

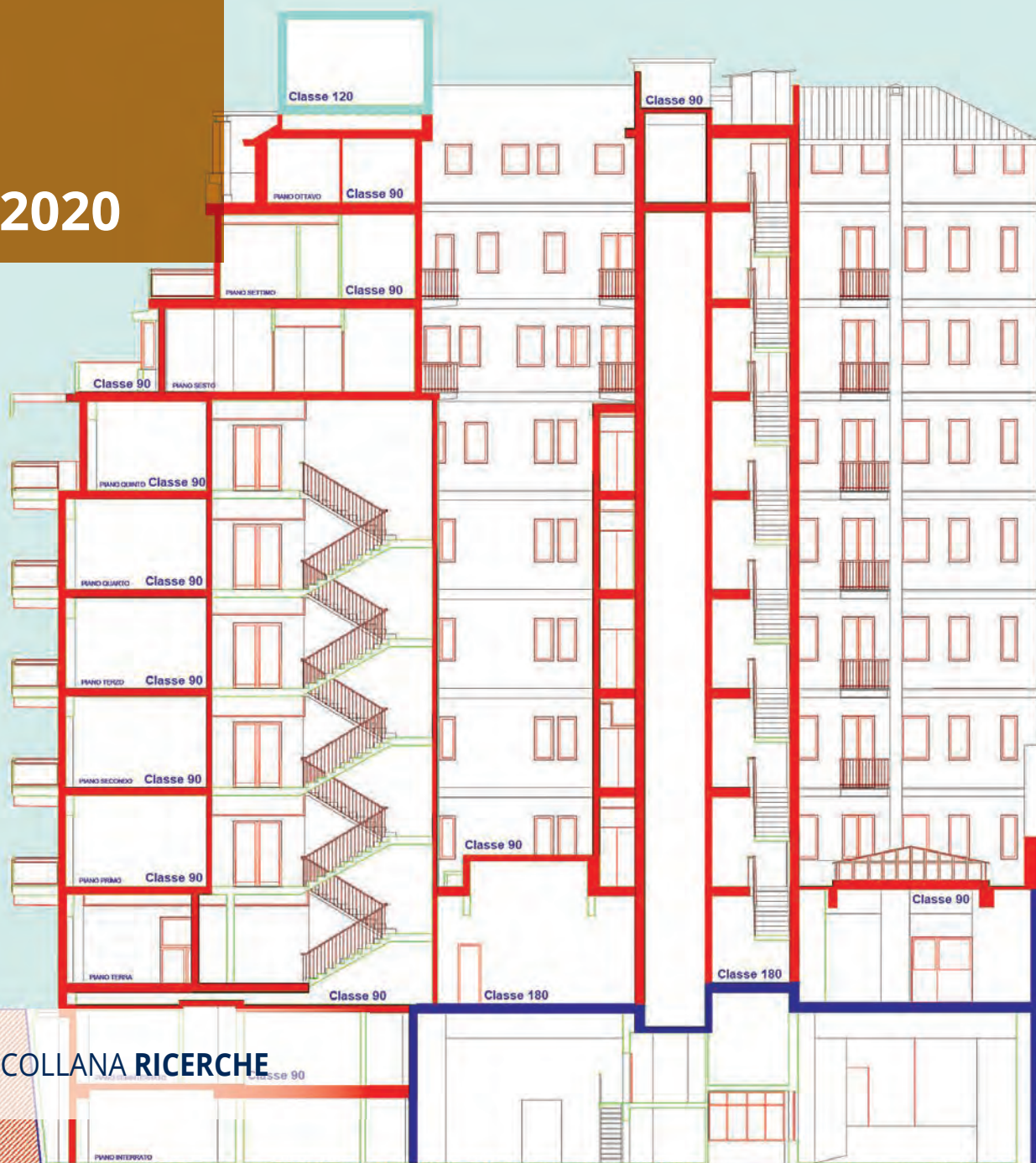
COMPARTIMENTAZIONE ANTINCENDIO

INAIL

Focus sulla misura S.3
del Codice di prevenzione incendi

- COMPARTIMENTAZIONE

2020



COLLANA RICERCHE

COMPARTIMENTAZIONE ANTINCENDIO

INAIL

Focus sulla misura S.3
del Codice di prevenzione incendi

- COMPARTIMENTAZIONE

2020

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, Mauro Caciolai³, Piergiacomo Cancelliere³, Andrea Marino³,
Luca Ponticelli³, Chiara Crosti⁴, Marco Di Felice⁴, Mauro Galvan⁴, Pietro Li Castri⁴, Roberto Orvieto⁴,
Vincenzo Cascioli⁵, Filippo Cosi⁶

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

² "Sapienza" Università di Roma - DICMA

³ Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

⁴ Consiglio Nazionale degli Ingegneri

⁵ Libero professionista - iscritto all'Ordine degli Ingegneri della provincia di Terni

⁶ Libero professionista - iscritto all'Ordine degli Ingegneri della provincia di Torino

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

© 2020 Inail

ISBN 978-88-7484-669-6

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 2019/2021

INAIL



**CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI**

Indice

Prefazione	9
1. Obiettivi	11
2. Introduzione	12
3. Le soluzioni fornite dal Codice - la misura antincendio S.3	13
S.3.1 Premessa	13
S.3.2 Livelli di prestazione	13
S.3.3 Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione	13
S.3.4 Soluzioni progettuali	14
S.3.5 Caratteristiche generali	15
S.3.6 Progettazione dei compartimenti antincendio	18
S.3.7 Realizzazione dei compartimenti antincendio	19
S.3.8 Distanza di separazione per limitare la propagazione dell'incendio	21
S. 3.9 Ubicazione	21
S.3.10 Comunicazioni tra attività	21
S.3.11 Metodi per la determinazione della distanza di separazione	21
S.3.12 Riferimenti	27
La compartimentazione nelle nuove RTV	28
4. La misura antincendio compartimentazione	35
5. La continuità della compartimentazione	36
Caso studio 1: valutazione irraggiamento termico verso un bersaglio esterno all'edificio sorgente	41
Descrizione	41
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:	41
Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi	44
Riferimenti normativi	44
Obiettivi dello studio	44
Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3	45
Soluzione conforme - metodologia delle piastre radianti	46
Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione	46
Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione	49
Soluzione alternativa	50
Determinazione del fattore di vista secondo le indicazioni dell'Eurocodice 1991-1-2	50
Verifica della distanza di separazione nel caso di studio	53
Considerazioni a commento	56
Caso studio 2: stabilimento per attività di produzione e stoccaggio di materiale plastico	57
Descrizione	57
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:	57
Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi	59
Riferimenti normativi	59
Obiettivi dello studio	59
Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3	59
Determinazione della classe di resistenza al fuoco	59
Soluzione conforme - metodologia delle piastre radianti	64
Distanza di separazione per limitare la propagazione	66
Disposizione del materiale all'interno del magazzino	66
Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione	66
Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione	67
Disposizione del materiale all'esterno del magazzino	68

<i>Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione</i>	68
<i>Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione</i>	68
<i>Distanza di separazione degli stoccaggi esterni dalle pareti del fabbricato</i>	69
Soluzione alternativa	70
<i>Disposizione del materiale all'interno del magazzino</i>	70
<i>Disposizione del materiale all'esterno del magazzino</i>	71
Studio della misura antincendio S.5 GSA	72
Considerazioni a commento	74
Caso studio 3: stabilimento per attività di lavorazione e stoccaggio di olii vegetali	75
Descrizione	75
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:	75
Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi	77
Riferimenti normativi	77
Obiettivi dello studio	77
Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3	77
<i>Determinazione della classe di resistenza al fuoco</i>	77
Soluzione conforme - metodologia delle piastre radianti	79
<i>Distanza di separazione per limitare la propagazione</i>	81
<i>Limitazione della propagazione verso altre attività</i>	81
<i>Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione</i>	82
<i>Limitazione della propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività</i>	86
<i>Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione</i>	87
<i>Considerazioni in merito alla predisposizione di pannelli fotovoltaici sul tetto dell'attività</i>	87
Considerazioni a commento	89
Caso studio 4: edificio storico adibito ad ufficio	90
Descrizione	90
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:	90
Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi	92
Riferimenti normativi	92
Obiettivi dello studio	92
Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3	92
<i>Analisi dei luoghi</i>	94
Soluzione alternativa	96
<i>Scenario 1 - incendio nella sala d'aspetto, con le finestre totalmente aperte</i>	96
<i>Scenario 2 - incendio nella segreteria, rottura dei vetri</i>	98
Considerazioni a commento	103
Caso studio 5: edificio pluripiano adibito ad ufficio	104
Descrizione	104
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:	104
Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi	107
Riferimenti normativi	107
Obiettivi dello studio	107
Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3	108
<i>Soluzione conforme RTO</i>	108
<i>Soluzione conforme RTV V.4</i>	109
Considerazioni a commento	112

Caso studio 6: compartimentazione di un fienile soluzione con tecnologia innovativa	113
Descrizione	113
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:	113
Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi	115
<i>Riferimenti normativi</i>	115
Obiettivi dello studio	115
Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3	115
Soluzione conforme - metodologia delle piastre radianti	117
<i>Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione</i>	117
Soluzione alternativa - utilizzo di tecnologia di tipo "innovativo"	118
Considerazioni a commento	121
Caso studio 7: magazzino automatico e annesso corpo servizi	122
Descrizione	122
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:	122
Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi	124
<i>Riferimenti normativi</i>	124
Obiettivi dello studio	124
Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3	124
Soluzione alternativa	127
Individuazione degli scenari di incendio dell'attività	127
Potenziali inneschi	127
Focolaio d'incendio	127
Contributi degli impianti di prevenzione e protezione attiva	129
Scenari d'incendio	130
<i>Verifica della propagazione dei fumi attraverso le aperture presenti sulla parete di separazione</i>	131
<i>Verifica analitica dell'irraggiamento attraverso le aperture presenti sulla parete di separazione</i>	138
<i>Scenario A1 - Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione</i>	140
<i>Scenario A1 - Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione</i>	141
<i>Scenario A2 - Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione</i>	142
<i>Scenario A2 - Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione</i>	143
<i>Scenario B1 - Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione</i>	144
<i>Scenario B1 - Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione</i>	145
<i>Scenario B2 - Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione</i>	147
<i>Scenario B2 - Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione</i>	147
Considerazioni a commento	148
Caso studio 8: edificio storico adibito ad uffici facenti capo a diversa titolarità	149
Descrizione	149
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:	149
Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi	151
<i>Riferimenti normativi</i>	151
Obiettivi dello studio	151
Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3	151
Analisi dei luoghi	152
Sistema "intelligente" di estrazione forzata del fumo e del calore	153
Soluzione alternativa	155
<i>Analisi preliminare - Fase I</i>	156
<i>Analisi quantitativa - Fase II</i>	163
<i>Verifica ASET > RSET</i>	170

Considerazioni a commento	171
Caso studio 9: deposito logistico e smistamento merci	172
Descrizione	172
Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:	172
Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi	174
Riferimenti normativi	174
Obiettivi dello studio	174
Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3	175
<i>S.6 - Protezione automatica (impianto sprinkler CMDA secondo la norma NFPA13)</i>	175
<i>S.8 - SEFFC (Sistema per l'evacuazione di fumo e calore)</i>	176
Soluzione conforme	178
<i>Distanza di separazione per limitare la propagazione</i>	180
<i>Verifica della distanza di separazione - prospetto EST</i>	182
Soluzione alternativa	185
<i>Identificazione dei possibili scenari di incendio</i>	187
<i>Selezione degli scenari di incendio di progetto - UNI ISO/TR 13387-1</i>	187
<i>Scenari di incendio di progetto - piano terra della warehouse</i>	191
<i>Criterio utilizzato per le verifiche con la Fire Safety Engineering</i>	193
<i>Identificazione degli obiettivi</i>	194
<i>Curva di crescita dell'incendio</i>	196
<i>Analisi di sensitività della mesh</i>	196
<i>Verifica della sicurezza delle scale</i>	197
<i>Verifiche nello scenario di incendio di progetto SA1</i>	198
<i>Risultati delle verifiche effettuate</i>	198
<i>Considerazioni sulle soglie di prestazione</i>	198
<i>Verifica della sicurezza degli occupanti - visibilità</i>	199
<i>Altezza dei fumi dopo 4 e 8 min</i>	199
<i>Distribuzione della visibilità nel piano dopo 4 e 8 min</i>	200
<i>Verifica delle soglie di prestazione dei soccorritori</i>	201
<i>Verifica della propagazione dei fumi</i>	201
<i>Verifica dell'esodo per lo scenario SA1</i>	202
<i>Descrizione dello scenario</i>	202
<i>Informazioni scenario di esodo e uscite indisponibili</i>	203
Considerazioni a commento	205
Bibliografia	206
Fonti immagini	208

Prefazione

La progettazione della sicurezza antincendio nelle attività soggette alle visite ed ai controlli dei Vigili del Fuoco e, in generale, 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 ribadisce 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 e 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.) 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 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 sono stati 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, risultano 42 le attività soggette comprese nel citato allegato 1, per le quali la Regola Tecnica Orizzontale (RTO) del Codice rappresenta l'unico riferimento progettuale possibile.

Peraltro, è recentemente entrato in vigore il d.m. 18 ottobre 2019, Modifiche all'allegato 1 al decreto del Ministro dell'interno 3 agosto 2015, recante «Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139». (19A06608) (GU Serie Generale n. 256 del 31 ottobre 2019 - Suppl. Ordinario n. 41).

Le motivazioni di tale revisione si leggono in premessa all'articolato:

Ritenuto necessario proseguire il percorso di aggiornamento delle vigenti disposizioni tecniche in materia di prevenzione incendi sulla base dei più aggiornati standard internazionali;

Ravvisata l'opportunità, in ragione dell'entità delle modifiche apportate, di sostituire integralmente alcune sezioni dell'allegato 1 al decreto del Ministro dell'interno del 3 agosto 2015, anche per favorire una più immediata lettura del testo.

Da ultimo si segnala la pubblicazione del d.m. 14 febbraio 2020¹ recante "Aggiornamento della sezione V dell'allegato 1 al decreto 3 agosto 2015, concernente l'approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi". (20A01155) (GU Serie Generale n. 57 del 6 marzo 2020), che aggiorna le cinque RTV finora pubblicate permettendo un completo allineamento con le modifiche introdotte dal d.m. 18 ottobre 2019.

In realtà le "nuove" RTV non riportano alcuna variazione sostanziale, eccettuata la correzione di un refuso nella tab. V.4-4 della RTV V.4 Uffici e dell'esplicitazione di qualche allineamento con la nuova versione del Codice (es.: par. V.5.4.4 della RTV V.5 Attività ricettive turistico-alberghiere); anche per questo motivo, nel prosieguo della pubblicazione, si continueranno a menzionare i decreti originari afferenti alla pubblicazione delle RTV.

Già nel 2016 il Consiglio Nazionale Ingegneri aveva curato la realizzazione di un primo sondaggio per testare la conoscenza ed il reale utilizzo del Codice di prevenzione incendi.

In quell'occasione il sondaggio vide coinvolti più di 2000 ingegneri - il 6,3% "professionisti antincendio" allora iscritti negli elenchi del Ministero dell'Interno - in merito al ricorso al Codice come metodo di progettazione per i progetti e le richieste di deroghe.

¹ Nell'Allegato 2 del d.m. 14 aprile 2020 sono riportate alcune correzioni relative alle classificazioni contenute nelle RTV V.4, RTV V.5 e RTV V.7

I risultati, pubblicati dal CNI sul proprio sito (www.tuttoingegnere.it) il 17 ottobre 2016, evidenziarono un notevole interesse verso le nuove potenzialità introdotte dal Codice ma, allo stesso tempo, un utilizzo non ancora sufficientemente diffuso dello stesso: oltre il 62% dei progettisti, infatti, pur avendo frequentato corsi di formazione incentrati sull'utilizzo del Codice, non aveva ancora provato ad utilizzarlo.

I professionisti che dichiaravano di averlo adottato non avevano fatto ricorso alle cosiddette soluzioni alternative.

Probabilmente, a causa della percepita complessità dello strumento normativo e conseguente aumento della responsabilità, al Codice era stato preferito il più "consolidato" metodo prescrittivo.

Ora, a quasi 4 anni dalla sua entrata in vigore, il Codice è stato oggetto di un nuovo sondaggio che ha analizzato tutti gli elementi riconosciuti critici nonché il grado di applicabilità e di conoscenza. L'indagine ha coinvolto quasi cinquemila ingegneri, esclusivamente professionisti antincendio iscritti all'Albo, che hanno risposto alle domande del sondaggio in forma anonima.

L'iniziativa è stata curata dal Centro Studi del Consiglio Nazionale degli Ingegneri, con il supporto del gruppo di lavoro sicurezza e prevenzione incendi del CNI.

I risultati del sondaggio confermano l'accoglimento favorevole del Codice di prevenzione incendi e delle sue potenzialità da parte dei professionisti, anche se si conferma il ritardo nell'assimilazione dei nuovi metodi e la difficoltà ad *interiorizzare il cambiamento di approccio progettuale*.

Gran parte degli intervistati restituisce ancora sentimenti di incertezza e timore sulle responsabilità stessi.

Sicuramente l'attività di miglioramento delle normative di settore relativamente agli aspetti di chiarezza ed uniformità favorirebbe la riduzione della percezione del "rischio professionale".

A conclusione del secondo sondaggio emerge che *gli ambiti soggetti ad ampio margine di miglioramento sono le capacità comunicative e propositive dei progettisti nei confronti del committente e soprattutto la qualità dell'offerta formativa e di aggiornamento periodico da parte degli Ordini*.

La Direzione Centrale Prevenzione e Sicurezza Tecnica del C.N.VV.F. ha effettuato un'analisi statistica sull'applicazione del Codice grazie all'attività di monitoraggio sui dati acquisiti dalle Direzioni Regionali dei VV.F..

Il periodo di riferimento è dalla data di entrata in vigore del Codice (18 novembre 2015) al 31 gennaio 2018.

L'analisi ha restituito i seguenti elementi:

- incremento di attività di progettazione con il Codice (da 54 progetti/mese nei primi due anni e mezzo dall'entrata in vigore del Codice a 86 progetti/mese nell'ultimo anno disponibile);
- applicazione del Codice non uniforme sul territorio nazionale (complessivamente il 60% dei progetti è stato presentato nelle regioni del centro-nord Italia - Piemonte, Lombardia, Veneto, Emilia Romagna e Toscana);
- utilizzo quasi esclusivo di soluzioni conformi;
- costanza del numero di progetti con soluzione conforme (indice di appropriatezza delle soluzioni tecniche associate ad un dato livello di prestazione);
- ricorso a soluzioni alternative per aspetti strutturali (resistenza al fuoco e compartimentazione) e per l'esodo;
- 82% delle pratiche è stato evaso con esito positivo (favorevole o favorevole condizionato).

L'attività di monitoraggio ha evidenziato che, per incrementare l'applicazione del Codice è necessario ampliare il numero delle attività progettabili con il ricorso all'approccio RTO/RTV e, quindi, emanare altre RTV per specifiche attività.

Tenuto conto dei risultati delle indagini condotte, al fine quindi 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 del settore, 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 e il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (C.N.VV.F.).

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 alla misura S.3 *Compartimentazione*.

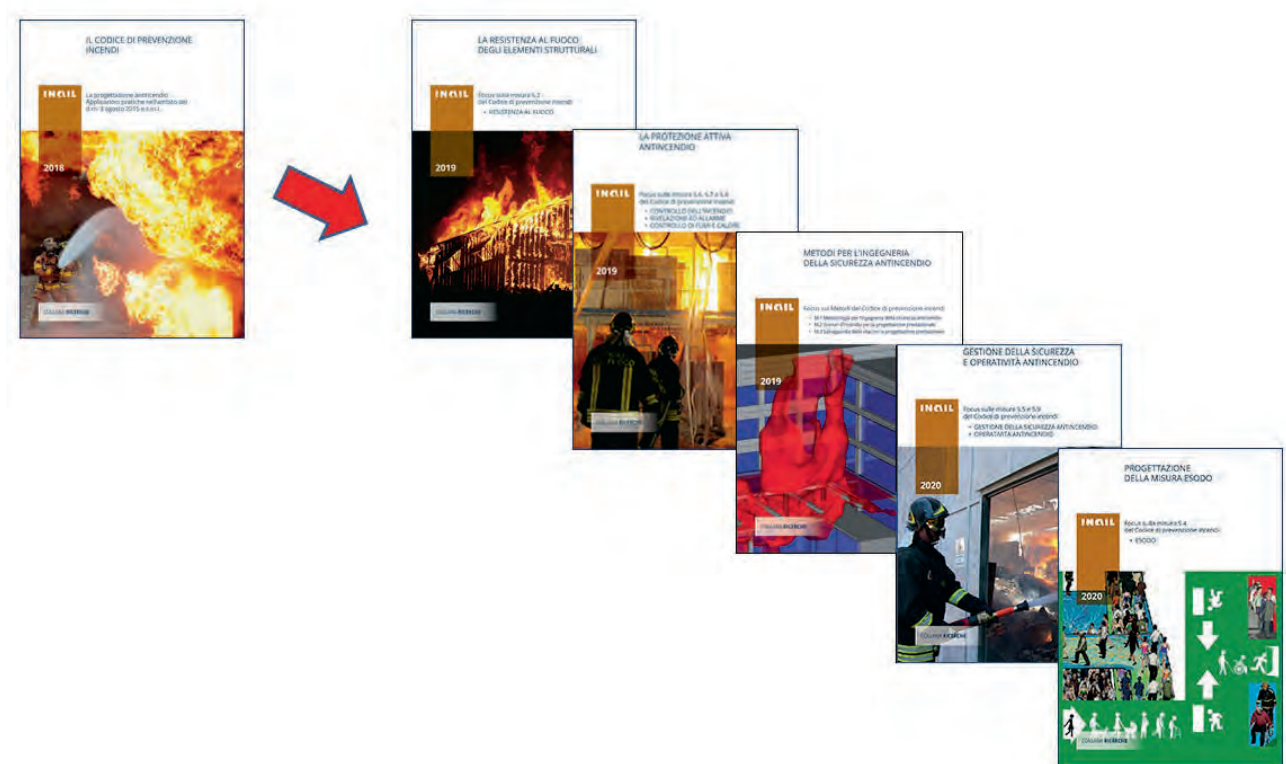
I risultati di tale attività potranno costituire, negli intenti dei promotori dell'attività di ricerca, uno strumento di supporto nella progettazione e gestione della sicurezza antincendio nei luoghi di lavoro e uno spunto di riflessione per i professionisti antincendio e, anche a scopo didattico, un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

1. Obiettivi

L'utilizzo della metodologia del caso studio, normalmente adottata nel campo della ricerca empirica come tecnica 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, quindi, non è quello di risolvere un problema, bensì di fornire al lettore degli strumenti pratici volti ad affrontare le varie problematiche reali, ad inquadrarle normativamente ed a collocarle nell'ambito del protocollo fornito dal Codice.



Nella presente pubblicazione, saranno descritte alcune applicazioni inerenti lo studio della misura S.3 *Compartimentazione*.

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 della misura S.3 *Compartimentazione* del Codice di prevenzione incendi.

La pubblicazione è stata redatta con riferimento alla versione aggiornata del Codice ai sensi del d.m. 18 ottobre 2019 recante modifiche all'allegato 1 al d.m. 3 agosto 2015, recante "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'art. 15 del d.lgs. 8 marzo 2006, n. 139" per quanto riguarda la RTO e al d.m. 14 febbraio 2020 per quanto riguarda le RTV riguardanti *Uffici, Attività ricettive, Attività scolastiche e Attività commerciali*, al d.m. 15 maggio 2020 per quanto riguarda la RTV sulle *Autorimesse*, al d.m. 6 aprile 2020 per quanto riguarda la RTV sugli *Asili nido*, al d.m. 10 luglio 2020 per quanto riguarda la RTV su *Musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati*, alle bozze di RTV approvate nel corso delle riunioni del Comitato Centrale Tecnico Scientifico di prevenzione incendi del Ministero dell'interno per quanto riguarda le *Strutture sanitarie, gli Edifici di civile abitazione e lo Stoccaggio e trattamento dei rifiuti*.

La pubblicazione contiene esempi di progettazione di alcune attività, redatti focalizzando l'attenzione sulla misura S.3, in relazione alla quale sono state applicate sia *soluzioni conformi* che una o più *soluzioni alternative*, anche applicando i metodi suggeriti dal Codice.

In particolare, dopo un doveroso richiamo delle regolamentazioni sopra citate limitatamente alla misura S.3, i casi studio riguardano:

- la valutazione dell'irraggiamento termico verso un bersaglio esterno all'edificio sorgente;
- la valutazione delle distanze di separazione tra materiali combustibili all'interno di uno stabilimento per attività di produzione, lavorazione e stoccaggio di materiale plastico;
- la valutazione delle distanze di separazione tra materiali combustibili all'interno di uno stabilimento per attività di lavorazione e stoccaggio di olii vegetali;
- la dimostrazione dell'efficienza di una scala protetta benché priva di una chiusura di tipo E-S_a all'interno di un edificio storico adibito ad ufficio;
- la gestione della compartimentazione interna di un'attività ufficio rispetto all'attività secondaria (34.2.C) sita ai piani interrati;
- la compartimentazione di un fienile adottando una soluzione con tecnologia innovativa;
- la compartimentazione in un immobile nel quale sono inseriti uffici facenti capo a diversa titolarità;
- la dimostrazione dell'efficienza della parete di separazione tra due manufatti nell'ambito di un magazzino automatico;
- la dimostrazione del raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio all'interno di una *warehouse* di grandi dimensioni posta all'interno di un unico compartimento multipiano.

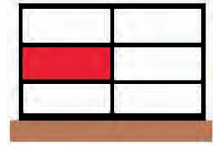
Considerato che la pubblicazione è stata scritta "a più mani", grazie anche al contributo di alcuni professionisti del settore, può rilevarsi una diversa sensibilità nell'approccio alla progettazione antincendio da parte dei vari Autori; si ritiene tuttavia che tale circostanza possa costituire, a conti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

L'obiettivo 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. Le soluzioni fornite dal Codice - la misura antincendio S.3



MISURA ANTINCENDIO: S.3 COMPARTIMENTAZIONE

S.3.1 Premessa

1. La finalità della *compartimentazione* è di limitare la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti: verso altre attività, afferenti ad altro *responsabile dell'attività* o di diversa *tipologia*; all'interno della stessa attività.
2. La compartimentazione è realizzata mediante:
 - compartimenti antincendio, ubicati all'interno della stessa opera da costruzione;
 - interposizione di distanze di separazione, tra opere da costruzione o altri bersagli combustibili, anche ubicati in spazio a cielo libero.

S.3.2 Livelli di prestazione

1. La tabella S.3-1 riporta i livelli di prestazione attribuibili alle *opere da costruzione* per la presente misura antincendio.

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

TABELLA S.3-1: LIVELLI DI PRESTAZIONE

S.3.3 Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione

1. La tabella S.3-2 riporta i criteri *generalmente accettati* per l'attribuzione dei singoli livelli di prestazione.

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Non ammesso nelle attività soggette
II	Attività non ricomprese negli altri criteri di attribuzione
III	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. attività con elevato affollamento, attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico q_f , presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, ...). Si può applicare in particolare ove sono presenti compartimenti con profilo di rischio R_{vita} compreso in D1, D2, Cii2, Cii3, Ciii2, Ciii3, per proteggere gli occupanti che dormono o che ricevono cure mediche.

TABELLA S.3-2: CRITERI DI ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE

S.3.4 Soluzioni progettuali

S.3.4.1 Soluzioni conformi per il livello di prestazione II

1. Al fine di limitare la propagazione dell'incendio *verso altre attività* deve essere impiegata almeno una delle seguenti soluzioni conformi:
 - a. inserire le diverse attività in compartimenti antincendio distinti, come descritto nei paragrafi 14 ed 18, con le caratteristiche di cui al paragrafo 19;
 - b. interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra le diverse attività, come descritto nel paragrafo S.3.8.
2. Al fine di limitare la propagazione dell'incendio *all'interno della stessa attività* deve essere impiegata almeno una delle seguenti soluzioni conformi:
 - a. suddividere la volumetria dell'opera da costruzione contenente l'attività, in compartimenti antincendio, come descritto nei paragrafi 14 ed 18, con le caratteristiche di cui al paragrafo S.3.7;
 - b. interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra ambiti della stessa attività, come descritto nel paragrafo S.3.8.
3. L'*ubicazione* delle diverse attività nella stessa opera da costruzione deve essere stabilita secondo i criteri di cui al paragrafo S.3.9.
4. Sono ammesse *comunicazioni* tra le diverse attività presenti nella stessa opera da costruzione, realizzate con le limitazioni e le modalità descritte al paragrafo S.3.10.

S.3.4.2 Soluzioni conformi per il livello di prestazione III

1. Si applicano le soluzioni conformi per il livello di prestazione II, impiegando elementi a tenuta di fumo (S_a) per la realizzazione dei compartimenti antincendio.

S.3.4.3 Soluzioni alternative

1. Sono ammesse *soluzioni alternative* per tutti i livelli di prestazione.
2. Al fine di dimostrare il raggiungimento del *livello di prestazione*, il progettista deve impiegare uno dei metodi del paragrafo G.2.7.
3. In tabella S.3-3 sono riportate alcune modalità *generalmente accettate* per la progettazione di soluzioni alternative. Il progettista può comunque impiegare modalità diverse da quelle elencate.

Oggetto della soluzione	Modalità progettuale
Caratteristiche dello spazio scoperto (§ S.3.5.1), del compartimento, del filtro (§ S.3.5.4), dell'ubicazione (§ S.3.9)	Si dimostri, anche con modelli analitici, che non avviene propagazione dell'incendio e dei suoi effetti nella configurazione considerata.
Compartimento a prova di fumo (§ S.15), filtro a prova di fumo (§ S.3.5.5), compartimentazione multipiano (§ S.3.6.2), comunicazioni (§ S.3.10)	Si dimostri che è comunque garantita la salvaguardia della vita degli occupanti (capitolo M.3) e, se applicabile, la protezione dei beni.
Distanza di separazione (§ S.3.8) e suo calcolo (§ S.3.11)	Si dimostri che è limitata la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti. Può essere applicata la stessa procedura analitica del paragrafo S.3.11.3, impiegando ad esempio il valore di E_{soglia} adeguato al bersaglio effettivamente esposto all'incendio, il fattore di vista F_{2-1} e la piastra radiante corrispondente alla reale configurazione geometrica, la potenza termica radiante E_1 riferita all'incendio naturale. Possono essere anche impiegati modelli numerici di simulazione dell'incendio, dei suoi effluenti e dell'irraggiamento.

TABELLA S.3-3: MODALITÀ PROGETTUALI PER SOLUZIONI ALTERNATIVE

S.3.5 Caratteristiche generali

S.3.5.1 Spazio scoperto

Nota Lo *spazio scoperto* limita la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti. Lo spazio scoperto non è un compartimento antincendio.

1. Lo *spazio scoperto* è uno spazio a cielo libero o superiormente grigliato, anche delimitato su tutti i lati, avente:
 - a. superficie lorda minima libera in pianta, espressa in m², non inferiore a quella calcolata moltiplicando per 3 l'altezza in metri della parete più bassa che lo delimita;
 - b. distanza fra le strutture verticali che delimitano lo spazio scoperto $\geq 3,50$ m.
2. Se lo spazio scoperto è superiormente grigliato, il rapporto tra la *superficie utile* e la *superficie lorda* totale della griglia deve essere $\geq 75\%$.
3. Se le pareti delimitanti lo spazio a cielo libero o grigliato hanno strutture che aggettano o rientrano, detto spazio è considerato *scoperto* se sono rispettate le condizioni del comma 15 e se il rapporto fra la sporgenza (o rientranza) e la relativa altezza di impostazione è $\leq 1/2$.
4. La superficie lorda minima libera in pianta dello *spazio scoperto* deve risultare al netto delle superfici aggettanti.
5. La minima distanza di 3,50 m deve essere computata fra le pareti più vicine in caso di rientranze, fra parete e limite esterno della proiezione dell'oggetto in caso di sporgenza, fra i limiti esterni delle proiezioni di oggetti prospicienti.

S.3.5.2 Compartimento

Nota La funzione del *compartimento* è di limitare la progressione dell'incendio all'interno delle opere da costruzione, relegandone gli effetti a spazi circoscritti per un lasso temporale prestabilito.

1. Le caratteristiche generali del *compartimento antincendio* sono definite nel capitolo G.1.

S.3.5.3 Compartimento a prova di fumo

Nota Nel *compartimento a prova di fumo* è impedito l'ingresso di effluenti dell'incendio da compartimenti comunicanti.

1. Per essere considerato a *prova di fumo* in caso di incendio che si sviluppi in compartimenti comunicanti, il *compartimento antincendio* deve essere realizzato in modo da garantire una delle seguenti misure antincendio aggiuntive verso i compartimenti comunicanti dai quali si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo:
 - a. il compartimento è dotato di un *sistema di pressione differenziale* progettato, installato e gestito secondo la norma UNI EN 12101-6;
 - b. i compartimenti comunicanti da cui si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo sono dotati di SEFC che mantengono i fumi al di sopra dei varchi di comunicazione (capitolo S.8);
 - c. il compartimento è dotato di SEFC, i compartimenti comunicanti da cui si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo sono dotati di SEFC (capitolo S.8);
 - d. il compartimento è separato con *spazio scoperto* dai compartimenti comunicanti da cui si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo;
 - e. il compartimento è separato con *filtro a prova di fumo* (paragrafo S.3.5.5) dai compartimenti comunicanti da cui si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo;

- f. il compartimento è separato con altri *compartimenti a prova di fumo* dai compartimenti comunicanti da cui si intende garantire la protezione dall'ingresso di fumo.

Nota Nella tabella S.3-5 sono riportati alcune applicazioni. Esempi di compartimento a prova di fumo sono: scala a prova di fumo, vano ascensore a prova di fumo, ...

S.3.5.4 Filtro

Nota Nel *filtro* si ritiene improbabile l'innesco di un incendio ed è limitato l'ingresso di effluenti dell'incendio da compartimenti comunicanti. Nel filtro è generalmente ammessa la presenza di reception, portinerie, sale d'attesa, limitate apparecchiature elettriche, impianti tecnologici e di servizio ausiliari al funzionamento dell'attività, ...

1. Il *filtro* è un *compartimento antincendio* dotato di tutte le seguenti ulteriori caratteristiche:
 - a. avente classe di resistenza al fuoco ≥ 30 min;
 - b. munito di due o più chiusure dei varchi almeno E 30-S_a;
 - c. avente carico di incendio specifico $q_f \leq 50$ MJ/m²;
 - d. non vi si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose;
 - e. non vi si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.

S.3.5.5 Filtro a prova di fumo

Nota Per definizione, il *filtro a prova di fumo* è un *filtro* (paragrafo S.3.5.4), avente anche i requisiti di *compartimento antincendio a prova di fumo* (paragrafo 15). Pertanto nel *filtro a prova di fumo* si ritiene improbabile l'innesco di un incendio ed è impedito l'ingresso di effluenti dell'incendio. Sono accettate anche le modalità realizzative tradizionali di cui al comma 1, perché si ritiene consentano il rapido smaltimento degli effluenti che eventualmente vi entrassero.

1. Se monopiano e di ridotta superficie lorda, è ammesso realizzare il *filtro a prova di fumo* come *filtro* (paragrafo S.3.5.4), dotato di una delle seguenti ulteriori caratteristiche:
 - a. mantenuto in sovrappressione, ad almeno 30 Pa in condizioni di emergenza, da specifico sistema progettato, realizzato e gestito secondo la regola dell'arte;

Nota La norma UNI EN 12101-6 riporta un metodo generalmente accettato per progettare il sistema di sovrappressione del filtro a prova di fumo.

- b. dotato di camino per lo smaltimento dei fumi d'incendio e di ripresa d'aria dall'esterno, *adeguatamente progettati* e di sezione $\geq 0,10$ m²;
 - c. areato direttamente verso l'esterno con aperture di superficie utile complessiva ≥ 1 m². Tali aperture devono essere permanentemente aperte o dotate di chiusure apribili in modo automatico in caso di incendio. È escluso l'impiego di condotti.
 2. Per i varchi del *filtro a prova di fumo* è ammesso l'impiego di chiusure E 30.

S.3.5.6 Superfici vulnerabili di chiusura esterna del compartimento

1. L'adozione di particolari tipi di superfici di chiusura verso l'esterno (es. facciate continue, facciate ventilate, coperture, ...) non deve costituire pregiudizio per l'efficacia della compartimentazione di piano o di qualsiasi altra compartimentazione orizzontale e verticale presente all'interno dell'edificio.

Nota Utili riferimenti sono costituiti dalle circolari DCPST n°5643 del 31 marzo 2010 e DCPST n°5043 del 15 aprile 2013 recanti guida tecnica su "*Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili*".

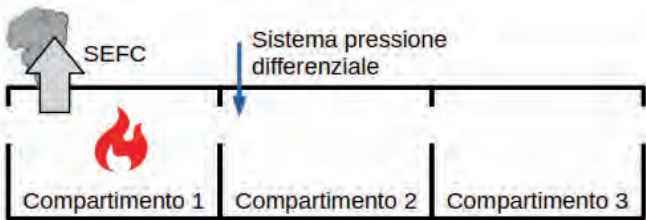



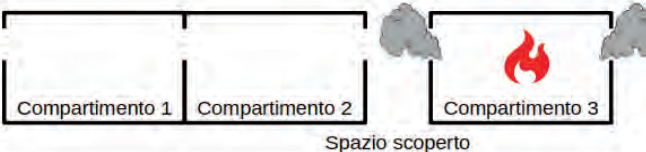
S.3.5.7 Segnaletica

1. Le porte tagliafuoco devono essere contrassegnate su entrambi i lati con segnale UNI EN ISO 7010-F007, riportante il messaggio "*Porta tagliafuoco tenere chiusa*" oppure

“Porta tagliafuoco a chiusura automatica” se munite di fermo elettromagnetico in apertura (tabella S.3-4).

 <p>PORTA TAGLIAFUOCO TENERE CHIUSA</p> <p>F007 Porta tagliafuoco</p>	 <p>PORTA TAGLIAFUOCO A CHIUSURA AUTOMATICA</p> <p>F007 Porta tagliafuoco dotata di fermo in apertura</p>
---	--

TABELLA S.3-4: ESEMPI DI SEGNALI UNI EN ISO 7010-F007

	<p>Il compartimento 2 è a <i>prova di fumo</i> proveniente dai compartimenti 1 e 3. I compartimenti 1 e 3 non sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 2. Il compartimento 1 è a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 3 e viceversa.</p>
	<p>Il compartimento 2 è a <i>prova di fumo</i> proveniente dai compartimenti 1 e 3. I compartimenti 1 e 3 non sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 2. Il compartimento 1 è a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 3 e viceversa.</p>
	<p>Tutti i compartimenti sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dagli altri compartimenti.</p>
	<p>Tutti i compartimenti sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dagli altri compartimenti.</p>
	<p>I compartimenti 1 e 2 sono a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 3 e viceversa. Il compartimento 1 non è a <i>prova di fumo</i> proveniente dal compartimento 2 e viceversa.</p>

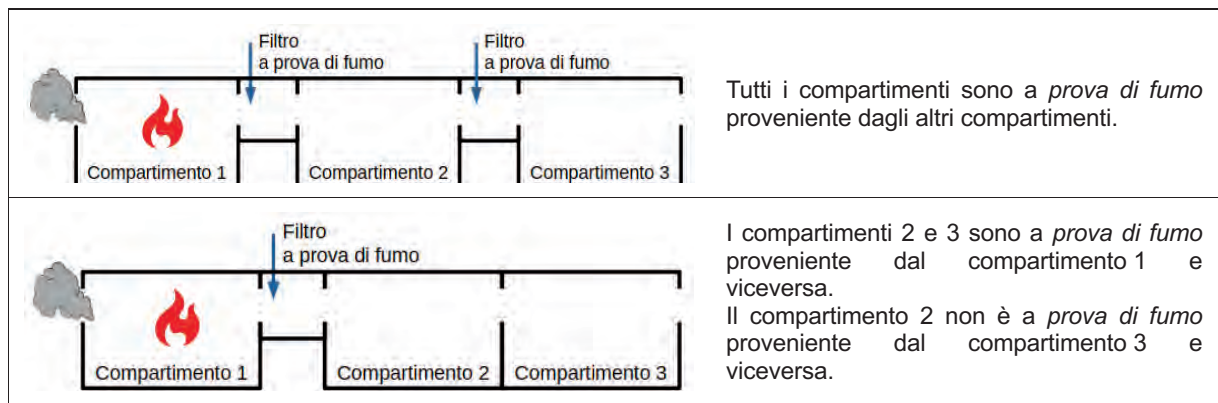


TABELLA S.3-5: ESEMPI DI COMPARTIMENTI A PROVA DI FUMO: VISTE IN PIANTA E DESCRIZIONE

S.3.6 Progettazione dei compartimenti antincendio

S.3.6.1 Regole generali

1. Devono essere inseriti in compartimenti distinti:
 - a. *ciascun piano* interrato e fuori terra di attività multipiano;
 - b. aree dell'attività con *diverso* profilo di rischio;
 - c. *altre attività* ospitate nella medesima opera da costruzione.
2. È ammessa la presenza di *compartimenti multipiano* alle condizioni indicate al paragrafo S.3.6.2.
3. La superficie lorda dei compartimenti non deve superare i valori massimi previsti in tabella S.3-6.

R _{vita}	Quota del compartimento								
	< -15 m	< -10 m	< -5 m	< -1 m	≤ 12 m	≤ 24 m	≤ 32 m	≤ 54 m	> 54 m
A1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
A2	1000	2000	4000	8000	64000	16000	8000	4000	2000
A3	[na]	1000	2000	4000	32000	4000	2000	1000	[na]
A4	[na]	[na]	[na]	[na]	16000	[na]	[na]	[na]	[na]
B1	[na]	2000	8000	16000	64000	16000	8000	4000	2000
B2	[na]	1000	4000	8000	32000	8000	4000	2000	1000
B3	[na]	[na]	1000	2000	16000	4000	2000	1000	[na]
Cii1, Ciii1	[na]	[na]	[na]	2000	16000	8000	8000	8000	4000
Cii2, Ciii2	[na]	[na]	[na]	1000	8000	4000	4000	2000	2000
Cii3, Ciii3	[na]	[na]	[na]	[na]	4000	2000	2000	1000	1000
D1	[na]	[na]	[na]	1000	2000	2000	1000	1000	1000
D2	[na]	[na]	[na]	1000	2000	1000	1000	1000	[na]
E1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
E2	1000	2000	4000	8000	[1]	16000	8000	4000	2000
E3	[na]	[na]	2000	4000	16000	4000	2000	[na]	[na]

La massima superficie lorda è ridotta del 50% per i compartimenti con R_{ambiente} significativo [na] Non ammesso [1] Senza limitazione

TABELLA S.3-6: MASSIMA SUPERFICIE LORDA DEI COMPARTIMENTI IN M²

S.3.6.2 Compartimenti multipiano

1. È ammessa la presenza di *compartimenti multipiano* alle condizioni della tabella S.3-7, in funzione del profilo di rischio R_{vita} dei compartimenti e delle caratteristiche geometriche dell'opera da costruzione.
2. Deve essere comunque rispettata la massima superficie lorda di compartimento di cui alla tabella S.3-6 ed i vincoli dettati dalle altre misure antincendio (es. esodo, capitolo S.4).

R_{vita}	Compartimenti multipiano	Prescrizioni antincendio aggiuntive
A1, A2, A3, B1, B2, B3, E1, E2, Cii1, Cii2, Ciii1, Ciii2	I piani a quota > -1 m e ≤ 6 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano	Nessuna
A1, A2	I piani a quota > -5 m e ≤ 12 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano (Esempio in tabella S.3-8)	Nessuna
A3, B1, B2, Cii1, Cii2, Ciii1, Ciii2		[1], [2]
B3		[3]
A1, A2	I piani a quota > 12 m e ≤ 32 m possono essere inseriti in uno o più compartimenti multipiano, con massimo dislivello tra i piani inseriti ≤ 7 m (Esempio in tabella S.3-8)	[3]
B1, B2		[3], [4]

[1] Rivelazione ed allarme di livello di prestazione III (capitolo S.6)
 [2] Se $q_f < 600 \text{ MJ/m}^2$, controllo dell'incendio di livello di prestazione III, altrimenti IV (capitolo S.6)
 [3] Rivelazione ed allarme di livello di prestazione IV (capitolo S.7)
 [4] Controllo dell'incendio di livello di prestazione IV (capitolo S.6).

TABELLA S.3-7: CONDIZIONI PER LA REALIZZAZIONE DI COMPARTIMENTI MULTIPIANO

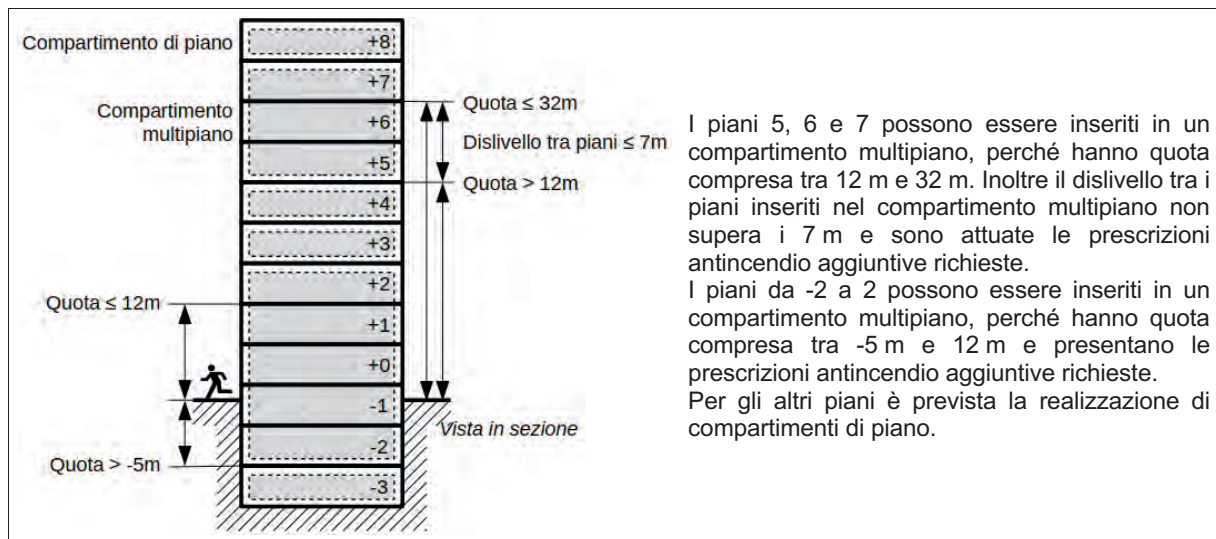


TABELLA S.3-8: ESEMPI DI COMPARTIMENTI MULTIPIANO

S.3.7 Realizzazione dei compartimenti antincendio

S.3.7.1 Determinazione della classe di resistenza al fuoco

1. La classe di resistenza al fuoco minima di ogni compartimento è determinata secondo quanto previsto nel capitolo S.2.

Nel caso in cui il carico di incendio specifico di progetto $q_{f,d}$ non imponga una classe minima di resistenza al fuoco, non è richiesto il compartimento, a meno che non sia altrimenti espressamente prescritta una classe minima di resistenza al fuoco.

Nota Ad esempio, per il *filtro* o per la *scala d'esodo protetta* è prescritta la classe minima di resistenza al fuoco pari a 30.

2. In caso di compartimenti adiacenti afferenti a diversi *responsabili di attività*, gli elementi di separazione tra tali compartimenti devono avere caratteristiche di resistenza al fuoco non inferiori a EI 60.

Nota L'obiettivo è di proteggere l'attività dai *terzi confinanti* mediante elementi di separazione dotati di un livello minimo di resistenza al fuoco.

S.3.7.2 Selezione delle prestazioni degli elementi

1. Le prestazioni degli elementi di compartimentazione sono selezionate secondo i criteri di impiego riportati alla tabella S.3-9.
2. Tutte le chiusure dei varchi di comunicazione tra compartimenti devono possedere analoga classe di resistenza al fuoco ed essere munite di *dispositivo di autochiusura* (es. porte) o essere mantenute permanentemente chiuse (es. sportelli di cavedi impiantistici).
3. Tutte le chiusure dei varchi tra compartimenti e vie di esodo di una stessa attività dovrebbero essere almeno a tenuta (E) ed a tenuta di fumi freddi (S_a). Non è normalmente richiesto il requisito di isolamento (I) e di irraggiamento (W).
4. Le porte tagliafuoco installate lungo le principali vie di passaggio degli occupanti dovrebbero essere preferibilmente munite di *fermo elettromagnetico in apertura*, asservito ad IRAI.

Simbolo	Prestazione	Criterio di impiego
R	Capacità portante	Per prodotti ed elementi costruttivi portanti
E	Tenuta	Contenimento di fumi caldi, gas caldi e fiamme
I	Isolamento	Limitare la possibilità di propagazione dell'incendio per contatto tra materiale combustibile e faccia dell'elemento di compartimentazione non esposta all'incendio.
W	Irraggiamento	Limitare la possibilità di propagazione dell'incendio per irraggiamento dalla faccia dell'elemento di compartimentazione non esposta all'incendio verso materiale combustibile.
M	Azione meccanica	Limitare la possibilità di perdita di compartimentazione per effetto di azioni meccaniche accidentali.
S	Tenuta di fumo	Contenimento di fumi e gas freddi

TABELLA S.3-9: CRITERI DI SCELTA DELLE PRINCIPALI PRESTAZIONI DEGLI ELEMENTI DI COMPARTIMENTAZIONE

S.3.7.3 Continuità dei compartimenti

1. Le chiusure d'ambito orizzontali e verticali dei compartimenti devono formare una barriera continua ed uniforme contro la propagazione degli effetti dell'incendio, ad esempio nel caso di:
 - a. *giunzioni* tra gli elementi di compartimentazione,
 - b. attraversamento degli impianti tecnologici o di processo con l'adozione di sistemi sigillanti resistenti al fuoco quando gli effetti dell'incendio possono attaccare l'integrità e la forma dell'impianto (es. tubazioni di PVC con collare, sacchetti penetranti nelle canaline portacavi, ...) oppure con l'adozione di isolanti non combustibili su un tratto di tubazione oltre l'elemento di separazione quando gli effetti dell'incendio possono causare solo il riscaldamento dell'impianto (es. tubazioni metalliche rivestite, sul lato non esposto all'incendio dell'elemento di compartimentazione, con idonei materiali isolanti);
 - c. canalizzazioni aerauliche, per mezzo dell'installazione di serrande tagliafuoco o impiegando canalizzazioni resistenti al fuoco per l'attraversamento dei compartimenti;
 - d. camini di esaustione o di estrazione fumi impiegando canalizzazioni resistenti al fuoco per l'attraversamento dei compartimenti;
 - e. facciate continue;
 - f. ascensori o altri condotti verticali (es. cavedi per impianti, ...).

S.3.8 Distanza di separazione per limitare la propagazione dell'incendio

1. L'interposizione della *distanza di separazione* d in spazio a cielo libero tra ambiti della stessa attività o verso altre attività consente di limitare la propagazione dell'incendio.
2. Ai fini della definizione di una *soluzione conforme* per la presente misura antincendio, il progettista impiega la *procedura tabellare* indicata al paragrafo S.3.11.2 oppure la *procedura analitica* del paragrafo S.3.11.3, imponendo ad un valore pari a $12,6 \text{ kW/m}^2$ la soglia E_{soglia} di irraggiamento termico incidente sul *bersaglio* prodotto dall'incendio della *sorgente* considerata.
3. Tale soglia è considerata adeguatamente conservativa per limitare l'innesco di qualsiasi tipologia di materiale, in quanto rappresenta il valore limite convenzionale entro il quale non avviene innesco del *legno* in aria stazionaria.
4. Il progettista è tenuto a verificare almeno le seguenti tipologie di *sorgenti* e *bersagli*:
 - a. opere da costruzione,
 - b. depositi di materiali combustibili, anche ubicati in *spazio a cielo libero*.
5. Qualora il carico d'incendio q_f nei compartimenti o dei depositi di materiali combustibili dell'attività sia $< 600 \text{ MJ/m}^2$, si considera *soluzione conforme* anche l'interposizione di *spazio scoperto* tra sorgente e bersaglio.

S. 3.9 Ubicazione

1. È *generalmente* ammessa la coesistenza di più attività nella stessa opera da costruzione, anche afferenti a diversi *responsabili* o di tipologia diversa.

S.3.10 Comunicazioni tra attività

1. Ove sia dimostrata necessità *funzionale*, sono *generalmente* ammesse comunicazioni tra le diverse attività inserite nella medesima opera da costruzione, anche afferenti a diversi *responsabili*.

Nota Se la comunicazione tra attività è impiegata anche per l'esodo, si consideri quanto previsto al paragrafo S.4.5.13.

2. In presenza di comunicazioni tra attività afferenti a *responsabili* diversi, i compartimenti con profilo di rischio R_{vita} in D1, D2 devono comunque essere *a prova di fumo* proveniente dalle altre attività.

S.3.11 Metodi per la determinazione della distanza di separazione

S.3.11.1 Generalità

1. Nel presente paragrafo si illustrano i metodi per determinare la *distanza di separazione* d in spazio a cielo libero tra *sorgente* e *bersaglio*, che consente di limitare ad una soglia prefissata E_{soglia} l'irraggiamento termico incidente sul *bersaglio*, prodotto dall'incendio della *sorgente* considerata.
2. Si definiscono *elementi radianti* le aperture ed i rivestimenti della facciata della sorgente tramite i quali viene emesso verso l'esterno il flusso di energia radiante dell'incendio (es. finestre, porte-finestre, rivestimenti di facciata combustibili, pannellature metalliche, vetrate, aperture in genere, ...).
3. Il *piano radiante* è una delle superfici convenzionali della sorgente. Il progettista individua, per ciascuna opera da costruzione, uno o più piani radianti rispetto ai quali determinare le distanze di separazione.
4. Per determinare ciascun piano radiante, si approssimano le chiusure d'ambito dell'opera da costruzione sorgente con piani verticali tangenti e non intersecanti la

costruzione stessa come mostrato nell'illustrazione S.3-1. A tal fine possono essere omessi gli elementi aggettanti incombustibili (es. sbalzi aperti, balconi, sporti di gronda, ...). Eventuali arretramenti della facciata possono essere considerati a livello della facciata stessa.

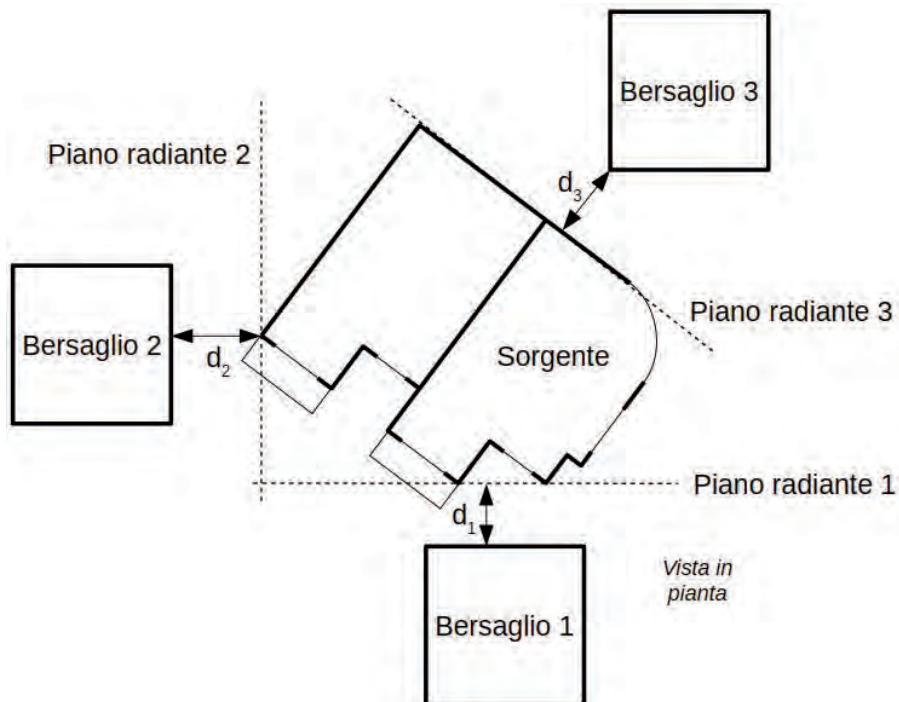


ILLUSTRAZIONE S.3-1: DETERMINAZIONE DEL PIANO RADIANTE, VISTA IN PIANTA DELLE COSTRUZIONI

5. Come mostrato nell'illustrazione S.3-2, sul piano radiante si proiettano ortogonalmente dalla sorgente:
 - a. la geometria degli elementi radianti;
 - b. i confini di compartimentazione (es. solai resistenti al fuoco, pareti resistenti al fuoco, ...).
6. È definita *piastra radiante* ciascuna porzione del *piano radiante* impiegata per il calcolo semplificato dell'irraggiamento termico dalla sorgente a bersaglio. Per ciascun piano radiante sono individuate dal progettista una o più piastre radianti.

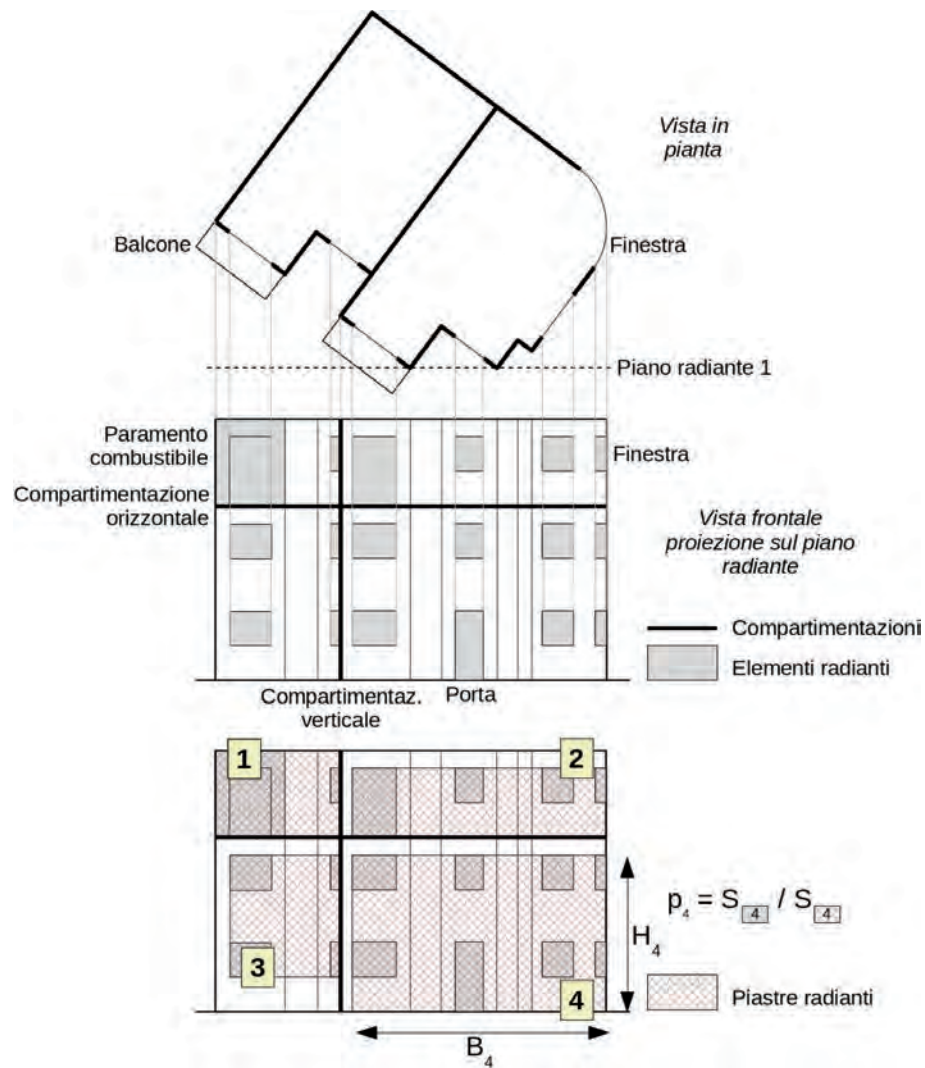


ILLUSTRAZIONE S.3-2: DETERMINAZIONE DELLE PIASTRE RADIANTI, VISTA IN PIANTA E FRONTALE

7. Per determinare le piastre radianti, in ogni porzione di piano radiante delimitata dalle proiezioni dei confini di compartimentazione, si esegue l'involuppo delle proiezioni degli elementi radianti prima definiti per mezzo di rettangoli di base B_i ed altezza H_i , come mostrato nell'illustrazione S.3-2 ed S.3-3. Tali rettangoli così ottenuti rappresentano le *piastre radianti* relative al *piano radiante* in esame.

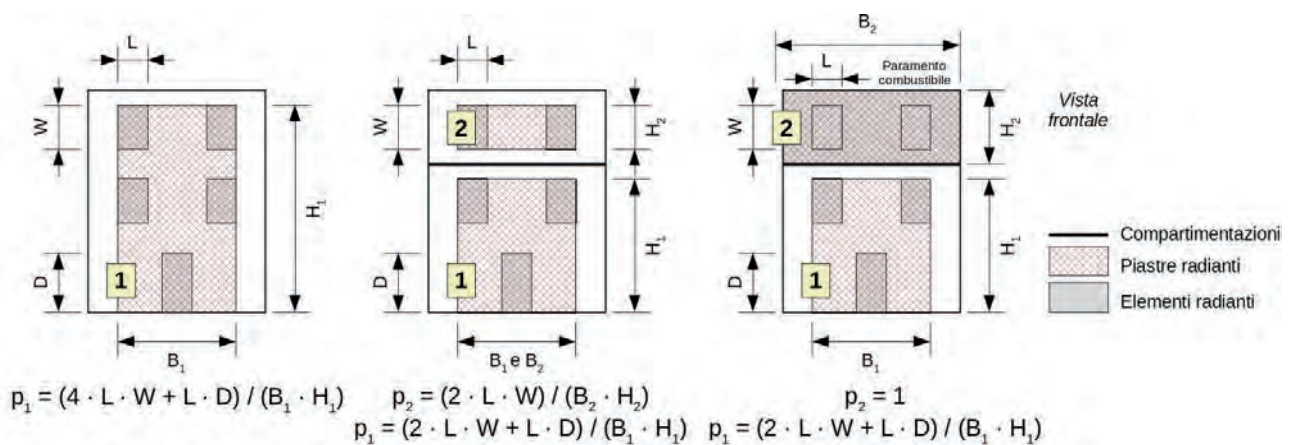


ILLUSTRAZIONE S.3-3: ESEMPIO PERCENTUALE DI FORATURA DELLA I-ESIMA PIASTRA RADIANTE, VISTA FRONTALE

8. Per ciascuna *piastra radiante* si esegue il calcolo della *percentuale di foratura* p_i , come mostrato nell'illustrazione S.3-3, il cui valore non può comunque risultare $< 0,2$:

$$p_i = S_{rad,i} / S_{pr,i} \quad \text{S.3-1}$$

con:

- p_i percentuale di foratura;
 $S_{rad,i}$ superficie complessiva delle proiezioni degli *elementi radianti* comprese nella *i*-esima *piastra radiante*;
 $S_{pr,i}$ superficie complessiva della *i*-esima *piastra radiante*.

9. Qualora la sorgente non abbia pareti laterali (es. tettoia, deposito di materiale combustibile all'aperto, ...) la percentuale di foratura p_i è assunta pari ad 1.

S.3.11.2 Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

1. La presente *procedura tabellare* consente di determinare la distanza di separazione che limita ad un valore E_{soglia} pari a $12,6 \text{ kW/m}^2$ l'irraggiamento termico incidente sul *bersaglio*, prodotto dall'incendio della *sorgente* considerata.
2. Il progettista determina gli *elementi radianti*, il *piano radiante* di riferimento per la distanza oggetto di analisi, le relative *piastre radianti* come descritto al paragrafo S.3.11.1.
3. Per l'*i*-esima *piastra radiante*, la distanza di separazione d_i è calcolata con la seguente relazione:

$$d_i = \alpha_i p_i + \beta_i \quad \text{S.3-2}$$

con:

- d_i distanza di separazione [m]
 p_i percentuale di foratura per l'*i*-esima *piastra radiante*
 α_i, β_i coefficienti ricavati alternativamente dalle tabelle S.3-10 o S.3-11 in relazione al carico di incendio specifico q_f nella porzione d'edificio retrostante l'*i*-esima *piastra radiante* ed alle dimensioni della *piastra radiante* B_i ed H_i .

4. Qualora il compartimento retrostante l'*i*-esima *piastra radiante* sia dotato di misure di controllo dell'incendio di livello di prestazione IV (capitolo S.6), la relativa distanza di separazione d_i può essere dimezzata.
5. Ai fini della *procedura tabellare*, la *distanza di separazione* d in spazio a cielo libero tra *sorgente* e *bersaglio* è assunta pari al massimo dei valori delle distanze d_i ottenute per tutte le *piastre radianti* relative al *piano radiante* in esame.

S.3.11.3 Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione

1. La presente *procedura analitica* consente di determinare la distanza di separazione che limita ad un qualsiasi valore E_{soglia} l'irraggiamento termico incidente sul *bersaglio*, prodotto dall'incendio della *sorgente* considerata.
2. Il progettista determina gli *elementi radianti*, il *piano radiante* di riferimento per la distanza oggetto di analisi, le relative *piastre radianti* come descritto al paragrafo S.3.11.1.
3. La distanza d_i misurata tra l'*i*-esima *piastra radiante* ed il *bersaglio* garantisce adeguata *separazione* se è verificata la seguente relazione:

$$F_{2-1} \cdot E_1 \cdot \epsilon_f < E_{soglia} \quad \text{S.3-3}$$

con:

- F_{2-1} fattore di vista
- E_1 potenza termica radiante dovuta all'incendio convenzionale [kW/m²]
- ϵ_f emissività della fiamma
- E_{soglia} soglia di irraggiamento dell'incendio sul bersaglio [kW/m²]

4. Il *fattore di vista* F_{2-1} relativo a piastra radiante rettangolare e bersaglio posizionato sull'asse di simmetria normale alla piastra è calcolato secondo la seguente relazione:

$$F_{2-1} = 2/\pi \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \arctan \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \arctan \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \quad \text{S.3-4}$$

Supponendo che gli *elementi radianti* siano distribuiti verticalmente al centro della piastra radiante, si calcola:

$$X = \frac{B_i \cdot p_i}{2d_i}, Y = \frac{H_i}{2d_i} \quad \text{S.3-5}$$

con:

- B_i larghezza i-esima piastra radiante [m]
- H_i altezza i-esima piastra radiante [m]
- p_i percentuale di foratura dell'i-esima piastra radiante
- d_i distanza tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio [m]

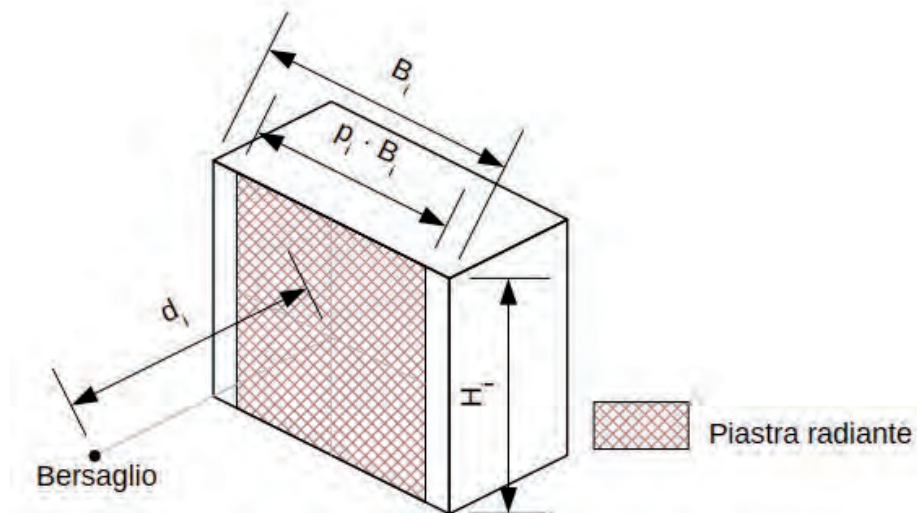


ILLUSTRAZIONE S.3-4: SCHEMATIZZAZIONE DELLA PIASTRA RADIANTE

5. La potenza termica radiante dell'incendio convenzionale E_1 è imposta come segue in funzione del carico di incendio specifico q_f del compartimento retrostante l'i-esima piastra radiante:

se $q_f > 1200$ MJ/m²:

$$E_1 = \sigma \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (1000 + 273,16)^4 = 149 \text{ kW/m}^2 \quad \text{S.3-6}$$

se $q_f \leq 1200$ MJ/m²:

$$E_1 = \sigma \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (800 + 273,16)^4 = 75 \text{ kW/m}^2 \quad \text{S.3-7}$$

6. L'emissività della fiamma ϵ_f è ricavata dalla seguente relazione:

$$\epsilon_f = 1 - e^{-0,3 \cdot d_f} \quad \text{S.3-8}$$

con:

d_f spessore della fiamma, pari a 2/3 dell'altezza del varco da cui esce la fiamma [m]

Nota Si specifica che per ricavare i valori delle tabelle S.3-10 e S.3-11 riferite alla *procedura tabellare* si è posto d_f pari a 2 m.

7. Qualora il compartimento retrostante l'*i*-esima piastra radiante sia dotato di misure di controllo dell'incendio di livello di prestazione IV (capitolo S.6), la relativa distanza di separazione di può essere dimezzata.
8. Ai fini della presente procedura analitica, la *distanza di separazione* d in spazio a cielo libero tra sorgente e bersaglio è assunta pari al massimo dei valori delle distanze d_i ottenute per tutte le *piastre radianti* relative al *piano radiante* in esame.

Nota La distanza di separazione calcolata con metodo analitico può differire da quella ottenuta con il metodo tabellare di cui al paragrafo S.3.11.2, a causa delle approssimazioni introdotte nelle tabelle S.3-10 e S.3-11.

B_i [m]	H_i [m]																			
	3		6		9		12		15		18		21		24		27		30	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
3	2,5	1,0	4,0	0,9	5,0	0,7	5,7	0,6	6,2	0,5	6,5	0,4	6,8	0,4	7,0	0,3	7,1	0,3	7,2	0,3
6	3,2	1,6	5,2	1,8	6,8	1,7	8,1	1,5	9,2	1,4	10,1	1,2	10,9	1,1	11,5	1,0	12,0	0,9	12,5	0,8
9	3,5	2,1	6,0	2,5	8,0	2,6	9,6	2,5	11,0	2,4	12,3	2,2	13,4	2,1	14,4	1,9	15,3	1,7	16,0	1,6
12	3,7	2,6	6,6	3,1	8,8	3,3	10,7	3,3	12,4	3,3	13,9	3,2	15,2	3,0	16,5	2,9	17,6	2,7	18,6	2,6
15	3,7	2,9	7,0	3,6	9,5	3,9	11,6	4,1	13,4	4,1	15,1	4,1	16,6	4,0	18,1	3,9	19,4	3,7	20,6	3,6
18	3,7	3,3	7,3	4,1	10,0	4,5	12,3	4,8	14,3	4,9	16,1	4,9	17,8	4,9	19,4	4,8	20,9	4,7	22,3	4,5
21	3,6	3,6	7,5	4,5	10,4	5,0	12,9	5,4	15,1	5,6	17,0	5,7	18,9	5,7	20,6	5,7	22,2	5,6	23,7	5,5
24	3,5	3,9	7,6	4,9	10,7	5,5	13,4	6,0	15,7	6,2	17,8	6,4	19,8	6,5	21,6	6,5	23,3	6,5	24,9	6,4
27	3,3	4,1	7,6	5,3	11,0	6,0	13,8	6,5	16,3	6,8	18,5	7,0	20,6	7,2	22,5	7,3	24,3	7,3	26,0	7,2
30	3,2	4,4	7,7	5,6	11,2	6,4	14,2	7,0	16,8	7,4	19,1	7,7	21,3	7,9	23,3	8,0	25,2	8,0	27,0	8,1
40	2,6	5,1	7,5	6,7	11,6	7,8	15,0	8,5	18,0	9,1	20,8	9,5	23,3	9,9	25,6	10,2	27,8	10,4	29,8	10,5
50	2,2	5,6	7,0	7,7	11,5	8,9	15,4	9,9	18,8	10,6	21,9	11,2	24,7	11,7	27,3	12,1	29,7	12,4	32,0	12,7
60	1,8	6,1	6,5	8,5	11,3	10,0	15,5	11,1	19,3	12,0	22,6	12,7	25,7	13,3	28,6	13,8	31,2	14,2	33,8	14,6

Per valori di B_i e H_i intermedi a quelli riportati in tabella si approssima al valore immediatamente successivo.
In alternativa può essere impiegata iterativamente la procedura analitica di cui al paragrafo S.3.11.3.

TABELLA S.3-10: COEFFICIENTI A E B PER ATTIVITÀ CON CARICO DI INCENDIO SPECIFICO $Q_F > 1200 \text{ MJ/M}^2$

B [m]	H [m]																			
	3		6		9		12		15		18		21		24		27		30	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
3	1,7	0,5	2,6	0,3	3,1	0,2	3,3	0,2	3,4	0,2	3,5	0,2	3,5	0,1	3,6	0,1	3,6	0,1	3,6	0,1
6	2,0	1,0	3,5	0,8	4,6	0,7	5,3	0,5	5,9	0,4	6,2	0,3	6,5	0,3	6,7	0,3	6,8	0,2	7,0	0,2
9	1,9	1,4	3,9	1,3	5,4	1,2	6,5	1,0	7,4	0,8	8,1	0,7	8,6	0,6	9,0	0,5	9,4	0,5	9,7	0,4
12	1,8	1,7	4,1	1,8	5,8	1,7	7,2	1,5	8,4	1,3	9,3	1,2	10,1	1,0	10,8	0,9	11,4	0,8	11,8	0,7
15	1,6	2,0	4,1	2,2	6,0	2,2	7,7	2,0	9,0	1,9	10,2	1,7	11,2	1,5	12,1	1,4	12,9	1,2	13,5	1,1
18	1,4	2,2	4,0	2,6	6,1	2,6	8,0	2,5	9,5	2,4	10,9	2,2	12,1	2,0	13,1	1,9	14,0	1,7	14,9	1,6
21	1,3	2,4	3,9	2,9	6,2	3,1	8,1	3,0	9,9	2,9	11,4	2,7	12,7	2,6	13,9	2,4	15,0	2,2	16,0	2,1
24	1,1	2,6	3,7	3,2	6,1	3,5	8,2	3,5	10,1	3,4	11,7	3,3	13,2	3,1	14,6	2,9	15,8	2,7	16,9	2,6
27	1,0	2,7	3,5	3,5	6,0	3,8	8,3	3,9	10,2	3,9	12,0	3,8	13,6	3,6	15,1	3,4	16,4	3,3	17,6	3,1
30	0,9	2,9	3,4	3,8	5,9	4,2	8,2	4,3	10,3	4,3	12,2	4,2	13,9	4,1	15,5	4,0	16,9	3,8	18,2	3,6
40	0,6	3,2	2,8	4,5	5,4	5,2	7,9	5,5	10,3	5,7	12,5	5,7	14,5	5,7	16,3	5,6	18,0	5,5	19,6	5,3
50	0,4	3,4	2,3	5,1	4,8	6,0	7,4	6,6	10,0	6,9	12,3	7,0	14,6	7,1	16,6	7,1	18,6	7,1	20,4	7,0
60	0,2	3,5	1,9	5,6	4,3	6,7	6,9	7,5	9,5	7,9	12,0	8,2	14,4	8,4	16,6	8,5	18,8	8,5	20,8	8,5

Per valori di B_i e H_i intermedi a quelli riportati in tabella si approssima al valore immediatamente successivo.
In alternativa può essere impiegata iterativamente la procedura analitica di cui al paragrafo S.3,11,3.

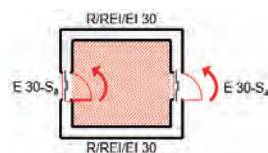
TABELLA S.3-11: COEFFICIENTI A E B PER ATTIVITÀ CON CARICO DI INCENDIO SPECIFICO $Q_F \leq 1200 \text{ MJ/M}^2$

S.3.12 Riferimenti

- Si indicano i seguenti riferimenti in merito alla realizzazione di compartimenti antincendio:
 - Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2;
 - UNI EN 12101-6.
- Si indicano i seguenti riferimenti in merito al calcolo della distanza di separazione:
 - R E H Read, "External fire spread: building separation and boundary distances", BRE report CI SfB 98 (F47) (K22), 1991
 - BS 9999, Section 36;
 - J R Howell, "A Catalog of Radiation Heat Transfer Configuration Factors", University of Texas, Austin, 2nd edition, 2001;
 - T L Bergman, F P Incropera, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", Wiley, 2011;
 - NFPA 80A, "Recommended practice for protection of buildings from exterior fire exposures";
 - NFPA 555, "Guide on methods for evaluating potential for room flashover".
- Si indicano i seguenti riferimenti in merito al dimensionamento dei camini di smaltimento dei filtri a prova di fumo:
 - G T Tamura, C Y Shaw, "Basis for the design of smoke shafts", Fire Technology, Volume 9, Issue 3, September 1973.

La compartimentazione nelle nuove RTV

COMPARTIMENTAZIONE



Nella sezione V del Codice, con riferimento alle RTV vigenti e a quelle in fase di avanzata istruttoria, nel paragrafo relativo alla compartimentazione, ove presente, possono essere previste eventuali prescrizioni sulle aree tipo TA, TC, TO, ecc..

In particolare:

Uffici (V.4)

A seguito della pubblicazione della RTV relativa agli uffici², ad integrazione di quanto previsto dalla RTO per la misura S.3, il par. V.4.4.3 specifica che:

1. Le aree di tipo TA, TO devono essere ubicate a quota di piano ≥ -5 m.
2. Le aree di tipo TA e TO con controllo dell'incendio (capitolo S.6) di livello di prestazione IV e con vie di esodo verticali protette possono essere ubicate a quote ≥ -10 m.
3. Le aree dell'attività devono avere le caratteristiche di compartimentazione (capitolo S.3) previste in tabella V.4-2.

Aree dell'attività	Classificazione dell'attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
TA	Nessun requisito aggiuntivo				
TM, TO, TT	Di tipo protetto				
TK	Di tipo protetto [1]		Il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK		
TZ	Secondo risultanze della valutazione del rischio				
[1] Di tipo protetto, se ubicate a quota ≥ -5 m; in caso l'area TK sia ubicata a quota < -5 m il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK.					

TABELLA V.4-2: COMPARTIMENTAZIONE

4. Gli uffici afferenti a responsabili dell'attività diversi possono essere ubicati all'interno dello stesso compartimento, avere comunicazioni dirette (capitolo S.3) e sistema d'esodo comune.

Alberghi (V.5)

A seguito della pubblicazione della RTV relativa agli alberghi³, ad integrazione di quanto previsto dalla RTO per la misura S.3, il par. V.5.4.3 specifica che:

1. I piani delle aree di tipo TC e TO devono essere ubicati a quota ≥ -5 m.
Fanno eccezione i successivi commi 2 e 3.
2. I locali delle aree TC, con piani a quota < -1 m, devono essere compartimentati con classe di resistenza al fuoco determinata secondo il capitolo S.2, comunque ≥ 30 e con chiusure dei vani di comunicazione almeno E 30-Sa.
3. I piani delle aree TO possono essere ubicati a quota < -5 m e ≥ -10 m se le stesse sono:
 - a. inserite in compartimenti di classe ≥ 30 e con chiusure dei vani di comunicazione almeno E 30-Sa;
 - b. dotate di vie di esodo verticali almeno di tipo protetto;
 - c. dotate di controllo dell'incendio (capitolo S.6) di livello di prestazione IV;
 - d. dotate di rivelazione ed allarme (capitolo S.7) di livello di prestazione IV con sistema EVAC.
4. Le aree dell'attività devono avere le caratteristiche di compartimentazione (capitolo S.3) previste in tabella V.5-2

² d.m. 14 febbraio 2020 pubblicato in G.U. n. 57 del 6 marzo 2020 (ex d.m. 8 giugno 2016)

³ d.m. 14 febbraio 2020 pubblicato in G.U. n. 57 del 6 marzo 2020 (ex d.m. 9 agosto 2016) ed errata corrige di cui al d.m. 6 aprile 2020

Aree dell'attività	Classificazione dell'attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
TA, TB, TC	Nessun requisito aggiuntivo				
TO, TT, TM	Di tipo protetto				
TK	Di tipo protetto e chiusure con requisiti S _a [1]		Il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK [2]		
TZ	Secondo risultanze della valutazione del rischio				
[1] Di tipo protetto e chiusure con requisiti S _a , se ubicate a quota ≥ -5 m; in caso l'area TK sia ubicata a quota < -5 m, il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK. [2] I locali destinati a lavanderia, stireria e locali cottura almeno di tipo protetto.					

TABELLA V.5-2: COMPARTIMENTAZIONE

Autorimesse (V.6)

A seguito della pubblicazione della RTV relativa alle autorimesse⁴, ad integrazione di quanto previsto dalla RTO per la S.3, il par. V.6.5.3 specifica che:

1. I locali TM1, TM2, TT e SC costituiscono compartimento distinto ad eccezione delle aree TM1 inserite in compartimenti SA, AB, HB.
2. La comunicazione con l'autorimessa sono disciplinate come indicato nella tabella V.6-2.

Tipologia autorimessa	Verso le pertinenze dell'autorimessa	Verso compartimenti di altre attività		Vie d'esodo comuni con altre attività	
	TM1[1]; TM2; TT; TZ	In prevalenza non aperti al pubblico	In prevalenza aperti al pubblico	In prevalenza aperte al pubblico	In prevalenza non aperte al pubblico
SA, AB, HB [2]	Protetta come da paragrafo V.6.5.2	Filtro [3]	Filtro		Filtro [5]
Altre	Come da paragrafo V.6.5.2	Filtro [3]	Filtro	[4]	
SC	Protetta come da Capitolo S.2	Filtro [3]	A prova di fumo	Non ammessa alcuna comunicazione	
[1] Solo se l'area TM1 è inserita in compartimento distinto; [2] In caso di altezza antincendi dell'opera da costruzione di cui fa parte l'autorimessa ≤ 24 m; [3] Il requisito S _a per le porte non è richiesto; [4] Via d'esodo a prova di fumo proveniente dall'autorimessa; [5] Per autorimesse AA la comunicazione può avvenire mediante porta E 30.					

TABELLA V.6-2: CARATTERISTICHE MINIME DELLE COMUNICAZIONI TRA COMPARTIMENTI

Attività scolastiche (V.7)

A seguito della pubblicazione della RTV relativa alle attività scolastiche⁵ ad integrazione di quanto previsto dalla RTO per la misura S.3, il par. V.7.4.3 specifica che:

1. Le aree di tipo TA, TO devono essere ubicate a quota di piano ≥ -5 m.
2. Le aree dell'attività devono avere le caratteristiche di compartimentazione (capitolo S.3) previste in tabella V.7-2.

⁴ d.m. 15 maggio 2020 pubblicato in G.U. n. 132 del 23 maggio 2020

⁵ d.m. 14 febbraio 2020 pubblicato in G.U. n. 57 del 6 marzo 2020 (ex d.m. 7 agosto 2017)

Aree dell'attività	Classificazione dell'attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
TA	Nessun requisito aggiuntivo				
TM, TO, TT	Di tipo protetto				
TK	Di tipo protetto [1]		Il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK		
TZ	Secondo risultanze della valutazione del rischio				
[1] Di tipo protetto se ubicate a quota ≥ -5 m; in caso l'area TK sia ubicata a quota < -5 m, il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK					

TABELLA V.7-2: COMPARTIMENTAZIONE

Attività commerciali (V.8)

A seguito della pubblicazione della RTV relativa alle attività commerciali⁶ ad integrazione di quanto previsto dalla RTO per la misura S.3, il par. V.8.5.3 specifica che:

1. Le aree di tipo TA devono rispettare le quote di piano, le limitazioni e le misure antincendio della tabella V.8-2.
2. Le aree dell'attività devono avere le caratteristiche di compartimentazione (capitolo S.3) previste in tabella V.8-3
3. Per le attività con controllo dell'incendio (capitolo S.6) di livello di prestazione IV, la quota 12 m dei piani del paragrafo S.3.6.2 per la *compartimentazione multipiano* è riferibile a 15 m.
4. Le aree TA devono essere compartimentate rispetto alle aree TK2, oppure devono essere interposte distanze di separazione (capitolo S.3) assumendo il carico d'incendio specifico delle aree TK2 $q_f \geq 600$ MJ/m².

Quote dei piani	Limitazioni	Misure antincendio aggiuntive
$-1 \text{ m} \leq h \leq 12 \text{ m}$	Nessuna	Nessun requisito aggiuntivo
$h > 12 \text{ m}$	Nessuna	<ul style="list-style-type: none"> • Rivelazione ed allarme (capitolo S.7) di livello di prestazione IV [2]; • Tutte le vie d'esodo verticali di tipo protetto [1]
$-5 \text{ m} \leq h < -1 \text{ m}$ [3]	AA con $q_f \leq 600 \text{ MJ/m}^2$	Nessun requisito aggiuntivo
$-5 \text{ m} \leq h < -1 \text{ m}$ [3]	Nessuna	<ul style="list-style-type: none"> • Controllo dell'incendio (capitolo S.6) di livello di prestazione IV [2]; • Rivelazione ed allarme (capitolo S.7) di livello di prestazione IV; • Controllo di fumi e calore (capitolo S.8) di livello di prestazione III
[1] Per attività con quota dei piani $h > 24 \text{ m}$, vie di esodo verticali di tipo a prova di fumo.		
[2] Per attività con carico d'incendio specifico $q_f \leq 600 \text{ MJ/m}^2$ è ammesso il livello di prestazione III per il controllo dell'incendio (capitolo S.6).		
[3] Nel caso di un solo piano interrato è ammessa quota dei piani h sino a $-7,5 \text{ m}$.		

TABELLA V.8-2: QUOTE DI PIANO, LIMITAZIONI E MISURE ANTINCENDIO DELLE AREE DI TIPO TA

Aree dell'attività	Classificazione dell'attività			
	HA	HB	HC	HD
TA, TB1, TB2	Nessun requisito aggiuntivo			
TC, TM1, TM3, TT1, TT2	Di tipo protetto [1]			
TK1, TM2	Di tipo protetto [2]		Resto dell'attività a prova di fumo proveniente dalle aree TK1, TM2	
TZ	Secondo risultanze della valutazione del rischio			
[1] Nessun requisito aggiuntivo per le aree TM1 rispetto alle aree TB2.				
[2] Per attività HB, se le aree TK1 o TM2 sono ubicate a quota < -1 m, il resto dell'attività accessibile al pubblico deve essere a prova di fumo proveniente dalle medesime aree.				

TABELLA V.8-3: COMPARTIMENTAZIONE

⁶ d.m. 14 febbraio 2020 pubblicato in G.U. n. 57 del 6 marzo 2020 (ex d.m. 23 novembre 2018)

5. Sono ammesse le seguenti comunicazioni tra diverse attività (capitolo S.3):
- di tipo protetto e chiusure almeno E 30-S_a tra le attività commerciali con aree di tipo TB1 o TB2 ed *altre attività*, con sistemi d'esodo indipendenti;

Nota Si ammettono comunicazioni delle aree TB1 o TB2 anche verso attività industriali produttive o artigianali.

- di tipo a prova di fumo tra le attività commerciali classificate AA+HA o AA+HB ed altre attività civili con sistemi d'esodo comuni;
- senza requisiti di compartimentazione tra le attività commerciali classificate AA+HA o AA+HB ed altre attività con $\delta_{occ} = E$ (capitolo G.3) con sistemi di esodo comuni;
- senza requisiti di compartimentazione tra le attività commerciali dotate di controllo dell'incendio (capitolo S.6) di livello di prestazione V e controllo di fumo e calore (capitolo S.8) di livello di prestazione III ed altre attività con $\delta_{occ} = E$ (capitolo G.3) con sistemi d'esodo comuni;
- di tipo protetto tra le attività commerciali ed altre attività civili con sistemi d'esodo indipendenti;
- di tipo a prova di fumo tra le attività commerciali ed altre attività con sistemi d'esodo indipendenti.

Asili nido (V.9)

A seguito della pubblicazione della RTV relativa agli asili nido⁷ ad integrazione di quanto previsto dalla RTO per la misura S.3, il par. V.9.5.3 specifica che:

- Le aree TA devono essere ubicate a *quota di piano* ≥ -1 m.
- Le aree dell'attività devono avere le caratteristiche di compartimentazione (capitolo S.3) previste in tabella V.9-2:

Aree dell'attività	Classificazione dell'attività			
	HA	HB	HC	HD
TA, TB, TO	Di tipo protetto con superficie lorda massima del compartimento non superiore a 1000 m ²			
TC	Di tipo protetto			
TM1	Di tipo protetto			
TM2	Il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TM2			
TZ	Secondo risultanze della valutazione del rischio			

TABELLA V.9-2: COMPARTIMENTAZIONE

Musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati (V.10)

A seguito della pubblicazione della RTV relativa a musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati⁸ ad integrazione di quanto previsto dalla RTO per la misura S.3, il par. V.10.5.3 specifica che:

- Le aree di tipo TA e TO non devono essere ubicate a quota inferiore a -5 m.
- Le aree dell'attività devono avere le caratteristiche di compartimentazione (capitolo S.3) previste in tabella V.10-2.

Aree dell'attività	Requisiti aggiuntivi
TA, TC, TO	Nessuno
TM, TT, TK1, TK2	Di tipo protetto
TZ	Secondo risultanze della valutazione del rischio

TABELLA V.10-2: COMPARTIMENTAZIONE

- Per le particolari caratteristiche costruttive e architettoniche proprie degli edifici tutelati, la quota 12 m dei piani della tabella S.3-5 (capitolo S.3) della compartimentazione multipiano è riferibile a 18 m.

⁷ d.m. 6 aprile 2020 pubblicato in G.U. n. 98 del 14 aprile 2020

⁸ d.m. 10 luglio 2020 pubblicato in G.U. n. 183 del 22 luglio 2020

4. Sono ammesse comunicazioni tra le attività di cui al paragrafo V.10.1 e altre attività civili (paragrafo S.3.10), anche se afferenti a responsabili diversi pur in assenza di necessità funzionale. Nel caso in cui tali comunicazioni avvengano tramite un sistema di esodo comune, i compartimenti dovranno essere:
 - a. di tipo protetto per attività con profili di rischio R_{vita} A1, A2, B1 o B2;
 - b. a prova di fumo in tutti gli altri casi.

Strutture sanitarie (V.J)

A seguito dell'approvazione della RTV relativa alle strutture sanitarie⁹ ad integrazione di quanto previsto dalla RTO per la misura S.3, il par. V.J.5.2 specifica che:

1. I compartimenti destinati ad aree di tipo TA:
 - a. devono soddisfare il livello di prestazione III per la compartimentazione (capitolo S.3);
 - b. devono essere a prova di fumo proveniente dalle altre aree; i compartimenti destinati ad aree TA1 devono essere a prova di fumo rispetto a compartimenti destinate ad aree TA2 e viceversa.

Nota I compartimenti destinati ad aree TA1 possono non essere a prova di fumo verso altri compartimenti destinati ad aree TA1 comunicanti; i compartimenti destinati ad aree TA2 possono non essere a prova di fumo verso altri compartimenti destinati ad aree TA2 comunicanti.

2. Le aree di tipo TK, TM1, TM2, TM3 e TT devono essere inserite in compartimenti distinti.
3. Le aree TM4 devono essere compartimentate rispetto alle opere da costruzione destinate ad attività SA o SB, oppure devono essere interposte distanze di separazione (capitolo S.3) assumendo il carico d'incendio specifico delle aree TM4 $q_f \geq 600 \text{ MJ/m}^2$.
4. Le aree di tipo TB devono costituire compartimenti a prova di fumo proveniente dai compartimenti destinati alle aree TT, TM2 e TM3.
5. Le aree con presenza di sorgenti di radiazioni ionizzanti in forma non sigillata:
 - a. devono essere inserite in compartimenti distinti e a prova di fumo;
 - b. il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente da tali aree.

Nota Ad esempio le aree di consegna, preparazione, somministrazione e tutti gli altri ambiti comunque necessari alla terapia con radiofarmaco possono essere inseriti nello stesso compartimento.

Nota Sono escluse le aree contenenti sorgenti di radiazioni ionizzanti costituite da apparecchiature ad alta energia (es. macchine radiogene, ciclotroni, ...).

6. Le aree di tipo TC devono essere di tipo protetto, inoltre:
 - a. la superficie lorda delle aree commerciali inserite in attività SA o SB deve essere $\leq 400 \text{ m}^2$;
 - b. la singola attività commerciale deve avere un carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$;
 - c. la superficie lorda S delle aree commerciali inserite in attività di tipo SA o SB può essere $\leq 600 \text{ m}^2$ se inserite in un compartimento distinto e il resto dell'attività è a prova di fumo;
 - d. la superficie lorda S delle aree commerciali inserite in attività di tipo SA o SB può essere $\leq 1000 \text{ m}^2$ se inserite in un compartimento distinto, dotate di controllo dell'incendio (capitolo S.6) con livello di prestazione IV e il resto dell'attività è a prova di fumo.
7. Le attività di tipo SC possono essere inserite all'interno delle attività commerciali che rientrano nel campo di applicazione del capitolo V.8; eventuali porzioni di esse classificate come aree TA2 o TB2 devono costituire compartimenti distinti e a prova di fumo proveniente dalle altre aree con sistema d'esodo indipendente dall'attività commerciale nella quale sono inserite.

Nota Le aree TA2 e TB2 inserite in attività SC possono erogare prestazioni sanitarie solo in regime ambulatoriale (non può essere previsto il ricovero o la degenza).

V.J.5.2.1 Ubicazione

1. Le aree di tipo TA1 non possono essere ubicate a quota di piano $< -1 \text{ m}$.
2. Le aree di tipo TM2 con carico di incendio specifico $q_f > 450 \text{ MJ/m}^2$ e inserite in opere da costruzione contenenti attività di tipo SA o SB devono essere ubicate fuori terra o avere accesso diretto da spazio scoperto esterno all'opera da costruzione anche mediante percorso protetto.
3. Le aree di tipo TK3 e i depositi aventi superficie $S > 500 \text{ m}^2$ o carico di incendio specifico $q_f > 600 \text{ MJ/m}^2$ devono essere ubicate all'esterno delle opere da costruzione contenenti aree di tipo TA o TB2.
4. I depositi TM0 possono essere ubicati in compartimenti di aree di tipo TA, TB o TC.

⁹ Approvata il 11 febbraio 2020 dal Comitato Centrale Tecnico Scientifico dei VV.F.

5. I compartimenti delle aree di tipo TM3 possono essere ubicati nella stessa opera da costruzione contenente aree TA o TB se:
 - a. le comunicazioni con i compartimenti delle aree di tipo TA, TB o TC della attività sono a prova di fumo;
 - b. l'accesso all'area di tipo TM3 avviene da spazio scoperto esterno all'opera da costruzione, anche mediante percorso protetto.
6. Le aree di tipo TM3 ubicate nella stessa opera da costruzione delle attività di tipo SA o SB con superficie lorda $S > 300 \text{ m}^2$ o carico di incendio specifico $q_f > 450 \text{ MJ/m}^2$ devono essere ubicate fuori terra.

V.J.5.2.2 Comunicazioni

1. Le attività di tipo SA e SB possono comunicare con le attività ad esse funzionali (es. convitti, scuole mediche, ...).
2. Le aree TM1 con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$ possono comunicare con le aree di tipo TA.
3. Le aree di tipo TM1 con carico di incendio specifico $q_f > 200 \text{ MJ/m}^2$ dotate di misura di controllo dell'incendio (capitolo S.6) di livello di prestazione IV possono comunicare con le aree di tipo TA.
Sono ammesse comunicazioni di tipo protetto con chiusure almeno E 30-Sa tra le attività di tipo SC prive di aree di tipo TA e altre attività.

Edifici di civile abitazione (V.K)

A seguito dell'approvazione della RTV relativa agli edifici di civile abitazione¹⁰ ad integrazione di quanto previsto dalla RTO per la misura S.3, il par. V.K.4.3 specifica che:

1. Sono ammessi compartimenti multipiano per piani con quota $> -5 \text{ m}$ e $\leq 12 \text{ m}$.
2. Sono ammessi compartimenti multipiano per piani con quota $> 12 \text{ m}$ e $\leq 32 \text{ m}$ con massimo dislivello fra i piani inseriti $\leq 7 \text{ m}$.
3. Le aree dell'attività devono avere le caratteristiche di compartimentazione (capitolo S.3) previste in tabella V.K-2.

Nota Come previsto ai capitoli S.3 e V.3, deve essere posta particolare attenzione al mantenimento della continuità della compartimentazione, ad esempio in corrispondenza dei varchi di vani ascensori, cavedi impianti, scale di servizio, ...

Aree dell'attività	Classificazione dell'attività			
	HC	HD	HE	HF
TA, TB, TC, TM1	Nessun requisito aggiuntivo			
TM2, TO, TT	Di tipo protetto			
TZ	Secondo risultanze della valutazione del rischio			

TABELLA V.K-2: COMPARTIMENTAZIONE

Attività di stoccaggio e trattamento rifiuti (V.X)

A seguito dell'approvazione della RTV relativa alle attività di stoccaggio e trattamento rifiuti¹¹, ad integrazione di quanto previsto dalla RTO per la misura S.3, il par. V.X.5 (Compartimentazione) prevede che:

1. La superficie massima lorda dei compartimenti di stoccaggio deve essere $\leq 32.000 \text{ m}^2$.
2. Le aree di stoccaggio al chiuso contenenti rifiuti con le seguenti caratteristiche di pericolo: esplosivi, comburenti e perossidi, liquidi infiammabili, solidi infiammabili o soggetti ad accensione spontanea, che reagiscono a contatto con l'acqua sviluppando gas infiammabili, devono essere inserite in compartimenti distinti.
3. Gli stoccaggi all'aperto devono essere organizzati in modo da assicurare il livello di prestazione II per la compartimentazione (capitolo S.3).

V.X.5.1 Distanza di separazione per limitare la propagazione dell'incendio

1. In caso di stoccaggi all'aperto, ai fini della definizione di una soluzione conforme per la presente misura antincendio, il progettista impiega la procedura tabellare indicata al paragrafo V.X.5.2 oppure la procedura analitica del paragrafo S.3.11.3, imponendo un valore della soglia di irraggiamento termico sul bersaglio prodotto dall'incendio della sorgente considerata, E_{soglia} pari a $12,6 \text{ kW/m}^2$

¹⁰ Approvata il 11 febbraio 2020 dal Comitato Centrale Tecnico Scientifico dei VV.F.

¹¹ Approvata il 30 settembre 2020 dal Comitato Centrale Tecnico Scientifico dei VV.F.

2. Nell'ambito della procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione, nel calcolo della potenza termica radiante dovuta all'incendio convenzionale E_1 , il calcolo del carico di incendio specifico q_f della sorgente considerata da cui E_1 dipende, deve essere sviluppato considerando la superficie in pianta del cumulo di rifiuti.
3. La distanza di separazione calcolate in accordo al precedente comma 1, possono essere ridotte del 30% se lo stoccaggio di rifiuti avviene all'interno di contenitori metallici di capacità maggiore o uguale a 33 m^3 .
4. Nel caso di stoccaggio all'interno di contenitori metallici di capacità inferiore a 33 m^3 è considerata soluzione conforme l'interposizione di una distanza di separazione tra i singoli stoccaggi non inferiore a 2 metri e, tra questi e costruzioni/confine non inferiore a 4 m. Tale ultima distanza potrà essere dimezzata qualora il contenitore metallico sia dotato di chiusura superiore, anch'essa metallica.

V.X.5.2 Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

1. Le disposizioni del presente paragrafo si applicano agli stoccaggi all'aperto.
2. Ai fini della determinazione della distanza di separazione con il presente metodo tabellare valgono le condizioni di cui ai punti successivi.
3. L'altezza massima dell'accumulo di rifiuti sciolti non deve essere superiore a 4 metri. Nel caso di rifiuti imballati, il cumulo non deve avere un'altezza superiore a 4 metri oppure non deve essere costituito da più di 4 balle impilate verticalmente, a seconda della condizione più restrittiva. L'altezza dei cumuli deve in ogni caso essere compatibile con le condizioni di sicurezza e di stabilità degli stessi.
4. Il massimo quantitativo di rifiuti che può essere stoccato per singolo accumulo non deve essere superiore a 450 m^3 per materiali aventi velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio rapida o ultrarapida e 1.000 m^3 per materiali aventi velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio lenta o media.
5. Lo stoccaggio di rifiuti sciolti privi di strutture di contenimento verticali (es. baie, pareti, ...) devono avere una inclinazione massima della superficie laterale non superiore a 45° .
6. Le pareti delle aree TSP e TSB devono avere una altezza maggiore di 1 metro rispetto all'altezza del cumulo di rifiuti e resistere alle sollecitazioni derivanti dall'azione di spinta prodotta dai cumuli di materiale stoccato.
7. Eventuali aggetti o sporgenze delle opere da costruzione devono essere considerate ai fini dell'applicazione delle distanze.
8. Deve essere garantita l'accessibilità ai soccorritori ad almeno un lato di ogni accumulo. La larghezza massima per ogni accumulo non deve essere superiore a 20 metri, qualora sia garantita l'accessibilità ai soccorritori ad entrambi i lati dell'accumulo; in caso di accessibilità garantita su un solo lato, larghezza massima per ogni accumulo non deve essere superiore a 10 metri.
9. In caso di stoccaggio in baia, la larghezza della/e parete/i di contenimento laterale non deve essere superiore a 10 metri, pari alla larghezza massima del cumulo. La lunghezza della/e parete/i parallela/e al lato lungo del cumulo è pari alla lunghezza del cumulo determinata come ai punti successivi.
10. Il valore della lunghezza potrà essere determinato dalle tabelle seguenti, incrociando tale valore con quello della distanza, qualora quest'ultima sia imposta da fattori sito-specifici (es. superficie complessiva dell'attività, layout, ecc.). In ogni caso la lunghezza massima di ogni accumulo non deve essere superiore a 50 metri.
11. Per aree con R_{vita} A1 o A2, le distanze di separazione tra gli stoccaggi di rifiuti sciolti o imballati privi di strutture di contenimento verticali, ivi comprese le parti libere degli stoccaggi in baia o a parete, devono essere non inferiori a quanto riportato nella tabella seguente:

Lunghezza dell'accumulo [m]	Distanza di separazione tra stoccaggi [m]	
	Rifiuti sciolti	Rifiuti imballati
5	5	9
10	7	13
15	9	15
20	10	17
30	11	20
50	12	23

TABELLA V.X-1: DISTANZE DI SEPARAZIONE TRA STOCCAGGI PER IL LIVELLO DI PRESTAZIONE II IN CASO DI R_{vita} PARI AD A1 ED A2

12. Per aree con R_{vita} A1 o A2, le distanze di separazione tra gli stoccaggi di rifiuti sciolti o imballati privi di strutture di contenimento verticali, ivi comprese le parti libere degli stoccaggi in baia o a parete, devono essere non inferiori a quanto riportato nella tabella seguente:

Lunghezza dell'accumulo [m]	Distanza di separazione tra stoccaggi e costruzioni/confine [m]	
	Rifiuti sciolti	Rifiuti imballati
5	7	8
10	9	11
15	11	13
20	13	15
30	15	17
50	17	20

TABELLA V.X-2: DISTANZE DI SEPARAZIONE TRA STOCCAGGI/COSTRUZIONI PER IL LIVELLO DI PRESTAZIONE II IN CASO DI R_{VITA} PARI AD A1 ED A2

13. Per aree con R_{vita} A3 o A4, le distanze di separazione tra gli stoccaggi di rifiuti sciolti o imballati privi di strutture di contenimento verticali, ivi comprese le parti libere degli stoccaggi in baia o a parete, devono essere non inferiori a quanto riportato nella tabella seguente:

Lunghezza dell'accumulo [m]	Distanza di separazione tra stoccaggi [m]	
	Rifiuti sciolti	Rifiuti imballati
5	10	14
10	15	19
15	18	24
20	23	27
30	25	34
50	31	40

TABELLA V.X-3: DISTANZE DI SEPARAZIONE TRA STOCCAGGI PER IL LIVELLO DI PRESTAZIONE II IN CASO DI R_{VITA} PARI AD A3 ED A4

14. Per aree con R_{vita} A3 o A4, le distanze di separazione tra gli stoccaggi di rifiuti sciolti o imballati privi di strutture di contenimento verticali, ivi comprese le parti libere degli stoccaggi in baia o a parete, ed ogni costruzione interna all'attività o il confine della stessa o aree all'aperto destinate esclusivamente alle lavorazioni, devono essere non inferiori a quanto riportato nella tabella seguente:

Lunghezza dell'accumulo [m]	Distanza di separazione tra stoccaggi e costruzioni/confine [m]	
	Rifiuti sciolti	Rifiuti imballati
5	13	13
10	18	18
15	22	21
20	25	23
30	30	28
50	38	35

TABELLA V.X-4: DISTANZE DI SEPARAZIONE TRA STOCCAGGI/COSTRUZIONI PER IL LIVELLO DI PRESTAZIONE II IN CASO DI R_{VITA} PARI AD A3 ED A4

15. È ammessa l'interpolazione tra i dati contenuti nelle tabelle sopra riportate.
 16. Qualora risultino applicabili differenti distanze a causa della promiscuità di stoccaggio, deve essere applicata la distanza con valore maggiore.

V.X.5.3 Soluzioni alternative per il calcolo della distanza di separazione

1. Sono ammesse soluzioni alternative a condizione che siano rispettate per le dimensioni, la stabilità e l'organizzazione dei cumuli, le indicazioni di cui ai paragrafi V.X.5.4 e V.X.5.8.
2. Sono ammesse soluzioni alternative a condizione che siano soddisfatte le indicazioni di cui al punto 8 del paragrafo V.X.5.9.

4. La misura antincendio compartimentazione

Il termine "compartimentazione" nel settore antincendio è probabilmente mutuato dall'ingegneria navale: compartimentare lo scafo di una nave significa suddividerne la struttura in celle stagne rispetto all'afflusso di acqua nel caso in cui si dovesse danneggiare la chiglia per effetto di impatti eccessivamente severi.

Il limite alla galleggiabilità del natante è ovviamente fornito dal numero massimo di compartimenti allagabili, stabilito a priori in fase progettuale.

La progettazione antincendio effettuata con il cosiddetto “Codice di Prevenzione Incendi” di cui al d.m. 3 agosto 2015 e s.m.i. (il più rilevante aggiornamento, come detto, è del 18 ottobre 2019) pone un limite al numero massimo di compartimenti “incendiabili”: esso è pari ad *uno*.

La giustificazione di tale scelta risiede nella “mission” del C.N.VV.F., dedicata alla prevenzione degli incendi di natura accidentale e non a quelli di origine dolosa.

La compartimentazione antincendio di un’opera di ingegneria civile consiste nella suddivisione della stessa in “celle” stagne, le une rispetto alle altre, nei confronti degli effetti di un incendio che dovesse principiarsi in una zona qualsiasi del manufatto.

Tale assunzione comporta una serie di conseguenze estremamente rilevanti che sia i progettisti che i gestori di attività devono tenere ben presenti:

- i compartimenti antincendio pensati e progettati per essere a ridotto rischio di incendio, quali le scale antincendio o gli spazi che, nel Codice, sono denominati “filtri”, devono conservare questa loro caratteristica nel corso del tempo: gli occupanti che, abbandonando l’opera da costruzione li dovessero attraversare, non devono imbattersi in incendi in essi presenti. Tali “ambiti” devono essere pertanto particolarmente curati sia in fase progettuale, mediante la scelta di materiali dalle ottime caratteristiche di reazione al fuoco (ossia difficilmente infiammabili) o l’impiego di prodotti dal basso contributo al carico di incendio (ossia incombustibili), che in fase di esercizio attraverso un buon controllo di gestione;
- in fase progettuale il sistema delle vie d’esodo deve essere concepito in maniera tale da minimizzare i percorsi di esodo verso i compartimenti adiacenti o i luoghi sicuri, configurandoli secondo geometrie il più possibile naturali;
- in fase di esercizio deve essere garantita sempre la possibilità agli occupanti di abbandonare, nel minore tempo possibile, il compartimento di primo innesco a favore del primo compartimento o luogo sicuro confinante disponibile. Ciò significa che le chiusure tra i compartimenti devono essere sempre efficaci ed i percorsi di esodo brevi e, siccome non sono noti a priori il luogo e l’istante in cui si verificherà un incendio, la gestione della sicurezza antincendio (GSA) deve essere orientata ad un controllo continuo rivolto a tali obiettivi in *tutta* l’attività. Ulteriore conseguenza logica è la limitazione della dimensione massima di ciascun compartimento antincendio.

La compartimentazione “interna”, dunque, offre al progettista ed al gestore dell’attività un importantissimo strumento di *limitazione* degli effetti dell’incendio, consentendo il contenimento dei danni alle cose, favorendo l’esodo in sicurezza degli occupanti e semplificando il lavoro alle squadre di lotta all’incendio che possono operare da posizioni relativamente sicure.

L’aggettivazione “interna” utilizzata per la compartimentazione lascia intendere che, a quest’ultima, sia affiancabile anche una qualificazione “esterna”: una delle principali novità del Codice risiede nell’obbligo di limitazione della progressione di un eventuale incendio ad altre opere da costruzione.

La compartimentazione esterna è attuabile mediante un opportuno distanziamento fisico tra differenti manufatti o la predisposizione di schermi o barriere resistenti al fuoco.

Alla compartimentazione interna ed esterna si affianca quella di “frontiera”: il Codice pone in capo al progettista l’obbligo di predisporre quanto necessario per limitare la diffusione dell’incendio attraverso le chiusure d’ambito dell’opera di costruzione.

Non è infatti ritenuto ammissibile che un incendio possa propagarsi attraverso la facciata o la copertura di un edificio, vanificando, di fatto, gli accorgimenti di compartimentazione interna o esterna.

La modernità del Codice sta nell’approccio razionale alla disciplina: i progettisti ed i gestori conoscono gli obiettivi di ciascuna misura antincendio e, quindi, possono valutarne con piena consapevolezza le proposte progettuali di livello normativo, selezionando di volta in volta quelle più confacenti alla propria realtà strutturale ed organizzativa. Alla *flessibilità* del codice in termini di selezione delle soluzioni progettuali non può che corrispondere un *rigore* nell’approccio gestionale dell’attività, cui è affidato il mantenimento nel tempo delle ipotesi alla base della concezione antincendio.

5. La continuità della compartimentazione

La misura di compartimentazione S.3 ha la funzione di suddividere l’opera da costruzione in volumi, ciascuno dei quali consentirà di mantenere al proprio interno l’eventuale incendio per un tempo prefissato.

Come noto, l’approccio del carico di incendio specifico di progetto consente di attribuire al volume che diventerà compartimento antincendio, prestazioni di resistenza al fuoco “R” per gli elementi portanti e prestazioni “E” di tenuta ai fumi caldi ed “I” di isolamento per gli elementi che siano solo separanti (elementi che contemporaneamente sono sia portanti che separanti, come i solai, avranno prestazioni REI).

Il compartimento antincendio rappresenta, pertanto, una “cella” continua per la quale le prestazioni di contenimento dell'incendio al suo interno non degradano, almeno per il tempo stabilito dalla classe, in caso di sviluppo di incendio generalizzato.

Per esigenze funzionali, il compartimento antincendio deve presentare dei varchi (generalmente porte) affinché possano essere svolte le ordinarie funzioni previste per l'attività oggetto della progettazione di sicurezza antincendi.

Le eventuali comunicazioni con altri compartimenti dell'attività si ottengono tramite porte che, in stato di chiuso, garantiscano le medesime prestazioni di tenuta ed isolamento dei compartimenti messi in comunicazione.

È questo il caso delle porte resistenti al fuoco che, attraverso le specifiche procedure di omologazione nazionale o marcatura CE secondo il Regolamento Prodotti da Costruzione (CPR 305/2011), offrono prestazioni di tenuta E ed isolamento I, oltre alle “nuove” prestazioni introdotte dal codice relative anche alla tenuta ai fumi freddi (requisito Sa o S₂₀₀).

Altri elementi di “discontinuità” della compartimentazione sono rappresentati dagli attraversamenti degli impianti tecnologici e di servizio.

Il Codice dedica un intero paragrafo alla cura della “Continuità dei compartimenti” (par. S.3.7.3), prevedendo che tutte le chiusure d'ambito orizzontali e verticali del compartimento devono formare una “*barriera continua ed uniforme*” per evitare la propagazione degli effetti dell'incendio.

Nel par. S.3.7.3, al fine di garantire la continuità e l'uniformità della barriera contro la propagazione degli effetti dell'incendio, il Codice indica la necessità di porre particolare attenzione almeno verso i possibili elementi “deboli” della barriera:

- a. “giunzioni” tra gli elementi di compartimentazione;
- b. attraversamenti degli impianti tecnologici o di processo;
- c. canalizzazioni che attraversano i compartimenti;
- d. camini di esaustione o di estrazione fumi;
- e. ascensori o altri condotti verticali (es.: cavedi per impianti, ...).

Per le giunzioni fra gli elementi di compartimentazione, il Codice richiede di effettuare tali lavorazioni avendo cura di garantire la continuità e l'uniformità della barriera.

In corrispondenza degli attraversamenti di impianti tecnologici e di servizio (elettrici, idraulici, ecc.) il Codice suggerisce due possibili accorgimenti:

1. adottare sistemi sigillanti resistenti al fuoco quando gli effetti dell'incendio possono attaccare l'integrità e la forma dell'impianto (es.: tubazioni di PVC con collare, sacchetti penetranti nelle canaline portacavi, ...);
2. adottare isolanti non combustibili su un tratto di tubazione oltre l'elemento di separazione quando gli effetti dell'incendio possono causare solo il riscaldamento dell'impianto (es.: tubazioni metalliche rivestite, sul lato non esposto all'incendio dell'elemento di compartimentazione, con idonei materiali isolanti).

Nel caso di canalizzazioni, il Codice consente che esse possano attraversare un compartimento se esse stesse sono un compartimento: in questo modo risultano essere due compartimenti distinti capaci di trattenere all'interno gli effetti dell'eventuale incendio.

In alternativa, le canalizzazioni non resistenti al fuoco possono attraversare i compartimenti installando una serranda tagliafuoco in corrispondenza dell'attraversamento dell'elemento resistente al fuoco.

Per camini di esaustione o di estrazione fumi, per le facciate continue e i vani corsa ascensori o altri condotti verticali, come ad esempio cavedi per impianti, il Codice indirizza la soluzione progettuale verso l'impiego di canalizzazioni resistenti al fuoco per l'attraversamento dei compartimenti.

In questo modo, come per le canalizzazioni, l'attraversamento del compartimento mediante una canalizzazione resistente al fuoco, rende indipendenti gli effetti di propagazione dei due compartimenti “comunicanti”.

Il Codice rafforza la necessità di porre particolare attenzione alla continuità ed uniformità della compartimentazione nel Cap. S.10 al par. S.10.5 “Obiettivi di sicurezza antincendio”, nel quale viene espressamente richiesto che tutti gli impianti tecnologici e di servizio non rendano “inefficaci le altre misure antincendio, con particolare riferimento agli elementi di compartimentazione”.

Un ruolo fondamentale per il ripristino di compartimentazione è svolto dai sistemi di sigillatura, contemplati nel Capitolo S.2 alla tab. S.2-22: Sistemi di sigillatura di fori passanti e di giunti lineari.

Come specificato al par. S.2.10 le “Classificazioni di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione”, richiamano principalmente le decisioni della Commissione dell'Unione europea 2000/367/CE del 3 maggio 2000, 2003/629/CE del 27 agosto 2003 e 2011/232/UE dell'11 aprile 2011 direttamente collegate con la direttiva prodotti da costruzione (poi Regolamento CPR 305/2011) e richiamando ulteriori standard, qualora necessario per stabilire le prestazioni al fuoco di materiali o elementi.

Nel caso dei sistemi di sigillatura per impianti tecnologici (“*penetration seal*”), alla data di stesura della presente pubblicazione, non sono stati predisposti standard armonizzati secondo il CPR per stabilire le prestazioni di tali prodotti in relazione ai requisiti di sicurezza delle opere da costruzione.

Per contro, sono presenti norme di prova mediante le quali è possibile valutare le prestazioni dei sistemi di sigillatura, segnatamente la norma UNI EN 1366-3:2009 “Prove di resistenza al fuoco per impianti di fornitura servizi - Parte 3: Sigillanti per attraversamenti”.




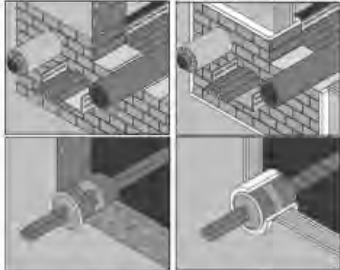



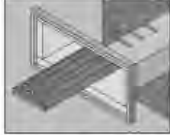


Lo standard UNI EN 1366-3 deve essere applicato unitamente alla UNI EN 1363-1 (Parte 1: Condotte di ventilazione) e contiene un metodo di prova e i relativi criteri per valutare la capacità di un sistema sigillante per attraversamenti di mantenere la resistenza al fuoco di un elemento di separazione nel punto in cui è attraversato da un impianto.
















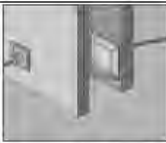






Inoltre, per la certificazione di prodotti sigillanti, molti fabbricanti sono ricorsi alla marcatura CE CPR “volontaria”, attuabile mediante gli EAD “European Assessment Document” e ottenendo un ETA “European Technical Assessment (per i dettagli della procedura riferirsi all’art. 19 e seguenti del Regolamento Prodotti da Costruzione CPR 305/2011).

I documenti per la valutazione europea (EAD) vengono pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale della Unione Europea.

Nel caso dei sistemi di sigillatura, è stato pubblicato nel settembre 2017 lo EAD 350454-00-1104 dal titolo “Fire stopping and Fire sealing products - Penetration seals”.

In questo documento vengono descritti tutti i tipi di sistemi di sigillatura, come riportato nelle figure seguenti tratte dal documento EAD sopra citato:

Designation	Illustration of the	
	Product/component	Penetration seal
Bellows seals		
Blocks, plugs		
Boards		
Cable boxes		
Coated mineral wool slabs (e.g. intumescent or ablative coating)		

Designation	Illustration of the	
	Product/component	Penetration seal
Foams		
Mineral wool		
Modular systems		
Mortar		
Pillows (also referred to as "bags" or "cushions")		
Pipe closure devices		
<ul style="list-style-type: none"> Collars (integrated into or outside the wall / floor) 		
<ul style="list-style-type: none"> Wraps (integrated into a wall or floor) including strips and composite strips 		
<ul style="list-style-type: none"> Mechanically actuated systems for pipes 	variable	variable
Designation	Illustration of the	
	Product/component	Penetration seal
Putties		
Sand gaskets		
Sealants/Mastics		
Combinations of the products named above		

SISTEMI DI SIGILLATURA PER ATTRAVERSAMENTI DI IMPIANTI TECNOLOGICI

Il paragrafo 2 dello EAD stabilisce le caratteristiche essenziali che devono possedere i sistemi di sigillatura, assieme ai metodi ed ai criteri di valutazione.

Le caratteristiche essenziali sono di seguito elencate:

1. Reazione al fuoco (requisito essenziale 2 Safety in case on fire);
2. Resistenza al fuoco (requisito essenziale 2 Safety in case on fire);
3. Permeabilità all'aria (requisito essenziale 3 Hygiene health and environment);
4. Permeabilità all'acqua (requisito essenziale 3 Hygiene health and environment);
5. Contenuto o emissione di sostanze pericolose (requisito essenziale 3 Hygiene health and environment);
6. Resistenza meccanica e stabilità (requisito essenziale 4 Safety and accessibility in use)
7. Resistenza all'impatto/movimento (requisito essenziale 4 Safety and accessibility in use)
8. Adesione (requisito essenziale 4 Safety and accessibility in use)
9. Durabilità (requisito essenziale 4 Safety and accessibility in use)
10. Isolamento acustico (requisito essenziale 5 Protection against noise)
11. Proprietà termiche (requisito essenziale 6 Energy economy and heat relation)
12. Permeabilità al vapore acqueo ((requisito essenziale 6 Energy economy and heat relation).

Il prodotto valutato in accordo allo EAD 350454-00-1104, restituisce al fabbricante che volontariamente lo adotta un ETA - Valutazione Tecnica Europea - sulla base del quale il sistema di sigillatura viene immesso sul mercato attraverso la marcatura CE CPR e accompagnato da una DoP (Dichiarazione di Prestazione).

Nella DoP, naturalmente, dovranno essere indicate tutte le caratteristiche essenziali sopra indicate, riportate come classe per la reazione e la resistenza al fuoco, o come descrizione o livello per gli altri requisiti essenziali. Pertanto, richiamando l'art. 3 "Impiego dei prodotti per uso antincendio" del d.m. 3 agosto 2015 e s.m.i., utilizzare nella realizzazione del progetto di sicurezza antincendio sistemi di sigillatura che siano stati sottoposti con successo ad un ETA con relativa marcatura CE/CPR e documentazione tecnica certificata mediante la DoP, fornisce le garanzie di accettabilità al professionista e al titolare dell'attività in relazione al prodotto e al relativo uso previsto.

Si rimarca che per le sigillature la marcatura CE/CPR è volontaria (manca lo standard di prodotto armonizzato CPR) pertanto, sul mercato possono essere presenti prodotti la cui certificazione e le relative garanzie devono essere fornite dal fabbricante, preferibilmente emesse da un ente di certificazione che sia terzo.

In questi casi la responsabilità del titolare dell'attività e del responsabile della esecuzione dei lavori per soddisfare i requisiti richiesti al citato art. 3 del d.m. 3 agosto 2015 e s.m.i., presuppongono una accurata valutazione della documentazione certificativa e di prova che il fabbricante deve predisporre a corredo del sistema di sigillatura che si intende adottare.

Caso studio 1: valutazione irraggiamento termico verso un bersaglio esterno all'edificio sorgente

Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un'azienda manifatturiera, che opera nel campo della lavorazione delle pelli, la cui sede operativa è sita in un capannone industriale monopiano, all'interno di un sito produttivo, ove operano più aziende afferenti a diversi responsabili; l'attività è collocata in una porzione dello stesso, confinante con altre due aziende.

La superficie dell'attività in esame è suddivisa in due settori, fra loro compartimentati: l'*area produzione*, ove vengono eseguite le lavorazioni sui pellami grezzi, e l'*area deposito*, ove trovano collocazione materie prime, semilavorati e prodotti finiti, costituiti per la maggior parte da pellami.

Il ciclo produttivo dell'azienda in esame prevede le lavorazioni di:

- *palissonatura delle pelli*, operazione che ha lo scopo di ammorbidire il pellame mediante attività meccanica di pressatura con testate oscillanti;
- *stuccatura* delle irregolarità;
- *follonatura (ammorbidimento) delle pelli* tramite riscaldamento, umidificazione e aspirazione.

Il pericolo maggiore è rappresentato dal carico di incendio del deposito di pellami, considerato che l'area produzione prevede limitate quantità di materiali combustibili e macchine che non presentano particolari pericoli dal punto di vista dell'incendio.

Il cortile aziendale è caratterizzato dalla presenza di un deposito di pallet necessari per le attività di magazzino; la limitata estensione dello stesso sarà valutata con particolare attenzione, al fine di verificare la conformità della compartimentazione realizzata tramite interposizione di idonea distanza di separazione su spazio a cielo libero tra deposito esterno e edificio.

Pertanto, sarà di seguito illustrata la valutazione dell'irraggiamento termico del capannone verso il predetto deposito esterno di materiale combustibile.

La distanza di separazione sarà valutata sia con la metodologia delle piastre radianti che con il metodo di cui all'appendice G dell'Eurocodice 1991-1-2.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:



Superficie del capannone	3590 m ²
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in CLS armato
Numero occupanti	15
Profili di rischio R _{vita}	A2 (par. G.3.2.2)
Profilo di rischio R _{beni}	Attività non vincolata né strategica = 1 (par. G.3.3)
Profilo di rischio R _{ambiente}	Non significativo (par. G.3.4)
Reazione al fuoco	Livello I di prestazione (parr. S.1.3 e S.1.4)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (parr. S.2.3 e S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (parr. S.3.3 e S.3.4.3)
Esodo	Livello I di prestazione (parr. S.4.3 e S.4.4.1)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (parr. S.5.3 e S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (parr. S.6.3 e S.6.4.2) Rete di Idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello III di prestazione (parr. S.7.3 e S.7.4.3) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (parr. S.8.3 e S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (parr. S.9.3 e S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (parr. S.10.3 e S.10.4.1)

La misura antincendio S.3 *Compartimentazione* del Codice, per il livello di prestazione II che deve essere raggiunto secondo i criteri di attribuzione, richiede come *soluzione conforme* che, al fine di limitare la propagazione dell'incendio verso la stessa attività e verso altre attività, sia interposta una distanza di separazione su spazio a cielo libero.

A tale scopo il Codice propone due metodologie di calcolo, una tabellare (par. S.3.11.2) ed una analitica (par. S.3.11.3), della distanza di separazione minima da adottare al fine di non superare la soglia di irraggiamento termico incidente su un bersaglio (attività da proteggere), soglia pari a 12,6 kW/m² (E_{soglia}).

Tale soglia è considerata dal Codice adeguatamente conservativa per limitare l'innesco di qualsiasi tipologia di materiale, in quanto rappresenta il valore limite convenzionale entro il quale non avviene l'innesco del legno in aria stazionaria.

Le *soluzioni alternative* per la misura antincendio S.3 prevedono invece che, qualora le si voglia adottare per la valutazione della distanza di separazione, sia necessario dimostrare la limitata propagazione dell'incendio e dei suoi effetti.

È possibile pertanto applicare la stessa procedura analitica del par. S.3.11.3, andando a modificare, ad esempio, il valore della potenza termica radiante E₁ oppure il fattore di vista F₂₋₁, in funzione del bersaglio effettivamente esposto all'incendio e della reale configurazione geometrica del contesto esaminato.

È inoltre possibile impiegare modelli numerici di simulazione dell'incendio (vedi tab. S.3-3).

Il caso in esame è caratterizzato dalla presenza di elementi radianti (portoni, porte e finestre del capannone) posti in posizione defilata e angolata rispetto alla posizione del bersaglio (deposito esterno).

Dati generali del capannone - Superficie = 3590 m²	
Caratteristiche geometriche	Dimensioni lineari: 74,5 x 48,5 x 8,5 m
Aperture	n. 6 portoni: 5,0 x 5,0 m n. 7 porte: 120 x 240 m n. 4 finestre: 0,90 x 1,30 m n. 27 shed finestrati da 17,9 m ² cad
Compartimento area produzione - Superficie = 1066 m²	
Caratteristiche geometriche	Dimensioni lineari: 22,00 x 8,10 x 5,65 m
Aperture	n. 2 portoni: 5,0 x 5,0 m n. 3 porte: 120 x 240 m n. 2 finestre: 0,90 x 1,30 m n. 9 shed finestrati da 17,9 m ² cad
Materiale combustibile	Pellami in lavorazione: 2,1 t Legno dei pallet (30 kg/cad): 1,5 t Plastica PE dello stucco: 0,03 t Polietilene: 0,01 t Cartoni: 0,05 t Arredi: 0,4 t Materiale cartaceo: 0,2 t
Compartimento area deposito - Superficie = 2524 m²	
Caratteristiche geometriche	Dimensioni lineari: 52,5 x 48,5 x 8,5 m
Aperture	n. 4 portoni: 5,0 x 5,0 m n. 4 porte: 120 x 240 m n. 1 finestre: 0,90 x 1,30 m n. 18 shed finestrati da 17,9 m ² cad
Materiale combustibile	Pellami: 175 t Legno dei pallet (30 kg/cad): 7,5 t Plastica PE dello stucco: 0,8 t Polietilene: 0,2 t Cartoni: 0,2 t Arredi: 0,1 t Materiale cartaceo: 0,05 t



VISTA AEREA DEL SITO PRODUTTIVO

Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi

Trattasi di attività classificata al punto 70.1.B dell'Allegato I del d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151: "Depositi di superficie lorda superiore a 1000 m² con quantitativi di merci e materiali combustibili superiori complessivamente a 5000 kg".

Essendo inoltre presente nell'area produttiva un impianto di riscaldamento con generatore funzionante a gas metano di potenzialità pari a 315 kW, si annovera anche l'attività 74.1.A "Impianti per la produzione di calore alimentati a combustibile solido, liquido o gassoso con potenzialità fino a 350 kW".

Riferimenti normativi

- d.m. 3 agosto 2015 - "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del d.lgs. 8 marzo 2006, n. 139" - Aggiornamento d.m. 18 ottobre 2019, come aggiornata dai decreti 14 febbraio 2020 e 6 aprile 2020 per la sezione V.

Obiettivi dello studio

Ci si propone, nell'ambito generale della progettazione antincendio dell'attività, di focalizzare l'attenzione sulla misura antincendio *Compartimentazione*, facendo ricorso alle *soluzioni alternative* suggerite dal Codice al par. S.3.4.3.

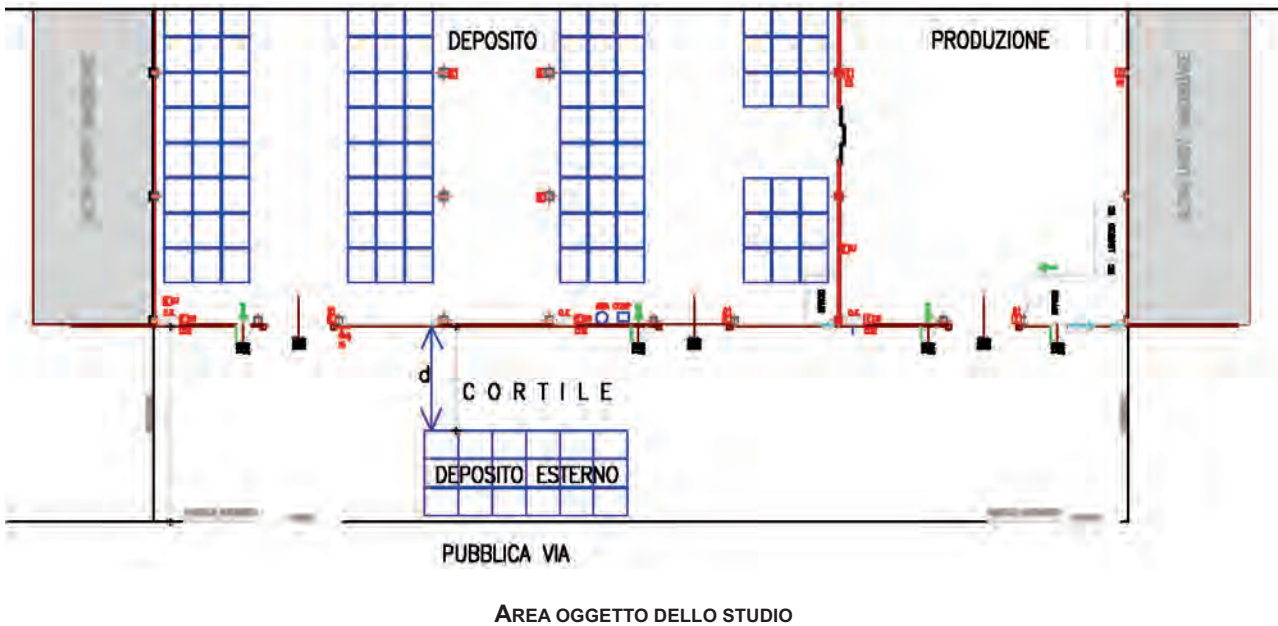
Al fine di dimostrare il raggiungimento del livello di prestazione attribuito (II), in relazione alla limitazione della propagazione dell'incendio e dei suoi effetti, tra ambiti della stessa attività o verso altre attività, si adotta la modalità suggerita dal Codice e generalmente accettata per la progettazione di soluzioni alternative di cui alla tab. S.3-3: "*Distanza di separazione e suo calcolo*".

Oggetto della soluzione	Modalità progettuale
Caratteristiche dello spazio scoperto (§ S.3.5.1), del compartimento, del filtro (§ S.3.5.4), dell'ubicazione (§ S.3.9)	Si dimostri, anche con modelli analitici, che non avviene propagazione dell'incendio e dei suoi effetti nella configurazione considerata.
Compartimento a prova di fumo (§ S.15), filtro a prova di fumo (§ S.3.5.5), compartimentazione multipiano (§ S.3.6.2), comunicazioni (§ S.3.10)	Si dimostri che è comunque garantita la salvaguardia della vita degli occupanti (capitolo M.3) e, se applicabile, la protezione dei beni.
Distanza di separazione (§ S.3.8) e suo calcolo (§ S.3.11)	Si dimostri che è limitata la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti. Può essere applicata la stessa procedura analitica del paragrafo S.3.11.3, impiegando ad esempio il valore di E_{soglia} adeguato al bersaglio effettivamente esposto all'incendio, il fattore di vista F_{2-1} e la piastra radiante corrispondente alla reale configurazione geometrica, la potenza termica radiante E_1 riferita all'incendio naturale. Possono essere anche impiegati modelli numerici di simulazione dell'incendio, dei suoi effluenti e dell'irraggiamento.

TABELLA S.3-3: MODALITÀ PROGETTUALI PER SOLUZIONI ALTERNATIVE

Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3

La situazione analizzata si riferisce alla verifica della distanza di separazione a cielo libero d tra le facciate del capannone e il deposito esterno, sito nel cortile aziendale e deputato all'immagazzinamento di materiale combustibile; tale distanza d è pari a 8,00 m.



Il deposito esterno costituisce, pertanto, il bersaglio della sorgente di radiazione termica proveniente dal capannone attraverso le aperture presenti nella parete esterna.

Nella procedura di determinazione delle distanze di separazione, di cui al Cap. S.3, la potenza radiante dell'incendio è un parametro che assume valori che sono funzione del carico di incendio specifico q_f a seconda che esso risulti maggiore o minore di 1200 MJ/m² (par. S.3.11.3.5).

Si riporta di seguito il computo approssimativo del carico di incendio specifico q_f relativo ai due compartimenti *area produzione* e *area deposito* nell'ipotesi che esso sia ragionevolmente uniformemente distribuito in entrambi i compartimenti:

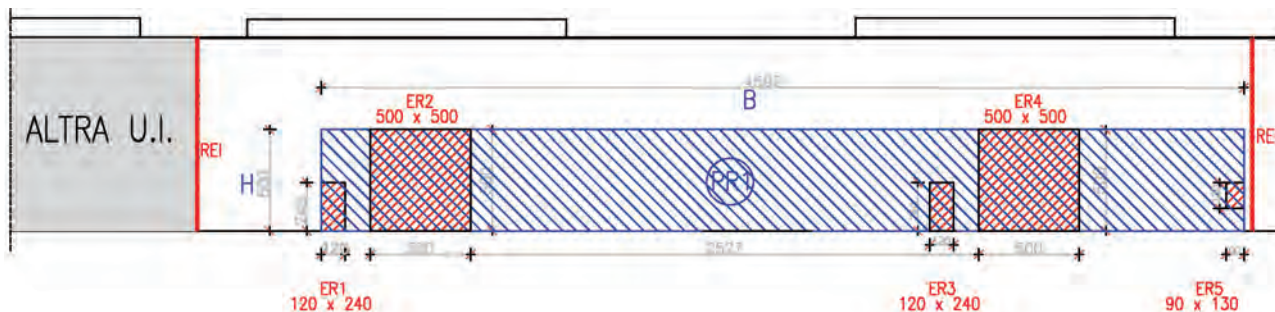
Compartimento <i>area produzione</i>	Superficie in pianta lorda A (m ²)	Materiale combustibile	m_i	Ψ_i	Quantità	u.m.	Potere calor. inf. H_i (MJ/kg)	u.m.	Carico d'incendio $q = \sum g_i H_i m_i \Psi_i$ (MJ)	Carico d'incendio specifico $q_f = q / A$ (MJ/m ²)
	1.066	pellami	1	1	2.100	kg	21,00	MJ/kg	44.100	
		pallet (30 kg/cad) / 50 pezzi	0,8	1	1.500	kg	17,50	MJ/kg	21.000	
		plastica (contenuta nello stucco)	1	1	30	kg	41,00	MJ/kg	1.230	
		plastica	1	1	10	kg	41,00	MJ/kg	410	
		cartoni	0,8	1	50	kg	17,50	MJ/kg	700	
		legno arredi (scrivanie, sedie e armadi)	0,8	1	400	kg	17,50	MJ/kg	5.600	
		materiale cartaceo	0,8	1	200	kg	17,50	MJ/kg	2.800	
		totale							75.840	71
Compartimento <i>area deposito</i>	Superficie in pianta lorda A (m ²)	Materiale combustibile	m_i	Ψ_i	Quantità	u.m.	Potere calor. inf. H_i (MJ/kg)	u.m.	Carico d'incendio $q = \sum g_i H_i m_i \Psi_i$ (MJ)	Carico d'incendio specifico $q_f = q / A$ (MJ/m ²)
	2.524	pellami	1	1	175.000	kg	21,00	MJ/kg	3.675.000	
		pallet (30 kg/cad) / 200 pezzi	0,8	1	7.500	kg	17,50	MJ/kg	105.000	
		plastica (contenuta nello stucco)	1	1	800	kg	41,00	MJ/kg	32.800	
		plastica	1	1	200	kg	41,00	MJ/kg	8.200	
		cartoni	0,8	1	200	kg	17,50	MJ/kg	2.800	
		legno arredi (scrivanie, sedie e armadi)	0,8	1	100	kg	17,50	MJ/kg	1.400	
		materiale cartaceo	0,8	1	50	kg	17,50	MJ/kg	700	
		totale							3.825.900	1516

Per il compartimento *produzione*, presentando un carico di incendio specifico $q_f < 600 \text{ MJ/m}^2$, sarà adottata la *soluzione conforme* (par. S.3.8.4) che ammette la presenza di uno spazio scoperto tra sorgente (capannone) e bersaglio (deposito esterno), ovvero di 3,50 m (par. S.3.5.1).

Per il compartimento *deposito*, presentando un carico di incendio specifico $q_f > 600 \text{ MJ/m}^2$, al fine di valutare le distanze di separazione da bersagli esterni, dovrà essere adottata la *soluzione conforme* mediante metodologia delle piastre radianti (par. S.3.11) o far ricorso a *soluzioni alternative* (par. S.3.4.3).

Soluzione conforme - metodologia delle piastre radianti

Il prospetto Nord del capannone, relativamente al compartimento *deposito* (delimitato dalle pareti tagliafuoco indicate in rosso nella figura seguente) contiene elementi radianti rappresentati da porte, portoni e una finestra (zone campite in rosso e codificate ERi con i, indice della piastra i-esima).



PROSPETTO NORD DEL CAPANNONE CON INDICATI GLI ELEMENTI RADIANTI DEL COMPARTIMENTO DEPOSITO

Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione

Si applica la procedura analitica riportata al par. S.3.11.3 alla situazione:

- *sorgente*: parete del compartimento deposito;
- *bersaglio*: deposito esterno di materiale combustibile.

Si adotta, inoltre, un piano radiante che coincide con la parete sorgente, presentando il bersaglio una faccia parallela alla parete del capannone.

Si otterrà pertanto:

Elementi radianti			Piastra radiante PR1			p (%)
Codice	Dimensioni (mm x mm)	sup. (m ²)	Codice	Dimensioni (m x m)	sup. (m ²)	
ER1	120 x 240	2,88	PR1	B = 45,92 H = 5,00	229,60	56,93 / 229,60
ER2	500 x 500	25,00				
ER3	120 x 240	2,88				
ER4	500 x 500	25,00				
ER5	90 x 130	1,17				
Totale		56,93	Totale		229,60	24,80%

dove:

- B è la lunghezza della piastra radiante in m.
- H è l'altezza della piastra radiante in m;
- p è la percentuale di foratura della piastra radiante.

Il calcolo analitico della *distanza di separazione* da adottare, di cui al par. S.3.11.3, prevede che tale distanza *d*, misurata tra la piastra radiante e il bersaglio, garantirà adeguata separazione ove verificata la relazione S.3-3:

$$F_{2-1} * E_1 * \epsilon_f < E_{soglia}$$

dove:

- F_{2-1} è il fattore di vista;
- E_1 è la potenza termica radiante dovuta all'incendio convenzionale in kW/m²;

- ϵ_f è l'emissività della fiamma (ricavabile dalla formula S.3-8);
- E_{soglia} è la soglia di irraggiamento dell'incendio sul bersaglio in kW/m².

Il fattore di vista rappresenta la frazione di energia radiante che abbandona il corpo sorgente e raggiunge il corpo bersaglio ed è calcolato secondo la relazione S.3-4:

$$F_{2-1} = \frac{2}{\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{(1+X^2)}} \tan^{-1} \left(\frac{Y}{\sqrt{(1+X^2)}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{(1+Y^2)}} \tan^{-1} \left(\frac{X}{\sqrt{(1+Y^2)}} \right) \right]$$

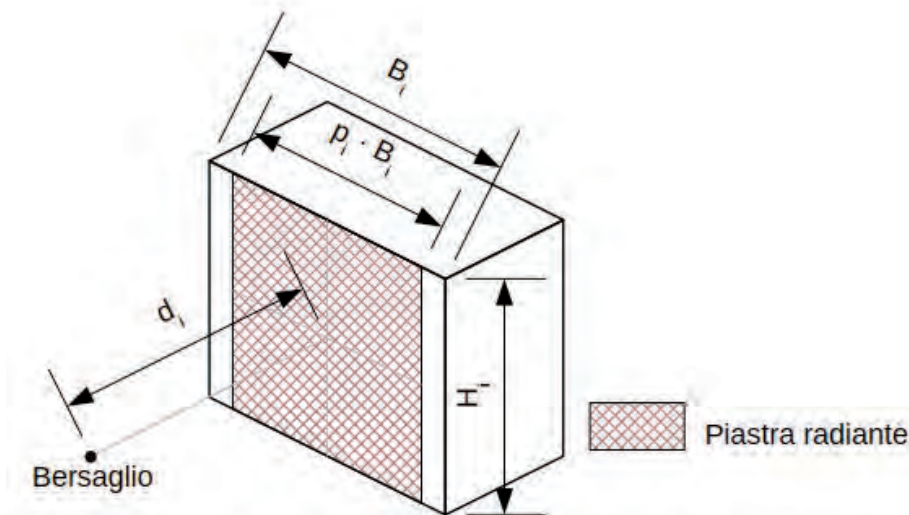
Supponendo che gli elementi radianti siano distribuiti verticalmente al centro della piastra radiante, si calcola:

$$X = \frac{B_i \cdot p_i}{2d_i}$$

$$Y = \frac{H_i}{2d_i}$$

dove:

- B_i è la lunghezza i-esima piastra radiante in m.
- H_i è l'altezza i-esima piastra radiante in m;
- p_i è la percentuale di foratura dell'i-esima piastra radiante;
- d_i è la distanza tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio in m.



SCHEMATIZZAZIONE DELLA PIASTRA RADIANTE

Considerato che essendo $q_f > 1200 \text{ MJ/m}^2$, dalla relazione S.3-6 si ottiene $E_1 = 149 \text{ kW/m}^2$.

Per la determinazione di ϵ_f , mediante la relazione S.3-8, con d_f indicante lo spessore della fiamma, pari ai 2/3 dell'altezza del varco da cui esce la fiamma (par. S.3.11.3.6).

Iterativamente, fissati i valori di E_1 , d_f , ϵ_f e di E_{soglia} , calcolato F_{2-1} , si determina la distanza di separazione dal bersaglio d che soddisfa il criterio richiesto dalla relazione S.3-3.

Si considera il varco che presenta un'altezza maggiore, pari a 5,00 m.

Piastra radiante	lunghezza	45,92	m		
	altezza	5,00	m		
Elementi radianti (finestre, porte, ecc.)	n°	1,00			
	superficie	2,88	m ²		
	n°	1,00			
	superficie	25,00	m ²		
	n°	1,00			
	superficie	2,88	m ²		
	n°	1,00			
	superficie	25,00	m ²		
	n°	1,00			
	superficie	1,17	m ²		
Distanza dal bersaglio "d" =		10,52	m		
Carico di incendio specifico "q_f" =		1516	MJ/m ²		
Soglia di irraggiamento termico incidente sul bersaglio =		12,6	KW/m ²		
Spessore della fiamma "d_r" =			h (m)	df (m)	
Varco 1 di rif. da cui esce la fiamma =	altezza	2,40		1,60	
Varco 2 di rif. da cui esce la fiamma =	altezza	5,00		3,33	
Varco 3 di rif. da cui esce la fiamma =	altezza	2,40		1,60	
Varco 4 di rif. da cui esce la fiamma =	altezza	5,00		3,33	
Varco 5 di rif. da cui esce la fiamma =	altezza	1,30		0,87	
Percentuale di foratura "p_i" =	0,24795296	pari a	24,7953	%	
	X	0,541160	Y	0,238	
	radq(1+X²) =	1,137037			
	radq(1+Y²) =	1,027849			
	X/radq(1+X²) =	0,475938			
	Y/radq(1+X²) =	0,209002			
	Y/radq(1+Y²) =	0,231204			
	X/radq(1+Y²) =	0,526497			
			F₂₋₁ =	0,13376	
Potenza termica radiante incendio convenzionale E₁ =	149	KW/m ²			
Emissività della fiamma "ε_f" =	0,63212056				
Irraggiamento termico sul bersaglio =	12,6	KW/m ²			
Esito verifica	OK				

POTENZA TERMICA RADIANTE SUL BERSAGLIO IN FUNZIONE DELLA DISTANZA DI SEPARAZIONE

La linea tratteggiata rossa segnala la soglia limite di 12,6 kW/m² di potenza radiante; tale condizione viene soddisfatta alla distanza d = 10,52 m; la verifica non è soddisfatta risultando (10,52 > 8,00 m).

Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

Applicando la procedura tabellare, riportata al par. S.3.11.2, utilizzando la tab.S.3.10, si ottiene:

B _i [m]	H _i [m]																			
	3		6		9		12		15		18		21		24		27		30	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
3	2,5	1,0	4,0	0,9	5,0	0,7	5,7	0,6	6,2	0,5	6,5	0,4	6,8	0,4	7,0	0,3	7,1	0,3	7,2	0,3
6	3,2	1,6	5,2	1,8	6,8	1,7	8,1	1,5	9,2	1,4	10,1	1,2	10,9	1,1	11,5	1,0	12,0	0,9	12,5	0,8
9	3,5	2,1	6,0	2,5	8,0	2,6	9,6	2,5	11,0	2,4	12,3	2,2	13,4	2,1	14,4	1,9	15,3	1,7	16,0	1,6
12	3,7	2,6	6,6	3,1	8,8	3,3	10,7	3,3	12,4	3,3	13,9	3,2	15,2	3,0	16,5	2,9	17,6	2,7	18,6	2,6
15	3,7	2,9	7,0	3,6	9,5	3,9	11,6	4,1	13,4	4,1	15,1	4,1	16,6	4,0	18,1	3,9	19,4	3,7	20,6	3,6
18	3,7	3,3	7,3	4,1	10,0	4,5	12,3	4,8	14,3	4,9	16,1	4,9	17,8	4,9	19,4	4,8	20,9	4,7	22,3	4,5
21	3,6	3,6	7,5	4,5	10,4	5,0	12,9	5,4	15,1	5,6	17,0	5,7	18,9	5,7	20,6	5,7	22,2	5,6	23,7	5,5
24	3,5	3,9	7,6	4,9	10,7	5,5	13,4	6,0	15,7	6,2	17,8	6,4	19,8	6,5	21,6	6,5	23,3	6,5	24,9	6,4
27	3,3	4,1	7,6	5,3	11,0	6,0	13,8	6,5	16,3	6,8	18,5	7,0	20,6	7,2	22,5	7,3	24,3	7,3	26,0	7,2
30	3,2	4,4	7,7	5,6	11,2	6,4	14,2	7,0	16,8	7,4	19,1	7,7	21,3	7,9	23,3	8,0	25,2	8,0	27,0	8,1
40	2,6	5,1	7,5	6,7	11,6	7,8	15,0	8,5	18,0	9,1	20,8	9,5	23,3	9,9	25,6	10,2	27,8	10,4	29,8	10,5
50	2,2	5,6	7,0	7,7	11,5	8,9	15,4	9,9	18,8	10,6	21,9	11,2	24,7	11,7	27,3	12,1	29,7	12,4	32,0	12,7
60	1,8	6,1	6,5	8,5	11,3	10,0	15,5	11,1	19,3	12,0	22,6	12,7	25,7	13,3	28,6	13,8	31,2	14,2	33,8	14,6

Per valori di B_i e H_i intermedi a quelli riportati in tabella si approssima al valore immediatamente successivo.
In alternativa può essere impiegata iterativamente la procedura analitica di cui al paragrafo S.3.11.3.

TABELLA S.3-10: COEFFICIENTI A E B PER ATTIVITÀ CON CARICO DI INCENDIO SPECIFICO Q_F > 1200 MJ/M²

- B = 45,92 m → si adotta B_i = 50 m;
- H = 5,00 m → si adotta H_i = 6 m.

Con tali parametri si ricavano i coefficienti α = 7,00 e β = 7,7.

Utilizzando la formula S.3-2 si ricava che la *distanza di separazione* da adottare risulta pari a:

$$d = \alpha p + \beta = 7,00 * 0,248 + 7,7 = 9,44 \text{ m}$$

Nemmeno tale verifica è soddisfatta risultando tale distanza maggiore di quella esistente.

Soluzione alternativa

Determinazione del fattore di vista secondo le indicazioni dell'Eurocodice 1991-1-2

Si illustrare, di seguito, la metodologia per la determinazione del fattore di vista secondo le indicazioni di cui all'appendice G dell'Eurocodice 1991-1-2.

Lo scenario adottato è quello illustrato nella figura G.3 - *Superficie ricevente in un piano parallelo a quello della superficie radiante*:

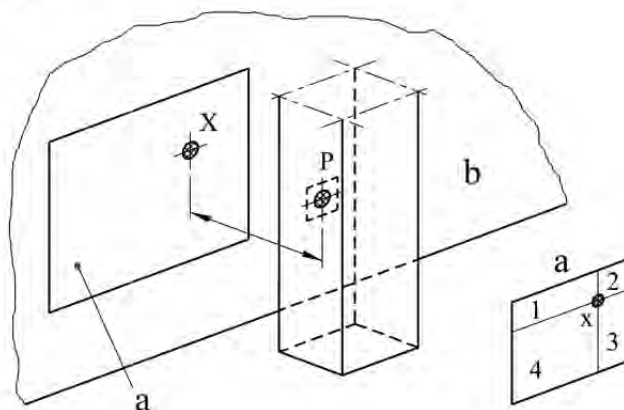
figura G.3 **Superficie ricevente in un piano parallelo a quello della superficie radiante**

Legenda

a Superficie radiante

b Superficie ricevente

$$\Phi = (\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4)$$



Al fine di illustrare la metodologia in questione, si ipotizzano alcune casistiche generali che possono essere impiegate per comporre situazioni più complesse.

Si suppone, ad esempio, di avere un portone da 7,00 m x 5,00 m quale elemento radiante e di voler determinare il fattore di vista rispetto al bersaglio P posto a distanza $d = 8,50$ m dal portone.

Secondo il metodo analitico del Codice (par. S.3.11.3) il fattore di vista F_{1-2} risulta pari a 0,132:

B (m)	H (m)	sup. (m ²)	p (%)	F ₁₋₂
7,00	5,00	35,00	1	0,132

Si valutano, di seguito, alcuni scenari dipendenti dalla posizione del bersaglio rispetto alla sorgente radiante.

Scenario A

Il bersaglio è in posizione tale che la propria proiezione cada al centro della sorgente radiante, ovvero ad altezza $h = 2,50$ m e offset dall'angolo inferiore sinistro della porta $w = 3,50$ m.

L'Eurocodice richiede di calcolare il fattore di configurazione (di vista) di ognuna della 4 sub-sorgenti determinate dalla suddivisione della sorgente rispetto alla proiezione di P sulla sorgente stessa.

Pertanto, il fattore di vista sarà dato da:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4$$

ove ogni addendo viene calcolato applicando la formula G.2 della citata appendice (vedi S.3-4):

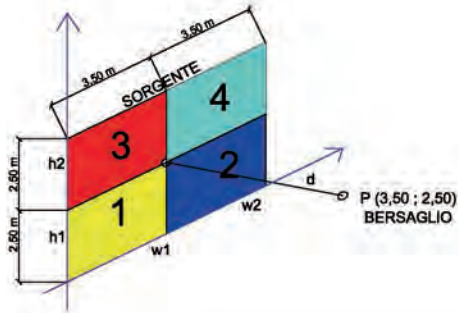
$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{\sqrt{1+a^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{1+a^2}} + \frac{b}{\sqrt{1+b^2}} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{1+b^2}} \right]$$

dove:

- $a = h/d$;
- $b = w/d$;
- d è la distanza tra il bersaglio e la sorgente (impostata per l'esempio a 8,50 m);
- h è l'altezza della zona sulla superficie radiante;
- w è la larghezza della zona sulla superficie radiante.

Segue una tabella con i valori utili per il calcolo dei 4 fattori di vista parziali:

Scenario A



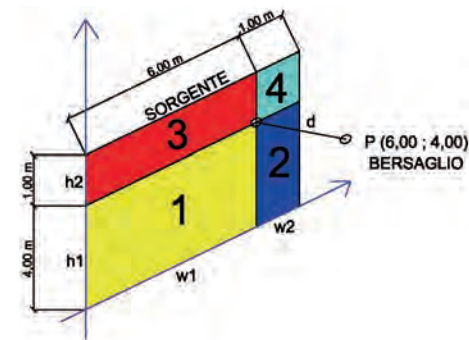
SCENARIO A

Distanza	Dimensioni (m)		Parametri		Fattore di vista
	w	h	a	b	Φ
8,5					
Sub Sorgente					
1	3,50	2,50	0,29	0,41	0,033
2	3,50	2,50	0,29	0,41	0,033
3	3,50	2,50	0,29	0,41	0,033
4	3,50	2,50	0,29	0,41	0,033
					Φ 0,132

Il fattore di vista risultante è pertanto coincidente con quello calcolato con il metodo analitico previsto dal Codice (0,132).

Scenario B

Il bersaglio è in una posizione disassata rispetto al centro della sorgente radiante, ad esempio ad altezza $h_1 = 4,00$ e a offset $w_1 = 6,00$ m rispetto all'angolo inferiore sinistro della stessa.



SCENARIO B

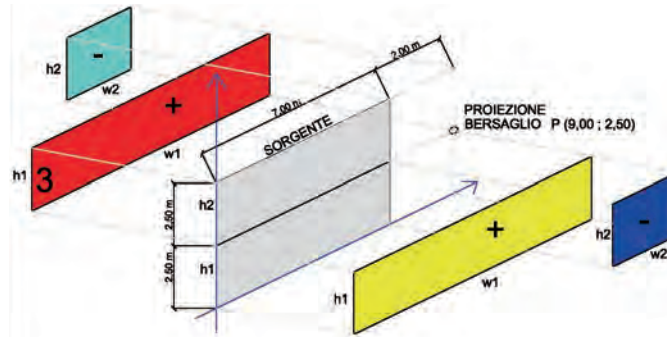
Distanza	Dimensioni (m)		Parametri		Fattore di vista
	w	h	a	b	Φ
8,5					
Sub Sorgente					
1	6,00	4,00	0,47	0,71	0,072
2	1,00	4,00	0,47	0,12	0,015
3	6,00	1,00	0,12	0,71	0,020
4	1,00	1,00	0,12	0,12	0,004
					Φ 0,112

Il fattore di vista risultante è pari a $\Phi = 0,112$, risultando inferiore a quello calcolato nello scenario precedente, in quanto influenzato dalla posizione più defilata del bersaglio rispetto al centro.

Scenario C

Lo scenario prevede che la proiezione del bersaglio non cada all'interno della sorgente radiante, ma esternamente ai lati perimetrali della superficie radiante; pertanto sarà necessario calcolare i fattori di vista di 4 sub-sorgenti come di seguito esemplificato.

La metodologia prevede sempre di calcolare i 4 fattori di vista, come esemplificato nella tabella, ma nella somma, i fattori di vista delle sub-sorgenti 2 e 4 si dovranno sottrarre.



SCENARIO C

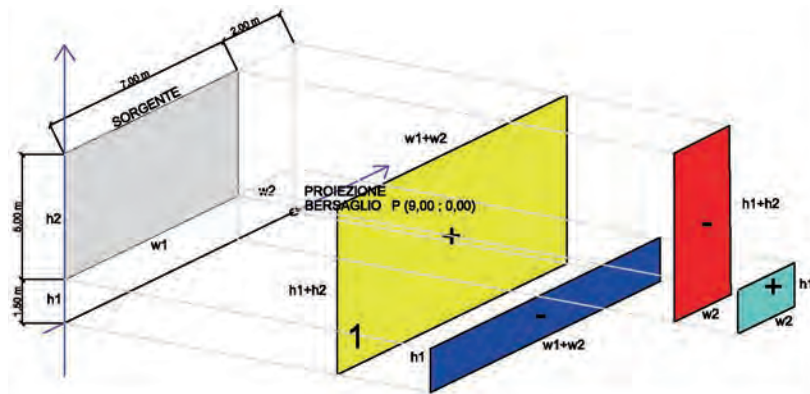
Distanza	Dimensioni (m)		Parametri		Fattore di vista
8,5					
Sub Sorgente	w	h	a	b	Φ
1	9,00	2,50	0,29	1,06	0,059
2	2,00	2,50	0,29	0,24	-0,020
3	9,00	2,50	0,29	1,06	0,059
4	2,00	2,50	0,29	0,24	-0,020

Φ 0,077

Il fattore di vista risultante è pertanto $\Phi = 0,077$.

Scenario D

Lo scenario prevede che la proiezione del bersaglio cada nella zona, in corrispondenza di un vertice della superficie radiante, delimitata dalla prosecuzione dei lati perimetrali convergenti nel vertice stesso.



SCENARIO D

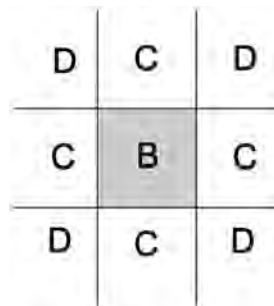
Distanza	Dimensioni (m)		Parametri		Fattore di vista
8,5					
Sub Sorgente	w	h	a	b	Φ
1	9,00	6,50	0,76	1,06	0,124
2	9,00	1,50	0,18	1,06	-0,036
3	2,00	6,50	0,76	0,24	-0,041
4	2,00	1,50	0,18	0,24	0,012

Φ 0,059

Il fattore di vista risultante è pertanto $\Phi = 0,059$.

In dipendenza della posizione della proiezione del bersaglio sulla sorgente, si effettuerà il calcolo illustrato per gli scenari B, C e D (lo scenario A è un caso particolare dello scenario B).

Si riporta, a tale scopo, lo schema seguente, dove il quadrato campito in grigio rappresenta la sorgente radiante (finestra, porta, ecc.) e le varie zone ove sono indicate le lettere rappresentano le aree possibili ove cade la proiezione del bersaglio.
 La lettera rappresenta lo scenario esemplificato precedentemente con il relativo metodo di calcolo da adottare per la valutazione del fattore di vista.



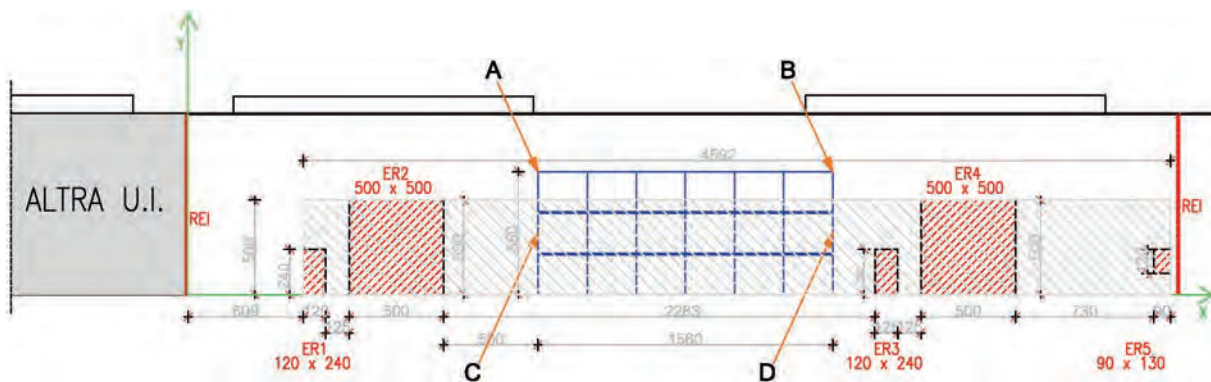
Si confrontano, di seguito, i risultati dell'irraggiamento termico incidente sul bersaglio, adottando come base di raffronto la distanza fornita dal metodo tabellare del Codice, che nel caso dell'esempio fornisce (applicando la tab. S.3.10 per carichi di incendio specifico $q_f > 1200 \text{ MJ/m}^2$) una distanza minima di 8,50 m.
 A tale distanza la potenza termica radiante sarà inferiore a $12,6 \text{ kW/m}^2$.
 Si valuta la potenza termica radiante con i vari fattori di vista calcolati negli scenari precedenti inserendoli nella formula S.3-3 ove sono utilizzati $E_1 = 149 \text{ kW/m}^2$ ($q_f > 1200 \text{ MJ/m}^2$) e $e_f = 0,777$ (altezza del varco maggiore pari a 5,00 m).

Scenario	Fattore di vista ($F_{2,1}$) e potenza termica radiante (E) alla distanza di 8,50 m (kW/m^2)		
	Codice metodo tabellare	Codice metodo analitico	Eurocodice
A	$E_{\text{soglia}} = 12,6 \text{ kW/m}^2$	$F_{2,1} = 0,132$ $E = 12,40 \text{ kW/m}^2$	$\Phi = 0,132 \text{ E} = 12,4 \text{ kW/m}^2$
B			$\Phi = 0,112 \text{ E} = 10,6 \text{ kW/m}^2$
C			$\Phi = 0,077 \text{ E} = 7,26 \text{ kW/m}^2$
D			$\Phi = 0,059 \text{ E} = 5,52 \text{ kW/m}^2$

Da quanto illustrato il fattore di vista subisce delle rilevanti variazioni in funzione della posizione del bersaglio, le quali possono essere valutate in caso di particolare difficoltà nel disporre di sufficienti spazi di separazione a cielo libero.

Verifica della distanza di separazione nel caso di studio

Applicando tale metodologia al caso in esame, si calcola un fattore di vista per ciascuno dei 5 elementi radianti (ER1 ÷ ER5), indicati dalle zone campite in rosso, ripetendo il calcolo precedente alle casistiche (B, C, D), con riferimento al bersaglio (deposito esterno B = 15,60 m e H = 6,50 m), posto alla distanza di 8,00 m.



PROSPETTO NORD DEL CAPANNONE - PROIEZIONE DELLA SUPERFICIE RICEVENTE B x H

Si individuano le coordinate di 4 punti, ritenuti caratteristici, della proiezione del bersaglio sulla sorgente, rispetto ad un sistema di assi cartesiani scelto (*assi di colore verde nel prospetto precedente*):

	A	B	C	D
x	18,54	34,14	18,54	34,14
y	6,50	6,50	3,25	3,25

Seguono le tabelle dei calcoli effettuati rispetto ai predetti 4 punti:

Dati bersaglio - punto A		
x (m)	y (m)	dist. (m)
18,54	6,50	8,00

Dati sorgente						
Codice	l (m)	h (m)	sup. (m ²)	x (m)	y (m)	Fattore di vista
ER1	1,20	2,40	2,88	6,09	0,00	0,001
ER2	5,00	5,00	25,00	8,54	0,00	0,028
ER3	1,20	2,40	2,88	36,37	0,00	0,000
ER4	5,00	5,00	25,00	38,82	0,00	0,001
ER5	0,90	1,30	1,17	51,12	0,90	0,000
Totale			56,93	Φ		0,031

Dati bersaglio - punto B		
x (m)	y (m)	dist. (m)
34,14	6,50	8,00

Dati sorgente						
Codice	l (m)	h (m)	sup. (m ²)	x (m)	y (m)	Fattore di vista
ER1	1,20	2,40	2,88	6,09	0,00	0,000
ER2	5,00	5,00	25,00	8,54	0,00	0,001
ER3	1,20	2,40	2,88	36,37	0,00	0,006
ER4	5,00	5,00	25,00	38,82	0,00	0,030
ER5	0,90	1,30	1,17	51,12	0,90	0,000
Totale			56,93	Φ		0,038

Dati bersaglio - punto C		
x (m)	y (m)	dist. (m)
18,54	3,25	8,00

Dati sorgente						
Codice	l (m)	h (m)	sup. (m ²)	x (m)	y (m)	Fattore di vista
ER1	1,20	2,40	2,88	6,09	0,00	0,001
ER2	5,00	5,00	25,00	8,54	0,00	0,036
ER3	1,20	2,40	2,88	36,37	0,00	0,000
ER4	5,00	5,00	25,00	38,82	0,00	0,002
ER5	0,90	1,30	1,17	51,12	0,90	0,000
Totale			56,93	Φ		0,039

Dati bersaglio - punto D		
x (m)	y (m)	dist. (m)
34,14	3,25	8,00

Dati sorgente						
Codice	l (m)	h (m)	sup. (m ²)	x (m)	y (m)	Fattore di vista
ER1	1,20	2,40	2,88	6,09	0,00	0,000
ER2	5,00	5,00	25,00	8,54	0,00	0,001
ER3	1,20	2,40	2,88	36,37	0,00	0,010
ER4	5,00	5,00	25,00	38,82	0,00	0,039
ER5	0,90	1,30	1,17	51,12	0,90	0,000
Totale			56,93	Φ		0,050

In definitiva, i fattori di vista e i valori della potenza radiante calcolati per i 4 punti sono i seguenti:

	A	B	C	D
Φ	0,031	0,038	0,039	0,050
E (kW/m²)	2,94	3,57	3,67	4,73

Risultando la distanza dal bersaglio pari a 8,00 m, si può affermare che tale separazione è sufficiente, in quanto la potenza termica radiante riscontrata sulla superficie ricevente è ampiamente inferiore al valore $E_{\text{soglia}} = 12,6 \text{ kW/m}^2$.

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata valutata, dapprima mediante le *soluzioni conformi* e poi mediante una *soluzione alternativa*, la distanza di separazione su spazio a cielo libero di un deposito di pallet esterno rispetto ad un capannone.

Nel caso delle soluzioni conformi il metodo proposto dal Codice è, per ovvie ragioni, cautelativo, in quanto la potenza termica irradiante viene calcolata nell'ipotesi di bersaglio e sorgente in asse, quindi con fattore di vista F_{2-1} massimo.

Nel caso esaminato si fa notare, inoltre, che la procedura tabellare risulta meno cautelativa di quella analitica, il che apparrebbe contrario alla filosofia del Codice, che prevede risultati più cautelativi se valutati con metodi semplificati.

Ciò si spiega facilmente osservando che le tabb. S.3-10 e S.3-11 utilizzate per ricavare i coefficienti alpha e beta sono state ottenute ponendo d_r pari a 2 m (vedasi nota par. S.3.11.3 comma 6). Pertanto è ragionevole dedurre che la procedura analitica va sempre utilizzata in tutti i casi in cui $d_r > 2$ m, al fine di ottenere soluzioni corrette.

Nell'utilizzo di una soluzione alternativa si è osservato, inoltre, quanto sia impattante, sul valore della potenza termica radiante, calcolare F_{2-1} secondo la reale configurazione geometrica relativa tra sorgente e bersaglio: nel punto di quest'ultimo più esposto all'incendio il valore di F_{2-1} è pari a 0,050, contro il valore di 0,132 in soluzione conforme.

Semplicemente calcolando in maniera più realistica F_{2-1} , tenendo conto della posizione reciproca reale tra sorgente e bersaglio, si ottengono valori della potenza termica radiante più vicini a quelli reali.

Pertanto è chiaro che, qualora si mettano in campo competenze, professionalità e serietà, è possibile ottenere in soluzione alternativa risultati altrettanto sicuri di quelli ricavati con le soluzioni conformi proposte in prima battuta dal Codice.

Si intuiscono le ampie possibilità di calcolare più accuratamente anche gli altri fattori che entrano in gioco nella valutazione dell'irraggiamento e quindi come la reale potenza radiante possa essere significativamente inferiore a quella valutata secondo la metodologia semplificata proposta dal Codice.

❖ *Commento dei risultati*

La potenza termica radiante generata dall'incendio, che può generarsi nel deposito di pelli, agente sul bersaglio esterno, è stata valutata sia in soluzione conforme, secondo le procedure tabellare e analitica, sia alternativa, utilizzando la procedura analitica calcolando però il fattore di configurazione F_{2-1} secondo la metodologia proposta dall'Eurocodice 1991-1-2.

I risultati ottenuti evidenziano le significative differenze tra un approccio di tipo prescrittivo, pertanto volutamente conservativo, in quanto valido per tutte le possibili casistiche, e quello prestazionale, basato nel caso in esame su una più precisa valutazione del solo fattore di vista F_{2-1} .

Caso studio 2: stabilimento per attività di produzione e stoccaggio di materiale plastico

Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un'attività per la produzione di compound di polipropilene con cariche minerali.

Lo stabilimento oggetto dello studio è suddiviso in tre aree/compartimenti: uffici, produzione e magazzino carico e scarico merci; l'area adibita ad uffici si sviluppa su due piani, per una superficie complessiva pari a circa 268 m², l'area *produzione* si sviluppa su un unico piano, per una superficie complessiva pari a circa 3648 m² e l'area adibita a *magazzino carico/scarico* presenta una superficie pari a circa 2760 m².

L'area di carico e scarico è ospitata all'interno della struttura avente copertura in acciaio mentre gli uffici e l'area di produzione presentano un'ossatura principale in CLS armato prefabbricato.

L'area di carico e scarico è ospitata all'interno della struttura avente copertura in acciaio mentre gli uffici e l'area di produzione presentano un'ossatura principale in CLS armato prefabbricato.

Il tamponamento della struttura è eseguito mediante pannelli orizzontali in conglomerato cementizio con spessore di 12 cm, armati con rete metallica elettrosaldata, contenenti all'interno uno strato di polistirolo espanso ed irrigiditi verticalmente da nervature armate.

Tali elementi di parete sono posti in opera appoggiati ed inseriti in apposite gole ricavate nei pilastri.

La compartimentazione sarà realizzata secondo quanto prescritto nel par. S.3.1, ovvero tramite la realizzazione di compartimenti antincendio e l'interposizione di distanze di separazione, tra opere da costruzione o altri bersagli combustibili ubicati a cielo libero.

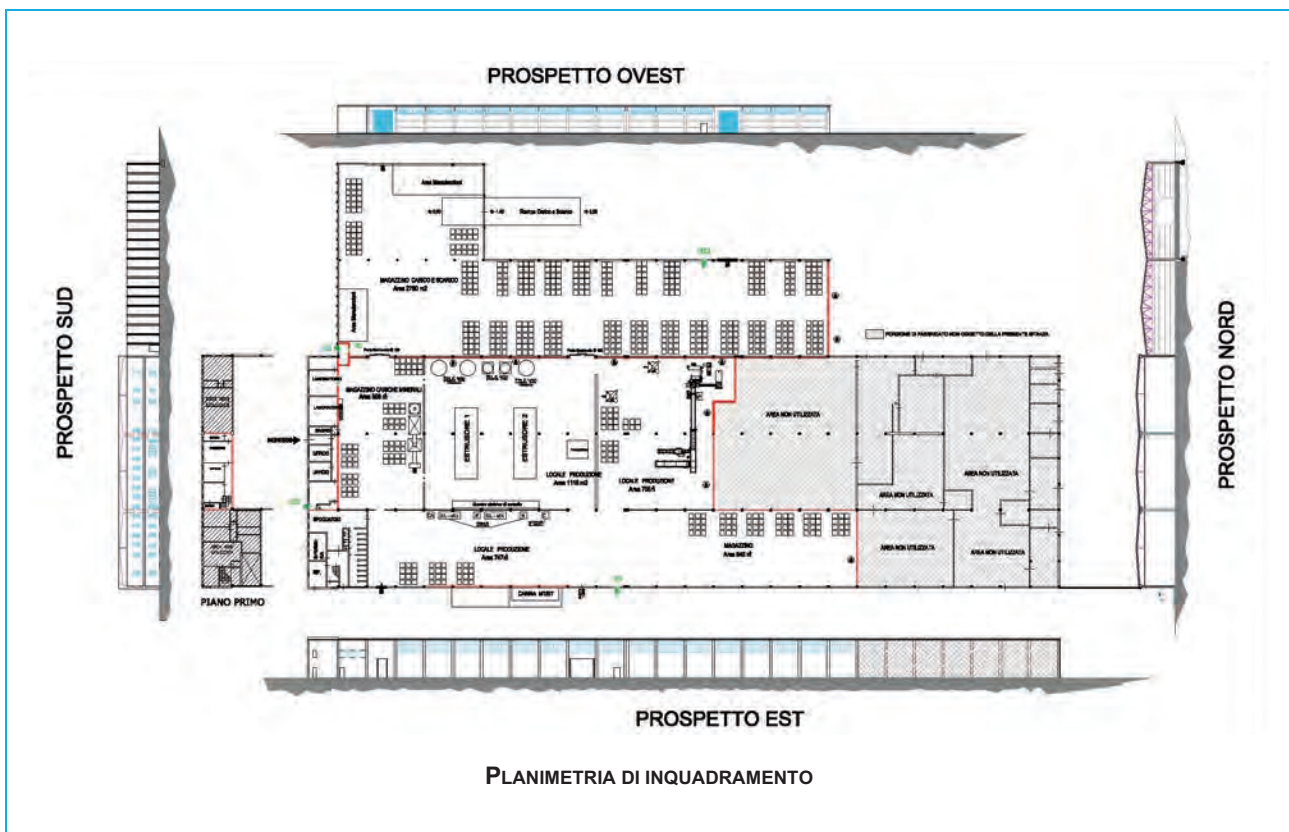
L'applicazione della soluzione conforme della misura antincendio S.3 *Compartimentazione* del Codice consentirà di definire la distanza di separazione, calcolata con la metodologia della piastra radiante, all'interno del *magazzino carico e scarico* tra i materiali combustibili stoccati e tra le pareti perimetrali del fabbricato e i depositi di stoccaggio esterni.

I depositi di materiali esterni saranno disposti, come all'interno del compartimento esaminato, in isole di specifiche dimensioni, con lo scopo di confinare l'incendio qualora dovesse verificarsi.

Particolare attenzione sarà posta su questo aspetto, effettuando anche valutazioni con modelli avanzati (*Fire Safety Engineering*) e prevedendo rigide prescrizioni da attuare e tenere costantemente sotto controllo nella GSA (S.5).

Di seguito si riportano le principali considerazioni svolte per le misure antincendio S.2, S.3 e S.5.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:



Superficie dello stabilimento	7200 m ²
Apparecchiatura costruttiva	Aree produzione e uffici: strutture in CLS armato prefabbricato; magazzino carico e scarico: pilastri in CLS armato prefabbricato e copertura in acciaio
Numero occupanti	12
Profili di rischio R _{vita}	Compartimenti <i>produzione e magazzino carico/scarico</i> A3; <i>uffici</i> A2 (par. G.3.2.2)
Profilo di rischio R _{beni}	Attività non vincolata né strategica = 1 (par. G.3.3)
Profilo di rischio R _{ambiente}	Non significativo (par. G.3.4)
Reazione al fuoco	Livello I di prestazione (parr. S.1.3 e S.1.4)
Resistenza al fuoco	Livello II di prestazione (parr. S.2.3, S.2.4.2 e S.2.4.7)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (parr. S.3.3 e S.3.4.1)
Esodo	Livello I di prestazione (parr. S.4.3 e S.4.4.1)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (parr. S.5.3 e S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (parr. S.6.3 e S.6.4.2) Rete di Idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello III di prestazione (parr. S.7.3 e S.7.4.3) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (parr. S.8.3 e S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (parr. S.9.3 e S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (parr. S.10.3 e S.10.4.1)



BIG BAG DISPOSTI IN APPOSITE ISOLE DI STOCCAGGIO

Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi

Trattasi di attività classificata al punto 44.3.C dell'Allegato I del d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151: "Stabilimenti e impianti ove si producono, lavorano e/o detengono materie plastiche, con quantitativi in massa superiori a 5000 kg".

In particolare, si avranno, al massimo, circa 210000 kg nel compartimento *produzione* e circa 280000 kg nel compartimento *magazzino carico e scarico*.

Riferimenti normativi

- d.m. 3 agosto 2015 - "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del d.lgs. 8 marzo 2006, n. 139" - Aggiornamento d.m. 18 ottobre 2019, come aggiornata dai decreti 14 febbraio 2020 e 6 aprile 2020 per la sezione V.

Obiettivi dello studio

Ci si propone, nell'ambito generale della progettazione antincendio dell'attività, di focalizzare l'attenzione sulla misura antincendio *Compartimentazione*, dimostrando l'adeguatezza di tale misura, sia interna che esterna, attraverso l'interposizione di opportune distanze di separazione, sia mediante l'utilizzo di *soluzione conforme*, con la metodologia delle piastre radianti, sia mediante approccio ingegneristico.

Per motivi didattici e di brevità nell'esposizione si riporterà tale confronto solo per il compartimento *magazzino di carico e scarico*.

Tale compartimento, infatti, avendo copertura realizzata con elementi metallici di classe 4, possiede una resistenza al fuoco piuttosto limitata e il relativo collasso strutturale avviene per condizioni di incendio localizzato, senza che si verifichi il *flash-over*.

Il calcolo del tempo di resistenza al fuoco è stato quindi considerato come un aspetto da attenzionare nella valutazione della massima propagazione dell'incendio, sia internamente che esternamente, dall'attività oggetto di studio.

Pertanto, nelle valutazioni successive in *soluzione alternativa*, si valuterà la potenza termica radiante dovuta all'incendio naturale, che ci si aspetta significativamente inferiore a quella valutata convenzionalmente per l'incendio nominale.

Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3

Il presente caso studio rappresenta un valido esempio di connessione tra le misure antincendio *Resistenza al fuoco S.2*, *Compartimentazione S.3* e *Gestione della sicurezza antincendio S.5*.

Per il compartimento *magazzino di carico/scarico* si procederà, pertanto, prioritariamente alla verifica della condizione di collasso strutturale implosivo a seguito di incendio localizzato.

Nelle strutture in acciaio l'analisi strutturale gioca un ruolo importante nella valutazione delle distanze di separazione, e più in generale per la compartimentazione: tali strutture, infatti, essendo per la maggior parte dei casi (soprattutto quelle esistenti) costruite con elementi molto snelli rientranti in classe 4 a caldo, raggiungono facilmente il collasso per incendi localizzati che rilasciano potenza di irraggiamento piuttosto contenuta.

Determinazione della classe di resistenza al fuoco

In funzione dei profili di rischio, delle caratteristiche del fabbricato e della densità di affollamento, alla misura antincendio *Resistenza al fuoco* è stato attribuito il livello di prestazione II, per il quale è richiesto il mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione, nonché l'assenza di conseguenze ad altre opere da costruzione (o a porzioni di opere da costruzione) limitrofe o all'esterno del confine su cui sorge l'attività.

Soluzione conforme S.2

La soluzione conforme per il livello di prestazione II (par. S.2.4.2) richiede:

1. interposizione di distanza di separazione su spazi a cielo libero non inferiore alla massima altezza della costruzione verso altre opere da costruzione e verso il confine dell'area su cui sorge l'attività;
2. la verifica delle prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni in base agli incendi convenzionali;
3. classe di resistenza al fuoco pari almeno a 30 min.

I pilastri del *magazzino carico/scarico* sono prefabbricati in calcestruzzo armato sono stati verificati con metodo tabellare, laddove possibile, e con calcoli analitici semplificati secondo quanto prescritto nell'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-2) ed hanno soddisfatto la verifica dei 30 min con curva ISO 834.

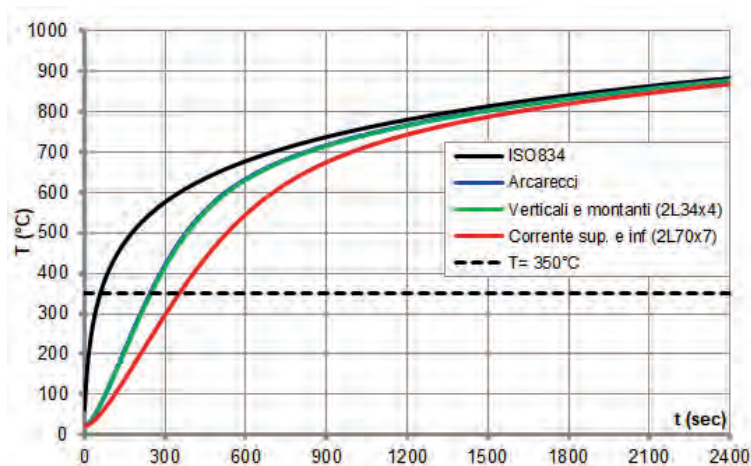
Elemento strutturale	Metodo di verifica	Verifica R30
Trave principale	tabellare	OK
Arcarecci	analitico	OK
Trave di collegamento	tabellare	OK
Pilastro centrale	analitico	OK
Pilastro laterale	analitico	OK

Per il calcolo della resistenza al fuoco degli elementi in acciaio costituenti la copertura del compartimento *magazzino carico e scarico*, si applica quanto prescritto nell'Eurocodice 3 (EN 1993-1-2) ed in particolare, essendo tutte le sezioni di classe 4, si ottiene la limitazione dei 350°C nel caso di elementi compressi.

Si evince pertanto, che nel caso di adozione della *soluzione conforme* prevista per il livello di prestazione II, l'intera copertura del magazzino dovrebbe essere protetta per poter raggiungere la prestazione di resistenza al fuoco R30.

Ciò porrebbe in essere sia problematiche economiche, per il costo del prodotto, sia tecniche, per la corretta individuazione e posa in opera del protettivo, sia manutentive, al fine di garantire la costanza della prestazione nel tempo.

Si sceglie pertanto di procedere con *soluzione alternativa* per il compartimento *magazzino carico e scarico*.



TEMPERATURA LIMITE SECONDO EUROCODICE 3 PARTE 1-2

Si precisa che ai materiali strutturali è stato applicato un fattore di confidenza FC pari a 1,2 per abbattere resistenza e rigidità, secondo quanto prescritto nelle NTC 2018 (tab. C8.5.IV) per un livello di conoscenza LC pari a 2, essendo state condotte sulle strutture prove estese in situ.

Soluzione alternativa S.2

La *soluzione alternativa* per il livello di prestazione II (par. S.2.4.7) richiede:

- compartimentazione rispetto ad altre costruzioni;
- assenza di danneggiamento ad altre costruzioni o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività per effetto di collasso strutturale;
- mantenimento della capacità portante in condizioni di incendio per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione. La capacità portante deve essere comunque tale da garantire margine di sicurezza $t_{\text{marg}} \geq 100\%$ RSET o comunque un tempo di resistenza ≥ 15 min.

Come noto, il tempo necessario per l'esodo (RSET) è composto da quattro tempi (vedi par. M.3.4):

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

La verifica di resistenza al fuoco deve pertanto soddisfare almeno i 15 min e garantire un tipo di collasso implosivo che non comporti danni alle strutture adiacenti.

Per il calcolo di resistenza al fuoco si è scelto il codice di calcolo SAFIR, sviluppato dall'Università di Liegi, accoppiato alla simulazione fluidodinamica in FDS per la valutazione del cimento termico.

È infatti possibile far comunicare i due codici di calcolo mediante un file di interscambio di dati, in cui sono riportate le intensità di radiazione valutate rispetto ad un numero discreto di angoli solidi, che consente di abbinare una valutazione più approfondita del campo di temperature generato a una più raffinata e conseguente analisi termica degli elementi costituenti la struttura in esame.

Tale output di FDS diventa pertanto un input per il codice FEM termo-strutturale, il quale calcola puntualmente l'effettivo riscaldamento di ciascun elemento e quindi esegue la conseguente analisi meccanica, considerando sia la non linearità del materiale che quella geometrica, secondo quanto stabilito nella EN 1993-1-2.

Per tener conto della presenza di elementi in classe 4, che non raggiungono il limite elastico quando sollecitati a compressione, è stato utilizzato uno specifico legame costitutivo asimmetrico, modificato essenzialmente nella sola parte di compressione, in maniera da poter tener in conto di eventuali instabilità locali in maniera equivalente, con alcune valide semplificazioni, rispetto al metodo della sezione ridotta.

Per il modello strutturale la travatura metallica è discretizzata con elementi "beam", ai quali si collegano tramite cerniera i pilastri in calcestruzzo armato, anche essi modellati con elementi "beam".

Agli estremi dei pilastri in condivisione con il compartimento *produzione* sono stati assegnati vincoli di carrello nella direzione del piano della travatura, coincidente con quella globale X.

Con lo scopo di ridurre l'onere computazionale delle analisi dinamiche non lineari è stata realizzata una parte del compartimento *magazzino carico e scarico*, ottenendo risultati globalmente significativi, avendo valutato che l'incendio si mantiene localizzato fino al collasso strutturale.

Per quel che riguarda il modello a volumi finiti realizzato in FDS, si dispone il materiale combustibile in apposite isole di stoccaggio aventi dimensioni e distanziamento calcolate con la procedura analitica che segue e si attribuisce a ciascun *big bag*¹² componente queste isole la temperatura di accensione di 340°C, valutata in maniera cautelativa secondo dati di letteratura consolidati.

Sulla copertura sono stati inseriti degli elementi simulanti i lucernari in policarbonato, i quali, raggiunto il valore di 150°C, vengono automaticamente rimossi.

Ai vetri delle finestre che danno verso l'esterno dell'attività è stato associato invece un *device* che li rimuove, simulando la rottura, a temperature raggiunte di 100°C.

Inoltre una parte delle aperture è di tipo SEa, come previsto al par. S.8.5.1 del Codice in considerazione dell'elevato quantitativo di materiale combustibile.

Per gli scenari considerati, oltre a verificare la resistenza al fuoco dei 15 min richiesti, è necessario tuttavia verificare che un eventuale incendio nel compartimento *magazzino carico/scarico* non comporti danni strutturali alla zona produzione, essendo i confini verso altre attività ad una distanza superiore alla massima altezza della costruzione.

Pertanto il collasso dovrà essere di tipo implosivo relativamente al compartimento *produzione*.

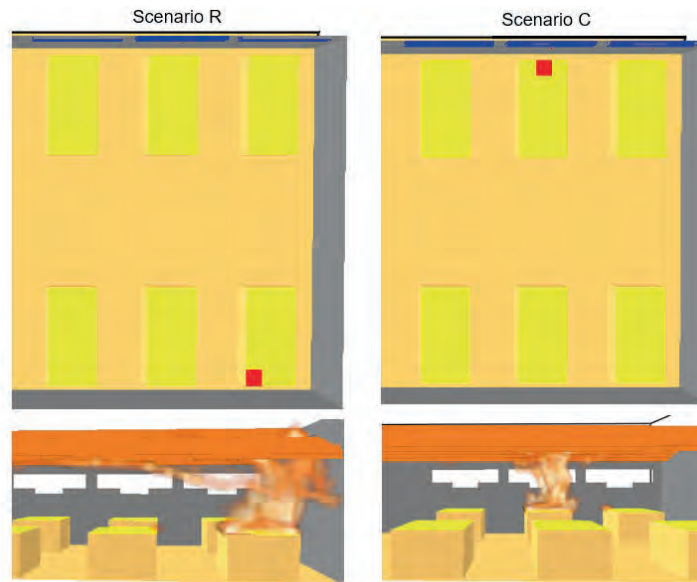
A tal proposito si è ritenuto necessario controllare che, a seguito delle sollecitazioni aggiuntive prodotte dall'azione termica dell'incendio, la struttura metallica tenda a collassare prima dei pilastri in calcestruzzo armato e che questi ultimi, in particolare quelli in comune con il compartimento *produzione*, non subiscano spostamenti che ne possano compromettere la prestazione o che comunque li possano danneggiare in maniera significativa.

Il valore di spostamento che si assume come limite è quello definito nel Codice per il livello di prestazione IV, ovvero $\delta_{h,max}/h < 1/100$, essendo l'altezza dei pilastri in condivisione con il compartimento *produzione* pari a 7 m e quella dei pilastri esterni pari a 5 m.

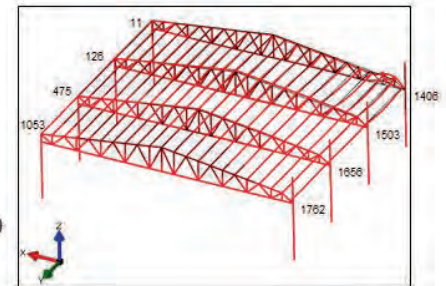
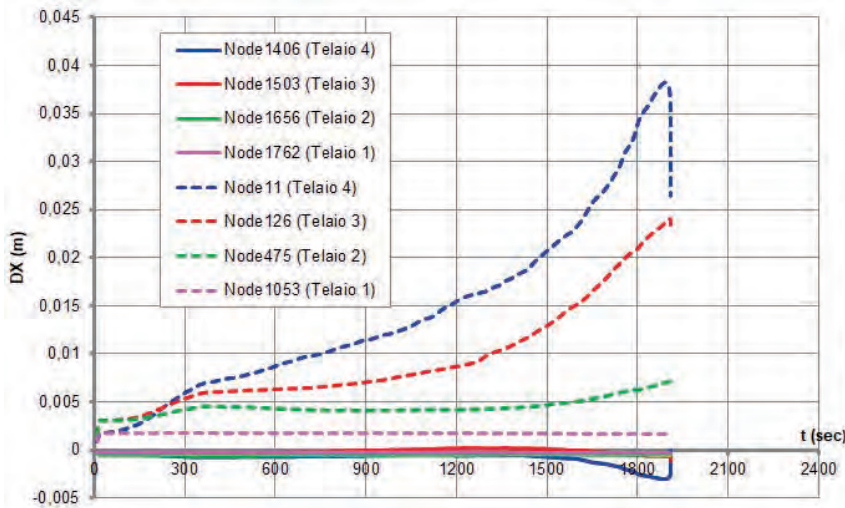
Ciò anche al fine di non indurre danni nei tamponamenti di separazione con il compartimento *produzione* che ne potrebbero compromettere le caratteristiche di tenuta ed isolamento.

Tra gli scenari di incendio considerati si riportano i risultati delle analisi dinamiche non lineari dello scenario denominato "R", con innesco in prossimità del muro di separazione compartimenti *produzione-magazzino*, per il quale l'analisi si arresta a 1908 s (circa 32 min) a seguito dell'instabilità del montante e del diagonale e lo scenario denominato "C", con innesco in prossimità delle finestre, per il quale si ottiene un tempo di collasso pari a 2238 s (circa 37 min) dovuto ad instabilità del corrente superiore, come mostrato nelle figure seguenti.

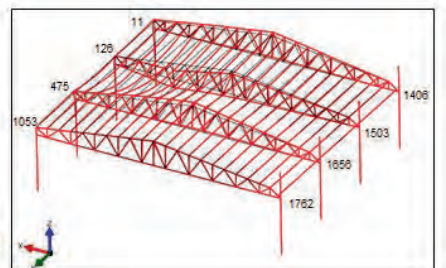
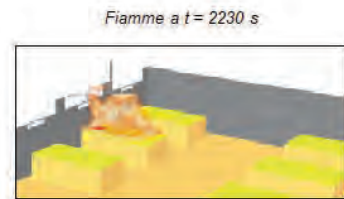
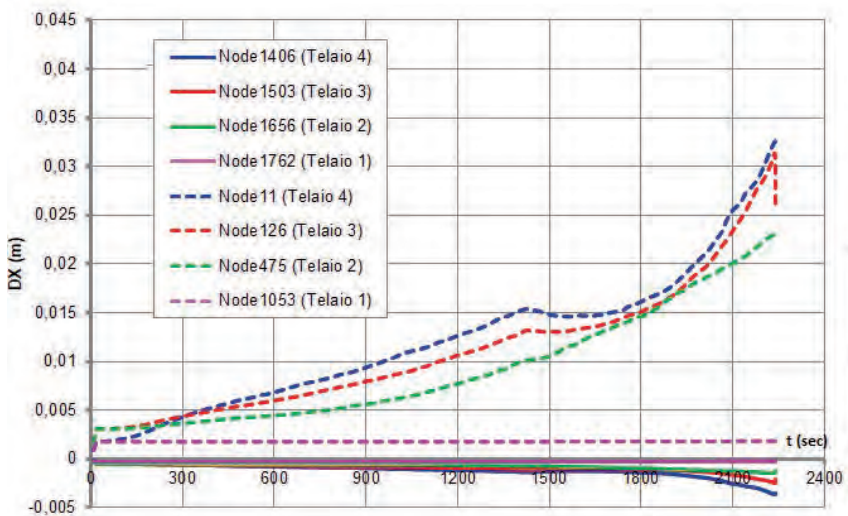
¹² I *big bag* sono contenitori di grandi dimensioni, realizzati principalmente in polipropilene, impiegati per lo stoccaggio, in molti settori produttivi; la portata di un *big bag* varia fino a 2000 kg e oltre.



LOCALIZZAZIONE DELL'INNESCO NEGLI SCENARI "R" E "C"



SPOSTAMENTI ORIZZONTALI (DX) DEI NODI DI INTERSEZIONE PILASTRI E TRAVATURA METALLICA - SCENARIO "R"



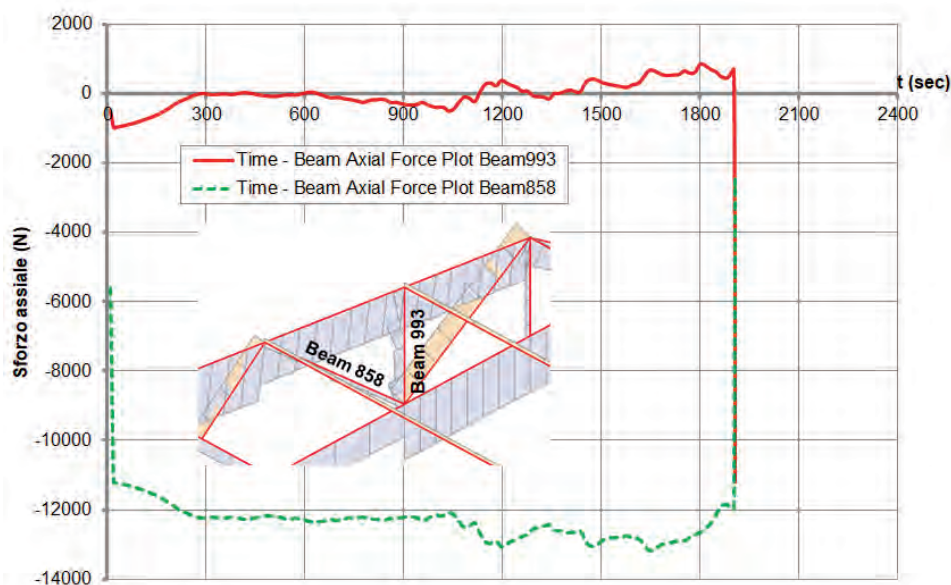
SPOSTAMENTI ORIZZONTALI (DX) DEI NODI DI INTERSEZIONE PILASTRI E TRAVATURA METALLICA - SCENARIO "C"

A valle delle analisi condotte, si evidenzia che gli spostamenti risultano contenuti nei limiti imposti dalla norma (spostamento massimo 7 cm) e questo permette di concludere che un incendio nel compartimento *magazzino carico/scarico* non compromette in alcun modo né i pilastri in calcestruzzo armato che sono in comune con il compartimento adiacente né le pareti agli stessi collegate e che il requisito dei 15 min di prestazione di resistenza al fuoco è soddisfatto.

Per la verifica dell'avvenuto collasso di tipo implosivo è necessario osservare l'andamento degli spostamenti orizzontali in sommità dei pilastri per valutare che in entrambi gli scenari, ad una iniziale espansione verso l'esterno segue, nel momento del collasso, un cambio di direzione degli spostamenti, il che mostra la tendenza della struttura analizzata verso un collasso di tipo implosivo, che però è fortemente condizionato dall'instabilità locale delle sezioni, tutte di classe 4.

Si nota infatti che il quadro deformativo globale della struttura non è eccessivo in termini di spostamenti e deformazioni, considerando le non linearità geometriche e meccaniche ben rappresentate nel codice di calcolo.

Analizzando i risultati anche in termini di sollecitazioni dello scenario "R", ricordando che le sezioni di classe 4 non sono in grado di sviluppare una significativa capacità di redistribuzione delle stesse, si è evinto che il collasso si verifica nei montanti e nelle diagonali alle estremità dei telai più riscaldati, laddove gli sforzi di compressione sono massimi e causano l'instabilizzazione locale delle esili sezioni 2L35x4, vedi figura seguente.

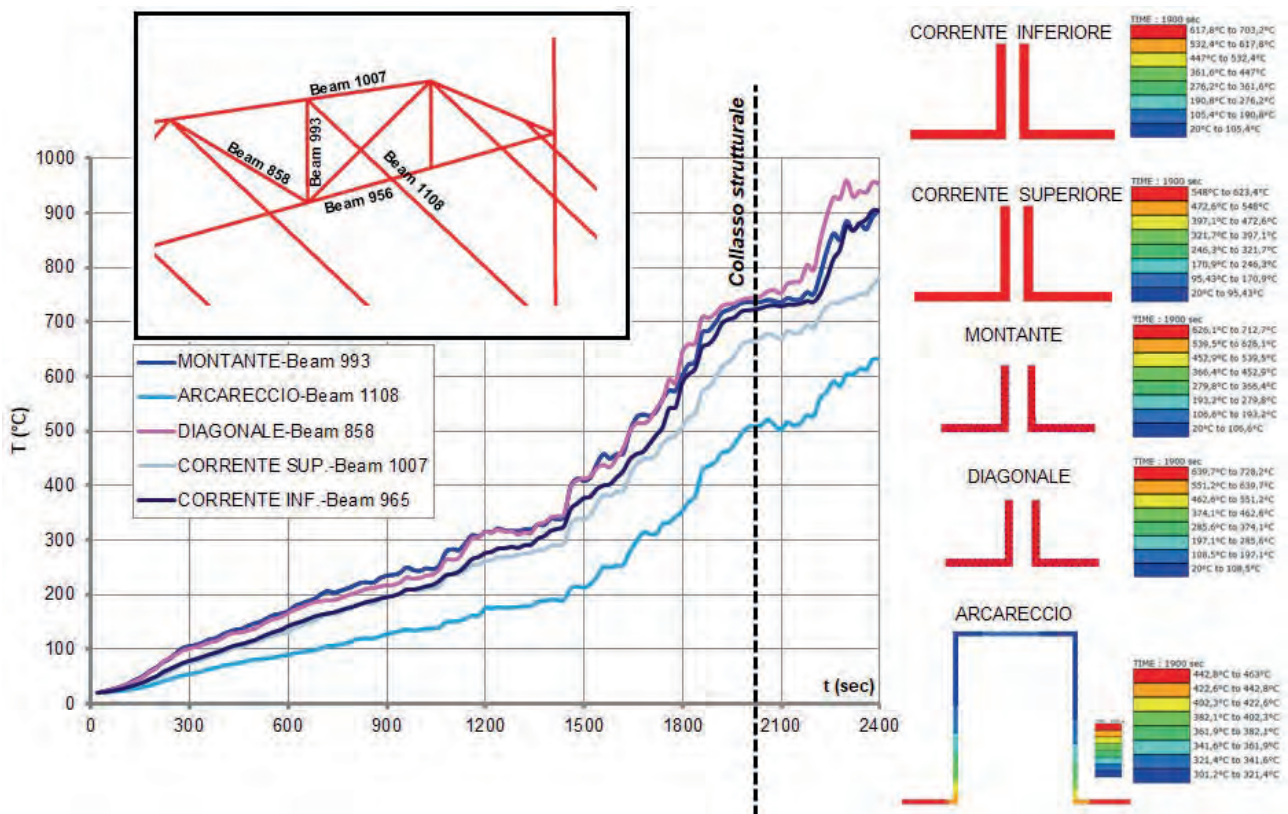


SFORZO ASSIALE MONTANTI E DIAGONALI - SCENARIO "R"

Vale la pena valutare la distribuzione delle temperature nella zona che dà il via al collasso strutturale, nello scenario "R".

Come si evince dalla figura seguente, l'aver connesso i due codici di calcolo (SAFIR e FDS), mediante un file di interscambio di dati, ha permesso una realistica valutazione del campo di temperature generato, che difficilmente si sarebbe ottenuta con il metodo "usuale" che vede l'applicazione di un numero contenuto di curve naturali *temperatura-tempo* scelte dal progettista.

La procedura utilizzata in questo caso studio invece permette di modellare le modalità con le quali l'incendio aggredisce effettivamente gli elementi strutturali, tenendo automaticamente conto della variabilità spaziale e temporale, del fattore di configurazione, dell'effetto ombra, ecc..



TEMPERATURE NEGLI ELEMENTI STRUTTURALI IN ACCIAIO - SCENARIO "R"

Soluzione conforme - metodologia delle piastre radianti

In funzione dei profili di rischio e delle caratteristiche del fabbricato, alla misura antincendio *Compartimentazione* è stato attribuito il livello di prestazione II, per il quale viene richiesto di contrastare, per un periodo congruo con la durata dell'incendio, la propagazione dell'incendio verso altre attività e all'interno della stessa.

La *soluzione conforme* per il livello di prestazione II (par. S.3.4.1) richiede:

1. per limitare la propagazione *verso altre attività* di impiegare almeno una delle seguenti soluzioni conformi:
 - a) inserire le diverse attività in compartimenti antincendio distinti;
 - b) interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra le diverse attività.

2. per limitare la propagazione dell'incendio *all'interno della stessa attività* di impiegare almeno una delle seguenti soluzioni conformi:
 - a) suddividere la volumetria dell'opera da costruzione contenente l'attività in compartimenti antincendio opportunamente progettati;
 - b) interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra ambiti della stessa attività.

Progettazione dei compartimenti antincendio

La massima superficie lorda del compartimento viene verificata (par. S.3.6 e tab. S.3-6) in funzione del profilo di rischio R_{vita} e della quota del medesimo che, nel caso in esame è inferiore ai 12 m.

R_{vita}	Quota del compartimento								
	< -15 m	< -10 m	< -5 m	< -1 m	≤ 12 m	≤ 24 m	≤ 32 m	≤ 54 m	> 54 m
A1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
A2	1000	2000	4000	8000	64000	16000	8000	4000	2000
A3	[na]	1000	2000	4000	32000	4000	2000	1000	[na]
A4	[na]	[na]	[na]	[na]	16000	[na]	[na]	[na]	[na]
B1	[na]	2000	8000	16000	64000	16000	8000	4000	2000
B2	[na]	1000	4000	8000	32000	8000	4000	2000	1000
B3	[na]	[na]	1000	2000	16000	4000	2000	1000	[na]
Cii1, Ciii1	[na]	[na]	[na]	2000	16000	8000	8000	8000	4000
Cii2, Ciii2	[na]	[na]	[na]	1000	8000	4000	4000	2000	2000
Cii3, Ciii3	[na]	[na]	[na]	[na]	4000	2000	2000	1000	1000
D1	[na]	[na]	[na]	1000	2000	2000	1000	1000	1000
D2	[na]	[na]	[na]	1000	2000	1000	1000	1000	[na]
E1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
E2	1000	2000	4000	8000	[1]	16000	8000	4000	2000
E3	[na]	[na]	2000	4000	16000	4000	2000	[na]	[na]

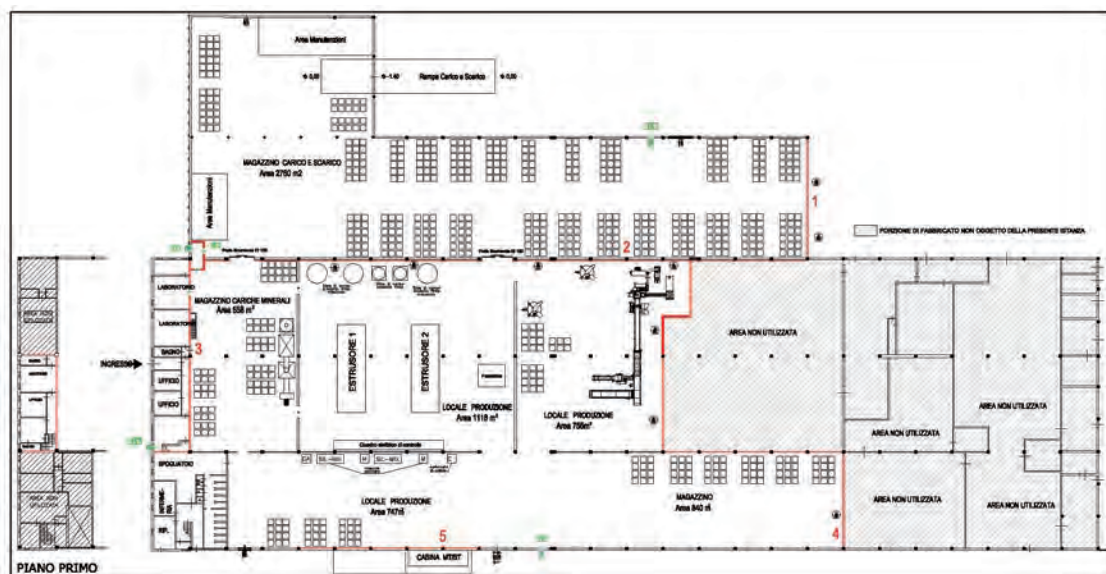
La massima superficie lorda è ridotta del 50% per i compartimenti con $R_{ambiente}$ significativo [na] Non ammesso [1] Senza limitazione

TABELLA S.3-6: MASSIMA SUPERFICIE LORDA DEI COMPARTIMENTI IN M²

Per il compartimento *uffici* (profilo di rischio R_{vita} A2 e superficie pari a 268 m²) la superficie massima corrispondente è pari a 64000 m²; per i compartimenti *produzione* e *carico/scarico* (profilo di rischio R_{vita} A3 e superfici rispettive pari a 3648 e 2760 m²) la superficie massima corrispondente è pari a 32000 m². La verifica risulta largamente soddisfatta.

Selezione delle prestazioni degli elementi

Sono cinque le pareti per le quali è necessario garantire prestazioni in caso di incendio al fine di garantire la compartimentazione.



PARETI DI COMPARTIMENTAZIONE

➤ **Parete 1**

è la parete finale del *magazzino carico/scarico* realizzata con pannelli certificati EI30.

➤ **Parete 2**

è la parete che separa l'area *magazzino carico/scarico* da quella *produzione*; al fine di renderla EI30, sarà applicato uno strato di vernice intumescente in soluzione acquosa.

La parete è lunga circa 102 m, alta circa 5 m e con spessore pari a 0,45 m.

➤ **Pareti 3**

sono le pareti che separano l'area *produzione* dai locali dell'area *uffici*; sono realizzate in mattoni forati, alte 3 m con spessore pari a 0,30 m.

Anche in questo caso non è necessario l'applicazione di alcun protettivo essendo già classificate EI30.

➤ **Pareti 4**

sono le pareti che separano l'area *produzione* dall'area non utilizzata del fabbricato.

Tali pareti saranno realizzate con pannelli in calcio fibrosilicato tali da garantire EI30.

➤ **Parete 5**

è quella in prossimità della cabina elettrica di trasformazione; al fine di renderla EI30, sarà applicato uno strato di vernice intumescente in soluzione acquosa per una lunghezza di 30 m.

La parete è alta 5 m con spessore pari a 0,50 m.

Continuità dei compartimenti

Sono presenti due porte EI120 tra il compartimento *magazzino carico/scarico* e *produzione*; tali porte devono essere considerate chiuse durante l'esercizio dell'attività.

Tra i predetti compartimenti è presente inoltre un filtro antincendio (par. S.3.5.4) dotato di tre porte antincendio. Una porta EI120 è presente anche tra il compartimento *uffici* e quello *produzione*.

Distanza di separazione per limitare la propagazione

Al fine di limitare la propagazione dell'incendio è necessario calcolare la distanza di separazione, secondo quanto prescritto nel par. S.3.8.

Per motivi didattici si presenterà solo il calcolo relativo al *magazzino carico e scarico*, di fronte al quale è disposto lo stoccaggio dei prodotti finiti.

Disposizione del materiale all'interno del magazzino

La disposizione del materiale all'interno del *magazzino carico/scarico* gioca un ruolo fondamentale nel confinamento di un eventuale incendio e nella valutazione della resistenza al fuoco, così come già evidenziato nella misura S.2.

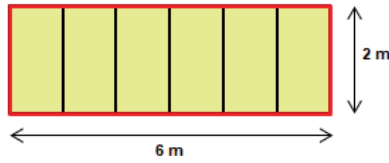
Il materiale è depositato in isole da 3 x 6 x 2 m poste ad una distanza calcolata sulla base delle considerazioni di seguito illustrate.

Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

Sulla base dei dati disponibili in letteratura, si determina il carico di incendio specifico di un *big bag* di peso pari a 1 t e composto da circa 600 kg di granuli di polipropilene e il restante da carbonato di calcio, occupante un volume pari a circa $1 \times 1 \times 2 = 2 \text{ m}^3$.

Ad un *big bag* corrisponde un $q_f = 27600 \text{ MJ/m}^2$.

Un'isola di stoccaggio composta da 18 *big bag*, disposti su un'area di 18 m^2 , avrà un carico di incendio specifico maggiore di 1200 MJ/m^2 ; per il calcolo con metodo tabellare si considera, pertanto, la tab. S.3-10.



B _i [m]	H _i [m]																			
	3		6		9		12		15		18		21		24		27		30	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
3	2,5	1,0	4,0	0,9	5,0	0,7	5,7	0,6	6,2	0,5	6,5	0,4	6,8	0,4	7,0	0,3	7,1	0,3	7,2	0,3
6	3,2	1,6	5,2	1,8	6,8	1,7	8,1	1,5	9,2	1,4	10,1	1,2	10,9	1,1	11,5	1,0	12,0	0,9	12,5	0,8
9	3,5	2,1	6,0	2,5	8,0	2,6	9,6	2,5	11,0	2,4	12,3	2,2	13,4	2,1	14,4	1,9	15,3	1,7	16,0	1,6
12	3,7	2,6	6,6	3,1	8,8	3,3	10,7	3,3	12,4	3,3	13,9	3,2	15,2	3,0	16,5	2,9	17,6	2,7	18,6	2,6
15	3,7	2,9	7,0	3,6	9,5	3,9	11,6	4,1	13,4	4,1	15,1	4,1	16,6	4,0	18,1	3,9	19,4	3,7	20,6	3,6
18	3,7	3,3	7,3	4,1	10,0	4,5	12,3	4,8	14,3	4,9	16,1	4,9	17,8	4,9	19,4	4,8	20,9	4,7	22,3	4,5
21	3,6	3,6	7,5	4,5	10,4	5,0	12,9	5,4	15,1	5,6	17,0	5,7	18,9	5,7	20,6	5,7	22,2	5,6	23,7	5,5
24	3,5	3,9	7,6	4,9	10,7	5,5	13,4	6,0	15,7	6,2	17,8	6,4	19,8	6,5	21,6	6,5	23,3	6,5	24,9	6,4
27	3,3	4,1	7,6	5,3	11,0	6,0	13,8	6,5	16,3	6,8	18,5	7,0	20,6	7,2	22,5	7,3	24,3	7,3	26,0	7,2
30	3,2	4,4	7,7	5,6	11,2	6,4	14,2	7,0	16,8	7,4	19,1	7,7	21,3	7,9	23,3	8,0	25,2	8,0	27,0	8,1
40	2,6	5,1	7,5	6,7	11,6	7,8	15,0	8,5	18,0	9,1	20,8	9,5	23,3	9,9	25,6	10,2	27,8	10,4	29,8	10,5
50	2,2	5,6	7,0	7,7	11,5	8,9	15,4	9,9	18,8	10,6	21,9	11,2	24,7	11,7	27,3	12,1	29,7	12,4	32,0	12,7
60	1,8	6,1	6,5	8,5	11,3	10,0	15,5	11,1	19,3	12,0	22,6	12,7	25,7	13,3	28,6	13,8	31,2	14,2	33,8	14,6

Per valori di B_i e H_i intermedi a quelli riportati in tabella si approssima al valore immediatamente successivo.
In alternativa può essere impiegata iterativamente la procedura analitica di cui al paragrafo S.3.11.3.

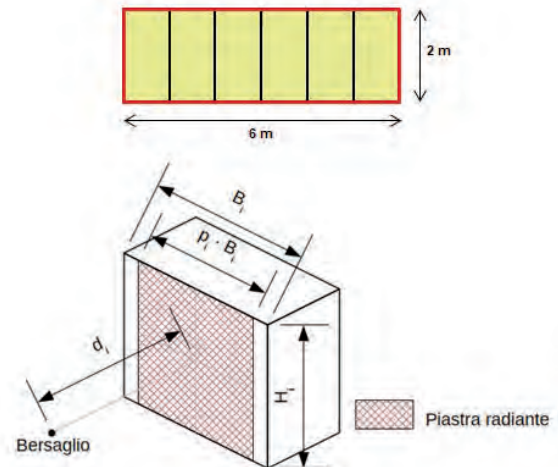
TABELLA S.3-10: COEFFICIENTI A E B PER ATTIVITÀ CON CARICO DI INCENDIO SPECIFICO $q_F > 1200 \text{ MJ/m}^2$

Dalla tab. S.3-10 si calcola che per una piastra avente B = 6 m, H = 3 m, p = 1 a cui corrispondono $\alpha = 3,2$ e $\beta = 1,6$, si ottiene una distanza di separazione pari a $d = \alpha p + \beta = 3,2 * 1 + 1,6 = 4,80 \text{ m}$.

Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione

Considerando una piastra radiante avente dimensioni pari a 6,00 x 2,00 m, con una percentuale di foratura pari a 1 (p) e un fattore di vista pari a 0,26 (F_{2-1}), si ottiene una distanza di separazione pari a 3,01 m.

Verifica analitica della distanza di separazione	
Distanza dal bersaglio "d"	3,01 m
<i>Dimensioni della piastra radiante</i>	
B	6,00 m
H	2,00 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	6,00 m
S _{pr}	12,00 m ²
S _{rad}	12,00 m ²
p	1,00
H	2,00 m
X	1,00
Y	0,33
F ₂₋₁	0,26
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	149 kW/m²
d _f	1,33
ε _f	0,33
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m²



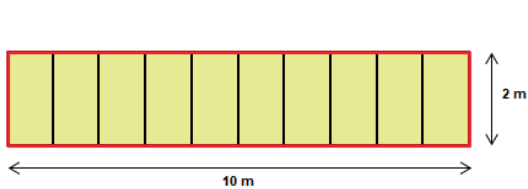
In definitiva, il materiale sarà disposto in isole da 3 x 6 x 2 m poste ad una distanza pari a 3,00 m. È bene tuttavia precisare che il calcolo della distanza di separazione permette di ottenere una valutazione delle distanze a cielo aperto e non considera il contributo di irraggiamento apportato da altri elementi radianti, cosa assolutamente probabile nel caso in questione.

Disposizione del materiale all'esterno del magazzino

All'esterno il materiale sarà stoccato in apposite isole di dimensioni al massimo di 10 x 10 x 2 m, il che equivale ad avere circa 100 big bag per ciascuna isola.

Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

Un'isola di stoccaggio composta da 100 big bag, disposti su un'area di 100 m², avrà un carico di incendio specifico maggiore di 1200 MJ/m²; per il calcolo con metodo tabellare si considera, pertanto, la tab. S.3-10.



B _i [m]	H _i [m]																			
	3		6		9		12		15		18		21		24		27		30	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
3	2,5	1,0	4,0	0,9	5,0	0,7	5,7	0,6	6,2	0,5	6,5	0,4	6,8	0,4	7,0	0,3	7,1	0,3	7,2	0,3
6	3,2	1,6	5,2	1,8	6,8	1,7	8,1	1,5	9,2	1,4	10,1	1,2	10,9	1,1	11,5	1,0	12,0	0,9	12,5	0,8
9	3,5	2,1	6,0	2,5	8,0	2,6	9,6	2,5	11,0	2,4	12,3	2,2	13,4	2,1	14,4	1,9	15,3	1,7	16,0	1,6
12	3,7	2,6	6,6	3,1	8,8	3,3	10,7	3,3	12,4	3,3	13,9	3,2	15,2	3,0	16,5	2,9	17,6	2,7	18,6	2,6
15	3,7	2,9	7,0	3,6	9,5	3,9	11,6	4,1	13,4	4,1	15,1	4,1	16,6	4,0	18,1	3,9	19,4	3,7	20,6	3,6
18	3,7	3,3	7,3	4,1	10,0	4,5	12,3	4,8	14,3	4,9	16,1	4,9	17,8	4,9	19,4	4,8	20,9	4,7	22,3	4,5
21	3,6	3,6	7,5	4,5	10,4	5,0	12,9	5,4	15,1	5,6	17,0	5,7	18,9	5,7	20,6	5,7	22,2	5,6	23,7	5,5
24	3,5	3,9	7,6	4,9	10,7	5,5	13,4	6,0	15,7	6,2	17,8	6,4	19,8	6,5	21,6	6,5	23,3	6,5	24,9	6,4
27	3,3	4,1	7,6	5,3	11,0	6,0	13,8	6,5	16,3	6,8	18,5	7,0	20,6	7,2	22,5	7,3	24,3	7,3	26,0	7,2
30	3,2	4,4	7,7	5,6	11,2	6,4	14,2	7,0	16,8	7,4	19,1	7,7	21,3	7,9	23,3	8,0	25,2	8,0	27,0	8,1
40	2,6	5,1	7,5	6,7	11,6	7,8	15,0	8,5	18,0	9,1	20,8	9,5	23,3	9,9	25,6	10,2	27,8	10,4	29,8	10,5
50	2,2	5,6	7,0	7,7	11,5	8,9	15,4	9,9	18,8	10,6	21,9	11,2	24,7	11,7	27,3	12,1	29,7	12,4	32,0	12,7
60	1,8	6,1	6,5	8,5	11,3	10,0	15,5	11,1	19,3	12,0	22,6	12,7	25,7	13,3	28,6	13,8	31,2	14,2	33,8	14,6

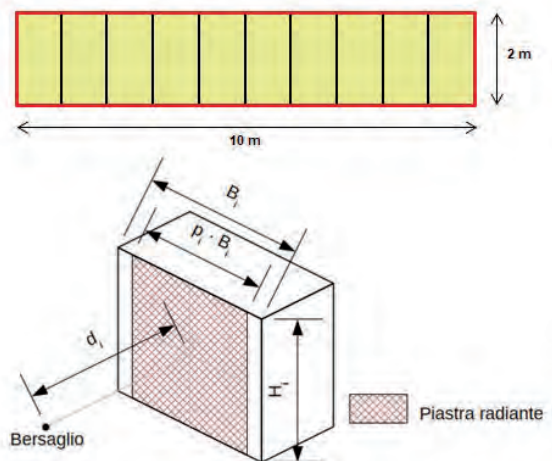
TABELLA S.3-10: COEFFICIENTI A E B PER ATTIVITÀ CON CARICO DI INCENDIO SPECIFICO q_F > 1200 MJ/m²

Dalla tab. S.3-10 si calcola che per una piastra avente B = 10 m, H = 3 m, p = 1 a cui corrispondono α = 3,7 e β = 2,6, si ottiene una distanza di separazione pari a d = α p + β = 3,7 * 1 + 2,6 = 6,30 m.

Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione

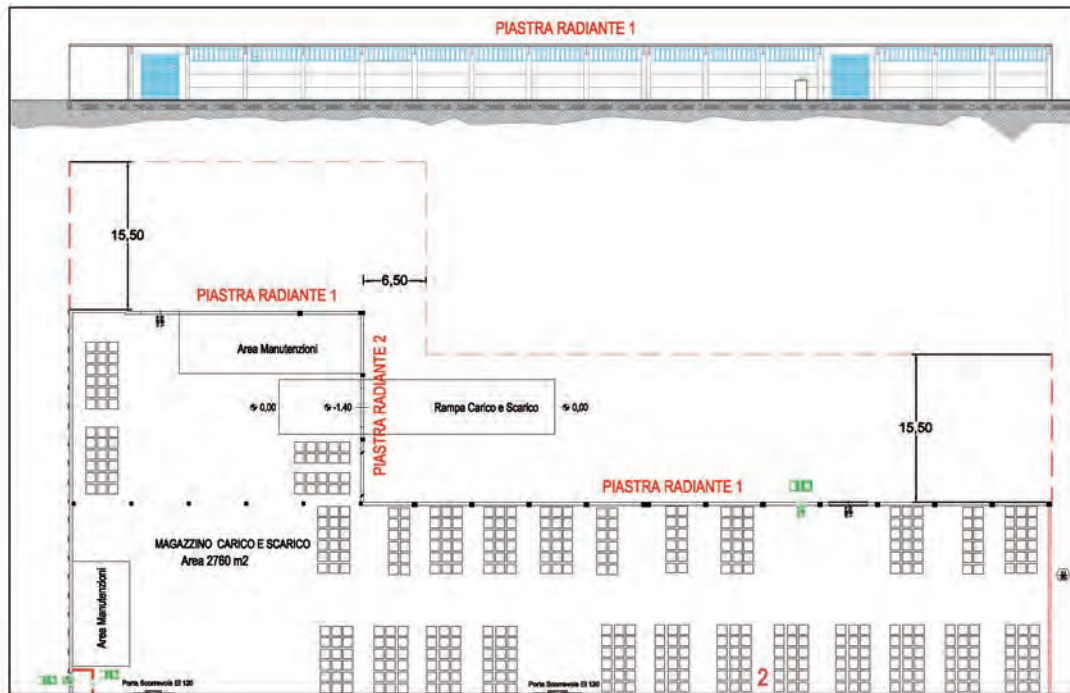
Considerando una piastra radiante avente dimensioni pari a 10,00 x 2,00 m, con una percentuale di foratura pari a 1 (p) e un fattore di vista pari a 0,26 (F₂₋₁), si ottiene una distanza di separazione pari a 3,42 m.

Verifica analitica della distanza di separazione	
Distanza dal bersaglio "d"	3,42 m
<i>Dimensioni della piastra radiante</i>	
B	10,00 m
H	2,00 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	10,00 m
S _{pr}	20,00 m ²
S _{rad}	20,00 m ²
p	1,00
H	2,00 m
X	1,46
Y	0,29
F ₂₋₁	0,26
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	149 kW/m²
d _f	1,33
ε _f	0,33
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m²



Distanza di separazione degli stoccaggi esterni dalle pareti del fabbricato

Si considera il prospetto Ovest del fabbricato per il quale si individuano due piastre radianti (PR1 e PR2) che potrebbero irradiare il materiale stoccato all'esterno del magazzino carico e scarico; si effettua, quindi, il calcolo della distanza di separazione, con la metodologia analitica, imponendo come soglia per l'irraggiamento termico il valore $12,6 \text{ kW/m}^2$ così come definito nel par. S.3.8.



PIASTRE RADIANTI 1 E 2 - MAGAZZINO CARICO/SCARICO

Piastra radiante PR1:

Elementi radianti				Piastra radiante PR1			p (%)
Codice	n.	Dimensioni cad. (mm x mm)	sup. cad. (m ²)	Codice	Dimensioni (m x m)	sup. (m ²)	144,66 / 483,60
ER1	2	400 x 480	19,20	PR1	B = 93,00 H = 5,20	483,60	
ER2	1	120 x 210	2,52				
ER3	14	570 x 130	7,41				
Totale			144,66	Totale		483,60	29,91%

Piastra radiante PR2:

La piastra radiante ha dimensioni $3,85 \times 5,20 \text{ m}$ e corrisponde al portone laterale da cui si caricano i camion.

Elementi radianti				Piastra radiante PR2			p (%)
Codice	n.	Dimensioni cad. (mm x mm)	sup. cad. (m ²)	Codice	Dimensioni (m x m)	sup. (m ²)	20,00 / 20,00
ER1	1	385 x 520	20,00	PR2	B = 3,85 H = 5,20	20,00	
Totale			20,00	Totale		20,00	100%

dove:

- B è la lunghezza della piastra radiante in m.
- H è l'altezza della piastra radiante in m;
- p è la percentuale di foratura della piastra radiante.

Applicando la procedura analitica di cui al par. S.3.11.3, si ottiene una distanza di separazione pari a 15,36 m.

Verifica analitica della distanza di separazione	
Distanza dal bersaglio "d"	15,36 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR1</i>	
B	93,00 m
H	5,20 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	93,00 m
S _{pr}	483,60 m ²
S _{rad}	144,66 m ²
p	0,30
H	5,20 m
X	0,91
Y	0,17
F ₂₋₁	0,13
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	149 kW/m ²
d _f	3,47
ε _f	0,65
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²

Verifica analitica della distanza di separazione	
Distanza dal bersaglio "d"	6,47 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR2</i>	
B	3,85 m
H	5,20 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	3,85 m
S _{pr}	20,02 m ²
S _{rad}	20,02 m ²
p	1,00
H	5,20 m
X	0,30
Y	0,40
F ₂₋₁	0,13
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	149 kW/m ²
d _f	3,47
ε _f	0,65
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²

In definitiva, dalle valutazioni eseguite, si disporrà il materiale combustibile in isole di stoccaggio da 10 x 10 x 2 m, distanti tra loro 3,50 m, e con distanza dal fabbricato pari a 15,50 m.

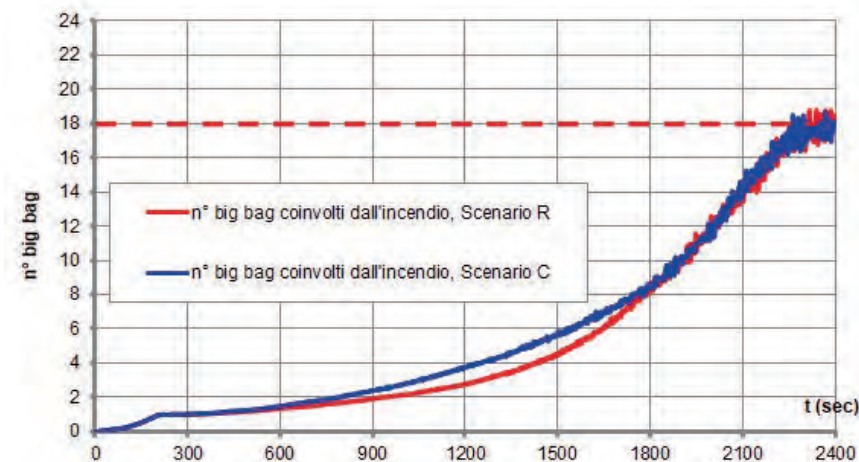
Soluzione alternativa

La *soluzione alternativa* per la misura antincendio *Compartimentazione* prevede, come noto, che qualora la si voglia adottare per la valutazione della distanza di separazione, sia necessario dimostrare la limitata propagazione dell'incendio e dei suoi effetti.

Come illustrato nel precedente caso studio, è possibile applicare la stessa procedura analitica del par. S.3.11.3, andando a modificare, ad esempio, il valore di soglia E₁ oppure il fattore di vista F₂₋₁ del bersaglio. È inoltre possibile impiegare modelli numerici di simulazione dell'incendio; nel presente caso studio si prende in considerazione il modello a volumi finiti realizzato in FDS.

Disposizione del materiale all'interno del magazzino

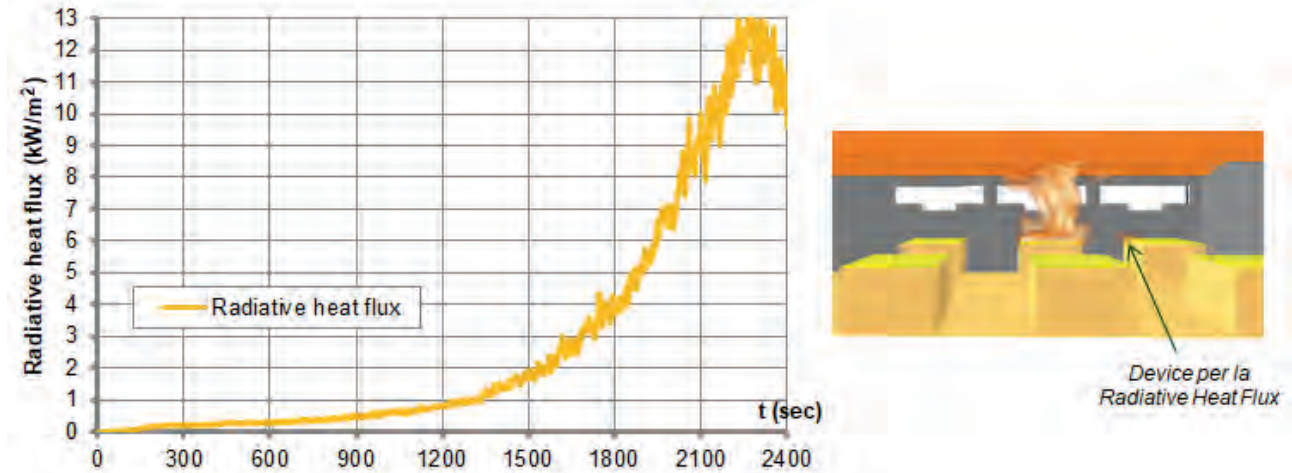
Analizzando i risultati degli scenari di incendio precedentemente descritti, si valuta che, a seguito dell'innesco di un *big bag*, che rimane localizzato per i primi 400 - 500 s, la propagazione ai restanti 17 *big bag* componenti l'isola di stoccaggio, avviene dopo circa 2400 s nel caso dello scenario "R" e dopo circa 2300 s nel caso dello Scenario "C".



N° BIG BAG COINVOLTI NELL'INCENDIO



A conferma di quanto appena evidenziato, si riporta l'andamento del "radiative heat flux"¹³ di un device posto in corrispondenza del materiale stoccato in adiacenza, a 4,00 m circa di distanza dall'innescò. Tale andamento sembra essere piuttosto lineare fino ai 1000 s, cui segue una rapida crescita che raggiunge valori prossimi ai 12,6 kW/m² proprio in corrispondenza dei 2300 s, tempo in cui nel modello FDS si evidenziano le prime fiamme di propagazione.



RADIATIVE HEAT FLUX NELL'ISOLA DI MATERIALE ADIACENTE - SCENARIO "C"

Il collasso strutturale, tuttavia, in entrambi gli scenari avviene prima dell'eventuale propagazione tra le varie isole di stoccaggio.

Questo rappresenta un aspetto molto importante nella valutazione della limitata propagazione dell'incendio e dei suoi effetti, che non deve essere trascurato.

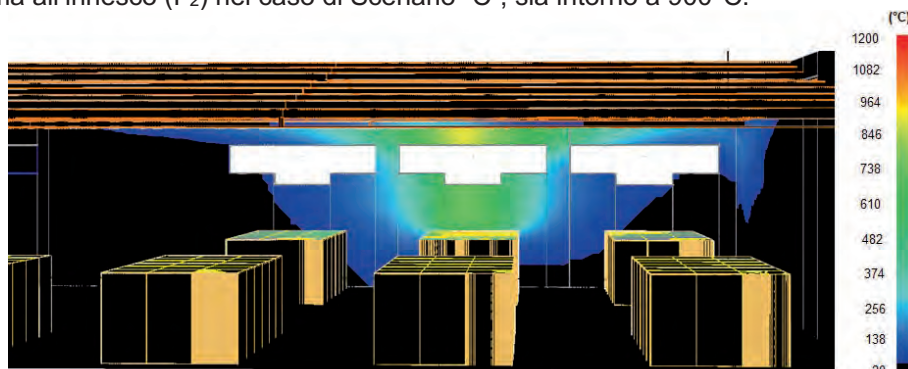
Da queste prime valutazioni si può concludere che la distanza di sicurezza di 3,00 m tra le isole è sufficiente a confinare l'incendio all'interno del compartimento magazzino e, soprattutto, a mantenerlo localizzato evitando il flash-over nel compartimento stesso.

Disposizione del materiale all'esterno del magazzino

Con lo scopo di valutare l'effettiva propagazione dell'incendio verso l'esterno dell'attività, e quindi verso i depositi di stoccaggio esterni, si prende in considerazione lo Scenario "C", pensato come il più sfavorevole e si dimostra che la distanza di 15,50 m disposta tra le pareti del fabbricato lato magazzino e il deposito di materiale all'esterno è sufficientemente cautelativa.

Così come suggerito nella tab. S.3-3, si calcola la potenza termica radiante questa volta però riferita all'incendio naturale.

Osservando le *slice di temperatura* e la "boundary wall" del modello in FDS, si evince che la massima temperatura dei gas caldi, al tempo 2230 s (tempo in cui avviene il collasso strutturale), che fuoriesce dalla finestra prossima all'innescò (F₂) nel caso di Scenario "C", sia intorno a 900°C.



SCENARIO DI INCENDIO PER LA COMPARTIMENTAZIONE - FIAMME E WALL TEMPERATURE A 2230 S

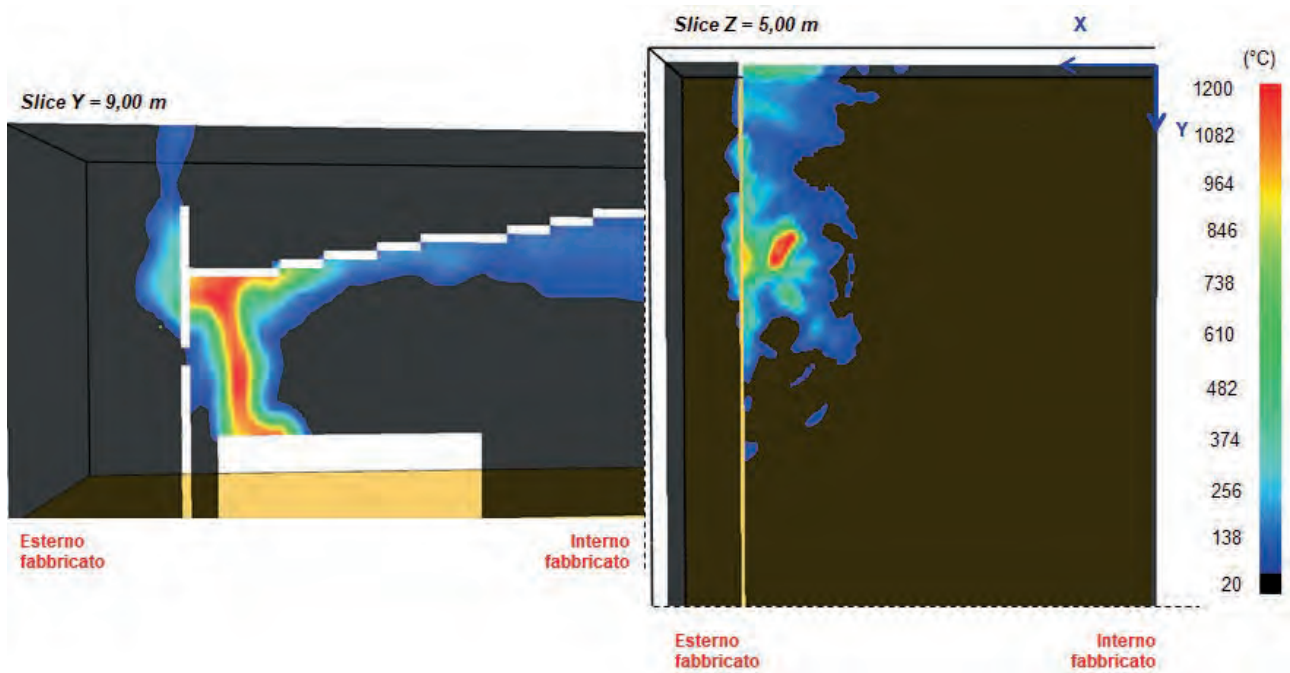
¹³ Il device di tipo "radiative heat flux" (flusso di calore radiativo) fornisce una misura dell'intensità di irraggiamento sui solidi investiti dalla radiazione termica. Maggiori informazioni su tale quantità possono essere individuate al paragrafo "20.10.7 Heat Flux" della User Guide di FDS

Procedendo così al calcolo della potenza termica radiante, si ottiene un valore ridotto di E_1 , che risulterà essere, al massimo, pari a $107,40 \text{ kW/m}^2$:

$$E_1 = \sigma * T^4 = 5,67 * 10^{-8} * (900 + 273,16)^4 = 107,40 \text{ kW/m}^2$$

cui corrisponde una distanza di separazione di 12,00 m per ottenere una $E_{\text{soglia}} = 12,6 \text{ kW/m}^2$.

Tale riduzione della distanza di separazione (di 3,50 m) non tiene inoltre conto che i depositi esterni si trovano ad un'altezza pari a 2,00 m e quindi ben 3,60 m "sotto" la posizione della finestra (F_2) prossima all'innesco. Tale distanza, pertanto, potrebbe essere ancora ridotta, calcolando l'effettivo fattore di vista che tiene conto della posizione degli stoccaggi esterni rispetto alla piastra radiante.



ANDAMENTO DELLE SLICE DI TEMPERATURA A $Y = 9,00 \text{ m}$ (IN PROSSIMITÀ DELL'INNESCO)
E A $Z = 5 \text{ m}$ (IN CORRISPONDENZA DELLE FINESTRE CHE VANNO DA $4,00$ A $5,00 \text{ m}$) A 2230 s

Nel presente caso studio ci si è limitati a queste considerazioni senza procedere in nuove calcolazioni, poiché il fabbricato è isolato e, avendo molto spazio intorno, si ritengono soddisfacenti le risultanze della procedura analitica, mantenendo, pertanto, una distanza pari a circa 12,00 m.

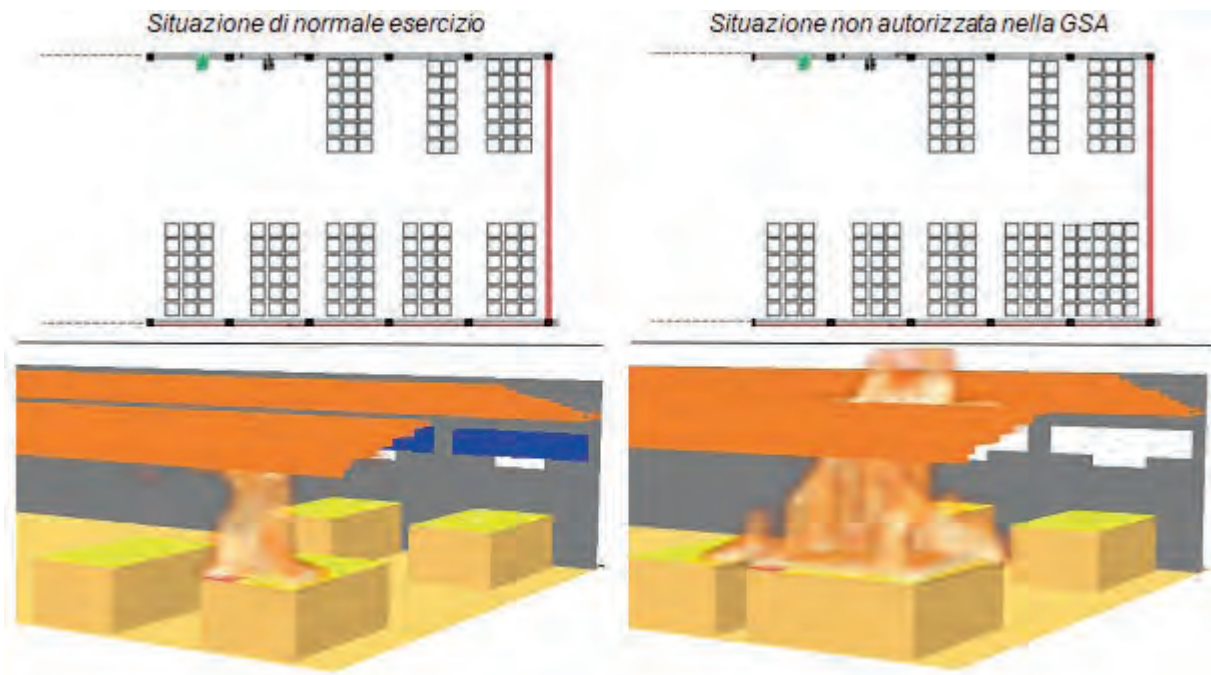
Studio della misura antincendio S.5 GSA

Come detto, in funzione dei profili di rischio, delle caratteristiche del fabbricato e della densità di affollamento, alla misura antincendio *Resistenza al fuoco* è stato attribuito il livello di prestazione II.

Nei precedenti paragrafi si è dimostrata l'efficacia dell'interposizione di distanze di sicurezze volte a limitare la propagazione dell'incendio.

Nella GSA queste distanze e la posizione del materiale combustibile risultano delle fondamentali prescrizioni da far rispettare.

Uno studio con metodo avanzati, già pubblicato nella rivista *Antincendio - Luglio 2020*, ha infatti dimostrato che oltre alle ricadute sul confinamento dell'incendio, questo comporta anche una modifica in termini di resistenza al fuoco della struttura stessa.

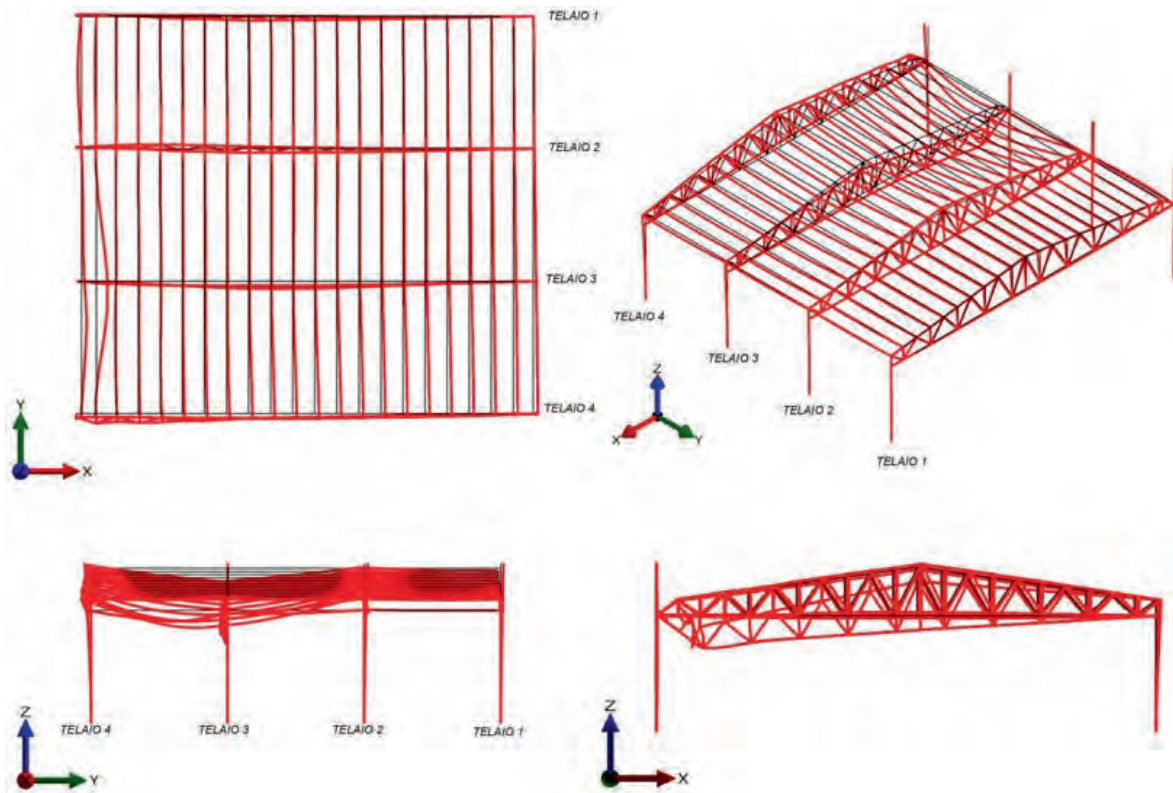


FIAMME A 1800 s (A SINISTRA: SCENARIO DI ESERCIZIO; A DESTRA: SCENARIO NON CONTEMPLATO NELLA GSA)

Il posizionamento di materiale combustibile al di sotto di un telaio principale e il consecutivo innesco di un *big bag* comporterebbe, infatti, un abbattimento della resistenza al fuoco della struttura che mostrerebbe un collasso dopo circa 18 min.

L'aggiunta, non autorizzata, di due file di *big bag* comporterebbe una riduzione della distanza di separazione delle isole dei materiali combustibili interni e di conseguenza la propagazione dell'incendio.

Infatti, si nota come dopo circa 1800 s (30 min) le fiamme inizierebbero a propagarsi anche all'isola adiacente.



DEFORMATE STRUTTURALI AL MOMENTO DEL COLLASSO A 1295 s, SCENARIO NON CONTEMPLATO NELLA GSA

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata valutata, dapprima mediante le *soluzioni conformi* e poi mediante una *soluzione alternativa*, la distanza di separazione su spazio a cielo libero tra isole di materiale combustibile all'interno di un compartimento adibito a deposito di big bag di polipropilene e poi tra una parete perimetrale con aperture e un deposito esterno del medesimo materiale.

Tali valutazioni hanno tenuto conto delle risultanze delle analisi termostrutturali effettuate per dimostrare il raggiungimento del livello di prestazione II per la misura S.2 di resistenza al fuoco.

Nell'applicazione delle soluzioni conformi sono state utilizzate sia la procedura tabellare che quella analitica, ottenendo distanze di separazione piuttosto cautelative.

In soluzione alternativa, illustrata solo per le isole di materiale all'interno del magazzino, si è utilizzata la procedura analitica, valutando in maniera prestazionale soltanto la potenza termica radiante E_1 generata dall'incendio naturale, ottenendo un valore di $107,40 \text{ kW/m}^2$ invece di quello da incendio convenzionale di 149 kW/m^2 .

Si è infine posta l'attenzione anche sull'importanza della GSA, il cui fallimento può invalidare sia la S.2 che la S.3.

❖ *Commento dei risultati*

Il ricorso alla *soluzione alternativa* per la misura antincendio *Resistenza al fuoco* ha permesso di valutare e comprendere l'effettivo comportamento della struttura in condizioni di incendio, per la quale si verifica la condizione di collasso strutturale implosivo a seguito di incendio localizzato.

Le valutazioni avanzate effettuate per la misura S.2 sono state utilizzate con successo anche per la misura S.3, ottimizzando lo sforzo computazionale e soprattutto quello ingegneristico del progettista.

Anche se l'uso di *soluzioni conformi* per la misura antincendio *Compartimentazione* non ha comportato problemi progettuali in termini di distanze di sicurezza, l'affiancamento di valutazioni con modelli avanzati (*soluzione alternativa*) come SAFIR e FDS, ha consentito una riproduzione più realistica di quanto possa accadere in termini di tempi di resistenza al fuoco e quindi di potenza di irraggiamento generata prima del collasso strutturale.

Le analisi fluidodinamiche avanzate hanno infatti consentito di valutare la potenza termica radiante E_1 generata dall'incendio naturale nello scenario di progetto, risultata significativamente minore della corrispondente grandezza associata all'incendio convenzionale. Il fatto che l'incendio naturale resti localizzato e non porti al flashover nel compartimento si concretizza in un minore cimento termico.

È stato sufficiente calcolare in maniera più accurata E_1 per ottenere una distanza di separazione minore in valore, ma senza alcuna diminuzione in termini di sicurezza.

Il progettista ha fissato la soglia di sicurezza accettabile, la quale però è strettamente legata alla GSA: se non viene applicata correttamente e costantemente, le valutazioni sulle misure S.2 e S.3 sono invalidate.

Ciò è in linea con l'idea alla base del Codice, nel quale le singole misure antincendio sono tra di loro correlate e dipendenti, al fine di perseguire una strategia antincendio vincente.

La domanda che ci si pone è: siamo pronti per un tale salto culturale in termini di sicurezza?

La risposta non può essere no, per cui è fondamentale approcciare la sicurezza antincendio in maniera globale e strategica e non per singole misure.

Caso studio 3: stabilimento per attività di lavorazione e stoccaggio di olii vegetali

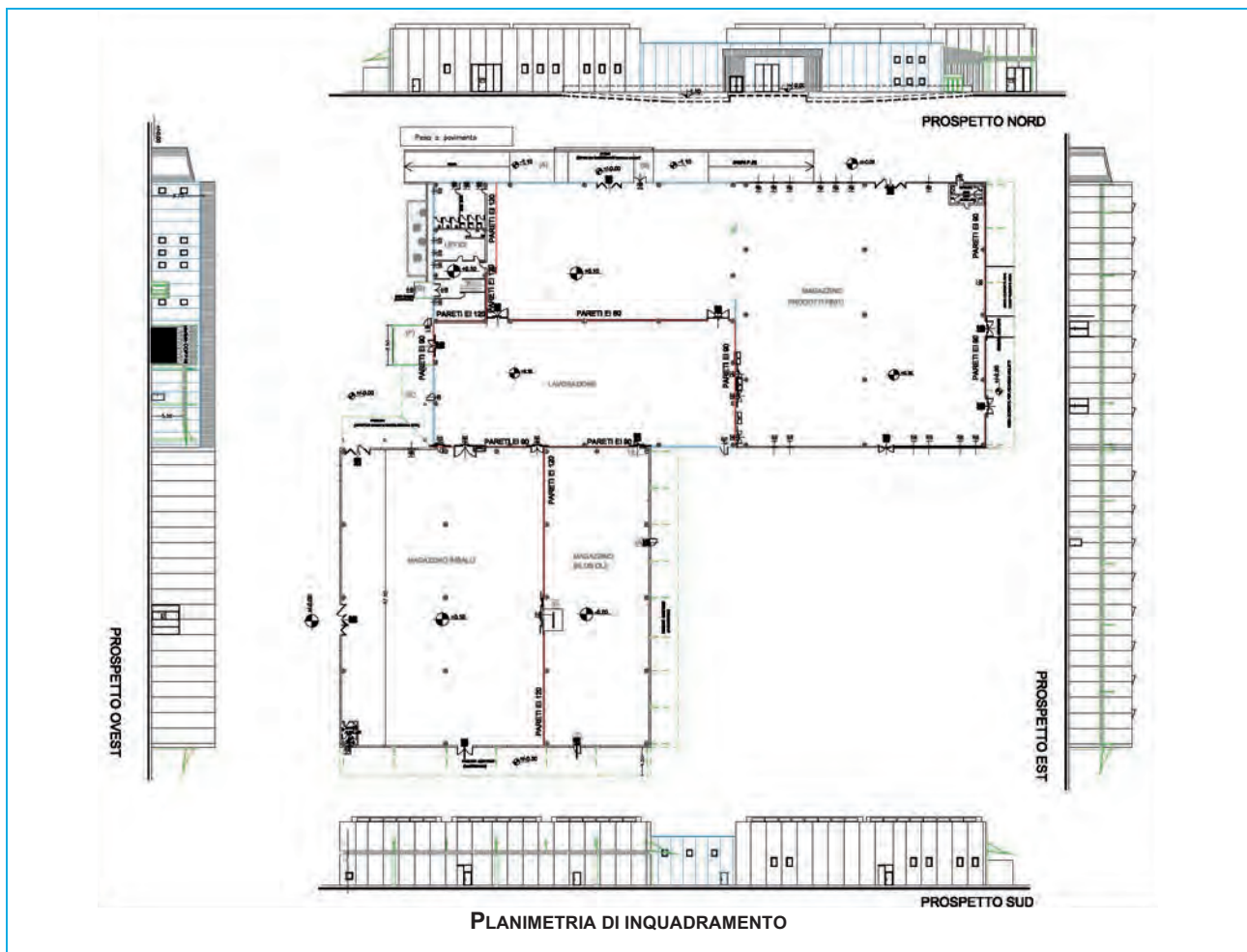
Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un'attività per la lavorazione e l'imballaggio di olii vegetali. Lo stabilimento oggetto dello studio occupa un'estensione di circa 2100 m² ed è previsto un ampliamento di circa 4100 m², al fine di aumentare la disponibilità di stoccaggio del materiale. A regime, esso risulterà suddiviso in cinque compartimenti:

- *Uffici*: nel quale si svolgono le normali attività di tipo amministrativo (superficie pari a circa 390 m²);
- *Magazzino prodotti finiti*: nel quale si svolgono le normali attività di carico/scarico dello stesso. Sono pertanto presenti carrelli elevatori che spostano e stoccano le merci, rispettando distanze e corridoi liberi per favorire l'esodo degli occupanti (superficie pari a circa 2558 m²);
- *Lavorazione*: nel quale si svolgono attività di miscelazione e accatastamento di recipienti di olii vegetali. In particolare sono disposte tre riempitivi aventi serbatoi di 150 kg ciascuno (superficie pari a circa 1048 m²);
- *Magazzino imballi*: nel quale sono disposti gli imballi (cartoni contenitori polietilene, ecc.) necessari per l'imbottigliamento degli oli vegetali. Tali merci sono disposte su appositi rulli che li trasportano nell'area lavorazione (superficie pari a circa 1580 m²);
- *Magazzino silos olii*: nel quale sono presenti 39 silos, aventi capienza da 345 a 730 q, per un totale massimo di quantitativo di olio pari a 1884 t. Tale compartimento presenta un bacino di contenimento da 600 m³, in grado di contenere circa 5500 q di olio (superficie pari a circa 847 m²).

Si vuole dimostrare l'efficacia della compartimentazione, sia interna che esterna, attraverso l'interposizione di opportune distanze di separazione, ottenute con *soluzione conforme*, attraverso la metodologia delle piastre radianti.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:



Superficie dello stabilimento (a regime)	6200 m ²
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in CLS armato
Numero occupanti	24
Profili di rischio R _{vita}	Vedi tabella seguente (par. G.3.2.2)
Profilo di rischio R _{beni}	Attività non vincolata né strategica = 1 (par. G.3.3)
Profilo di rischio R _{ambiente}	Non significativo (par. G.3.4)
Reazione al fuoco	Livello I di prestazione (parr. S.1.3 e S.1.4)
Resistenza al fuoco	Livello II di prestazione (parr. S.2.3 e S.2.4.7)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (parr. S.3.3 e S.3.4.1)
Esodo	Livello I di prestazione (parr. S.4.3 e S.4.4.1)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (parr. S.5.3 e S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (parr. S.6.3 e S.6.4.3) <ul style="list-style-type: none"> • Rete di Idranti (UNI 10779); • n. 4 Gruppo mobile schiuma da 200 l esterni al compartimento "magazzino prodotti finiti"; • Sistema di spegnimento automatico a schiuma nel "magazzino silos olii".
Rivelazione ed allarme	Livello III di prestazione (parr. S.7.3 e S.7.4.3) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Mag. imballi: Livello II di prestazione (par. S.8.3 e S.8.4.1) Mag. prodotti finiti e silos olii: Livello III di prestazione (par. S.8.3 e S.8.4.2)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (parr. S.9.3 e S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (parr. S.10.3 e S.10.4.1)

Compartimento	t _α (s)	R _{vita}	sup. (m ²)	occupanti	q _f (MJ/m ²)
uffici	300	A2	390	12	511,00
magazzino prodotti finiti	150	A3	2558	2	2013,32
lavorazione	300	A2	1048	6	34,10
magazzino imballi	300	A2	1580	2	440,72
magazzino silos olii	150	A3	847	2	79429,34

In riferimento al profilo R_{ambiente}, si segnala che l'attività si trova in una zona industriale in assenza di recettori sensibili nelle aree esterne limitrofe.

Nonostante il carico d'incendio specifico elevato, sulla base delle risultanze della valutazione del rischio (omessa per brevità), il rischio ambientale può ritenersi comunque mitigato dall'applicazione di tutte le misure antincendio connesse ai profili di rischio R_{vita} e R_{beni}, che consentono di considerare non significativo tale rischio. In particolare, per il controllo dell'incendio nell'attività sono previsti:

- impiego di estintori installati e gestiti in conformità alla vigente norma di sicurezza antincendio;
- rete idranti a protezione dell'intera attività;
- n. 4 gruppi mobili schiuma da 200 l esterni al compartimento *magazzino prodotti finiti*.

Inoltre, per mitigare tale rischio nel *magazzino silos olii*, compartimento con il maggiore quantitativo di olio, sarà predisposto un sistema di spegnimento automatico a schiuma disponendo due lance brandeggianti con portata di 200 l/min e con un rapporto di espansione di almeno 1:70; tale sistema sarà in grado, in 20 min, di inondare il locale di 847 m² per un'altezza di 70 cm ($V = 847 * 0,70 = 593 \text{ m}^3 = 593000 \text{ l}$).

Al fine di stimare quanto olio possa bruciare nel deposito silos olii, prima dell'intervento del sistema di spegnimento automatico, si procede come segue.

Si considera lo sversamento accidentale di un silos da 73 t ed il suo conseguente innesco; avendo il compartimento un bacino di contenimento di circa 0,70 m di profondità, si suppone un'area di pozza di incendio di circa 113 m² e quindi un diametro di 12 m.

Considerando un *mass burning rate* per l'olio vegetale pari a circa 0,0335 Kg/m²s (*Enclosure Fire Dynamics di Karlsson e Quintere*), si ottiene che nei 20 min che impiega il sistema di spegnimento automatico ad inondare completamente il locale, bruceranno orientativamente 4,80 t di olio, ovvero circa 5,20 m³, ossia il 7% del materiale sversato.

Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi

Trattasi di attività classificata al punto 70.2.C dell'Allegato I del d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151: "Locali adibiti a depositi con quantitativi di merci e materiali combustibili superiori complessivamente a 5000 kg, di superficie lorda superiore a 3000 m²" e al punto 12.3.C¹⁴ del medesimo Allegato: "Depositi e/o rivendite di liquidi infiammabili e/o combustibili e/o oli lubrificanti, diatermici, di qualsiasi derivazione, di capacità geometrica complessiva superiore a 50 m³".

Riferimenti normativi

- d.m. 3 agosto 2015 - "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del d.lgs. 8 marzo 2006, n. 139" - Aggiornamento d.m. 18 ottobre 2019, come aggiornata dai decreti 14 febbraio 2020 e 6 aprile 2020 per la sezione V.

Obiettivi dello studio

Ci si propone, nell'ambito generale della progettazione antincendio dell'attività, di focalizzare l'attenzione sulla misura antincendio *Compartimentazione*, dimostrando l'adeguatezza di tale misura, sia interna che esterna, attraverso l'interposizione di opportune distanze di separazione, sia mediante l'utilizzo di *soluzione conforme*, con la metodologia delle piastre radianti, sia mediante approccio ingegneristico.

Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3

Determinazione della classe di resistenza al fuoco

In funzione dei profili di rischio e delle caratteristiche del fabbricato alla misura antincendio resistenza al fuoco si è deciso di attribuire il livello di prestazione II con *soluzione alternativa*, che richiede:

- a. compartimentazione rispetto ad altre costruzioni;
- b. assenza di danneggiamento ad altre costruzioni o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività per effetto di collasso strutturale;
- c. mantenimento della capacità portante in condizioni di incendio per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione.
La capacità portante deve essere comunque tale da garantire margine di sicurezza $t_{\text{marg}} \geq 100\%$ RSET o comunque un tempo di resistenza > 15 min.

Nel caso in questione il metodo di progettazione utilizzato, ossia l'ingegneria della sicurezza antincendio, è stato adottato sia per la verifica della soluzione alternativa che per quella del livello di prestazione attribuito, ai sensi del par. G.2.7, dal momento che tra opera da costruzione esistente e una delle nuove non vi è compartimentazione.

Il tempo necessario per l'esodo (RSET) è composto da quattro tempi, così come definito dal par. M.3.4 e nel caso oggetto di studio è pari a circa 3 min.

La verifica di resistenza al fuoco deve pertanto soddisfare i 15 min e garantire un tipo di collasso implosivo che non comporti danni alle strutture adiacenti.

Nel caso in questione, essendo la struttura realizzata con elementi prefabbricati, l'aspetto più delicato da affrontare non è tanto quello della capacità portante, che andrà ben oltre i 15 min richiesti, ma la verifica che le tre porzioni dell'opera da costruzione, se soggette ad incendio, mostrino un collasso implosivo senza generare danni al resto della costruzione.

Una considerazione iniziale, ad esempio, può essere fatta osservando che la parte di struttura esistente ha elementi strutturali già certificati in base all'incendio convenzionale ISO834 come segue:

- Tegolo "Y" di copertura in CAP, altezza costante H pari a 0,75 m e lunghezza di 22,00 m, realizzato con la tecnica dei cavi aderenti, con schema di calcolo in semplice appoggio, certificato R45;
- Trave di imposta centrale di copertura in CAP, sezione "I" altezza costante H pari a 1,05 m e lunghezza di 12 m, atta a sostenere i tegoli di copertura Y realizzata con la tecnica dei cavi aderenti, con schema di calcolo in semplice appoggio, certificata R120;

¹⁴ In base all'art. 2 del Codice, l'attività 12 esula dal campo di applicazione del medesimo; tuttavia, nel presente esempio, ai soli fini didattici, si applicherà ugualmente il Codice come strumento di progettazione, dimostrando, ancora una volta, la grande flessibilità di questa metodologia, anche in relazione ad attività che, solo per ragioni amministrative, sono ancora fuori dal campo di applicazione del Codice.

- Trave di imposta laterale di copertura in CAP, sezione "I" altezza costante H pari a 0,8 m e lunghezza di 12 m, atta a sostenere i tegoli di copertura Y realizzata con la tecnica dei cavi aderenti, con schema di calcolo in semplice appoggio, certificata R120;
- Solaio del soppalco in CAP a sezione "TT" di altezza H pari a 0,50 m, larghezza H pari a 2,04 m e lunghezza di 7,50 m, realizzato con la tecnica dei cavi di precompressione aderenti e schema di semplice appoggio, certificato R60;
- Trave di imposta laterale del soppalco in CA sezione a "L" altezza H pari a 0,825 m e lunghezza di 7,34 m, realizzata con armature ad aderenza migliorata, schema di calcolo in semplice appoggio, certificata R90;
- Pilastrini a sezione rettangolare realizzati in CA, schema di calcolo di mensole incastrate a terra; certificati R90.

Il fatto di avere classi di resistenza al fuoco minori negli elementi di copertura (tegoli R45) rispetto a quelle degli elementi verticali (pilastrini R90) può indirizzare il progettista a pensare ad una tipologia di collasso auspicabile, ovvero quella di collasso implosivo.

È bene tuttavia precisare che la sola individuazione della "gerarchia" di classificazione di resistenza al fuoco degli elementi strutturali componenti l'attività non rappresenta una verifica di collasso implosivo, in quanto, anche se potrebbe essere vero che crolleranno prima i tegoli dei pilastrini, non si conosce "come" crolleranno i pilastrini, se seguiranno i tegoli verso l'interno della struttura o se sbanderanno verso l'esterno.

La valutazione analitica semplificata, con la quale sono stati certificati gli elementi strutturali del fabbricato esistente, infatti, non permette di tenere conto del comportamento globale della struttura e delle non linearità che entrano in gioco quando si considera una struttura esposta ad incendio.

Inoltre il cimento termico generato dagli scenari d'incendio di progetto non è certamente uniforme come l'unico scenario di tutte le soluzioni conformi, consistente nell'applicazione a tutti gli elementi della curva ISO834: pertanto una notevole variabilità dell'azione termica può generare meccanismi di collasso che possono coinvolgere anche gli elementi che in partenza risultano più prestanti in termini di resistenza al fuoco.

L'ampliamento invece consiste in due opere da costruzioni nuove e strutturalmente indipendenti poste in adiacenza a quella esistente.

Per quanto riguarda gli elementi strutturali dell'ampliamento (pilastrini, travi porta solaio, solaio poker, travi banchina e tegoli tipo *Onda*), questi, essendo elementi prefabbricati e date le loro dimensioni e il loro copriferro, sono stati classificati R120 con metodo tabellare.

In questo contesto è stato necessario svolgere valutazioni con il metodo dell'ingegneria antincendio, per determinare il cimento termico agente sulle strutture, nonché analisi termo-strutturali che utilizzano tali risultati come input; tali complesse e onerose valutazioni, che consistono essenzialmente nel controllare che un eventuale collasso di una delle tre porzioni dell'opera di costruzione avvenga sempre in maniera implosiva senza comportare danni al resto della struttura, vengono omesse per lasciare spazio alla misura antincendio compartimentazione.

Soluzione conforme - metodologia delle piastre radianti

In funzione dei profili di rischio e delle caratteristiche del fabbricato, alla misura antincendio *Compartimentazione* è stato attribuito il livello di prestazione II, per il quale viene richiesto di contrastare, per un periodo congruo con la durata dell'incendio, la propagazione dell'incendio verso altre attività e all'interno della stessa.

La *soluzione conforme* per il livello di prestazione II (par. S.3.4.1) richiede:

1. per limitare la propagazione *verso altre attività* di impiegare almeno una delle seguenti soluzioni conformi:
 - a) inserire le diverse attività in compartimenti antincendio distinti;
 - b) interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra le diverse attività.
2. per limitare la propagazione dell'incendio *all'interno della stessa attività* di impiegare almeno una delle seguenti soluzioni conformi:
 - a) suddividere la volumetria dell'opera da costruzione contenente l'attività in compartimenti antincendio opportunamente progettati;
 - b) interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra ambiti della stessa attività.

Progettazione dei compartimenti antincendio

La massima superficie lorda dei vari compartimenti viene verificata (par. S.3.6 e tab. S.3-6) in funzione del profilo di rischio R_{vita} e della quota dei medesimi che, nel caso in esame è inferiore ai 12 m.

R_{vita}	Quota del compartimento								
	< -15 m	< -10 m	< -5 m	< -1 m	≤ 12 m	≤ 24 m	≤ 32 m	≤ 54 m	> 54 m
A1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
A2	1000	2000	4000	8000	64000	16000	8000	4000	2000
A3	[na]	1000	2000	4000	32000	4000	2000	1000	[na]
A4	[na]	[na]	[na]	[na]	16000	[na]	[na]	[na]	[na]
B1	[na]	2000	8000	16000	64000	16000	8000	4000	2000
B2	[na]	1000	4000	8000	32000	8000	4000	2000	1000
B3	[na]	[na]	1000	2000	16000	4000	2000	1000	[na]
Cii1, Ciii1	[na]	[na]	[na]	2000	16000	8000	8000	8000	4000
Cii2, Ciii2	[na]	[na]	[na]	1000	8000	4000	4000	2000	2000
Cii3, Ciii3	[na]	[na]	[na]	[na]	4000	2000	2000	1000	1000
D1	[na]	[na]	[na]	1000	2000	2000	1000	1000	1000
D2	[na]	[na]	[na]	1000	2000	1000	1000	1000	[na]
E1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
E2	1000	2000	4000	8000	[1]	16000	8000	4000	2000
E3	[na]	[na]	2000	4000	16000	4000	2000	[na]	[na]

La massima superficie lorda è ridotta del 50% per i compartimenti con $R_{ambiente}$ significativo [na] Non ammesso [1] Senza limitazione

TABELLA S.3-6: MASSIMA SUPERFICIE LORDA DEI COMPARTIMENTI IN M²

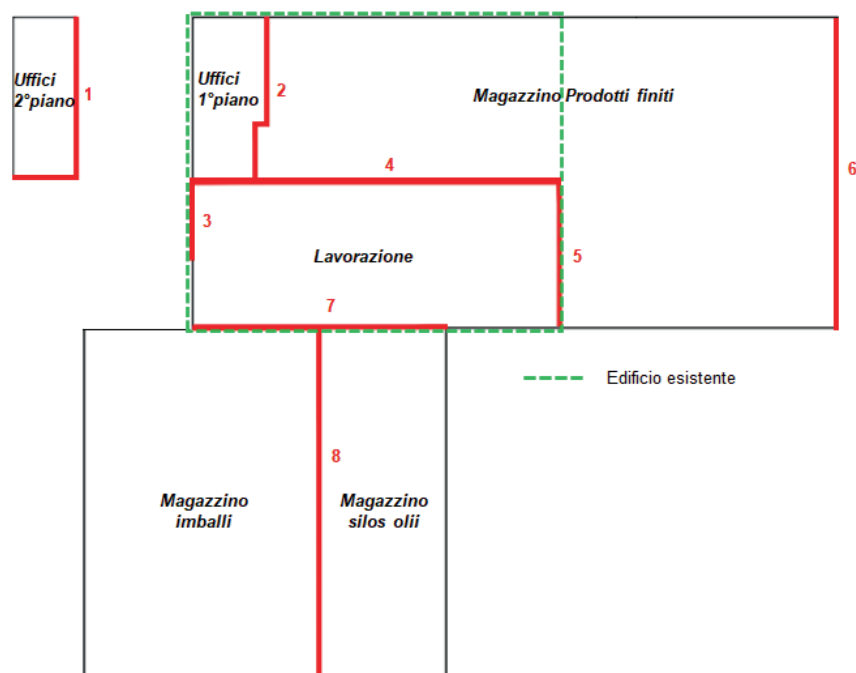
Per i compartimenti *uffici, lavorazione e magazzino imballi* (profilo di rischio R_{vita} A2 e superfici rispettive pari a 390, 1048 e 1580 m²) la superficie massima corrispondente è pari a 64000 m²; per i compartimenti *magazzino prodotti finiti e magazzino silos olii* (profilo di rischio R_{vita} A3 e superfici rispettive pari a 2558 e 847 m²) la superficie massima corrispondente è pari a 32000 m².

La verifica risulta largamente soddisfatta.

Selezione delle prestazioni degli elementi

Sono otto le pareti per le quali è necessario garantire prestazioni in caso di incendio al fine di garantire la compartimentazione.

Si segnala come si abbiano differenti classi di compartimentazione che dipendono, essenzialmente, dalla classe di resistenza al fuoco degli elementi strutturali che compongono il compartimento.



PARETI DI COMPARTIMENTAZIONE

➤ Pareti 1 e 2

sono due pareti *esistenti* che dividono gli *uffici* con il *magazzino prodotti finiti*; presentano caratteristiche di compartimentazione EI120.

➤ Pareti 3

è una parete *esistente*, alta circa 6,50 m, che separa il compartimento *lavorazione* da una piccola rimessa per la ricarica dei carrelli elevatori. Attraverso calcoli analitici semplificati è stato possibile attribuire a tali pannelli una resistenza R90; a tal proposito si è deciso di trattarli in maniera da renderli anche EI90.

➤ Pareti 4

è una parete *di nuova costruzione* che separa il *magazzino prodotti finiti* dal compartimento *lavorazione*. La parete è alta circa 6,50 m e sarà realizzata in modo da renderla EI 60.

➤ Parete 5

è la parete *esistente* che separa il *magazzino prodotti finiti* dal compartimento *lavorazione*. La parete è alta circa 6,50 m e, come per la parete 3, sarà trattata in modo da renderla EI90.

➤ Parete 6

è una parete *di nuova costruzione* che separa il *magazzino prodotti finiti* da una area destinata alla ricarica degli accumulatori di carrelli elevatori. La parete è alta circa 8,50 m e sarà realizzata in modo da renderla EI90.

➤ Parete 7

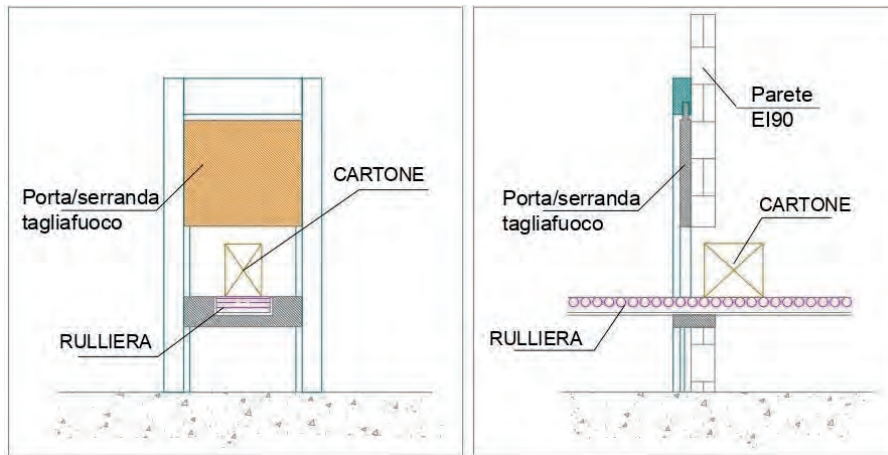
è una parete *esistente*, che separa il compartimento *lavorazione* dal *magazzino silos olii* e dal *magazzino imballi*. La parete è alta circa 6,50 m, con ciascun pannello componente di 2,00 m e sarà trattata in modo da renderla EI 90.

➤ Parete 8

è una parete *di nuova costruzione* che separa il *magazzino imballi* dal *magazzino silos olii*. La parete è alta circa 6,50 m e sarà realizzata in modo da renderla EI120.

Continuità dei compartimenti

Le porte EI120 presenti tra i vari compartimenti saranno mantenute chiuse in condizioni di esercizio, mentre tra il compartimento produzione e quello *magazzino prodotti finiti* (parete 5) saranno disposte serrande tagliafuoco sul nastro trasportatore.



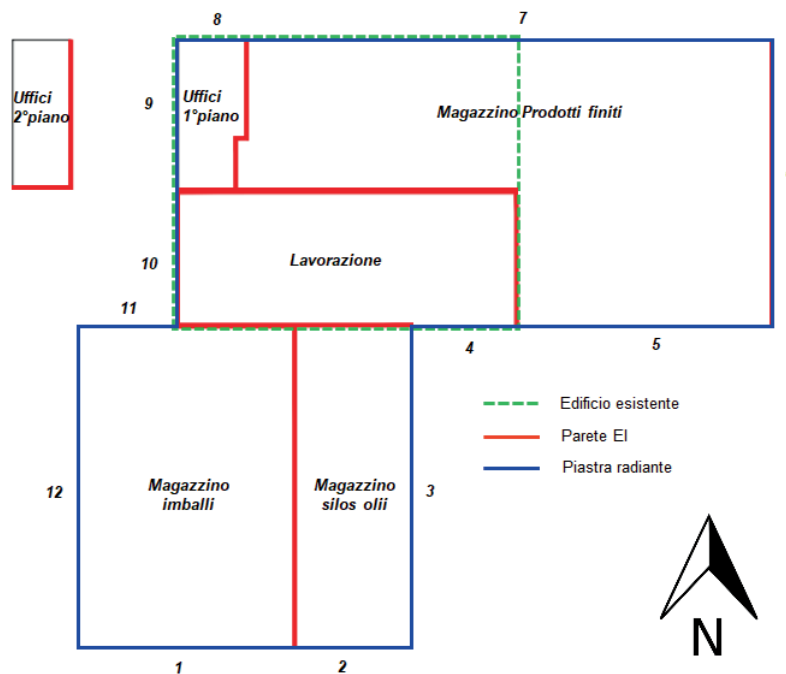
PORTA/SERRANDA TAGLIAFUOCO SUL NASTRO TRASPORTATORE

Distanza di separazione per limitare la propagazione

Al fine di limitare la propagazione dell'incendio è necessario calcolare la distanza di separazione, secondo quanto prescritto nel par. S.3.8.

Limitazione della propagazione verso altre attività

Tutti i lati del fabbricato possono emettere energia di irraggiamento verso altri fabbricati al di fuori del confine dello stabilimento; tuttavia le distanze di sicurezza calcolate risultano sufficientemente considerevoli, determinando condizioni di sicurezza accettabili.



PIASTRE RADIANTI

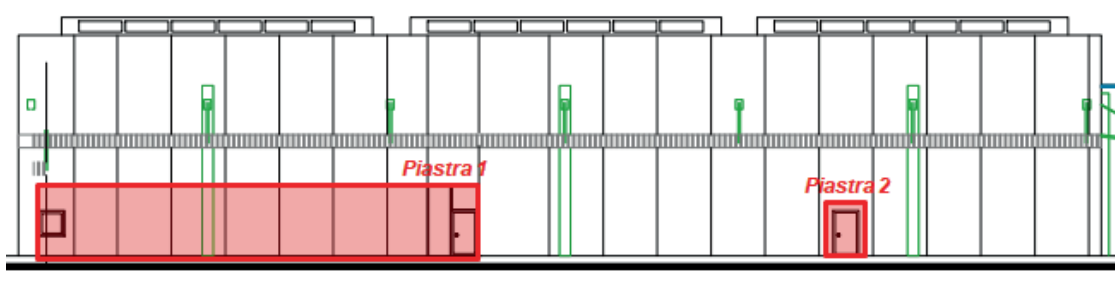
Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione

Come si evince dalla trattazione che segue, nel caso in esame non emergono particolari problematiche legate alle distanze di separazione da rispettare, sebbene alcuni compartimenti presentino carichi di incendio significativi.

Per il compartimento *magazzino silos olii*, ad esempio, le piastre ad esso afferenti richiedono, per la distanza di separazione, valori inferiori al valore di 1,70 m.

Inoltre, essendo stata progettata una misura di controllo incendio di livello di prestazione IV (per il quale si richiede inibizione, controllo o estinzione dell'incendio con sistemi automatici estesi a porzioni di attività), sarebbe addirittura possibile dimezzare tali distanze (par. S.3.11.2 punto 4 e par. S.3.11.3 punto 7).

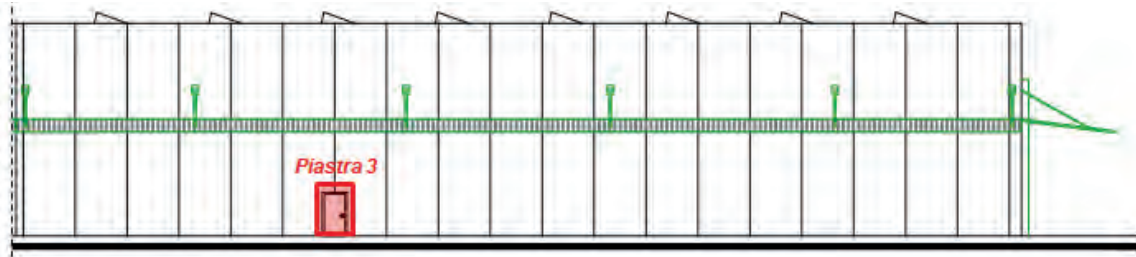
Si riportano, in forma tabellare e grafica, le risultanze delle calcolazioni:



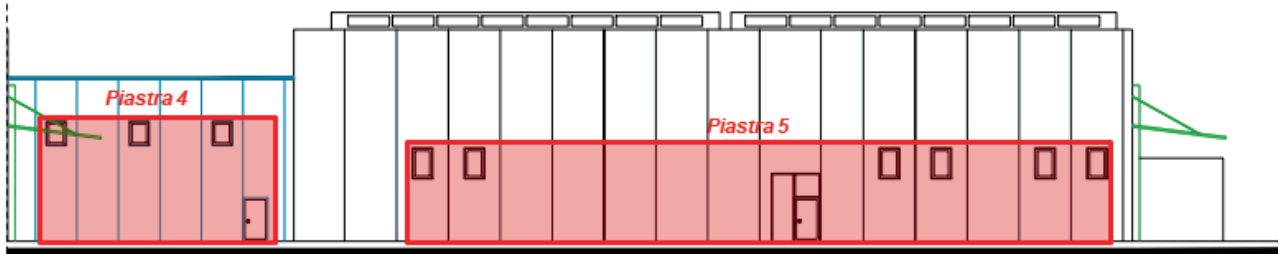
PIASTRE RADIANTI PR1 E PR2 - PROSPETTO SUD

Verifica analitica della distanza di separazione		
Piastra PR1 (Magazzino imballi - Sud)		
Distanza dal bersaglio "d"	2,80	m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR1</i>		
B	20,00	m
H	4,00	m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>		
B	20,00	m
S _{pr}	80,00	m ²
p	0,14	
H	4,00	m
X	0,50	
Y	0,71	
F ₂₋₁	0,30	
<i>Verifica della distanza di separazione</i>		
E ₁	75	kW/m ²
d _f	2,67	
ε _f	0,55	
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6	kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 13,80 m		

Verifica analitica della distanza di separazione		
Piastra PR2 (Magazzino silos olii - Sud)		
Distanza dal bersaglio "d"	1,56	m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR2</i>		
B	1,20	m
H	2,15	m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>		
B	1,20	m
S _{pr}	2,58	m ²
p	1,00	
H	2,15	m
X	0,39	
Y	0,69	
F ₂₋₁	0,24	
<i>Verifica della distanza di separazione</i>		
E ₁	149	kW/m ²
d _f	1,43	
ε _f	0,35	
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6	kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 13,80 m		



PIASTRA RADIANTE PR3 - PROSPETTO EST

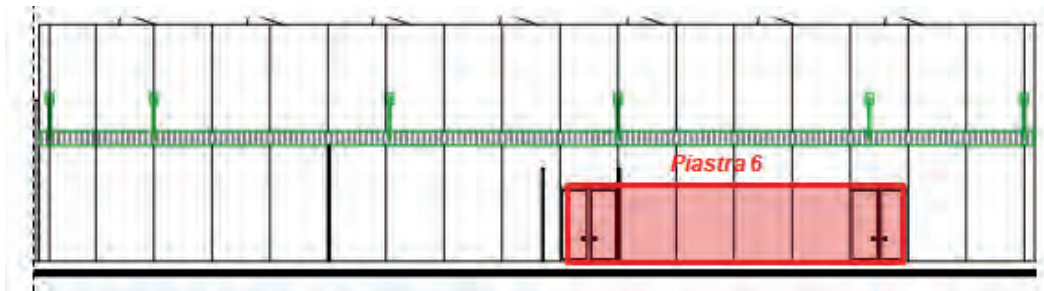


PIASTRE RADIANTI PR4 E PR5 - PROSPETTO SUD

Verifica analitica della distanza di separazione	
Piastra PR3 (Magazzino silos olii - Est)	
Distanza dal bersaglio "d"	1,67 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR3</i>	
B	1,35 m
H	2,15 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	1,35 m
S _{pr}	2,90 m ²
p	1,00
H	2,15 m
X	0,40
Y	0,64
F ₂₋₁	0,24
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	149 kW/m ²
d _f	1,43
ε _f	0,35
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 10,50 m	

Verifica analitica della distanza di separazione	
Piastra PR4 (Lavorazione - Sud)	
Distanza dal bersaglio "d"	1,83 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR4</i>	
B	11,00 m
H	7,00 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	11,00 m
S _{pr}	77,00 m ²
p	0,08
H	7,00 m
X	0,24
Y	1,91
F ₂₋₁	0,22
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	75 kW/m ²
d _f	4,67
ε _f	0,75
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 12,00 m	

Verifica analitica della distanza di separazione	
Piastra PR5 (Magazzino prodotti finiti - Sud)	
Distanza dal bersaglio "d"	6,05 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR5</i>	
B	33,00 m
H	4,00 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	33,00 m
S _{pr}	132,00 m ²
p	0,16
H	4,00 m
X	0,44
Y	0,33
F ₂₋₁	0,15
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	149 kW/m ²
d _f	2,67
ε _f	0,55
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 12,00 m	



PIASTRA RADIANTE PR6 - PROSPETTO EST



PIASTRE RADIANTI PR7, PR8 E PR11 PROSPETTO NORD

Verifica analitica della distanza di separazione Piastra PR6 (Magazzino prodotti finiti - Est)	
Distanza dal bersaglio "d"	5,86 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR6</i>	
B	15,00 m
H	4,00 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	15,00 m
S _{pr}	60,00 m ²
p	0,33
H	4,00 m
X	0,42
Y	0,34
F ₂₋₁	0,15
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	149 kW/m ²
d _f	2,67
ε _f	0,55
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 13,60 m	

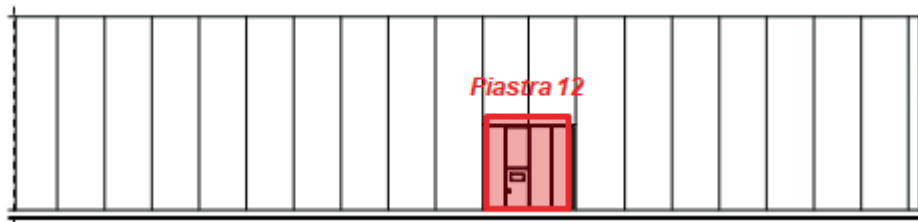
Verifica analitica della distanza di separazione Piastra PR7 (Magazzino prodotti finiti - Nord)	
Distanza dal bersaglio "d"	11,50 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR7</i>	
B	30,00 m
H	4,50 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	30,00 m
S _{pr}	135,00 m ²
p	0,62
H	4,50 m
X	0,81
Y	0,20
F ₂₋₁	0,14
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	149 kW/m ²
d _f	3,00
ε _f	0,59
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 12,00 m	

Verifica analitica della distanza di separazione Piastra PR8 (Uffici - Nord)	
Distanza dal bersaglio "d"	2,20 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR8</i>	
B	5,00 m
H	4,55 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	5,00 m
S _{pr}	22,75 m ²
p	0,32
H	4,55 m
X	0,36
Y	1,03
F ₂₋₁	0,28
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	75 kW/m ²
d _f	3,03
ε _f	0,60
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 22,60 m	

Verifica analitica della distanza di separazione Piastra PR11 (Magazzino imballi - Nord)	
Distanza dal bersaglio "d"	3,74 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR11</i>	
B	11,00 m
H	4,40 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	11,00 m
S _{pr}	48,40 m ²
p	0,37
H	4,40 m
X	0,54
Y	0,59
F ₂₋₁	0,29
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	75 kW/m ²
d _f	2,93
ε _f	0,59
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 25,00 m	



PIASTRE RADIANTI PR9 E PR10 - PROSPETTO OVEST



PIASTRE RADIANTI PR12 PROSPETTO OVEST

Verifica analitica della distanza di separazione Piastra PR9 (Uffici - Ovest)	
Distanza dal bersaglio "d"	3,55 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR9</i>	
B	18,50 m
H	7,00 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	18,50 m
S _{pr}	129,50 m ²
p	0,11
H	7,00 m
X	0,29
Y	0,99
F ₂₋₁	0,22
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	75 kW/m ²
d _f	4,67
ε _f	0,75
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 25,00 m	

Verifica analitica della distanza di separazione Piastra PR10 (Lavorazione - Ovest)	
Distanza dal bersaglio "d"	1,06 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR10</i>	
B	9,00 m
H	4,00 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	9,00 m
S _{pr}	36,00 m ²
p	0,08
H	4,00 m
X	0,34
Y	1,88
F ₂₋₁	0,31
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	75 kW/m ²
d _f	2,67
ε _f	0,55
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 25,00 m	

Verifica analitica della distanza di separazione Piastra PR12 (Magazzino imballi - Ovest)	
Distanza dal bersaglio "d"	4,66 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR12</i>	
B	5,00 m
H	5,00 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	5,00 m
S _{pr}	25,00 m ²
p	1,00
H	5,00 m
X	0,54
Y	0,54
F ₂₋₁	0,27
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	75 kW/m ²
d _f	3,33
ε _f	0,63
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²
Minima distanza dal confine dell'attività è di 21,30 m	

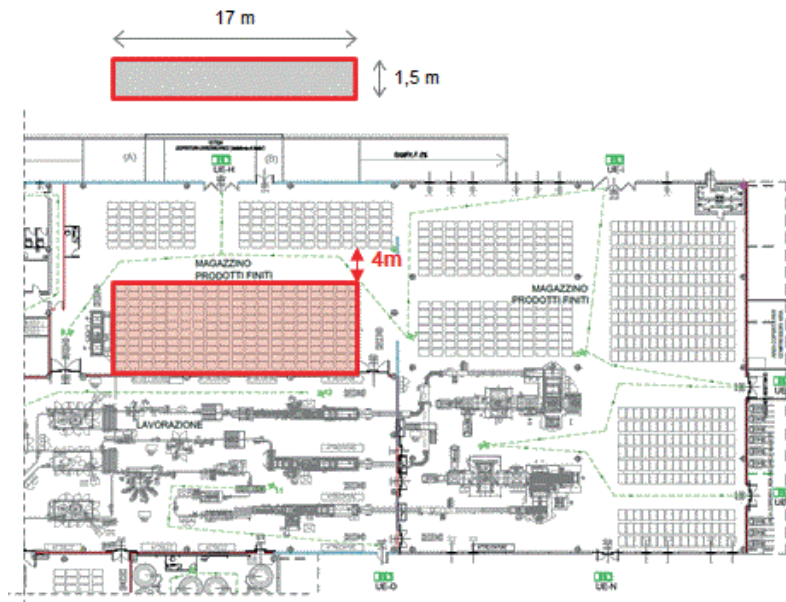
Un'ultima considerazione da aggiungere riguarda il materiale combustibile depositato in tale attività rappresentato dall'olio vegetale che, in termini di incendio, rappresenta di fatto un cosiddetto *travelling fire*, ossia un incendio in movimento.

A tal proposito, di fronte al compartimento *magazzino silos olii*, sarà realizzato un muro di contenimento, finalizzato ad impedire che l'olio possa raggiungere, scorrendo, le attività limitrofe.

Limitazione della propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività

All'interno dei compartimenti *magazzino imballi* e *magazzino prodotti finiti* i materiali combustibili sono disposti in apposite isole di stoccaggio opportunamente distanziate a seguito delle risultanze dei calcoli eseguiti con la metodologia delle piastre radianti.

Ad esempio, nel compartimento *magazzini prodotti finiti* il materiale è organizzato in isole di stoccaggio composte, al massimo da 19 x 11 bancali, vedi figura seguente.



DISPOSIZIONE DELLE ISOLE DI STOCCAGGIO DEI MATERIALI COMBUSTIBILI NEL *MAGAZZINO PRODOTTI FINITI*

La distanza di separazione di questa isola di stoccaggio, evidenziata in rosso, viene calcolata considerando la dimensione della piastra radiante del lato lungo, ovvero 17,00 x 1,50 m (la pedana è alta 1,50 m). Considerando che una pedana ha un peso complessivo di 800 kg ed è composta da un pallet di legno, cartone per imballaggio, contenitori in pet e cellophane per imballaggio e olio vegetale, si avrà un carico di incendio specifico maggiore di 1200 MJ/m² e quindi si utilizzerà E₁ = 149 kW/m²:

Verifica analitica della distanza di separazione		
Distanza dal bersaglio "d"	2,16	m
<i>Dimensioni della piastra radiante</i>		
B	17,00	m
H	1,50	m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>		
B	17,00	m
S _{pr}	25,50	m ²
S _{rad}	25,50	m ²
p	1,00	
H	1,50	m
X	3,94	
Y	0,35	
F ₂₋₁	0,33	
<i>Verifica della distanza di separazione</i>		
E ₁	149	kW/m ²
d _f	1,00	
ε _f	0,26	
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6	kW/m ²

Si precisa, anche in questa circostanza, che il calcolo della distanza di separazione permette di ottenere una valutazione delle distanze a cielo aperto e non considera il contributo di irraggiamento apportato da altri elementi radianti, cosa assolutamente probabile nel caso in questione.

Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

La stessa distanza calcolata con la metodologia tabellare avrebbe dato:

$$d_i = 3,7 * 1 + 3,3 = 7,00 \text{ m}$$

Tra i motivi che determinano tale differenza con la metodologia analitica figura il fatto che il valore d_f (spessore della fiamma), che nelle tabb. S.3-10 e S.3-11 è stato impostato pari a 2,00 m (par. S.3.11.3 punto 6), nel calcolo eseguito con la metodologia analitica è stato calcolato pari a 2/3 dell'altezza della pedana, quindi a 1,00 m.

In definitiva, anche al fine di favorire la movimentazione delle merci e per garantire percorsi d'esodo adeguati, la distanza che viene interposta è pari a 4,00 m, come riportato nella figura precedente.

Considerazioni in merito alla predisposizione di pannelli fotovoltaici sul tetto dell'attività

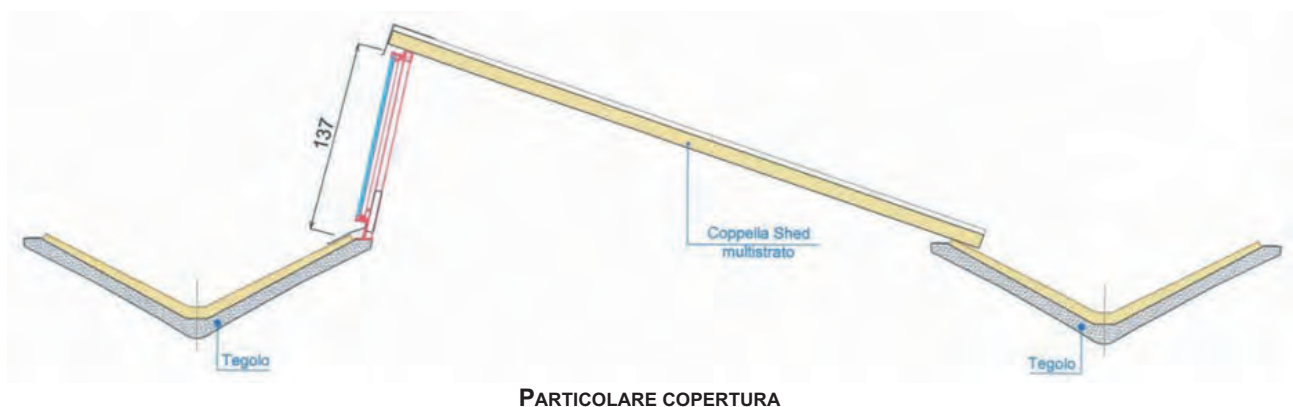
Un altro aspetto da valutare, in riferimento alla compartimentazione, consiste nella predisposizione, in sede di ampliamento, all'installazione dei pannelli fotovoltaici sul tetto della nuova costruzione.

A tal riguardo, sono state garantite tutte le prescrizioni riportate nella nota DCPREV prot n. 1324 del 7 febbraio 2012: "Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici".

L'installazione sarà eseguita in modo da evitare la propagazione di un incendio dal generatore fotovoltaico al fabbricato nel quale è incorporato.

La copertura sarà realizzata con pannelli in poliuretano, classificati secondo la UNI 13501-5-2009 come B_{ROOF} (t2) - metodo di prova TS 1187:2012 Test 2.

I moduli, le condutture, gli inverter, i quadri ed altri eventuali apparati non dovranno essere installati nel raggio di 1,00 m dagli EFC.



Una valutazione quantitativa dell'eventuale propagazione che può avvenire dall'incendio di un pannello fotovoltaico alla lastra di polycarbonato autoestinguente presente sul tetto può essere fatta come riportato nell'articolo di V. Puccia e S. Demma "Valutazione dell'impatto sul rischio incendio di impianti fotovoltaici e loro potenziale interazione e compatibilità con vari elementi di copertura".

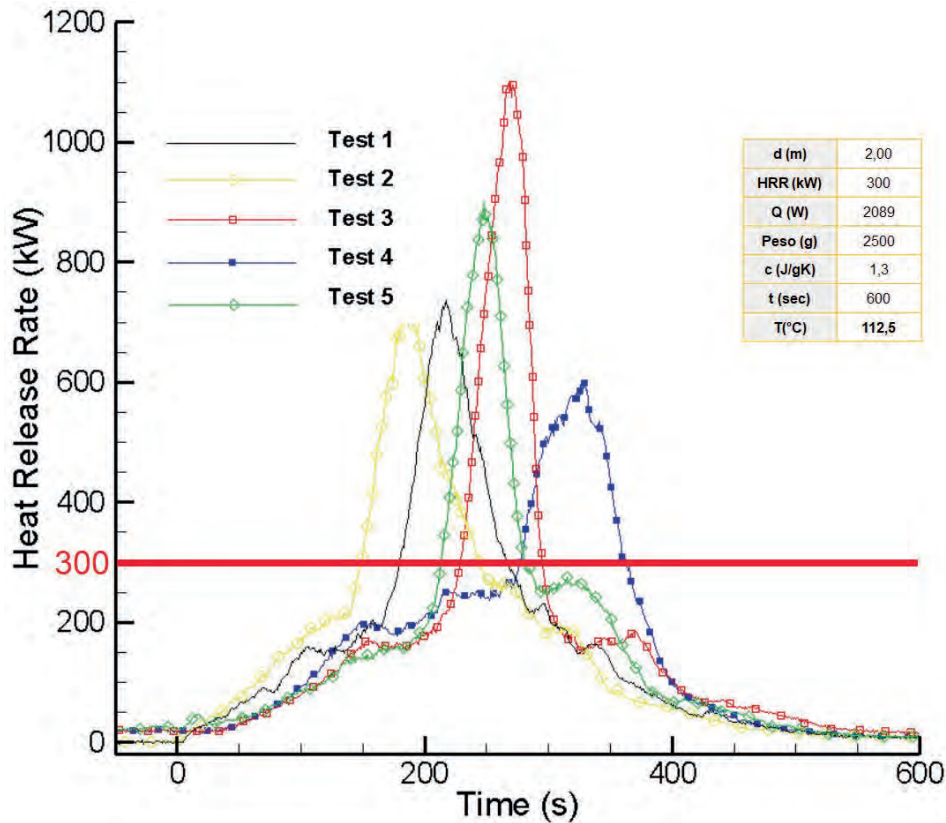
Si ipotizza quindi il caso in cui si verifichi l'incendio, il cui innesco derivi dall'energia radiante prodotta dalla combustione dell'incapsulante polimerico del pannello stesso, e si dimostra, con formule ben note in letteratura, che l'irraggiamento prodotto determina, sulle superfici in polycarbonato, temperature tali da non generarne l'innesco e/o la colatura verso l'interno del compartimento.

Si considera una lastra di polycarbonato di peso di circa 2500 g, avente superficie pari a circa 1,25 m², calore specifico di 1,3 J/gK e temperatura di Vicat pari a 150 °C, distante dal pannello fotovoltaico circa 2,00 m.

Per temperatura di Vicat si intende la temperatura di rammollimento di un materiale plastico e corrisponde alla temperatura per la quale il materiale comincia a modificare il proprio stato di aggregazione da solido a fluido. Per facilitare le calcolazioni, e renderle conservative, il pannello viene considerato come se fosse pieno, mentre in realtà sarà un pannello alveolare, come un corpo nero puramente assorbente ed inoltre verrà considerato in posizione frontale rispetto al pannello fotovoltaico.

Con la formula di Lawson e Quintiere (NFPA, *Fire Protection Handbook*, 2003) è possibile calcolare la massima potenza di irraggiamento, considerando un pannello con valore numerico di HRR_{max} tratto da risultati sperimentali riportati nella pubblicazione scientifica “*Numerical simulation of fire spread on polyurethane foam slabs*, Fire Research Division BFRL, NIST.

Supponendo un HRR costante pari a 300 kW per 1,00 m² per una durata di 600 s, si otterrebbe una temperatura sul pannello in polycarbonato pari a circa 112,5 °C, valore minore rispetto alla temperatura di Vicat di 150°C.



RISULTATI SPERIMENTALI CURVA HRR (SINISTRA) E TABELLA RIASSUNTIVA DEI CALCOLI ANALITICI (DESTRA)

Si può pertanto concludere che, pur avendo assunto ipotesi del tutto conservative, la distanza di 2,00 m tra pannelli fotovoltaici e pannelli di polycarbonato, in questa prima analisi di aggravio del rischio, è risultata sufficiente per evitare la propagazione dell'incendio, noto in letteratura come *top-down*.

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata valutata, mediante le *soluzioni conformi*, la distanza di separazione su spazio a cielo libero tra le pareti attestate esternamente dei compartimenti in cui è suddivisa l'attività e i bersagli esterni, al fine di verificare che le distanze con altre opere da costruzione o con l'esterno dell'area occupata dall'attività siano sufficienti a garantire il raggiungimento del livello di prestazione II sia della misura S.2 *Resistenza al Fuoco* che della misura S.3 *Compartimentazione*.

I risultati consentono di verificare entrambi gli obiettivi, senza dover scomodare valutazioni analitiche più avanzate sia in termini di collasso strutturale implosivo che di irraggiamento.

Trattandosi di un progetto di ampliamento di un'attività esistente, è stato possibile disporre un numero ridotto di elementi verticali di ventilazione, in maniera da limitare le dimensioni della piastra radiante, prediligendo lo smaltimento fumi e calore con aperture orizzontali motorizzate.

Inoltre, la presenza di elementi strutturali con diverse classi di resistenze al fuoco ha richiamato l'attenzione sulla relativa classe da individuare per gli elementi di separazione tra i vari compartimenti formulando, nel contempo, considerazioni inerenti l'operatività antincendio e l'eventuale tipologia di collasso della struttura.

❖ *Commento dei risultati*

Il caso studio proposto rappresenta un classico esempio di applicazione di soluzione conforme per la misura antincendio *Compartimentazione*.

Sebbene l'attività presenti compartimenti con elevato carico di incendio specifico, la scelta progettuale a priori di voler limitare, per quanto possibile, le aperture verticali, affidando quasi completamente lo smaltimento dei fumi e del calore ad aperture motorizzate orizzontali, ha permesso di ottenere distanze di separazioni piuttosto ridotte e di non dover ricorrere a soluzioni alternative con approccio ingegneristico.

Pertanto, nonostante la complessità dell'attività e il non trascurabile rischio d'incendio, una progettazione integrata, che ha tenuto conto di S.2, S.3 e S.8, ma anche di S.6, ha permesso di ottimizzare le valutazioni nella fase progettuale, ottenendo risultati e interventi di facile e non onerosa realizzabilità, oltre che ragionevolmente conservative, essendosi utilizzate le soluzioni conformi.

Anche in tal caso la sinergia tra le varie misure antincendio ha contribuito alla mitigazione del rischio e all'adozione di una efficace strategia antincendio.

Caso studio 4: edificio storico adibito ad ufficio

Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un'attività ufficio esercita in un edificio di interesse storico. L'immobile è costituito da tre elevazioni fuori terra e da un piano interrato; il piano terra è destinato all'accoglienza del pubblico, mentre primo e secondo sono ad esclusivo utilizzo del personale interno.

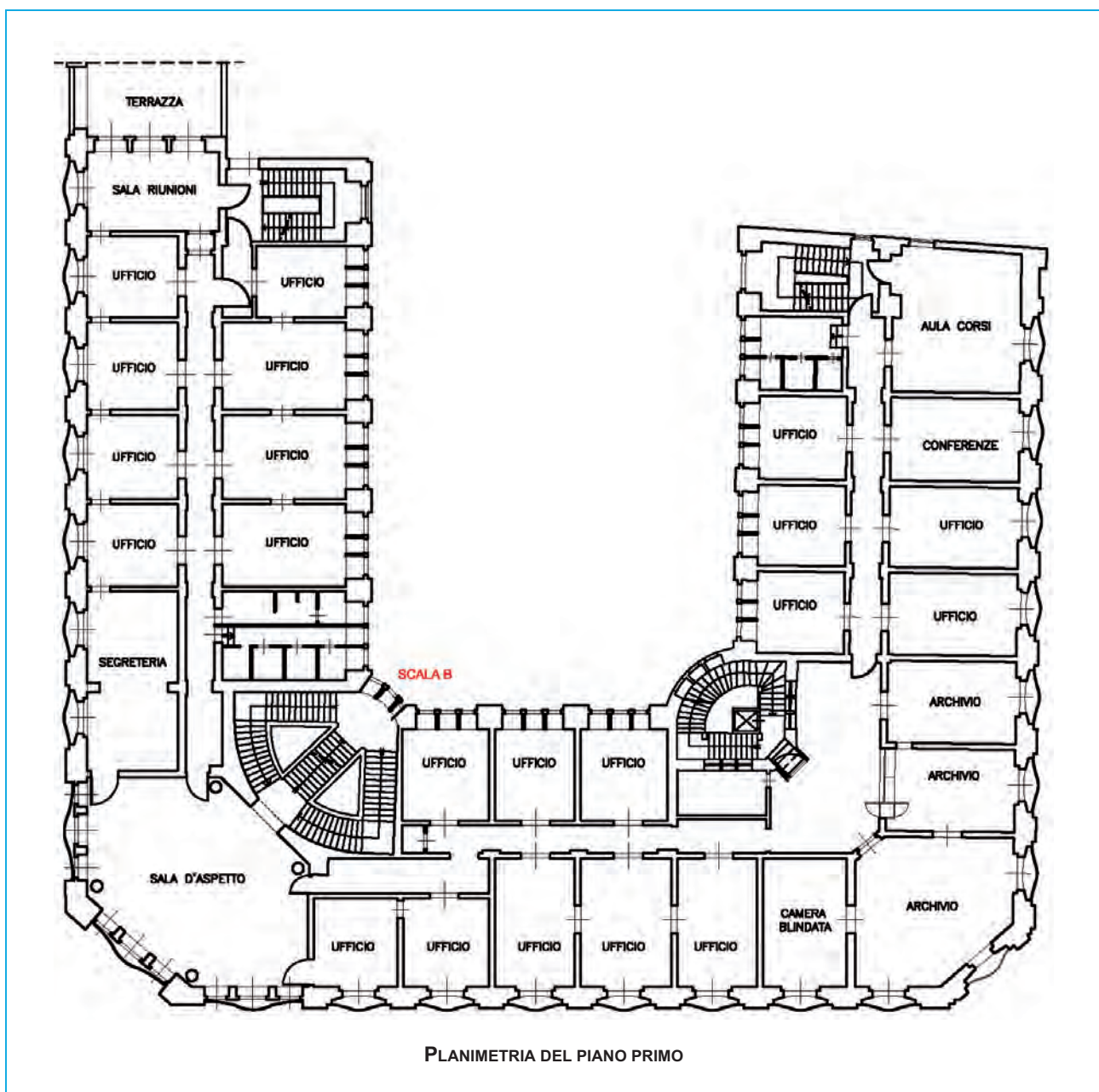
Il piano interrato è adibito a deposito di materiale cartaceo.

La pianta dell'edificio è a forma di ferro di cavallo, con quattro scale che garantiscono una doppia via di esodo per gli occupanti, eliminando il problema dei corridoi ciechi.

In particolare, al piano primo dell'edificio, denominato piano nobile, non è stato possibile installare una porta finalizzata a rendere la scala monumentale centrale (scala B), indispensabile come via di esodo, di tipo protetto (par. S.4.7.2 punto a).

Si farà pertanto ricorso all'ingegneria antincendio per dimostrare, in *soluzione alternativa*, che anche senza l'installazione di una porta E-S_a si possa considerare tale scala come protetta, ai fini della propagazione dell'incendio.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:



Superficie del piano tipo	1600 m ²
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in muratura
Numero occupanti	350
Classificazione RTV V.4	OA/HA
Profili di rischio R _{vita}	A2 per le aree di tipo TA (parr. V.4.2.2 e G.3.2.2) per i piani primo e secondo
	B2 per le aree di tipo TA (parr. V.4.2.2 e G.3.2.2) per il piano terra
	A2 per le aree di tipo TM (parr. V.4.2.2 e G.3.2.2) per il piano interrato
Profilo di rischio R _{beni}	Opera da costruzione vincolata = 2 (par. G.3.3)
Profilo di rischio R _{ambiente}	Non significativo (par. G.3.4)
Reazione al fuoco	Livello III di prestazione (parr. S.1.3, S.1.4.2 e V.4.4.1)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (parr. S.2.3, S.2.4.3 e V.4.4.2)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (parr. S.3.3, S.3.4.3 e V.4.4.3)
Esodo	Livello I di prestazione (parr. S.4.3 e S.4.4.3)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (parr. S.5.3, S.5.4.1 e V.4.4.4)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (parr. S.6.3, S.6.4.2 e V.4.4.5) Rete di Idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello IV di prestazione (parr. S.7.3, S.7.4.4 e V.4.4.6) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (parr. S.8.3 e S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (parr. S.9.3 e S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (parr. S.10.3, S.10.4.1 e V.4.4.7)



INGRESSO DELL'EDIFICIO

Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi

Ai sensi dell'Allegato I del d.p.r. 1 agosto 2011, n. 151 l'attività in esame, superando le 300 persone presenti, rientrerebbe nella classificazione di cui al punto 71.1.A.

Trattandosi, però, di un edificio tutelato ai sensi dell'art. 10 del d.lgs. 22 gennaio 2004, n.42 e s.m.i., destinato a contenere una delle attività soggette presenti nel citato Allegato, l'attività ricade nella classificazione di cui al punto 72.1.C che, in base all'art. 2 del Codice, esula dal campo di applicazione del medesimo.

Tuttavia, ai soli fini didattici, si applicherà ugualmente il Codice come strumento di progettazione, dimostrando, ancora una volta, la grande flessibilità di questa metodologia, anche in relazione ad attività che, solo per ragioni amministrative, sono ancora fuori dal campo di applicazione del d.m. 3 agosto 2015 e s.m.i..

È inoltre presente, al piano interrato, l'attività 34.2.C "Depositi di carta, cartoni e prodotti cartotecnici, archivi di materiale cartaceo, biblioteche, depositi per la cernita della carta usata, di stracci di cascami e di fibre tessili per l'industria della carta, con quantitativi in massa > 50000 kg".

Riferimenti normativi

- d.m. 3 agosto 2015 - "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del d.lgs. 8 marzo 2006, n. 139" - Aggiornamento d.m. 18 ottobre 2019, come aggiornata dai decreti 14 febbraio 2020 e 6 aprile 2020 per la sezione V.

Obiettivi dello studio

Ci si propone, nell'ambito generale della progettazione antincendio dell'attività, di focalizzare l'attenzione sulla misura antincendio *Compartimentazione*, dimostrando l'adeguatezza di tale misura, mediante approccio ingegneristico, in relazione alla protezione della scala monumentale centrale (scala B).

Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3

In funzione dei profili di rischio e delle caratteristiche del fabbricato, alla misura antincendio *Compartimentazione* è stato attribuito il livello di prestazione II, per il quale viene richiesto di contrastare, per un periodo congruo con la durata dell'incendio, la propagazione dell'incendio verso altre attività e all'interno della stessa.

La *soluzione conforme* per il livello di prestazione II (par. S.3.4.1) richiede:

1. per limitare la propagazione *verso altre attività* di impiegare almeno una delle seguenti soluzioni conformi:
 - a) inserire le diverse attività in compartimenti antincendio distinti;
 - b) interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra le diverse attività.
2. per limitare la propagazione dell'incendio *all'interno della stessa attività* di impiegare almeno una delle seguenti soluzioni conformi:
 - a) suddividere la volumetria dell'opera da costruzione contenente l'attività in compartimenti antincendio opportunamente progettati;
 - b) interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra ambiti della stessa attività.

Progettazione dei compartimenti antincendio

La massima superficie lorda dei vari compartimenti viene verificata (par. S.3.6 e tab. S.3-6) in funzione del profilo di rischio R_{vita} e della quota dei medesimi che, nel caso in esame è inferiore ai 12 m.

Per i compartimenti *interrato, primo e secondo piano* (profilo di rischio R_{vita} A2 e superfici pari a 1600 m²) la superficie massima corrispondente è pari a 64000 m²; per il compartimento *piano terra* (profilo R_{vita} di rischio B2 e superficie pari a 1600 m²) la superficie massima corrispondente è pari a 32000 m².

La verifica risulta largamente soddisfatta e ciascun piano costituisce singolo compartimento.

La classe di resistenza al fuoco del compartimento (par. S.3.7.1) è risultata (Cap. S.2) pari a 45.

I collegamenti fra i tre piani dell'attività sono rappresentati dalle scale di collegamento che devono essere di tipo protetto.

In questo caso il problema che si posto è stato relativo alla scala indicata in planimetria come scala B, in quanto al piano primo non è possibile installare, per ragioni prettamente estetiche connesse al vincolo storico dell'edificio, una porta con caratteristiche idonee E 45-S_a (parr. S.3.5.4 e S.3.7.2) nella sala d'attesa antistante l'uscita di emergenza, per garantire le prestazioni del compartimento.



PARTICOLARE PLANIMETRIA PIANO PRIMO - ACCESSO ALLA SCALA B

Non è quindi possibile ottemperare, con *soluzione conforme*, al livello di prestazione II.

Al fine di dimostrare il raggiungimento del livello di prestazione attribuito (II), in relazione alla propagazione dell'incendio e dei suoi effetti nella configurazione considerata, si adotta la modalità suggerita dal Codice e generalmente accettata per la progettazione di soluzioni alternative di cui alla tab. S.3-3: "Caratteristiche del filtro (§ S.3.5.4)".

Oggetto della soluzione	Modalità progettuale
Caratteristiche dello spazio scoperto (§ S.3.5.1), del compartimento, del filtro (§ S.3.5.4), dell'ubicazione (§ S.3.9)	Si dimostri, anche con modelli analitici, che non avviene propagazione dell'incendio e dei suoi effetti nella configurazione considerata.
Compartimento a prova di fumo (§ S.15), filtro a prova di fumo (§ S.3.5.5), compartimentazione multipiano (§ S.3.6.2), comunicazioni (§ S.3.10)	Si dimostri che è comunque garantita la salvaguardia della vita degli occupanti (capitolo M.3) e, se applicabile, la protezione dei beni.
Distanza di separazione (§ S.3.8) e suo calcolo (§ S.3.11)	Si dimostri che è limitata la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti. Può essere applicata la stessa procedura analitica del paragrafo S.3.11.3, impiegando ad esempio il valore di E_{soglia} adeguato al bersaglio effettivamente esposto all'incendio, il fattore di vista F_{2-1} e la piastra radiante corrispondente alla reale configurazione geometrica, la potenza termica radiante E_1 riferita all'incendio naturale. Possono essere anche impiegati modelli numerici di simulazione dell'incendio, dei suoi effluenti e dell'irraggiamento.

TABELLA S.3-3: MODALITÀ PROGETTUALI PER SOLUZIONI ALTERNATIVE

Si è proceduto, quindi, con l'analisi dei luoghi al fine di verificare se fosse possibile ottemperare a quanto richiesto mediante una *soluzione alternativa* efficace, in grado di garantire la non propagazione dell'incendio e dei fumi sia caldi che freddi anche omettendo la porta E-S_a verso la scala¹⁵.

Analisi dei luoghi

L'ambiente antistante il vano scala B è caratterizzato da una notevole altezza (5,00 m) e da ampie vetrate a tutt'altezza lungo gran parte delle pareti perimetrali.



AMBIENTE ANTISTANTE IL VANO SCALA B (SALA D'ASPETTO)

Il varco di passaggio da tale ambiente verso la scala B è costituito da un portone in legno di pregio avente un sopraluce con apertura opposta al verso di esodo.

Tale sopraluce può essere schermato con lastre ignifughe poste tra la parte in legno prospiciente la scala e l'infisso interno.

Il portone dovrà essere tenuto sempre in posizione aperta; tale prescrizione farà parte del fascicolo relativo alla GSA, nella quale, un'apposita procedura ne prevederà il controllo ogni mattina all'apertura dell'attività.

La luce netta di passaggio è pari a 2,30 m ed è pertanto presumibile prevedere un'ampia zona di espansione dei fumi caldi al di sopra del passaggio.

La presenza delle aperture di ventilazione, poste in prossimità del solaio, dovrebbe garantire una via preferenziale per i fumi rispetto al vano scala.

In tal modo sarebbe costantemente garantito il contenimento dei fumi caldi (E).

¹⁵ I fumi freddi sono prodotti dalla combustione durante un incendio con una temperatura non sufficientemente alta per garantire l'attivazione di guarnizioni termoespandibili o termofusibili ad ampolla.

I fumi si muovono rapidamente per effetto dell'innalzamento della temperatura che provoca un aumento proporzionale del volume occupato dal gas; man mano che si allontanano dal punto in cui sta avvenendo la combustione, cedono calore all'ambiente e riducono progressivamente la loro temperatura, mantenendo comunque l'effetto irritante per le mucose degli occhi e sulle vie respiratorie e riducendo la visibilità circostante.

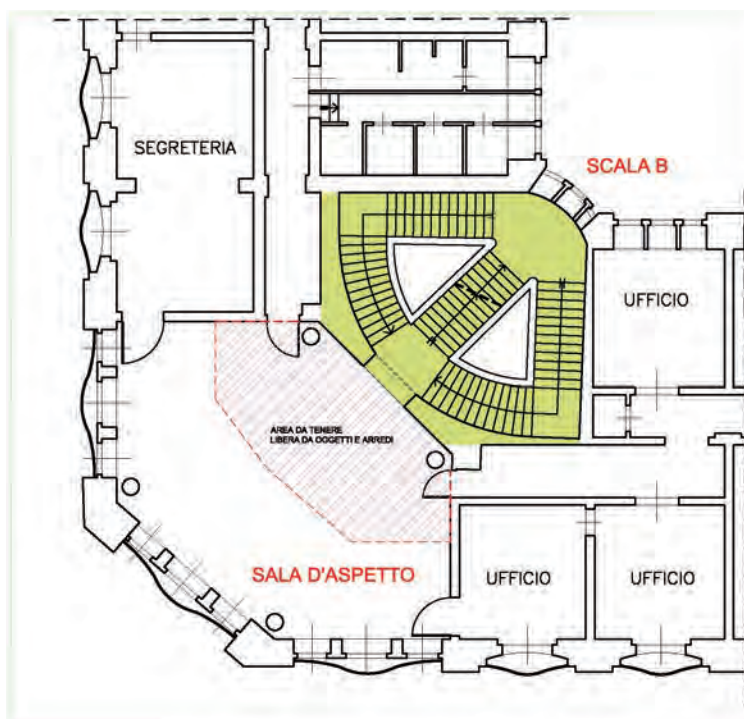


VARCO DI PASSAGGIO COLLEGANTE L'ATTUALE SALA D'ASPETTO ED IL VANO SCALA B



SEZIONE SCHEMATICA DELLA SALA D'ASPETTO - IPOTETICO ANDAMENTO DEI FUMI CALDI

Per quanto attiene la trasmissione del calore, un'ulteriore peculiarità dell'ambiente è costituita dal pavimento e dal rivestimento, interamente in marmo, a meno delle imbotti in legno delle porte presenti. Secondo le specifiche che potranno essere imposte nella stesura della GSA, tale spazio, compreso nell'ambito dell'attuale sala d'aspetto, dovrà essere costantemente lasciato libero da oggetti e arredi.



PRESCRIZIONI DELLA GSA PER LA SALA D'ASPETTO ANTISTANTE IL VANO SCALA B

Per verificare se tali condizioni architettoniche siano sufficienti per garantire la non propagabilità dell'incendio, riportando direttamente (per questioni di brevità) le conclusioni delle analisi effettuate per l'identificazione degli scenari d'incendio di progetto, si è ipotizzato un primo scenario, che prevede un focolare direttamente nella sala d'aspetto con la parte superiore delle finestre già aperte.

Successivamente, in un secondo scenario si è ipotizzato un incendio, di intensità minore, in un locale limitrofo (segreteria) simulando la rottura dei vetri nella sala d'aspetto a seguito del calore.

Soluzione alternativa

Scenario 1 - incendio nella sala d'aspetto, con le finestre totalmente aperte

Come anticipato, tale scenario consente di controllare se un incendio che abbia luogo nel locale antistante la scala non si propaghi nella stessa, considerando la parte sommitale delle finestre presenti già aperta.

Per fare questo ci si è riferito ai Metodi M1 e M2 del Codice verificando, per tutta la durata della classe del compartimento (45), che non vi sia passaggio di fumi dal varco di transito verso la scala e che l'irraggiamento termico in prossimità del varco si mantenga al di sotto della soglia di 2,5 kW/m² (tab. M.3-2)¹⁶

Definizione del focolare d'incendio

Per questo scenario si è adottato, all'interno della sala d'aspetto, un focolare molto severo (HRR_{max} totale pari 5 MW), ponendosi ai valori massimi di quanto indicato al par. M.2.7 (tab. M.2-2) per le attività civili, in modo da avere risultati più cautelativi rispetto a quelli ottenibili con i valori suggeriti dall' Eurocodice EN 1991-1-2 per le attività destinate ad uffici.

Parametro	Focolare predefinito per attività civile
Velocità caratteristica di crescita dell'incendio t_a	150 s (<i>fast</i>)
HRR _{max} totale	5 MW
HRR _{max} per m ² di superficie del focolare	500 kW/m ²
Resa in particolato Y_{soot}	0,11 kg/kg
Resa in monossido di carbonio Y_{CO}	0,40 kg/kg
Calore di combustione effettivo ΔH_C	20 MJ/kg
Frazione di HRR(t) in irraggiamento (<i>Radiative fraction</i>)	35%

¹⁶ Si è scelto di verificare il valore di irraggiamento massimo per la salvaguardia delle persone e non quello per la propagazione dell'incendio in quanto tale scala è usata essenzialmente come via di esodo. Tale valore garantisce anche che gli imbotti in legno non prendano fuoco.

All'interno dello scenario sono state collocate delle sonde virtuali per l'analisi delle temperature, dell'altezza dei fumi caldi e dell'irraggiamento.

Tali sonde sono state ubicate in maniera da poter monitorare le zone di maggiore interesse: ad entrambi i lati del varco di emergenza (per valutare la quantità di calore radiante presente e verificare il passaggio dei fumi caldi) e lungo il muro perimetrale che contiene le finestrate, per potere valutare l'effetto dell'incendio sulle stesse.

Le sonde di temperatura sono state poste a due quote, al di sopra del varco, per valutare la sollecitazione del sopraluce.

È stata infine monitorata la temperatura della parete di confine.



SCENARIO 1 - FOCOLARE NELLA SALA D'ASPETTO ANTISTANTE IL VANO SCALA B

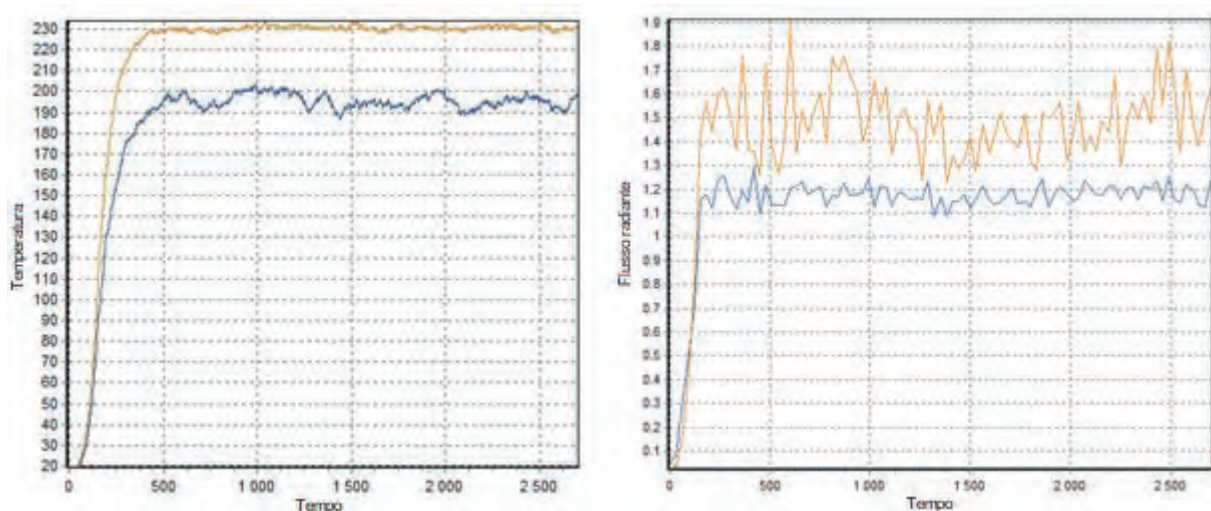
Al termine della simulazione, il rivelatore posto all'interno della scala ha registrato un valore massimo pari a 0,000547% obsc/m¹⁷, ovvero molto al di sotto della soglia di attivazione e al di sotto anche della soglia di visibilità dello stesso (i fumi iniziano ad essere visibili per valori compresi tra 0,1 e 1 % obsc/m).

I rivelatori di fumo sfruttano l'effetto Tyndall rivelando le particelle di fumo visibili e fredde da 0,3 µm a 2 µm prodotte durante le prime fasi di un incendio: la mancata attivazione di tale sensore, pertanto, fornisce indicazioni anche sulla mancata propagazione dei fumi freddi.

Le temperature dei fumi al di sopra della porta (2,40 m e 3,00 m) hanno mantenuto valori al di sotto dei 250°C, mentre i valori del flusso radiante non hanno superato 2 kW/m².

Analogamente, le sonde di misura del flusso radiante inferiore, poste a 1,00 m e a 2,50 m di altezza, non hanno mai superato i 2 kW/m².

¹⁷ L'obsc/m indica la percentuale di riduzione del campo visivo; è l'unità di misura utilizzata per indicare la sensibilità dei rivelatori di fumo.



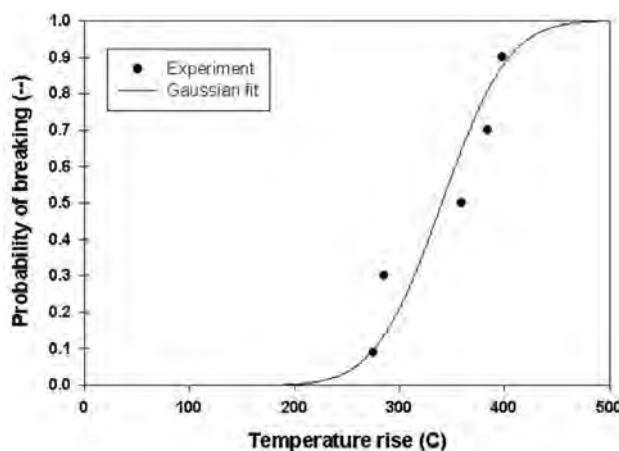
A SINISTRA ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE A 2,40 E 3,00 M - A DESTRA MISURA DEL FLUSSO RADIANTE

Questa prima dimostrazione ha permesso di validare le ipotesi di partenza: considerata la notevole altezza dell'ambiente (5,00 m) rispetto all'altezza del vano porta (2,30 m) e la presenza delle ampie finestrate, i fumi caldi non invadono la scala ed il calore prodotto dall'incendio non si propaga oltre la sala d'aspetto. Quanto sopra garantisce che non ci sia propagazione dell'incendio tra il compartimento di piano primo e quello piano secondo durante tutte le fasi di incendio.

Scenario 2 - incendio nella segreteria, rottura dei vetri

Le ipotesi adottate nello scenario precedente sono valide solo a condizione che le finestre presenti nella sala d'attesa siano aperte e che si mantengano tali per tutto il tempo dell'incendio. Dal momento che, normalmente, tali finestre sono chiuse, ci si è posti il problema di studiare il fenomeno della rottura dei vetri in condizioni di stress termico dovuto ad un incendio.

Le finestre presenti sono costituite da vetri a singola lastra di spessore non superiore ai 4 mm. Già nel 1969 furono pubblicati i primi studi riguardo la rottura dei vetri in caso di incendio, ad opera del ricercatore russo Roytman, che individuò in 300°C la temperatura minima affinché si possa sopportare la sicura rottura del vetro. Test analoghi furono condotti da Hassani, Shields e Silcock¹⁸, che condussero una serie di prove su finestre con un singolo vetro da 4 o 6 mm. In questo esperimento fu evidenziato come la comparsa di crepe o di danneggiamenti del vetro, mediamente raggiunti a temperature tra i 320 e i 460°C, non comportava automaticamente la caduta della lastra. Analogo risultato fu ottenuto dal *Building Research Institute of Japan* che ha valutato, in termini probabilistici, la possibilità di rottura dei vetri all'interno di un locale in presenza di incendio.




TEST CONDOTTI DA HASSANI, SHIELDS E SILCOCK

¹⁸ *Experimental Evaluation of Temperature and Stress Field in Glass Subjected to an enclosure fire*

Altri studi, come ad esempio quello condotto nel 2000 da Harada, Enomoto, Uede e Wakamatsu¹⁹, hanno provato a correlare la rottura dei vetri all'energia radiante, registrando anche la percentuale della lastra di vetro caduta.

Il particolare interessante di tale studio è stato quello di verificare che, se sottoposto ad un flusso di calore importante, superiore ai 5 kW/m², la rottura iniziale del vetro inizia già a temperature relativamente basse (90 - 100°C).

run No.	glass type and restraint	imposed heat flux [kW/m ²]	at initial crack					time to fall out [s]	final fall out area [%]	
			time to crack [s]	edge strain [$\times 10^{-6}$]	pane temp. [°C]	edge temp. [°C]	temp. difference [K]			
1	float	low	5.43	172	400	80.3	35.5	44.8	-	0
2	glass		5.50	214	412	86.6	43.5	43.2	-	0
3	(3mm)		5.50	234	448	90.9	42.9	48.0	234	0.7
7	with	med.	6.41	170	511	92.9	36.5	56.4	170	1.2
8	lateral		6.73	124	460	83.0	31.9	51.1	166	0.3
9	restraint		6.92	138	488	88.8	36.3	52.5	-	0
16		high	8.72	74	415	82.9	32.3	50.6	-	0
17			8.99	108	505	102.9	38.4	64.5	108	17.0
15			9.63	88	480	94.2	35.6	58.6	88	7.5

TEST CONDOTTI DA HARADA, ENOMOTO, UEDE E WAKAMATSU

Partendo dalle precedenti considerazioni, si è proceduto ad ipotizzare un secondo scenario, nel quale il focolare di incendio è situato nel locale segreteria, adiacente la sala d'attesa; sono state, quindi, collocate delle sonde di misura sulle finestre sia della stanza nella quale è posto il focolare, sia su tutte le finestre della sala d'attesa.

Si è quindi individuato un focolare maggiormente significativo per l'attività in esame, secondo le indicazioni dell'Eurocodice EN 1991-1-2, che prevede un HRR_i pari a 250 kW/m² e t = 300 s.

I valori relativi alla combustione sono rimasti inalterati rispetto al precedente focolare.

Per simulare la rottura delle finestre, sono state poste delle sonde virtuali di temperatura e flusso radiante su ogni finestra ed è stata attivata una funzione di controllo (&CTRL ID) che simuli l'apertura della finestra nel caso si verifichi una delle due condizioni (ANY), ovvero temperatura > 300°C o flusso radiante > 10 kW/m².

Lo studio di tale scenario ha evidenziato quanto segue:

- ✓ la rottura della prima finestra (nel locale segreteria in cui è posto il focolare) avviene dopo circa 350 s;
- ✓ le finestre della sala d'attesa non raggiungono mai valori tali da provocarne la sicura rottura;
- ✓ a causa del ritardo tra l'innesco e la rottura della prima finestra, il fumo invade i locali e raggiunge anche la scala, come registrato dal rivelatore di fumo;
- ✓ dopo la rottura della finestra, il fumo trova una via preferenziale verso l'esterno e la quantità di fumo spinto verso la scala si riduce al di sotto dei valori limite.

In questo caso, quindi, benché la non propagazione dell'incendio sulla scala sia sempre verificata (valori di temperatura e calore radiante inferiore ai limiti imposti), lo stesso non può dirsi per i fumi freddi.

¹⁹ An Experimental Study on Glass Cracking and Fallout by Radiant Heat Exposure



SCENARIO 2 - FOCOLARE NELLA SEGRETERIA ADIACENTE LA SALA D'ASPETTO

Sulla scorta di quanto appreso nel secondo scenario, appare evidente come sia essenziale che una parte delle finestre, tipicamente quelle di sommità, si aprano con una tempistica minore rispetto a quella necessaria per la normale rottura delle lastre in vetro.

Tale aspetto è tanto più vero se il focolare è di entità ridotta o se ha uno sviluppo particolarmente lento.

Pertanto, al fine di garantire le condizioni di sicurezza è necessario operare delle scelte per garantire che la parte sommitale delle finestre si apra in tempi decisamente brevi.

Pannelli bassofondenti

La prima ipotesi che è stata analizzata è quella relativa ai pannelli bassofondenti da installarsi in sostituzione dei vetri; tali pannelli costituiscono una soluzione prevista dal Codice come aperture di smaltimento di tipo SEe (tab. S.8-4).

I pannelli bassofondenti sono lastre di materiale plastico trasparente, che hanno valori di rammollimento (T_g - Glass Transition) e di fusione (Melting Point) molto più bassi del vetro.

In commercio ne esistono un numero elevato con proprietà chimico fisiche diverse.

Le lastre più comuni sono generalmente realizzate in Polietilene tereftalato (PET) o in Polimetilmetacrilato (PMMA), che hanno le seguenti caratteristiche termiche:

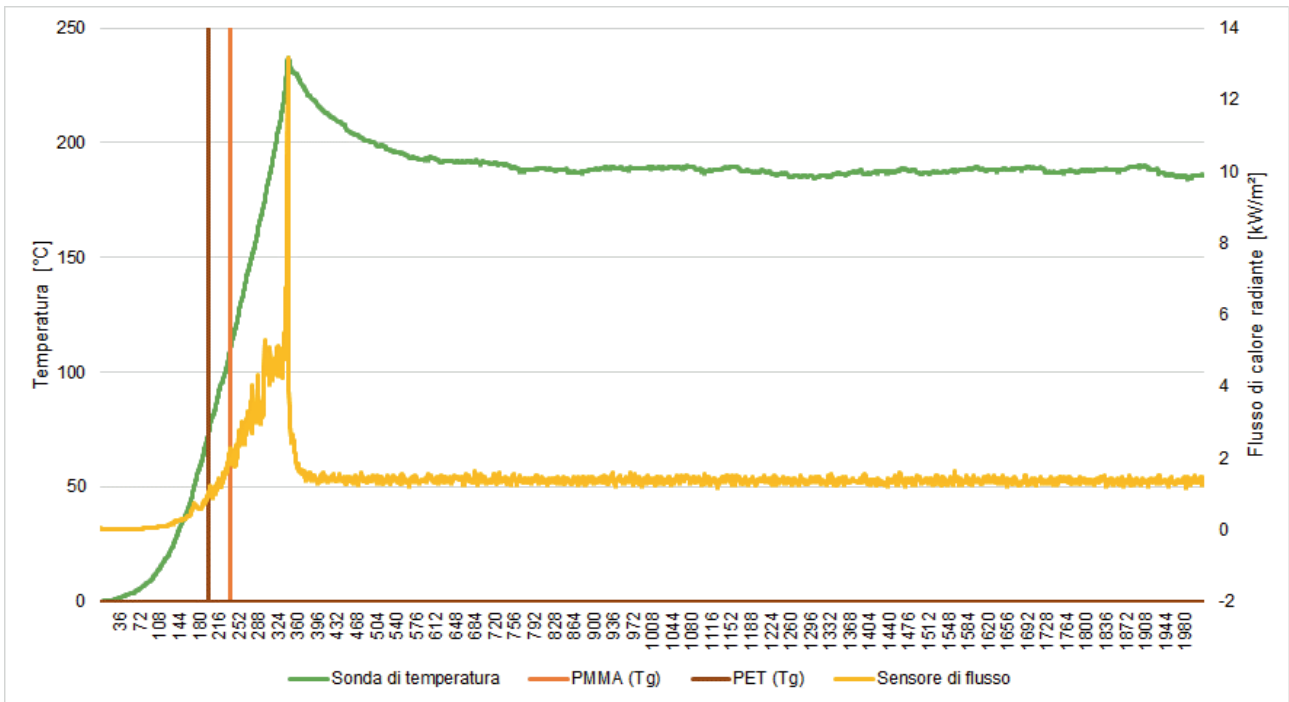
	T_g (°C)	T_f (°C)	Fonte
PET	69 - 79	245 - 265	20
PMMA	97 - 116	180 - 218	21

Le proprietà più interessanti per la nostra finalità sono la temperatura di rammollimento T_g e quella di fusione T_f ; le lastre di PET presentano temperature sensibilmente più basse di quelle di PMMA, mostrando tuttavia delle temperature di fusione più elevate.

Confrontando tali valori con quelli misurati durante la seconda simulazione, in cui si è simulata la rottura del vetro, si nota che esso è stato attivato dal flusso di calore radiante che ha superato il valore di 10 kW/m^2 , dopo circa 341 s; nello stesso momento, la temperatura registrata era di 235°C .

²⁰ Crystallization Behavior of PET Materials, Bilal Demirel, Ali Yaraş, Hüseyin Elçiçek

²¹ Experimental and Numerical Study of the Thermal Degradation of PMMA, Christian Vovelle, Jean-Louis Delfau, Marcelline Reuillon, Jacques Bransier & Najib Laraqui



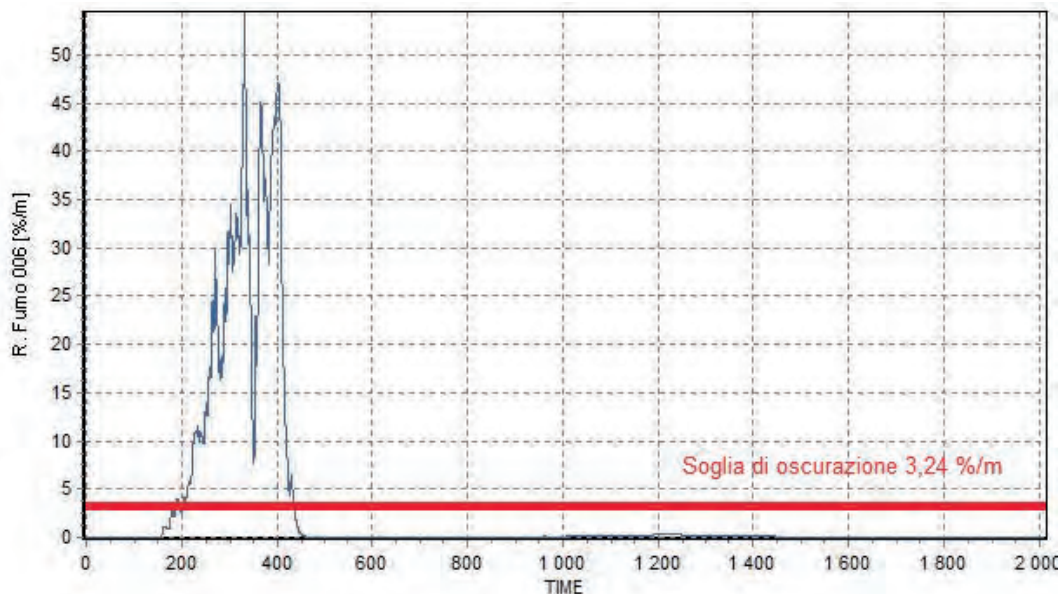
SCENARIO 2 - RISULTANZE DELLE TEMPERATURE DI RAMMOLLIMENTO DEI PANNELLI BASSOFONDENTI

Nel caso si fosse usata una lastra di PET il rammollimento si sarebbe registrato a circa 190 s, mentre nel caso del PMMA a 230°C.

Analizzando il dispositivo di controllo del fumo nella scala, si nota come tali valori sarebbero compatibili con la simulazione.

Tuttavia, il comportamento della plastica nel punto di rammollimento non garantisce la caduta della lastra. Tale certezza si potrebbe ottenere solo raggiungendo la fusione ma, in tal caso, i tempi sarebbero troppo lunghi.

Infatti, dall’analisi del rivelatore di fumo posto all’ingresso della scala, emerge che già dopo 200 s, è presente del fumo.



SCENARIO 2 - ANALISI DEL RIVELATORE DI FUMO POSTO ALL’INGRESSO DELLA SCALA

Per ovviare a tale problema si potrebbero dotare le porte di accesso a tale locale di sistemi di autochiusura in modo da rallentare la propagazione dei fumi per il tempo necessario a far fondere i pannelli in plastica.

Modifica dei serramenti

Una soluzione decisamente più efficace potrebbe consistere nel modificare i serramenti esterni in modo tale da garantirne l'apertura in caso di incendio attraverso un sistema di apertura collegato al sistema di rivelazione fumi.

Il sistema consentirebbe l'apertura a ribalta della sola parte superiore dell'infisso, a seguito di modifica dello stesso.

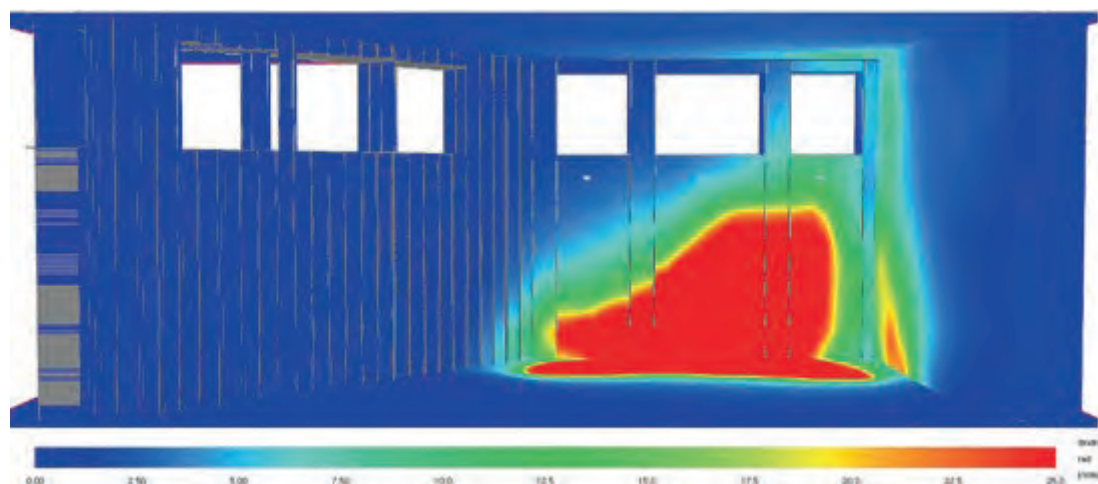
I componenti necessari all'apertura della finestra sarebbero contenuti nella cerniera a molla e dall'elettromagnete di ritenuta collegato al sistema di rivelazione fumi e potrebbero semplicemente trovare posto ed essere mascherati nelle imbotti in legno della finestra, senza quindi alterarne il profilo estetico.

Questo metodo eliminerebbe completamente il fattore legato all'aleatorietà della rottura dei vetri o delle lastre in plastica, garantendo sempre la risposta più efficace.

Per verificare quest'ultima ipotesi (apertura della parte alta dell'infisso a seguito di rivelazione fumo), è stata ripetuta la prima simulazione, limitando l'apertura delle finestre alla sola parte alta.

La simulazione ha confermato le ipotesi assunte, garantendo l'assenza di fumi nella scala (sia caldi che freddi) e, in definitiva, garantendo che l'incendio non si propaghi in altri compartimenti.

Tale simulazione è inoltre conservativa, in quanto, come è possibile notare dall'immagine successiva, in caso di incendio, la parte sottostante della finestra più vicina al focolare sarebbe investita comunque da un flusso di calore importante che ne provocherebbe la rottura aumentando le aperture di ventilazione.



SCENARIO 2 - SIMULAZIONE APERTURA PARTE ALTA FINESTRE A SEGUITO DI RIVELAZIONE FUMO

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata verificata con *soluzione alternativa* la progettazione della misura S.3 per una attività soggetta al controllo di prevenzione incendi ospitata in un edificio vincolato.

La necessità di volere preservare l'unicità di alcuni locali ha comportato la necessità di trovare soluzioni alternative per garantire la compartimentazione tra i piani dell'edificio.

In particolare si è dimostrato che il vano scala monumentale, in collegamento al piano primo con la sala d'aspetto, risulta non invaso dai fumi generatisi nella sala d'aspetto e nella segreteria con essa comunicanti, nonostante l'assenza (dovuta a vincoli storici) di una porta a tenuta di fumi caldi e freddi.

Per fare ciò è stato necessario ricorrere alla FSE, della quale, per ovvi motivi di brevità, si sono riportati solo degli stralci significativi.

Negli scenari d'incendio di progetto credibili sono stati raggiunti gli obiettivi stabiliti nella progettazione, non senza aver effettuato interessanti scelte tecniche e gestionali per ottimizzare l'aderenza tra modellazione e realtà.

❖ *Commento dei risultati*

L'analisi dei luoghi è stata la chiave per trovare una soluzione alternativa al problema: la posizione ad angolo del varco di ingresso, le considerevoli altezze e la possibilità di ottenere grandi aperture di ventilazione hanno permesso di garantire la mancata propagazione dei fumi e dell'incendio anche omettendo la chiusura del varco.

È stato inoltre messo in evidenza come anche focolari di intensità ridotta o in zone più lontane dal punto da controllare possano creare dei problemi soprattutto per la propagazione dei fumi freddi.

In relazione a questi ultimi, che sono fumi "meno caldi", incapaci pertanto di attivare ampolle o guarnizioni a tenuta, nel caso in esame, tali fumi potrebbero raggiungere il varco solo se l'incendio si sviluppasse al di fuori della sala d'attesa.

Ma in questo caso, essendo il sistema di rivelazioni fumi (di tipo ottico) esteso a tutta l'attività, una volta raggiunto la sala d'attesa troverebbe le finestre aperte e non interesserebbe il varco.

È quindi possibile concludere che il varco è anche a tenuta di fumi freddi.

Ovviamente, tale soluzione richiede un'estensione della misura antincendio legata alle procedure di sicurezza (GSA) al fine di garantire che le condizioni imposte siano costantemente mantenute.

In particolare, è necessario che l'area antistante il varco sia sempre mantenuta sgombra da materiale combustibile e che il portone in legno sia sempre tenuto aperto per garantire l'esodo.

L'analisi eseguita ha anche evidenziato come non sia possibile basare la sicurezza antincendio sulla possibilità che si verifichi la naturale rottura dei vetri, in quanto i risultati sono fortemente legati alla tipologia di vetri installati e al punto in cui l'incendio si verifica.

Lo studio dei materiali bassofondenti ne ha evidenziato delle caratteristiche interessanti anche se difficilmente possono trovare spazio in soluzioni in cui sia richiesta una risposta rapida.

Pertanto, coordinare un buon sistema di rivelazione fumi con un'apertura a molla resta la soluzione più efficace anche se richiede dei costi aggiuntivi ed una manutenzione costante.

Caso studio 5: edificio pluripiano adibito ad ufficio

Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un'attività ufficio, non aperto al pubblico, esercita in un edificio, realizzato con struttura in CLS armato, avente sette piani fuori terra e tre piani interrati.

L'edificio è divenuto attività antincendio in seguito ad un incremento del numero di persone impiegate al suo interno.

L'edificio, non essendo stato progettato, in termini di compartimentazione, con le attuali norme antincendio presenta diversi elementi che collegano i piani tra loro, quali la scala centrale, gli ascensori e diversi cavedi impiantistici.

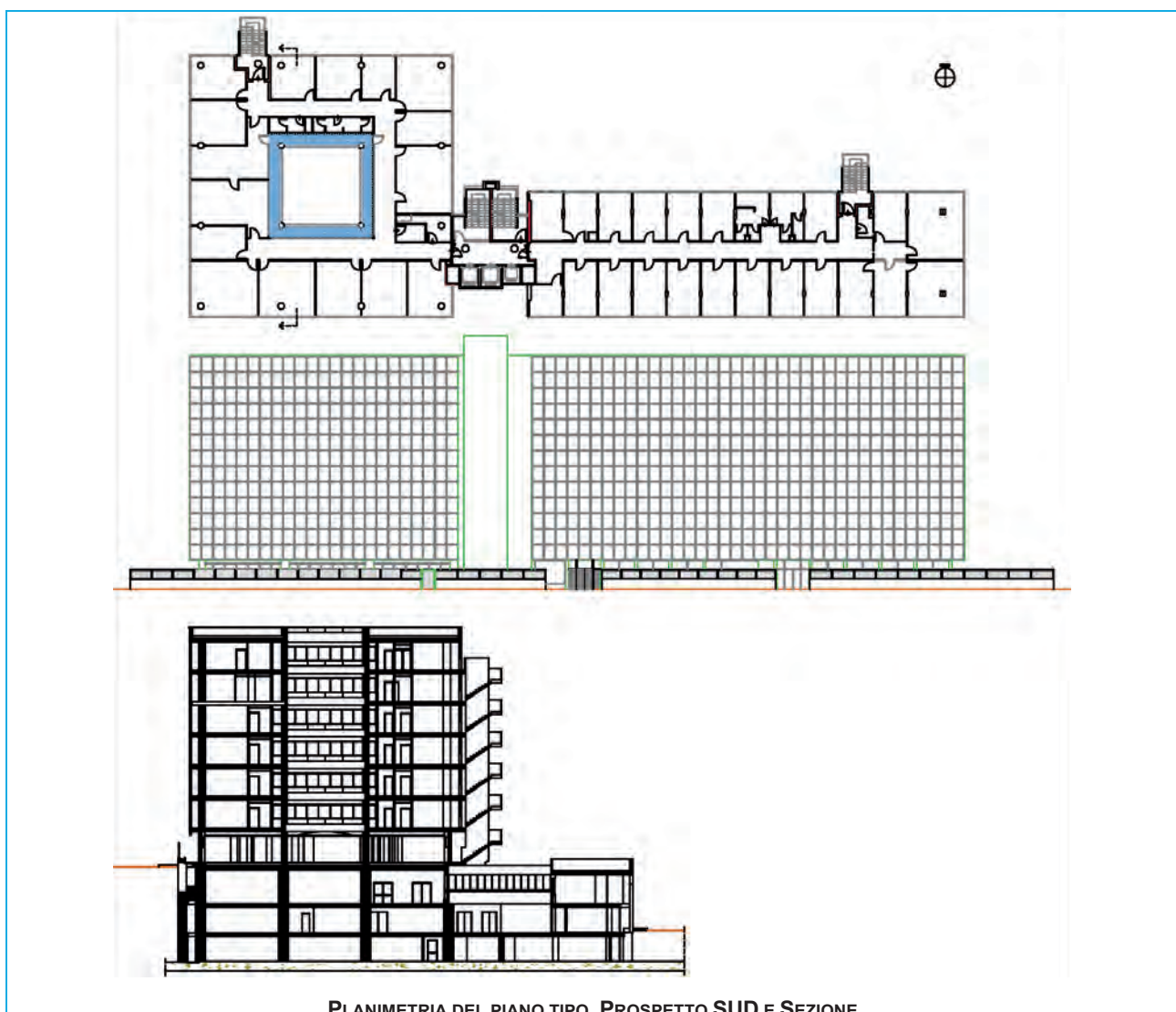
Tali elementi vanno invece gestiti in maniera da permettere la compartimentazione tra i diversi piani.

Lo scopo dell'esempio è quello di proporre una *soluzione conforme* per risolvere le problematiche inerenti la misura antincendio *Compartimentazione*.

I tre piani interrati dell'edificio sono adibiti a deposito di materiale cartaceo; essi costituiscono, già in precedenza, un compartimento antincendio, in quanto l'attività di deposito era già presente prima dell'incremento del numero di addetti all'ufficio e possedeva un proprio Certificato di Prevenzione Incendi.

Pur essendo inserito all'interno di un complesso edilizio molto esteso, l'edificio in esame è isolato rispetto ad altri fabbricati; la distanza rispetto ad altre opere da costruzione ed al confine dell'area su cui sorge l'attività medesima è infatti superiore all'altezza massima dell'edificio, oltre a non irradiare calore in quantità rilevanti oltre tale distanza visto il ridotto carico d'incendio specificamente inferiore a 600 MJ/m^2 (pertanto basta interporre uno spazio scoperto per non avere effetti termici su eventuali bersagli).

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:



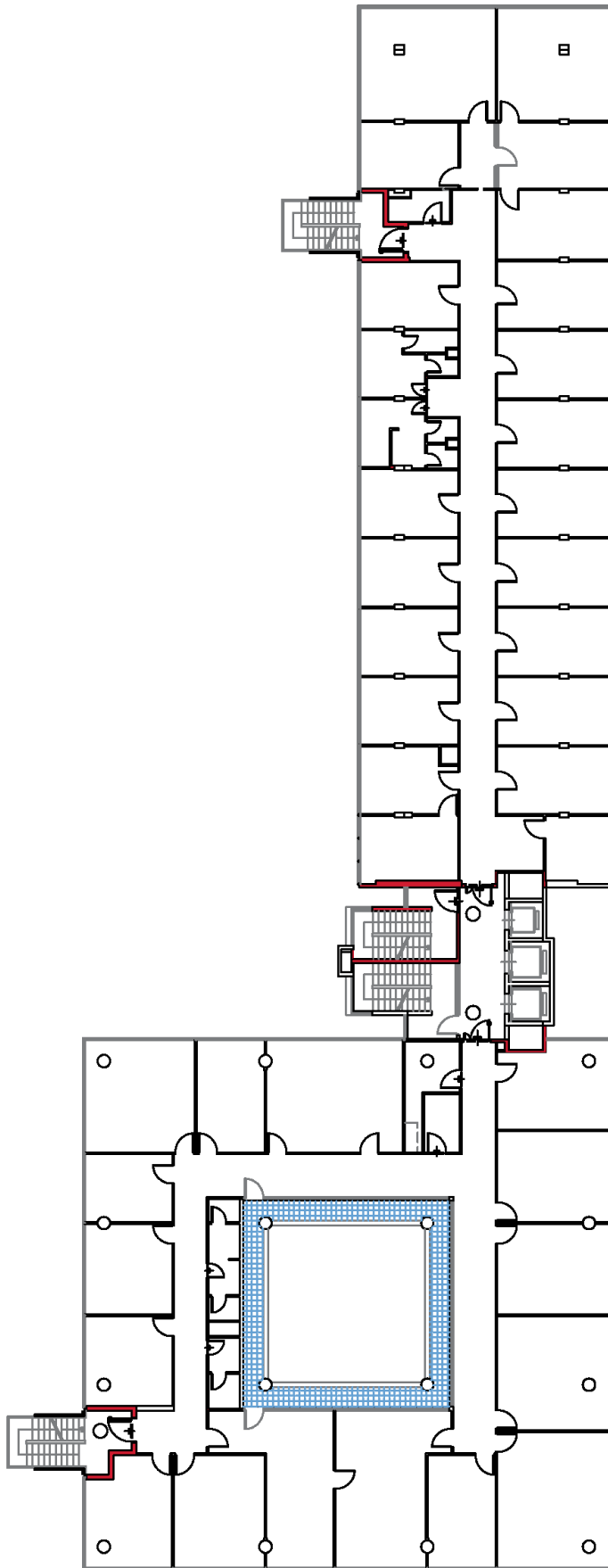
PLANIMETRIA DEL PIANO TIPO, PROSPETTO SUD E SEZIONE

Superficie totale	Sup. fuori terra = 8785 m ² - Sup. interrata = 8380 m ²
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in CLS armato
Numero occupanti	700 (le persone disabili hanno uffici riservati al primo piano)
Classificazione RTV V.4	OB/HB
Profili di rischio R _{vita}	A2 per le aree di tipo TA, TO e TT (parr. V.4.2.2 e G.3.2.2) per i piani fuori terra
	A2 per le aree di tipo TK (parr. V.4.2.2 e G.3.2.2) per i piani interrati
Profilo di rischio R _{beni}	Attività non vincolata né strategica = 1 (par. G.3.3)
Profilo di rischio R _{ambiente}	Non significativo (par. G.3.4)
Reazione al fuoco	Livello II di prestazione (parr. S.1.3, S.1.4.1 e V.4.4.1)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (parr. S.2.3, S.2.4.3 e V.4.4.2)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (parr. S.3.3, S.3.4.1 e V.4.4.3)
Esodo	Livello I di prestazione (parr. S.4.3 e S.4.4.3)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello III di prestazione (parr. S.5.3, S.5.4.1 e V.4.4.4)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (parr. S.6.3, S.6.4.2 e V.4.4.5) Rete di Idranti (UNI 10779) per i piani fuori terra
	Livello IV di prestazione (parr. S.6.3, S.6.4.3 e V.4.4.5) Impianto di spegnimento a gas inerte (UNI EN 15004-1) per i piani interrati
Rivelazione ed allarme	Livello II di prestazione (parr. S.7.2, S.7.4.2 e V.4.4.6) Impianto IRAI (UNI 9795) per i piani fuori terra
	Livello IV di prestazione (parr. S.7.3, S.7.4.4 e V.4.4.6) Impianto IRAI (UNI 9795) per i piani interrati
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (parr. S.8.3 e S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello IV di prestazione (parr. S.9.3 e S.9.4.3)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (parr. S.10.3, S.10.4.1 e V.4.4.7)

L'affollamento dichiarato dal *responsabile dell'attività* è pari a 100 persone per ciascun piano fuori terra, pertanto il numero totale di persone presenti è pari a 700, essendo i piani interrati normalmente non occupati, se non occasionalmente e per brevi periodi di tempo, dal medesimo personale stanziato ai piani superiori.

In relazione alla tipologia costruttiva dell'edificio (costruzione in C.A.) ed alla presenza di tamponature esterne realizzate con facciata continua in vetro, il carico di incendio specifico q_f , all'interno dei piani fuori terra, è stato limitato a 200 MJ/m².

Conseguentemente, in base al par. 3.1 della circolare DCPREV n. 5093 del 15 aprile 2013 (*Guida tecnica su requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili*), presentando tali piani un carico di incendio specifico inferiore a 200 MJ/m², non sono richiesti requisiti di resistenza al fuoco per gli elementi della facciata.

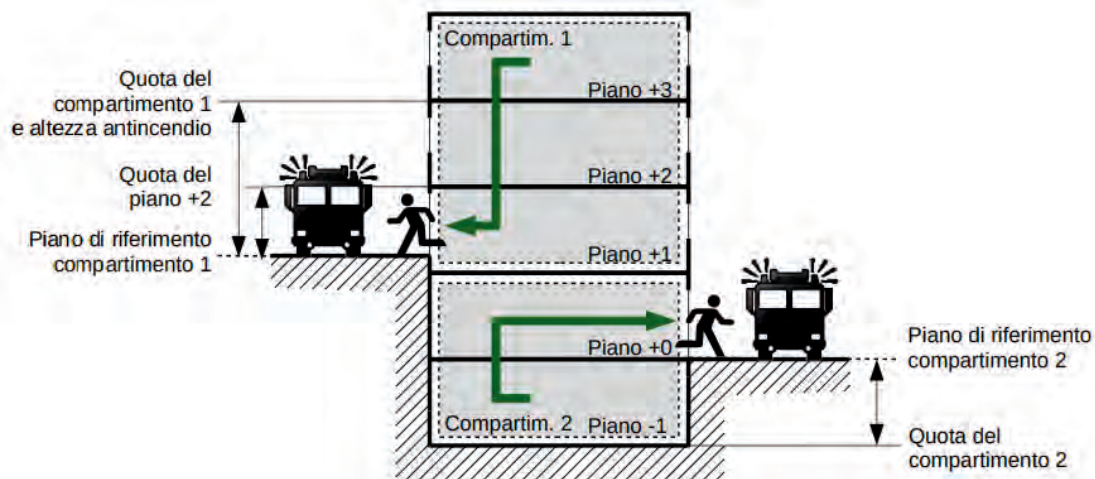


PLANIMETRIA DEL PIANO TIPO

Nel progetto si evidenzia la presenza di due piani di riferimento, in quanto la conformazione orografica del sito, collocato su una collina, permette tale schematizzazione:

- il primo piano di riferimento (R_a) è costituito dal piano stradale ove si colloca l'accesso alla portineria degli uffici (piano terra dell'edificio), che funge da piano di riferimento per tutti i piani afferenti l'attività principale (uffici oltre i 500 addetti); il piano terra è quindi provvisto delle uscite finali per l'esodo degli occupanti degli uffici e costituisce anche l'accesso per i soccorritori ai piani fuori terra;
- il secondo piano di riferimento (R_b) è costituito dal piano stradale (collocato ad una quota altimetrica inferiore di 6,00 m rispetto al precedente) ove si colloca l'accesso al magazzino di materiale cartaceo (secondo piano interrato dell'edificio), che funge da piano di riferimento per tutti i piani afferenti l'attività secondaria (deposito di carta); in realtà, il primo e secondo piano interrati sono dei seminterrati (una delle loro pareti si affaccia direttamente all'aperto, su un versante della collina). In particolare, il secondo piano interrato è provvisto delle uscite finali per l'esodo degli occupanti del magazzino di materiale cartaceo e costituisce anche l'accesso per i soccorritori ai piani interrati.

Viene quindi sfruttata la schematizzazione presente nell'illustrazione G.1-3, di seguito riportata, in cui si ha la presenza di un doppio piano di riferimento, utilizzabile sia per l'esodo degli occupanti, che per l'accesso dei VV.F..



ESTRATTO DALL'ILLUSTRAZIONE G.1-3: ESEMPI DI ALTEZZA ANTINCENDIO, QUOTE DI PIANO E DI COMPARTIMENTO, IN SEZIONE

Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi

Trattasi di attività classificata al punto 71.2.B dell'Allegato I del d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151: "Aziende ed uffici, con oltre 500 persone presenti (fino a 800 persone)".

È inoltre presente, ai piani interrati, l'attività 34.2.C "Depositi di carta, cartoni e prodotti cartotecnici, archivi di materiale cartaceo, biblioteche, depositi per la cernita della carta usata, di stracci di cascami e di fibre tessili per l'industria della carta, con quantitativi in massa > 50000 kg".

Riferimenti normativi

- d.m. 3 agosto 2015 - "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del d.lgs. 8 marzo 2006, n. 139" - Aggiornamento d.m. 18 ottobre 2019, come aggiornata dai decreti 14 febbraio 2020 e 6 aprile 2020 per la sezione V.

Obiettivi dello studio

Ci si propone, nell'ambito generale della progettazione antincendio dell'attività, di focalizzare l'attenzione sulla misura antincendio *Compartimentazione*, dimostrando, mediante *soluzione conforme*, l'adeguatezza di tale misura, in rapporto alla presenza degli elementi di collegamento fra i vari piani (scala centrale e ascensori), compresi i cavedi impiantistici.

Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3

In funzione dei profili di rischio e delle caratteristiche del fabbricato, alla misura antincendio *Compartimentazione* è stato attribuito il livello di prestazione II, per il quale viene richiesto di contrastare, per un periodo congruo con la durata dell'incendio, la propagazione dell'incendio verso altre attività e all'interno della stessa.

Si sottolinea che nel caso in oggetto non è possibile applicare il livello di prestazione I (che non prevede requisiti di compartimentazione), in quanto non viene ammesso nelle attività soggette.

Viceversa, il livello di prestazione III si applica quando le risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività prevedano di contrastare anche la propagazione dei fumi freddi all'interno della stessa attività.

In particolare, l'applicazione di tale livello viene suggerita, ad esempio, per attività con elevato affollamento, attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico q_f , presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, oppure in luoghi ove siano presenti compartimenti con profilo di rischio R_{vita} compreso in D1, D2, Cii2, Cii3, Ciii2, Ciii3, al fine di proteggere gli occupanti che dormono o che ricevono cure mediche.

Nel caso in oggetto, la valutazione del rischio ha permesso di stabilire che l'attribuzione del livello di prestazione II fosse sufficientemente cautelativa, in quanto:

- l'edificio è provvisto di due scale esterne, pertanto gli occupanti possono effettuare l'esodo attraverso tali scale senza venire in contatto con i fumi freddi;
- i depositi di materiale cartaceo presenti ai piani interrati non sono frequentati da occupanti, se non in maniera occasionale e per brevi periodi di tempo; tali compartimenti sono dotati di impianto automatico di controllo dell'incendio, con estinguente gassoso e di impianto IRAI automatico, esteso a tutta la superficie.
Tali impianti consentono di ridurre il rischio di propagazione dei fumi freddi ai piani superiori, poiché un eventuale principio di incendio sarebbe dapprima segnalato prontamente dall'impianto IRAI (permettendo l'esodo degli occupanti dei piani superiori in tempi rapidi), per poi essere controllato dall'impianto ad estinguente gassoso.

La propagazione dei fumi freddi viene comunque impedita all'interno del vano scala principale (scala protetta avente chiusure dei varchi di comunicazione almeno E30-Sa), come misura richiesta dal comma 2 del par. S.4.7.

In generale, infatti la protezione con porte E-30-Sa è evitabile se la scala è a prova di fumo, essendo queste sempre surrogabili.

Soluzione conforme RTO

In funzione dei profili di rischio e delle caratteristiche del fabbricato, alla misura antincendio *Compartimentazione* è stato attribuito il livello di prestazione II, per il quale viene richiesto di contrastare, per un periodo congruo con la durata dell'incendio, la propagazione dell'incendio verso altre attività e all'interno della stessa.

La *soluzione conforme* per il livello di prestazione II (par. S.3.4.1) richiede:

1. per limitare la propagazione *verso altre attività* di impiegare almeno una delle seguenti soluzioni conformi:
 - a) inserire le diverse attività in compartimenti antincendio distinti;
 - b) interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra le diverse attività.
2. per limitare la propagazione dell'incendio *all'interno della stessa attività* di impiegare almeno una delle seguenti soluzioni conformi:
 - a) suddividere la volumetria dell'opera da costruzione contenente l'attività in compartimenti antincendio opportunamente progettati;
 - b) interporre distanze di separazione su spazio a cielo libero tra ambiti della stessa attività.

3. L'ubicazione delle diverse attività nella stessa opera da costruzione deve essere stabilita secondo i criteri di cui al paragrafo S.3.9.
4. Sono ammesse *comunicazioni* tra le diverse attività presenti nella stessa opera da costruzione, realizzate con le limitazioni e le modalità descritte al paragrafo S.3.10.

In riferimento al comma 1 del par. S.3.4.1, si evidenzia che i compartimenti interrati, destinati all'attività secondaria (depositi di materiale cartaceo), sono effettivamente inseriti in compartimenti antincendio distinti rispetto all'attività principale (uffici), come descritto nei parr. S.3.5 e S.3.6 ed hanno le caratteristiche riportate nel par. 3.7.

All'esterno dell'attività non vi sono altre attività limitrofe, in quanto il fabbricato è isolato rispetto ad altre opere da costruzione: la distanza rispetto ad altre opere da costruzione ed al confine dell'area su cui sorge l'attività medesima è superiore all'altezza massima dell'edificio.

Per quanto riguarda il comma 2 del par. S.3.4.1, si evidenzia che la propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività viene limitata attraverso la suddivisione della volumetria dell'opera da costruzione contenente l'attività in compartimenti antincendio, come descritto nei parr. S.3.5 e S.3.6, con le caratteristiche di cui al par. S.3.7.

All'esterno del fabbricato non vi sono ulteriori ambiti della stessa attività.

In riferimento al comma 3 del par. S.3.4.1, si può affermare che, in termini di ubicazione, è presente la coesistenza dell'attività principale (ufficio) e di quella secondaria (deposito di materiale cartaceo).

La titolarità dell'edificio appartiene a un solo soggetto, che è il *responsabile dell'attività* dal punto di vista antincendio (vedi par. S.5.4 e tab. S.5-7), per quanto attiene la misura GSA (Gestione della Sicurezza Antincendio).

Dato che si è scelto il livello di prestazione III per la misura S.5, è stato individuato anche un "coordinatore unità gestionale GSA" ed un "Coordinatore degli addetti del servizio antincendio".

Il comma 4 del par. S.3.4.1, permette le comunicazioni tra le due attività presenti nell'edificio.

Conformemente al par. S.3.10, tali attività non hanno un profilo di rischio R_{vita} D1 o D2, né sono afferenti a responsabili diversi, pertanto le comunicazioni non sono a prova di fumo.

Soluzione conforme RTV V.4

Oltre alle soluzioni progettuali conformi previste dalla RTO per il livello di prestazione II del Cap. S.3, dato che si sta trattando un'attività adibita ad uffici, è necessario individuare le ulteriori soluzioni progettuali richieste dalla relativa RTV V.4 Uffici.

In merito alla *Compartimentazione*, tali soluzioni sono riportate al par. V.4.4.3:

1. Le aree di tipo TA, TO devono essere ubicate a quota di piano ≥ -5 m.
2. Le aree di tipo TA e TO con controllo dell'incendio (capitolo S.6) di livello di prestazione IV e con vie di esodo verticali protette possono essere ubicate a quote -10 m.
3. Le aree dell'attività devono avere le caratteristiche di compartimentazione (capitolo S.3) previste in tabella V.4-2.
4. Gli uffici afferenti a responsabili dell'attività diversi possono essere ubicati all'interno dello stesso compartimento, avere comunicazioni dirette (capitolo S.3) e sistema d'esodo comune.

Area	Attività				
	HA	HB	HC	HD	HE
TA	Nessun requisito aggiuntivo				
TM, TO, TT	Di tipo protetto				
TK	Di tipo protetto [1]		Il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK		
TZ	Secondo risultanze della valutazione del rischio				
[1] Di tipo protetto se ubicate a quota ≥ -5 m; in caso l'area TK sia ubicata a quota < -5 m, il resto dell'attività deve essere a prova di fumo proveniente dall'area TK.					

TAB. V.4-2: COMPARTIMENTAZIONE

In relazione ai commi 1 e 2 del par. V.4.4.3, si evidenzia che le aree di tipo TA (uffici) e TO (mensa) sono ubicate tutte a quota superiore a -5 m.

La tab. V.4-2, richiamata dal comma 3 del par. V.4.4.3, nel caso in esame (attività di tipo HB) richiede tutte compartimentazioni di tipo protetto per le aree di tipo TM (depositi o archivi di superficie lorda > 25 m² e carico di incendio specifico $q_f > 600$ MJ/m²), TO (locali con affollamento > 100 persone), TT (locali in cui siano presenti quantità significative di apparecchiature elettriche ed elettroniche, locali tecnici rilevanti ai fini della sicurezza antincendio) e TK (locali con carico di incendio specifico $q_f > 1200$ MJ/m²; si segnala che la quota del terzo piano interrato è pari a -2,80 m, quindi non vi sono piani a quota inferiore a -5 m).

Tali comunicazioni sono di tipo protetto, in quanto tali aree sono collocate in singoli compartimenti antincendio.

Progettazione dei compartimenti antincendio

Nel caso in esame, il compartimento di dimensioni maggiori risulta avere superficie pari a 750 m², pertanto dal punto di vista del par. S.3.6 sono rispettate le massime superfici di compartimento previste dalla tab. S.3-6, pari a:

- 16000 m² per i compartimenti in A2 con quota inferiore o uguale a 24 m;
- 64000 m² per i compartimenti in A2 con quota inferiore o uguale a 12 m;
- 8000 m² per i compartimenti in A2 con quota inferiore a -1 m.

La superficie di compartimento è molto ridotta rispetto alle soglie previste dalla tabella sopra citata, per cui si evidenzia una buona facilità di controllo di un eventuale incendio.

Non sono previsti compartimenti multipiano, in quanto la quota massima dei piani è pari a 19,50 m.

Ogni piano è invece compartimentato rispetto ai piani contigui e rispetto alle due scale centrali.

Ciascuna delle due scale è inserita in un vano protetto che attraversa tutti i piani del fabbricato.

Osservando la figura seguente, è possibile notare che gli ascensori sono inseriti all'interno di uno di questi vani protetti.



PARTICOLARE DELLA PLANIMETRIA DEL PIANO TIPO: COMPARTIMENTAZIONE DELLE SCALE (CORPO CENTRALE)

Considerato che dalla tab. V.4-1 per questa tipologia di edificio viene richiesta una classe di resistenza al fuoco di 60 min, tutte le pareti e i dispositivi di compartimentazione (porte, collari tagliafuoco, serranda tagliafuoco, ecc.) hanno caratteristiche EI 60.

Per ottemperare al comma 2 del par. S.4.7 (Requisiti antincendio minimi per l'esodo) precedentemente citato, tutte le porte che conducono al corpo scala centrale sono invece di tipo EI-60 S_a.

All'interno del "vano protetto scala - ascensori" è allocata la scala sinistra (via di esodo protetta) e tre ascensori di tipo SA, ovvero inseriti all'interno di un vano protetto.

All'interno del "vano protetto scala" è invece allocata la scala destra (via di esodo protetta indipendente dalla scala sinistra, in quanto dotata di una propria uscita finale su spazio scoperto a piano terra).

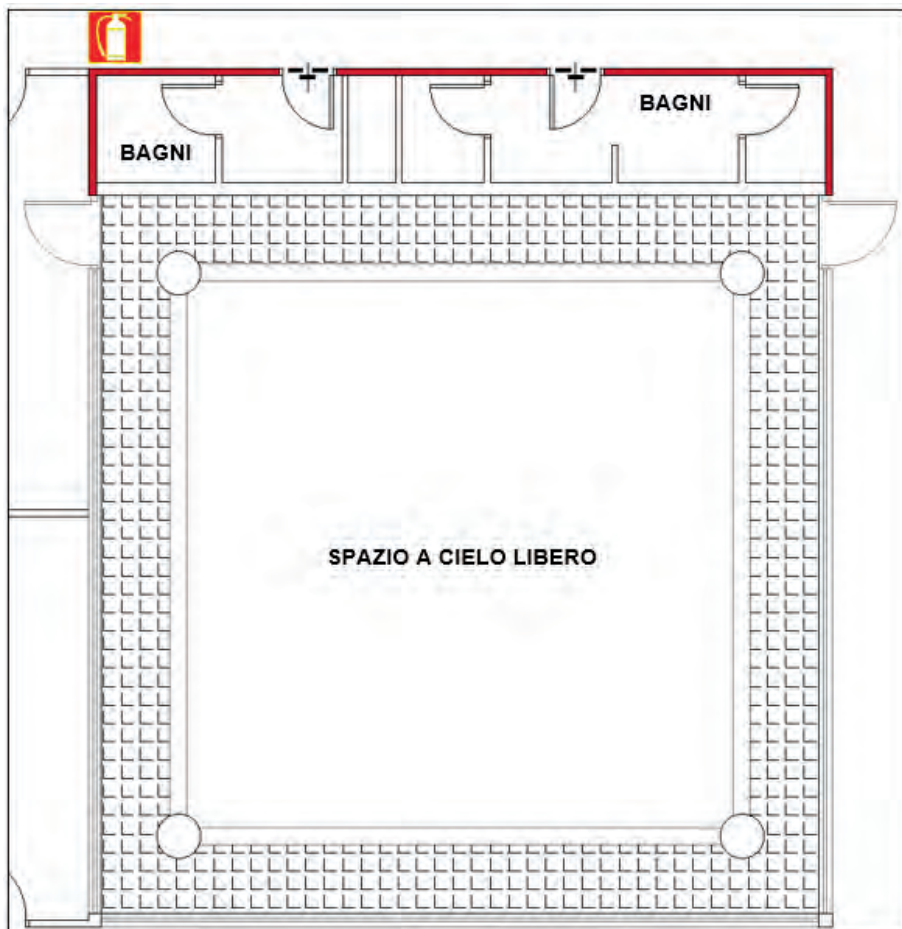
I passaggi tra i compartimenti necessari per gli impianti di ventilazione sono stati intercettati tramite serranda tagliafuoco; tali serrande sono comandate dall'impianto IRAI installato nell'edificio (segnalazione manuale e sistema di allarme esteso a tutta l'attività, rivelazione automatica dei fumi nei piani interrati e nei locali TT ai piani fuori terra).

Per realizzare la compartimentazione tra i piani, è necessario trattare i cavedi ed i passaggi delle tubazioni, in particolar modo per quelle di scarico.

Per evitare di dover smantellare tutti i controsoffitti presenti nei bagni, dato che lo spessore e la tipologia delle pareti che li delimitano permettono di ottenere una classe di resistenza al fuoco di 60 min, si opta per compartimentare ogni accesso ai locali bagni con porte EI 60, in maniera da ottenere una separazione fisica tra ogni piano uffici e la zona dove sono presenti gli scarichi.

Dal punto di vista della limitazione della propagazione dell'incendio verso attività esterne, si osserva che il fabbricato è di tipo isolato e che tutte le finestrate dei piani fuori terra (da piano terra al piano sesto) sono realizzate su compartimenti aventi un carico di incendio specifico inferiore a 600 MJ/m².

Per tale motivazione non è stato effettuato il calcolo della distanza di separazione attraverso l'irraggiamento, in quanto, rilevandosi un basso carico di incendio, secondo il comma 4 del par. S.3.8 si considera soluzione conforme l'interposizione di spazio scoperto tra ambiti della stessa attività o tra attività diverse.



PARTICOLARE DELLA PLANIMETRIA DEL PIANO TIPO: COMPARTIMENTAZIONE DEI BAGNI (CORPO SINISTRO)

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata verificata la progettazione della misura S.3 per una attività soggetta al controllo di prevenzione incendi ospitata in un edificio adibito ad uffici, situato all'interno di un edificio avente sette piani fuori terra e tre piani interrati, assoggettabile all'attività 71.2.B.

La trattazione ha permesso di esporre come, con *soluzioni conformi*, si è riusciti a gestire la compartimentazione interna dell'attività e rispetto all'attività secondaria (34.2.C) che si trova ai piani interrati. La gestione della compartimentazione è stata basata sulla possibilità offerta dalla disposizione orografica del sito, che ha permesso la presenza di un doppio piano di riferimento, uno (piano R_a) per l'attività di uffici (piani fuori terra) ed uno (piano R_b) per l'attività di deposito di materiale cartaceo (piani interrati, ma aventi una parete affacciante su spazio scoperto, provvista di uscite di esodo finali e possibilità di accesso da parte dei soccorritori).

Sono state illustrate, per sommi capi, le soluzioni conformi adottate, evidenziandone i principali aspetti.

❖ *Commento dei risultati*

L'impostazione sopra illustrata ha permesso di contenere la quota massima dell'attività principale e la quota minima del deposito di materiale cartaceo, permettendo di non oltrepassare la soglia di -5 m, che condurrebbe ad un inasprimento consistente delle misure di sicurezza previste dalla RTV Uffici.

Tale approccio, tuttavia, non è da intendersi a sfavore di sicurezza, in quanto il piano di riferimento R_b previsto per il deposito di materiale cartaceo rappresenta comunque una misura efficace da un punto di vista di esodo degli occupanti e di accesso dei soccorritori. Infatti, essendovi un piano ribassato per l'esodo, alla quota del secondo interrato, l'esodo degli occupanti del magazzino di materiale cartaceo può avvenire con velocità verso il piano R_b, senza impegnare la scala che porterebbe al piano R_a.

Allo stesso modo, i soccorritori hanno la possibilità di accedere più velocemente al magazzino di materiale cartaceo dal piano R_b, permettendo, in caso di incendio, una maggiore rapidità e sicurezza di intervento.

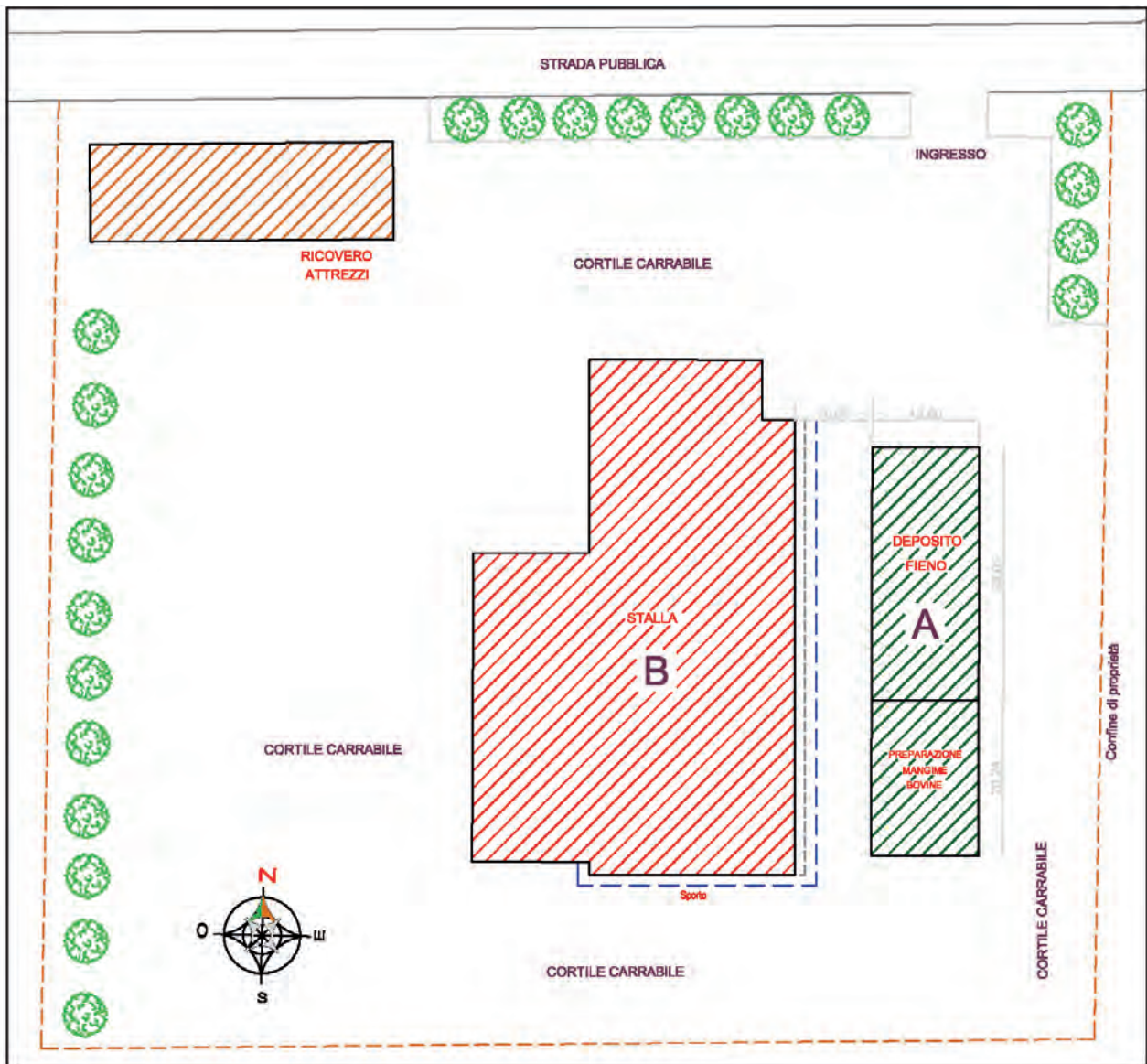
Caso studio 6: compartimentazione di un fienile soluzione con tecnologia innovativa

Descrizione

Nel presente caso studio viene illustrata una soluzione di compartimentazione con tecnologia innovativa per un deposito di fieno di una azienda zootecnica, realizzata al fine di ridurre il rischio di propagazione dell'incendio alla stalla sita in un edificio posto parallelamente al deposito, ad una distanza non compatibile con la soglia massima di potenza radiante di 12,6 kW/m² (E_{soglia}) indicata dal Codice.

L'attività produttiva è esercita, principalmente, in due fabbricati strutturalmente indipendenti, fienile e stalla, posti parallelamente l'uno rispetto all'altro ad una distanza di 10 m.
 Nel fabbricato adibito a deposito di fieno (edificio A), trova collocazione anche una *cucina* di preparazione per l'impianto di distribuzione automatizzato del mangime per gli animali.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:



PLANIMETRIA DELL'ATTIVITÀ PRODUTTIVA

Superficie fienile (edificio A)	712 m ²
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in CLS armato prefabbricato
Numero occupanti	8
Profili di rischio R _{vita}	A2 (par. G.3.2.2)
Profilo di rischio R _{beni}	Attività non vincolata né strategica = 1 (par. G.3.3)
Profilo di rischio R _{ambiente}	Non significativo (par. G.3.4)
Reazione al fuoco	Livello I di prestazione (parr. S.1.3 e S.1.4)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (parr. S.2.3 e S.2.4.3)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (parr. S.3.3, S.3.4.1 e S.3.4.3)
Esodo	Livello I di prestazione (parr. S.4.3 e S.4.4.1)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello I di prestazione (parr. S.5.3 e S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (parr. S.6.3 e S.6.4.2) Rete di Idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello III di prestazione (parr. S.7.3 e S.7.4.3) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (parr. S.8.3 e S.8.4.1)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (parr. S.9.3 e S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (parr. S.10.3 e S.10.4.1)

Nel caso in esame, la stalla costituisce il bersaglio della sorgente di radiazione termiche proveniente dal fienile attraverso il fronte completamente aperto dello stesso; la potenza radiante dell'incendio è un parametro che nella procedura di determinazione delle distanze di separazione, di cui al Cap. S.3, dipende dal carico di incendio specifico q_f .

Per la misura antincendio relativa alla compartimentazione si verificherà che la distanza di separazione tra fienile e stalla sia tale da garantire il rispetto del valore di 12,6 kW/m² (E_{soglia}) di irraggiamento termico, come richiesto dal Codice.

Dati generali del fienile (edificio A) - Superficie = 712 m²	
Caratteristiche geometriche	Dimensioni lineari: 52,71 x 13,50 x 7,90 m (h media)
Aperture	Pareti Ovest e Sud completamente aperte
Area deposito fieno - Superficie = 436 m²	
Caratteristiche geometriche	Dimensioni lineari: 33,05 x 13,50 x 7,90 m (h media)
Aperture	Pareti Ovest e Sud completamente aperte
Materiale combustibile	Fieno: 103680 kg
Area cucina - Superficie = 276 m²	
Caratteristiche geometriche	Dimensioni lineari: 20,24 x 13,50 x 7,90 m (h media)
Aperture	Pareti Ovest e Sud completamente aperte
Materiale combustibile	Fieno: 1000 kg



INTERNO DELLA STALLA

Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi

Trattasi di attività classificata al punto 36.1.B dell'Allegato I del d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151: "Depositi di legname da costruzione e da lavorazione, di legna da ardere, di paglia, di fieno, di canne, di fascine, di carbone vegetale e minerale, di carbonella, di sughero e di altri prodotti affini con quantitativi in massa superiori a 50 t con esclusione dei depositi all'aperto con distanze di sicurezza esterne superiori a 100 m".

Riferimenti normativi

- d.m. 3 agosto 2015 - "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del d.lgs. 8 marzo 2006, n. 139" - Aggiornamento d.m. 18 ottobre 2019, come aggiornata dai decreti 14 febbraio 2020 e 6 aprile 2020 per la sezione V.

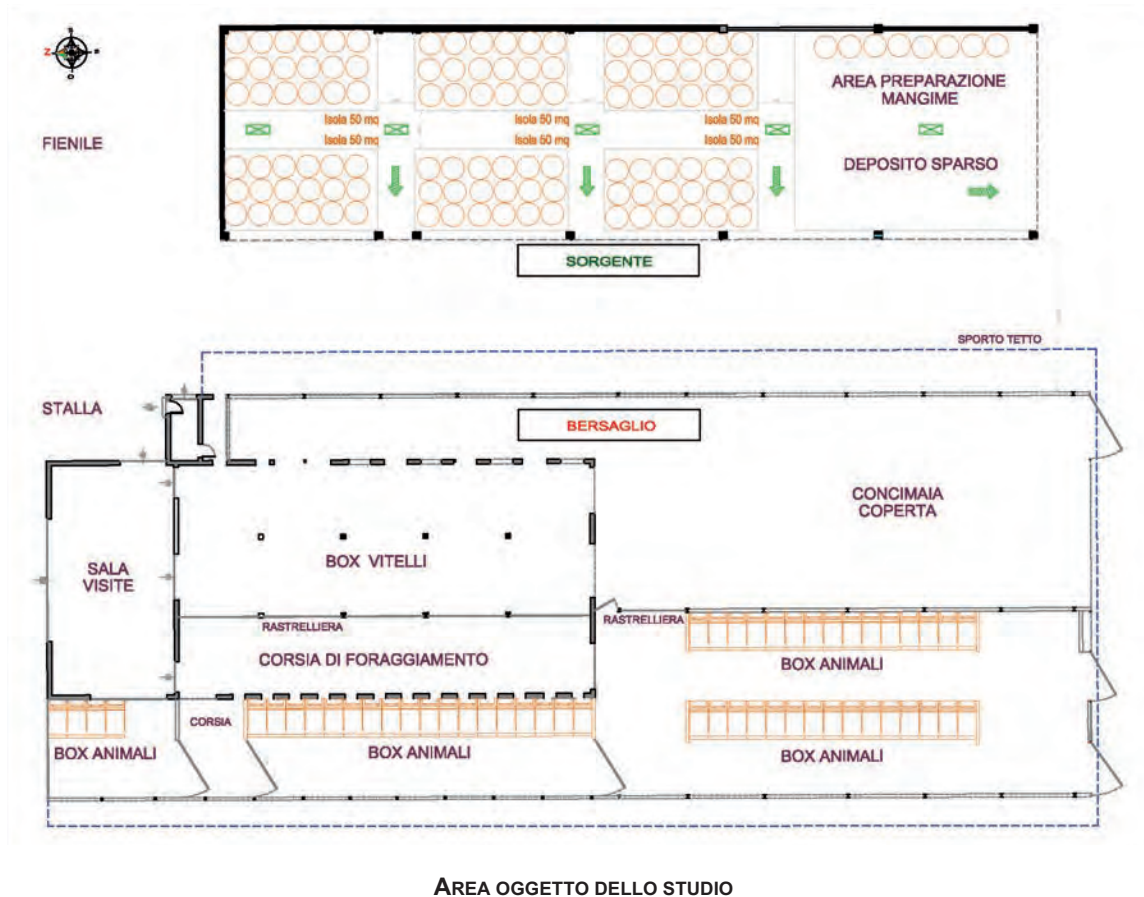
Obiettivi dello studio

Ci si propone, nell'ambito generale della progettazione antincendio dell'attività, di focalizzare l'attenzione sulla misura antincendio *Compartimentazione*, facendo ricorso alle soluzioni suggerite dal Codice ai parr. S.3.4.1 e S.3.4.3, mediante una soluzione di compartimentazione con tecnologia innovativa.

Al fine di dimostrare il raggiungimento del livello di prestazione attribuito (II), in relazione alla limitazione della propagazione dell'incendio e dei suoi effluenti verso altre attività, si adotterà la misura che prevede l'installazione di opportuni schermi resistenti al fuoco per un tempo congruo con la durata dell'incendio.

Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3

Si valuta dapprima l'irraggiamento termico nella situazione esistente utilizzando la metodologia analitica di cui al par. S.3.11.3 relativamente al rapporto tra fienile e stalla (prospetto Ovest), in quanto a Sud non sono presenti altri bersagli e a Nord ed Est non esiste possibilità di irraggiamento verso aree limitrofe, in quanto le pareti dell'edificio non sono dotate di aperture.



AREA OGGETTO DELLO STUDIO

La stalla costituisce, pertanto, il bersaglio della sorgente di radiazione termica proveniente dal fienile attraverso le aperture presenti nella parete esterna.

Nella procedura di determinazione delle distanze di separazione, di cui al Cap. S.3, la potenza radiante dell'incendio è un parametro che assume valori che sono funzione del carico di incendio specifico q_f a seconda che esso risulti maggiore o minore di 1200 MJ/m^2 (par. S.3.11.3.5).

Si riporta di seguito il computo approssimativo del carico di incendio specifico q_f relativo alla sorgente *fienile*:

Fienile	Superficie in pianta lorda A (m ²)	Materiale combustibile	m_i	Ψ_i	Quantità	u.m.	Potere calor. inf. H_i (MJ/kg)	u.m.	Carico d'incendio $q = \sum g_i H_i m_i \Psi_i$ (MJ)	Carico d'incendio specifico $q_f = q/A$ (MJ/m ²)	(kg _{eq} /m ²)
	712	fieno (rotoballe impilate)	0,8	1	104.680	kg	17	MJ/kg	1.423.648	1.999,5	108,2

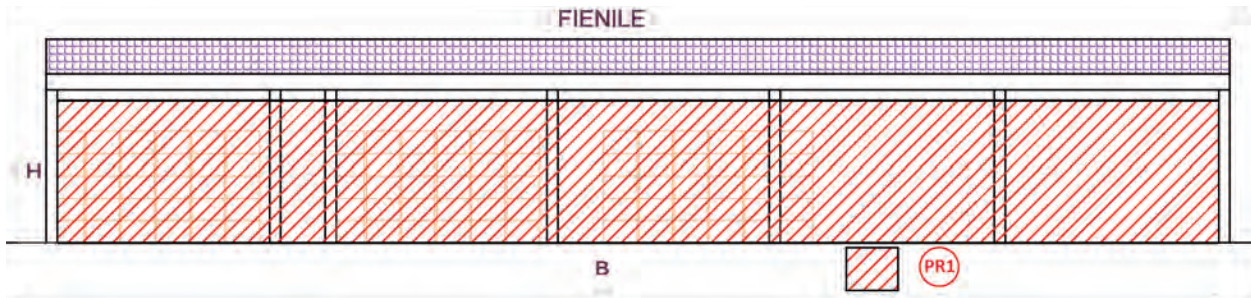
Per il *fienile*, presentando un carico di incendio specifico $q_f > 600 \text{ MJ/m}^2$, al fine di valutare le distanze di separazione da bersagli esterni, dovrà essere adottata la *soluzione conforme* mediante metodologia delle piastre radianti (par. S.3.11) o far ricorso a *soluzioni alternative* (par. S.3.4.3).

Per inciso, al fine di soddisfare il livello di prestazione III per la misura S.2 *Resistenza al fuoco* (REI 120), viene di seguito riportato il calcolo del carico di incendio specifico di progetto $q_{f,d}$:

Fienile	Carico d'incendio specifico $q_f = q/A$ (MJ/m ²)	(kg _{eq} /m ²)	δ_{q1}	δ_{q2}	δ_{n1}	δ_{n2}	δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}	δ_{n10}	δ_n	Carico d'incendio specifico di progetto $q_{f,d} = q_f \delta_{q1} \delta_{q2} \delta_n$ (MJ/m ²)
	1.999,5	108,2	1,20	1,00	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00	0,85	1,00	0,69	1651,99

Soluzione conforme - metodologia delle piastre radianti

Viene di seguito illustrato il prospetto Ovest del fienile che rappresenta la sorgente di energia radiante in caso di incendio del materiale ivi depositato.



PROSPETTO OVEST DELL'EDIFICIO A CON INDICATI GLI ELEMENTI RADIANTI DEL COMPARTIMENTO "FIENILE"

Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione

Il prospetto del fienile, rappresentato in figura, rappresenta una sorgente radiante posta a 10,05 m di distanza dal bersaglio (stalla) con piastra radiante parallela al fronte bersaglio. Essendo la piastra radiante completamente priva di tamponamenti, avrà una percentuale di foratura del 100% ($p = 100\%$).

Si applica la procedura analitica riportata al par. S.3.11.3 alla situazione:

- sorgente: facciata ovest del fienile
- bersaglio: stalla

La distanza d misurata tra la piastra radiante e il bersaglio garantirà adeguata separazione se sarà verificata la relazione S.3-3:

$$F_{2-1} * E_1 * \varepsilon_f < E_{soglia}$$

dove:

- F_{2-1} è il fattore di vista;
- E_1 è la potenza termica radiante dovuta all'incendio convenzionale in kW/m^2 ;
- ε_f è l'emissività della fiamma (ricavabile dalla formula S.3-8);
- E_{soglia} è la soglia di irraggiamento dell'incendio sul bersaglio in kW/m^2 .

Nel caso in esame, risultando $q_f = 1999,5 \text{ MJ/m}^2$ si adotterà $E_1 = 149 \text{ kW/m}^2$.

Da ultimo, ε_f è data dalla relazione S.3.8:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-(0,3 d_f)}$$

con d_f = spessore della fiamma, pari ai 2/3 dell'altezza del varco da cui esce la fiamma.

Considerato che il varco maggiore presenta un'altezza pari a 6,39 m, si avrà $d_f = 4,26 \text{ m}$ e, di conseguenza, $\varepsilon_f = 0,7214$.

Nella tabella seguente si riporta il calcolo illustrato che riporta il valore E dell'energia radiante che lambisce il bersaglio nelle condizioni di progetto:

Verifica analitica della distanza di separazione		
Distanza dal bersaglio "d"	10,05	m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR1</i>		
B	52,29	m
H	6,39	m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>		
B	52,29	m
S _{pr}	334,13	m ²
S _{rad}	334,13	m ²
p	1,00	
H	6,39	m
X	2,60	
Y	0,32	
F ₂₋₁	0,30	
<i>Verifica della distanza di separazione</i>		
E ₁	149	kW/m ²
d _f	4,26	
ε _f	0,72	
Irraggiamento termico sul bersaglio	31,87	kW/m ²

Soluzione alternativa - utilizzo di tecnologia di tipo "innovativo"

Dal calcolo risulta che la potenza termica radiante è ben superiore al valore di soglia 12,6 kW/m²; pertanto è necessario, al fine di evitare la propagazione dell'incendio, adottare delle soluzioni progettuali che permettano il contenimento dell'irraggiamento al di sotto del valore di soglia del Codice.

Le possibili soluzioni a tale aspetto normalmente sono rappresentate da:

- riduzione del carico di incendio;
- aumento della distanza di separazione;
- riduzione delle aperture della piastra radiante;
- schermatura fissa tra bersaglio e sorgente radioemittente.

La riduzione del carico di incendio, nella situazione analizzata, appare di difficile attuazione in quanto lo spostamento del carico di incendio in altro luogo comporterebbe un innalzamento dei tempi e dei costi di produzione.

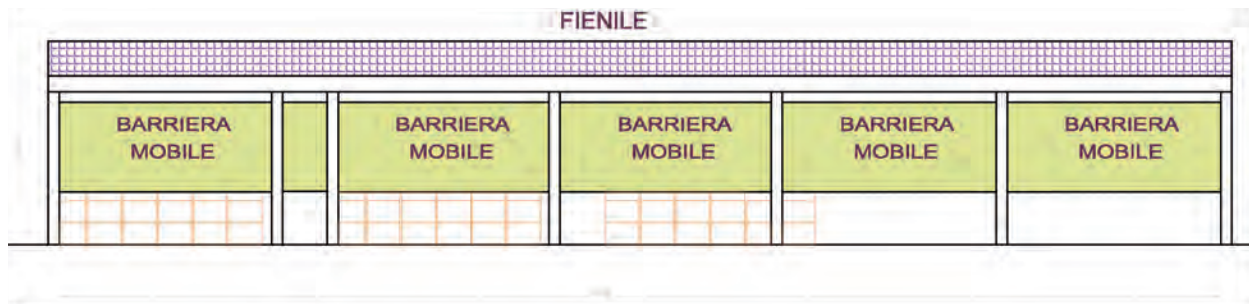
L'aumento della distanza di separazione è allo stato attuale non realizzabile in quanto trattasi di edifici esistenti e non di progetto di nuova realizzazione.

La riduzione delle aperture della piastra radiante normalmente comporterebbe l'installazione di tamponamenti fissi (pareti) la cui presenza comporterebbe impatti sulla capacità di stoccaggio e vincoli di accessibilità per i mezzi agricoli tradizionali (trattori) in caso di riduzione dell'altezza libera all'ingresso.

La schermatura fissa tra stalla e fienile, data la limitata larghezza del corridoio tra i due edifici, costituirebbe un impedimento importante al flusso logistico per le operazioni di carico/scarico del fienile e di movimentazione del bestiame.

Tanto premesso, la soluzione realizzata prevede l'adozione di schermature all'irraggiamento normalmente nascoste che, all'occorrenza, possano attivarsi per proteggere il bersaglio; tale soluzione presenta il vantaggio di raggiungere gli obiettivi progettuali con un basso impatto sulle attività aziendali.

La ricerca sul mercato di tecnologie adatte ha portato alla adozione di schermature flessibili resistenti all'irraggiamento per un tempo congruo alla durata dell'incendio normalmente racchiuse in appositi cassonetti posti sulle travi orizzontali della facciata sorgente del deposito.



PROSPETTO OVEST DELL'EDIFICIO A CON RAPPRESENTAZIONE DELLE BARRIERE MOBILI IN POSIZIONE DI COMPLETA APERTURA

Il sistema di compartimentazione individuato è realizzato con un sistema di barriere al fuoco a scomparsa composto da:

- tende a scomparsa;
- alimentazione;
- quadro di comando e controllo;
- linee di collegamento;
- alimentazione di sicurezza.

Le barriere, in posizione di riposo o chiusura, sono avvolte su un cilindro avvolgitore e la discesa in posizione antincendio a velocità controllata avviene all'attivazione di un segnale di allarme o per mancanza di corrente. Le barriere sono costituite da una tela in fibra di vetro rinforzata da fili di acciaio inossidabile e dotata di un rivestimento in resina poliuretanica.

Il riavvolgimento è azionato dal motore elettrico e le guide laterali consentono uno scorrimento lineare ed assicurano la tenuta laterale al fuoco, ai fumi e ai gas caldi.

Le barriere al fuoco, realizzate secondo le norme UNI EN 1634-1:2010 e UNE EN 13501-1:2007, sono classificate in classe EW 120.

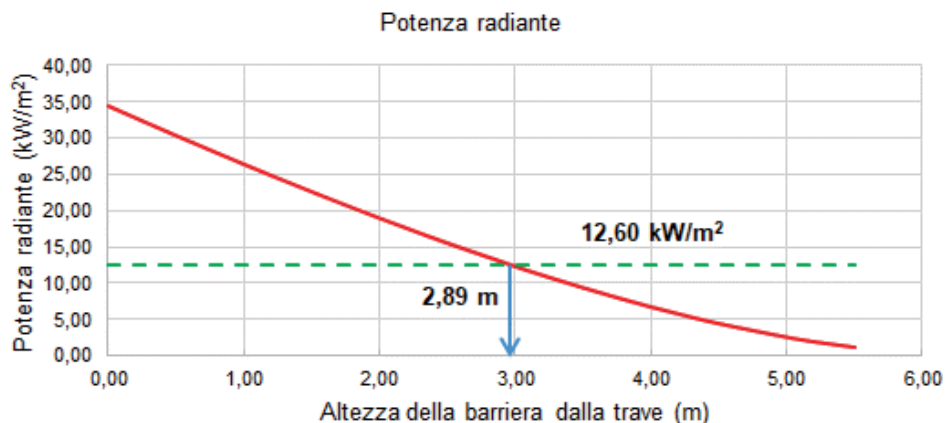
Come noto, i prodotti per la protezione antincendio installati permanentemente in opere da costruzione debbono avere una attestazione di idoneità all'impiego nelle condizioni previste per la specifica applicazione sulla base di specifiche tecniche armonizzate elaborate da Organismi quali il CEN, CENELEC, EOTA orientate alla marcatura CE.

Per quanto riguarda prodotti di tipo "innovativo", come nel caso della barriera al fuoco, da quanto esposto nella Lett. Circ. VV.F. prot. n. 14229 del 19 novembre 2012, essendo tale uso non normato al fine di una valutazione di impiego, in assenza di specifiche tecniche, l'idoneità all'impegno del prodotto nelle condizioni previste per la specifica applicazione può essere giustificato dal professionista antincendio attraverso una valutazione dei rischi fatta sulla base di pertinenti certificazioni di prova rilasciate da organismi autorizzati a tal fine.

Le certificazioni citate dovranno fare riferimento a norme o specifiche nazionali, internazionali o, in assenza di queste, a specifiche adottate da laboratorio di prova autorizzato.

Sarà cura del fabbricante del prodotto di tipo "innovativo" mettere a disposizione del professionista antincendio una documentazione tecnica, corredata delle certificazioni di prova, attestante le caratteristiche dello stesso nonché le relative procedure di valutazione prestazionale, con particolare riferimento al comportamento al fuoco e alle eventuali limitazioni di utilizzo individuate dagli organismi certificatori.

Al fine di trovare un *trade-off* tra performance e costo dell'investimento è stata effettuata un'analisi dell'altezza della barriera che ha portato, come di seguito illustrato, al dimensionamento in 4,00 m della barriera.



Dal grafico, infatti, si ricava che l'altezza della barriera dovrà essere pari ad almeno 2,89 m, lasciando la parte bassa della facciata aperta per un'altezza pari a $6,39 - 2,89 = 3,50$ m.

Considerato però che l'altezza libera minima per il transito degli addetti in uscita dal fienile è pari a 2,00 m, verrà scelta una barriera di altezza pari a 4,00 m, che permette un'altezza libera più ampia pari a $6,39 - 4,00 = 2,39$ m.

Le tabelle seguenti illustrano la soluzione minima (barriera alta 2,89 m) e quella più cautelativa, effettivamente adottata, (barriera alta 4,00 m):

Verifica analitica della distanza di separazione	
Distanza dal bersaglio "d"	10,05 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR1</i>	
B	52,29 m
H	3,50 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	52,29 m
S _{pr}	183,02 m ²
S _{rad}	183,02 m ²
p	1,00
H	3,50 m
X	2,60
Y	0,17
F ₂₋₁	0,17
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	149 kW/m ²
d _f	2,33
ε _f	0,50
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6 kW/m ²

SOLUZIONE MINIMA PER $E = E_{\text{SOGLIA}}$

Verifica analitica della distanza di separazione	
Distanza dal bersaglio "d"	10,05 m
<i>Dimensioni della piastra radiante PR1</i>	
B	52,29 m
H	2,39 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	52,29 m
S _{pr}	124,97 m ²
S _{rad}	124,97 m ²
p	1,00
H	2,39 m
X	2,60
Y	0,12
F ₂₋₁	0,12
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	149 kW/m ²
d _f	1,59
ε _f	0,38
Irraggiamento termico sul bersaglio	6,55 kW/m ²

SOLUZIONE ADOTTATA ($E < E_{\text{SOGLIA}}$)

Al fine di attivare la discesa delle barriere è stato previsto un impianto IRAI di tipo ottico lineare conforme alla norma UNI 9795 con prodotti conformi alla norma UNI EN 54.

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata valutata una soluzione di compartimentazione con tecnologia innovativa che ha permesso di abbassare il rischio di propagazione dell'incendio dal deposito di fieno alla stalla, salvaguardando edificio e beni in essa contenuti mantenendo il layout produttivo e le logiche produttive esistenti.

Nello specifico si è ridotta la dimensione di una piastra radiante di un fienile con carico d'incendio specifico q_f pari a circa 2000 MJ/m², inizialmente costituita da una facciata completamente priva di tamponature, mediante l'installazione di barriere mobili al fuoco, prodotto di tipo "innovativo".

Facendo ricorso alla procedura analitica in *soluzione conforme*, è stato possibile limitare in maniera significativa l'irraggiamento verso il bersaglio, limitandolo al di sotto del valore di 12,6 kW/m².

❖ *Commento dei risultati*

Nel caso in esame si è scelto di utilizzare la procedura analitica in *soluzione conforme*, ma facendo ricorso ad una tecnologia di tipo "innovativo", che richiede al professionista antincendio di giustificare l'idoneità all'impiego del prodotto nelle condizioni previste per la specifica applicazione attraverso una valutazione dei rischi fatta sulla base di pertinenti certificazioni di prova rilasciate da organismi autorizzati a tal fine.

Pertanto, pur essendo stata utilizzata una procedura da *soluzione conforme* per il calcolo della distanza di separazione, l'utilizzo di un siffatto prodotto costituisce una *soluzione alternativa*, essendosi fatto ricorso a uno dei metodi di progettazione di cui al par. G.2.7.

Caso studio 7: magazzino automatico e annesso corpo servizi

Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un'attività relativa ad un magazzino automatico, all'interno del quale verranno stoccati pallet contenenti il prodotto finito pronto per la spedizione (sacchi in carta ed imballaggi flessibili in plastica) e la materia prima di lavorazione (bobine di carta e bobine di plastica).

L'insediamento si compone di due corpi di fabbrica principali (vedi figura seguente): *magazzino automatico* e *corpo servizi* ovvero l'area logistica.

Il *magazzino automatico* ha dimensioni in pianta di 123,60 m x 30,80 m (per una superficie lorda in pianta di circa 3800 m²), con altezza di 21,92 m delle scaffalature e di 23,67 m delle pareti di tamponamento (volume complessivo circa 90200 m³).

Il magazzino automatico è composto da 8 file di scaffali in acciaio sui quali vengono depositati i bancali; tra gli scaffali sono ricavate 4 corsie di manovra dei traslo-elevatori che permettono la movimentazione automatica dei bancali da e per il corpo servizi.

All'interno del magazzino automatico non è prevista la presenza di occupanti.

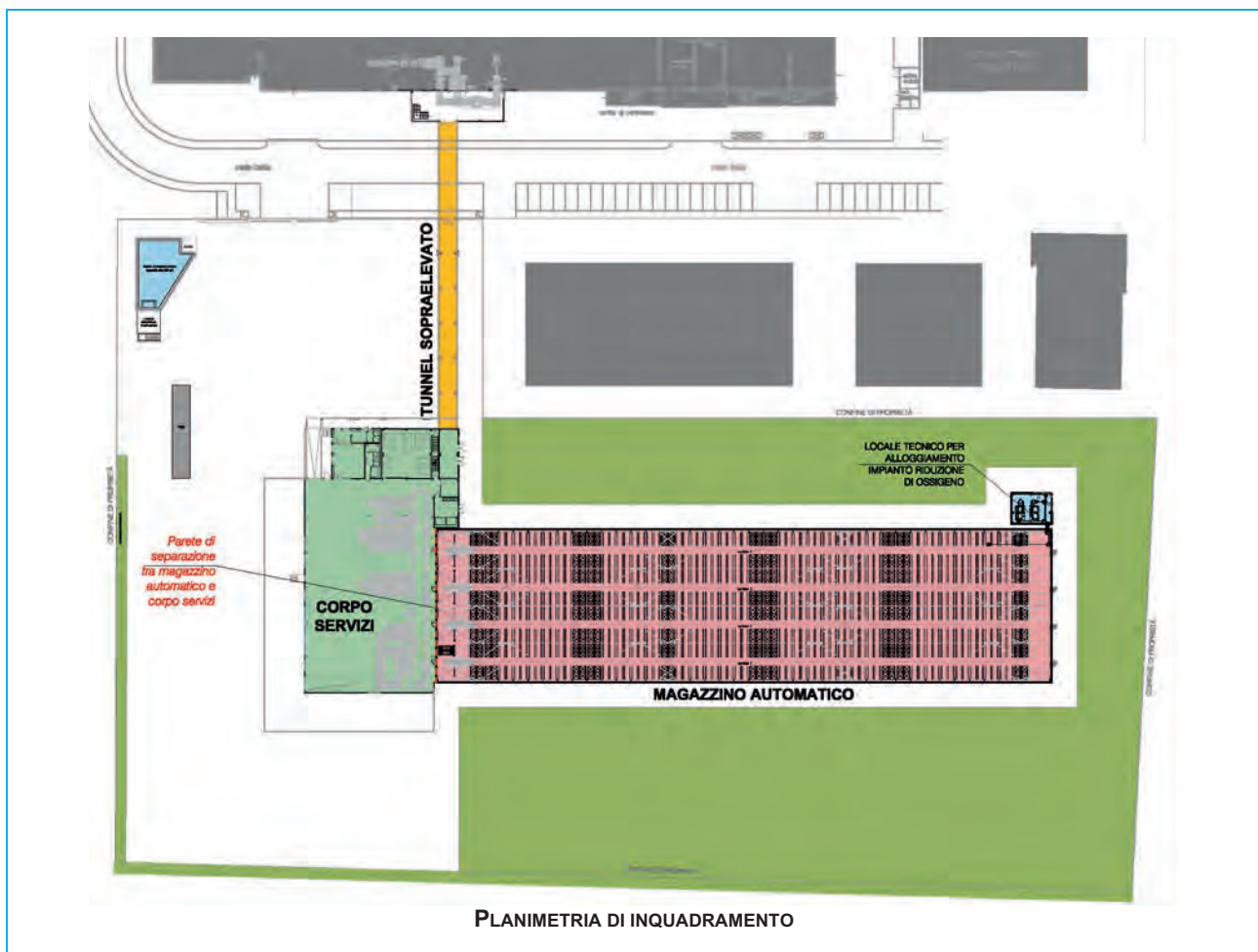
Il secondo manufatto, posizionato ad ovest rispetto al magazzino automatico e ad esso collegato, è costituito dal *corpo servizi* ovvero l'area logistica di movimentazione dei pallet e di preparazione dei bancali prima della spedizione; questa area è dotata di baie di carico/scarico per i camion.

All'interno del corpo servizi saranno normalmente presenti un massimo di 10 lavoratori addetti alla movimentazione manuale mediante muletti elettrici ed al controllo delle movimentazioni automatiche.

Il corpo servizi comprende anche alcuni locali tecnici e di servizio: locale carica batterie muletti, locale trasformatori MT/BT, centrale termica, ufficio logistica, sala autisti e servizi igienici.

Il corpo servizi ha una struttura in acciaio con tamponamenti in pannello sandwich, con dimensioni in pianta di 43,00 m x 26,00 m (per una superficie lorda in pianta di 1140 m²) con altezza interna sottotrave da 7,50 m a 8,50 m (volume complessivo 8550 m³).

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:



Superficie totale	Sup. magazzino automatico = 3800 m ² - Sup. corpo servizi = 1140 m ²	
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in acciaio	
Numero occupanti	10 (nel corpo servizi); nel magazzino automatico non è prevista presenza se non occasionale, legata agli interventi di manutenzione del sito.	
Profili di rischio R _{vita}	A3 (par. G.3.2.2)	
Profilo di rischio R _{beni}	Attività non vincolata né strategica = 1 (par. G.3.3)	
Profilo di rischio R _{ambiente}	Non significativo (par. G.3.4)	
Reazione al fuoco	Livello I di prestazione (parr. S.1.3 e S.1.4)	
Resistenza al fuoco	magazzino automatico	Livello I di prestazione (parr. S.2.3 e S.2.4.6)
	corpo servizi	Livello II di prestazione (parr. S.2.3 e S.2.4.7)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (parr. S.3.3 e S.3.4.3)	
Esodo	Livello I di prestazione (parr. S.4.3 e S.4.4.3)	
Gestione della sicurezza antincendio	Livello II di prestazione (parr. S.5.3 e S.5.4.1)	
Controllo dell'incendio	magazzino automatico	Livello IV di prestazione (parr. S.6.3 e S.6.4.3) Rete di Idranti (UNI 10779) e sistema a riduzione d'ossigeno
	corpo servizi	Livello III di prestazione (parr. S.6.3 e S.6.4.2) Rete di Idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	magazzino automatico	Livello IV di prestazione (parr. S.7.2 e S.7.4.4) Impianto IRAI (UNI 9795) con barriere ottico lineari
	corpo servizi	Livello III di prestazione (parr. S.7.3 e S.7.4.3) Impianto IRAI (UNI 9795) ad aspirazione e campionamento
Controllo di fumi e calore	Livello III di prestazione (parr. S.8.3 e S.8.4.2)	
Operatività antincendio	Livello IV di prestazione (parr. S.9.3 e S.9.4.3)	
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (parr. S.10.3 e S.10.4.1)	



VISTA FRONTALE PARETE DI SEPARAZIONE TRA MAGAZZINO AUTOMATICO E CORPO SERVIZI

Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi

Trattasi di attività classificata al punto 70.2.C dell'Allegato I del d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151: "Locali adibiti a depositi con quantitativi di merci e materiali combustibili superiori complessivamente a 5000 kg, di superficie lorda superiore a 3000 m²".

Sono inoltre presenti altre due attività secondarie: l'attività 34.2.C "Depositi di carta, cartoni e prodotti cartotecnici, archivi di materiale cartaceo, biblioteche, depositi per la cernita della carta usata, di stracci di cascami e di fibre tessili per l'industria della carta, con quantitativi in massa > 50000 kg" e l'attività 44.2.C "Depositi ove si detengono materie plastiche, con quantitativi in massa oltre 50000 kg".

Riferimenti normativi

- d.m. 3 agosto 2015 - "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del d.lgs. 8 marzo 2006, n. 139" - Aggiornamento d.m. 18 ottobre 2019, come aggiornata dai decreti 14 febbraio 2020 e 6 aprile 2020 per la sezione V.

Obiettivi dello studio

In riferimento alla misura antincendio S.2 - Resistenza al fuoco, il livello I per il *magazzino automatico* e il livello II per il *corpo servizi* possono essere raggiunti solo in *soluzione alternativa*, dal momento che sono due opere da costruzione adiacenti.

La verifica in termini di compartimentazione della parete di separazione tra i due manufatti non potrà, pertanto, essere riferita a 30 min (che sono figli di un concetto prescrittivo da *soluzione conforme*, ossia la classe, che perde di significato in *soluzione alternativa*, in quanto riferita alla curva nominale ISO 834), ma al tempo di collasso (se esistente) o alla durata dell'incendio, dal momento che la soluzione conforme EI30 non è attuabile per la presenza degli 8 varchi di passaggio in corrispondenza dei nastri trasportatori che movimentano i pallet tra *magazzino automatico* ed area logistica.

Ci si propone, nell'ambito generale della progettazione antincendio dell'attività, di focalizzare l'attenzione sulla misura antincendio *Compartimentazione*, dimostrando, mediante *soluzione alternativa*, l'adeguatezza di tale misura, in rapporto alla parete di separazione tra *corpo servizi* e *magazzino automatico*.

Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3

In funzione dei profili di rischio e delle caratteristiche del fabbricato, alla misura antincendio *Compartimentazione* è stato attribuito il livello di prestazione II, per il quale viene richiesto di contrastare, per un periodo congruo con la durata dell'incendio, la propagazione dell'incendio verso altre attività e all'interno della stessa.

Nel caso in esame, al fine di limitare la propagazione dell'incendio verso altre attività, è stata verificata l'interposizione di distanze di separazione su spazio a cielo libero tra l'attività oggetto di studio e le opere da costruzione sedi di altre attività; la verifica delle distanze di separazione, tuttavia, non è oggetto del presente caso studio.

Come detto, l'assenza di una vera e propria compartimentazione antincendio tra *corpo servizi* e *magazzino automatico* (dovuta alla presenza, sulla parete di compartimentazione, di 8 varchi di passaggio dei pallet tra i due manufatti) viene risolta mediante il requisito prestazionale della parete di separazione tra i due manufatti.

Progettazione dei compartimenti antincendio

La massima superficie lorda dei compartimenti viene verificata (par. S.3.6 e tab. S.3-6) in funzione del profilo di rischio R_{vita} e della quota dei medesimi che, nel caso in esame è inferiore ai 12 m.

Considerando, a favore di sicurezza, il *magazzino automatico* e il *corpo servizi* come un unico compartimento antincendio avente superficie lorda pari a $3800 + 1140 = 4940 \text{ m}^2$, la superficie massima corrispondente è pari a 32000 m^2 e la verifica risulta largamente soddisfatta.

R_{vita}	Quota del compartimento								
	< -15 m	< -10 m	< -5 m	< -1 m	≤ 12 m	≤ 24 m	≤ 32 m	≤ 54 m	> 54 m
A1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
A2	1000	2000	4000	8000	64000	16000	8000	4000	2000
A3	[na]	1000	2000	4000	32000	4000	2000	1000	[na]
A4	[na]	[na]	[na]	[na]	16000	[na]	[na]	[na]	[na]
B1	[na]	2000	8000	16000	64000	16000	8000	4000	2000
B2	[na]	1000	4000	8000	32000	8000	4000	2000	1000
B3	[na]	[na]	1000	2000	16000	4000	2000	1000	[na]
Cii1, Ciii1	[na]	[na]	[na]	2000	16000	8000	8000	8000	4000
Cii2, Ciii2	[na]	[na]	[na]	1000	8000	4000	4000	2000	2000
Cii3, Ciii3	[na]	[na]	[na]	[na]	4000	2000	2000	1000	1000
D1	[na]	[na]	[na]	1000	2000	2000	1000	1000	1000
D2	[na]	[na]	[na]	1000	2000	1000	1000	1000	[na]
E1	2000	4000	8000	16000	[1]	32000	16000	8000	4000
E2	1000	2000	4000	8000	[1]	16000	8000	4000	2000
E3	[na]	[na]	2000	4000	16000	4000	2000	[na]	[na]

La massima superficie lorda è ridotta del 50% per i compartimenti con $R_{ambiente}$ significativo [na] Non ammesso [1] Senza limitazione

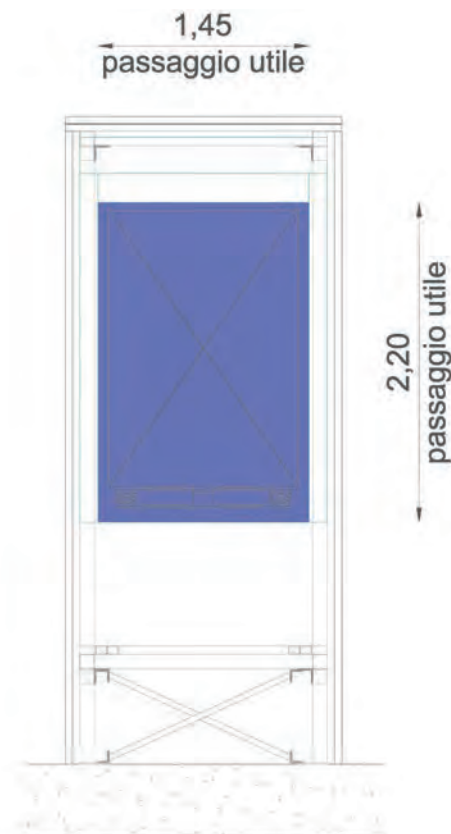
TABELLA S.3-6: MASSIMA SUPERFICIE LORDA DEI COMPARTIMENTI IN m^2

Come detto, le strutture portanti del *corpo servizi*, nel quale sono presenti occupanti, saranno realizzate in acciaio e certificate per la resistenza al fuoco in soluzione alternativa, in assenza di qualsiasi protettivo, facendo ricorso al metodo analitico avanzato.

Gli elementi di tamponamento saranno realizzati in pannelli sandwich, isolati in lana di roccia, certificati EI 30.

Come detto, sulla parete di separazione tra *corpo servizi* e *magazzino automatico* saranno presenti 8 aperture per il transito in continuo dei pallet in ingresso e uscita dal magazzino stesso.

Tali varchi, con passaggio utile delle dimensioni di circa $1,45 \times 2,20 \text{ m}$, saranno comunque dotati di serramenti di chiusura a bussola, con doppio sezionale ad apertura automatica alternata, per consentire il transito dei pallet minimizzando il passaggio d'aria tra i due ambienti: *magazzino automatico* con atmosfera controllata dall'impianto di riduzione di ossigeno e *corpo servizi* con atmosfera standard.



PARTICOLARE DEL VARCO DI COLLEGAMENTO TRA MAGAZZINO AUTOMATICO E CORPO SERVIZI

I suddetti varchi sono posizionati in prossimità della quota di calpestio del *corpo servizi* che, come detto, presenta un'altezza netta interna sottotrave che varia da 7,50 m a 8,50 m.

Questa configurazione non influenzerà il requisito di tenuta ai fumi ed al calore (EI 30) della parete di separazione esaminata in virtù delle seguenti valutazioni progettuali sviluppate in *soluzione alternativa*:

1. L'esito dell'analisi fluidodinamica d'incendio simulato all'interno del *corpo servizi* dimostra che in tutti gli scenari d'incendio critici ipotizzabili il comportamento dei fumi non è mai tale da abbassarsi al di sotto della quota dei varchi di collegamento tra *corpo servizi* e *magazzino automatico*; ciò in virtù della presenza del sistema di evacuazione naturale di fumo e calore, appositamente dimensionato per rispondere a tale requisito, oltre che alla salvaguardia della vita umana durante la fase di esodo in emergenza. Il sistema di evacuazione naturale di fumo e calore, mitigando gli effetti dell'incendio negli scenari di progetto, deve essere a disponibilità superiore (par. M.1.8 comma 5): su tale questione si gioca la credibilità degli scenari!
2. I calcoli analitici dell'irraggiamento prodotto dall'incendio dei pallet in prossimità dei varchi di collegamento verificano che l'effetto radiante prodotto dall'eventuale incendio lato *magazzino automatico* o lato *corpo servizi* non è tale da poter innescare a distanza i materiali presenti sul lato opposto rispetto alle aperture di carico.

Ad ulteriore supporto delle valutazioni numeriche ed analitiche, la *soluzione alternativa* trova conferma anche nei requisiti sotto elencati:

1. Le 8 aperture ricavate sulla parete di separazione tra *corpo servizi* e *magazzino automatico*, sono collocate in linea lungo la parte bassa della parete stessa; il filo inferiore dell'apertura è all'altezza di circa 100 cm dal piano di calpestio del *corpo servizi*.
2. Le dimensioni nette delle 8 aperture (passaggio utile 1,45 x 2,20 m) sono estremamente ridotte rispetto alla superficie della parete di separazione, incidendo complessivamente per meno del 10% della superficie totale di tale parete.
3. Le 8 aperture saranno dotate di un sistema di chiusura a bussola (con doppio sezionale motorizzato), con tempi di apertura e chiusura dell'ordine dei 5 sec, con sistema automatico di alternanza tale da avere sempre almeno un sezionale in posizione di chiusura, anche durante il movimento del pallet. Le serrande sezionali saranno realizzate con materiali in classe di reazione al fuoco non superiore a 2. La funzione delle bussole di chiusura a tenuta di gas, con lo scopo di contenere la diluizione dell'atmosfera controllata del *magazzino automatico*, conferirà anche un ottimo requisito di tenuta ai fumi freddi prodotti durante la prima fase dell'incendio.
In definitiva, le 8 aperture di transito dei pallet incidono in misura poco significativa sui requisiti di resistenza al fuoco della parete di separazione tra corpo servizi e magazzino automatico; ciò in virtù delle posizioni delle aperture, dei loro requisiti geometrici e del livello di tenuta ai gas e fumi freddi, come descritto nei tre punti precedenti.
4. Per scelta della committenza, si adotterà il livello IV di prestazione della misura antincendio "*Controllo dell'incendio*", a maggior tutela delle strutture e dei beni, il *magazzino automatico* sarà protetto mediante installazione di un sistema a controllo di ossigeno che garantirà il mantenimento della percentuale di ossigeno all'interno del *magazzino automatico* al di sotto della soglia di accensione (percentuale minima di ossigeno necessaria per il sostentamento della combustione), calcolata in funzione del tipo di materiali in stoccaggio.
Tale soglia di ossigeno sarà fissata pari al 13,1% di O₂ sulla base della soglia di accensione della carta (pari a 14,1% di O₂) tenendo conto del margine di sicurezza prescritto dalle norme di riferimento applicabili.
Questo sistema di protezione garantisce l'impossibilità di sviluppo di un incendio anche in presenza di potenziali inneschi a contatto con i materiali combustibili in quanto si elimina la presenza del comburente minimo necessario alla combustione.
Questo sistema di protezione costituisce un baluardo di sicurezza anche a fronte di eventuali trafile di fumo verso il magazzino automatico attraverso le aperture di transito dei pallet, in quanto i prodotti della combustione caldi non potrebbero innescare i materiali in stoccaggio in assenza del quantitativo minimo di comburente necessario.
Si esclude pertanto che la presenza delle 8 aperture, anche in caso di parziale malfunzionamento delle serrande di chiusura, possa costituire un elemento di declassamento del requisito di resistenza al fuoco del corpo servizi.

5. I livelli di prestazione di resistenza al fuoco del *corpo servizi* (livello II) e del *magazzino automatico* (livello I) non escludono la possibilità di un'evoluzione dell'incendio che conduca al collasso delle strutture ed alla perdita totale dei beni (edifici, impianti, prodotti).
In quest'ottica, dopo aver garantito con i dovuti margini di sicurezza la salvaguardia degli occupanti del *corpo servizi*, l'eventuale propagazione al *magazzino automatico* dell'incendio innescatosi nel *corpo servizi*, rientrerebbe nelle condizioni previste per il livello di prestazione I del *magazzino automatico* che soddisfa tutti i criteri di attribuzione di tale livello di prestazione.

Nel seguito si riportano in dettaglio le caratteristiche ed i risultati dell'analisi fluidodinamica d'incendio del *corpo servizi* ed i calcoli analitici dell'irraggiamento attraverso i varchi di collegamento.

Soluzione alternativa

Al fine di verificare la classe di resistenza al fuoco della parete di separazione tra *corpo servizi* e *magazzino automatico* è stata condotta un'analisi fluidodinamica agli elementi finiti con il software FDS (versione 6.5), che permette di simulare lo sviluppo dell'incendio nel *corpo servizi* e determinare le modalità di propagazione del fumo e del calore.

Tutti i parametri di calcolo di FDS resteranno quelli di default, come impostato nella versione 6.5.

Sono stati analizzati diversi scenari d'incendio con altrettante posizioni di innesco dei pallet; tra questi sono stati selezionati ed approfonditi solo gli scenari ritenuti più critici, ricavando una serie di curve reali di diffusione del calore, nel tempo e nello spazio, all'interno del *corpo servizi*.

Individuazione degli scenari di incendio dell'attività

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

- individuazione del focolaio verosimilmente più critico ipotizzabile all'interno del *corpo servizi*;
- determinazione delle posizioni più critiche del focolaio all'interno del *corpo servizi*;
- contributi degli impianti di prevenzione e protezione attiva, che devono essere a disponibilità superiore, ai sensi del par. M.1.8 comma 5 (si omette per brevità la dimostrazione di tale caratteristica e la selezione degli scenari d'incendio di progetto).

Dalla comparazione delle varie combinazioni possibili di questi parametri, sono state ricavate le configurazioni più critiche e gravose agli effetti dell'incremento delle temperature all'interno del *corpo servizi*.

Potenziati inneschi

L'origine dell'innesco può essere ricondotta ad una fonte di ignizione esterna (mozzicone sigaretta sul pallet, altro innesco applicato direttamente sul pallet in ingresso) oppure interna al *corpo servizi* (origine elettrica o da attrito meccanico delle movimentazioni).

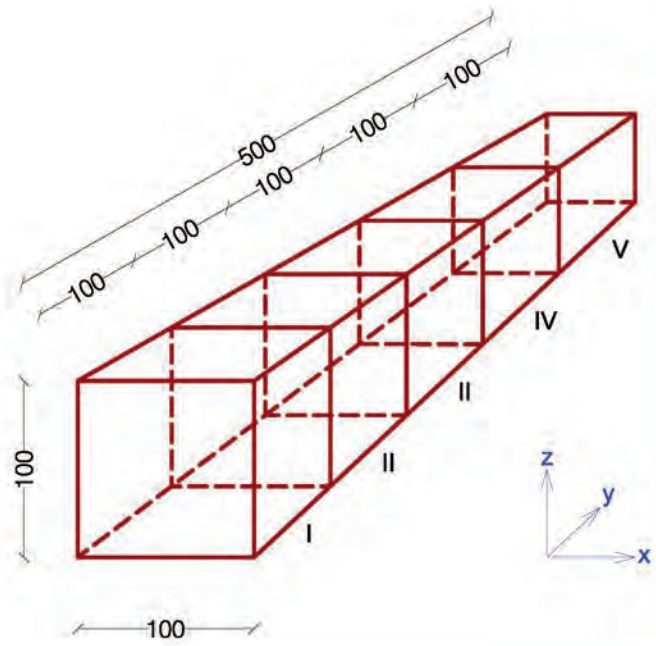
Si è preso in considerazione l'innesco del pallet all'interno del *corpo servizi*, considerando questo caso come il più critico; le altre ipotesi (innesco su quadro elettrico o motore del sistema di movimentazione automatica dei pallet) sono comunque riconducibili all'innesco del pallet in quanto, se l'incendio si sviluppasse sulle apparecchiature elettriche, lo stesso potrebbe svilupparsi in modo significativo solo dopo aver coinvolto il primo pallet; ci si ricondurrà quindi all'innesco su pallet, con eventuale ritardo.

A vantaggio di sicurezza, nell'analisi fluidodinamica si assimila l'incendio del pallet-tipo ad un bruciatore:

- di tipo superficiale;
- con emissione continua e costante, a partire dal tempo zero;
- con potenza di emissione pari a 300 kW/m² (HRR).

Focolaio d'incendio

Si è adottato un *focolaio tipo* costituito dall'incendio generato da una fila di 5 pallet affiancati, ciascuno avente dimensioni 100 x 100 x 100 cm, disposti come rappresentato in figura:



PALLET COINVOLTI DALL'INCENDIO: FOCOLAIO TIPO

In base alla posizione che può assumere il focolaio d'incendio (quota piano terra o quota soppalco), sono state assegnate le caratteristiche superficiali dei 5 pallet, individuando due sottocategorie di focolaio d'incendio, F1 ed F2.

In particolare sono state assegnate le proprietà superficiali alle facce di ciascun pallet:

- inerte;
- bruciatore (rilascio della potenza termica $HRR = 300 \text{ kW/m}^2$ costante nel tempo).

A vantaggio di sicurezza è stata adottata una potenza termica di rilascio costante nel tempo, già a partire dal tempo zero, trascurando la fase di innesco e prima propagazione dell'incendio fino al raggiungimento della potenza massima.

Focolaio F1: fila di pallet posizionati sulle rulliere a quota piano terra

Pallet \ Superficie	I	II	III	IV	V
x_{min}	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore
x_{max}	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore
y_{min}	bruciatore	inerte	inerte	inerte	inerte
y_{max}	inerte	inerte	inerte	inerte	bruciatore
z_{min}	inerte	inerte	inerte	inerte	inerte
z_{max}	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore

$$HRR_{tot} = 17 \text{ m}^2 \times 300 \text{ kW/m}^2 = 5100 \text{ kW}$$

Focolaio F2: fila di pallet posizionati sulle rulliere a quota soppalco, con innesco del focolaio da sotto

Pallet Superficie	I	II	III	IV	V
x_{min}	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore
x_{max}	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore
y_{min}	bruciatore	inerte	inerte	inerte	inerte
y_{max}	inerte	inerte	inerte	inerte	bruciatore
z_{min}	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore
z_{max}	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore	bruciatore

$$HRR_{tot} = 22 \text{ m}^2 \times 300 \text{ kW/m}^2 = 6600 \text{ kW}$$

Contributi degli impianti di prevenzione e protezione attiva

La presenza dell'impianto di rivelazione ed allarme incendio (IRAI) all'interno del *corpo servizi* garantirà la precoce segnalazione di allarme, a favore dell'inizio dell'evacuazione degli occupanti presenti.

La presenza di un sistema di evacuazione naturale di fumo e calore (SENF), a disponibilità superiore, in copertura del *corpo servizi* favorirà lo smaltimento del calore che stratifica in copertura e quindi il ritardo nel riscaldamento delle strutture; tale effetto è stato peraltro confermato dagli esiti dell'analisi fluidodinamica condotta con il software FDS.

La produzione dei fumi ed il loro rapido spostamento verso l'alto, favorisce la stratificazione dei fumi al livello dell'intradosso della copertura dell'edificio; a regime, i fumi stessi vengono espulsi dal SENFC che consente di contenere e ritardare il cimento sulle strutture metalliche, spostando nel tempo il raggiungimento della temperatura critica dell'acciaio.

A seguito di queste considerazioni, nel *corpo servizi* è stato realizzato un SENFC, a norma UNI 9494-1, in luogo della sola presenza di aperture di smaltimento di fumo e calore, previste dal livello II di prestazione della misura antincendio S.8; all'interno del *corpo servizi* si è quindi adottato volontariamente, a vantaggio di sicurezza, il livello III di prestazione per la predetta misura.

Come noto, il SENFC ha il duplice scopo di:

- favorire l'incremento del tempo disponibile per l'esodo (ASET), agevolando la fase di gestione dell'esodo e consentendo il mantenimento di uno strato libero da fumo ad un'altezza tale da incrementare i tempi disponibili per l'esodo;
- contenere l'incremento delle temperature in caso di incendio e favorire la resistenza al fuoco delle strutture in acciaio, verificate con la curva naturale d'incendio costruita mediante l'analisi fluidodinamica dello scenario d'incendio reale che si configurerà all'interno del *corpo servizi*.

Dopo aver eseguito diverse simulazioni di pre-analisi, a vantaggio di sicurezza, sono stati adottati i seguenti tempi di attivazione dei componenti del SENFC del *corpo servizi*:

- Attivazione SENFC *corpo servizi* (manuale o asservito ad IRAI): $t = 60 \text{ s}$
- Attivazione aperture di smaltimento tunnel di collegamento: $t = 60 \text{ s}$
- Apertura aperture di ingresso aria n. 1-2-3-4-5 nel *corpo servizi* (manuale): $t = 120 \text{ s}$
- Apertura aperture di ingresso aria n. 6-7-8-9-10 nel *corpo servizi* (manuale): $t = 200 \text{ s}$

Scenari d'incendio

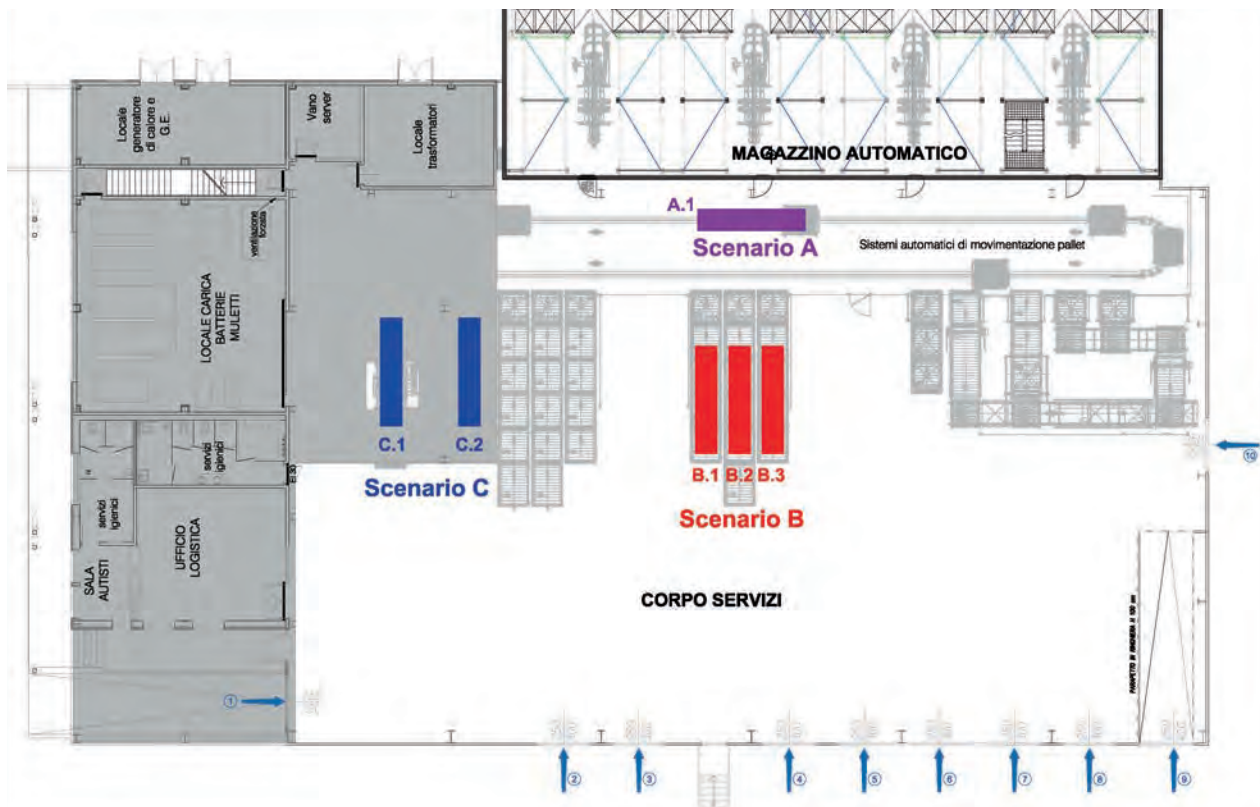
Le simulazioni e gli scenari d'incendio ipotizzati hanno preso in considerazione numerosi possibili punti di innesco, tra i quali sono stati individuati gli scenari maggiormente severi dal punto di vista del comportamento dell'incendio e del cimento delle strutture metalliche.

In riferimento a tali scenari è stata condotta un'analisi più approfondita, che ha fornito i dati (tramite un reticolo di sonde di temperatura) sul campo di distribuzione delle temperature, variabili nel tempo e nello spazio; questi andamenti sono stati poi utilizzati per determinare le prestazioni di resistenza al fuoco minime delle strutture del *corpo servizi*, in accordo al par. S.2.4.7.

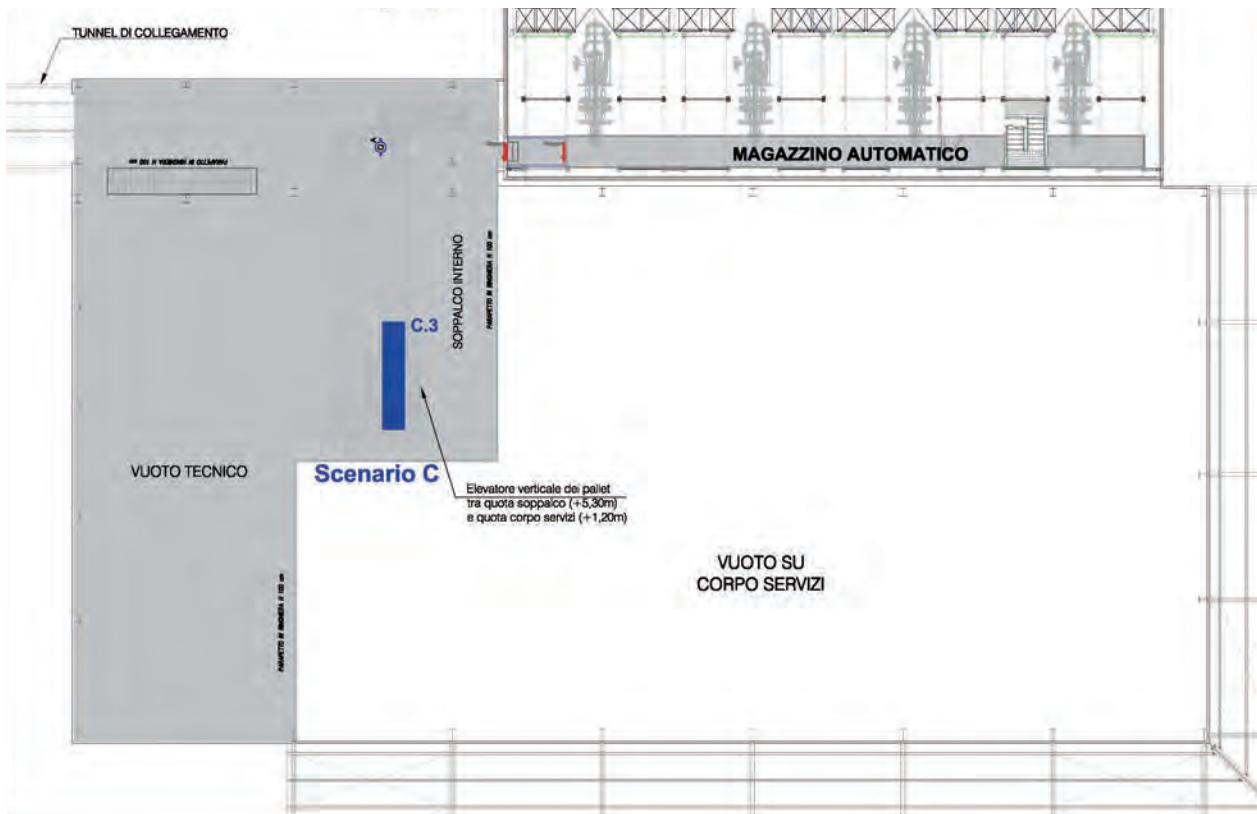
Per le ubicazioni dei possibili inneschi dell'incendio sono state analizzate numerose posizioni; dopo aver eseguito diverse simulazioni di pre-analisi, sono stati quindi individuati i tre scenari identificati come segue:

- Scenario A: una fila di pallet collocata sul sistema automatico di movimentazione dei pallet, in corrispondenza della campata centrale;
- Scenario B: tre file di pallet collocate rispettivamente sulle tre rulliere centrali del corpo servizi;
- Scenario C: due file di pallet collocate rispettivamente sulle due rulliere sotto il soppalco del corpo servizi più una fila di pallet collocata sulla rulliera alla quota del soppalco.

Come detto, a vantaggio di sicurezza, è stata adottata una potenza termica di rilascio costante nel tempo, già a partire dal tempo zero, trascurando la fase di innesco e prima propagazione dell'incendio fino al raggiungimento della potenza massima.



SCENARI D'INCENDIO - PLANIMETRIA A QUOTA 0,00 M



SCENARI D'INCENDIO - PLANIMETRIA A QUOTA + 5,40 M (SOPPALCO)

Verifica della propagazione dei fumi attraverso le aperture presenti sulla parete di separazione

Si riportano, di seguito, le immagini più significative dei risultati delle analisi, con riferimento al comportamento dei fumi ed alla visibilità all'interno del *corpo servizi*.

È evidente come, nei vari step temporali, la quota d'imposta dei varchi di collegamento tra *corpo servizi* e *magazzino automatico* non venga mai raggiunta dai fumi che stratificano.

Nota:

Tale ultima affermazione è vera se il SENFC è a disponibilità superiore, altrimenti vanno considerati gli scenari con SENFC non funzionante!

SCENARIO A - Propagazione dei fumi



SCENARIO A - PROPAGAZIONE DEI FUMI DOPO 300 s

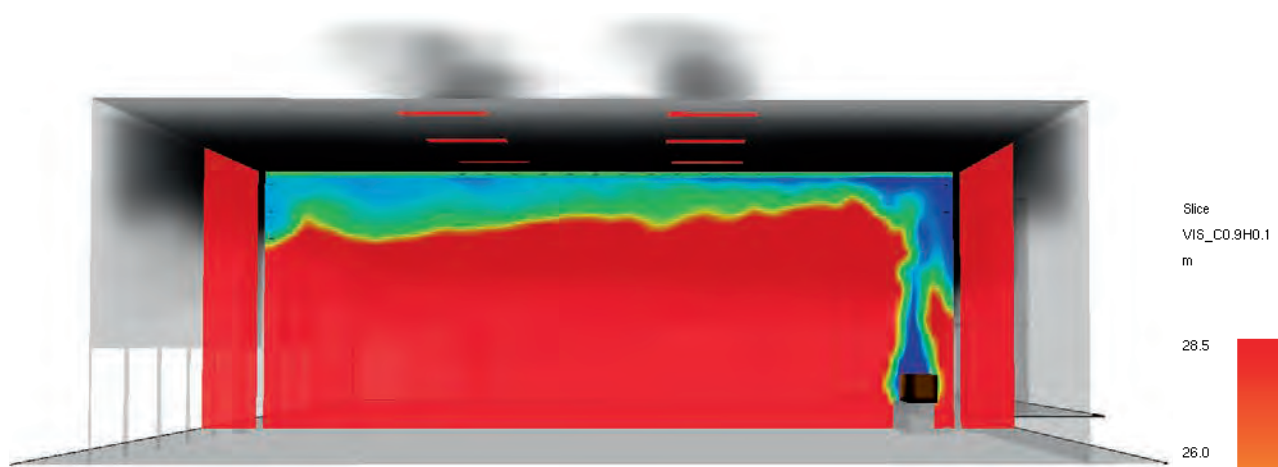


SCENARIO A - PROPAGAZIONE DEI FUMI DOPO 1800 s

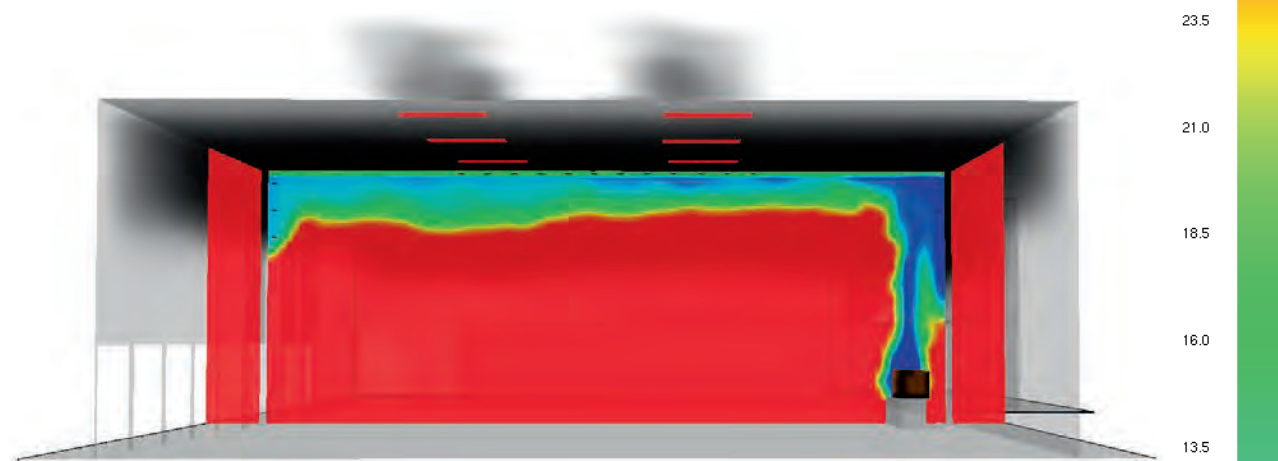


SCENARIO A - PROPAGAZIONE DEI FUMI DOPO 2700 s

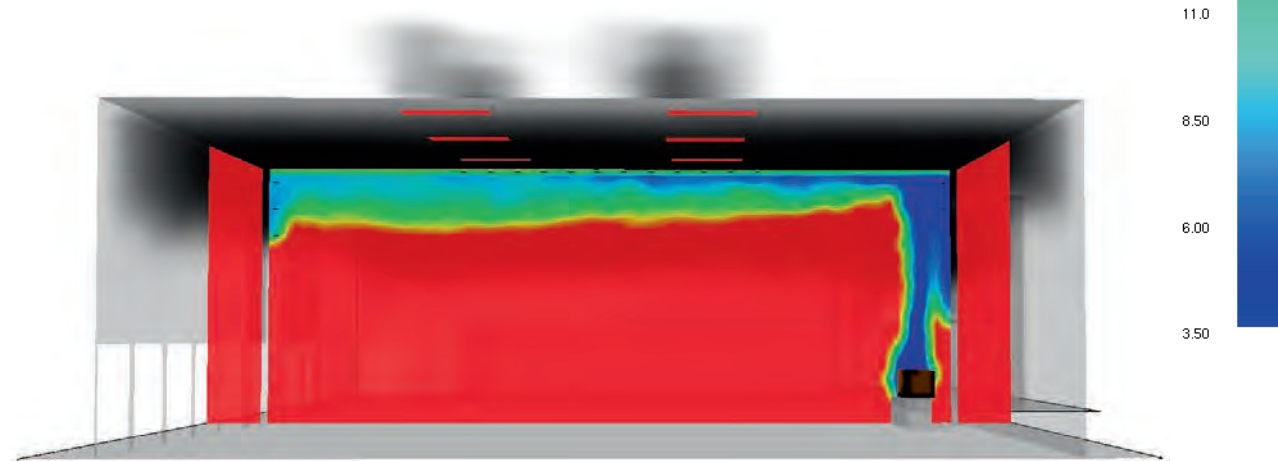
SCENARIO A - Visibilità



SCENARIO A - VISIBILITÀ DOPO 300 s

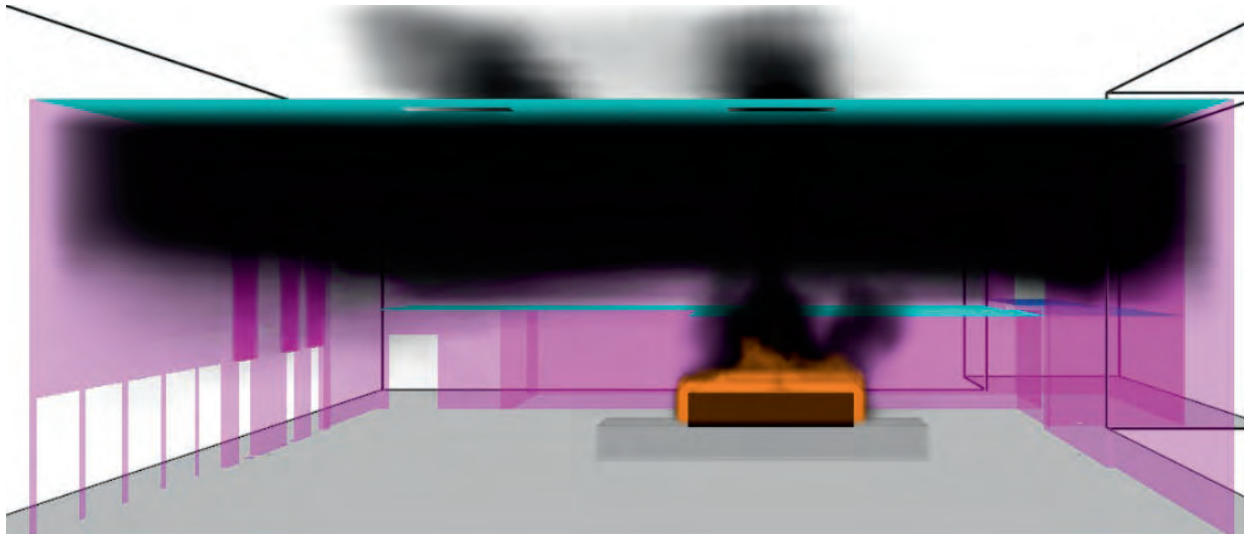


SCENARIO A - VISIBILITÀ DOPO 1800 s

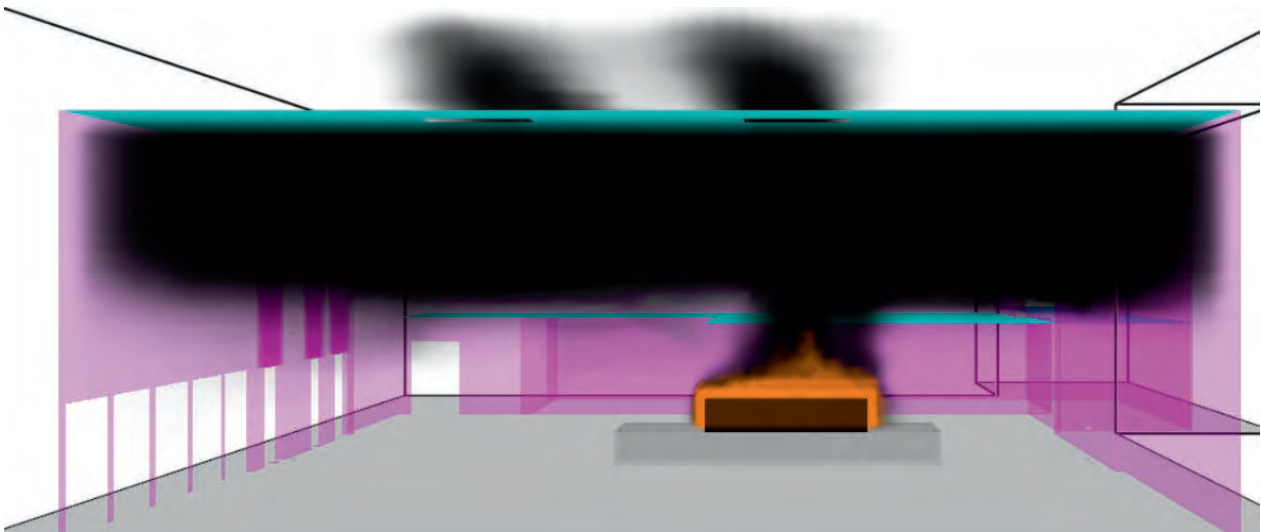


SCENARIO A - VISIBILITÀ DOPO 2700 s

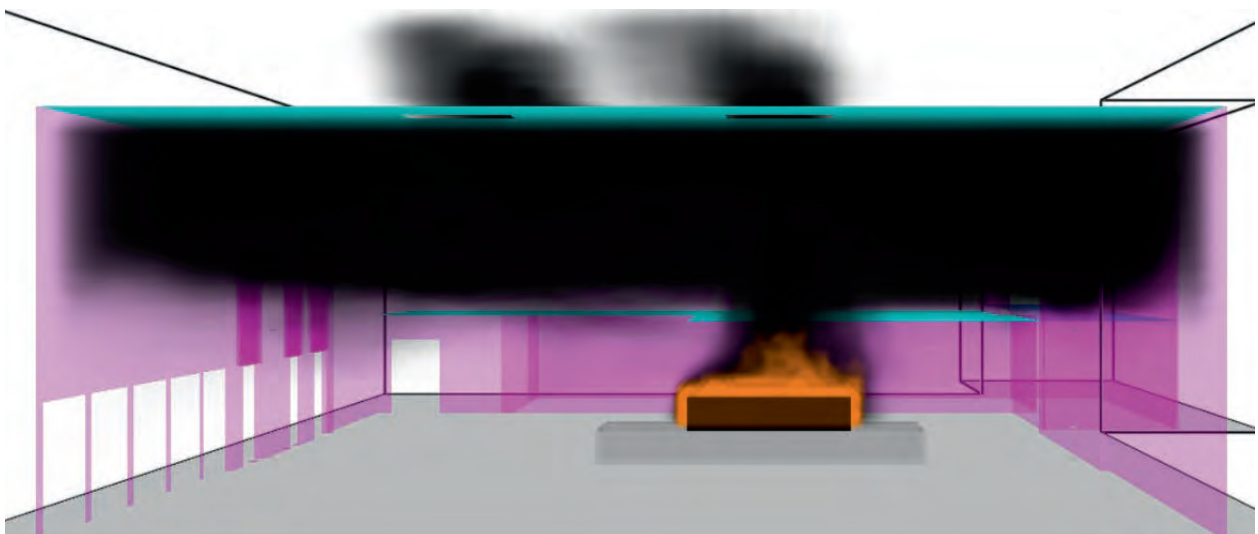
SCENARIO B - Propagazione dei fumi



SCENARIO B - PROPAGAZIONE DEI FUMI DOPO 300 S

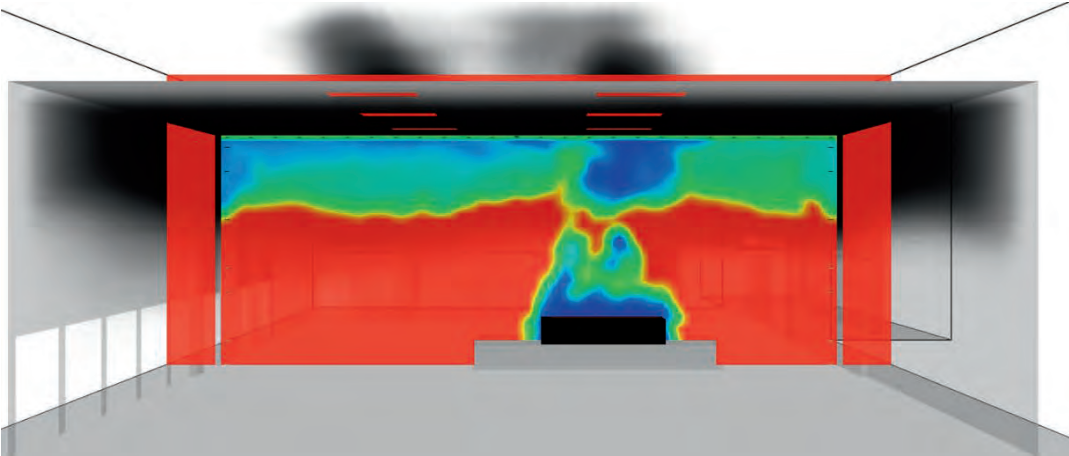


SCENARIO B - PROPAGAZIONE DEI FUMI DOPO 1800 S

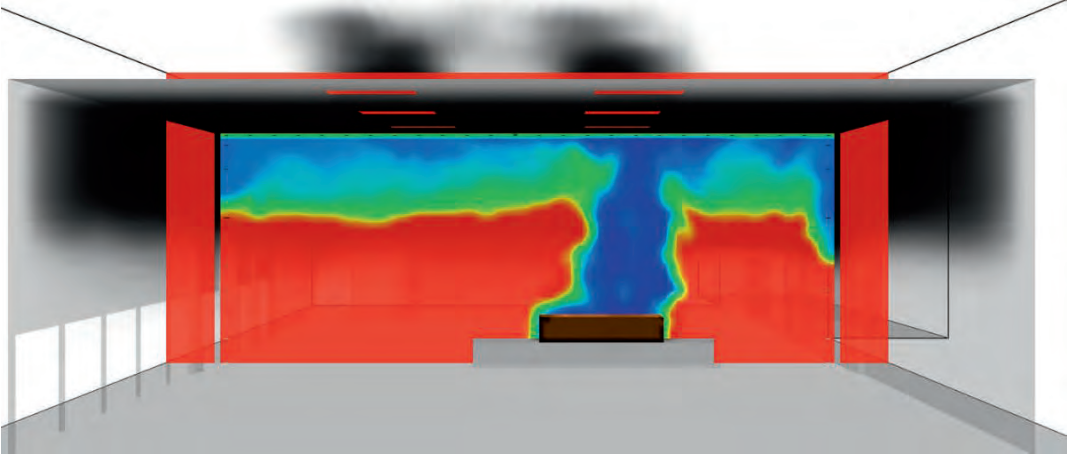


SCENARIO B - PROPAGAZIONE DEI FUMI DOPO 2700 S

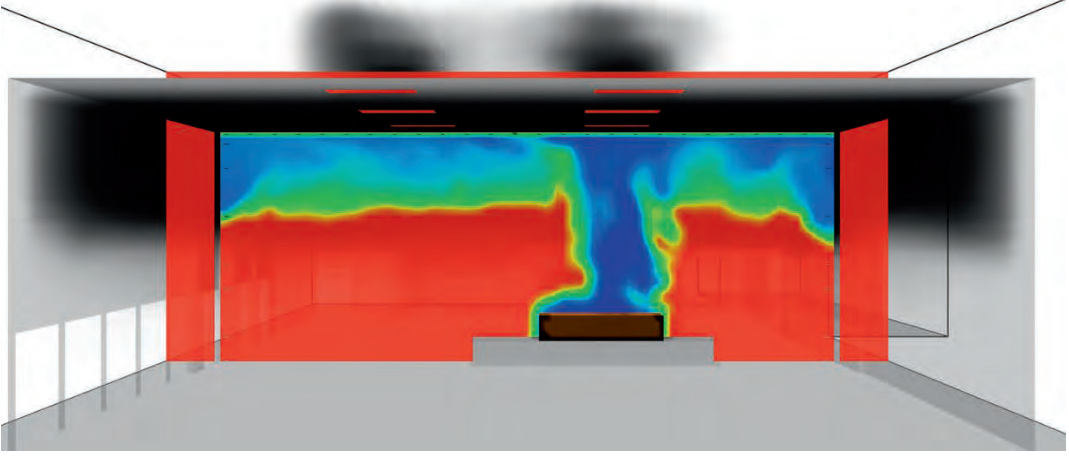
SCENARIO B - Visibilità



SCENARIO B - VISIBILITÀ DOPO 300 s



SCENARIO B - VISIBILITÀ DOPO 1800 s

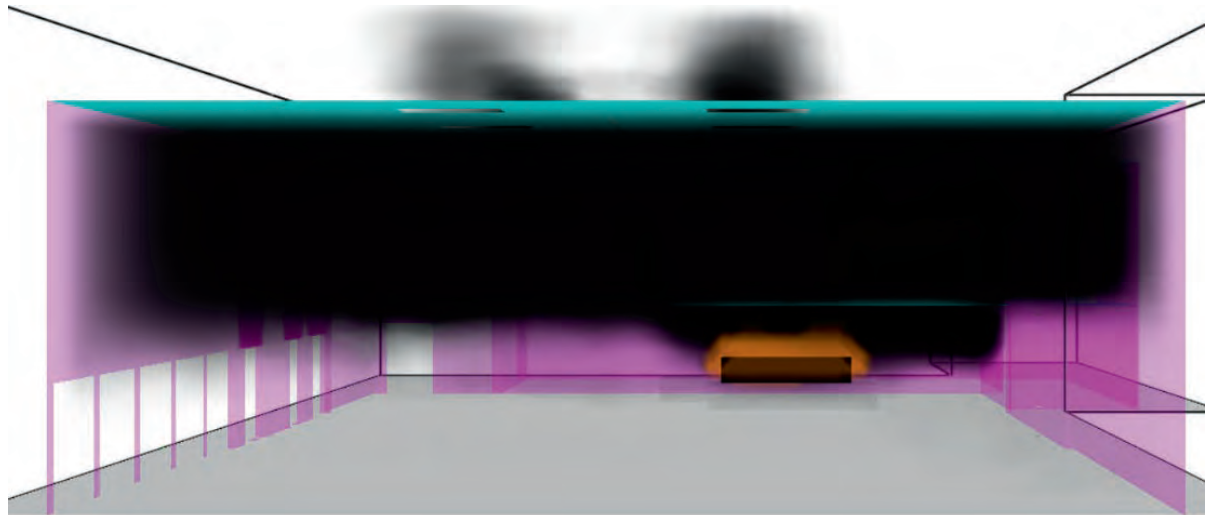


SCENARIO B - VISIBILITÀ DOPO 2700 s

Slice
VIS_CO.9H0.1
m



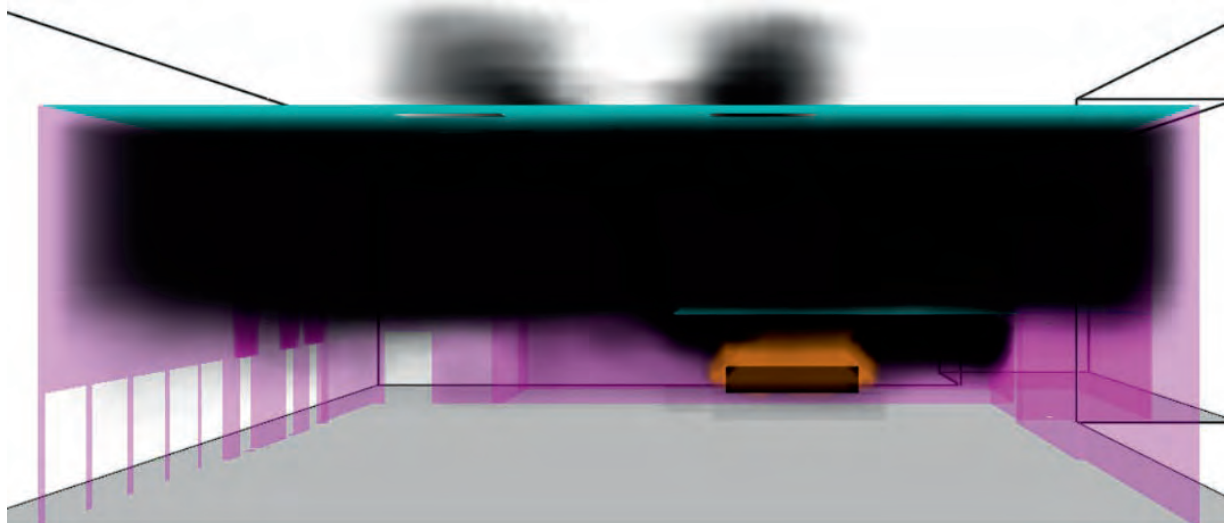
SCENARIO C - Propagazione dei fumi



SCENARIO C - PROPAGAZIONE DEI FUMI DOPO 300 s

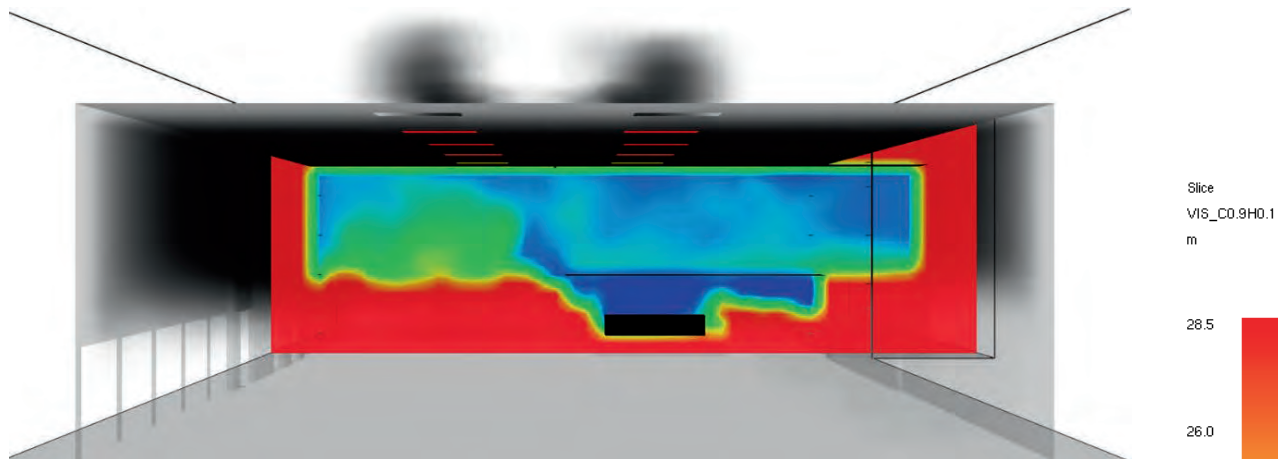


SCENARIO C - PROPAGAZIONE DEI FUMI DOPO 1800 s

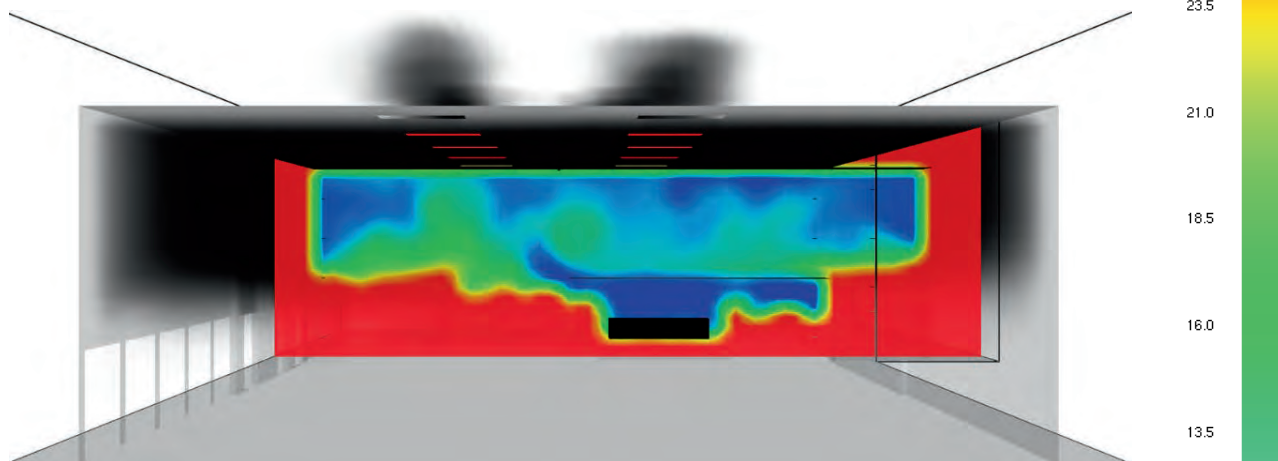


SCENARIO C - PROPAGAZIONE DEI FUMI DOPO 2700 s

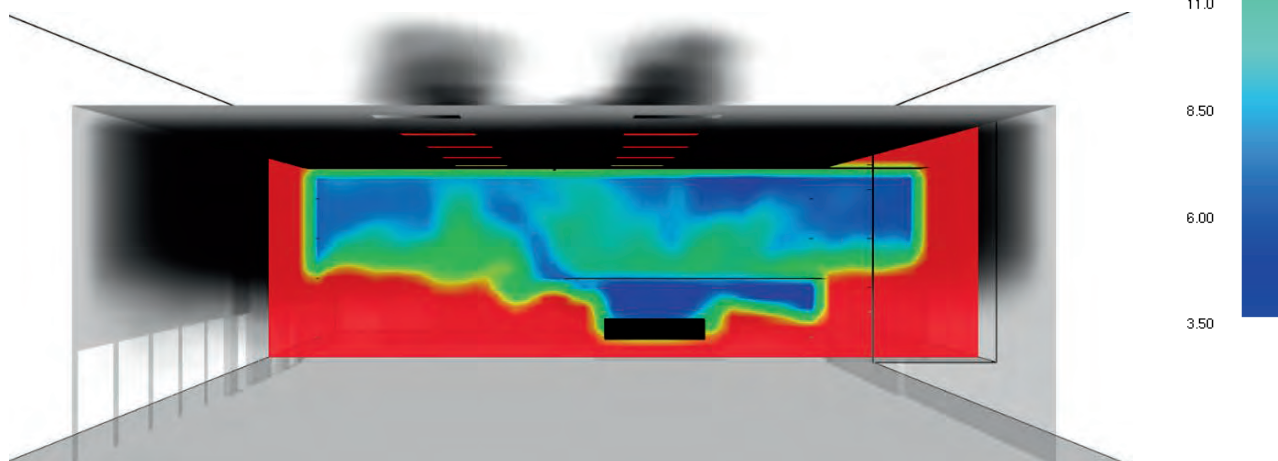
SCENARIO C - Visibilità



SCENARIO C - VISIBILITÀ DOPO 300 s



SCENARIO C - VISIBILITÀ DOPO 1800 s



SCENARIO C - VISIBILITÀ DOPO 2700 s

Verifica analitica dell'irraggiamento attraverso le aperture presenti sulla parete di separazione

Si è stimata la consistenza del potenziale irraggiamento prodotto dall'incendio di un pallet tipo verso il materiale combustibile più prossimo, posizionato dalla parte opposta delle aperture.

La verifica della distanza di separazione che limita l'irraggiamento termico dell'incendio sul bersaglio sarà condotta in *soluzione conforme* sia secondo la procedura tabellare, illustrata nel par. S.3.11.2, sia secondo la procedura analitica, illustrata nel par. S.3.11.3.

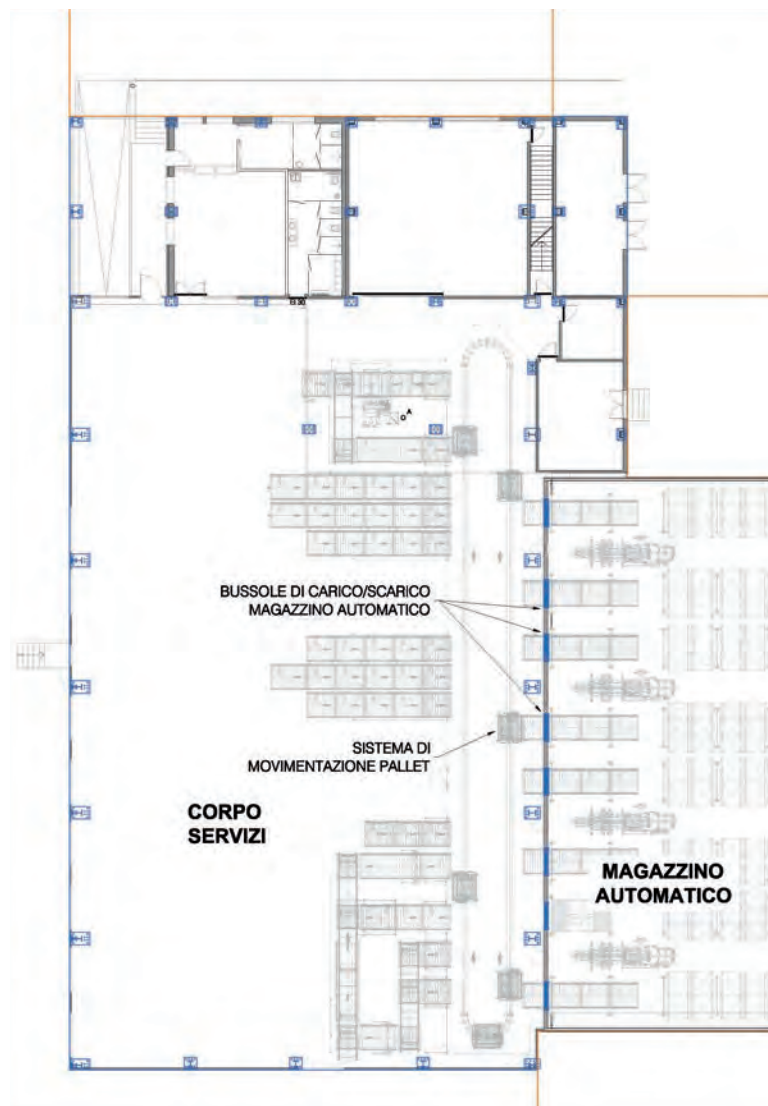
La procedura consiste nell'ipotizzare gli scenari più critici di propagazione dell'incendio e successivamente determinare, per ciascun elemento radiante, il piano radiante di riferimento per la distanza oggetto di analisi e le relative piastre radianti, come descritto al par. S.3.11.1.

Ipotesi considerate:

- A. Incendio lato *corpo servizi*: stima irraggiamento verso il bersaglio più prossimo ubicato all'interno del *magazzino automatico*;
- B. Incendio lato *magazzino automatico*: stima irraggiamento verso il bersaglio più prossimo ubicato all'interno del *corpo servizi*.

I dati di input per il calcolo saranno le dimensioni B ed H della piastra radiante e la distanza tra questa ed il bersaglio.

La soglia di irraggiamento massimo ammissibile, calcolata sul bersaglio, è fissata pari a 12,6 kW/m².



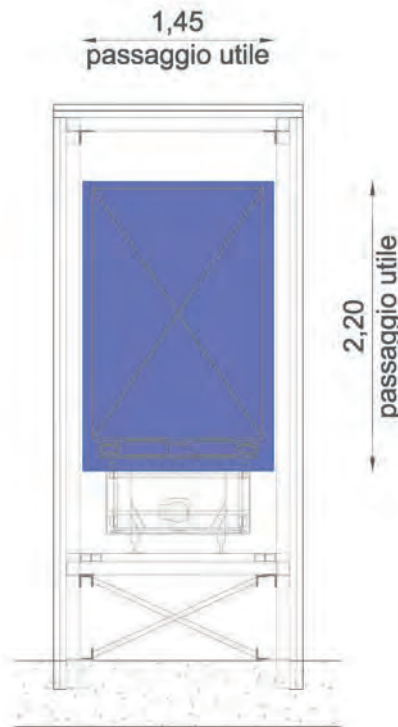
PLANIMETRIA (A QUOTA 1,20 M) DEL CORPO SERVIZI E DEL MAGAZZINO AUTOMATICO CON INDICAZIONE DELLA POSIZIONE DELLE BUSSOLE DI CARICO/SCARICO

IPOSTESI A1:

Incendio lato *corpo servizi*: stima irraggiamento verso il bersaglio più prossimo ubicato all'interno del *magazzino automatico*.

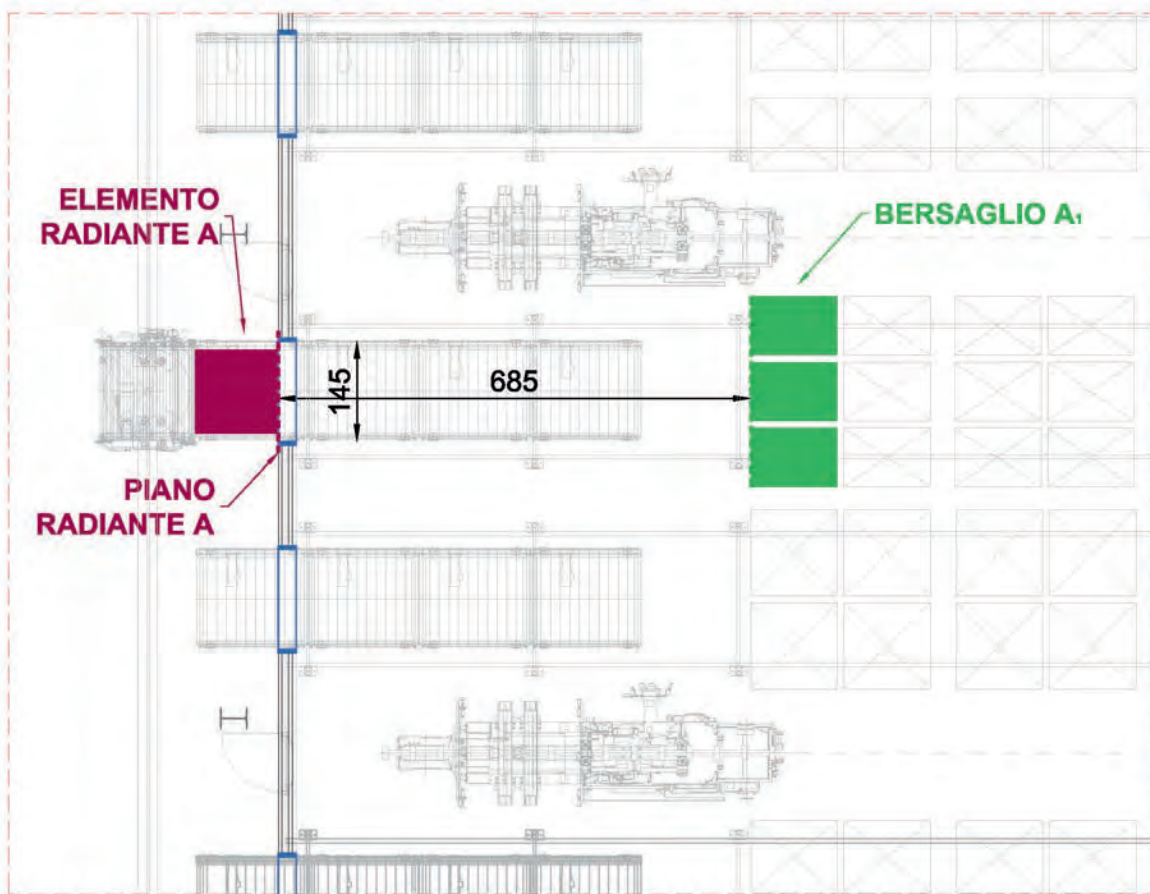
Si ipotizza l'incendio di un pallet in transito verso il magazzino automatico, posto sulla rulliera in prossimità della bussola di carico/scarico.

L'elemento radiante avrà dimensioni massime pari alle dimensioni di passaggio utile della bussola di carico, ovvero, $B = 1,45$ m; $H = 2,20$ m.

**PARTICOLARE APERTURA DELLA BUSSOLA DI CARICO/SCARICO MAGAZZINO AUTOMATICO**

Il bersaglio è individuato dai gruppi di pallet in deposito più prossimi alle aperture di carico, stoccati sugli impalcati di carico terra e primo.

La distanza di separazione, misurata tra la piastra radiante ed il bersaglio, è pari a 6,85 m.



SCENARIO A1 - PLANIMETRIA: INCENDIO ALL'INTERNO DEL CORPO SERVIZI

Scenario A1 - Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione

Si applica la procedura analitica riportata al par. S.3.11.3; come noto, la distanza d_i misurata tra la piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata separazione se è verificata la relazione S.3-3. Considerando una piastra radiante avente dimensioni pari a 1,45 x 2,20 m, con una percentuale di foratura pari a 1 (p) e un fattore di vista pari a 0,02 (F_{1-2}), alla distanza di separazione pari a 6,85 m, l'irraggiamento termico incidente sul bersaglio risulta pari a 1,12 kW/m² (< $E_{soglia} = 12,6$ kW/m²).

Verifica analitica della distanza di separazione	
Distanza dal bersaglio "d"	6,85 m
<i>Dimensioni della piastra radiante</i>	
B	1,45 m
H	2,20 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	1,45 m
S_{pr}	3,19 m ²
S_{rad}	3,19 m ²
p	1,00
H	2,20 m
X	0,11
Y	0,16
F_{2-1}	0,02
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E_1	149 kW/m ²
d_f	1,47
ϵ_f	0,36
Irraggiamento termico sul bersaglio	1,12 kW/m ²

Scenario A1 - Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

Il carico d'incendio specifico q_f nella porzione di edificio retrostante la piastra radiante (*corpo servizi*) è pari a $1684 \text{ MJ/m}^2 > 1200 \text{ MJ/m}^2$.

Applicando la procedura tabellare, riportata al par. S.3.11.2, utilizzando la tab. S.3.10, si determina la distanza di separazione d_i (S.3-2) che limita l'irraggiamento termico dell'incendio sul bersaglio ad un valore E_{soglia} pari a $12,6 \text{ kW/m}^2$.

B_i [m]	H_i [m]																			
	3		6		9		12		15		18		21		24		27		30	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
3	2,5	1,0	4,0	0,9	5,0	0,7	5,7	0,6	6,2	0,5	6,5	0,4	6,8	0,4	7,0	0,3	7,1	0,3	7,2	0,3
6	3,2	1,6	5,2	1,8	6,8	1,7	8,1	1,5	9,2	1,4	10,1	1,2	10,9	1,1	11,5	1,0	12,0	0,9	12,5	0,8
9	3,5	2,1	6,0	2,5	8,0	2,6	9,6	2,5	11,0	2,4	12,3	2,2	13,4	2,1	14,4	1,9	15,3	1,7	16,0	1,6
12	3,7	2,6	6,6	3,1	8,8	3,3	10,7	3,3	12,4	3,3	13,9	3,2	15,2	3,0	16,5	2,9	17,6	2,7	18,6	2,6
15	3,7	2,9	7,0	3,6	9,5	3,9	11,6	4,1	13,4	4,1	15,1	4,1	16,6	4,0	18,1	3,9	19,4	3,7	20,6	3,6
18	3,7	3,3	7,3	4,1	10,0	4,5	12,3	4,8	14,3	4,9	16,1	4,9	17,8	4,9	19,4	4,8	20,9	4,7	22,3	4,5
21	3,6	3,6	7,5	4,5	10,4	5,0	12,9	5,4	15,1	5,6	17,0	5,7	18,9	5,7	20,6	5,7	22,2	5,6	23,7	5,5
24	3,5	3,9	7,6	4,9	10,7	5,5	13,4	6,0	15,7	6,2	17,8	6,4	19,8	6,5	21,6	6,5	23,3	6,5	24,9	6,4
27	3,3	4,1	7,6	5,3	11,0	6,0	13,8	6,5	16,3	6,8	18,5	7,0	20,6	7,2	22,5	7,3	24,3	7,3	26,0	7,2
30	3,2	4,4	7,7	5,6	11,2	6,4	14,2	7,0	16,8	7,4	19,1	7,7	21,3	7,9	23,3	8,0	25,2	8,0	27,0	8,1
40	2,6	5,1	7,5	6,7	11,6	7,8	15,0	8,5	18,0	9,1	20,8	9,5	23,3	9,9	25,6	10,2	27,8	10,4	29,8	10,5
50	2,2	5,6	7,0	7,7	11,5	8,9	15,4	9,9	18,8	10,6	21,9	11,2	24,7	11,7	27,3	12,1	29,7	12,4	32,0	12,7
60	1,8	6,1	6,5	8,5	11,3	10,0	15,5	11,1	19,3	12,0	22,6	12,7	25,7	13,3	28,6	13,8	31,2	14,2	33,8	14,6

Per valori di B_i e H_i intermedi a quelli riportati in tabella si approssima al valore immediatamente successivo.
In alternativa può essere impiegata iterativamente la procedura analitica di cui al paragrafo S.3.11.3.

TABELLA S.3-10: COEFFICIENTI A E B PER ATTIVITÀ CON CARICO DI INCENDIO SPECIFICO $q_F > 1200 \text{ MJ/m}^2$

Per ricavare i valori di α e β dalla tabella, si approssimano i valori B ed H della piastra radiante ai valori immediatamente successivi:

- $B = 1,45 \text{ m} \rightarrow$ si adotta $B_i = 3 \text{ m}$;
- $H = 2,20 \text{ m} \rightarrow$ si adotta $H_i = 3 \text{ m}$.

Con tali parametri si ricavano i coefficienti $\alpha = 2,5$ e $\beta = 1,0$.

Utilizzando la formula S.3-2 si ricava che la *distanza di separazione "soglia"* risulta pari a:

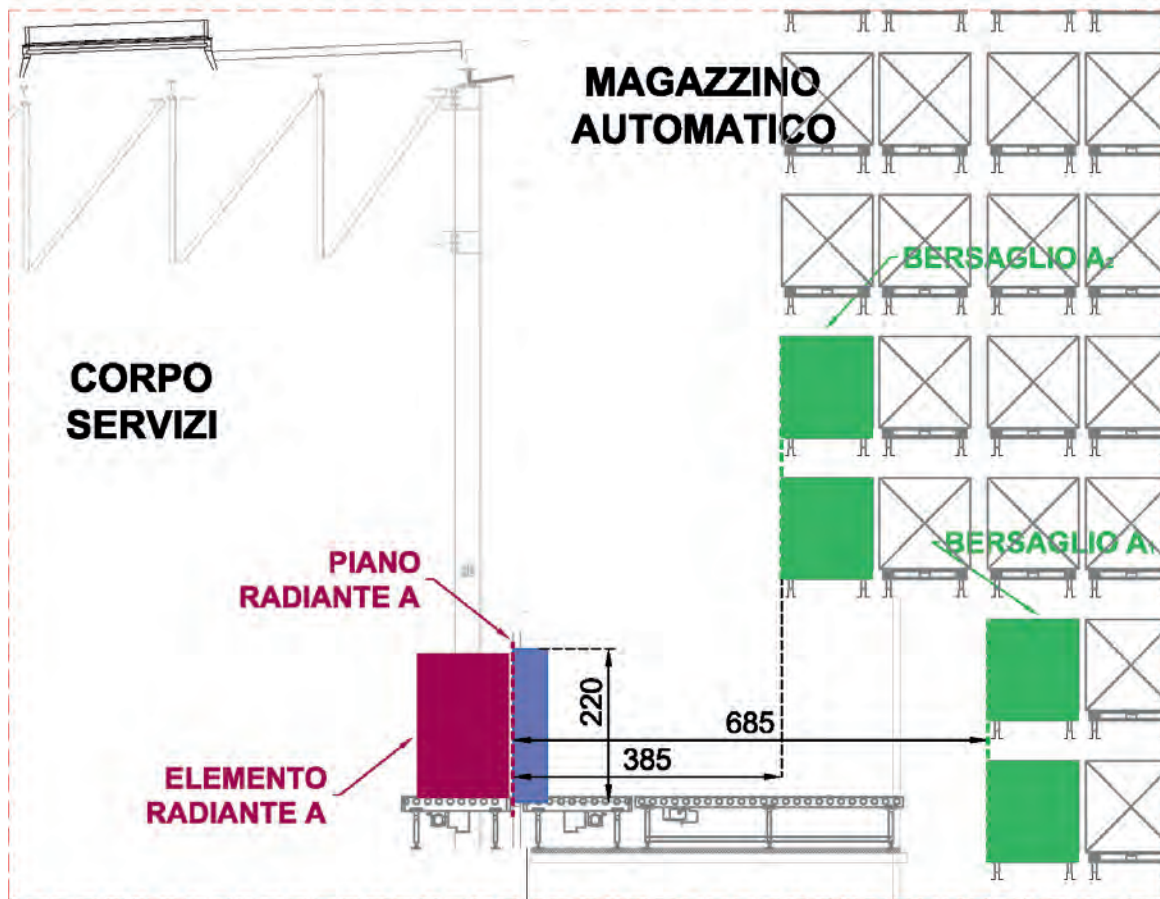
$$d = \alpha p + \beta = 2,5 * 1,0 + 1,0 = 3,50 \text{ m} < 6,85 \text{ m}$$

IPOTESI A2:

Valgono le ipotesi individuate nella determinazione dell'ipotesi A1.

Si individuano come bersaglio i pallet in deposito più prossimi alle aperture di carico e stoccati al 3° e 4° impalcato di carico.

La distanza di separazione, misurata tra la piastra radiante ed il bersaglio, è pari a 3,85 m.



SCENARIO A2 - SEZIONE: INCENDIO ALL'INTERNO DEL CORPO SERVIZI

Scenario A2 - Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione

Si applica la procedura analitica riportata al par. S.3.11.3; come noto, la distanza di misurata tra la piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata separazione se è verificata la relazione S.3-3. Considerando una piastra radiante avente dimensioni pari a 1,45 x 2,20 m, con una percentuale di foratura pari a 1 (p) e un fattore di vista pari a 0,06 (F₁₋₂), alla distanza di separazione pari a 3,85 m, l'irraggiamento termico incidente sul bersaglio risulta pari a 3,37 kW/m² (< E_{soglia} = 12,6 kW/m²).

Verifica analitica della distanza di separazione	
Distanza dal bersaglio "d"	3,85 m
<i>Dimensioni della piastra radiante</i>	
B	1,45 m
H	2,20 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	1,45 m
S _{pr}	3,19 m ²
S _{rad}	3,19 m ²
p	1,00
H	2,20 m
X	0,19
Y	0,29
F ₂₋₁	0,06
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E ₁	149 kW/m²
d _f	1,47
ε _f	0,36
Irraggiamento termico sul bersaglio	3,37 kW/m²

Scenario A2 - Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

La verifica ricalca l'analisi dello scenario A1 conducendo anche in questo caso ad un esito positivo:

$$d = \alpha p + \beta = 2,5 * 1,0 + 1,0 = 3,50 \text{ m} < 3,85 \text{ m}$$

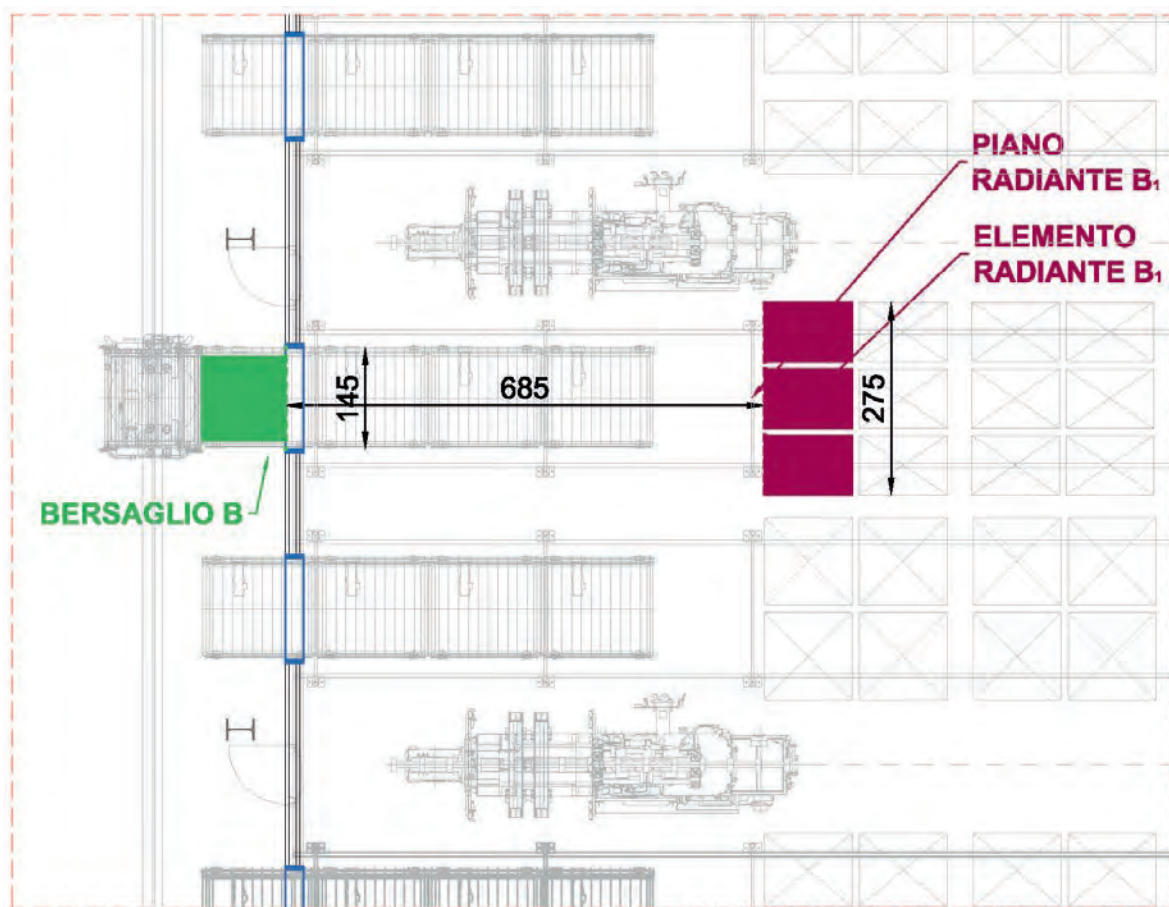
IPOTESI B1:

Incendio lato *magazzino automatico*: stima irraggiamento verso il bersaglio più prossimo ubicato all'interno del *corpo servizi*.

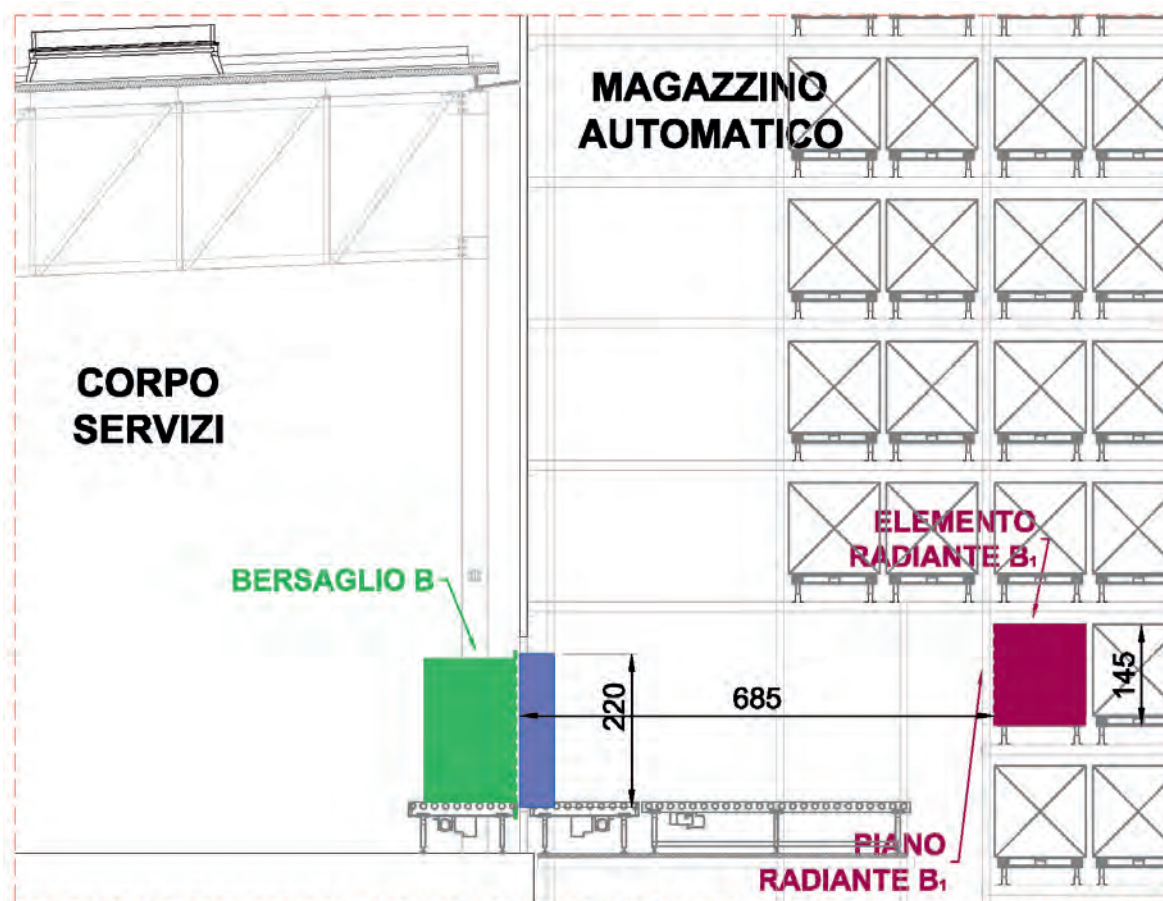
Si ipotizza l'incendio dei pallet depositati nelle celle di carico più prossime alle aperture di carico/scarico. Considerando uno sviluppo dell'incendio che coinvolga i materiali stoccati su una singola scaffalatura, la piastra radiante avrà dimensioni pari a: $B = 2,75 \text{ m}$; $H = 1,45 \text{ m}$.

Il bersaglio è individuato dal pallet in transito dal corpo servizi, posto sulla rulliera in prossimità della bussola di carico/scarico.

La distanza di separazione, misurata tra la piastra radiante ed il bersaglio, è pari a $6,85 \text{ m}$.



SCENARIO B1 - PLANIMETRIA: INCENDIO ALL'INTERNO DEL MAGAZZINO AUTOMATICO



SCENARIO B1 - SEZIONE: INCENDIO ALL'INTERNO DEL MAGAZZINO AUTOMATICO

Scenario B1 - Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione

Si applica la procedura analitica riportata al par. S.3.11.3; come noto, la distanza d_i misurata tra la piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata separazione se è verificata la relazione S.3-3.

Considerando una piastra radiante avente dimensioni pari a 2,75 x 1,45 m, con una percentuale di foratura pari a 1 (p) e un fattore di vista pari a 0,01 (F_{1-2}), alla distanza di separazione pari a 6,85 m, l'irraggiamento termico incidente sul bersaglio risulta pari a 0,31 kW/m² ($< E_{soglia} = 12,6$ kW/m²).

Verifica analitica della distanza di separazione	
Distanza dal bersaglio "d"	6,85 m
<i>Dimensioni della piastra radiante</i>	
B	2,75 m
H	1,45 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	2,75 m
S_{pr}	3,99 m ²
S_{rad}	3,99 m ²
p	1,00
H	1,45 m
X	0,20
Y	0,11
F_{2-1}	0,03
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E_1	149 kW/m ²
d_f	0,97
ϵ_f	0,25
Irraggiamento termico sul bersaglio	0,98 kW/m ²

Scenario B1 - Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

Il carico d'incendio specifico q_f nella porzione di edificio retrostante la piastra radiante (*corpo servizi*) è pari a $1684 \text{ MJ/m}^2 > 1200 \text{ MJ/m}^2$.

Applicando la procedura tabellare, riportata al par. S.3.11.2, utilizzando la tab. S.3.10, si determina la distanza di separazione d_i (S.3-2) che limita l'irraggiamento termico dell'incendio sul bersaglio ad un valore E_{soglia} pari a $12,6 \text{ kW/m}^2$.

B_i [m]	H_i [m]																			
	3		6		9		12		15		18		21		24		27		30	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
3	2,5	1,0	4,0	0,9	5,0	0,7	5,7	0,6	6,2	0,5	6,5	0,4	6,8	0,4	7,0	0,3	7,1	0,3	7,2	0,3
6	3,2	1,6	5,2	1,8	6,8	1,7	8,1	1,5	9,2	1,4	10,1	1,2	10,9	1,1	11,5	1,0	12,0	0,9	12,5	0,8
9	3,5	2,1	6,0	2,5	8,0	2,6	9,6	2,5	11,0	2,4	12,3	2,2	13,4	2,1	14,4	1,9	15,3	1,7	16,0	1,6
12	3,7	2,6	6,6	3,1	8,8	3,3	10,7	3,3	12,4	3,3	13,9	3,2	15,2	3,0	16,5	2,9	17,6	2,7	18,6	2,6
15	3,7	2,9	7,0	3,6	9,5	3,9	11,6	4,1	13,4	4,1	15,1	4,1	16,6	4,0	18,1	3,9	19,4	3,7	20,6	3,6
18	3,7	3,3	7,3	4,1	10,0	4,5	12,3	4,8	14,3	4,9	16,1	4,9	17,8	4,9	19,4	4,8	20,9	4,7	22,3	4,5
21	3,6	3,6	7,5	4,5	10,4	5,0	12,9	5,4	15,1	5,6	17,0	5,7	18,9	5,7	20,6	5,7	22,2	5,6	23,7	5,5
24	3,5	3,9	7,6	4,9	10,7	5,5	13,4	6,0	15,7	6,2	17,8	6,4	19,8	6,5	21,6	6,5	23,3	6,5	24,9	6,4
27	3,3	4,1	7,6	5,3	11,0	6,0	13,8	6,5	16,3	6,8	18,5	7,0	20,6	7,2	22,5	7,3	24,3	7,3	26,0	7,2
30	3,2	4,4	7,7	5,6	11,2	6,4	14,2	7,0	16,8	7,4	19,1	7,7	21,3	7,9	23,3	8,0	25,2	8,0	27,0	8,1
40	2,6	5,1	7,5	6,7	11,6	7,8	15,0	8,5	18,0	9,1	20,8	9,5	23,3	9,9	25,6	10,2	27,8	10,4	29,8	10,5
50	2,2	5,6	7,0	7,7	11,5	8,9	15,4	9,9	18,8	10,6	21,9	11,2	24,7	11,7	27,3	12,1	29,7	12,4	32,0	12,7
60	1,8	6,1	6,5	8,5	11,3	10,0	15,5	11,1	19,3	12,0	22,6	12,7	25,7	13,3	28,6	13,8	31,2	14,2	33,8	14,6

Per valori di B_i e H_i intermedi a quelli riportati in tabella si approssima al valore immediatamente successivo.
In alternativa può essere impiegata iterativamente la procedura analitica di cui al paragrafo S.3.11.3.

TABELLA S.3-10: COEFFICIENTI A E B PER ATTIVITÀ CON CARICO DI INCENDIO SPECIFICO $q_F > 1200 \text{ MJ/m}^2$

Per ricavare i valori di α e β dalla tabella, si approssimano i valori B ed H della piastra radiante ai valori immediatamente successivi:

- $B = 2,75 \text{ m} \rightarrow$ si adotta $B_i = 3 \text{ m}$;
- $H = 1,45 \text{ m} \rightarrow$ si adotta $H_i = 3 \text{ m}$.

Con tali parametri si ricavano i coefficienti $\alpha = 2,5$ e $\beta = 1,0$.

Utilizzando la formula S.3-2 si ricava che la *distanza di separazione "soglia"* risulta pari a:

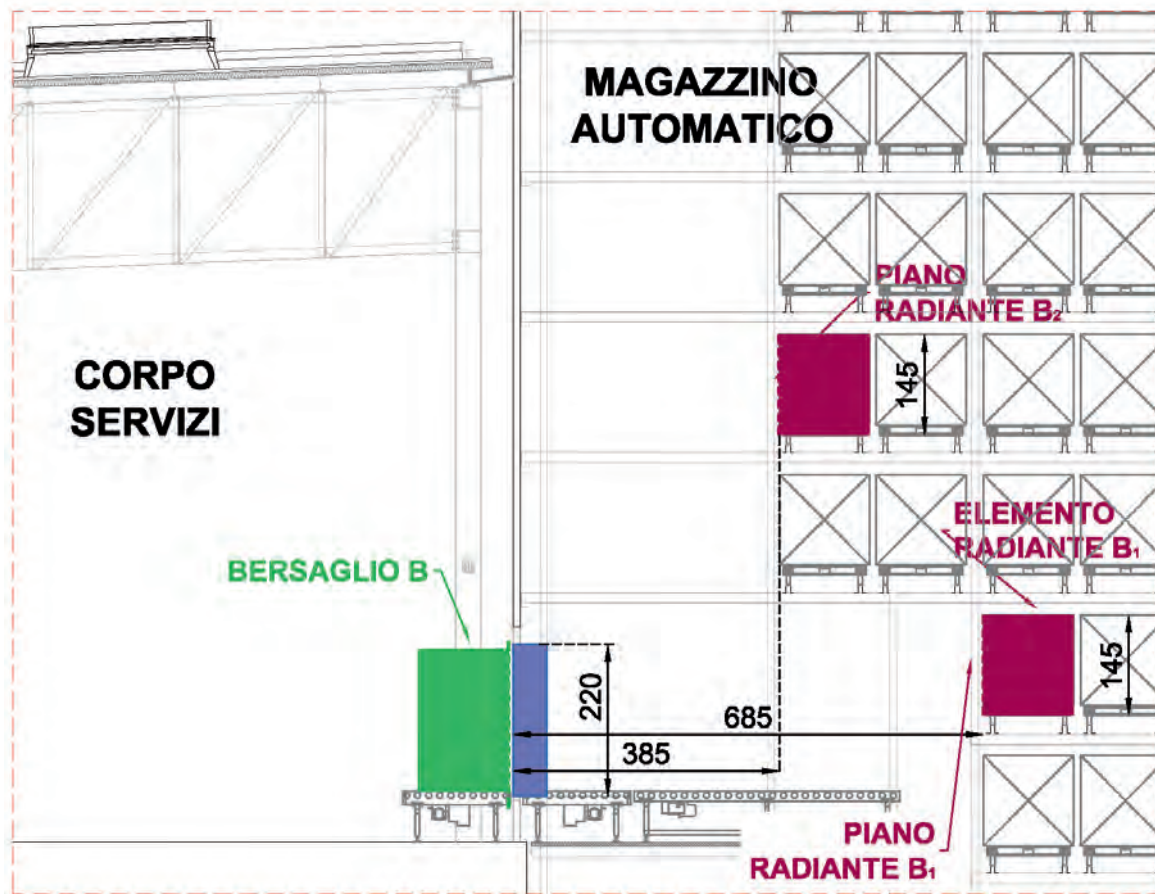
$$d = \alpha p + \beta = 2,5 * 1,0 + 1,0 = 3,50 \text{ m} < 6,85 \text{ m}$$

IPOSTESI B2:

Valgono le ipotesi individuate nella determinazione dell'ipotesi B1.

Si individuano come elementi radianti i gruppi di pallet in deposito più prossimi alle aperture di carico, stoccati al 4° impalcato di carico.

La distanza di separazione, misurata tra la piastra radiante B2 ed il bersaglio, è pari a 3,85 m.



SCENARIO B2 - SEZIONE: INCENDIO ALL'INTERNO DEL MAGAZZINO AUTOMATICO

Scenario B2 - Procedura per la determinazione analitica della distanza di separazione

Si applica la procedura analitica riportata al par. S.3.11.3; come noto, la distanza d_i misurata tra la piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata separazione se è verificata la relazione S.3-3. Considerando una piastra radiante avente dimensioni pari a 2,75 x 1,45 m, con una percentuale di foratura pari a 1 (p) e un fattore di vista pari a 0,03 (F_{1-2}), alla distanza di separazione pari a 3,85 m, l'irraggiamento termico incidente sul bersaglio risulta pari a 0,96 kW/m² ($< E_{soglia} = 12,6$ kW/m²).

Verifica analitica della distanza di separazione	
Distanza dal bersaglio "d"	3,85 m
<i>Dimensioni della piastra radiante</i>	
B	2,75 m
H	1,45 m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>	
B	2,75 m
S_{pr}	3,99 m ²
S_{rad}	3,99 m ²
p	1,00
H	1,45 m
X	0,36
Y	0,19
F_{2-1}	0,08
<i>Verifica della distanza di separazione</i>	
E_1	149 kW/m ²
d_f	0,97
ε_f	0,25
Irraggiamento termico sul bersaglio	2,90 kW/m ²

Scenario B2 - Procedura per la determinazione tabellare della distanza di separazione

La verifica ricalca l'analisi dello scenario B1 conducendo anche in questo caso ad un esito positivo:

$$d = \alpha p + \beta = 2,5 * 1,0 + 1,0 = 3,50 \text{ m} < 3,85 \text{ m}$$

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio è stata verificata la progettazione della misura S.3 per una attività soggetta al controllo di prevenzione incendi ospitata in un magazzino automatico con annesso un corpo servizi, assoggettabile all'attività 70.2.C.

Nel caso in esame sono presenti n. 8 aperture non compartimentabili tra il *magazzino automatico* e il *corpo servizi*, utilizzati per trasportare su nastro in continuo i pallet in ingresso e uscita dal magazzino stesso.

Pertanto, non potendo chiudere in alcun modo tali varchi, sono stata utilizzate dapprima una soluzione alternativa, al fine di verificare la tenuta ai fumi caldi e freddi; in tale valutazione non si considera, in maniera cautelativa, la minimizzazione di passaggio di aria tra le due opere da costruzione per effetto dei serramenti a bussola presenti.

Si è invece fatto ricorso ad un SENFC a disponibilità superiore, dal momento che si vuole considerare sempre l'effetto di mitigazione sull'incendio, quindi anche nel *worst case credibile*.

Successivamente, con l'applicazione di una soluzione conforme, che ricorre sia alla procedura tabellare che a quella analitica, è stato dimostrato che i pallet posti da una parte e l'altra, che si traggono mediante una delle aperture, non risentono dell'irraggiamento ai quali possono essere sottoposti, considerando alternativamente sorgente e bersaglio nel corpo servizi e nel magazzino automatico.

In tali simulazioni non è stata considerata la presenza del sistema a riduzione di ossigeno, che rende quasi impossibile l'innesco.

Tale caso studio ha mostrato un vasto repertorio di soluzioni valide per la misura S.3, mostrando inoltre come ricorrere a impianti e sistemi tecnologici avanzati, sia di tipo ordinario, sia a disponibilità superiore.

❖ *Commento dei risultati*

Sulla base dei risultati ottenuti si è dimostrato che l'effetto radiante prodotto dall'eventuale incendio lato *magazzino automatico* o lato *corpo servizi* non è tale da poter innescare a distanza i materiali presenti sul lato opposto rispetto alle aperture di carico.

Ciò in virtù delle ridotte dimensioni delle aperture e delle distanze tra potenziale focolaio e materiali combustibili più prossimi.

L'assenza di una vera e propria compartimentazione antincendio tra *corpo servizi* e *magazzino automatico* è stata risolta mediante il requisito prestazionale della parete di separazione tra le due opere da costruzione.

Esaminati gli esiti dei modelli fluidodinamici e delle verifiche analitiche, si è potuto concludere che la presenza e le caratteristiche delle n. 8 aperture non riducono le prestazioni di compartimentazione della parete di separazione tra *magazzino automatico* e il *corpo servizi*, sia in termini di tenuta ai fumi freddi e caldi, sia in termini di irraggiamento termico.

In merito ai requisiti di tenuta, è stato necessario ricorrere ad un SENFC a disponibilità superiore, dal momento che il suo contributo è fondamentale in qualsiasi condizione credibile per non far abbassare troppo i fumi e quindi compromettere la compartimentazione.

Con riferimento alla dimostrazione del requisito relativo all'irraggiamento, si evidenzia come la soluzione conforme utilizzata sia ampiamente cautelativa, dal momento che considera sorgente e bersaglio perfettamente in asse, cosa che invece non è vera: considerando il reale fattore di vista si otterrebbero risultati più accurati, che permetterebbero di considerare un apporto termico più vicino a quello che si potrebbe verificare in realtà.

Caso studio 8: edificio storico adibito ad uffici facenti capo a diversa titolarità

Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un'attività ufficio, non aperto al pubblico, esercita in un edificio storico di particolare rilevanza architettonica e costruttiva, vincolato dal MiBACT.

L'immobile, nel quale sono inseriti uffici facenti capo a diversa titolarità, è costituito da sette piani fuori terra, oltre il piano ammezzato e quello interrato (destinato ai locali tecnici e costituente compartimento antincendio a sé stante).

Esso presenta una pianta del piano tipo "a croce", caratterizzato dalla presenza di quattro cavetti interni, impiegati proficuamente per l'installazione dei sistemi di protezione attiva antincendio.

I piani in elevazione dell'edificio presentano una superficie di circa 1300 m² a differenza del piano sesto di superficie pari a circa la metà, avendo perimetro intromesso rispetto ai prospetti principali dell'edificio e del piano ammezzato, anch'esso di superficie e geometrie ridotte.

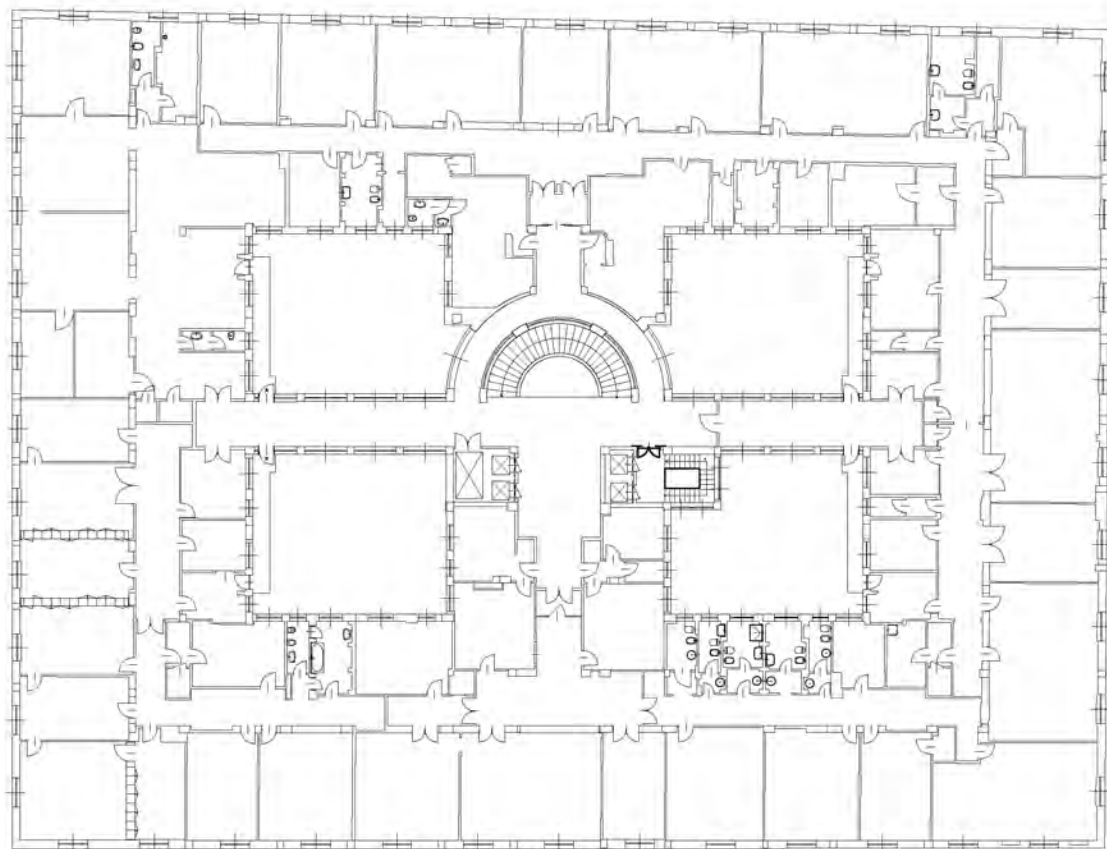
L'immobile presenta una scala principale semi-circolare, ad importante rilevanza architettonica, e una scala secondaria, di importanza architettonica minore, comunicante con quella principale.

La scala principale costituisce per l'edificio la principale via di esodo, anche per la sua funzione di collegamento con la scala secondaria, anch'essa quindi impiegabile per l'esodo e per lo stazionamento degli occupanti diversamente abili.

Le singole unità immobiliari presenti a ciascun piano, adibite ad ufficio, offrono elementi di compartimentazione verticale, attestati sul vano scale principale, costituiti da tramezzi in laterizio rivestiti di marmo travertino e la comunicazione con il vano scale principale avviene attraverso porte alle quali non è possibile conferire, a causa del vincolo architettonico gravante anche nel vano scale principale, un idoneo grado di tenuta ai fumi e ai prodotti della combustione.

La compartimentazione con il vano scala principale dovrà essere quindi garantita adottando *soluzioni alternative* atte a dimostrare che gli occupanti potranno raggiungere un luogo sicuro, prima che l'incendio possa determinare condizioni incapacitanti negli ambiti attraversati durante l'esodo.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:



PLANIMETRIA DEL PIANO TIPO

Superficie del piano tipo	1300 m ²
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in CLS armato
Numero occupanti	763
Classificazione RTV V.4	OB/HC
Profili di rischio R _{vita}	A2 per le aree di tipo TA (parr. V.4.2.2 e G.3.2.2)
	A2 per le aree di tipo TM e TT (parr. V.4.2.2 e G.3.2.2)
Profilo di rischio R _{beni}	Opera da costruzione vincolata = 2 (par. G.3.3)
Profilo di rischio R _{ambiente}	Non significativo (par. G.3.4)
Reazione al fuoco	Livello II di prestazione (parr. S.1.3, S.1.4.1 e V.4.4.1)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (parr. S.2.3, S.2.4.3 e V.4.4.2)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (parr. S.3.3, S.3.4.3 e V.4.4.3)
Esodo	Livello I di prestazione (parr. S.4.3 e S.4.4.3)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello III di prestazione (parr. S.5.3, S.5.4.1 e V.4.4.4)
Controllo dell'incendio	Livello III di prestazione (parr. S.6.3, S.6.4.2 e V.4.4.5) Rete di Idranti (UNI 10779)
Rivelazione ed allarme	Livello III di prestazione (parr. S.7.3, S.7.4.3 e V.4.4.6) Impianto IRAI (UNI 9795)
Controllo di fumi e calore	Livello II di prestazione (parr. S.8.3 e S.8.4.1) incrementato di un livello per l'installazione di un SEFFC (par. S.8.4.2)
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (parr. S.9.3 e S.9.4.2) incrementato di un livello per l'installazione di un SEFFC (par. S.9.4.2)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (parr. S.10.3, S.10.4.1 e V.4.4.7)



PROSPETTO DELL'EDIFICIO

Le problematiche legate all'esodo degli occupanti, come il numero minimo delle vie d'esodo indipendenti, non saranno esposti nella presente trattazione; si accenna solamente che sono state poste in essere specifiche misure gestionali al fine di prevenire fenomeni di sovraffollamento localizzato (*crowd crush*) che si concretizzano facendo ricorso ad un *esodo per fasi*, avendo dotato l'attività dei requisiti necessari per poterlo mettere in atto (a partire dalle condizioni di prestazione della compartimentazione).

Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi

Trattasi di attività classificata al punto 73.2.C dell'Allegato I del d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151: "Edifici e/o complessi edilizi a uso terziario e/o industriale caratterizzati da promiscuità strutturale e/o dei sistemi delle vie di esodo e/o impiantistica con capienza superiore a 500 unità, ovvero superficie complessiva superiore a 6000 mq, (indipendentemente dal numero di attività costituenti e dalla relativa diversa titolarità)". L'edificio, essendo destinato ad uffici con oltre 500 persone presenti (fino a 800 persone), risulta anche assoggettato come attività 71.2.B.

Riferimenti normativi

- d.m. 3 agosto 2015 - "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del d.lgs. 8 marzo 2006, n. 139" - Aggiornamento d.m. 18 ottobre 2019, come aggiornata dai decreti 14 febbraio 2020 e 6 aprile 2020 per la sezione V.

Obiettivi dello studio

Ci si propone, nell'ambito generale della progettazione antincendio dell'attività, di focalizzare l'attenzione sulla misura antincendio *Compartimentazione*, dimostrando l'adeguatezza di tale misura, mediante approccio ingegneristico, in relazione alla gestione dell'esodo degli occupanti attraverso gli esistenti vani scale (vie di esodo a sviluppo verticale).

Si dimostrerà infatti che, attraverso misure di sicurezza attiva (Sistemi di Evacuazione del Fumo e del Calore), è possibile mantenere le vie di esodo libere dai prodotti della combustione, per tutto il tempo dell'esodo degli occupanti, garantendo anche l'intervento dei soccorritori.

Tali misure di protezione attiva consentono di realizzare una *compartimentazione* del vano scala principale capace di garantire i collegati livelli di prestazione per un tempo congruo con la gestione dell'emergenza, garantendo anche la sicurezza degli occupanti con disabilità.

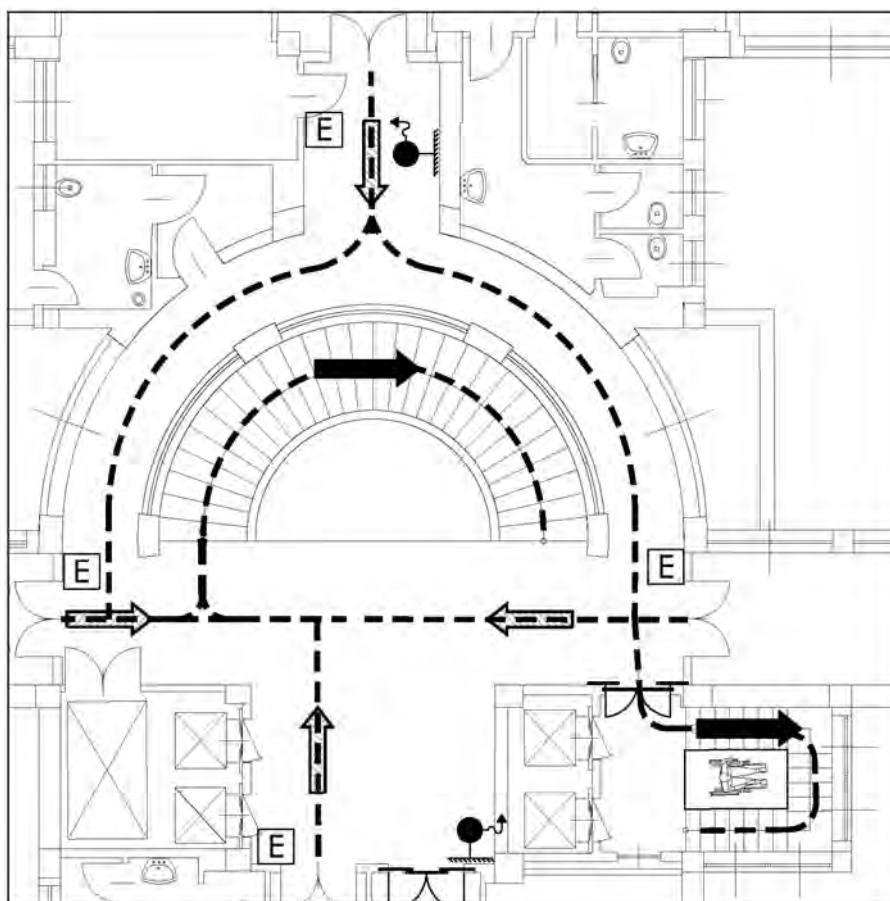
Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3

Il Codice consente l'utilizzo di *soluzioni alternative*, per tutti i livelli di prestazione, prevedendo che tali soluzioni possano essere ricercate nell'impiego dei SEFC (Cap. S.8).

È previsto però che, al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione, il progettista impieghi uno dei metodi di cui al par. G.2.6, tra i quali è annoverata l'applicazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio (Capp. M).

Il presente caso studio dimostra il raggiungimento del collegato livello di prestazione attraverso l'impiego di soluzioni ingegneristiche che fanno ricorso a modellazioni termofluidodinamiche atte a valutare le condizioni di *tenibilità* ed il dimensionamento degli impianti di estrazione dei fumi e gas caldi, attraverso una metodologia iterativa.

La verifica, di tipo quantitativo, dimostrerà che è possibile raggiungere il prescritto livello di prestazione, compartimentando la scala principale con una metodologia progettuale alternativa, atta a garantire la non propagazione dei prodotti della combustione, provenienti dal compartimento di primo innesco (unità immobiliare in cui si verifica l'innesco), e quindi le desiderate condizioni di tenibilità per la salvaguardia della vita degli occupanti, anche non disponendo di elementi di chiusura con specifiche caratteristiche di resistenza al fuoco per le singole unità immobiliari.



PARTICOLARE PLANIMETRIA PIANO TIPO - ACCESSO ALLA SCALA A

Analisi dei luoghi

L'edificio presenta una planimetria di forma rettangolare nella quale sono presenti quattro cavedi verticali. Il vano scala principale [A] dispone di parti comuni, in ciascun piano, articolate a "croce", con bracci che raggiungono le differenti unità immobiliari presenti sul medesimo piano.

I bracci longitudinali sono anche serviti da aperture vetrate che affacciano sui cavedi verticali.

È presente inoltre un vano scala secondario [B], di minori dimensioni, a cui si accede attraverso gli spazi comuni del vano scala principale.

Nel vano scala secondario, in ciascun piano, è stato realizzato uno spazio calmo atto ad ospitare persone diversamente abili (occupanti che non abbiano sufficienti abilità per raggiungere autonomamente un luogo sicuro tramite vie d'esodo verticali), munito di sistema di allarme e chiamata vocale.

Il vano scala principale [A], per caratteristiche dimensionali, rappresenta la via di esodo principale dell'edificio. Tale vano, considerate le caratteristiche geometriche dell'edificio, e soprattutto la sua altezza, dovrebbe configurarsi come un compartimento verticale atto a realizzare la compartimentazione di ogni piano ed impedire la propagazione dell'incendio all'interno della stessa attività per un tempo congruo al corretto esodo degli occupanti e delle squadre di soccorso.

Se non fosse creato alcun compartimento di piano, non sarebbe possibile omettere, nel calcolo delle massime lunghezze d'esodo, alcuna porzione, dovendo quindi considerare, oltre al percorso orizzontale, anche lo sviluppo dell'intera scala.

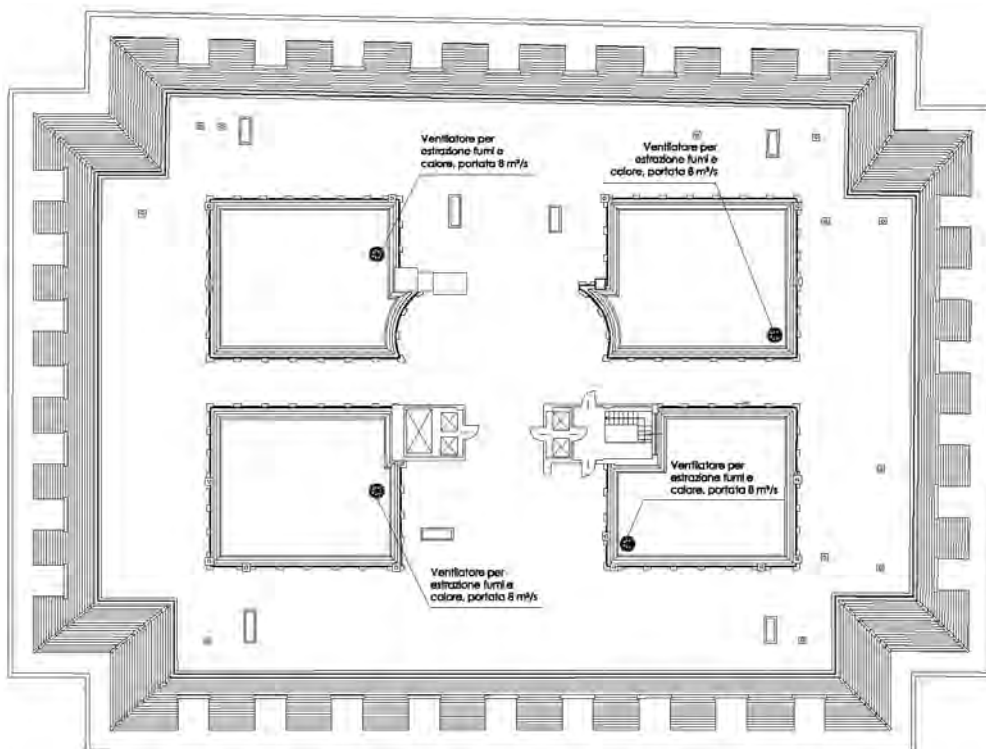
Il problema principale da affrontare nell'edificio in esame è, come detto, insito nel vincolo architettonico gravante anche nel vano scala principale, per cui non è risultato possibile inserire elementi di chiusura con caratteristiche di resistenza al fuoco (e di tenuta ai fumi).



VANO SCALA A

Sistema “intelligente” di estrazione forzata del fumo e del calore

Saranno installati, in ciascuno dei quattro cavedi verticali esistenti, degli impianti di estrazione forzata del fumo e del calore (SEFFC).



PLANIMETRIA DELLA COPERTURA CON INSTALLAZIONE DEL SEFFC

Tali impianti saranno attivati tramite un sistema “intelligente” ad estrazione selettiva, localizzata solamente in prossimità dell’unità immobiliare in cui si è verificato effettivamente l’incendio: l’impianto di rivelazione ed allarme incendio (IRAI), installato all’interno di ogni unità immobiliare (nelle parti comuni), sarà in grado di segnalare l’incendio nella specifica unità immobiliare sinistrata.

Tramite un’unità di interfaccia, i/o unit (connessa al loop dell’IRAI), l’impianto sarà in grado di comandare selettivamente l’apertura della specifica serranda tagliafumo, che si trova in prossimità dell’unità immobiliare in cui è partito l’incendio, dove quindi è necessario effettuare l’estrazione dei prodotti della combustione, al fine di mantenere la scala principale sgombra dai fumi.

I prodotti della combustione saranno quindi espulsi in atmosfera, tramite un sistema di canalizzazioni a sviluppo verticale, installato all’interno degli esistenti cavedi, fino alla copertura dell’edificio, alla cui sommità saranno presenti dei ventilatori aventi caratteristiche idonee per l’espulsione di gas caldi (ventilatori e sistema di canalizzazioni certificati per l’estrazione dei fumi fino a 400°C per 2 ore).

I sistemi di estrazione forzata, asserviti al vano scala principale, saranno in grado di funzionare senza interruzioni per un tempo di almeno 60 min, anche nel caso siano alimentati dalla sorgente di alimentazione di sicurezza, in quanto tali sistemi risultano anche atti a garantire le caratteristiche di compartimentazione sia tra le unità immobiliari e sia tra queste e il vano scala principale.

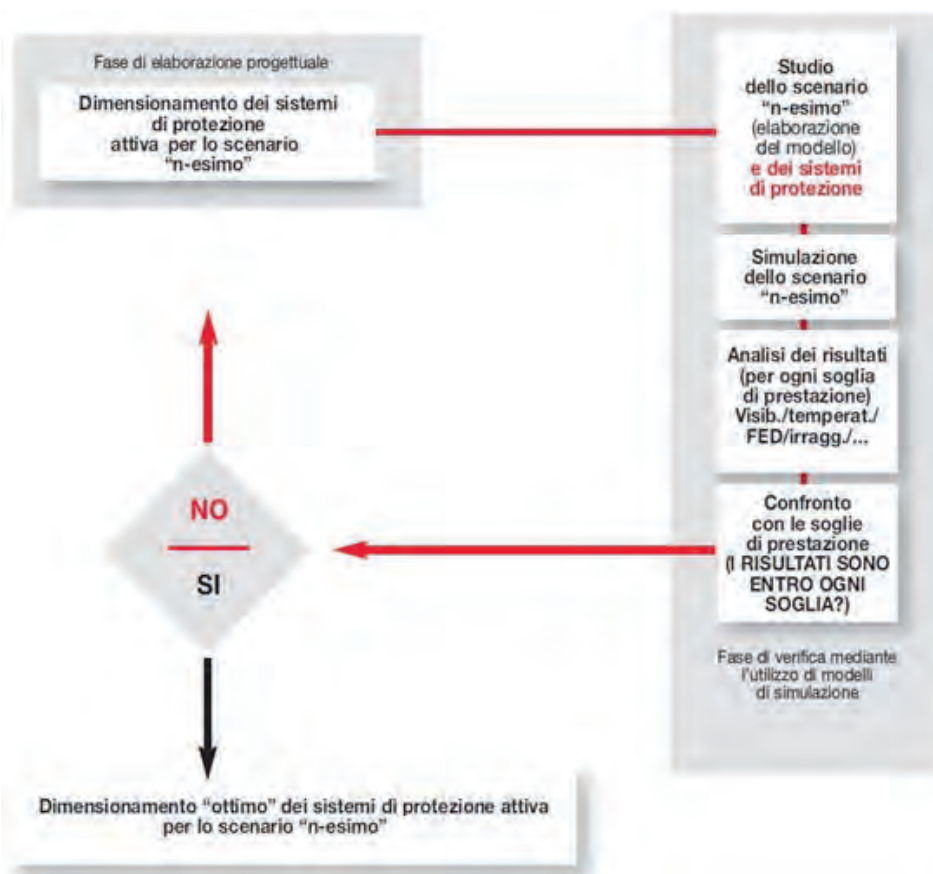
Metodologia per il dimensionamento ottimo dei sistemi di estrazione dei fumi

I sistemi di estrazione dei prodotti della combustione sono stati dimensionati sulla base dei risultati delle simulazioni fluidodinamiche, con una metodologia iterativa, atta a definire la portata ottima in relazione al mantenimento delle condizioni di tenibilità.

A seguito di una serie di iterazioni di calcolo effettuate con il supporto del modello computazionale è possibile giungere al dimensionamento della portata ottima che dovrà possedere il ventilatore per garantire le richieste condizioni di tenibilità per gli occupanti e per i soccorritori.

Questa metodologia di risoluzione rappresenta un vero e proprio sistema di controllo numerico in catena chiusa, che conduce al raggiungimento del corretto dimensionamento degli impianti di protezione attiva.

Nei sistemi di controllo a catena chiusa (o sistemi di controllo retroazionati) il valore viene determinato e corretto in base alla misura della variabile controllata e alla verifica della sua rispondenza (con la soglia di prestazione), per questo motivo i sistemi retroazionati vengono anche chiamati esplorativi.



CICLO DELLE FASI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE MISURE DI PROTEZIONE ATTIVA

Sistemi a disponibilità superiore

Al fine di garantire tali caratteristiche, detti sistemi di estrazione forzata, asserviti al vano scala principale, saranno realizzati con le caratteristiche di un sistema a *disponibilità superiore*; tale caratteristica è stata dimostrata (si omette per dovere di sintesi) effettuando:

- un'analisi di sicurezza funzionale per quantificare la PFD (Probability of Failure on Demand) del sistema SEFFC;
- una valutazione probabilistica per l'individuazione degli scenari d'incendio di progetto credibili, a seguito della quale tutti gli scenari con sistema SEFFC non funzionante sono risultati non credibili. Pertanto, al fine di realizzare il sistema SEFFC a disponibilità superiore, quindi sempre funzionante negli scenari d'incendio di progetto ragionevolmente credibili, sarà necessario garantire:
 - migliore affidabilità (*reliability*) per ridondanza delle fonti di alimentazione elettrica (attraverso la fonte principale, derivata da linea di alimentazione elettrica ordinaria dedicata, prelevata in altro compartimento al piano fondi, e, in caso di indisponibilità, sostituita automaticamente da una sorgente di alimentazione di sicurezza);
 - maggiore manutenibilità (*maintainability*) e supporto logistico della manutenzione (*maintenance support performance*), potendo contare su un servizio di manutenzione a reperibilità, con riduzione conseguente dei tempi di ripristino dei guasti, controlli e prove periodiche, monitoraggio automatico dello stato di disponibilità della sorgente di alimentazione.

Per tali sistemi, al fine di mantenere il prescritto livello di sicurezza dell'attività, sarà sempre prevista la gestione dello stato di indisponibilità, anche parziale, tramite l'attivazione di specifiche misure gestionali conseguenti (previste nel SGSA).

In generale, considerata la particolare importanza della disponibilità continua di tali sistemi, uno stato di indisponibilità, anche parziale, sarà trattato, dal SGSA, come una situazione di emergenza.

Per tali sistemi è stata effettuata una specifica analisi del rischio atta far emergere l'incidenza numerica degli "stati degradati", che ha reso possibile la progettazione di sistemi di rivelazione e controllo dedicati.

Soluzione alternativa

In riferimento alla misura antincendio *Compartimentazione*, al fine di dimostrare il raggiungimento dei prescritti obiettivi di sicurezza antincendio, sono state quindi impiegate le metodologie dell'ingegneria della sicurezza antincendio (FSE), finalizzate a dimostrare il mantenimento delle caratteristiche di compartimentazione, funzionali a garantire la sicurezza degli occupanti.

La progettazione antincendio, seguendo la metodologia dell'approccio ingegneristico, oltre a prevedere una relazione tecnica atta ad evidenziare il rispetto della strategia antincendio prevista dal Codice, prevede un allegato tecnico nel quale vengono documentati lo studio prestazionale (*performance based design*), che contiene il fondamentale Sommario Tecnico, nel quale, vengono definite le condizioni di esercizio per l'attività, che dovranno essere attestate con le modalità previste dal SGSA e "attivate" all'atto della presentazione della SCIA e che accompagneranno l'attività per tutta la sua vita.

L'allegato tecnico, nel quale viene documentato lo studio prestazionale, contiene i capitoli previsti dalla Sezione M e precisamente prevede una prima fase di *analisi preliminare* nella quale:

- si definisce il progetto antincendio, definendo le caratteristiche costruttive dell'attività;
- si individuano i pericoli di incendio;
- si descrivono le condizioni ambientali per la valutazione degli effetti;
- si analizzano le caratteristiche degli occupanti;
- si identificano gli obiettivi di sicurezza antincendio;
- si individuano le soglie di tenibilità;
- si identificano gli scenari di incendio di progetto.

ed una seconda fase di *analisi quantitativa* nella quale:

- si definisce la soluzione progettuale e la strategia scelta per raggiungere gli obiettivi prefissati;
- si individuano le misure di protezione passiva ed attiva e loro caratteristiche;
- si scelgono i modelli di calcolo, modellando gli scenari di incendio;
- si confrontano i risultati con le soglie di tenibilità prefissate.

Analisi preliminare - Fase I

L'analisi preliminare definisce le condizioni al contorno, il progetto ed i pericoli d'incendio, inoltre identifica, come detto, gli obiettivi di sicurezza antincendio.

Sono stati identificati gli scenari che potessero essere i più sfavorevoli per gli obiettivi di sicurezza antincendio identificati; in tali condizioni, più rappresentative del rischio, determinate da quegli scenari, anche definiti nel Sommario Tecnico, è stato impiegato lo studio ingegneristico/prestazionale per l'analisi dei seguenti aspetti:

- analisi della diffusione dei fumi;
- analisi della diffusione del calore e degli effluenti tossici;
- analisi nel campo delle temperature;
- analisi della propagazione dell'incendio;
- verifica dei percorsi di esodo con valutazione dei tempi di esodo.

Come detto, sono stati previsti, per perseguire gli obiettivi di sicurezza antincendio identificati, sistemi automatici di estrazione forzata del fumo e del calore (SEFFC).

Al fine di garantirne il funzionamento tali sistemi disporranno delle caratteristiche di sistema a disponibilità superiore (nella trattazione seguente il sistema potrà essere identificato come impianto estrazione fumi o prodotti della combustione).

Gli obiettivi di sicurezza antincendio, identificati per l'edificio in esame, sono i seguenti:

1. tutti gli occupanti, compresi gli occupanti diversamente abili, devono essere in grado di raggiungere un luogo sicuro o di essere altrimenti soccorsi;
2. la propagazione dell'incendio alle unità immobiliari limitrofe deve essere limitata;
3. le squadre di soccorso devono poter operare in condizioni di sicurezza.

Tempi della simulazione

Lo scopo della presente analisi prestazionale è quello di verificare le condizioni di esodo in sicurezza degli occupanti e l'intervento dei soccorritori.

La simulazione dell'incendio è stata condotta dapprima fino a oltre 30 min, (2000 s) dall'istante in cui parte l'incendio, considerando questo un tempo sufficiente per le finalità per cui si prefigge lo studio.

Il tempo delle simulazioni termofluidodinamiche è stato poi testato fino a 60 min, in quanto il sistema di estrazione fumi del vano scala è anche atto a garantire la mutua compartimentazione tra le unità immobiliari e tra queste e i vani scala stessi, verificandone così l'efficacia.

Inoltre è stato anche verificato che le operazioni dei soccorritori possano svolgersi in sicurezza, secondo quanto previsto dalla tab. M.3-2.

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 min
		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*.

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

Soglie di prestazione per gli occupanti

In relazione agli obiettivi di sicurezza individuati, sono state prese a riferimento le seguenti soglie, alcune più restrittive, ritenute significative per garantire il soddisfacimento degli obiettivi prefissati:

Livelli di visibilità

Per gli occupanti viene ritenuta ammissibile una visibilità di **10 m**, per il tempo necessario all'esodo (pannelli non retroilluminati).

Tale valore risulta concorde con quanto previsto in tab. M.3-2 e dalla norma ISO 13571:2012, punto 9, nota 2.

Temperatura massima a cui si può essere esposti

Come temperatura massima per l'esodo degli occupanti, conservativamente, viene ritenuta ammissibile una esposizione ad una temperatura non superiore a **50°C** per tutto il tempo di esodo.

Tale valore risulta *inferiore* a quanto previsto in tab. M.3-2 e dalla norma ISO 13571:2012, punto 8.1, che prevedono un valore di 60°C.

Livelli di concentrazione delle specie tossiche

Generalmente con visibilità dell'ordine di 10 m o superiore viene ritenuto accettabile trascurare la valutazione delle specie tossiche presenti.

Comunque, dovendo valutare l'esodo delle persone, nella valutazione sulle specie tossiche, viene ritenuta significativa l'analisi della FED - Fractional Effective Dose, somma composta degli effetti degli effluenti asfissianti e tossici; viene ritenuto ammissibile un valore della FED pari a **0,1**.

Tale valore risulta concorde con quanto previsto in tab. M.3-2 e dalla norma ISO 13571:2012, punto 5.2 e 6.

Livelli di irraggiamento termico a cui le persone possono essere esposte

Per il livello di irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura), di esposizione delle persone occupanti, conservativamente, viene ritenuto ammissibile un valore **1,5 kW/m²**. Tale valore risulta *inferiore* a quanto previsto in tab. M.3-2 e dalla norma ISO 13571:2012, punto 8.2, per esposizioni minori di 30 min, senza modifica significativa dei tempi di esodo (che prevedono un valore di 2,5 kW/m²).

I valori raggiunti permetteranno di valutare ASET (*Available Safe Escape Time* - tempo disponibile per un sicuro esodo) che occorre confrontare con RSET (*Required Safe Escape Time* - tempo necessario per l'esodo).

In base alla particolare destinazione d'uso dei locali in esame, si individuano le seguenti fonti di pericoli di incendio, come:

- presenza di computer all'interno delle unità immobiliari adibite ad uffici;
- presenza di impianti elettrici asserviti;
- presenza di materiale di natura cellulosica (documenti cartacei);
- presenza di materiali combustibili vari, non classificati ai fini della reazione al fuoco (arredi e rivestimenti);
- pericoli di natura gestionale/manutentiva.

Gli occupanti sono normalmente svegli (*awake*) ed hanno normalmente familiarità con i luoghi (*familiar*).

Si ammette la presenza di occupanti occasionali (*unfamiliar*), i quali si prevede sempre che possano essere assistiti, durante l'esodo, da persone con familiarità, informate sulle procedure di emergenza.

L'età degli occupanti può essere centrata su una fascia di utenti abili al lavoro, con possibili persone anziane o bambini, ricercabili tra i frequentatori occasionali.

Possono essere presenti nell'edificio anche persone diversamente abili.

Le soglie di prestazione per la sicurezza degli occupanti sono state verificate al tempo RSET + 10%, ai fini della verifica: $ASET > RSET + t_{\text{marg}}$.

Il valore di ASET e di RSET è stato determinato con i metodi dell'ingegneria antincendio.

Il margine è risultato sempre ben superiore al 10% minimo previsto.

Soglie di prestazione per i soccorritori

Ai fini della tab. M.3-2, 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, come indicato dalle tabb. M.3-2 e M.3-3.

Inoltre, secondo l'annuario statistico del C.N.VV.F. del 2019 (dati del 2018), il tempo medio di arrivo dei VV.F. in provincia di Cuneo (ubicazione dell'edificio oggetto del caso studio) è pari a 14 min ma le verifiche sono state condotte a 30 min, quindi ampiamente in favore di sicurezza ($30 > 14 + 5 = 19$ min), vedi par. M.2.5 e tab. M.2-1.

Regione	Provincia	Tempi Medi in minuti di Arrivo sul luogo dell'intervento (uscita sede - arrivo sul luogo)				Durate medie in minuti degli interventi di soccorso (inizio-chiusura operazioni)			
		2018	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)	2018	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)
PIEMONTE	ALESSANDRIA	13,3	10,9	22,8%	0,4%	34,8	33,7	3,2%	-3,4%
	ASTI	13,6	13,4	1,9%	-1,5%	34,3	36,7	-6,6%	-15,7%
	BIELLA	16,3	13,2	23,7%	9,4%	58,6	51,2	14,4%	4,8%
	CUNEO	14,0	13,2	5,7%	-18,2%	48,5	47,6	1,8%	-17,6%
	NOVARA	16,7	15,0	10,7%	3,5%	42,0	42,0	-0,2%	-0,3%
	TORINO	17,9	15,5	15,9%	-7,0%	44,4	43,0	3,3%	-19,4%
	VERBANO-C. O.	16,1	13,5	19,1%	3,7%	43,7	52,8	-17,2%	-6,0%
	VERCELLI	13,9	13,1	6,2%	0,8%	43,7	46,7	-6,5%	7,6%

TEMPO MEDIO DI ARRIVO E DURATA INTERVENTO OPERATIVO DEI VV.F. (MIN)

Identificazione degli scenari d'incendio di progetto

Lo studio ha previsto, nell'ottica del par. M.2.4, l'analisi di molteplici e differenti scenari all'interno dell'edificio in esame.

Solamente un campione di quattro scenari, ritenuti i più gravosi dal punto di vista degli effetti per gli obiettivi prefissati, sarà documentato nella presente trattazione.

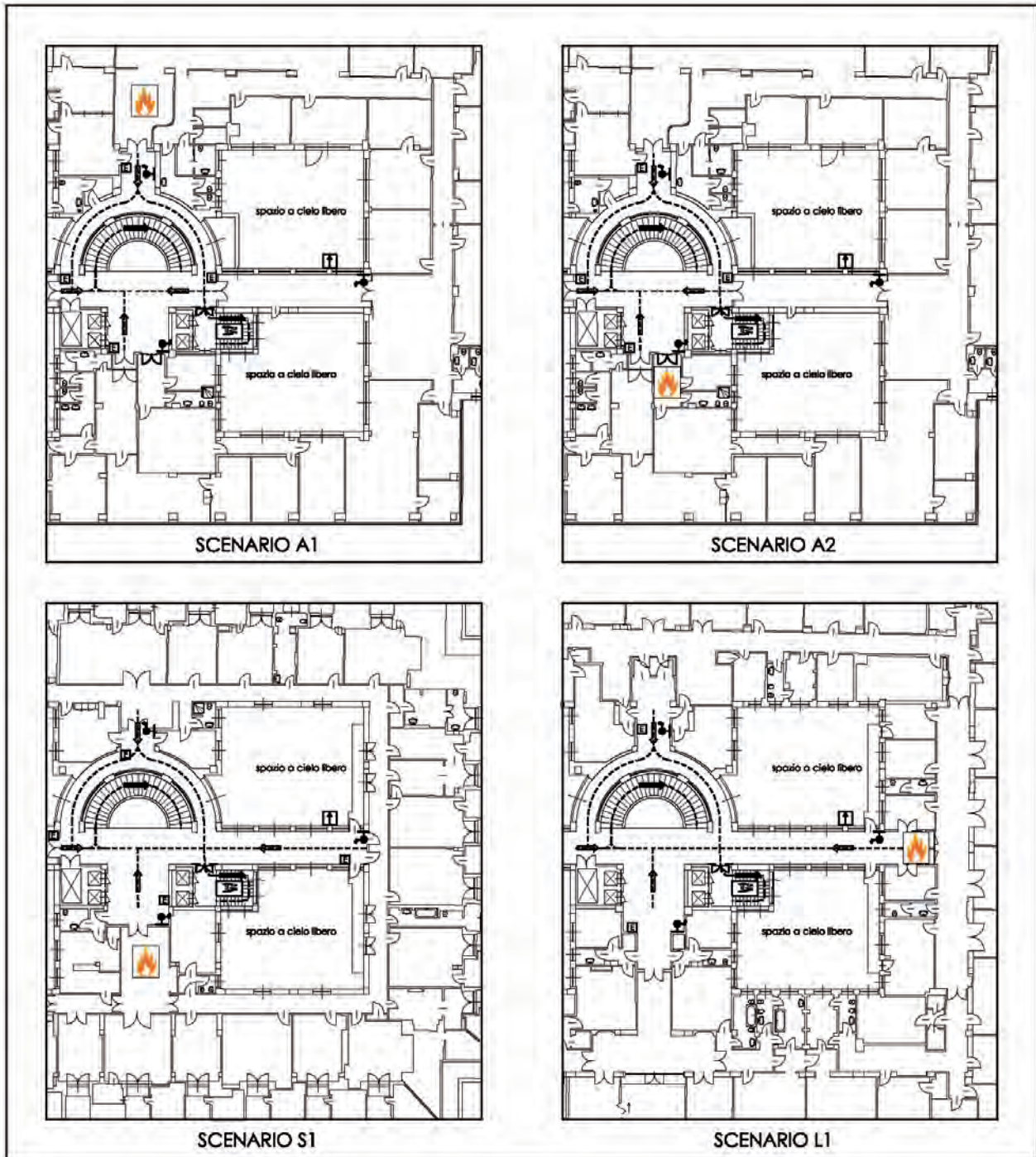
Gli scenari individuati, infatti, sono risultati i più gravosi per lo sviluppo e la propagazione, la salvaguardia degli occupanti e la sicurezza delle squadre di soccorso.

L'analisi di scenari diversificati è servita al fine di ottimizzare ed affinare le specifiche dei sistemi di protezione attiva adottati, caratterizzati da impianti di estrazione meccanica dei fumi, progettati sulla base delle risultanze dei modelli fluidodinamici computazionali dell'incendio studiati.

Si riporta nel seguito una tabella che riassume gli scenari ritenuti più significativi:

Denominazione Scenario	Piano dell'edificio	Scenario d'incendio	Disposizione geometrica
Scenario A1	Piano ammezzato	Insieme di <i>office</i> di tipo <i>tradizionale</i> ²²	Unità immobiliare ubicata nella parte Nord dell'edificio al piano ammezzato
Scenario A2	Piano ammezzato		Unità immobiliare ubicata nella parte Sud dell'edificio al piano ammezzato
Scenario S1	Piano sesto		Unità immobiliare ubicata nella parte Sud dell'edificio al piano sesto
Scenario L1	Piano terzo		Unità immobiliare ubicata nella parte laterale dell'edificio al piano terzo

²² Si veda di seguito la configurazione di un'isola composta da 4 scrivanie



LOCALIZZAZIONE DEGLI SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO

La configurazione e posizione del materiale combustibile ha seguito i criteri qui descritti:

- ogni configurazione prevede come evento iniziatore l'incendio di un office di tipo tradizionale ("four clerical desk units"²³), formato da tavoli in legno e materiale vario che prende parte alla combustione;
- al fine di caratterizzare un'unità ufficio del tipo degli uffici presenti nell'edificio in esame, si è costruito un ufficio costituito da un insieme di 9 office di tipo tradizionale inseriti in un open-space, realizzando così una modellizzazione a vantaggio di sicurezza, essendo tutti gli uffici esistenti normalmente divisi da pareti (propagazione più limitata);
- a vantaggio di sicurezza, l'incendio avviene posizionando l'ufficio preso a campione, di tipo open-space, con la porta in diretta comunicazione con il vano scala principale, sul quale si attestano le altre unità immobiliari, adibite ad uffici;
- la simulazione viene condotta tenendo permanentemente aperta la porta dell'ufficio iniziatore che mette in comunicazione l'unità stessa con la scala principale (questo per tenere conto che le porte esistenti non possiedono alcun requisito di resistenza al fuoco).

Come si può notare, effettuando una estrazione forzata dei prodotti della combustione, l'evento iniziatore è stato posizionato al lato opposto della porta caposcala, in modo che, a vantaggio di sicurezza, possa innescare anche le altre "isole" (ognuna formata da "four clerical desk units").

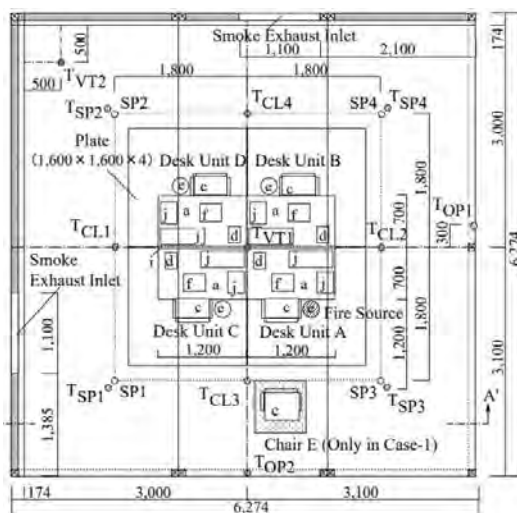
Configurazione, posizione del combustibile, tipo e proprietà

Considerata una certa variabilità delle proprietà chimico-fisiche delle classi di materiali presenti all'interno degli uffici presenti nell'edificio, principalmente adibite ad uso ufficio, si è fatto riferimento a dati validati derivanti da esperimenti in scala reale di scenari di incendio di uffici.

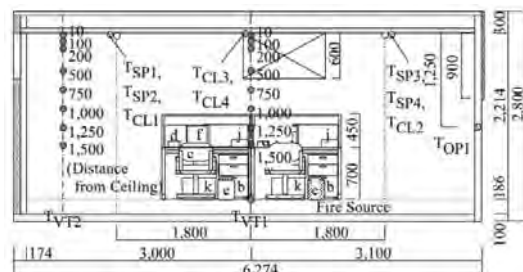
Esperimenti in scala reale di incendi di uffici sono stati largamente effettuati, con diversi scenari di incendio, dal National Institute of Standards and Technology (NIST) e molti di questi sono riportati nella letteratura tecnico-scientifica specialistica.

Un recente esperimento, che viene spesso utilizzato, è quello condotto da Shuji Kakegawa and Yoshiro Yashiro, del Institute of Technology di Tokyo, e realizzato proprio per studiare casi come quello in esame: in tale esempio sono stati presi a campione 11 scenari di incendio in scala reale di uffici con diverse configurazioni di materiale combustibile e il peggiore di questi presenta una curva di rilascio termico HRR(t) con un picco di 3 MW raggiunto dopo circa 500 s (four clerical desk units).

L'esperimento più gravoso, condotto in scala reale, ha previsto l'incendio di una stanza ufficio, composta da 4 scrivanie senza divisori e senza alcun sistema di soppressione.



(b) Clerical Desk Units

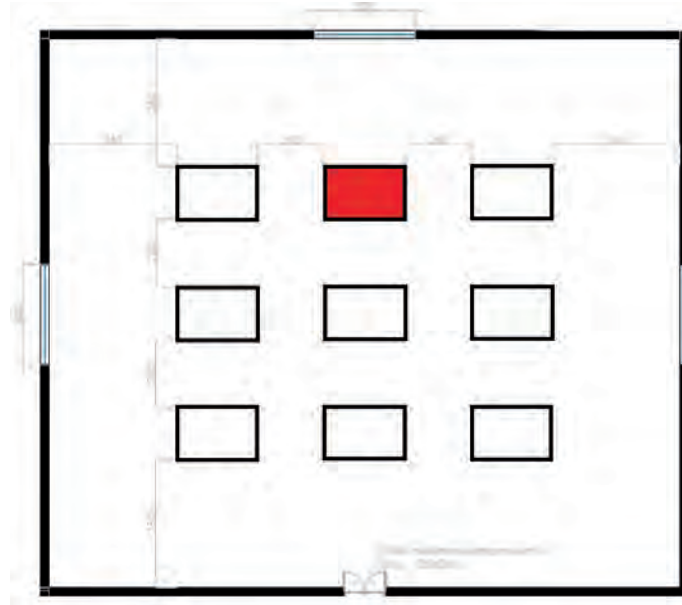


(b) Clerical Desk Units

DESIGN FIRES FOR MEANS OF EGRESS IN OFFICE BUILDINGS - CLERICAL DESK UNITS

²³ Design Fires for Means of Egress in Office Buildings based on Full-scale Fire Experiments - Shuji KAKEGAWA and Yoshiro YASHIRO - Institute of Technology, Shimizu Corporation, Tokyo - Japan

L'evento iniziatore della modellazione eseguita nel caso in esame è costituito da un incendio caratterizzato da un'isola ufficio (office) di questo tipo, che sprigiona la medesima potenza termica $HRR(t)$ dell'esperimento in scala reale, a cui sono state accoppiate ulteriori 8 isole ufficio (office) aventi le medesime caratteristiche termofisiche (totale: 9 x four clerical desk units).



DISPOSIZIONE DELLE "ISOLE" UFFICIO E DELL'EVENTO INIZIATORE

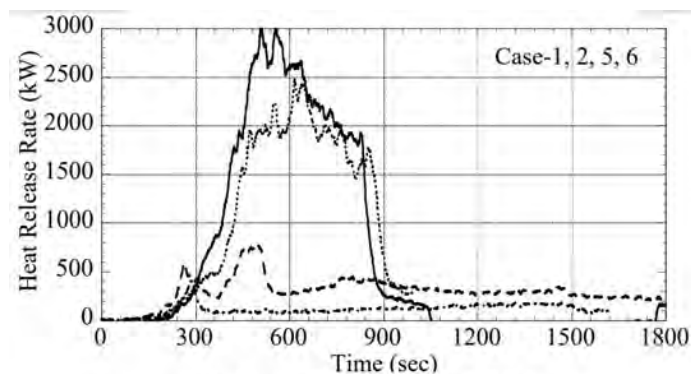
Costituendo parametri fondamentali la produzione di fumi opachi ed effluenti incapacitanti, dovendo studiare principalmente fenomeni legati alla sicurezza degli occupanti, si è scelto di mediare tra i valori di produzione delle sostanze realmente presenti, in modo da determinare un valore pesato di produzione di fumi opachi (*soot*), comparabile con un materiale sintetico solido ed avente un elevato potere calorifico, superiore al valore medio dei materiali realmente presenti nell'esperimento in scala reale (comparabile con potere calorifico del *Polyurethane flexible foams GM21*).

Da considerare che il modello utilizzato impiega un solo tipo di reazione chimica e quella scelta costituisce la reazione considerata di riferimento.

Pertanto, l'incendio preso a riferimento, sarà modellato con uno speciale bruciatore che sprigiona direttamente combustibile (in fase gassosa), le cui proprietà chimico-fisiche saranno praticamente quelle del poliuretano, risultanti da una media pesata di produzione di fumi opachi (*soot*) dei materiali presenti, da una resa di CO caratteristica del poliuretano e di un potere calorifico superiore al valore medio dei materiali realmente presenti.

Scelta delle curve della potenza termica rilasciata $HRR(t)$ e picco della potenza HRR_{max} di progetto

Come detto, è stato preso a riferimento l'esperimento in scala reale citato, condotto da Kakegawa-Yashiro, realizzato proprio per studiare casi come quello in esame, e scegliendo il peggiore degli scenari realizzati, che presenta una curva di rilascio termico $HRR(t)$ con un picco di 3 MW raggiunto dopo circa 500 s.



(c) Four Clerical Desk Units

DESIGN FIRES FOR MEANS OF EGRESS IN OFFICE BUILDINGS - CURVA DI RILASCIO TERMICO $HRR(t)$ FOUR CLERICAL DESK UNITS

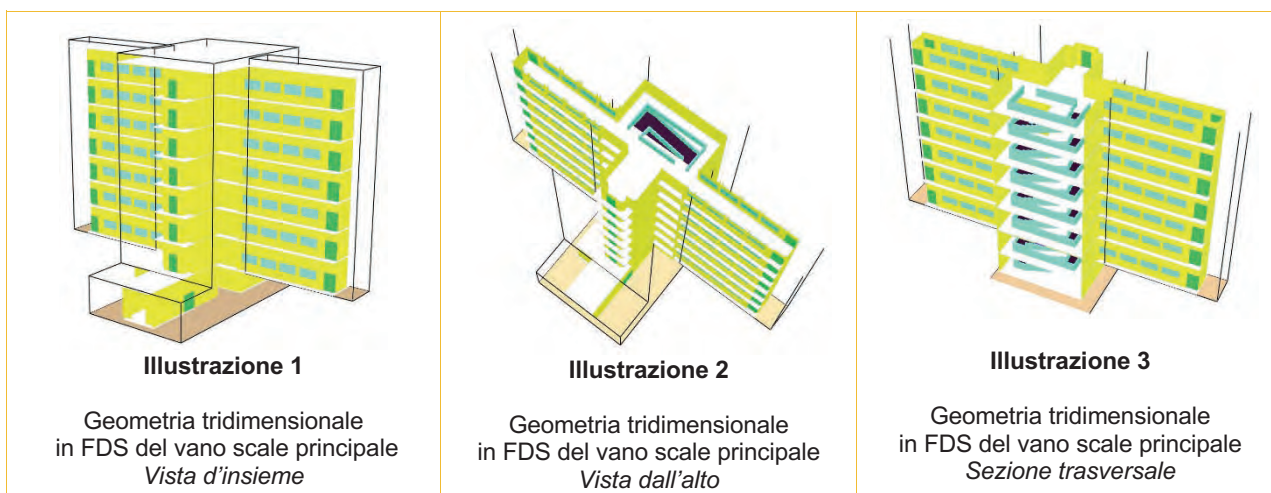
La curva naturale presa a campione, come evento iniziatore per la simulazione, è rappresentata dal “case 1” (no desk partition, no suppression):

Incendio iniziatore	HRR di picco	Tempo per raggiungere il picco massimo	Fonte
(office) isola composta da 4 scrivanie (four clerical desk units)	3035 kW	508 s	S. Kakegawa and Y. Yashiro Institute of Technology - Tokyo - Japan, “Design Fires for Means of Egress in Office Buildings” - Fig. 3, Case 1
Caratterizzazione dell’ufficio tipo	Disposizione	Rappresentazione	
9 x (office) 9 isole composta da 4 scrivanie 9 x (four clerical desk units)	Pattern regolare in open-space	Si veda la figura precedente: Disposizione delle “isole” ufficio e dell’isola ufficio iniziatore (office)	

È stata valutata, come potenza termica di picco HRR_{max} di progetto, un valore pari a 3035 kW raggiunti in un tempo di 508 s, per l’incendio preso a riferimento.

La curva naturale presa a campione, come evento (case 1), è stata interpolata per punti ed inserita nel modello computazionale (codice di calcolo non allegato per brevità di trattazione).

Caratteristiche dell’edificio:



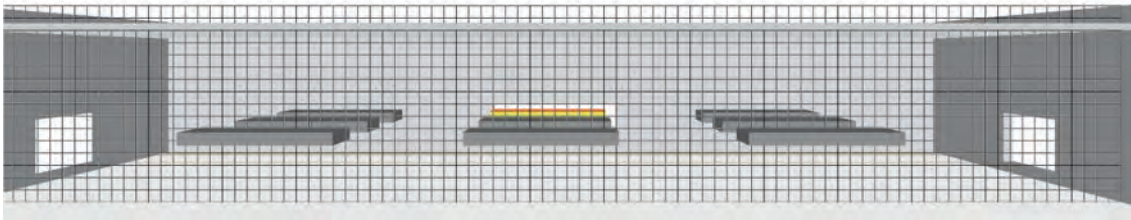
A seguito della parte descritta relativa alla Fase I, è stato elaborato il Sommario Tecnico, contenente l’identificazione degli *scenari d’incendio di progetto*, la definizione degli *obiettivi di sicurezza* da perseguire e delle *soglie di prestazione* a cui riferirsi e la definizione delle *condizioni di esercizio*.

Analisi quantitativa - Fase II

Al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati, la strategia antincendio prevede l'impiego di sistemi protezione attiva e misure, quali:

- installazione di un IRAI che possa rivelare la presenza di un incendio in ognuna delle unità immobiliari presenti nell'edificio (o parti di queste);
- impianto di rilevazione dello stato delle finestre e porte del vano scale, che affacciano sui cavedi interni, munito di monitoraggio continuo e gestione degli stati di allarme;
- installazione di un impianto di estrazione dei prodotti della combustione di tipo "intelligente";
- mantenimento del SGSA.

Come strumento computazionale, per effettuare le verifiche quantitative, è stato impiegato FDS - Fire Dynamics Simulator e il relativo post-processor grafico, Smokeview. È stata opportunamente dimensionata la griglia di calcolo secondo una specifica iterazione (Nureg 1924), effettuando successivamente una analisi di sensibilità dei risultati.



VISUALIZZAZIONE PARTICOLARE DI UNA GRIGLIA DI CALCOLO CON $\delta x = 0,2$ M UTILIZZATO PER EFFETTUARE L'ANALISI DI SENSIBILITÀ

Confronto fra risultati e soglie di prestazione

Nel caso in esame, come per la maggior parte dei casi reali, non è applicabile quello che viene definito criterio ideale, nel quale tutti gli occupanti hanno la possibilità di raggiungere un luogo sicuro, e di permanervi, senza mai incontrare gli effetti dell'incendio.

Nel caso di progettazione prestazionale, quando non è applicabile il citato criterio ideale, viene ritenuto efficace dalle norme nazionali e internazionali, il noto confronto²⁴ tra due intervalli di tempo così definiti:

- Nel rapporto tecnico ISO/TR 16738:2009, si definisce ASET (*Available Safe Escape Time*) il tempo in cui permangono condizioni ambientali *non incapacitanti* per gli occupanti nell'attività.
- Nel rapporto tecnico ISO/TR 16738:2009, il tempo richiesto per l'esodo degli occupanti fino a luogo sicuro è denominato RSET (*Required Safe Escape Time*).

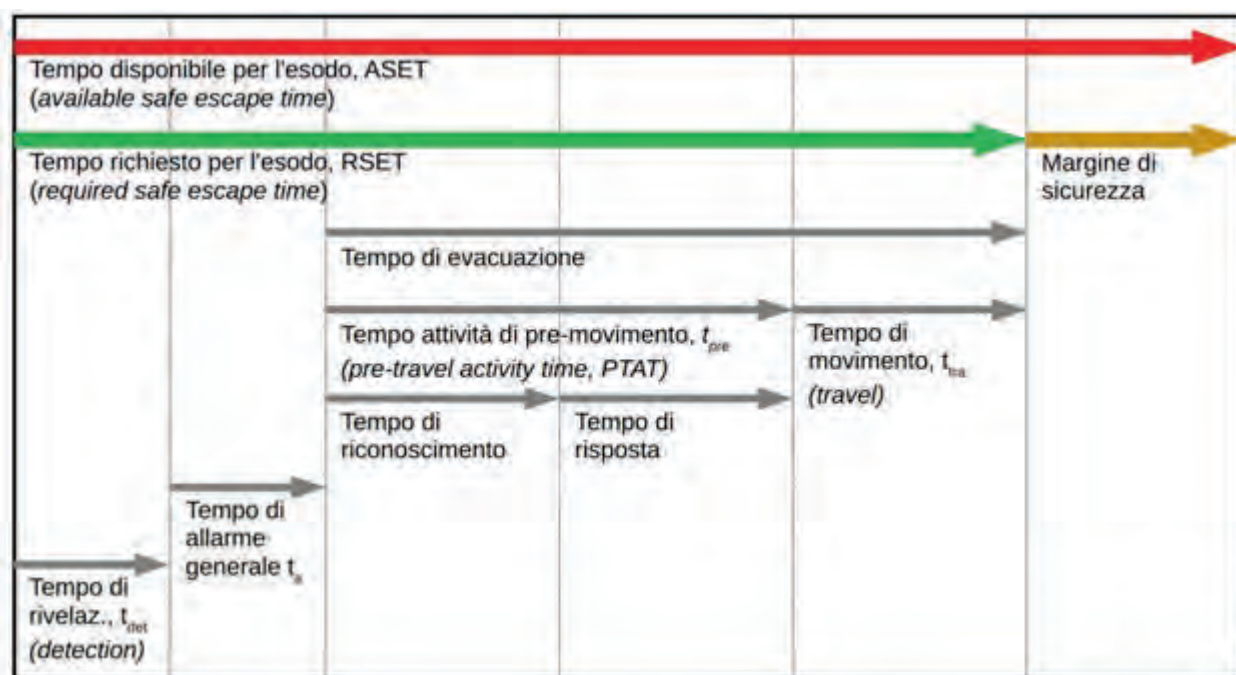


ILLUSTRAZIONE M.3-1: CONFRONTO TRA ASET ED RSET

Il sistema di esodo si considera efficace se $ASET > RSET$, ovvero 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.

Calcolo di ASET

Il tempo di ASET viene definito come il più piccolo dei tempi per cui non sussistono nell'edificio condizioni incapacitanti, calcolati con i modelli presi in esame.

Nel caso in esame, al fine di garantire il soddisfacimento degli obiettivi prefissati, sono state attenzionate le soglie di prestazione di cui alla tab. M.3-2, riferite ai modelli di cui al par. M.3.3.1:

- soglie di visibilità per raggiungere le uscite;
- soglia delle temperature;
- soglie di concentrazione delle specie tossiche;
- soglie di irraggiamento termico.

Il calcolo dell'ASET richiede la valutazione della variazione nel tempo delle grandezze citate, che è stata elaborata con il supporto del modello computazionale impiegato.

La norma ISO 13571:2012 è attualmente il riferimento più autorevole per il calcolo dell'ASET.

Si porranno quindi a confronto, per ciascuno scenario, i tempi calcolati con l'ausilio del modello di calcolo impiegato, ritenendo valido, come valore di ASET, il tempo più piccolo per cui, lungo il sistema di vie di esodo, sussistono ancora condizioni non incapacitanti per gli occupanti.

²⁴ Si rimanda, per ulteriori approfondimenti, ai precedenti Quaderni della Collana di cui fa parte la presente pubblicazione

Definizione del RSET

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

Il documento di riferimento per il calcolo di RSET è la 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} :

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

La differenza tra il ASET ed il RSET rappresenta il margine di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita:

$$t_{marg} = ASET - RSET$$

Al fine di considerare l'incertezza nel calcolo del RSET, in relazione alle ipotesi assunte, a favore di sicurezza, e al fine di massimizzare il margine di sicurezza, si è imposto un $t_{marg} \geq 20\% RSET$ ²⁵.

L'associazione degli intervalli temporali nel caso in esame è la seguente:

Calcolo RSET		
Componenti	Valutazione	Tempo
$t_{det} + t_a$ tempo di rivelazione ed allarme dell'incendio	Allarme Rivelata dall'impianto di rivelazione ed allarme incendio con rivelatori di fumo puntiformi nel corridoio di accesso, misurato col modello computazionale. Il tempo sarebbe sicuramente più breve nel caso in cui un occupante fosse in grado di visualizzare una situazione anomala o del fumo ed in grado di agire su un pulsante di allarme manuale di incendio	Si è stimato un tempo pari a 2 min e 30 s
t_{pre} tempo di pre-movimento	Si considera che le persone siano caratterizzate mediamente da adulti, svegli, ma alcuni degli occupanti possano non avere familiarità con l'edificio (tuttavia presumibilmente guidati dagli occupanti con familiarità)	Si è stimato un tempo pari a 5 min
t_{tra} tempo per raggiungere un luogo sicuro all'esterno dell'edificio	Considerato l'affollamento previsto e considerato il percorso di esodo più lungo riscontrabile all'interno delle unità immobiliari, è stato stimato, a vantaggio di sicurezza, un tempo massimo per raggiungere il luogo sicuro (vano scala con sistema di estrazione) pari a 90 sec, considerando una velocità di esodo orizzontale molto bassa (caratteristica invece, da letteratura scientifica*, velocità per movimento lungo le scale: 0,42 m/s).	Si è stimato un tempo pari a 10 min**
Totale RSET		17 min e 30 s (1050 sec)

(*) Proulx Guylène - *Occupant Perception and Escape through Smoke*

(**) tempo compatibile con le simulazioni di esodo

Risultati della modellazione

Di seguito si illustrano i risultati quantitativi ed i valori quantitativi puntuali, misurati o calcolati dal rispettivo modello, in relazione all'andamento visivo, alla temperatura, alla concentrazione delle specie tossiche e all'irraggiamento, nell'ambito della simulazione effettuata.

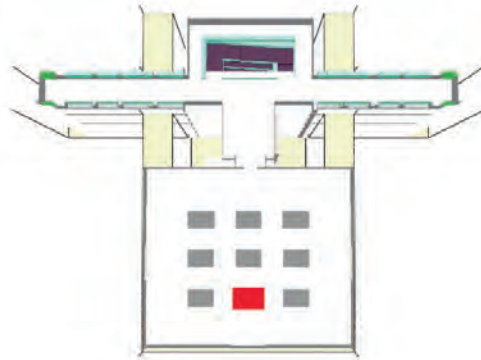
Per gli scopi della presente trattazione si riportano solamente i risultati di uno dei quattro scenari di incendio considerati (S1).

²⁵ t_{marg} rimane comunque superiore al 10% di RSET, avendo fatto riferimento, per le valutazioni effettuate, a dati di letteratura e di normazione tecnica consolidata (par. M.3.2.2).

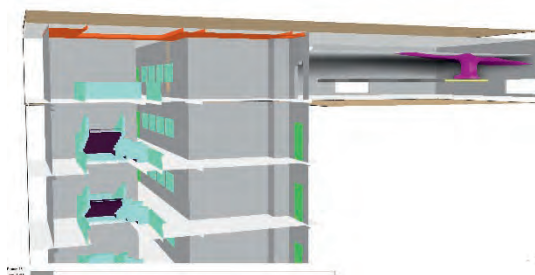
Andamento della visibilità

Scenario S1

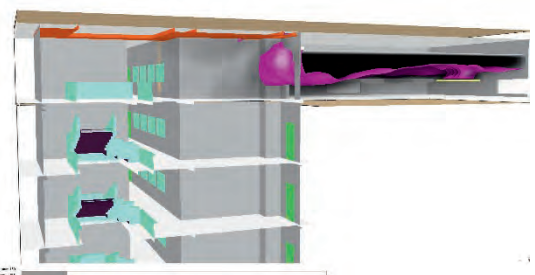
Unità immobiliare ubicata nella parte Sud dell'edificio al piano sesto



Andamento della visibilità nel tempo di esodo



t* 150 s: Isosuperficie della visibilità (visibilità 10 m)



t* 300 s: Isosuperficie della visibilità (visibilità 10 m)



t* 508 s: Isosuperficie della visibilità (visibilità 10 m)

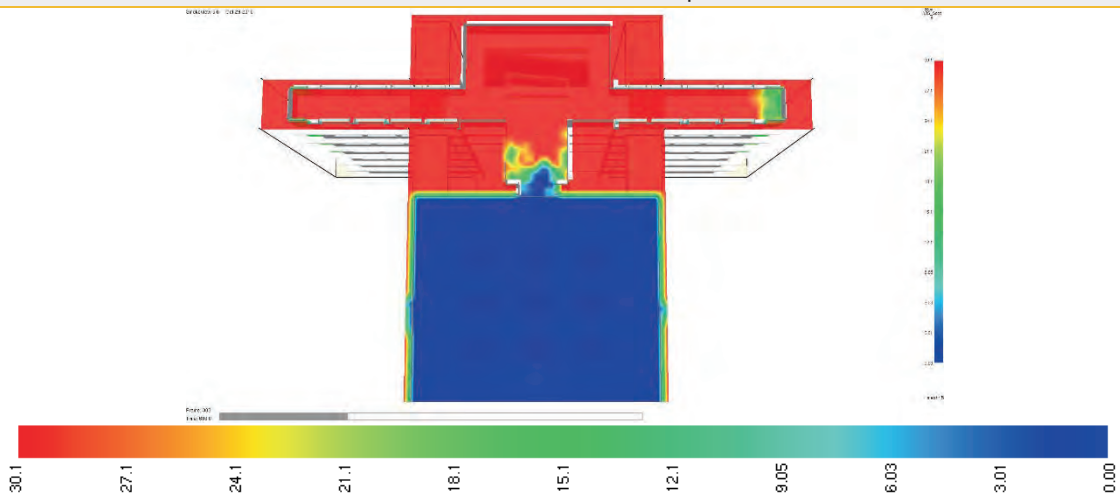


t* 1000 s: Isosuperficie della visibilità (visibilità 10 m)

(*) in sec misurati dall'istante dell'innesco

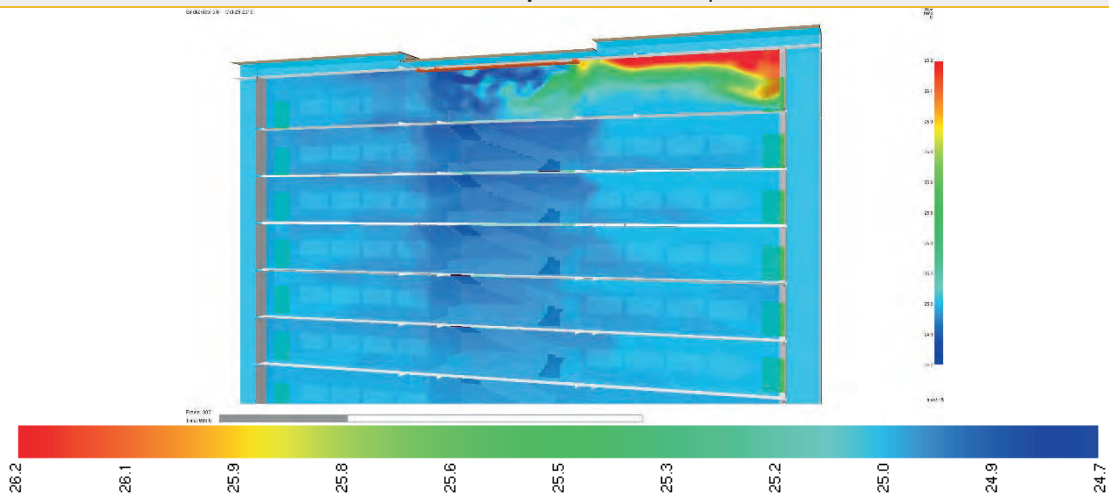
Andamento della temperatura

Andamento della **visibilità** nel tempo di esodo

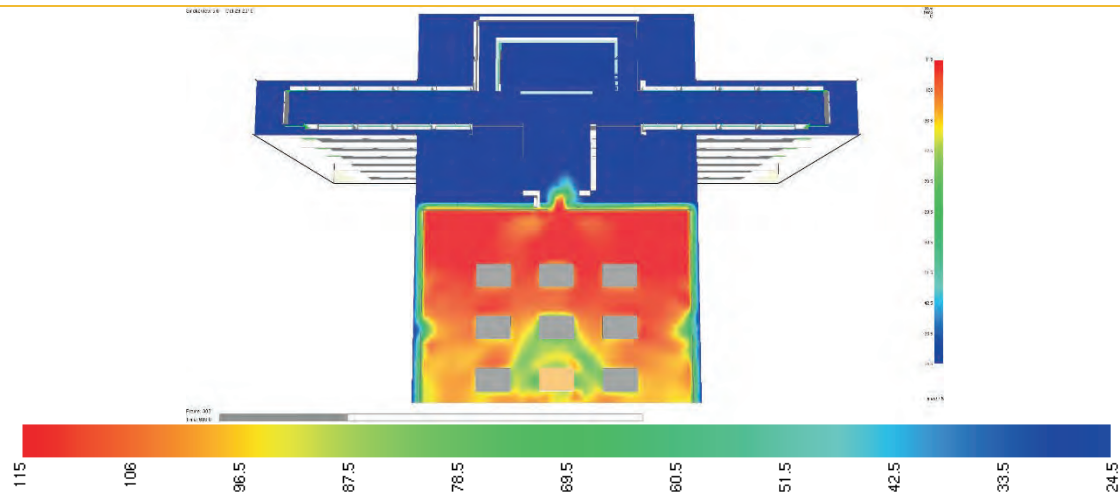


Andamento della **visibilità**, sezione sull'asse Z = 2 m**, nell'istante in cui si manifesta il massimo effetto sul sistema di esodo (678 s)

Andamento della **temperatura** nel tempo di esodo



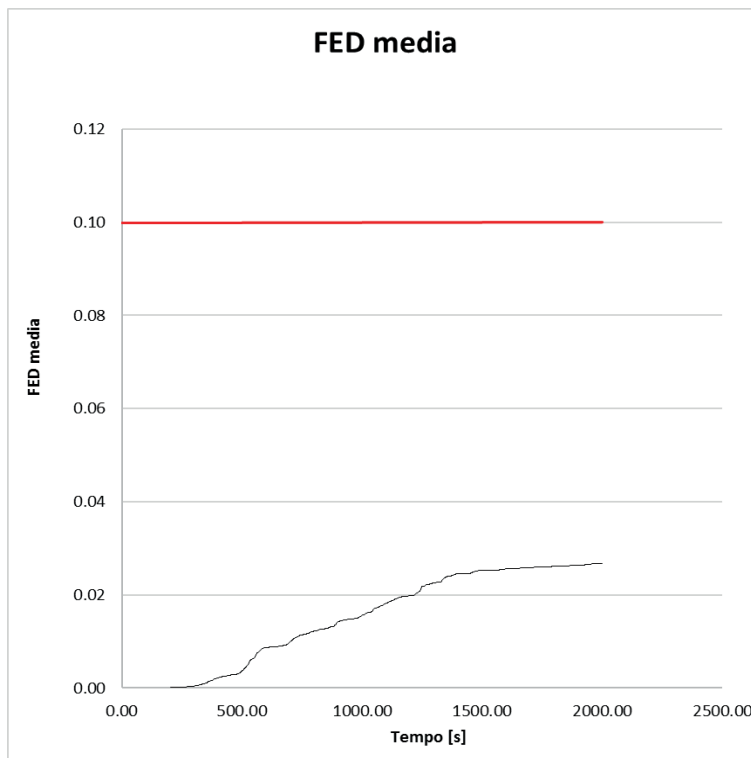
Andamento della **temperatura**, sezione sull'asse Y, nell'istante in cui si manifesta il massimo effetto sul sistema di esodo (678 s)



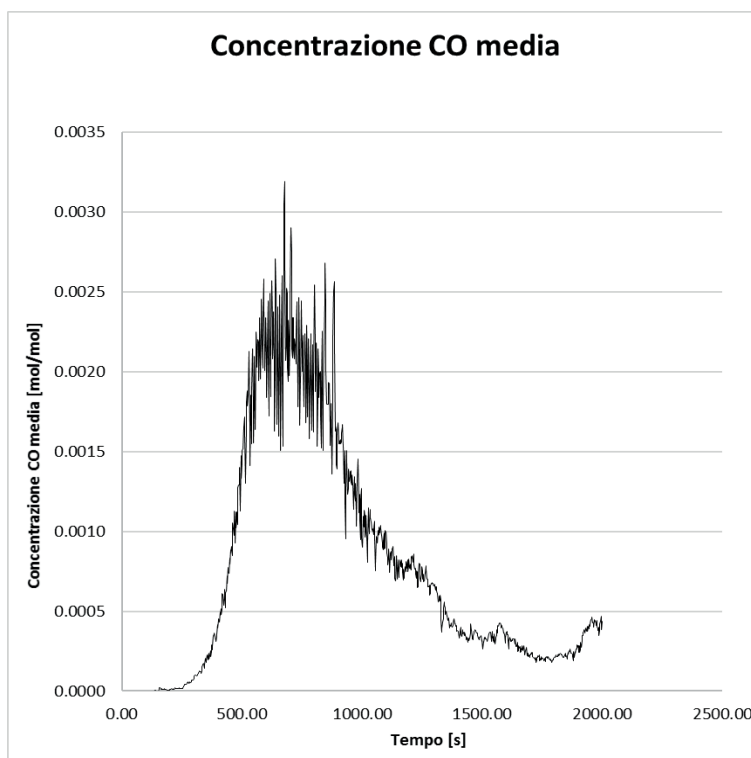
Andamento della **temperatura**, sez. sull'asse Z = 2 m**, nell'istante in cui si manifesta il massimo effetto sul sistema di esodo (678 s)

(**) misurati dal pavimento del piano interessato

Livelli di concentrazione delle specie tossiche



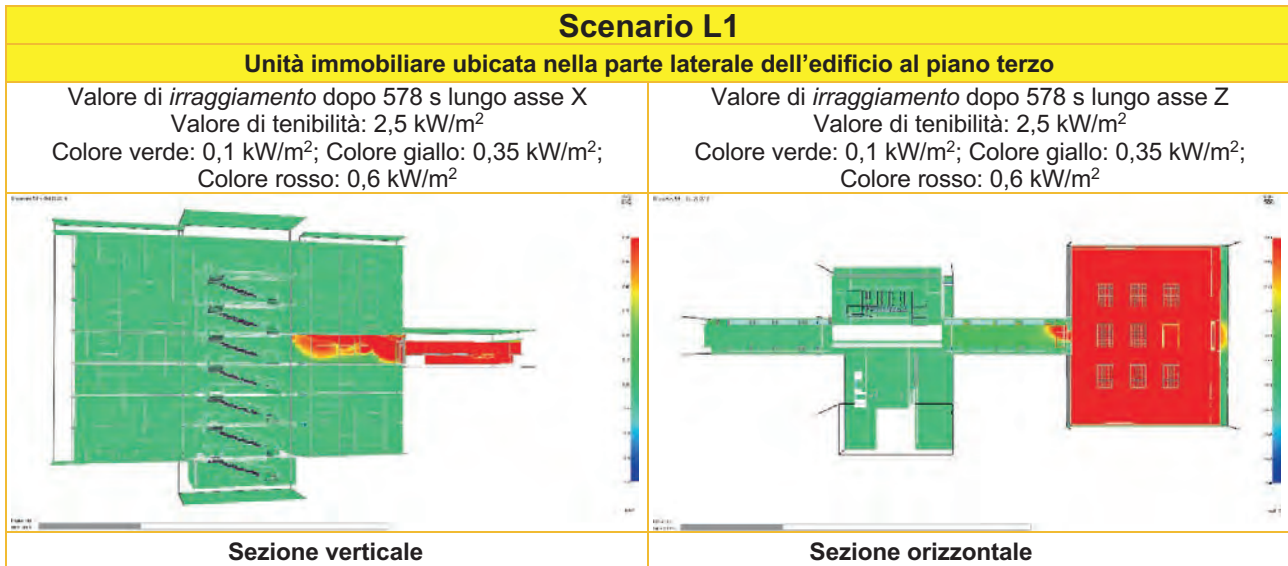
**MISURA DELLA FRACTIONAL EFFECTIVE DOSE (FED) LUNGO LE VIE DI ESODO
(DISPOSITIVI DI MISURA POSIZIONATI IN PROSSIMITÀ DELL'USCITA DELL'UFFICIO SINISTRATO
AD UNA ALTEZZA DI 1,80 M DAL PIANO DI CALPESTIO)**



**MISURA DELLA CONCENTRAZIONE DI MONOSSIDO DI CARBONIO (CO) LUNGO LE VIE DI ESODO
(DISPOSITIVI DI MISURA POSIZIONATI IN PROSSIMITÀ DELL'USCITA DELL'UFFICIO SINISTRATO
AD UNA ALTEZZA DI 1,80 M DAL PIANO DI CALPESTIO)**

Valori dell'irraggiamento termico

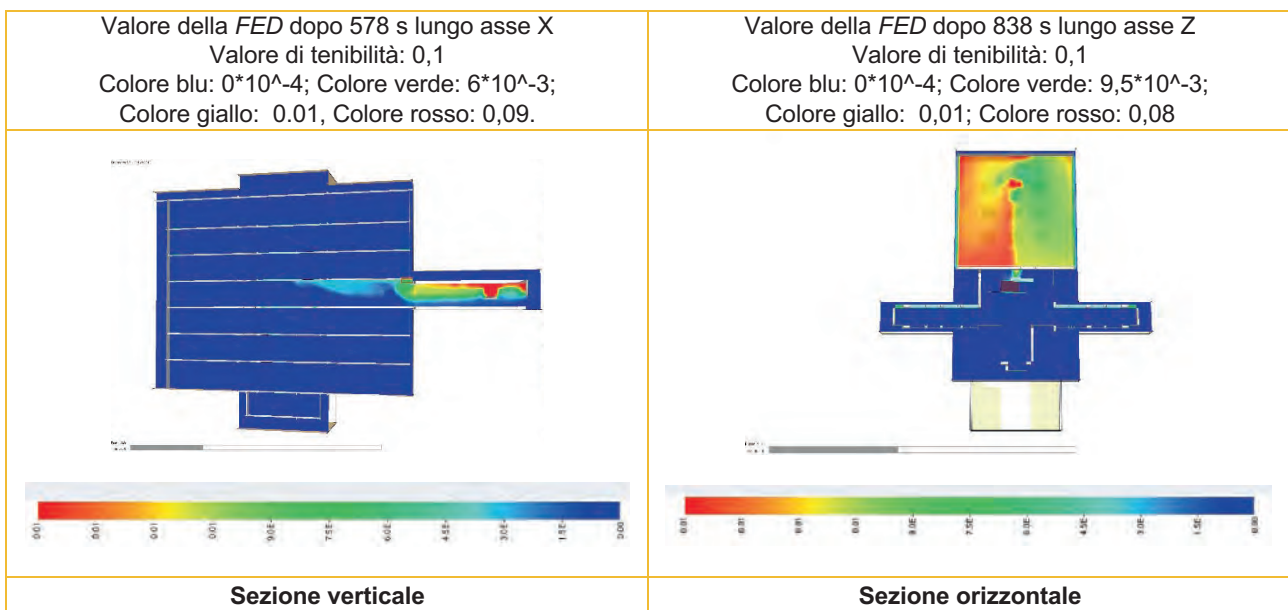
Dai risultati delle modellazioni si è evinto che i valori dell'irraggiamento si mantengono sempre a livelli molto bassi, grazie all'efficacia del sistema di estrazione dei prodotti della combustione. Pertanto, si ritiene sufficiente, in questa sede, mostrare solamente i risultati misurati dello scenario che presenta i valori più gravosi dal punto di vista della tenibilità lungo le vie di esodo. Per i risultati di irraggiamento termico, a cui gli occupanti possono essere esposti durante l'esodo, i risultati peggiori sono stati ottenuti, nello Scenario L1 (scenario laterale al piano terzo):



Come si deduce dalla rappresentazione grafica i valori si mantengono comunque al di sotto del limite inferiore di tenibilità assunto, lungo il vano scala, pari a 1,5 kW/m².

Fractional Effective Dose

Per i valori della Fractional Effective Dose (FED), a cui gli occupanti possono essere esposti durante l'esodo, si è ritenuto significativo mostrare un andamento qualitativo riferito al medesimo scenario L1 che presenta i risultati peggiori:



Come si deduce dalla rappresentazione grafica i valori della FED si mantengono al di sotto del limite inferiore di tenibilità assunto, lungo il vano scala, pari a 0,1.

Verifica ASET > RSET

Sono stati sintetizzati, nella tabella seguente, i valori di ASET, di RSET, del margine di sicurezza t_{marg} e della verifica del rispetto della condizione imposta $t_{\text{marg}} \geq 20\% \text{ RSET}$; per ciascun scenario d'incendio di progetto indagato, con riferimento a ciascuna soglia di tenibilità considerata, le verifiche risultano soddisfatte:

SCENARI D'INCENDIO INDAGATI (A1, A2, S1 ed L1)					
Modello	ASET (s)	RSET (s)	t_{marg} ASET - RSET (s)	20% RSET (s)	Verifica $t_{\text{marg}} \geq 30\% \text{ RSET}$
Oscuramento della visibilità da fumo	> 1300 (21'40")	1050 (17'30")	250	210	OK
Calore (temperatura massima di esposizione)	> 2000 (33'20")	1050 (17'30")	950	210	OK
Gas tossici (FED)	> 2000 (33'20")	1050 (17'30")	950	210	OK
Calore (irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti: incendio, effluenti dell'incendio e struttura)	> 2000 (33'20")	1050 (17'30")	950	210	OK

Considerati i risultati dello studio effettuato si può dedurre che, mettendo in atto i sistemi di protezione attiva, progettati con il supporto dello studio ingegneristico prestazionale, è possibile perseguire gli obiettivi di sicurezza antincendio relativi alle finalità per le quali è stato applicato tale approccio.

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Nel presente caso studio, applicato ad un edificio civile ad uso uffici, soggetto ai controlli di prevenzione incendi, di grande valore architettonico, il vano scale è stato compartimentato con l'ausilio di sistemi di protezione attiva a disponibilità superiore, per l'evacuazione del fumo e del calore.

Al fine di garantire i prescritti obiettivi di sicurezza antincendio si è fatto ricorso al Codice, scegliendo una strategia basata, su *soluzioni alternative*, inerenti proprio la compartimentazione, impiegando le tecniche prestazionali dell'approccio ingegneristico e ricorrendo all'ausilio di modelli termo-fluidodinamico finalizzati a verificare le condizioni di tenibilità e il dimensionamento dei sistemi di protezione attiva.

L'obiettivo era dimostrare che il vano scala principale, pur se non dotato di elementi di separazione per ogni piano dagli uffici ad esso collegati, riesce a garantire gli obiettivi di sicurezza antincendio associati alla misura S.3, con il supporto di SEFFC a disponibilità superiore.

Si è omessa l'onerosa e complessa dimostrazione della disponibilità superiore di tale sistema.

I risultati ottenuti, dimostrando che l'esodo viene garantito per tutti gli occupanti, consentono di affermare che l'obiettivo della progettazione prestazionale in soluzione alternativa per la misura S.3 è pienamente raggiunto.

❖ *Commento dei risultati*

Tale caso studio è stato utile per focalizzare l'attenzione su due aspetti tecnici che, in generale, possono avere notevole influenza sulla misura S.3:

- la diffusione dei prodotti della combustione, dipendente da vari fattori (layout, ventilazione, posizione e tipologia focolare, ecc.) specifici dell'attività in progetto;
- l'effetto che può avere un sistema a disponibilità superiore.

Con riferimento al primo aspetto, si evidenzia che, in un'attività così grande, la fluidodinamica dell'incendio può essere favorevole per il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza prefissi.

Allo stesso tempo è evidente che da sola non basterebbe ed è necessario il SEFFC a disponibilità superiore illustrato, che consente di pulire il vano scala non compartimentato in qualsiasi condizione d'incendio credibile. Da ciò l'importanza che tale SEFFC debba essere progettato a disponibilità superiore, ossia in grado di rendere non credibili gli scenari d'incendio nei quali il SEFFC stesso è non funzionante.

Si sottolinea che tale sistema a disponibilità superiore deve essere progettato prima di effettuare le analisi quantitative, al fine di evitare spiacevoli sorprese tecniche ed economiche in fase di realizzazione, nonché difficoltà o impossibilità di attuazione della GSA, che deve tener conto delle indicazioni aggiuntive derivanti dall'analisi FSE.

Caso studio 9: deposito logistico e smistamento merci

Descrizione

Nel presente caso studio ci si occupa di un'attività, non aperta al pubblico, di deposito e smistamento merci. L'edificio in esame, oltre al volume principale costituito dalla *warehouse*, che si sviluppa su quattro piani fuori terra, comprende anche dei locali accessori posti sul perimetro ed un corpo uffici.

In questo caso studio ci si riferisce esclusivamente alla *warehouse*, ove saranno presenti materiali combustibili rappresentati principalmente da capi di abbigliamento, elettrodomestici di piccole e medie dimensioni, materiale elettronico, giocattoli, attrezzature sportive e da lavoro, pallet di legno, cartoni e cellophane per il confezionamento dei prodotti.

L'edificio presenta una superficie interna lorda complessiva di circa 51100 m² al piano terra (denominato "L1" in quanto parzialmente rialzato, lungo le facciate interessate dalle baie di carico).

La *warehouse*, destinata allo stoccaggio, alla preparazione e smistamento della merce, si sviluppa quindi su quattro livelli ove avranno accesso i lavoratori:

- L1 (piano terra a quota + 0,00 m - circa 43600 m²);
- L2 (piano primo a quota + 7,64 m - circa 43600 m²);
- L3 (piano secondo a quota + 12,30 m - circa 43600 m²);
- L4 (piano terzo a quota + 16,96 m - circa 43600 m²).

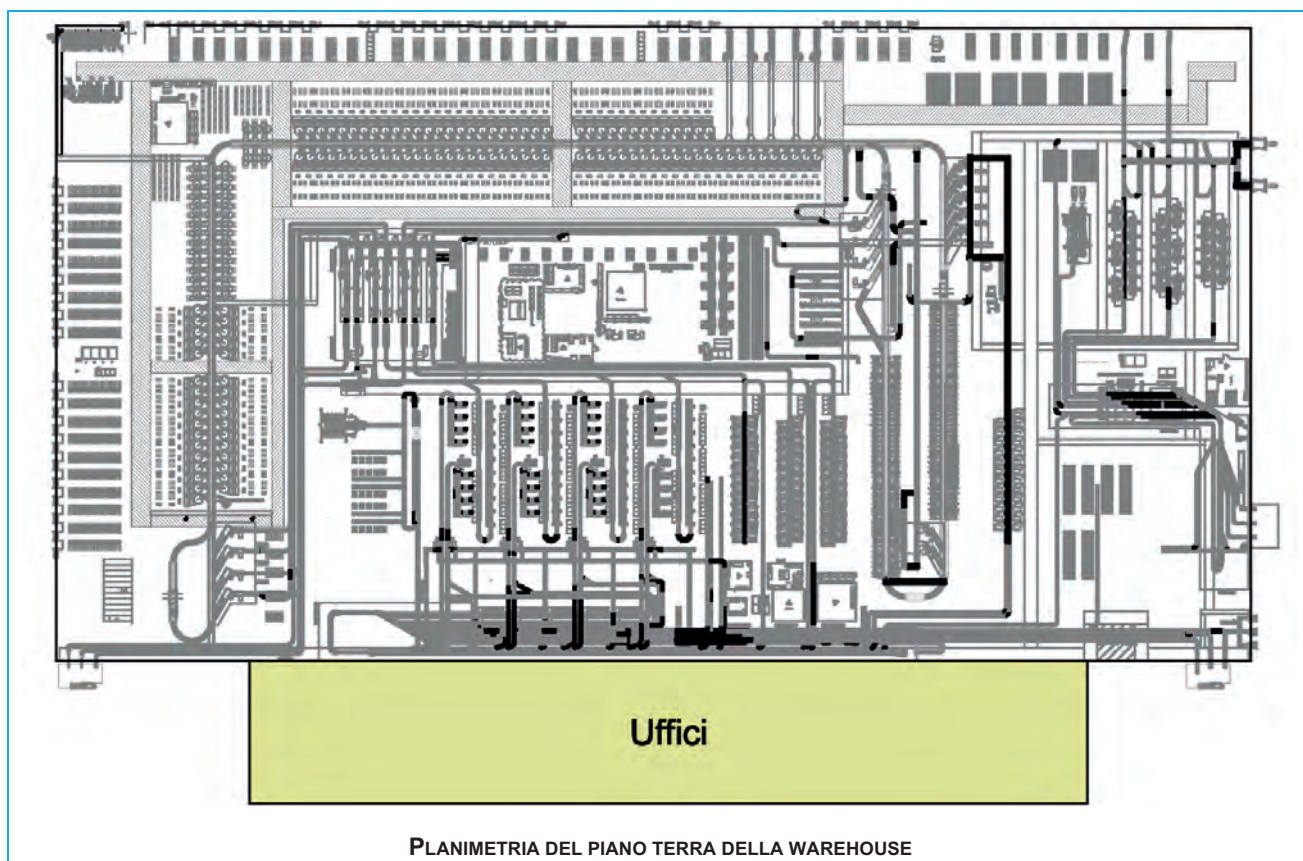
I tre piani superiori sono costituiti da un'area centrale dove circolano solo robot per lo spostamento di piccoli scaffali, senza personale, che invece è distribuito lungo la fascia perimetrale del piano terra.

Il layout del piano terra, con altezza interna maggiore rispetto ai piani superiori, è invece differente e prevede diverse aree, ognuna con una specifica funzione e con presenza di occupanti.

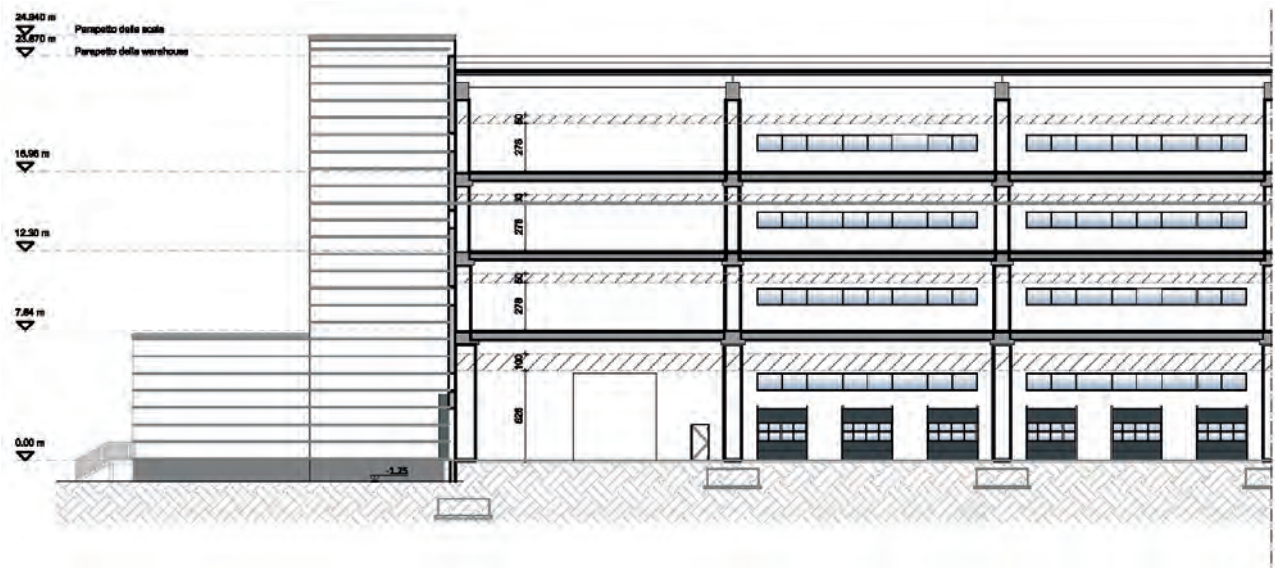
La *warehouse* costituisce un unico compartimento multipiano; in riferimento alla misura antincendio *Compartimentazione*, non è stato possibile soddisfare la *soluzione conforme*, dovendosi pertanto ricorrere ad una *soluzione alternativa* che coinvolge altre misure antincendio facenti parte della strategia adottata.

Si dimostrerà nel contempo come, nello spirito olistico che contraddistingue il Codice, le varie misure che compongono la strategia antincendio possano contribuire sinergicamente al fine di raggiungere gli obiettivi della sicurezza antincendio richiamati al par. G.2.5.

Dati salienti e attribuzione dei livelli di prestazione:



Superficie del piano tipo della warehouse	43600 m ²
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in CLS armato prefabbricato
Numero occupanti	744 ²⁶
Profili di rischio R _{vita}	A2 ²⁷ (parr. G.3.2.1 e G.3.2.2)
Profilo di rischio R _{beni}	Attività non vincolata né strategica = 1 (par. G.3.3)
Profilo di rischio R _{ambiente}	Non significativo (par. G.3.4)
Reazione al fuoco	Livello I di prestazione (parr. S.1.3 e S.1.4)
Resistenza al fuoco	Livello III di prestazione (parr. S.2.3 e S.2.4.8)
Compartimentazione	Livello II di prestazione (parr. S.3.3 e S.3.4.3)
Esodo	Livello I di prestazione (parr. S.4.3 e S.4.4.3)
Gestione della sicurezza antincendio	Livello III di prestazione (parr. S.5.3 e S.5.4.1)
Controllo dell'incendio	Livello V di prestazione (parr. S.6.3, S.6.4.4 e S.6.4.5)
Rivelazione ed allarme	Livello IV di prestazione (parr. S.7.3 e S.7.4.4)
Controllo di fumi e calore	Livello III di prestazione (parr. S.8.3 e S.8.4.3)
Operatività antincendio	Livello IV di prestazione (parr. S.9.3 e S.9.4.3)
Sicurezza degli impianti tecnologici	Livello I di prestazione (parr. S.10.3 e S.10.4.1)



SEZIONE DELL'EDIFICIO CON INDIVIDUAZIONE DEI LIVELLI

²⁶ Affollamento dichiarato dal responsabile dell'attività: 482 persone al piano terra, 87 al primo piano, 87 al secondo e 88 al terzo.

²⁷ Come noto, solo a seguito della valutazione del rischio di incendio è possibile attribuire il profilo di rischio R_{vita} in relazione ai seguenti fattori (par. G.3.2.1, punto 1):

- δ_{occ} : caratteristiche prevalenti degli occupanti ($\delta_{occ} = A$);
- δ_{α} : velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio riferita al tempo t_{α} , in sec, impiegato dalla potenza termica per raggiungere il valore di 1000 kW ($\delta_{\alpha} = 3$).

Per la warehouse, oltre alla significativa presenza di materiali plastici, si è tenuto conto della possibile presenza, sebbene in piccola quantità, di stoccaggi di altezza superiore a 3 m (inferiore a 5 m) o classificabili come HHS3 secondo la norma UNI 12845.

Peraltro, la natura dei solai interpiano garantisce dal punto di vista della propagazione dell'eventuale incendio, affinché si possano considerare gli stoccaggi di materiale riferiti solamente al singolo interpiano.

Tanto premesso, è stato individuato preliminarmente il profilo di rischio R_{vita} = A3.

Tuttavia, prevedendo il progetto l'adozione del livello di prestazione V per la misura antincendio S.6, in quanto tutti i locali saranno protetti da impianto automatico di controllo degli incendi, si può far riferimento al par. G.3.2.1, punto 3 e, conseguentemente, ridurre il profilo di rischio R_{vita} per la warehouse ad A2, considerando $\delta_{\alpha} = 2$.

Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi

Trattasi di attività classificata al punto 70.2.C dell'Allegato I del d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151: "Locali adibiti a depositi con quantitativi di merci e materiali combustibili superiori complessivamente a 5000 kg, di superficie lorda superiore a 3000 m²".

Riferimenti normativi

- d.m. 3 agosto 2015 - "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del d.lgs. 8 marzo 2006, n. 139" - Aggiornamento d.m. 18 ottobre 2019, come aggiornata dai decreti 14 febbraio 2020 e 6 aprile 2020 per la sezione V.

Obiettivi dello studio

Ci si propone, nell'ambito generale della progettazione antincendio dell'attività, di focalizzare l'attenzione sulla misura antincendio Compartimentazione, dimostrando l'adeguatezza di tale misura, al fine di limitare la propagazione dell'incendio verso e dalle aree elettriche a servizio dell'attività e verso manufatti esterni all'edificio warehouse, sia mediante l'utilizzo di *soluzione conforme*, con la metodologia delle piastre radianti, sia mediante approccio ingegneristico.

Inoltre, stante le esigenze di funzionalità dell'impianto che esigono la compartimentazione unica della warehouse, al fine di dimostrare il raggiungimento del livello di prestazione attribuito (II), si è verificato che è comunque garantita la salvaguardia della vita degli occupanti (capitolo M.3), adottando la modalità suggerita dal Codice e generalmente accettata per la progettazione di soluzioni alternative di cui alla tab. S.3-3: "*Compartimentazione multipiano*".

Oggetto della soluzione	Modalità progettuale
Caratteristiche dello spazio scoperto (§ S.3.5.1), del compartimento, del filtro (§ S.3.5.4), dell'ubicazione (§ S.3.9)	Si dimostri, anche con modelli analitici, che non avviene propagazione dell'incendio e dei suoi effetti nella configurazione considerata.
Compartimento a prova di fumo (§ S.15), filtro a prova di fumo (§ S.3.5.5), compartimentazione multipiano (§ S.3.6.2), comunicazioni (§ S.3.10)	Si dimostri che è comunque garantita la salvaguardia della vita degli occupanti (capitolo M.3) e, se applicabile, la protezione dei beni.
Distanza di separazione (§ S.3.8) e suo calcolo (§ S.3.11)	Si dimostri che è limitata la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti. Può essere applicata la stessa procedura analitica del paragrafo S.3.11.3, impiegando ad esempio il valore di E_{soglia} adeguato al bersaglio effettivamente esposto all'incendio, il fattore di vista F_{2-1} e la piastra radiante corrispondente alla reale configurazione geometrica, la potenza termica radiante E_1 riferita all'incendio naturale. Possono essere anche impiegati modelli numerici di simulazione dell'incendio, dei suoi effluenti e dell'irraggiamento.

TABELLA S.3-3: MODALITÀ PROGETTUALI PER SOLUZIONI ALTERNATIVE

Si segnala, a latere, che la complessità dell'intervento e le dimensioni del sito, che esulano dalla configurazione standard e non permettono l'applicazione di tutte le *soluzioni conformi* previste dal Codice, ha richiesto l'adozione di diverse *soluzioni alternative*.

A tal proposito, sono stati approfonditi i seguenti aspetti, legati alle *soluzioni alternative* sviluppate nella progettazione antincendio dell'attività:

Misura antincendio	Livello di prestazione	Applicazione di norme o documenti tecnici	Impiego di prodotti o tecnologie di tipo innovativo	Ingegneria della sicurezza antincendio	Prove sperimentali
S.2	III			X	
S.3	II			X	
S.4	I			X	
S.6	V	X			
S.8	III			X	

Le caratteristiche dell'attività hanno richiesto l'applicazione di *soluzioni alternative* a causa di:

- ✓ S.2 - Presenza di strutture metalliche non protette da specifici rivestimenti passivi;
- ✓ S.3 - *Unico compartimento antincendio multipiano di superficie e altezza superiori a quella massima ammessa;*
- ✓ S.4 - Presenza di percorsi di esodo con lunghezza superiore a quella massima ammessa;
- ✓ S.6 - Progettazione dell'impianto automatico di controllo ed estinzione incendi secondo le norme NFPA 13 anziché secondo la norma UNI EN 12845;
- ✓ S.8 - Progettazione del SEFFC con la FSE, poiché al di fuori del campo di applicazione della norma UNI 9494-2.

Inquadramento del progetto antincendio in riferimento alla misura S.3

Il presente caso studio rappresenta un altro valido esempio di connessione tra le misure antincendio *Controllo dell'incendio S.6, Controllo di fumi e calore S.8 e Compartimentazione S.3.*

Le misure antincendio S.6 ed S.8, infatti, concorrono concretamente alla dimostrazione della soluzione alternativa per la misura S.3.

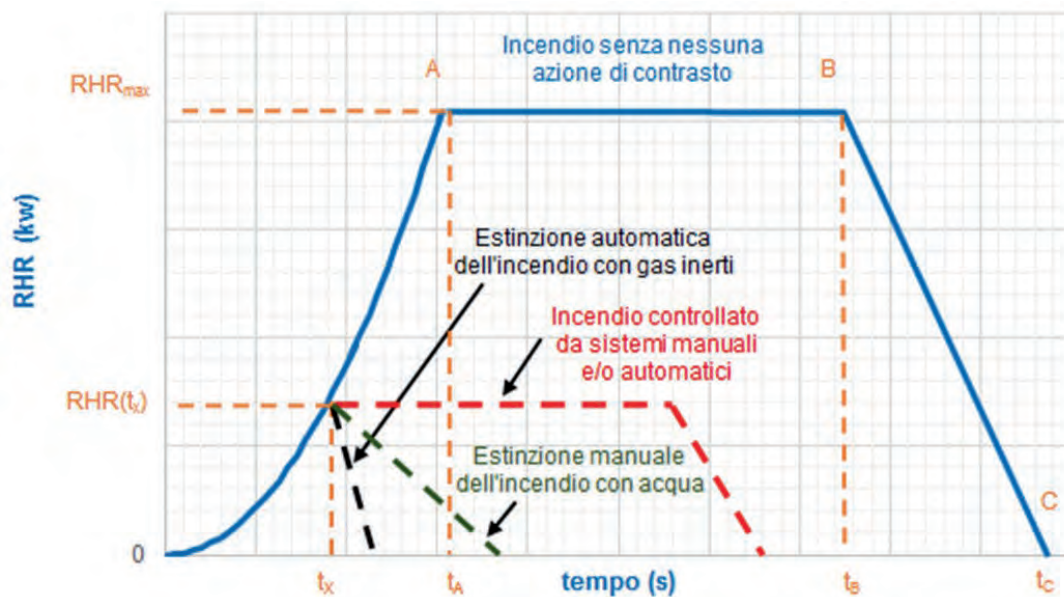
S.6 - Protezione automatica (impianto sprinkler CMDA secondo la norma NFPA13)

Al fine di rispettare il livello V di prestazione della misura antincendio S.6, la *warehouse* sarà dotata di impianto automatico di tipo CMDA²⁸ (*Control Mode Density Area*).

Come anticipato, la progettazione degli impianti automatici di controllo incendi è stata eseguita secondo la norma NFPA13, applicata nella sua interezza, anziché con la norma UNI EN 12845 e, pertanto, anche in questo caso si è fatto ricorso ad una *soluzione alternativa*, (tab. S.6-3).

Infatti, la tipologia dell'impianto, la cui configurazione non è prevista dalla norma UNI EN 12845, è stata valutata in base alle caratteristiche del layout produttivo e dello stoccaggio, ai sensi della norma NFPA 13.

Per tale impianto valgono le considerazioni di cui al punto 1 del par. M.2.6.2.



VARIAZIONE DELLA CURVA RHR(t)
PER EFFETTO DELL'INTERVENTO DI SISTEMI DI CONTROLLO DELL'INCENDIO

Con riferimento ai parr. S.2.4.8, S.2.6, M.1.8 punto 5, G.1.19 e M.2.6.2, l'impianto sprinkler, utilizzato nelle verifiche con la FSE ai fini del "taglio" della curva HRR, sarà del tipo a disponibilità superiore.

²⁸ Nella norma di NFPA 13 sono contemplati tre tipi generali di sistemi di irrigazione: CMDA, Control Mode Density Area, ESFR, a risposta rapida alla soppressione precoce e CMSA, applicazione specifica modalità di controllo. La tipologia CMDA include la protezione per sistemi di stoccaggio e non, quali uffici, produzione, vendita al dettaglio, ecc.. Alcune delle opzioni per i sistemi di stoccaggio forniscono densità standard progettate in casi gravosi per controllare l'incendio, fino all'arrivo dei soccorritori e allo spegnimento dell'incendio.

Di seguito si riportano le principali caratteristiche approfondite nel progetto, fine di garantire la *disponibilità superiore* dell'impianto sprinkler CMDA:

Miglioramento dell'affidabilità dell'impianto e dell'alimentazione idrica
Componenti con minor rateo di guasto
Ridondanza delle fonti di alimentazione elettrica
Ridondanza delle fonti di estinguente
Ridondanza delle fonti di componenti critici
Inserimento di accorgimenti per la riduzione degli errori umani
Requisiti migliori del locale di alloggiamento del gruppo di pompaggio
Sezionabilità dell'impianto
Duplicazione di componenti soggetti a usura o guasto (da cui può dipendere l'avviamento dell'impianto)
Riduzione degli errori umani

Miglioramento della manutenibilità e supporto logistico della manutenzione
Programmazione delle manutenzioni per settori dell'impianto
Controlli e prove periodiche
Analisi di affidabilità
Riduzione dei tempi di ripristino dei guasti
Registro delle prove e delle manutenzioni

Gestione degli stati degradati o dello stato di indisponibilità del sistema
Limitazione della severità degli stati degradati
Misure gestionali compensative

Per questioni di brevità vengono omesse le articolate e complesse valutazioni relative alla dimostrazione che l'impianto sprinkler è a disponibilità superiore, prestazione biunivocamente legata alla valutazione finalizzata a stabilire la non credibilità degli scenari d'incendio nei quali l'impianto sprinkler così progettato è non funzionante.

S.8 - SEFFC (Sistema per l'evacuazione di fumo e calore)

L'obiettivo di questa misura antincendio è quello di garantire il controllo, l'evacuazione o lo smaltimento dei prodotti della combustione in caso di incendio.

Il Codice, come noto, suddivide i presidi per il controllo di fumo e calore in tre macro-tipologie:

Presidi per il controllo di fumo e calore			
Tipo di presidio	Livello di prestazione II		Livello di prestazione III
	Aperture di smaltimento di fumo e calore d'emergenza	Sistemi di ventilazione orizzontale forzata del fumo e del calore SVOF	Sistemi (impianti) per l'evacuazione di fumo e calore (SEFC)

In applicazione dei criteri di attribuzione di cui alla tab. S.8-2, considerato in particolare l'elevato carico di incendio specifico, alla *warehouse* è attribuito un livello di prestazione III, corrispondente alla realizzazione di un vero e proprio SEFC.

La soluzione progettuale tiene altresì conto di:

- elevato carico di incendio specifico, per quanto mitigato dall'impianto automatico di controllo dell'incendio;
- elevato affollamento, per quanto distribuito su una superficie *molto ampia*, che dà luogo ad una densità di affollamento (calcolata nel momento del cambio turno²⁹) pari a circa:

²⁹ A favore di sicurezza, le modellazioni di esodo considerano la sovrapposizione di due turni lavorativi, quindi i valori considerati per le modellazioni sono il doppio dei singoli valori considerati, come dichiarati dal responsabile dell'attività.

- L1: $2 \times 482 = 964 \text{ pers}/43000 \text{ m}^2 = 0,022 \text{ pers/m}^2$, ovvero un occupante per ogni 45 m^2 ;
- L2, L3, L4: $2 \times 88 = 176 \text{ pers}/13000 \text{ m}^2 = 0,013 \text{ pers/m}^2$, ovvero un occupante ogni 74 m^2 .

Si segnala che ai piani superiori è stata considerata esclusivamente la fascia perimetrale, pari a circa 13000 m^2 , che prevede la presenza di postazioni di lavoro.

Il livello di prestazione III della misura antincendio S.8 si esplica, nel caso in esame, nella progettazione di un SEFFC, a servizio di tutti i piani della *warehouse*.

Tuttavia, non è possibile applicare integralmente la norma UNI 9494-2, poiché l'edificio, per ragioni di layout produttivo, non può essere suddiviso in compartimenti e non si possono realizzare efficaci serbatoi di fumo a soffitto. Di conseguenza, è stato necessario adottare una *soluzione alternativa* con riferimento al par. S.8.4.3. La tab. S.8-3 consente, infatti, l'utilizzo dei Metodi del Codice per dimostrare gli obiettivi di sicurezza per gli occupanti ed i soccorritori.

Oggetto della soluzione	Modalità progettuale
Aperture di smaltimento di fumo e calore d'emergenza (§ S.8.5)	Si dimostri, anche con metodi analitici, che i soccorritori possano smaltire fumo e calore dell'incendio nella configurazione considerata o grazie ad un impianto di smaltimento meccanico. Possono essere impiegati i metodi di progettazione descritti nell'Appendice G "Smaltimento di fumo e calore di emergenza" della norma UNI 9494-1 e nell'Appendice H "Requisiti dei sistemi meccanici per lo smaltimento del fumo e calore di emergenza" della norma UNI 9494-2.
Distribuzione uniforme delle aperture di smaltimento (§ S.8.5.3)	Sia garantita l'accessibilità protetta per i soccorritori a tutti i piani dell'attività e la disponibilità in prossimità di attrezzature e dispositivi di protezione antincendio, oppure si dimostri il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza per i soccorritori impiegando i metodi di cui al capitolo M.3.
Caratteristiche degli SVOF (§ S.8.6)	In assenza di norme, TS o TR adottati dall'ente nazionale di normazione, possono essere utilizzati i principi di progettazione e le modalità di installazione e gestione contenute in prCEN/TS 12101-11.
Tutti i casi	Si dimostri il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza per gli occupanti ed i soccorritori impiegando i metodi di cui al capitolo M.3.

TAB. S.8-3 - MODALITÀ PROGETTUALI PER SOLUZIONI ALTERNATIVE

Occorre dimostrare i seguenti obiettivi:

1. Verifica delle soglie di prestazione per la sicurezza degli occupanti attraverso il criterio $ASET > RSET$, par. M.3.2:
 - ASET è stato determinato con il metodo avanzato del par. M.3.3.1 e calcolato sia per l'intero piano oggetto dell'incendio, che per ciascuna delle uscite finali del piano;
 - RSET è stato valutato secondo il par. M.3.4 e calcolato sia per l'intero piano, che per l'intero fabbricato.

Ulteriori verifiche sono state eseguite, con apposite modellazioni di esodo, che dimostrano ulteriormente il rispetto delle soglie di prestazione di cui alla tab. M.3-2 per ciascuno dei percorsi di esodo del piano fino alle uscite finali che risultano agibili in ciascuno degli scenari di incendio di progetto.

Inoltre, sono stati considerati:

- per RSET, diversi margini di sicurezza, sia rispetto ai tempi che compongono RSET che in relazione alla velocità di esodo;
 - per ASET, diversi margini di sicurezza, sia per il tempo di intervento dello sprinkler che in relazione alla percentuale di fumo che viene prodotta.
2. Verifica delle soglie di prestazione per la sicurezza dei soccorritori di cui alla tab. M.3-2 in ciascuno degli scenari di incendio di progetto, calcolate, in favore di sicurezza, dopo 1800 s anziché al tempo di arrivo dei VV.F. determinato secondo l'ultimo annuario statistico del C.N.VV.F. disponibile;

Pur confermando il rispetto delle soluzioni conformi (ad eccezione della lunghezza di taluni percorsi), si specifica che le modellazioni di incendio e di esodo, sviluppate con software diversi ma coordinati tra di loro, hanno dimostrato, seppur nella configurazione peggiorativa del raddoppio del numero degli occupanti (due turni di lavoro sovrapposti) il soddisfacimento delle soglie di prestazione del Cap. M.3 in tutti gli scenari di incendio di progetto, compresi i percorsi di esodo più lunghi.

3. Verifica della massima estensione dei fumi in ciascuno degli scenari di incendio di progetto, che risulta sempre inferiore alla massima superficie dei compartimenti ammessa per il profilo di rischio $R_{vita} A2$, ovvero 16000 m²; in questo modo la *soluzione alternativa* per la misura S.8 concorre alla dimostrazione della soluzione alternativa per la misura S.3.

Ai fini delle verifiche, condotte secondo le metodiche dell'ingegneria antincendio, si sono adottate le logiche di intervento del SEFFC di seguito illustrate:

Scenari con velocità di crescita dell'incendio FAST al piano terra	
Fenomeno	Tempo dopo l'inizio dell'incendio (s)
Inizio incendio	0
Rivelazione incendio (t_{det})	60
Intervento impianto sprinkler	147
Inizio esodo occupanti vicino al focolare	150
Allarme generale	240
Avvio ventilatori del SEFFC in sequenza	270
SEFFC a regime al piano interessato	300
Taglio della curva HRR	300 (4 MW)

Per quanto riguarda le modalità con le quali, nel caso in esame, si è previsto di progettare il sistema come a *disponibilità superiore*, si fa riferimento (per analogia) a quanto descritto in precedenza per il sistema di controllo dell'incendio.

Soluzione conforme

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

Nel presente caso studio, nella volumetria del fabbricato, sono previste solo attività pertinenti e adiacenti, con differenti tipologie di comunicazione, come descritto di seguito.

In funzione dei profili di rischio e delle caratteristiche del fabbricato adibito a deposito, alla misura antincendio *Compartimentazione* è stato attribuito il livello di prestazione II, per il quale viene richiesto di contrastare, per un periodo congruo con la durata dell'incendio, la propagazione dell'incendio verso altre attività e all'interno della stessa.

Tale livello prestazionale non prevede la tenuta ai fumi freddi.

I serramenti lungo le vie di esodo saranno comunque a tenuta di fumi freddi (E-Sa) ai sensi del par. S.3.7.2 (è richiesta la tenuta ai fumi freddi ma non necessariamente il requisito di isolamento "I" né di irraggiamento "W" per le chiusure dei varchi di comunicazione tra compartimenti e vie di esodo di una stessa attività).

A supporto di questa scelta si tiene conto della presenza del SEFC (livello III per la misura S.8).

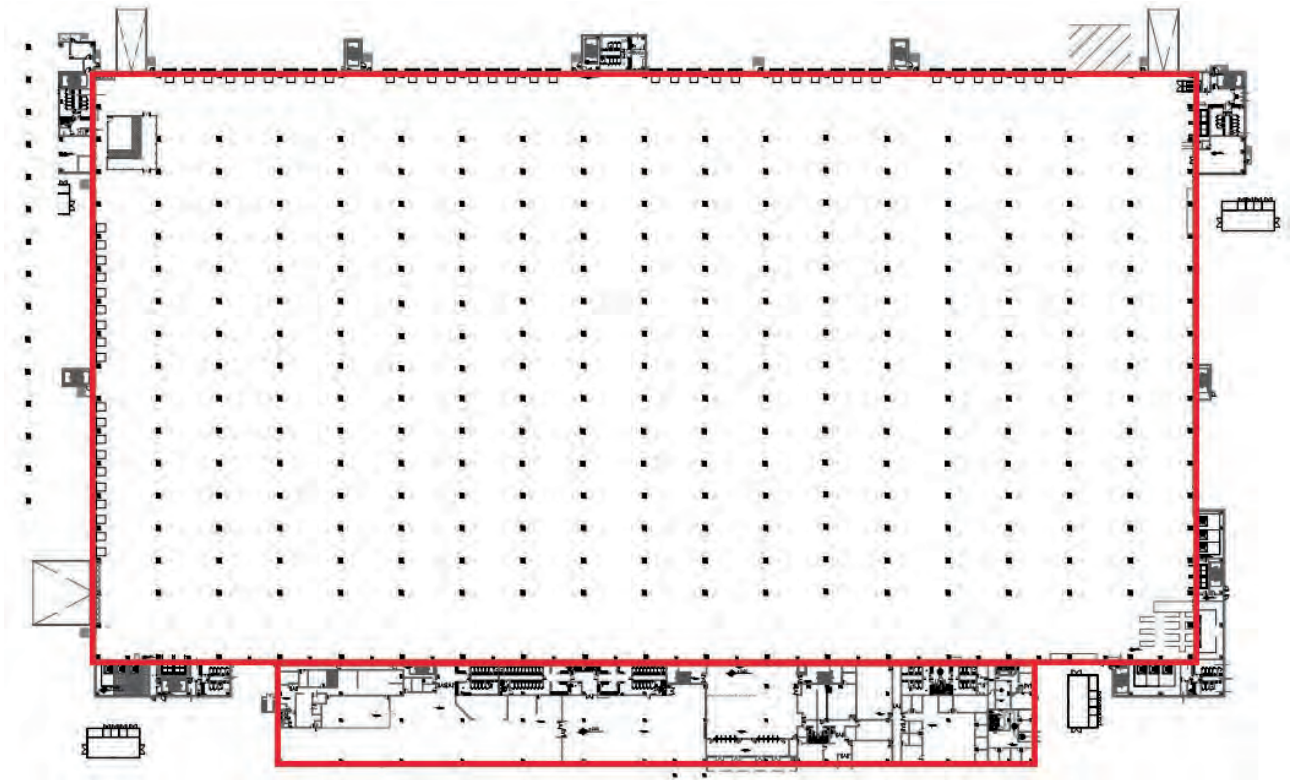
Non sono presenti attività adiacenti messe in comunicazione con la *warehouse*, a parte il compartimento uffici di pertinenza.

Separazioni e comunicazioni

L'attività produttiva sarà svolta all'interno di tutti i piani fuori terra della *warehouse* (unico compartimento multipiano), mentre le attività di ufficio e assimilabili (servizi, mensa, spogliati, ecc.) sono previste in un corpo di fabbrica adiacente alla *warehouse*.

Sono previste le seguenti separazioni (ovvero compartimentazioni interne):

- la *warehouse* costituisce compartimento unico, multipiano (oggetto di *soluzione alternativa*); i solai garantiscono la resistenza al fuoco R120 ed essendo "ciechi", costituiscono un efficace ritardo nella propagazione verticale dell'incendio. Sono tuttavia previste alcune forometrie che non è possibile sigillare per motivi di funzionalità impiantistica;
- il compartimento *warehouse* è separato (REI/EI 120) rispetto al compartimento uffici;
- le scale interne protette sono separate (REI/EI 120) rispetto alla *warehouse*;
- le scale esterne sono separate (REI/EI 30) rispetto alla *warehouse*.



SCHEMA DEI COMPARTIMENTI ANTINCENDIO WAREHOUSE E UFFICI

Progettazione dei compartimenti antincendio

Il complesso edilizio in oggetto è costituito dai seguenti compartimenti:

- compartimento adibito a *warehouse* (C1-0);
- compartimento adibito a uffici pertinenti (C2-0, C3-0, C4-0, C5-0, sub compartimenti specifici);
- altri sub-compartimenti secondari (aree impiantistiche esterne).

Per quanto riguarda la *warehouse*, in base alla tab. S.3-6, considerando il profilo di rischio $R_{vita} = A2$ (ridotto da A3) e la quota del compartimento (multipiano) superiore a 12,00 m si individua il limite pari a 16000 m² per le dimensioni dei compartimenti antincendio.

Compartimento multipiano

L'attività *warehouse* costituisce, come anticipato, un unico compartimento, del tipo multipiano, nel rispetto (come vedremo, parziale) delle caratteristiche riportate nella tab. S.3-7.

Trattandosi di profilo di rischio $R_{vita} A2$ (ridotto da A3), il comparto "C01 - *warehouse*" sarà dotato di:

- misura S.6: richiesto il livello di prestazione IV (adottato livello V nel progetto);
- misura S.7: richiesto il livello di prestazione IV (adottato livello IV nel progetto).

Motivazioni per l'adozione della *soluzione alternativa*

Per esigenze di funzionalità dell'attività alcune condizioni per la soluzione conforme non possono essere rispettate, in particolare:

- par. S.3.6.2, punto 1), in quanto non è rispettata la condizione della quota massima di 12,00 m (in progetto l'ultimo piano è a quota + 16,57 m);
- par. S.3.6.2, punto 2), in quanto non è rispettata la superficie massima del compartimento, la richiesta è 16000 m², il progetto prevede quattro piani da 43600 m².

Per questi motivi è stata adottata una *soluzione alternativa*, descritta nel seguito della trattazione.

Distanza di separazione per limitare la propagazione

Al fine di limitare la propagazione dell'incendio da e verso altre attività sono state adottate le seguenti soluzioni:

- verso e dalle *aree elettriche* a servizio dell'attività: queste risultano tra loro compartimentate;
- verso manufatti esterni alla *warehouse*: è rispettata la distanza di separazione con le modalità previste al par. S.3.8, utilizzando i metodi descritti nel par. S.3.11 per determinare la distribuzione spaziale della sollecitazione termica d'irraggiamento termico.

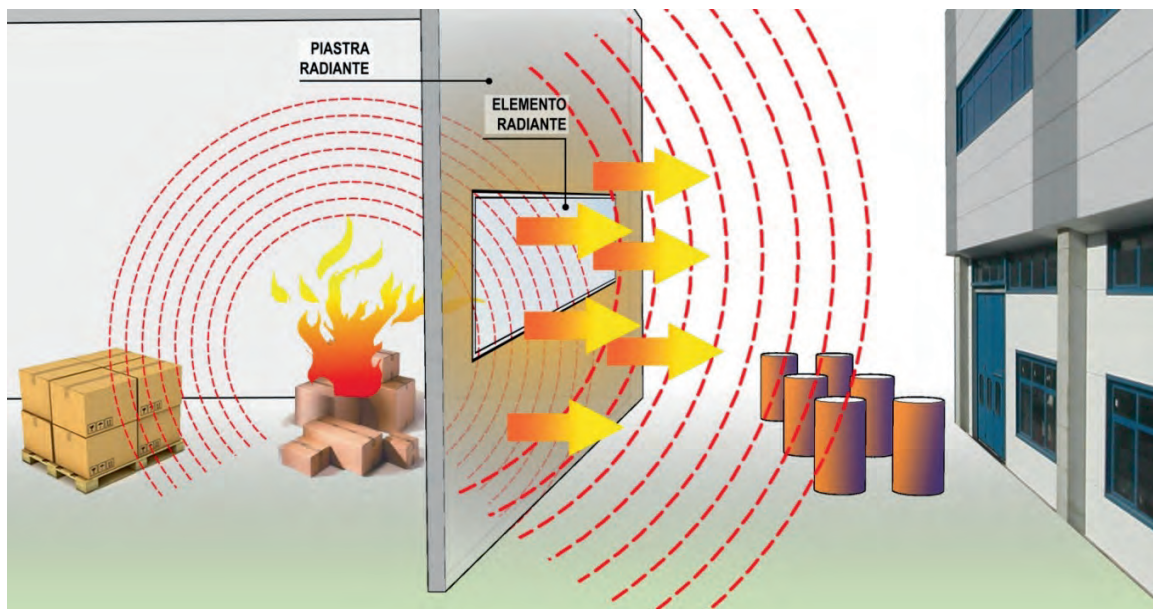
Tale distanza è assunta in relazione allo scenario più critico; tenuto poi conto di quanto previsto al par. S.3.11.2, punto 4, ovvero che il compartimento retrostante l'*i*-esima piastra radiante risulta dotato di misure di controllo dell'incendio di livello di prestazione V, la relativa distanza di separazione è stata dimezzata.

Come noto, la distanza di separazione è una distanza di sicurezza (in questo caso di tipo interno) che permette di evitare la propagazione di un incendio da un edificio agli altri edifici vicini (ovvero aree o attrezzature esterne) mediante l'interposizione di uno spazio a cielo libero di profondità adeguata.

Tale risultato viene ottenuto grazie alla limitazione dell'irraggiamento sul bersaglio (edifici vicini) a valori inferiori al valore soglia di irraggiamento termico dell'incendio pari a $12,6 \text{ kW/m}^2$ così come definito al par. S.3.8..

Vengono definiti gli elementi radianti (aperture sulle facciate, rivestimenti di facciata combustibili, pannellature metalliche non coibentate).

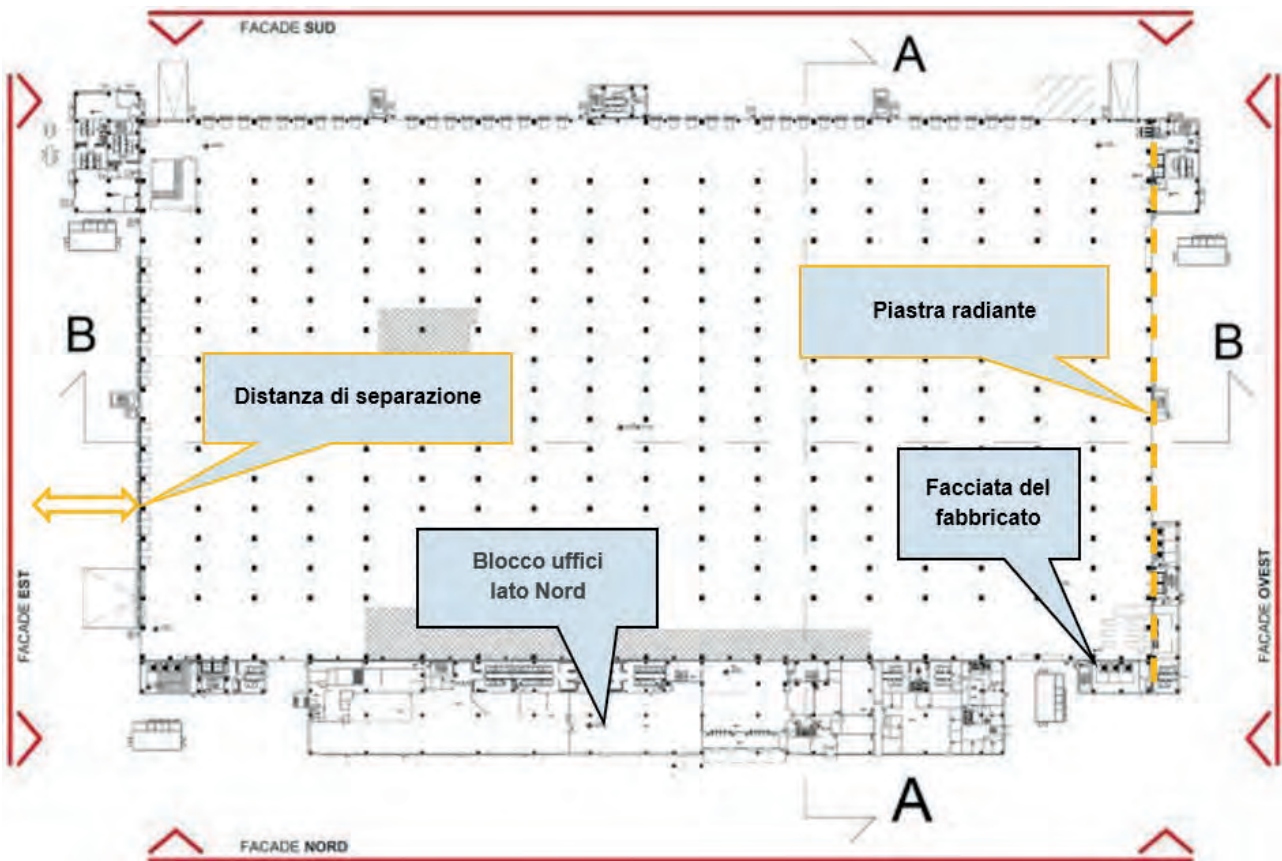
I tamponamenti di facciata in muratura non costituiscono elementi radianti, indipendentemente dalla loro resistenza al fuoco.



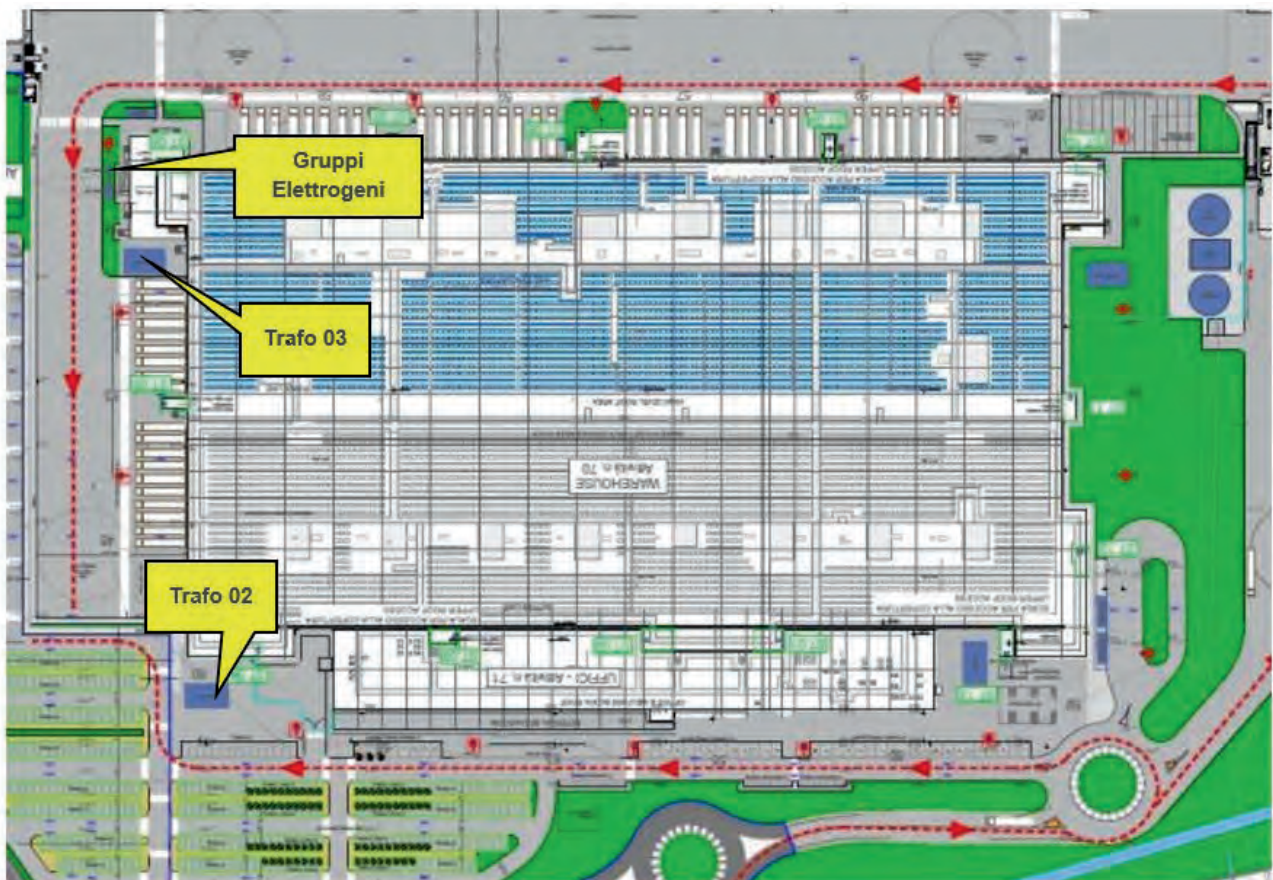
SCHEMATIZZAZIONE DELLA VERIFICA DI IRRAGGIAMENTO

Le verifiche delle distanze di separazione sono state condotte:

- ✓ con metodologia tabellare/analitica (tutti i prospetti);
- ✓ con modellazioni FDS (verifica verso le aree elettriche ed il locale di pompaggio esterni).



PLANIMETRIA GENERALE - SCHEMA GENERALE PER IL CALCOLO DELLA DISTANZA DI SEPARAZIONE



PLANIMETRIA GENERALE - INDIVIDUAZIONE DEI BERSAGLI DA VERIFICARE

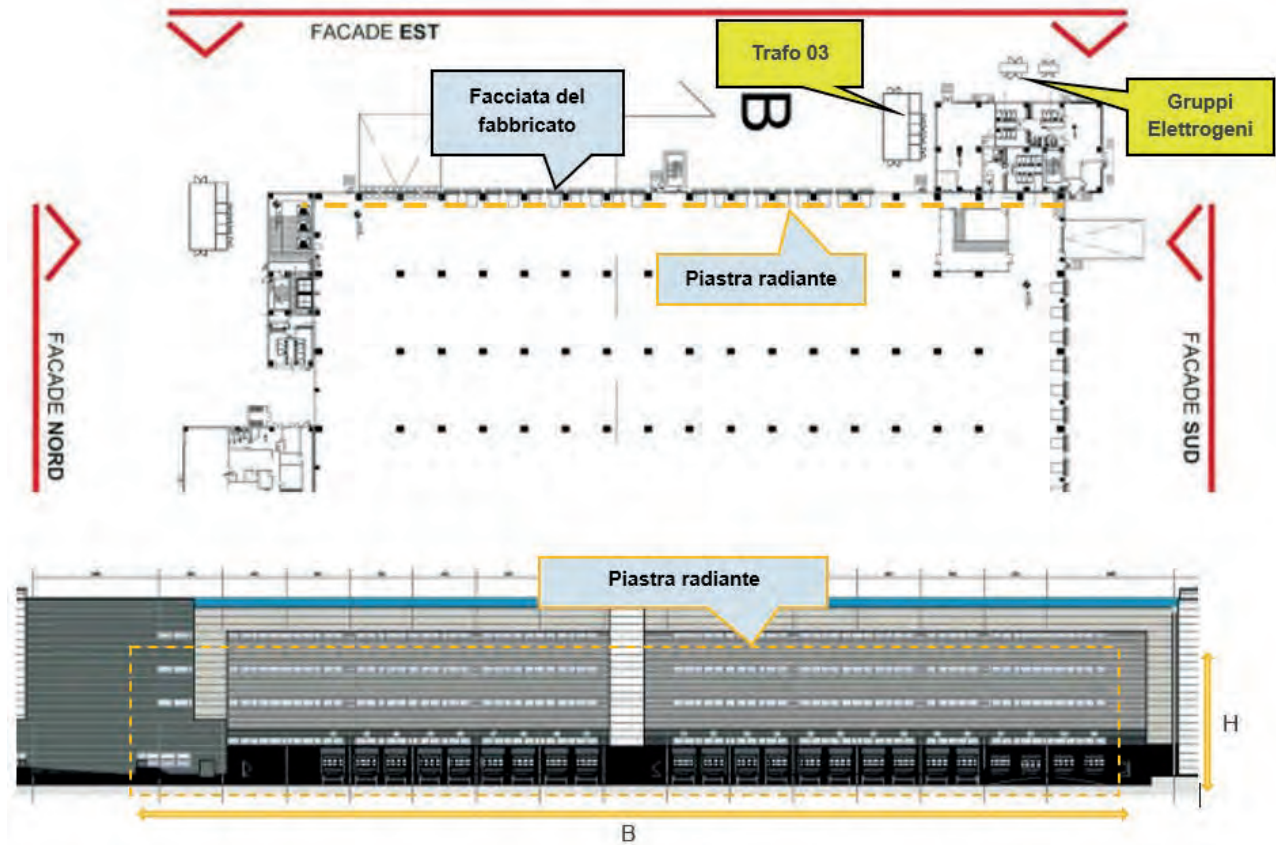
Le verifiche della distanza di separazione sono state condotte lungo l'intero perimetro dell'attività; di seguito si riportano solamente, come esempio, quelle del fronte EST del fabbricato.

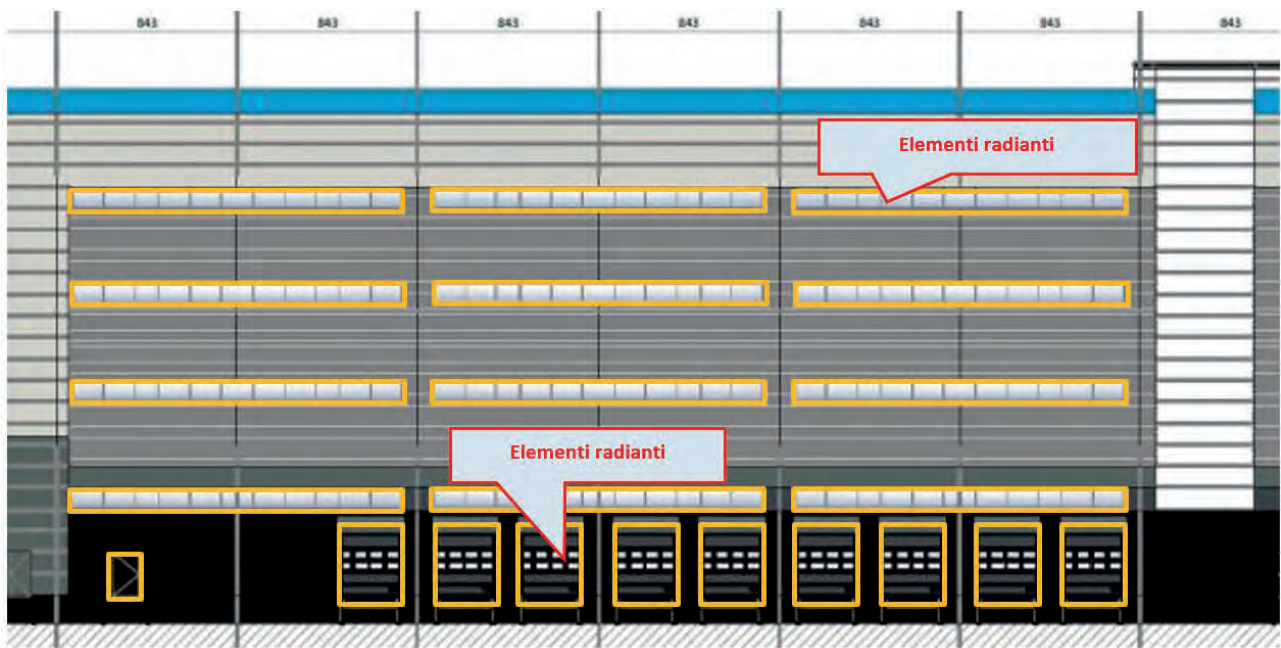
Ai fini del calcolo delle superfici radianti si è tenuto conto di tutti gli elementi presenti in facciata (porte di accesso, infissi apribili e non apribili) comprese le baie di carico insistenti lungo le facciate.

Come si evince dagli schemi grafici riportati alle pagine seguenti, le verifiche tabellari eseguite sono notevolmente a favore di sicurezza, in quanto ogni prospetto è stato considerato come un'unica piastra radiante sebbene, in realtà, sia suddiviso in più porzioni a causa della presenza di corpi aggettanti (scale, uffici, ecc.).

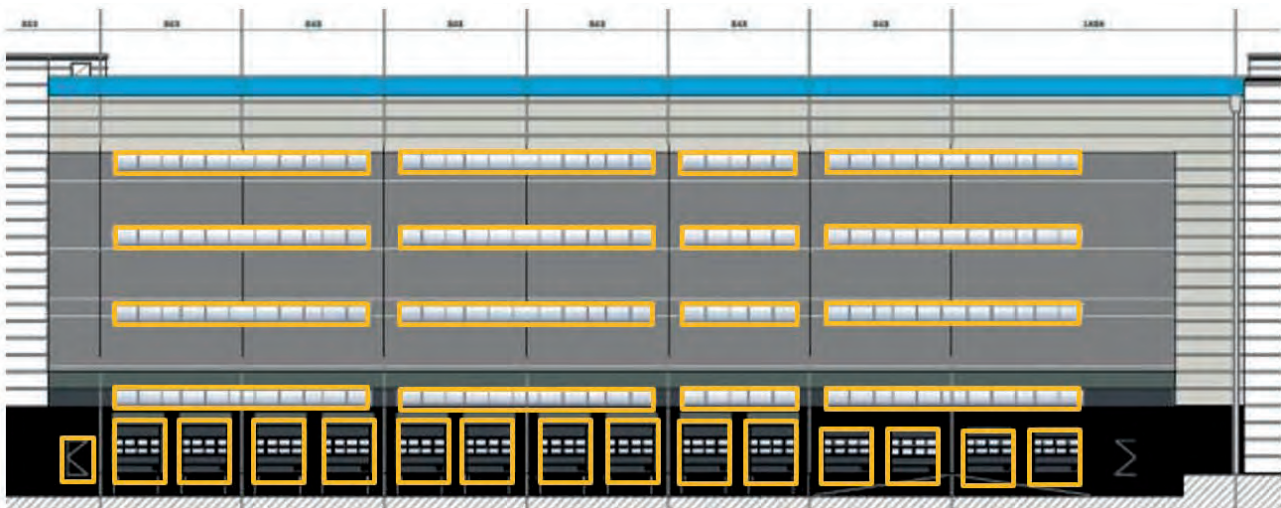
Questa modalità di verifica appare tuttavia più corretta in quanto il compartimento fonte dell'incendio (e quindi dell'irraggiamento) è unico (*warehouse*) e, pertanto, formalmente non si può suddividere ciascun prospetto in più piastre radianti.

Verifica della distanza di separazione - prospetto EST





PIANTA E PROSPETTO CON INDICAZIONE DELLA PIASTRA RADIANTE E DEI BERSAGLI



DETTAGLIO DELLA INDIVIDUAZIONE DEGLI ELEMENTI RADIANTI (LA PIASTRA RADIANTE È UNICA)

- Lunghezza ed altezza della piastra radiante in facciata: $B = 132,00$ m e $H = 19,10$ m
- S_{rad} superficie complessiva elementi radianti = $657,04$ m²
- S_{pr} superficie complessiva piastra radiante = $2521,20$ m²
- % di foratura della piastra radiante: $p = S_{rad} / S_{pr} = 657,04 / 2521,20 = 26,06$ %

Considerando i valori di cui alla tab. S.3-10 si osserva che, essendo $B = 132,00$ m, si è al di fuori dei range previsti nella citata tabella; in tali casi è necessario far ricorso alla *metodologia analitica*.
Peraltro, per $d_r > 2$ m la *metodologia tabellare* non conduce a valori conservativi.

In definitiva, la verifica della distanza di separazione, per il prospetto Est, viene eseguita considerando la dimensione della piastra radiante, ovvero 132,00 x 19,10 m.

Considerando il carico di incendio specifico maggiore di 1200 MJ/m² si utilizzerà E₁ = 149 kW/m²:

Verifica analitica della distanza di separazione		
Distanza dal bersaglio "d"	46,57	m
<i>Dimensioni della piastra radiante</i>		
B	132,00	m
H	19,10	m
<i>Calcolo del Fattore di vista</i>		
B	132,00	m
S _{pr}	2521,20	m ²
S _{rad}	2521,20	m ²
p	0,261	
H	19,10	m
X	0,37	
Y	0,20	
F ₂₋₁	0,09	
<i>Verifica della distanza di separazione</i>		
E ₁	149	kW/m ²
d _f	12,73	
ε _f	0,98	
Irraggiamento termico sul bersaglio	12,6	kW/m ²

Tale distanza di separazione, come detto, tenuto conto di quanto previsto al par. S.3.11.2, punto 4, ovvero che il compartimento retrostante la piastra radiante risulta dotato di misure di controllo dell'incendio di livello di prestazione V, si può dimezzare (23,29 m).

Il franco lungo il perimetro dell'edificio, nel punto più vicino, è superiore ai 60 m e, pertanto, la verifica è soddisfatta tranne che per le aree elettriche (Trafo 03 e gruppi elettrogeni) oggetto di verifiche più approfondite, tramite modellazioni FDS, che sono state omesse in questa sede.

Soluzione alternativa

La *soluzione alternativa* per la misura antincendio *Compartimentazione* prevede, come noto, che qualora la si voglia adottare per la valutazione del compartimento multipiano, sia necessario garantire la salvaguardia della vita degli occupanti impiegando i metodi di cui al Cap. M.3 (tab. S.3-2).

Oggetto della soluzione	Modalità progettuale
Caratteristiche dello spazio scoperto (§ S.3.5.1), del compartimento, del filtro (§ S.3.5.4), dell'ubicazione (§ S.3.9)	Si dimostri, anche con modelli analitici, che non avviene propagazione dell'incendio e dei suoi effetti nella configurazione considerata.
Compartimento a prova di fumo (§ S.15), filtro a prova di fumo (§ S.3.5.5), compartimentazione multipiano (§ S.3.6.2), comunicazioni (§ S.3.10)	Si dimostri che è comunque garantita la salvaguardia della vita degli occupanti (capitolo M.3) e, se applicabile, la protezione dei beni.
Distanza di separazione (§ S.3.8) e suo calcolo (§ S.3.11)	Si dimostri che è limitata la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti. Può essere applicata la stessa procedura analitica del paragrafo S.3.11.3, impiegando ad esempio il valore di E_{soglia} adeguato al bersaglio effettivamente esposto all'incendio, il fattore di vista F_{2-1} e la piastra radiante corrispondente alla reale configurazione geometrica, la potenza termica radiante E_1 riferita all'incendio naturale. Possono essere anche impiegati modelli numerici di simulazione dell'incendio, dei suoi effluenti e dell'irraggiamento.

TABELLA S.3-3: MODALITÀ PROGETTUALI PER SOLUZIONI ALTERNATIVE

Considerato che la *warehouse* è stata progettata, per ragioni di layout produttivo, come un unico grande compartimento multipiano, si adotta una *soluzione alternativa*, motivata dal superamento della massima quota dell'unico compartimento multipiano e del limite dimensionale di cui si è detto in precedenza.

Si segnala che nella tab. S.3-3 non sono presenti indicazioni relativamente agli altri punti che, nel caso in esame, richiedono il ricorso alla *soluzione alternativa*, ovvero:

- il S.3.4.1 punto 2, che richiede la suddivisione in compartimenti antincendio;
- il S.3.6.1 punto 3, che richiede una superficie massima per i compartimenti antincendio.

In ogni caso, si ritiene che le modalità progettuali indicate nella citata tabella costituiscano un utile riferimento anche per la progettazione della presente *soluzione alternativa*, poiché fanno riferimento agli obiettivi generali della prevenzione incendi, a quelli della misura antincendio S.3 e al metodo prestazionale di cui ai Capp. M. Come anticipato, le misure antincendio che concorrono all'efficacia della *soluzione alternativa* sono le seguenti:

- sistema automatico di controllo dell'incendio;
- sistema di evacuazione forzata fumo e calore in tutti i piani (verificato con la FSE).

entrambi con caratteristiche di *disponibilità superiore*.

Le verifiche effettuate con l'ingegneria antincendio hanno dimostrato in maniera quantitativa:

1. il rispetto delle soglie di prestazione per la sicurezza degli occupanti (cap. M.3, tabb. S.3.3 e S.8-3);
2. il rispetto delle soglie di prestazione per la sicurezza dei soccorritori (cap. M.3 e tab. S.8-3).

Inoltre, le misure di protezione attiva precedentemente citate permettono di limitare la propagazione dei fumi e del calore all'interno dell'attività.

Nei paragrafi seguenti si riporta la verifica dell'estensione dei fumi a seguito attivazione del SEFFC. La *soluzione alternativa* della misura S.8 è stata dimostrata con l'ingegneria antincendio, con l'obiettivo della verifica del soddisfacimento del criterio ASET/RSET per gli occupanti e delle soglie di prestazione per i soccorritori.

In aggiunta alle verifiche ASET/RSET e delle soglie dei soccorritori, si è altresì dimostrato che l'estensione dei fumi, dopo 30 min dall'innesco dell'incendio, non supera il limite definito dal Codice per la superficie dei compartimenti, pari a 16000 m² per il profilo di rischio R_{vita} A2 e quota massima dei piani inferiore a 24,00 m.



INDICAZIONE DEI DUE PIANI A QUOTA SUPERIORE A 12,00 M

Dalla sezione dell'edificio si deduce che sono presenti due piani a quota superiore a 12,00 m rispetto al piano di riferimento esterno:

- P3 (piano secondo a quota + 12,30 m);
- P4 (piano terzo a quota + 16,96 m).

Il piano terra (P1) non è al piano di campagna ma circa 1,20 m al di sopra di esso.

Identificazione dei possibili scenari di incendio

Al fine di individuare e selezionare gli scenari di incendio di progetto, da sottoporre a modellazione con FDS, sono state applicate le indicazioni della norma ISO 16733-1:2015 "Fire safety engineering - Selection of design fire scenarios and design fires. Part 1: Selection of design fire scenarios".

Non essendo, ovviamente, possibile analizzare tutti gli scenari di incendio che si possono verificare nell'attività, occorre operare una selezione degli stessi in modo da analizzare quelli più rappresentativi in termini di probabilità e di danni conseguenti.

La norma ISO 16733-1 indica *nove fasi* per una procedura sistematica di selezione degli scenari di incendio.

Selezione degli scenari di incendio – ISO 16733-1:2015	
Step 1	Identificazione delle sfide di sicurezza
Step 2	Ubicazione dell'incendio
Step 3	Tipologia dell'incendio
Step 4	Potenziati rischi complicanti che portano ad altri scenari di incendio
Step 5	Sistemi e altre caratteristiche che possono influire sull'incendio (vedi albero degli eventi)
Step 6	Azioni degli occupanti che possono influire sullo sviluppo dell'incendio
Step 7	Selezione degli scenari di incendio di progetto (vedi albero degli eventi)
Step 8	Modifica della selezione degli scenari in base all'affidabilità ed efficacia delle misure di protezione attiva (vedi albero dei guasti e albero degli eventi)
Step 9	Selezione finale degli scenari di incendio di progetto

Selezione degli scenari di incendio di progetto - UNI ISO/TR 13387-1

La procedura di selezione degli scenari di incendio di progetto è di tipo probabilistico come da indicazioni del punto 10 del Rapporto tecnico UNI ISO/TR 13387-1:2008 "Ingegneria della sicurezza antincendio - Parte 1: Applicazione dei concetti prestazionali antincendio nella definizione degli obiettivi di progetto".

Si veda, in proposito, anche la *Specifica tecnica* ISO/TS 16733:2006.

Prioritariamente, si procede alla quantificazione dell'incendio:

- a partire dall'innesco (mediante la valutazione delle statistiche ufficiali del C.N.VV.F. rapportate con l'ubicazione dei vari scenari e le caratteristiche del fabbricato e dei materiali in esso contenuti);
- considerando il suo successivo sviluppo (mediante le caratteristiche dei materiali interessati e della loro modalità di stoccaggio);
- tenendo conto delle azioni degli occupanti e delle squadre antincendio interne (mediante una stima soggettiva legata alle prestazioni della GSA di livello III);
- considerando l'intervento e l'efficacia delle misure di protezione attiva significative sullo sviluppo dell'incendio (mediante un albero dei guasti dell'impianto sprinkler);
- considerando l'intervento e l'efficacia delle misure di protezione attiva significative sulla propagazione dei fumi (mediante una stima soggettiva poi analizzata con apposite modellazioni di incendio con FDS).

In generale, si tratta di una combinazione tra metodi probabilistici (ad es.: per l'innesco e l'affidabilità dei sistemi di protezione) e deterministici (ad es.: per lo sviluppo dell'incendio tramite le curve HRR e gli effetti sulle persone tramite l'analisi delle soglie di prestazione previste dal Codice).

Sebbene siano stati predisposti l'albero dei guasti e l'albero degli eventi, ai fini della scelta degli scenari di incendio da sottoporre ad analisi quantitativa ai sensi del cap. M.2, non si ritiene utile basarsi sugli esatti valori numerici da essi ricavati, quanto piuttosto sull'andamento generale degli eventi.

Albero degli eventi - ISO/TR 13387-2

Un utile guida per la predisposizione dell'albero degli eventi è rappresentata dal Rapporto tecnico ISO/TR 13387-2, sebbene sia stata ritirato.

La Parte 2 della ISO/TR 13387 va applicata insieme alla Parte 1, illustrata in precedenza.

Lo scopo del Rapporto tecnico ISO è quello di fornire una guida per la selezione appropriata degli scenari di incendio in un progetto di prevenzione incendi.

Utilizzando i metodi di tale documento è stato sviluppato l'albero degli eventi, finalizzato alla selezione degli scenari di incendio di progetto, sottoposti ad analisi quantitativa.

L'albero degli eventi, che si riporta di seguito, rappresenta gli stati possibili dei fattori che sono ritenuti significativi nel processo di valutazione dei rischi di incendio in modo da giungere alla rappresentazione degli scenari di incendio.

Si inizia dalla causa dell'incendio (vedi successivo paragrafo "Statistica sulle tipologie di innesco") e si costruisce un diagramma "a forchetta" considerando tutti i fattori (eventi) prima citati (vedi successivo paragrafo "Probabilità dei singoli eventi").

Come indicato dallo stesso Rapporto tecnico ISO, non tutti gli scenari devono necessariamente essere quantificati poiché solo quelli più significativi saranno selezionati e sottoposti all'analisi quantitativa.

Probabilità dei singoli eventi

1	Tipo innesco
0,7370	Origine elettrica
0,2630	Cause accidentali
Fonte	<i>Annuario Statistico VV.F. 2019</i>
2	Tipologia area dove si sviluppa il focolare
0,6000	Area stoccaggio intensivo
0,2000	Area stoccaggio non intensivo
0,2000	Area lavorazione (movimentazione e confezionamento)
Fonte	<i>Valutazione in base al layout dell'attività</i>
3	Efficacia intervento squadra antincendio interna
0,7000	Efficace
0,3000	Non Efficace
Fonte	<i>Valutazione stimata in base al livello II della GSA</i>
4	Attivazione impianto sprinkler
0,9712	Attivazione
0,0288	Guasto
Fonte	<i>Albero dei guasti dell'impianto sprinkler</i>
5	Attivazione SEFC (prima il SEFFC, successivamente il SENFC)
0,9000	Attivazione
0,100	Guasto
Fonte	<i>Valutazione in base al progetto (attivazione automatica + manuale)</i>

Risk ranking

Scenario di incendio	prodotto probabilità x conseguenze [p x RHR _{max}]	Risk ranking	Scenari di incendio di progetto	Note e motivazioni esclusione scenario
SA1	541,13	2	nessuno	intervento manuale della squadra antincendio
SA2	60,13	4	nessuno	intervento manuale della squadra antincendio
SA3	32,09	9	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)
SA4	3,57	16	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)
SA5	1043,60	1	A2 A3	scenari con il massimo risk ranking
SA6	115,96	3	nessuno	non riportato poiché compreso in SA5
SA7	55,02	6	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)
SA8	6,11	12	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)
SA9	45,09	8	nessuno	intervento manuale della squadra antincendio
SA10	5,01	15	nessuno	intervento manuale della squadra antincendio
SA11	2,67	17	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)
SA12	0,30	18	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)
SA13	30,92	10	B21 B50	basso risk ranking ma grave pericolo per occupanti
SA14	5,58	14	C1	scenario modellato per motivi di completezza
SA15	57,31	5	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)
SA16	6,37	11	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)
SA17	45,09	7	nessuno	intervento manuale della squadra antincendio
SA18	5,01	15	nessuno	intervento manuale della squadra antincendio
SA19	2,67	17	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)
SA20	0,30	18	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)
SA21	54,11	6	A1 A4	risk ranking non alto ma potenziale pericolo per occupanti
SA22	6,01	13	nessuno	scenario con basso risk ranking
SA23	57,31	5	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)
SA24	6,37	11	nessuno	guasto sprinkler non considerato (RTO 2019)

Ordine attività	Tipologia area dove si sviluppa l'incendio	Efficacia intervento antincendio	Attivazione sistema	Mitigazione SEFC (prima SEFC, seconda SEFC, terza SEFC)	(p) totale	Velocità di crescita incendio	RHR _{max} (MW)	probabilità di occupazione	Risk ranking	Scenario di incendio di progetto	Ubicazione del locale	
02310	Area scoperta, antiradice	Efficacia intervento antincendio	Attivazione impianto sprinkler	Attivazione	0,2706	0,0000	0,0000	0,0000	SA1	NO		
				In questo caso non è necessario intervento dello sprinkler	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA2	NO		
				Guisce	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA3	NO		
				Attivazione	0,1189	0,0000	0,0000	0,0000	SA4	NO		
				In questo caso è necessario intervento dello sprinkler	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA5	NO		
				Guisce	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA6	NO		
				Attivazione	0,0902	0,0000	0,0000	0,0000	SA7	NO		
				In questo caso non è necessario intervento dello sprinkler	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA8	NO		
				Guisce	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA9	NO		
				Attivazione	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000	SA10	NO		
				Guisce	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA11	NO		
				02300	Area scoperta, con intervento manuale	Efficacia intervento antincendio	Attivazione	Attivazione	0,0397	0,0000	0,0000	0,0000
In questo caso non è necessario intervento dello sprinkler	0,0000	0,0000	0,0000					0,0000	SA13	NO		
Guisce	0,0000	0,0000	0,0000					0,0000	SA14	NO		
Attivazione	0,0043	0,0000	0,0000					0,0000	SA15	NO		
In questo caso non è necessario intervento dello sprinkler	0,0000	0,0000	0,0000					0,0000	SA16	NO		
Guisce	0,0000	0,0000	0,0000					0,0000	SA17	NO		
Attivazione	0,0902	0,0000	0,0000					0,0000	SA18	NO		
In questo caso non è necessario intervento dello sprinkler	0,0000	0,0000	0,0000					0,0000	SA19	NO		
Guisce	0,0000	0,0000	0,0000					0,0000	SA20	NO		
Attivazione	0,0100	0,0000	0,0000					0,0000	SA21	NO		
Guisce	0,0000	0,0000	0,0000					0,0000	SA22	NO		
02300	Area scoperta, con intervento manuale	Efficacia intervento antincendio	Attivazione					Attivazione	0,0397	0,0000	0,0000	0,0000
				In questo caso non è necessario intervento dello sprinkler	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA24	NO		
				Guisce	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA25	NO		
				Attivazione	0,0043	0,0000	0,0000	0,0000	SA26	NO		
				In questo caso non è necessario intervento dello sprinkler	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA27	NO		
				Guisce	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA28	NO		
				Attivazione	0,0902	0,0000	0,0000	0,0000	SA29	NO		
				In questo caso non è necessario intervento dello sprinkler	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA30	NO		
				Guisce	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA31	NO		
				Attivazione	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000	SA32	NO		
				Guisce	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SA33	NO		

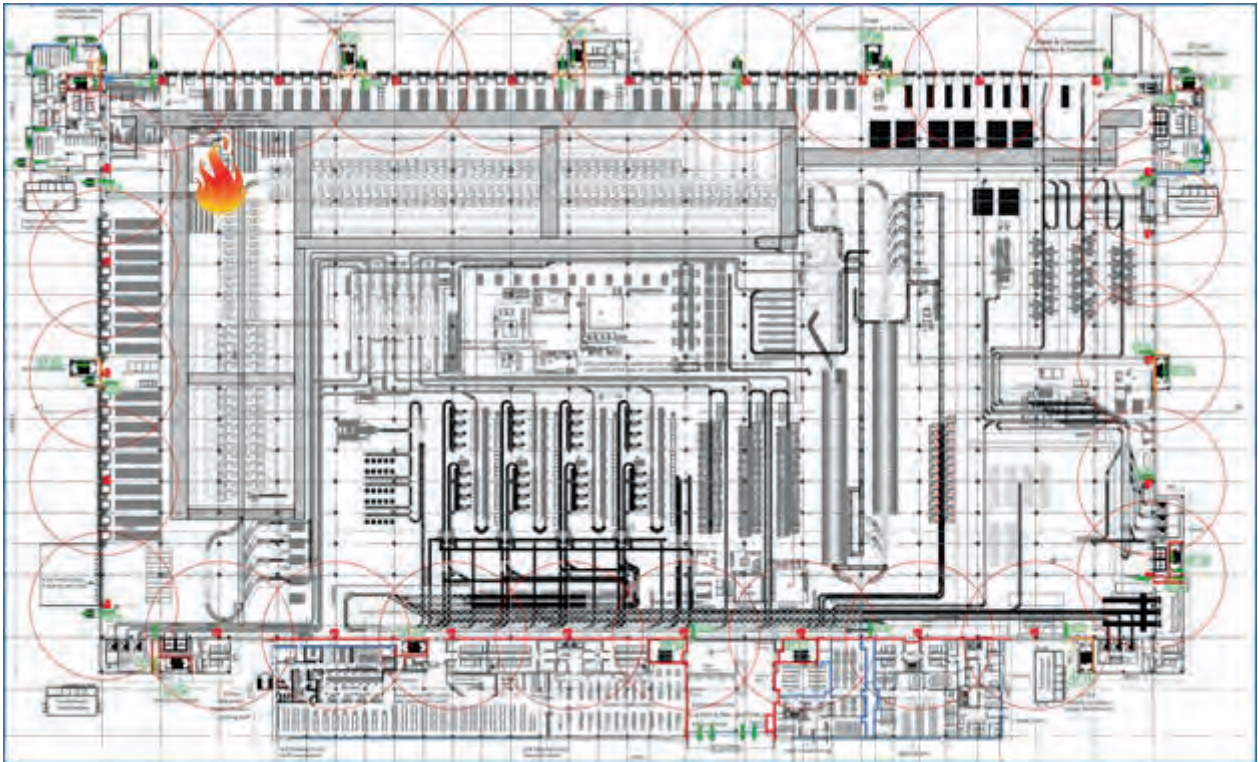
Scenari di incendio di progetto - piano terra della warehouse

Al piano terra sono stati modellati (fase quantitativa) molteplici scenari di incendio; di seguito si illustra, per gli scopi della presente pubblicazione, solamente lo scenario SA1.

SA1: area "pallet receive" con incendio di merce a terra (curva HRR fast)

La scelta di tale scenario è giustificata dal fatto che esso interessa un'area con elevato affollamento e un eventuale focolare in loco, può pregiudicare l'utilizzo della scala e delle uscite ivi situate.

La posizione angolare del focolare può interessare la sicurezza dei lavoratori in maniera più rapida, rispetto alle altre posizioni, poiché la conformazione del layout aziendale prevede il posizionamento delle postazioni di lavoro proprio nella fascia perimetrale di ciascuno dei piani superiori, dal primo al terzo.



POSIZIONE DEL FOCOLARE DI INCENDIO NELLO SCENARIO SA1



SEZIONE DELL'EDIFICIO E PIANO INTERESSATO DAL FOCOLARE DI INCENDIO NELLO SCENARIO SA1

Scenario di incendio di progetto SA1 - Descrizione	
Caratteristica	Impostazioni dello scenario
Sorgente di innesco	Merce stoccata a terra nell'area "pallet receive"
Velocità di crescita della curva HRR	<i>fast</i> (1 MW in 150 s)
Tipo di curva HRR	Tagliata dall'impianto sprinkler
HRR _{max}	4 MW (taglio a 300 s)
Produzione di fumo	Y _{soot} 0,059 kg/kg
Sistema di estinzione automatico	Impianto sprinkler CMDA funzionante (T _a = 74°C)
SEFFC	Sistema funzionante (parte a 270 s, a regime a 300 s)
n. occupanti al piano	[(482 * 2) + 9 ³⁰] = 973

Scenari fast piano terra - Tempistiche	
Fenomeno	Tempo dopo inizio incendio (s)
Inizio incendio	0
Rivelazione incendio (t _{det})	60
Intervento prima testina sprinkler	147
Inizio esodo occupanti vicini al focolare	150 (tempo di pre-evacuazione)
Allarme generale	240
Avvio ventilatori del SEFFC in sequenza	270
Inizio esodo altri occupanti	270 - 330 (tempo di pre-evacuazione)
Taglio della curva HRR	300 (4 MW)
SEFFC a regime	300
RSET del piano tipo	400
Verifica ASET	480

Scenario di incendio di progetto SA1 - Risultati	
Caratteristica	Impostazioni dello scenario
n° uscite indisponibili per l'esodo entro RSET	2/21
n° entrate indisponibili per i VV.F. dopo 30 min	nessuna
RSET del piano terra	424 s
ASET del piano terra	> 1800 s

Si segnala che le modellazioni CFD di incendio sono state sviluppate adottando una curva di crescita *fast* (corrispondente al profilo di rischio R_{vita} A3) e, in alcuni scenari inerenti aree di stoccaggio, anche *ultrafast* poiché:

- il profilo di rischio R_{vita}, che è funzionale alla determinazione dei livelli di prestazione, tiene conto della riduzione degli effetti dell'incendio grazie all'impianto di controllo o estinzione automatico;
- la curva di incendio nelle modellazioni CFD è invece quella realistica, ovvero con una fase di crescita rapida (o ultrarapida) in funzione delle caratteristiche reali dei materiali combustibili presenti, anche se con un taglio del valore della potenza termica HRR a seguito dell'intervento del sistema automatico di estinzione (par. M.2.6.2).

La riduzione della curva HRR, garantita dal sistema sprinkler, è stata appositamente valutata in maniera quantitativa, tenendo conto che il Codice permette non solo di mantenere costante la potenza termica del focolare, a partire dall'istante in cui entra in funzione l'impianto (come nel caso dello sprinkler tradizionale) ma, addirittura, di impostare una fase di decrescita della HRR in quanto il CMDA è un impianto sprinkler con prestazioni superiori a quello europeo tradizionale.

Le predette modellazioni, pertanto, in favore di sicurezza, hanno tenuto conto solo del taglio della curva, senza considerare la riduzione del profilo di rischio R_{vita}.

³⁰ Sono presenti 9 occupanti sui soppalchi, anch'essi potenzialmente interessati dai fumi dell'incendio

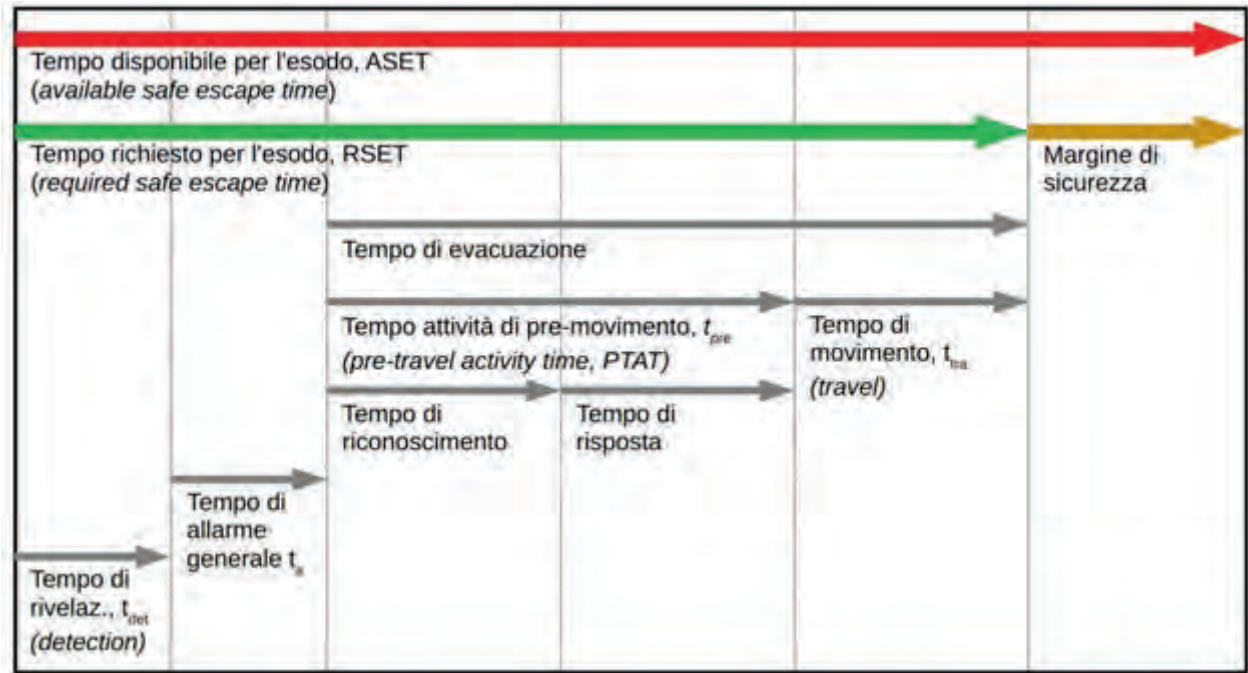
Critério utilizzato per le verifiche con la Fire Safety Engineering

Il criterio adottato nelle verifiche della sicurezza delle persone è quello descritto nel cap. M.3, ovvero:

$$t_{\text{marg}} = \text{ASET} - \text{RSET}$$

Di seguito si riportano nel dettaglio le analisi FSE effettuate, per dimostrare che:

- la sicurezza degli occupanti è garantita dalla sinergia delle misure attive previste, ovvero l'impianto sprinkler ed il SEFFC, valutata nei primi minuti dell'incendio, fino al completamento dell'esodo degli occupanti (considerando un notevole margine di sicurezza);
- la sicurezza dei soccorritori è garantita dalle stesse misure di protezione attiva e sarà valutata dopo 30 min di incendio (durata delle simulazioni).



CONFRONTO TRE ASET ED RSET - ILLUSTRAZIONE M.3-1

Come noto, il tempo necessario per l'esodo (RSET) è composto da quattro tempi, così come definito al par. M.3.4:

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

dove:

- t_{det} : *detection time* (tempo di rivelazione); tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio;
- t_a : *alarm time* (tempo di allarme); tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, dell'allarme generale;
- t_{pre} : *pre-travel activity time, PTAT* (tempo di pre-movimento); tempo necessario agli occupanti per svolgere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio verso un luogo sicuro;
- t_{tra} : *travel time* (tempo di percorrenza); tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento.

Nel caso in esame:

- t_{det} : *detection time* è stato valutato mediante simulazioni FDS;
- t_a : *alarm time* e t_{pre} : *pre-travel activity time, PTAT* sono stati valutati secondo ISO/TR 1638;
- t_{tra} : *travel time* è stato valutato mediante simulazioni d'esodo.

Identificazione degli obiettivi

È stata analizzata la possibilità da parte di tutti gli occupanti all'interno dell'attività in esame, di raggiungere o permanere in un luogo sicuro, senza che tale necessità sia impedita dai prodotti della combustione. Il luogo sicuro è costituito dagli spazi esterni (verifiche al piano terra P1) o dalle scale protette e di tipo esterno (verifiche al piano tipo P2, P3, P4). Inoltre è stato anche verificato che le operazioni dei soccorritori possano svolgersi in sicurezza, secondo quanto previsto dalla tab. M.3-2.

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 min
		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*.

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

Soglie di prestazione per gli occupanti

Le soglie di prestazione per la sicurezza degli occupanti sono state verificate al tempo $RSET + 10\%$, ai fini della verifica: $ASET > RSET + t_{\text{marg}}$.

Il valore di ASET e di RSET è stato determinato con i metodi dell'ingegneria antincendio.

Il margine è risultato sempre ben superiore al 10% minimo previsto.

Soglie di prestazione per i soccorritori

Il responsabile dell'attività garantisce la presenza di addetti antincendio.

Ai fini della tab. M.3-2, 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, come indicato dalle tabb. M.3-2 e M.3-3.

Inoltre, secondo l'annuario statistico del C.N.VV.F. del 2019 (dati del 2018), il tempo medio di arrivo dei VV.F. in provincia di Ascoli Piceno (ubicazione dell'edificio oggetto del caso studio) è pari a 16,7 min ma le verifiche sono state condotte a 30 min, quindi ampiamente in favore di sicurezza ($30 > 16,7 + 5 = 22$ min), vedi par. M.2.5 e tab. M.2-1.

Regione	Provincia	Tempi Medi in minuti di Arrivo sul luogo dell'intervento (uscita sede - arrivo sul luogo)				Durate medie in minuti degli interventi di soccorso (inizio-chiusura operazioni)			
		2018	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)	2018	Media (*)	Var % (**)	Var % (***)
MARCHE	ANCONA	16,1	13,2	21,3%	11,9%	45,6	41,4	10,3%	12,6%
	ASCOLI PICENO	16,7	15,8	5,6%	-15,2%	47,7	49,3	-3,1%	-40,6%
	MACERATA	16,6	15,3	9,0%	17,5%	47,1	45,3	3,9%	-26,3%
	PESARO	14,8	13,1	12,4%	1,9%	39,2	40,9	-4,1%	-7,6%

TEMPO MEDIO DI ARRIVO E DURATA INTERVENTO OPERATIVO DEI VV.F. (MIN)

Obiettivo di sicurezza antincendio	Durata minima degli scenari d'incendio di progetto
Salvaguardia della vita degli occupanti	Dall'evento Inziatore 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 Inziatore 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

Durata degli scenari di incendio di progetto

Tutti gli scenari di incendio di progetto sono stati condotti con una durata di almeno 30 min, sufficienti all'analisi della sicurezza degli occupanti (riferimento al tempo RSET, inferiore a 10 min) e dei soccorritori (arrivo in sito dopo 22 min, come indicato al par. M.2.5 e in tab. M.2-1).

Per gli scenari di incendio analizzati è stata considerata la seguente tipologia di rilascio termico in funzione della densità di merce presente:

- incendio nelle aree di processo: tasso di crescita di tipo quadratico *fast* con $t\alpha = 150$ s;
- incendio nelle aree di stoccaggio: tasso di crescita di tipo quadratico *ultrafast* con $t\alpha = 75$ s.

Come anticipato, in considerazione della presenza dell'impianto sprinkler CMDA, la potenza termica del focolare di progetto, che normalmente raggiungerebbe anche le decine di MW, si attesta al valore raggiunto al momento in cui interviene l'impianto.

Curva di crescita dell'incendio

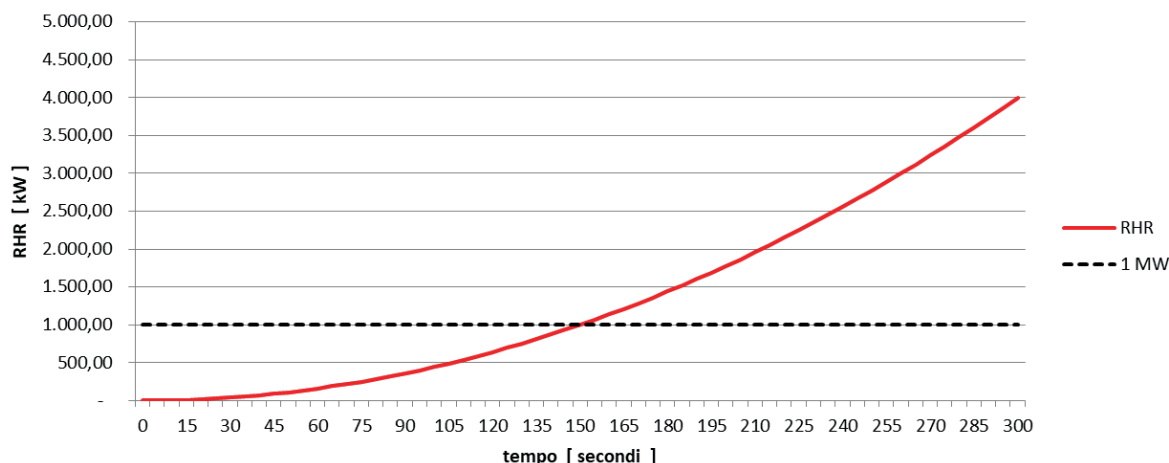


GRAFICO DELLA CURVA HRR FAST - DETTAGLIO DEI PRIMI 300 S

La curva HRR adottata, $[HRR = \alpha \cdot t^2]$ è di tipo *fast*, con:

- velocità caratteristica di crescita dell'incendio = 150 s;
- $\alpha = 0,0444$.

Dopo 150 s dall'innesco, la potenza HRR raggiungerebbe il valore di 1 MW, a meno che l'impianto sprinkler non si attivi prima; la crescita della potenza termica permane quindi di tipo quadratico, fino al momento in cui si attiva l'impianto sprinkler.

Il taglio della curva è stato impostato, in favore di sicurezza, dopo ulteriori "n" secondi con tale valore descritto in ogni singolo scenario di incendio.

Successivamente la potenza termica resta costante, secondo il valore ricavato da FDS, fino alla durata complessiva di 30 min, tempo superiore al RSET e funzionale alle verifiche di progetto.

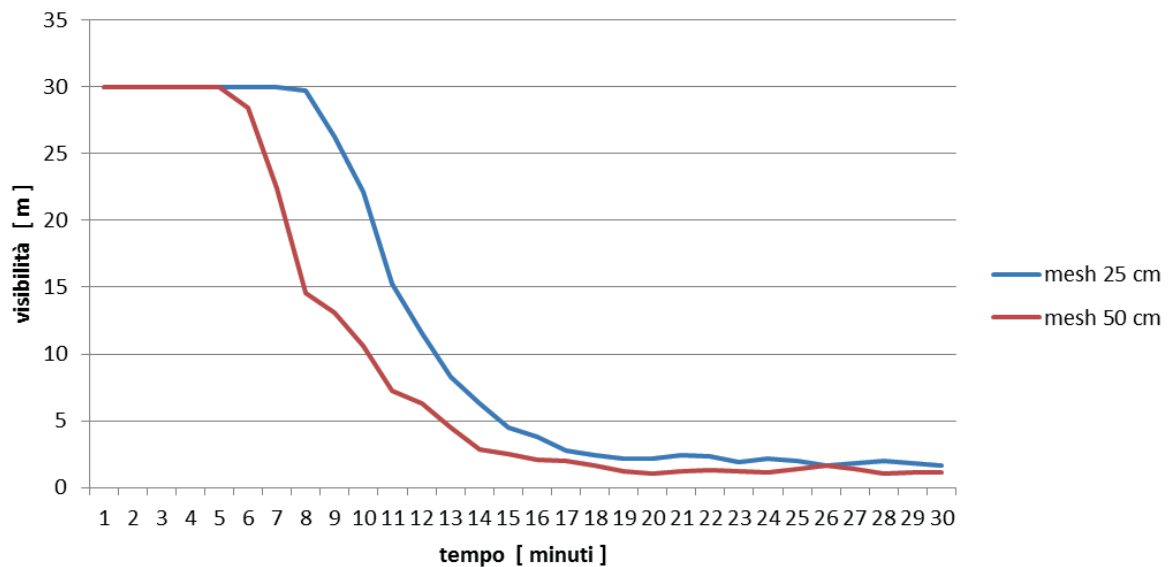
Analisi di sensitività della mesh

Sono state condotte alcune verifiche di sensitività del modello, al fine di tararlo in funzione degli obiettivi di progetto, considerando:

- il comportamento al fuoco dei materiali;
- la propagazione del fuoco tra i materiali depositati;
- gli impianti di ventilazione meccanica;
- la misura di sonde e livelli in FDS.

Dalle verifiche è risultata adeguata una dimensione di 50 cm per le celle costituenti le mesh del dominio computazionale, in quanto le simulazioni con mesh più fitte (notevolmente più onerose in termini di capacità e tempi di calcolo) portavano a risultati migliori e, pertanto, la mesh da 50 cm risulta a favore di sicurezza.

Come evidenziato nel grafico seguente, le mesh più fitte consentono di modellare meglio le prestazioni del SEFFC, che infatti risultano superiori, a parità di impostazioni del modello, rispetto a tutti gli scenari modellati con celle da 50 cm, per cui tutti i risultati ottenuti sono in favore di sicurezza.

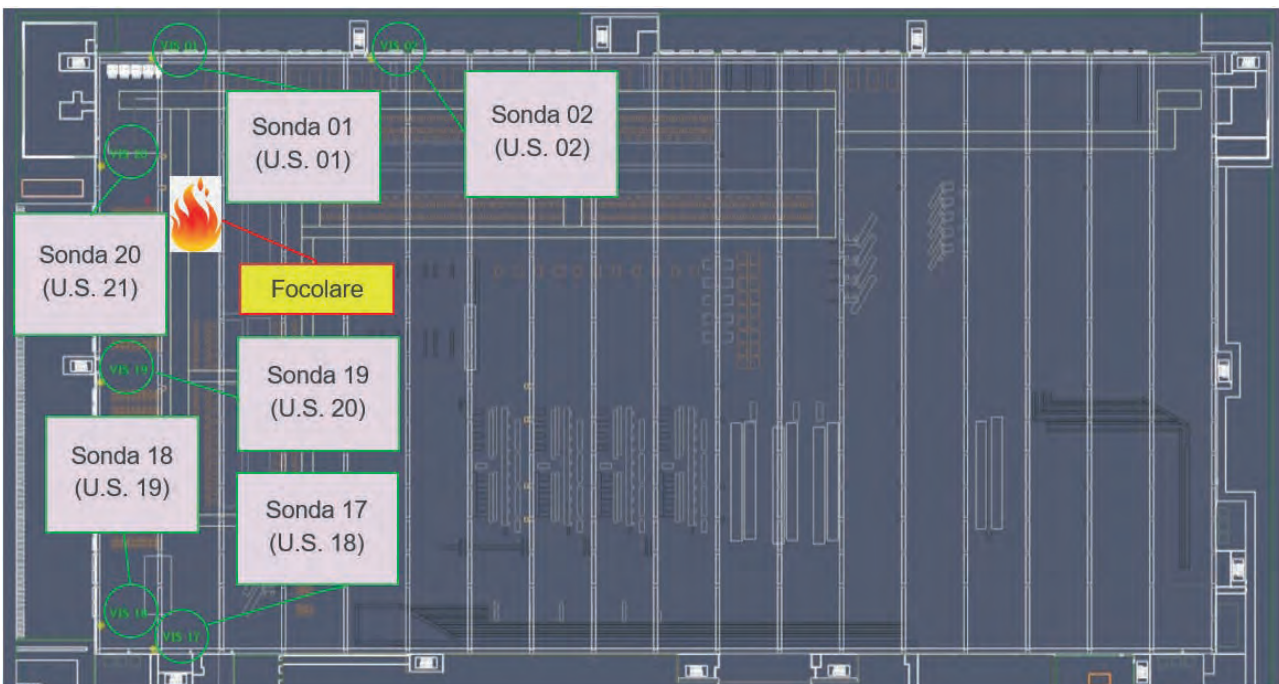


ESEMPIO DI UN'ANALISI DI SENSITIVITÀ DELLE SONDE DI VISIBILITÀ

Verifica della sicurezza delle scale

Rispetto allo standard delle verifiche effettuate con la FDS, si è ritenuto utile anche verificare che i fumi non penetrino nelle scale di esodo (di tipo protetto), per cui è stata appositamente verificata l'altezza dei fumi nelle zone antistanti ogni uscita di piano, per dimostrare che questa si mantenga al di sopra dei 2,00 m e quindi i fumi non attraversino le porte di uscita durante il tempo di esodo.

Questa verifica è stata effettuata inserendo in FDS degli appositi "layers", che misurano l'andamento nel tempo della quota di interfaccia tra strato superiore dei fumi e strato inferiore di aria, in analogia a quanto viene fornito dai software a zone, come CFAST.



POSIZIONE DELLE SONDE PER LA VERIFICA DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE

Verifiche nello scenario di incendio di progetto SA1

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa del RSET per lo scenario analizzato:

Parametro	Occupanti vicino al focolare (s)	Altri occupanti (s)
Tempo di rivelazione t_{det}	60	60
Tempo di allarme generale t_a	60	180
Tempo di pre-movimento t_{pre}	30	30 - 90
Tempo di movimento t_{tra}	Dipende dal singolo occupante	
RSET del piano terra	424	
RSET del piano tipo	400	

Si considera un margine di sicurezza pari al 10% di RSET (par. M.3.2.2), ulteriormente incrementato arrotondandolo per eccesso.

Sebbene dalle risultanze si osserva che il margine è superiore al 10% di RSET, si ritiene di poter adottare tale percentuale poiché sono state già adottate altre diverse cautele nella progettazione con FSE, in particolare:

- raddoppio del numero di occupanti effettivo, come se fossero presenti tutti i lavoratori di due turni consecutivi, tutti posizionati nelle varie postazioni di lavoro come descritto ai paragrafi precedenti;
- margine di sicurezza relativo al tempo di taglio della curva HRR in base all'attivazione dello sprinkler;
- assenza di intervento manuale con idranti o estintori, seppur siano presenti in loco tali dispositivi ed il personale sia formato e addestrato al loro utilizzo;
- riduzione della velocità di esodo, considerando 1,0 m/s anziché 1,19 m/s come da rapporto tecnico TR/ ISO 16738;
- eliminazione di tutte le uscite che non soddisfano la soglia di prestazione della visibilità, sebbene siano più vicine al focolare e quindi potrebbero essere utilizzate nella realtà.

Margine di sicurezza piano terra	> 56 s
Margine di sicurezza piano tipo	> 80 s

In base a queste considerazioni, la verifica del parametro ASET è stata effettuata a:

Livello	RSET (s)	RSET+10% (s)	ASET (s)
Piano terra	424	424 + 43 = 467	> 480
Piano tipo	400	400 + 40 = 440	> 480

La verifica di ASET quindi viene condotta a 480 s, che corrispondono a 8 min; si segnala tuttavia che, come evidenziato dagli output ottenuti, ASET risulta molto superiore al valore di 8 min che sarebbe strettamente necessario in questa configurazione:

Valore minimo richiesto per ASET: 8 min
 Valore calcolato per ASET: > 30 min

Risultati delle verifiche effettuate

Dalle simulazioni di incendio condotte, con il software FDS, sono stati ricavati i grafici delle varie grandezze necessarie per la verifica delle soglie di prestazione, delle quali si riportano di seguito alcuni esempi.

Considerazioni sulle soglie di prestazione

Dall'esame dei grafici è risultato evidente che l'unico parametro che scende al di sotto della soglia di prestazione è la visibilità.

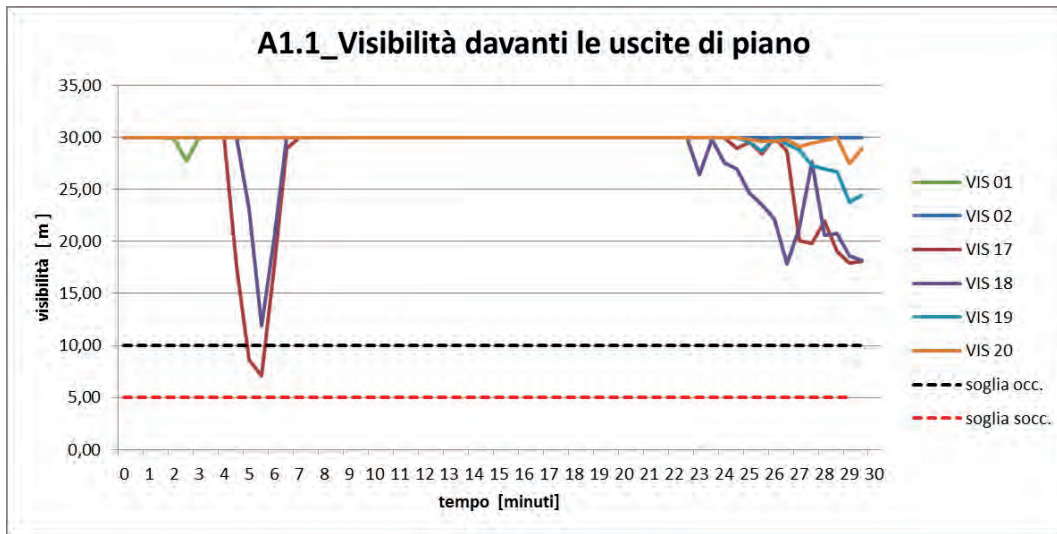
Tale parametro scende al di sotto dei 10 m solo in corrispondenza di alcune delle uscite di piano, per cui tali uscite non vengono utilizzate dagli occupanti, nelle modellazioni di esodo.

La modellazione dell'esodo ha permesso inoltre di misurare le soglie di prestazione degli ultimi occupanti che lasciano il piano e raggiungono le vie di esodo verticali o le uscite finali.

Risulta evidente il rispetto delle soglie di prestazione per tutti gli occupanti presenti al piano, per l'intera durata dell'esodo.

Di seguito vengono riportate alcune immagini di dettaglio atte ad illustrare quanto sopra.

Verifica della sicurezza degli occupanti - visibilità

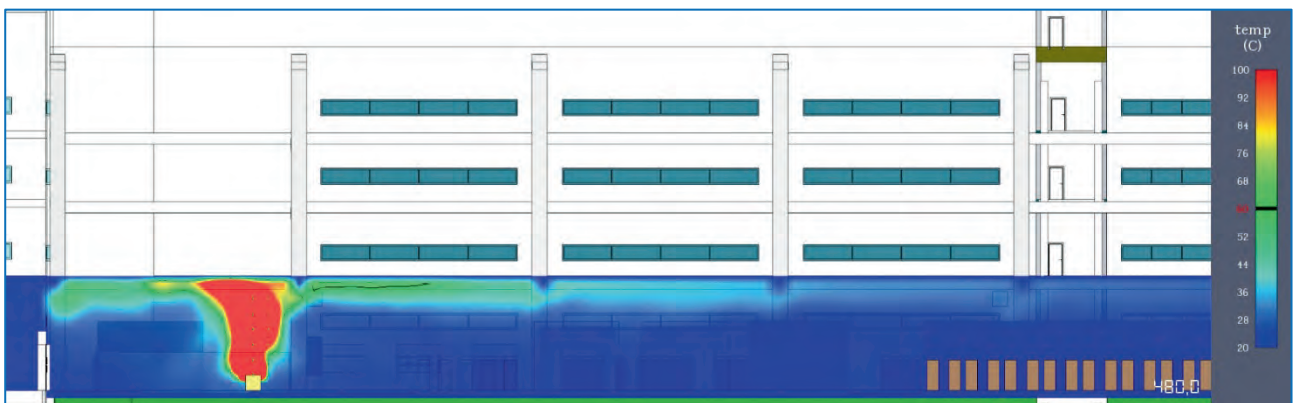


VERIFICA DELLA VISIBILITÀ DAVANTI ALLE USCITE DI PIANO

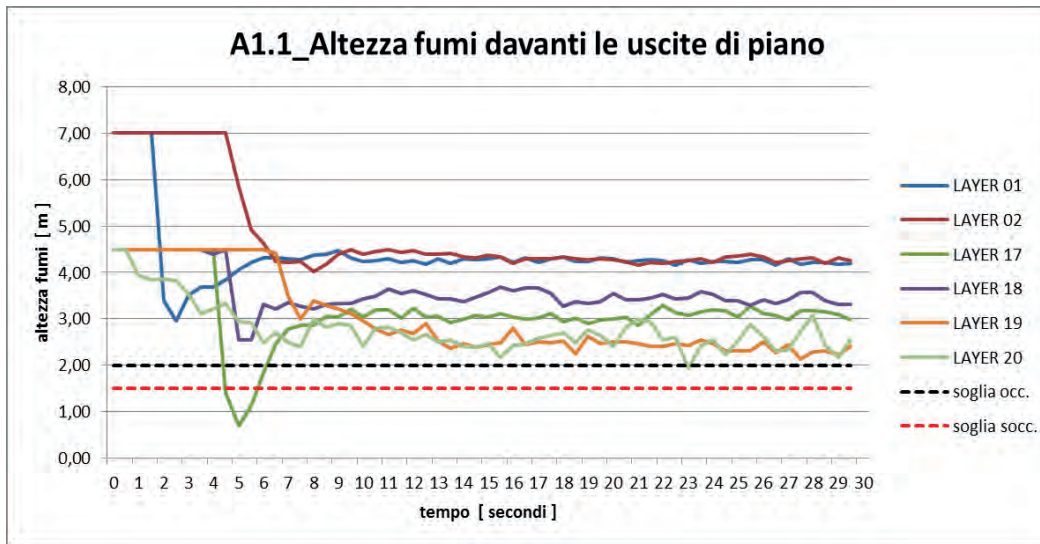
Altezza dei fumi dopo 4 e 8 min



ALTEZZA DEI FUMI DOPO 4 MIN

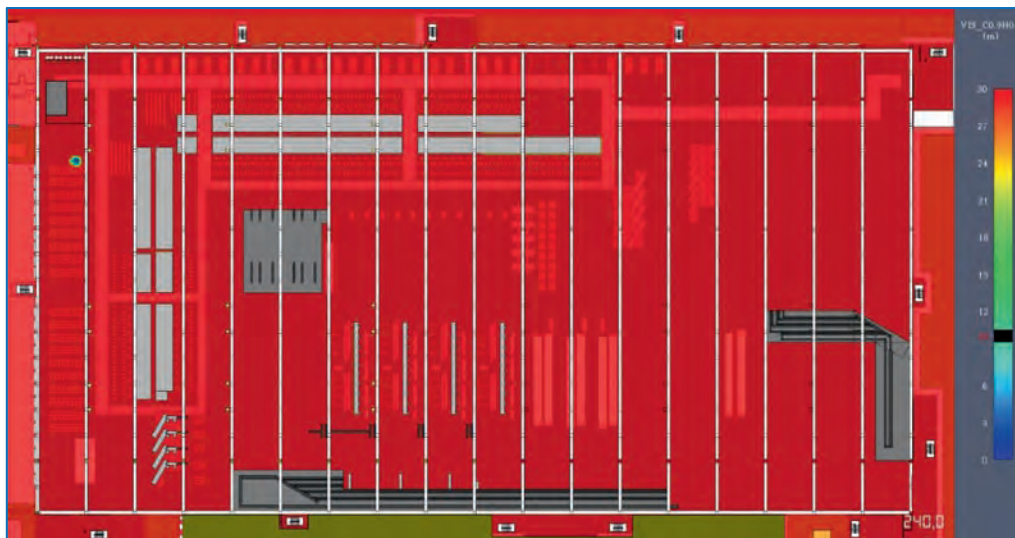


ALTEZZA DEI FUMI DOPO 8 MIN

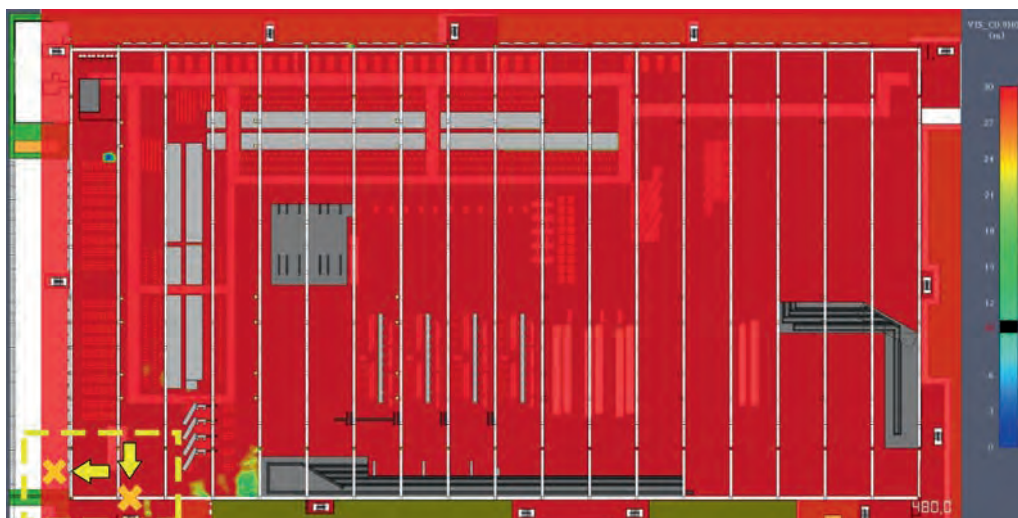


VERIFICA DELLA QUOTA DEI FUMI, RISPETTO AL PAVIMENTO, DAVANTI ALLE USCITE DI PIANO

Distribuzione della visibilità nel piano dopo 4 e 8 min



PIANTA DELLA VISIBILITÀ DOPO 4 MIN



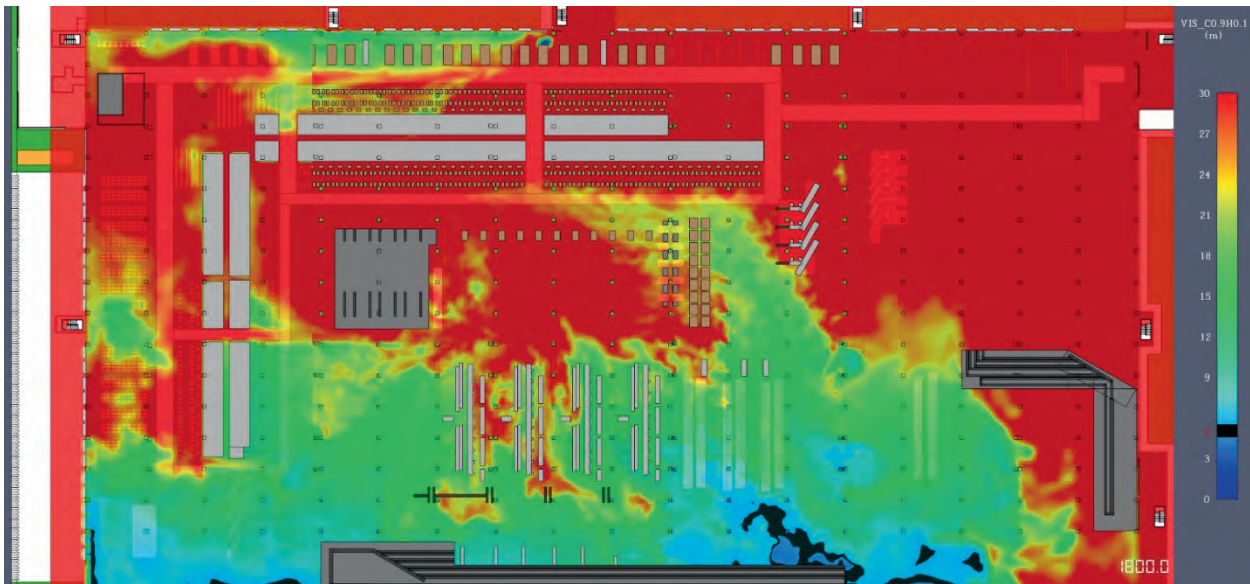
PIANTA DELLA VISIBILITÀ DOPO 8 MIN

Risulta evidente che la visibilità scende solo davanti alle uscite 18 e 19.

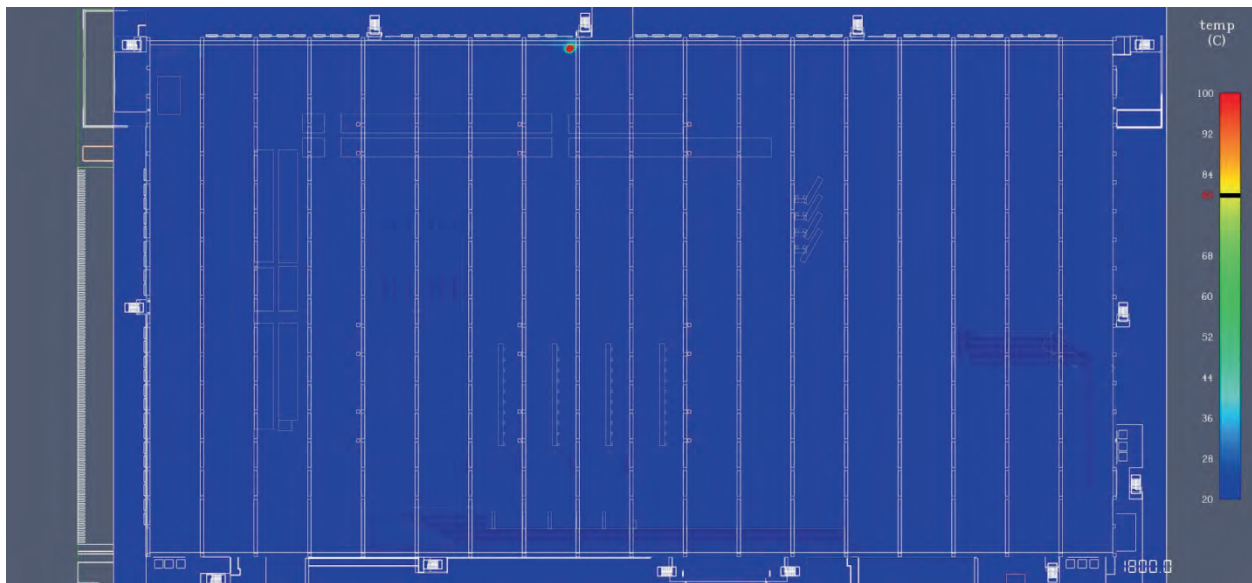
Verifica delle soglie di prestazione dei soccorritori

Di seguito si riportano due immagini rappresentative, di visibilità e temperatura ad altezza d'uomo, mentre successivamente è descritta dettagliatamente la misurazione delle soglie di prestazione dei soccorritori dopo 30 min.

Si desume che dopo 30 min sono disponibili, per l'accesso al piano, più di 3 lati su 4 del fabbricato.



VISIBILITÀ DOPO 30 MIN



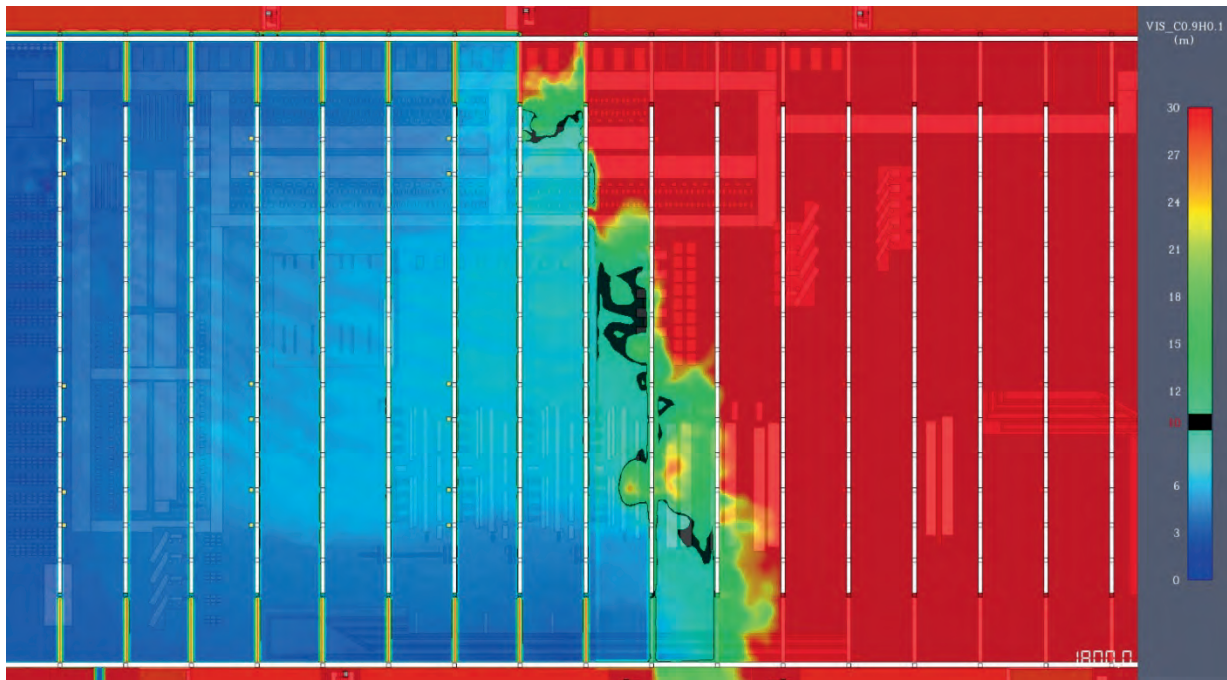
TEMPERATURA DOPO 30 MIN

Verifica della propagazione dei fumi

Questa verifica ha come obiettivo la dimostrazione che, grazie al SEFFC previsto in progetto, dopo 30 min dall'inizio dell'incendio, l'estensione dei fumi non è tale da interessare l'intera superficie del piano.

Questa dimostrazione contribuisce alla *soluzione alternativa* per la misura S.3, ovvero la superficie del compartimento, pur essendo superiore al limite della tab. S.3-6 (pari a 16000 mq per il R_{vita} A2) ed i fumi sono estesi ad una superficie superiore a questo limite, ciò non comporta rischi per la sicurezza di occupanti e soccorritori come descritto nei paragrafi precedenti.

L'estensione dei fumi a soffitto dopo 30 min è pari a circa 23000 m² (> 16000 m²).



DISTRIBUZIONE DEI FUMI A SOFFITTO (NON AD ALTEZZA D'UOMO) DOPO 30 MIN

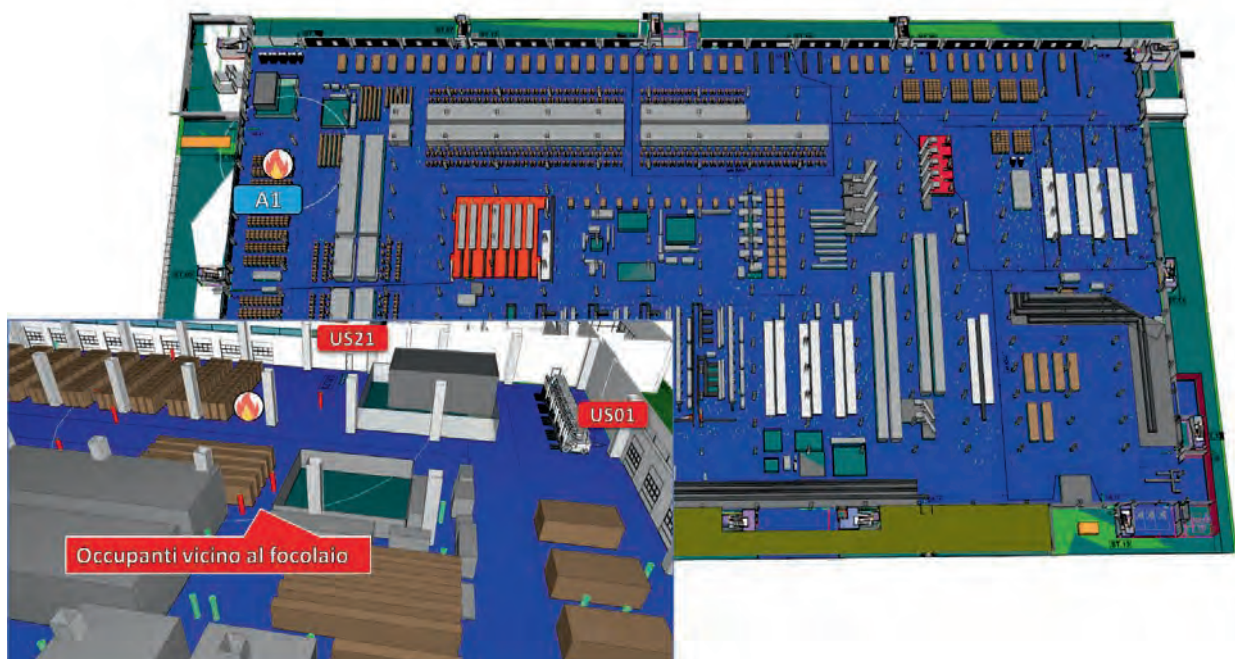
Verifica dell'esodo per lo scenario SA1

Descrizione dello scenario

Lo scenario denominato SA1 riguarda l'ipotesi di un incendio di merce che si sviluppa in prossimità dell'uscita di sicurezza US21 nell'area "Pallet Receive".

Come tutti gli scenari preceduti dalle lettere "SA", anch'esso fa riferimento ad un incendio ubicato al piano L0. Sulla base della configurazione prevista dalla omonima modellazione di incendio (SA1), si è sviluppata la simulazione di esodo.

Di seguito si riporta una serie di immagini del modello in cui sono identificate la posizione del focolaio e gli occupanti in prossimità del focolaio (in rosso gli utenti caratterizzati dal *behaviour* "near fire", ovvero nel raggio di 20 m) che si possono accorgere dell'incendio anche in modo autonomo, precoce e indipendente dall'intervento dell'IRAI.



Informazioni scenario di esodo e uscite indisponibili

Di seguito vengono mostrate le condizioni al contorno inerenti alle modalità di esodo dello scenario SA1. Nella tabella seguente sono mostrate le uscite interessate dall'evento e, in particolare, è indicato l'istante in cui le condizioni, in adiacenza di ciascuna di esse, diventano incapacitanti (la visibilità scende al di sotto della soglia di 10 m prevista dal Cap. M.3).

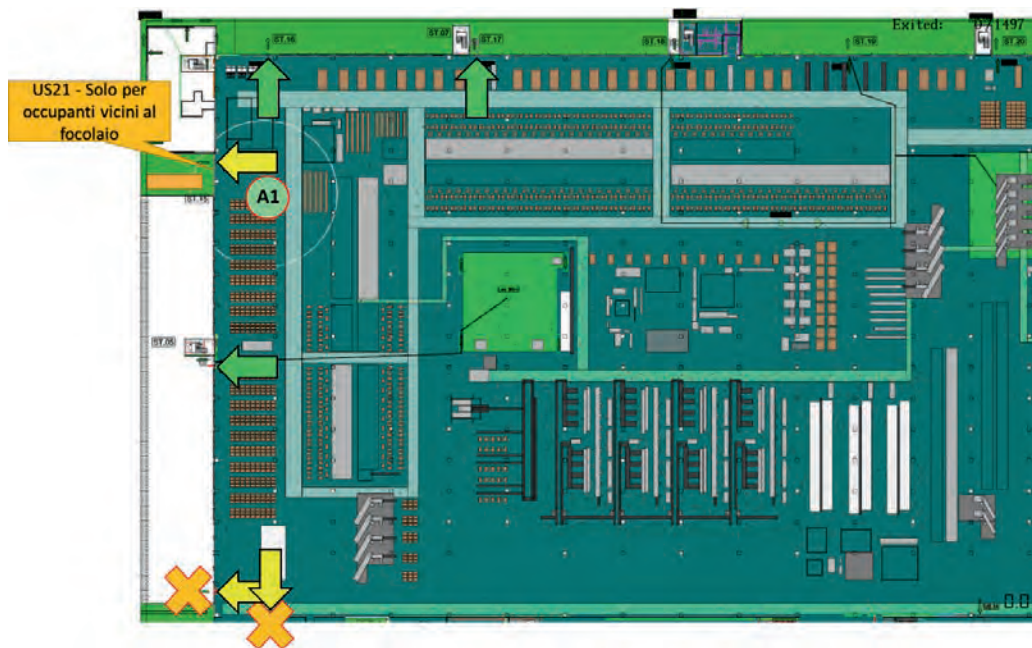
La verifica è stata effettuata nelle condizioni più sfavorevoli, ovvero l'esodo è stato modellato rendendo indisponibile fin dal primo istante la US18 e la US19.

Come si evince dai valori riportati nella tabella sottostante, non vengono mai raggiunti valori critici di visibilità in prossimità della US21, tuttavia è stata resa disponibile solamente agli occupanti vicini all'incendio (e quindi in grado di muoversi in tempi ridotti) poiché ubicata nelle immediate vicinanze della posizione del focolaio.

Gli occupanti lontani dall'incendio che avrebbero quindi impiegato tale uscita di sicurezza sono stati necessariamente dirottati verso le altre uscite più vicine.

In questo modo si utilizza nella modalità più realistica ed efficace il software Pathfinder che, autonomamente, non considera la scelta del percorso di esodo di ciascun occupante in relazione ai parametri misurati da FDS (per esempio la visibilità), al contrario di altri software come "FDS+EVAC", per cui è lo stesso progettista a individuare le vie di esodo sicure sulla base dei risultati di FDS ed impone i percorsi di esodo per i singoli occupanti o gruppi.

Analisi della fruibilità delle uscite di piano e degli accessi dei VV.F.					
SONDA	USCITA	ASET (min)	RSET USCITA (min)	UTILIZZO NELLE SIMULAZIONI DI ESODO	UTILIZZO PER ACCESSO VV.F.
		Scenario SA1			
VIS 01 LAYER 01	U.S. 01	> 30	5:56	SI	SI
VIS 02 LAYER 02	U.S. 02	> 30	6:48	SI	SI
VIS 20 LAYER 20	U.S. 21	> 30	3:11	Solo occupanti vicini	SI
VIS 19 LAYER 19	U.S. 20	> 30	6:59	SI	SI
VIS 18 LAYER 18	U.S. 19	5:30	/	NO	SI
VIS 17 LAYER 17	U.S. 18	4:53	/	NO	SI



USCITE DI SICUREZZA DISPONIBILI PER L'ESODO NELLO SCENARIO SA1 (SONO INDICATE SOLO QUELLE PIÙ VICINE)

Il grafico seguente riporta il tempo totale di “svuotamento” dell’edificio, ovvero il calcolo dell’istante in corrispondenza del quale l’ultimo occupante ha abbandonato il compartimento (*Warehouse*): questo valore è definito “RSET del piano”; per lo scenario SA1 esso risulta pari a 424 s.

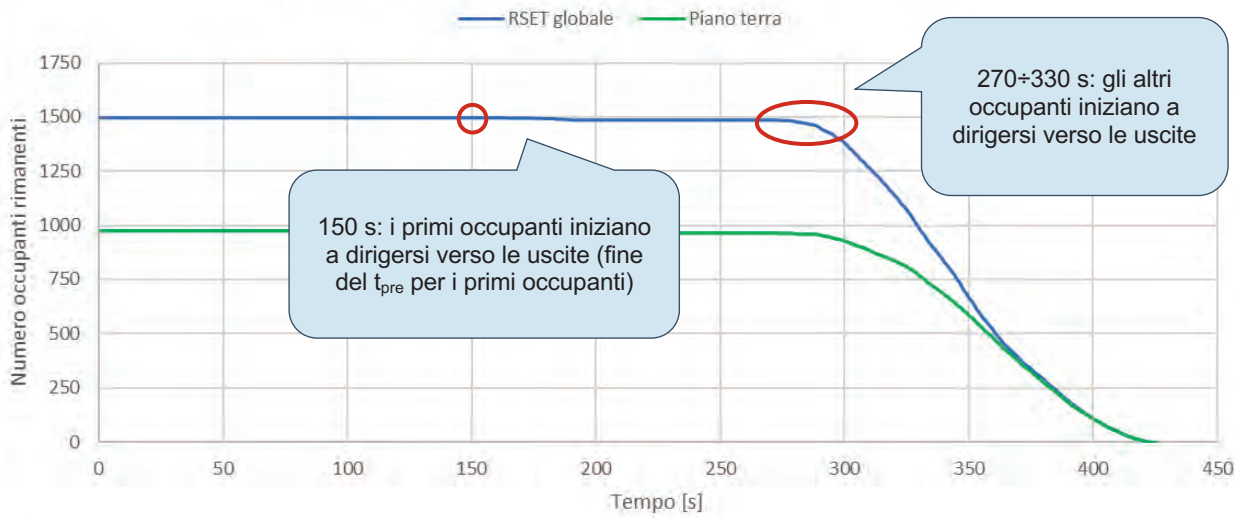
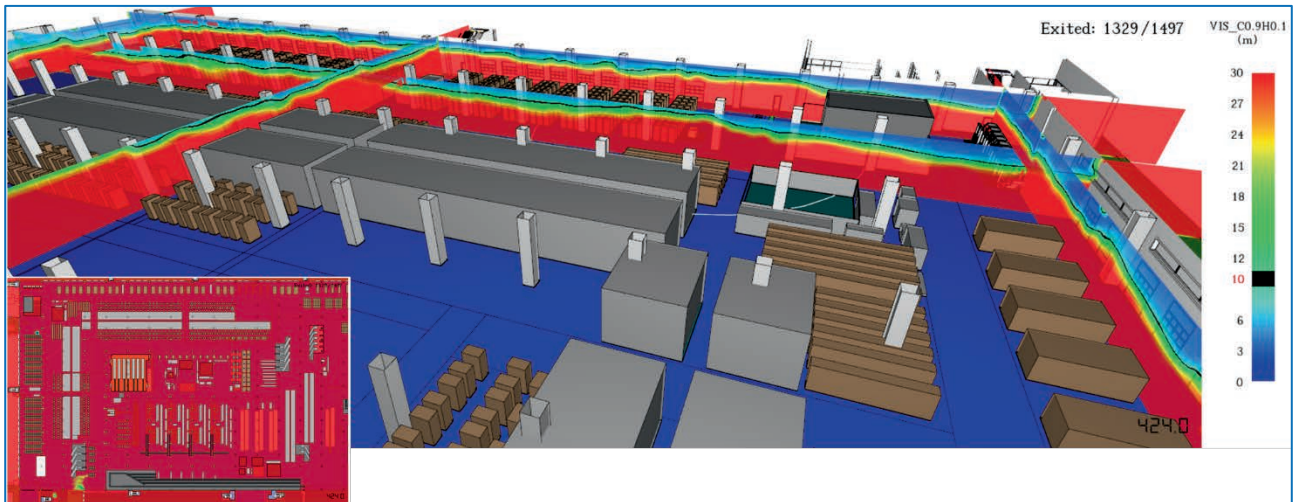
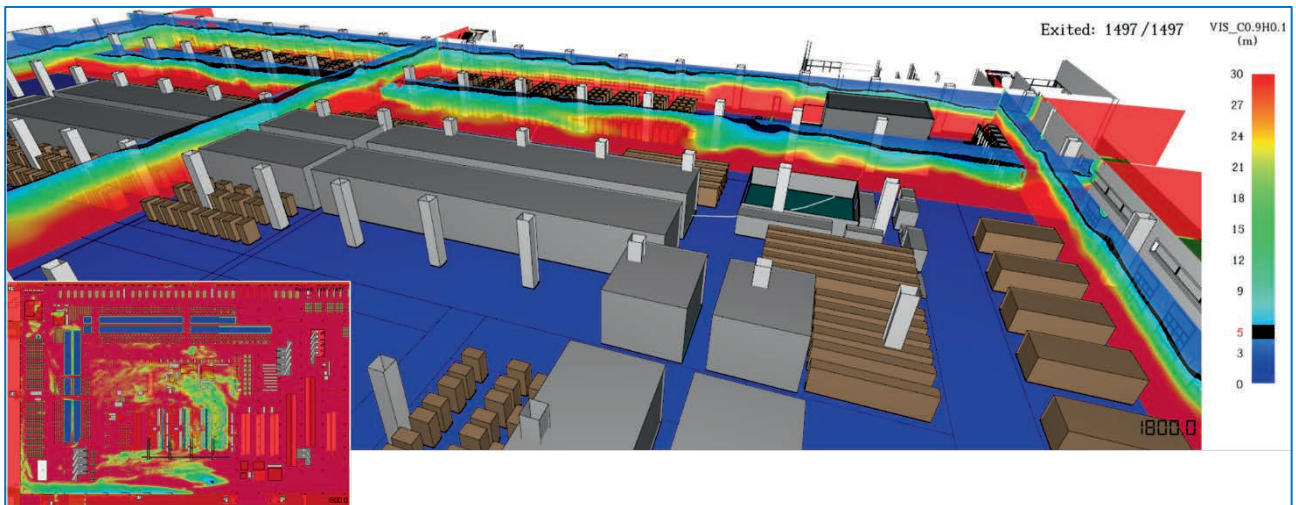


GRAFICO RAFFIGURANTE L’ANDAMENTO DEGLI OCCUPANTI ALL’INTERNO DEL COMPARTIMENTO NEL TEMPO



SLICE VERTICALI DI VISIBILITÀ, AL TEMPO T = 424 s (ESODO ULTIMATO PER TUTTI GLI OCCUPANTI)



SLICE VERTICALI DI VISIBILITÀ, AL TEMPO T = 1800 s (INGRESSO SQUADRA DI SOCCORSO)

Considerazioni a commento

❖ *Riepilogo sintetico del caso studio*

Il caso studio costituisce uno stralcio di un progetto effettivamente realizzato, molto più complesso di quanto si possa desumere in questa pubblicazione.

Gli stralci riportati e commentati sono solo quelli funzionali a descrivere come si possa impostare una soluzione alternativa per la misura della compartimentazione prevista al Cap. S.3 e come le valutazioni relative siano strettamente connesse a quelle riferibili ad altre misure che compongono la strategia antincendio progettata.

Per contro, le soluzioni specifiche adottate in questo esempio, i valori numerici delle grandezze misurate e gli stessi software utilizzati, non sono da considerare come l'unica modalità progettuale possibile bensì sono funzionali a illustrare i concetti ed il processo progettuale. Nel rispetto dei criteri prestazionali offerti dal Codice, tale progetto permette di addivenire ad un livello di sicurezza equivalente a quello garantito dalle soluzioni conformi ma anche quantificabile grazie alla FSE e pertanto ritenuto idoneo per il caso specifico.

In particolare si è visto come la progettazione di idonei sistemi (o impianti) di protezione attiva possa sopperire alle difformità della misura S.3, portando ugualmente al soddisfacimento delle soglie di prestazione per la vita umana (sia occupanti che soccorritori) ma anche a quegli obiettivi specifici della misura della compartimentazione, che sono afferenti anche alla protezione dei beni (fabbricato e suo contenuto) e inoltre a quella dell'ambiente, aspetto da non trascurare nel caso di edifici che contengono elevate quantità di materiale combustibile.

Al fine di garantire che le misure attive previste siano confacenti agli obiettivi di sicurezza e siano funzionanti e quantitativamente efficaci in caso di incendio, il Codice chiede di garantire la prestazione della "disponibilità superiore", per cui sono state accennate anche le modalità di raggiungimento di questa particolare prestazione degli impianti. L'applicazione delle soluzioni alternative richiede in ogni caso la valutazione del progetto da parte delle strutture competenti del C.N.VV.F., come verrà in futuro sancito nettamente anche dalla riforma del d.p.r. 1 agosto 2011 n. 151.

Nel presente caso studio è stata dimostrata la soluzione alternativa con riferimento alla misura S.3 del Codice, necessaria poiché il progetto ha previsto un unico compartimento antincendio multipiano di superficie e altezza superiore a quella massima ammessa. Tutte le dieci misure del Codice sono state adottate in modo sinergico poiché concorrono al raggiungimento degli obiettivi di progetto ed al livello di sicurezza equivalente riconosciuto idoneo dal progettista. Tale livello di sicurezza è stato analizzato e quantificato mediante l'utilizzo dei metodi dell'Ingegneria Antincendio, partendo da una corretta e completa valutazione del rischio incendio effettivamente prevedibile nel fabbricato. In particolare sono state verificate le soglie di prestazione per la sicurezza degli occupanti con il criterio ASET/RSET di cui al Cap. M.3, quelle per la sicurezza dei soccorritori con le tempistiche specifiche indicate dal Codice e dalle più recenti statistiche del C.N.VV.F., ma anche l'efficacia del SEFFC ai fini della limitazione della propagazione del fumo nell'attività.

❖ *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 le modellazioni CFD di incendio e le modellazioni di esodo, senza però dimenticare la fondamentale importanza del ricorso a sistemi o impianti a disponibilità superiore. Per raggiungere gli obiettivi di progetto sono state utilizzate in sinergia tutte le dieci misure antincendio del Codice e sono state progettate adeguate prestazioni di disponibilità superiore per quegli impianti che concorrono alla caratterizzazione dello scenario di incendio, soprattutto in termini di potenza termica. 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 al progettista l'onere della dimostrazione dell'efficacia delle soluzioni proposte.

Spesso le soluzioni conformi del Codice permettono una progettazione antincendio adeguata, nella maggior parte dei casi, ma a volte le caratteristiche dimensionali o di complessità dell'attività in progetto rendono necessario adottare una o più soluzioni alternative.

A seconda degli obiettivi di progetto e delle soluzioni alternative che è necessario studiare e dimostrare, il professionista antincendio deve determinare il più corretto livello di approfondimento degli studi, facendo ricorso per esempio alla modellazione fluidodinamica dell'incendio ed alla simulazione del processo di esodo, ma sempre con riferimento agli studi presenti in letteratura tecnica. I temi da approfondire variano in base alle esigenze specifiche che occorre dimostrare e spaziano da quelli connessi alla caratterizzazione fisica del fenomeno incendio a quelli comportamentali che influenzano le dinamiche dell'evacuazione degli occupanti.

Il minimo comun denominatore di tali analisi avanzate, è bene sottolinearlo, è rappresentato dall'obbligo del progettista di dimostrare il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio applicabili facendo ricorso agli strumenti più idonei per ogni caso, ma anche tenendo ben presenti sia i limiti insiti nell'approccio utilizzato, sia i valori dei parametri di riferimento riportati nella letteratura scientifica internazionale.

Bibliografia

- Decreto Ministeriale 13 ottobre 2019, Codice di Prevenzione Incendi, Italia 2019 (sostituisce la versione del Codice di Prevenzione Incendi del 2015);
- 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;
- 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;
- 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;
- Decreto Ministeriale 31 luglio 2012 Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici;
- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" (NTC 2018);
- Ponticelli L., La resistenza al fuoco delle strutture metalliche, Atti del convegno 43° Corso I.A., ottobre 2003;
- Karlsson B., Quintiere J., "Enclosure Fire Dynamics", CRC Press;
- Fire Research Division BFRL, "Numerical simulation of fire spread on polyurethane foam slabs, NIST.
- Puccia V., Demma S., "Valutazione dell'impatto sul rischio incendio di impianti fotovoltaici e loro potenziale interazione e compatibilità con vari elementi di copertura", VGR 2012;
- Sabatino R., Formazione antincendio - Gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro, INAIL 2012;
- Approccio Ingegneristico alla Sicurezza Antincendio, A. e S. La Malfa, Legislazione Tecnica, 2014;
- Sabatino R., Sicurezza antincendio - Valutazione del rischio incendio, INAIL 2014;
- Franssen, J.M., Cowez, B., Gernay, T. (2014), "Effective stress method to be used in beam finite elements to take local instabilities into account", Fire Safety Science 11, in Proc. of the 11th IAFSS Symposium, Christchurch, New Zealand, Feb 10-14, pp. 544-557;
- Esempi di Progettazione Antincendio, A., S. e R. La Malfa, V. Vanzini, Legislazione Tecnica, 2015;
- L. Ponticelli e C. Mastrogiuseppe, Il Codice di prevenzione incendi: nuove sfide ed opportunità per l'ingegneria strutturale, XXV Congresso C.T.A., ottobre 2015;
- SAFIR, https://www.uee.uliege.be/cms/c_2383458/en/safir;
- FDS, <https://www.nist.gov/services-resources/software/fds-and-smokeview>;
- Franssen J.M., Gernay T., "Modeling structures in fire with SAFIR®: theoretical background and capabilities", Journal of Structural Fire Engineering, Vol. 8 No.3, 2017 pp. 300-323, ©Emerald Publishing Limited 2040-2317;
- Quintiere J G, "Fundamentals of fire phenomena", John Wiley & Sons;
- McGrattan K, Hostikka S, Floyd J, "Fire dynamics simulator User guide", NIST Special Publication;
- Korhonen T, Hostikka S, "Fire dynamics simulator with evacuation", VTT Research, Espo (Finland);
- Gissi, An introduction to Fire Simulation with FDS and Smokeview, Jul 16, 2010;
- Jin T, "Visibility and human behaviour in fire smoke", in The SFPE Handbook of fire protection engineering;
- Marsella S., Nassi L. - "L'ingegneria della sicurezza antincendio e il processo prestazionale", EPC Libri, 2006;
- Mulholland G W, "Smoke production and properties", in The SFPE Handbook of fire protection engineering;
- Proulx G, "Movement of people: the evacuation timing", in The SFPE Handbook of fire protection engineering;
- Purser D A, "Toxicity assesment of combustion products", in The SFPE Handbook of fire protection engineering;
- AAVV, "Engineering guide to performance-based fire protection", SFPE and NFPA;
- SFPE Handbook of fire protection engineering;
- Design Fires for Means of Egress in Office Buildings based on Full-scale Fire Experiments - Shuji KAKEGAWA and Yoshiro YASHIRO - Institute of Technology, Shimizu Corporation, Tokyo, Japan;
- Bonavita F., Orvieto R. - Antincendio EPC 2018 - "Stazioni Marittime monumentali del Porto di Genova: una soluzione progettuale per la sicurezza antincendio";
- Bonavita F., Orvieto R. - Antincendio EPC 2018 - "La progettazione della sicurezza antincendio di archivi con sistemi di soppressione dell'incendio finalizzati a proteggere i documenti e le strutture dell'involucro edilizio";
- Crosti C., Marino A., "Soluzione alternativa di resistenza al fuoco per una struttura con elementi in acciaio di classe 4", Dossier Antincendio Ingenio, aprile 2020;

- Crosti C., Marino A., “Resistenza al fuoco delle strutture: corretta applicazione delle curve naturali di incendio e importanza della misura S.5 GSA”, Antincendio, luglio 2020;
- Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri, Il Codice di prevenzione incendi - Applicazioni pratiche, INAIL 2018;
- Sabatino R., Lombardi M., Ponticelli L. e altri, La resistenza al fuoco degli elementi strutturali, INAIL 2019;
- Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri, La protezione attiva antincendio, INAIL 2019;
- Sabatino R., M. Lombardi, P. Cancelliere e altri, Metodi per l'ingegneria della sicurezza antincendio, INAIL 2019;
- Sabatino R., M. Lombardi, P. Cancelliere e altri, Gestione della sicurezza e operatività antincendio, INAIL 2020;
- Sabatino R., M. Lombardi, P. Cancelliere e altri, La progettazione dell'esodo, INAIL 2020.

Fonti immagini

Immagine	Fonte
Copertina	Autori
pag. 13	Autori
pag. 15	Autori
da pag. 19 a pag. 27	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41
pag. 30	Autori
pag. 40	EAD 350454-00-1104 "Fire stopping and Fire sealing products - Penetration seals"
pag. 41a e 41b	
pag. 43	Autori
pag. 45	Google Maps
pag. 47	Autori
pag. 48	Autori
pag. 49	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41
pag. 52	Norma UNI EN 1991-1-2
pag. 53a e 53b	Autori
pag. 54a e 54b	Autori
pag. 55a e 55b	Autori
pag. 59	Autori
pag. 60	www.embalex.com
pag. 62	Norma UNI EN 1993-1-2
pag. 64a, 64b e 64c	Autori
pag. 65	Autori
pag. 66	Autori
pag. 67	Autori
pag. 69a e 69b	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41 e Autori
pag. 70a e 70b	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41 e Autori
pag. 71	Autori
pag. 72	Autori
pag. 73a e 73b	Autori
pag. 74	Autori
pag. 75a e 75b	Autori
pag. 77	Autori
pag. 82	Autori
pag. 83a e 83b	Autori
pag. 84	Autori
pag. 85a e 85b	Autori
pag. 86a e 86b	Autori
pag. 87a e 87b	Autori
pag. 88	Autori
pag. 89	Autori
pag. 90	Autori
pag. 92	Autori
pag. 93	Autori
pag. 95	Autori
pag. 96	Autori
pag. 97a e 97b	Autori
pag. 98	Autori
pag. 99	Autori

pag. 100a	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 100b	Experimental Evaluation of Temperature and Stress Field in Glass Subjected to ...
pag. 101	An Experimental Study on Glass Cracking and Fallout by Radiant Heat Exposure
pag. 102	Autori
pag. 103a e 103b	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 105	Programma di calcolo CPI win® FSE - Namirial S.p.A.
pag. 106	Autori
pag. 108	Autori
pag. 109	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41
pag. 112	Autori
pag. 113	Autori
pag. 115	Autori
pag. 117	Banca dati immagini INAIL
pag. 118	Autori
pag. 119	Autori
pag. 120a e 120b	Autori
pag. 124	Autori
pag. 125	Autori
pag. 127	Autori
pag. 130	Autori
pag. 132	Autori
pag. 133	Autori
pag. 134a, 134b e 134c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 135a, 135b e 135c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 135d	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 136a, 136b e 136c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 137a, 137b e 137c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 137d	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 138a, 138b e 138c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 139a, 139b e 139c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 139d	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 140	Autori
pag. 141	Autori
pag. 142	Autori
pag. 144	Autori
pag. 145	Autori
pag. 146	Autori
pag. 148	Autori
pag. 151	Autori
pag. 152	Autori
pag. 154	Autori
pag. 155a e 155b	Autori
pag. 156	Autori
pag. 160	Annuario statistico dei Vigili del fuoco (http://www.vigilfuoco.it)
pag. 161	Autori
pag. 162a e 162b	Design Fires for Means of Egress in Office Buildings based on Full-scale Fire ...
pag. 163a	Autori
pag. 163b	Design Fires for Means of Egress in Office Buildings based on Full-scale Fire ...
pag. 164a, 164b e 164c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 165	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 166	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41

pag. 168a, 168b e 168c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 168d e 168e	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 169a, 169b e 169c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 169d, 169e e 169f	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 170d e 170e	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 171a, 171b e 171c	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 171d, 171e e 171f	Programma di calcolo FDS - NIST
pag. 174	Autori
pag. 175	Autori
pag. 177	Autori
pag. 181	Autori
pag. 182	Autori
pag. 183a e 183b	Autori
pag. 184a e 184b	Autori
pag. 185a e 185b	Autori
pag. 188	Autori
pag. 193a e 193b	Autori
pag. 195	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41
pag. 197	Annuario statistico dei Vigili del fuoco (http://www.vigilfuoco.it)
pag. 198	Autori
pag. 199a e 199b	Autori
pag. 201a	Autori
pag. 201b e 201c	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 202a	Autori
pag. 202b e 202c	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 203a e 203b	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 204a	Programma di calcolo Pyrosim - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 204b	Programma di calcolo Pathfinder - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 205	Programma di calcolo Pathfinder - Thunderhead Engineering Consultants
pag. 206a	Autori
pag. 206b e 206c	Programma di calcolo Pathfinder - Thunderhead Engineering Consultants

