 della RTV Autorimesse; l'autorimessa è costituita da due compartimenti (C1 e C2) situati, rispettivamente, al primo e secondo interrato.

In relazione al sistema di esodo, in ragione del profilo $R_{vita} = B2$, non risultano rispettate la previsione del numero minimo di uscite dal compartimento, prevista in tab. S.4-8, le massime lunghezze dei percorsi di esodo, previste in tab. S.4.10, nonché le previsioni di cui al par. S.4.5.3 in relazione alla pendenza delle rampe.

La *soluzione conforme* avrebbe richiesto la realizzazione di ulteriori scale adducenti all'esterno, ma essendo l'autorimessa posta inferiormente ad una pista da sci, è risultato impossibile realizzare ulteriori forometrie o creare ostacoli sulla medesima.

Pertanto, adottando una *soluzione alternativa*, in relazione alla misura S.4 (Esodo), vengono illustrati i calcoli di ASET e RSET relativi all'esodo in emergenza degli occupanti presenti all'interno dell'autorimessa.

In merito alla misura S.8 (Controllo di fumi e calore), il vincolo imposto dalla sovrastante pista da sci, impedendo la realizzazione di bocche di lupo, o di dispositivi simili, utili a consentire lo smaltimento dei fumi all'esterno, non consente il rispetto della *soluzione conforme* di livello II di prestazione; ad ogni modo, per poter garantire la sicurezza degli occupanti durante la fase di esodo, il livello di prestazione dell'impianto di gestione di fumo e calore dovrà essere pari a III.

Adottando una *soluzione alternativa*, tramite analisi CFD si vuole dimostrare la possibilità di smaltire fumi e calore dell'incendio dai compartimenti, tramite un impianto di gestione dei fumi e calore di tipo combinato. L'impianto sarà costituito da un sistema di ventilazione orizzontale del tipo a Jet Fan per il direccionamento dei prodotti della combustione verso le condotte verticali di estrazione, queste ultime dotate di estrattori EN 12101-3 (EFFC), durante le prime fasi dell'esodo e le successive, per le operazioni di estinzione condotte dalle squadre di soccorso.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni geometriche dei compartimenti	Compartimento C1 = 1200 m ² - 24 posti auto)
	Compartimento C2 = 850 m ² - 26 posti auto)
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in C.A.
Aree presenti (RTV Autorimesse)	TA e TM2
Schema planimetrico dei compartimenti costituenti l'autorimessa (SB/AB/HB)²⁴	

²⁴ Classificazione ai sensi della RTV Autorimesse d.m. 21 febbraio 2017.

C1 numero occupanti	48 (è prevista la presenza di persone con disabilità anche non permanente)
C2 numero occupanti	52 (è prevista la presenza di persone con disabilità anche non permanente)
Profilo di rischio R_{vita}	B2 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R_{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello II e III di prestazione (par. S.1.3 e parr. S.1.4.1 e S.1.4.2)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.2.3 e par. S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.1)
Esodo	Livello di prestazione equivalente al I (par. S.4.3 e par. S.4.4.3)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.2) Rete di idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello IV di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello di prestazione equivalente al III (par. S.8.3 e par. S.8.4.4)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)

L'altezza interna del primo piano interrato dell'autorimessa (C1) presenta un'altezza variabile da 2,50 m a 5,05 m, mentre l'altezza interna del secondo piano interrato (C2) è pari a 2,50 m, ad eccezione dell'area immediatamente al di sotto della rampa di accesso, che presenta un doppio volume di altezza pari a 4,10 m.

Obiettivi dello studio

Il metodo idoneo a dimostrare la *soluzione alternativa* ricade, come ormai noto, fra i metodi ordinari di progettazione della sicurezza antincendio di cui al par. G.2.6, (tab. G.2-1) "Ingegneria della sicurezza antincendio".

Nello specifico, al fine di determinare i tempi ASET e RSET relativi all'esodo in emergenza degli occupanti presenti all'interno dell'attività alberghiera si farà riferimento ai metodi ed ai parametri contenuti nel cap. M.3 ed agli strumenti di modellazione fluidodinamica utilizzando il software agli elementi finiti FDS (vers. 6.5).

Nello specifico si farà riferimento alle soglie di prestazione indicate in tab. M.3-2, nell'ambito del calcolo avanzato di ASET, in ragione degli obiettivi di sicurezza antincendio da perseguire.

Focus sulla strategia adottata

Prioritariamente all'illustrazione della *soluzione alternativa*, si ritiene opportuno evidenziare alcune peculiarità della strategia adottata nell'ambito del progetto di prevenzione incendi in esame, specificatamente in relazione alla misura S.4 Esodo.

→ **Aspetti privi di criticità nell'applicazione della soluzione conforme alla misura S.4 Esodo:**

Compartimento 1

❖ *Vie di esodo (altezza minima)*

- Altezza superiore ai 2 m in accordo al par. S.4.5.3

❖ *Larghezze delle vie di esodo orizzontali*

- L_O richiesta per R_{vita} B2: 4,10 mm/persona in accordo al par. S.4.8.3

$$L_O = 180 \text{ mm}$$

❖ *Larghezza delle vie di esodo verticali*

- Larghezza delle scale da 120 cm, in accordo al par. S.4.8.6

Compartimento 2

❖ *Vie di esodo (altezza minima)*

- Altezza superiore ai 2 m in accordo al par. S.4.5.3

❖ **Larghezze delle vie di esodo orizzontali**

- L_0 richiesta per R_{vita} B2: 4,10 mm/persona in accordo al par. S.4.8.3

$$L_0 = 260 \text{ mm}$$

❖ **Larghezza delle vie di esodo verticali**

- Larghezza delle scale da 120 cm, in accordo al par. S.4.8.6

❖ **Esodo in presenza di occupanti con disabilità**

- All'interno dell'attività può esservi presenza non occasionale di occupanti che non abbiano sufficienti abilità (anche temporanee) per raggiungere autonomamente un luogo sicuro tramite vie di esodo verticale e pertanto si prevede uno spazio calmo all'interno del vano scala protetto, a ciascun livello dell'autorimessa, in accordo al par. S.4.9.1.

Lo spazio calmo presenta una superficie pari a 18,60 m² nella quale potranno sostare eventuali disabili (tab. S.4-14). Essendo il vano protetto di notevoli dimensioni, lo spazio calmo non costituisce intralcio alla fruibilità della via di fuga e garantisce la permanenza in sicurezza dell'occupante in attesa di soccorsi.

In ciascuno spazio calmo sono presenti un sistema di comunicazione bidirezionale per permettere agli occupanti di segnalare la loro presenza e richiedere assistenza, attrezzature da impiegare per l'assistenza (sedia di evacuazione) e indicazioni sui comportamenti da tenere in attesa dell'arrivo delle squadre di soccorso.



→ **Criticità individuate nell'applicazione della soluzione conforme alla misura S.4 Esodo:**

❖ **Numero minimo di uscite dal compartimento**

- per R_{vita} B2: n. 2
 - (requisito non soddisfatto in base alla tab. S.4-8)

❖ **Lunghezza percorsi di esodo**

- L_{es} richiesta per R_{vita} B2: 50 m e L_{cc} di 20 m
 - L_{es} : 93 m (requisito non soddisfatto in base alla tab. S.4-10)
 - L_{cc} : 39 m (requisito non soddisfatto in base alla tab. S.4-10)

❖ **Vie di esodo (pendenza)**

- Rampa con pendenza superiore ad 8% (requisito non soddisfatto in base al par. S.4.5.3 punto 2, lett. C)

Inoltre, esiste un'altra criticità rilevata; qualora l'incendio avesse luogo all'interno dell'albergo o nel piano immediatamente sottostante (livello -1), l'esodo degli occupanti l'autorimessa è previsto debba avvenire solamente tramite una specifica via di esodo verticale.

Allo scopo, all'interno dei compartimenti costituenti l'autorimessa sarà installato un opportuno impianto di segnalazione comprensivo di sistema di diffusione degli allarmi mediante altoparlanti (EVAC).

volto a guidare l'esodo degli occupanti verso l'unica delle tre vie di esodo verticale (quella che ospita gli spazi calmi), adducendo direttamente all'esterno dell'edificio, senza passare all'interno dell'albergo.

Anche per tale motivo si è reso necessario percorrere la *soluzione alternativa* alla misura S.4 (Esodo) al fine di garantire il collegato livello di prestazione.

→ **Criticità individuate nell'applicazione della soluzione conforme alla misura S.8 Controllo di Fumo e Calore:**

- In riferimento alla tab. S.8-4, risultando il carico d'incendio specifico q_f inferiore a 600 MJ/m^2 , è richiesta una superficie utile minima delle aperture di smaltimento S_{sm} pari ad almeno $1/40$ dell'area del compartimento. L'autorimessa è totalmente priva di aperture naturali, pertanto sarà necessario studiare un impianto di estrazione meccanizzata, verificandone le condizioni di sostenibilità, allo scopo di favorire l'operatività delle squadre di soccorso interne/esterne, nonché di validare il layout dei ventilatori orizzontali, tipo Jet Fan, al fine di poter garantire una soluzione alternativa per il livello III di prestazione della misura S.8.

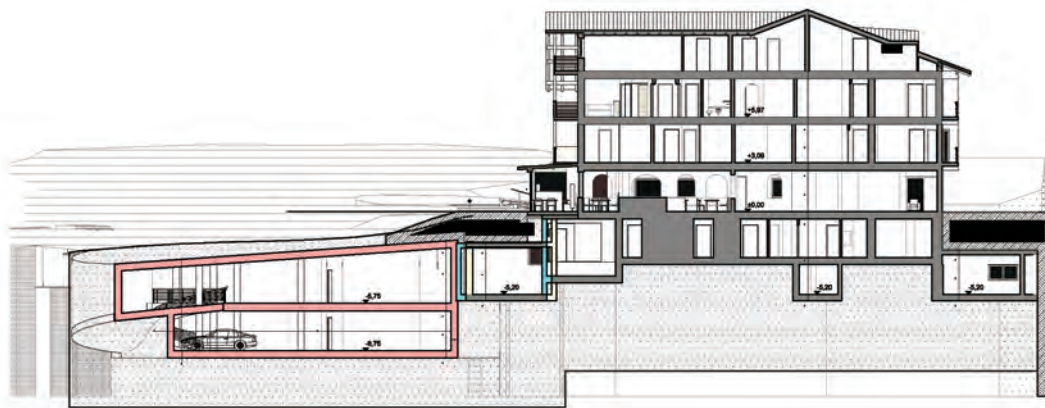
Definizione del progetto

Le criticità sopra evidenziate hanno quindi reso necessario adottare le *soluzioni alternative* tese a dimostrare che le vie di esodo siano sempre fruibili, appurando che gli effetti dell'incendio non generino condizioni incapacitanti all'evacuazione degli occupanti.

Inoltre, in relazione alle squadre di emergenza, viene garantita la condizione di operatività in sicurezza.

Peculiarità del progetto

- L'autorimessa è a servizio di attività alberghiera, che risulta contornata da un impianto sciistico che non consente nuovi interventi architettonici, quali scale o aperture.
- Nell'autorimessa non esistono finestre, in posizione e dimensioni, che possano contribuire allo smaltimento dei fumi, esso pertanto risulta demandato essenzialmente all'impianto di estrazione fumi di emergenza. I locali sono presidiati da rivelazione ed allarme dell'incendio.



- Tutti i piani dell'attività sono dotati di impianto di illuminazione di sicurezza che consente l'orientamento e l'individuazione dei percorsi d'esodo in qualsiasi condizione ambientale e in qualsiasi ora del giorno.
- L'esodo degli occupanti con ridotta mobilità viene gestita tramite realizzazione di uno spazio calmo, a ciascuno dei due livelli dell'autorimessa, all'interno di un vano protetto dotato di un sistema di comunicazione bidirezionale, con lo scopo di segnalare la presenza e richiedere soccorso. All'interno di ciascuno spazio calmo sono inoltre previste l'installazione di attrezzature idonee all'evacuazione degli occupanti con ridotta mobilità.
- Il fumo prodotto da un eventuale incendio nell'autorimessa viene movimentato da impianto SVOF verso i condotti di estrazione.
- Nel caso d'incendio all'interno dell'albergo, è previsto un sistema di informazione/gestione (misura S.5) che guidi l'esodo verso la scala adducante direttamente all'esterno, senza passare all'interno dell'albergo.

Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio

Considerata la complessità dell'edificio si è reso pertanto necessario, per alcuni aspetti, seguire l'approccio ingegneristico, anziché le soluzioni conformi (prescrittive), al fine di valutare il reale rischio incendio dell'attività e quantificare numericamente l'efficacia delle misure in ambito di prevenzione e protezione previste per la mitigazione del rischio stesso. Lo studio prestazionale ha riguardato i seguenti aspetti:

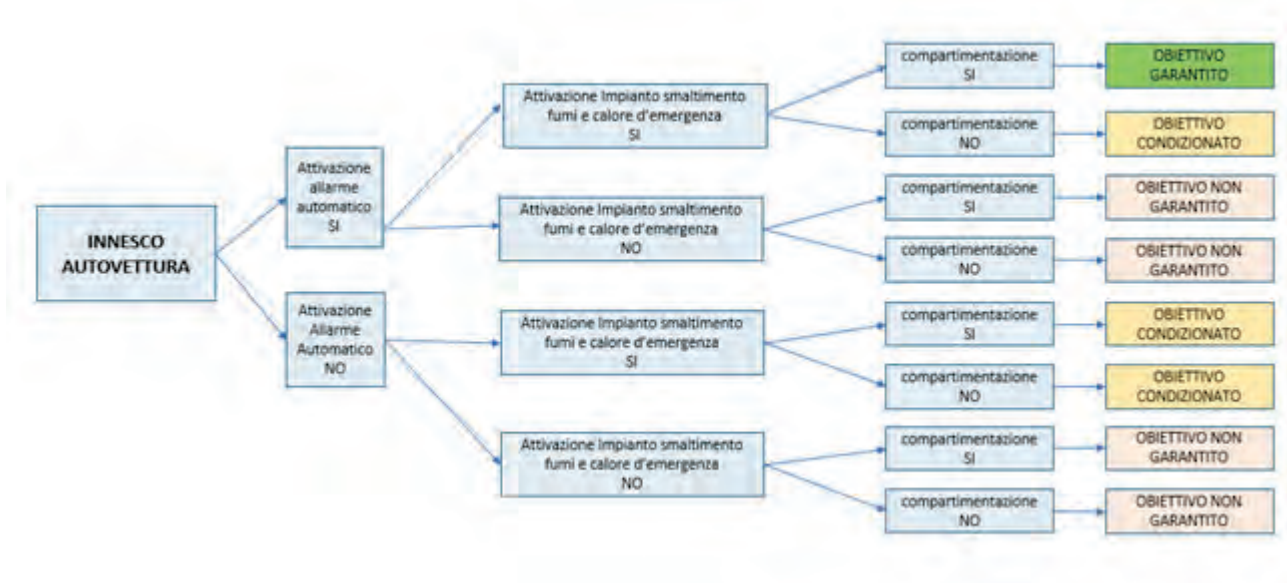
- verifica del sistema d'esodo;
- smaltimento dei fumi nelle fasi di esodo nei locali autorimessa con impianto meccanico di emergenza di tipo combinato.

Identificazione degli scenari d'incendio

Il primo passo della procedura consiste nell'identificare tutti i possibili scenari d'incendio che possono svilupparsi durante la vita utile dell'attività.

In relazione a ciò si considerano tutte le condizioni di esercizio ragionevolmente prevedibili.

Per individuare gli scenari d'incendio, si è sviluppato uno specifico albero degli eventi a partire da ogni evento iniziatore pertinente e credibile; il processo è svolto in maniera qualitativa.



ALBERO DEI GUASTI - EVENTO: INCENDIO AUTOVETTURA

Da questa schematizzazione si evince chiaramente come, in una attività non sia possibile garantire l'esodo degli occupanti "in tutte le condizioni di guasto".

È infatti inverosimile ipotizzare che, in una attività progettata e verificata prevedendo impianto IRAI, compartimentazioni ed impianto estrazione fumi di emergenza, le condizioni possano essere garantite in assenza di queste misure di sicurezza.

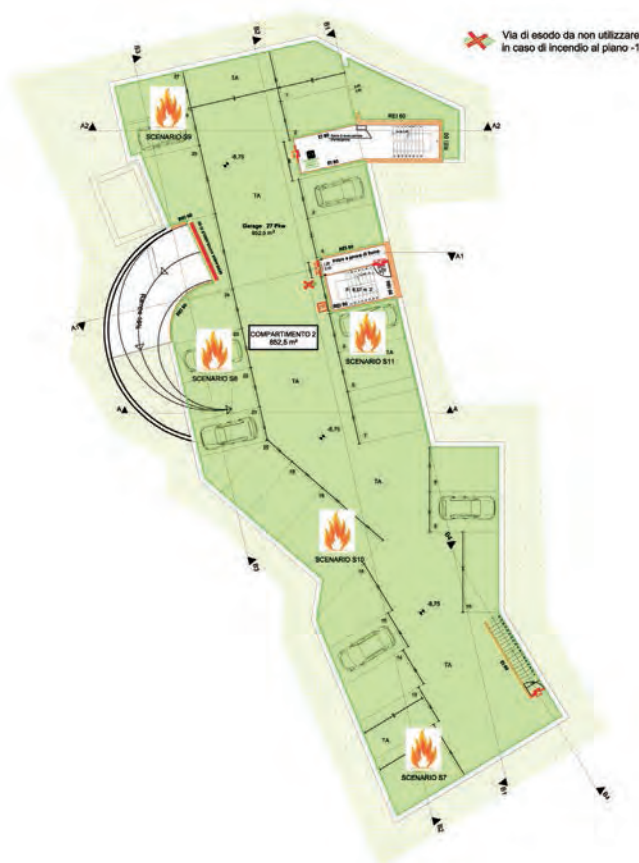
È altresì vero però che la probabilità di malfunzionamento di ogni presidio, può essere condizionata dalla gestione della sicurezza antincendio.

In questa fase di identificazione degli scenari, si tiene conto inoltre degli incendi che hanno interessato edifici o attività simili a quella in esame mediante un'analisi storica.

Considerando entrambi i compartimenti C1 e C2, si ritengono ragionevolmente prevedibili, in accordo alla norma ISO/TS 16733 ed al par. M.2.2, gli scenari d'incendio evidenziati nelle immagini seguenti.



COMPARTIMENTO C1 - SCENARI D'INCENDIO PREVEDIBILI S1, S2, S3, S4, S5 E S6



COMPARTIMENTO C2 - SCENARI D'INCENDIO PREVEDIBILI S7, S8, S9, S10 E S11

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

Nel primo passo della procedura è stato identificato un elevato numero di *scenari d'incendio prevedibili* nell'attività; lo scopo del passo successivo consiste nel ridurre il numero degli scenari d'incendio al minimo ragionevole, al fine di alleggerire il successivo lavoro di verifica delle soluzioni progettuali.

Pertanto, dagli scenari d'incendio prevedibili è stato estratto il sottoinsieme degli *scenari d'incendio di progetto*, esplicitandone i motivi che hanno portato ad escluderne alcuni dalla successiva analisi quantitativa, al fine di selezionare quelli ritenuti più gravosi (vedi par. M.2.3)..

Gli scenari d'incendio di progetto così selezionati rappresentano, per l'attività in esame, un livello di rischio d'incendio non inferiore a quello compiutamente descritto dall'insieme di tutti gli scenari d'incendio.

Le soluzioni progettuali, rispettose delle soglie di prestazione richieste nell'ambito degli scenari d'incendio di progetto, garantiscono, pertanto, il medesimo grado di sicurezza anche nei confronti di tutti gli altri scenari d'incendio.

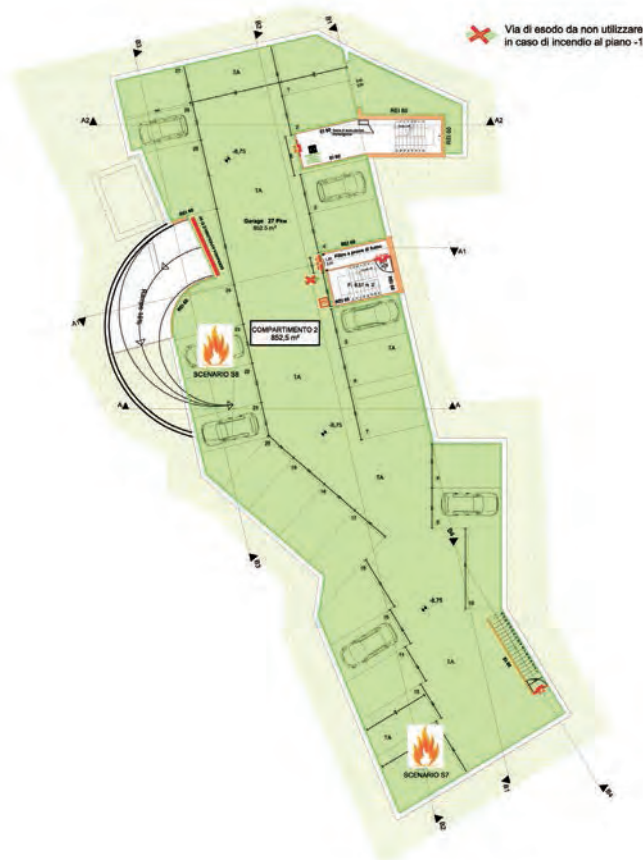
Si segnala che la selezione degli scenari d'incendio di progetto risulta fortemente influenzata dall'obiettivo che si intende raggiungere; ad esempio, se si intende perseguire, principalmente, la salvaguardia degli occupanti durante la fase di esodo, possono essere selezionati scenari come quelli di seguito indicati:

- incendi di breve durata e con crescita veloce, accompagnati da elevata produzione di fumo e gas di combustione, ad esempio, l'incendio di arredi imbottiti risulta più critico di uno che rilascia maggiore potenza termica, ma che presenta una crescita lenta e dura più a lungo, anche se quest'ultimo sollecita termicamente in modo più severo gli elementi costruttivi presenti;
- incendi di limitate dimensioni, che però si sviluppino in prossimità delle vie di esodo di un locale ad alta densità di affollamento, possono risultare più pericolosi di incendi che emettano una maggiore potenza termica, ma che si originino in un ambiente confinato e che si trovino lontano dalle zone dove è prevista la presenza di occupanti.

Si riporta, di seguito, la localizzazione in pianta degli scenari d'incendio di progetto individuati:



COMPARTIMENTO C1 - SCENARI DI PROGETTO S1 E S2



COMPARTIMENTO C2 - SCENARI DI PROGETTO S7 E S8

Per gli scopi della pubblicazione, si riportano gli esiti delle analisi eseguite solamente per gli scenari S2 ed S7.

Scenario d'incendio di progetto S2 (autovettura)

Questo scenario d'incendio è stato scelto come il più gravoso in quanto, al fine di verificare l'esodo in sicurezza degli occupanti presenti, risulta essere ubicato accanto a due delle tre vie di esodo verticali disponibili all'interno dell'autorimessa, rendendole quindi potenzialmente indisponibili.

Focolare d'incendio

Locale: Autorimessa livello -1

Livello di prestazione: esodo degli occupanti in sicurezza

L'incendio avviene nell'autorimessa, in zona baricentrica; è presente un'unica destinazione d'uso a parcheggio autovetture di tipo privato.

Scenario di progetto S7 (autovettura)

Locale: Autorimessa Livello -2

Livello di prestazione: Controllo fumi e calore

L'incendio avviene nel locale autorimessa, in corrispondenza del *doppio volume*, caratterizzato da un'altezza interna di 4,11 m, entro il quale è presente unica destinazione d'uso a parcheggio autovetture di tipo privato.

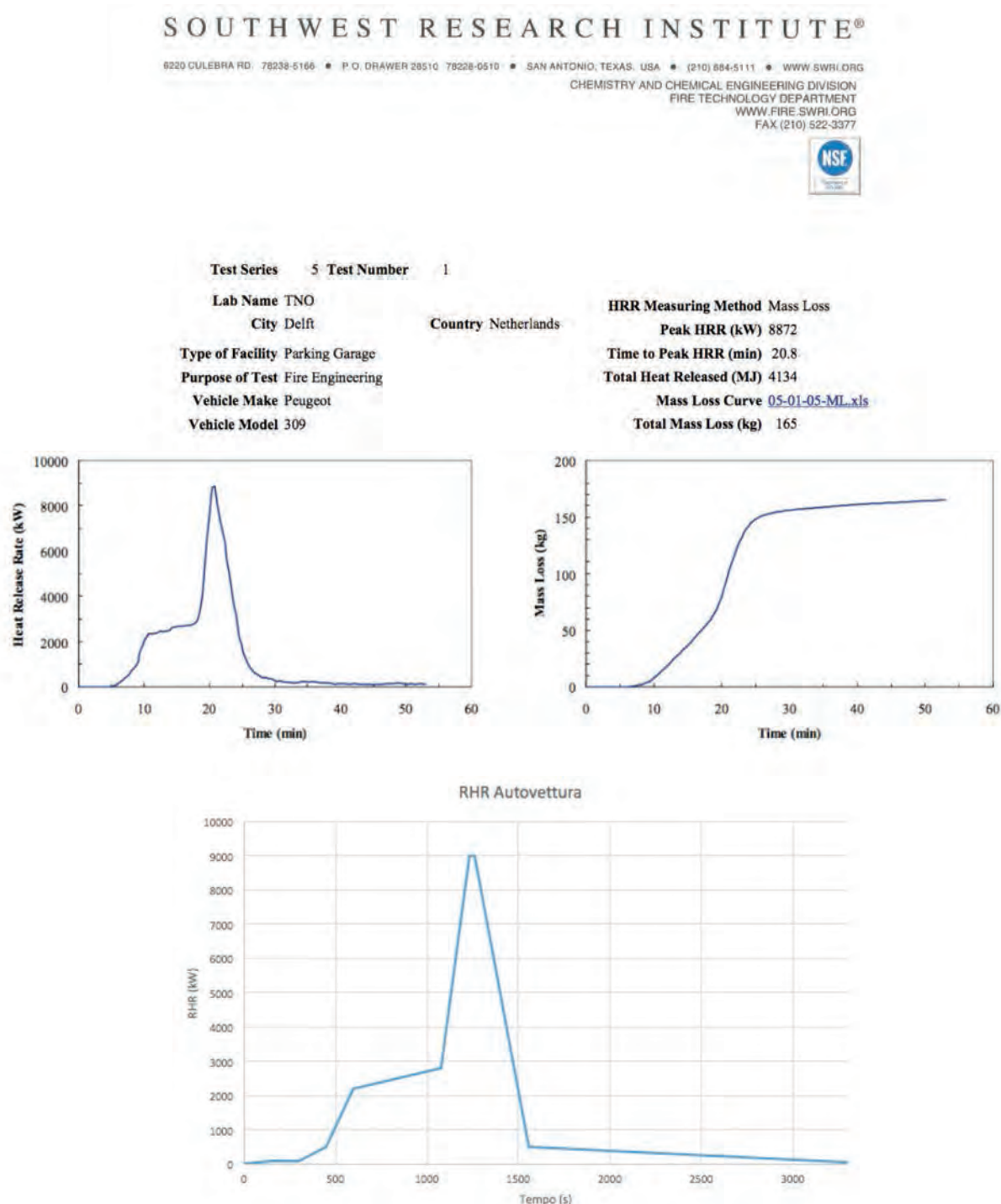
Le caratteristiche del materiale, e del suo quantitativo, unitamente alla geometria dei locali, non permettono lo sviluppo del flashover.

È presente l'impianto di rivelazione incendi e l'impianto di estrazione fumi e calore meccanico di emergenza di tipo combinato. Il locale può non essere permanentemente presidiato.

Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio.

Definizione della curva HRR

Da letteratura condivisa, si è scelto di utilizzare la curva HRR ottenuta da prova reale su monovolume della casa automobilistica Peugeot 309; tale prova sperimentale è in grado di ben rappresentare la sollecitazione, in termini di fumo e calore, all'interno dell'automobile:



CURVA HRR E CURVA DI PERDITA DI MASSA RELATIVE ALLA VETTURA OGGETTO DELLA PROVA REALE

La reazione di combustione scelta, a seguito di valutazioni sulla tipologia di materiale prevalente, viene ricondotta in favore di sicurezza a una miscela 50% eptano e 50% Poliuretano al Poliuretano:

Combustione	CO Yield	Soot Yield
Miscela	0,1	0,121

Risultati delle simulazioni

Calcolo di RSET

Il tempo RSET viene calcolato tra l'insacco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti raggiungono un luogo sicuro, che nello specifico può essere l'esterno, la scala protetta o lo spazio calmo.

In conformità al cap. M.3, seguendo la consueta metodologia (vedi, ad esempio, caso studio 3), si ottiene:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$$

Tenendo conto dell'inerzia/ritardo dell'IRAI, esteso all'intera attività, e dell'influenza della temperatura ambiente iniziale, per $R_{vita} = B2$:

- attività dotata di IRAI;
- livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato;
- presenza di addetti formati al rischio incendio.

si adotta:

$$t_{det} = 60 \text{ s}$$

In presenza di IRAI, esteso a tutto l'attività, il tempo di allarme generale viene assunto pari a zero, quindi:

$$t_a = 0 \text{ s}$$

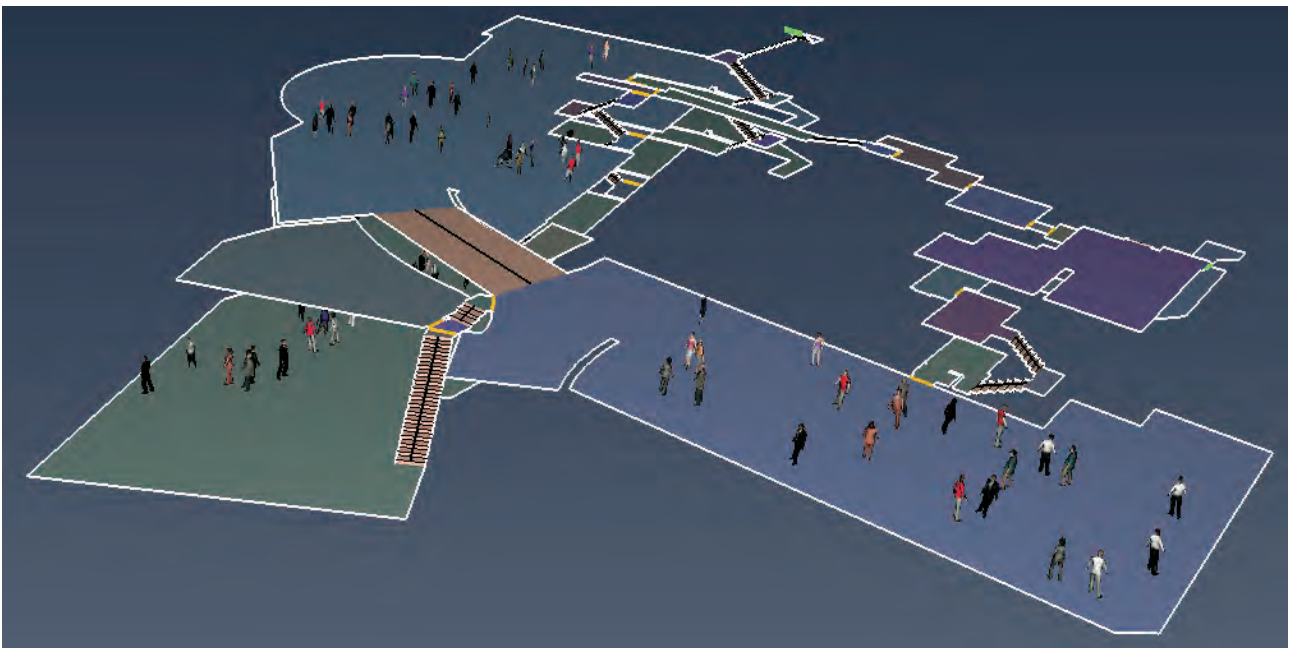
ottenendo:

$$t_{det} + t_a = 60 \text{ s}$$

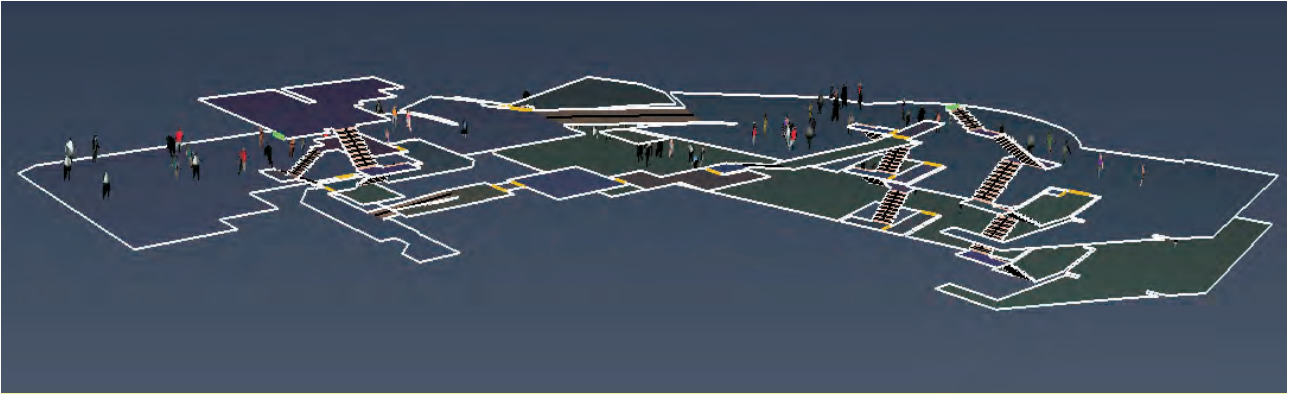
Per quanto riguarda il tempo di pre-movimento ($t_{pre(1^\circ)}$ e $t_{pre(99^\circ)}$) si è assunto un valore corrispondente alla configurazione ($R_{vita} = B2$) → M2, B1, A1-A2 (60 s - 240 s).

Relativamente al tempo di movimento (t_{tra}) è stato utilizzato il software Pathfinder che consente di assimilare gli occupanti ad un fluido granulometrico, inserendoli nella configurazione reale più gravosa nella quale possono venirsi a trovare.

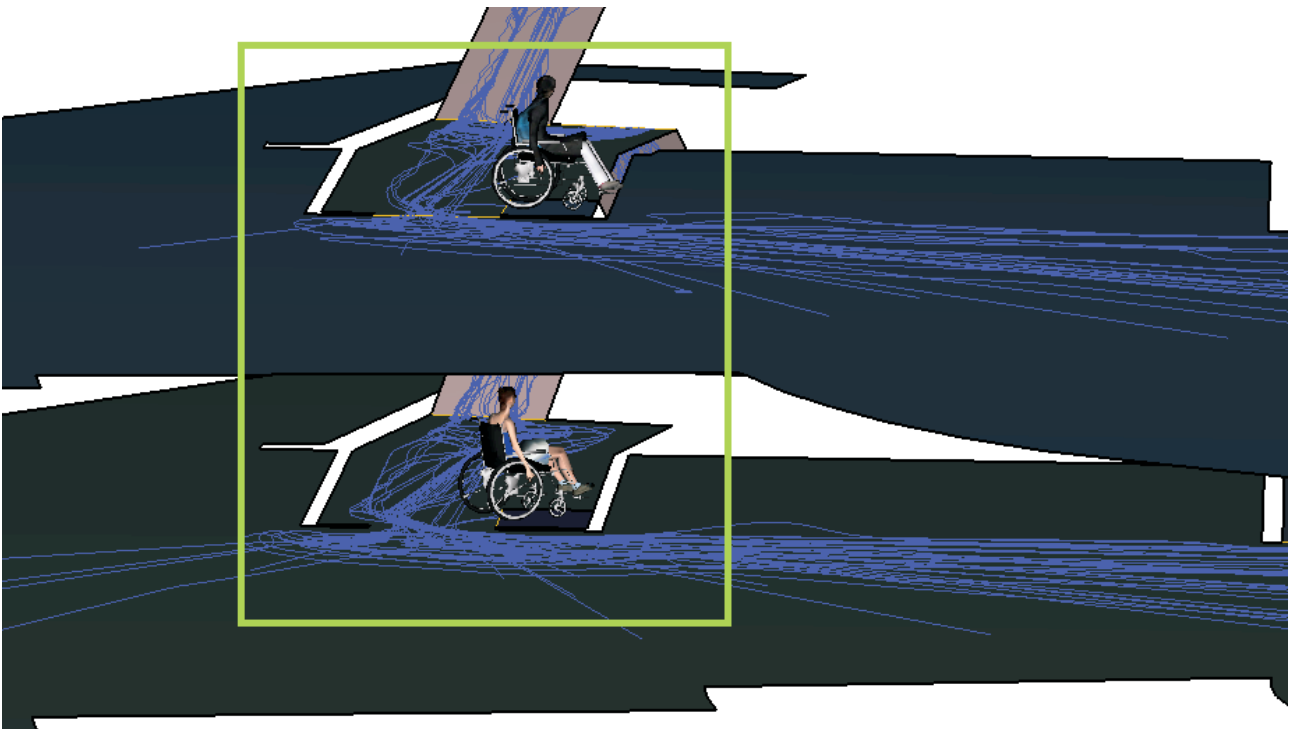
Le analisi sono condotte ipotizzando il massimo affollamento e l'eventuale indisponibilità delle eventuali vie di esodo a seguito dell'incendio.



MODELLAZIONE IDRAULICA AVANZATA - PATHFINDER



MODELLAZIONE IDRAULICA AVANZATA - PATHFINDER



DISABILI INSERITI NEGLI SPAZI CALMI PREVISTI

Compartimento	Affollamento	Tipologia occupanti
C1	48	B2
C2	52	B2

Tipologia	Velocità (m/s)	Larghezza (m)	Altezza (m)
Adulti	1,19	0,46	1,83
Disabili	0,60 - 1,80	0,70	1,00

DATI INPUT PER LA MODELLAZIONE

In definitiva, si ottiene:

$$RSET_2 = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra} = 60 + 0 + 240 + 42 = 342 \text{ s}$$

$$RSET_7 = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra} = 60 + 0 + 240 + 68 = 368 \text{ s}$$

Calcolo di ASET

La valutazione del tempo disponibile per l'esodo ASET sarà eseguita utilizzando il *metodo di calcolo avanzato per ASET*, secondo il par. M.3.3.1.

Per eseguire tale calcolo di ASET si prende a riferimento (vedi par. M.3.3.1.2) la norma ISO 13571, secondo la quale, come noto, il valore di ASET globale è definito come il più piccolo tra gli ASET calcolati secondo quattro modelli esaminati nella prima parte della presente pubblicazione:

- a) Modello dei *gas tossici*;
- b) Modello dei *gas irritanti*;
- c) Modello del *calore*;
- d) Modello dell'oscuramento della *visibilità* da fumo.

La simulazione d'incendio è stata condotta, con metodologia avanzata, mediante l'utilizzo di modelli di campo con software FDS.

L'autorimessa, come evidenziato, è suddivisa in compartimenti antincendio distinti, entrambi ai livelli interrati. I locali autorimessa sono serviti da impianto meccanico di estrazione fumi di emergenza di tipo combinato, e da impianto IRAI.

Si è posta particolare attenzione alle grandezze caratteristiche che influenzano l'esodo in sicurezza degli occupanti nonché alle condizioni di visibilità e temperature dei fumi.

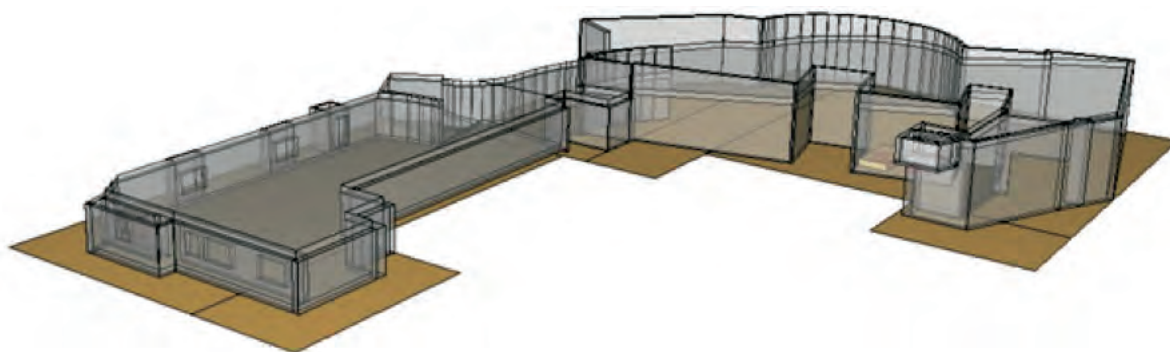
Come riportato nelle tabelle seguenti, ogni parametro significativo di inabilità in fase di esodo è stato rilevato con sonde virtuali posizionate all'altezza da terra prescritta nei metodi di cui al cap. M.3.3:

Parametro	Altezza (m)	Valore soglia occupanti
Visibilità	1,80	≥ 10 m
Temperatura	1,80	≤ 60 °C
Gas tossici	1,80	0,10 mol/mol
Irraggiamento	1,80	≤ 2,5 kW/m ²

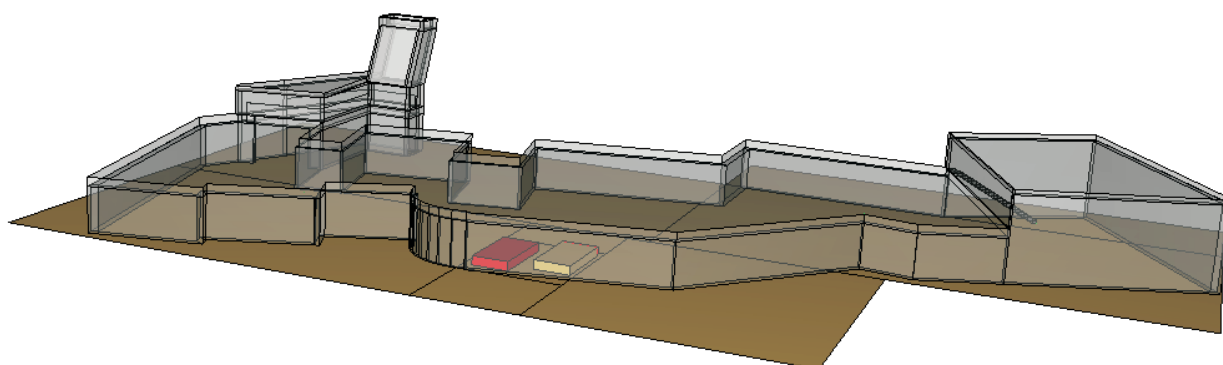
Parametro	Altezza (m)	Valore soglia soccorritori
Visibilità	1,80	≥ 5 m
Temperatura	1,80	≤ 80 °C
Gas tossici	1,80	-
Irraggiamento	1,00	≤ 3 kW/m ²

Sono state disposte sonde virtuali, all'interno dei locali, per poter studiare l'andamento nel tempo delle temperature, della visibilità, dei valori di irraggiamento e della tossicità dei fumi.

Si ribadisce che ciascun occupante possiede un proprio valore di ASET; tale complessità viene risolta dal professionista antincendio con considerazioni statistiche e con modelli di calcolo numerici.



MODELLAZIONE DEL COMPARTIMENTO C1



MODELLAZIONE DEL COMPARTIMENTO C2

Le visualizzazioni grafiche, ottenute in diverse fasi temporali, sono state realizzate collocando, per ciascun parametro, un piano di scansione orizzontale in corrispondenza della rispettiva altezza critica; la scala cromatica fornisce l'evidenza della misura del parametro al di sotto del valore di soglia.

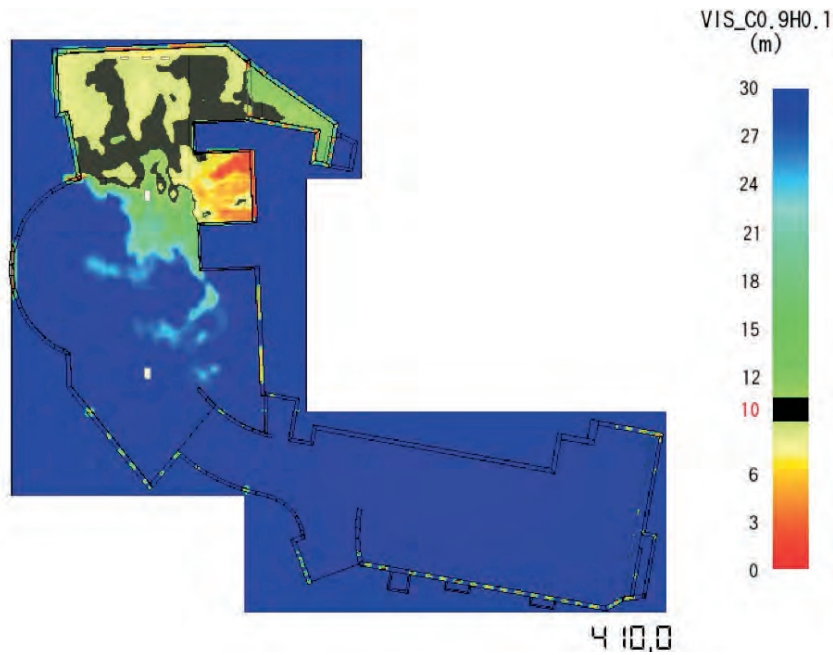
Sono state omesse, in questa sede, le verifiche relative alla temperatura, all'irraggiamento ed alla tossicità dei fumi in quanto i valori risultanti sono ininfluenti.

Infatti, grazie all'effetto benefico dell'estrazione meccanizzata dei fumi e gas caldi prodotti, i valori di temperatura registrati nell'intorno del focolare considerato, risultano modesti ($< 40\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Il valore massimo della FED registrato risulta pari a circa $0,004\text{ mol/mol}$.

Nello scenario S7, dopo circa 600 s dall'innesco, il valore massimo dell'irraggiamento registrato lungo gli spazi di manovra risulta circa $0,6\text{ Kw/m}^2$, inferiore a quello massimo imposto dalla norma pari a 3 Kw/m^2 .

Slice file relative al parametro visibilità - Scenario S2



SEZIONE ORIZZONTALE CON RAPPRESENTAZIONE DELLA VISIBILITÀ A 410 S DALL'INNESCO

Le condizioni di visibilità non risultano inibite (visibilità al di sotto i 10 m) se non in una zona circoscritta nei pressi dell'innescò.

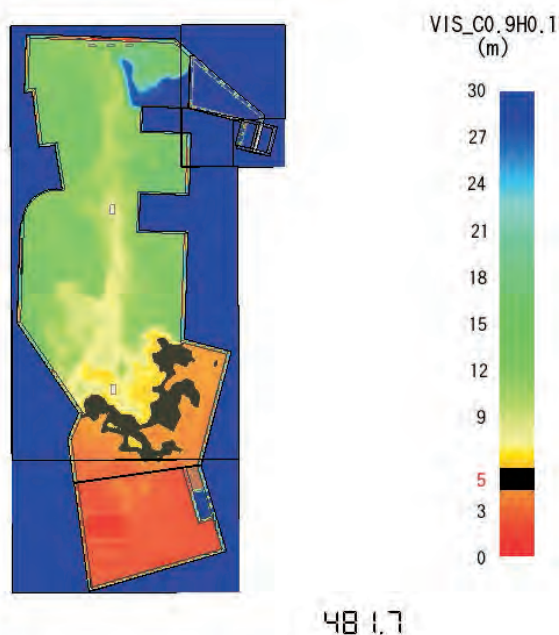
La slice precedente si riferisce alla condizione nella quale la densità dei fumi prodotti risulta tale da pregiudicare la visibilità di una delle due vie di esodo verticali, adiacente al focolare di progetto S2, che rimane comunque fruibile fino a tale momento ($ASET_2 = 410$ s).

Si osserva che, anche grazie al sistema di smaltimento fumi e calore d'emergenza, le condizioni di visibilità risultano garantite per la maggior parte della superficie in pianta dell'autorimessa e lungo le vie di esodo.

Slice file relative al parametro visibilità - Scenario S7

Al tempo di arrivo delle squadre di soccorso VV.F., le condizioni di visibilità non risultano inibite se non in una zona circoscritta nell'intorno dell'innescò ($ASET_7 > 480$ s).

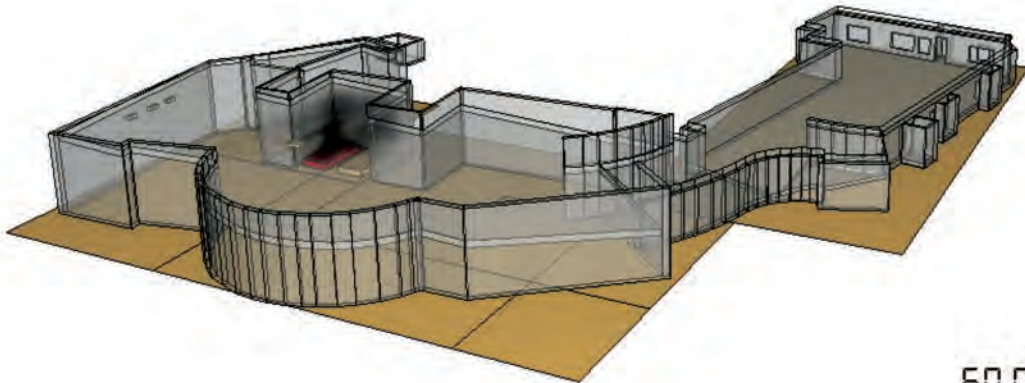
Grazie al sistema di smaltimento fumi e calore d'emergenza, le condizioni di visibilità risultano garantite per la maggior parte della superficie in pianta dell'autorimessa e sono tali da consentire l'accesso alla stessa usufruendo di due delle tre vie di esodo verticali presenti.



SEZIONE ORIZZONTALE CON RAPPRESENTAZIONE DELLA VISIBILITÀ A 481,7 S DALL'INNESCO

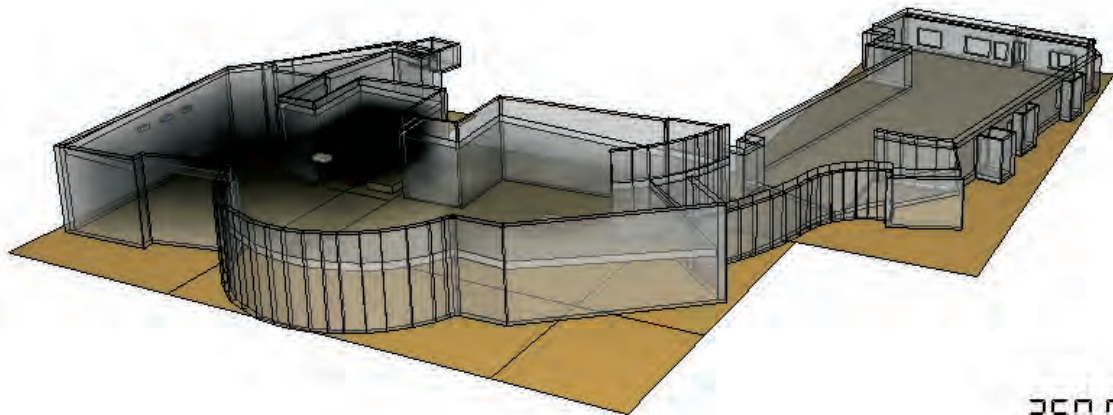
Si riporta un time-lapse dei fumi prodotti nello scenario S2:

60 s - Attivazione Impianto di smaltimento fumi e calore d'emergenza



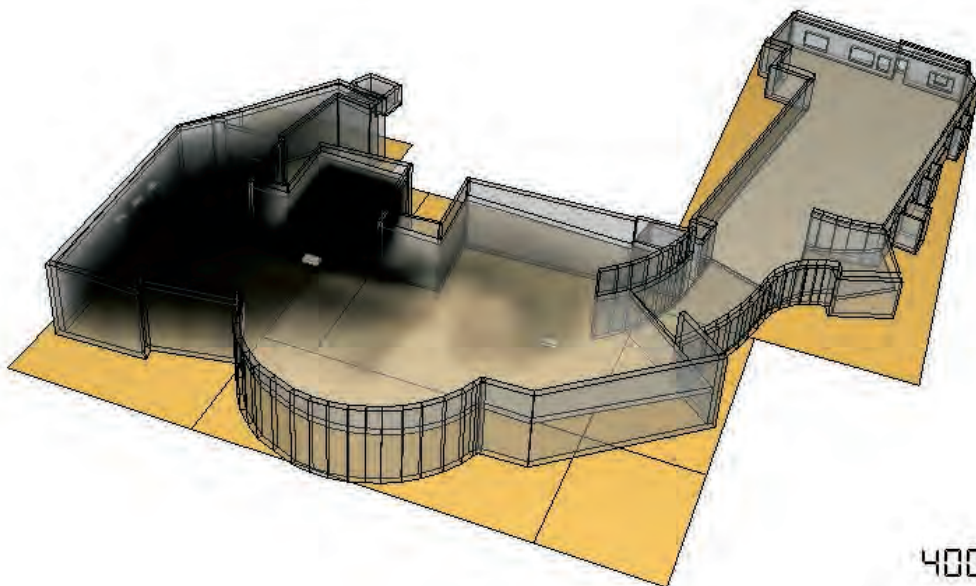
60.0

250 s



250.0

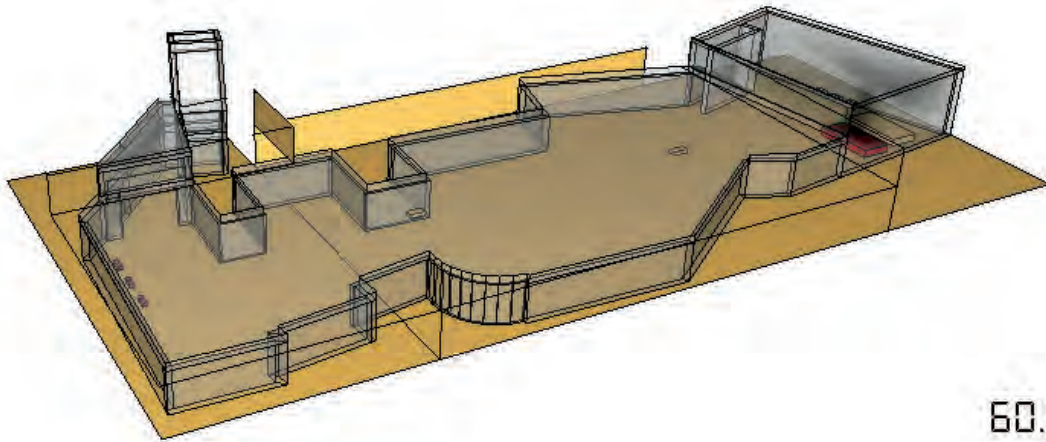
400 s



400.0

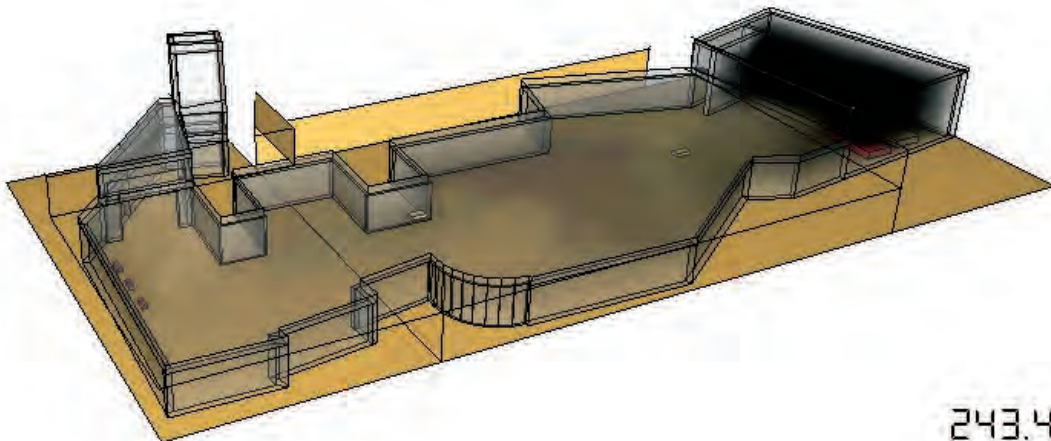
Si riporta un time-lapse dei fumi prodotti nello scenario S7:

60 s - Attivazione Impianto di smaltimento fumi e calore d'emergenza



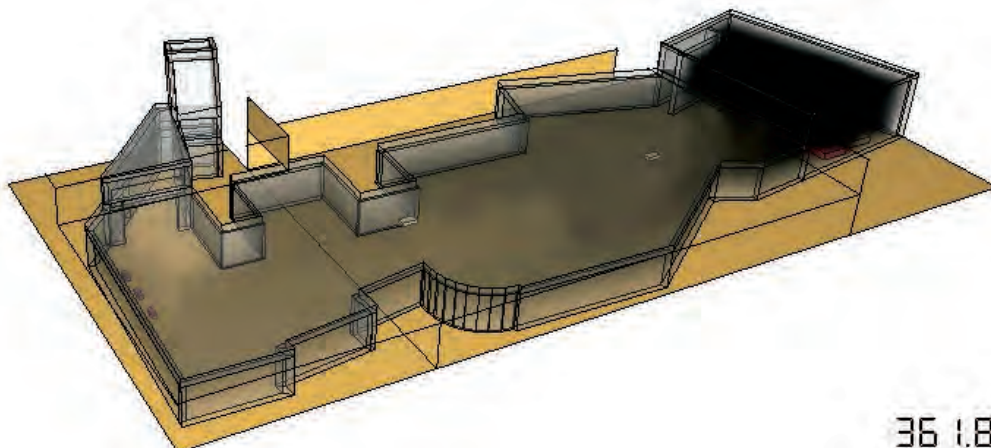
60.2

243 s



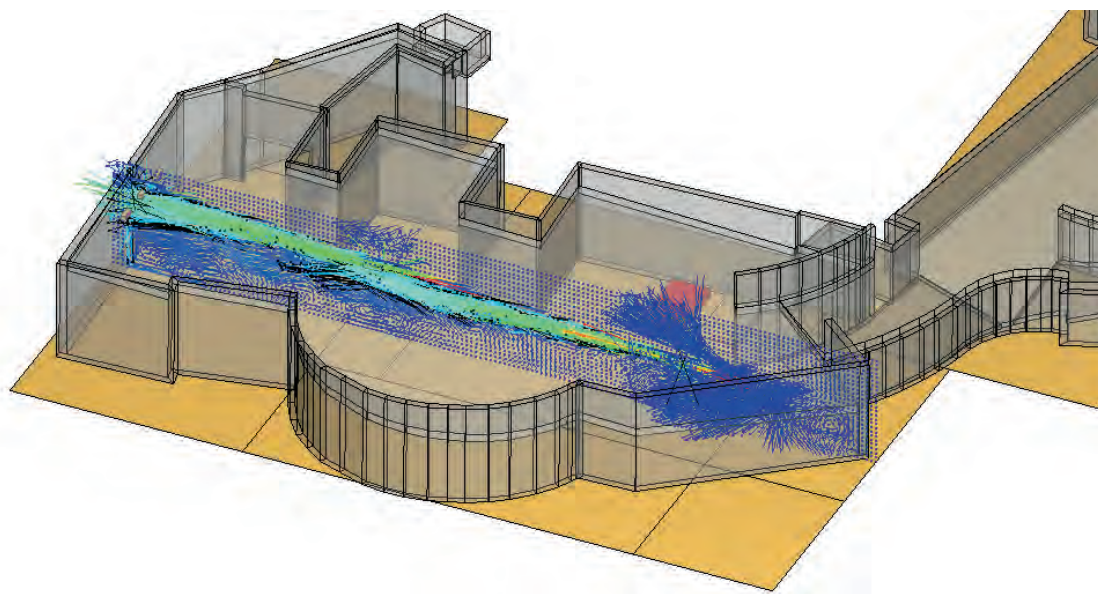
243.4

361,8 s

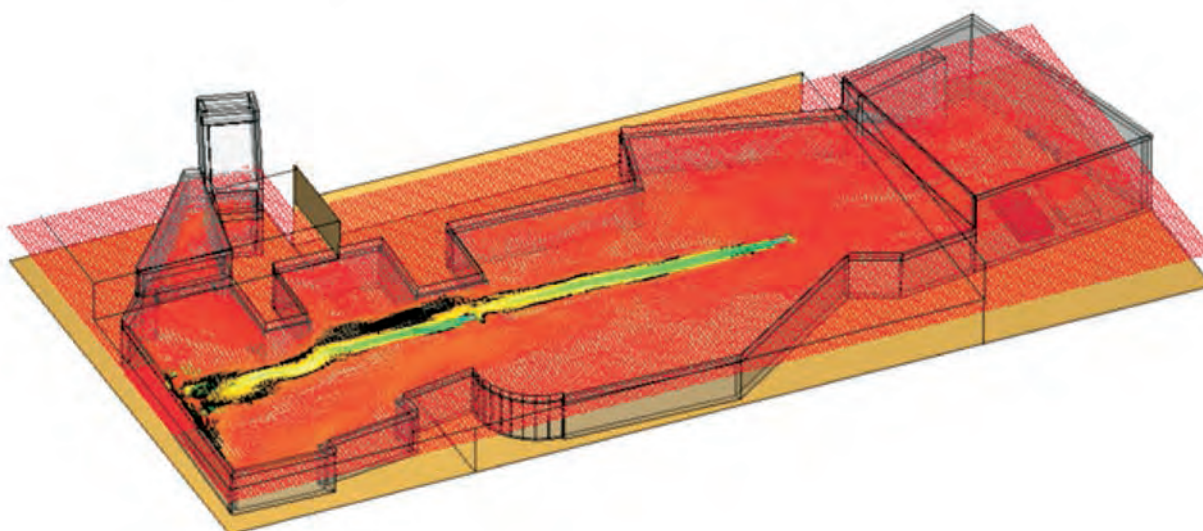


361.8

Si riporta una slice che illustra il campo delle velocità ed il funzionamento dei Jet Fan nello scenario S2 (dopo 326 s):



e nello scenario S7 (dopo 127 s):



Nello specifico, l'estrazione dei fumi avverrà tramite ventilatori assiali intubati ad alta efficienza per applicazioni canalizzate, con griglie di aspirazione posizionate nella parte alta del compartimento.

L'immissione di aria fresca, nel compartimento C1, avverrà mediante ventilazione naturale sfruttando essenzialmente il varco di accesso all'autorimessa.

L'immissione di aria fresca, nel compartimento C2, avverrà mediante ventilatori assiali intubati ad alta efficienza per applicazioni canalizzate, con griglie di immissione posizionate nella parte bassa del compartimento.

Per quanto concerne le prestazioni dell'impianto smaltimento fumi e calore d'emergenza, la portata minima di estrazione da garantire sarà pari a $13 \text{ m}^3/\text{s}$.

La portata minima di immissione richiesta sarà pari a $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per quanto riguarda la movimentazione dei fumi in direzione orizzontale è prevista l'installazione di 2 Jet Fan a soffitto ad alte prestazioni aventi motore a doppia velocità, in grado di garantire, cadauno, una portata massima di $2,71 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'impianto così dimensionato, permette di garantire, in primo luogo, la facilitazione dell'esodo degli occupanti nonché le condizioni minime necessarie per un agevole intervento da parte delle squadre dei VV.F., il cui tempo d'intervento è stimabile in otto minuti (480 s).

Critério di ASET > RSET

In definitiva, in relazione all'elevata conservatività delle ipotesi assunte, dagli esiti ottenuti si dimostra che, per gli scenari considerati più critici, risulta in ogni caso:

$$\begin{aligned} \text{ASET}_2 &> 1,10 \text{ RSET}_2 = 1,10 \cdot 342 \text{ s} = 376 \text{ s} \\ \text{ASET}_7 &> 1,10 \text{ RSET}_7 = 1,10 \cdot 368 \text{ s} = 405 \text{ s} \end{aligned}$$

Nel caso in esame, l'affidabilità dei dati di input è insita sia nella definizione dei parametri che definiscono le prestazioni del sistema di smaltimento fumo e calore d'emergenza che in quelli che definiscono la curva HRR impiegata, essendo questi risultanti da test sperimentali.

Pertanto è giustificata l'assunzione del margine del 10% di RSET rispetto ad ASET.

Gestione della sicurezza antincendio

Sono introdotte specifiche misure di gestione della sicurezza antincendio, affinché non possa verificarsi la riduzione del livello di sicurezza assicurato, conformemente agli scenari di progetto individuati e analizzati. In tutta l'attività è previsto un livello di prestazione II per la misura S.5 (Gestione della sicurezza antincendio). I punti integrativi sono limitati ai soli aspetti trattati nella progettazione prestazionale.

❖ Organizzazione del personale

È predisposta idonea formazione ed informazione, affinché gli addetti alle emergenze siano messi a conoscenza delle limitazioni all'attività imposte dall'approccio ingegneristico.

❖ Controllo operativo

Nell'autorimessa dovrà essere eseguita periodicamente la verifica di corretta gestione delle comunicazioni con l'attività alberghiera sovrastante; inoltre, il parcheggio dovrà essere consentito nei soli stalli individuati a terra mediante apposita segnaletica orizzontale.

❖ Gestione delle modifiche

Eventuali ipotesi di modifiche dell'attività, comunque non sostanziali, dovranno essere comunicate ad un tecnico antincendio; nel caso fossero ritenute significative si dovrà predisporre una nuova valutazione del progetto di prevenzione incendi.

❖ Pianificazione di emergenza

Il piano di emergenza dovrà contenere le modalità di gestione relative alla presenza di personale esterno.

❖ Controllo delle prestazioni

Le prove di attivazione del sistema IRAI e dell'impianto di estrazione fumi meccanico dovranno essere effettuate trimestralmente.

❖ Manutenzione dei sistemi di protezione attiva

La manutenzione dei sistemi di protezione attiva dovrà essere affidata ad azienda di comprovata esperienza nelle manutenzioni di impianti antincendio e in possesso del sistema di certificazione ISO 9001.

❖ Controllo e revisione

Con cadenza annuale dovrà essere realizzato un documento di sintesi nel quale saranno indicati:

- eventuali modifiche intervenute nell'edificio;
- problematiche connesse con la gestione degli impianti di protezione attiva, eventuali falsi allarmi, indicazioni sulla risoluzione della problematica.

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata dimostrata la *soluzione alternativa*, in relazione alle misure S.4 (Esodo) e S.8 (Controllo di fumi e calore); a tale scopo, sono stati illustrati i calcoli di ASET e RSET relativi all'esodo in emergenza degli occupanti presenti all'interno dell'autorimessa.

La *soluzione conforme* non è stata percorribile, in quanto avrebbe richiesto la realizzazione di ulteriori scale adducenti all'esterno; ma essendo l'autorimessa posta inferiormente ad una pista da sci, sarebbe risultato impossibile realizzare ulteriori interventi sulla medesima.

In merito alla misura S.8 (Controllo di fumi e calore), il vincolo imposto dalla sovrastante pista da sci, impedendo la realizzazione di bocche di lupo, o di dispositivi simili, utili a consentire lo smaltimento dei fumi all'esterno, non consente il rispetto della *soluzione conforme*.

Adottando una *soluzione alternativa*, tramite analisi CFD è stata dimostrata la possibilità di smaltire fumi e calore dell'incendio dai compartimenti, tramite un impianto di gestione dei fumi e calore di tipo combinato. L'impianto, costituito da un sistema di ventilazione orizzontale del tipo a Jet Fan, smaltisce i fumi e il calore dell'incendio durante le prime fasi dell'esodo e le successive, per le operazioni di estinzione condotte dalle squadre di soccorso.

❖ *Commento dei risultati*

Come rilevabile dai risultati delle analisi condotte per gli scenari di progetto S2 e S7, tutti i parametri analizzati si mantengono al di sotto della rispettiva soglia critica per tutta la durata prevista per l'indagine.

È stato possibile pertanto dimostrare che il tempo disponibile per l'esodo in caso d'incendio (ASET) risulta sempre maggiore del tempo che sarebbe necessario a qualsiasi occupante dell'autorimessa per raggiungere un luogo sicuro (RSET) in caso d'incendio, anche tenendo conto del margine di sicurezza del 10%, in alcuni casi esteso sino al 100%.

Si evidenzia che, affinché tali risultati siano incontestabili, è fondamentale che l'impianto per l'estrazione dei fumi e del calore di tipo combinato abbia garanzie di funzionamento: ciò è possibile solo dotandolo di alimentazione ridondante e con una gestione della sicurezza antincendio molto spinta sull'aspetto manutentivo e gestionale del predetto impianto.

Alla luce di quanto sopra esposto emerge, ancora una volta, la esigua flessibilità ed adattabilità dell'approccio prescrittivo (rappresentato nel Codice dall'impiego delle soluzioni conformi) ad attività caratterizzate da varie complessità o che, come nel caso esaminato, potrebbero scontrarsi con vincoli ed esigenze peculiari del contesto nel quale è inserita l'attività medesima.

Un approccio ingegneristico per la sicurezza antincendio, che tenga conto di un'adeguata strategia antincendio, viceversa, può fornire una soluzione più economica, e su misura, rispetto agli approcci tradizionali alla sicurezza antincendio.

❖ *Eventuali sviluppi ulteriori*

Altro aspetto di rilievo che emerge dal quadro rappresentato, che riguarda soprattutto le autorimesse non aventi un'altezza interna apprezzabile, consiste nel non poter prescindere dall'entrata in funzione dei Jet Fan, anche durante le prime fasi di esodo degli occupanti, dimostrando che il "direzionamento" dei prodotti della combustione compiuto dalla ventilazione orizzontale non inficia le vie di esodo.

In linea con le normative internazionali, come la NFPA, l'esempio trattato dimostra l'effetto benefico dei Jet Fan nell'ottica della movimentazione dei fumi, verso i punti di estrazione, con una velocità di regime che non interferisca con la capacità degli occupanti di abbandonare in sicurezza il compartimento di primo innesco.

Viceversa, l'impiego di Jet Fan in sistemi di ventilazione orizzontale (tipo SVOF) non garantisce immediatamente la sicurezza degli occupanti durante l'esodo ma solo l'intervento delle squadre di soccorso.

Caso studio 7: soluzione alternativa per il livello di prestazione II misura S.8 - archivio

Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un archivio documentale inserito nell'ambito di un edificio a destinazione civile, ubicato al piano terra.

La particolare natura storica della documentazione da conservare ha spinto il titolare dell'attività ad imporre una distribuzione planimetrica tale da ridurre al minimo possibili intrusioni dall'esterno e, parallelamente, a ricorrere a mezzi estinguenti di tipo innovativo per preservarne l'integrità in caso d'incendio.

Tali scelte impediscono, di fatto, la piena osservanza delle *soluzioni conformi* imposte per la misura S.8 (Controllo di fumo e calore).

Nel progetto di prevenzione incendi dell'attività è illustrata la strategia adottata, evidenziando le soluzioni tecniche e la rispondenza delle stesse agli obiettivi primari e secondari della prevenzione incendi, mediante l'adozione sia di *soluzioni conformi* che, nell'ambito della misura S.8 (Controllo di fumo e calore), di una *soluzione alternativa*.

Nel caso in esame, ai fini didattici, ci si occuperà solamente di quest'ultima, sviluppate avvalendosi sia di metodi avanzati che di metodi semplificati così come previsto dai capitoli M del Codice.

L'area interessata dagli interventi è suddivisa in due compartimenti antincendio, uno interno all'altro.

Il compartimento interno A (perimetro verde) è costituito dal locale nel quale sarà allestito l'archivio, mentre nel compartimento esterno B (perimetro rosso) saranno presenti gli uffici e i servizi asserviti all'attività di archiviazione (servizi igienici e due piccoli locali ospitanti la centrale termica per l'acqua sanitaria e quella per il riscaldamento, aventi entrambe potenzialità di 24 kW).

L'accesso al compartimento interno avverrà esclusivamente da filtri a prova di fumo (aree campite), che metteranno in comunicazione i due compartimenti.

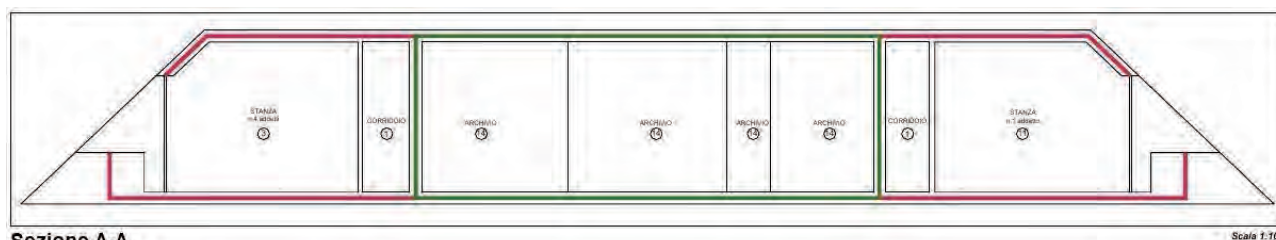
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni geometriche dei due compartimenti	Vedi planimetria (A = 164 m ² ; B = 255 m ²)
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in C.A. con solai in latero-cemento

Inserimento planimetrico dell'archivio (perimetro verde)

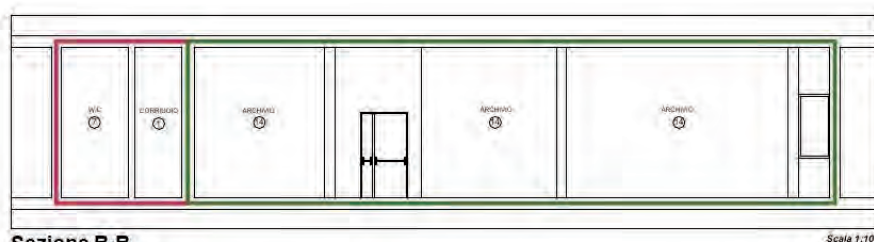
Compartimenti antincendio	L'archivio (compartimento interno) è inserito all'interno di un compartimento esterno destinato ad uffici e servizi annessi
Numero occupanti	25 allocati nel compartimento esterno (nessun disabile)
Profilo di rischio R_{vita}	A2 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R_{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello I di prestazione (par. S.1.3 e par. S.1.4)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.2.3 e par. S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.1)
Esodo	Livello I di prestazione (par. S.4.3 e par. S.4.4.1)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio ²⁵	Livello IV di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.2) Rete di idranti (UNI 10779) e Impianto di estinzione automatica di tipo innovativo
Rivelazione ed allarme ²⁶	Livello IV di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello di prestazione equivalente al II (par. S.8.3 e par. S.8.4.3)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)
Ubicazione geografica del sito	Caserta

All'interno dell'archivio non è prevista la presenza fissa di persone; esso sarà di supporto alle attività svolte nel compartimento uffici ad esso collegato e solo il personale autorizzato potrà accedere ai documenti. L'accesso all'archivio sarà mirato esclusivamente a reperire o archiviare la documentazione, di volta in volta necessaria all'attività lavorativa che si svolge al di fuori dell'archivio stesso.



Sezione A-A

Scala 1:100



Sezione B-B

Scala 1:100

SEZIONI TRASVERSALI DELL'ARCHIVIO

Obiettivi dello studio

La scelta progettuale di evitare aperture dirette verso l'esterno e l'utilizzo di un impianto ad estinzione automatica, ad azione combinata inibente e refrigerante, ha impedito, da un lato, una ventilazione diretta dei locali, come previsto per il livello II di prestazione e, dall'altro, l'adozione di un impianto di smaltimento di fumo e calore del tipo SEFFC, conforme alla norma UNI 9494-2, come previsto per il livello III di prestazione. Pertanto, al fine di ottenere le caratteristiche che meglio si adattano al caso in esame, si è fatto ricorso ad una *soluzione alternativa* utilizzando il metodo dell'ingegneria della sicurezza antincendio secondo le procedure, le ipotesi e i limiti indicati nei capitoli M del Codice e secondo le procedure previste dalla normativa vigente.

²⁵ In ragione dei profili di rischio, il livello di prestazione da garantire per le misure di cui al cap. S.6 dovrebbe essere il III, per scelta esclusiva del titolare dell'attività mirata alla preservazione dei documenti si è scelto un livello di prestazione più alto introducendo un impianto di estinzione automatica di tipo innovativo.

²⁶ In ragione dei profili di rischio, il livello di prestazione da garantire per le misure di cui al cap. S.7 dovrebbe essere il III, lo sviluppo della soluzione alternativa per le misure di cui al cap. S.8 ha obbligato all'adozione di un livello di prestazione IV.

Si ricorda, in ogni caso, che le *soluzioni alternative* sono ammesse applicando uno dei metodi riportati nel par. G.2.6 dimostrando il rispetto degli obiettivi di sicurezza antincendio ed il raggiungimento del livello di prestazione garantito mediante l'adozione della relativa soluzione conforme.

In particolare, nel caso in esame, si è inteso utilizzare i metodi dell'ingegneria della sicurezza per:

- analizzare la diffusione dei fumi all'interno dell'archivio;
- analizzare i gradienti termici, la visibilità e l'irraggiamento generati durante l'evoluzione dell'incendio.

Scopo della presente *soluzione alternativa* è dimostrare che la realizzazione di un impianto di ventilazione meccanica che, secondo le previsioni del par. S.8.1.1, non avrà la funzione di SEFFC (secondo la definizione di cui alla norma UNI 9494-2), ma sarà in grado di surrogare le aperture per lo smaltimento di fumo e calore in emergenza.

Si segnala, a latere, che il rispetto della *soluzione conforme* per la misura S.8, nel compartimento archivio, avrebbe richiesto una superficie utile minima per le aperture di smaltimento S_{sm} (tab. S.8-4, tipo di dimensionamento: SE3) pari a:

$$S_{sm} = A / 25 = 164 / 25 = 6,56 \text{ m}^2$$

Focus sulla strategia adottata

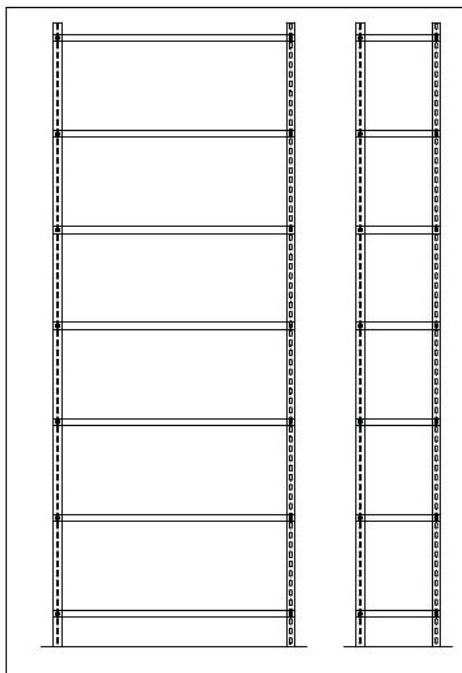
Prioritariamente all'illustrazione della *soluzione alternativa*, si ritiene opportuno evidenziare alcune peculiarità della strategia adottata nell'ambito del progetto di prevenzione incendi in esame, specificatamente in relazione alle misure S.2 Resistenza al fuoco ed S.6 Controllo dell'incendio.

Carico d'incendio specifico di progetto per il compartimento archivio

La stima del carico d'incendio specifico di progetto ($q_{f,d}$) ed il conseguente calcolo della classe minima di resistenza al fuoco sono determinati in relazione al quantitativo di materiale combustibile presente nell'archivio; in via approssimativa, il valore del carico d'incendio specifico q_f , risultato pari a 4780 MJ/m^2 (vedi par. S.2.9), è stato determinato come segue.

Per la valutazione del parametro q_f da assegnare al compartimento archivio si è proceduto alla stima dei quantitativi ponderali dei documenti compatibili con il layout architettonico del locale.

In particolare, quest'ultimo prevede l'adozione di singole scaffalature di larghezza 1,00 m, una profondità di 0,35 m e un'altezza di 2,60 m.



SCAFFALATURA TIPO

Ogni scaffalatura sarà predisposta con 6 ripiani utilizzabili, ciascuno dei quali avrà una larghezza di 1,00 m, una profondità di 0,35 m e un'altezza di 0,37 m.

Pertanto, il volume disponibile per ciascun ripiano sarà pari a:

$$V_r = 1 \times 0,35 \times 0,37 = 0,13 \text{ m}^3$$

Essendo previsti 6 ripiani per ogni singola scaffalatura, si avrà un volume disponibile per ogni singola scaffalatura pari a:

$$V_s = 0,13 \times 6 = 0,78 \text{ m}^3$$

Prevedendo 150 scaffalature, il volume disponibile complessivo all'interno dell'archivio sarà pari a:

$$V_T = 150 \times 0,78 = 117 \text{ m}^3$$

Nelle scaffalature si è ipotizzata la presenza di faldoni standard per ufficio, per i quali sono state previste le seguenti caratteristiche:

- larghezza = 8 cm
- profondità = 29 cm
- altezza = 35 cm
- volume occupato = $8 \times 29 \times 35 = 8120 \text{ cm}^3 = 0,00812 \text{ m}^3$
- peso medio di un faldone = 4 kg

In base al volume occupato da un singolo faldone ($0,00812 \text{ m}^3$), noto il volume disponibile complessivo all'interno dell'archivio (117 m^3), si ottiene il numero massimo di faldoni presenti:

$$n = 117 / 0,00812 = 14409 \text{ faldoni}$$

Assumendo che l'archivio sia completamente pieno, e quindi un utilizzo al 100% della capacità, si ipotizza che il numero totale di faldoni effettivamente presenti sia pari a n.

Pertanto, il peso totale del materiale cartaceo presente all'interno dell'archivio sarà pari a:

$$g = 14409 \times 4 = 57636 \text{ kg}$$

In definitiva, il valore di q_f si ottiene ottenuto applicando la seguente equazione:

$$q_f = (g \times H \times m \times \psi) / A$$

dove:

- g è la massa complessiva dei faldoni, espressa in kg;
- H è il potere calorifico inferiore del materiale cartaceo che, con riferimento alla letteratura si pone pari a 17 MJ/kg ;
- m è il fattore di partecipazione alla combustione per i faldoni, che, essendo costituiti prevalentemente da materiale cellulosico, si pone uguale a 0,8;
- ψ è il fattore di limitazione della partecipazione alla combustione dei faldoni, che, non essendo prevista nessuna protezione si pone uguale a 1;
- A è la superficie lorda dell'archivio, espressa in m^2 .

Sostituendo i valori indicati, si è ottenuto un carico specifico d'incendio pari a:

$$q_f = (g \times H \times m \times \psi) / A = (57636 \times 17 \times 0,8 \times 1) / 164 = 4780 \text{ MJ/m}^2$$

Pertanto, il valore del carico d'incendio specifico di progetto $q_{f,d}$ risulta pari a:

$$q_{f,d} = q_f \times \delta_{q1} \times \delta_{q2} \times \delta_n = 4780 \times 1,00 \times 1,00 \times 0,440 = 2106 \text{ MJ/m}^2$$

dove:

- $\delta_{q1} = 1,00$ ($A = 164 \text{ m}^2$);
- $\delta_{q2} = 1,00$ (Classe di rischio II - tab. S.2-5);
- $\delta_n = \delta_{n6} \times \delta_{n7} \times \delta_{n8} \times \delta_{n9} = 0,64 \times 0,90 \times 0,90 \times 0,85 = 0,440$

A tale valore di $q_{f,d}$ corrisponde una classe minima di resistenza al fuoco pari a 180 (vedi par. S.2.4.3)²⁷.

²⁷ Affinché venga soddisfatta la soluzione conforme per il livello di prestazione III, debbono essere verificate le prestazioni di resistenza al fuoco in base agli incendi convenzionali di progetto, rappresentati da curve nominali d'incendio, come

Si segnala che per il compartimento esterno (uffici) risulta che al valore di $q_{f,d}$ determinato (352 MJ/m²), corrisponde una classe minima di resistenza al fuoco pari a 30

In favore di sicurezza, considerando la presenza del compartimento interno adibito ad archivio, si prevede comunque una classe di resistenza al fuoco pari a 60.

Controllo dell'incendio nell'archivio

A protezione dell'archivio, è stata prevista l'installazione di un sistema di spegnimento, prodotto dalla XXXX, del tipo a inibizione chimica della combustione e raffreddamento, che utilizza un fluido liquido innovativo; per garantire il corretto funzionamento dell'impianto, in caso d'incendio, la strategia d'intervento prevede il seguente protocollo:

- rivelazione dell'incendio e contestuale attivazione dell'impianto EVAC;
- disattivazione automatica dell'impianto di ventilazione meccanica in esercizio ordinario;
- attivazione automatica del sistema di estinzione automatica di tipo innovativo;
- riavvio automatico del sistema di ventilazione meccanica in modalità antincendio;
- termine dell'emergenza;
- riavvio del sistema di ventilazione meccanica in modalità esercizio ordinario.

L'installazione delle bombole per lo spiazzamento del fluido liquido innovativo è prevista all'interno del locale da proteggere, su apposita struttura di sostegno.

Il fluido d'estinzione ha la funzione di inibire reazioni di ossidazione, che si generano tra il combustibile e l'ossigeno; inoltre la fiamma viene raffreddata grazie all'assorbimento del calore da parte di questo fluido.

L'uso di questo gas sintetico in sistemi di protezione antincendio prevede un'immissione nell'ambiente protetto tra il 5,3% ed il 6,5% in volume, in funzione della quantità di materiali da proteggere.

Tale concentrazione è mantenuta costante fino a che il pericolo delle fiamme non è eliminato e, di fatto, non ha conseguenze sulle eventuali persone presenti.

Il tempo di intervento massimo previsto per il fluido è al massimo di 30 s, così come dimostrato per archivi cartacei, dalla documentazione resa disponibile dalla società produttrice sulla base di prove reali effettuate su configurazioni simili all'archivio oggetto del caso studio.



SISTEMA DI SPEGNIMENTO A SATURAZIONE TOTALE

previsto al par. S.2.5. La classe minima di resistenza al fuoco è ricavata per compartimento in relazione al carico d'incendio specifico di progetto $q_{f,d}$ come indicato in tab. S.2-3.

Progettazione dell'impianto di ventilazione meccanica

Esercizio ordinario

Durante l'esercizio ordinario l'impianto fornirà l'aerazione richiesta per i luoghi di lavoro e quindi dovrà garantire un numero di ricambi d'aria dimensionati secondo la norma UNI 10339:1995 "Impianti aerulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura".

A tale proposito, secondo la citata norma UNI 10339, per gli uffici si debbono considerare:

- Il numero delle persone presenti n_p ;
- un moltiplicatore m espresso in m^3/s per persona (prospetto III della norma).

Nel caso in esame, al fine di garantire i m^3/s minimi per i ricambi d'aria, si pone:

- $n_p = 25$ (ipotizzando, in favore di sicurezza, che tutto il personale sia all'interno dell'archivio);
- $m = 0,011 m^3/s$ per persona (valore massimo per gli uffici).

ottenendo:

$$n_p \times m = 25 \times 0,011 = 0,275 m^3/s = 990 m^3/h$$

L'archivio ha una superficie in pianta netta pari a circa $164 m^2$ e un'altezza di $3,80 m$; di conseguenza il volume disponibile è pari a:

$$164 \times 3,80 = 627 m^3$$

È necessario, quindi, garantire almeno:

$$990 / 627 = 1,6 \text{ ricambi / ora}$$

L'impianto che opererà in esercizio ordinario sarà lo stesso destinato ad operare anche in caso d'incendio; pertanto, per il dimensionamento finale si farà riferimento a quanto indicato nel paragrafo successivo.

Esercizio in caso d'emergenza

Per il dimensionamento dell'impianto in caso di emergenza, si evidenzia che:

- al momento della segnalazione di allarme incendio, l'impianto di ventilazione in esercizio ordinario, verrà temporaneamente disattivato per garantire il corretto funzionamento del sistema di spegnimento con estinguente a gas;
- al momento della segnalazione di allarme incendio, le porte di comunicazione dell'archivio con il compartimento uffici, verranno automaticamente chiuse;
- a seguito della chiusura delle porte di accesso e dello spegnimento dell'impianto di ventilazione è prevista l'azione automatica di spegnimento mediante sistema a gas (al massimo 30 s dall'inizio della scarica);
- al termine dell'intervento del gas è prevista la riattivazione dell'impianto di ventilazione; in tale fase l'azione dell'impianto sarà limitata alla pulizia dai residui della combustione e del gas, in quanto l'incendio si ritiene ormai estinto.

Dovendo operare in caso d'incendio, l'impianto dovrà avere caratteristiche consone alle condizioni d'esercizio ed essere resistente all'azione dell'incendio per un tempo compatibile alla durata dell'incendio.

La scelta della potenzialità dell'impianto deriva dalle seguenti considerazioni:

- nell'archivio non saranno presenti aperture di aerazione naturale;
- l'archivio sarà aerato solamente mediante l'impianto di ventilazione meccanica;
- nella fattispecie, un eventuale incendio si propagherà in un ambiente completamente chiuso e sarà quindi del tipo controllato dal comburente.

Tanto premesso, dai risultati ottenuti nelle verifiche eseguite, le caratteristiche che dovrà avere l'impianto sono le seguenti:

- portata di $60000 m^3/h$ ($56000 m^3/h$ nel caso dei metodi avanzati);
- funzionamento garantito con temperature dei fumi fino a $400 ^\circ C$ per un tempo non inferiore alle 2 ore.

Definizione del progetto

L'archivio sarà destinato alla conservazione di documentazione storica avente funzioni strategiche per la società ed è stato progettato per un utilizzo al 100% della propria capacità.

Al fine di compensare l'adozione di una *soluzione alternativa* per il controllo di fumo e calore, si è deciso di potenziare due delle dieci misure previste dalla strategia antincendio.

In particolare è stato incrementato:

- il livello di prestazione relativo alle misure sul controllo dell'incendio, prevedendo un sistema di spegnimento automatico innovativo, con livello di prestazione IV;
- il livello di prestazione relativo alle misure sulla rivelazione ed allarme, prevedendo un impianto IRAI con livello di prestazione IV.

Obiettivi di sicurezza antincendio preposti allo sviluppo della soluzione alternativa

Come stabilito dal Codice, progettare la sicurezza antincendio di un'attività significa individuare le soluzioni tecniche finalizzate al raggiungimento degli obiettivi primari della prevenzione incendi, che sono:

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

Oltre a tali obiettivi, del tutto generali, è stato individuato l'obiettivo specifico, ad essi collegato, consistente nello smaltimento dei fumi prodotti dall'incendio durante le operazioni di spegnimento.

Livelli di prestazione da raggiungere nell'ambito della soluzione alternativa

Come già illustrato nella descrizione del caso di studio, il livello di prestazione compatibile con il profilo R_{vita} per le misure relative al controllo del fumo e del calore è il II, al quale, in conformità alla tab. S.8-1 corrisponde la necessità di "*smaltire fumi e calore dell'incendio da piani e locali del compartimento durante le operazioni di estinzione condotte dalle squadre di soccorso*".

Di conseguenza, le soluzioni tecniche da implementare debbono consentire lo smaltimento del fumo e del calore dopo la fase di esodo e, più specificamente, durante le operazioni di estinzione condotte dalle squadre di soccorso.

Garantire il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio, ed i relativi livelli di prestazione, significa, pertanto, fissare valori di prestazione, che debbono essere rispettati durante l'evoluzione dell'incendio e lungo i tempi necessari all'espletamento delle varie fasi dell'emergenza.

Smaltimento fumo e calore durante le fasi d'intervento dei soccorritori

Garantire lo smaltimento del fumo e del calore durante le fasi d'intervento delle squadre di soccorso significa verificare che, a partire dal tempo d'intervento, i seguenti parametri rimangano al di sotto dei rispettivi valori limite, rispettivamente per quanto concerne l'utilizzo di metodi semplificati e avanzati:

Parametro	Valore soglia soccorritori
Altezza rispetto dal piano di calpestio dello strato fumi caldi	$\geq 1,50$ m
Temperatura media fumi caldi	≤ 250 °C

Parametro	Altezza (m)	Valore soglia soccorritori
Visibilità	1,80	≥ 5 m
Temperatura	1,80	≤ 80 °C
Gas tossici	1,80	-
Irraggiamento	1,80	≤ 3 kW/m ²

Per quanto concerne il tempo di intervento, esso è stato fissato in 14 min (840 s) facendo esplicito riferimento al Prospetto F1 allegato alla norma UNI 9494-2.

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

Dopo aver analizzato tutte le possibili combinazioni si è concluso che lo scenario d'incendio più significativo sia quello che prevede lo sviluppo del focolare in prossimità di una delle prese di servizio poste nel corridoio secondario dell'archivio posto nelle vicinanze del filtro a prova di fumo più prossimo all'uscita esterna.

Infatti, il focolare così posizionato si trova in una zona nella quale può propagare la propria azione facilmente alle scaffalature, invadere velocemente una delle vie di esodo e contemporaneamente non essere immediatamente visibile da persone eventualmente presenti e/o rilevato velocemente da due sensori contigui. In particolare si è immaginato che in corrispondenza di uno dei corridoi più laterali, in prossimità della parete perimetrale dell'archivio, si sviluppi accidentalmente una fiamma libera lambente i ripiani destinati a contenere la documentazione cartacea.

Per simulare un'eventuale propagazione dei fumi nella zona esterna destinata ad uffici, si sono ipotizzate le porte di accesso all'archivio inizialmente aperte.

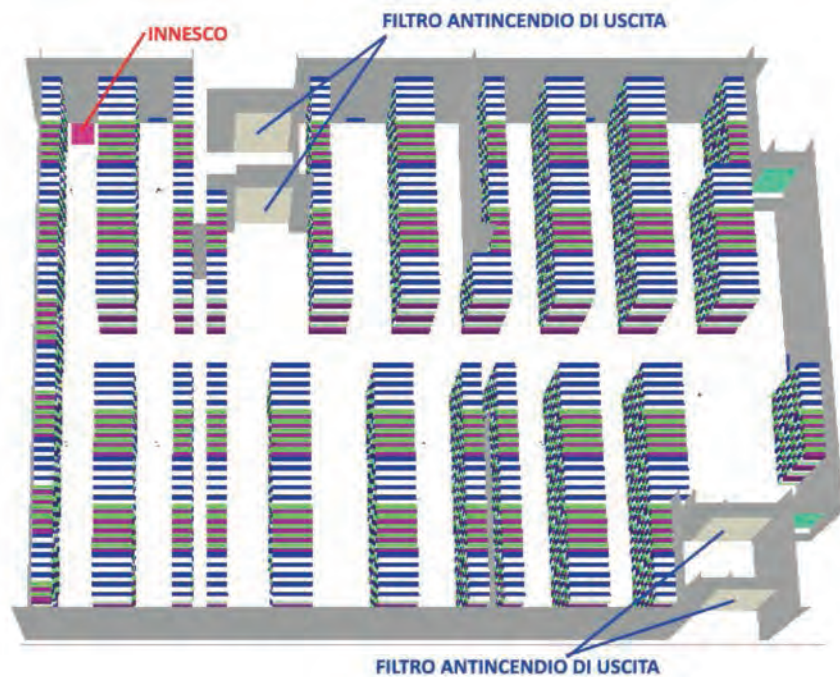
La chiusura delle stesse sarà comandata elettronicamente (sgancio dell'elettromagnete) solo dopo che il sistema di rivelazione a seguito dell'attivazione di due sensori di fumo contigui, avrà segnalato l'allarme.

Come indicato in precedenza, l'archivio sarà munito di un sistema di spegnimento automatico con estinguento liquido innovativo.

In favore di sicurezza si è ipotizzato che la scarica estinguente venga attivata solo a seguito di comando manuale con un ritardo complessivo di 550 s, anche se il particolare impianto nonché la natura dell'estinguente scelto non sia nocivo nei confronti di persone eventualmente presenti nell'archivio.

Si segnala che tale ipotesi è in assoluto favore di sicurezza infatti le simulazioni nonché i calcoli manuali dimostrano che l'attivazione di due sensori contigui avverrebbe dai 19 ai 20 s e quindi l'incendio raggiungerebbe una potenza limitata, rispetto a quella che si è calcolata all'istante temporale di 550 s.

Di seguito si riporta un'immagine che descrive lo scenario riprodotto.



SCENARIO D'INCENDIO

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

Come detto in precedenza, l'archivio non sarà munito di aperture di ventilazione naturale ma sarà aerato solo mediante un impianto meccanico; al momento della segnalazione di allarme da parte dell'impianto IRAI, l'impianto di ventilazione ordinaria verrà bloccato; in queste condizioni, l'incendio sarà in un ambiente chiuso. Si segnala che le condotte dell'impianto di ventilazione saranno dotate di serrande a tenuta (EN 12101-8) per garantire l'efficacia di estinzione dell'impianto di controllo dell'incendio previsto.

Per riprodurre l'evoluzione dell'incendio si è proceduto al calcolo della curva di rilascio termico dell'incendio mediante una caratterizzazione quantitativa dell'incendio naturale, con l'individuazione di due fasi:

- iniziale con crescita libera secondo la legge del tipo at^2 ;
- finale di spegnimento di tipo lineare.

Per la determinazione della curva si è considerata una velocità di crescita dell'incendio di tipo quadratico che in base alla caratteristica $\delta_\alpha = 2$ vede un tempo caratteristico di crescita dell'incendio pari a 300 s tipica del materiale celluloso.

Ciò significa che il valore della potenza termica rilasciata dall'incendio, dopo 300 s dall'inizio della combustione, deve essere posto pari a 1000 kW e, pertanto, l'espressione del HRR assumerà la seguente forma:

$$\text{HRR} = \alpha \cdot t^2 = \frac{1000}{300} \cdot t^2 = 0,0111 \cdot t^2$$

Tale curva deve essere applicata per l'intervallo di tempo da $t = 0$ a $t = t_\alpha = 550$ s.

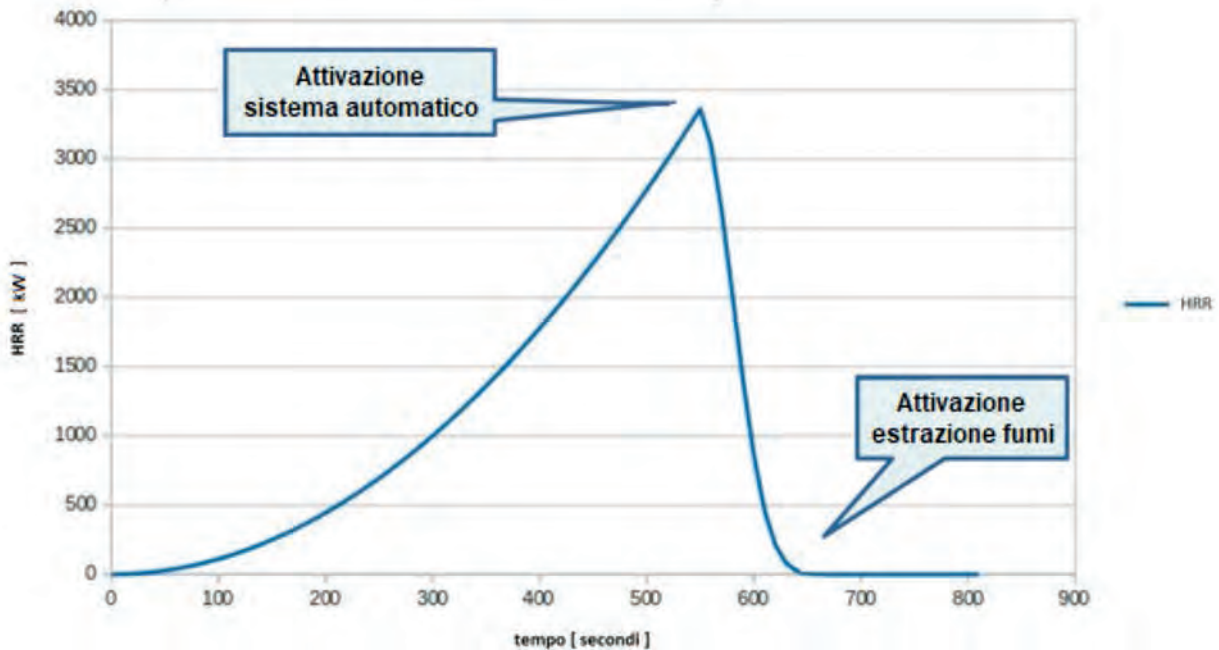
A seguito dell'attivazione del sistema di spegnimento, inizia l'ultima fase, quella di spegnimento, avente un andamento lineare decrescente.

Il produttore del suddetto sistema garantisce tempi di estinzione dell'ordine di 60 s che, in via prudenziale, sono stati condotti a 130 s.

Tale assunzione può essere effettuata solo sulla base di test sperimentali di spegnimento eseguiti dal produttore su configurazioni similari.

Da ciò si ottiene che l'estinzione dell'incendio termina a circa 680 s dall'inizio dell'incendio.

Riassumendo, si può assumere la curva di rilascio termico di seguito illustrata:



CURVA HRR DI PROGETTO

Come si può notare il valore massimo raggiunto è pari a 3361 kW.

Dopo aver ottenuto la curva di rilascio termico si è scelta la reazione chimica di combustione.

Nel caso in esame l'incendio di progetto è stato caratterizzato attribuendo come reazione principale quella derivante dal legno; per completezza si riportano di seguito i dati introdotti nella definizione della reazione chimica:

Identificativo della reazione = "Incendio da legno"

- o formula bruta = $C_{3.4} H_{6.2} O_{2.5}$
- o tasso produzione particolato in condizioni ventilate = 0,010 %
- o tasso produzione monossido di carbonio (CO) in condizioni ventilate = 0,085 %

Verifica delle prestazioni con modelli semplificati

Scelta del modello di calcolo

La letteratura stabilisce²⁸ che in compartimenti di superficie minore a 500 m² e di altezze inferiori ai 4 m, l'incendio può essere simulato mediante l'applicazione di equazioni parametriche con l'ipotesi semplificativa che, a causa dell'incendio, si formino due zone omogenee in termini di temperatura e composizione, corrispondenti allo strato dei fumi e del sottostante strato libero dai fumi.

Per tali ragioni, nel presente caso di studio, si riporta la simulazione dell'incendio sviluppata sia con l'utilizzo di metodi semplificati, basati su equazioni parametriche, sia con l'utilizzo di modelli avanzati, quali le simulazioni fluidodinamiche d'incendio.

Calcolo del tempo di rivelazione dell'incendio

Il calcolo del tempo necessario alla rivelazione dell'incendio può essere effettuato utilizzando diversi metodi semplificati, fra i quali si ricordano quelli proposti da Alpert, Mowrer e Milke per i rivelatori termici. Nel caso in esame si è deciso di utilizzare il modello proposto da Milke²⁹ che si riporta di seguito:

$$t_{\text{activation}} = \frac{X \cdot H^{4/3}}{Q^{1/3}}$$

dove:

- $t_{\text{activation}}$ è il tempo di attivazione del rivelatore, espresso in s;
- X è il parametro definito dalla seguente equazione:

$$X = 4,6 \cdot 10^{-4} \cdot Y^2 + 2,7 \cdot 10^{-15} \cdot Y^6$$

con:

$$Y = \Delta T_c \cdot \frac{H^{5/3}}{Q^{2/3}}$$

dove:

- ΔT_c è il salto di temperatura per l'attivazione del rivelatore di calore;
- H è l'altezza del solaio al di sopra del materiale in fiamme, espressa in m;
- Q è la potenza rilasciata dall'incendio, espressa in kW.

Si segnala che la tipologia di sensori scelta è del tipo ottico e che, come illustrato dalla pubblicazione NBSIR 85-3167, è possibile correggere la previsione dei modelli sviluppati per i sensori termici imponendo, per i materiali di tipo celluloso, un ΔT_c di attivazione pari a 13 °C ed una temperatura di attivazione pari a 50 °C. Considerando i primi 120 s d'incendio la potenza media rilasciata dalla combustione Q può essere posta pari a circa 80 kW; H si assume pari a 3,70 m.

Introducendo tali dati nella precedente equazione si ottiene un tempo di attivazione pari a 20,13 s.

Calcolo dell'irraggiamento

L'irraggiamento generato dall'incendio può essere calcolato applicando la seguente espressione proposta da Drysdale nel 1998:

$$q'' = \frac{X_r \cdot \text{HRR}(t)}{4 \cdot \pi \cdot R^2}$$

²⁸ "Travel guide A newly developed methodology, based on the concept of 'travelling fires' in large enclosures, will assist with structural fire analysis" di Jamie Stern-Gottfried, Guillermo Rein and José Torero - Fire Journal November 2009, pagg. 12 - 16.

²⁹ References: Milke, J. "Smoke Management for Covered Malls and Atria" Fire Technology, August 1990, pagg. 223 - 243.

dove:

- q'' è il flusso radiante generato dall'incendio posto pari a 3 kW;
- X_r è la percentuale dell'energia prodotta dall'incendio rilasciata sotto forma di irraggiamento posta pari al 30%;
- R è la distanza alla quale si ha un irraggiamento pari a 3 kW.

Dalla precedente equazione si ricava che all'istante di arrivo dei soccorritori (V.V.F.), ovvero 840 s, l'irraggiamento è nullo mentre, al momento dell'attivazione del sistema di estinzione automatica, raggiunge il valore massimo pari a 3 kW per chi si trova a 5,20 m dalle fiamme, come riportato dalla seguente espressione:

$$R = \sqrt{\frac{X_r \cdot HRR(t)}{4 \cdot \pi \cdot q''}} = \sqrt{\frac{0,3 \cdot 3361}{4 \cdot 3,14 \cdot 3}} = 5,20 \text{ m}$$

Calcolo della produzione di fumo e dell'altezza dello strato libero dai fumi

Come noto, il cap. M.3. stabilisce le soglie di prestazione impiegabili con il metodo semplificato sintetizzandole nella tab. M.3-3; imponendo la temperatura dei fumi pari a 250 °C e ipotizzando, in via conservativa, che il 70% dell'energia sviluppata dall'incendio venga utilizzata per riscaldare la temperatura dei fumi stessi si ottiene:

$$P_{\text{fumi}} \cdot d_{\text{fumi}} \cdot c_{p_{\text{fumi}}} \cdot (T_{\text{fumi}} - T_{\text{amb}}) = HRR(t) \cdot (1 - X_r)$$

dove:

- P_{fumi} è la portata volumetrica dei fumi a 250 °C, espressa in m³/h;
- d_{fumi} è la densità dei fumi a 250 °C, assunta pari a 0,673 kg/m³;
- $c_{p_{\text{fumi}}}$ è il calore specifico a pressione costante dei fumi a 250 °C, assunto pari a 1,035 kJ/kg;
- T_{fumi} è la temperatura dei fumi, assunta pari a 250 °C;
- T_{amb} è la temperatura ambiente, assunta pari a 20 °C;
- $HRR(t)$ è la potenza rilasciata al tempo t dall'incendio, espressa in kW.

da cui si ottiene:

$$P_{\text{fumi}} = \frac{HRR(t) \cdot (1 - X_r)}{d_{\text{fumi}} \cdot c_{p_{\text{fumi}}} \cdot (T_{\text{fumi}} - T_{\text{amb}})}$$

Nota la variazione della portata dei fumi, applicando la precedente espressione, è possibile valutare la produzione dei fumi prodotti dall'incendio mediante la seguente espressione:

$$Q_{\text{fumi}} = \int_0^{t_{\text{intv}}} P_{\text{fumi}} \cdot dt = \int_0^{t_{\text{intv}}} \frac{HRR(t) \cdot (1 - X_r)}{d_{\text{fumi}} \cdot (T_{\text{fumi}} - T_{\text{amb}})} \cdot dt$$

dove Q_{fumi} è il volume di fumi prodotti dall'incendio fino all'istante d'intervento dei soccorritori. I risultati delle espressioni precedenti sono riportate nel grafico seguente.

Tenendo presente che l'altezza dei fumi (h_{fumi}) non deve scendere al di sotto della quota di 1,50 m, il volume disponibile per l'accumulo del fumo (V_{acc}) sarà pari a:

$$V_{\text{acc}} = A \cdot (h - h_{\text{fumi}}) = 165 \cdot (3,8 - 1,5) = 379,5 \text{ m}^3$$

Inoltre, l'altezza dei fumi durante l'evoluzione dell'incendio può essere calcolata mediante la seguente espressione:

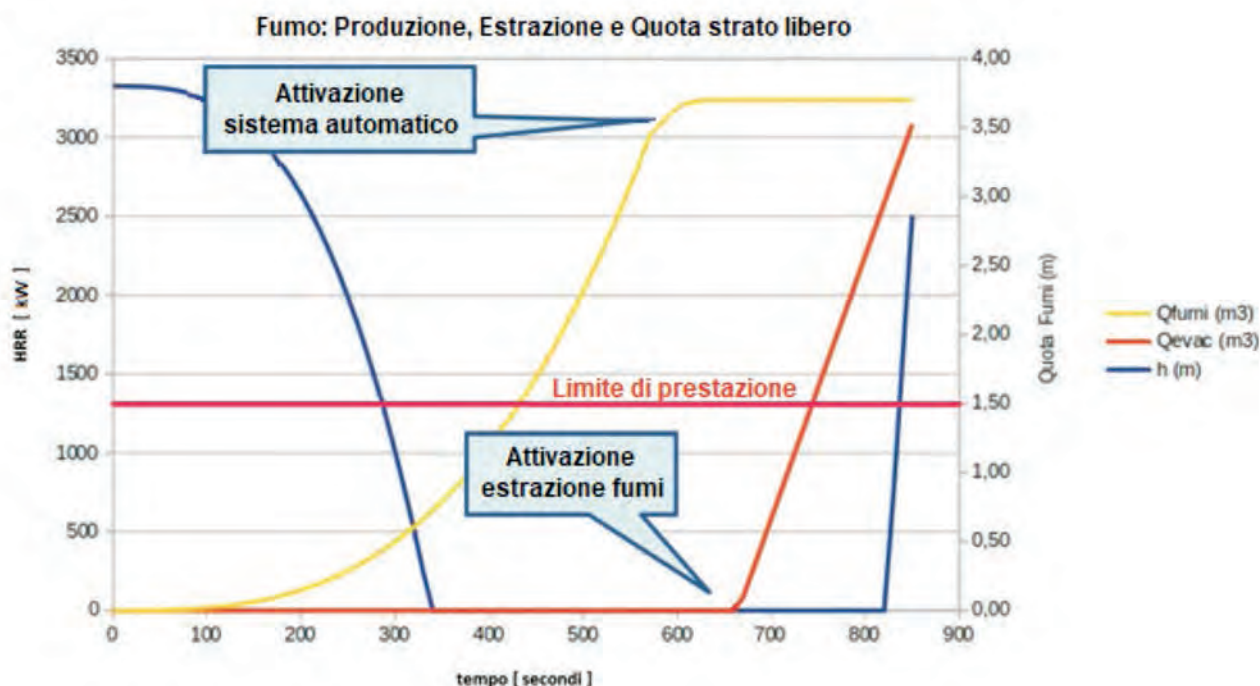
$$h_{\text{fumi}}(t) = h - \frac{Q_{\text{acc}}(t)}{A} = h - \frac{Q_{\text{fumi}}(t) - Q_{\text{evac}}(t)}{A}$$

dove:

- $Q_{\text{fumi}}(t)$ è il volume di fumi prodotti dall'incendio fino all'istante d'intervento dei V.V.F. al tempo t ;
- $Q_{\text{evac}}(t)$ è il volume dei fumi evacuati dal sistema forzato di evacuazione di fumo e calore al tempo t .

Fissando l'attivazione del sistema di evacuazione forzata, dopo la fine della fase di estinzione (680 s) dall'inizio dell'incendio, è possibile calcolare la portata minima del sistema di evacuazione forzata di fumo e calore applicando la precedente con successive iterazioni, affinché lo strato libero dai fumi sia posto alla quota di 1,50 m dopo 840 s.

Nel grafico seguente si riporta il risultato ottenuto mediante un semplice foglio di calcolo:



RISULTATI DEI CALCOLI EFFETTUATI

La portata minima dell'impianto di evacuazione di fumo e calore calcolata è pari a 60000 m³/h.

Verifica dei livelli di prestazione raggiunti utilizzando un modello semplificato

Come dimostrato dai calcoli illustrati in precedenza, al momento dell'arrivo delle squadre di soccorso si sono ottenuti i seguenti risultati:

Parametro	Valore soglia soccorritori	Valore ottenuti
Altezza rispetto dal piano di calpestio dello strato fumi caldi	≥ 1,50 m	1,85 m
Temperatura media fumi caldi	≤ 250 °C	250 °C

L'altezza dei fumi caldi, trascorsi 840 s, è pari a circa 1,85 m; inoltre il tempo di rivelazione dell'incendio si è calcolato pari a 20 s circa.

Verifica delle prestazioni con modelli avanzati

Dovendo valutare l'evoluzione delle condizioni micro-climatiche si è scelto di utilizzare uno dei modelli CFD che vanta il maggior lavoro di validazione nel campo della simulazione fluidodinamica dell'incendio, ovvero FDS; segue la descrizione dell'analisi effettuata.

Tridimensionalizzazione della struttura

L'utilizzo di modelli del tipo avanzato CFD prevede l'acquisizione tridimensionale della struttura e degli impianti previsti dal progetto di prevenzione incendi

L'acquisizione tridimensionale della struttura in esame è stata effettuata descrivendo lo spazio di simulazione attraverso delle celle elementari della dimensione di 10 x 10 x 10 cm.

Nella simulazione è stato riprodotto l'archivio nella sua interezza; l'estensione complessiva del dominio computazionale è di 16,80 x 12,20 x 4,00 m, per un numero complessivo di 820000 celle circa appartenenti ad un'unica mesh.

Le strutture portanti, le tramezzature e le tamponature sono state approssimate, rispettivamente, a 10 cm di spessore, i solai sono stati considerati spessi 10 cm, l'altezza interpiano è stata posta pari al multiplo di 10 cm più vicino all'altezza effettiva.

L'interno del piano è stato descritto approssimando lo spessore degli elementi a 0 e/o 10 cm.

Si segnala che tali approssimazioni, insite nella definizione dello spazio computazionale, non hanno influito sulla determinazione del comportamento fisico dei materiali, che sono invece descritti attraverso le loro proprietà fisico-chimiche (spessore, densità, conducibilità termica, calore specifico, emissività, calore di combustione, temperatura d'innesco, ecc.).

Analisi di sensibilità della mesh computazionale

Per lo scenario riprodotto si è studiata la dimensione ottimale della cella elementare, nella quale scompare il dominio computazionale.

La scelta è stata operata cercando di far convergere le esigenze computazionali con l'accuratezza necessaria per la riproduzione di un incendio la cui magnitudo, come dichiarato in precedenza, è variabile da 0 a poco più di 3,3 MW (così come risulta dal grafico dell'incendio di progetto).

Varie pubblicazioni³⁰ hanno dimostrato che una buona accuratezza nella simulazione di un incendio con modelli CFD comporta un rapporto ottimale fra il diametro caratteristico dell'incendio "D" e la dimensione della cella elementare Δl normalmente compreso fra 4 e 16.

Il diametro caratteristico dell'incendio può essere calcolato applicando la seguente equazione:

$$D = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{aria} \cdot C_p \cdot T_{aria} \cdot \sqrt{g}} \right)^{2/5}$$

dove:

- D è il diametro caratteristico dell'incendio, espresso in m;
- \dot{Q} è la potenza dell'incendio assunta, cautelativamente, variabile da 200 kW al valore massimo (volendo coprire il maggior lasso temporale significativo³¹, ovvero da 140 s in poi);
- ρ_{aria} è la densità dell'aria a 20 °C, assunta pari a 1,205 kg/m³;
- C_p è il calore specifico dell'aria a 20 °C, assunto pari a 1,005 kJ/kg K;
- T_{aria} è la temperatura dell'aria, assunta pari a 293,15 K;
- g è l'accelerazione di gravità, assunta pari a 9,81 m/s².

Si ottiene un diametro caratteristico variabile da un minimo di 0,50 m (200 kW) ad un massimo di 1,54 m.

Fissata la dimensione isometrica della cella Δl in 0,10 m si ottiene un rapporto R fra le due grandezze pari a:

$$R = \frac{D}{\Delta l}$$

pertanto R assume valori compresi fra 5 e 15,4.

³⁰ Vedi la "User Guide" di FDS

³¹ Al di sotto dei 200 kW la produzione di fumo è del tutto esigua mentre oltre tale limite diviene significativa ai fini dell'influenza sulle condizioni micro-climatiche.

I valori ottenuti permettono di affermare che la dimensione omogenea sui tre assi delle celle elementari, pari a 0,10 m, dà luogo ad una sensibilità opportuna e, pertanto, l'accuratezza dei risultati rientra nel campo di accettabilità.

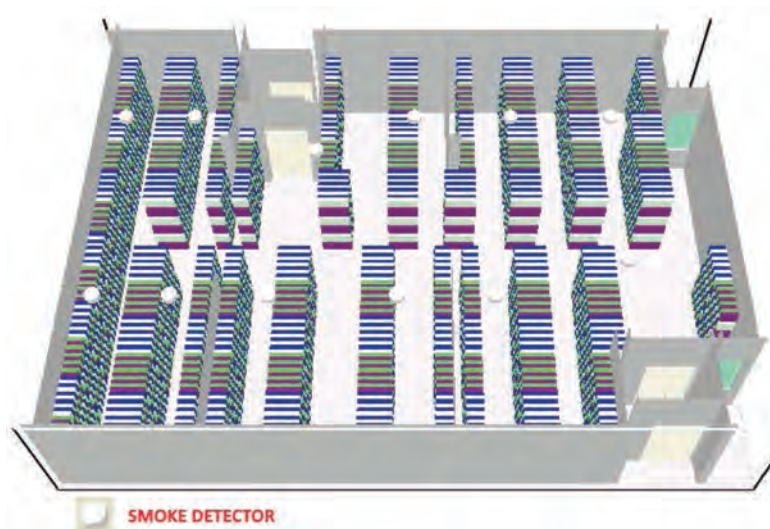
Riproduzione dell'impiantistica, della sensoristica e della strumentazione virtuale

Impianto di rivelazione

Il progetto antincendio prevede che all'impianto IRAI sia collegata l'attivazione automatica del sistema di spegnimento, la chiusura delle porte di accesso e la successiva attivazione dell'impianto di ventilazione.

In questa simulazione si ipotizza il malfunzionamento del sistema di spegnimento e quindi la rivelazione sarà utilizzata solo per la chiusura automatica delle porte e la successiva attivazione dell'impianto di ventilazione. Quest'ultimo, avviato solo dopo l'intervento del sistema di spegnimento.

Nella simulazione, in favore di sicurezza, si è scelto di attivare il sistema di allarme quando almeno due dei smoke detectors (rivelatori di fumo) presenti rivelano un incendio in atto.



POSIZIONE DEGLI SMOKE DETECTORS ALL'INTERNO DELL'ARCHIVIO

Impianto spegnimento

Le caratteristiche di tale sistema di spegnimento sono state descritte in precedenza.

Nella presente simulazione si è ipotizzato l'attivazione manuale dopo 550 s del sistema di spegnimento; in particolare si è simulato che l'avvio del sistema avvenga con attivazione manuale da parte di uno degli addetti antincendio che, a seguito dell'allarme da parte del sistema IRAI, verifica la presenza dell'incendio e che l'erogazione automatica del sistema non sia avvenuta.

Filtri a prova di fumo - automatismo di chiusura delle porte

L'archivio comunica con il compartimento esterno dedicato ad uffici, mediante due filtri a prova di fumo.

Le quattro porte di questi due filtri saranno munite di elettromagnete collegato al sistema di allarme e avranno caratteristiche di resistenza al fuoco EI 120.

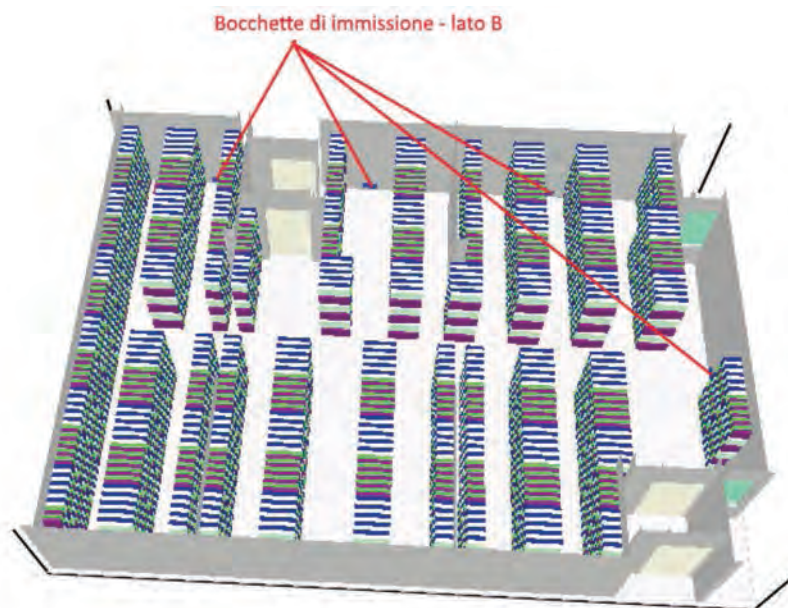
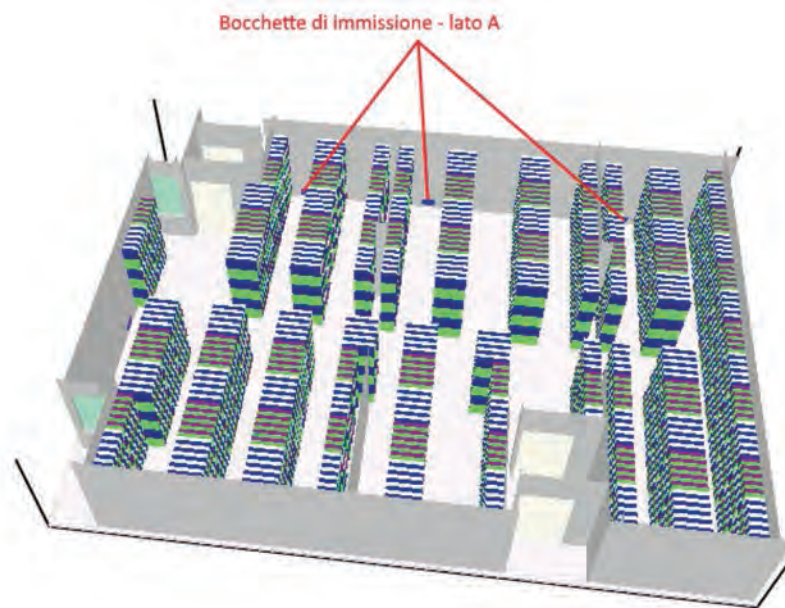
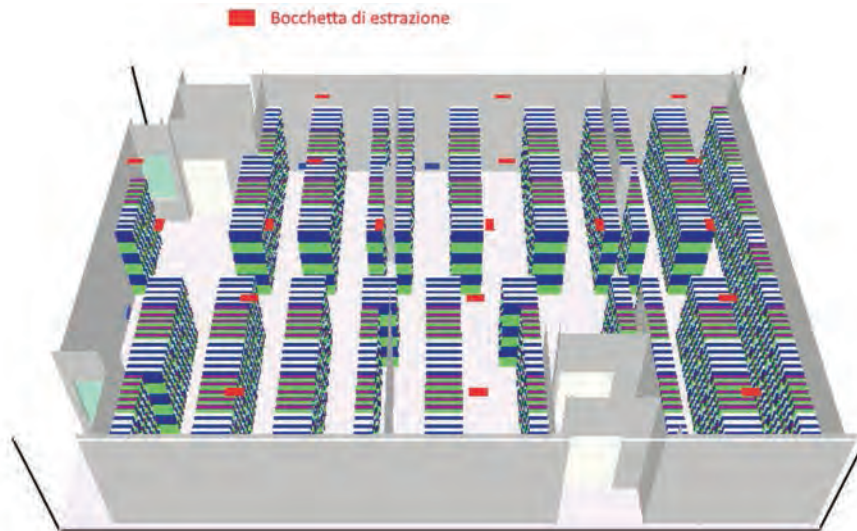
Nella simulazione si è proceduto a riprodurre tale sistema, collegando la chiusura delle porte all'attivazione del sistema di rivelazione, quando almeno 2 smoke detectors segnalano un allarme incendio.

Impianto di estrazione fumi

All'interno della simulazione si è riprodotta l'azione di un impianto di estrazione forzata dei fumi in grado di garantire un'immissione ed un'estrazione forzata per 56000 m³/h all'interno dell'archivio.

L'estrazione avviene mediante 19 bocchette a soffitto, collegate a delle opportune canalizzazioni che si trovano al di sopra al controsoffitto dell'archivio; l'immissione avviene invece mediante 7 bocchette, poste sulle pareti laterali dell'archivio ad una quota in prossimità del pavimento.

In favore di sicurezza si è ipotizzato che all'inizio della simulazione l'impianto non sia in funzione; l'attivazione, quindi, è stata simulata dopo la scarica garantita dal sistema di spegnimento.



POSIZIONE DELLE BOCCHETTE DI ESTRAZIONE E DI IMMISSIONE

Strategia d'intervento simulata

A seguito della segnalazione di allarme da parte del sistema di rivelazione (proveniente da almeno 2 smoke detectors), la strategia d'intervento prevista in simulazione prevede la chiusura delle porte dei filtri a prova di fumo dell'archivio trascorsi 60 s.

Tale intervallo di tempo, maggiorato rispetto ai tempi di normale intervento, permette di simulare un'eventuale propagazione dei fumi al limitrofo compartimento uffici.

Avendo ipotizzato l'attivazione manuale del sistema di spegnimento, l'incendio procede nella propria evoluzione fino a 550 s dall'inizio della simulazione.

Dopo l'estinzione dell'incendio si attiva l'impianto di estrazione del fumo, che fino a questo momento è stato mantenuto spento.

Si segnala che i tempi di estinzione garantiti dal sistema di spegnimento sono dell'ordine di 60 s che, in via prudenziale, sono stati portati a 130 s.

Piani di misura

Nella simulazione è stata impostata la creazione di piani di misura in grado di mappare l'andamento della temperatura e della visibilità per l'intera durata della simulazione.

Caratteristiche dei materiali

Nell'ambito della caratterizzazione delle strutture, degli arredi e delle parti impiantistiche si sono imposte le seguenti caratteristiche dei materiali, supposte costanti durante l'evoluzione dell'incendio:

Acciaio

Riferimento bibliografico: "Quintiere - Principles of fire behaviour"

$C_p = 0,46 \text{ kJ/kg K}$

Densità = 7850 kg/m^3

Conduttività = $45,80 \text{ W/m K}$

Emissività = 0,60

Calcestruzzo

Riferimento bibliografico: "Quintiere, Fire Behavior"

$C_p = 0,88 \text{ kJ/kg K}$

Densità = 2100 kg/m^3

Conduttività = $1,1 \text{ W/m K}$

Emissività = 0,80

Vetro

Riferimento bibliografico: "Quintiere, Fire Behavior"

$C_p = 0,84 \text{ kJ/kg K}$

Densità = 2700 kg/m^3

Conduttività = $0,76 \text{ W/m K}$

Emissività = 0,60

Carta

Riferimento bibliografico: "Perry e SFPE Handbook"

$C_p = 1,34 \text{ kJ/kg K}$

Densità = 930 kg/m^3

Conduttività = $0,011 \text{ W/m K}$

Emissività = 0,83

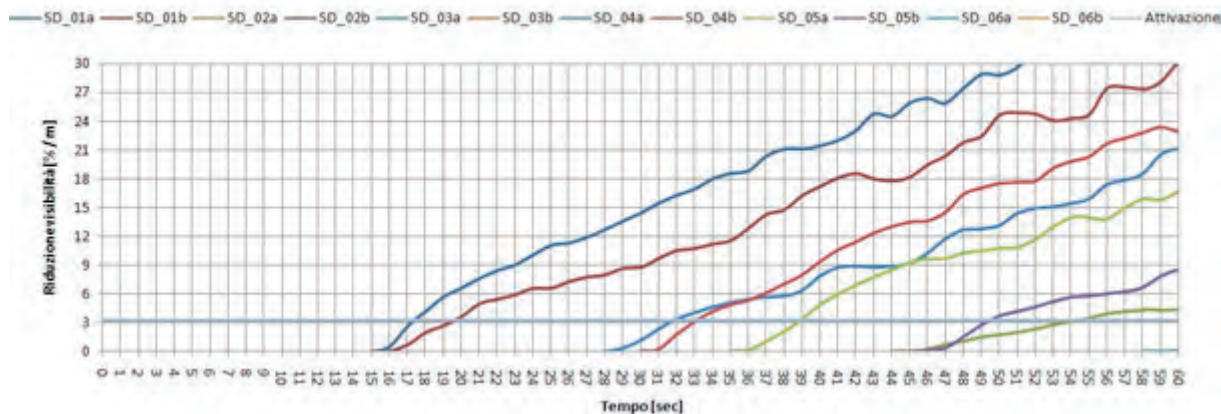
Risultati delle simulazioni

Di seguito vengono presentati dei grafici ricavati dai dati di output impostati.

Tali grafici sono la base per le considerazioni effettuate nei punti successivi, nei quali vengono descritti in dettaglio i risultati ottenuti dalla simulazione.

A partire dai 900 s di simulazione, l'effetto del sistema di ventilazione meccanica risulta sempre più evidente. Il grafico successivo illustra i primi 60 s di simulazione.

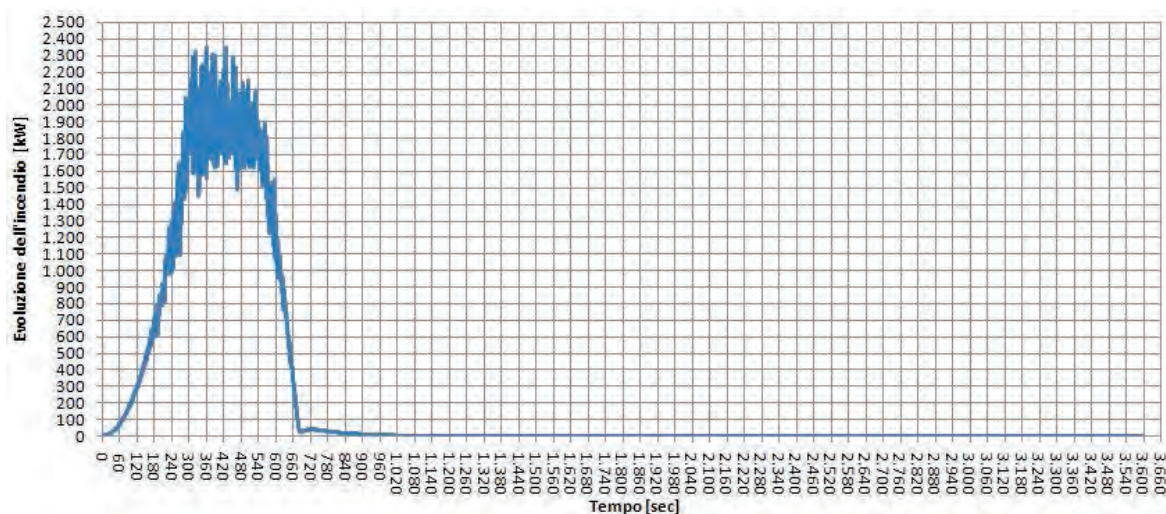
Nel grafico è possibile notare come il primo smoke detector si attivi a 17 s e il secondo (quello che fa scattare l'allarme) a 19 s:



DETTAGLIO ATTIVAZIONE DEI RIVELATORI DI FUMO

Evoluzione dell'incendio

Di seguito si riporta l'andamento dell'incendio durante la simulazione, che presenta una durata pari a 3600 s:



EVOLUZIONE DELL'INCENDIO

Dal grafico della potenza raggiunta durante la simulazione si nota come l'andamento ottenuto rispetta quello imposto dall'incendio di progetto. Questo implica che l'incendio non si è propagato al di fuori delle zone d'innescio.

Relativamente alla presenza di fumo e dei prodotti della combustione, questi si propagano all'interno dell'archivio già dai primi minuti della simulazione.

Nonostante questo, il sistema di allarme, che si attiva già a 19 s, permette:

- la chiusura delle porte dei filtri a prova di fumo a 79 s dall'inizio della simulazione;
- anche se con il ritardo dovuto al malfunzionamento nell'attivazione del sistema di estinzione, il successivo avvio dell'impianto di ventilazione meccanica a 680 s.

Dalle immagini dell'incendio di seguito allegate, risulta che a 180 s dall'inizio della simulazione, ossia dopo 160 s dall'attivazione dell'allarme, i fumi e i prodotti della combustione non sono tali da ostacolare l'evacuazione delle persone eventualmente presenti all'interno dell'archivio.

Considerando che i percorsi di esodo di uscita dall'archivio sono di lunghezza al massimo pari a 13 m si ritiene che dopo 180 s dall'inizio della simulazione l'esodo dall'archivio sia concluso e che non sia più presente nessuno all'interno dell'archivio.

Successivamente, il fumo e i prodotti della combustione riempiono l'archivio ma l'intervento dell'impianto di ventilazione permette di ridurre le concentrazioni di fumo progressivamente rendendo a 840 s la visibilità entro i limiti di prestazione previsti per le squadre di soccorso e successivamente rendono l'ambiente del tutto privo dei prodotti dell'incendio.

Nel compartimento limitrofo destinato ad uffici, nonostante il ritardo nella chiusura delle porte di comunicazione con l'archivio, impostato volutamente dopo 60 s dall'allarme, l'incendio e i relativi fumi non si sono propagati e gli effetti dell'incendio possono ritenersi trascurabili.

A maggior supporto dei risultati ottenuti si aggiunge che nella simulazione si è ipotizzato un notevole ritardo dell'attivazione dell'impianto di spegnimento automatico.

In realtà, quest'ultimo agirà con tempi di azione decisamente minori (19 s) e quindi permetterà di migliorare ulteriormente le condizioni micro-climatiche e quindi i tempi disponibili sia per l'esodo che per l'intervento dei soccorritori.

Evoluzione della temperatura

Durante la simulazione, i valori della temperatura assunti alla quota di 1,80 m non superano mai il valore limite di 70 °C, registrando valori elevati solo nelle immediate vicinanze dell'inesco.

Al di fuori dell'archivio, nel compartimento limitrofo destinato ad uffici, la temperatura non risente degli effetti dell'incendio.

Il cimento termico per le strutture è ridotto; la massima sollecitazione si ha in corrispondenza del soffitto tra i 300 e i 540 s della simulazione (tempo coincidente con la seconda fase della curva di rilascio termico applicata).

Generalmente, i valori non superano i 400 °C; valori superiori si registrano solo in prossimità dell'inesco e in zone puntuali e comunque per brevi intervalli di tempo.

Durante la simulazione, nell'intervallo di tempo da 0 a 140 s, le immagini mostrano come i valori di temperatura sono elevati solo nelle immediate vicinanze dell'inesco e quindi non recano danno alle persone eventualmente presenti nell'archivio e sono del tutto trascurabili per le strutture.

A 300 s dall'inizio dell'incendio le temperature iniziano a superare i 50 °C per attestarsi, trascorsi i 600 s, intorno ai 60 - 70 °C.

La fase di estinzione, e successivamente l'effetto dell'impianto di estrazione fumi con una portata di 56000 m³/h, consentono di riportare le temperature intorno ai 30 °C.

Evoluzione della visibilità

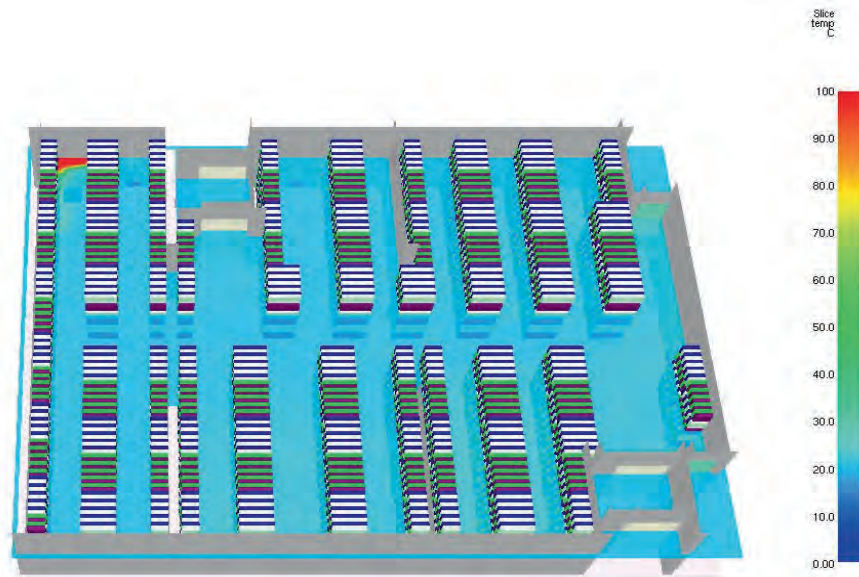
Considerata la ridotta superficie dell'archivio, la produzione di fumo da parte dell'incendio comporta la diminuzione di visibilità già a partire dai primi minuti.

Come illustrato dalle immagini relative, a circa 300 s dall'inizio della simulazione, all'interno dell'archivio si può considerare una visibilità alla quota dell'esodo di circa 10 m.

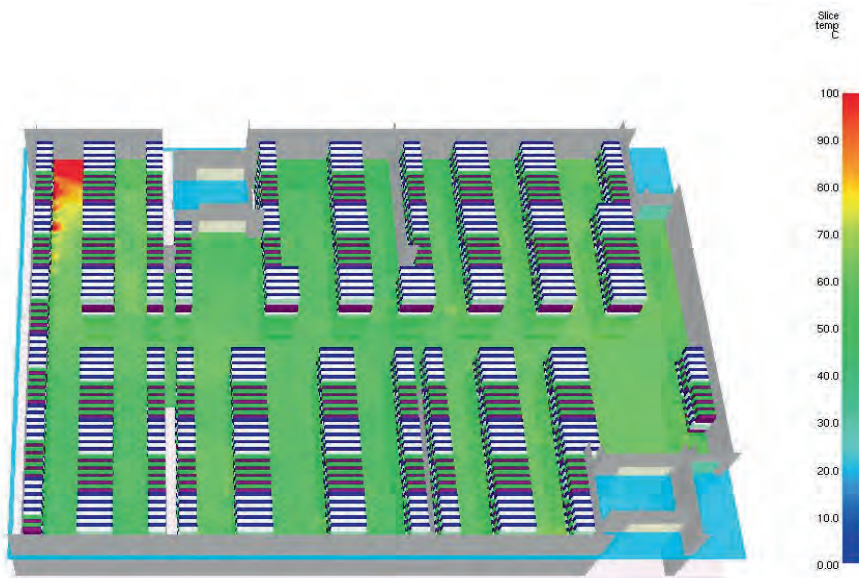
Comunque, dopo una fase di profondo oscuramento, l'intervento dell'impianto di estrazione fumi consente di riportare rapidamente la visibilità al di sopra dei limiti prestazione previsti ovvero compresa fra 12 e 15 m.

Evoluzione dell'irraggiamento

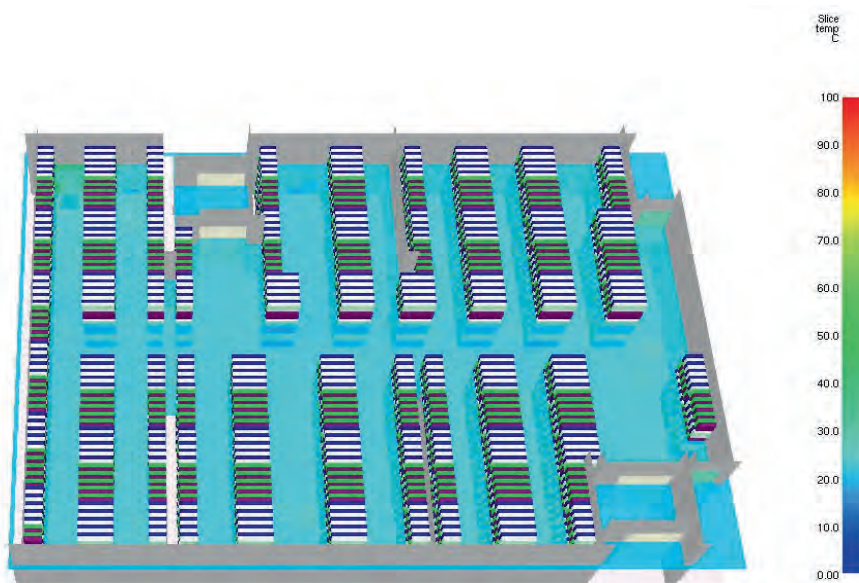
L'irraggiamento è nullo in quanto le fiamme cessano (trascorsi 680 s) ben prima dell'arrivo dei soccorritori (trascorsi 840 s).



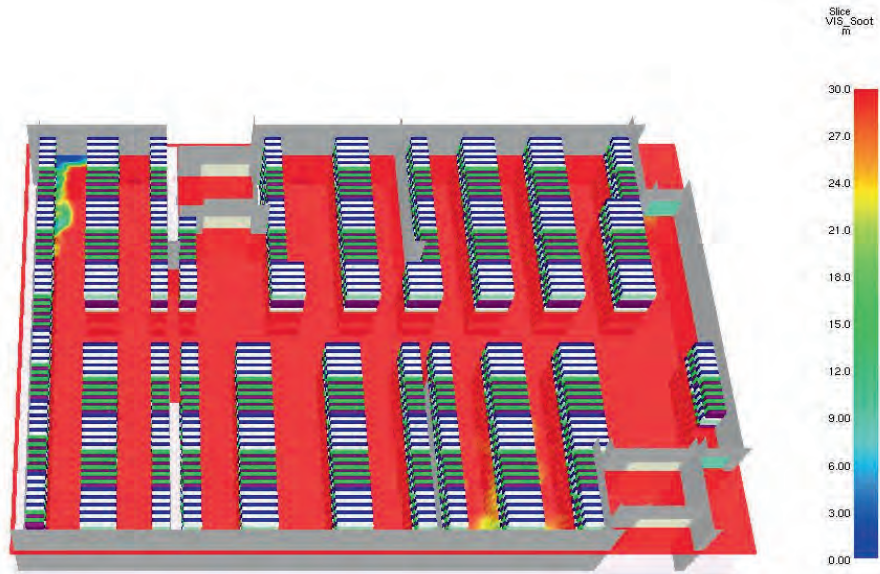
TEMPERATURA ALLA QUOTA DI 1,80 M E DOPO 180 S DALL'INIZIO DELL'INCENDIO



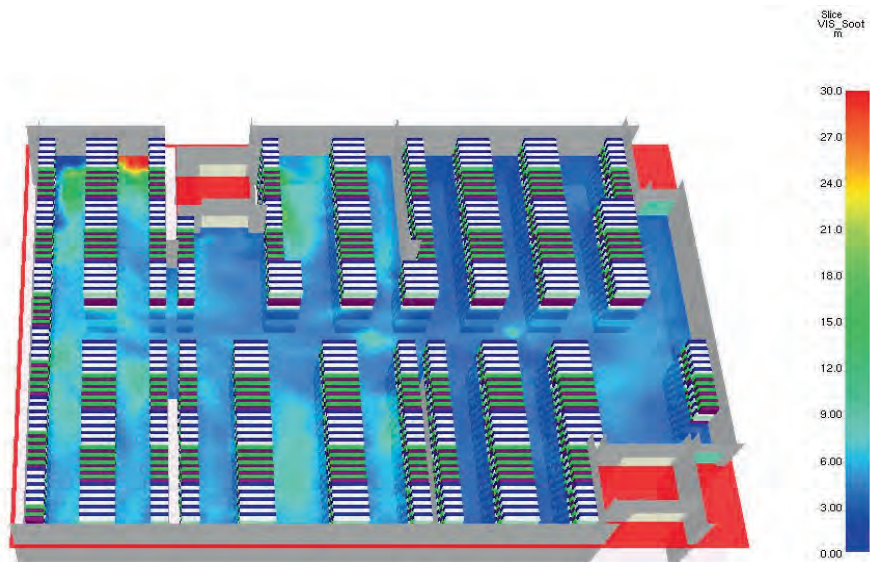
TEMPERATURA ALLA QUOTA DI 1,80 M E DOPO 600 S DALL'INIZIO DELL'INCENDIO



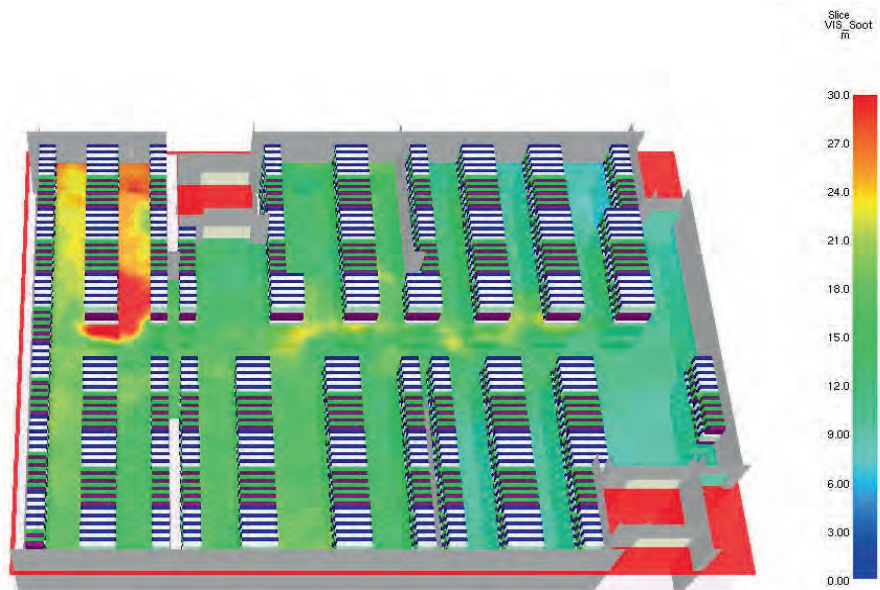
TEMPERATURA ALLA QUOTA DI 1,80 M E DOPO 840 S DALL'INIZIO DELL'INCENDIO



VISIBILITÀ ALLA QUOTA DI 1,80 M E DOPO 180 S DALL'INIZIO DELL'INCENDIO



VISIBILITÀ ALLA QUOTA DI 1,80 M E DOPO 300 S DALL'INIZIO DELL'INCENDIO



VISIBILITÀ ALLA QUOTA DI 1,80 M E DOPO 840 S DALL'INIZIO DELL'INCENDIO

Verifica dei livelli di prestazione raggiunti utilizzando un modello avanzato

Come dimostrato dai calcoli illustrati in precedenza, al momento dell'arrivo delle squadre di soccorso si sono ottenuti i seguenti risultati:

Parametro	Valore soglia soccorritori	Valore ottenuti
Visibilità alla quota di 1,80 m	≥ 5 m	12 - 15 m
Temperatura alla quota di 1,80 m	≤ 80 °C	30 °C
Irraggiamento	≤ 3 kW/m ²	0 kW

Inoltre si è calcolato il tempo di rivelazione dell'incendio in 19 s circa.

Soluzione conforme, per la misura S.8, nel compartimento uffici

Per completezza, si illustrano le soluzioni progettuali per il compartimento esterno (uffici).

Per tale compartimento si è sviluppata una *soluzione conforme*; in particolare saranno previste aperture per lo smaltimento di fumo e calore d'emergenza in maniera da facilitare l'opera di estinzione dei soccorritori. Saranno pertanto presenti infissi e finestre dedicati allo smaltimento dei prodotti della combustione verso l'esterno dell'edificio, distribuite uniformemente all'interno dei locali del compartimento.

Le aperture per lo smaltimento saranno protette dall'ostruzione accidentale durante l'esercizio dell'attività e la loro gestione sarà considerata all'interno della predisposizione della misura S.5 "Gestione della sicurezza antincendio".

Le aperture saranno realizzate in modo che:

- sia possibile smaltire fumo e calore da tutti gli ambiti del compartimento;
- il fumo e il calore smaltiti non interferiscano con il sistema delle vie di esodo, non propagando l'incendio verso altri locali, piani o compartimenti.

In base alla tab. S.8-3, le aperture di smaltimento presenti (infissi e finestre) saranno del tipo SE_d: aperture provviste di elementi di chiusura non permanenti ad apertura comandata da posizione non protetta.

Dimensionamento delle aperture di smaltimento (par. S.8.5.3)

Il compartimento uffici si sviluppa su una superficie lorda in pianta (A) pari circa a 250 m² ed ha un carico d'incendio specifico $q_f = 511$ MJ/m².

In base a tali valori, dalla tab. S.8-4 (tipo di dimensionamento: SE1), si ottiene che la superficie utile minima per le aperture di smaltimento (S_{sm}) dovrà essere pari a:

$$S_{sm} = A / 40 = 250 / 40 = 6,25 \text{ m}^2$$

Nel compartimento, all'interno di ogni stanza destinata ad ufficio, sono presenti finestrate che si sviluppano per tutta la larghezza delle pareti che si affacciano sui due lati a cielo libero dell'edificio.

Su ogni lato sono presenti almeno 15 m lineari di infissi; ipotizzando un'altezza media degli infissi pari a 0,80 m, si hanno circa $15 \times 0,80 = 12$ m² di superfici vetrate su ciascun lato e, quindi, 24 m² totali per tutto il compartimento uffici.

Distribuzione delle aperture di smaltimento (par. S.8.5.4)

Applicando un raggio di influenza pari a 20 m, le aperture di smaltimento risultano distribuite uniformemente.

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nella progettazione dell'archivio, la scelta di evitare aperture dirette verso l'esterno e l'utilizzo di un impianto ad estinzione automatica, ad azione combinata inibente e refrigerante, ha impedito, da un lato, una ventilazione diretta dei locali, come previsto per il livello II di prestazione e, dell'altro, l'adozione di un impianto di smaltimento di fumo e calore del tipo SEFFC, conforme alla norma UNI 9494-2, come previsto per il livello III di prestazione.

L'archivio non sarà munito di aperture di ventilazione naturale ma sarà aerato solo mediante un impianto meccanico.

Pertanto, al fine di ottenere le caratteristiche che meglio si adattino al caso in esame, si è fatto ricorso ad una *soluzione alternativa* utilizzando il metodo dell'ingegneria della sicurezza antincendio secondo le procedure, le ipotesi e i limiti indicati nei capitoli M del Codice e secondo le procedure previste dalla normativa vigente.

In letteratura, è chiarito che per compartimenti di superficie minore a 500 m² e di altezze inferiori ai 4 m, l'incendio può essere simulato mediante l'applicazione di equazioni parametriche con l'ipotesi semplificativa che, a causa dell'incendio, si formino due zone omogenee in termini di temperatura e composizione, corrispondenti allo strato dei fumi e del sottostante strato libero dai fumi.

Per tali ragioni, è stata eseguita la simulazione dell'incendio sviluppata sia con l'utilizzo di metodi semplificati, basati su equazioni parametriche, sia con l'utilizzo di modelli avanzati, quali le simulazioni fluidodinamiche d'incendio.

❖ *Commento dei risultati*

Come si può osservare, i risultati ottenuti applicando sia i modelli semplificati che quelli avanzati sono fra loro perfettamente compatibili e, pertanto, l'utilizzo di modelli avanzati, per situazioni di questo genere, appare del tutto ingiustificato, specie se riferito ai maggiori oneri tecnici di sviluppo che esso richiede.

Anche in tal caso appare fondamentale l'affidabilità dell'impianto di ventilazione meccanica e, di conseguenza, la corretta implementazione della relativa gestione manutentiva e funzionale nella Gestione della Sicurezza Antincendio.

Risulta evidente, infatti, che nel caso di un suo malfunzionamento, la *soluzione alternativa* progettata risulterebbe indubbiamente inefficace.

❖ *Eventuali sviluppi ulteriori*

Il ricorso a modelli differenti per la dimostrazione dello medesimo obiettivo di sicurezza conferisce al progettista una maggiore consapevolezza per la soluzione adottata.

La sezione metodi del Codice invita il progettista a verificare sempre i limiti di validità ed applicazione dei modelli utilizzati per lo sviluppo dell'analisi ingegneristica prestazionale.

Caso studio 8: soluzione alternativa per il livello di prestazione III misura S.8 - autorimessa

Descrizione

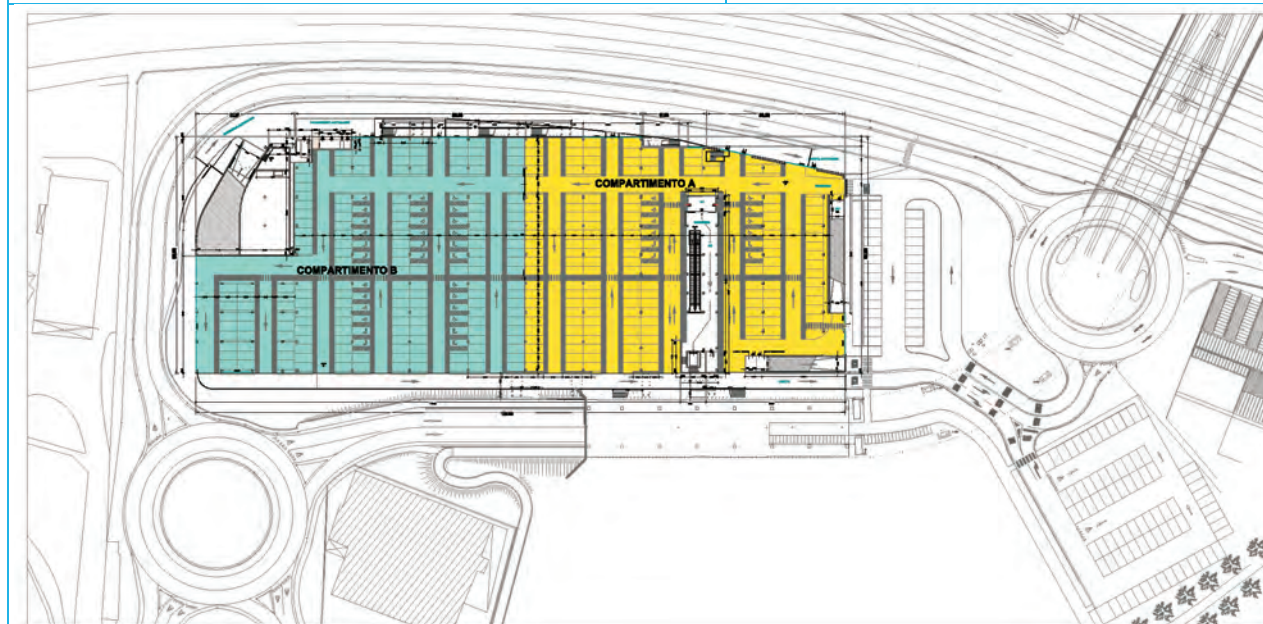
Nel presente caso studio vengono illustrati i calcoli di ASET e RSET relativi all'esodo in emergenza degli occupanti presenti all'interno dell'autorimessa ubicata al piano terra, a servizio di un sovrastante edificio commerciale; l'autorimessa è costituita da due compartimenti antincendio (A e B) che risultano indipendenti, sia strutturalmente che funzionalmente, rispetto al sovrastante compartimento antincendio adibito ad esposizione e vendita.

In virtù delle previsioni di cui al par. V.6.5.7 del d.m. 21 febbraio 2017 (RTV Autorimesse), relativo al Controllo di fumi e calore, in sede di verifica dell'uniforme distribuzione in pianta delle aperture di smaltimento è risultato che per entrambi i compartimenti costituenti l'autorimessa rimangono delle superfici non coperte dalle aree di influenza delle predette aperture.

Volendo evitare di incrementare la misura S.8 al livello di prestazione III, con la conseguente esigenza di dover installare un sistema di evacuazione di fumo e calore (SEFC), si ricorre ad una *soluzione alternativa* per il livello di prestazione III della misura S.8, al fine di risolvere il vincolo della *soluzione conforme* di cui alla nota a margine del citato par. V.6.5.7 che prevede, appunto, il ricorso a tale livello di prestazione in caso di mancata ottemperanza all'uniforme distribuzione delle aperture di smaltimento di fumo e calore.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni dei due compartimenti dell'autorimessa	Compartimento A = 4730 m ² - 160 posti auto
	Compartimento B = 4926 m ² - 206 posti auto
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in C.A.



Schema planimetrico dell'autorimessa (SB/AB/HA)³²

Dimensionamento delle aperture di smaltimento di fumo e calore d'emergenza

Compartimento A - tipo di dimensionamento: SE3 tab. S.8-4 (autorimessa tipo SB/AB/HA)

- Superficie in pianta del compartimento A = 4730 m²
- Superficie utile minima delle aperture di smaltimento: $S_{sm} = A/25 = 4730 / 25 = 189,30 \text{ m}^2$
- Requisiti aggiuntivi: 10 % di S_{sm} di tipo SE_a o SE_b o $SE_c = 18,93 \text{ m}^2$ di tipo SE_a o SE_b o SE_c
- Superficie utile delle aperture presenti (*tutte di tipo SE_a*) $S_{utile} = 250 \text{ m}^2 > S_{sm} = 189,30 \text{ m}^2$

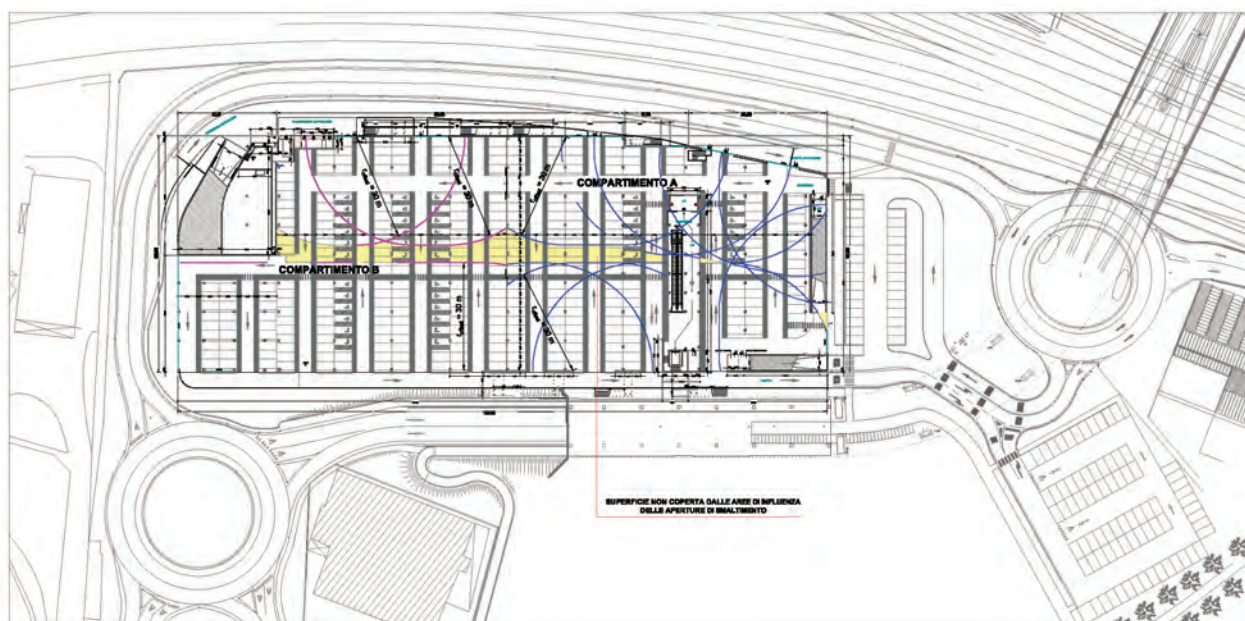
Compartimento B - tipo di dimensionamento: SE3 tab. S.8-4 (autorimessa tipo SB/AB/HA)

- Superficie in pianta del compartimento B = 4926 m²
- Superficie utile minima delle aperture di smaltimento: $S_{sm} = A/25 = 4926 / 25 = 197,10 \text{ m}^2$
- Requisiti aggiuntivi: 10 % di S_{sm} di tipo SE_a o SE_b o $SE_c = 19,71 \text{ m}^2$ di tipo SE_a o SE_b o SE_c
- Superficie utile delle aperture presenti (*tutte di tipo SE_a*) $S_{utile} = 376 \text{ m}^2 > S_{sm} = 197,10 \text{ m}^2$

³² Classificazione ai sensi della RTV Autorimesse d.m. 21 febbraio 2017.

Ciascuna apertura di smaltimento dei due compartimenti avrà superficie sempre superiore a $0,2 \text{ m}^2$.
Le aperture di smaltimento presenti nei due compartimenti dell'autorimessa sono tutte di tipo SE_a (permanentemente aperte).

Compartimenti antincendio	L'autorimessa è composta da 2 compartimenti antincendio
Numero occupanti	732 (è prevista la presenza di persone con disabilità anche non permanente)
Profilo di rischio R_{vita}	B2 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R_{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.1.3 e par. S.1.4.2)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.2.3 e par. S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.1)
Esodo	Livello I di prestazione (par. S.4.3 e par. S.4.4.1)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.2) Rete di idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello IV di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello di prestazione equivalente al III (par. S.8.3 e par. S.8.4.4)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)



VERIFICA DELL'UNIFORME DISTRIBUZIONE IN PIANTA DELLE APERTURE DI SMALTIMENTO (PAR. S.8.5.4)

Obiettivi dello studio

Come ormai noto, il metodo idoneo a dimostrare la *soluzione alternativa* ricade fra i metodi ordinari di progettazione della sicurezza antincendio di cui al par. G.2.6, (tab. G.2-1) "Ingegneria della sicurezza antincendio".

In tale tabella è previsto, infatti, che: "Il progettista applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio secondo procedure, ipotesi e limiti indicati nel presente documento, in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3, e secondo le procedure previste dalla normativa vigente".

Nello specifico, al fine di determinare i tempi ASET e RSET relativi all'esodo in emergenza degli occupanti presenti all'interno dei due compartimenti dell'autorimessa si farà riferimento ai metodi ed ai parametri contenuti nel cap. M.3 ed agli strumenti di modellazione fluidodinamica utilizzando il software FDS (vers. 6.5).

Definizione del progetto

Scopo della presente *soluzione alternativa* è dimostrare che la posizione e la dimensione della superficie non coperta dalla verifica delle aree di influenza possono essere comunque adeguatamente controbilanciate dalle condizioni geometriche dell'autorimessa, dalla posizione e dalla dimensione delle aperture di smaltimento e dalle misure compensative di seguito illustrate:

- L'altezza dell'autorimessa (3,90 m all'intradosso del solaio di copertura) e la disposizione delle travi di appoggio dei tegoli a doppio T, crea dei serbatoi di fumo naturali orientati in direzione nord-sud, che favoriscono il contenimento ed il deflusso dei fumi generati dall'incendio di un autoveicolo verso le aperture di smaltimento ubicate alle estremità di questi "serbatoi di fumo".
Tale configurazione favorisce il deflusso diretto dei fumi verso l'apertura di smaltimento più prossima, evitando la propagazione in senso trasversale, migliorando quindi le condizioni di intervento delle squadre di soccorso e di visibilità in tutte le altre campate del compartimento interessato.
- Come evidenziato nella fig. precedente, la fascia di superficie non coperta dalle aree di influenza delle aperture di smaltimento ha una larghezza media pari a 4,90 m.
La dimensione di questa porzione di "non copertura" non determina, di fatto, un rallentamento del deflusso dei fumi verso le aperture di smaltimento, posizionate alla distanza massima di 30 m rispetto a detta area di copertura.
La fascia di superficie non coperta è collocata in posizione baricentrica rispetto ai citati serbatoi naturali di fumo alle cui estremità sono sempre presenti le aperture di smaltimento.
- Le superfici delle aperture di smaltimento presenti in entrambi i compartimenti dell'autorimessa sono ampiamente sovradimensionate rispetto alla superficie utile minima richiesta con distribuzione uniforme lungo tutto il perimetro dell'autorimessa.
- La lunghezza massima dei percorsi di esodo per gli occupanti dell'autorimessa non supera i 40 m; tali percorsi sono pressoché esclusivamente rettilinei e coincidono con le corsie di manovra dei veicoli.
- Da ciascun punto dell'autorimessa sono facilmente individuabili almeno due direzioni di esodo indipendenti, con uscita diretta su spazio scoperto.
- Entrambi i compartimenti dell'autorimessa sono dotati di impianto di illuminazione di sicurezza che consente l'orientamento e l'individuazione dei percorsi di esodo in qualsiasi condizione ambientale e in qualsiasi ora del giorno.
- È stato incrementato il livello di prestazione per la rivelazione ed allarme dell'autorimessa, dal richiesto II al IV, con installazione di un impianto IRAI esteso a tutti i locali dell'attività.
Tale dotazione permette di gestire in tempi molto rapidi ogni condizione di allarme consentendo la rivelazione precoce e la diffusione immediata della comunicazione di esodo a tutti gli occupanti.
Ciò sia in caso d'incendio generatosi in area vendita che in un compartimento dell'autorimessa.
- La separazione dell'autorimessa in due compartimenti antincendio (ciascuno con superficie inferiore a 5000 m²) consente di gestire e circoscrivere gli effetti dell'incendio al solo compartimento interessato, grazie all'immediata chiusura, comandata dall'IRAI, di tutte le porte ed i portoni tagliafuoco presenti in autorimessa (separazione tra i due compartimenti e comunicazione verso area vendita).

Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio

Tali obiettivi consistono nell'evitare che il fumo generato dai focolari di progetto ostacoli l'esodo in sicurezza degli occupanti presenti nell'autorimessa.

Si ipotizza che tali obiettivi siano verificati, allorché tutti i parametri considerati, di cui al par. M.3.3, restano al di sotto della rispettiva soglia critica per tutta la durata dell'indagine (vedi calcolo ASET).

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

L'analisi degli scenari d'incendio è stata condotta sulla base dei seguenti criteri:

- individuazione del focolare verosimilmente più critico ipotizzabile all'interno dell'autorimessa oggetto dello studio;
- determinazione delle posizioni più critiche del focolare all'interno di ciascuno dei due compartimenti antincendio costituenti l'autorimessa.

Dalla comparazione delle varie combinazioni possibili di questi due scenari, sono state ricavate le configurazioni più critiche e gravose agli effetti dell'esodo degli occupanti dell'autorimessa.

Sono stati quindi individuati 4 scenari critici, sottoposti alle simulazioni di analisi fluidodinamica di seguito riportate.

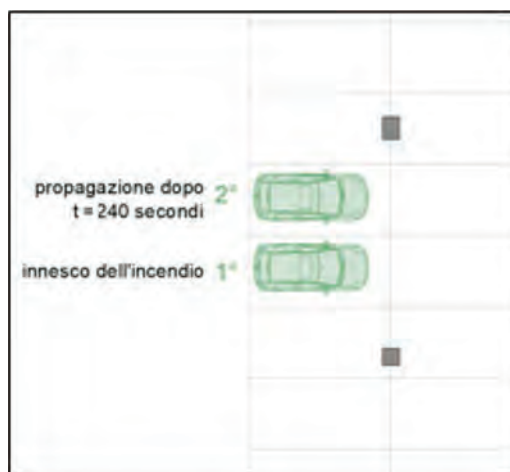
Focolare d'incendio

Con riferimento al par. V.6.7.1 della RTV Autorimesse, di cui al d.m. 21 febbraio 2017, si è adottato un focolare tipo (vedi fig. seguente) costituito dall'incendio generato da un primo autoveicolo, che si propaga successivamente ad un secondo autoveicolo parcheggiato a fianco del primo.

La citata RTV prevede che il tempo di ritardo tra l'innescò del primo veicolo e l'innescò del secondo veicolo adiacente sia pari a 12 min; a vantaggio di sicurezza si è analizzato invece uno scenario molto più severo, accorciando suddetto tempo di ritardo a 4 min (240 s).

Sono state quindi adottate le curve di rilascio della potenza termica nel tempo HRR(t) per ciascuno dei due autoveicoli (vedi tabb. 1 e 2 e grafici 1 e 2), costruendo la curva di involucro (vedi grafici 3 e 4 e tab. 3) data dalla sovrapposizione delle due singole curve di rilascio, applicando il ritardo di 4 min per l'innescò del secondo veicolo.

Si evidenzia che i riferimenti ai focolari proposti dalla RTV sono limitati all'adozione delle curve HRR per ciascuno dei due autoveicoli presi in considerazione, mentre gli scenari d'incendio di progetto proposti dalla RTV medesima non sono stati adottati, sia perché non sono ammessi nel caso specifico, non verificandosi nessuna delle condizioni di applicabilità (autorimessa aperta ecc.), sia perché sono finalizzati alla verifica della capacità portante degli elementi strutturali.



POSIZIONE DEGLI AUTOVEICOLI COINVOLTI NELL'INCENDIO: FOCOLARE TIPO

Curva HRR(t) par autoveicolo 1: istante di innesco = 0 s

Secondo tab. V.6-5: Curva HRR(t) per autoveicolo (primo innesco, $HRR_{max} = 8300$ kW)

Curva HRR per autoveicolo (primo innesco)								
tempo dopo l'innesco [s]	0	240	960	1440	1500	1620	2280	4200
HRR(t) [kW]	0	1400	1400	5500	8300	4500	1000	0
HRR(t) / HRR_{max}	0,00	0,17	0,17	0,66	1,00	0,54	0,12	0,00

TAB. 1: CURVA DI RILASCIO DELLA POTENZA TERMICA DELL'AUTOVEICOLO 1

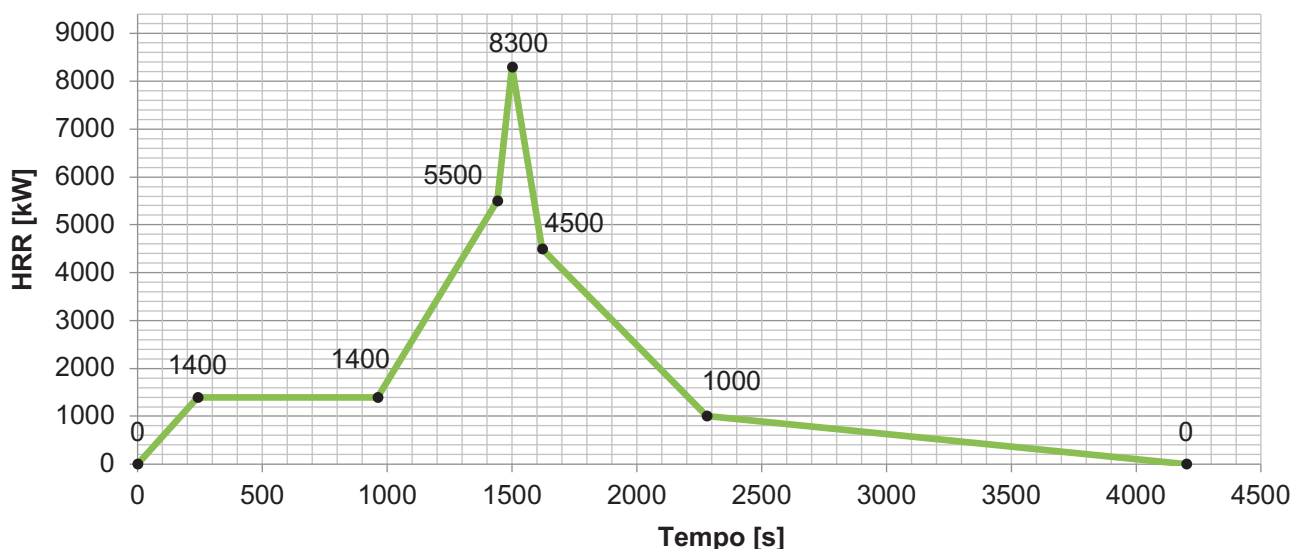


GRAFICO 1: ANDAMENTO DELLA CURVA DI RILASCIO DELLA POTENZA TERMICA DELL'AUTOVEICOLO 1

Curva HRR(t) par autoveicolo 2: istante di innesco = 240 s (4 min)

Secondo tab. V.6-6: Curva HRR(t) per autoveicolo (propagazione al successivo veicolo, $HRR_{max} = 8300$ kW)

Curva HRR per autoveicolo (propagazione al successivo)								
tempo dopo l'innesco [s]	0	60	600	960	1020	1140	1800	3720
HRR(t) [kW]	0	2400	2400	5500	8300	4500	1000	0
HRR(t) / HRR_{max}	0,00	0,29	0,29	0,66	1,00	0,54	0,12	0,00

TAB. 2: CURVA DI RILASCIO DELLA POTENZA TERMICA DELL'AUTOVEICOLO 2

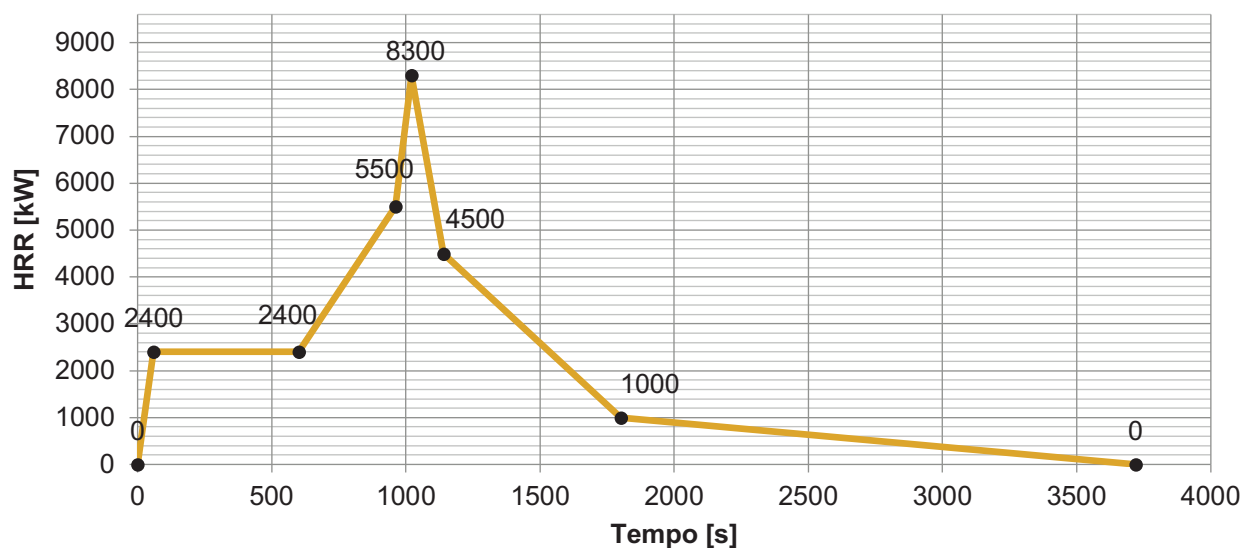


GRAFICO 2: ANDAMENTO DELLA CURVA DI RILASCIO DELLA POTENZA TERMICA DELL'AUTOVEICOLO 2

Curva HRR(t) TOTALE

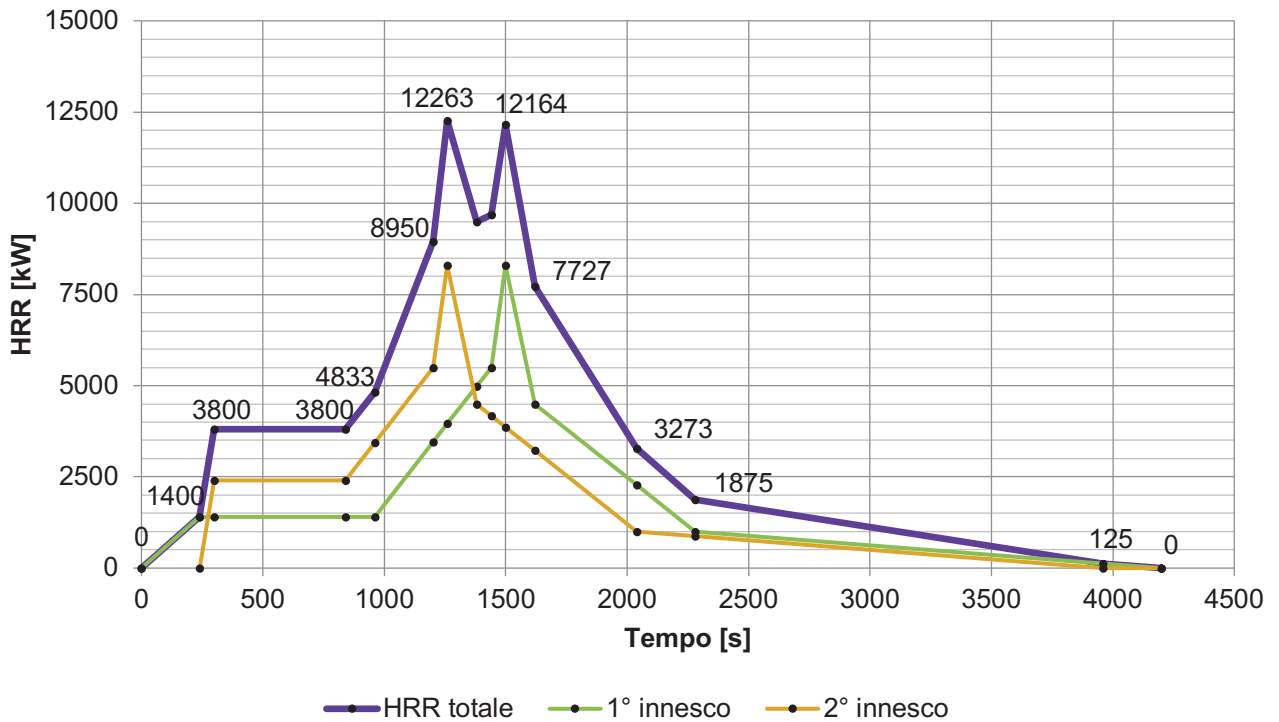


GRAFICO 3: ANDAMENTO DELLE CURVE DI RILASCIO DEGLI AUTOVEICOLI 1 E 2 E DELLA CURVA DI INVILUPPO DELL'EFFETTO COMBINATO DELL'INCENDIO DEI DUE AUTOVEICOLI

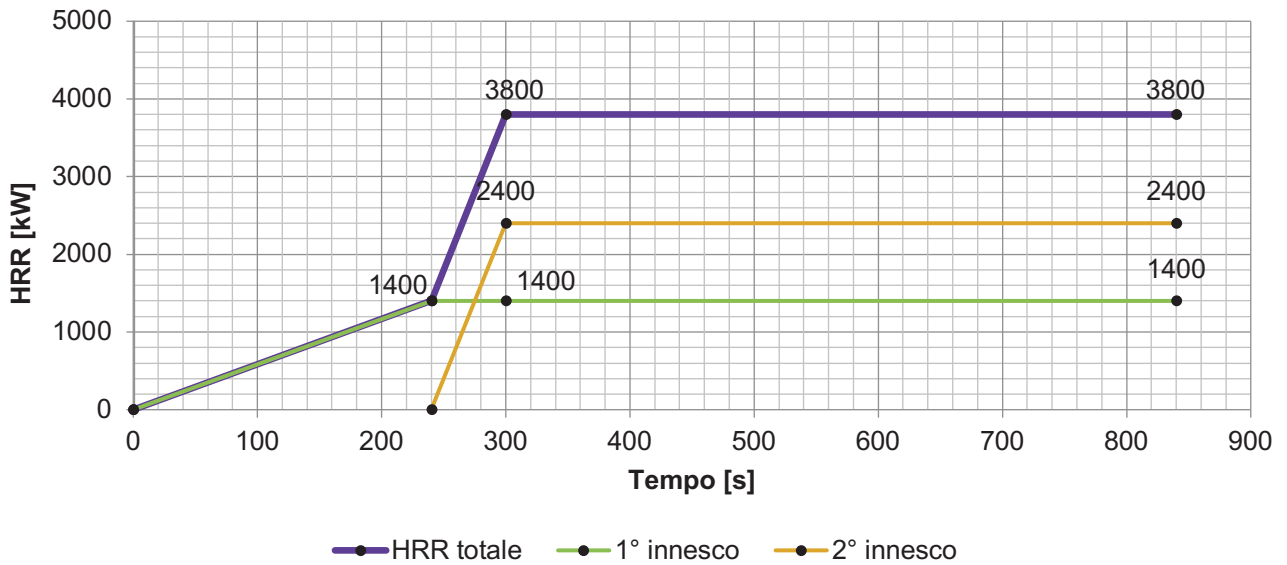


GRAFICO 4: PARTICOLARE INGRANDITO (PRIMI 800 s) DELL'ANDAMENTO DELLE CURVE DI RILASCIO DEGLI AUTOVEICOLI 1 E 2 E DELLA CURVA DI INVILUPPO DELL'EFFETTO COMBINATO DELL'INCENDIO DEI DUE AUTOVEICOLI

Curva HRR TOTALE				
tempo dopo l'innesco [s]	0	240	300	840
HRR(t) veicolo 1 [kW]	0	1400	1400	1400
HRR(t) veicolo 2 [kW]	0	0	2400	2400
HRR(t) TOTALE [kW]	0	1400	3800	3800

TAB. 3: CURVE DI RILASCIO DEGLI AUTOVEICOLI 1 E 2 E DELLA CURVA DI INVILUPPO DELL'EFFETTO COMBINATO DELL'INCENDIO DEI DUE AUTOVEICOLI

Scelta delle posizioni critiche per i focolari d'incendio

Per le ubicazioni dei possibili inneschi dell'incendio sono state analizzate numerose disposizioni, individuando tra gli scenari più gravosi gli inneschi di autoveicoli posizionati in corrispondenza della fascia centrale dei due compartimenti dell'autorimessa, corrispondente alla superficie non coperta delle aree di influenza delle aperture di smaltimento.

Anche le posizioni di innesco in zone d'angolo confinate tra due pareti cieche, si sono rivelate più critiche rispetto ad altre aree più prossime alle aperture permanenti di ventilazione.

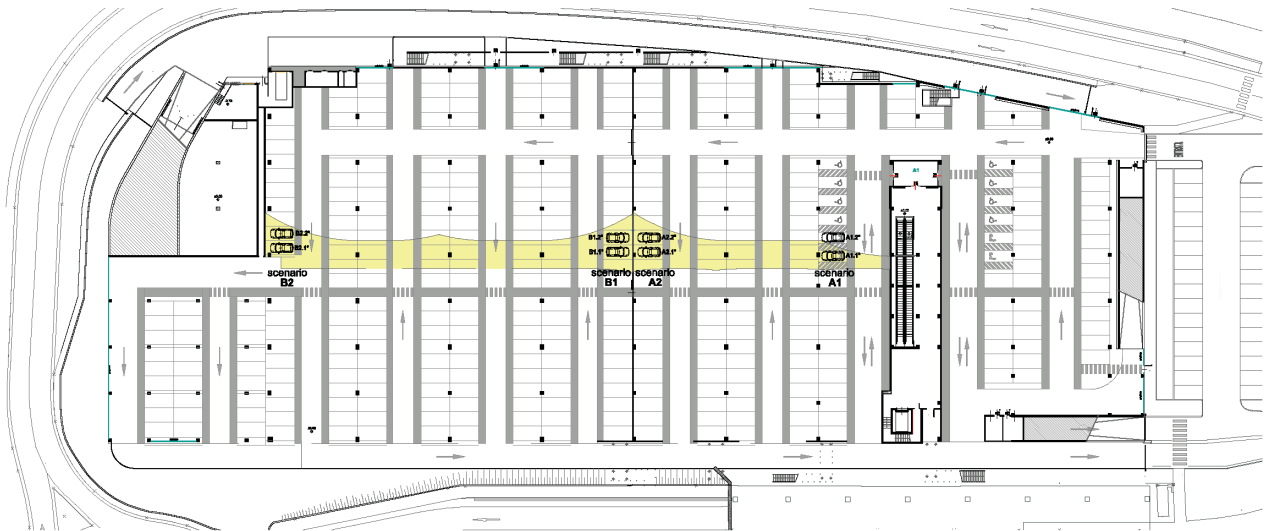
Dopo varie simulazioni di pre-analisi, sono stati quindi individuati i 4 scenari illustrati nella planimetria seguente ed identificati come segue:

Scenario A1 - Compartimento A

Scenario A2 - Compartimento A

Scenario B1 - Compartimento B

Scenario B2 - Compartimento B



SELEZIONE DEGLI SCENARI PIÙ GRAVOSI

Risultati delle simulazioni

Calcolo di RSET

Il tempo RSET viene calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dei due compartimenti dell'autorimessa raggiungono un luogo sicuro.

In conformità al cap. M.3, ed a quanto evidenziato nel caso studio 1, il tempo RSET può essere assunto il più gravoso tra i tempi calcolati come segue:

- $RSET_1 = t_{det} + t_a + t_{pre(99^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)}$ (situazioni ove la densità di affollamento è bassa)
- $RSET_2 = t_{det} + t_a + t_{pre(1^\circ \text{ percentile})} + t_{tra(pres)} + t_{tra(coda)}$ (situazioni ove la densità di affollamento è elevata)

dove:

- t_{det} è il tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio;
- t_a è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti (allarme generale);
- $t_{pre(1^\circ \text{ percentile})}$ è il tempo di pre-evacuazione per i primi occupanti a muoversi, secondo la distribuzione statistica di t_{pre} , espresso in s;
- $t_{pre(99^\circ \text{ percentile})}$ è il tempo di pre-evacuazione per gli ultimi occupanti a muoversi, secondo la distribuzione statistica di t_{pre} , espresso in s;
- $t_{tra(pres)}$ è il tempo necessario all'occupante più lontano per presentarsi all'uscita verso il luogo sicuro, espresso in s;
- $t_{tra(coda)}$ è il tempo di attesa in coda all'uscita verso il luogo sicuro per l'ultimo occupante a muoversi, secondo la distribuzione statistica del tempo di pre-evacuazione t_{pre} , espresso in s.

L'impianto di rivelazione di calore esteso all'intera autorimessa è tarato per l'intervento alla temperatura dei fumi di 62°C; tenendo conto dell'inerzia/ritardo dell'impianto di rivelazione e dell'influenza della temperatura ambiente iniziale, il tempo massimo di intervento dell'IRAI si attesta sui 45 s.

Si è verificato che il tempo necessario al raggiungimento della predetta temperatura di taratura dell'IRAI è al massimo di 40 s dall'innesco dell'incendio.

Pertanto il tempo di rivelazione t_{det} sarà dato dalla somma dei due tempi sopra descritti:

$R_{vita} = B2$

- attività dotata di IRAI (tempo di risposta di sistema di rivelazione di calore);
- livello di prestazione per la gestione della sicurezza antincendio medio-elevato;
- presenza di addetti formati al rischio incendio.

Quindi si adotta, a vantaggio di sicurezza:

$$t_{det} = 45 + 40 = 85 \text{ s}$$

In presenza di impianto di rivelazione automatica dell'incendio, esteso a tutto l'autorimessa, il tempo di allarme generale viene assunto pari a zero, quindi:

$$t_a = 0 \text{ s}$$

pertanto si ottiene:

$$t_{det} + t_a = 85 + 0 = 85 \text{ s}$$

Per la quantificazione dei tempi di pre-movimento (dei primi e degli ultimi occupanti) si ricorre ai dati di letteratura, con riferimento a quanto indicato nella tab. E.2 del rapporto tecnico ISO/TR 16738 (tab. tratta dalla norma BS PD 7974-6:2019).

Nell'allegato E del rapporto tecnico ISO/TR 16738 sono infatti riportati, in funzione dello scenario comportamentale considerato, della tipologia di allarme, della complessità dell'edificio e dell'efficacia della gestione della sicurezza, i tempi di pre-movimento sia per il 1° percentile che per il 99° percentile della distribuzione.

Per l'autorimessa in questione si ottiene:

Tipologia di occupanti: B: "Awake and Unfamiliar"

- Livello di sistema di allarme: Livello A1
Rivelazione automatica estesa a tutto l'edificio in grado di attivare un immediato allarme generale in ogni parte dell'edificio ($t_a = 0$ s).
- Livello di complessità dell'edificio: Livello B1
Edificio monopiano con un compartimento, con distribuzione regolare in pianta e caratterizzato da un buon accesso visivo e da moderate lunghezze delle vie di esodo che conducono direttamente all'esterno.
- Livelli di gestione della sicurezza antincendio: Livello M2
Gli occupanti sono svegli e non familiari con l'ambiente (visitatori) - buon rapporto tra personale addestrato e visitatori.

Per tale tipologia di classificazione si ricavano i seguenti tempi di pre-evacuazione:

$$t_{pre(1^\circ \text{percentile})} = 60 \text{ s}$$

$$t_{pre(99^\circ \text{percentile})} = 240 \text{ s}$$

La valutazione del tempo di movimento viene condotta secondo le previsioni del rapporto tecnico ISO/TR 16738 utilizzando il modello di calcolo idraulico:

Al fine di individuare le velocità degli spostamenti orizzontali verso le uscite di piano, il citato rapporto tecnico considera le caratteristiche del movimento degli occupanti tenendo conto della distribuzione delle capacità motorie di una popolazione.

Per il caso in esame, in favore di sicurezza, si adotta come riferimento della velocità media di tutti gli occupanti un valore estremamente ridotto (0,50 m/s), confrontabile con la velocità di deambulazione di occupanti con disabilità.

$$v = 0,50 \text{ m/s}$$

La lunghezza massima del percorso di esodo L_{es} misurata all'interno dell'autorimessa risulta essere, per entrambi i compartimenti, pari a 40 m; il tempo necessario all'occupante medio più sfavorito per raggiungere il luogo sicuro (spazio scoperto di cui al par. S.4.5.1, comma 2, lett. b) è pertanto pari a:

$$t_{tra(pres)} = L_{es} / v = 40 \text{ m} / 0,50 \text{ m/s} = 80 \text{ s}$$

In relazione al tempo di attesa in coda all'uscita verso luogo sicuro per l'ultimo occupante a muoversi si considera il seguente affollamento massimo:

	Affollamento massimo
Compartimento A	320 persone
Compartimento B	412 persone

Per il calcolo del tempo di attesa in coda si considera che, anche nel caso di indisponibilità di un fronte di esodo, nella direzione rimanente saranno sempre disponibili almeno due uscite indipendenti.

Pertanto il numero massimo di occupanti che impegnerà una singola via di esodo sarà pari alla metà dell'affollamento massimo nel comparto specifico:

	N° di occupanti massimo che impegnano una singola via di esodo
Compartimento A	160 persone
Compartimento B	206 persone

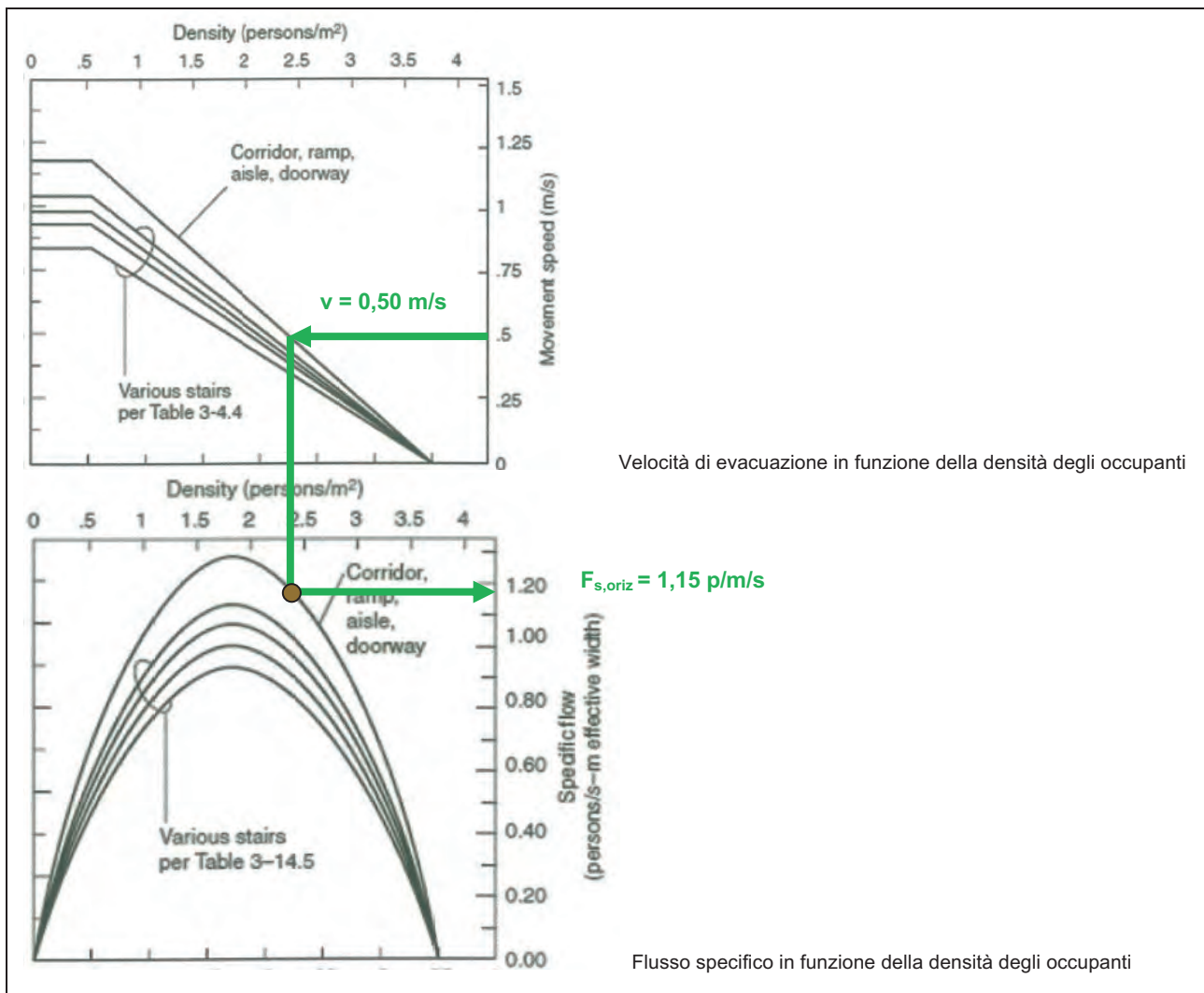
Per il calcolo del tempo necessario agli occupanti per percorrere le vie di esodo orizzontali (uscite finali) si potrebbe assumere il flusso specifico massimo orizzontale ($F_{s,oriz}$) proposto nel "The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th Edition" e riportato nell'Annex G del rapporto tecnico ISO/TR 16738.

$$F_{s,oriz} = 1,30 \text{ p/m/s}$$

Tuttavia, anche per completezza di esposizione, si riportano le curve necessarie a definire il valore di $F_{s,oriz}$ (Velocità di evacuazione in funzione della densità degli occupanti e Flusso specifico in funzione della densità degli occupanti).

Dai diagrammi si evince che il valore $v = 0,50 \text{ m/s}$ adottato, in favore di sicurezza, nel presente caso studio come riferimento della velocità media di tutti gli occupanti per spostamenti orizzontali, corrisponde ad una densità di circa $2,4 \text{ p/m}^2$ che, riportato sul grafico "Flusso specifico - Densità", determina un valore di flusso specifico orizzontale pari a $F_{s,oriz} = 1,15 \text{ p/m/s}$, come rilevabile graficamente nella figura seguente.

In favore di sicurezza, il tempo di attesa in coda verrà comunque calcolato facendo riferimento ad un valore ulteriormente ridotto del flusso specifico orizzontale ($F_{s,oriz} = 1,10 \text{ p/m/s}$).



Considerando il caso più critico di esodo verso le uscite di sicurezza con larghezza pari a due moduli, si ottiene per la larghezza efficace della via di esodo:

$$W_{\text{eff}} = 0,70 \times 1,20 \text{ m} = 0,84 \text{ m}$$

ricavando i seguenti tempi di attesa in coda:

$$\text{Compartimento A } t_{\text{tra(coda)}} = 160 / (1,10 \times 0,84) = 173 \text{ s}$$

$$\text{Compartimento B } t_{\text{tra(coda)}} = 206 / (1,10 \times 0,84) = 223 \text{ s}$$

In definitiva si ottiene:

Per il compartimento A:

$t_{\text{det}} + t_{\text{a}}$:	85 s
$t_{\text{pre(1°percentile)}}$:	60 s
$t_{\text{pre(99°percentile)}}$:	240 s
$t_{\text{tra(pres)}}$:	80 s
$t_{\text{tra(coda)}}$:	173 s

$$\text{RSET}_1 = 85 + 240 + 80 = 405 \text{ s}$$

(per bassa densità di affollamento)

$$\text{RSET}_2 = 85 + 60 + 80 + 173 = 398 \text{ s}$$

(per elevata densità di affollamento)

Per il compartimento B:

$t_{\text{det}} + t_{\text{a}}$:	85 s
$t_{\text{pre(1°percentile)}}$:	60 s
$t_{\text{pre(99°percentile)}}$:	240 s
$t_{\text{tra(pres)}}$:	80 s
$t_{\text{tra(coda)}}$:	223 s

$$\text{RSET}_1 = 85 + 240 + 80 = 405 \text{ s}$$

(per bassa densità di affollamento)

$$\text{RSET}_2 = 85 + 60 + 80 + 223 = 448 \text{ s}$$

(per elevata densità di affollamento)

Calcolo di ASET

La valutazione del tempo disponibile per l'esodo ASET viene eseguita utilizzando il *metodo di calcolo avanzato per ASET*, secondo il par. M.3.3.1.

Per eseguire tale calcolo di ASET si prende a riferimento (vedi par. M.3.3.1.2) la norma ISO 13571, secondo la quale, come noto, il valore di ASET globale è definito come il più piccolo tra gli ASET calcolati secondo quattro modelli esaminati nella prima parte della presente pubblicazione:

- Modello dei *gas tossici*;
- Modello dei *gas irritanti*;
- Modello del *calore*;
- Modello dell'oscuramento della *visibilità* da fumo.

I risultati delle simulazioni relative ai quattro scenari d'incendio considerati sono riportati nelle schede di seguito allegate che restituiscono, per ciascun di essi, le visualizzazioni grafiche (ricavate da fermi immagine del visualizzatore *Smokeview* di FDS) e le rispettive scale dei valori degli andamenti dei seguenti parametri:

- Propagazione dei fumi
- Temperatura
- Visibilità
- Irraggiamento
- FED e FEC

Come riportato nella tabella seguente, ogni parametro significativo di inabilità in fase di esodo è stato rilevato con sonde posizionate all'altezza da terra prescritta nei metodi di cui al cap. M.3.3:

Parametro	Altezza (m)	Valore soglia
Temperatura	1,80	60 °C
Visibilità	1,80	10 m
Irraggiamento	1,80	2,5 kW/m ²
FED e FEC	1,80	0,10 mol/mol

Le visualizzazioni grafiche, ottenute in diverse fasi temporali, sono state realizzate collocando, per ciascun parametro, un piano di scansione orizzontale in corrispondenza della rispettiva altezza critica; la scala cromatica fornisce l'evidenza della misura del parametro al di sotto del valore di soglia.

Per ciascuno dei 4 scenari sono state sviluppate le analisi fluidodinamiche, della durata di almeno 450 s, a copertura del massimo tempo necessario per l'esodo dai due compartimenti (come calcolato al paragrafo precedente) con la maggiorazione cautelativa del 10% sulla base del criterio:

$$\text{ASET} \geq 1,10 \text{ RSET}$$

Inoltre, per lo scenario più critico di ciascun compartimento (scenari A2 e B2), le analisi fluidodinamiche sono state maggiormente estese, a copertura del massimo RSET dei due compartimenti (448 s):

Per il compartimento A: $\text{RSET}_1 = 85 + 240 + 80 = 405 \text{ s}$ (per bassa densità di affollamento)

Per il compartimento B: $\text{RSET}_2 = 85 + 60 + 80 + 223 = 448 \text{ s}$ (per elevata densità di affollamento)

Criterio di ASET > RSET

Dagli esiti ottenuti si dimostra che, per gli scenari più critici, risulta in ogni caso:

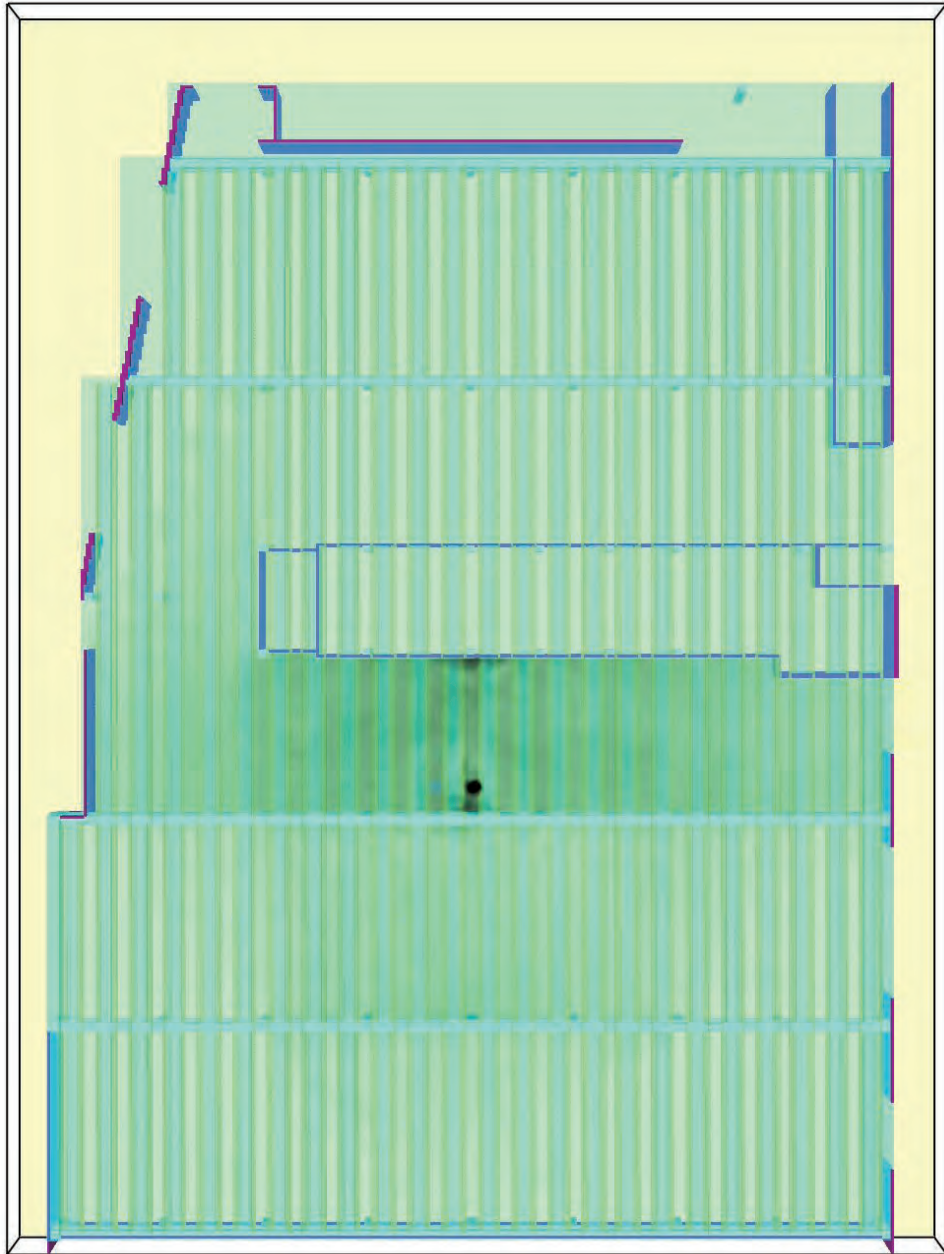
Per il compartimento A: $\text{ASET} \gg 1,10 \text{ RSET}_1 = 1,10 \cdot 405 \text{ s} = 446 \text{ s}$

Per il compartimento B: $\text{ASET} \gg 1,10 \text{ RSET}_2 = 1,10 \cdot 448 \text{ s} = 493 \text{ s}$

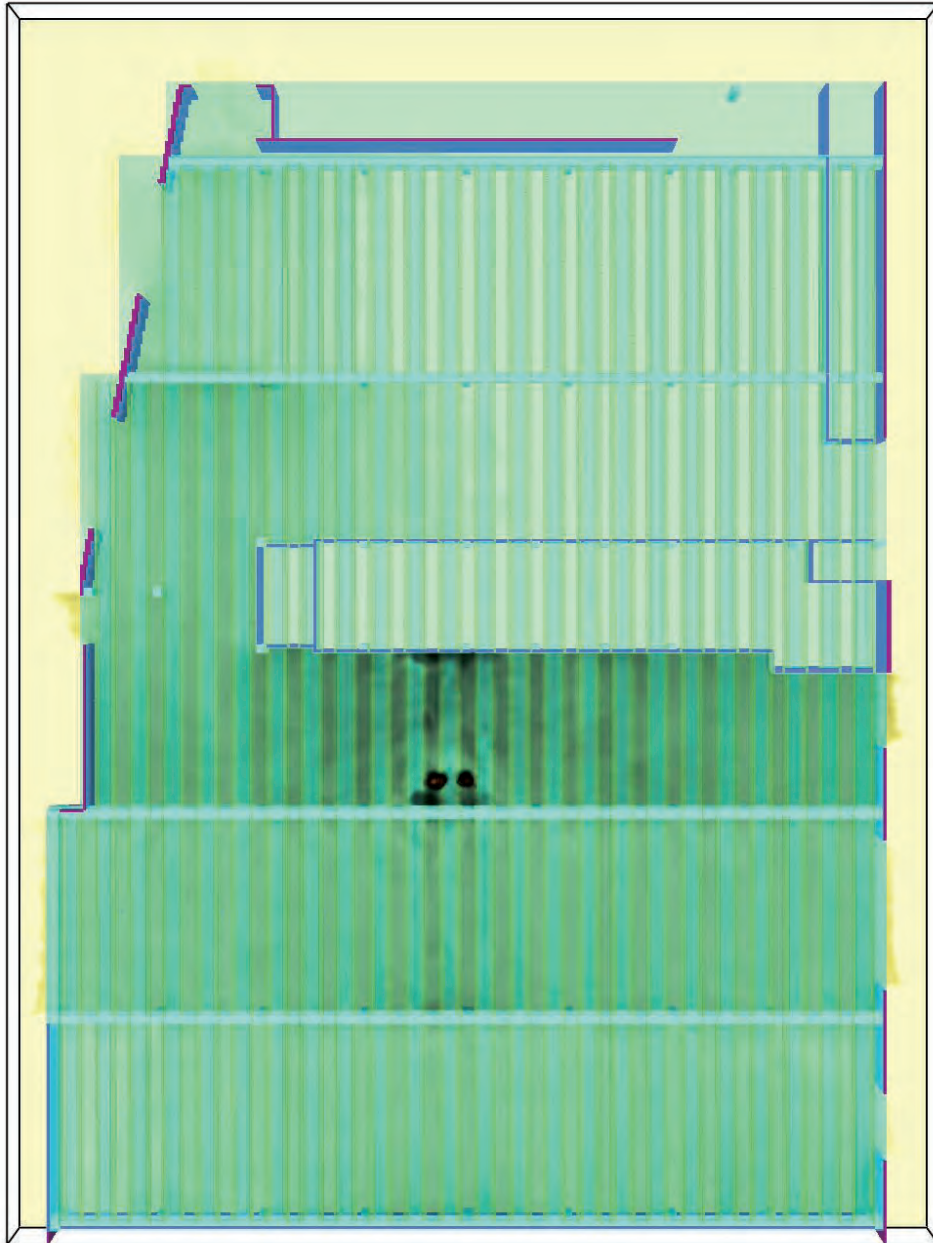
Selezione delle soluzioni progettuali idonee

Grazie alle verifiche positive ottenute, la soluzione progettuale ipotizzata è idonea al raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza prefissato.

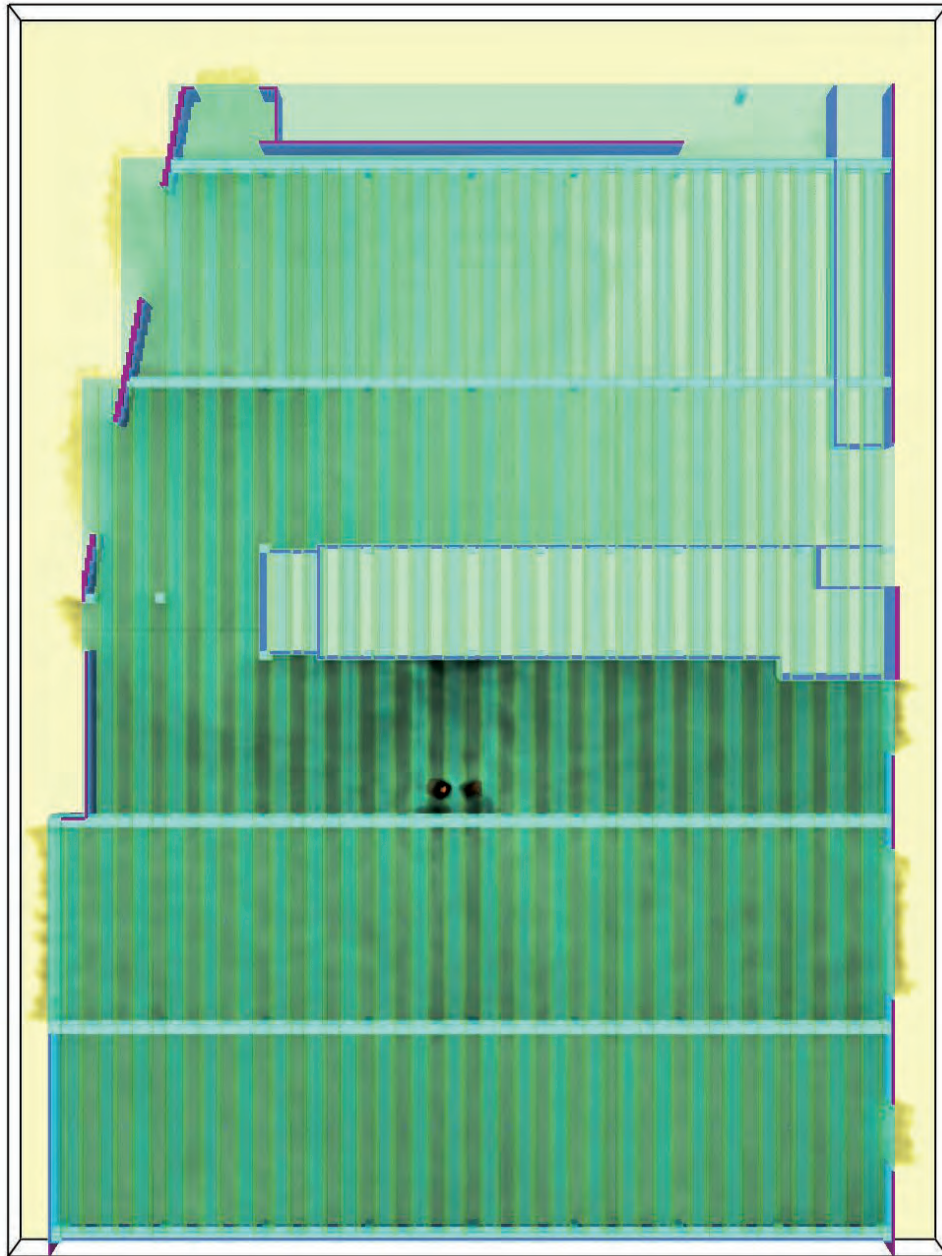
Quindi, nel caso specifico, si è dimostrato che, nei due compartimenti dell'autorimessa oggetto dello studio, lo sviluppo e la propagazione dei fumi in caso d'incendio non compromettono le condizioni di permanenza e transito nelle superfici non coperte dalle aree di influenza delle aperture di smaltimento perimetrali.



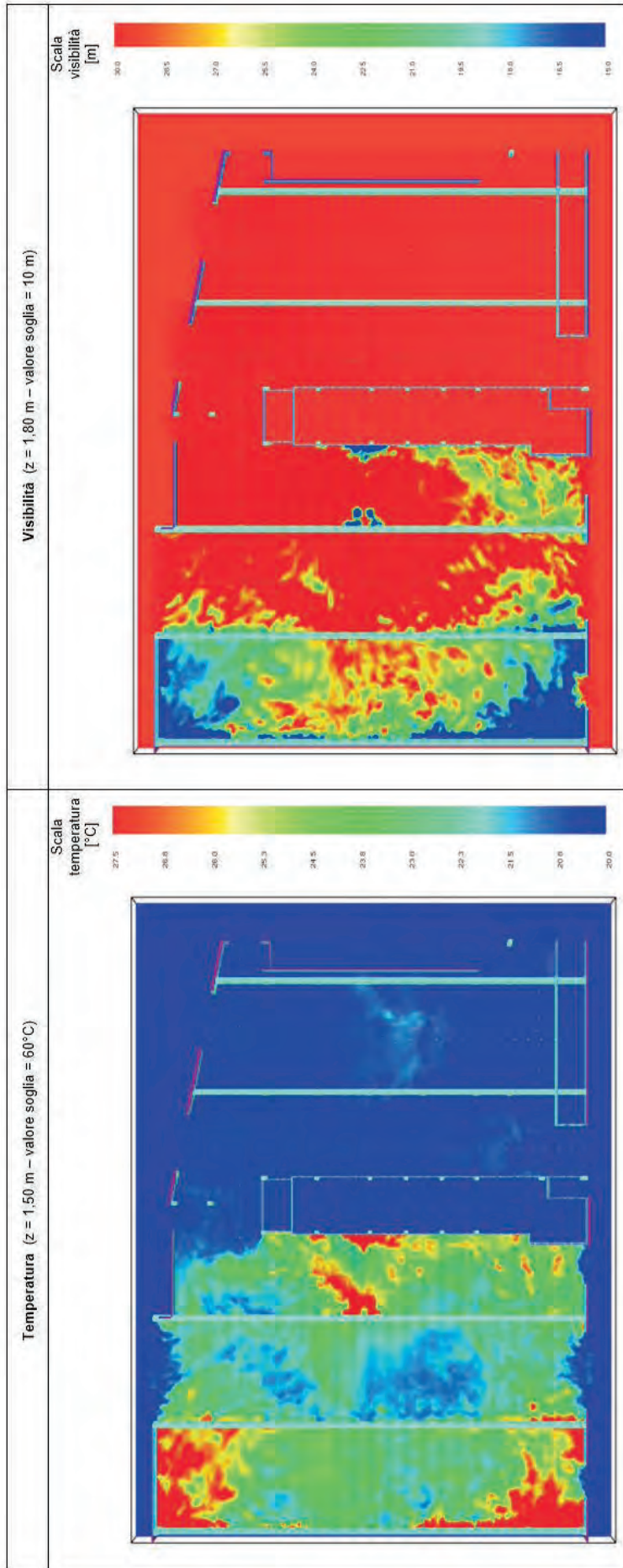
SCENARIO A1 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 150 s



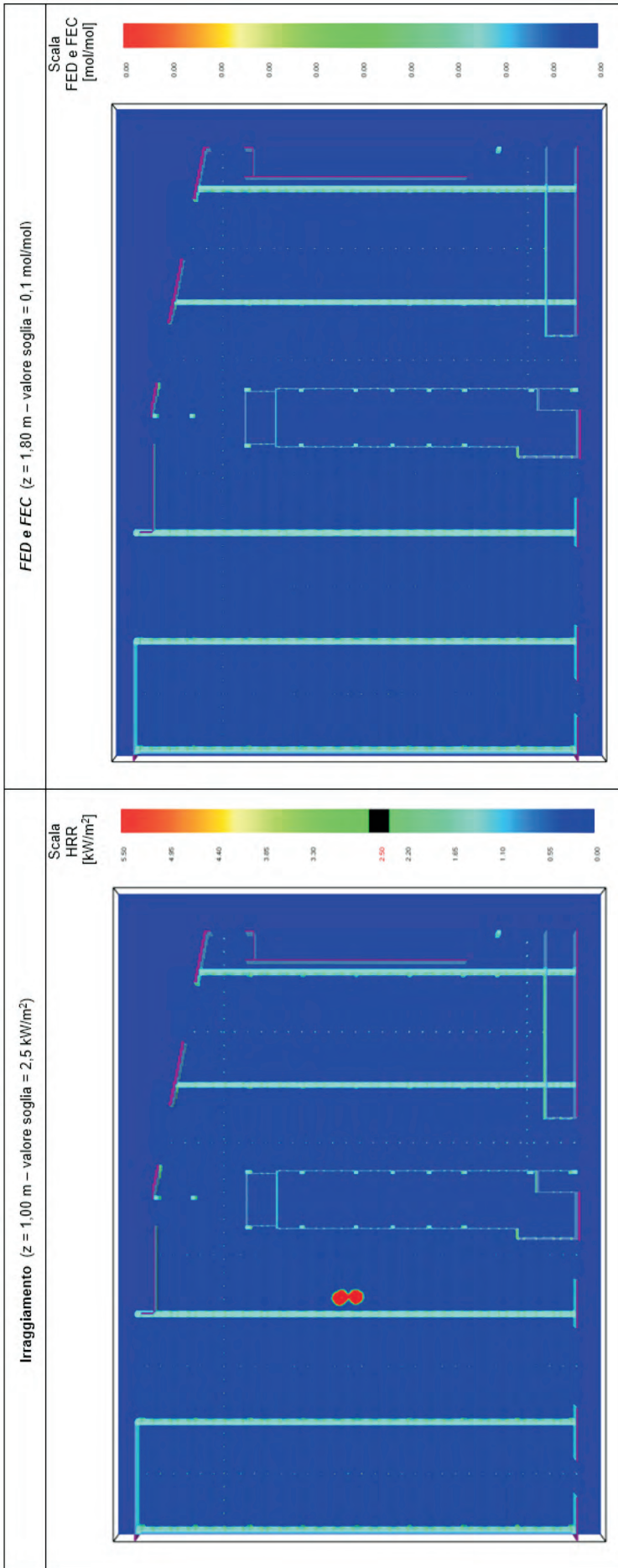
SCENARIO A1 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 300 s



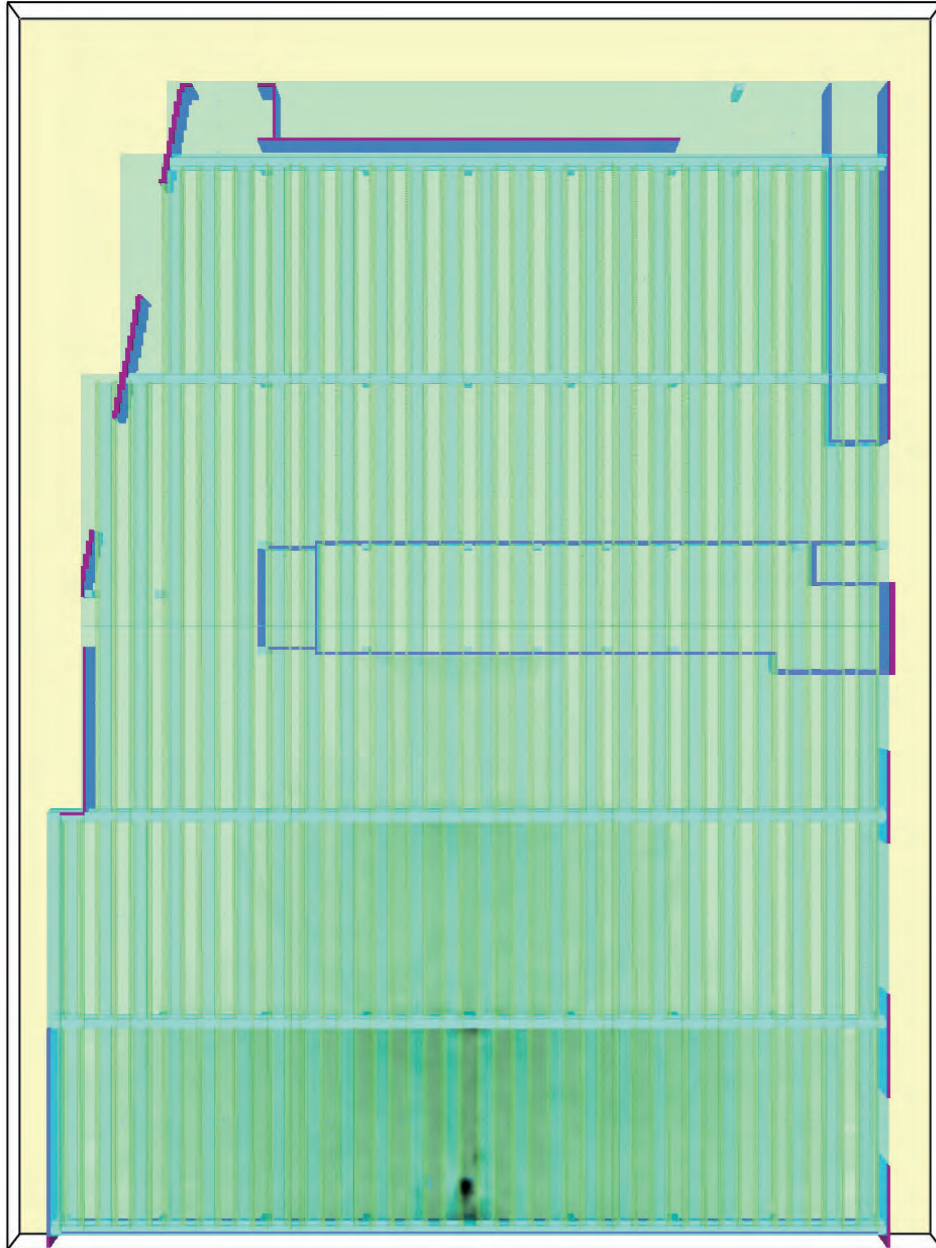
SCENARIO A1 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 450 S



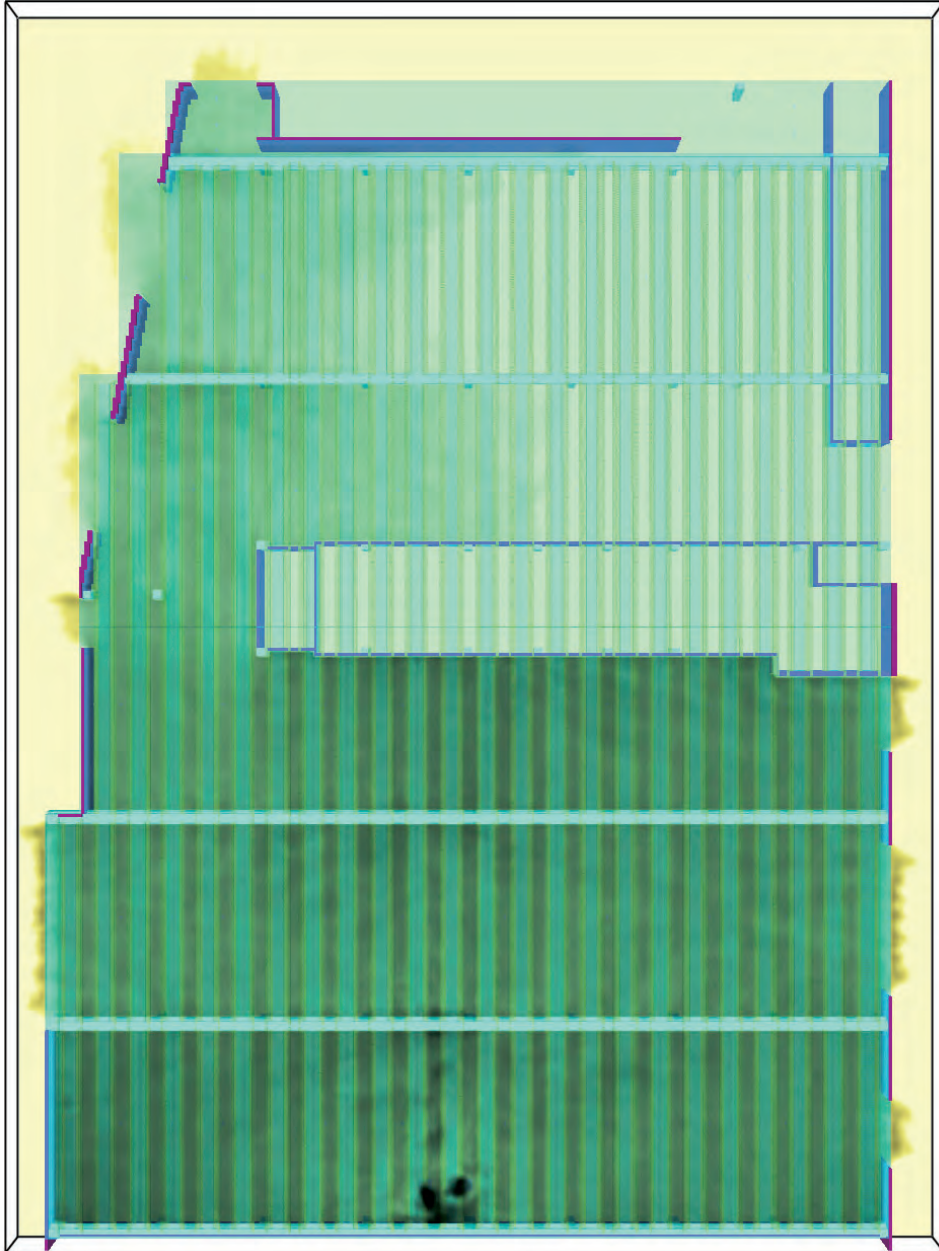
SCENARIO A1 - TEMPERATURA E VISIBILITÀ T = 450 s



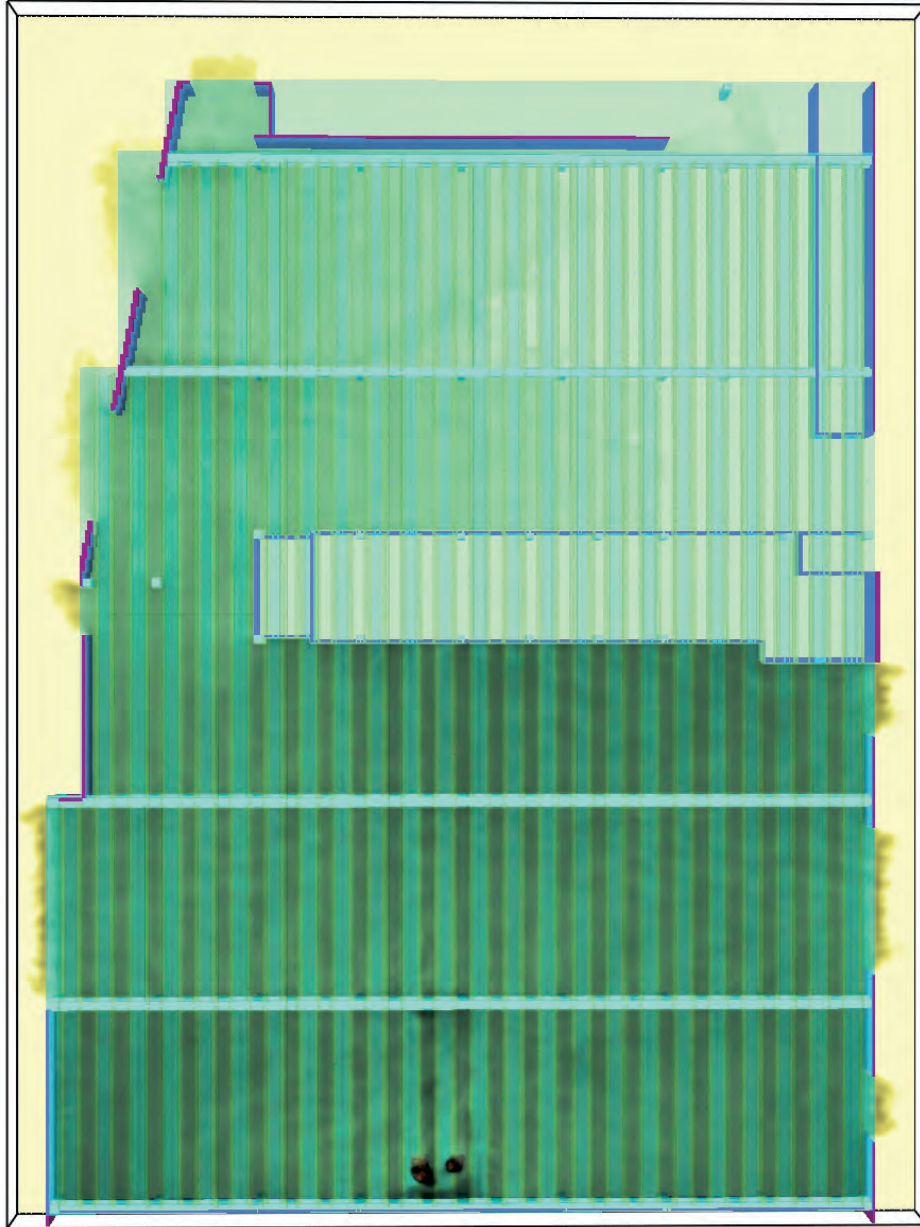
SCENARIO A1 - IRRAGGIAMENTO, FED E FEC T = 450 s



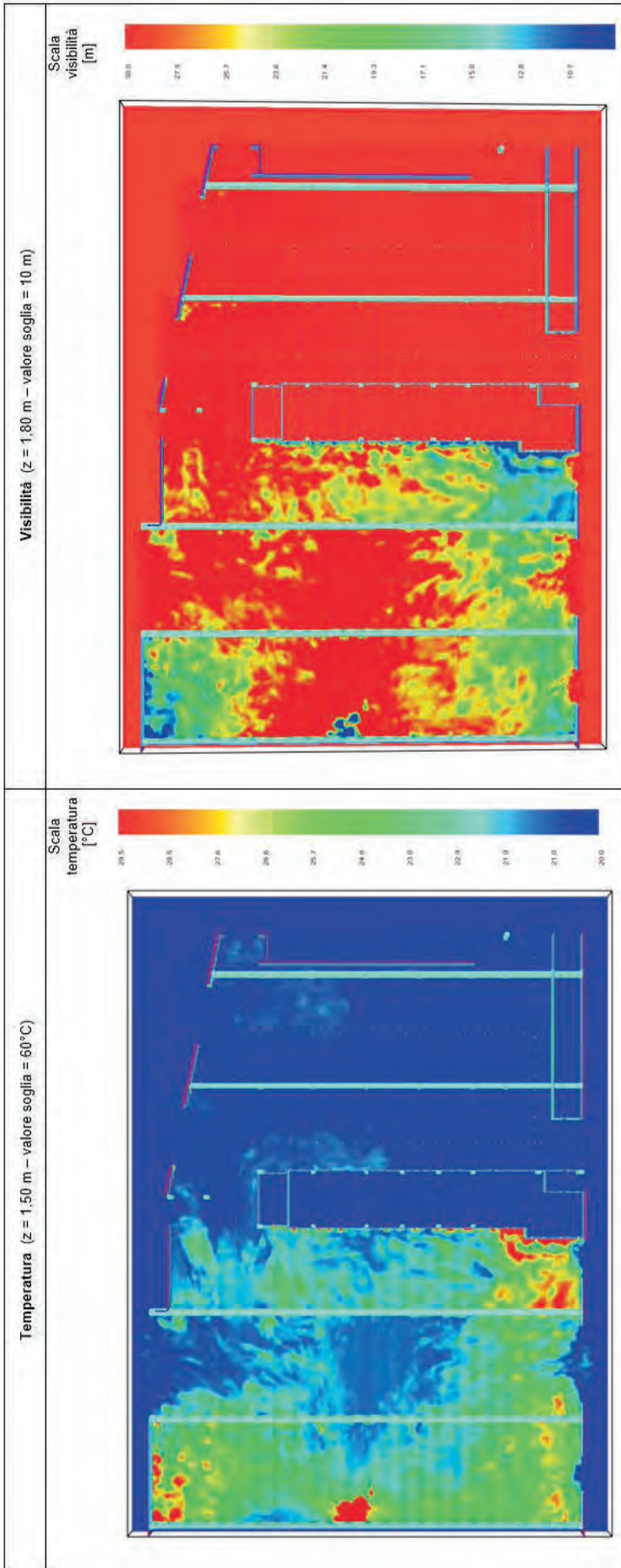
SCENARIO A2 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 150 s



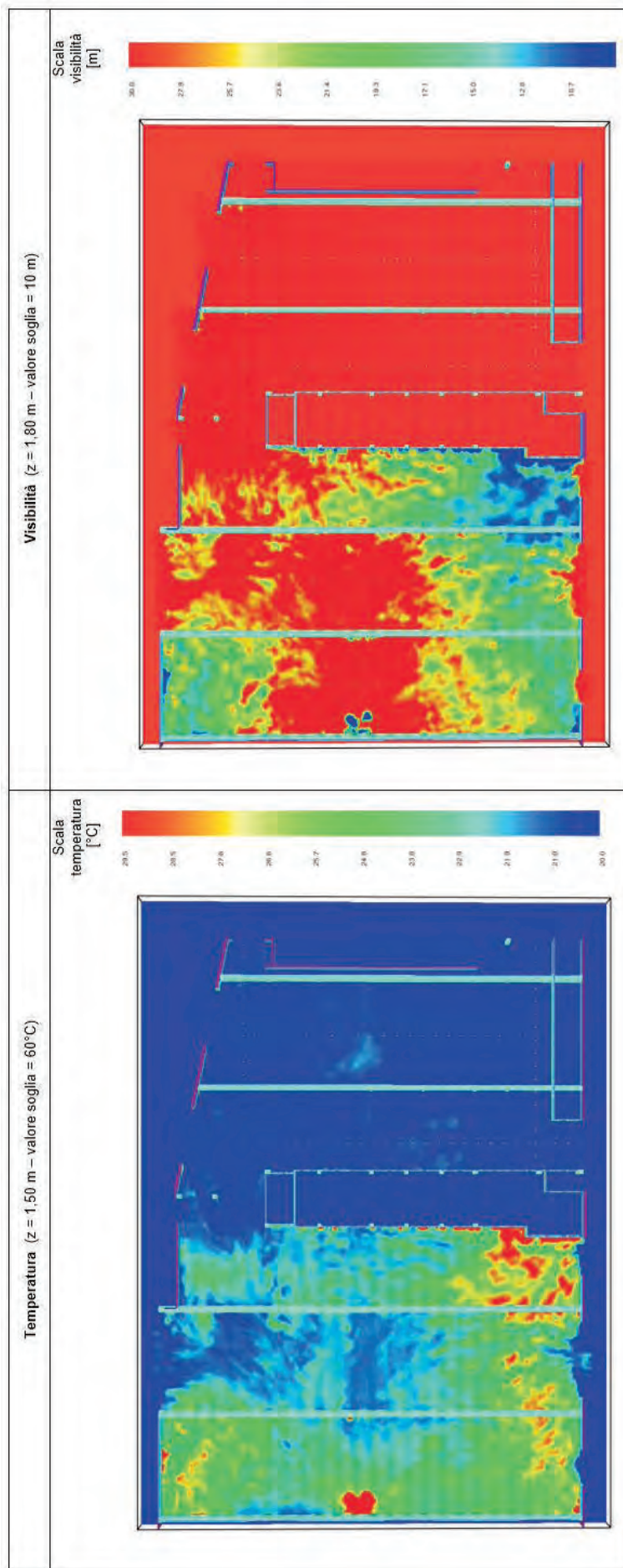
SCENARIO A2 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 450 S



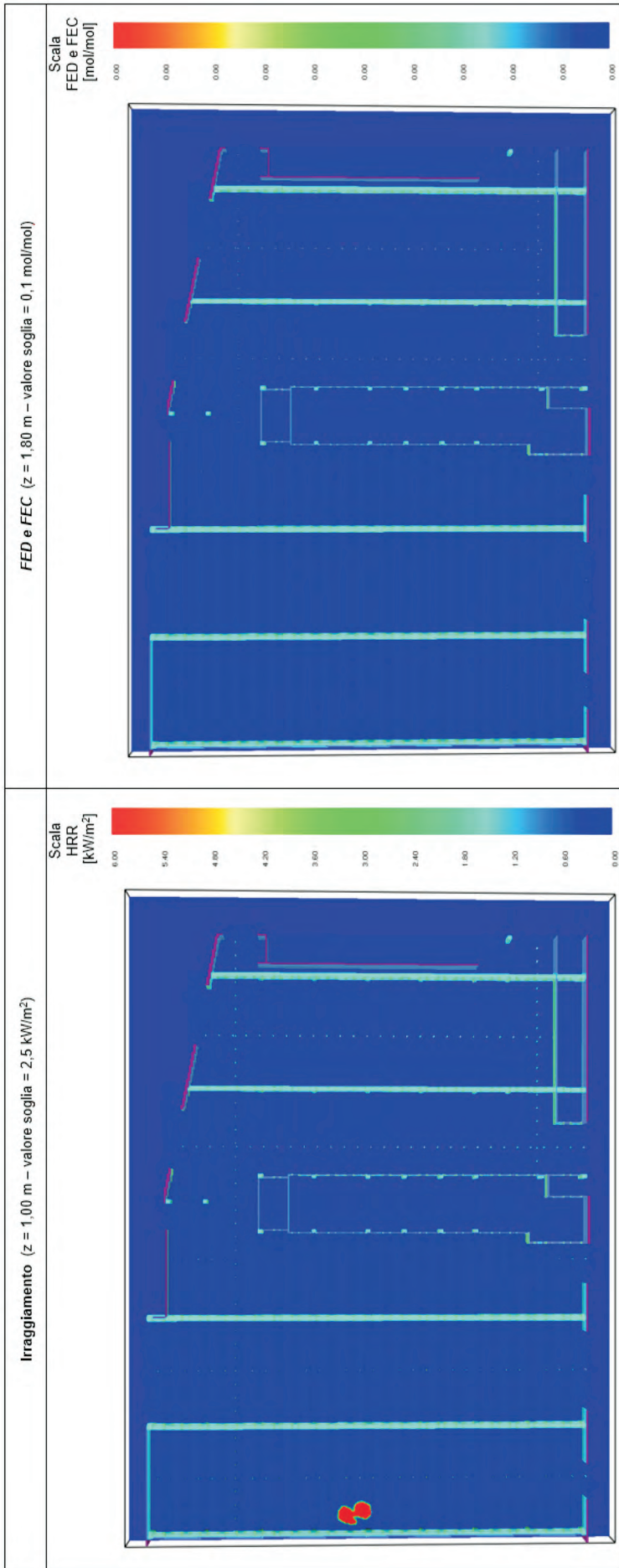
SCENARIO A2 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 500 S



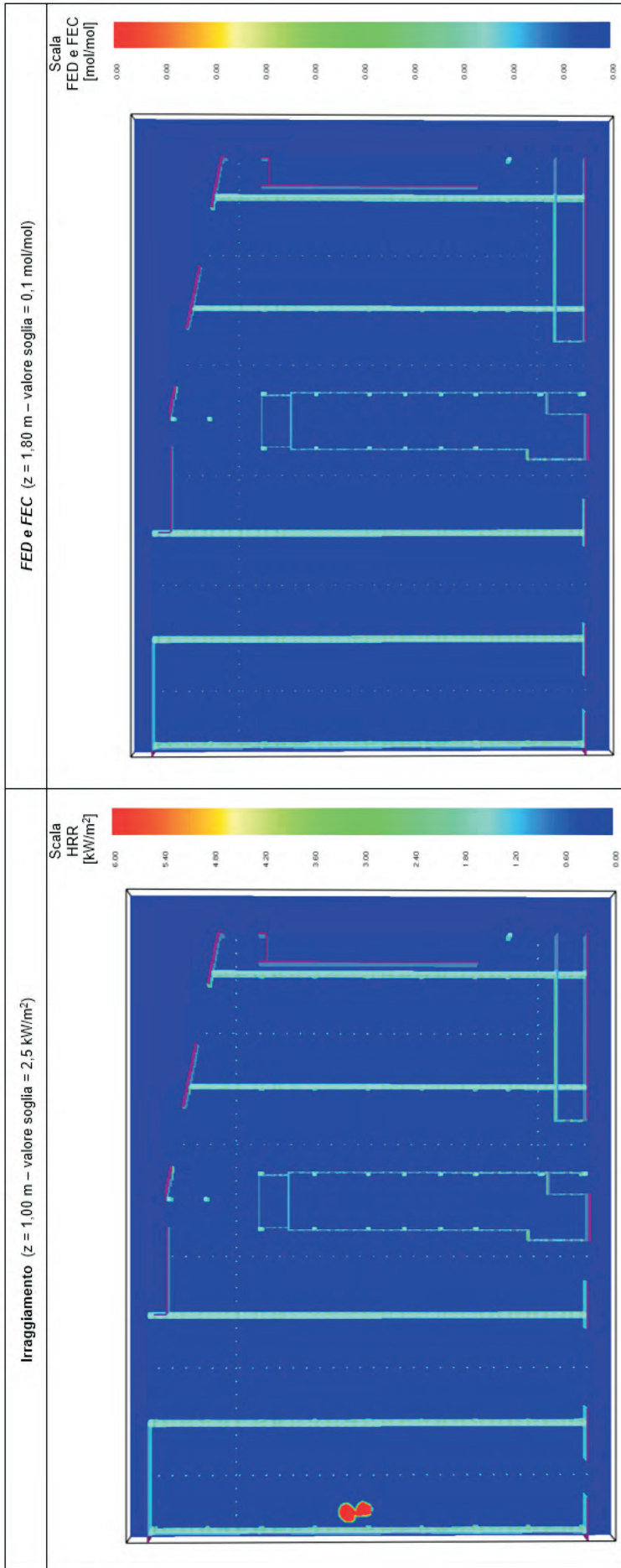
SCENARIO A2 - TEMPERATURA E VISIBILITÀ T = 450 s



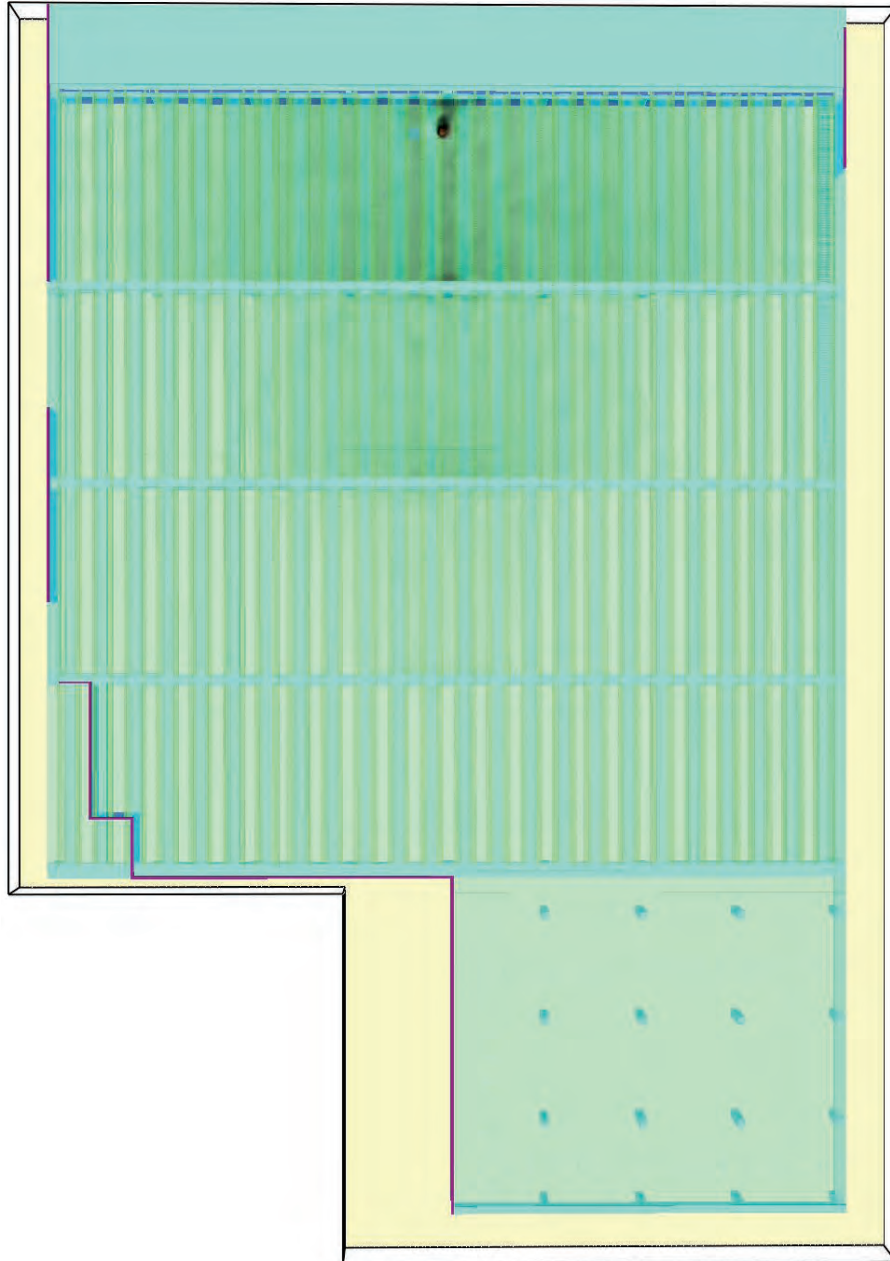
SCENARIO A2 - TEMPERATURA E VISIBILITÀ T = 500 s



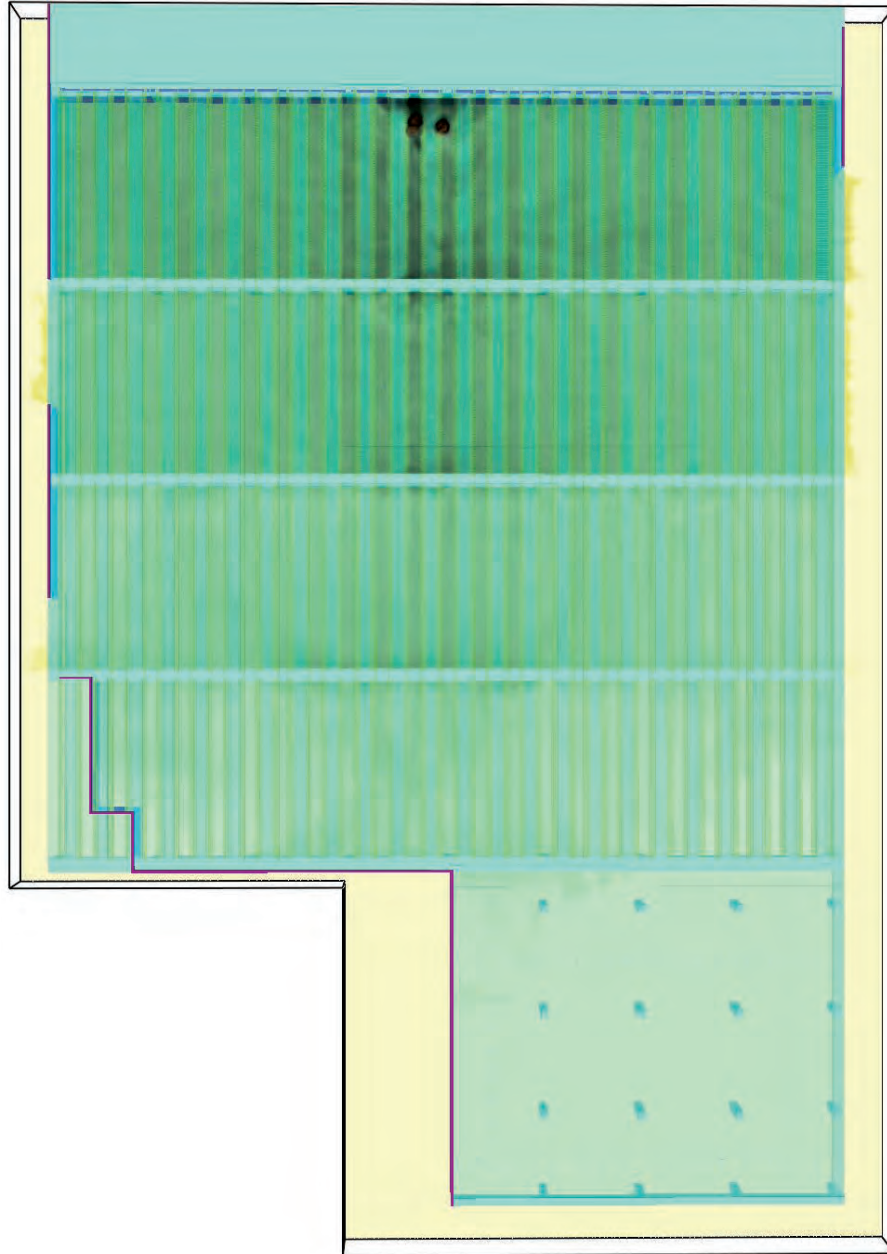
SCENARIO A2 - IRRAGGIAMENTO, FED e FEC T = 450 s



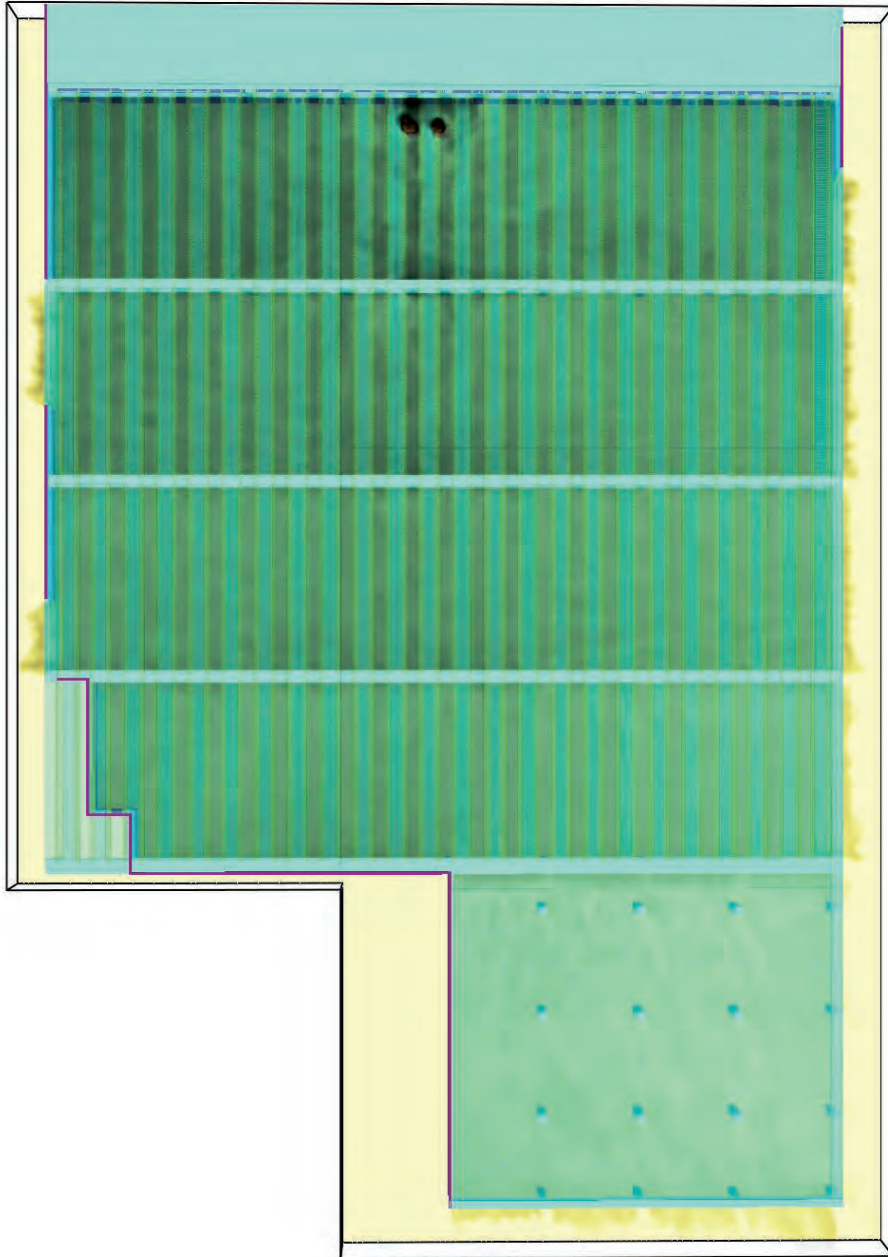
SCENARIO A2 - IRRAGGIAMENTO, FED e FEC T = 500 s



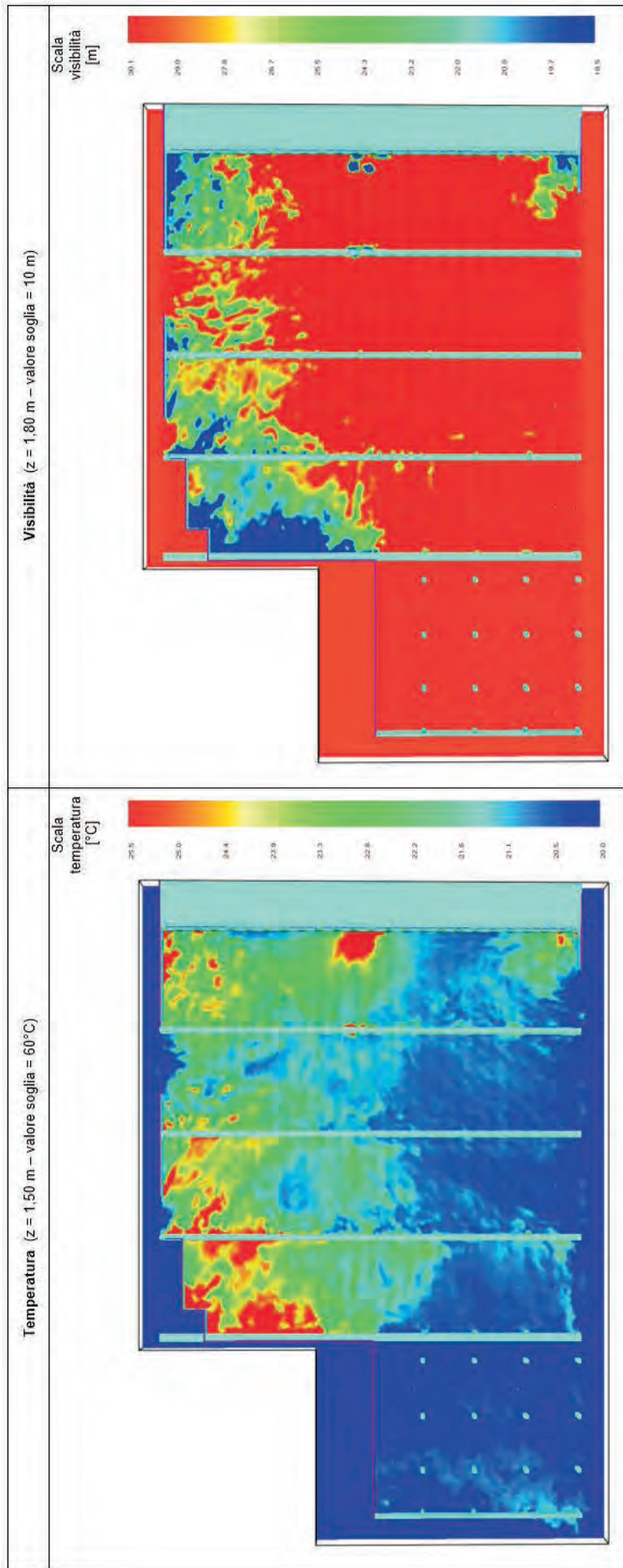
SCENARIO B1 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 150 s



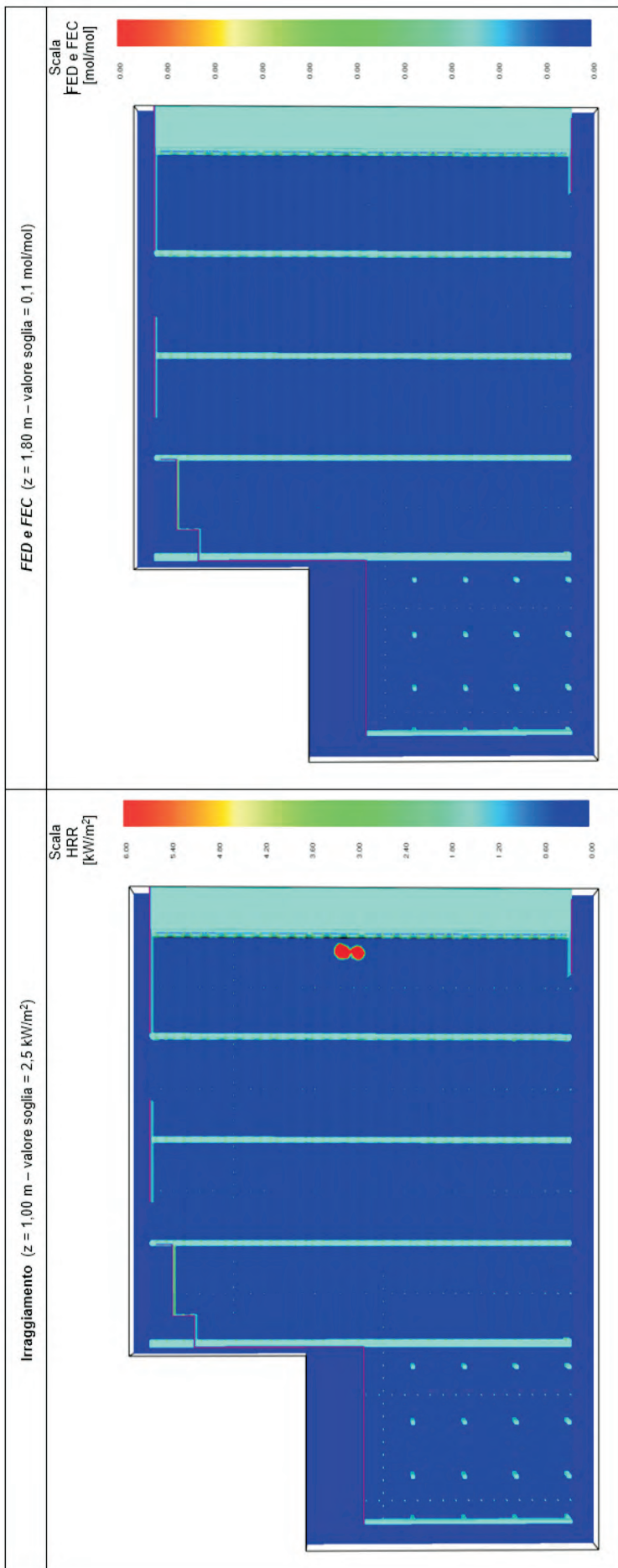
SCENARIO B1 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 300 s



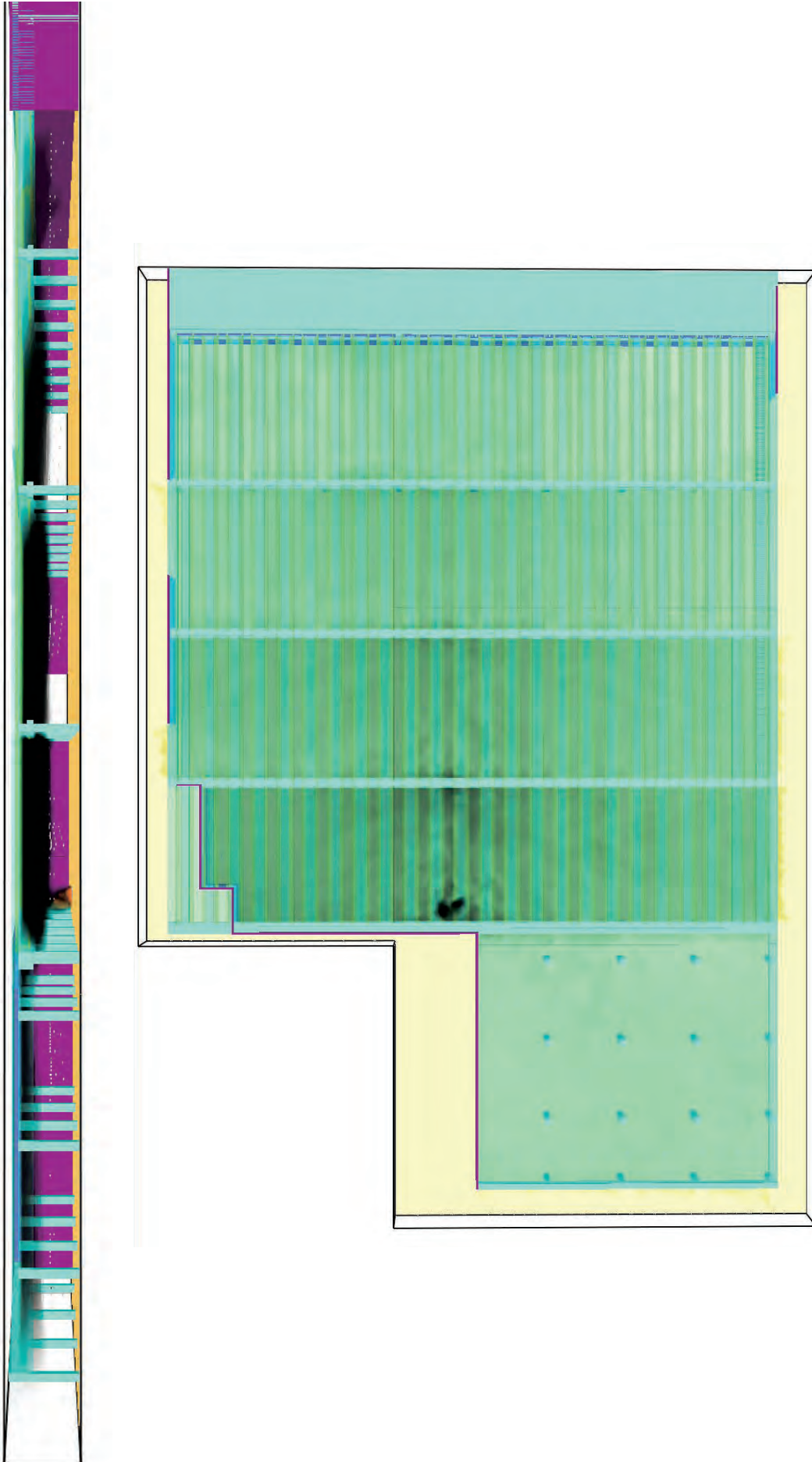
SCENARIO B1 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 450 S



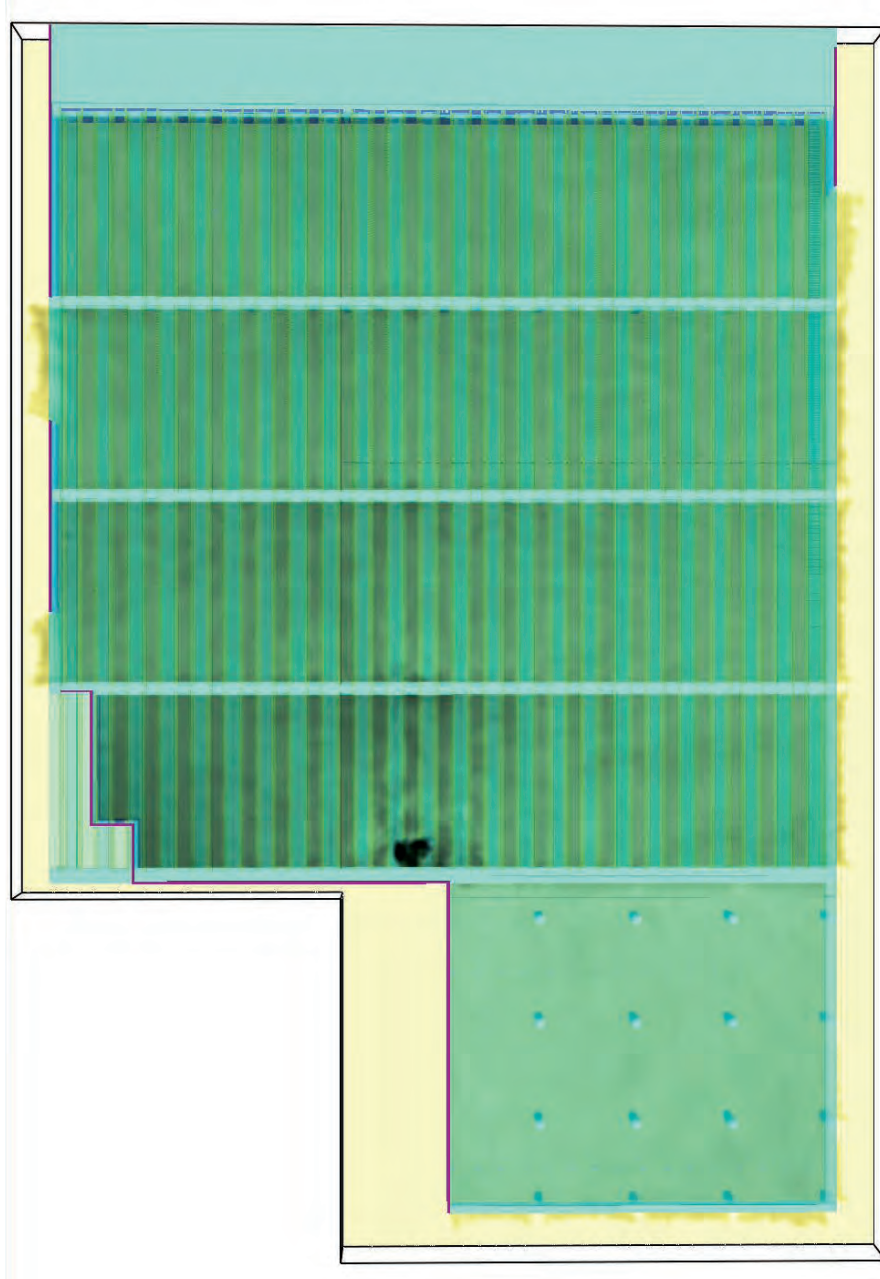
SCENARIO B1 - TEMPERATURA E VISIBILITÀ T = 450 S



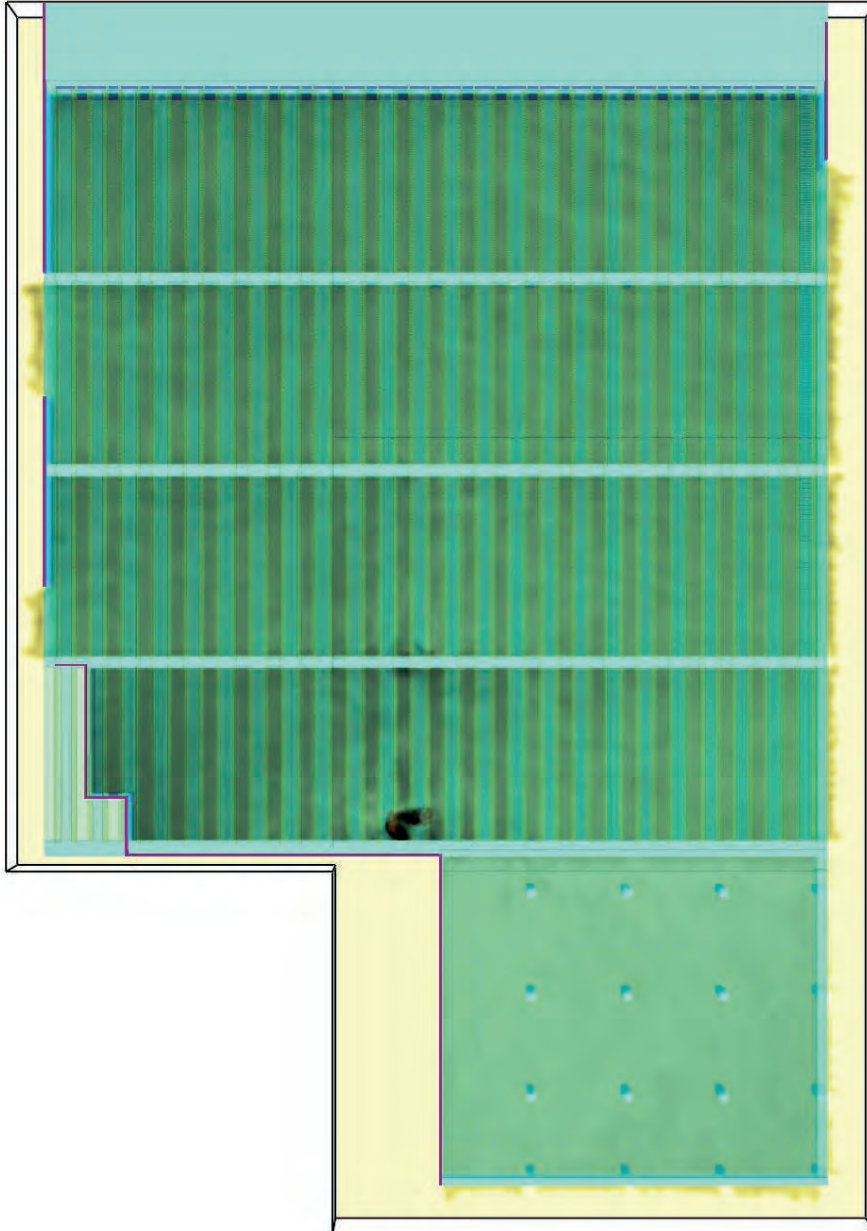
SCENARIO B1 - IRRAGGIAMENTO, FED E FEC T = 450 s



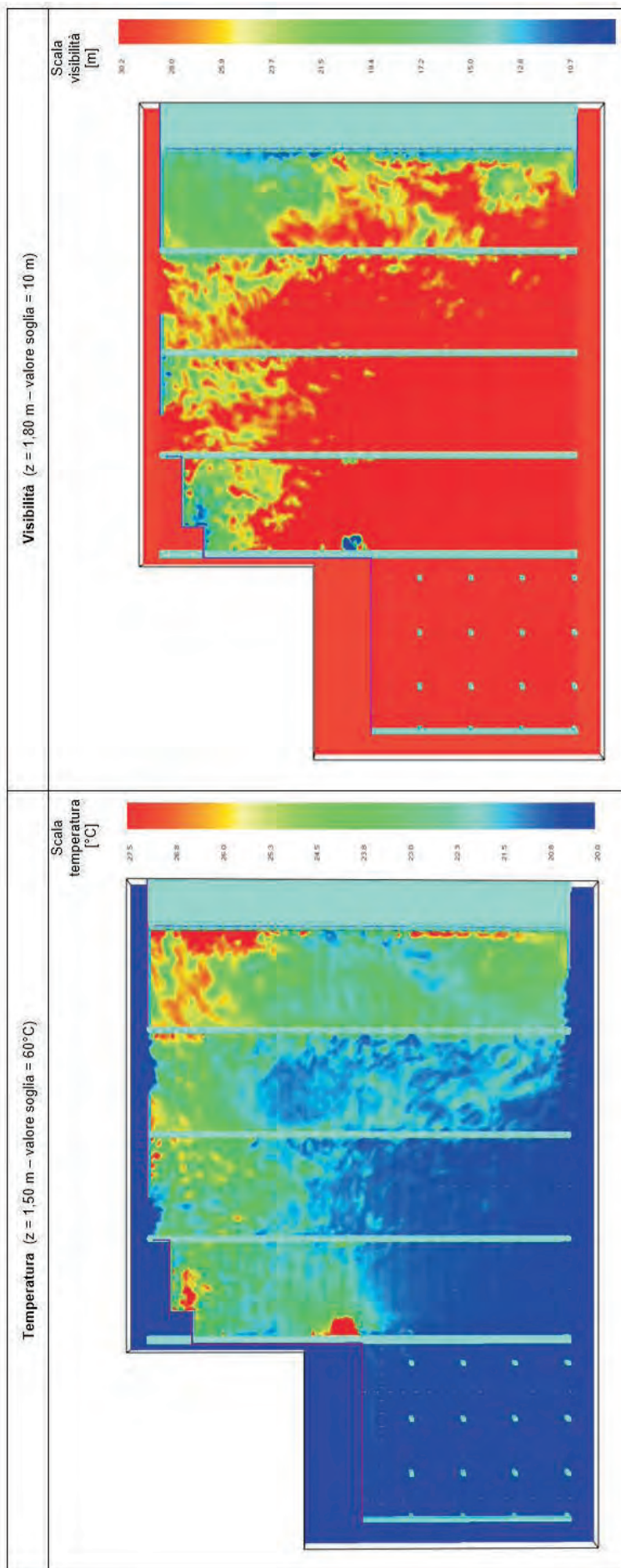
SCENARIO B2 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 300 s



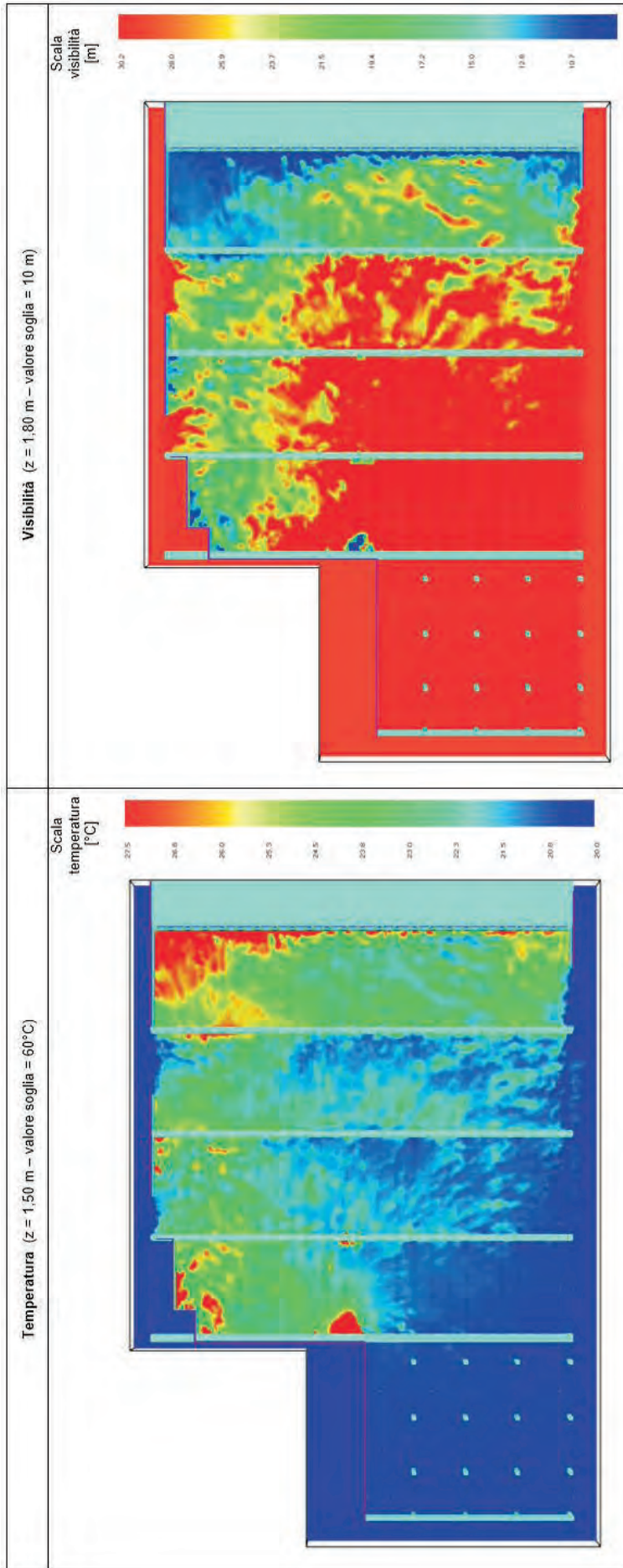
SCENARIO B2 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 450 s



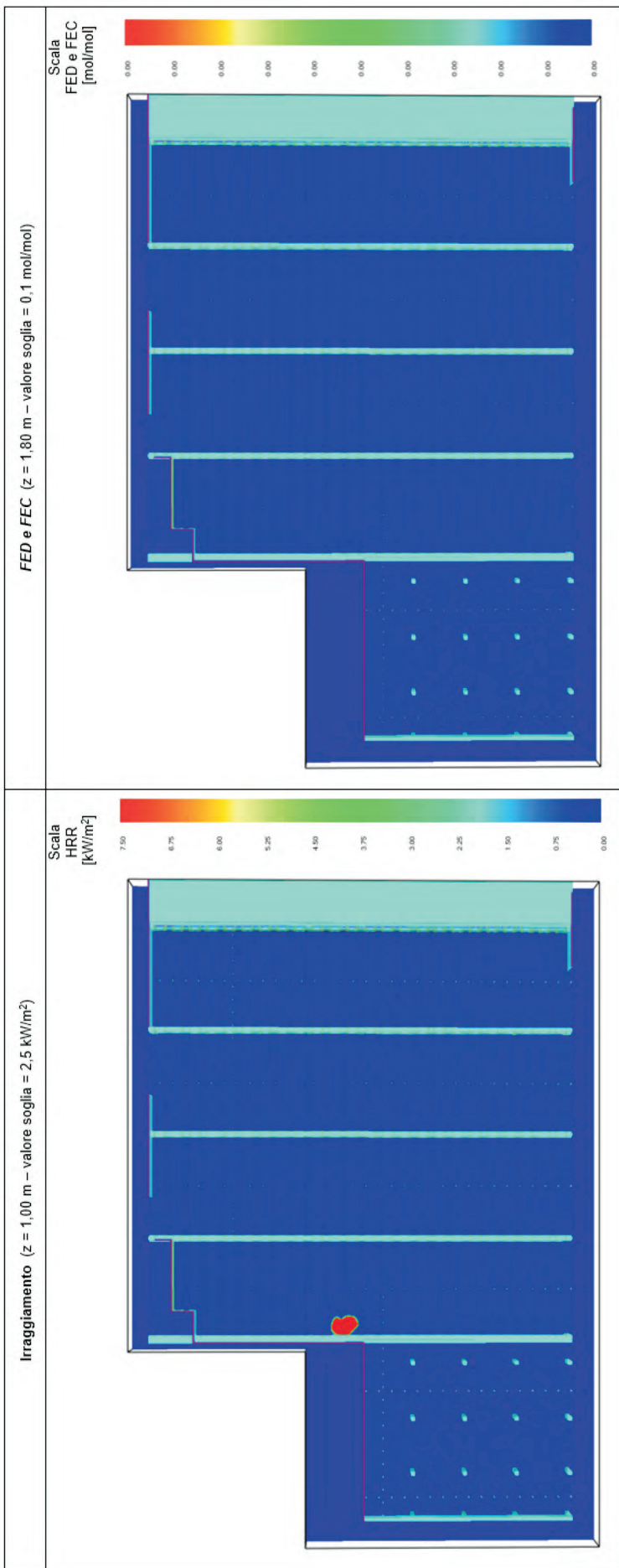
SCENARIO B2 - PROPAGAZIONE DEI FUMI T = 600 s



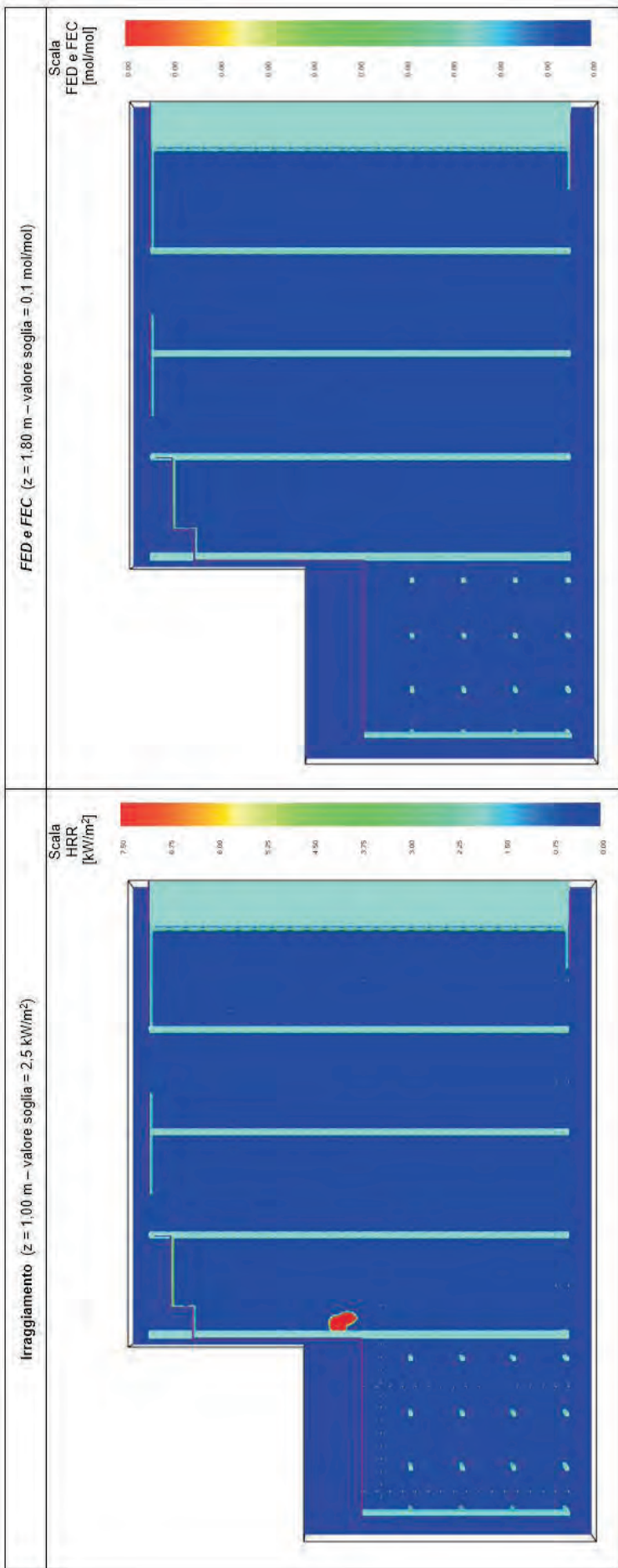
SCENARIO B2 - TEMPERATURA E VISIBILITÀ T = 450 s



SCENARIO B2 - TEMPERATURA E VISIBILITÀ T = 600 S



SCENARIO B2 - IRRAGGIAMENTO, FED E FEC T = 450 S



SCENARIO B2 - IRRAGGIAMENTO, FED e FEC T = 600 S

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata dimostrata la *soluzione alternativa* con riferimento alla progettazione della misura S.8 di un'autorimessa essendo stato evidenziato, in *soluzione conforme*, che per entrambi i compartimenti costituenti l'autorimessa rimangono delle superfici non coperte dalle aree di influenza delle aperture di smaltimento (illustrazione S.8-1).

Volendo evitare di incrementare la misura S.8 al livello di prestazione III, con la conseguente esigenza di dover installare di un sistema di evacuazione di fumo e calore (SEFC), si è ricorso ad un'ideale *soluzione alternativa* per il livello di prestazione III della misura S.8.

Si è ricorso quindi al criterio $ASET > RSET$, previsto al par. M.3.2.2, per dimostrare che nei citati compartimenti è assicurata agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza.

La *soluzione alternativa* ha dimostrato che la posizione e la dimensione della superficie non coperta dalla verifica delle aree di influenza possono essere comunque adeguatamente controbilanciate dalle condizioni geometriche dell'autorimessa, dalla posizione e dalla dimensione delle aperture di smaltimento e dalle misure compensative

Si è proceduto al calcolo del tempo ASET (utilizzando il *metodo di calcolo avanzato per ASET*, secondo il par. M.3.3.1) in relazione a quattro scenari d'incendio differenti, ritenuti i più critici, ed in tutte le ipotesi, è risultato che il margine di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita di cui al par. M.3.2.2.3 risulta soddisfatto.

❖ *Commento dei risultati*

Come rilevabile dai risultati delle analisi condotte per gli scenari critici d'incendio, tutti i parametri analizzati si mantengono al di sotto della rispettiva soglia critica per tutta la durata prevista per l'indagine (durata massima dell'esodo da tutti i punti dell'autorimessa pari a $RSET_2 = 448$ s relativo al compartimento B).

È stato pertanto possibile verificare che, per tutti gli scenari critici individuati, il tempo disponibile per l'esodo in caso d'incendio (ASET) risulta sempre maggiore del tempo che sarebbe necessario a qualsiasi occupante dell'autorimessa per raggiungere un luogo sicuro (RSET) in caso d'incendio, anche tenendo conto del margine di sicurezza del 10%.

In conclusione, si è dimostrato che, nei due compartimenti dell'autorimessa oggetto dello studio, lo sviluppo e la propagazione dei fumi in caso d'incendio non compromettono le condizioni di permanenza e transito nelle superfici non coperte dalle aree di influenza delle aperture di smaltimento perimetrali.

Caso studio 9: soluzione alternativa per il livello di prestazione III misura S.8 - autorimessa

Descrizione

Nel presente caso studio vengono illustrate le modalità di applicazione del Codice avendo in obiettivo la variante di un progetto antincendio esistente ed approvato dal Comando VV.F. competente territorialmente secondo le normative pre-Codice.

Trattasi di un'autorimessa aperta al pubblico, progettata in conformità al d.m. 1 febbraio 1986, costituita da un piano di ingresso fuori terra e da tre piani interrati.

Il committente, allo stato, intende ricercare soluzioni innovative volte ad aumentare il numero di posti auto e, di conseguenza, incrementare gli introiti derivanti dalla struttura.

Si segnala, in proposito, che una delle finalità della progettazione antincendio può anche essere quella di massimizzare la resa economica di un intervento immobiliare garantendo lo stesso livello di sicurezza antincendio.

L'utilizzo del Codice, in tali casi, non riveste il carattere di puro esercizio teorico quanto di strumento funzionale al perseguimento dei vantaggi ottenibili a seguito della applicazione del medesimo.

Nel presente caso studio si intende dimostrare una *soluzione alternativa* per il livello di prestazione III della misura S.8, in modo da superare l'attuale deficit costituito dal campo di applicazione della norma UNI 9494, che mal si adatta alle autorimesse aventi altezza interna inferiore ai 3 m.

In questa sede, solamente di uno degli obiettivi di sicurezza antincendio, ossia, quello di assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro prima che gli effetti dell'incendio divengano incapacitanti; tale obiettivo si traduce nella verifica, con il criterio $ASET > RSET$, dei percorsi di esodo previsti.

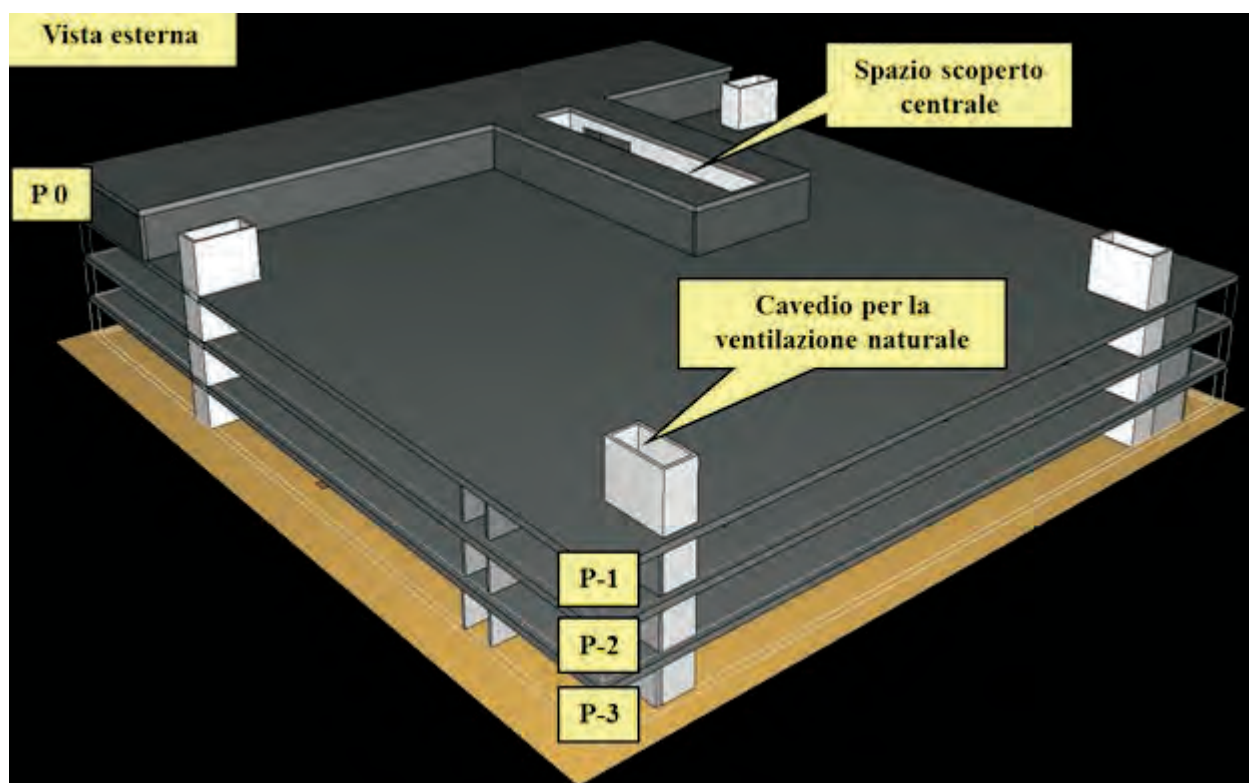
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni geometriche del compartimento tipo dell'autorimessa	Vedi planimetria (A = 4030 m ² - 137 posti auto)
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in C.A.



³³ Classificazione ai sensi della RTV Autorimesse d.m. 21 febbraio 2017.

Compartimenti antincendio	L'autorimessa è composta da 4 compartimenti antincendio (uno per piano)
Numero occupanti	274 (è prevista la presenza di persone disabili) per compartimento
Profilo di rischio R_{vita}	B2 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R_{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.1.3 e par. S.1.4.2)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.2.3 e par. S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.1)
Esodo	Livello I di prestazione (par. S.4.3 e par. S.4.4.1)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello IV di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.3) Rete di idranti (UNI 10779) e Impianto sprinkler (UNI EN 12845)
Rivelazione ed allarme	Livello IV di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello di prestazione equivalente al III (par. S.8.3 e par. S.8.4.4)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)



MODELLO 3D DELL'AUTORIMESSA

Il controllo di fumi e calore nelle autorimesse secondo il Codice

Il Codice illustra la differenza sostanziale tra la *ventilazione naturale* (smaltimento di fumi e calore) e la vera e propria *evacuazione di fumi e calore*; il d.m. 1 febbraio 1986, infatti, non chiariva la funzione delle aperture di aerazione, prescrivendone esclusivamente la superficie complessiva ed il relativo posizionamento. Secondo il Codice, solamente applicando il livello di prestazione III della misura S.8 è possibile garantire la sicurezza degli occupanti durante l'esodo dall'attività nonché quella dei soccorritori che accedono alla struttura.

Presidi per il controllo di fumi e calore		
Tipo di presidio	Ventilazione naturale	Evacuazione di fumi e calore
	Aperture di smaltimento di fumo e calore d'emergenza	Sistemi e impianti per l'evacuazione di fumo e calore (SEFC)
Funzione	Permettono l'allontanamento (smaltimento) di fumo e calore durante le operazioni di estinzione dell'incendio da parte delle squadre di soccorso	Garantiscono la formazione di un adeguato strato di aria indisturbata e libera dai fumi durante lo sviluppo dell'incendio. Mantengono le vie d' esodo libere dai fumi, ritardano o impediscono il flashover e riducono gli effetti termici sulle persone e sulle strutture
Modalità	Aperture di smaltimento generalmente coincidenti con quelle già ordinariamente disponibili per le funzionalità dell'attività (finestre, porte, lucernari apribili, ecc.)	Sistemi (impianti) adeguatamente progettati secondo le norme di settore. Possono essere di tipo naturale (SEFC) o forzato (SEFFC)

DIFFERENZE TRA VENTILAZIONE NATURALE ED EVACUAZIONE DI FUMI E CALORE

La RTV Autorimesse (d.m. 21 febbraio 2017) definisce, in tab. V.6-4, i criteri di attribuzione per la scelta del livello di prestazione della misura S.8, che dipendono, sostanzialmente, da:

- tipologia autorimesse (privata o pubblica);
- superficie dei compartimenti;
- quota massima e minima dei piani.

Classificazione dell'attività		Classificazione dell'attività									
		SA			SB			SC			
		AA	AB	AC	AD	AA	AB		AC	AD	
Fuori terra	HA HB HC HD					II					
Interrate	HA HB		II		III		II		III		III
	HC HD					III					

TAB. V.6-4: CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE APPLICATI NEL CASO IN ESAME

Si segnala che, indipendentemente dai criteri di attribuzione previsti nella RTV Autorimesse, è necessario rammentare la differente funzione dei due sistemi di controllo di fumi e calore per cui il livello II non è prestazionale, non garantendo alcuna prestazione specifica, al contrario del livello III.

La progettazione di un SEFC conforme al livello III richiede l'adozione di riferimenti normativi, elencati nel Codice stesso al par. S.8.8, che a livello nazionale sono rappresentati dalle norme della serie UNI 9494. In definitiva, la progettazione di un SEFC secondo la norma UNI 9494 (parte 1 se di tipo naturale, parte 2 se di tipo forzato) costituisce *soluzione conforme* ai sensi del Codice.

In realtà le autorimesse, solitamente, esulano dal campo di applicazione della norma UNI 9494, laddove prevedano un'altezza interna inferiore a 3 m, come il caso in oggetto.

La norma UNI 9494 diviene, in tali contesti, un riferimento di letteratura da seguire per quanto riguarda le caratteristiche dei singoli componenti, ma non per il dimensionamento del sistema.

Obiettivi dello studio

Per le motivazioni suesposte, nel caso in cui la soluzione progettuale si discosti da quanto previsto dalla norma tecnica, essa si configura come *soluzione alternativa* che può essere dimostrata tramite la FSE, sulla scorta dei capitoli M del Codice.

Il caso in esame si riferisce, appunto, a questo tipo di *soluzione alternativa* (par. 8.4.4) che prevede un SEFC (misto naturale e forzato) dimensionato partendo da norme internazionali e verificato con modellazioni CFD. Nell'ambito della *soluzione alternativa*, sfruttando la flessibilità del Codice, è stata utilizzata la FSE anche per esaminare i seguenti aspetti specifici:

- analisi del funzionamento dello spazio scoperto centrale mediante modellazioni CFD, utilizzando il software FDS; tale superficie di aerazione era prevista nel progetto originario con lo scopo di contenere le rampe di collegamento tra i livelli della struttura.
Il progetto di variante intende mantenere la medesima conformazione geometrica dell'autorimessa ma, in considerazione delle modifiche sostanziali al sistema di ventilazione meccanica, si intendono verificare le modalità con cui tale superficie di aerazione naturale interviene nell'ambito del nuovo SEFFC in progetto;
- analisi delle interferenze del nuovo SEFFC in progetto con le aperture di aerazione naturale (ridotte rispetto alla loro configurazione originaria) e con l'impianto sprinkler (ai fini della corretta progettazione impiantistica del SEFFC in funzione dell'azionamento dell'impianto di estinzione);
- verifica generale delle soglie di prestazione per la sicurezza degli occupanti con il criterio $ASET > RSET$, mediante modellazioni d'incendio (con il software FDS) e di esodo (con il software Pathfinder).

Il SEFFC da progettare sarà costituito da:

- cavedi perimetrali che ospitano i ventilatori di immissione dell'aria di riscontro;
- canali, con installazione a soffitto, per una distribuzione uniforme delle bocchette di estrazione fumi;
- cavedi perimetrali che ospitano i ventilatori per l'estrazione dei fumi;
- serrande di controllo di fumi e calore, per parzializzare il sistema in base allo scenario d'incendio;
- aperture di aerazione naturale, dalle quali sarà evacuata una parte dei fumi oppure entrerà l'aria fresca, a seconda della posizione dell'incendio.

La progettazione prestazionale del SEFC e la salvaguardia della vita

Analisi preliminare (M.1.3)

Soluzione alternativa

Essendo l'altezza interna dei piani dell'autorimessa pari a 2,90 m, non è consentito applicare interamente la norma UNI 9494-2:2017 per la progettazione del SEFFC.

Pertanto, è necessario adottare una *soluzione alternativa* da dimostrare con i metodi di cui al punto G.2.6; si prevede, a tale scopo, di utilizzare norme internazionali riconosciute e i metodi dell'ingegneria antincendio.

La prestazione da garantire mediante il SEFFC è quella determinata dalle soglie di prestazione di cui al cap. M.3.

La *soluzione alternativa* analizzata persegue gli obiettivi del livello III di prestazione prevedendo apposite misure per integrare il sistema di ventilazione meccanica, già previsto nel progetto originario, al fine di renderlo certificabile e utilizzabile come SEFFC.

La superficie di aerazione naturale, originariamente prevista (*punto 3.9.1 del d.m. 1 febbraio 1986, rapporto 1/25 tra la superficie delle aperture di aerazione naturale e la superficie in pianta del compartimento*), viene notevolmente ridotta, in quanto verificata tramite modellazioni CFD, recuperando spazio al fine di aumentare il numero di posti auto.

Una quota parte di tali aperture di ventilazione viene tuttavia mantenuta, allo scopo di evitare la formazione di atmosfere esplosive, come richiesto al punto V.6.6 della RTV Autorimesse.

Definizione del progetto

La descrizione e gli scopi del progetto sono stati affrontati in precedenza.

Si intende dimostrare che un progetto sviluppato seguendo il Codice, ed adottando l'ingegneria antincendio, seppur con *soluzioni alternative*, garantisce livelli di sicurezza almeno equivalenti a quelli delle soluzioni prescrittive delle norme tradizionali e che, in ogni caso, è possibile determinare in maniera quantitativa l'efficacia delle misure progettuali e la loro reciproca interferenza.

Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio

Gli obiettivi di sicurezza antincendio sono:

1. impedire che i fumi e l'incendio, originati nel compartimento di primo innesco, interferiscano con le vie di esodo e con i compartimenti adiacenti;
Tale obiettivo viene raggiunto con le misure antincendio previste, in particolare con la suddivisione in compartimenti (uno per ciascun livello) e la protezione delle vie di esodo; sebbene lo spazio scoperto centrale metta in comunicazione i vari livelli, si verificherà che venga assicurata la separazione antincendio tra i compartimenti.
2. ritardare o impedire il flashover.
*Tale obiettivo viene raggiunto grazie alla presenza dell'impianto sprinkler che, sebbene non possa garantire l'estinzione completa dell'incendio degli autoveicoli, ne impedisce sicuramente la propagazione, per cui si può considerare l'incendio di un solo autoveicolo, che si traduce nella scelta della curva HRR per le modellazioni con FDS.
La validità di tale ipotesi progettuale richiede l'affidabilità dell'impianto sprinkler in condizioni d'incendio ed ha come conseguenza immediata un'attenta gestione e manutenzione dell'impianto medesimo sancita nella Gestione della Sicurezza Antincendio;*
3. garantire che i soccorritori esterni possano accedere alla struttura, ed in particolare al compartimento di primo innesco, in condizioni che permettano di operare agevolmente per il controllo dell'incendio (ed in rari casi anche per il soccorso alle persone).
Tale obiettivo viene raggiunto grazie al SEFC, che contiene la porzione di compartimento interessata dai fumi.
4. assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza.
Tale obiettivo viene raggiunto verificando, con il criterio $ASET > RSET$, la sicurezza dei percorsi di esodo previsti.

L'analisi dei primi tre obiettivi esula dagli scopi dalla presente trattazione (ma, ovviamente, non da quelli del progetto reale), di seguito si illustra quella relativa all'ultimo di essi, relativo alla sicurezza degli occupanti, mediante i metodi dell'ingegneria antincendio.

Definizione delle soglie di prestazione

Le soglie di prestazione, verificate con l'ingegneria antincendio, sono quelle definite al par. M.3.5 del Codice, dove, come noto, sono indicati due metodi:

- metodo di calcolo semplificato;
- metodo di calcolo avanzato.

Il metodo di calcolo semplificato richiede un minor numero di verifiche, trattandosi di soglie cautelative, per cui sovente è necessario dettagliare maggiormente le verifiche, mediante il metodo di calcolo avanzato.

Si segnala inoltre che, come specificato al par. M.3.3.3, il metodo di calcolo semplificato è efficace solo nei casi in cui la geometria dell'ambiente e le caratteristiche del focolare siano tali da formare uno strato superiore di fumi caldi grazie al fenomeno del galleggiamento, ovvero l'unica modalità di controllo dei fumi che prescinde da qualsiasi misura antincendio poiché legata esclusivamente alle leggi della fisica.

Le autorimesse costituiscono proprio uno dei casi nei quali non si addice tale modalità di controllo dei fumi e del calore, per cui diventa inefficace, nonché difficile da soddisfare, il metodo di calcolo semplificato.

Si rammenta, in proposito, che la norma statunitense NFPA 92 (peraltro citata nel par. S.8.8) contempla ben cinque differenti modalità per il controllo di fumi e calore, rappresentate da:

- compartimentazione;
- diluizione;
- pressurizzazione;
- ventilazione;
- galleggiamento.

Nel caso in esame è stato utilizzato il metodo di calcolo avanzato, che fra l'altro meglio si addice alle modellazioni CFD, in quanto esse restituiscono i valori numerici dei parametri da verificare in ogni punto del dominio e per l'intera durata delle simulazioni.

Si segnala, inoltre, che negli ambienti di altezza ridotta (come sono appunto le autorimesse) non sarà mai possibile garantire il rispetto delle soglie di prestazione nell'intera superficie del compartimento, poiché in prossimità del focolare l'impatto di fumi e calore sarà più rilevante.

Per contro si evidenzia, ai fini del calcolo RSET, che gli occupanti più vicini al focolare si accorgono dell'incendio in tempi più rapidi rispetto a quelli distanti.

Nonostante ciò, nelle modellazioni di seguito illustrate, per gli occupanti di tipo D (vedi successivo paragrafo *Valutazione delle soluzioni progettuali*), sono stati ipotizzati dei tempi di pre-movimento più lunghi di quanto ci si aspetterebbe nella realtà, con l'obiettivo di analizzare le condizioni di sicurezza nei dintorni del focolare.

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscureamento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100 m ² : 5 m	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100 m ² : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas Irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571-2012, limitando a 1,1% gli occupanti incapaci al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	--
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m ²	ISO 13571-2012, per esposizioni maggiori di 30 minuti, senza modifica significativa dei tempi di esodo (2,5 kW/m ²)
		Soccorritori: 3 kW/m ²	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per *soccorritori* si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori Indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per *hazardous conditions*.

TABELLA M.3-2: ESEMPIO DI SOGLIE DI PRESTAZIONE IMPIEGABILI CON IL METODO DI CALCOLO AVANZATO
(IN GIALLO SONO EVIDENZIATI GLI OBIETTIVI "RAGGIUNGIBILI" NEL CASO IN ESAME)

Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata	Occupanti: 2 m	Ridotto da ISO/TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: 1,50 m	[1]
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: 200°C	ISO/TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: 250°C	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per *soccorritori* si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per *hazardous conditions*.

TABELLA M.3-3: ESEMPIO DI SOGLIE DI PRESTAZIONE IMPIEGABILI CON IL METODO DI CALCOLO SEMPLIFICATO
(IN VERDE È EVIDENZIATO L'OBIETTIVO "DIFFICILMENTE RAGGIUNGIBILE" NEL CASO IN ESAME)

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

Per quanto riguarda le caratteristiche dell'incendio, si è ritenuto far riferimento al focolare previsto dalla norma BS 7346-7, invece di quello descritto nella RTV Autorimesse, poiché quest'ultimo si applica solo nei casi indicati al punto V.6.7.1.2, che non corrispondono a quello in esame.

Inoltre, avendo dimensionato il sistema di gestione dei fumi e del calore con la norma BS 7346-7, si ritiene opportuno adottare l'incendio predefinito ivi consigliato:

Fire parameters	Indoor car park without sprinkler system	Indoor car park with sprinkler system	2 car stacker with sprinklers
Dimensions	5 m x 5 m	2 m x 5 m	2 m x 5 m
Perimeter	20 m	14 m	14 m
Heat release rate	8 MW	4 MW	6 MW

SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO SECONDO IL PAR. 5.1 DELLA NORMA BS 7346-7

Pertanto, il focolare adottato presenta una superficie pari a $2 \times 5 \text{ m}^2$ ed una potenza di picco pari a 4 MW. L'impianto sprinkler presente permette di mantenere costante il valor di picco della curva HRR e impedisce la propagazione dell'incendio agli autoveicoli vicini, nelle ipotesi di affidabilità in condizioni d'incendio prima descritte.

Per quanto riguarda la produzione di fumo si è ritenuto di adottare il valore definito dal Codice al par. M.2.7 per il focolare predefinito nelle attività civili:

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t_a	150 s (<i>fast</i>)	75 s (<i>ultra-fast</i>)
HRR _{max} totale HRR _{max} per m ² di superficie del focolare	5 MW 250 - 500 kW/m ² [1]	50 MW 500 - 1000 kW/m ² [1]
Resa in particolato Y _{soot}	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
<p>[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report No.185 "Soot Yield Values for Modelling Purposes - Residential Occupancies", BRANZ, 2008</p> <p>[3] "CIVM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code</p>		

ESTRATTO TAB. M.2-2: FOCOLARI PREDEFINITI

Per quanto riguarda la velocità della fase di crescita dell'incendio, ai fini della creazione della curva HRR dell'incendio, è stata considerata una velocità media, che il Codice prevede per le attività con R_{vita} pari a B2. Si ritiene tale scelta conservativa in funzione della presenza dell'impianto sprinkler, che sicuramente influisce sia sulla crescita dell'incendio (ad esempio mediante l'azione di bagnamento degli pneumatici), sul massimo valore di potenza termica raggiungibile e sulla propagazione dell'incendio stesso.

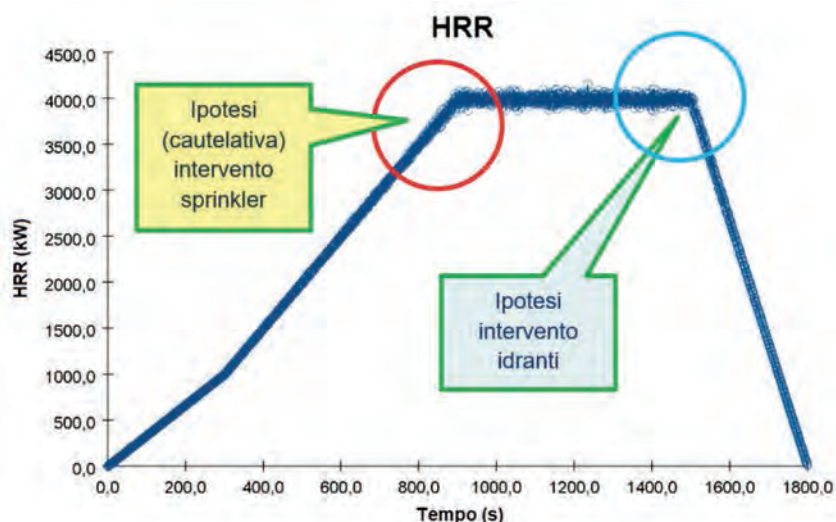
Sono stati analizzati tre scenari d'incendio, che si differenziano unicamente per la posizione dell'autoveicolo oggetto dell'incendio:

- Scenario A: autoveicolo posizionato vicino ad un muro perimetrale;
- Scenario B: autoveicolo posizionato al centro del parcheggio;
- Scenario C: autoveicolo posizionato vicino ad una delle uscite dal compartimento.

La modellazione CFD ha dimostrato che il numero di ricambi volume/ora previsto dalla norma BS 7346 non è sufficiente, per cui sono state analizzate, per ciascuno dei tre scenari, due differenti configurazioni del SEFFC:

- Scenario S1: 10 volumi/ora, poi incrementati a 15, attivi in maniera uniforme in tutto il piano;
- Scenario S2: 10 volumi/ora, poi incrementati a 15, attivi solo nel semi-comparto oggetto dell'incendio.

Il presente caso studio tratta unicamente dello scenario A2 in quanto è risultato quello più significativo per gli scopi prefissati.



CURVA HRR IMPOSTATA IN PROGETTO

Analisi quantitativa (M.1.4)

Elaborazione delle soluzioni progettuali

Il dimensionamento del SEFFC è stato eseguito partendo da quanto proposto dalla norma BS 7346-7, come illustrato nella figura seguente:

Ventilation requirements by country					
	Regulation	Ventilation NPV	Pollution	Smoke EM	Temp deg C
Europe					
UK	BS 7346-7:2013	6 ac/h	CO 30ppm-8h CO 90ppm-15min	10 ach	300 / 1h
ROW					
Bahrain		6 ac/h		10 ach	300 / 1h
Dubai	DCD	6 ac/h		10 ach	300 / 1h
	DCD	6 ac/h		Performance Based	
Oman		6 ac/h		10 ach	300 / 1h
Qatar	NFPA 88A	300L/min/m2			
	ASHRAE ch15	6 ac/h	CO 25ppm		
	QCD FSS	6 ac/h		10 ach	300 / 2h Ducted systems - Smoke Clearance
	QCD FSS	6 ac/h		Performance based	300 / 2h Jetfan systems - Smoke Control
Jordan		6 ac/h		10 ach	
Egypt		6 ac/h		8 ach	200 / 2h With sprinklers
USA	ASHRAE	7.6 l/s / m2	CO 25ppm-8h CO 35ppm-1h		
USA	NFPA	5 l/s / m2	300 l/min / m2		NFPA 88A 2011

PRESTAZIONI DEL SEFFC RACCOMANDATE DALLE PRINCIPALI NORME ESTERE

Essa prevede, per le autorimesse, un numero di ricambi ambiente/ora pari a 10 ach. Per completezza, in figura, è anche riportato il dimensionamento secondo le principali norme straniere.

Come già accennato, nelle analisi degli scenari d'incendio effettuate, la portata prevista dalla norma (10 ach) non è risultata sufficiente, in base alle modellazioni CFD, ed è stata incrementata fino al valore (15 ach) ritenuto sufficiente a garantire il livello di sicurezza previsto.

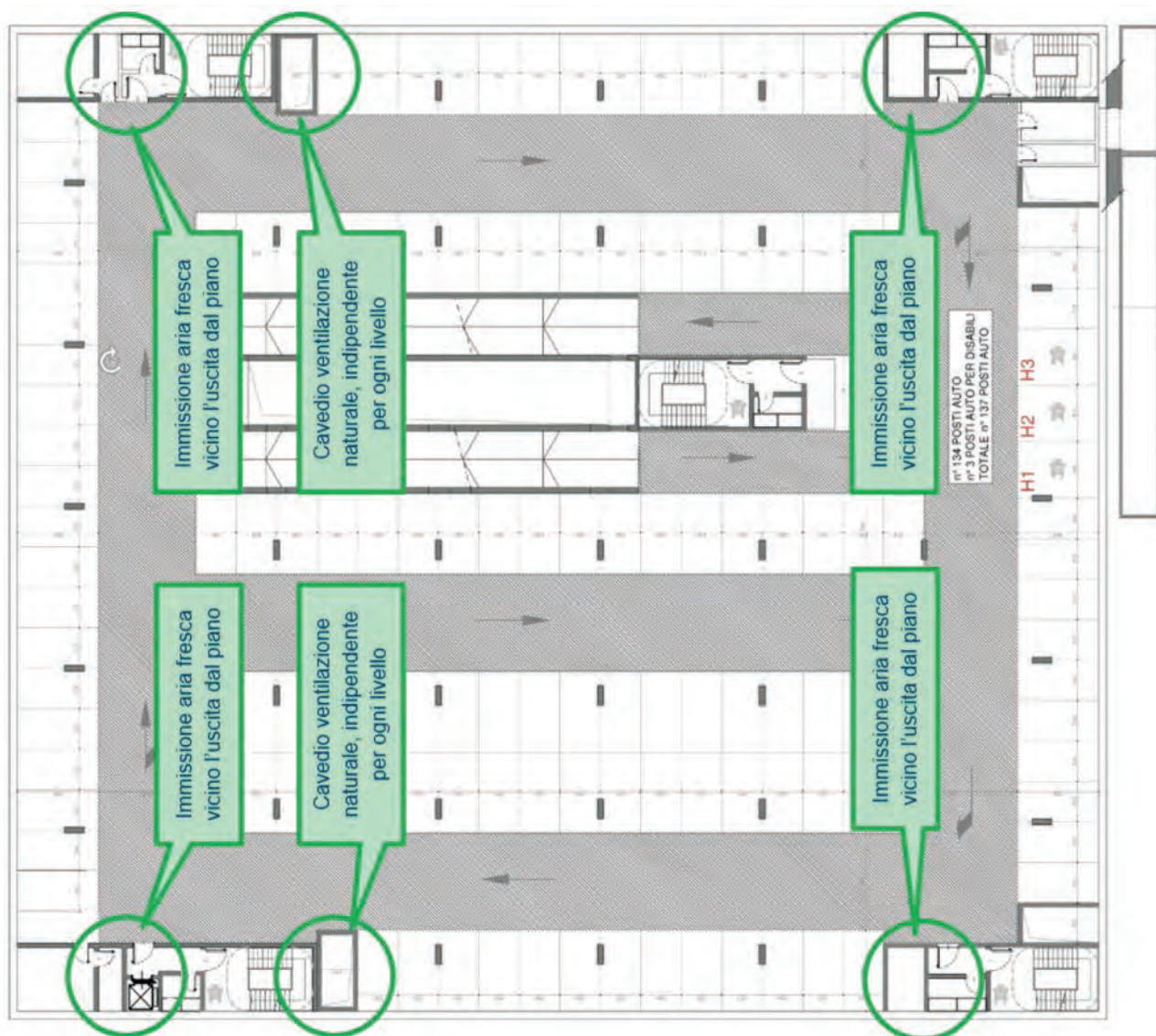
Nel caso delle autorimesse sono due le principali modalità per eseguire l'estrazione forzata di fumi e calore:

- sistema canalizzato;
- sistema con ventilatori ad impulso (jet fans).

Ai fini della scelta della migliore soluzione progettuale, che meglio si adattasse al caso specifico, le modellazioni preliminari con FDS hanno portato a riscontrare l'interferenza tra eventuali jet fans e l'esistente impianto sprinkler a causa, soprattutto, della ridotta altezza interna.

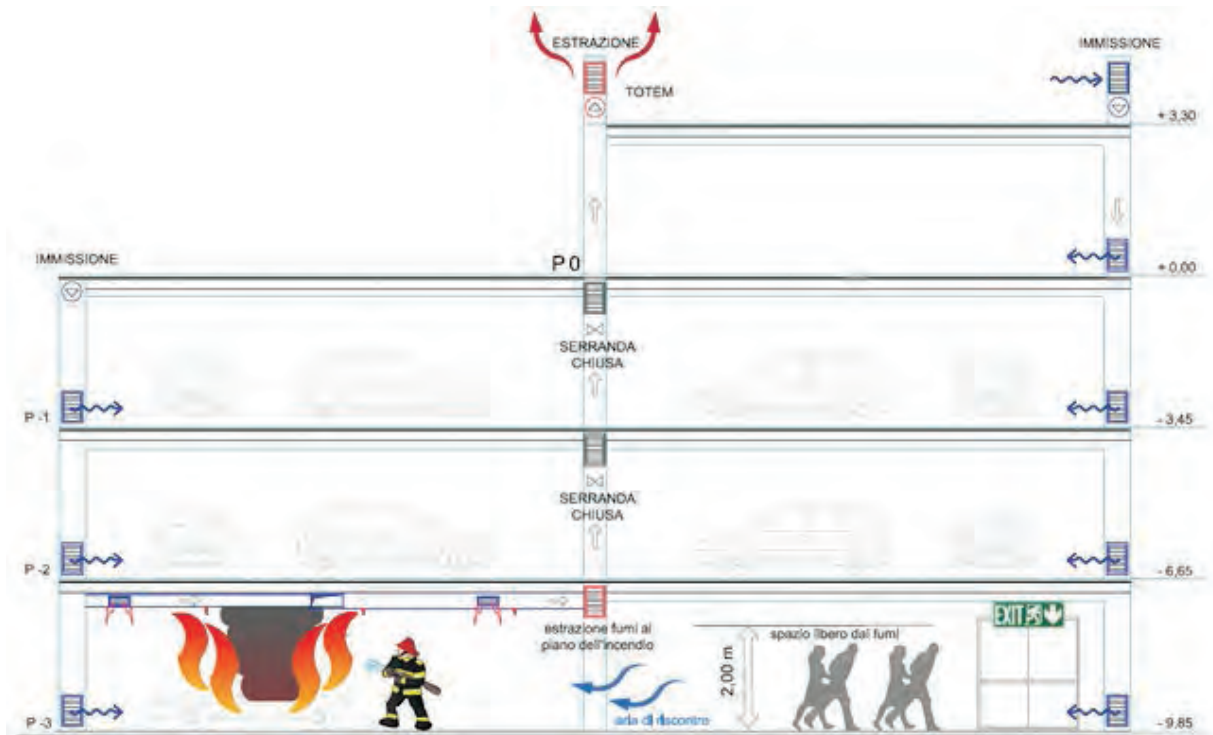
Pertanto, si è deciso di sfruttare l'impianto di ventilazione meccanica, canalizzato a soffitto, già previsto nel progetto originario, integrandolo al fine di essere utilizzato anche come SEFFC.

L'impianto di estrazione fumi prevede una distribuzione diffusa dei punti di estrazione a soffitto, in maniera da ridurre il movimento orizzontale dei fumi caldi, ed una serie di punti di immissione dell'aria fresca, localizzati vicino alle uscite finali del compartimento, in modo da creare le migliori condizioni di *tenability* in corrispondenza delle stesse.

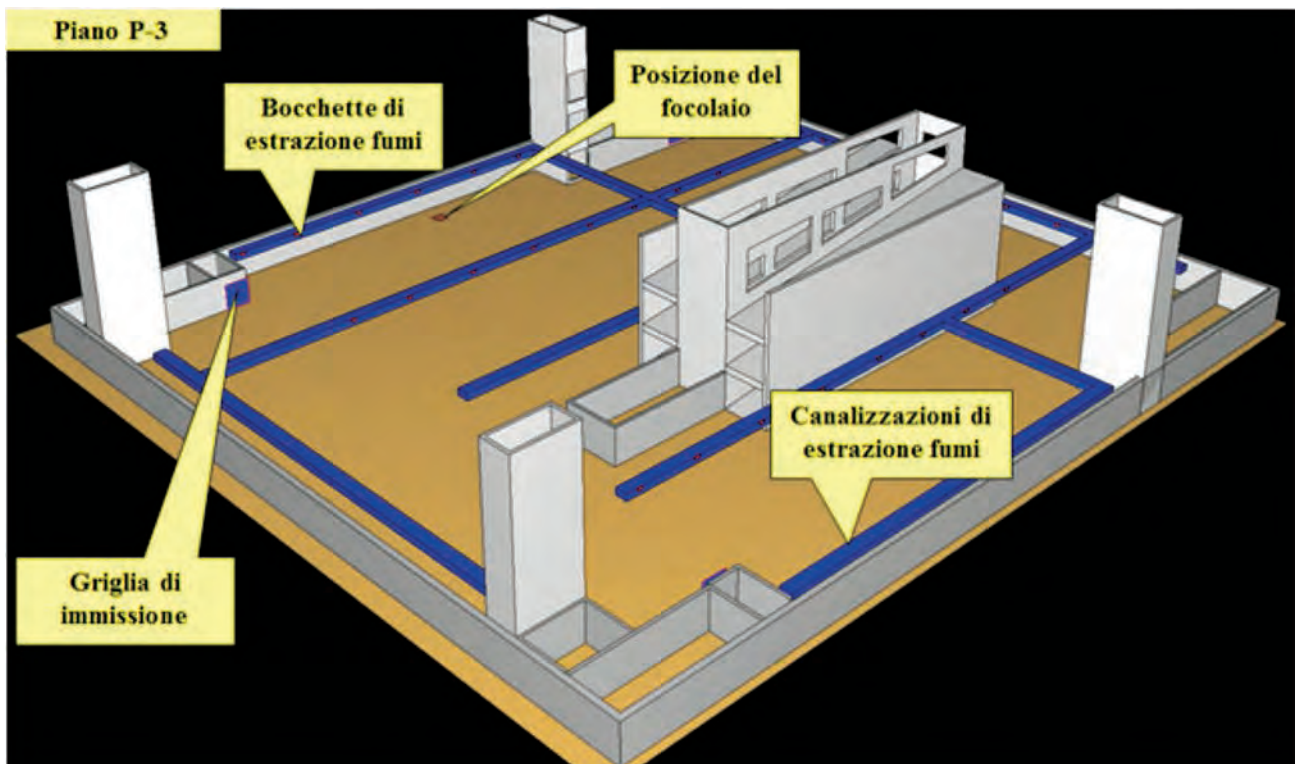


PIANTA PRIMO LIVELLO INTERRATO - USCITE DAL PIANO E PUNTI DI IMMISSIONE DELL'ARIA DI RISCONTRO

Nel caso di un incendio, ad esempio al terzo livello interrato (quello più critico sia per l'esodo che per l'accesso dei soccorritori), l'IRAI fornirà il consenso all'impianto di ventilazione per commutare in configurazione SEFFC. In particolare, l'estrazione fumi si attiverà nel compartimento di primo innesco, mentre si manterrà la ventilazione in immissione a tutti i piani (ciò è funzionale anche all'altro obiettivo di sicurezza, che è quello di impedire che i fumi si propaghino ai compartimenti adiacenti o soprastanti a quello di primo innesco).



SEZIONE TIPO DELL'AUTORIMESSA CON STATO DEL SEFFC NEL CASO D'INCENDIO AL TERZO LIVELLO INTERRATO



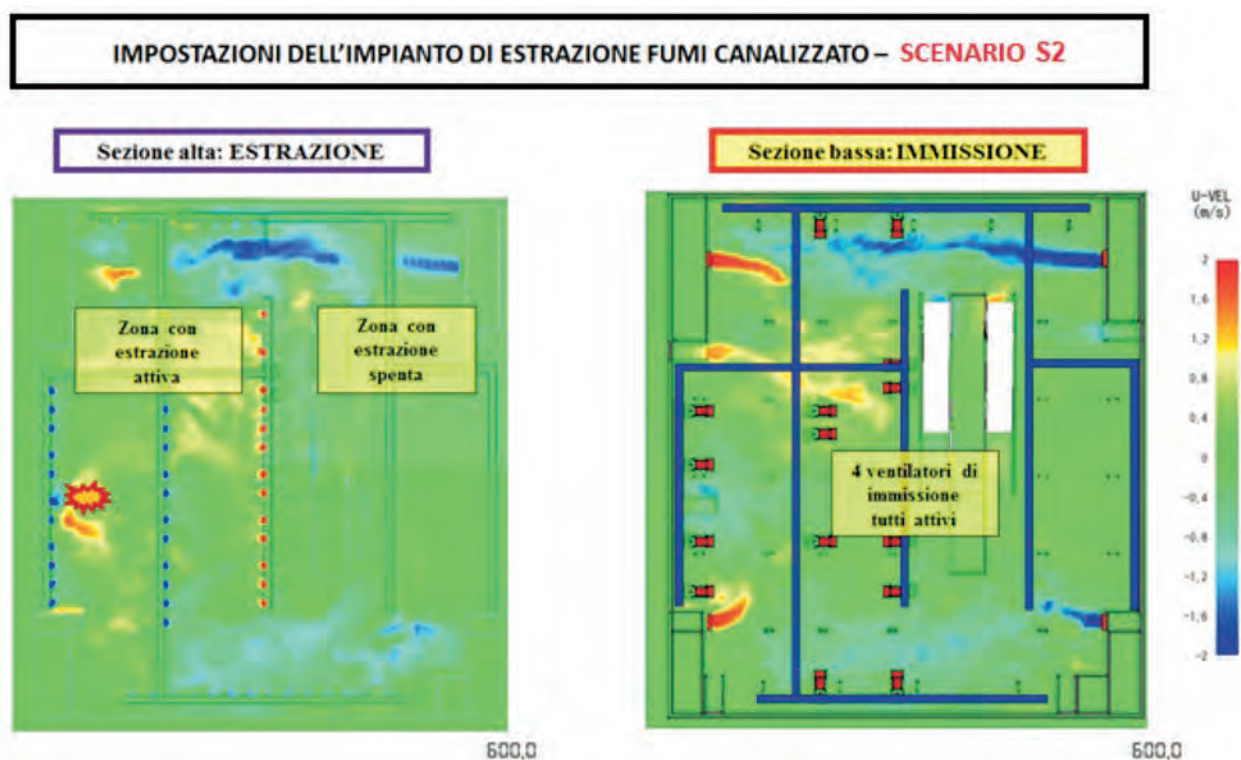
MODELLO 3D DEL TERZO LIVELLO INTERRATO

Valutazione delle soluzioni progettuali

La velocità di immissione e di estrazione sono state determinate imponendo che:

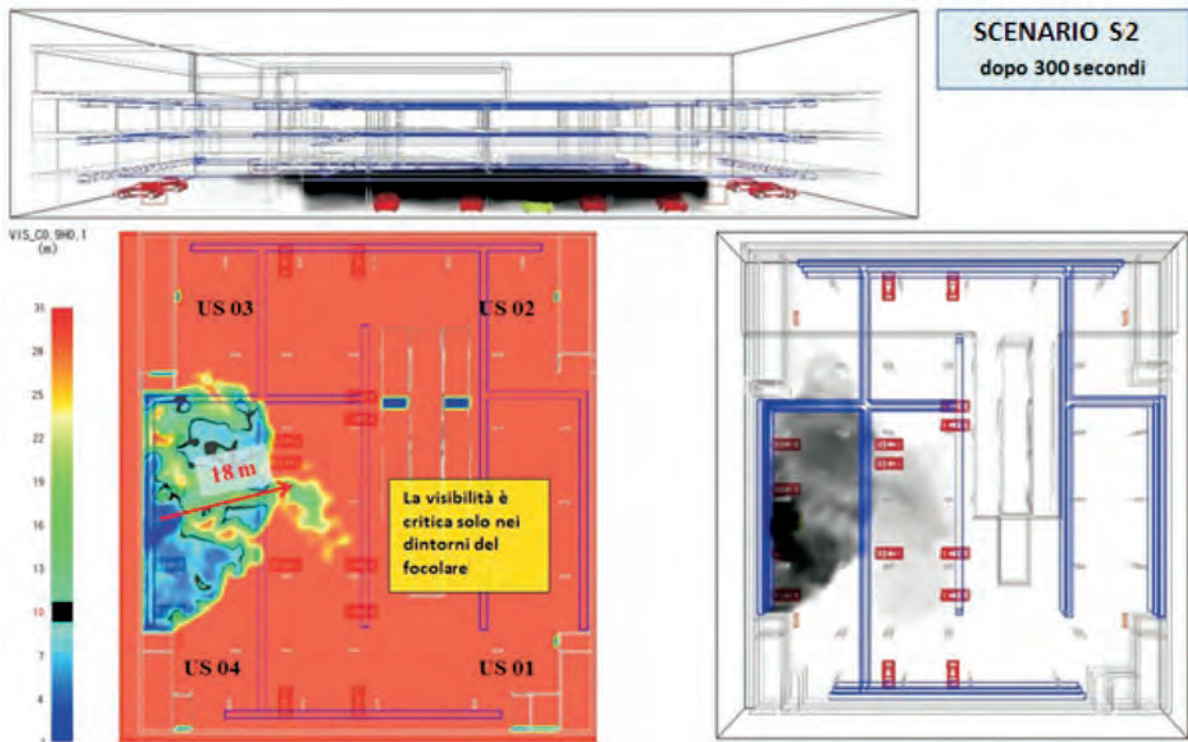
- la velocità di estrazione non sia troppo elevata al fine di non generare fenomeni di *plugholing*³⁴ che potrebbe portare a sottostimare l'efficacia del sistema;
- la velocità di immissione non sia troppo elevata al fine di non generare perturbazioni del movimento naturale dei fumi.

La figura seguente illustra le verifiche eseguite in tal senso con il software FDS, su due sezioni orizzontali: quella di sinistra, alla quota delle bocchette di estrazione, attive solo nel semi-comparto interessato dall'incendio e quella di destra, a quota bassa, corrispondente ai punti di ingresso dell'aria di riscontro con i ventilatori di immissione forzata.



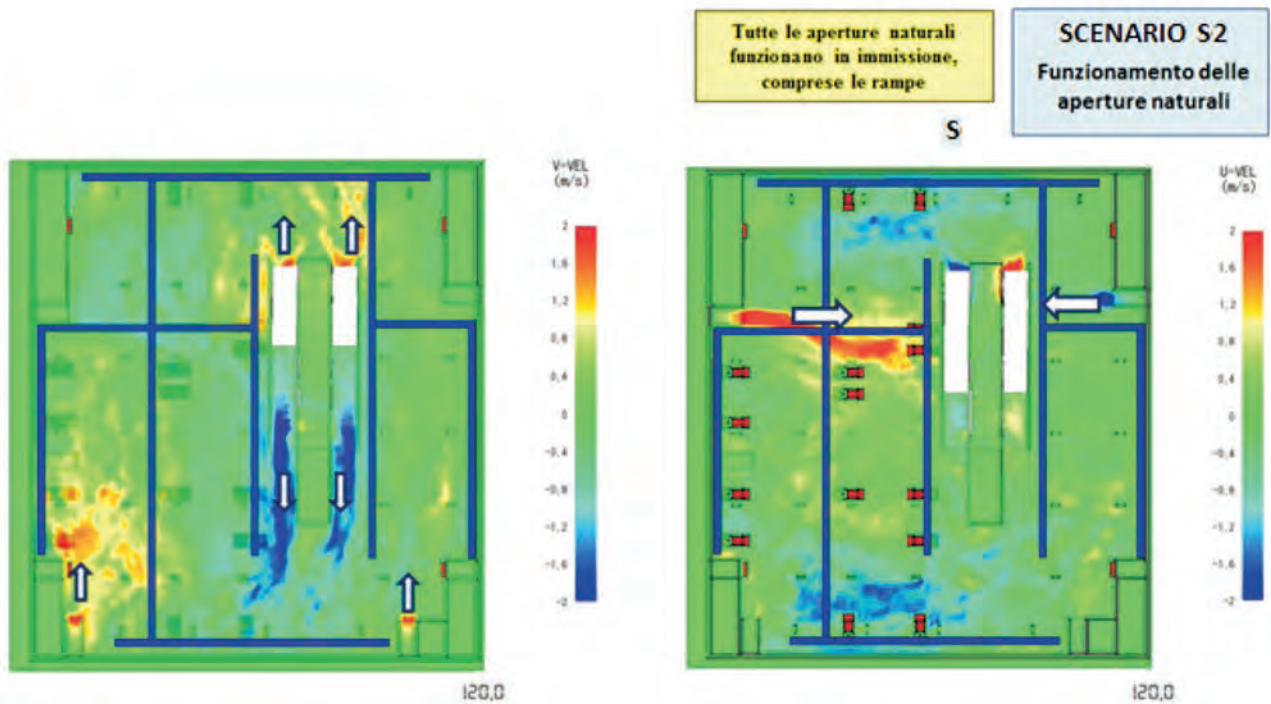
SEZIONI ORIZZONTALI CON RAPPRESENTAZIONE DELLA VELOCITÀ DELL'ARIA E DEI FUMI

³⁴ L'effetto *plugholing* si ha in presenza delle aperture delle condotte di aspirazione, al verificarsi dell'incendio, se la velocità dell'aria aspirata assume valori elevati. Conseguentemente, il sistema risucchia l'aria pulita, al di sotto dello strato di fumo, senza riuscire ad aspirare il fumo accumulato in prossimità del soffitto, perforando lo strato di fumo e facendo fallire gli obiettivi del SEFFC.



VERIFICA DELLO SCENARIO A2 - VISIBILITÀ DOPO 300 s

Come anticipato in precedenza, uno degli obiettivi delle modellazioni mediante FDS era quello di valutare il comportamento delle aperture residue di aerazione naturale; si è riscontrato, in proposito, che queste funzionano sempre come punti di ingresso dell'aria fresca che scende dallo spazio libero esterno fino al terzo livello interrato, richiamata dall'estrazione forzata dei fumi. Tale fenomeno dimostra l'efficacia del SEFFC, in quanto i fumi vengono estratti proprio dove previsto in progetto, ovvero dalle bocchette presenti nei canali a soffitto.



ANALISI DEL FUNZIONAMENTO DELLE APERTURE NATURALI DOPO 120 s

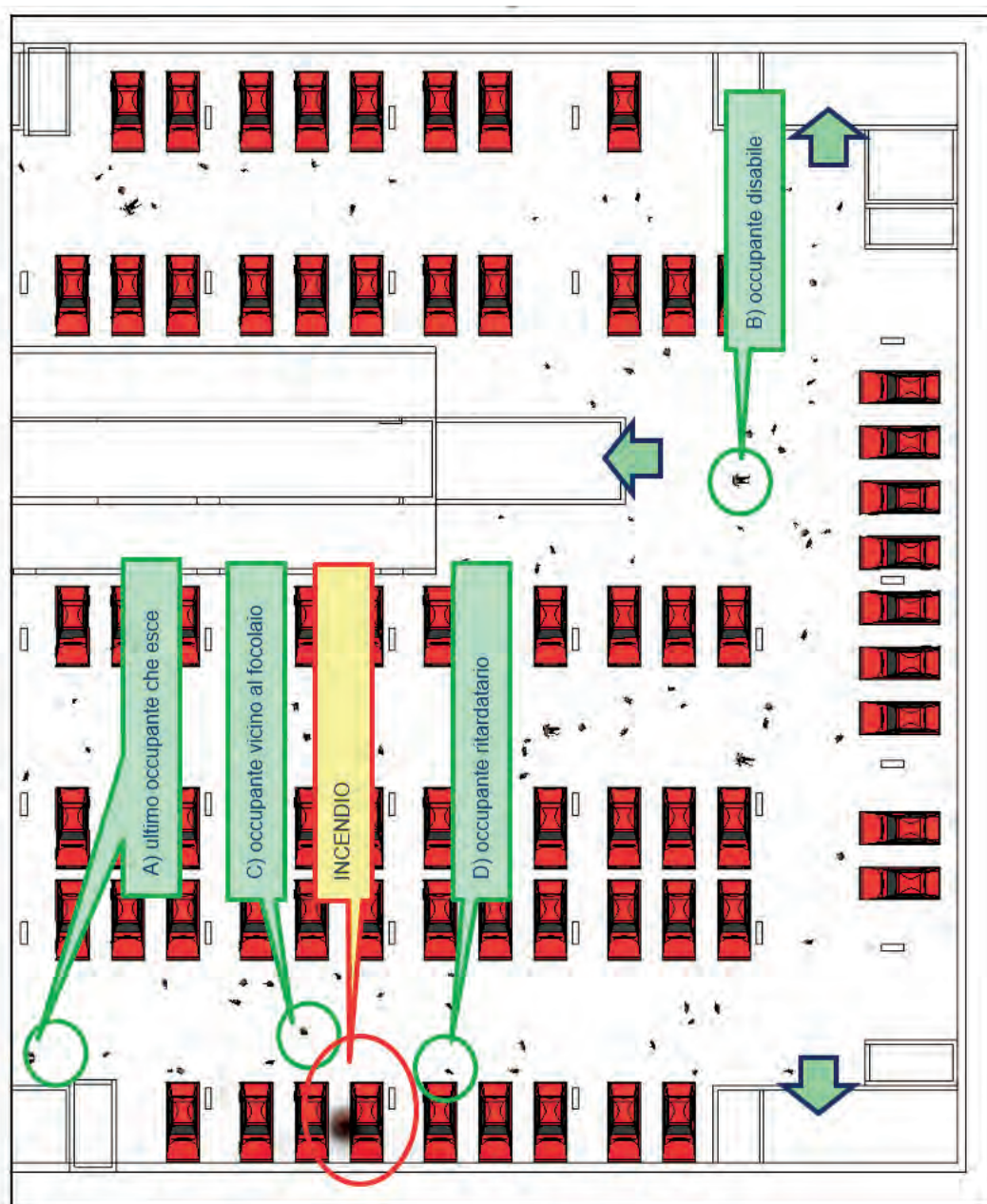
Critério ASET > RSET

La progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita, secondo il par. M.3.2, deve perseguire l'obiettivo che tutti gli occupanti abbiano la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza, che nel caso in esame è costituito da ciascun vano scale a prova di fumo (luoghi sicuri temporanei da cui è possibile raggiungere lo spazio esterno).

Il criterio ASET > RSET, già descritto compiutamente nei precedenti casi studio, è un criterio ideale, secondo il quale ogni occupante sarà caratterizzato da uno specifico ASET ed uno specifico RSET.

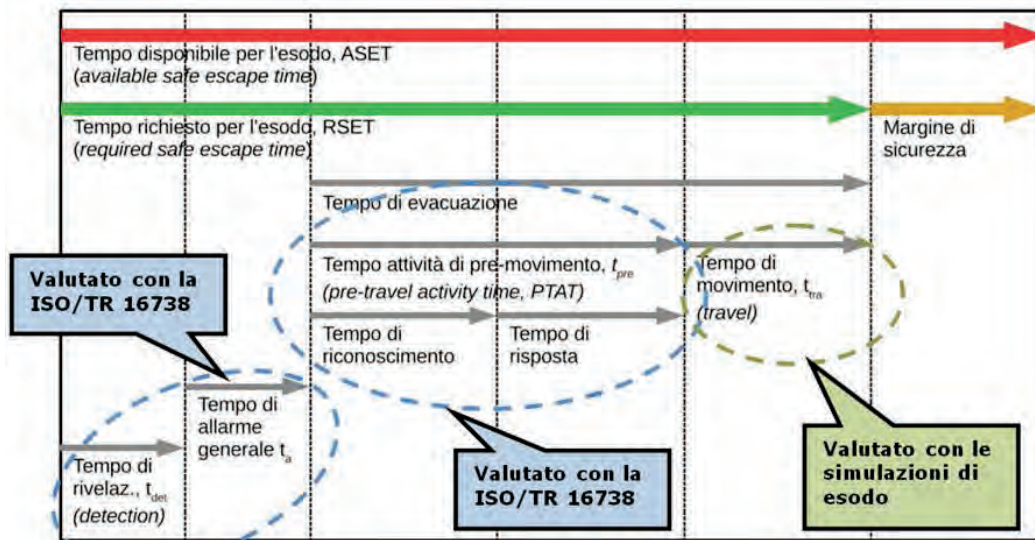
Pertanto, a scopo cautelativo, sono stati analizzati tali valori per i quattro occupanti più svantaggiati, che sono:

- l'ultimo occupante normodotato che raggiunge un luogo sicuro;
- un occupante con disabilità, caratterizzato da capacità locomotorie inferiori;
- l'occupante più vicino al focolare, che si accorge dell'incendio prima di tutti gli altri;
- un occupante teorico, che sebbene sia posizionato vicino al focolare, si muove in ritardo; questa verifica è condotta, in via teorica, al fine di analizzare le condizioni di sicurezza vicino al focolare.



POSIZIONE INIZIALE DEI QUATTRO OCCUPANTI PIÙ SVANTAGGIATI
IMMAGINE TRATTA DA PATHFINDER PREVIO CARICAMENTO DEI DATI DI FDS

Nella figura seguente è riportata la strutturazione del tempo RSET, secondo l'illustrazione M.3-1, alla quale sono stati aggiunti i riferimenti normativi o i metodi per la determinazione dei singoli componenti temporali.



STRUTTURAZIONE DEL RSET AI SENSI DEL RAPPORTO TECNICO ISO/TR 16738

Si rimanda al caso studio 1 per le definizioni e per le determinazioni del tempo di rivelazione incendio (t_{det}) e del tempo di allarme (t_a).

Entrambi questi valori, come noto, sono ricavabili dalla letteratura, ovvero dal rapporto tecnico ISO/TR 16738 e dalla norma BS 7974:2019.

Nel caso in esame si è fatto riferimento al documento di E. Gissi, citato nel caso studio 1, considerando un tempo con distribuzione log-normale³⁵ variabile da 30 s a 180 s.

Per quanto riguarda il tempo di pre-movimento ($t_{pre(1^\circ)}$ e $t_{pre(99^\circ)}$) si è assunto un valore corrispondente alla configurazione ($R_{vita} = B2$) \rightarrow M2, B1, A1-A2 (60 s - 240 s).

Relativamente al tempo di movimento (t_{tra}) è stato utilizzato il software Pathfinder.

Nei grafici seguenti sono riportate le verifiche di visibilità e temperatura riferite ai quattro occupanti più svantaggiati.

Da notare che le relative curve si interrompono nell'istante in cui ciascun occupante raggiunge l'uscita di piano (tempo che costituisce il valore RSET dello specifico utente).

Per quanto riguarda l'occupante "ritardatario" (ipotesi cautelativa cui si è accennato in precedenza), si evidenzia che egli inizia a muoversi dopo ben 355 s; il tratto finale delle due curve fa riscontrare valori accettabili lungo il percorso.

Calcolo ASET per l'occupante "ritardatario":

- ASET = 90 s (criterio della visibilità come evidenziato nel grafico seguente³⁶)

Calcolo RSET per l'occupante "ritardatario":

- RSET = ($t_{det} + t_a$) + $t_{pre} + t_{tra} = 90^{37} + 240 + 25 = 355$ s

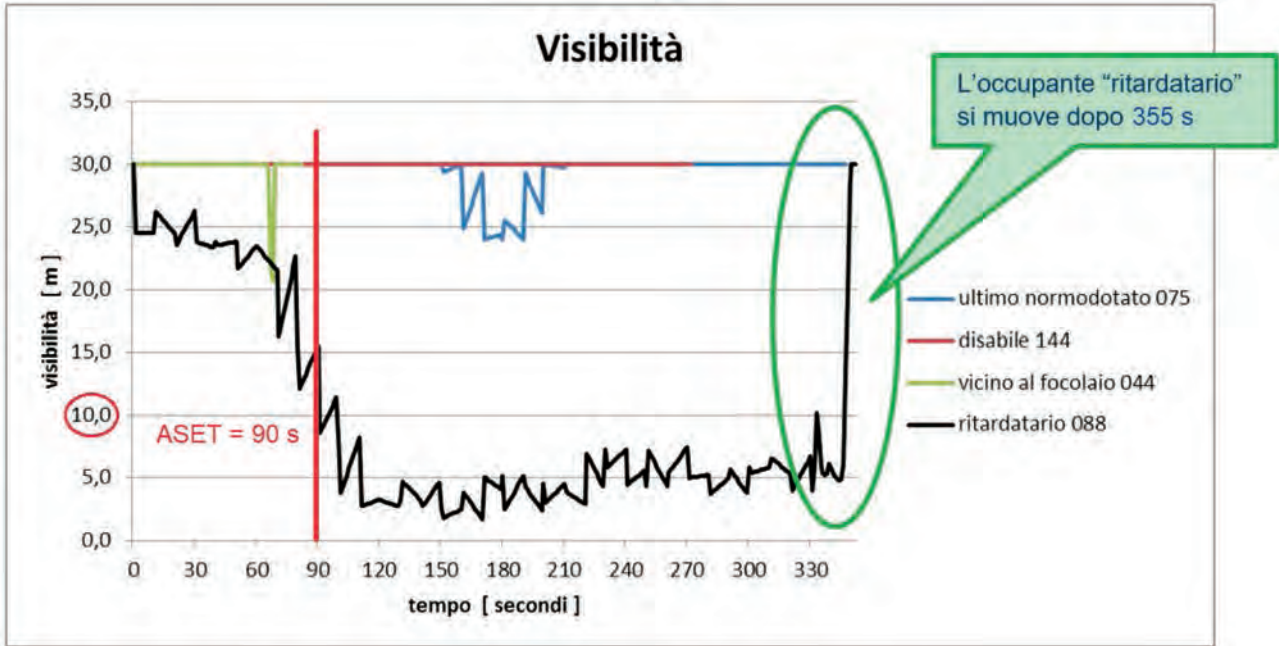
Per gli altri occupanti si evidenzia che nei 30 min, corrispondenti alla durata della simulazione, non si raggiungono le condizioni incapacitanti, per cui risulta ASET > 30 min.

Sono state omesse, in questa sede, le verifiche relative all'irraggiamento ed alla FED in quanto i valori risultanti sono ininfluenti.

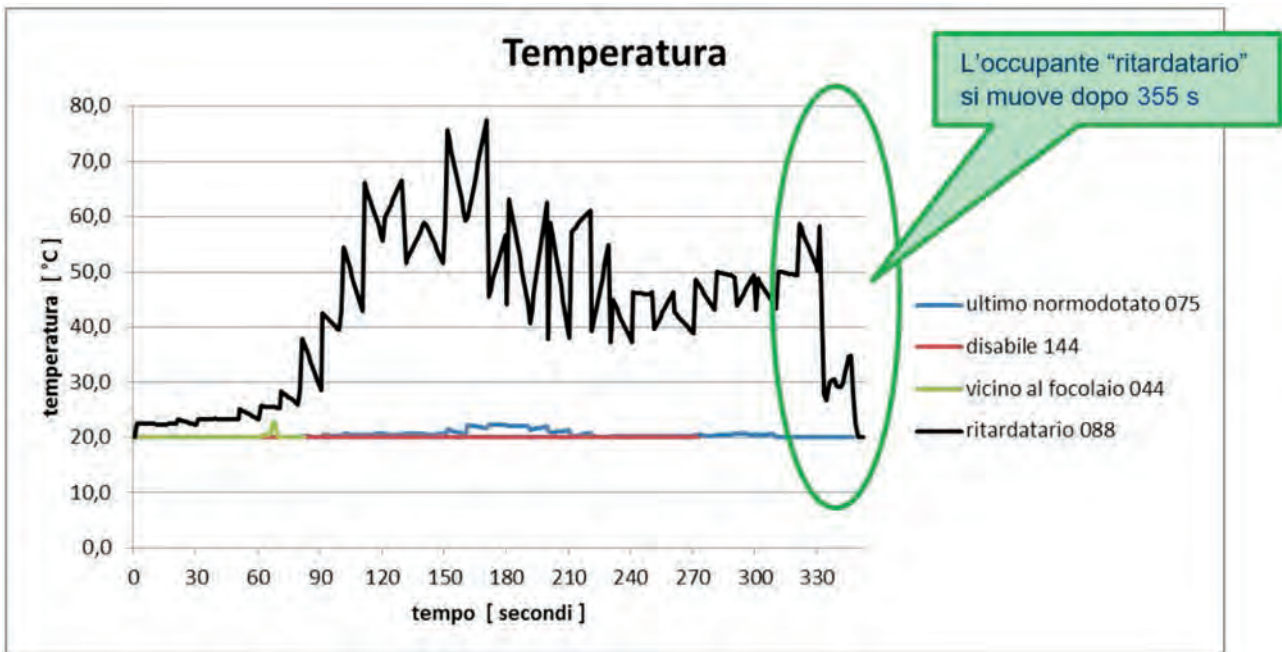
³⁵ La distribuzione log-normale è una distribuzione (non gaussiana) di probabilità di una variabile aleatoria x il cui logaritmo $\log x$ segue una distribuzione normale.

³⁶ Per gli occupanti è possibile ritenere ammissibile, per il tempo di esodo, una visibilità pari a 10 m.

³⁷ Per l'occupante "ritardatario" è possibile stimare un t_{det} pari a 90 s, tenuto conto che egli si trova in prossimità del focolare; viceversa, avendo in obiettivo l'analisi delle condizioni di sicurezza nei dintorni del focolare, si ipotizzano tempi di pre-movimento più lunghi di quanto ci si aspetterebbe nella realtà.



VERIFICA DELLA VISIBILITÀ PER I QUATTRO OCCUPANTI CONSIDERATI (CON ASET OCCUPANTE "RITARDATARIO")

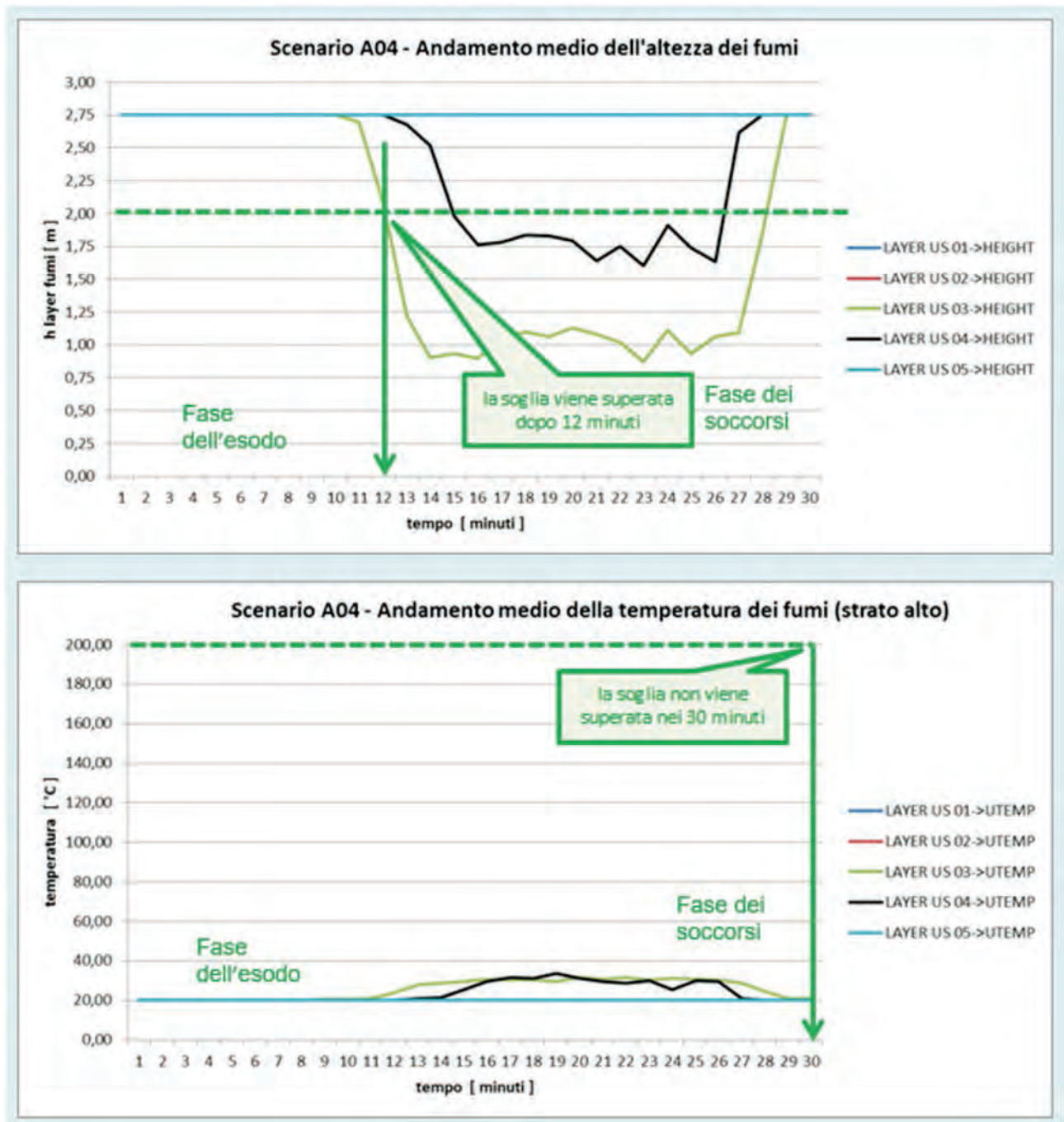


VERIFICA DELLA TEMPERATURA PER I QUATTRO OCCUPANTI CONSIDERATI

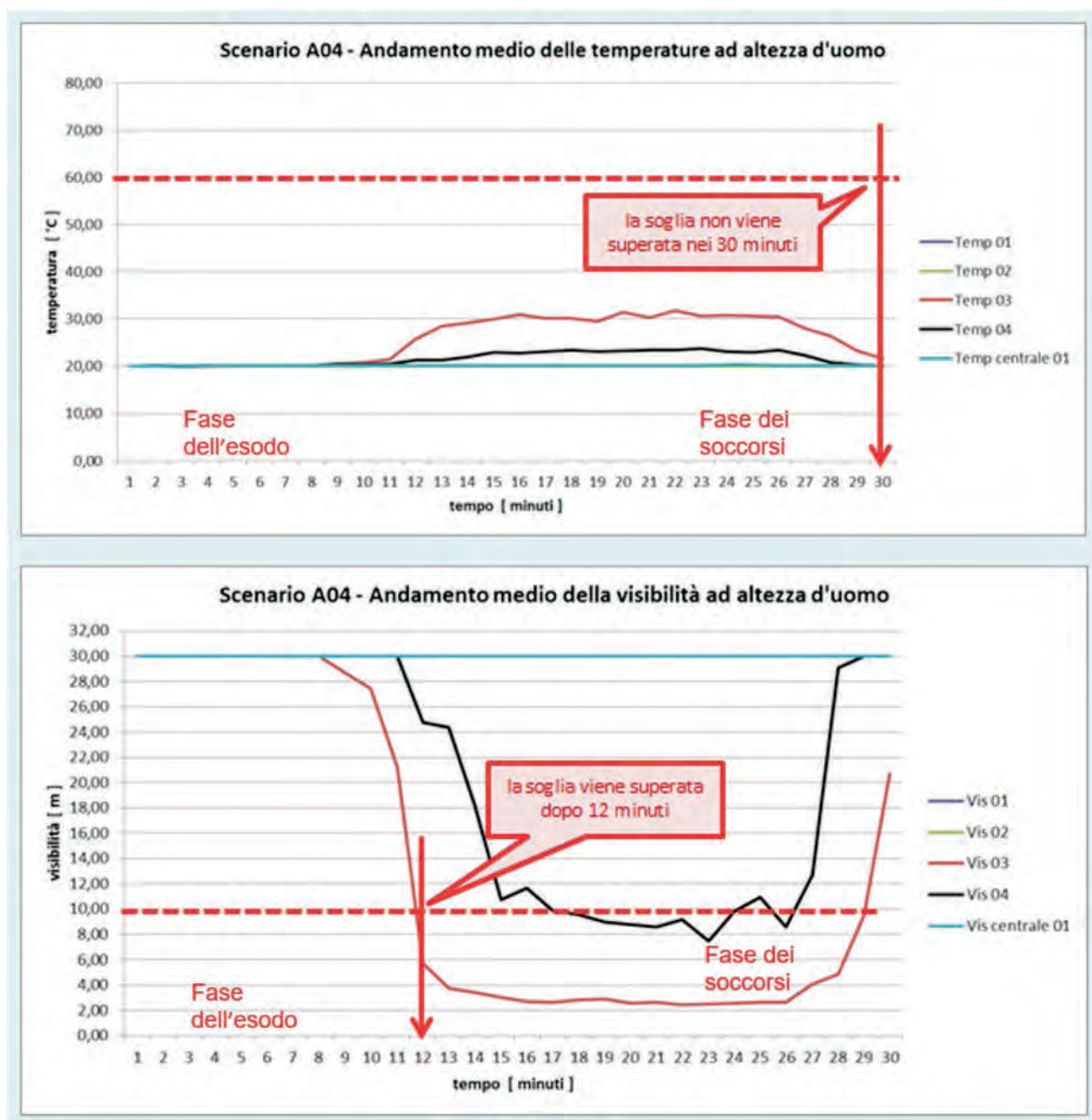
Selezione delle soluzioni progettuali idonee

Dalla verifica delle soglie di prestazione, con il metodo avanzato e quello semplificato, risulta che:

- la verifica delle condizioni di tenability degli occupanti è sempre soddisfatta, considerando i parametri misurati dalle sonde per l'intera durata dell'esodo, ad eccezione del cosiddetto occupante "ritardatario";
- la verifica delle condizioni di tenability del compartimento è soddisfatta, mediante il criterio $ASET > RSET$, ad eccezione delle zone più prossime al focolare;
- la verifica delle condizioni di tenability per quanto riguarda la sicurezza dei soccorritori è soddisfatta nel compartimento, ad eccezione della zona prossima al focolare.



VERIFICA DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE CON IL METODO SEMPLIFICATO



VERIFICA DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE CON IL METODO AVANZATO

In definitiva, nel caso specifico, si è dimostrato che la *soluzione alternativa* analizzata persegue gli obiettivi del livello III di prestazione, prevedendo apposite misure per integrare l'esistente sistema di ventilazione meccanica per renderlo idoneo e utilizzabile come SEFFC.

Si è appunto dimostrato il soddisfacimento dell'obiettivo di sicurezza antincendio considerato nel caso studio, ossia, quello di assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza, risultando soddisfatta la verifica del criterio $ASET > RSET$ in relazione ai percorsi di esodo previsti.

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata dimostrata la *soluzione alternativa* con riferimento alla misura S.8, in modo da superare l'attuale deficit costituito dal campo di applicazione della norma UNI 9494, che mal si adatta alle autorimesse con altezza interna inferiore a 3 m.

Lo sviluppo della *soluzione alternativa*, mediante l'ingegneria antincendio, ai sensi dei capitoli M del Codice ha condotto la progettazione sul piano prestazionale, per cui è stato possibile verificare quantitativamente l'efficacia del sistema di ventilazione proposto in progetto.

Gli obiettivi di sicurezza, che si riferiscono alla sicurezza degli occupanti e dei soccorritori, sono stati analizzati con il criterio $ASET > RSET$, ai sensi del cap. M.3.

Partendo dai parametri indicati dalla norma BS 7346, è stato dimensionato un SEFFC per l'autorimessa, verificandone le prestazioni con apposite modellazioni d'incendio, con il software FDS.

La concomitante modellazione dell'esodo degli occupanti ha consentito di affinare la verifica delle soglie di prestazione del Codice, secondo il metodo di calcolo avanzato proposto dal cap. M.3.

❖ *Commento dei risultati*

Il presente caso studio dimostra che il Codice consente la progettazione di soluzioni diverse da quelle standard e di poterle dimostrare con gli strumenti più idonei, che in questo caso sono rappresentate le modellazioni CFD d'incendio e dalle modellazioni di esodo.

Eventuali strumenti diversi possono essere adottati, se ritenuti idonei dal professionista antincendio, nell'ambito della stessa filosofia del Codice, che garantisce maggiore flessibilità attribuendo però allo stesso l'onere dell'analisi quantitativa delle soluzioni proposte.

❖ *Eventuali sviluppi ulteriori*

L'impostazione complessiva del Codice tende a superare la vecchia ragioneria antincendio, basata sul semplice rispetto di regole prescrittive obsolete nell'approccio ed estremamente cautelative nelle richieste.

Il futuro della sicurezza antincendio è la progettazione, ovvero una disciplina ingegneristica alla pari di tutte le altre.

Questa rivoluzione culturale richiede una formazione specifica e approfondita, al fine di non correre il rischio di banalizzare l'utilizzo degli strumenti software più avanzati, che se non settati correttamente e non adoperati con criterio scientifico possono facilmente condurre a risultati falsati o completamente errati.

Caso studio 10: soluzione alternativa per il livello di prestazione II misura S.8 - magazzino

Descrizione

Nel presente caso studio vengono illustrate le modalità di applicazione del Codice avendo in obiettivo la variante di un progetto antincendio esistente ed approvato dal Comando VV.F. competente territorialmente secondo le normative pre-Codice.

Trattasi di uno stabilimento dove si producono componenti per la scrittura, ovvero penne, pennarelli e oggetti analoghi.

Le presenti valutazioni riguardano esclusivamente il compartimento ubicato al piano primo del capannone, adibito a magazzino semilavorati.

Tra le varie misure attive che il progettista originario aveva individuato per il compartimento in esame, figurava un SENFC conforme alle norme UNI vigenti all'epoca (UNI 9494-1:2012).

Per motivi legati all'installazione dell'impianto fotovoltaico, sulla copertura a doppia falda del magazzino, è subentrata l'esigenza di ridurre la superficie di copertura destinata ai dispositivi di evacuazione naturale fumo e calore (ENFC) del SENFC.

Per tali motivi sarà sviluppato un progetto, in variante a quello già approvato, rispettando la filosofia e gli obiettivi di sicurezza del progetto originario, sviluppando tuttavia una misura differente facendo riferimento alle norme tecniche vigenti nel settore del controllo di fumi e calore.

A tale scopo si illustrerà il progetto, secondo l'impostazione del Codice ed utilizzando la più recente versione della norma UNI 9494-1:2017, che prevede una misura denominata Smaltimento di Fumi e Calore di Emergenza (SFCE).

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni geometriche del compartimento	Vedi planimetria (A = 4157 m ²)
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in C.A.



Schema planimetrico del magazzino semilavorati

Compartimenti antincendio	Unico compartimento
Numero occupanti	3 (addetti alla movimentazione del materiale in deposito)
Profilo di rischio R_{vita}	A3 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R_{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello I e II di prestazione (par. S.1.3 e par. S.1.4.1)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.2.3 e par. S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.1)
Esodo	Livello I di prestazione (par. S.4.3 e par. S.4.4.1)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.2) Rete di idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello IV di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello di prestazione equivalente al II (par. S.8.3 e par. S.8.4.3)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)
Ubicazione geografica del sito	Pistoia

Obiettivi dello studio

Per le motivazioni suesposte, l'obiettivo del presente caso studio è quello di valutare la tipologia di controllo di fumi e calore, nell'ambito di una valutazione della sicurezza complessiva, in coerenza con il Codice.

Si intende, pertanto, dimostrare una *soluzione alternativa* con riferimento alla misura S.8, al fine di garantire un livello II di prestazione che garantisca, in funzione della tipologia dell'attività e degli occupanti, anche gli obiettivi di sicurezza del livello III.

Focus sulla strategia adottata

Controllo di fumi e calore nel progetto originario

Il progetto originario prevedeva, a servizio del magazzino semilavorati, un SENFC (progettato secondo la norma UNI 9494-1:2012) costituito da una serie di EFC in copertura, oltre ad una serie di finestre con apertura interbloccata collegate all'IRAI, che sovrintendeva anche all'apertura dei predetti EFC.

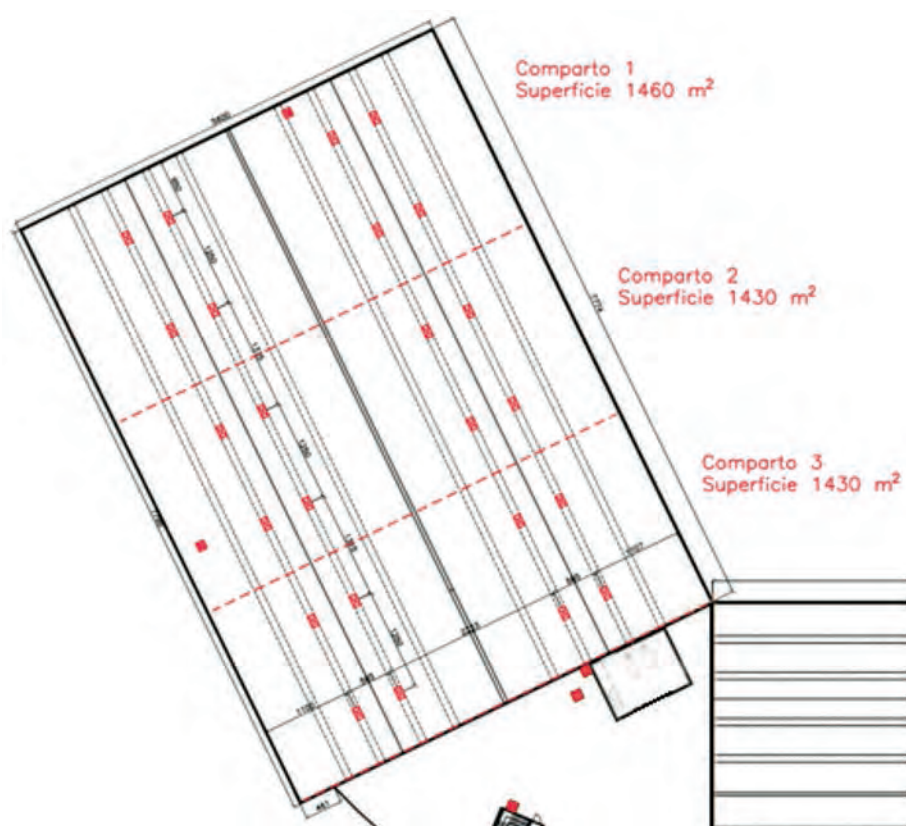
Con riferimento al Prospetto 1 della citata norma, con $t_1 = 0$ (presenza di un IRAI che aziona automaticamente il SENFC o con allarme trasmesso ad un locale presidiato H 24 con personale in grado di intervenire adeguatamente) e $t_2 = 5$ min (presenza H 24 della squadra di soccorso interno) per $t = 5$ min, si otteneva $GD = 2$.

Il compartimento era stato quindi suddiviso in tre serbatoi di fumo, utilizzando le travi esistenti, aventi superficie inferiore a 1600 m^2 ciascuno; la SUT era fornita da 8 EFC per ciascun serbatoio di fumo, di dimensioni 85×150 cm, con un valore di SUT pari a $7,30 \text{ m}^2$ per ciascuno dei 3 serbatoi di fumo, conformemente al valore minimo derivato dall'applicazione della citata norma (vedi Prospetto 2).

L'afflusso dell'aria di riscontro veniva garantito dall'apertura di alcune finestre sulle facciate del compartimento.

La ristrutturazione aziendale attualmente non garantisce più la presenza degli addetti antincendio al di fuori dell'orario lavorativo e, pertanto, non è più possibile adottare il GD 2.

L'aggiornamento del calcolo della SUT, in base alle mutate situazioni, porta alla determinazione del GD 5, che conduce ad una SUT molto superiore a quella prevista nel progetto approvato, ovvero pari a $19,10 \text{ m}^2$ per ciascun serbatoio di fumo a soffitto.



STRALCIO TAVOLA PROGETTO ORIGINARIO

Controllo di fumi e calore nel progetto in variante alla luce del Codice

Il nuovo progetto, in variante dell'esistente SENFC, è stato eseguito secondo la nuova versione della norma tecnica di riferimento, ovvero la UNI 9494-1:2017 che, come anticipato, introduce lo Smaltimento di Fumi e Calore di Emergenza (SFCE) non previsto dalla versione della norma UNI 9494-1:2012 adottata nel progetto originario.

Il nuovo progetto è conforme all'Appendice G della UNI 9494-1:2017, per i motivi di seguito illustrati.

La novità dell'ultima versione della norma è rappresentata dal fatto che lo SFCE viene considerato come una misura di protezione attiva che rientra nelle modalità di controllo di fumi e calore, in perfetta analogia con il Codice.

Come ben chiarito, sia dall'Appendice G che dal Codice, gli obiettivi dello SFCE sono:

- eliminare dall'ambiente la maggior quantità possibile di fumo e calore;
- facilitare l'opera di estinzione da parte dei soccorritori;
- ridurre gli effetti dell'incendio sulle strutture.

Lo smaltimento di fumi e calore, che nel Codice è previsto nel livello II di prestazione per la misura S.8, non garantisce la formazione ed il mantenimento di uno strato libero dai fumi al di sotto di quello dei fumi e non prevede particolari prestazioni per i dispositivi presenti nelle aperture, che possono essere quelle utili per il normale funzionamento dell'attività.

Per eseguire lo smaltimento di fumi e calore, il dimensionamento non è fornito dalla norma UNI ma dallo stesso Codice che, per il caso in esame (carico d'incendio superiore a 1200 MJ/m²) è pari ad almeno 1/25 della superficie del compartimento.

Questo tipo di controllo di fumi e calore non è un sistema prestazionale in quanto non è possibile quantificare, a priori, gli effetti in caso d'incendio e si utilizza quando la sicurezza degli occupanti non è l'obiettivo primario (per esempio perché l'affollamento è molto ridotto, come nel caso in esame).

Il magazzino, pertanto, potrebbe correttamente essere dotato di questo tipo di misura di controllo di fumi e calore, anziché di un vero e proprio SENFC, in quanto l'affollamento è minimo e limitato ai 3 addetti al magazzino, mentre la protezione dei beni, che rappresenta un obiettivo la cui scelta resta a carico del titolare dell'attività, non rientra tra gli obiettivi primari da conseguire in questo caso (vedi tabb. S.8-1 e S.8-2).

Il Codice (par. S.8.5), e l'Appendice G della UNI 9494-1:2017, prescrivono alcune caratteristiche particolari per le aperture di smaltimento, ovvero:

- ✓ superficie complessiva pari a $\geq 1/25$ della superficie in pianta;
- ✓ 5 tipologie di aperture, da SEa (le più affidabili) a SEe (le meno affidabili);
- ✓ almeno il 10% deve essere di tipo SEa, SEb o SEc;
- ✓ distribuzione uniforme delle aperture mediante il metodo del raggio di influenza.

È evidente che le sole caratteristiche richieste dal Codice non forniscono alcuna garanzia prestazionale, se non una generica possibilità di smaltire i fumi ed il calore in emergenza.

Siccome l'apertura delle superfici può essere demandata anche solamente all'azione dei soccorritori che, nel caso in esame, non sopraggiungono prima di 13 min (valore fornito dall'Appendice C della UNI 9494-1:2017), risulta evidente che nei primi 13 - 15 min potrebbe non essere disponibile un'adeguata superficie per la fuoriuscita dei fumi e di parte del calore.

Si consideri infatti che il Codice, tra le aperture che concorrono al 10% del $1/25$ della superficie del compartimento, con caratteristiche di superiore affidabilità, considera anche quelle di tipo SEc, che possono essere azionate manualmente, al contrario delle SEa ed SEb (vedi tabb. S.8-3 e S.8-4).

In definitiva, a vantaggio della sicurezza complessiva, si ritiene di adottare in questa sede una modalità di controllo dei fumi e del calore che non è prevista dal Codice, bensì dalla UNI 9494-1:2017, ovvero lo SFCE ai sensi dell'Appendice G della citata norma UNI.

La grossa novità di tale misura risiede nel fatto che le aperture di smaltimento di fumi e calore vengono messe a sistema, che come tale agisce secondo una precisa strategia di intervento e richiede determinate caratteristiche ai suoi componenti.

Parafrasando l'Appendice G si evidenzia che lo SFCE:

- richiede un'adeguata scelta dei componenti;
- prevede un dimensionamento basato su criteri prestazionali estesi;
- è caratterizzato da un'attivazione coordinata delle aperture;
- permette di quantificare le proprie prestazioni;
- produce effetti positivi anche in favore della sicurezza degli occupanti e della protezione di beni e strutture, oltre che agevolare l'intervento dei soccorritori;
- consente una migliore e più tempestiva efficacia nello smaltimento dei fumi e del calore;
- agevola le operazioni delle squadre di soccorso, sia interne (orario lavorativo) che esterne (orario non lavorativo);
- permette di gestire l'apertura fin dalle prime fasi dell'incendio;
- consente la futura implementazione dello SFCE trasformandolo in un vero e proprio SENFC.

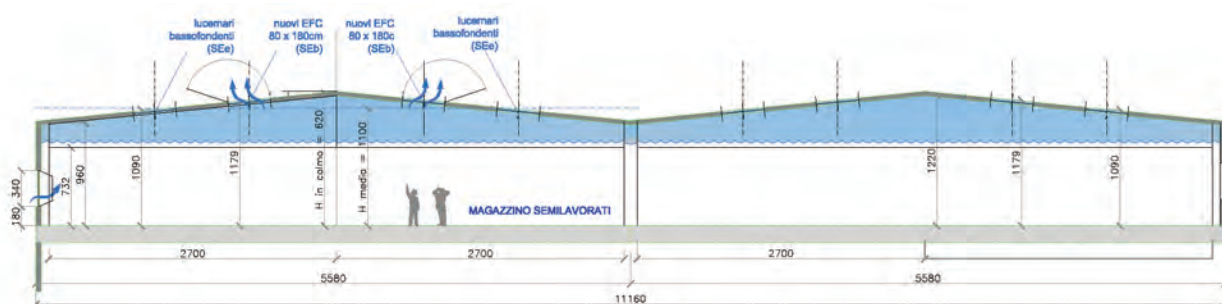
Appare quindi evidente che, sebbene secondo i criteri di attribuzione del Codice risultasse sufficiente un livello II di prestazione per la misura S.8, l'adozione di uno SFCE rappresenta una configurazione migliorativa rispetto al semplice smaltimento non messo a sistema.

A scopo didattico, si riportano di seguito le diverse misure per il controllo di fumo e calore attualmente previste dalle norme nazionali:

Misure per il controllo di fumo e del calore				
Misura	Livello di prestazione del Codice	Riferimento normativo o tecnico	Obiettivi	Caratteristiche
Smaltimento di fumi e calore SmFC	II	Codice	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sicurezza soccorritori; 2. Sicurezza occupanti; 3. Sicurezza beni e impianti; 4. Abbassamento temperature sulle strutture; 5. Compartimentazione di fumi e calore. 	Aperture tipo SEa, SEb, SEc, SEd, SEe
		Appendice G UNI 9494-1:2017		Nessuna attivazione coordinata
Smaltimento di fumi e calore di emergenza SFCE <i>adottato nel presente caso studio</i>	II	Codice	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sicurezza soccorritori; 2. Concorre alla sicurezza occupanti; 3. Concorre alla sicurezza beni e impianti; 4. Abbassamento temperature sulle strutture; 5. Compartimentazione di fumi e calore. 	Solo aperture tipo EFC (SEa o SEb)
		Appendice G UNI 9494-1:2017		Attivazione coordinata
Sistema di evacuazione di fumi e calore SEnFC	III	Codice	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sicurezza soccorritori; 2. Sicurezza occupanti mediante il mantenimento di uno strato inferiore libero da fumi; 3. Sicurezza beni e impianti; 4. Abbassamento temperature sulle strutture; 5. Compartimentazione di fumi e calore. 	Collegamento al sistema IRAI (automatico o manuale)
		UNI 9494-1:2017		Dimensionamento come da Prospetto 2 UNI 9494-1:2017

Risulta evidente che le tre differenti misure per il controllo di fumi e calore conducono a tre differenti dimensionamenti, e quindi a tre diversi valori della superficie complessiva di espulsione dei fumi.

Il livello di prestazione offerto dalla progettazione prevista nell'Appendice G della norma UNI 9494-1:2017 potrebbe essere visto, alla luce del Codice, come un livello II plus.



SEZIONE DELLO STABILIMENTO CON INDICAZIONE DEI NUOVI EFC

Il dimensionamento dello SFCE è quello che conduce al valore minore, ovvero:

1. SmFC (liv. II): tab. S.8-4 → $4157 / 25 = 166,28 \text{ m}^2$ complessivamente (sia finestre che cupolini);
2. SFCE (liv. II): Prospetto G.2 norma UNI 9494-1:2017 → $7,70 \text{ m}^2$ per ciascuno dei 3 serbatoi a soffitto (solo cupolini), oltre alle finestre per l'ingresso dell'aria esterna;
3. SENFC (liv. III): Prospetto 2 norma UNI 9494-1:2017 → $19,10 \text{ m}^2$ per ciascuno dei 3 serbatoi a soffitto (solo cupolini), oltre alle finestre per l'ingresso dell'aria esterna.

prospetto G.2 **Superficie smaltimento**

Altezza del locale (m)	Superficie smaltimento per ogni 1600 m ² (m ²)	
	Gruppo di dimensionamento	
h	1,2 e 3	4 e 5
5,00	3,60	6,90
5,50	4,20	7,70
6,00	4,60	8,30
6,50	5,25	9,20
7,00	5,70	9,90
7,50	6,35	10,90
8,00	6,90	11,70
8,50	7,60	12,70
9,00	8,20	13,60
9,50	8,75	14,70
10,00	9,20	15,60
10,50	9,65	16,80
11,00	10,00	17,80
11,50	10,40	19,10
12,00	10,70	20,20

STRALCIO DA NORMA UNI 9494-1:2017 - APPENDICE G

Tale circostanza deriva dalle seguenti motivazioni:

- lo SFCE non deve garantire il mantenimento nel tempo di uno strato libero dai fumi ma comunque ha un'influenza positiva anche sulla sicurezza degli occupanti, quindi la superficie del SFCE < SENFC;
- lo SFCE, grazie al fatto che costituisce sistema e che l'affidabilità delle aperture è superiore (tipo EFC), oltre alla tempestiva attivazione delle stesse, permette di ridurre la superficie, quindi SFCE < SmFC.

Si sottolinea, in ogni caso, che l'adozione del SFCE, in luogo del SENFC, è effettuata in base alla valutazione del rischio, considerato che:

- il ridotto affollamento del magazzino e la presenza esclusiva di addetti in confidenza con i luoghi, informati sui rischi e formati sulle procedure di emergenza, rendono superflua la presenza del SENFC ai fini della sicurezza degli occupanti;
- lo smaltimento dei fumi e del calore è finalizzato alla sicurezza delle squadre di soccorso e, pertanto, è effettuato secondo il Prospetto G.2 della norma UNI 9494-1:2017.

La tabella seguente dimostra che lo SFCE previsto nel progetto di variante non solo è conforme all'Appendice G della UNI 9494-1:2017, ma prevede anche delle migliorie:

Dimensionamento dello SFCE - Appendice G della norma UNI 9494-1:2017

Prospetto G2

SFCE utile richiesta dal Prospetto G2 **SUT - EFC 23,10 m²** 3 serbatoi con S < 1600 m² e SUT 7,70 m² cad
Vengono mantenute le due barriere fisse al fumo come se fosse un SENFC

Configurazioni dello SFCE ipotizzate in base alle dimensioni del prodotto commerciale (EFC)

Superficie geometrica totale EFC sul tetto (ipotesi 1)	Sg - EFC	48,00 m ²	(n. 3 campate x 8 x 80 x 250)
Superficie geometrica totale EFC sul tetto (ipotesi 2)	Sg - EFC	43,20 m²	(n. 3 campate x 12 x 80 x 150)
Superficie geometrica totale EFC sul tetto (ipotesi 3)	Sg - EFC	50,40 m ²	(n. 3 campate 4 x 80 x 150 + 6 x 80 x 250)

Viene scelta l'ipotesi 2)

Superficie geometrica totale EFC sul tetto (ipotesi 3)	Sg - EFC	43,20 m ²	(n. 3 campate x 12 x 80 x 150)
SFCE utile presente (ipotesi 2)	SUT - EFC	28,08 m²	

VERIFICA 1 28,08 > 7,70 ---> OK, conforme

Il Sistema di smaltimento fumi e calore è conforme alla UNI 9494-1:2017 - Appendice G

Superficie corretta totale di afflusso dell'aria esterna SCT; l'Appendice G richiede che SCT = SUT:

Superficie geometrica totale finestre presenti (tipo SEd)			
Superficie geometrica finestre lato S-W		51,00 m ²	6 x 7 x 1,00 x 1,70 cm
Superficie geometrica finestre lato N-E		107,10 m ²	9 x 7 x 1,00 x 1,70
Superficie geometrica finestre lato N-W		35,70 m ²	3 x 7 x 1,00 x 1,70
Superficie totale finestre	Sg - fin	193,80 m ²	circa 2/3 apribili manualmente
Superficie totale finestre apribili (tipo SEd)	Sa - fin	129,07 m ²	
Superficie corretta totale finestre tipo SEd (c _v = 0,65)	SCT - fin - SEd	83,90 m²	

VERIFICA 2 83,90 > 28,73 ---> OK, conforme

Il Sistema di smaltimento fumi e calore è conforme alla UNI 9494-1:2017 - Appendice G

Miglioria prevista nel progetto di variante:

una parte delle finestre sarà dotata di dispositivo di apertura automatico collegato all'IRAI

Superficie geometrica finestre apribili con IRAI (tipo SE)	Sg - fin - SEb	22,00 m ²	valore determinato con simulazioni CFD
Sono previsti 11 m ² su ciascuno dei due lati lunghi del comparto			
Superficie corretta totale finestre tipo SEb (c _v = 0,55)	SCT - fin - SEb	14,30 m²	

VERIFICA 3 14,30 > 7,70 ---> OK, conforme

DIMENSIONAMENTO DELLO SFCE A NORMA UNI 9494-1:2017 - APPENDICE G

In ogni caso, l'efficacia della configurazione del controllo di fumi e calore, prevista nel caso in esame, è stata valutata anche con la modellazione dello scenario d'incendio, utilizzando il software FDS; si rimanda ai successivi punti del caso studio per l'esposizione dei risultati della medesima.

Approfondimenti con la Fire Safety Engineering

Per dimostrare il raggiungimento della sicurezza degli occupanti, obiettivo primario di tutti i progetti di prevenzione incendi, sono state effettuate approfondite verifiche con l'approccio prestazionale, mediante alcune simulazioni dell'incendio con un software di modellazione CFD (Computational Fluid Dynamics) denominato Pyrosim®, su motore di calcolo FDS (Fire Dynamics Simulator).

Pertanto, si dimostrerà che l'adozione dello SFCE, in luogo del SENFC previsto nel progetto originario, costituisce misura equivalente di sicurezza, valutabile quale *soluzione alternativa* secondo il Codice.

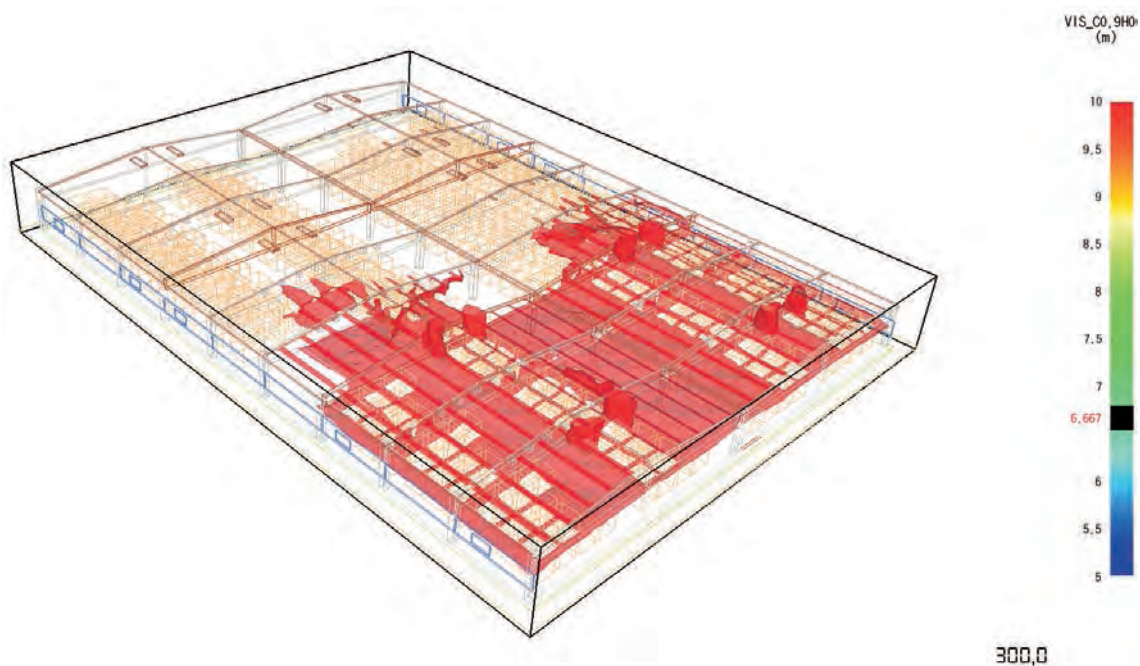
Ovviamente, anche in tal caso, è fondamentale che sia curata l'affidabilità del sistema in progetto; pertanto è importante che allo stesso sia dedicata la dovuta attenzione nella Gestione della Sicurezza Antincendio.

Il criterio adottato nelle verifiche è quello, ormai noto, descritto nel cap. M.3 del Codice, ovvero:

$$ASET > RSET + t_{\text{marg}}$$

Le analisi effettuate con la FDS dimostrano che:

- la sicurezza degli occupanti è garantita dal nuovo SFCE, valutata nei primi 8 min dell'incendio;
- la sicurezza dei soccorritori è garantita dal nuovo SFCE, valutata dopo 13 min d'incendio.



SCREENSHOT RAPPRESENTATIVO DI UNA DELLE SIMULAZIONI EFFETTUATE CON FDS

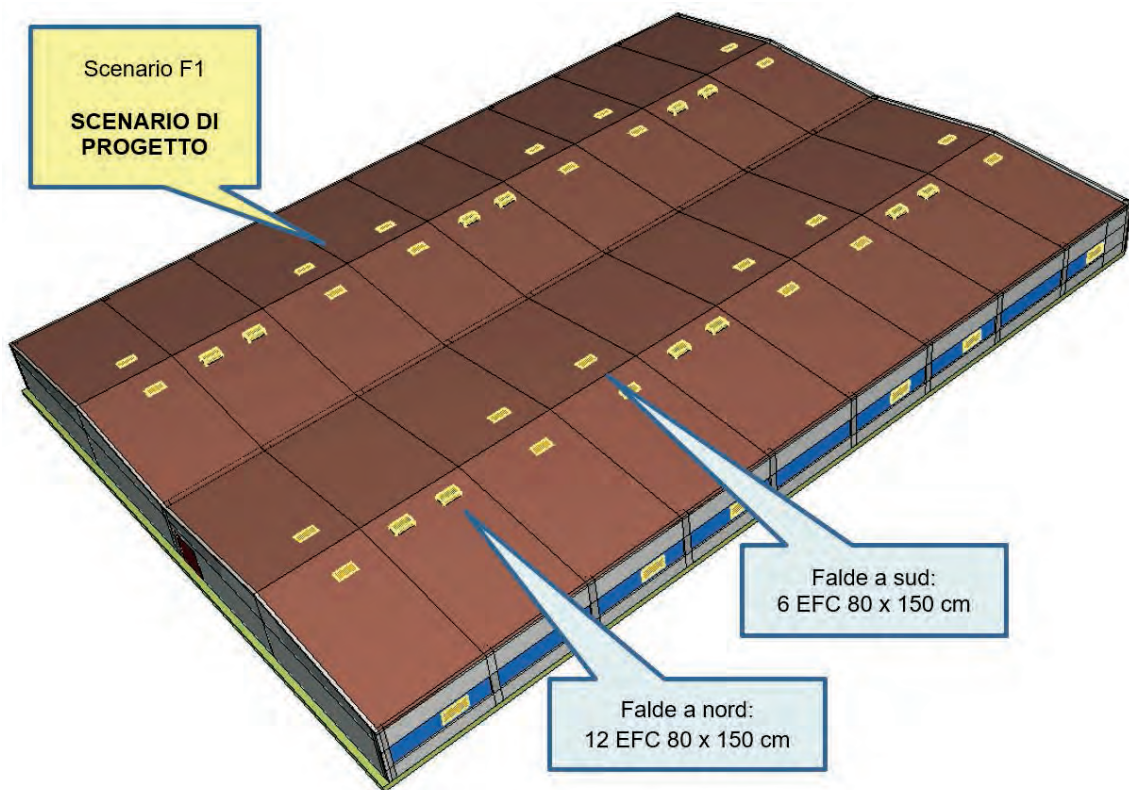
Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

Sono stati modellati con FDS numerosi scenari d'incendio che hanno condotto, progressivamente, alla scelta dello scenario finale di progetto, denominato F1 corrispondente alla configurazione che verrà realizzata a seguito del presente progetto:

CAR_F1: focolare da 5 MW/m² su 5 x 2 m² con crescita veloce
 $Y_{\text{soot}} = 0,050$

Gli EFC e le finestre su due lati (11 x 2 = 22 m²) si aprono dopo 60 s (collegamento all'IRAI)
 Essi sono meno numerosi sulle falde esposte a Sud, per la presenza dell'impianto fotovoltaico (FV), e più numerosi sulle falde opposte:

- Lati Sud, con FV: n. 2 falde x 6 EFC da 80 x 150 cm
- Lati Nord, senza FV: n. 2 falde x 12 EFC da 80 x 150 cm
- Sg - EFC = 43,20/3 = 14,40 m² per ogni serbatoio
- SUT - EFC = 28,08/3 = 9,36 m² per ogni serbatoio



SCENARIO DI PROGETTO F1 CORRISPONDENTE ALLA CONFIGURAZIONE REALE

Focolare d'incendio

Le modellazioni sono state eseguite con riferimento al par. M.2.7.

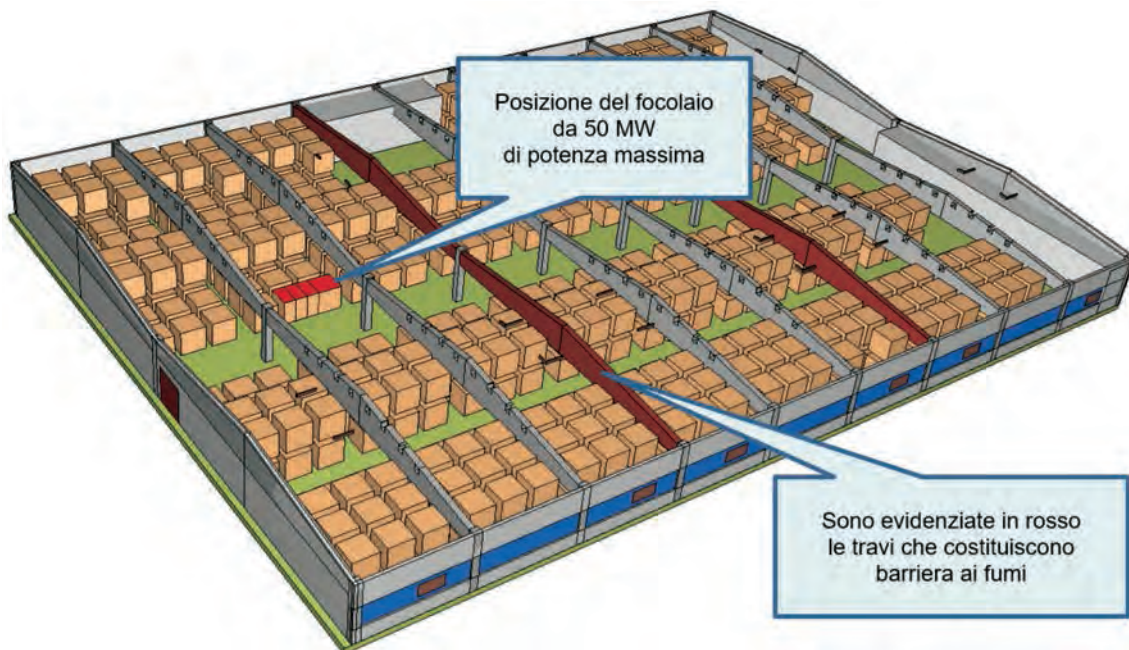
Il focolare sorgente dell'incendio, come detto, è stato progettato per una potenza termica totale:

$$\text{HRR} = 5000 \text{ kW/m}^2 \times 10 \text{ m}^2 = 50 \text{ MW}$$

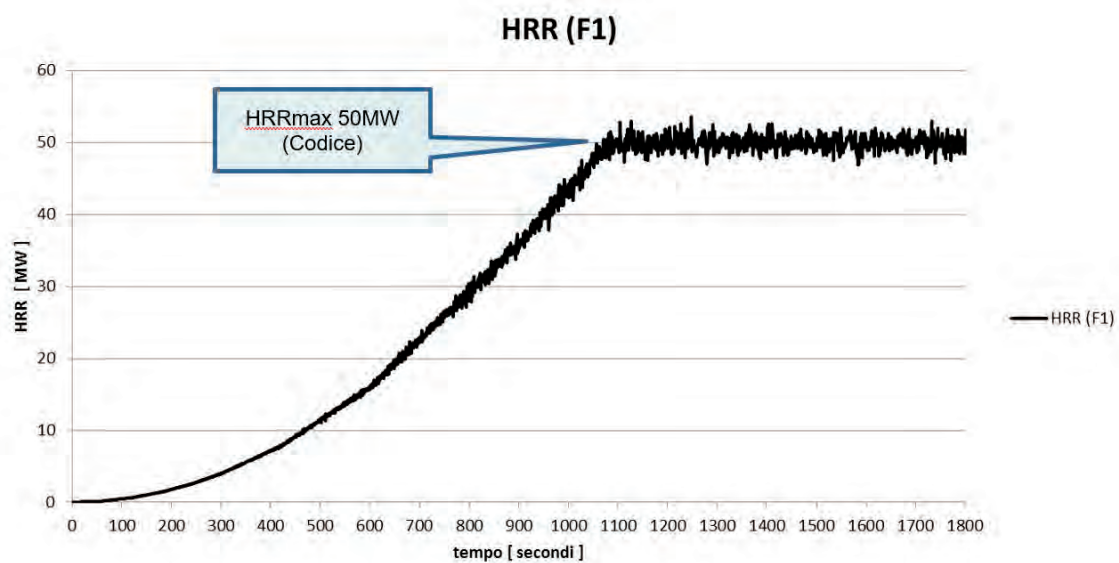
Esso corrisponde ad un incendio causato deliberatamente e con notevole potenza termica, paragonabile infatti a quella prodotta nella combustione di un vagone ferroviario.

Di seguito sono le caratteristiche della curva HRR di progetto imposta per il focolare nello scenario d'incendio di progetto F1.

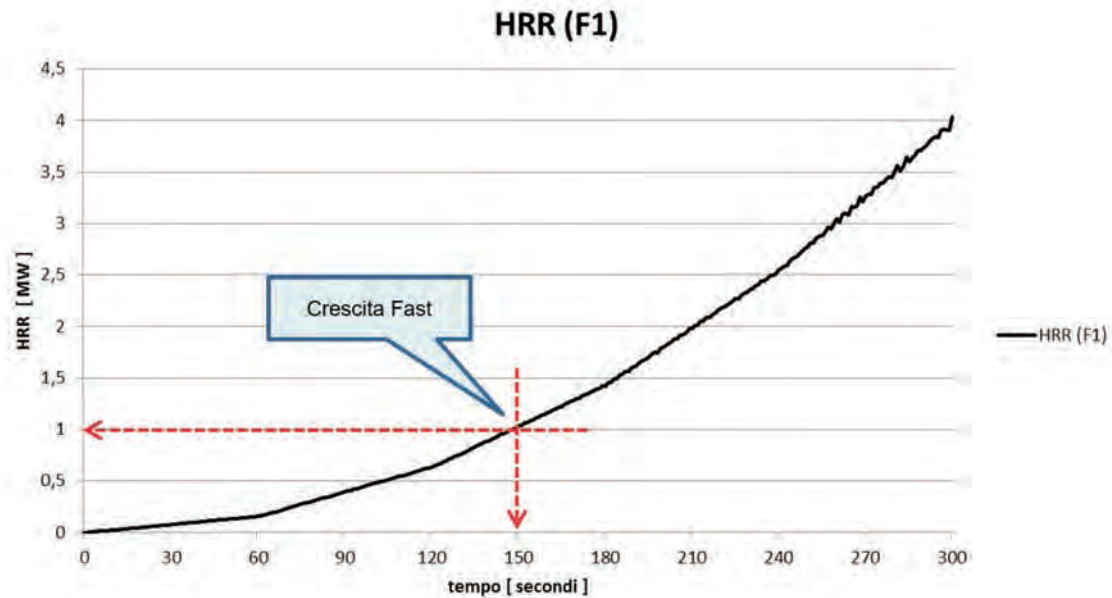
La curva HRR adottata, di tipo *fast*, con velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio t_α pari a 150 s (α pari a 0,0444), è coerente con la tipologia del materiale presente nel deposito.



SUDDIVISIONE IN TRE SERBATOIO DI FUMO E POSIZIONE DEL FOCOLARE CON INDICAZIONE DEI 3 SERBATOI DI FUMO



CURVA HRR DI PROGETTO



CURVA HRR DI PROGETTO - DETTAGLIO DELLA FASE DI CRESCITA

Risultati delle simulazioni

Calcolo di RSET

Il tempo RSET viene calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti raggiungono un luogo sicuro.

Si rimanda al caso studio 1 per le definizioni e per le determinazioni del tempo di rivelazione incendio (t_{det}) e del tempo di allarme (t_a).

Entrambi questi valori, come noto, sono ricavabili dalla letteratura, ovvero dal rapporto tecnico ISO/TR 16738 e dalla norma BS 7974:2019.

Anche nel caso in esame si è fatto riferimento al documento di E. Gissi, citato nel caso studio 1, considerando un tempo pari a 120 s (attività $R_{vita} = A3$, dotata di IRAI).

Per quanto riguarda il tempo di pre-movimento ($t_{pre(1^\circ)}$ e $t_{pre(99^\circ)}$) si è assunto un valore corrispondente alla configurazione ($R_{vita} = A3$) → M1, B1-B2, A1-A2 (30 s - 90 s).

Il tempo di movimento (t_{tra}) è calcolato come quoziente tra la massima lunghezza del percorso fino all'uscita di piano (48 m) e la velocità di traslazione orizzontale assunta per gli occupanti (1,19 m/s) come segue:

$$t_{tra(pres)} = L_{es} / v = 48 \text{ m} / 1,19 \text{ m/s} = 40 \text{ s}$$

avendo considerato una velocità di esodo in piano v pari a 1,19 m/s e, considerate le condizioni di affollamento, l'assenza di formazione di code davanti alle uscite.

In definitiva risulta:

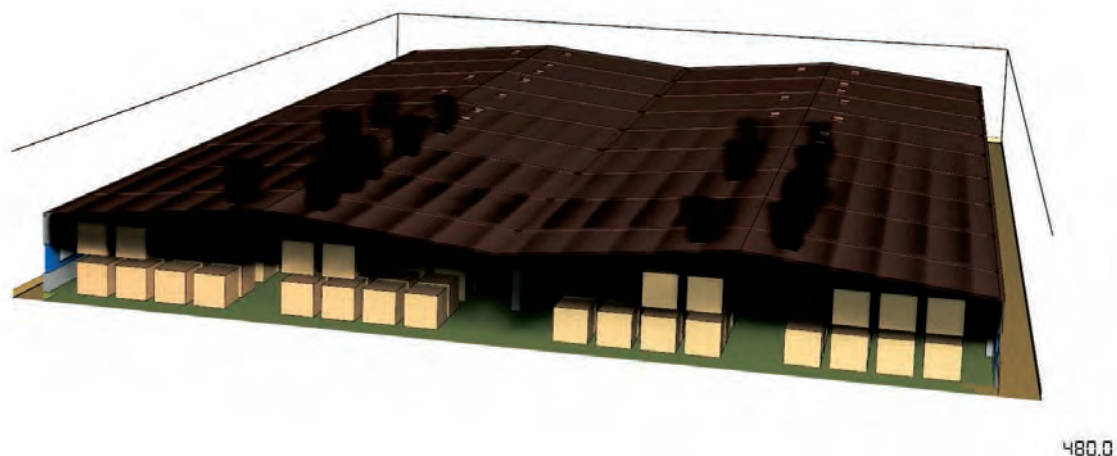
$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra} = 120 + 90 + 40 = 250 \text{ s}$$

Arrotondando, si considera:

$$RSET = 4 \text{ min}$$

Sulla base delle indicazioni del cap. M.3 si considera un valore doppio di RSET:

$$2 \times RSET = 2 \times 4 \text{ min} = 8 \text{ min}$$



RAPPRESENTAZIONE DEI FUMI DOPO 8 MIN (2 x RSET = 480 s)

Calcolo di ASET

La valutazione del tempo disponibile per l'esodo ASET viene eseguita utilizzando il *metodo di calcolo avanzato per ASET*, secondo il par. M.3.3.1.

Per eseguire tale calcolo di ASET si prende a riferimento (vedi par. M.3.3.1.2) la norma ISO 13571, secondo la quale, come noto, il valore di ASET globale è definito come il più piccolo tra gli ASET calcolati secondo quattro modelli esaminati nella prima parte della presente pubblicazione:

- a) Modello dei *gas tossici*;
- b) Modello dei *gas irritanti*;
- c) Modello del *calore*;
- d) Modello dell'oscuramento della *visibilità* da fumo.

I risultati delle simulazioni relative allo scenario d'incendio F1 sono riportati nelle schede di seguito allegate che restituiscono, per ciascun di essi, le visualizzazioni grafiche e le rispettive scale dei valori degli andamenti dei seguenti parametri:

- Visibilità
- Temperatura
- CO
- Irraggiamento

Come riportato nella tabella seguente, ogni parametro significativo di inabilità in fase di esodo è stato rilevato con sonde posizionate all'altezza da terra prescritta nei metodi di cui al cap. M.3.3:

Parametro	Altezza (m)	Valore soglia occupanti	Valore soglia soccorritori
Visibilità	1,80	≥ 10 m	≥ 5 m
Temperatura	1,80	≤ 60 °C	≤ 80 °C
CO	1,80	≤ 0,1	-
Irraggiamento	1,80	≤ 2,5 kW/m ²	≤ 3 kW/m ²

Le visualizzazioni grafiche sono relative alle due fasi temporali corrispondenti alle soglie di prestazione per gli occupanti e per i soccorritori.

Soglie di prestazione per gli occupanti

Ai fini della verifica dei livelli di prestazione si fa riferimento al cap. M.3 (tab. M.3-2); le soglie di prestazione per la sicurezza degli occupanti sono state verificate al tempo 2 x RSET:

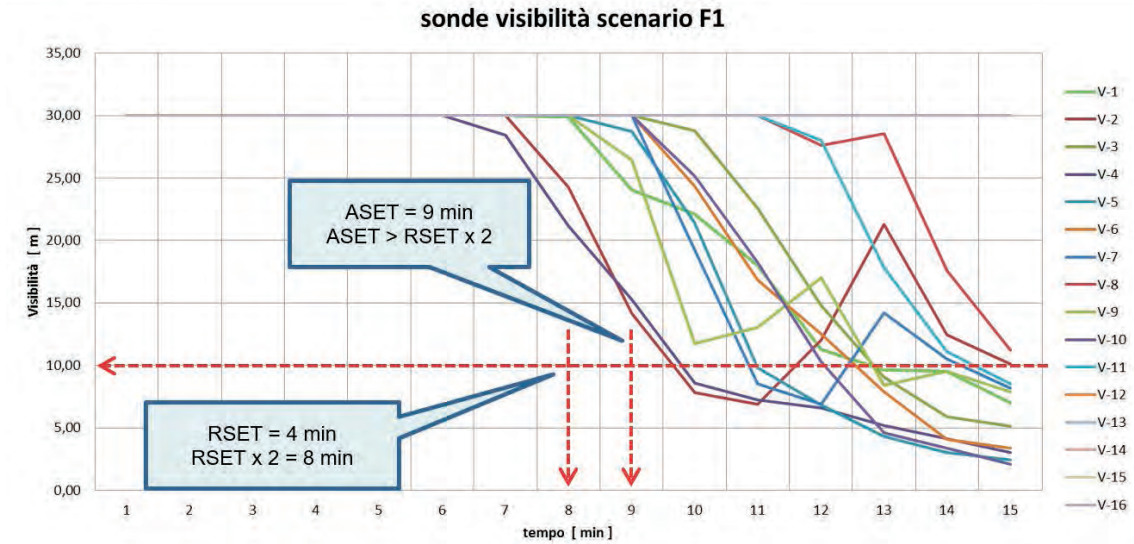
$$\text{ASET} > \text{RSET} + t_{\text{marg}} = 8 \text{ min} = 480 \text{ s}$$

Soglie di prestazione per i soccorritori

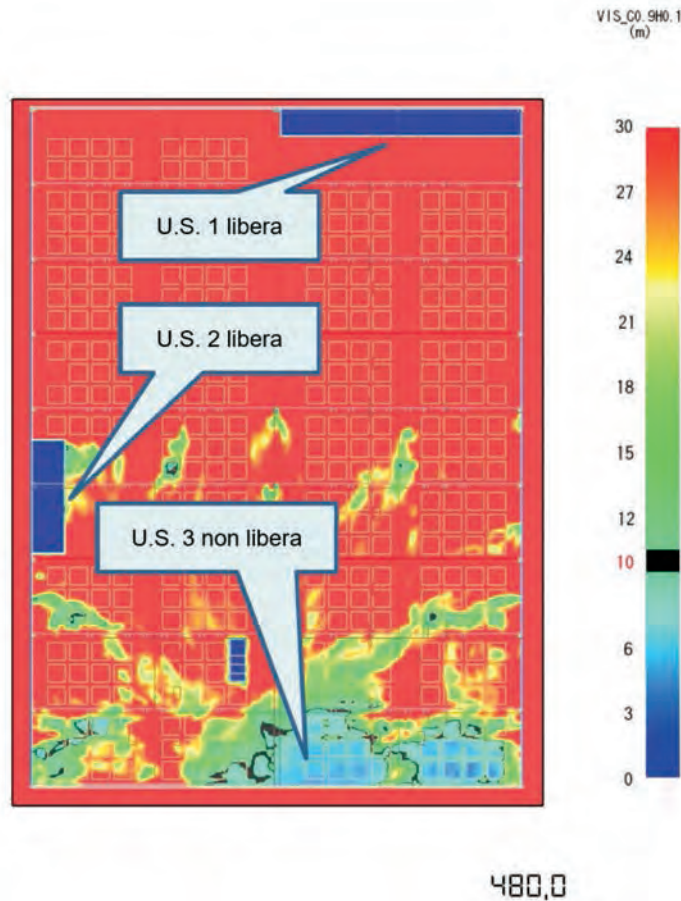
Le soglie di prestazione per la sicurezza dei soccorritori sono state verificate al tempo che la norma UNI 9494-1 definisce come tempo di arrivo dei VV.F., ai fini della verifica:

tempo di arrivo dei VV.F. = 13 min = 780 s

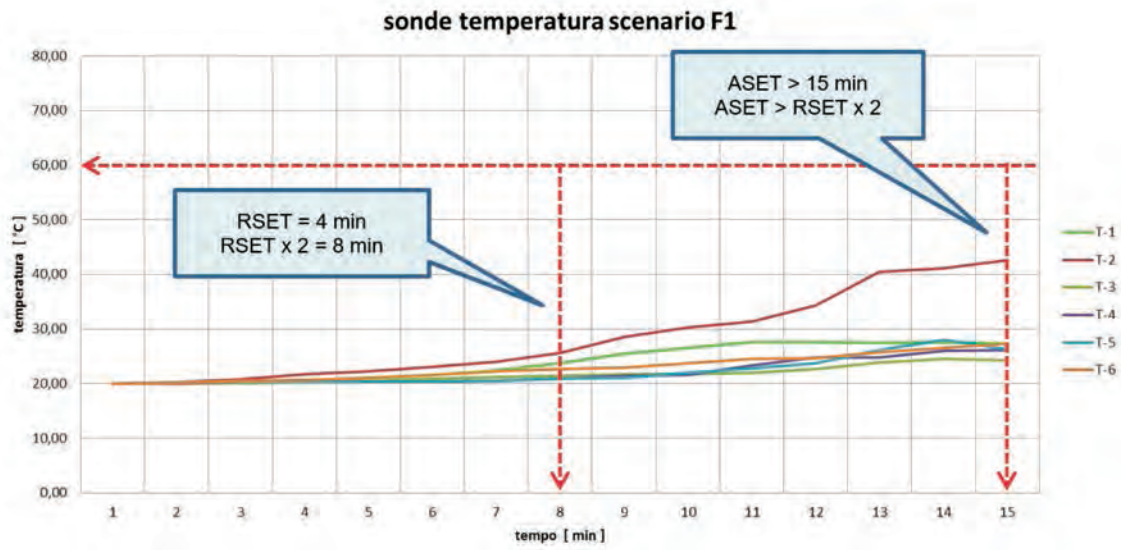
Verifica della sicurezza degli occupanti - Visibilità



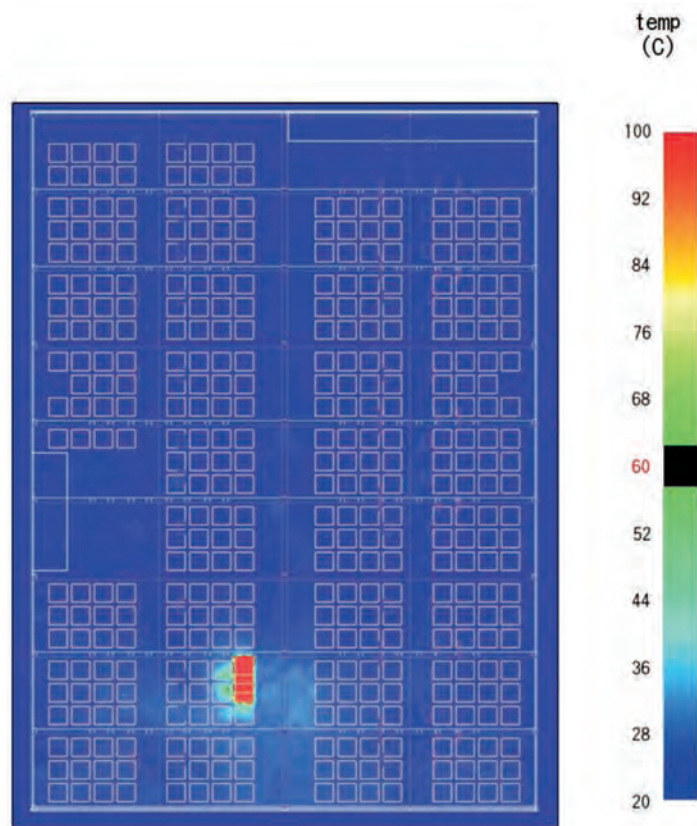
Sonde di visibilità in relazione alle uscite di sicurezza



Verifica della sicurezza degli occupanti - Temperatura

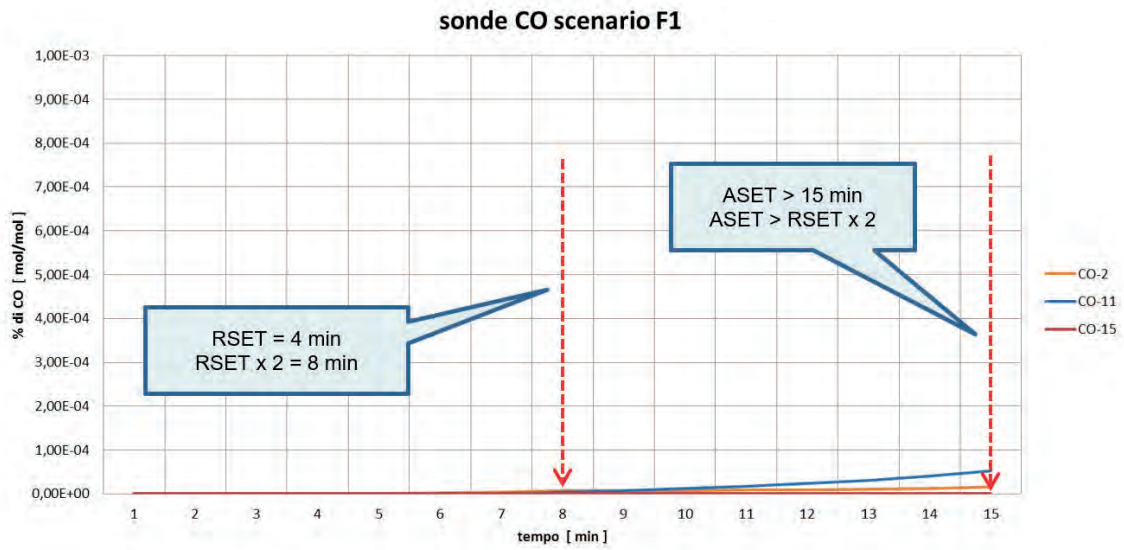


Sonde di temperatura

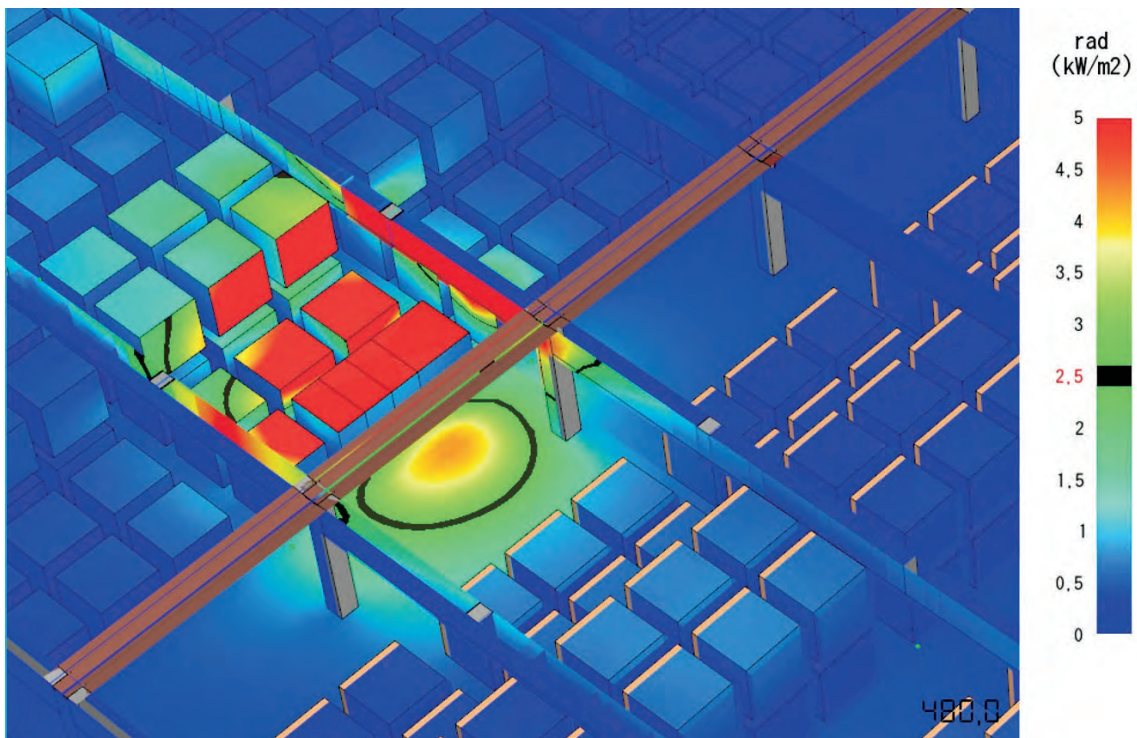


480,0

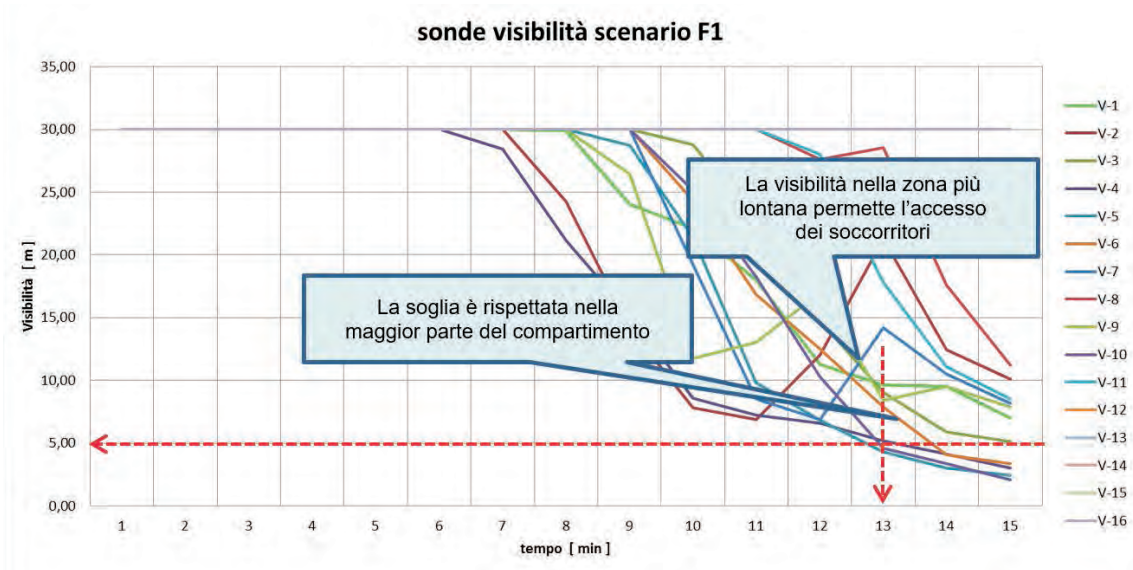
Verifica della sicurezza degli occupanti - Monossido di carbonio



Verifica della sicurezza degli occupanti - Irraggiamento

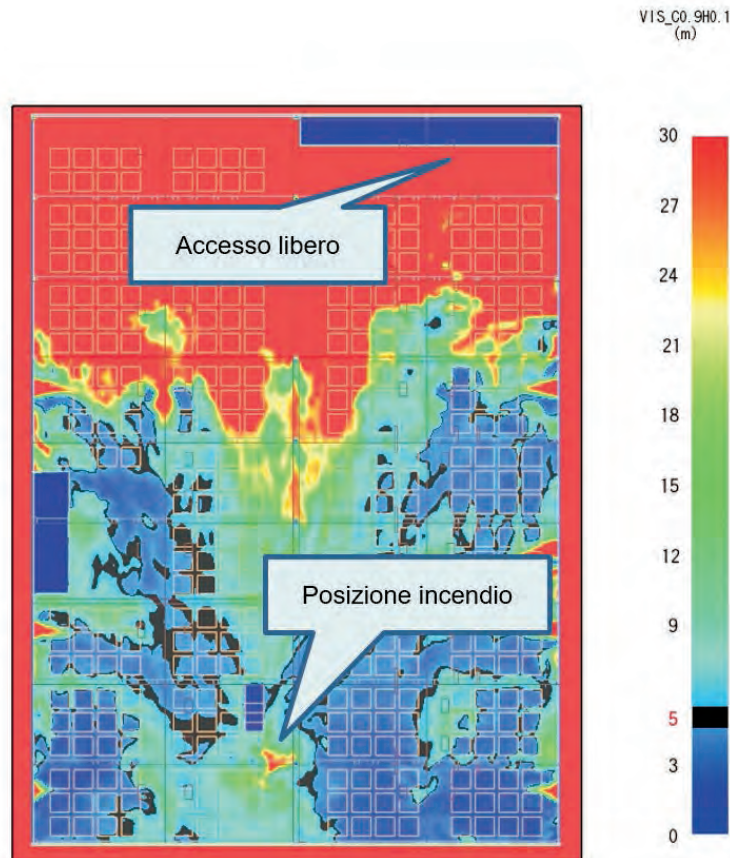


Verifica della sicurezza dei soccorritori - Visibilità



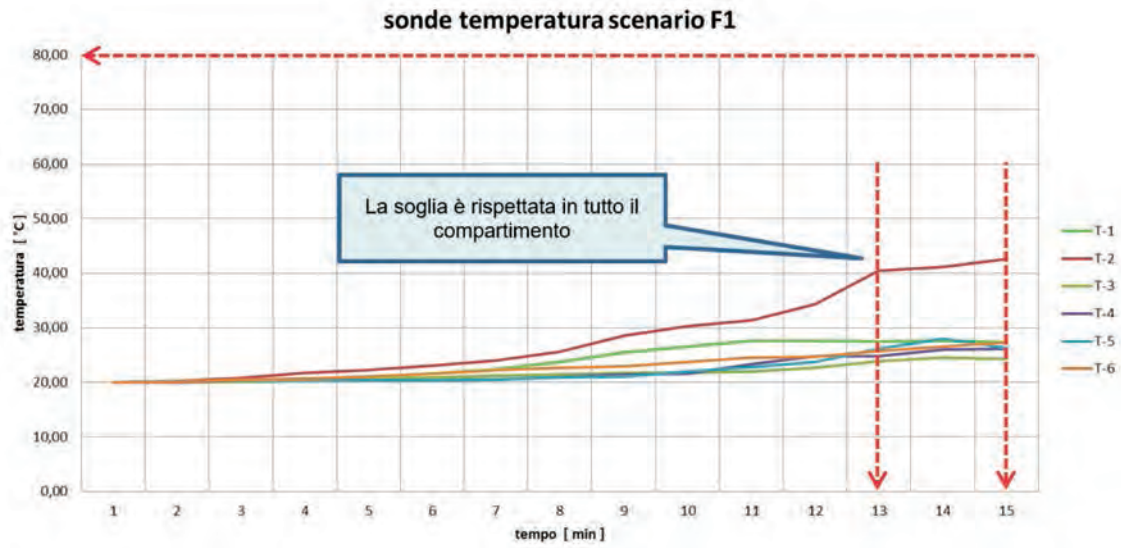
Come si evince dal grafico precedente, la soglia della visibilità di 5 m è generalmente rispettata dopo 13 m dall'inizio dell'incendio; le uniche sonde che non riscontrano valori accettabili sono V4, V5, V10.

Sonde di visibilità in relazione alle uscite di sicurezza

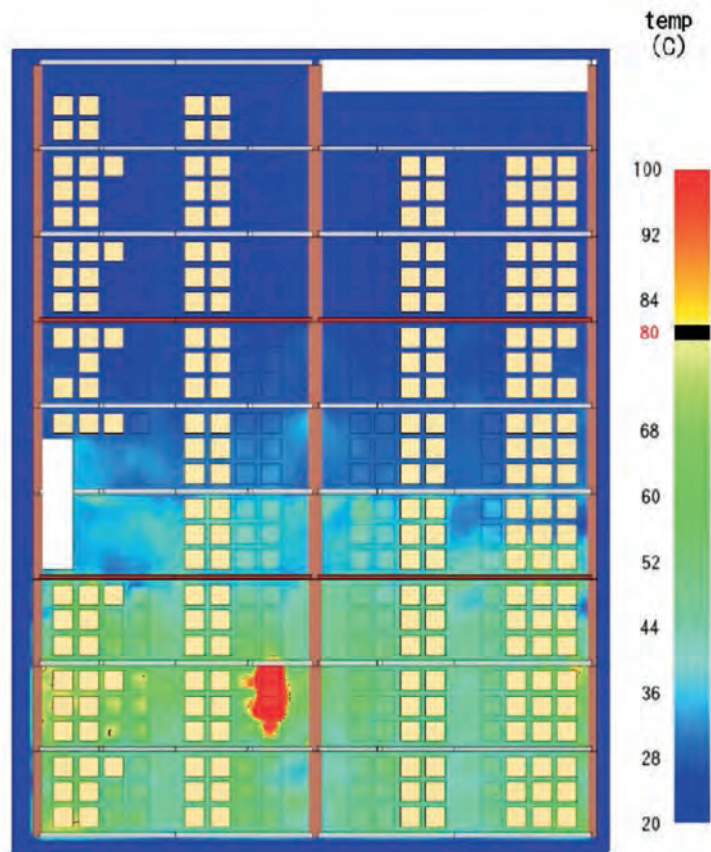


780,0

Verifica della sicurezza dei soccorritori - Temperatura

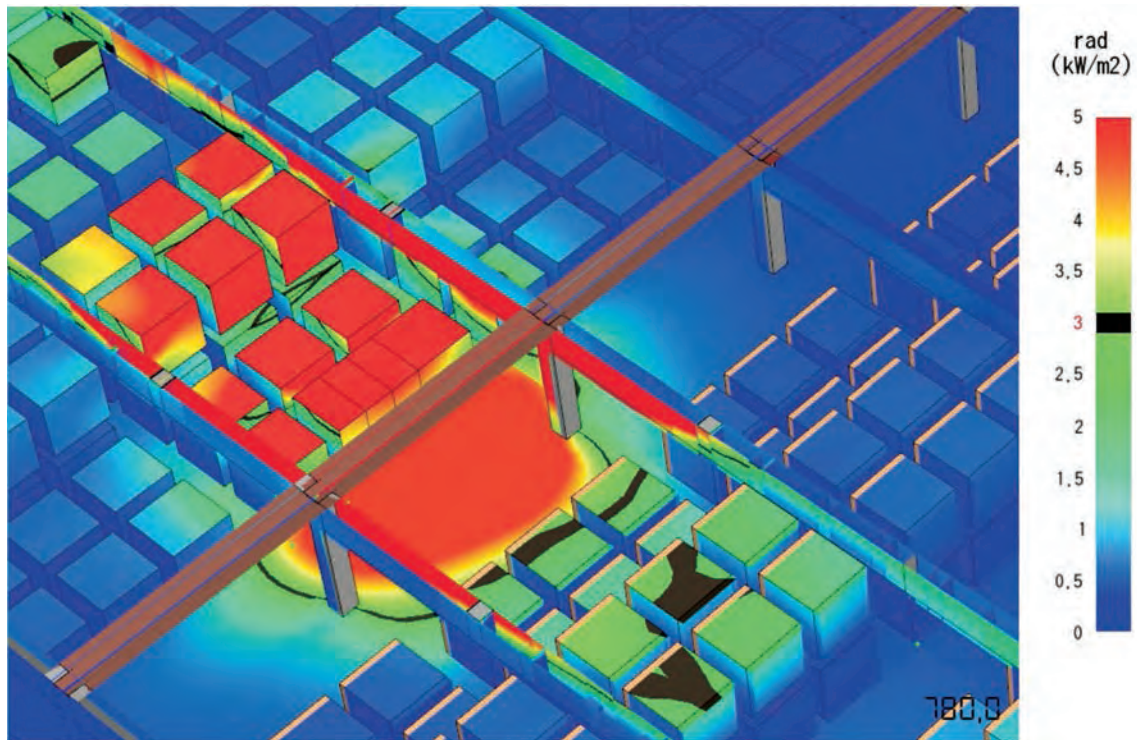


Sonde di temperatura



780,0

Verifica della sicurezza dei soccorritori – Irraggiamento



Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata dimostrata una *soluzione alternativa* con riferimento alla misura S.8, al fine di garantire un livello II di prestazione che consenta, in funzione della tipologia dell'attività e degli occupanti, anche gli obiettivi di sicurezza del livello III.

A tale scopo si è sviluppato, seguendo le modalità del Codice ed utilizzando la più recente versione della norma UNI 9494-1, un progetto che prevede una misura denominata Smaltimento di Fumi e Calore di Emergenza (SFCE).

Prima verifica complessiva della coerenza con il Codice, considerato che il progetto originario era sviluppato secondo la normazione precedente, si è quindi analizzata una particolare soluzione, che rientrerebbe nel livello II di prestazione ma in grado di fornire prestazioni superiori.

Come previsto nel cap. G.2.6, la dimostrazione della *soluzione alternativa* è stata eseguita con i metodi dell'ingegneria antincendio.

Lo sviluppo della *soluzione alternativa*, ai sensi dei capp. M.1, M.2 e M.3 ha condotto la progettazione sul piano prestazionale, per cui è stato possibile verificare quantitativamente l'efficacia del sistema di ventilazione proposto.

Gli obiettivi di sicurezza, che si riferiscono alla sicurezza degli occupanti e dei soccorritori, sono stati analizzati con il criterio $ASET > RSET$, ai sensi del cap. M.3.

Partendo dai parametri indicati dalla norma UNI 9494-1:2017, Appendice G, è stato dimensionato un SFCE, verificandone le prestazioni con apposite modellazioni d'incendio, utilizzando il software FDS.

❖ *Commento dei risultati*

Il presente caso studio dimostra che il Codice consente la progettazione di soluzioni diverse da quelle standard potendole dimostrare con gli strumenti più idonei, che in questo caso sono rappresentati dalle modellazioni CFD d'incendio.

Eventuali strumenti diversi possono essere adottati, se ritenuti idonei dal professionista antincendio, nell'ambito della stessa filosofia del Codice, che garantisce maggiore flessibilità attribuendo allo stesso l'onere dell'analisi quantitativa delle soluzioni proposte.

❖ *Eventuali sviluppi ulteriori*

I metodi per effettuare il controllo dei fumi e del calore sono molteplici ed è in capo al progettista, sulla base della specifica valutazione del rischio incendio, la scelta della misura ritenuta più adatta.

Il Codice fornisce la guida metodologica per l'analisi della configurazione di progetto, sulla scorta sia delle normative di settore, anche internazionali, che di apposite modellazioni con software di tipo CFD.

Caso studio 11: soluzione alternativa per il livello di prestazione Il misura S.2 - magazzino

Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un magazzino intensivo, collocato all'interno di un capannone industriale completamente isolato da altri fabbricati, sviluppato su un unico piano fuori terra.

Il capannone presenta un'estensione pari a circa 10600 m² con altezze, interna netta e di gronda, pari rispettivamente, a 8,60 m e 10,75 m.

All'interno del magazzino è previsto lo stoccaggio e la movimentazione di parti meccaniche metalliche che non posseggono caratteristiche di combustibilità; pertanto, il carico d'incendio è rappresentato dai materiali di imballaggio, quali pallets, casse e cassette in legno e plastica, film estensibile in polietilene, ecc..

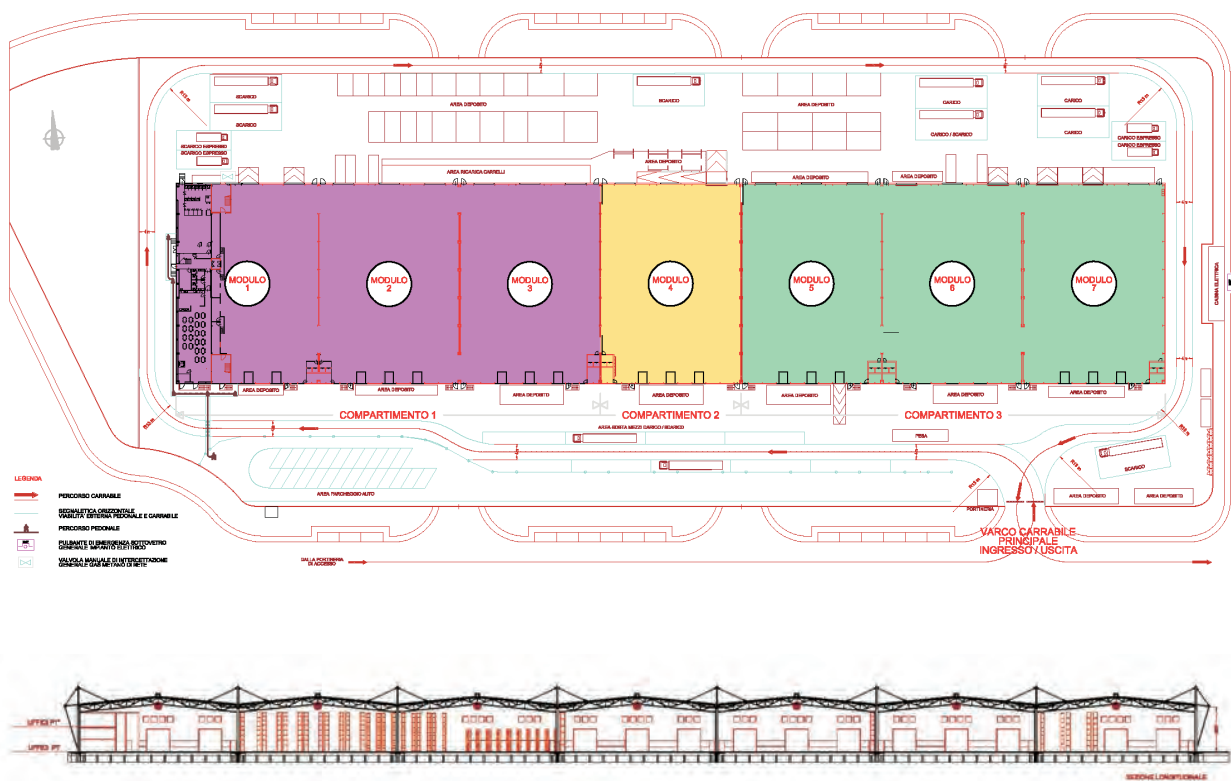
A seguito di un'analisi preliminare, è emerso che la protezione passiva delle strutture metalliche portanti del capannone, considerate le dimensioni del magazzino, risulterebbe essere particolarmente onerosa.

Tale aspetto ha di fatto impedito la piena osservanza delle *soluzioni conformi* previste per la misura S.2 (Resistenza al fuoco) e, pertanto, nel presente caso studio viene illustrata la dimostrazione di un'opportuna *soluzione alternativa*.

Si evidenzia fin d'ora che, per gli scopi della presente pubblicazione, non verrà trattata la parte relativa alle valutazioni strutturali di resistenza al fuoco successiva alle valutazioni di FSE, che richiede pari competenze ed importanti oneri computazionali, soprattutto in caso di modellazioni di sottostrutture o dell'intera struttura.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni geometriche dei compartimenti	Compartimento 1: A = 4400 m ² (Moduli 1, 2, 3)
	Compartimento 2: A = 1770 m ² (Modulo 4)
	Compartimento 3: A = 4400 m ² (Moduli 5, 6, 7)
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti metalliche di tipo reticolare



Inserimento planimetrico e sezione longitudinale del capannone industriale con indicazione della compartimentazione

Compartimenti antincendio	Il magazzino è composto da 3 compartimenti antincendio
Numero occupanti	< 100 dichiarati dal titolare dell'attività (nessun disabile)
Profilo di rischio R_{vita}	A2 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R_{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello I di prestazione (par. S.1.3 e par. S.1.4)
Resistenza al fuoco	Livello di prestazione equivalente al II (par. S.2.3 e par. S.2.4.7)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.1)
Esodo	Livello I di prestazione (par. S.4.3 e par. S.4.4.1)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello IV di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.3) Rete di idranti (UNI 10779) e Impianto di estinzione automatica (UNI 12845)
Rivelazione ed allarme	Livello IV di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (par. S.8.3 e par. S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)

Obiettivi dello studio

Come anticipato in premessa, la scelta di evitare la protezione passiva delle strutture metalliche portanti, impedisce la conformità al livello di prestazione II per la misura S.2 (Resistenza al fuoco) in quanto:

- non sono rispettate le prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni in base agli incendi convenzionali di progetto, come previsto al par. S.2.5;
- la classe minima di resistenza al fuoco risulta inferiore a quella richiesta.

Ai fini dell'incendio, all'interno del magazzino non sono eseguite lavorazioni pericolose né sono impiegati impianti pericolosi; le attività svolte sono esclusivamente rivolte alla movimentazione, allo stoccaggio e al confezionamento/imballaggio di merce.

È prevista la presenza di attrezzature elettriche ed elettroniche e di impianti elettrici, che possono rappresentare un'ipotetica fonte di innesco d'incendio.

Il presente studio vede l'applicazione di una *soluzione alternativa* nell'ambito delle misure previste nel cap. S.2 per la resistenza al fuoco.

Nello specifico, lo sviluppo della *soluzione alternativa* è stata condotta applicando i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio secondo le procedure, ipotesi e limiti indicati nei capp. M.1, M.2 e M.3, e secondo le procedure previste dalla normativa vigente”.

In particolare si utilizzerà tale approccio per:

- valutare i tempi di esodo richiesti per sfollare completamente il magazzino (RSET);
- valutare il tempo disponibile per lo svolgimento regolare delle procedure di esodo (ASET);
- analizzare i gradienti termici generati negli scenari d'incendio esaminati;
- valutare il raggiungimento delle temperature critiche delle membrature strutturali in acciaio.

Definizione del progetto

Illustrazione della struttura del capannone

Il capannone presenta una struttura metallica impostata su luci di 35 m, con interasse trasversale pari a 7 m. Gli arcarecci della copertura sono realizzati da profilati in acciaio che poggiano su una trave a struttura reticolare che, a sua volta, poggia sulle colonne perimetrali ed è sospesa in campata, mediante stralli realizzati con elementi tubolari.

La travata principale, a briglie parallele, è realizzata con angolari accoppiati dorso a dorso; essa è stata dimensionata riducendone al minimo l'ingombro verticale in modo da massimizzare, a parità di volume esterno, il volume interno libero utilizzabile per lo stoccaggio delle merci.

Le pareti verticali esterne sono realizzate in pannelli sandwich, con interposta lana di roccia a fibre orientate.

Il manto di copertura è di tipo sandwich ed è realizzato da:

- lamiera esterna grecata in lega di alluminio;
- distanziali rigidi in legno;
- pannelli in lana minerale;
- lamiera interna grecata in acciaio zincato.

Le pareti di divisione tra i moduli inglobano i pilastri portanti del capannone (in carpenteria metallica).

Questi ultimi vedono le ali a vista ed esposte all'azione di un ipotetico incendio.

Le coperture sono realizzate mediante capriate formate da elementi metallici atti a formare una struttura reticolare esposta direttamente all'azione dell'incendio.

Al fine di compensare l'adozione di una *soluzione alternativa* per la resistenza al fuoco, si è deciso di potenziare il livello di prestazione relativo alle misure sulla rivelazione ed allarme prevedendo un impianto IRAI con livello di prestazione IV.

Organizzazione funzionale del capannone

La superficie del capannone è suddivisa in 7 moduli funzionali.

Nel modulo 1 è presente un'area destinata ad uffici e servizi, che si sviluppa su due piani, e un'area destinata a magazzino; in particolare, è previsto che le parti meccaniche arrivino sfuse in magazzino e, in una prima fase, siano controllate e verificate presso l'area arrivi (all'interno del modulo 1).

Successivamente, esse saranno singolarizzate, ovvero confezionate, classificate e indirizzate nelle apposite unità di carico (pallets in legno, casse e cassette in plastica, scatole di carta e cartone).

Le parti meccaniche, e gli eventuali altri materiali, saranno poi trasferiti in area di stoccaggio (moduli 2, 3 e 4) dove potranno essere depositate direttamente a terra (materiali voluminosi), su scaffalature metalliche porta pallets (materiali medi) o su scaffalature metalliche a ripiani (materiali medi e minuti).

Le suddette parti saranno, in seguito, prelevate dalle aree di stoccaggio e portate in area di smistamento (modulo 5) ed in area confezionamento ed imballaggio (modulo 6), da dove saranno trasferite all'area preparazione e spedizione (modulo 7).

I moduli funzionali non corrispondono ai compartimenti antincendio in cui è suddivisa l'attività: infatti, i moduli 1, 2 e 3 costituiscono il compartimento 1, il modulo 4 il compartimento 2 e i moduli 5, 6 e 7 il compartimento 3 (vedi figura precedente).

Obiettivi di sicurezza antincendio preposti allo sviluppo della soluzione alternativa

Oltre al perseguimento degli obiettivi primari della prevenzione incendi (sicurezza della vita umana, incolumità delle persone e tutela dei beni e dell'ambiente), nello specifico, è necessario perseguire l'obiettivo del livello di prestazione II, relativo alla misura S.2 (Resistenza al fuoco).

Livelli di prestazione da raggiungere nell'ambito della soluzione alternativa

Come già illustrato nella descrizione del caso di studio, il livello di prestazione compatibile con il profilo R_{vita} , per le misure relative alla resistenza al fuoco è il II, al quale, in conformità alla tab. S.2-1 corrisponde la necessità di "*mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione*".

Di conseguenza, si ritiene che gli obiettivi di sicurezza antincendio, da perseguire nell'analisi prestazionale dell'opera, debbano riguardare:

- la capacità portante dell'opera: tempi di raggiungimento di temperature critiche delle membrature strutturali in acciaio compatibili con l'esodo in sicurezza dei occupanti ($ASET > RSET$);
- il contenimento dei fumi e dei prodotti dell'incendio durante le fasi di esodo;
- l'esodo da parte degli occupanti.

Garantire il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio, ed i relativi livelli di prestazione, significa, pertanto, fissare valori di prestazione, che debbono essere rispettati durante l'evoluzione dell'incendio e lungo i tempi necessari all'espletamento delle varie fasi dell'emergenza.

Capacità portante dell'opera - resistenza al fuoco delle strutture

Il livello di prestazione II relativo alla misura S.2 prevede che l'opera garantisca il mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione; pertanto, nello specifico, (vedi par. S.2.4.7) le strutture dovranno garantire la stabilità meccanica sotto l'azione dell'incendio per un tempo non inferiore a 100% RSET e, comunque, non inferiore a 30 min. Ciò in ragione del fatto che i dati utilizzati sono supportati da risultati sperimentali diretti e da ripetute prove di evacuazione.

Considerata la tipologia degli elementi strutturali si è individuata una temperatura critica minima di 400 °C; supponendo, pertanto, che ciascun elemento strutturale abbia una temperatura critica minima superiore a 400°C.

Tale grandezza non è immediatamente calcolabile per elementi suscettibili di instabilità a compressione o flessione torsionale e va seguita una procedura differente da quella nota ai più, partendo da valutazioni eseguite nel dominio delle resistenze.

In generale, il valutatore esperto in FSE non deve assolutamente pensare che basti mantenere la temperatura degli elementi strutturali al di sotto di un certo valore, come i 400°C di questo esempio, per garantire la resistenza al fuoco; è comunque necessario effettuare delle valutazioni strutturali più avanzate nel dominio delle resistenze e/o del tempo, e per verificare il comportamento degli elementi suscettibili a fenomeni di instabilità a compressione e/o flessione torsionale, nonché quelli di classe 4, la cui temperatura critica ai sensi della EN 1993-1-2 è pari a 350 °C.

La capacità portante della struttura, che sia valutata per singoli elementi, per sottostrutture o per l'intera struttura, costituisce una fase, altrettanto importante e significativa, successiva a quella di FSE, che nei fatti ne costituisce l'input, in termini di curve naturali associate a ciascun scenario d'incendio di progetto.

Si ometteranno, ai fini della presente pubblicazione, le verifiche strutturali che invece, in caso di progettazione reale, occorrerà necessariamente condurre.

Contenimento dei fumi e dei prodotti dell'incendio

Contenere i fumi ed i prodotti dell'incendio significa evitare la propagazione delle fiamme e, parallelamente, assicurare condizioni micro-climatiche tali da garantire il corretto svolgimento delle procedure di esodo.

Il criterio seguito è quello di vincolare il raggiungimento dell'obiettivo mediante l'individuazione di un livello di prestazione congruo con le dimensioni e la morfologia dell'opera.

In particolare, tenuto conto delle peculiarità dell'opera, si fissano i livelli di prestazione in un campo di concentrazione che risulta innocuo anche per tempi di esposizione elevati.

A tale scopo, si riportano i valori indicativi reperiti dall'OSHA (USA Occupational Safety & Health Administration) e dall'NFPA 130, associati ai prodotti dell'incendio più comuni e prevedibili:

Parametro	Altezza (m) ³⁸	Valore soglia
Visibilità	1,80	≥ 18 m
Temperatura	1,80	≤ 50 °C
Concentrazione massima CO	1,80	50 ppm
Concentrazione massima CO ₂	1,80	0,5 %

Garantire lo smaltimento del fumo e del calore durante le fasi d'intervento delle squadre di soccorso significa verificare che, a partire dal tempo d'intervento, i seguenti parametri rimangano al di sotto dei rispettivi valori limite, rispettivamente per quanto concerne l'utilizzo di metodi semplificati e avanzati:

Esodo degli occupanti

L'esodo di tutti gli occupanti dovrà avvenire con tempi compatibili con la capacità portante dell'opera e la propagazione dei prodotti dell'incendio.

Le tempistiche saranno valutate prendendo a riferimento le indicazioni fornite nel par. M.3.2.1.

In particolare, il tempo richiesto per l'esodo (RSET) si compone del tempo di rivelazione, di allarme e di evacuazione, come ampiamente discusso nell'ambito della presente pubblicazione.

Alle persone presenti all'interno del magazzino, è stato attribuito:

- ✓ un "tempo di rivelazione" pari a 60 s;
- ✓ un "tempo di allarme" pari a 30 s;
- ✓ un "tempo di pre-movimento" pari a 210 s (valore ricavato dalla tab. M.3-1).

³⁸ L'OSHA impone i limiti di prestazione a 1,50 metri dal piano di calpestio; nell'esempio sono stati portati ad una quota di 1,80 metri in ottemperanza alle previsioni del Codice.

Per il "tempo di movimento" t_{tra} si considera, sia per i singoli moduli che per gli uffici, la lunghezza del percorso di esodo più sfavorevole.

Tale tempo è stato calcolato utilizzando la seguente formula per il calcolo della velocità³⁹:

$$S = K - a \times K \times D$$

dove:

- S è la velocità lungo il percorso di esodo;
- K è il fattore di velocità calcolato secondo la tabella seguente;
- D è la densità (p/m^2), posto pari a $0,2 p/m^2$;
- a è una costante pari a $0,266 m^2/p$.

Egress Component		K (m/s)	K (ft/min)
Corridor, aisle, ramp, doorway		1,40	275
Stair Riser mm (in.)	Stair Tread mm (in.)		
S1: 190 (7,5)	254 (10)	1	196
S2: 272 (7,0)	279 (11)	1,08	212
S3: 165 (6,5)	305 (12)	1,16	229
S4: 165 (6,5)	330 (13)	1,23	242

Fonte: PD 7974-6:2019 "HUMAN FACTORS: LIFE SAFETY STRATEGIES - OCCUPANT EVACUATION, BEHAVIOUR AND CONDITION"

Pertanto si ottiene un tempo di spostamento t_{tra} pari a circa 32 s:

Area	K	a	D	S (m/s)	Lunghezza percorso di esodo (m)	t_{tra} (s)
Moduli	1,40	0,266	0,2	1,33	40	30,18
Uffici	1,16	0,266	0,2	1,10	35	31,87

In definitiva, alla luce di quanto indicato, il tempo per l'esodo degli occupanti del magazzino (RSET) può stimarsi in circa 5' 30"':

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra} = 60 + 30 + 210 + 32 = 332 \text{ s}$$

In base a tale valore di RSET, come indicato al punto S.2.4.7 comma 1.c, dovrà essere verificata la condizione $t_{marg} \geq 100\% RSET$ (e, comunque, $\geq 30 \text{ min}$).

³⁹ CFP A_E_Guideline_No_19_2009 - Fire safety engineering concerning evacuation from buildings

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

Nell'ambito dell'analisi degli incendi più significativi si sono scelte le condizioni più gravose per l'impatto che esse possono avere sulle persone presenti nel complesso, eventualmente coinvolte in via diretta nello scenario; in particolare, sono stati ipotizzati i seguenti scenari:

- Scenario S1: incendio nell'area ricevimento merci, nel modulo 1, in prossimità di una delle due scale che consentono l'esodo sia dall'area capannone che da quella degli uffici;
- Scenario S2: incendio della merce depositata nel modulo 2.

La magnitudo degli incendi è stata valutata utilizzando il software FDS, ipotizzando la propagazione dell'incendio da una scaffalatura all'altra sulla base di dati sperimentali inerenti la reazione al fuoco dei materiali presenti.

Scenario S1, incendio nell'area ricevimento merci nel modulo 1

Lo Scenario S1 è stato scelto perché ritenuto significativo ai fini della verifica dell'esodo dall'area uffici, unica di tutto il complesso, articolata su due livelli distinti (piano terra e primo piano) e quindi critica ai fini dell'analisi prestazionale.

Detta area è situata in una delle due estremità del capannone, nel modulo 1, porzione destinata all'accoglienza della merce ed alle operazioni di rimozione degli imballi.

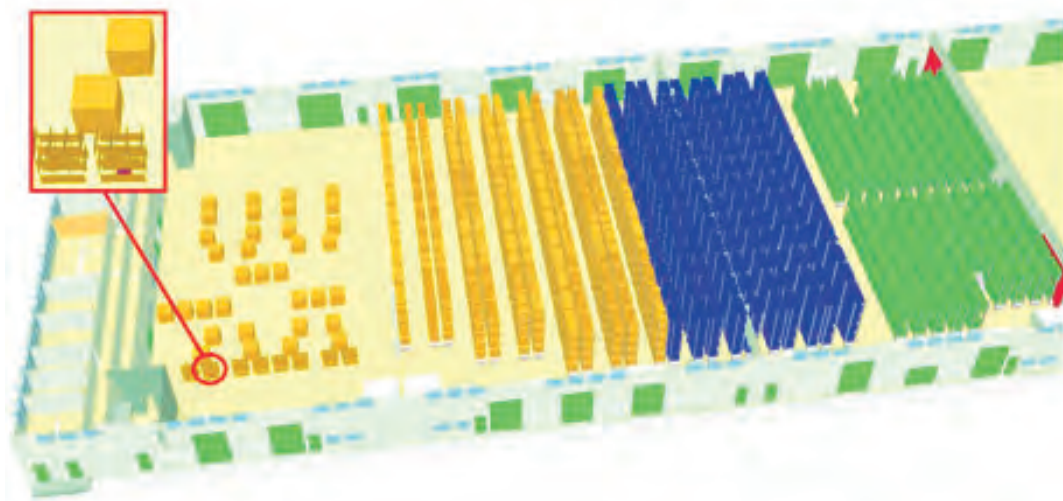
Sebbene il carico d'incendio nel modulo 1 sia modesta, e quindi poco significativa ai fini delle conseguenze sulle strutture, il rischio della formazione di un focolare è amplificato dalla presenza dei residui delle operazioni di apertura degli imballi.

Per tale motivo si è ritenuto significativo un focolare che veda coinvolto, nella fase iniziale, materiale di protezione (legno, carta ecc.) innescato per cause accidentali dagli operatori presenti.

Lo Scenario S1 considera il principio d'incendio localizzato in prossimità del corpo scale, in adiacenza alla centrale idrica.

Si è ipotizzato, quindi, che in detta posizione possa crearsi un accumulo di materiali da imballaggio (es.: ligneo, plastico o cartaceo) in adiacenza a 8 cataste di euro pallets, di altezza pari a 2,50 m.

Il focolare, alimentato dal materiale sfuso, sollecitando termicamente le cataste, darà luogo alla evoluzione dell'incendio secondo una curva naturale calcolata sulla base di curve di reazione al fuoco direttamente derivate da dati sperimentali.



DESCRIZIONE DELLO SCENARIO S1

Scenario S1 - Posizione del focolare

Si è ipotizzato che tutti i portoni di carico/scarico del modulo 1 e le porte di accesso allo stesso siano chiuse. Al fine di valutare i possibili effetti dell'incendio all'interno degli uffici, in via cautelativa si è ipotizzato invece che le porte di collegamento tra questi e il modulo 1 siano aperte per tutta la durata della simulazione, così da permettere l'eventuale propagazione dei fumi all'interno degli stessi.

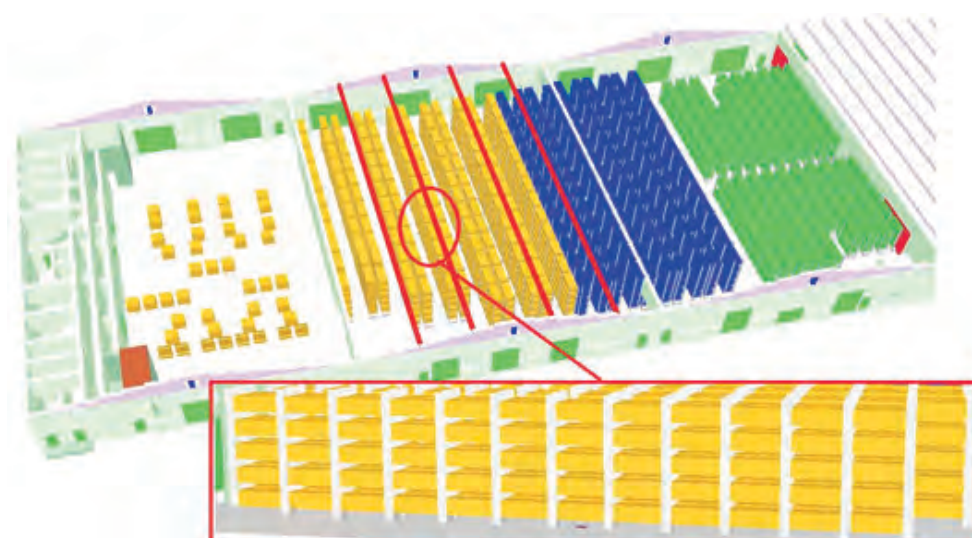
Infine, in favore di sicurezza, si è prevista la presenza simultanea di tutti gli occupanti e, per rendere la simulazione aderente alla realtà operativa, si è prevista l'attivazione automatica degli sprinkler (impianto sprinkler a disponibilità superiore).

Scenario S2, incendio della merce depositata nel modulo 2

Lo Scenario S2 è stato scelto perché ritenuto significativo ai fini della verifica prestazionale dell'opera, in ragione del carico d'incendio (equivalente o maggiore rispetto a quello riscontrabile negli altri moduli) e in ragione della posizione prossima al modulo 1, che costituisce area critica ai fini dell'esodo in sicurezza.

Lo Scenario S2 considera lo sviluppo dell'incendio a partire dal focolare posizionato nel modulo 2 in prossimità degli scaffali al cui interno, oltre alle parti meccaniche, sarà contenuto principalmente legno e materiale plastico di imballaggio.

Si è ipotizzato che il focolare sia generato da un innesco accidentale di materiale di imballaggio sfuso, accidentalmente abbandonato lungo le corsie e quindi sarà lo stesso dello scenario precedente.



DESCRIZIONE DELLO SCENARIO S2

Scenario S2 - Posizione del focolare

La posizione centrale del focolare, unitamente al riempimento totale degli impilaggi, è stata individuata per favorire al massimo la possibilità di propagazione del fronte di fiamma, rendendo tale scenario assai critico ai fini della verifica prestazionale dell'attività.

La sollecitazione termica delle casse darà luogo all'evoluzione dell'incendio secondo una curva naturale calcolata sulla base di curve di reazione al fuoco direttamente derivate da dati sperimentali.

Al fine di estremizzare l'accumulo dei fumi si è ipotizzato che tutti i portoni di carico/scarico e le porte di accesso allo stesso siano chiuse.

Invece, per valutare i possibili effetti dell'incendio all'interno degli uffici, si è ipotizzato che le porte di collegamento tra questi e il modulo 1 siano aperte per tutta la durata della simulazione, così da valutare l'eventuale propagazione dei fumi all'interno degli stessi.

Infine, in favore di sicurezza, si è prevista la presenza simultanea di tutti gli occupanti e, per rendere la simulazione aderente alla realtà operativa, si è prevista l'attivazione automatica degli sprinkler (impianto sprinkler a disponibilità superiore).

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

Gli incendi di progetto sono stati calcolati in modo da tenere in debito conto l'influenza delle modalità di stoccaggio sulla propagazione del fronte di fiamma.

Per ottenere tale risultato ci si è basati su dati sperimentali disponibili in letteratura, mirati a caratterizzare la reazione al fuoco del legno utilizzato per gli imballaggi (abete rosso).

In particolare, i dati sperimentali sono stati tratti dai risultati delle prove d'incendio in scala reale ottenuti in laboratorio, rivolte principalmente alla caratterizzazione del carico d'incendio nei magazzini di tipo intensivo ove è prevista la presenza di materiale immagazzinato su pallet.

Il test mirava a rappresentare l'innesco di una catasta di pallet di legna al livello piano terra di un deposito, prendendo a riferimento lo schema di seguito riportato:

SCENARIO DI RIFERIMENTO PER IL TEST OTTENUTI IN LABORATORIO

L'innesco, analogamente a quanto ipotizzato nella definizione degli scenari, è stato identificato nel materiale da imballaggio sfuso e posto a terra.

La sua azione termica è stata riprodotta per 600 s mediante l'impiego di un bruciatore, alimentato a propano, in grado di generare il seguente incendio standard:

- profilo di rilascio di calore del bruciatore (600s in totale):

Tempo	Potenza
120 s	30 kW
480 s	50 kW

- portata di aria al miscelatore Venturi: 120 NI/min;
- posizionamento del bruciatore (superficie di produzione fiamma) a 110 mm dalla superficie del secondo pallet della catasta da terra;
- flusso di esaustione nella cappa (conforme allo standard ISO 9705) = 2 m³/s.

L'oggetto della prova d'incendio in scala reale era rappresentato dalla catasta di pallet nella configurazione di seguito riportata:

Dettagli:

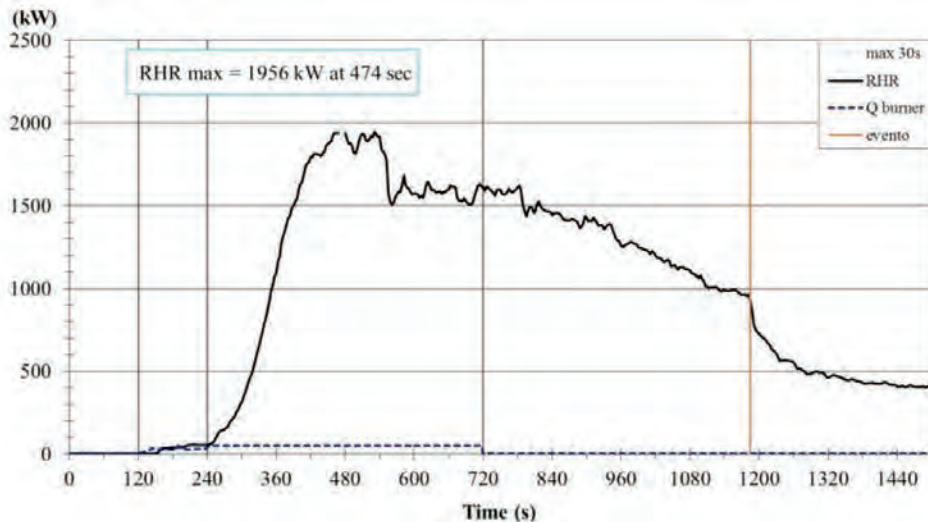
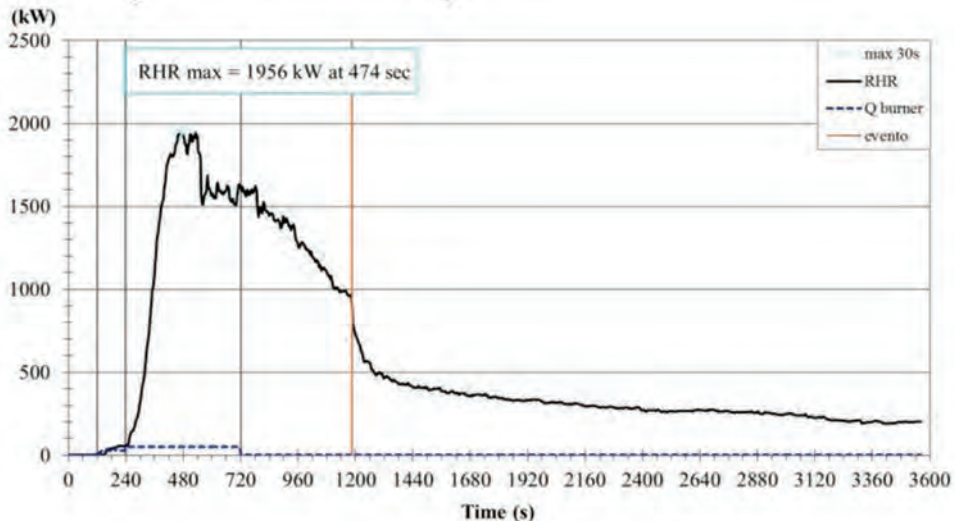
- Tipo di pallet: EUR
- Materiale: legno
- Peso singolo pallet = 25 kg
- Numero pallet in catasta = 10
- Altezza totale catasta = 144 cm

Dimensioni:





La prova ha prodotto i seguenti risultati in termini di potenza rilasciata:



La caratterizzazione del legno è stata effettuata cercando di riprodurre detto comportamento. Dopo aver ottenuto la curva di rilascio termico si è scelta la reazione chimica di combustione. Nel caso in esame l'incendio di progetto è stato caratterizzato attribuendo come reazione principale quella derivante dal legno; per completezza si riportano di seguito i dati introdotti nella definizione della reazione chimica:

- formula bruta = $C_{3,4} H_{6,2} O_{2,5}$
- tasso produzione particolato in condizioni ventilate = 0,010 %
- tasso produzione monossido di carbonio (CO) in condizioni ventilate = 0,085 %

Verifica delle prestazioni con modelli avanzati

Scelta del modello di calcolo

Nel presente caso studio si riportano le simulazioni d'incendio sviluppate con l'utilizzo di modelli avanzati, quali le simulazioni fluidodinamiche d'incendio, in quanto la dimensione dei compartimenti e la complessità degli scenari non consente di utilizzare modelli semplificati.

Dovendo valutare l'evoluzione delle condizioni micro-climatiche si è scelto di utilizzare uno dei modelli CFD che vanta il maggior lavoro di validazione nel campo della simulazione fluidodinamica dell'incendio, ovvero FDS; segue la descrizione dell'analisi effettuata.

Tridimensionalizzazione della struttura

L'acquisizione della struttura in esame è stata effettuata descrivendo lo spazio di simulazione attraverso delle celle elementari della dimensione di 50 x 50 x 50 cm.

Nelle simulazioni effettuate è stata riprodotta la porzione del magazzino coincidente con i moduli 1, 2, 3 e parte del 4.

L'estensione del dominio computazionale è pari a 140 x 50 x 12 m, per un numero complessivo di 672000 celle circa, diviso in quattro sotto domini (mesh).

Le strutture portanti, le tramezzature e le tamponature sono state approssimate, rispettivamente, a 50 cm di spessore, i solai sono stati considerati spessi 50 cm, l'altezza interpiano è stata posta pari al multiplo di 50 cm più vicino all'altezza effettiva.

Si segnala che tali approssimazioni, insite nella definizione dello spazio computazionale, non hanno influito sulla determinazione del comportamento fisico dei materiali, che sono invece descritti attraverso le loro proprietà fisico-chimiche (spessore, densità, conducibilità termica, calore specifico, emissività, calore di combustione, temperatura d'innesco, ecc.).

Scenario S1 - Analisi di sensibilità della mesh computazionale

Per le simulazioni si è studiata la dimensione ottimale della cella elementare, nella quale scomporre il dominio computazionale.

La scelta è stata operata cercando di far convergere le esigenze computazionali con l'accuratezza necessaria per la riproduzione di un incendio la cui magnitudo è stata fissata in 8 MW.

Varie pubblicazioni⁴⁰ hanno dimostrato che una buona accuratezza nella simulazione di un incendio con modelli CFD comporta un rapporto ottimale fra il diametro caratteristico dell'incendio "D" e la dimensione della cella elementare Δl normalmente compreso fra 4 e 16.

Il diametro caratteristico dell'incendio può essere calcolato applicando la seguente equazione:

$$D = \left(\frac{Q}{\rho_{aria} \cdot C_p \cdot T_{aria} \cdot \sqrt{g}} \right)^{2/5}$$

dove:

- D è il diametro caratteristico dell'incendio, espresso in m;
- Q è la potenza dell'incendio, assunta pari a pari a 8000 kW;
- ρ_{aria} è la densità dell'aria a 20 °C, assunta pari a 1,205 kg/m³;
- C_p è il calore specifico dell'aria a 20 °C, assunto pari a 1,005 kJ/kg K;
- T_{aria} è la temperatura dell'aria, assunta pari a 293,15 K;
- g è l'accelerazione di gravità, assunta pari a 9,81 m/s².

⁴⁰ Vedi la "User Guide" di FDS.

Si ottiene un diametro caratteristico minimo di 2,20 m.

Fissata la dimensione isometrica della cella Δl in 0,50 m si ottiene un rapporto R fra le due grandezze pari a:

$$R = \frac{D}{\Delta l}$$

pertanto il valore di ottenuto di R permette di affermare che la dimensione omogenea sui tre assi delle celle elementari pari a 0,5 m rientra nel campo di accettabilità così come l'accuratezza dei risultati ottenuti.

Scenario S2 - Analisi di sensibilità della mesh computazionale

Per le simulazioni si è studiata la dimensione ottimale della cella elementare, nella quale scomporre il dominio computazionale.

La scelta è stata operata cercando di far convergere le esigenze computazionali con l'accuratezza necessaria per la riproduzione di un incendio la cui magnitudo è stata fissata in 200 MW.

Il diametro caratteristico dell'incendio può essere calcolato applicando la nota equazione:

$$D = \left(\frac{Q}{\rho_{\text{aria}} \cdot C_p \cdot T_{\text{aria}} \cdot \sqrt{g}} \right)^{2/5}$$

dove:

- D è il diametro caratteristico dell'incendio, espresso in m;
- Q è la potenza dell'incendio, assunta pari a pari a 200000 kW;
- ρ_{aria} è la densità dell'aria a 20 °C, assunta pari a 1,205 kg/m³;
- C_p è il calore specifico dell'aria a 20 °C, assunto pari a 1,005 kJ/kg K;
- T_{aria} è la temperatura dell'aria, assunta pari a 293,15 K;
- g è l'accelerazione di gravità, assunta pari a 9,81 m/s².

Si ottiene un diametro caratteristico di 7,98 m.

Fissata la dimensione isometrica della cella Δl in 0,50 m si ottiene un rapporto R fra le due grandezze pari a:

$$R = \frac{D}{\Delta l}$$

pertanto il valore di ottenuto di R permette di affermare che la dimensione omogenea sui tre assi delle celle elementari pari a 0,5 m rientra nel campo di accettabilità così come l'accuratezza dei risultati ottenuti.

Riproduzione dell'impiantistica, della sensoristica e della strumentazione virtuale

Impianto di ventilazione

Non è prevista l'azione di impianti meccanici di ventilazione e/o estrazione.

Negli scenari sono state riprodotte le superfici di ventilazione naturale presenti all'interno di ciascun modulo.

Impianto di rivelazione

Negli scenari non è stato modellato l'impianto di rivelazione, ipotizzando che l'allarme venga dato tramite sistema di diffusione sonora.

Impianto sprinkler

Negli scenari è prevista l'attivazione automatica dell'impianto sprinkler.

Sensori di temperatura

Negli scenari è prevista la presenza di sensori per la misura puntuale delle temperature.

I sensori sono stati posti nelle vicinanze dell'innescò a differenti quote (intervalli regolari di un metro, a partire da 1 m dal piano di calpestio fino a 10 m) e in prossimità delle coperture dei magazzini.

Piani di misura

Nella simulazione è stata impostata la creazione di piani di misura, posti alla quota di 1,80 m e 7 m dal pavimento dei magazzini, in grado di mappare l'andamento della temperatura, della visibilità, del monossido di carbonio e dell'anidride carbonica per tutta la durata della simulazione.

Caratteristiche dei materiali

Nell'ambito della caratterizzazione delle strutture, degli scaffali, dei materiali presenti e delle parti impiantistiche si sono imposte le seguenti caratteristiche dei materiali, supposte costanti durante l'evoluzione dell'incendio:

Acciaio degli scaffali

Riferimento bibliografico: "Quintiere - Principles of fire behaviour"

$C_p = 0,46 \text{ kJ/kg K}$
Densità = 7850 kg/m^3
Conduttività = $45,80 \text{ W/m K}$
Emissività = $0,60$

Acciaio pareti

Riferimento bibliografico: "Quintiere - Principles of fire behaviour"

$C_p = 1 \text{ kJ/kg K}$
Densità = 7850 kg/m^3
Conduttività = $0,10 \text{ W/m K}$
Emissività = $0,60$

Calcestruzzo

Riferimento bibliografico: "Quintiere, Fire Behavior"

$C_p = 0,88 \text{ kJ/kg K}$
Densità = 2100 kg/m^3
Conduttività = $1,1 \text{ W/m K}$
Emissività = $0,80$

Vetro

Riferimento bibliografico: "Quintiere, Fire Behavior"

$C_p = 0,84 \text{ kJ/kg K}$
Densità = 2700 kg/m^3
Conduttività = $0,76 \text{ W/m K}$
Emissività = $0,60$

Legno

Riferimento bibliografico: "Perry e SFPE Handbook"

$C_p = 1,81 \text{ kJ/kg K}$
Densità = 460 kg/m^3
Conduttività = $0,014 \text{ W/m K}$
Emissività = $0,80$

Lana di roccia

$C_p = 0,7 \text{ kJ/kg}$
Densità = 100 kg/m^3
Conduttività = $0,036 \text{ W/m K}$

PEHD - Polietilene Alta Densità

$C_p = 2,25 \text{ kJ/kg K}$
Densità = 950 kg/m^3
Conduttività = $0,49 \text{ W/m K}$

Risultati delle simulazioni per lo Scenario S1

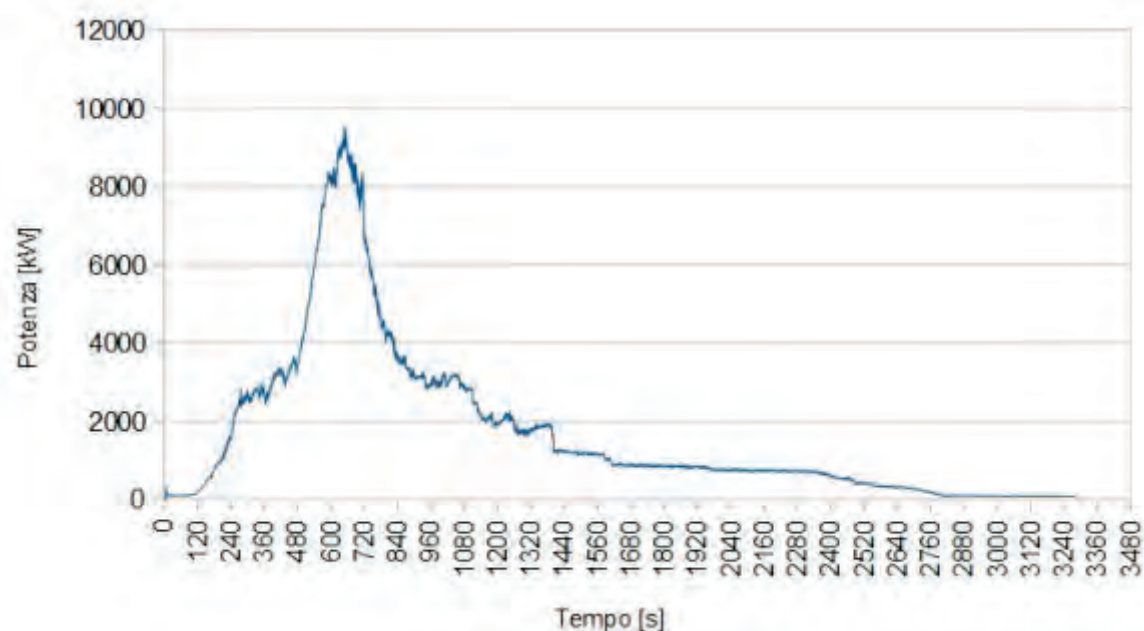
Evoluzione dell'incendio

Il grafico dell'evoluzione dell'incendio per i primi 240 s (4 min) si mantiene al di sotto dei 2 MW mentre fino a 480 s (8 min) non supera i 4 MW.

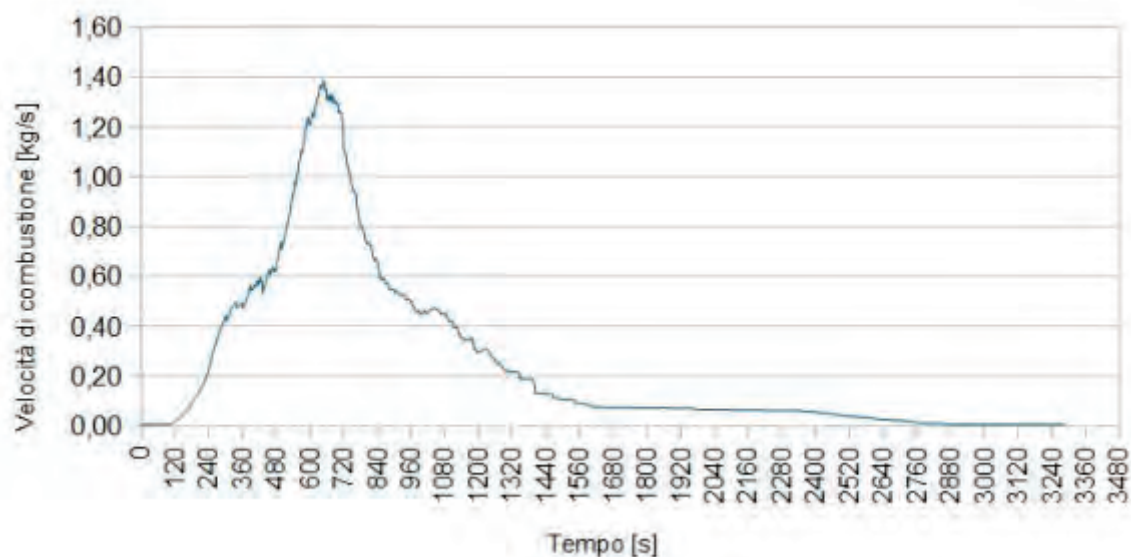
Tra 500 e 700 s, la potenza aumenta notevolmente sfiorando i 10 MW.

In seguito, la potenza diminuisce poiché l'incendio si è propagato solamente nelle immediate vicinanze dell'innesco, non coinvolgendo le casse più lontane.

Seguono i grafici illustrativi della potenza rilasciata e della velocità di combustione:



EVOLUZIONE DELLA POTENZA RILASCIATA DALL'INCENDIO - SCENARIO S1

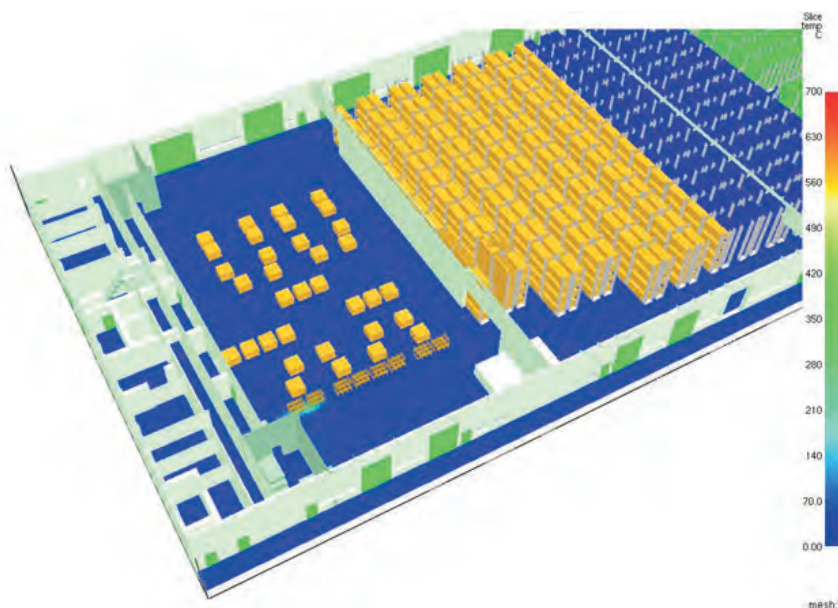


EVOLUZIONE DELLA VELOCITÀ DI COMBUSTIONE - SCENARIO S1

La limitata propagazione è legata all'azione degli sprinkler che si attivano a 300 s raffreddando l'intorno del focolare.

Evoluzione della temperatura

Durante la simulazione in nessuno dei moduli i valori della temperatura assunti alla quota dell'esodo superano il valore limite di 50 °C per i tempi necessari all'esodo dal modulo stesso.



TEMPERATURE A 360 S A 1,8 M DAL SUOLO - SCENARIO S1

In realtà, il limite dei 50 °C non viene superato, con la sola eccezione delle zone immediatamente limitrofe alla fiamma, per l'intera durata dell'incendio, rendendo tale scenario gestibile nel tempo.

Anche le temperature registrate all'intradosso delle coperture non superano, per l'intera durata della simulazione, i 260 °C dimostrando che la struttura subisce stress termici che, a seguito delle omesse verifiche strutturali, non ne compromettono la stabilità meccanica.

Evoluzione della visibilità

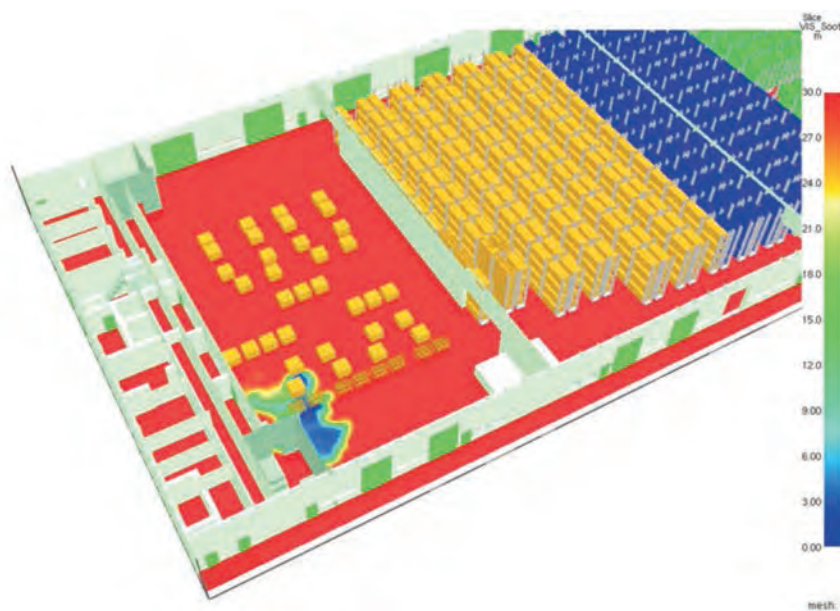
Considerate le dimensioni del modulo 1 e l'entità dell'incendio, la visibilità al suo interno si riduce solo in prossimità dell'innesco e nelle vicinanze del corpo scala lato Sud.

Nonostante siano state lasciate aperte le porte di accesso alla scala che conduce al piano superiore degli uffici, la visibilità nel corpo scala inizia ad attenuarsi dopo 600 s.

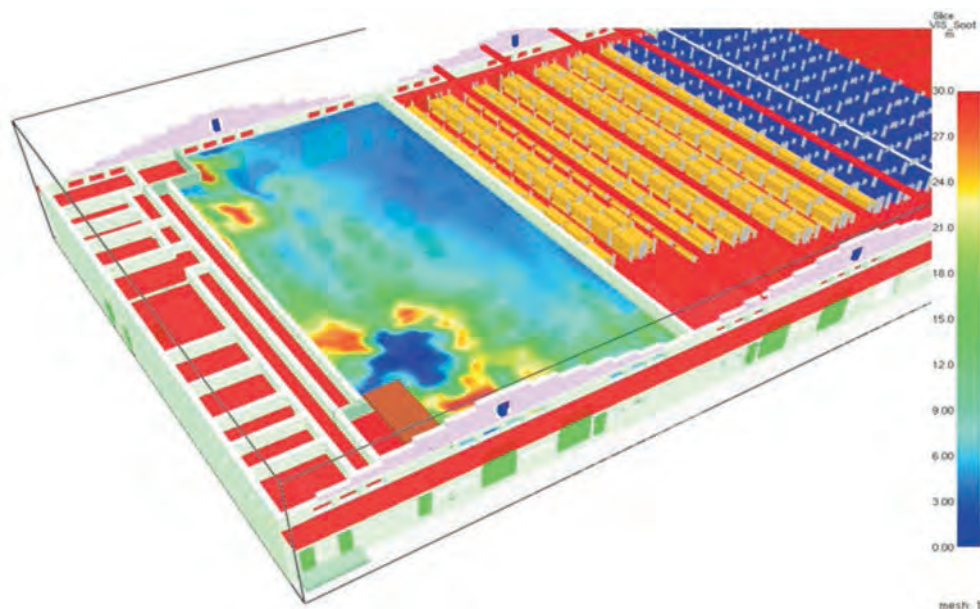
Tale limite temporale, di lunga superiore al RSET (332 s), consente di affermare che sia le persone presenti all'interno del modulo 1 che quelle presenti negli uffici possono allontanarsi in sicurezza.

Si noti inoltre, che i risultati ottenuti sono ampiamente peggiorativi in quanto presuppongono tutte le porte di comunicazione agli uffici aperte, condizione che non dovrebbe avvenire nella realtà.

Negli altri moduli, il fumo non fluisce e, pertanto, gli altri occupanti del magazzino non risentono degli effetti dell'incendio: l'incendio rimane confinato all'interno del modulo 1 per tutta la durata della simulazione e provoca un abbassamento della visibilità solamente all'interno del modulo stesso.



VISIBILITÀ A 360 S A 1,8 M DAL SUOLO - SCENARIO S1



VISIBILITÀ A 360 S A 7 M DAL SUOLO - SCENARIO S1

Livelli di concentrazione delle specie tossiche

La quantità di CO presente nel magazzino risulta compatibile con lo svolgimento delle procedure di esodo dallo stesso.

Le variazioni di concentrazione non sono apprezzabili per tutta la durata della simulazione.

Anche per quanto riguarda le concentrazioni di CO₂, i risultati ottenuti mostrano che non si registrano valori che si ripercuotono sfavorevolmente sulle procedure di esodo e non si riscontrano variazioni di concentrazione apprezzabili.

Livelli di irraggiamento lungo le vie di esodo

I livelli di irraggiamento lungo le vie di esodo del magazzino risultano compatibili con lo svolgimento delle procedure di sfollamento non superando il limite di 1 kW/m² per tutta la durata della simulazione. I valori massimi sono stati riscontrati solo in prossimità dei materiali in fiamme.

Risultati delle simulazioni per lo Scenario S2

Evoluzione dell'incendio

Come si può notare dal grafico che segue, nel modulo 2 fino ad oltre i 600 s la potenza sviluppata dall'incendio si mantiene limitata e, di fatto, si hanno ben poche conseguenze sia alle strutture che al microclima.

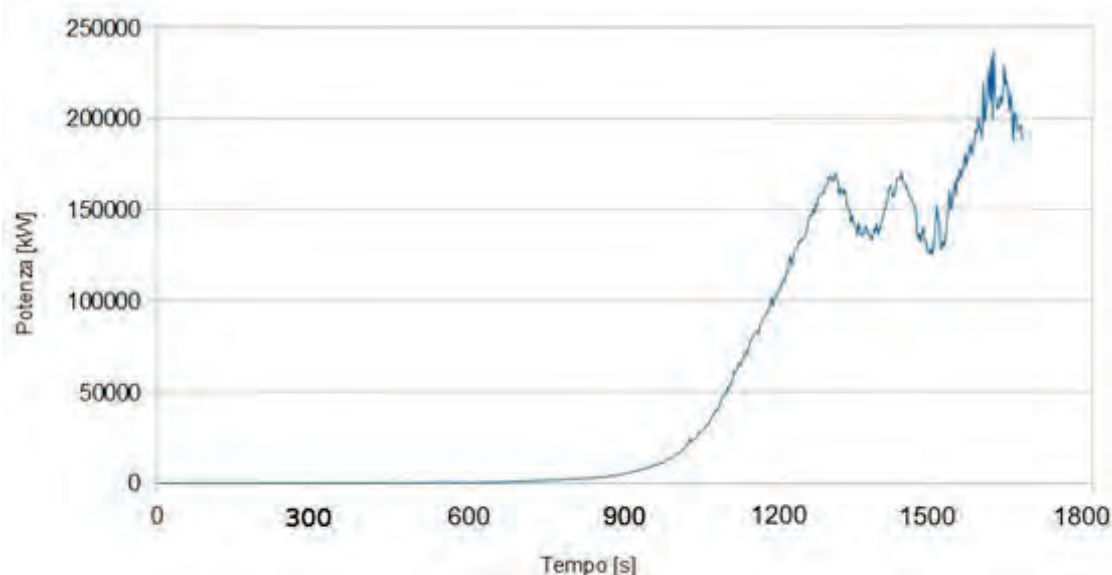
Dopo tale istante, e fino a circa 900 s, la potenza dell'incendio inizia ad aumentare, per poi crescere molto velocemente, in funzione dei grandi quantitativi di materiale coinvolto, raggiungendo potenze molto elevate (poco meno di 250 MW) intorno ai 1650 s.

È da sottolineare come l'impianto sprinkler non sia in grado di controllare l'evoluzione dell'incendio e ciò è dovuto alla distanza che intercorre nelle prime fasi dell'incendio fra il fronte di fiamma e la copertura.

In compenso, le proprietà intrinseche degli imballi consentono per i primi 600-700 s di poter intervenire direttamente sul principio d'incendio con efficacia mediante gli idranti, e quindi controllare debitamente la situazione.

Ciò è dovuto alle generose dimensioni della struttura e dall'efficacia dell'aperture di ventilazione.

Segue il grafico della potenza rilasciata dall'incendio:



EVOLUZIONE DELLA POTENZA RILASCIATA DALL'INCENDIO - SCENARIO S2

Evoluzione della temperatura

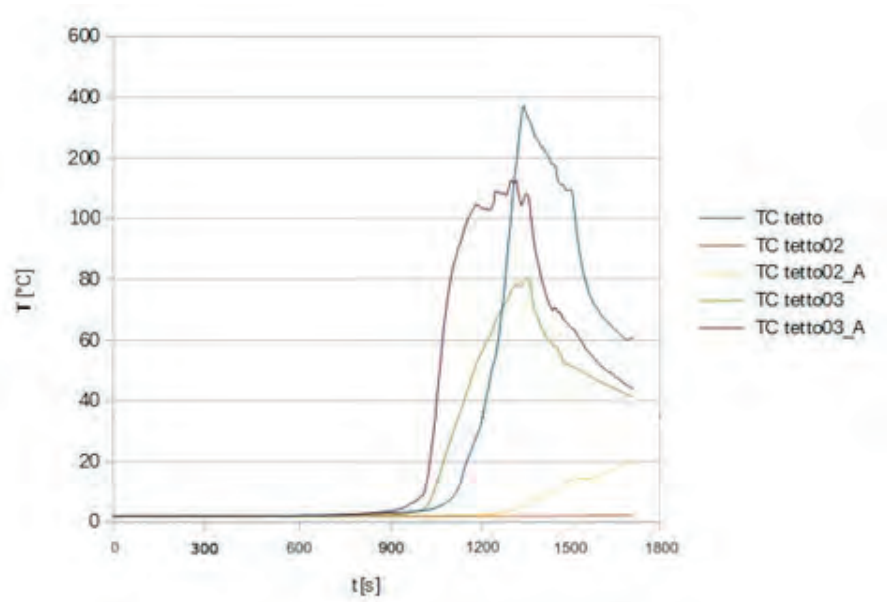
Durante la simulazione in nessuno dei moduli i valori della temperatura assunti alla quota dell'esodo superano il valore limite di 50 °C per i tempi necessari all'esodo dal modulo stesso.

In particolare, fino a circa 460 s, alla quota di 1,8 m, la temperatura rimane, con la sola eccezione delle zone prossime alla fiamma, al di sotto dei 50 °C.

Le temperature massime calcolate all'intradosso della copertura raggiungono valori di poco inferiori ai 400 °C a circa 1400 s.

Successivamente decrescono rapidamente fino ai 60 °C a circa 1750 s a causa dell'intervento massivo dell'impianto sprinkler che permette di ridurre notevolmente il carico termico.

Tali valori, e i tempi a cui sono riferiti, risultano sicuramente compatibili con l'esodo in sicurezza.



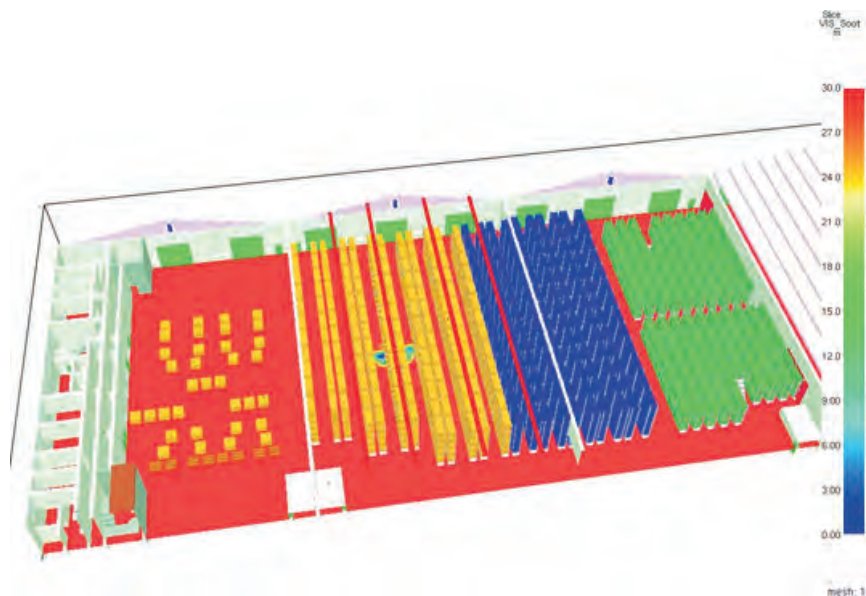
VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI: EVOLUZIONE DELLE TEMPERATURE A SOFFITTO - SCENARIO S2

Evoluzione della visibilità

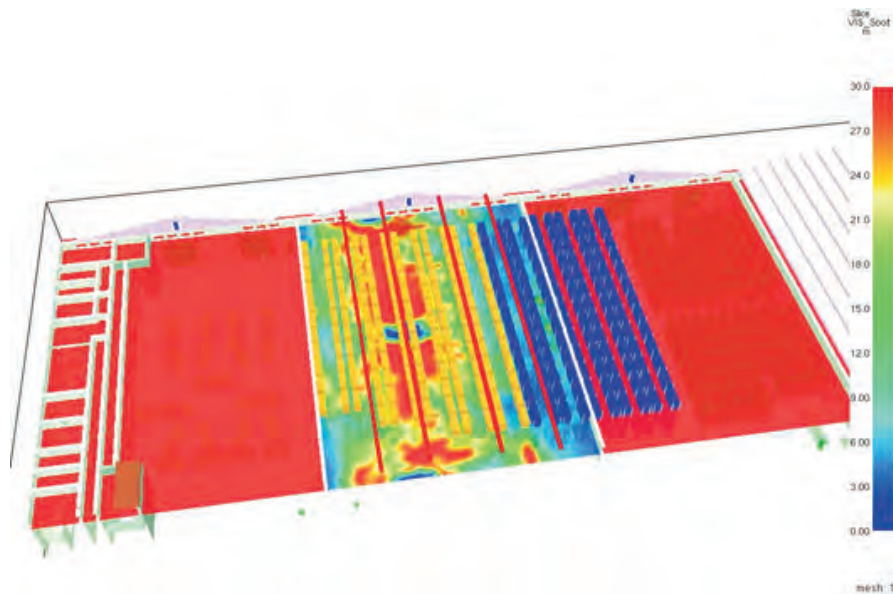
Per i primi 400 s, considerate le dimensioni del modulo 2 e l'entità dell'incendio, la visibilità al suo interno si riduce solo in prossimità dell'innesco.

Dopo 900 s, a causa dell'evolversi dell'incendio, la visibilità si riduce notevolmente all'interno di tutto il modulo 2.

Rammentando il valore del tempo RSET (332 s) e che l'ASET non deve essere minore di 366 s, ne consegue che le persone presenti all'interno del magazzino possono svolgere le procedure di emergenza in sicurezza.



VISIBILITÀ A 360 s A 1,8 M DAL SUOLO - SCENARIO S2



VISIBILITÀ A 360 s A 7 M DAL SUOLO - SCENARIO S2

Livelli di concentrazione delle specie tossiche

La quantità di CO presente nel magazzino risulta compatibile con lo svolgimento delle procedure di esodo dallo stesso. Le variazioni di concentrazione diventano apprezzabili dopo 360 s; a 900 s, in alcune zone del modulo 2, la concentrazione è di poco inferiore a 400 ppm. Lo stesso accade per le concentrazioni di CO₂ le cui variazioni di concentrazione diventano apprezzabili dopo 400 s dall'inizio della simulazione.

Livelli di irraggiamento lungo le vie di esodo

I livelli di irraggiamento lungo le vie di esodo del magazzino risultano compatibili con lo svolgimento delle procedure di sfollamento non superando il limite di 2,5 kW/m² per i primi 400 s. I valori massimi riscontrati risultano in corrispondenza delle corsie interessate dall'incendio.

Verifica dei livelli di prestazione raggiunti

Capacità portante dell'opera - resistenza al fuoco delle strutture

Come già illustrato nei paragrafi precedenti, le temperature raggiunte nello scenario S1 non superano mai i 260 °C e, quindi, non si è raggiunge un cemento termico tale da mettere in crisi la resistenza delle strutture. Nello scenario S2, in alcuni punti dell'intradosso della copertura, le superfici esterne di alcuni elementi strutturali raggiungono temperature di poco inferiori ai 400 °C (a circa 1400 s ovvero 23 min). Tali valori risultano essere puntuali e di breve durata e pertanto non si ritiene compromessa la capacità portante delle strutture.

Contenimento dei fumi e dei prodotti dell'incendio

I risultati delle simulazioni hanno mostrato come sia possibile assicurare condizioni micro-climatiche tali da garantire il corretto svolgimento delle procedure di esodo, potendosi apprezzare un valore di ASET prossimo a 400 s. Si rammenta che si è deciso di scegliere, come livelli di prestazione lungo le vie di esodo, i valori fissati dall'OSHA e dall'NFPA 130 per esposizioni prolungate ed associati ai prodotti dell'incendio più comuni.

Esodo degli occupanti

Secondo le indicazioni del cap. M.3 il margine di sicurezza risulta pari a:

$$t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET} = 400 - 332 = 68 \text{ s equivalente al } 20 \% \text{ di RSET}$$

La soluzione alternativa richiederebbe un t_{marg} pari al 100% di RSET e, comunque, ≥ 30 min; nella soluzione progettuale proposta, avendo verificato che per tutto il tempo dell'esodo (con un margine del 20%) le strutture non vengono mai sollecitate termicamente oltre i 400°C, il livello II di prestazione della S.2 può ritenersi soddisfatto.

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata eseguita la verifica della resistenza al fuoco della struttura portante in acciaio di un capannone industriale, adibito a magazzino intensivo.

A seguito di un'analisi preliminare, è emerso che la protezione passiva delle strutture metalliche portanti del capannone, considerate le dimensioni del magazzino, sarebbe risultata particolarmente onerosa.

Tale aspetto ha di fatto impedito la piena osservanza delle *soluzioni conformi* previste, nel cap. S.2, per la resistenza al fuoco illustrate e, pertanto, è stata sviluppata una *soluzione alternativa* per la misura S.2 (Resistenza al fuoco).

Gli obiettivi di sicurezza antincendio, perseguiti nell'analisi prestazionale dell'opera, hanno riguardato:

- la capacità portante dell'opera: tempi di raggiungimento di temperature critiche delle membrature strutturali in acciaio compatibili con l'esodo in sicurezza dei occupanti ($ASET > RSET$) e verifiche strutturali condotte con esito positivo (omesse per brevità di trattazione);
- il contenimento dei fumi e dei prodotti dell'incendio durante le fasi di esodo;
- l'esodo da parte degli occupanti.

❖ *Commento dei risultati*

Sulla base delle ipotesi progettuali formulate, l'analisi svolta ha confermato come grazie alle misure di protezione attiva, alle caratteristiche geometriche, alla distribuzione del materiale ed all'organizzazione degli spazi, venga garantito il raggiungimento dei limiti prestazionali preposti nell'ambito degli scenari d'incendio esaminati, ritenuti i più significativi.

❖ *Eventuali sviluppi ulteriori*

L'esempio ha confermato l'opportuna scelta, operata nella revisione del Codice, di ridurre il t_{marg} (punto S.2.4.7) ad un minimo di 15 min, in luogo di 30 min della versione originaria del d.m. 3 agosto 2015.

Compartimenti antincendio	L'autorimessa è composta da 5 compartimenti antincendio (uno per piano)
Numero occupanti	160 (è prevista la presenza di persone con disabilità anche non permanente)
Profilo di rischio R_{vita}	B2 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R_{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello II di prestazione (par. S.1.3 e par. S.1.4.1)
Resistenza al fuoco	Livello di prestazione equivalente al III (par. S.2.3 e par. S.2.4.8)
Compartimentazione	Livello III di prestazione (par. S.3.3 e par. S.3.4.2)
Esodo	Livello I di prestazione (par. S.4.3 e par. S.4.4.1)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello III di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.2) Rete di idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello IV di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (par. S.8.3 e par. S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello IV di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.3)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)

Obiettivi dello studio

Come noto, il metodo prestazionale "Ingegneria della sicurezza antincendio", utilizzato per dimostrare la *soluzione alternativa*, ricade fra i metodi ordinari di progettazione della sicurezza antincendio di cui al par. G.2.6, (tab. G.2-1).

In tale tabella è previsto, infatti, che "Il progettista applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio secondo procedure, ipotesi e limiti indicati nel presente documento, in particolare nei capp. M.1, M.2 e M.3, e secondo le procedure previste dalla normativa vigente".

Nello specifico, al fine di determinare la curva naturale dell'incendio, sono stati esaminati gli scenari introdotti dalla RTV Autorimesse (par. V.6.7 Metodi).

In particolare, è stato oggetto di studio lo scenario S2 verificato con una modellazione fluidodinamica utilizzando il FDS (vers. 6.6.0).

Individuazione degli scenari d'incendio di progetto

La RTV Autorimesse fornisce delle utili indicazioni sui dati di input da utilizzare al fine della determinazione degli incendi naturali di progetto da usare per la verifica analitica della resistenza al fuoco; in particolare, essa fornisce le curve $HRR(t)$, riferite all'istante d'innesco del veicolo, per autoveicolo - primo innesco (tab. V.6-5), per autoveicolo - propagazione al successivo veicolo (tab. V.6-6) e autoveicolo commerciale - primo innesco e propagazione al successivo veicolo (tab. V.6-7).

Tempo dopo l'innesco [s]	0	240	960	1440	1500	1620	2280	4200
$RHR(t)$ [kW]	0	1400	1400	5500	8300	4500	1000	0

Tabella V.6- 5: Curva $RHR(t)$ per autoveicolo (primo innesco, $RHR_{max} = 8300$ kW)

Tempo dopo l'innesco [s]	0	60	600	960	1020	1140	1800	3720
$RHR(t)$ [kW]	0	2400	2400	5500	8300	4500	1000	0

Tabella V.6- 6: Curva $RHR(t)$ per autoveicolo (propagaz. al successivo veicolo, $RHR_{max} = 8300$ kW)

Tempo dopo l'innesco [s]	0	300	900	1500
$RHR(t)$ [kW]	0	18000	18000	0

Tabella V.6- 7: Curva $RHR(t)$ per autoveicolo commerciale (primo innesco e propagazione al successivo veicolo, $RHR_{max} = 18000$ kW)

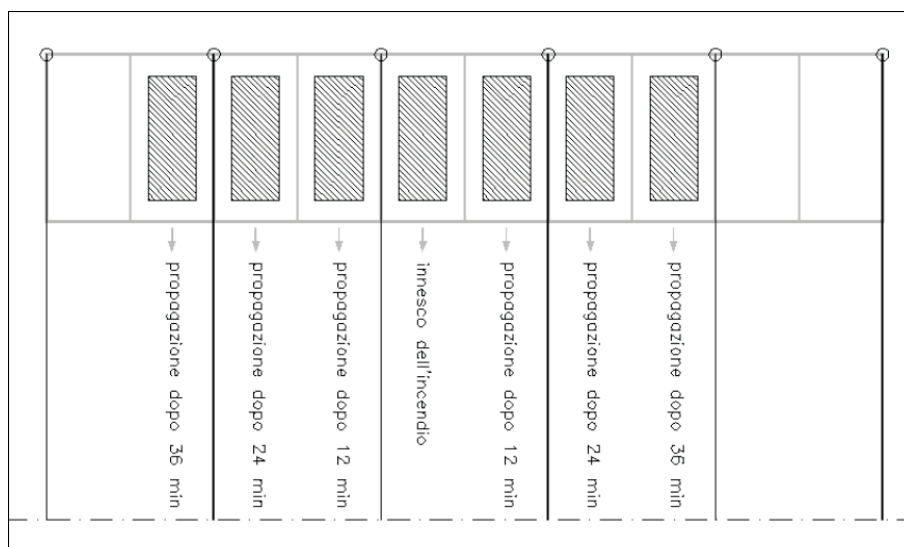
CURVE $HRR(t)$ PER LA DEFINIZIONE DEGLI INCENDI NATURALI DI PROGETTO

Gli scenari d'incendio indicati nella RTV Autorimesse trovano una possibile applicazione nei parcheggi multipiano, vedi Illustrazione V.6-1, che costituisce la base per una pratica realizzazione degli scenari d'incendio; come anticipato, in questa sede, esamineremo il caso dello scenario S2.

Il punto V.6.7.1.4, con riferimento alla disposizione tipica di parcheggio all'interno di un'autorimessa, fornisce indicazioni circa il tempo di propagazione dell'incendio da un veicolo a quello adiacente, assumendo un valore pari a 12 min.

Il punto V.6.7.1.5 fornisce, quindi, tre scenari d'incendio di progetto da impiegare per la determinazione della curva naturale; lo scenario S2 è caratterizzato dalla propagazione simmetrica dell'incendio a partire dall'autoveicolo centrale con un tempo di ritardo dell'innesco pari a 12 min, coinvolgendo complessivamente 7 veicoli.

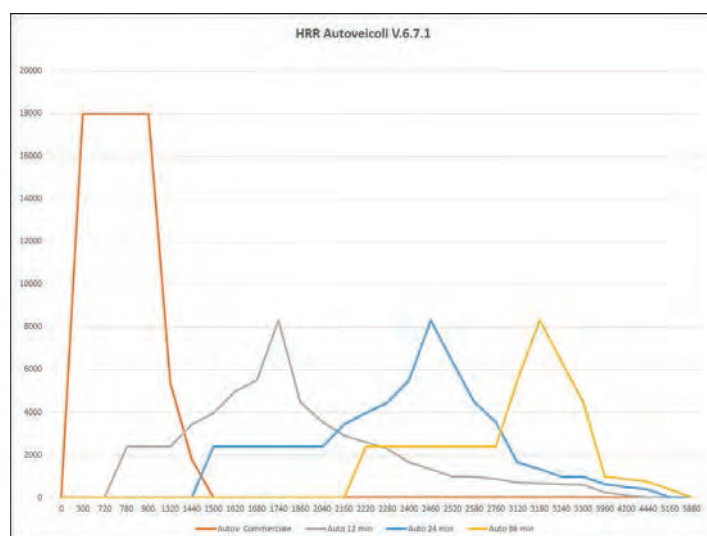
Tra questi deve essere prevista la presenza di un veicolo commerciale, posto al centro, quindi incendiato per primo, o di fianco al primo autoveicolo innescato.



SCENARIO D'INCENDIO DI PROGETTO S2

Nell'ipotesi di sviluppo dello scenario S2, si è adottato un focolare tipo costituito dall'incendio generato da un veicolo commerciale individuato come primo veicolo ad incendiarsi; successivamente l'incendio si propaga simmetricamente, ogni 12 min, ai veicoli adiacenti.

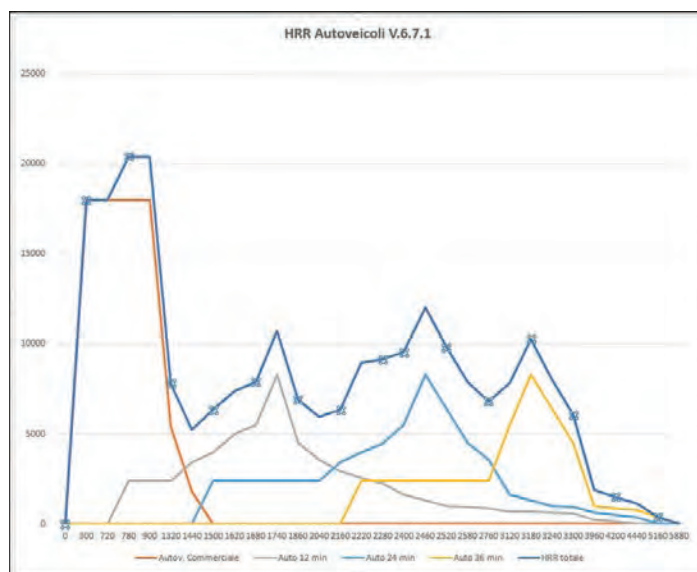
Sviluppando le varie potenze termiche dei veicoli coinvolti⁴², si ottiene la potenza termica totale immessa nel dominio di calcolo, il cui andamento è visualizzato nel grafico seguente:



POTENZA TERMICA TOTALE IMMESA NEL DOMINIO DI CALCOLO

⁴² Fatta eccezione per il veicolo commerciale, le curve si riferiscono alle potenze dei veicoli considerati a coppie (innescati dopo 12, 24 e 36 min).

Nel grafico seguente la curva evidenziata rappresenta l'involuppo della potenza termica immessa, come somma dei contributi dei 7 veicoli coinvolti:

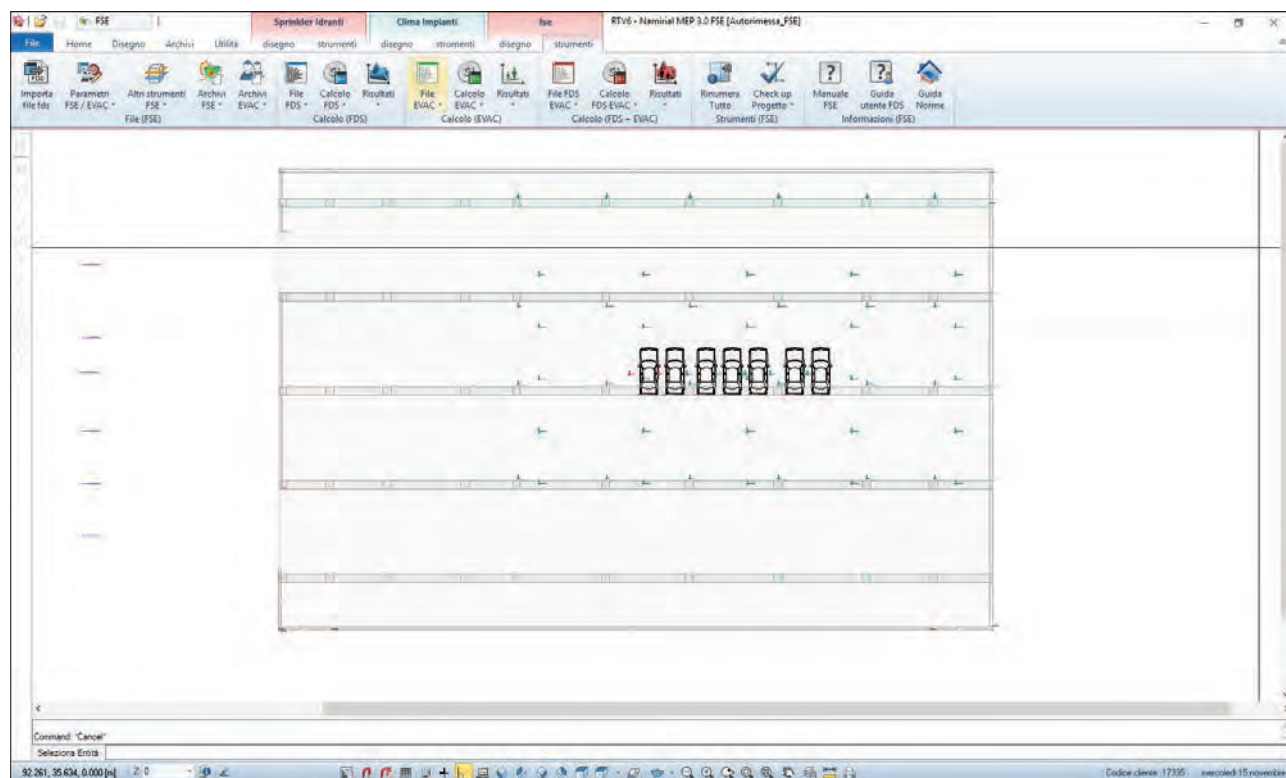


INVILUPPO DELLA POTENZA TERMICA IMMESSA

Definizione dello scenario d'incendio di progetto

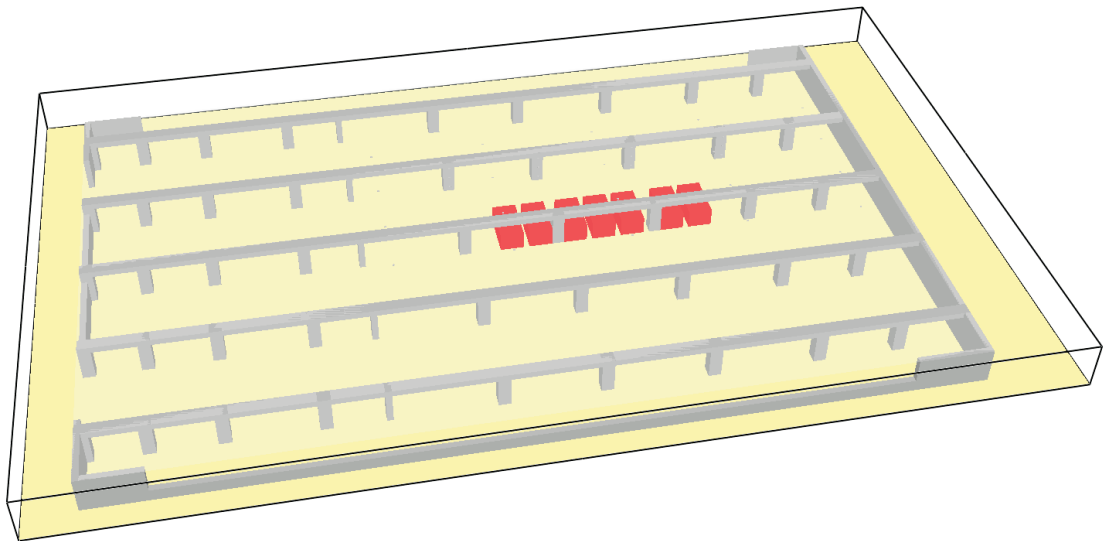
Per la definizione dello scenario d'incendio è stato utilizzato il software CPI win® FSE sviluppato da Namirial S.p.A..

Lo scenario S2 è stato così ipotizzato (il veicolo centrale è identificato come un veicolo commerciale):

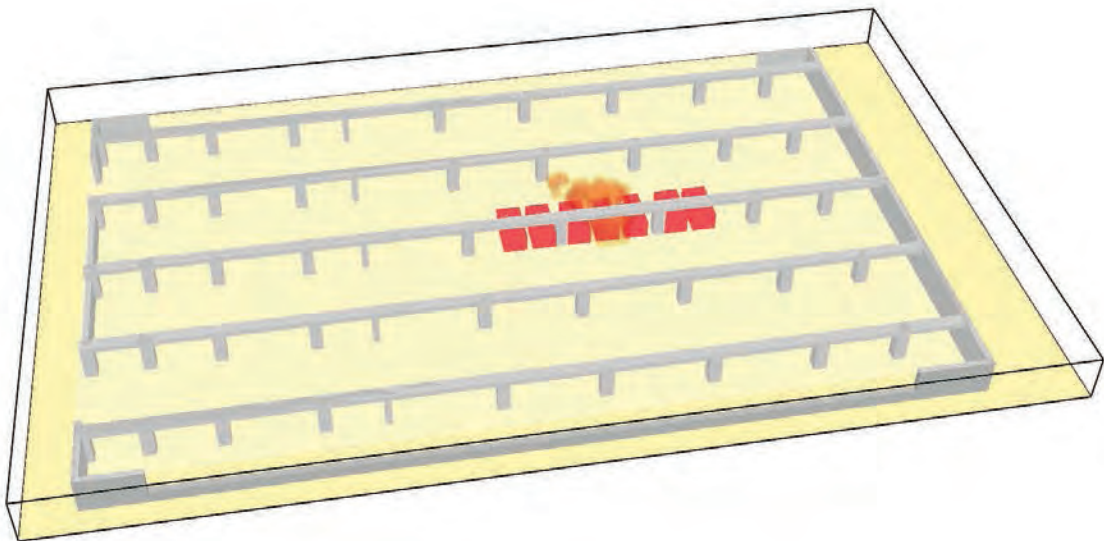


SCENARIO D'INCENDIO S2 APPLICATO AL CASO IN ESAME

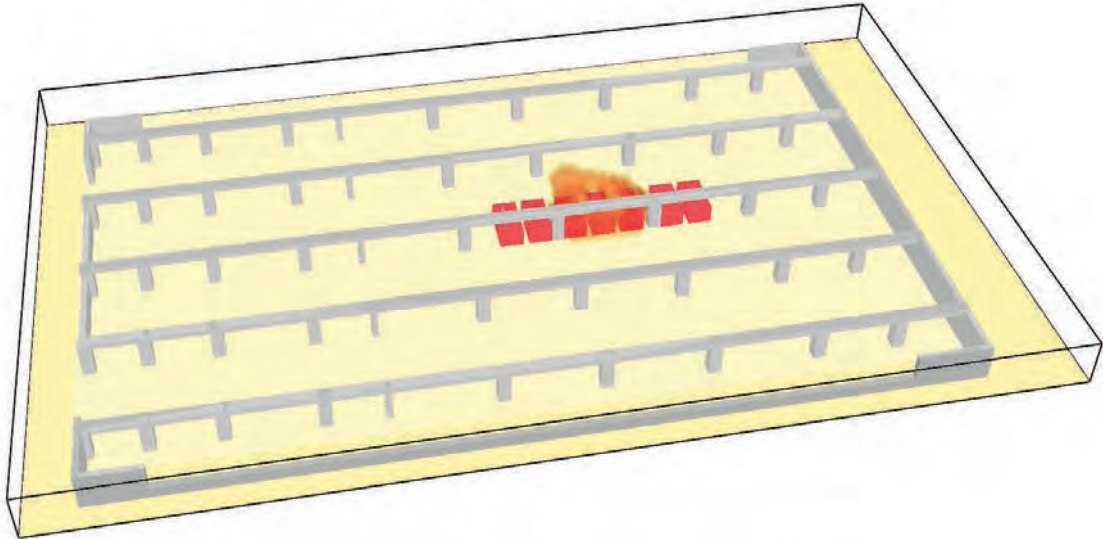
All'interno del visualizzatore *Smokeview* di FDS la rappresentazione dell'andamento dell'incendio, per lo scenario ipotizzato, è la seguente:



VISUALIZZAZIONE DELLO SCENARIO AL TEMPO T = 0

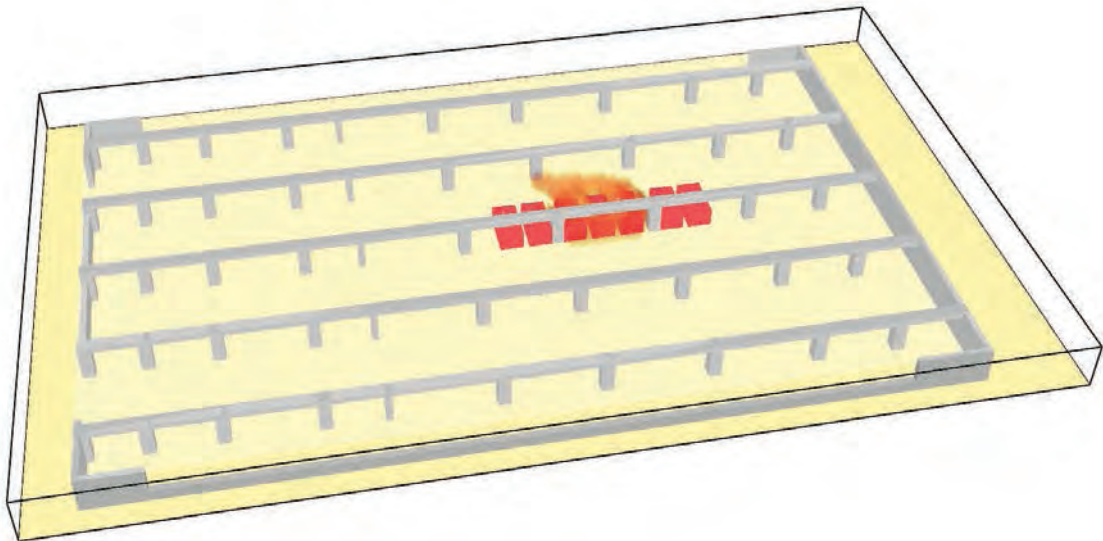


VISUALIZZAZIONE HRR AL TEMPO T = 300, FASE DI INIZIO MASSIMA POTENZA VEICOLO COMMERCIALE



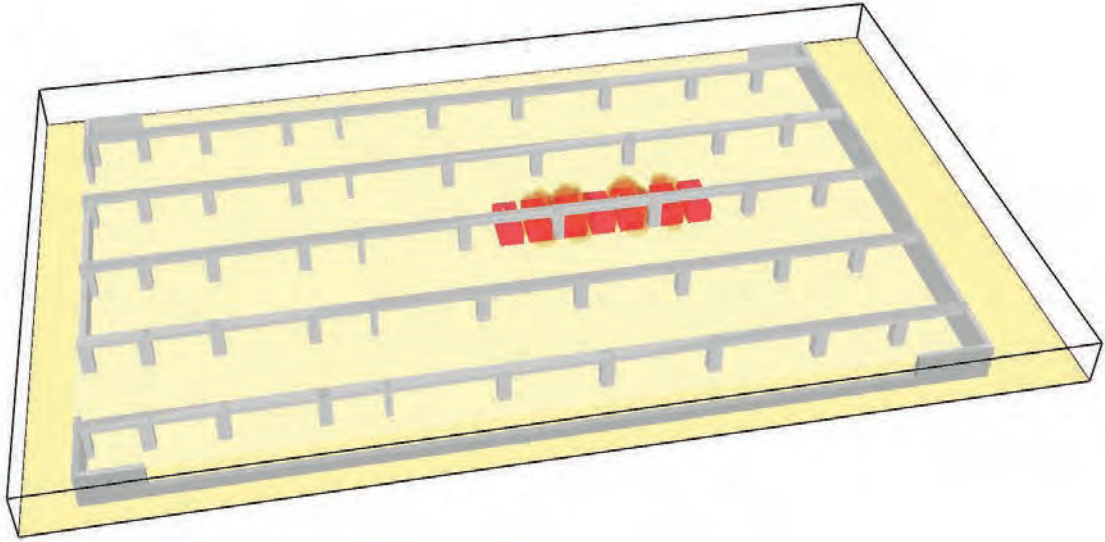
Time: 780.5

VISUALIZZAZIONE HRR AL TEMPO $T = 780$, FASE DI INIZIO INNESCO VEICOLI ADIACENTI AL VEICOLO COMMERCIALE

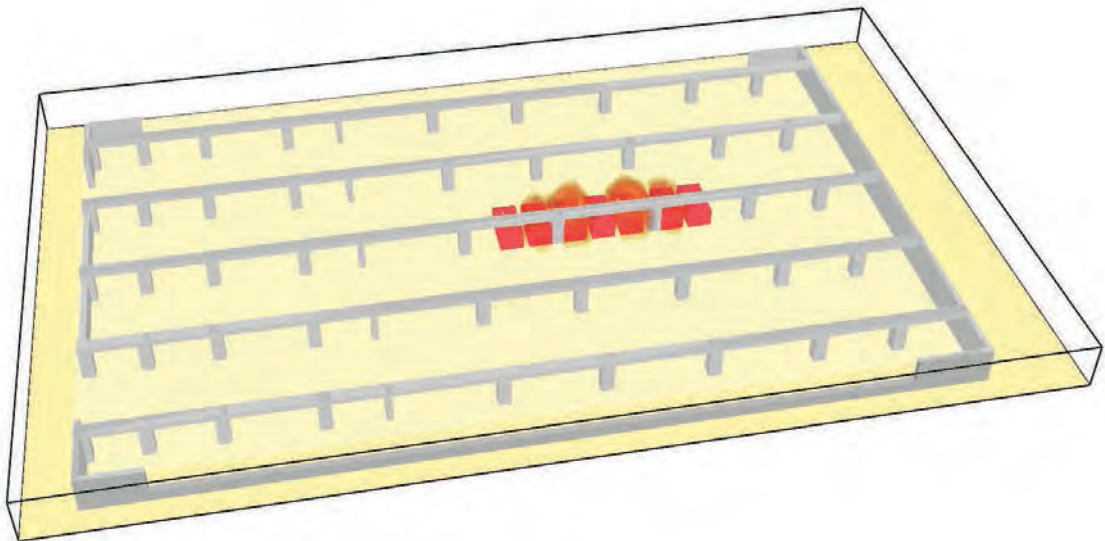


Time: 900.0

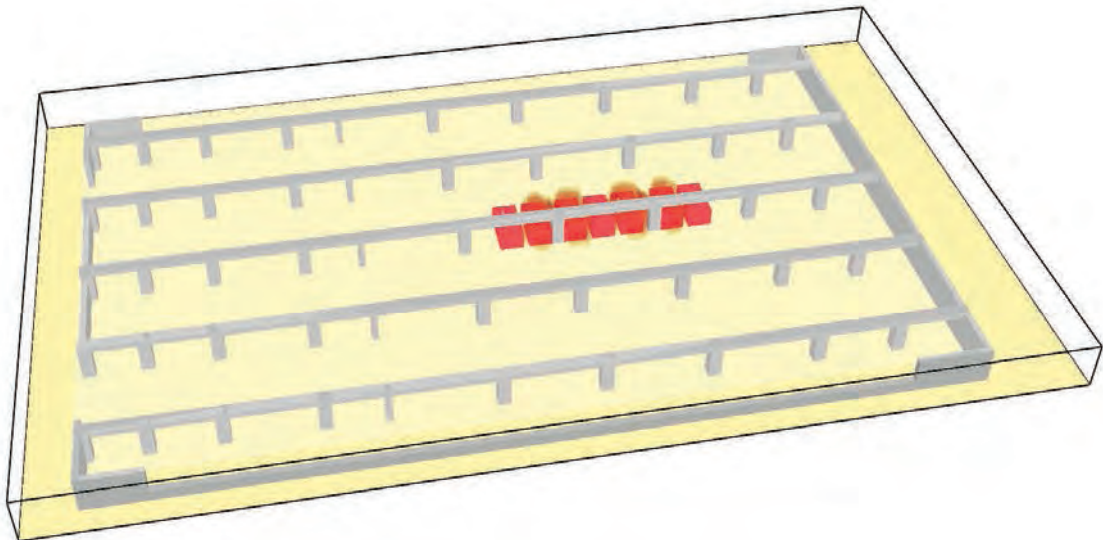
VISUALIZZAZIONE HRR AL TEMPO $T = 900$, FASE DI INIZIO DECADIMENTO VEICOLO COMMERCIALE



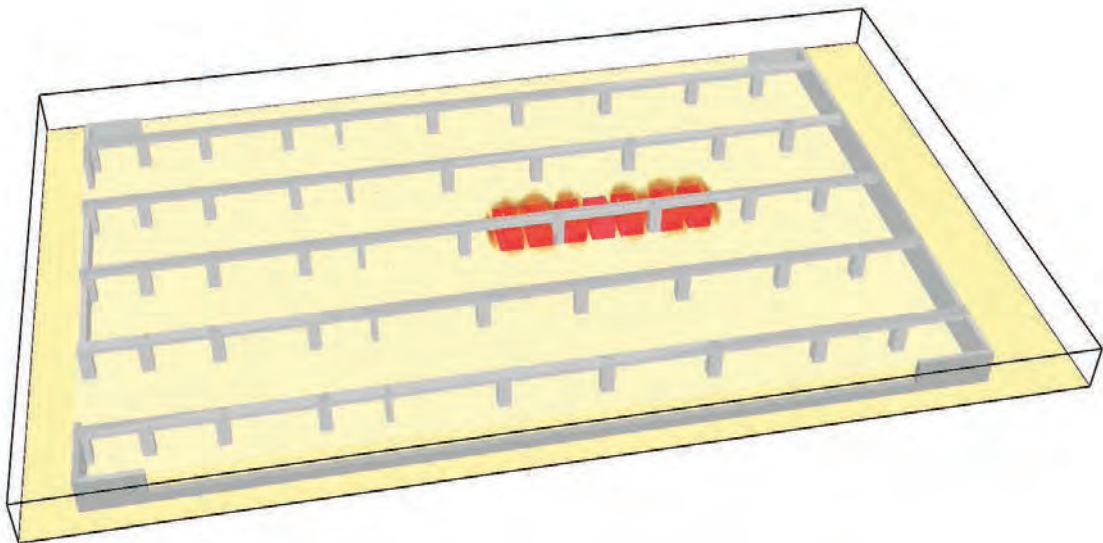
VISUALIZZAZIONE HRR AL TEMPO $T = 1500$, FASE DI INIZIO INNESCO SUCCESSIVI 2 VEICOLI ADIACENTI E DI FINE CONTRIBUTO VEICOLO COMMERCIALE



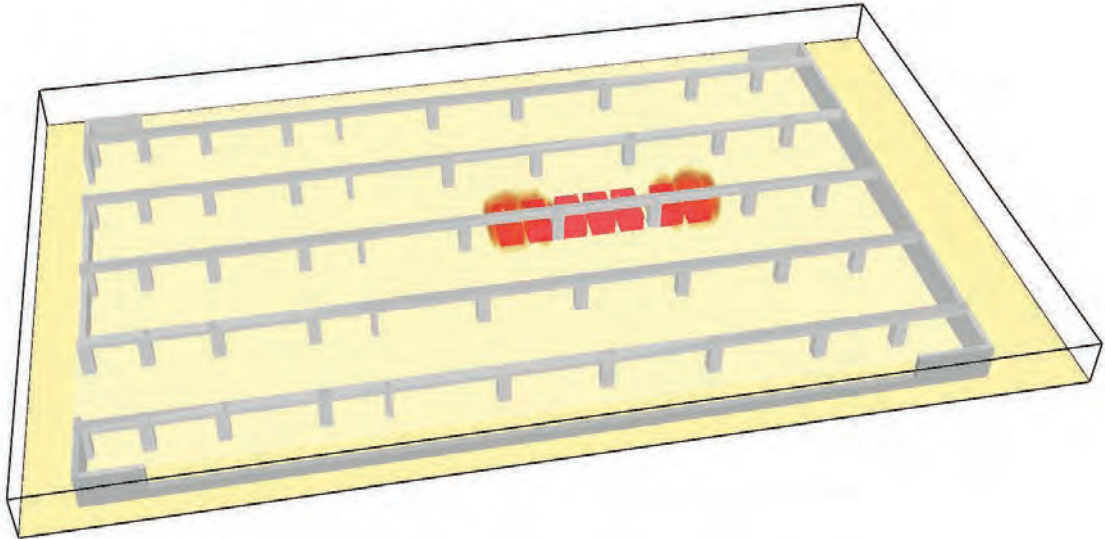
VISUALIZZAZIONE HRR AL TEMPO $T = 1740$, FASE DI FINE MASSIMO CONTRIBUTO PRIMA COPPIA DI AUTOVEICOLI



VISUALIZZAZIONE HRR AL TEMPO T = 2060, FASE DI MASSIMO SVILUPPO SECONDA COPPIA DI AUTOVEICOLI

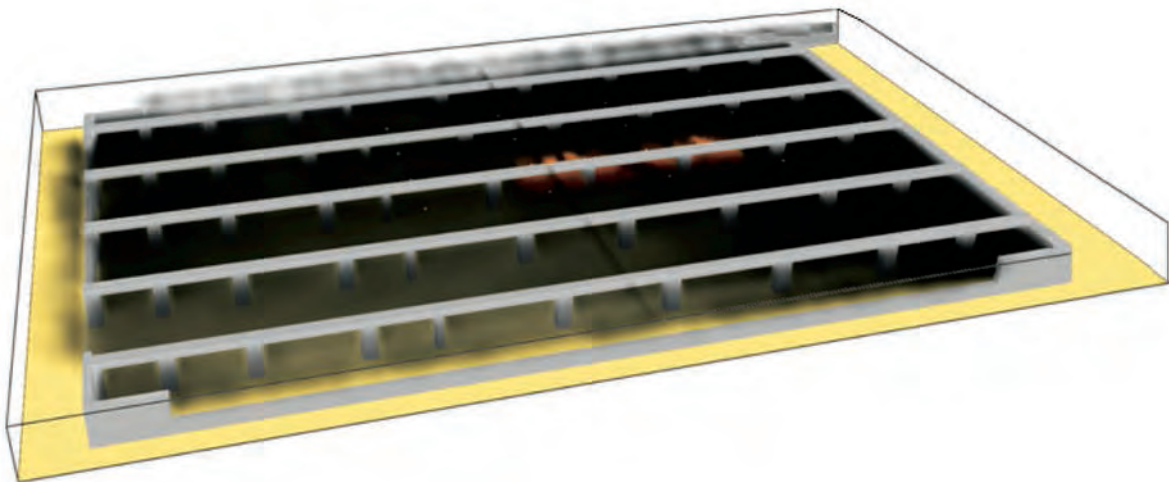


VISUALIZZAZIONE HRR AL TEMPO T = 2220, FASE DI INIZIO SVILUPPO TERZA COPPIA DI AUTOVEICOLI



Time: 3080.0

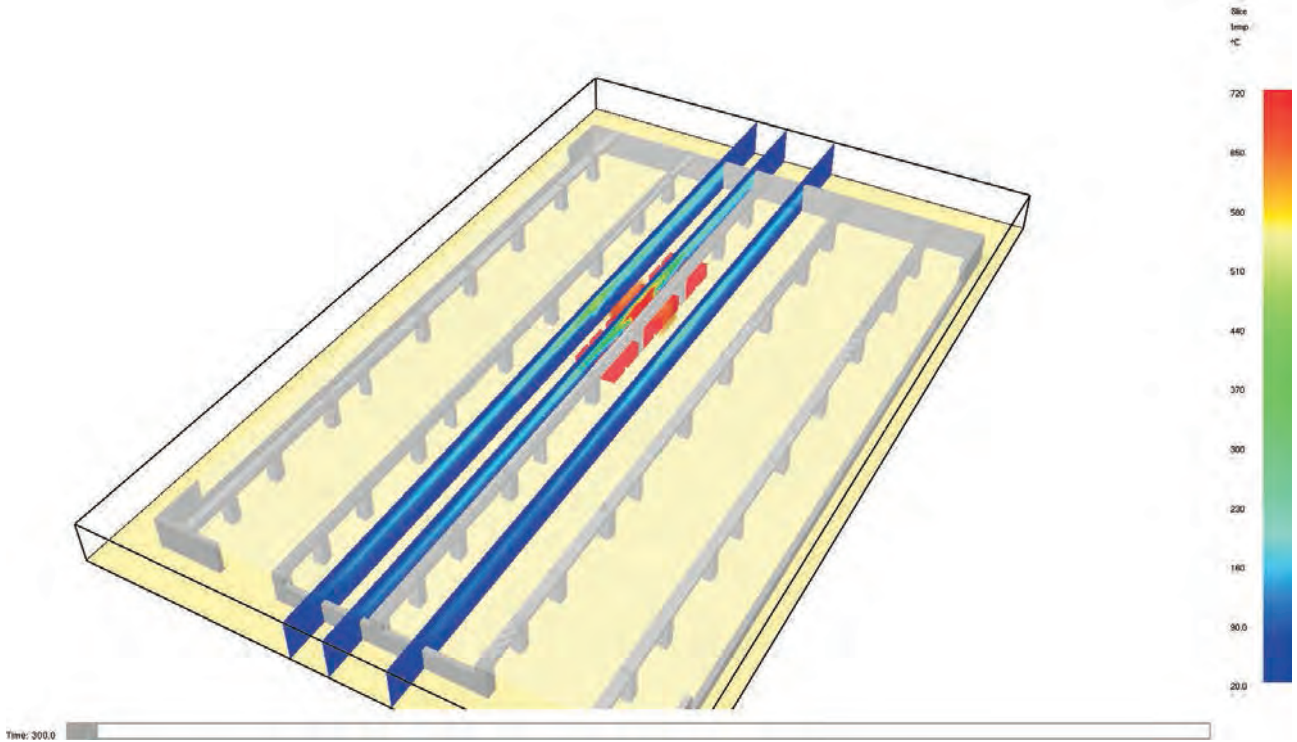
VISUALIZZAZIONE HRR AL TEMPO $T = 3080$, FASE DI MASSIMO SVILUPPO TERZA COPPIA DI AUTOVEICOLI



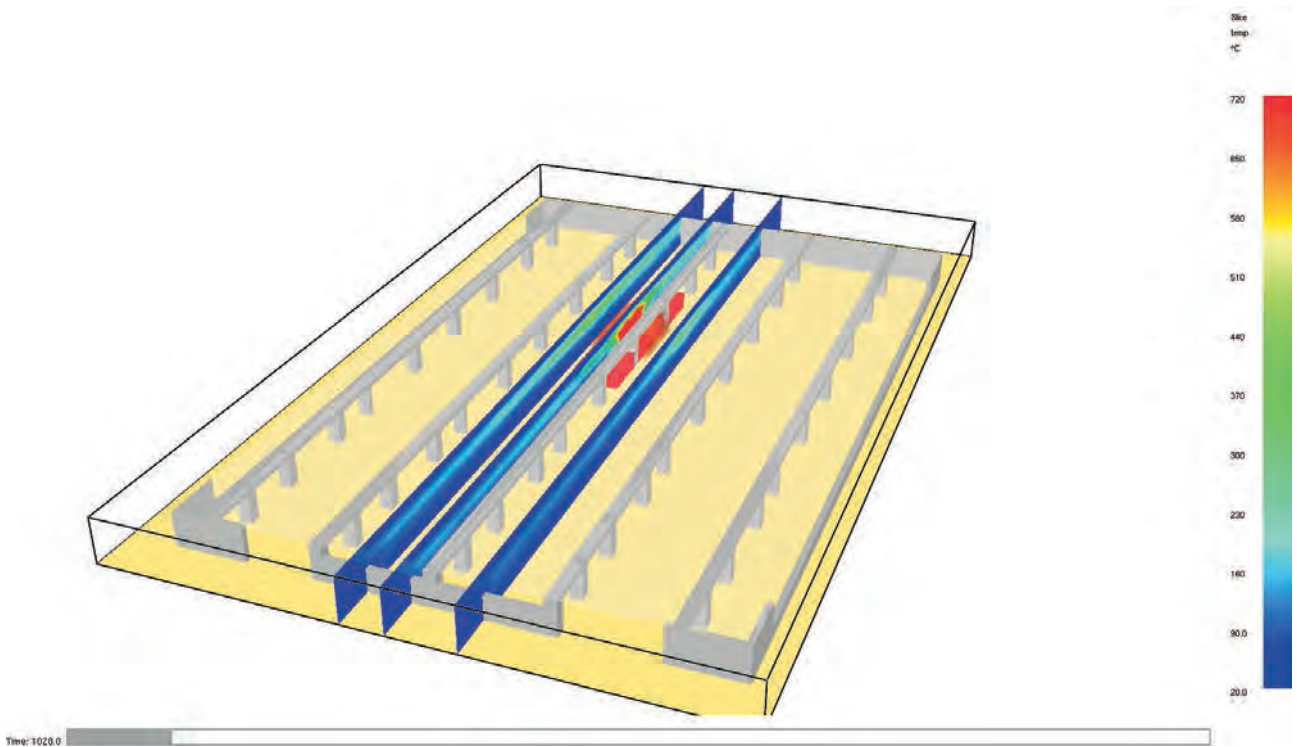
Time: 3080.0

VISUALIZZAZIONE GENERICA HRR E ANDAMENTO DEL FUMO

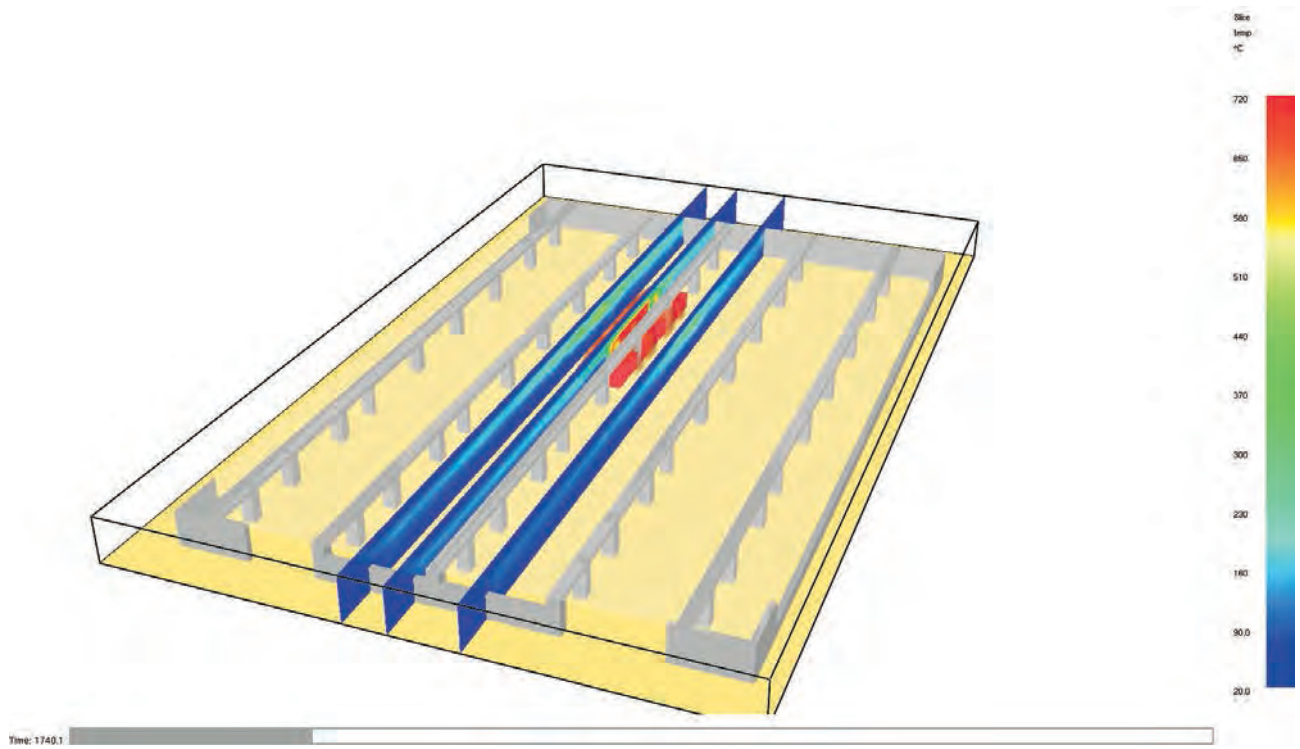
Gli output relativi alle slice inerenti il parametro temperatura sono i seguenti:



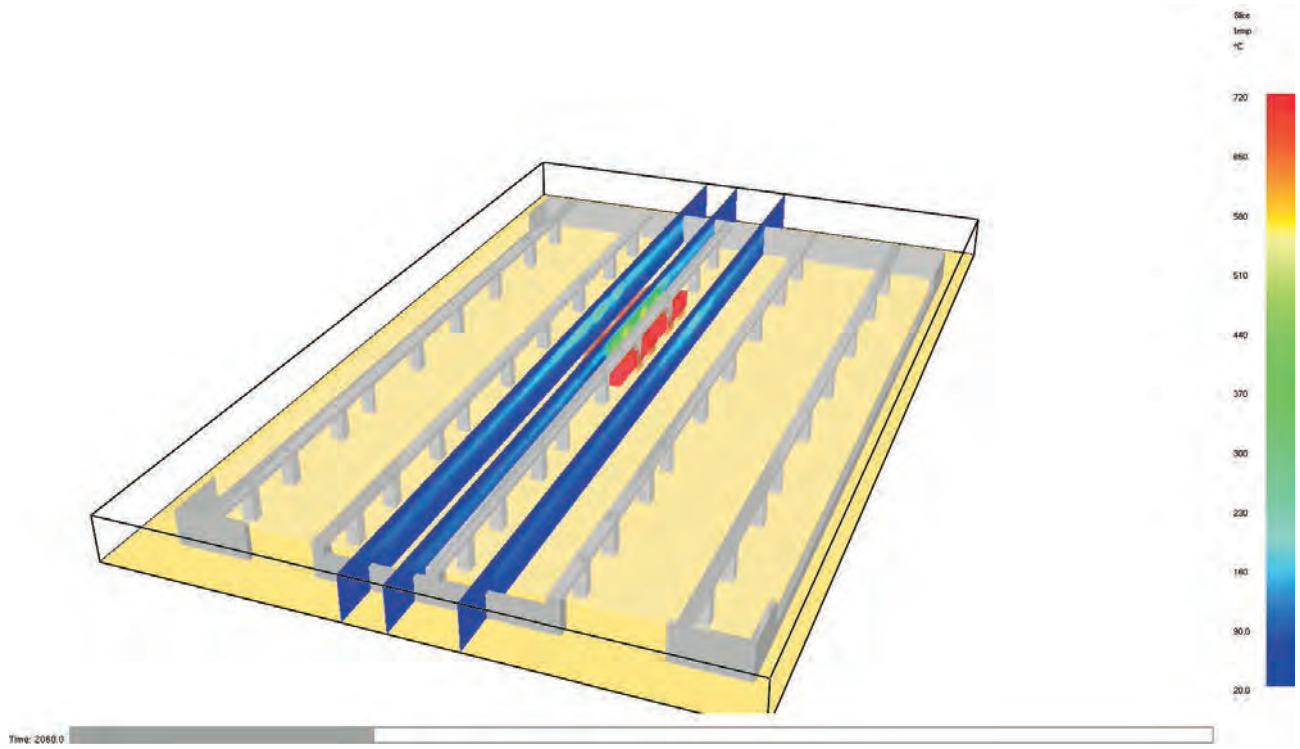
VISUALIZZAZIONE SLICE TEMPERATURA A 300 s



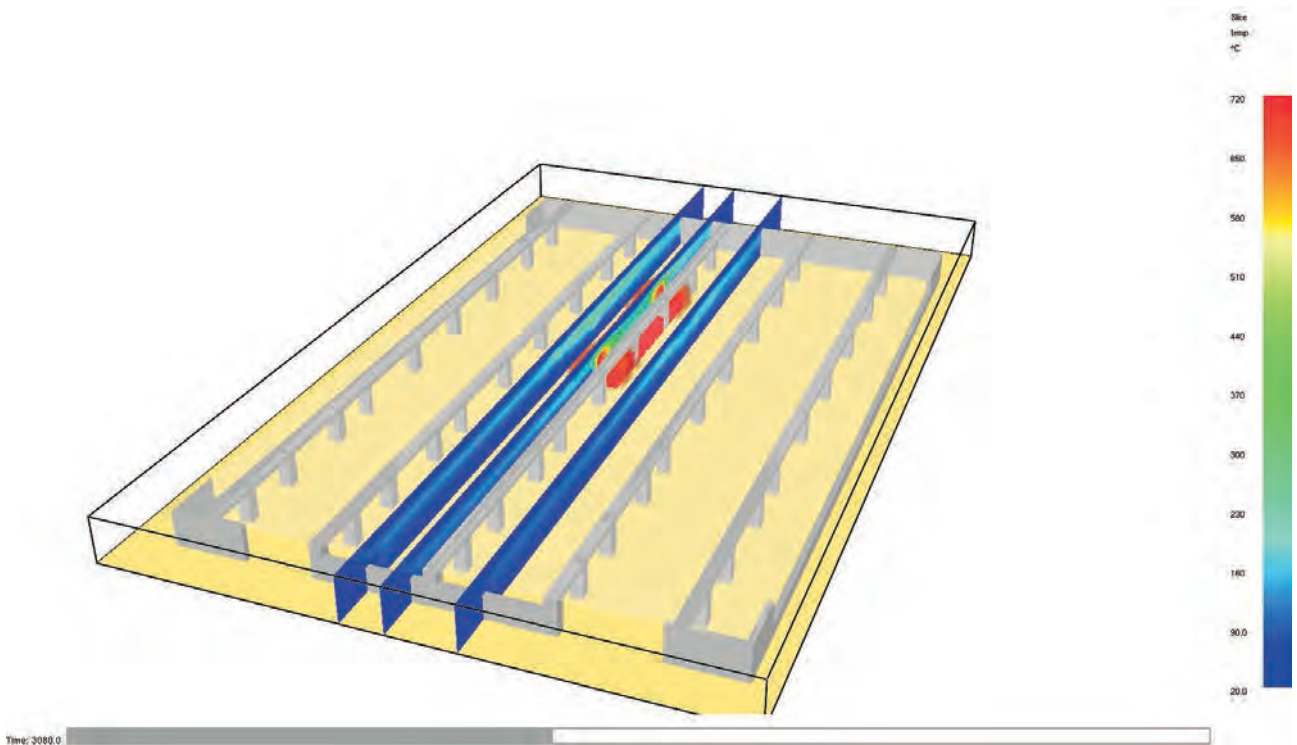
VISUALIZZAZIONE SLICE TEMPERATURA A 1020 s



VISUALIZZAZIONE SLICE TEMPERATURA A 1740 S



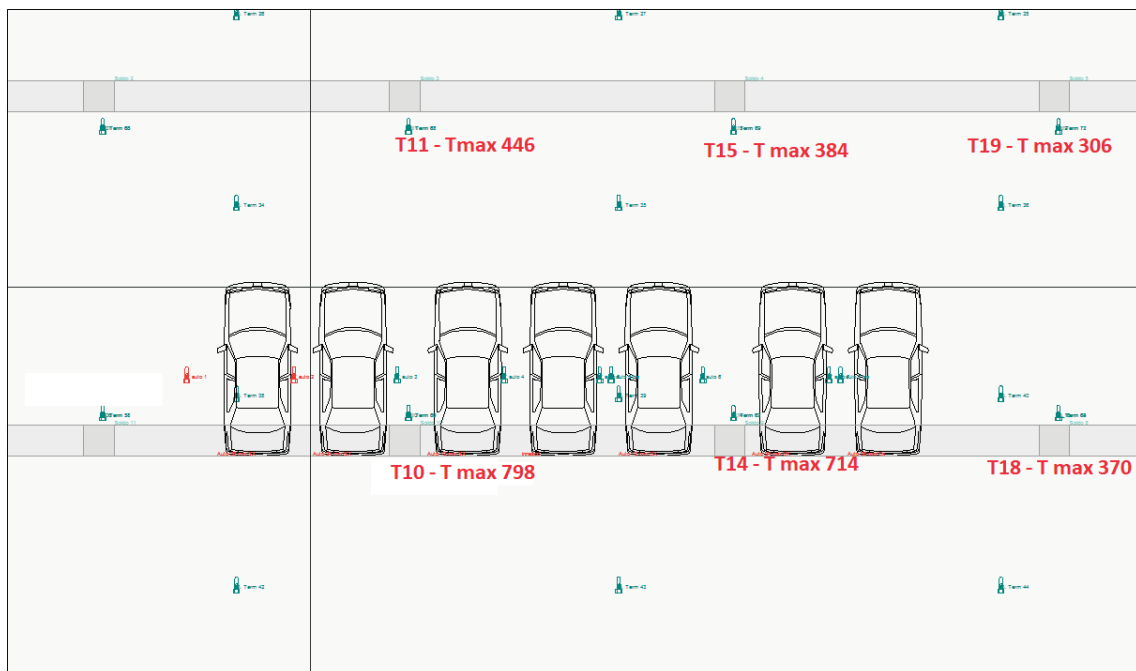
VISUALIZZAZIONE SLICE TEMPERATURA A 2060 S



VISUALIZZAZIONE SLICE TEMPERATURA A 3080 s

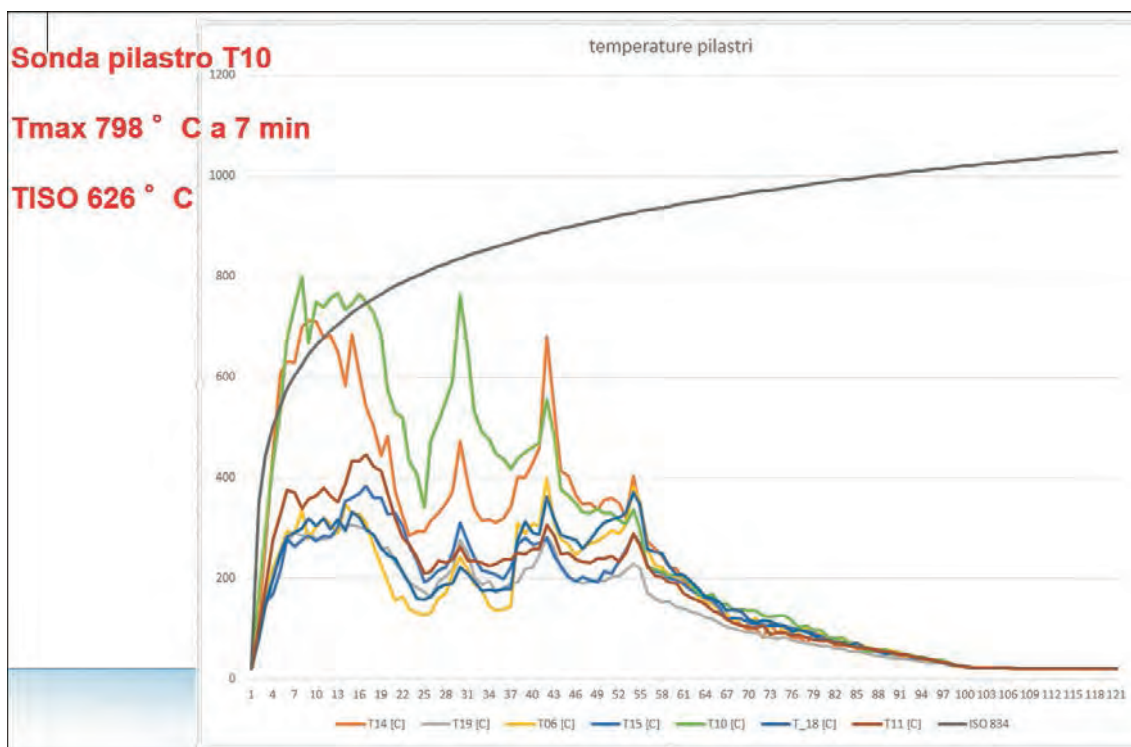
Determinazione delle curve naturali d'incendio

Per la determinazione delle curve naturali d'incendio è stato utilizzato il motore di calcolo FDS. Allo scopo, sono state inserite delle termocoppie virtuali in corrispondenza delle sezioni da verificare. La figura seguente mostra la temperatura massima raggiunta in corrispondenza dei pilastri posti nelle vicinanze dello scenario ipotizzato:



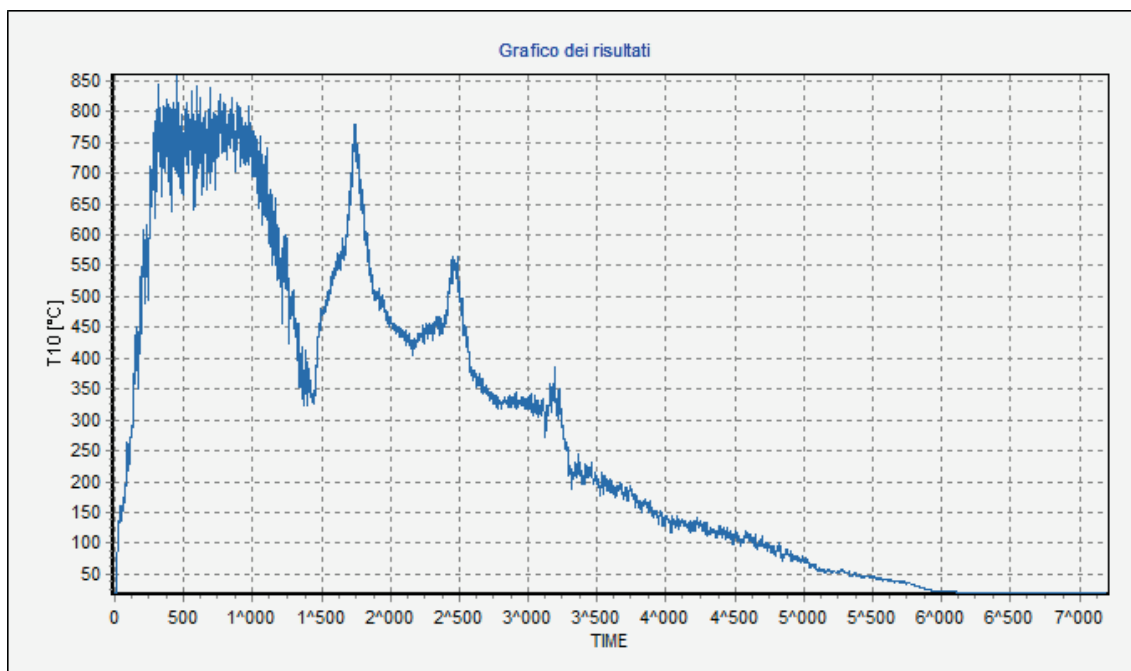
DISTRIBUZIONE DELLE TEMPERATURE RAGGIUNTE IN CORRISPONDENZA DEI PILASTRI VICINI AL FOCOLARE

La figura seguente mostra l'andamento delle curve naturali d'incendio rapportate alla curva nominale ISO 834:



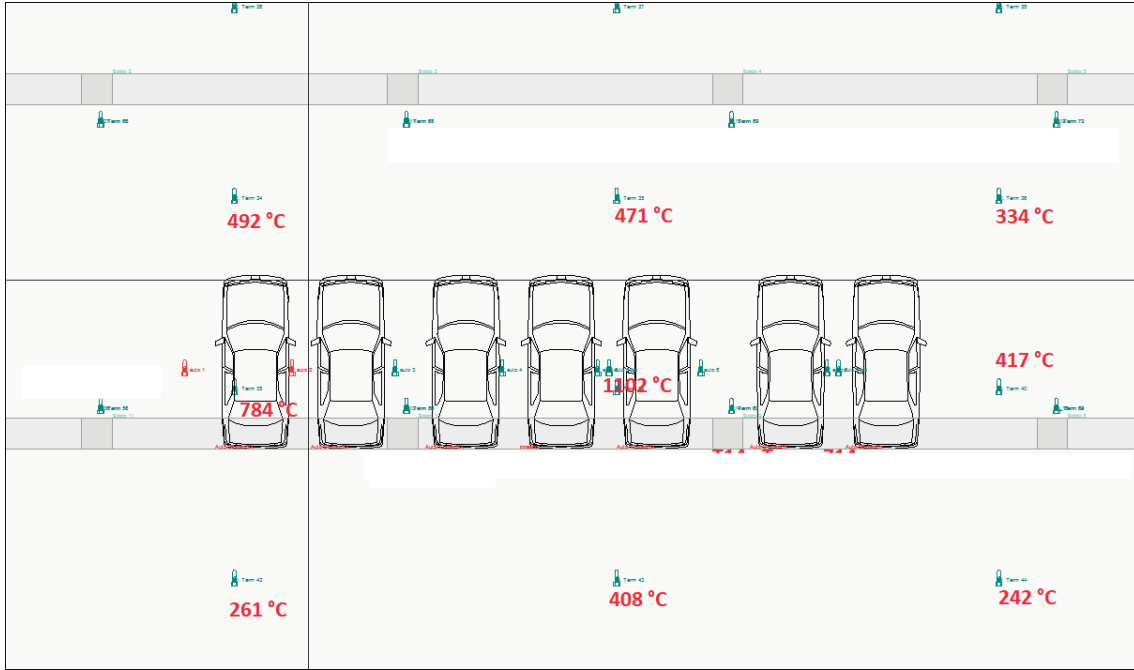
CURVE NATURALI D'INCENDIO RAPPORTATE ALLA CURVA NOMINALE ISO 834 - PILASTRI

Dall'analisi di una delle curve naturali dell'incendio, si evince l'andamento delle varie fasi che la caratterizzano; ovvero la fase di accensione, la fase di crescita o propagazione, la fase di pieno sviluppo e la fase di decadimento, ovvero quando la temperatura all'interno dei locali è intorno ai 200 °C:



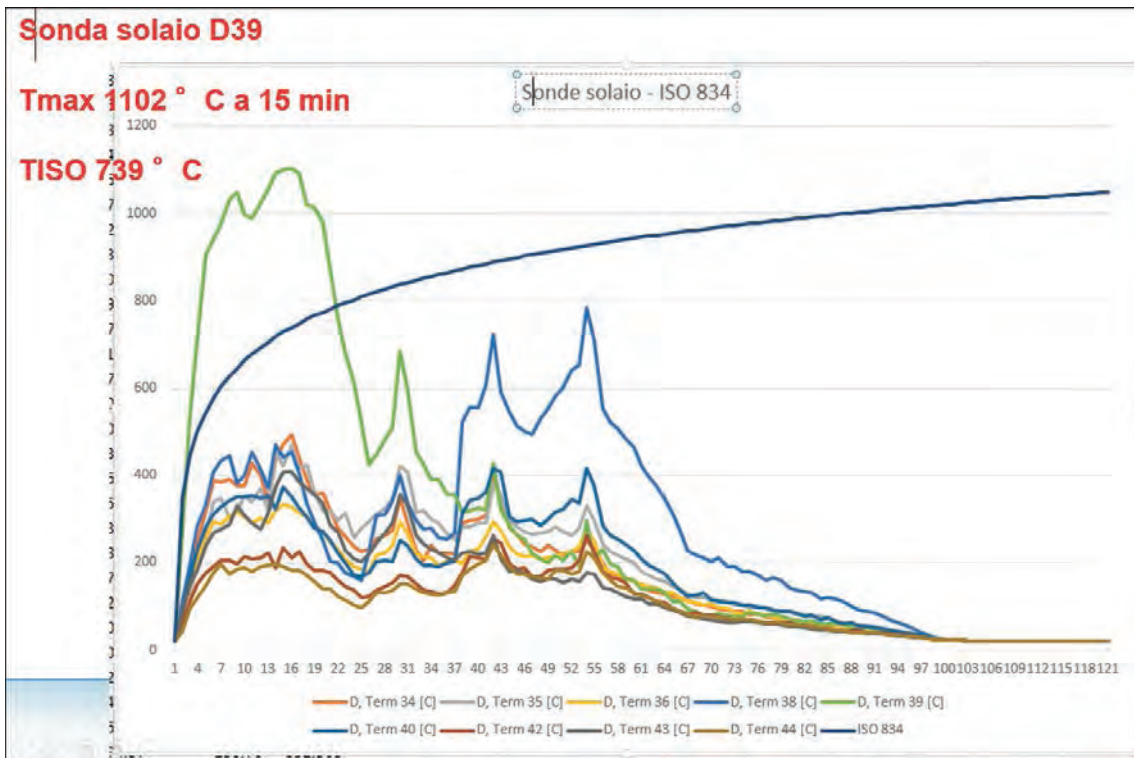
CURVA NATURALE D'INCENDIO - FASI TEMPORALI

Ancorché non esplicitamente indicato nello scenario, sono state inserite delle termocouple virtuali in corrispondenza del solaio:



DISTRIBUZIONE DELLE TEMPERATURE RAGGIUNTE IN CORRISPONDENZA DEL SOLAIO PROSPICIENTE AL FOCOLARE

La figura seguente mostra l'andamento delle curve naturali d'incendio in corrispondenza del solaio rapportate alla curva nominale ISO 834:



CURVE NATURALI D'INCENDIO RAPPORTATE ALLA CURVA NOMINALE ISO 834 - SOLAIO

Osservazione: nei primi 20 min l'incendio naturale sul solaio è più gravoso di quello nominale ISO 834: ciò aiuta a capire che non è detto che il cemento termico rappresentato dalle curve nominali sia sempre più gravoso rispetto a quello che si può verificare nella realtà (meglio rappresentata dalle curve naturali).

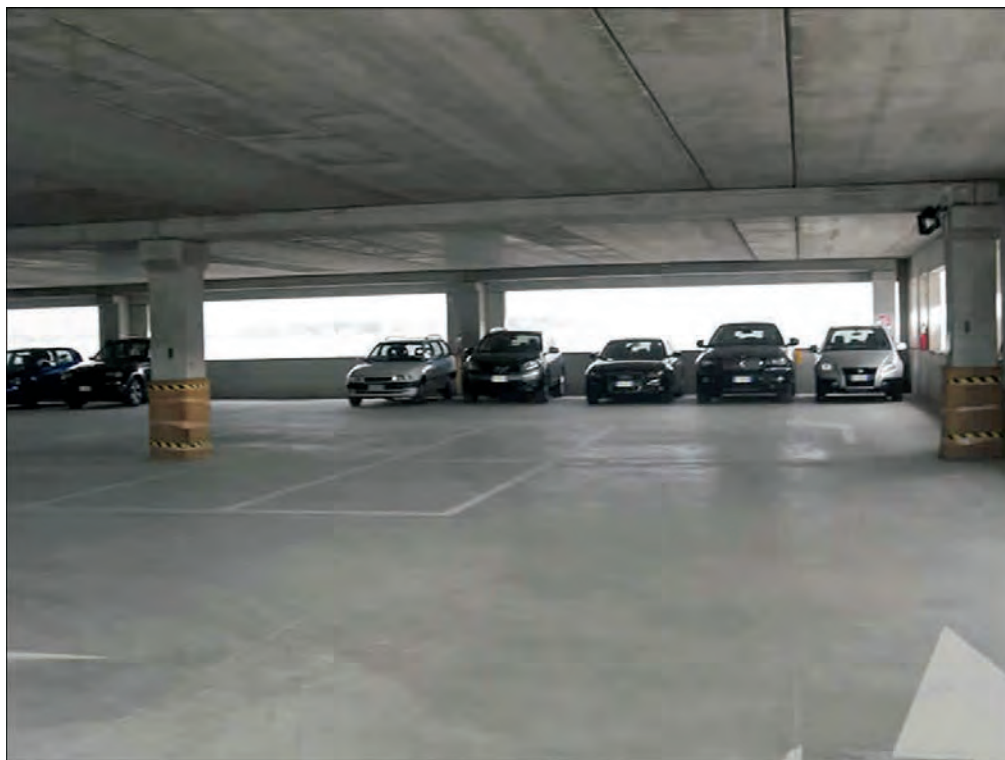
Verifica della capacità portante a caldo degli elementi strutturali

Nel caso in esame, per la misura S.2 del Codice (Resistenza al fuoco) la verifica del mantenimento della capacità portante in condizioni d'incendio è stata effettuata utilizzando la *soluzione alternativa*, verificando le prestazioni di resistenza al fuoco degli elementi strutturali in base agli scenari d'incendio di progetto, ed ai relativi incendi convenzionali di progetto, rappresentati da curve naturali d'incendio secondo il par. S.2.6., adottando le indicazioni introdotte nel par. V.6.7 della RTV Autorimesse.

Determinata la curva naturale dell'incendio, per le sezioni da verificare, occorre procedere alla verifica analitica delle stesse secondo l'Eurocodice 2 (norma UNI EN 1992-1-2) "Progettazione delle strutture di calcestruzzo Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio".

In generale la verifica analitica viene effettuata in 3 fasi distinte:

1. nella fase 1 *Modello d'incendio*, che dipende dalla geometria del locale, dal carico d'incendio e dalle caratteristiche dell'incendio, si determina il modello dell'incendio che determina l'esposizione termica a cui saranno sottoposti gli elementi da verificare;
2. nella fase 2 *Modello di trasmissione del calore*, che dipende dalla geometria, dalle proprietà termiche e dalle caratteristiche di trasmissione del calore dell'elemento, si determina il gradiente termico all'interno degli elementi da verificare;
3. nella fase 3 *Modello strutturale* che dipende dalla geometria dell'elemento, dai carichi ad esso applicati e dalle proprietà meccaniche dello stesso, si determina la capacità portante dell'elemento da verificare.



Ai fini della verifica della misura S.2, il par. V.6.5.2 Resistenza al fuoco, nella tab. V.6-1, fornisce, ad esclusione delle autorimesse isolate, delle indicazioni relativamente alla classe minima di resistenza che non può, nel caso in esame, essere inferiore a 30.

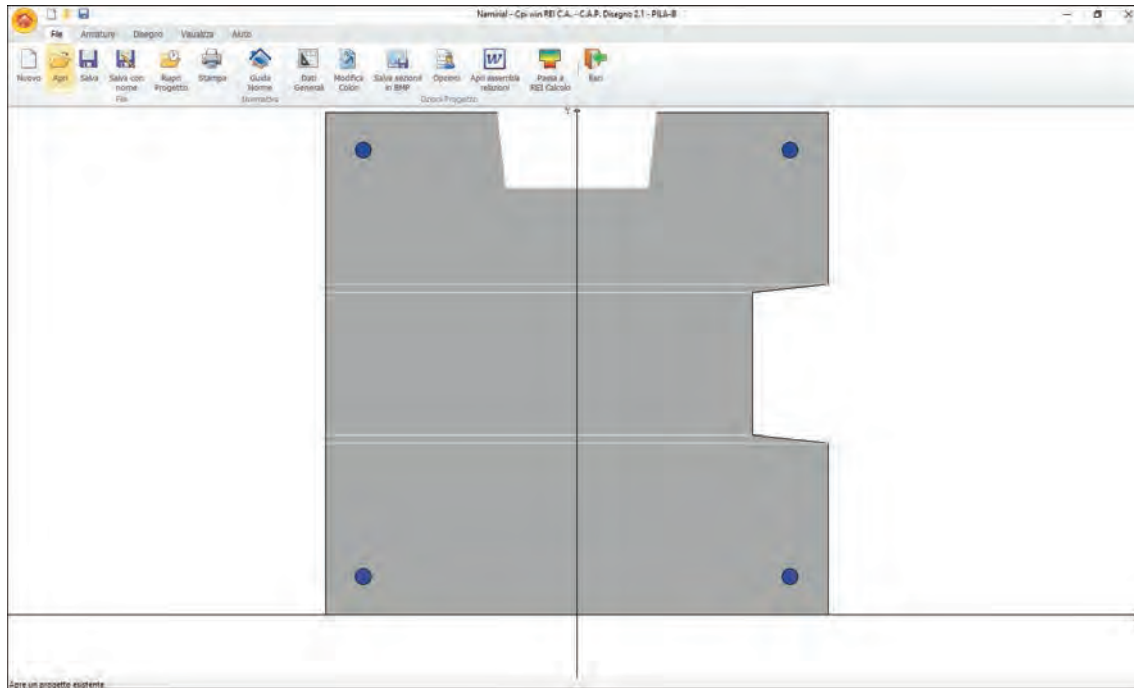
Nel prosieguo del caso studio è stato utilizzato il software CPI win® REI sviluppato da Namirial S.p.A..

Pilastrì

Si illustra, di seguito, la verifica analitica di resistenza al fuoco per una sezione di un pilastro con calcestruzzo di classe C45/55 e 4 barre di acciaio $\Phi 20$ tipo B450C, sottoposto ad una sollecitazione esterna pari a:

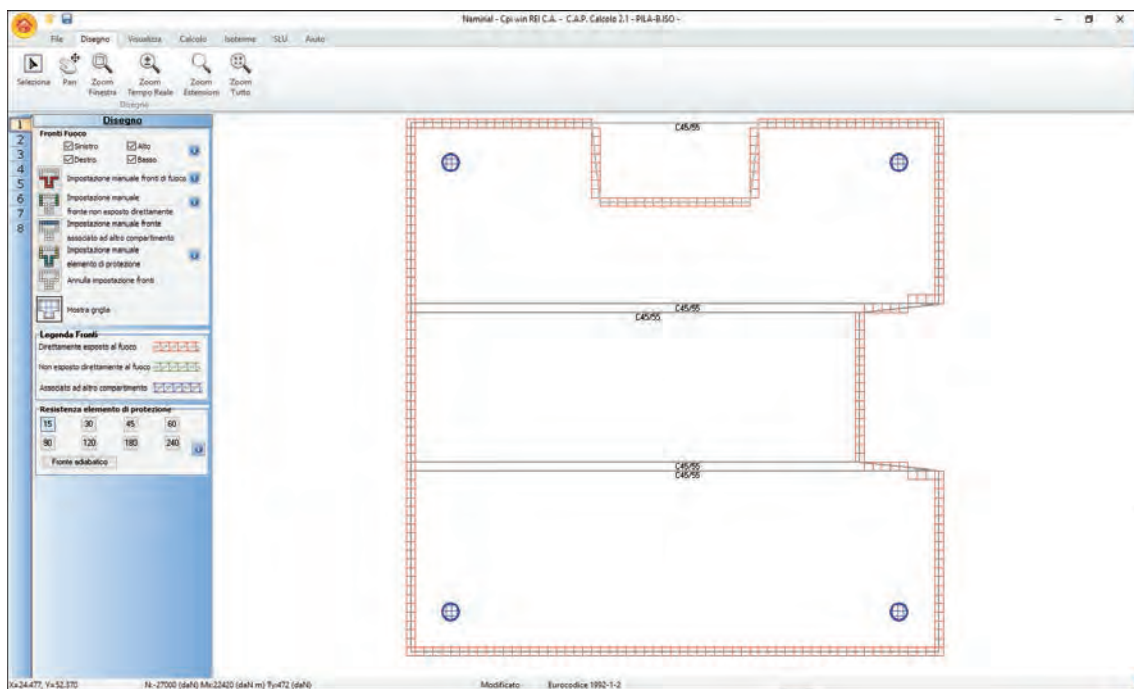
$$N = - 27000 \text{ (daN)}, M_x = 32420 \text{ (daNm)} \text{ e } T_y = 472 \text{ (daN)}$$

avente la seguente forma:



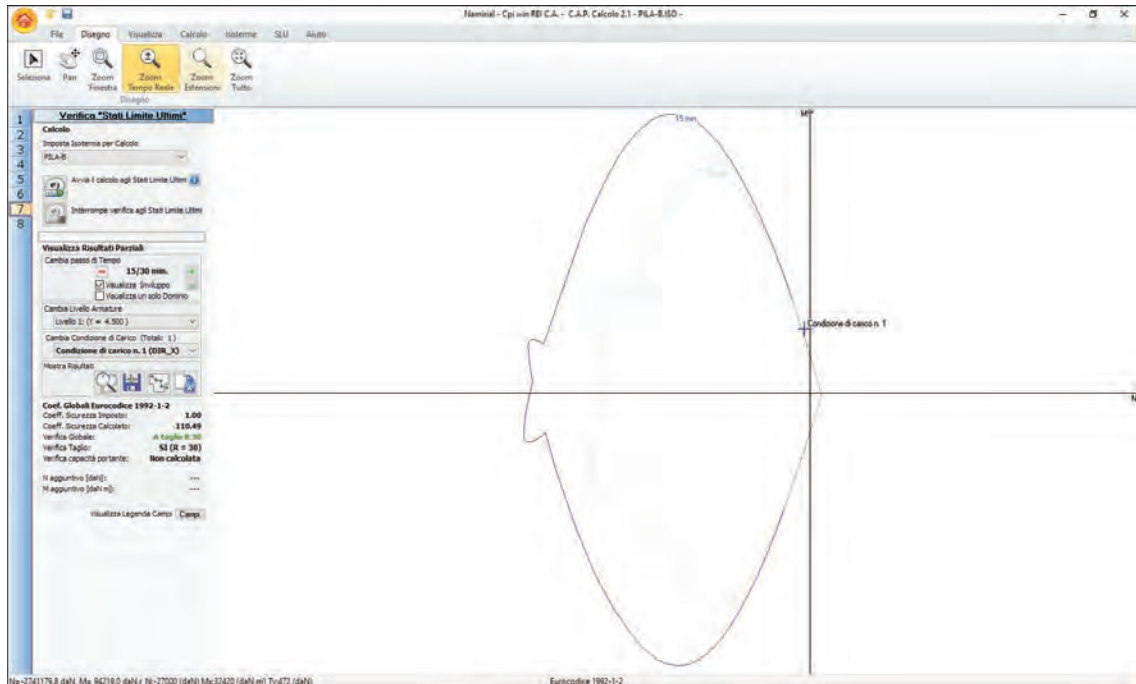
SEZIONE DEL PILASTRO

La sezione in esame risulta essere investita dal fuoco su tutti e quattro i lati:



SEZIONE DEL PILASTRO SOGGETTO ALL'INCENDIO

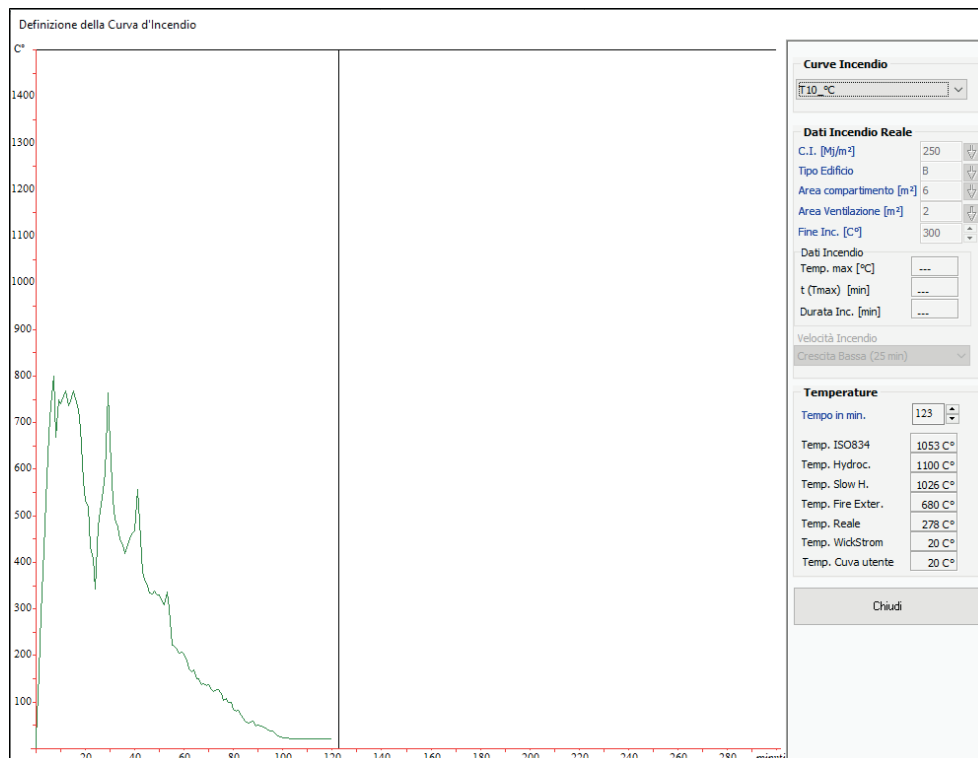
La *soluzione alternativa* è stata scelta in quanto con la *soluzione conforme*, ovvero con la determinazione dello stress termico utilizzando la curva nominale d'incendio ISO 834, l'elemento strutturale non risulta verificato, come si evince dalla seguente rappresentazione del dominio agli SLU:



CURVA NOMINALE ISO 834 - SEZIONE NON VERIFICATA AGLI SLU

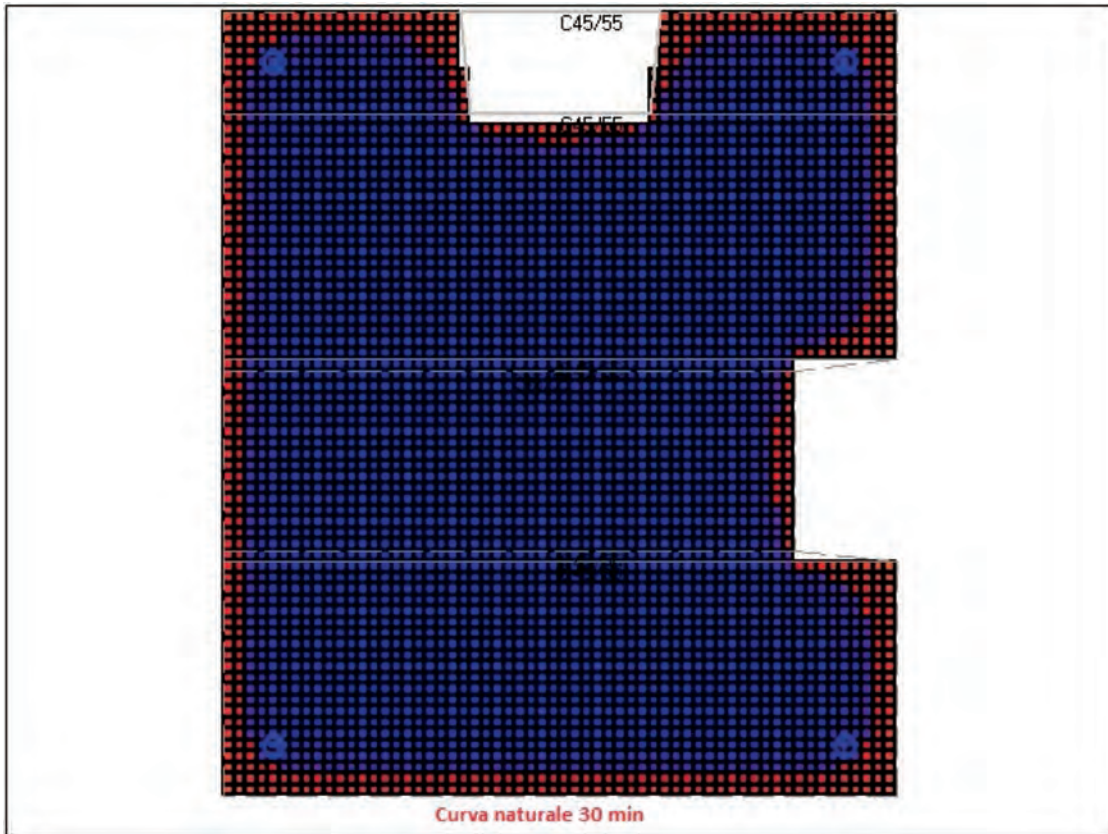
Il calcolo è stato effettuato agli SLU verificando che la sezione a caldo supporti le sollecitazioni esterne; nel caso in esame il riferimento delle sollecitazioni esterne, rappresentato nel grafico dalla crocetta, è esterna al dominio di verifica e, pertanto, la sezione non risulta verificata.

Per la fase 2 il gradiente termico utilizzato corrisponde alla curva naturale d'incendio corrispondente alla termocoppia T10 associata all'elemento in esame:

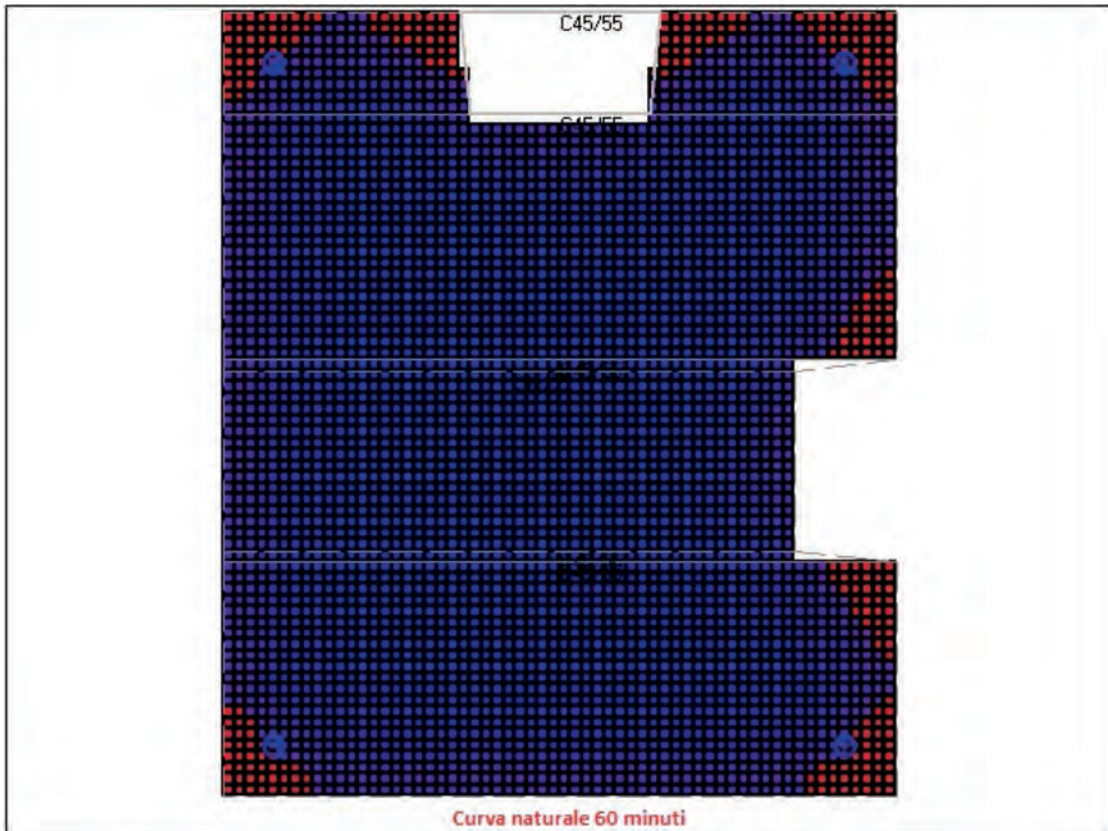


CURVA NATURALE D'INCENDIO - TERMOCOPPIA T10

Lo sviluppo delle temperature all'interno dell'elemento strutturale, utilizzando la curva naturale determinata sviluppando lo scenario S2 della RTV Autorimessa, è il seguente:

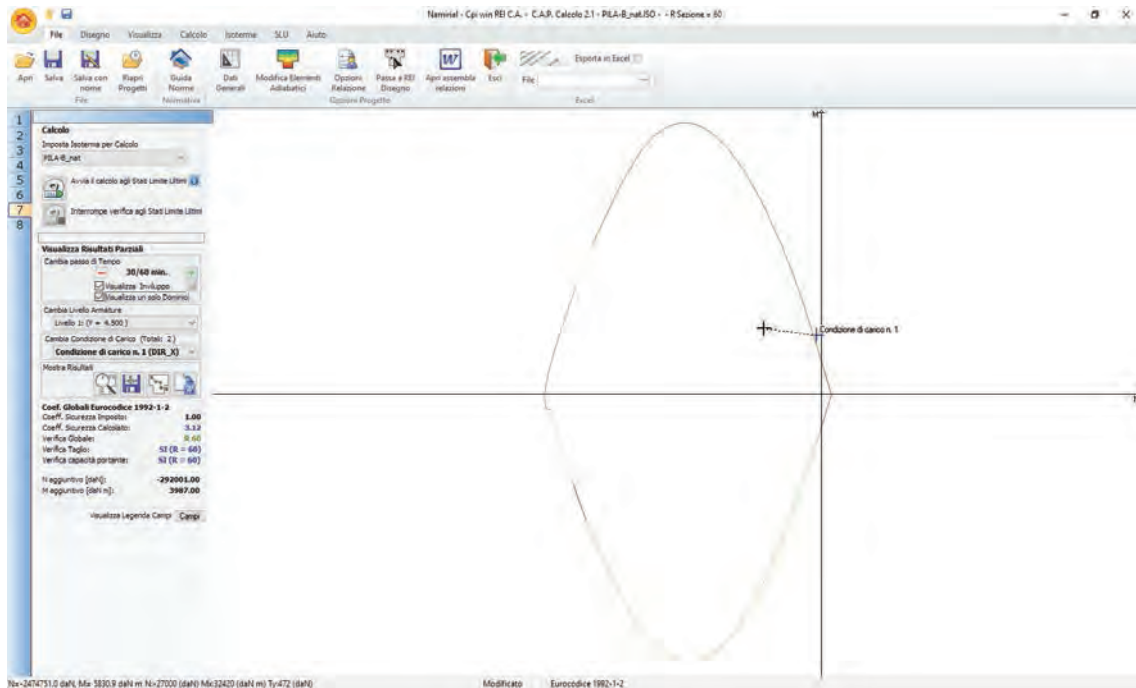


CURVA NATURALE - TEMPERATURE A 30 MIN ALL'INTERNO DELLA SEZIONE DEL PILASTRO



CURVA NATURALE - TEMPERATURE A 60 MIN ALL'INTERNO DELLA SEZIONE DEL PILASTRO

Per la fase 3 si ottiene la seguente verifica agli SLU:



VERIFICA SLU CURVA NATURALE 30 MIN - COEFFICIENTE DI SICUREZZA 2,86

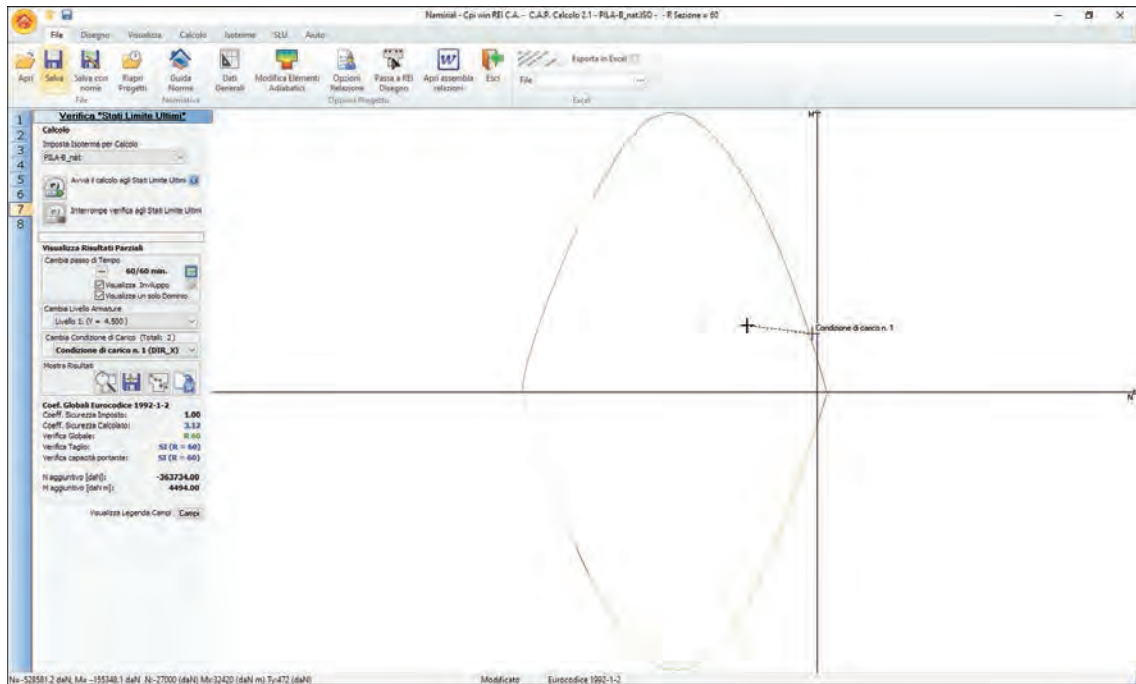
La tabella seguente mostra il dettaglio dei risultati di calcolo a 30 min:

Visualizzazione dati isoterma 30/60 min.		Fase C (Per M, N diversi da zero)		Verifiche Taglio	
Fase A (Per M diverso da zero)		Fase C (Per M, N diversi da zero)		1. Taglio Esterno	
Campo di rottura...	3	Campo di rottura...	3	Sforzo al Taglio "Ved" [daN] :	472.00
Deformazione Acciaio...	...	Deformazione Acciaio...	...	2. Taglio Calcestruzzo	
Deformazione Cls...	...	Deformazione Cls...	...	T. assorbito dal Cls "Vrd,c" [daN]:	355325.72
Posizione asse... [cm]	51.455	Posizione asse... [cm]	13.768	3. Taglio Acciaio	
Area ds comp... [cm²]	970.000	Area ds comp... [cm²]	3088.000	Sf. ass. staffe "Vrd,ss" [daN]:	52151.44 +
Sforzo ds... [daN]	-320735.291	Sforzo ds... [daN]	-1067244.758	Sf. ass. piegati "Vrd,sp" [daN]:	--- =
Tensione acciaio...	...	Tensione acciaio...	...	"Vrsd" [daN]:	52151.44
Sforzo acciaio...	...	Sforzo acciaio...	...	Conclusioni	
Risultante forze... [daN]	-0.063	Risultante forze... [daN]	-0.000	Resistenza al taglio	
Momento ultimo [daNm]	104086.743	Momento ultimo [daNm]	122801.937	Vrd,s" [daN]:	Minimo tra ("Vrd,c", "Vrd,s")
Mom. Esercizio. [daNm]	36407.000	Mom. Esercizio. [daNm]	36407.000	Vrd [daN]:	52151.44
Coefficiente...	2.859	Sf. Norm. ultimo [daN]	-1076000.241	Verifica	Vrd <= Vrd
Fase B (Per N diverso da zero)		Sf. Esercizio [daN]	-319001.000	Sezione verificata al taglio	
Campo di rottura...	5	Coefficiente...	3.373	Coeff. Sicurezza Taglio	
Deformazione Acciaio...	...	Coefficiente di sicurezza globale		110.49	
Deformazione Cls...	...	2.859			
Posizione asse... [cm]	5.853	Cambia Condizione di Carico			
Area ds comp... [cm²]	3868.000	Condizione di carico n. 1 (DIR_X)			
Sforzo ds... [daN]	-1402310.069	Cambia passo di Tempo			
Tensione acciaio...	...	30/60 min.			
Sforzo acciaio...	...	Esci			
Risultante forze... [daN]	-0.074				
Sf. Norm. ultimo [daN]	-1442696.633				
Sf. Esercizio [daN]	-319001.000				
Coefficiente...	4.523				

RIEPILOGO RISULTATI DI CALCOLO A 30 MIN

Dalla tabella si evince che il coefficiente di sicurezza di 2,86 corrisponde alla verifica nella condizione più gravosa (M agente e N = 0 - Fase A); il rapporto fra il momento ultimo $M_u = 104087$ daNm ed il momento di esercizio $M_e = 36407$ daNm, che tiene conto anche delle sollecitazioni aggiuntive generate dalla deformazione della sezione, fornisce:

$$c = M_u / M_e = 104087 / 36407 = 2,859$$



VERIFICA SLU CURVA NATURALE 60 MIN - COEFFICIENTE DI SICUREZZA 3,12

La tabella seguente mostra il dettaglio dei risultati di calcolo a 60 min:

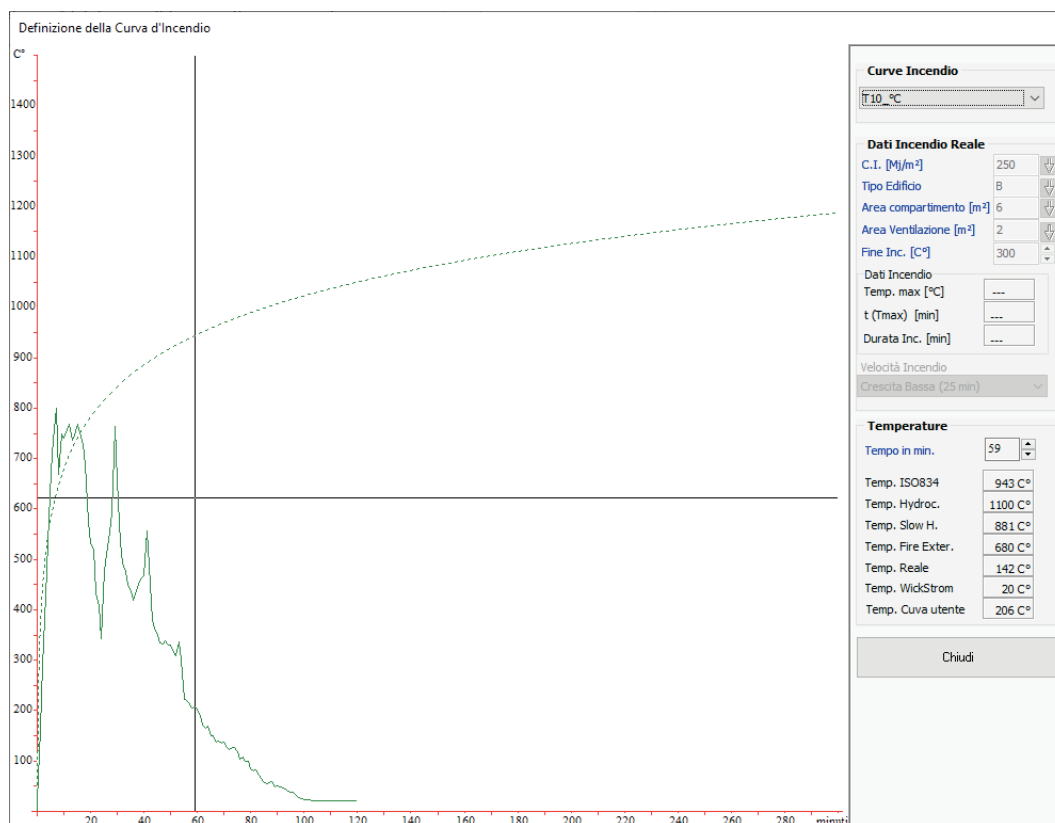
Visualizzazione dati isoterma 60/60 min.		Fase C (Per M, N diversi da zero)		Verifiche Taglio	
Fase A (Per M diverso da zero)		Fase C (Per M, N diversi da zero)		1. Taglio Esterno	
Campo di rottura...	3	Campo di rottura...	3	Sforzo al Taglio "Ved" [daN] : 472.00	
Deformazione Acciaio...	...	Deformazione Acciaio...	...	2. Taglio Calcestruzzo	
Deformazione Cls...	...	Deformazione Cls...	...	T. assorbito dal Cls "Vrd,c" [daN]: 320830.65	
Posizione asse... [cm]	46.685	Posizione asse... [cm]	6.300	3. Taglio Acciaio	
Area cls comp... [cm²]	1270.000	Area cls comp... [cm²]	3508.000	Sf. ass. staffe "Vrd,ss" [daN]: 52151.44 +	
Sforzo ds... [daN]	-393348.670	Sforzo ds... [daN]	-1198341.277	Sf. ass. piegati "Vrd,sp" [daN]: --- =	
Tensione acciaio...	...	Tensione acciaio...	...	"Vrsd" [daN]: 52151.44	
Sforzo acciaio...	...	Sforzo acciaio...	...	Conclusioni	
Risultante forze... [daN]	0.093	Risultante forze... [daN]	-0.000	Resistenza al taglio	
Momento ultimo [daNm]	116646.874	Momento ultimo [daNm]	115075.959	Vrd,s" [daN]: Minimo tra ("Vrd,c", "Vrd,s")	
Mom. Esercizio. [daNm]	36914.000	Mom. Esercizio. [daNm]	36914.000	Vrd [daN]: 52151.44	
Coefficiente...	3.160	Sf. Norm. ultimo [daN]	-1218076.877	Verifica	
Fase B (Per N diverso da zero)		Sf. Esercizio [daN]	-390734.000	Ved <= Vrd	
Campo di rottura...	5	Coefficiente...	3.117	Sezione verificata al taglio	
Deformazione Acciaio...	...	Coefficiente di sicurezza globale		Coeff. Sicurezza Taglio	
Deformazione Cls...	...	3.117		110.49	
Posizione asse... [cm]	23.023	Cambia Condizione di Carico			
Area cls comp... [cm²]	3868.000	Condizione di carico n. 1 (DIR_X)			
Sforzo ds... [daN]	-1510413.783	Cambia passo di Tempo			
Tensione acciaio...	...	60/60 min.			
Sforzo acciaio...	...	Esci			
Risultante forze... [daN]	-0.054				
Sf. Norm. ultimo [daN]	-1556042.250				
Sf. Esercizio [daN]	-390734.000				
Coefficiente...	3.982				

RIEPILOGO RISULTATI DI CALCOLO A 60 MIN

Dalla tabella si evince che il coefficiente di sicurezza di 3,12 corrisponde alla verifica nella condizione più gravosa (M e N agenti - Fase C); il rapporto fra il momento ultimo $M_u = 115076$ daNm ed il momento di esercizio $M_e = 36914$ daNm, che tiene conto anche delle sollecitazioni aggiuntive generate dalla deformazione della sezione, fornisce:

$$c = M_u / M_e = 115076 / 36914 = 3,117$$

Dall'analisi dei risultati si evince l'azione della curva naturale dell'incendio:



CURVA NATURALE D'INCENDIO

Essa, rispetto alla curva nominale standard ISO 834, tiene conto della fase di raffreddamento della sezione che determina una temperatura media inferiore e, quindi, un coefficiente di sicurezza a 60 min superiore al coefficiente di sicurezza a 30 min.

L'analisi dei dati consente di affermare che la sezione in esame è verificata con un coefficiente di sicurezza 3,12 a 60 min, adottando la *soluzione alternativa*, utilizzando una curva naturale d'incendio calcolata con i metodi dell'ingegneria prestazionale, secondo le indicazioni del par. S.2.6.

Osservazione: per gli scopi della presente pubblicazione, la verifica è stata condotta, per semplicità, trascurando in parte il termine $Ad(t)$ della combinazione eccezionale di carico, ossia le sollecitazioni indirette generate dalle deformazioni ed espansioni imposte o impedito dovute ai cambiamenti di temperatura per effetto dell'esposizione al fuoco.

Mentre ciò viene esplicitamente ammesso in caso di verifiche di singoli elementi esposti a curve nominali, nel caso di incendio naturale ciò non può essere fatto senza aver condotto valutazioni specifiche, omesse nel caso studio in esame.

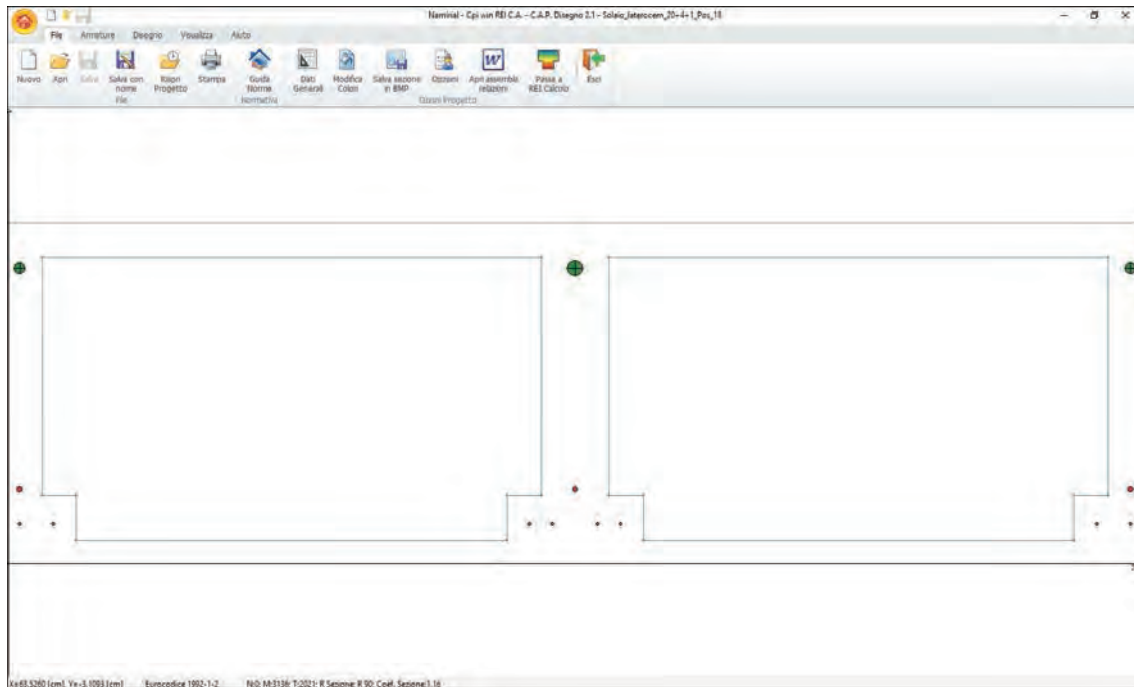
Nel caso in questione, poi, la natura localizzata dell'incendio, che riscalda gli elementi in prossimità ad essi ed interessa in misura molto inferiore quelli più lontani dal focolare, le sollecitazioni indirette sono certamente rilevanti e non trascurabili, dal momento che la parte più fredda delle strutture funge da ostacolo/vincolo alle espansioni termiche degli elementi soggetti alle alte temperature dell'incendio.

Solaio

Per quanto riguarda il solaio è stata eseguita una verifica su una porzione dello stesso, ipotizzando una classe di calcestruzzo C28/35, 2 barre di acciaio Φ 10 tipo B450C, 1 barra di acciaio Φ 14 tipo B450C, 3 armature tese (filo) Φ 5 e 8 armature tese (filo) Φ 3, sottoposto ad una sollecitazione esterna pari a:

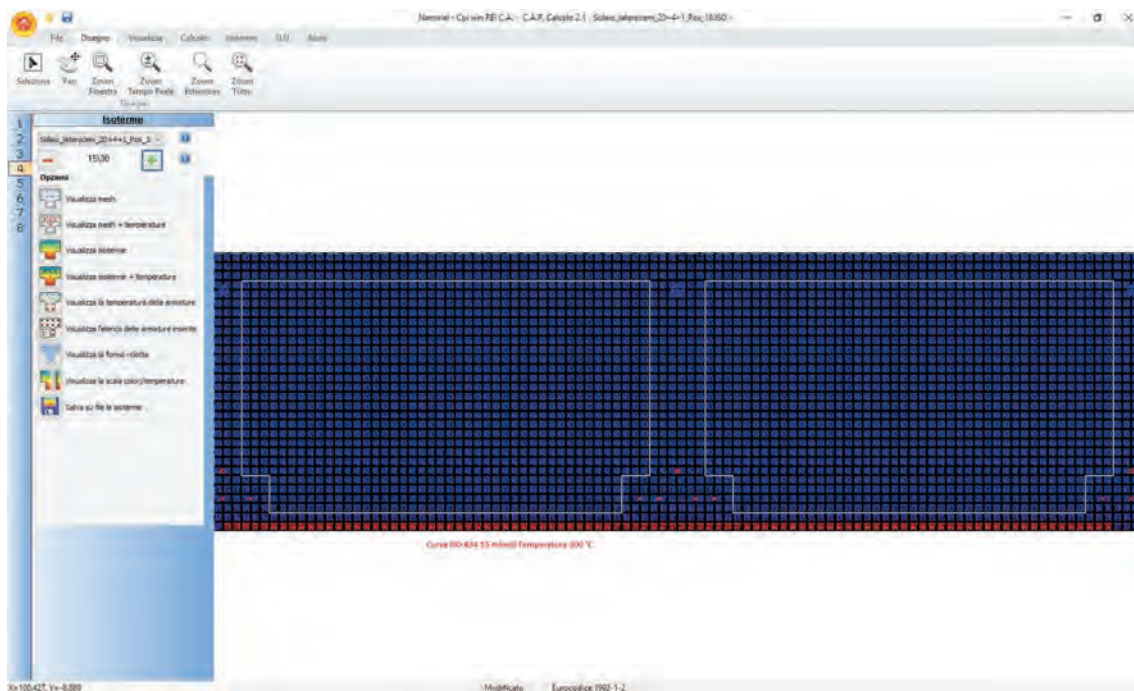
$$N = 0 \text{ (daN)}, M_x = 4753 \text{ (daNm)} \text{ e } T_y = 2021 \text{ (daN)}$$

avente la seguente forma:

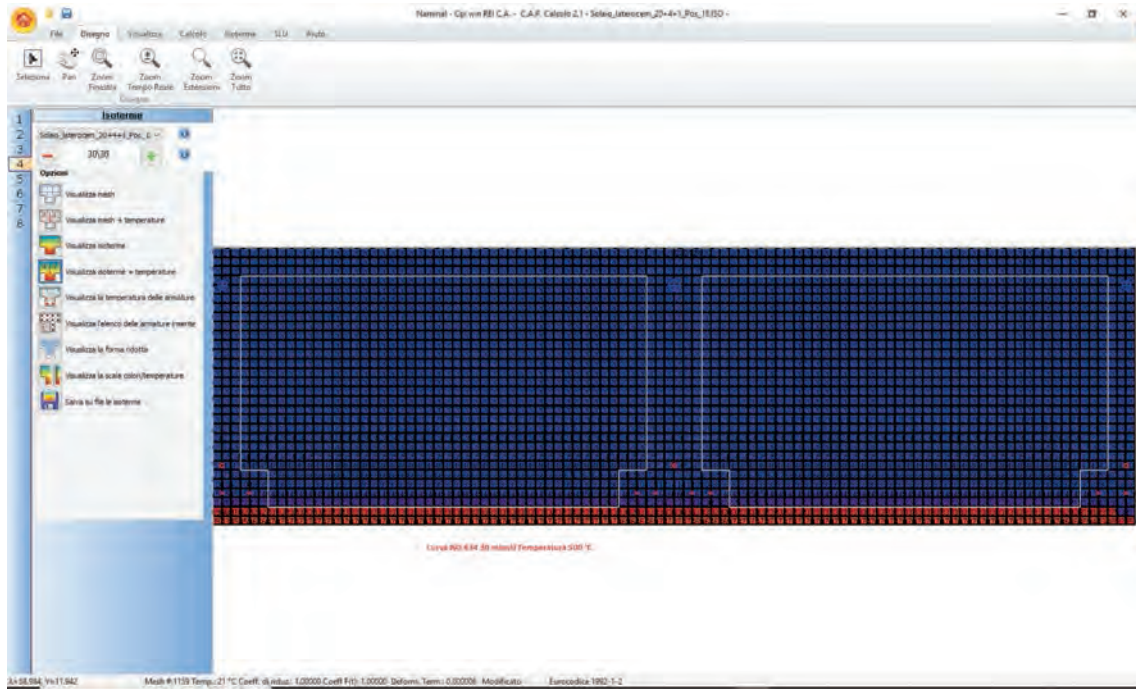


SEZIONE DEL SOLAIO

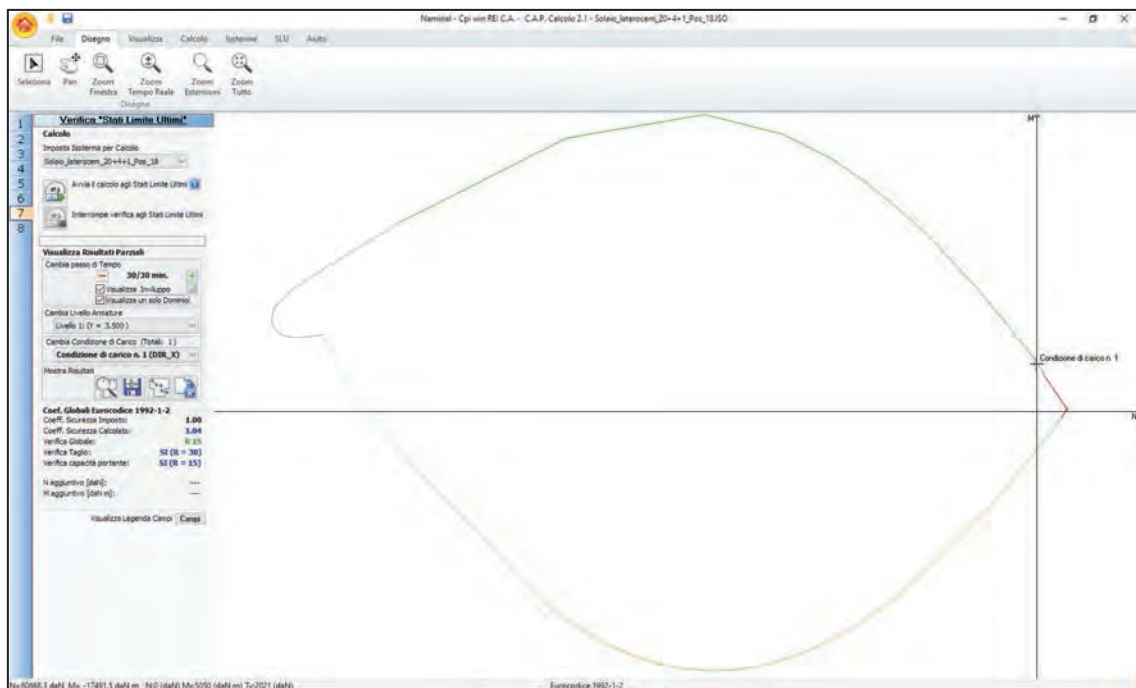
La verifica, eseguita con la curva nominale d'incendio, ha prodotto il seguente stress termico sulla struttura:



CURVA ISO 834 - TEMPERATURA A 15 MIN ALL'INTERNO DEL SOLAIO



CURVA ISO 834 - TEMPERATURA A 30 MIN ALL'INTERNO DEL SOLAIO



VERIFICA SLU CURVA ISO 834 - R 15

La tabella seguente mostra il dettaglio dei risultati di calcolo a 15 min:

Fase A (Per M diverso da zero)		Fase C (Per M, N diversi da zero)		Verifiche Taglio	
Campo di rottura...	3	Campo di rottura...	Non definito	1. Taglio Esterno	
Deformazione Acciaio...	...	Deformazione Acciaio...	...	Sforzo al Taglio "Ved" [daN] : 2021.00	
Deformazione Cls...	...	Deformazione Cls...	...	2. Taglio Calcestruzzo	
Posizione asse... [cm]	28.224	Posizione asse... [cm]	Non definito	T. assorbito dal Cls "Vrd,c" [daN]: 622384.67	
Area cls comp... [cm ²]	200.000	Area cls comp... [cm ²]	Non definito	3. Taglio Acciaio	
Sforzo cls... [daN]	-33750.818	Sforzo cls... [daN]	Non definito	Sf. ass. staffe "Vrd,ss" [daN]: 0.00 +	
Tensione acciaio...	...	Tensione acciaio...	...	Sf. ass. piegati "Vrd,sp" [daN]: 3151.97 =	
Sforzo acciaio...	...	Sforzo acciaio...	...	"Vrds" [daN]: 3151.97	
Risultante forze... [daN]	0.062	Risultante forze... [daN]	Non definito	Conclusioni	
Momento ultimo [daNm]	5245.232	Momento ultimo [daNm]	Non definito	Resistenza al taglio	
Mom. Esercizio. [daNm]	4753.000	Mom. Esercizio. [daNm]	Non definito	Vrd,s" [daN]: Minimo tra ("Vrd,c", "Vrd,s")	
Coefficiente...	1.104	Coefficiente...	Non definito	Vrd [daN]: 3151.97	
Fase B (Per N diverso da zero)		Coefficiente di sicurezza globale		Verifica	
Campo di rottura...	Non definito	1.104		Ved <= Vrd	
Deformazione Acciaio...	...			Sezione verificata al taglio	
Deformazione Cls...	...	Cambia Condizione di Carico		Coeff. Sicurezza Taglio	
Posizione asse... [cm]	Non definito	Condizione di carico n. 1 (DIR_X)		1.56	
Area cls comp... [cm ²]	Non definito	Cambia passo di Tempo			
Sforzo cls... [daN]	Non definito	15/30 min.			
Tensione acciaio...	...	Esci			
Sforzo acciaio...	...				
Risultante forze... [daN]	Non definito				
Sf. Norm. ultimo [daN]	Non definito				
Sf. Esercizio [daN]	Non definito				
Coefficiente...	Non definito				

Livello Armature Livello 1: (Y = 3.500)

RIEPILOGO RISULTATI DI CALCOLO A 15 MIN

Dalla tabella si evince che il coefficiente di sicurezza di 1,10 corrisponde alla verifica nella condizione più gravosa (M agente e N = 0 - Fase A); il rapporto fra il momento ultimo $M_u = 5245$ daNm ed il momento di esercizio $M_e = 4753$ daNm, che tiene conto anche delle sollecitazioni aggiuntive generate dalla deformazione della sezione, fornisce:

$$c = M_u / M_e = 5245 / 4753 = 1,104$$

La sezione risulta essere verificata per 15 min con un coefficiente di sicurezza pari a 1,10.

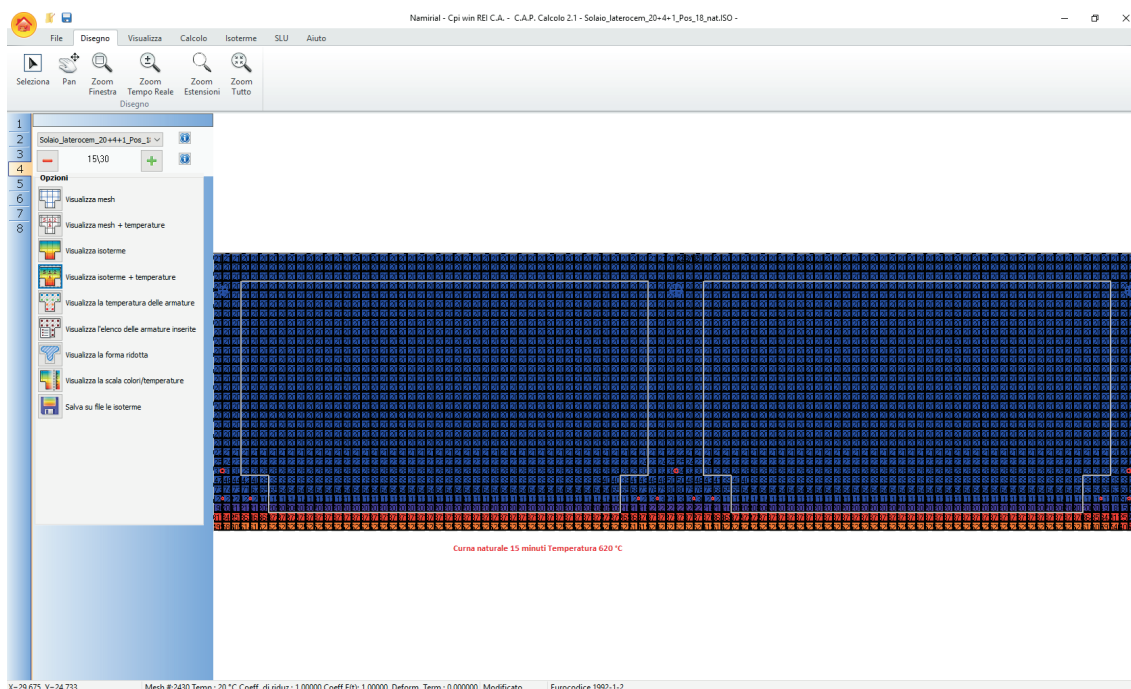
Osservazione: anche in tale esempio sono state in parte trascurate, per semplicità, le sollecitazioni indirette $A_d(t)$, in merito valgono le stesse considerazioni effettuate per il pilastro.

Utilizzando la seguente curva naturale dell'incendio ricavata con una simulazione fluidodinamica, che nelle prime fasi ha una temperatura superiore a quella della curva nominale ISO 834, per poi dimezzarsi dopo i primi 15 min:

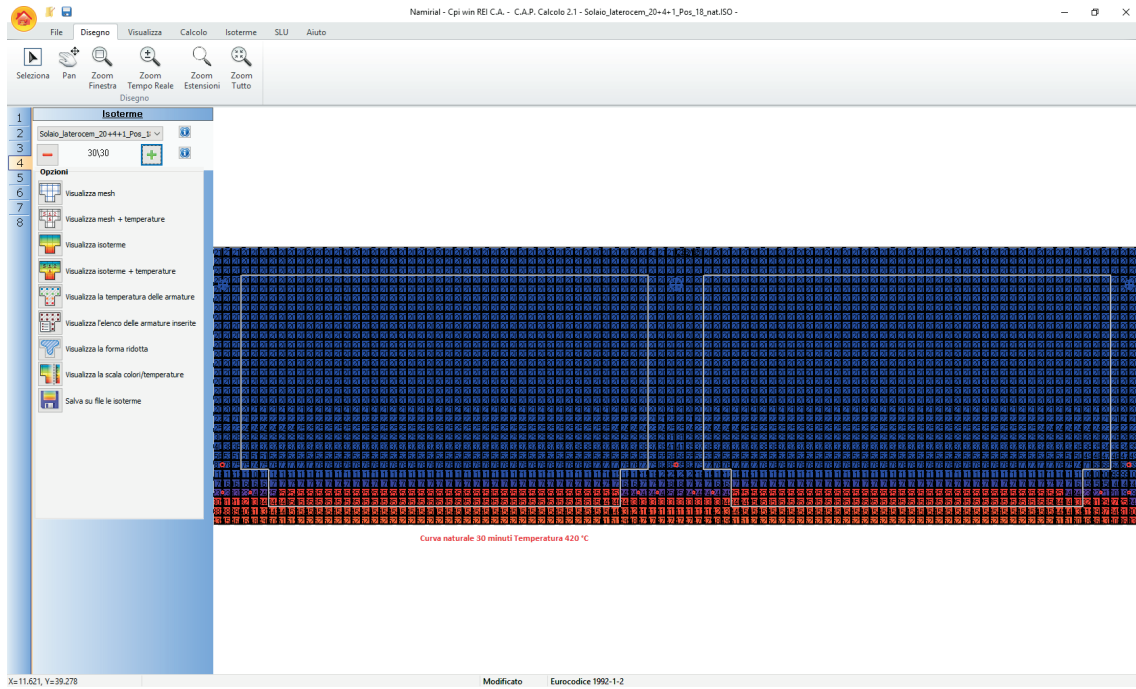


CURVA NATURALE D'INCENDIO

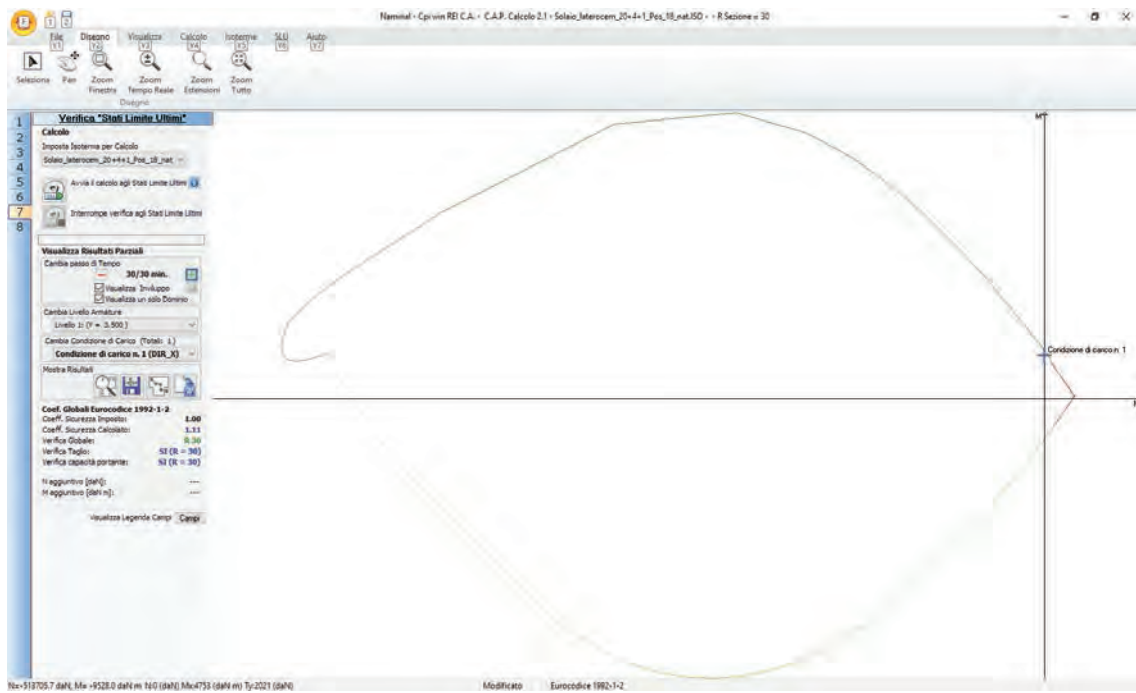
si ottiene il seguente andamento delle temperature all'interno della sezione:



CURVA NATURALE - TEMPERATURA A 15 MIN ALL'INTERNO DEL SOLAIO



CURVA NATURALE - TEMPERATURA A 30 MIN ALL'INTERNO DEL SOLAIO



VERIFICA SLU CURVA NATURALE 30 MIN

La tabella seguente mostra il dettaglio dei risultati di calcolo a 30 min:

Visualizzazione dati isoterma 15/30 min.

Fase A (Per M diverso da zero)		Fase C (Per M, N diversi da zero)		Verifiche Taglio	
Campo di rottura...	3	Campo di rottura...	Non definito	1. Taglio Esterno	
Deformazione Acciaio...	...	Deformazione Acciaio...	...	Sforzo al Taglio "Ved" [daN] : 2021.00	
Deformazione Cls...	...	Deformazione Cls...	...	2. Taglio Calcestruzzo	
Posizione asse... [cm]	28.206	Posizione asse... [cm]	Non definito	T. assorbito dal Cls "Vrd,c" [daN]: 634347.99	
Area cls comp... [cm²]	200.000	Area cls comp... [cm²]	Non definito	3. Taglio Acciaio	
Sforzo cls... [daN]	-34063.123	Sforzo cls... [daN]	Non definito	Sf. ass. staffe "Vrd,ss" [daN]: 0.00 +	
Tensione acciaio...	...	Tensione acciaio...	...	Sf. ass. piegati "Vrd,sp" [daN]: 3151.97 =	
Sforzo acciaio...	...	Sforzo acciaio...	...	"Vrsd" [daN]: 3151.97	
Risultante forze... [daN]	-0.000	Risultante forze... [daN]	Non definito	Conclusioni	
Momento ultimo [daNm]	5323.135	Momento ultimo [daNm]	Non definito	Resistenza al taglio	
Mom. Esercizio. [daNm]	4753.000	Mom. Esercizio. [daNm]	Non definito	Vrd,s" [daN]: Minimo tra ("Vrd,c", "Vrd,s")	
Coefficiente...	1.120	Coefficiente...	Non definito	Vrd [daN]: 3151.97	
Fase B (Per N diverso da zero)		Coefficiente di sicurezza globale		Verifica	
Campo di rottura...	Non definito	1.120		Ved <= Vrd	
Deformazione Acciaio...	...	Cambia Condizione di Carico		Sezione verificata al taglio	
Deformazione Cls...	...	Condizione di carico n. 1 (DIR_X)		Coeff. Sicurezza Taglio	
Posizione asse... [cm]	Non definito	Cambia passo di Tempo		1.56	
Area cls comp... [cm²]	Non definito	15/30 min.			
Sforzo cls... [daN]	Non definito	Esci			
Tensione acciaio...	...				
Sforzo acciaio...	...				
Risultante forze... [daN]	Non definito				
Sf. Norm. ultimo [daN]	Non definito				
Sf. Esercizio [daN]	Non definito				
Coefficiente...	Non definito				

Livello Armature Livello 1: (Y = 3.500)

RIEPILOGO RISULTATI DI CALCOLO A 30 MIN

Dalla tabella si evince che il coefficiente di sicurezza di 1,10 corrisponde alla verifica nella condizione più gravosa (M agente e N = 0 - Fase A); il rapporto fra il momento ultimo $M_u = 5323$ daNm ed il momento di esercizio $M_e = 4753$ daNm, che tiene conto anche delle sollecitazioni aggiuntive generate dalla deformazione della sezione, fornisce:

$$c = M_u / M_e = 5323 / 4753 = 1,120$$

La sezione risulta essere verificata per 30 min con un coefficiente di sicurezza pari a 1,12.

Il prospetto riepilogativo seguente, relativo ai calcoli effettuati, riporta i risultati di calcolo ottenuti:

Elemento	Curva nominale				Curva naturale			
	Momento Ultimo	Momento esercizio	Coefficiente di sicurezza	Verifica R	Momento Ultimo	Momento esercizio	Coefficiente di sicurezza	Verifica della resistenza
Pilastro	-	32420 (daN)	-	-	115076 (daNm)	36914 (daNm)	3,12	60
Solaio	5245 (daNm)	4753 (daN)	1,01	15	5323 (daNm)	4753 (daNm)	1,12	30

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

La verifica della resistenza al fuoco, attraverso l'applicazione del par. S.2.5 del Codice, ovvero mediante l'applicazione della curva nominale dell'incendio ISO 834, non era stata soddisfatta, sia nel caso del pilastro che in quello del solaio.

A meno di un intervento sugli elementi strutturali, che avrebbe dovuto mirare alla loro protezione, si è andati alla ricerca di una *soluzione alternativa*.

❖ *Commento dei risultati*

In generale, il Codice (par. S.2.6) consente di calcolare l'andamento della potenza termica rilasciata HRR (t) facendo ricorso a:

- dati sperimentali, ottenuti da misura diretta in laboratorio;
- dati pubblicati, citando le fonti e verificando la corrispondenza del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario d'incendio di progetto;
- metodologie di stima, riportate nel par. M.2.6;
- focolari predefiniti, individuati al par. M.2.7.

Nel caso in esame, si è fatto ricorso allo scenario S2 della RTV Autorimesse per la determinazione della curva naturale dell'incendio utilizzando il motore di calcolo di fluidodinamica FDS per la simulazione dello scenario d'incendio ipotizzato.

L'applicazione del par. S.2.6 ha consentito di verificare, con l'ausilio di apposita modellazione fluidodinamica dell'incendio, gli elementi strutturali consentendo un risparmio, a parità di sicurezza, per il titolare dell'attività.

Si evidenzia che le verifiche analitiche su singoli elementi, condotte nel dominio delle resistenze utilizzando le curve naturali come cimento termico, richiedono al progettista di stimare le sollecitazioni indirette $Ad(t)$ della combinazione di carico eccezionale generate da deformazioni ed espansioni imposte o impedito dovute ai cambiamenti di temperatura per effetto dell'esposizione al fuoco.

❖ *Eventuali sviluppi ulteriori*

L'approccio ingegneristico prevede, una volta definiti gli scenari, l'identificazione del focolare rappresentativo. In assenza di valutazioni specifiche, il progettista può far ricorso ai focolari predefiniti di cui alla tabella M.2-2. In genere tali focolari risultano essere molto severi ma non sono affatto da impiegare obbligatoriamente. Il progettista è invitato ad individuare focolari rappresentativi per gli scenari di incendio credibili sulla base di dati reperibili in letteratura e, qualora necessario, anche ricorrendo a specifiche sperimentazioni per la determinazione della curva HRR.

Caso studio 13: soluzione alternativa per il livello di prestazione II misura S.3 - deposito

Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un deposito di materie plastiche, inserito in un sito industriale, realizzato all'esterno del reparto produttivo, al fine di diminuire il quantitativo di materiali combustibili ivi presenti.

Il deposito sarà pertanto isolato rispetto al reparto produttivo, e sarà destinato allo stoccaggio di materiali polimerici necessari per gli imballaggi dei prodotti lavorati.

Il deposito sarà realizzato nelle aree esterne del complesso, collocato in maniera tale da non poter produrre eventuali effetti domino in caso d'incendio e, nello stesso tempo, ottimizzando le operazioni di logistica connesse con il processo produttivo.

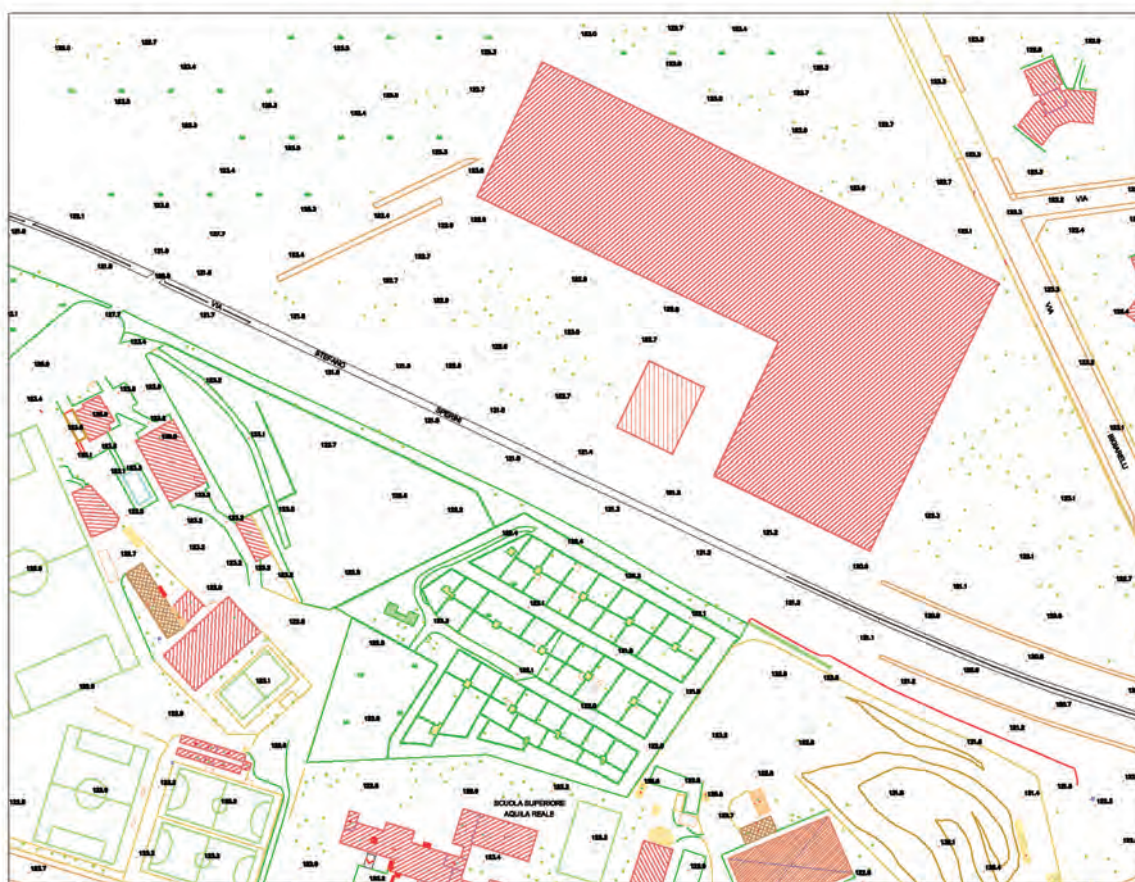
Le sostanze pericolose stoccate sono costituite, principalmente, da materiale di natura polimerica (polietilene e poliolefine) e, secondariamente, da pallets in legno ed imballaggi in cartone di tali rotoli di materiale plastico. All'interno del deposito, lo stoccaggio delle tipologie di prodotti presenti, avverrà su aree ben definite sotto forma di isole, realizzate mediante l'utilizzo di rastrelliere metalliche e posizionate tra loro ad una distanza reciproca di almeno 4,00 m in modo da garantire sufficiente spazio per la movimentazione e limitare gli effetti propagativi in caso d'incendio.

È prevista la presenza di un solo addetto che si occuperà, per periodi di breve durata, dello spostamento dei rotoli di materiale polimerico in base alle esigenze produttive.

Nell'ambito del progetto di prevenzione incendi dell'attività, viene di seguito riportato il calcolo della distanza di separazione necessaria a limitare la propagazione dell'incendio, operando un confronto tra le *soluzioni conformi* e le *soluzioni alternative* previste dal Codice.

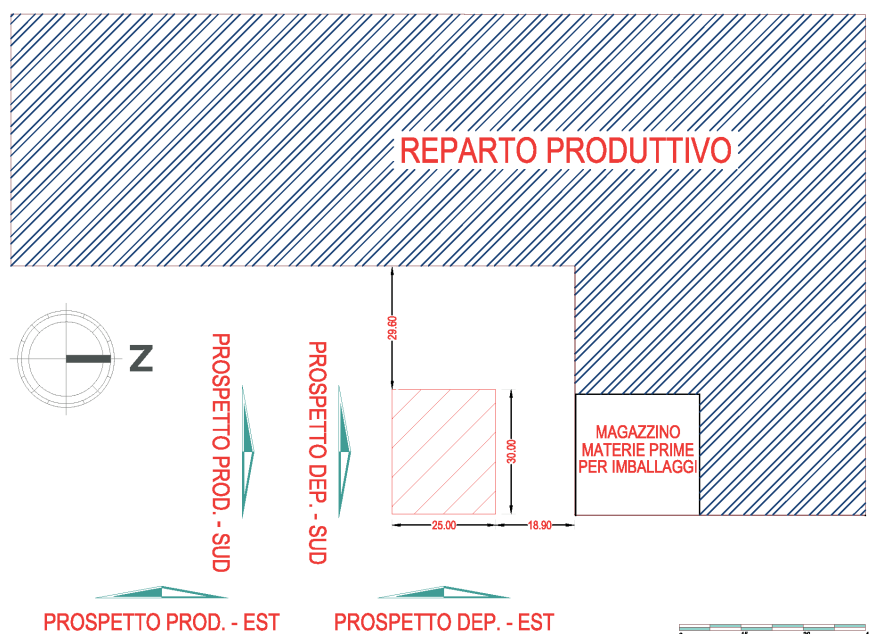
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:

Dimensioni geometriche del deposito	Vedi planimetria (A = 750 m ² , h al colmo = 7,30 m)
Apparecchiatura costruttiva	Carpenteria in acciaio



Inserimento planimetrico del sito industriale

Compartimenti antincendio	Unico compartimento
Numero occupanti	1 (nessun disabile)
Profilo di rischio R_{vita}	A3 (par. G.3.2.1)
Profilo di rischio R_{beni}	1 (par. G.3.3.1)
Reazione al fuoco	Livello II di prestazione (par. S.1.3 e par. S.1.4.1)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (par. S.2.3 e par. S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello prestazione equivalente al II (par. S.3.3 e par. S.3.4.2)
Esodo	Livello I di prestazione (par. S.4.3 e par. S.4.4.1)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello III di prestazione (par. S.5.3 e par. S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (par. S.6.3 e par. S.6.6.2) Rete di idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello III di prestazione (par. S.7.3 e par. S.7.4.1) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (par. S.8.3 e par. S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello IV di prestazione (par. S.9.3 e par. S.9.4.3)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (par. S.10.3 e par. S.10.4.1)



INSERIMENTO DEL DEPOSITO NELL'AMBITO DEL SITO INDUSTRIALE

Obiettivi dello studio

Avendo individuato, nell'ambito della valutazione del rischio d'incendio, il deposito da realizzare come un'area a rischio specifico (par. G.1.16) e considerate le scelte progettuali relative alla misura S.3 (di seguito illustrate), occorrerà effettuare il calcolo delle distanze di separazione necessarie a limitare la propagazione dell'incendio verso e all'interno delle attività considerate (par. S.3.4.1).

Ciò premesso, ai fini della valutazione della distanza di separazione, sarà effettuato un confronto tra le *soluzioni conformi* e le *soluzioni alternative* previste dal Codice.

Come *soluzione alternativa* saranno utilizzati i valori di potenza termica radiante dell'incendio convenzionale E_1 e di emissività ϵ_f definiti nel par. S.3.11.3.

Tali valori saranno utilizzati come parametri di input di una modellazione FDS nella quale il livello di irraggiamento termico sul bersaglio verrà valutato tramite sensori virtuali e immagini 3D a falsi colori.

Successivamente, sarà mostrata una seconda modellazione FDS, nella quale le superfici del deposito di materie plastiche verranno completamente incendiate tramite un generatore di HRR costante.

Anche per questa modellazione, il livello di irraggiamento termico sul bersaglio sarà valutato e confrontato con i valori in output ottenuti dalla precedente modellazione.

Focus sulla strategia adottata

Prioritariamente, si ritiene opportuno evidenziare alcune peculiarità della strategia adottata nell'ambito del progetto di prevenzione incendi in esame, specificatamente in relazione alla strategia inerente la RTV V.1 Aree a rischio specifico ed alla misura S.3 Compartimentazione.

Aree a rischio specifico

In relazione alle risultanze della valutazione del rischio d'incendio, ed alle caratteristiche delle *aree a rischio specifico*, il progettista (par. V.1.2) ha valutato necessario l'inserimento delle aree a rischio specifico in un compartimento antincendio autonomo (cap. S.3), l'interposizione di distanze di separazione, la riduzione delle superfici lorde di compartimento e l'ubicazione fuori terra o su piani poco profondi.

È stata inoltre effettuata la valutazione del rischio di esplosione (par. V.1.2 punto 1, lettera f).

Compartimentazione

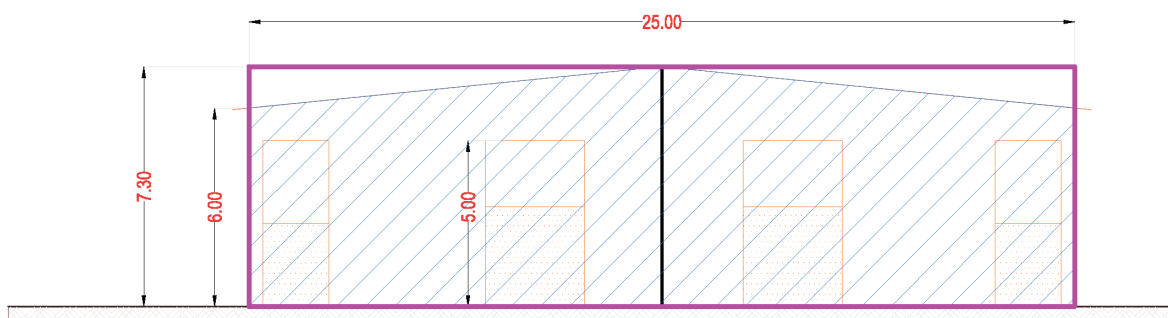
Relativamente alla compartimentazione, la strategia indicata nella RTV V.1 implica che il livello di prestazione attribuibile, sulla base della tab. S.3-2 è pari ad un livello II.

Per quanto riportato nella tab. S.3-1, questo significa contrastare, per un periodo congruo con la durata dell'incendio, la propagazione dello stesso sia verso altre attività, che al suo interno.

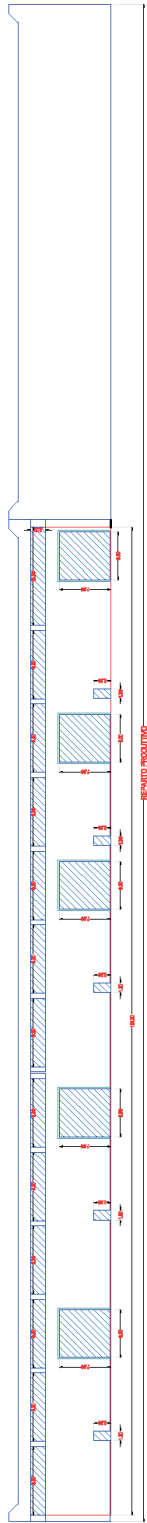
Nell'ambito della *soluzione conforme* per il livello di prestazione II si osserva che è possibile:

- al fine di limitare la propagazione dell'incendio verso altre attività: interporre idonee distanze di separazione su spazio a cielo libero tra le diverse attività contenute in opere da costruzione (par. S.3.4.1 punto 1, lettera b);
- al fine di limitare la propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività: interporre opportune distanze di separazione su spazio a cielo libero tra opere di costruzione che contengono l'attività (par. S.3.4.1 punto 2, lettera b).

Come *soluzione alternativa*, al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione II (par. S.3.4.3) saranno impiegati uno dei metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio, di cui al par. G.2.6.

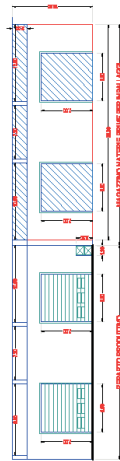


PIASTRA RADIANTE 2 - NUOVO DEPOSITO



PROSPETTO PROD. - EST

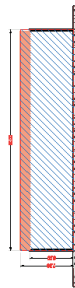
Piastra 5 - Riparto



PROSPETTO PROD. - SUD

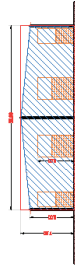
Piastra 4 - Magazzino carta

Piastra 3- Riparto



PROSPETTO DEP. - SUD

Piastra 1 - Deposito



PROSPETTO DEP. - EST

Piastra 2 - Deposito



SEZIONI E PROSPETTI SIGNIFICATIVI DEL SITO PRODUTTIVO CON INDICAZIONI DELLE PIASTRE RADIANTI

Determinazione della distanza di separazione

Metodo tabellare: incendio nel deposito - irraggiamento verso i reparti

In aderenza alla *soluzione conforme* ammessa dal Codice, ai fini della determinazione della distanza di separazione, si impiega la procedura tabellare, di cui al par. S.3.11.2, imponendo ad un valore pari a 12,6 kW/m² la soglia E_{soglia} di irraggiamento termico dell'incendio sul bersaglio.

Tale soglia è considerata adeguatamente conservativa per limitare l'innesco di qualsiasi tipologia di materiale, in quanto rappresenta il limite convenzionale entro il quale non avviene l'innesco del legno in aria stazionaria. Le ipotesi di calcolo sono le seguenti:

- l'altezza massima di stoccaggio dei rotoli polimerici è pari a circa 5,00 m mentre l'altezza della struttura è di 7,30 m;
- il calcolo della distanza di separazione viene effettuato in modo tale che non vi sia propagazione tra il materiale presente nel deposito e le costruzioni circostanti.

Con tali presupposti, i dati di input per il calcolo della distanza di separazione con la procedura tabellare sono:

- l'incendio avviene nel deposito e l'irraggiamento avviene in direzione del reparto produttivo;
- i piani radianti coincidono con i quattro lati del perimetro rettangolare dell'area di deposito;
- gli elementi radianti coincidono con il profilo frontale dell'area di stoccaggio, considerando i quattro lati di esposizione;
- le tipologie di piastre radianti che si configurano sono due, dato che i lati del rettangolo che circoscrivono l'isola di deposito, sono uguali due a due:

- Piastra 1 - Deposito - dimensioni: $B_1 = 30,00$ m; $H_1 = 7,30$ m;
- Piastra 2 - Deposito - dimensioni: $B_2 = 25,00$ m; $H_2 = 7,30$ m.

- la percentuale di foratura (p_1) per la Piastra 1 è pari ad 1, in considerazione della natura bassofondente dei materiali costituenti le pareti, mentre la percentuale di foratura (p_2) per la Piastra 2 è pari a 0,91, in considerazione della porzione di piastra che non contribuisce ad irraggiare, rappresentata dagli spioventi della copertura.

Essendo la distanza di separazione per la i -esima piastra radiante calcolata con la formula:

$$d_i = \alpha_i \times p_i + \beta_i$$

con α e β i coefficienti ricavati dalla tab. S.3-7, considerando l'altezza $H = 9,00$ m avendo, cautelativamente, arrotondato per eccesso il valore dell'altezza al valore superiore, ne consegue:

$\alpha_1 = 11,2$	$p_1 = 1$	$\beta_1 = 6,4$	$d_1 = 17,60$ m
$\alpha_2 = 11,0$	$p_2 = 0,91$	$\beta_2 = 6,0$	$d_2 = 16,10$ m

Tali valori delle distanze di separazione, per i quali non si ha propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività e verso attività limitrofe, soddisfano i valori delle distanze di separazione previsti sia tra il deposito ed il resto dei reparti (valore minimo 18,90 m) sia tra lo stesso e gli insediamenti esistenti più prossimi (valore circa 40 m).

Metodo tabellare: incendio nei reparti o nel magazzino - irraggiamento verso il deposito

Seguendo la medesima procedura proposta al paragrafo precedente, si è analizzato il caso in cui avvenga un incendio nel magazzino carta presente all'interno dei reparti e l'irraggiamento avvenga in direzione del deposito.

Le ipotesi di calcolo, in questo caso, presuppongono che il calcolo della distanza di separazione venga effettuato in modo tale che non vi sia propagazione di un eventuale incendio a partire dal materiale presente nel fabbricato verso il deposito.

Con tali presupposti, i dati di input per il calcolo della distanza di separazione con metodo tabellare sono:

- l'incendio avviene alternativamente nel magazzino carta o nella campata del reparto produttivo e l'irraggiamento avviene in direzione del deposito;

- il piano radiante coincide con il prospetto Sud del magazzino carta o con il prospetto Est del reparto produttivo;
- gli elementi radianti coincidono con i portoni e la finestratura a nastro presenti;
- le tipologie di piastre radianti che si configurano sono due, dato che il magazzino carta risulta compartimentato rispetto al resto del fabbricato:
 - Piastra 3 (reparto produttivo) - dimensioni: $B_1 = 28,60$ m; $H_1 = 10,90$ m;
 - Piastra 4 (Magazzino carta) - dimensioni: $B_2 = 29,30$ m; $H_2 = 10,90$ m.
- la percentuale di foratura (p_1) per la Piastra 3 è pari a 0,47, mentre la percentuale di foratura (p_2) per la Piastra 4 è pari a 0,46, in considerazione della presenza di portoni e finestratura a nastro.

Al solito, la distanza di separazione per la i -esima piastra radiante è calcolata con la formula:

$$d_i = \alpha_i \times p_i + \beta_i$$

Per la Piastra 3, dato che il q_f è inferiore a 1200 MJ/m^2 , si considerano come α e β i coefficienti ricavati dalla tab. S.3-8 considerando l'altezza $H = 12,00$ m e la base $B = 30,00$ m, arrotondando per eccesso i valori di base ed altezza ai valori superiori nella tabella (condizione più cautelativa), ne consegue:

$$\alpha_1 = 8,2 \quad p_1 = 0,47 \quad \beta_1 = 4,3 \quad d_1 = 8,10 \text{ m}$$

Per la Piastra 4, dato che il q_f è superiore a 1200 MJ/m^2 , si considerano come α e β i coefficienti ricavati dalla tab. S.3-7 considerando l'altezza $H = 12,00$ m e la base $B = 30,00$ m, arrotondando per eccesso i valori di base ed altezza ai valori superiori nella tabella (condizione più cautelativa), ne consegue:

$$\alpha_2 = 14,2 \quad p_2 = 0,46 \quad \beta_2 = 7,0 \quad d_2 = 13,60 \text{ m}$$

Tali valori delle distanze di separazione, per i quali non si ha propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività e verso attività limitrofe soddisfano i valori delle distanze di separazione previsti tra il deposito in oggetto ed il resto dei reparti (valore minimo 18,90 m).

Metodo analitico: incendio nei reparti o nel magazzino - irraggiamento verso il deposito

In questo caso, in aderenza alla *soluzione conforme* ammessa dal Codice, ai fini della determinazione della distanza di separazione, è stata impiegata la procedura analitica, in quanto le dimensioni del capannone lungo la Campata 5 eccedono il valore limite di 60,00 m imposto per l'utilizzo dell'approccio tabellare (tabb. S.3-7 e S.3-8).

Il valore soglia E_{soglia} di irraggiamento termico dell'incendio sul bersaglio è stato imposto pari a $12,6 \text{ kW/m}^2$. Tale soglia è considerata adeguatamente conservativa per limitare l'innesco di qualsiasi tipologia di materiale, in quanto rappresenta il limite convenzionale entro il quale non avviene l'innesco del legno in aria stazionaria. Le ipotesi di calcolo presuppongono che il calcolo della distanza di separazione venga effettuato in modo tale che non vi sia propagazione di un eventuale incendio a partire dal materiale presente nel fabbricato verso il deposito.

Con tali presupposti, i dati di input per il calcolo della distanza di separazione con metodo analitico sono:

- l'incendio avviene nella campata del reparto produttivo e l'irraggiamento avviene in direzione del deposito;
- il piano radiante coincide con il prospetto Est del reparto produttivo;
- gli elementi radianti coincidono con i portoni e la finestratura a nastro presenti;
- la tipologia di piastra radiante che si configura è una:
 - Piastra 5 (reparto produttivo) - dimensioni: $B_1 = 134,20$ m; $H_1 = 10,90$ m;
- la percentuale di foratura (p_1) per la Piastra 1 è pari a 0,33, in considerazione della presenza di portoni e finestratura a nastro.

Nel metodo analitico, la distanza misurata tra l' i -esima piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata separazione se è verificata la seguente relazione:

$$F_{2-1} \times E_1 \times \varepsilon_f < E_{\text{soglia}}$$

Ipotizzando una distanza di confronto⁴³ d_1 tra la Piastra 1 ed il bersaglio pari a 22,80 m, il fattore di vista F_{2-1} (relativo a piastra radiante rettangolare e bersaglio posizionato sull'asse di simmetria normale alla piastra, calcolato secondo le formule S.3-4 e S.3-5) è pari a 0,188.

La potenza termica radiante dell'incendio convenzionale E_1 è pari a 75 kW/m^2 , considerando un carico d'incendio specifico q_f inferiore a 1200 MJ/m^2 per il compartimento retrostante la Piastra 1.

L'emissività della fiamma ε_f è stata calcolata secondo la formula S.3-8 ed è pari a 0,89.

Tale valore si ottiene considerando uno spessore della fiamma d_f pari a 7,33 m, ovvero corrispondente a 2/3 dell'altezza del varco da cui esce la fiamma (altezza dell'architrave della finestratura a nastro rispetto alla soglia del portone sottostante pari a 11,00 m).

Con tali ipotesi, la relazione sopra riportata assumerebbe i seguenti valori:

$$F_{2-1} \times E_1 \times \varepsilon_f = 0,188 \times 75 \times 0,89 = 12,55 < E_{\text{soglia}} = 12,6 \text{ kW/m}^2$$

Tale valore della distanza di separazione, per il quale non si ha propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività e verso attività limitrofe, soddisfa il valore delle distanze di separazione previsto tra il deposito in oggetto e il reparto produttivo (valore minimo 29,60 m).

Dato il rispetto delle distanze minime di separazione definite nei tre paragrafi precedenti, è possibile garantire il livello di prestazione II, richiesto dalla valutazione del rischio effettuata.

⁴³ La distanza di confronto costituisce la distanza massima alla quale il valore di irraggiamento termico sul bersaglio (pari a $F_{2-1} \times E_1 \times \varepsilon_f$) risulta comunque inferiore al valore E_{soglia} .

Verifica dell'irraggiamento mediante modellazione

Con riferimento alla valutazione della distanza di separazione, a riprova di quanto esposto in precedenza, è stata effettuata un'ulteriore verifica dei livelli di irraggiamento termico dell'incendio sul bersaglio, tramite la modellazione dell'irraggiamento, al fine di comparare le due metodologie previste dal Codice (*soluzione conforme* e *soluzione alternativa*).

In particolare, utilizzando il software FDS (vers. 6.7.1), sono stati verificati gli effetti in tre distinti scenari:

1. incendio all'interno del reparto produttivo ed effetti dell'irraggiamento nei confronti del nuovo deposito di materie plastiche;
2. incendio all'interno del magazzino carta ed effetti dell'irraggiamento nei confronti del nuovo deposito di materie plastiche;
3. incendio all'interno del nuovo deposito di materie plastiche ed effetti dell'irraggiamento nei confronti del reparto produttivo, verificato con due diversi metodi (degli elementi (piastre) radianti e delle fiamme).



SCENARIO S1 - INCENDIO NEL REPARTO PRODUTTIVO ED EFFETTI DELL'IRRAGGIAMENTO VS IL DEPOSITO



SCENARIO S2 - INCENDIO NEL MAGAZZINO CARTA ED EFFETTI DELL'IRRAGGIAMENTO VS IL DEPOSITO



SCENARIO S3 - INCENDIO NEL DEPOSITO ED EFFETTI DELL'IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO

Scenario S3 - incendio nel deposito ed effetti dell'irraggiamento VS reparto produttivo

Per ragioni didattiche si illustrerà solamente la verifica relativa al terzo scenario, condotta applicando i metodi delle piastre radianti e delle fiamme. Inoltre, si darà un breve cenno del primo scenario, per confrontarlo con la procedura analitica prevista dal Codice, precedentemente esposta.

Metodo degli elementi radianti

La valutazione dell'irraggiamento è stata condotta ipotizzando che tutta la superficie esterna del deposito fosse coperta da elementi (piastre) radianti, aventi le seguenti caratteristiche desunte dal par. S.3.11.3:

- ✓ potenza termica radiante $E_1 = 149 \text{ kW/m}^2$ (corrispondente ad una superficie radiante posta a 1001°C);
- ✓ emissività della fiamma $\epsilon_f = 0,89$.

L'emissività della fiamma ϵ_f sopra indicata è stata calcolata secondo la formula S.3-8 ed è pari a 0,89. Tale valore si ottiene considerando uno spessore della fiamma d_f pari a circa 7,30 m, ovvero corrispondente all'altezza del deposito.

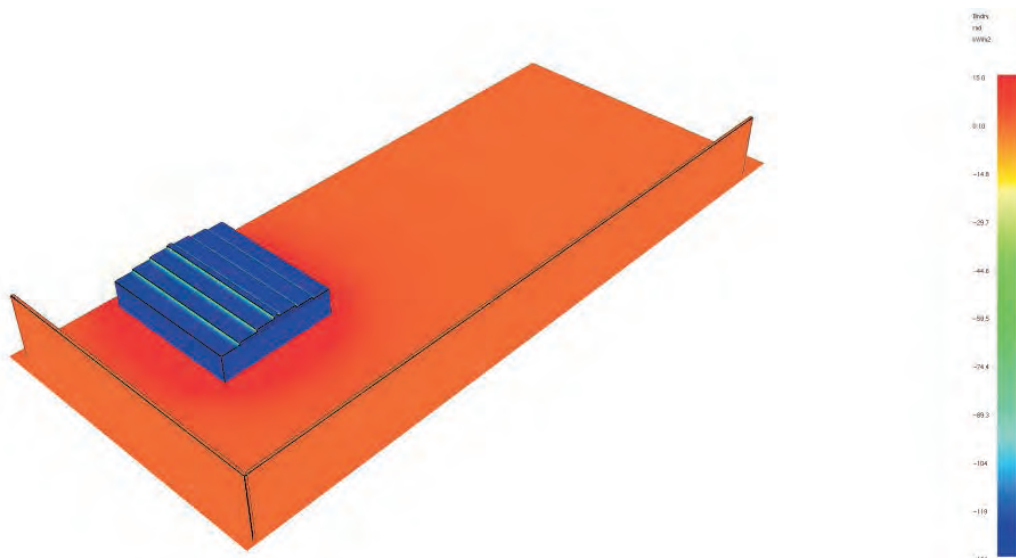
Questo parametro è stato considerato in via cautelativa, in quanto di norma lo spessore della fiamma d_f si imposta con un valore corrispondente a 2/3 dell'altezza del varco da cui esce la fiamma (in questo caso pari all'altezza del deposito).

Se si fosse utilizzato questo valore, lo spessore della fiamma d_f avrebbe assunto un valore pari a 4,83 m e quindi l'emissività della fiamma ϵ_f sarebbe stata pari a 0,77.

Nelle figure seguenti si riportano i risultati della modellazione, sia con indicazione dell'irraggiamento ottenuta con falsi colori, che attraverso dei grafici.

Ciascuno di questi ultimi rappresenta una serie di sensori di irraggiamento termico disposti su una delle pareti del reparto produttivo, aventi tutti la stessa quota.

Dai risultati ottenuti, è possibile desumere che il massimo livello di irraggiamento ottenibile sulle pareti del reparto produttivo esistente è inferiore a $10,5 \text{ kW/m}^2$, valore più basso del livello di soglia E_{soglia} pari a $12,6 \text{ kW/m}^2$.



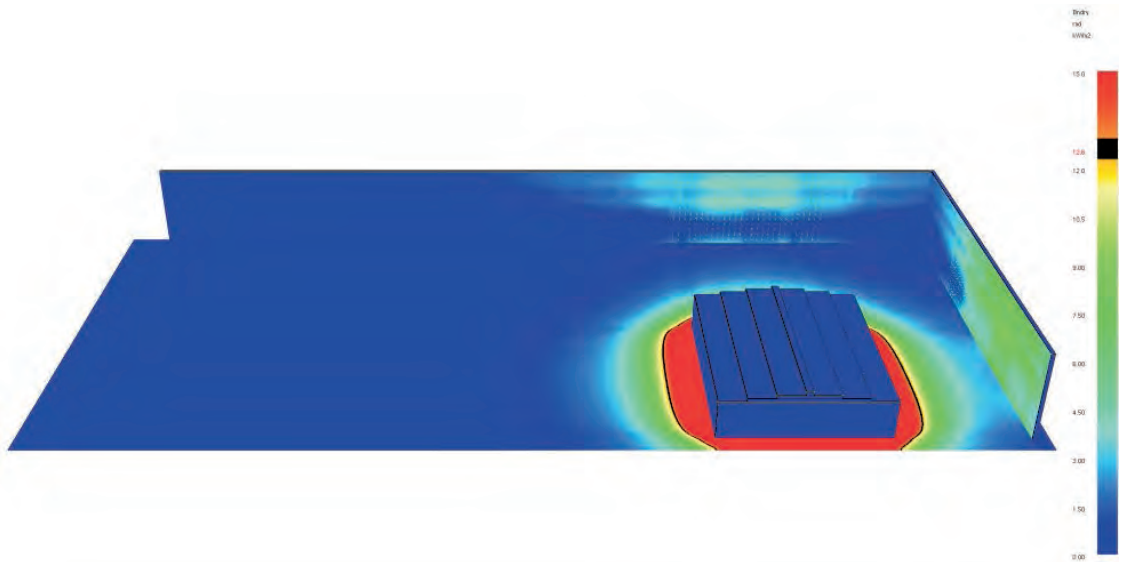
**INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE PIASTRE RADIANTI
VISTA DEI LIVELLI DI IRRAGGIAMENTO PRODOTTI DAGLI ELEMENTI RADIANTI**

Nella figura precedente è possibile riscontrare il livello di potenza radiante prodotto a partire dalle superfici del nuovo deposito, pari a $149 \times 0,89 = 132,6 \text{ kW/m}^2$ (corrispondente ad una superficie radiante posta a 1001°C avente emissività pari a 0,89).

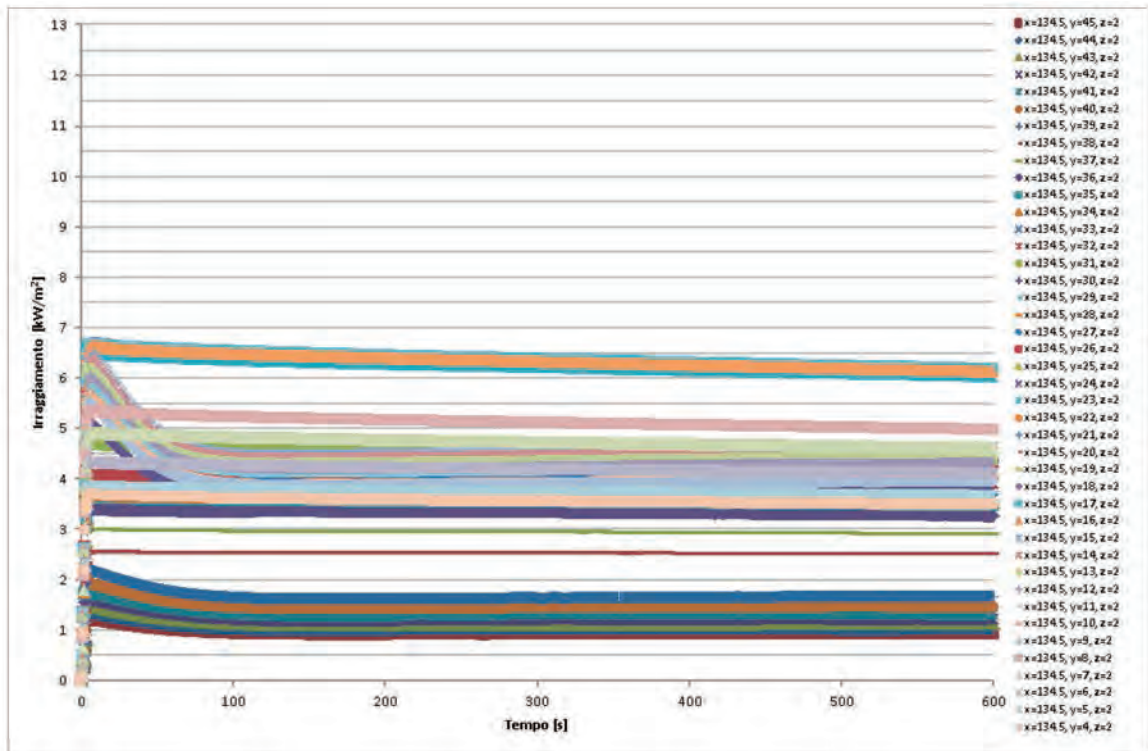
Nella legenda a fianco, tale valore ha segno negativo, in quanto è uscente dalla superficie degli elementi radianti (superfici esterne del nuovo deposito).

Nella figura successiva si mostrano i risultati della modellazione, con indicazione dell'irraggiamento ottenuta con falsi colori.

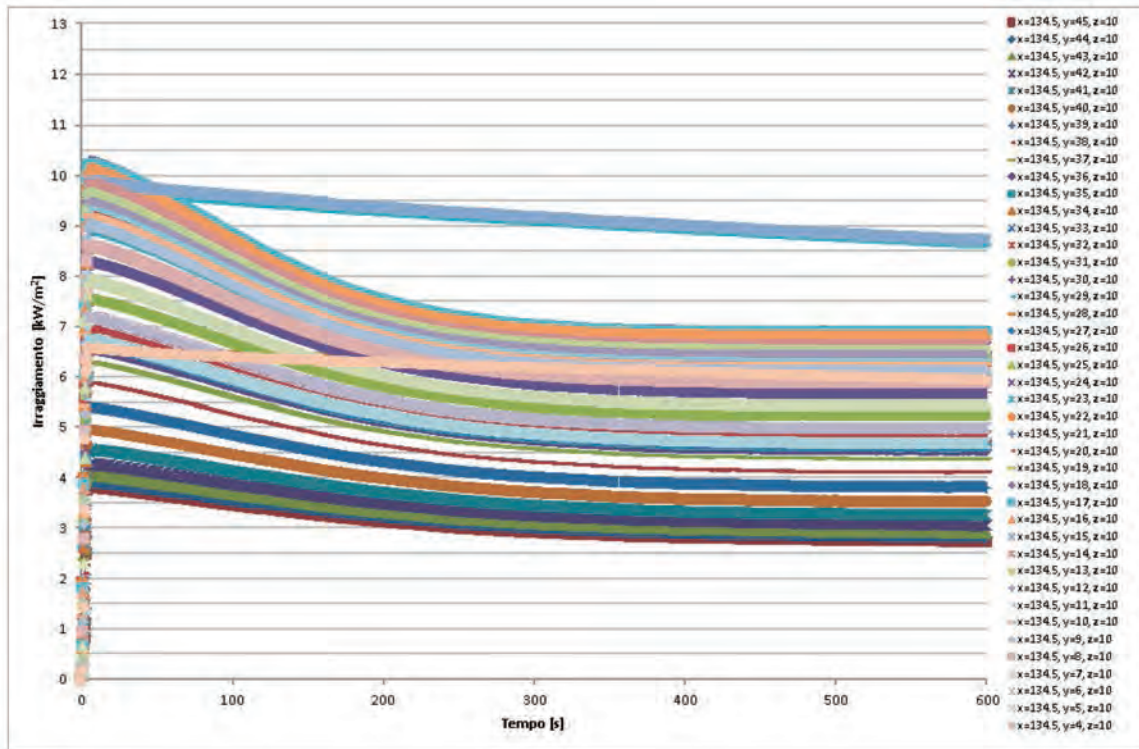
Il livello indicato con la fascia nera corrisponde a $12,6 \text{ kW/m}^2$.



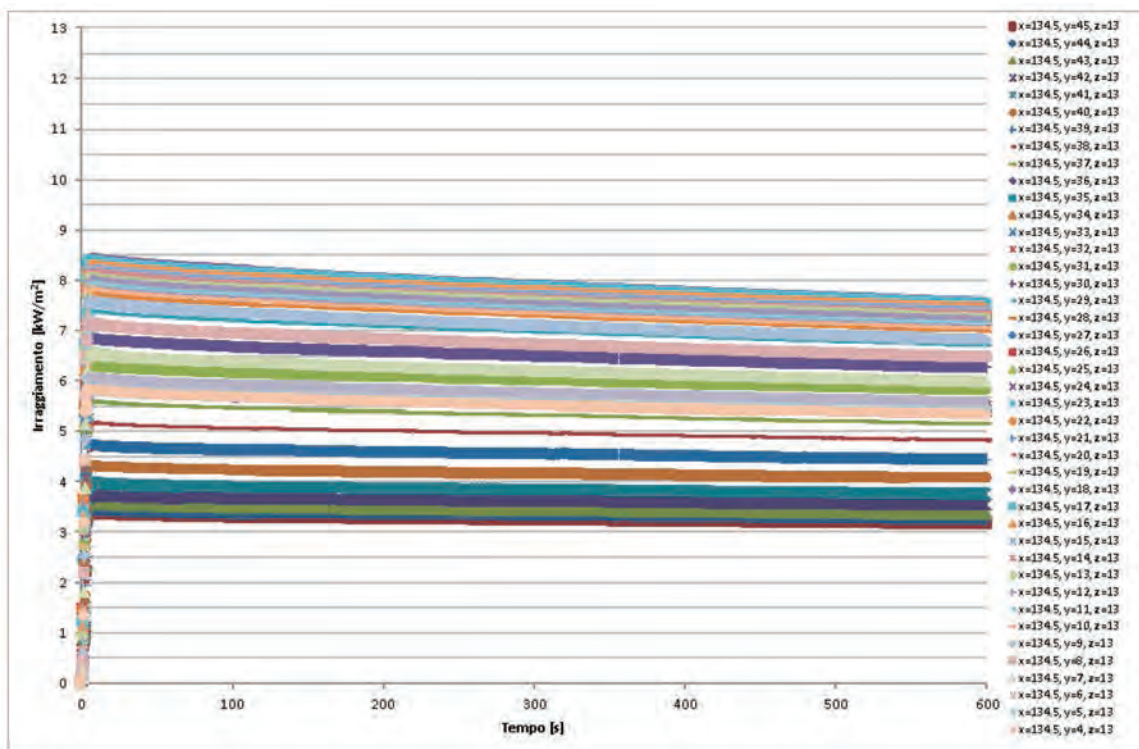
INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE PIASTRE RADIANTI
VISTA DEGLI EFFETTI DELL'IRRAGGIAMENTO SULLA FACCIATA DEI REPARTI



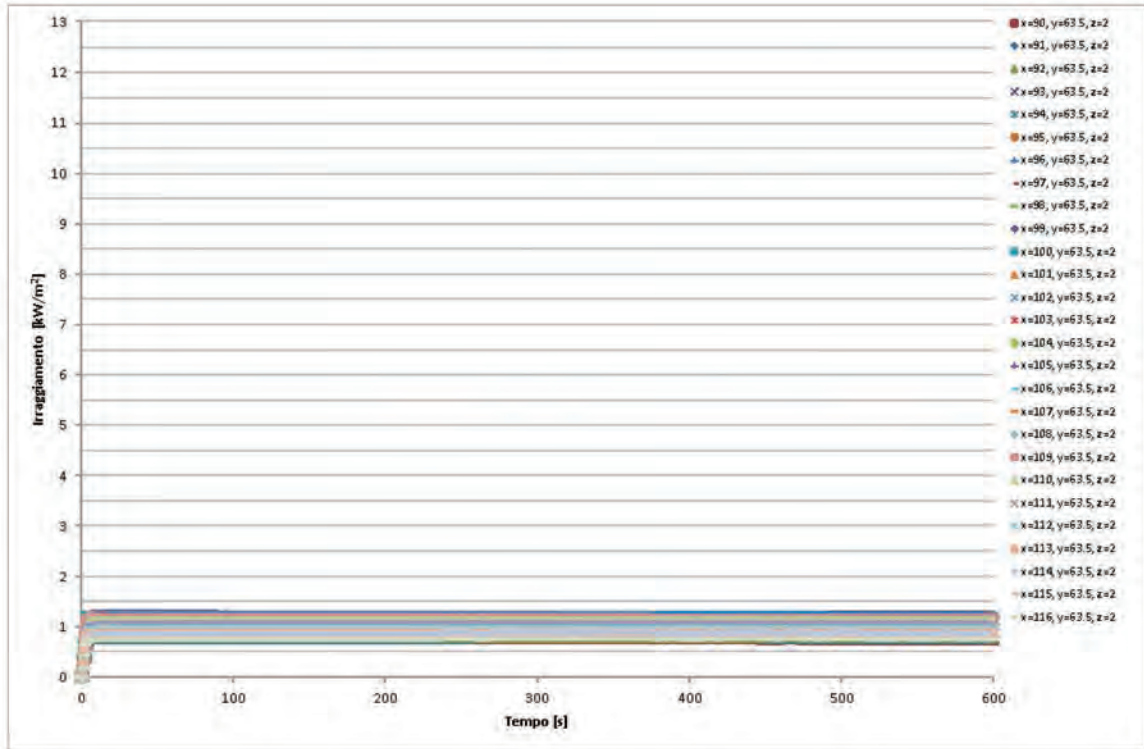
INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE PIASTRE RADIANTI
GRAFICO DEI SENSORI DI IRRAGGIAMENTO SUL LATO LUNGO DELLA FACCIATA DEL REPARTO (x = 134.2 M) - QUOTA z = 2 M



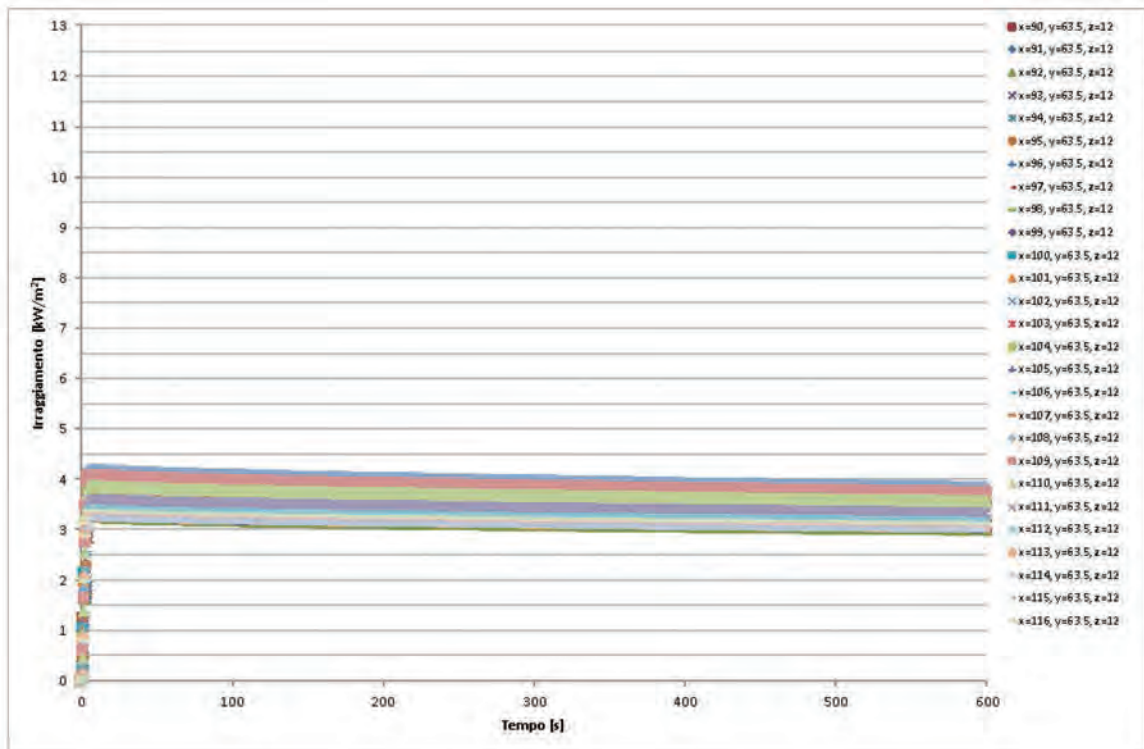
INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE PIASTRE RADIANTI
 GRAFICO DEI SENSORI DI IRRAGGIAMENTO SUL LATO LUNGO DELLA FACCIATA DEL REPARTO (x = 134.2 M) - QUOTA Z = 6 M



INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE PIASTRE RADIANTI
 GRAFICO DEI SENSORI DI IRRAGGIAMENTO SUL LATO LUNGO DELLA FACCIATA DEL REPARTO (x = 134.2 M) - QUOTA Z = 13 M



INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE PIASTRE RADIANTI
 GRAFICO DEI SENSORI DI IRRAGGIAMENTO SUL LATO CORTO DELLA FACCIATA DEL REPARTO (Y = 63,5 M) - QUOTA Z = 2 M



INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE PIASTRE RADIANTI
 GRAFICO DEI SENSORI DI IRRAGGIAMENTO SUL LATO CORTO DELLA FACCIATA DEL REPARTO (Y = 63,5 M) - QUOTA Z = 12 M

Metodo delle fiamme

Per tale scenario, si è proceduto alla valutazione dell'irraggiamento ipotizzando che tutta la superficie esterna del deposito fosse coperta da elementi radianti, che riproducano superfici aventi una temperatura di 1001°C. Per eliminare il dubbio che tali superfici producano un livello di irraggiamento più basso, rispetto ad una superficie realmente avvolta dalle fiamme, ai fini cautelativi, si è verificato anche il livello di irraggiamento prodotto modellando le superfici esterne del deposito completamente in fiamme.

Le caratteristiche ipotizzate per tali superfici sono state desunte dalla tab. M.2-2:

- ✓ HRR_{max} per m^2 di superficie del focolare = 1000 kW/m²;
- ✓ frazione di $HRR(t)$ in irraggiamento = 35%;
- ✓ resa in particolato $Y_{soot} = 0,18$ kg/kg;
- ✓ resa in monossido di carbonio $Y_{CO} = 0,10$ kg/kg;
- ✓ potere calorifico = 20 MJ/kg;
- ✓ gas di pirolisi = combustibile generico $CH_2O_{0,5}$.

Le immagini seguenti rappresentano le fiamme, o la combinazione fumo-fiamme, prodotti dalla combustione delle superfici esterne del nuovo deposito completamente in fiamme.



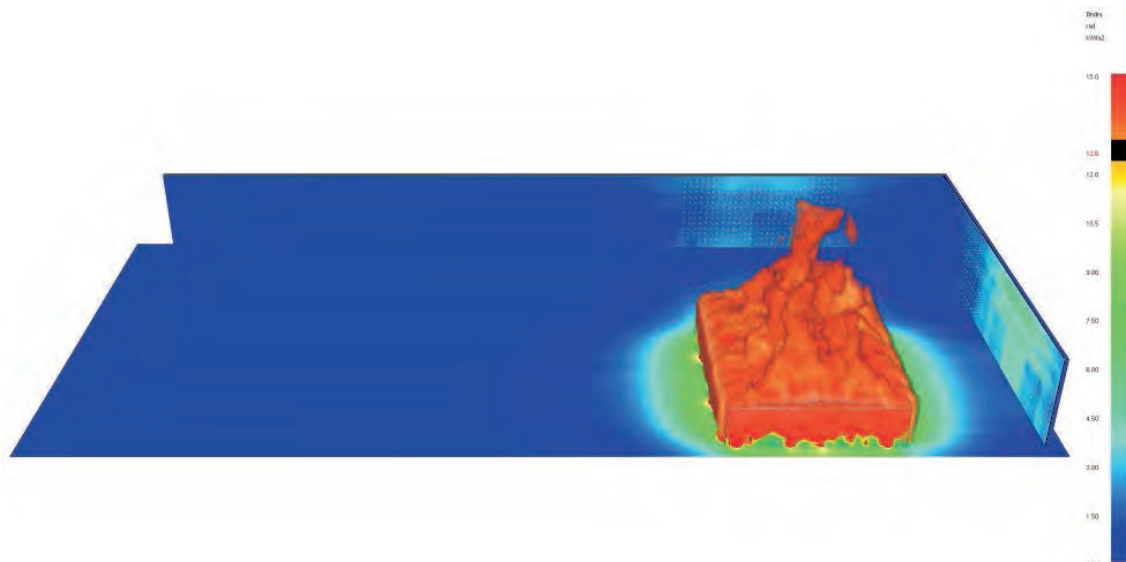
INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE FIAMME
VISTA DELLE FIAMME PRODOTTE DALL'INCENDIO



INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE FIAMME
VISTA DEL FUMO E DELLE FIAMME PRODOTTE DALL'INCENDIO

Nell'immagine seguente sono riportati i risultati della modellazione, con indicazione dell'irraggiamento ottenuta con falsi colori.

Nella figura, il livello indicato con la fascia nera corrisponde a $a = 12,6$ kW/m².



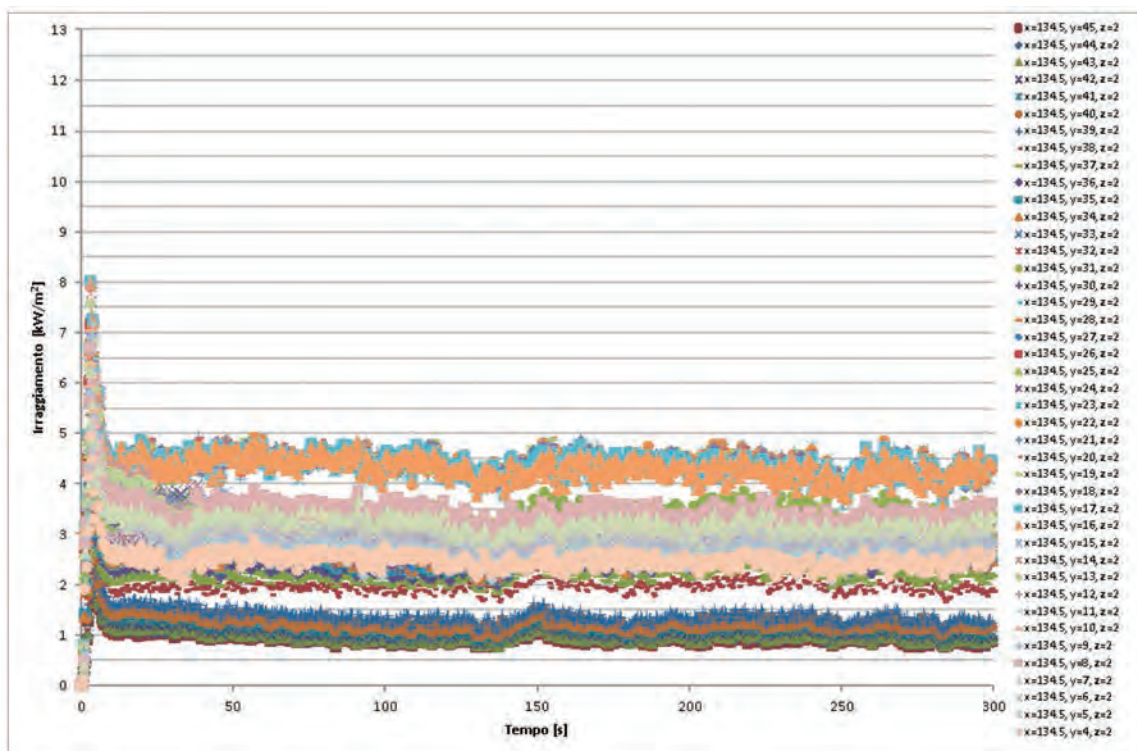
INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE FIAMME
VISTA DEGLI EFFETTI DELL'IRRAGGIAMENTO SULLA FACCIATA DEI REPARTI

Nelle immagini successive, vengono presentati i risultati delle modellazioni attraverso alcuni grafici ritenuti più significativi.

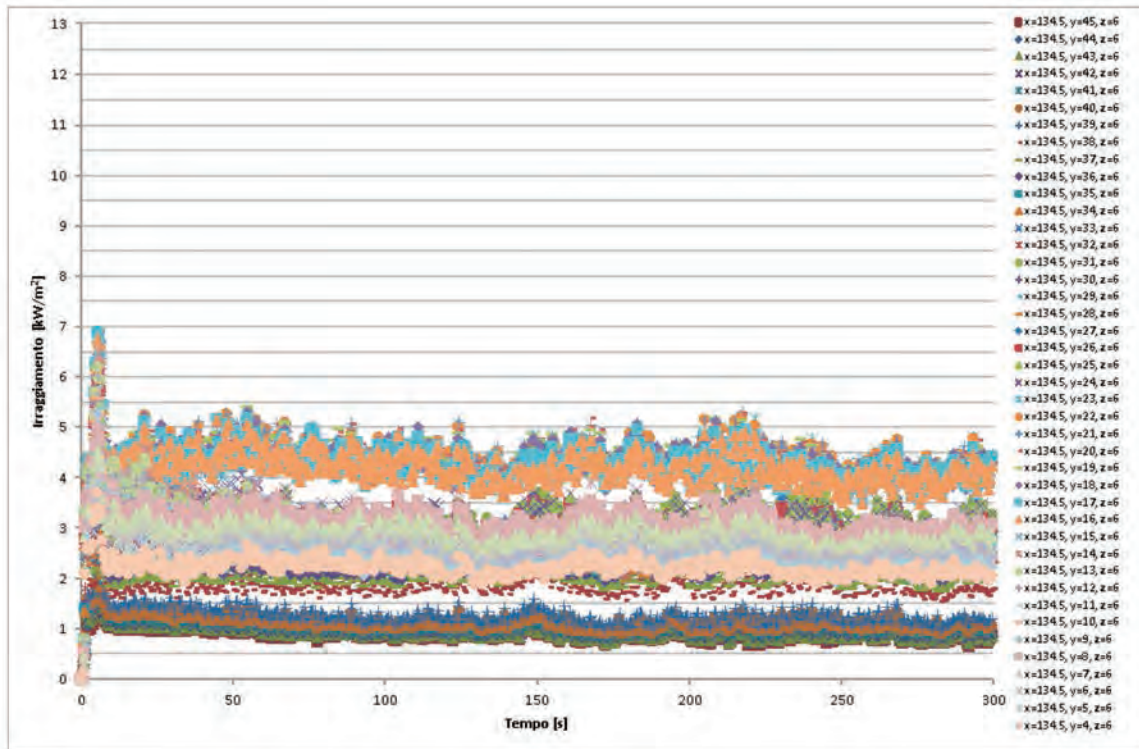
Ciascuno di questi rappresenta una serie di sensori di irraggiamento termico disposti su una delle pareti del reparto produttivo, aventi tutti la stessa quota.

Dai risultati ottenuti, è possibile desumere che il massimo livello di irraggiamento ottenibile sulle pareti del reparto produttivo esistente è inferiore a $8,5 \text{ kW/m}^2$, valore più basso del livello di soglia E_{soglia} pari a $12,6 \text{ kW/m}^2$.

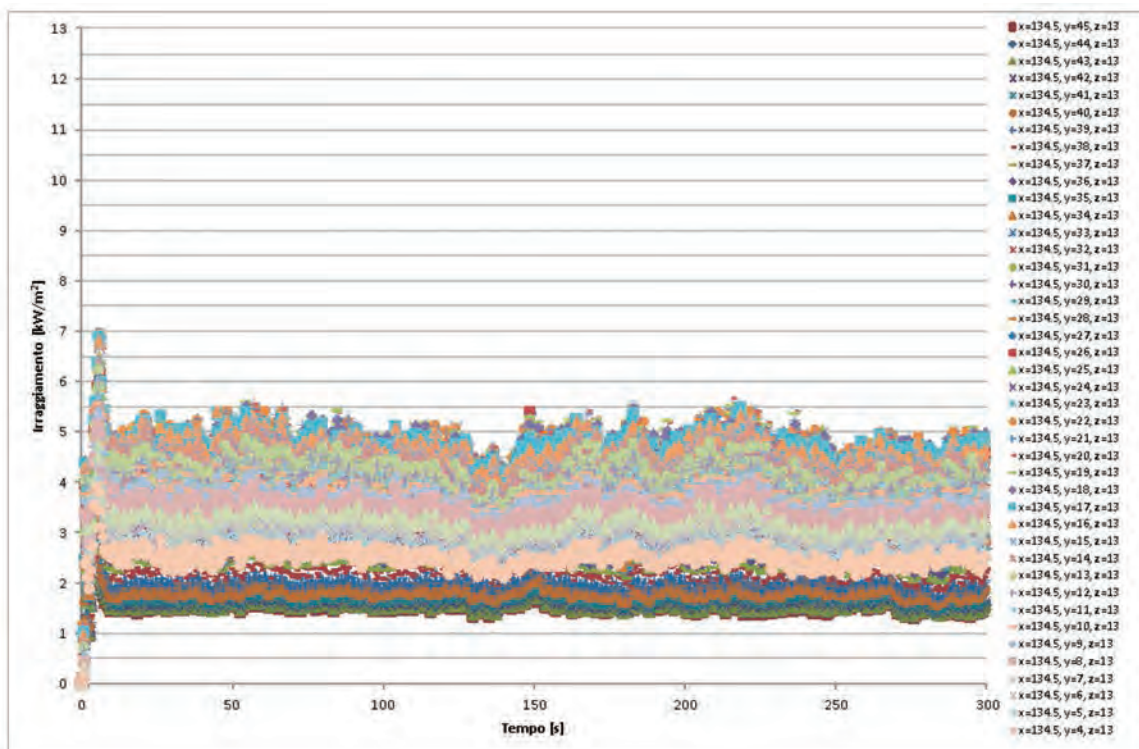
Si segnala che, confrontando tali risultati con quelli ottenuti per lo scenario precedente, condotto con il metodo delle piastre radianti, risulta come il primo sia più cautelativo rispetto al secondo.



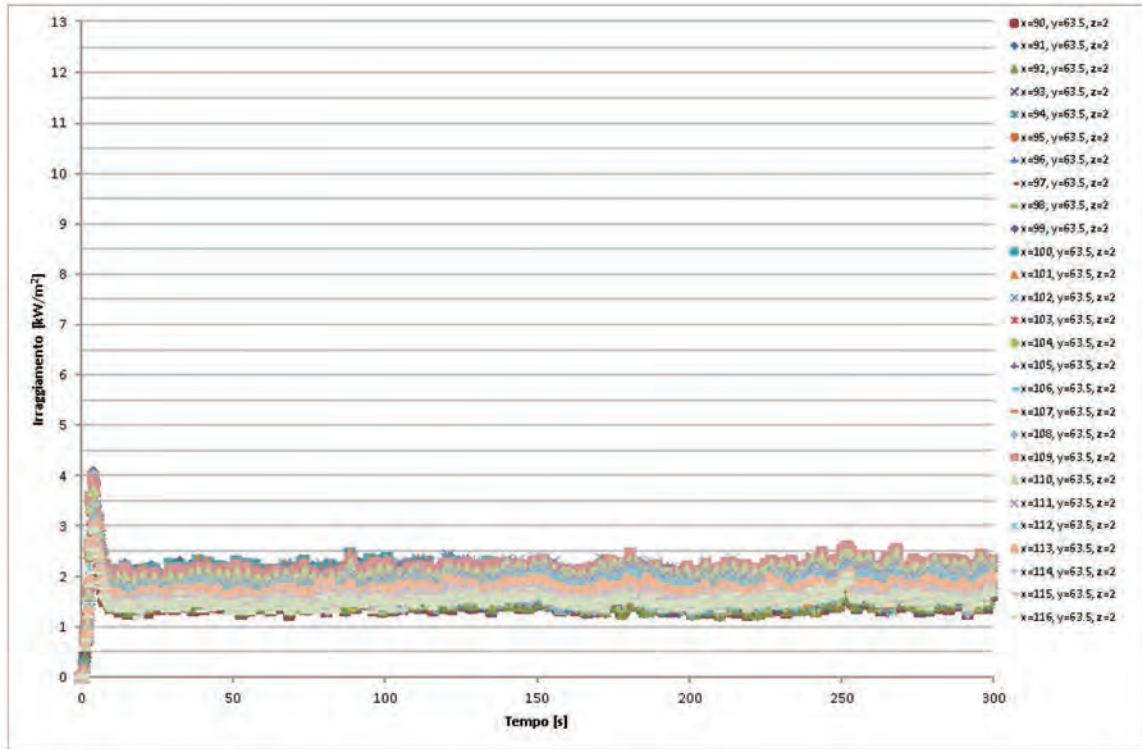
INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE FIAMME
GRAFICO DEI SENSORI DI IRRAGGIAMENTO SUL LATO LUNGO DELLA FACCIATA DEL REPARTO ($x = 134,2 \text{ M}$) - QUOTA $z = 2 \text{ M}$



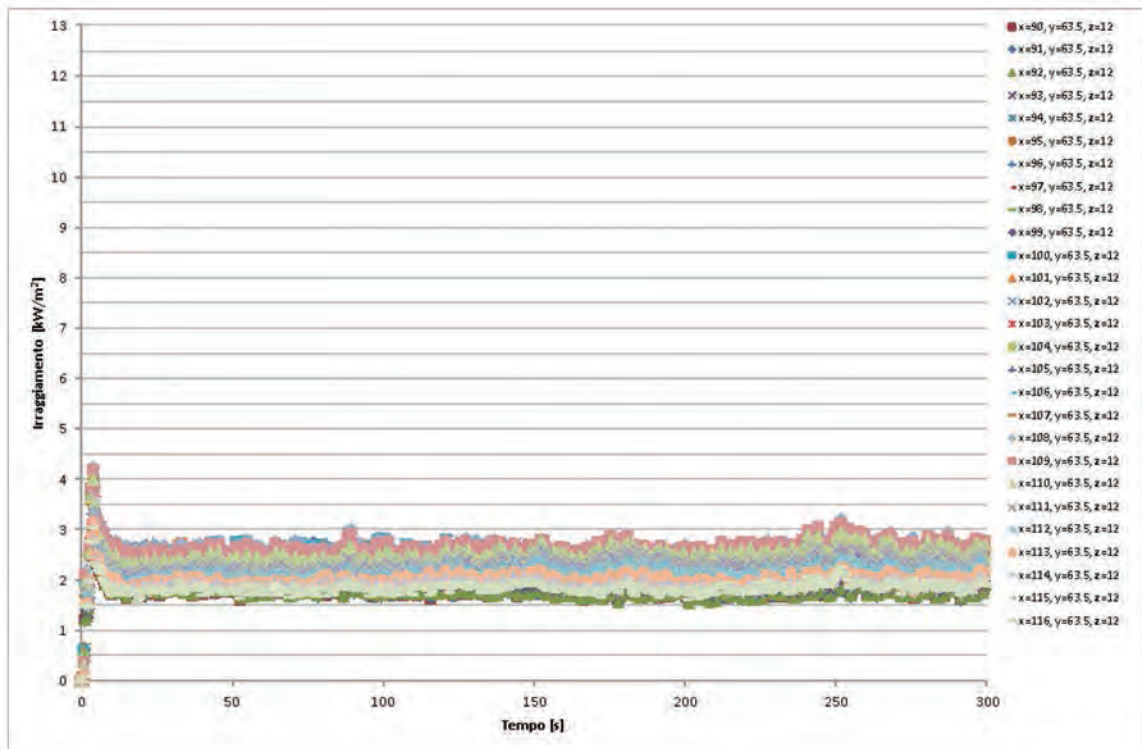
INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE FIAMME
 GRAFICO DEI SENSORI DI IRRAGGIAMENTO SUL LATO LUNGO DELLA FACCIATA DEL REPARTO (x = 134,2 m) - QUOTA z = 6 m



INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE FIAMME
 GRAFICO DEI SENSORI DI IRRAGGIAMENTO SUL LATO LUNGO DELLA FACCIATA DEL REPARTO (x = 134,2 m) - QUOTA z = 13 m



INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE FIAMME
 GRAFICO DEI SENSORI DI IRRAGGIAMENTO SUL LATO CORTO DELLA FACCIATA DEL REPARTO (Y = 63,5 M) - QUOTA Z = 2 M



INCENDIO NEL DEPOSITO - IRRAGGIAMENTO VS REPARTO PRODUTTIVO - METODO DELLE FIAMME
 GRAFICO DEI SENSORI DI IRRAGGIAMENTO SUL LATO CORTO DELLA FACCIATA DEL REPARTO (Y = 63,5 M) - QUOTA Z = 12 M

Scenario S1 - incendio nel reparto produttivo ed effetti dell'irraggiamento vs il deposito

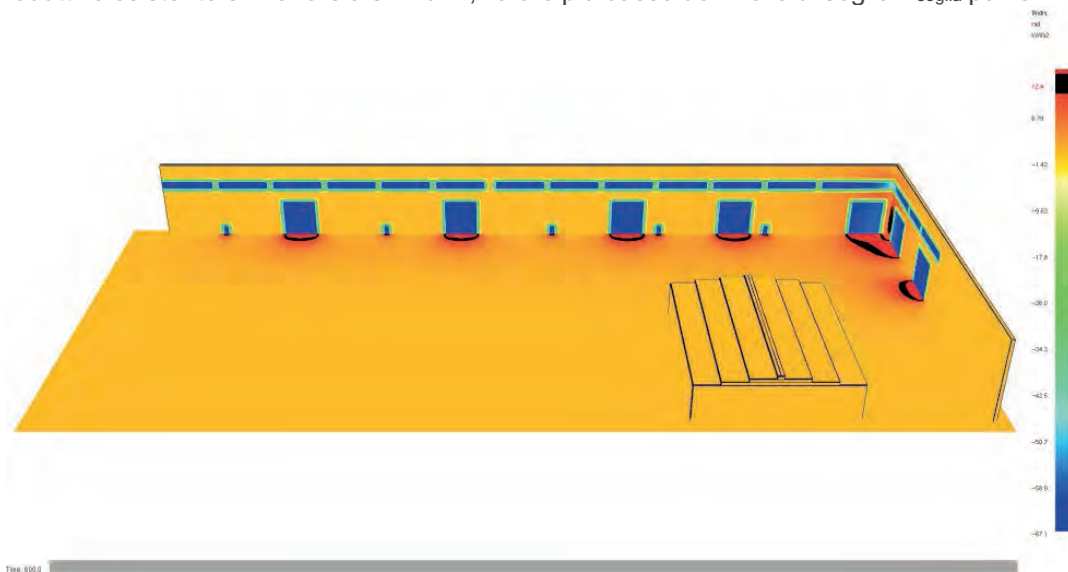
Metodo degli elementi radianti

La valutazione dell'irraggiamento è stata condotta ipotizzando che gli elementi radianti coincidessero con i portoni e la finestratura a nastro presenti, aventi le seguenti caratteristiche desunte dal par. S.3.11.3:

- ✓ potenza termica radiante $E_1 = 75 \text{ kW/m}^2$ (corrispondente ad una superficie radiante posta a $800,8^\circ\text{C}$);
- ✓ emissività della fiamma $\epsilon_f = 0,89$ (come nel paragrafo relativo al calcolo con la procedura analitica).

Nelle figure seguenti si mostrano i risultati della modellazione con indicazione dell'irraggiamento (falsi colori). Ciascuno di questi ultimi rappresenta una serie di sensori di irraggiamento termico disposti su una delle pareti del reparto produttivo, aventi tutti la stessa quota.

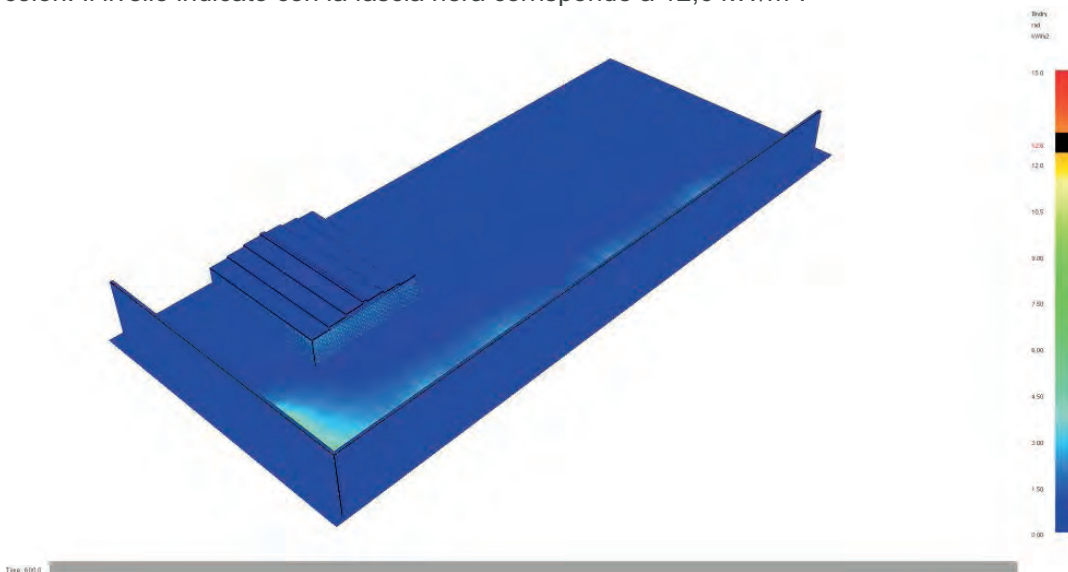
Dai risultati ottenuti, è possibile desumere che il massimo livello di irraggiamento ottenibile sulle pareti del reparto produttivo esistente è inferiore a 3 kW/m^2 , valore più basso del livello di soglia E_{soglia} pari a $12,6 \text{ kW/m}^2$.



**INCENDIO NEL REPARTO PRODUTTIVO - IRRAGGIAMENTO VS DEPOSITO - METODO DELLE PIASTRE RADIANTI
VISTA DEI LIVELLI DI IRRAGGIAMENTO PRODOTTI DAGLI ELEMENTI RADIANTI**

Nella figura precedente è possibile riscontrare il livello di potenza radiante prodotto a partire dalle superfici del nuovo deposito, pari a $75 \times 0,89 = 66,75 \text{ kW/m}^2$ (corrispondente ad una superficie radiante posta a $800,8^\circ\text{C}$ avente emissività pari a 0,89).

Nella figura successiva si mostrano i risultati della modellazione, con indicazione dell'irraggiamento ottenuta con falsi colori. Il livello indicato con la fascia nera corrisponde a $12,6 \text{ kW/m}^2$.



**INCENDIO NEL REPARTO PRODUTTIVO - IRRAGGIAMENTO VS DEPOSITO - METODO DELLE PIASTRE RADIANTI
VISTA DEGLI EFFETTI DELL'IRRAGGIAMENTO SULLA FACCIATA DEI REPARTI**

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio ci si è occupati di un deposito di materie plastiche, inserito in un sito industriale, realizzato all'esterno del reparto produttivo.

Il deposito risulta isolato rispetto al reparto produttivo ed è destinato allo stoccaggio di materiali polimerici necessari per gli imballaggi dei prodotti lavorati.

Il deposito è stato realizzato nelle aree esterne del complesso, collocato in maniera tale da non poter produrre eventuali effetti domino in caso d'incendio e, nello stesso tempo, ottimizzando le operazioni di logistica connesse con il processo produttivo.

Nell'ambito del progetto di prevenzione incendi dell'attività è stato eseguito il calcolo della distanza di separazione necessaria a limitare la propagazione dell'incendio.

❖ *Commento dei risultati*

La distanza di separazione è stata valutata tramite un confronto tra le *soluzioni conformi* e *alternative* previste dal Codice.

Come *soluzione conforme* è stato utilizzato sia l'approccio tabellare, che quello analitico, mentre come *soluzione alternativa*, sono state realizzate tre modellazioni con l'utilizzo del software FDS per la valutazione dei livelli di irraggiamento termico.

Tali livelli sono stati confrontati con il valore di soglia E_{soglia} pari a 12,6 kW/m², per ottenere la distanza di separazione necessaria per non ottenere effetti propagativi dell'incendio.

Applicando la procedura tabellare di cui al par. S.3.11.2, per l'irraggiamento del nuovo deposito verso i reparti, si sono ottenute due distanze limite di 17,60 m e 16,10 m.

Tali valori sono molto prossimi al valore di distanza tra il deposito ed il resto dei reparti (18,90 m), ma comunque soddisfano i requisiti richiesti.

Applicando la stessa procedura tabellare, per l'irraggiamento dai reparti verso il nuovo deposito, si sono ottenute due distanze limite di 8,10 m e 13,60 m.

Anche tali valori sono prossimi al valore di distanza tra il deposito ed il resto dei reparti (18,90 m), ma comunque soddisfano i requisiti richiesti.

Effettuando il calcolo relativo alla piastra 5 con la procedura analitica (per l'irraggiamento dai reparti verso il nuovo deposito), si è valutato che ad una distanza di confronto pari a 22,80 m, si raggiungerebbe il valore di soglia E_{soglia} pari a 12,6 kW/m².

Tale valore è inferiore alla distanza tra il nuovo deposito e la campata Est (ove si trova la Piastra 5), che misura 29,60 m, quindi l'irraggiamento sul nuovo deposito risulta inferiore al valore di soglia prefissato.

Si nota tuttavia che, sebbene il carico d'incendio specifico all'interno del reparto produttivo sia minimo, tale distanza risulta la più elevata tra tutti i casi finora esposti.

Questo è dovuto al fatto che il metodo analitico considera un fattore di vista prodotto da una piastra lunga come tutto il compartimento, ovvero pari a 134,20 m, pur con una bassa percentuale di foratura (0,33).

Si sottolinea pertanto che gli elementi radianti della Piastra 5 siano considerati come una unica piastra, che pur avendo una potenza attenuata dalla percentuale di foratura, producono effetti radiativi notevoli per la lunghezza rilevante della piastra radiante.

Effettuando la simulazione con FDS nei vari scenari, si nota come sia la procedura tabellare, che quella analitica siano estremamente cautelative. È infatti possibile notare come i livelli di irraggiamento prodotti sulle superfici prospicienti siano molto più bassi rispetto al valore di soglia E_{soglia} pari a 12,6 kW/m².

Confrontando la modellazione dello scenario S1 con il calcolo effettuato con la procedura tabellare per la Piastra 5, si nota come nella prima immagine a falsi colori il valore di soglia E_{soglia} pari a 12,6 kW/m² venga raggiunto qualche metro dopo ciascuna apertura, rispetto ai 22,80 m del calcolo con procedura tabellare.

Questo risultato evidenzia che ciascun elemento radiante genera di per sé un irraggiamento che è molto limitato, mentre la procedura analitica mette insieme il contributo di tutti gli elementi radianti (pur attenuando il valore tramite la percentuale di foratura) e tale semplificazione genera un risultato fin troppo cautelativo.

Si nota quindi che, nei casi in cui si lavori con pareti molto estese, la modellazione con FDS permette una valutazione della distanza di sicurezza con risultati che, in taluni casi, possono permettere di risolvere situazioni altrimenti non sanabili.

Resta inteso che la modellazione con FDS necessita di un maggiore bagaglio di conoscenze e di tempi di computazione superiori rispetto alle soluzioni conformi proposte dal Codice, pertanto va utilizzata nei casi di effettiva necessità.

Una diversa possibilità, intermedia tra le procedure tabellare ed analitica proposte dal Codice e l'utilizzo di FDS, è rappresentata dalla procedura di cui all'allegato G all'EN 1991-1-2, nella quale, in sostanza, vengono valutati in maniera più corretta i fattori di vista tra sorgente e bersaglio.

Bibliografia

1. 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;
2. Decreto del Presidente della Repubblica del 1 agosto 2011, n. 151 Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122;
3. Decreto Ministeriale 3 agosto 2015 Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139;
4. M. Malizia, Il Codice di prevenzione incendi:
<http://www.vigilfuoco.it/sitiVVF/ascolipiceno/viewPage.aspx?s=85&p=40401>;
R. Sabatino, Formazione antincendio - Gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro, INAIL 2012;
5. F. Izzo, Tesi di Laurea in Ingegneria strutturale e geotecnica - Analisi termo-meccaniche con curve d'incendio naturali: metodologie semplificate ed avanzate, 2013;
6. A. Lombardi, G. Cucurachi, Atti Seminario ISA - "Lo studio e la ricerca per la sicurezza antincendio" Il progetto antincendio dei corridoi con un gran numero di stanze edifici soggetti ad affollamento, 2013;
7. R. Sabatino, Sicurezza antincendio - Valutazione del rischio incendio, INAIL 2014;
8. Approccio Ingegneristico alla Sicurezza Antincendio, A., S. e R. La Malfa, Legislazione Tecnica, 2014;
9. E. Gissi, Calcolo dei parametri per il dimensionamento dei sistemi di esodo secondo soluzione conforme del Codice di prevenzione incendi, 2015;
10. E. Gissi, Soluzioni progettuali alternative per l'esodo, procedure analitiche di base e flessibilità progettuale, 2015;
11. Milke, J. "Smoke Management for Covered Malls and Atria" Fire Technology, August 1990;
12. L. Qiang, "Estimation of fire detection time", The 5th Conference on Performance-based Fire and Fire Protection Engineering, Procedia Engineering 11;
13. Purser D, "Dependence of modelled evacuation times on key parameters and interactions", Fire Safety Science, Proceedings of the 9th International Symposium;
14. Karlsson B, Quintiere JG. Enclosure Fire Dynamics, Boca Raton, FL, CRC Press, 2000;
15. S. Gwynne, E. Rosenbaum, "Employing the Hydraulic Model in Assessing Emergency Movement" in The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th Edition, Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008;
16. Travel guide A newly developed methodology, based on the concept of 'travelling fires' in large enclosures, will assist with structural fire analysis" di Jamie Stern-Gottfried, Guillermo Rein and José Torero - Fire Journal November 2009;
17. Babrauskas V, Fleming J M, Don Russell B, "RSET/ASET, a flawed concept for fire safety assessment" Fire and Materials, 2010;
18. Esempi di Progettazione Antincendio, A., S. e R. La Malfa, V. Vanzini, Legislazione Tecnica, 2015;
19. S. Marsella N. Sciarretta, Usi innovativi degli strumenti di simulazione dell'esodo, 2016;
20. P. Cancelliere, M. F. Conti, M. Imbrisco, L. Palmeri, L. De Angelis, P. Castelli, M. Caciolai, R. Lala, L. Ponticelli, S. Schiaroli, M. Mazzaro, P. De Nictolis, A. De Rosa, R. Emmanuele, L. De Angelis, G. Biggi, P. Castelli, L. Nassi, M. Castore, F. A. Ponziani, C. Mastrogiuseppe, C. Barbera, A. Bascià, F. Petrocco, E. Gissi - Codice di prevenzione incendi commentato a cura di F. Dattilo e C. Pulito con la prefazione del Capo del Corpo Nazionale VV.F. G. Giomi, EPC 09/2016;
21. P. Cancelliere, M. Mazzaro, G. Biggi, M. Caciolai, M. De Vincentis, F. Orrù, M. F. Conti, P. Maurizi, A. Del Gallo, E. Trabucco, A. Bascià, G. Basile, R. Lala, N. Michele, G. Costa, E. Gissi, C. Barbera, A. Petitto - Esempi applicativi del codice di prevenzione incendi a cura di F. Dattilo e C. Pulito con la prefazione del Capo del Corpo Nazionale VV.F. G. Giomi, EPC 05/2017;
22. M. Vinci, Tesi di Laurea in Organizzazione del cantiere Fire Safety Engineering - Modellazione dell'esodo con metodi innovativi: applicazione ad un caso di edilizia scolastica, 2018;
23. R. Sabatino, M. Lombardi, P. Cancelliere e altri, Il Codice di prevenzione incendi - Applicazioni pratiche, INAIL 2018;
24. R. Sabatino, M. Lombardi, L. Ponticelli e altri, La resistenza al fuoco degli elementi strutturali, INAIL 2019;
25. R. Sabatino, M. Lombardi, P. Cancelliere e altri, La protezione attiva antincendio, INAIL 2019.

Fonti immagini

Immagine	Fonte
Copertina	Autori
pag. 13	Autori
pag. 17	d.m. 3 agosto 2015 - G.U. n. 192 del 20 agosto 2015 - S.O. n. 51
pag. 19	Autori
pag. 26	Autori
pag. 27a e 27b	FSE PROGETTI s.r.l.
pag. 28a, 28b e 28c	FSE PROGETTI s.r.l.
pag. 29	Autori
pag. 30	Autori
pag. 33	Autori
pag. 38	Autori
pag. 40a e 40b	Autori
pag. 42a e 42b	Autori
pag. 46	Autori
pag. 48	RTV Autorimesse (d.m. 21 febbraio 2017)
pag. 49a e 49b	RTV Autorimesse (d.m. 21 febbraio 2017)
pag. 50	RTV Autorimesse (d.m. 21 febbraio 2017)
pag. 51	Autori
pag. 52	Autori
pag. 56	Autori
pag. 60a, 60b e 60c	Calcolo dei parametri per il dimensionamento dei sistemi d'esodo secondo soluzione conforme del Codice di prevenzione incendi - E. Gissi, PhD - Comando VV.F. Genova
pag. 65a e 65b	Autori
pag. 70a	Esempi applicativi del codice di prevenzione incendi - AA.VV. - EPC 05/2017
pag. 70b	Autori
pag. 71	Esempi applicativi del codice di prevenzione incendi - AA.VV. - EPC 05/2017
pag. 72	Autori
pag. 73	Autori
pag. 76	Autori
pag. 77	Autori
pag. 78	Experimental characterization of a forklift fire - L. Audouin and M. Coutin - IRSN
pag. 79	Autori
pag. 82a	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 82b e 83c	Programma di calcolo Pathfinder - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 83a e 83b	Programma di calcolo Pathfinder - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 84a e 84b	Programma di calcolo Pathfinder - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 87a, 87b e 87c	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 88a, 88b e 88c	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 89a e 89b	Autori
pag. 91	Autori
pag. 92	Norma UNI EN 1991-1-2
pag. 93	Programma di calcolo CPI win@ FSE - Namirial S.p.A.
pag. 94a	Programma di calcolo CPI win@ FSE - Namirial S.p.A.
pag. 94b	Autori
pag. 96	Programma di calcolo CPI win@ FSE - Namirial S.p.A.
pag. 96a	Programma di calcolo CPI win@ FSE - Namirial S.p.A.
pag. 97b e 97c	Programma di calcolo CPI win@ FSE - Namirial S.p.A.

pag. 99a, 99b e 99c	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 100a, 100b e 100c	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 101a, 101b e 101c	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 102a e 102b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 103a e 103b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 104	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 106	Autori
pag. 107	Autori
pag. 110a e 110b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 111a e 111b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 113a e 113b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 114a e 114b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 115	Autori
pag. 117	Autori
pag. 119	Spazio Calmo s.r.l.
pag. 120	Autori
pag. 121	Autori
pag. 122a e 122b	Autori
pag. 123	Autori
pag. 124	Autori
pag. 125a	Southwest Research Institute
pag. 125b e 125c	Autori
pag. 126	Programma di calcolo Pathfinder - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 127a e 127b	Programma di calcolo Pathfinder - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 129a e 129b	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 130a e 130b	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 131a, 131b e 131c	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 132a, 132b e 132c	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 133a e 133b	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 136	Autori
pag. 137	Autori
pag. 138	Autori
pag. 140	Sekuritalia s.r.l.
pag. 143	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 144	Autori
pag. 147	Autori
pag. 149	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 150a, 150b e 150c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 152a e 152b	Autori
pag. 154a, 154b e 154c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 155a, 155b e 155c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 158	Autori
pag. 159	Autori
pag. 161	Autori
pag. 162a e 162b	Autori
pag. 163a e 163b	Autori
pag. 164	Autori
pag. 167	Autori
pag. 170a e 170b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 171a e 171b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST

pag. 172a e 172b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 173	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 174	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 175a e 175b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 176a e 176b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 177a e 177b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 178a e 178b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 179	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 180	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 181	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 182	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 183a e 183b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 184a e 184b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 185a e 185b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 186	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 187	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 188a e 188b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 189a e 189b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 190a e 190b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 191a e 191b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 192	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 193	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 194	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 195	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 197	Autori
pag. 198	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 204a e 204b	Autori
pag. 205	Autori
pag. 206a	Autori
pag. 206b	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 207	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 208a e 208b	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 209	Programma di calcolo Pathfinder - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 210	Autori
pag. 211a e 211b	Autori
pag. 212	Autori
pag. 213	Autori
pag. 215	Autori
pag. 217	Autori
pag. 219	Autori
pag. 220	Norma UNI 9494-1:2017
pag. 221	Autori
pag. 222	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 223	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 224a	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 224b	Autori
pag. 225	Autori
pag. 226	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 227a	Autori
pag. 227b	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants

pag. 228a	Autori
pag. 228b	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 229a	Autori
pag. 229b	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 230a	Autori
pag. 230b	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 231a	Autori
pag. 231b	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 232	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 234a e 234b	Autori
pag. 239	Autori
pag. 240	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 241	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 242	Autori
pag. 243a, 243b e 243c	Autori
pag. 247a e 247b	Autori
pag. 248	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 249a e 249b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 250	Autori
pag. 251a	Autori
pag. 251b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 252	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 254	Autori
pag. 255	RTV Autorimesse (d.m. 21 febbraio 2017)
pag. 256a	RTV Autorimesse (d.m. 21 febbraio 2017)
pag. 256b	Autori
pag. 257a	Autori
pag. 257b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 258a e 258b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 259a e 259b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 260a e 260b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 261a e 261b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 262a e 262b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 263a e 263b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 264a e 264b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 265a	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 265b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 266a e 266b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 267a e 267b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 268	Autori
pag. 269a e 269b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 270a e 270b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 271a e 271b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 272a e 272b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 273a e 273b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 274	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 275a e 275b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 276a e 276b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 277	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 278a e 278b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.

pag. 279a e 279b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 280	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 282	Autori
pag. 283	Autori
pag. 284	Autori
pag. 285	Autori
pag. 289a, 289b e 289c	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 290	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 291a e 291b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 292a e 292b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 293a e 293b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 294a e 294b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 295a e 295b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 296a e 296b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 297a e 297b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST
pag. 298a e 298b	Programma di calcolo FDS and Smokeview - NIST

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento, per la disponibilità all'utilizzo gratuito del software necessario alla stesura della pubblicazione, a Namirial S.p.A.; nell'ambito casi studio 4 e 12, sono stati utilizzati i moduli CPI win® FSE e CPI win® REI.

