Ordine degli Ingegneri
della provincia di Modena

Fire Safety Engineering

Primo Modulo: Casi pratici di F.S.E.

18.10.2023

Ing. Daniele Andriotto
Fire Engineer
393 5283518
andriottodaniele@gmail.com

Ordine dei Ingegneri della provincia di Modena

SOLUZIONI ALTERNATIVE CON RICORSO ALLA F.S.E.

ore 16.00 – 18.00 **Casi Pratici**

- caso pratico “Controllo Fumi” edificio commerciale e la UNI 9494,
- caso pratico “Compartimentazione” edificio industriale e separazione esterna dal confine,
- caso pratico “Controllo dell’incendio” edificio industriale senza sprinkler,
- caso pratico “Collasso implosivo” magazzino automatizzato,
- caso pratico “Tasso di crescita tα” calcolo analitico del tasso di crescita prevalente

Ordine dei Ingegneri della provincia di Modena

SOLUZIONI ALTERNATIVE CON RICORSO ALLA F.S.E.

REGOLAMENTAZIONE PRESTAZIONALE

L'introduzione del **Codice di Prevenzione Incendi (D.M. 03.08.2015)**
ha eliminato l'obbligo del ricorso alla Deroga nel caso dell'utilizzo dell'approccio ingegneristico.

↓

Per utilizzare l'approccio Ingegneristico **è sufficiente la richiesta di Valutazione Progetto** al Comando Provinciale competente

Metodi	Descrizione e limiti d'applicazione
Applicazione di norme o documenti tecnici	Il *progettista* applica norme o documenti tecnici adottati da organismi europei o internazionali, riconosciuti nel settore della sicurezza antincendio. Tale applicazione, fatti salvi gli obblighi connessi all'impiego di prodotti soggetti a normativa comunitaria di armonizzazione e alla regolamentazione nazionale, deve essere attuata nella sua completezza, ricorrendo a soluzioni, configurazioni e componenti richiamati nelle norme o nei documenti tecnici impiegati, evidenziandone specificatamente l'idoneità, per ciascuna configurazione considerata, in relazione ai profili di rischio dell'attività.
Soluzioni progettuali che prevedono l'impiego di prodotti o tecnologie di tipo innovativo	L'impiego di prodotti o tecnologie di tipo *innovativo*, frutto della evoluzione tecnologica, è consentito in tutti i casi in cui l'idoneità all'impiego possa essere attestata dal *professionista antincendio*, in sede di verifica ed analisi sulla base di una valutazione del rischio connessa all'impiego dei medesimi prodotti o tecnologie, supportata da pertinenti certificazioni di prova riferite a: • norme o specifiche di prova nazionali; • norme o specifiche di prova internazionali; • specifiche di prova adottate da laboratori a tale fine autorizzati.
Ingegneria della sicurezza antincendio	Il *professionista antincendio* applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio, secondo procedure, ipotesi e limiti indicati in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3 oppure in base a principi tecnico-scientifici riconosciuti a livello nazionale o internazionale.
Prove sperimentali	Il *professionista antincendio* esegue prove sperimentali in scala reale o in scala adeguatamente rappresentativa, finalizzata a riprodurre ed analizzare dal vero i fenomeni (es. chimico-fisici e termodinamici, esodo degli occupanti, ...) che caratterizzano la problematica oggetto di valutazione avente influenza sugli obiettivi di prevenzione incendi. Le prove sperimentali sono condotte secondo protocolli standardizzati oppure condivisi con la Direzione centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco. Le prove sono svolte alla presenza di rappresentanza qualificata del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco, su richiesta del responsabile dell'attività. Le prove devono essere opportunamente documentate. In particolare i rapporti di prova dovranno definire in modo dettagliato le ipotesi di prova ed i limiti d'utilizzo dei risultati. Tali rapporti di prova, ivi compresi filmati o altri dati monitorati durante la prova, sono messi a disposizione del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco.

Tabella G.2.1: Metodi di progettazione della sicurezza antincendio

SOLUZIONI ALTERNATIVE CON RICORSO ALLA F.S.E.

REGOLAMENTAZIONE PRESTAZIONALE
COME APPLICARLA

Testo coordinato dell'allegato I del DM 3 agosto 2015
Codice di prevenzione incendi

Sezione G Generalità
- Capitolo G.1 Termini, definizioni e simboli grafici
- Capitolo G.2 Progettazione per la sicurezza antincendio
- Capitolo G.3 Determinazione dei profili di rischio delle attività

Sezione S Strategia antincendio
- Capitolo S.1 Reazione al fuoco
- Capitolo S.2 Resistenza al fuoco
- Capitolo S.3 Compartimentazione
- Capitolo S.4 Esodo
- Capitolo S.5 Gestione della sicurezza antincendio
- Capitolo S.6 Controllo dell'incendio
- Capitolo S.7 Rivelazione ed allarme
- Capitolo S.8 Controllo di fumi e calore
- Capitolo S.9 Operatività antincendio
- Capitolo S.10 Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio

Sezione V Regole tecniche verticali
- Capitolo V.1 Aree a rischio specifico
- Capitolo V.2 Aree a rischio per atmosfere esplosive
- Capitolo V.3 Vani degli ascensori
- Capitolo V.4 Uffici
- Capitolo V.5 Attività ricettive turistico-alberghiere
- Capitolo V.6 Autorimesse
- Capitolo V.7 Attività scolastiche
- Capitolo V.8 Attività commerciali
- Capitolo V.9 Asili nido
- Capitolo V.10 Musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati

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

CURVA NATURALE OTTENUTA DA MODELLAZIONE FLUIDODINAMICA

2. Ai fini della caratterizzazione quantitativa del focolare il professionista antincendio può:
   a. impiegare dati sperimentali ottenuti da misura diretta in laboratorio secondo metodologia scientifica consolidata;
   b. usare dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise. Il professionista antincendio *cita sempre* con precisione tali fonti e *verifica la corrispondenza* del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario di incendio di progetto, utilizzando un approccio ragionevolmente conservativo;
   c. impiegare delle *metodologie di stima*. Nel paragrafo M.2.6 si descrivono alcune metodologie di stima mutuate dalla letteratura citata al paragrafo M.2.8.
3. In alternativa, può impiegare i focolari predefiniti di cui al paragrafo M.2.7 nell'ambito delle limitazioni ivi specificate.

S.2.5 Verifica delle prestazioni di resistenza al fuoco con incendi convenzionali di progetto

1. Le prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni devono essere verificate in base agli *incendi convenzionali di progetto* rappresentati da curve nominali di incendio le cui espressioni analitiche sono riportate nel paragrafo S.2.7.
2. I criteri di progettazione degli elementi strutturali resistenti al fuoco sono riportati nel paragrafo S.2.8.
3. L'andamento delle temperature negli elementi deve essere valutato per l'*intervallo di tempo di esposizione* pari alla *classe minima di resistenza al fuoco* prevista per ciascun livello di prestazione.
4. La procedura per il calcolo del *carico di incendio specifico di progetto* $q_{f,d}$ impiegato per la definizione della classe di resistenza al fuoco è riportata nel paragrafo S.2.9.

Ordine dei Ingegneri della provincia di Modena

- **Definizione dei principi base sulla dilatazione termica impedita;**

5. Nei casi in cui il carico di incendio specifico di progetto venga determinato con riferimento all'effettiva area di pertinenza dello stesso, si ottengono in genere classi superiori rispetto a quelle riferite all'intero compartimento. Gli elementi interessati dalla distribuzione disuniforme del carico di incendio sono individuati in relazione alla prossimità con lo stesso.

6. Le curve nominali di incendio devono essere applicate ad un compartimento dell'edificio alla volta, salvo il caso degli edifici multipiano laddove elementi orizzontali di separazione con resistenza al fuoco adeguata al carico d'incendio dell'area sottostante, consentano di considerare separatamente il carico di incendio dei singoli piani.

Nota Ad esempio, nel caso di compartimento multipiano in presenza di scale di tipo aperto, con solai che garantiscono un'adeguata capacità di compartimentazione, è ammesso considerare il carico di incendio agente separatamente sui singoli piani, poiché è prevedibile un ritardo non trascurabile della diffusione dell'incendio dal piano di origine a quelli immediatamente superiori. Si riporta un esempio di calcolo nella tabella S.2-9.

7. In caso di compartimenti con elementi di compartimentazione comuni, la classe di tali elementi deve essere coerente con quella del compartimento di origine dell'incendio.

8. In generale, la classe di resistenza al fuoco di elementi orizzontali di separazione deve essere coerente con quella del compartimento sottostante.

9. I valori del carico d'incendio specifico di progetto e delle caratteristiche del compartimento antincendio adottati nel progetto costituiscono un vincolo d'esercizio per le attività da svolgere all'interno della costruzione.

S.2.6 Verifica delle prestazioni di resistenza al fuoco con curve naturali di incendio

1. L'andamento delle temperature negli elementi è valutato in riferimento a una curva naturale d'incendio, tenendo conto della durata dello scenario di incendio indicata nel capitolo M.2.
2. Il processo di individuazione degli scenari di incendio di progetto deve essere conforme a quanto indicato nel capitolo M.2.
3. Le curve naturali di incendio possono essere determinate mediante:
   a. modelli di incendio sperimentali,

METODI

Capitolo M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale

Premessa

Identificazione dei possibili scenari d'incendio

Selezione degli scenari d'incendio di progetto

Descrizione quantitativa degli scenari d'incendio di progetto
- Attività
- Occupanti
- Incendio

Durata degli scenari d'incendio di progetto

Stima della curva RHR
- Fase di propagazione dell'incendio
- Effetto dei sistemi di protezione attiva antincendio
- Fase dell'incendio stazionario
- Fase di decadimento
- Altre indicazioni

Focolare predefinito

Riferimenti

b. modelli di incendio numerici semplificati dell'Eurocodice UNI EN 1991-1-2,

c. modelli di incendio numerici avanzati.

4. Le curve di incendio naturale devono essere determinate per lo specifico compartimento antincendio, con riferimento a metodi di riconosciuta affidabilità come quelli di cui al comma 3 e facendo riferimento, quando necessario, al carico di incendio specifico di progetto $q_{f,d}$ di cui al paragrafo S.2.9 ponendo pari ad 1 i coefficienti δ_{ni} relativi alle *misure antincendio* che si intende modellare secondo i criteri di cui al capitolo M.2.

Nota Ad esempio, per i modelli di incendio *sperimentali*, *localizzati* di UNI EN 1991-1-2 e *numerici avanzati* di fluidodinamica computazionale si impiega q_f. Per le *curve parametriche* interne o per elementi esterni di UNI EN 1991-1-2 si usa $q_{f,d}$. Per i *modelli a zona* si usa $q_{f,d}$ ponendo pari a 1 i coefficienti δ_{ni} (tabella S.2-8) relativi alle misure antincendio modellate.

- **Definizione dei principi base sulla dilatazione termica impedita;**

S.2.8 Criteri di progettazione strutturale in caso di incendio

S.2.8.1 Criteri generali

1. La capacità del sistema strutturale in caso di incendio si determina sulla base della capacità portante propria degli elementi strutturali singoli, di porzioni di struttura o dell'intero sistema costruttivo, comprese le condizioni di carico e di vincolo, tenendo conto della eventuale presenza di materiali protettivi.
2. Le deformazioni ed espansioni imposte o impedite dovute ai cambiamenti di temperatura per effetto dell'esposizione al fuoco producono sollecitazioni indirette, forze e momenti nei singoli elementi strutturali, che devono essere tenuti in considerazione, ad eccezione dei seguenti casi:
   a. è riconoscibile a priori che esse sono trascurabili o favorevoli;
   b. i requisiti di sicurezza all'incendio sono valutati in riferimento ad una curva nominale d'incendio di cui al paragrafo S.2.7.

   Di conseguenza le soluzioni conformi possono essere adottate con riferimento alla capacità portante propria di elementi strutturali singoli, mentre le soluzioni alternative devono essere studiate facendo riferimento alla capacità portante di porzioni di struttura o dell'intero sistema strutturale, a meno di verificare a priori che, per la particolare struttura in oggetto, l'effetto delle deformazioni ed espansioni dovute ai cambiamenti di temperatura sia trascurabile.
3. Nel progetto e nelle verifiche di sicurezza all'incendio si deve tenere conto della combinazione dei carichi per azioni eccezionali prevista dalle vigenti NTC.

S.2.8.2 Elementi strutturali secondari

1. Ai fini della verifica dei requisiti di resistenza al fuoco degli *elementi strutturali secondari*, il progettista deve verificare che il cedimento di tali elementi per effetto dell'incendio non comprometta:
   a. la capacità portante degli altri elementi strutturali della costruzione in condizioni di incendio;
   b. l'efficacia di elementi costruttivi di compartimentazione;
   c. il funzionamento dei sistemi di protezione attiva;
   d. l'esodo in sicurezza degli occupanti;
   e. la sicurezza dei soccorritori.
2. Ai fini della verifica dei requisiti di cui ai punti 1.d e 1.e è sufficiente verificare che la capacità portante degli elementi strutturali secondari sia garantita per un tempo tale che tutti gli occupanti dell'attività raggiungano o permangano in un luogo sicuro. Tale verifica è garantita adottando le soluzioni previste per il livello di prestazione II.

S.2.8.3 Strutture vulnerabili in condizioni di incendio

1. Ai fini della verifica dei requisiti di resistenza al fuoco, per *strutture vulnerabili in condizioni di incendio* si intendono quelle strutture, solitamente di tipo leggero che per loro natura risultano particolarmente sensibili all'azione del fuoco. La vulnerabilità di tali strutture può essere legata alla loro ridotta iperstaticità o robustezza, alla snellezza degli elementi strutturali, alla impossibilità o all'antieconomicità di applicazione di sistemi protettivi o al pieno affidamento della resistenza a regimi membranali sensibili ai forti incrementi di temperatura.

Nota Tipici esempi di sistemi costruttivi vulnerabili nei confronti dell'incendio sono: tensostrutture, strutture pressostatiche, strutture strallate, membrane a doppia o semplice curvatura, coperture geodetiche, strutture in lega di alluminio, allestimenti temporanei in tubo e giunto, tunnel mobili, ...

2. Attesa la ridotta resistenza al fuoco delle strutture di cui al comma 1, esse si ritengono preferibilmente idonee solo per costruzioni per le quali sono richiesti i livelli di prestazione I o II.

3. Non si esclude la possibilità di impiego delle strutture di cui al comma 1 per livelli di prestazione superiori al II.

Nota In base alla tabella S.2-3, per $q_{f,d} \leq 200$ MJ/m^2 non sono richiesti requisiti minimi di resistenza al fuoco per le strutture.

4. In caso di produzioni strutturali in serie, sono ammesse valutazioni di resistenza al fuoco valide per costruzioni tipologiche o per prototipi. Il *professionista antincendio* provvede a certificare i requisiti di resistenza al fuoco delle strutture in opera verificando, in particolare, il rispetto delle ipotesi alla base delle verifiche di resistenza al fuoco condotte sui prototipi.

Per determinare dei fenomeni fondamentali, che si possono osservare su di una struttura durante l'incendio, si sono fissati dei principi molto importanti per comprendere le complesse interazioni fra i vari meccanismi strutturali che avvengono. Tali fondamenti sono utili per analizzare ed interpretare i risultati che si possono ottenere per mezzo dei metodi di analisi più sofisticati e sviluppati.

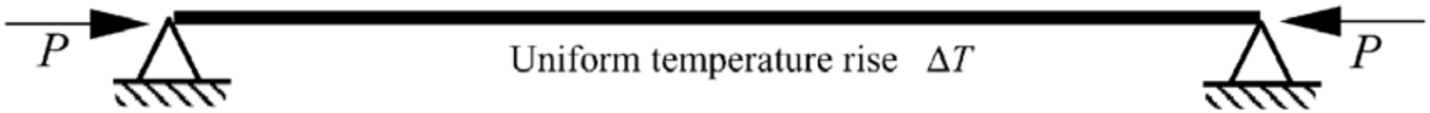
La principale relazione, che determina il comportamento delle strutture che subiscono effetti termici, è:

$$\varepsilon total = \varepsilon thermal + \varepsilon mechanical$$

Per quanto riguarda i vincoli traslazionali, essi portano all'insorgere di alcune deformazioni meccaniche uguali ed opposte rispetto a quelle termiche: si creano degli importanti stati tensionali di compressione.

Ora si prenda in considera una trave vincolata in maniera rigida alla traslazione e che subisce un aumento uniforme delle temperature ΔT.

$$P = EA\varepsilon_m = -EA\varepsilon_T = -EA\alpha\Delta T$$



Nel caso in esame la trave non può ovviamente allungarsi, dunque si avrà una deformazione totale εT pari a zero, evidenziando una mancanza di spostamenti. Si sviluppa, comunque, una reazione di vincolo P, che origina sulla trave una deformazione uguale e contraria alla deformazione di tipo termico, dunque di compressione, come evidenziato da:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_T + \varepsilon_m = 0 \Rightarrow \varepsilon_T = -\varepsilon_m$$

E' presente, quindi, un regime uniforme di tensioni di tipo assiale all'interno della trave, pari a:

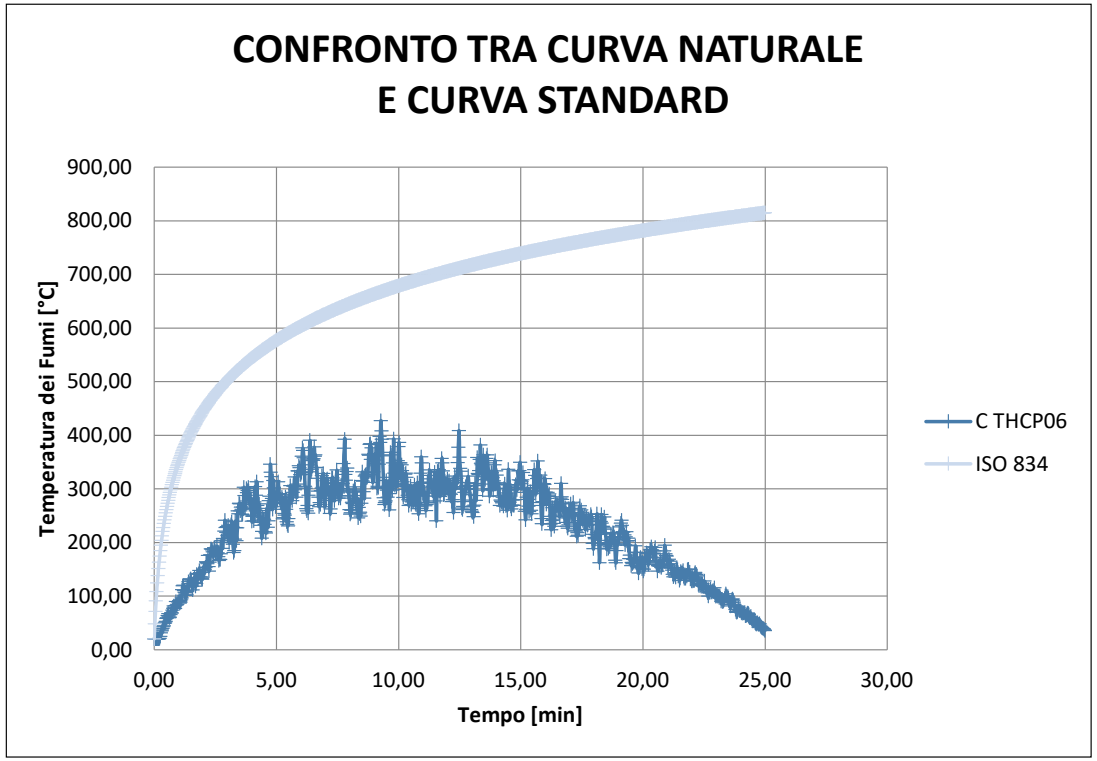
$$\sigma = E \cdot \varepsilon_m \Rightarrow P = A \cdot \sigma = A \cdot E \cdot \varepsilon_m = -A \cdot E \cdot \varepsilon_T = -A \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Presumendo un aumento indefinito della temperatura, è possibile che si verifichino due risposte strutturali conseguentemente alla snellezza della trave:

- Con una trave abbastanza tozza, la tensione superficiale eguaglia la tensione di snervamento del materiale e, se il materiale presenta un legame costitutivo tensione deformazione del tipo elasto-plastico, la trave snerva senza altri aumenti della tensione, ma sarà capace di immagazzinare maggiori incrementi delle deformazioni plastiche. L'aumento della temperatura che porta allo snervamento ΔT* si definisce come segue, una volta che si è posto σ = fy

$$\Delta T^* = \frac{f_y}{E \cdot \alpha}$$

- **Metodo di calcolo della Resistenza al Fuoco con Approccio Ingegneristico;**



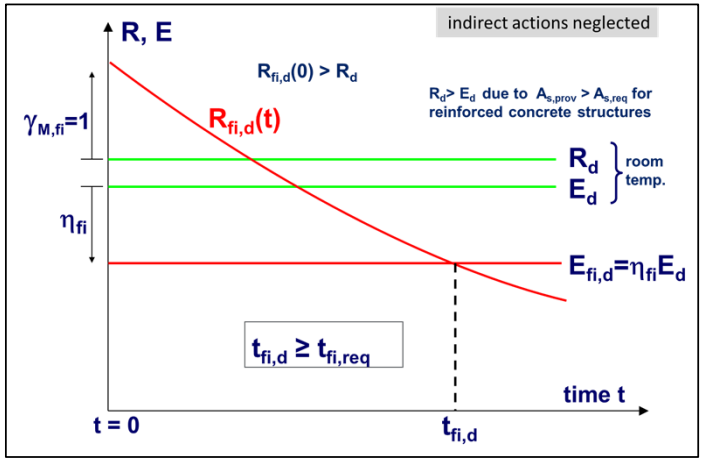
La modellazione fluidodinamica ha permesso di considerare una temperatura massima dell' incendio pari a **400°**C, a fronte dei **700°**C della curva ISO 834.

La differenza aumenta con l'aumentare della classe d'incendio perché la curva standard ISO 834 è monotona crescente.

PER LA RESISTENZA CAMBIA NULLA !!!

PER LA SOLLECITAZIONE CAMBIA TUTTO !!!

- **Metodo di calcolo della Resistenza al Fuoco con Approccio Ingegneristico;**



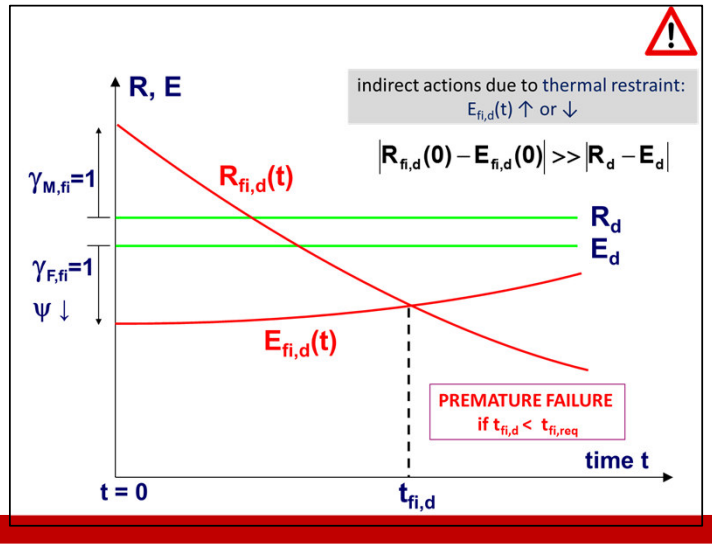
- Nel primo caso la verifica è condotta senza tenere conto degli effetti indotti dalle dilatazioni termiche: verifica secondo **<u>CURVA ISO834.</u>**

Sono valide le verifiche:

<u>- tabellari;</u>

<u>- sperimentali;</u>

<u>- analitiche semplificate</u>



- Nel secondo caso le verifiche strutturali di resistenza al fuoco di tipo non lineari (come definito dal paragrafo 5 del D.M. 9 Marzo 2007) deve tener conto sia che **la resistenza del profilo diminuisce** a causa del degrado delle proprietà meccaniche dell'acciaio sia della **variazioni delle sollecitazioni** gravanti sul profilo per la presenza di variazioni termiche impedite: verifica secondo **<u>CURVA NATURALE</u>**

Sono valide le verifiche:

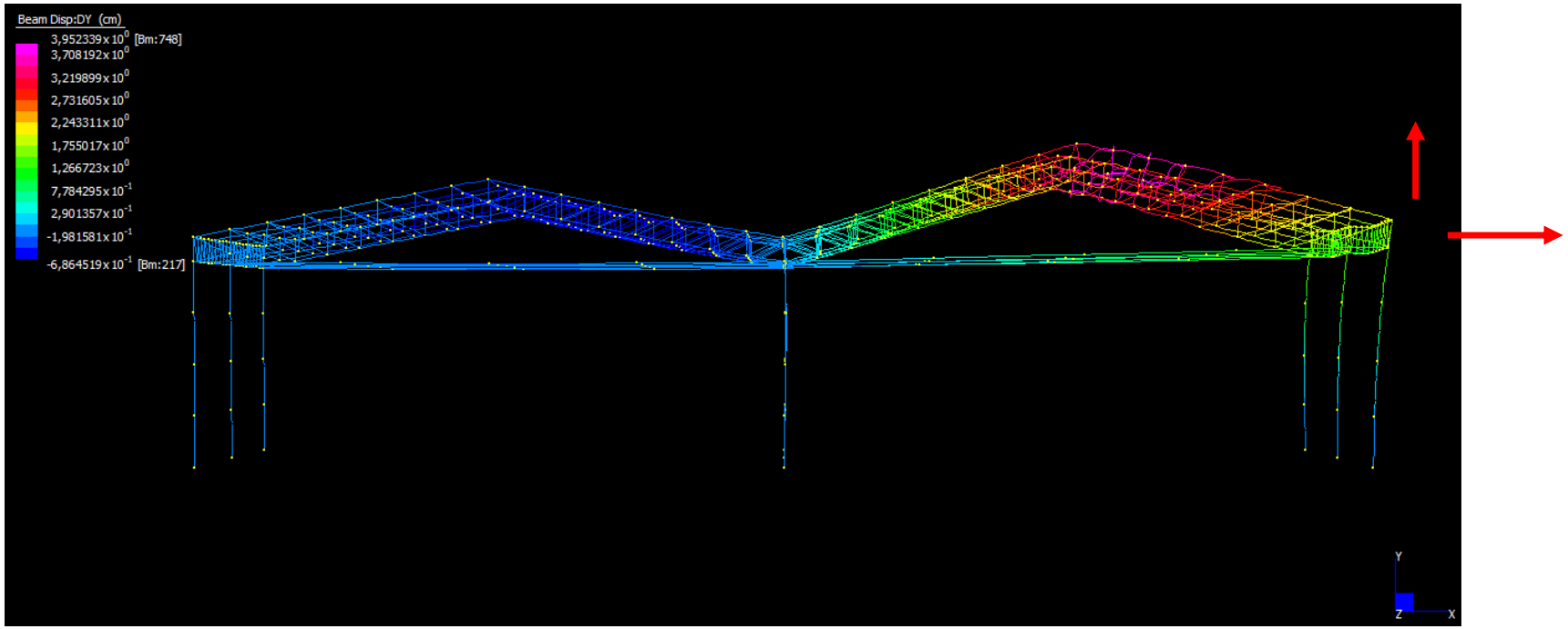
<u>- analitiche avanzate.</u>

Ordine dei Ingegneri della provincia di Modena

- **Metodo di calcolo della Resistenza al Fuoco con Approccio Ingegneristico;**

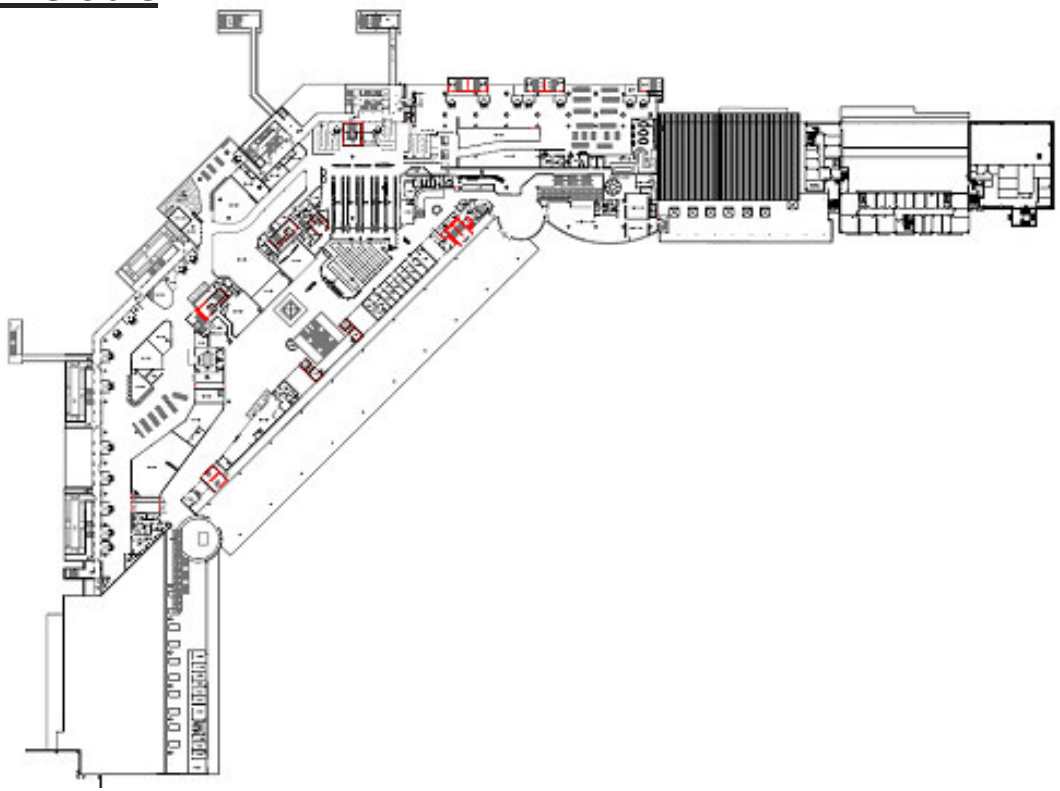
Esempio applicativo: Telaio con reticolare metallica;

NON LINEARITA' GEOMETRICA DELLO SCHELETRO STRUTUTRALE



FIRE SAFETY ENGINEERING NEL CONTROLLO DEI FUMI E DEL CALORE

Centro Commerciale



Progettazione Antincendio:
A = 12600mq

Classificazioni

1. Ai fini della presente regola tecnica, le attività commerciali sono classificate come segue:
   a. in relazione alla *superficie lorda utile* A:
      AA: $A \leq 1500\ m^2$;
      AB: $1500\ m^2 < A \leq 3000\ m^2$;
      AC: $3000\ m^2 < A \leq 5000\ m^2$;
      AD: $5000\ m^2 < A \leq 10000\ m^2$;
      AE: $A > 10000\ m^2$.
   b. in relazione alla *quota dei piani* h:
      HA: $-1\ m \leq h \leq 6\ m$;
      HB: $-5\ m \leq h \leq 12\ m$;

In definitiva:
- AD
- HB

FIRE SAFETY ENGINEERING NEL CONTROLLO DEI FUMI E DEL CALORE

Centro Commerciale

In definitiva:
- AD
- HB

V.8.5.8 Controllo di fumi e calore

Attività	Condizioni	Livello di prestazione
AA	Nessuna	II
AB, AC	Carico d'incendio specifico q_f < 600 MJ/m² e velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio δ_a < 3 (capitolo G.3)	II
AB, AC, AD, AE	Nessuna	III

Tabella V.8-10: Livelli di prestazione per il controllo di fumi e calore per le aree TA

S.8.4.2 Soluzioni conformi per il livello di prestazione III

1. Deve essere installato un *sistema di evacuazione di fumi e calore* (SEFC), *naturale* (SENFC) o *forzato* (SEFFC) secondo quanto indicato al paragrafo S.8.7.

FIRE SAFETY ENGINEERING NEL CONTROLLO DEI FUMI E DEL CALORE

Centro Commerciale

UTILIZZO LA SOLUZIONE CONFORME O LA SOLUZIONE ALTERNATIVA ??

CONSIGLIO:
Intanto vedo cosa viene richiesto dalla soluzione conforme
e poi, eventualmente, sviluppo la soluzione alternativa con metodo prestazionale…

Soluzioni conformi per il livello di prestazione III

1. Deve essere installato un *sistema di evacuazione di fumi e calore* (SEFC), *naturale* (SENFC) o *forzato* (SEFFC) secondo quanto indicato al paragrafo S.8.7.

FIRE SAFETY ENGINEERING NEL CONTROLLO DEI FUMI E DEL CALORE

Centro Commerciale

Soluzioni conformi per il livello di prestazione III

1. Deve essere installato un *sistema di evacuazione di fumi e calore* (SEFC), *naturale* (SENFC) o *forzato* (SEFFC) secondo quanto indicato al paragrafo S.8.7.

L'applicazione della UNI 9494 non è possibile a causa dell'investimento economico ingente.

Allora ricerchiamo la **SOLUZIONE ALTERNATIVA con l'approccio ingegneristico:**

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.

Tabella S.8-3: Modalità progettuali per soluzioni alternative

FIRE SAFETY ENGINEERING NEL CONTROLLO DEI FUMI E DEL CALORE

Centro Commerciale

Soglie di Prestazione

Visibilità	10 (z=2.00 m)	m
Temperatura	60 (z=2.00 m)	°C
Irraggiamento	2,5 (z=2.00 m)	kW/m^2
FED	0,0 (z=2.0 m)	-

La soluzione progettuale proposta è stata quella di utilizzare le finestrature presenti a soffitto e a parete ed i portoni esistenti per l'accesso e l'uscita del pubblico.

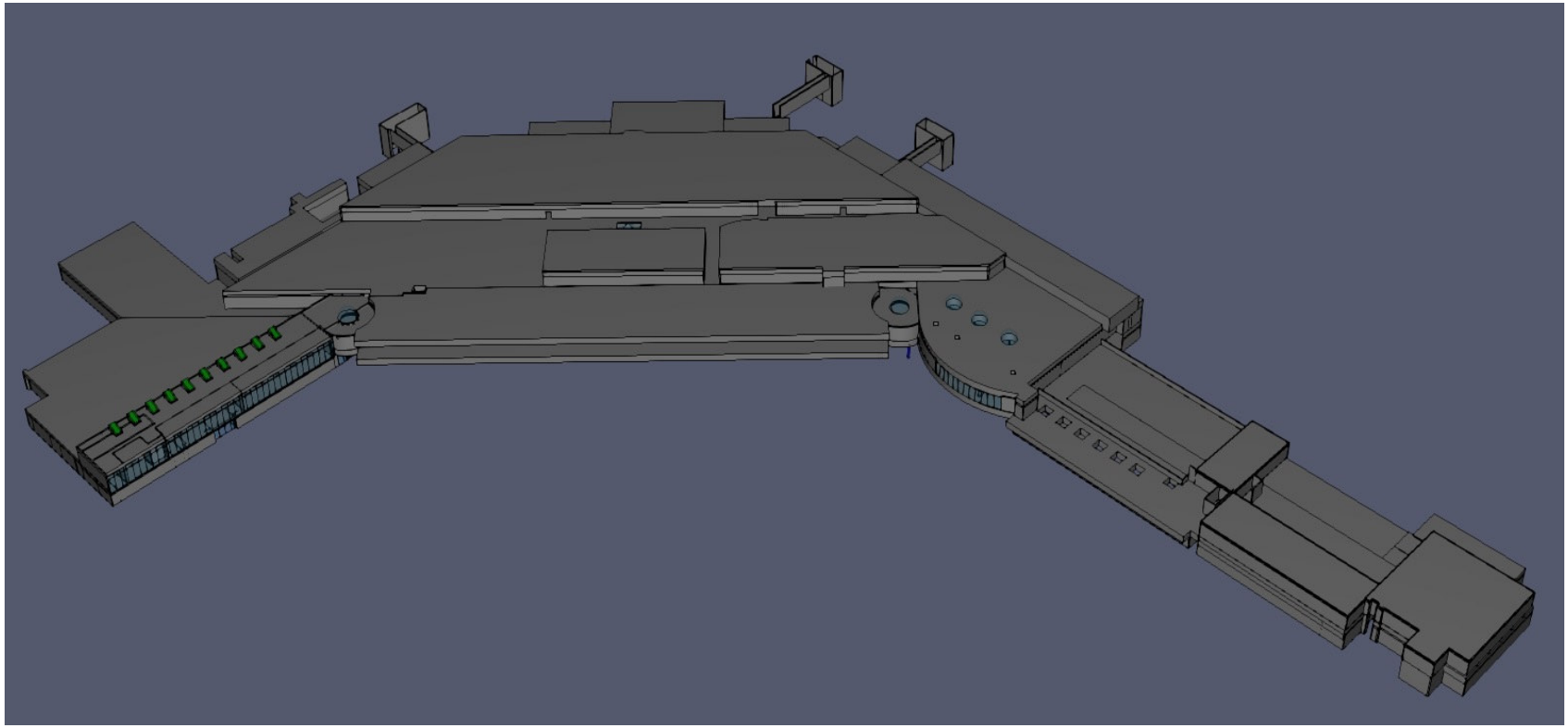
Nel primo step di calcolo non sono state inserite le barriere a soffitto, nessun EFC naturale e nessun EFC meccanico.

I risultati ottenuti da questo primo modello di calcolo non hanno raggiunto le soglie di Prestazione quindi si è proceduto ad inserire EFC in numero adeguato nelle zone di maggior accumulo di fumo.

FIRE SAFETY ENGINEERING NEL CONTROLLO DEI FUMI E DEL CALORE

Centro Commerciale

Modello Fluidodinamico

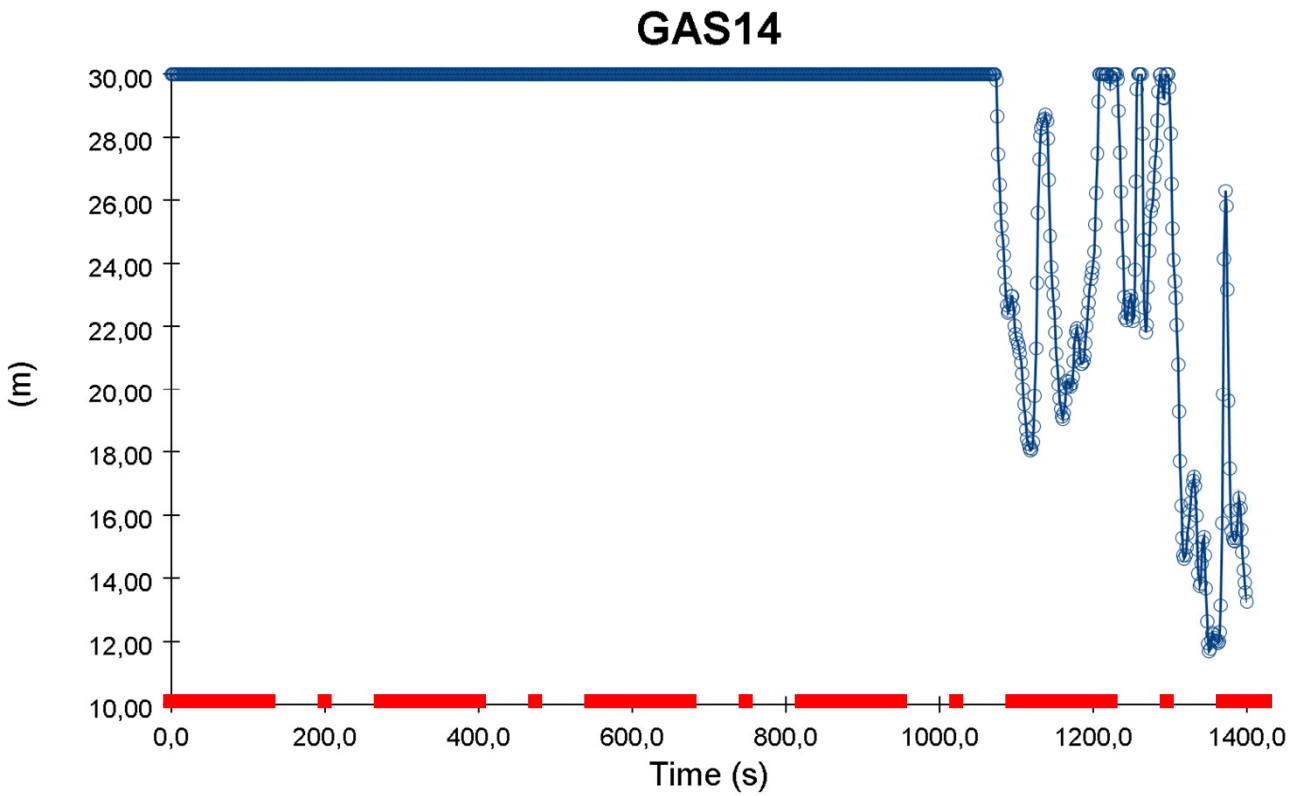


FIRE SAFETY ENGINEERING NEL CONTROLLO DEI FUMI E DEL CALORE

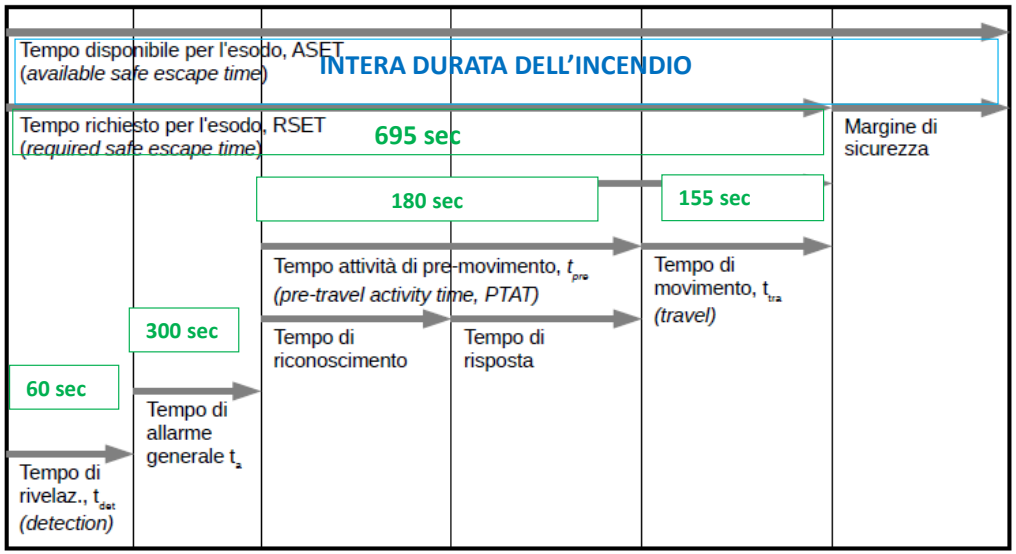
Centro Commerciale

Risultati Modello Fluidodinamico

La visibilità rimane sempre sopra ai 10m per l'intera durata dell esodo degli occupanti e l'intervento dei soccorritori.



FIRE SAFETY ENGINEERING NEL CONTROLLO DEI FUMI E DEL CALORE



Assunto il 100% del margine di sicurezza, la verifica è soddisfatta se:

2 x RSET < ASET

2x 695 = 1390 secondi < INTERA DURATA DELL'INCENDIO

FIRE SAFETY ENGINEERING NEL CONTROLLO DEI FUMI E DEL CALORE

Centro Commerciale

La verifica del sistema di controllo dei fumi e del calore viene condotto nel rispetto dei soliti obiettivi di salvaguardia degli occupanti e dei soccorritori.

Il risultato finale è stato:

- **Riduzione dell'80% degli EFC rispetto a quelli richiesti dalla UNI 9494 con metodo analitico semplificato;**
- **Eliminazione dei serbatoi a soffitto.**

L'impatto economico della soluzione adottata è stato vantaggioso per la committenza in quanto:

- Riduzione dei costi di adeguamento del sistema di controllo fumo e calore pari all'85%;
- L'installazione di un numero limitato ha richiesto una chiusura dell'attività per un tempo limitato;

La committenza ha comunque raggiunto il CPI ed il Livello di Prestazione III richiesto dal normatore.

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

M.2.5 Durata degli scenari d'incendio di progetto

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

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

Tabella M.2-1: Durata minima degli scenari d'incendio di progetto

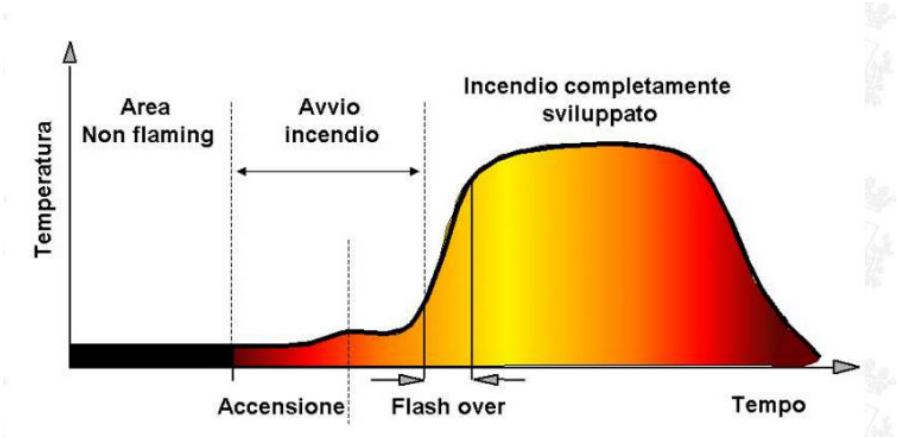
FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

FLASH-OVER

Il **FLASH-OVER** è uno degli stadi dell'evoluzione dell'incendio.

Nello specifico è il terzo stadio, infatti essa è anticipata da:

1° Stadio (ignizione) è lo stadio dell'incendio precedente alla presenza di fiamma sostenuta, con poco rialzo della temperatura rispetto a quella dell'ambiente. La produzione di fumo ed effluenti tossici sono il pericolo preponderante durante questo stadio.

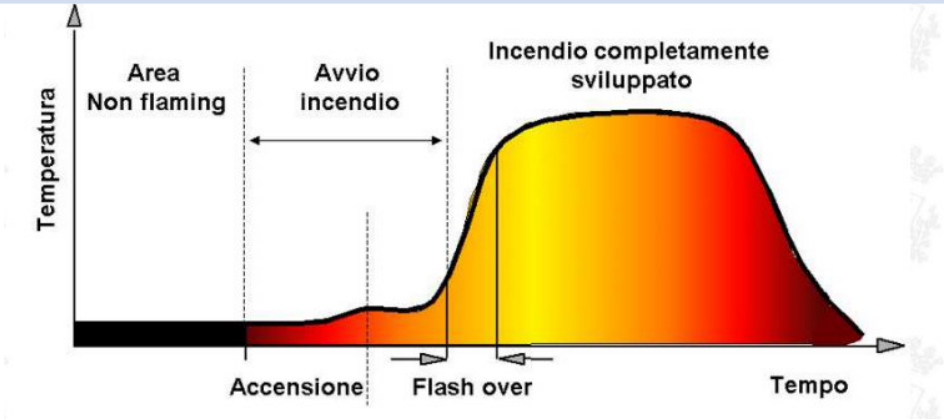


FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

FLASH-OVER

2° Stadio (propagazione) comincia con l'innesco e finisce con l'aumento esponenziale della temperatura dell'ambiente circostante. La propagazione della fiamma ed il rilascio di calore, oltre che la produzione di fumo e gli effluenti tossici sono i pericoli maggiori durante questo stadio.

3° Stadio (incendio generalizzato) inizia quando la superficie di tutti i materiali combustibili presenti nell'ambiente si è decomposta in maniera tale che un innesco improvviso nell'ambiente dia luogo a un rapido e grande incremento della temperatura (flashover).



FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

Il FLASH-OVER viene identificato numericamente come lo stadio ne lquale i fumi caldi che si sono accumulati a ridosso del soffitto aumentano di temperatura fino a raggiungere valori superiori ai **500 °C**.

In tali condizioni lo strato caldo può raffigurarsi come un corpo grigio che irraggia verso il basso: il materiale sottostante riceve energia termica in misura non inferiore ai **20 kW/m2** quindi superiore al flusso critico di accensione per la maggior parte dei materiali combustibili.

Aumenta la velocità di pirolisi e quindi la quantità di combustibile gassoso che si libera nel compartimento.

→ **Se la quantità di aria che fluisce all'interno del compartimento è ancora sufficiente** per la combustione di tali gas e pertanto si ha l'accensione improvvisa di tutto il materiale combustibile presente nel compartimento.

→ Si origina quindi **l'improvvisa e completa partecipazione alla combustione** di tutto il materiale combustibile che porta ad una impennata della curva dell'incendio che rappresenta un momento fondamentale nella storia termica dell'incendio.

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

4° Stadio (spegnimento) quando è stato consumato circa il 70-80% del combustibile disponibile, l'incendio entra nella fase di decadimento: il tasso di energia rilasciata diminuisce e di conseguenza anche la temperatura media del compartimento si abbassa.

L'incendio può eventualmente ritornare ad essere controllato dal combustibile se i prodotti della combustione diminuiscono o le aperture di ventilazione aumentano, per crolli o per intervento delle squadre di soccorso.

Tecnicamente l'incendio è esaurito quando la temperatura media del compartimento scende al di sotto dei **250 °C**.

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

La ventilazione gioca un ruolo fondamentale nello sviluppo di un incendio e pertanto è necessario capire gli ordini di grandezza delle portate di aria che si possono riscontrare in un compartimento. Infatti non bisogna pensare alla ventilazione soltanto in termini di porte aperte o di rotture dei vetri delle finestre: l'aria disponibile per una combustione affluisce da ogni zona di comunicazione tra il compartimento e l'ambiente esterno.

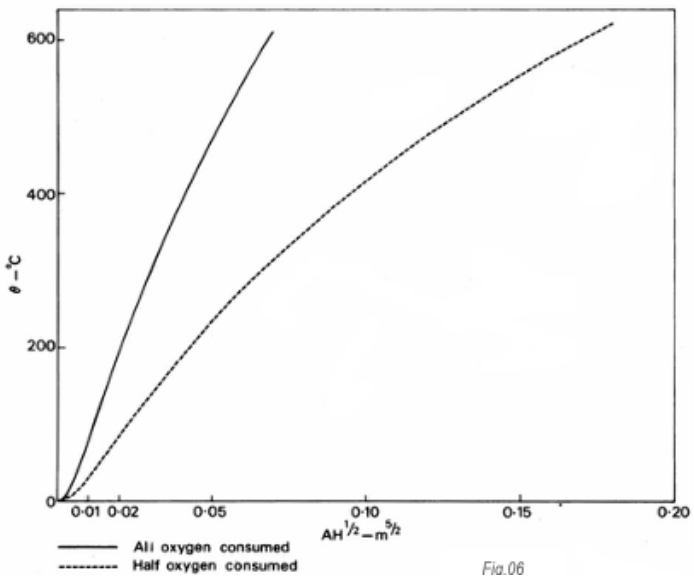


Fig.06

FATTORE DI VENTILAZIONE

$$A_w\ h^{1/2}$$

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

Esistono diversi approcci per **stimare l'insorgenza del flashover** dentro un locale. Essi si basano su bilanci semplificati di massa ed energia unitamente a correlazioni con sperimentazioni in locali di dimensioni e caratteristiche normalizzate.

La relazione originaria, proposta da Kawagoe nel 1958, correla area ed altezze delle aperture verticali di ventilazione con sperimentazioni effettuate mediante cataste di legno, quindi un carico d'incendio definito. Il tasso di combustione in un compartimento (è importante ricordare che questi "compartimenti" erano stanze di dimensioni ridotte) sotto condizioni di ventilazione limitate può essere calcolato mediante l'equazione:

$$m = K*A*H^{1/2}$$

dove:

- Aw ed H sono rispettivamente l'area e l'altezza delle aperture di ventilazione;
- K una costante che vale circa 0.09 kg/m5/2 s

NOTA:
Il tasso di combustione diventa indipendente dalla ventilazione per grandi valori di $A_wH^{1/2}$

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

Esistono altre correlazioni semplici per stimare il tasso di rilascio termino minimo che può produrre il flashover per un determinato compartimento. Per esempio **Thomas**, eseguendo un bilancio semplificato di energia trovò una relazione in cui il primo termine rappresenta la superficie totale interna del compartimento ed il secondo invece l'entalpia che fuoriesce dalle aperture di ventilazione:

$$Q = 7{,}8A_T + 378*A*H^{1/2}$$

Babrauskas ha sviluppato un modello semplice per la stima dell'energia minima necessaria allo sviluppo del flashover, fissando il salto di temperatura a 575 °C:

$$Q = 750\ A\ h^{1/2}$$

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

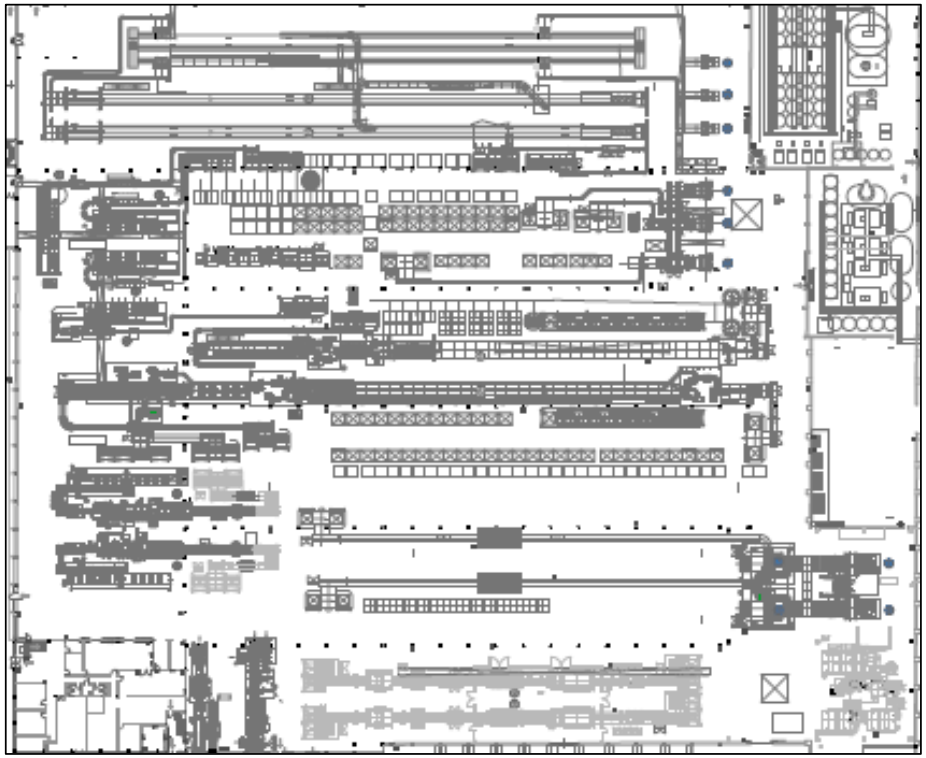
Fabbricato con lavorazione e materiale combustibile

L'Analisi del rischio sviluppata ha permesso di identificare i seguenti termini:

- R vita: A3
- R beni: 1
- R ambiente: non significativo

200m

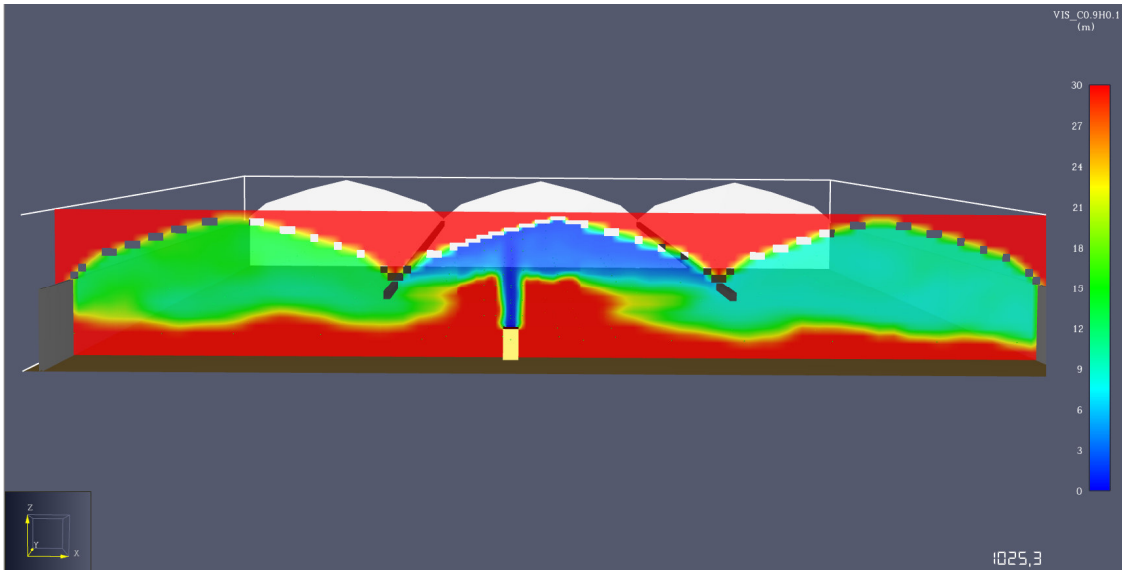
200m



FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

Fabbricato con lavorazione e materiale combustibile

1° STEP: Quale tempo hanno a disposizione gli **occupanti ed i soccorritori** interni per esodare o prestare il loro soccorso?



Questo valore rappresenta il termine **ASET**.

L'ASET è il valore nel quale gli effetti dell'incendio si mantengono sotto determinate **soglie di prestazione**

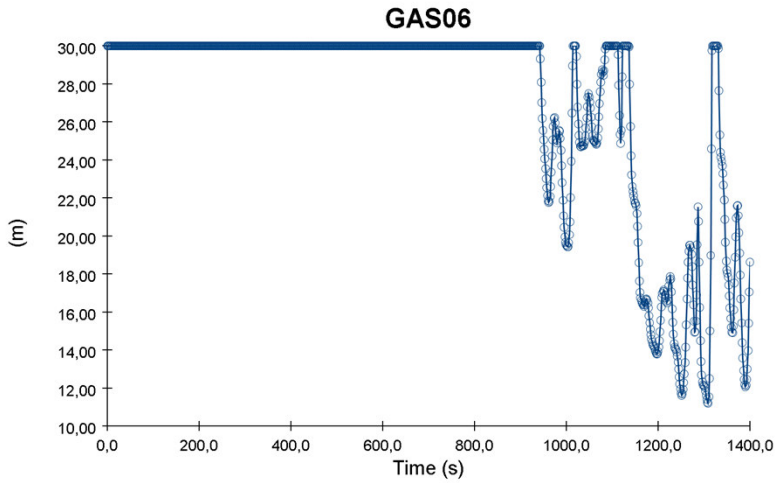
FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

Fabbricato con lavorazione e materiale combustibile

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 < 100m²: 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori n locali di superficie lorda < 100m²: 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, fractional effective dose e FEC, fractional effective concentration 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 incapacitati al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	-
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 60°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m²	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m²	[1]

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

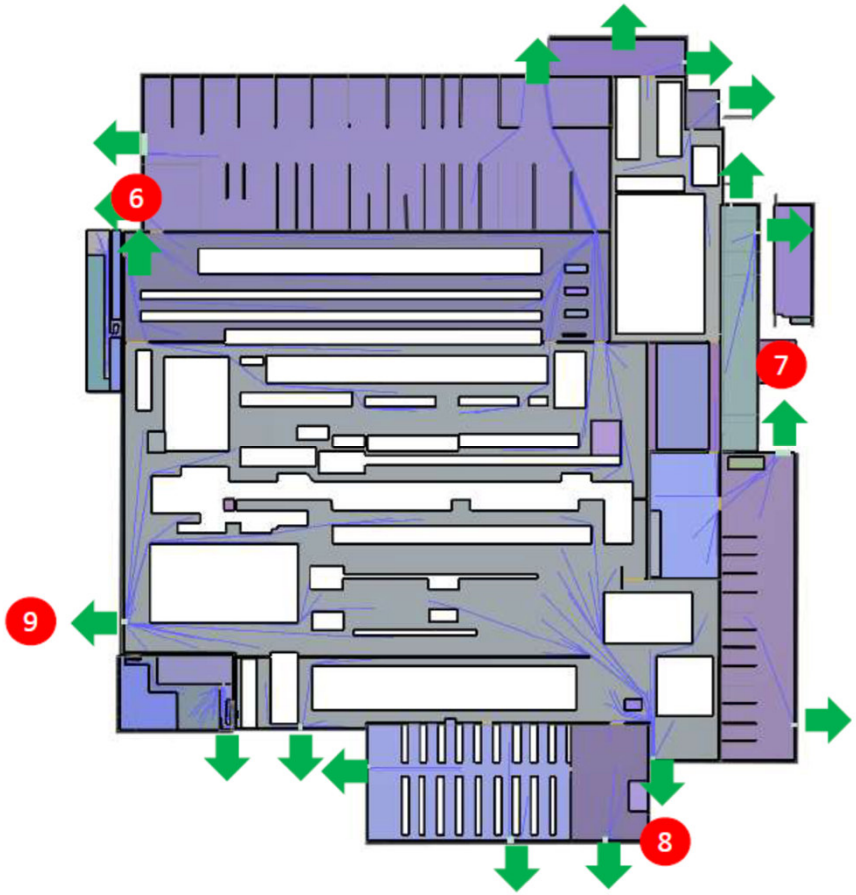
Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato



FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

Fabbricato con lavorazione e materiale combustibile

2° STEP: Quale tempo impiegano gli **occupanti ed i soccorritori** interni per esodare o prestare il loro soccorso?

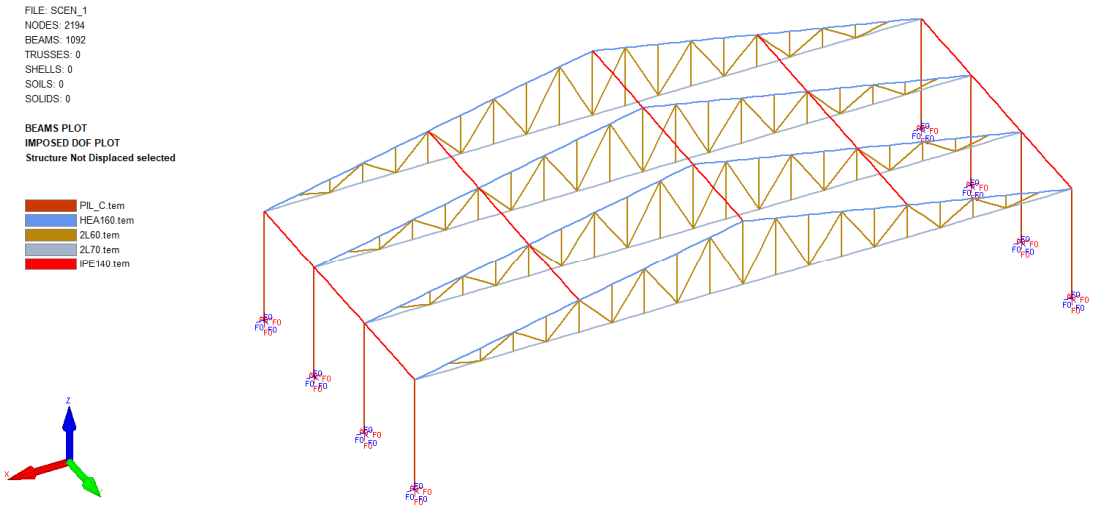


FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

Fabbricato con lavorazione e materiale combustibile

Ovviamente l'esodo non era l'unico problema di questo edificio **!!!**

E' interessante sapere però che la simulazione che fornisce i dati sull'esodo (visibilità, gas tossici, ect..) **può fornire anche le temperature** per sviluppare le analisi termo meccaniche:

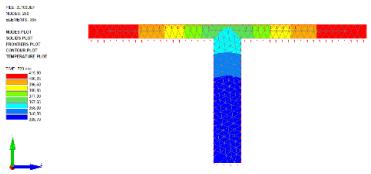


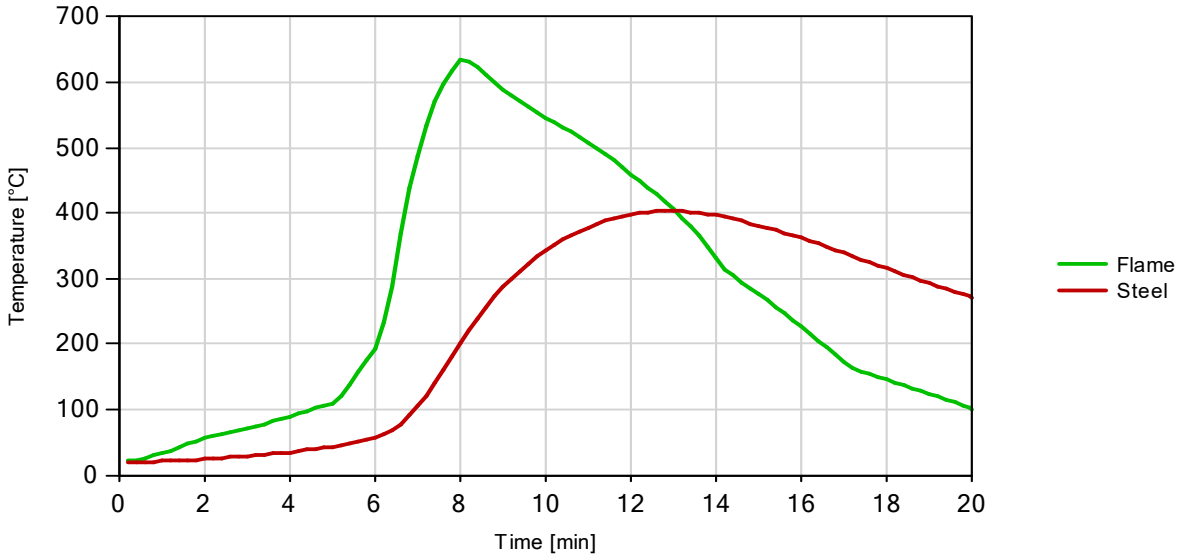
FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

Fabbricato con lavorazione e materiale combustibile

ANALISI TERMOSTRUTTURALE:

1. STEP: Analisi termica



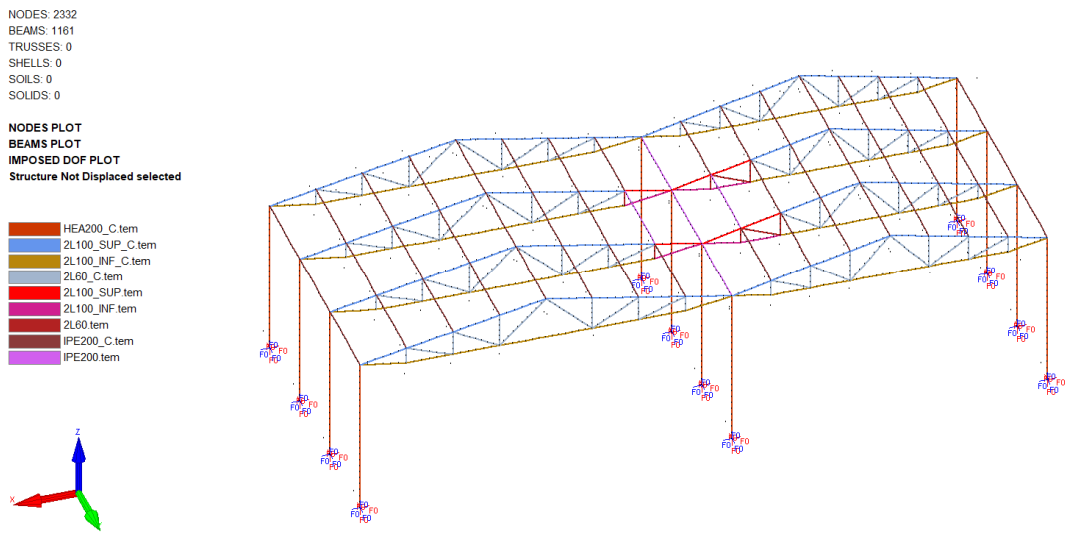


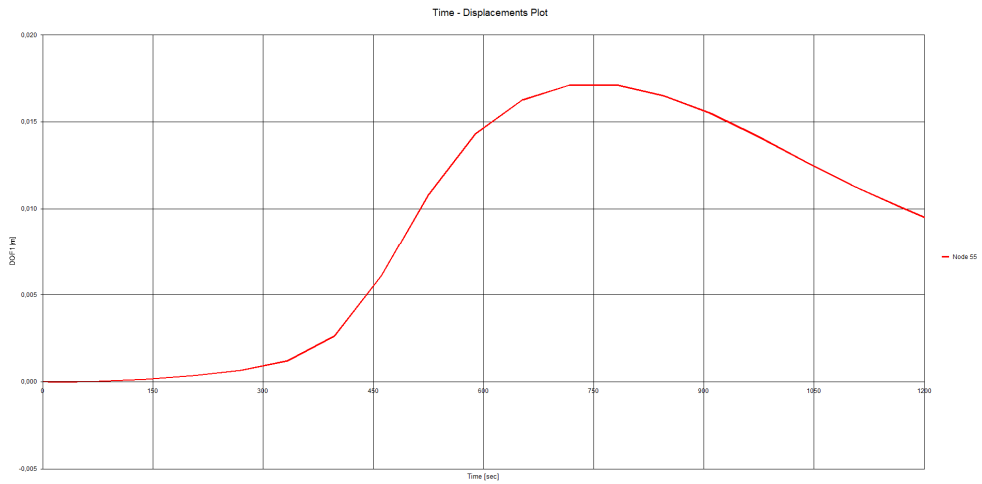
FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

Fabbricato con lavorazione e materiale combustibile

ANALISI TERMOSTRUTTURALE:

2. STEP: Analisi strutturale





Non sono presenti evidenti collassi dell'opera.

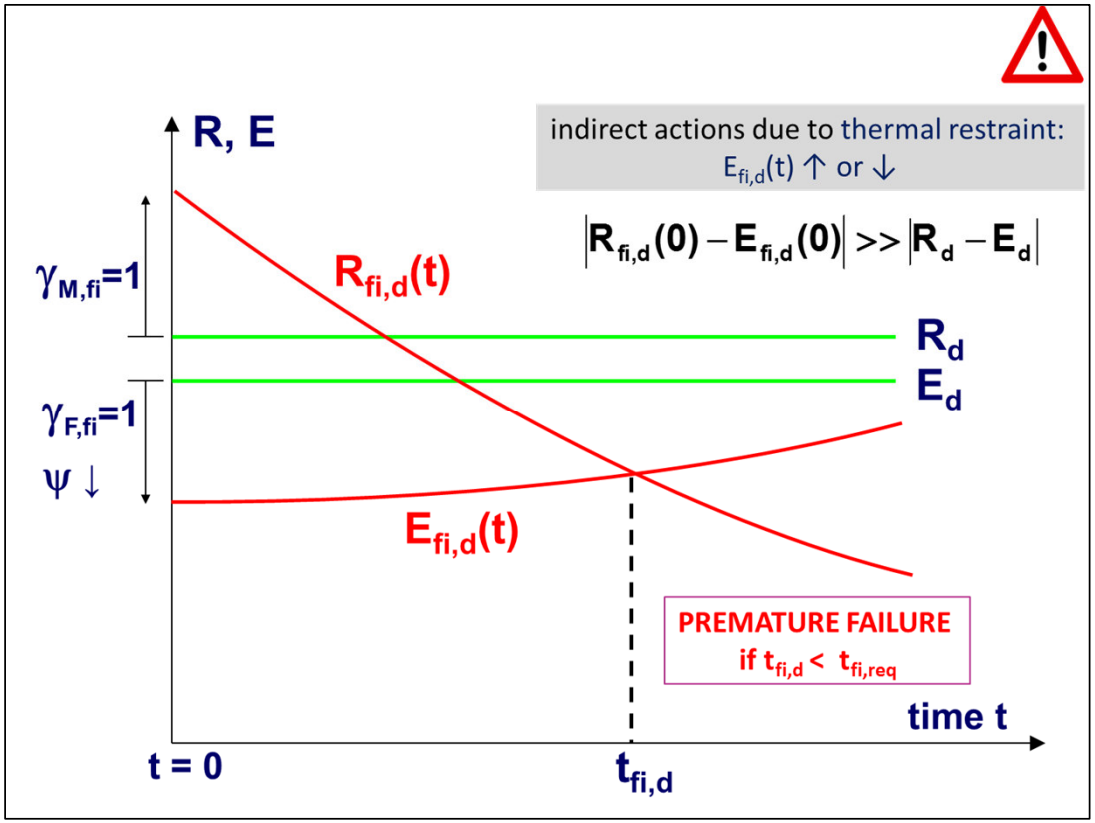
FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

Fabbricato con lavorazione e materiale combustibile

ANALISI TERMOSTRUTTURALE:

2. STEP: Analisi strutturale

Il collasso non viene raggiunto nei primi 15,5 minuti.



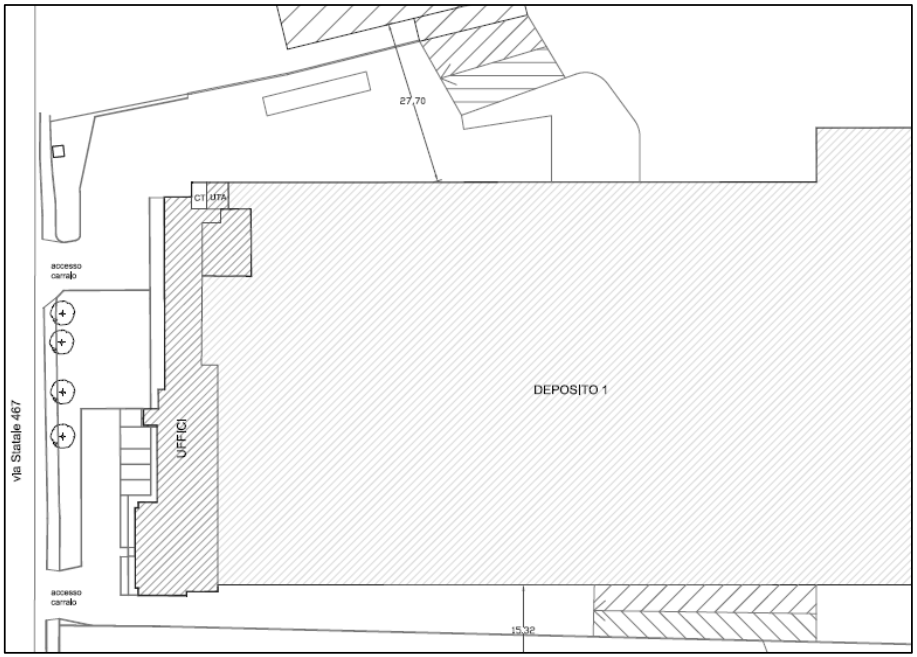
FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA COMPARTIMENTAZIONE

Deposito materiale combustibile

A seguito della definizione del profilo di rischio del Deposito di materiale combustibile è stata desunte la problematica della **Distanza di Separazione** Antincendio con altro fabbricato ed il relativo confine di proprietà.
Area compartimento: 41.0000 mq.
Distanza Confine: 6metri

Profilo di Rischio:

- R vita: A3
- R beni: 1
- R ambiente: non significativo

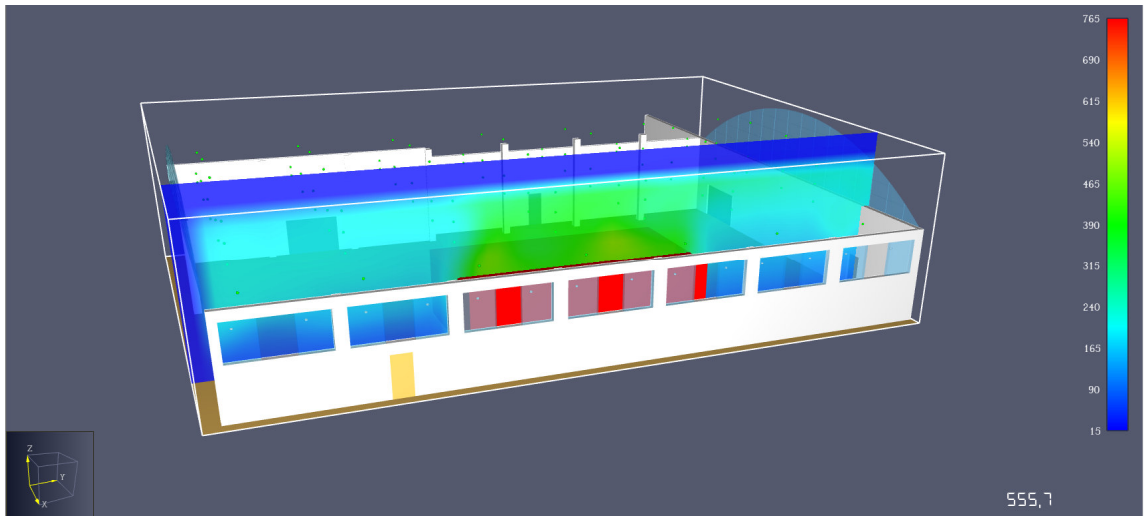


ELIMINAZIONE/RIDUZIONE DEGLI EFC

La soluzione alternativa per il Controllo dei Fumi e del Calore può consente di ridurre le richieste della UNI 9494.

In quali casi?
In generale, non sussistono particolari vincoli, quindi può essere applicato nella stragrande maggioranza dei casi. Devono essere presenti superfici compensative (anche vetrate) che consentono l'evacuazione di fumo e calore e di superfici per il riscontro di aria. Si cerca di sfruttare quanto esistente presso l'attività (griglie di ventilazione, portoni, ect..)

Come?
Controllo fumi e calore
in Soluzione Alternativa in F.S.E.



FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA COMPARTIMENTAZIONE

Deposito materiale combustibile

A seguito delle valutazione del profilo di rischio è necessario stabilire il **Livello 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

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA COMPARTIMENTAZIONE

Deposito materiale combustibile

Soluzioni conformi per il livello di prestazione II

NO, > 32.000 mq

SI

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 S.3.5 ed S.3.6, con le caratteristiche di cui al paragrafo S.3.7;
   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 S.3.5 ed S.3.6, 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.

Non è possibile mettere applicare il punto a. quindi è necessario procedere con l'Analisi della Distanza di Separazione:

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.

$di = \alpha i\ pi + \beta i = \ 0{,}3*7 + 7{,}7 =$ **9,8 metri > 6 metri**

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA COMPARTIMENTAZIONE

Deposito materiale combustibile

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.3.5.3), 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 $F_{2\text{-}1}$ 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

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA COMPARTIMENTAZIONE

Deposito materiale combustibile

Soglia di Prestazione

1. La presente *procedura tabellare* consente di determinare la distanza di separazione che limita ad un valore E_{soglia} pari a 12,6 kW/m^2 l'irraggiamento termico incidente sul *bersaglio*, prodotto dall'incendio della *sorgente* considerata.

La distanza d_i misurata tra l'i-esima piastra radiante ed il bersaglio garantisce adeguata *separazione* se è verificata la seguente relazione:

$$F_{2\text{-}1} \cdot E_1 \cdot \varepsilon_f < E_{soglia}$$

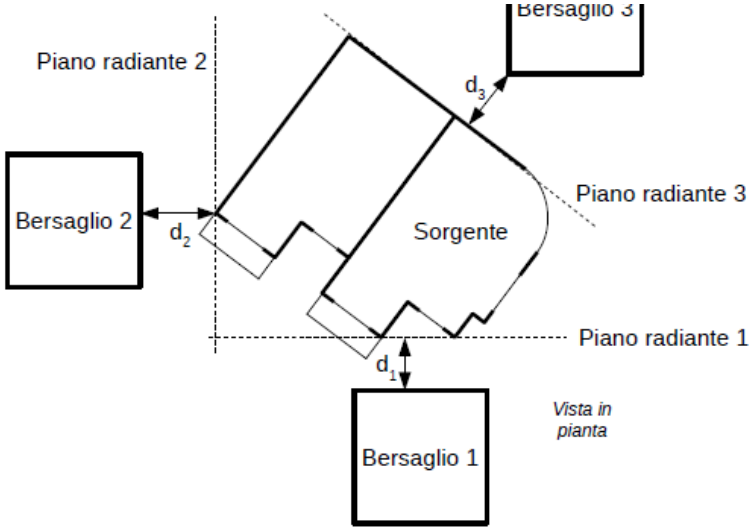
con:

$F_{2\text{-}1}$ fattore di vista

E_1 potenza termica radiante dovuta all'*incendio convenzionale* [kW/m^2]

ε_f emissività della fiamma

E_{soglia} soglia di irraggiamento dell'incendio sul bersaglio [kW/m^2]



FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA COMPARTIMENTAZIONE

Deposito materiale combustibile

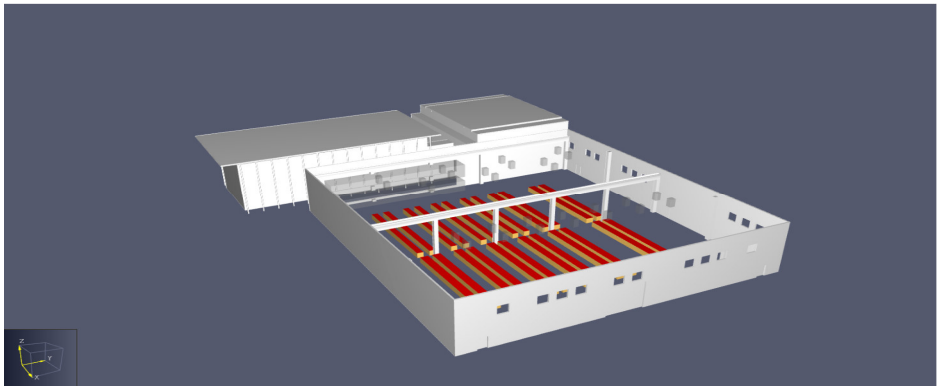
La **potenza termica radiante dell'incendio** convenzionale E1 è imposta come segue in funzione del carico di incendio specifico qf del compartimento retrostante l'i-esima piastra radiante:

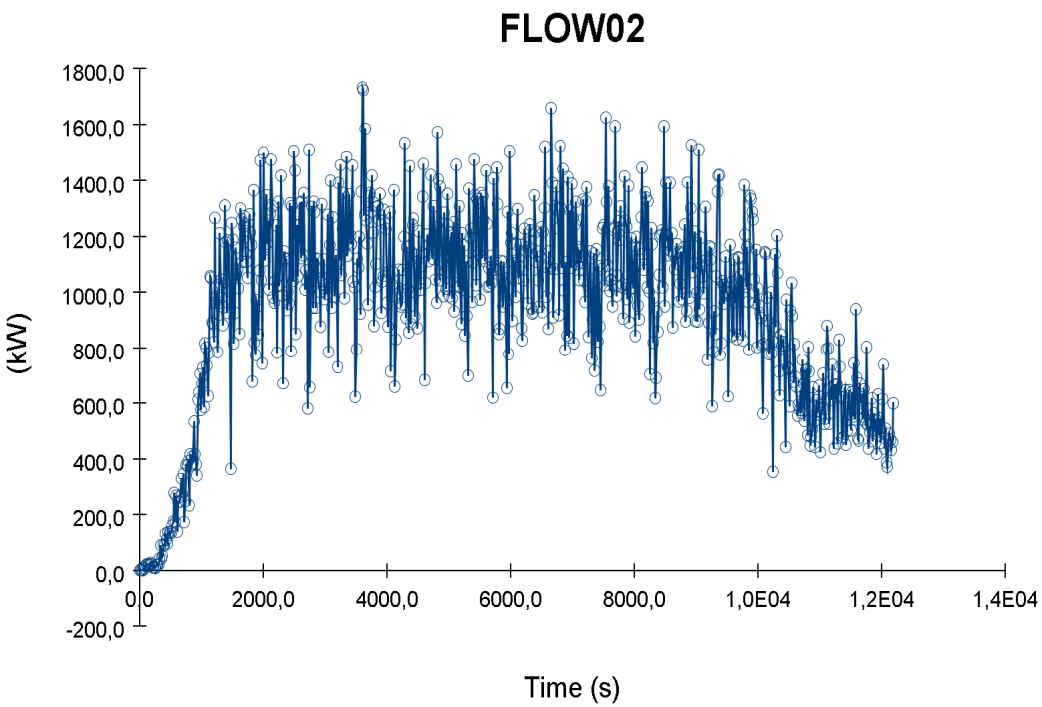
$$E_1 = \sigma \cdot T_4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot (1000 + 273{,}16)^4 = 149 \text{ kW/m}_2$$

L'assunzione della temperatura di 1000 gradi è assunta a favore di sicurezza, ma nella realtà è improbabile che si sviluppi una temperatura così alta, quindi si valuta tramite simulazione fluidodinamica la temperatura raggiunta dai fumi caldi in corrispondenza delle finestrature e la potenza termica radiante sull'altro edificio.

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA COMPARTIMENTAZIONE

Deposito materiale combustibile



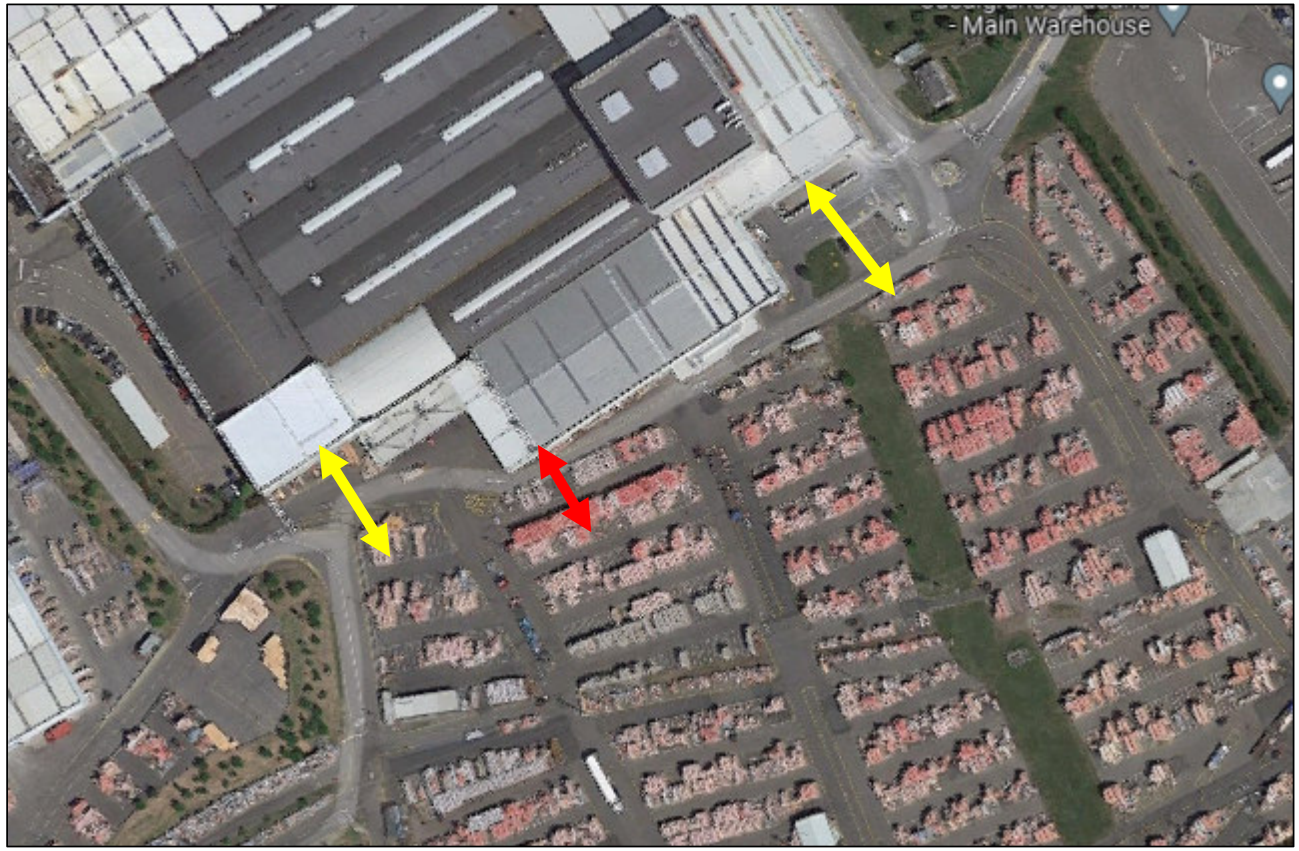


I valori restituiti fanno riferimento all'intera superficie di misura (130mq):
Potenza 1350/130 =

Potenza: **10,4 kW/m2 < 12,6 KW/mq**

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA COMPARTIMENTAZIONE

Deposito esterni ??

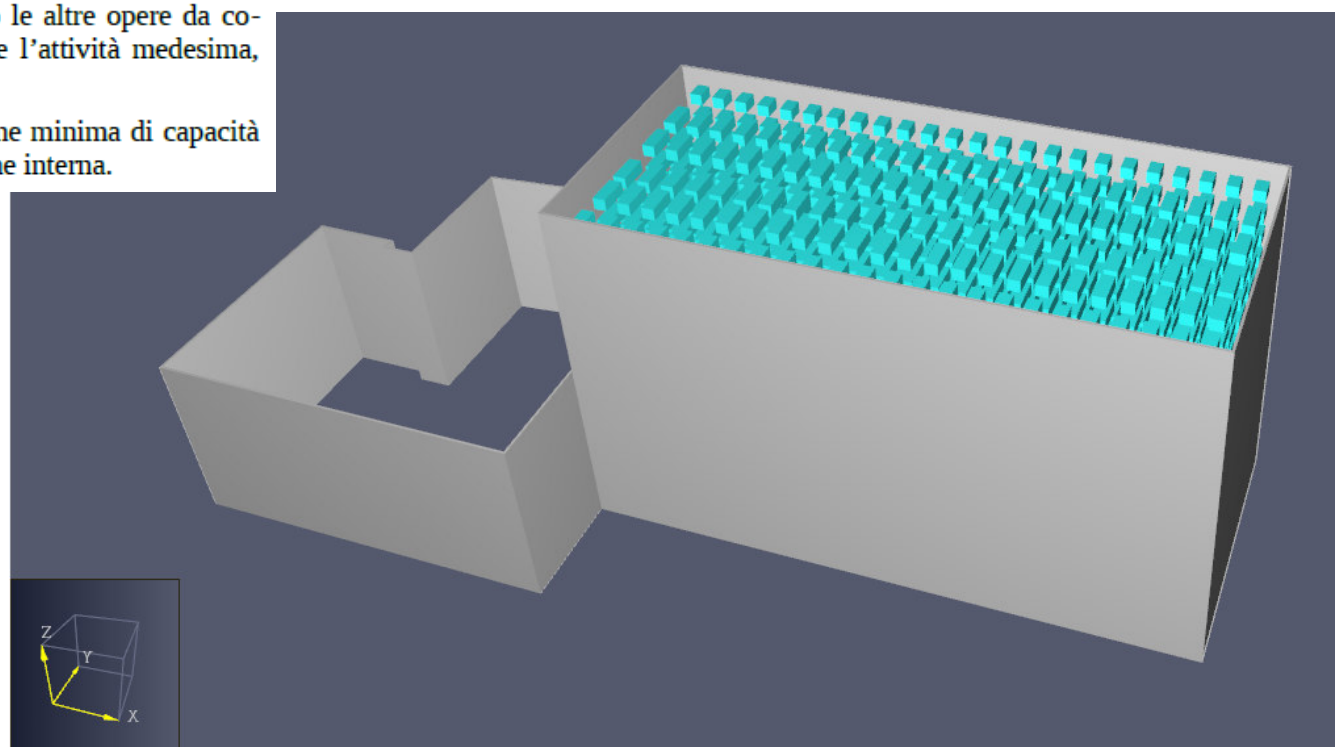


MAGAZZINO INTENSIVO AUTOMATICO AUTOPORTANTE

Soluzioni conformi per il livello di prestazione I

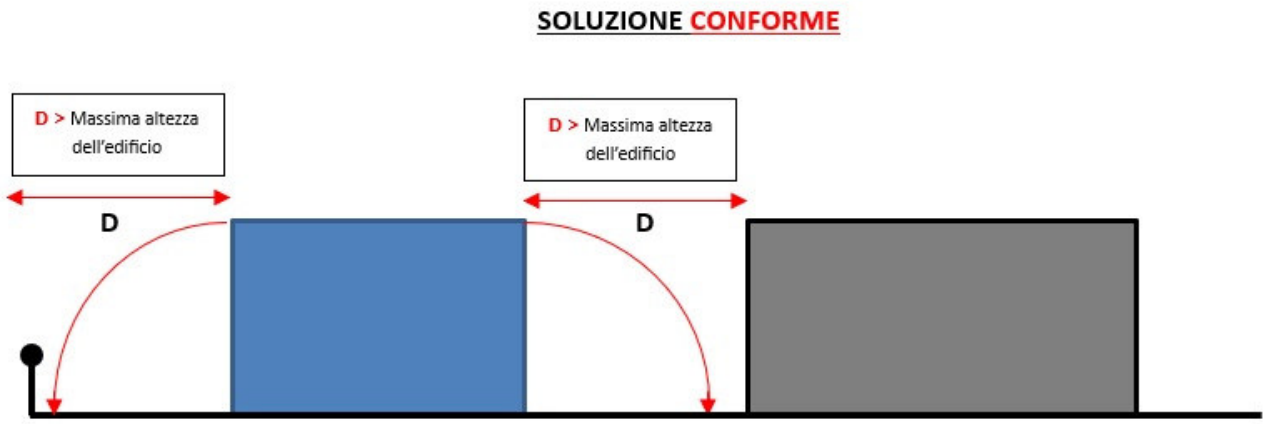
1. Deve essere interposta *distanza di separazione* su spazio a cielo libero non inferiore alla massima altezza della costruzione verso altre opere da costruzione e verso il confine dell'area su cui sorge l'attività medesima.
2. Deve essere limitata la propagazione dell'incendio verso le altre opere da costruzione o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima, adottando le soluzioni indicate al paragrafo S.3.4.1.
3. Non è richiesta all'opera da costruzione alcuna prestazione minima di capacità portante in condizioni di incendio, o di compartimentazione interna.

Nel caso di edifici a distanza inferiore all'altezza del magazzino automatizzato deve SEMPRE E COMUNQUE essere controllata la modalità di collasso nel caso non sia presente un impianto a disponibilità superiore



FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

l **COLLASSO IMPLOSIVO** in caso di incendio può essere richiesto quando l'edificio progettato secondo le norme di prevenzione incendi richiedono il soddisfacimento del **livello di prestazione I o II della resistenza al fuoco**. Infatti, questi due livelli di prestazione richiedono che l'edificio sia realizzato ad una distanza dagli altri corpi di fabbrica o dal confine di proprietà pari all'altezza dei suoi prospetti.
L'approccio con soluzioni conforme per il livello di prestazione paragrafo S.2.4.1, impone che sia interposta distanza di separazione su spazio 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 medesima.

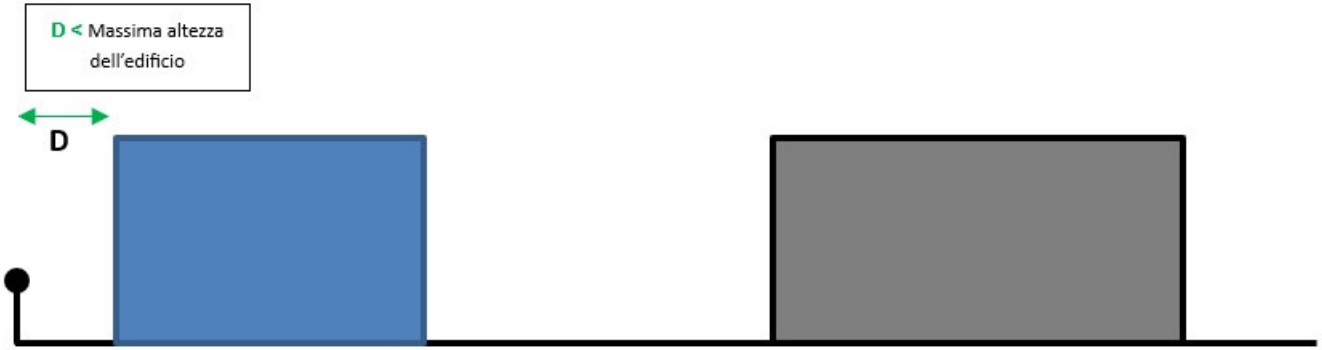


Fonte: https://safety-fire.it/it/servizi/resistenza-al-fuoco-e-analisi-collasso-implosivo

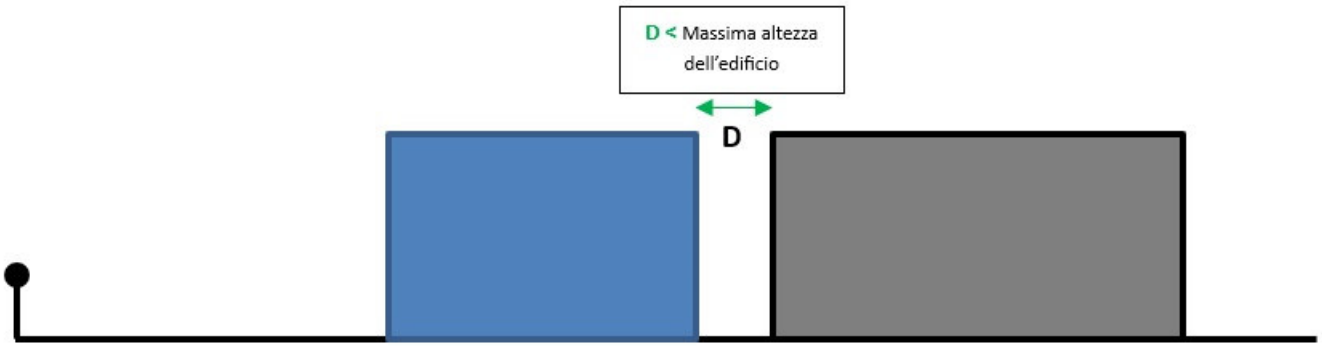
FIRE SAFETY I

L'approccio con soluzione alternativa, invece, consente di realizzare il fabbricato anche ad una distanza inferiore dal confine o da altra opera da costruzione, a patto di definire e calcolare la direzione del collasso strutturale.

SOLUZIONE ALTERNATIVA – DISTANZA DAL CONFINE

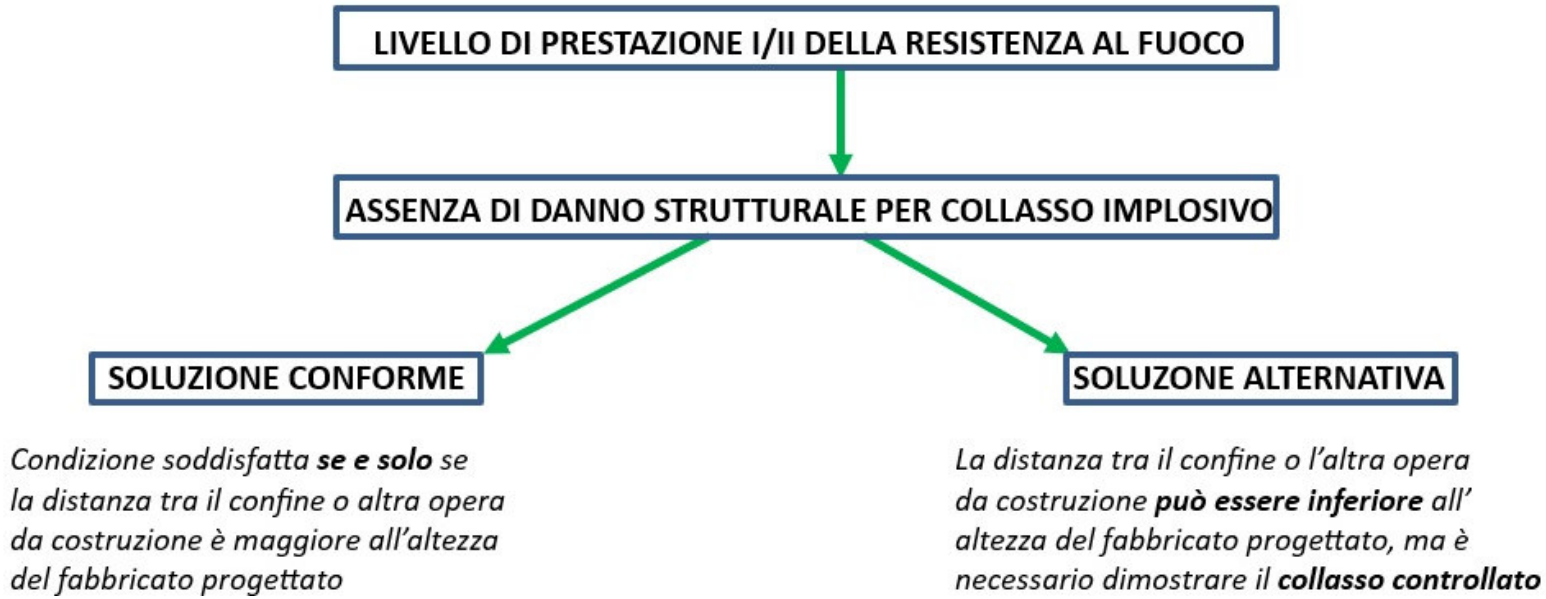


SOLUZIONE ALTERNATIVA – DISTANZA DA ALTRA COSTRUZIONE



FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

La soluzione alternativa consente di adottare il Livello di Prestazione II della resistenza al fuoco anche per fabbricati con distanze di separazione su spazio a cielo libero inferiore alla massima altezza della costruzione verso altre opere da costruzione e verso il confine dell'area su cui sorge l'attività medesima, purché sia **dimostrato analiticamente che l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni ad altre opere da costruzione o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima.**



FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

La dimostrazione analitica che il meccanismo di collasso dell'opera da costruzione è di tipo implosivo, deve essere analizzata nel comportamento globale dell'edificio ed in tal caso è necessario l'utilizzo di software di calcolo che possano sviluppare calcoli non lineari in termini di:

- **non linearità delle proprietà meccaniche e termiche dei materiali resistenti;**
- **non linearità dei carichi applicati**
- **non linearità geometrica.**

Nel caso in cui la strutturale analizzata non raggiunga un comportamento di tipo implosivo o almeno controllato verso una direzione preferenziale, allora è possibile introdurre uno degli accorgimenti tecnici che consentano di guidare la modalità di collasso:

- **adozione di criteri di gerarchia di resistenza al fuoco (es. assegnazione di sovra-resistenza al fuoco alle strutture perimetrali dell'opera da costruzione rispetto a quelle interne, …);**

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

- adozione di criteri di gerarchia di resistenza al fuoco (es. assegnazione di sovra-resistenza al fuoco alle strutture perimetrali dell'opera da costruzione rispetto a quelle interne, …);
- distribuzione spaziale dei carichi di incendio verso zone interne;
- adozione di forme strutturali convenienti (es. con inclinazione verso l'interno, …);
- adozione di elementi chiave in posizione opportuna;
- impiego di sistemi automatici per il controllo dell'incendio a disponibilità superiore;
- impilaggio piramidale dei materiali combustibili stoccati;
- adozione di vincoli che agevolino il collasso implosivo.

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

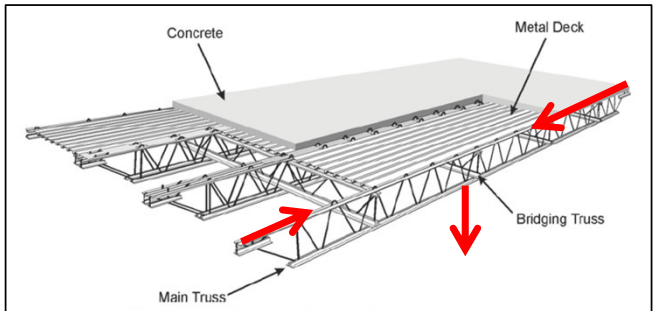
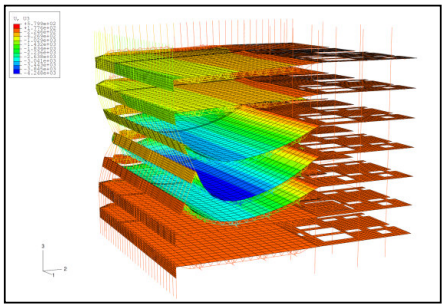


Figure 1–6. Schematic of composite floor truss system.

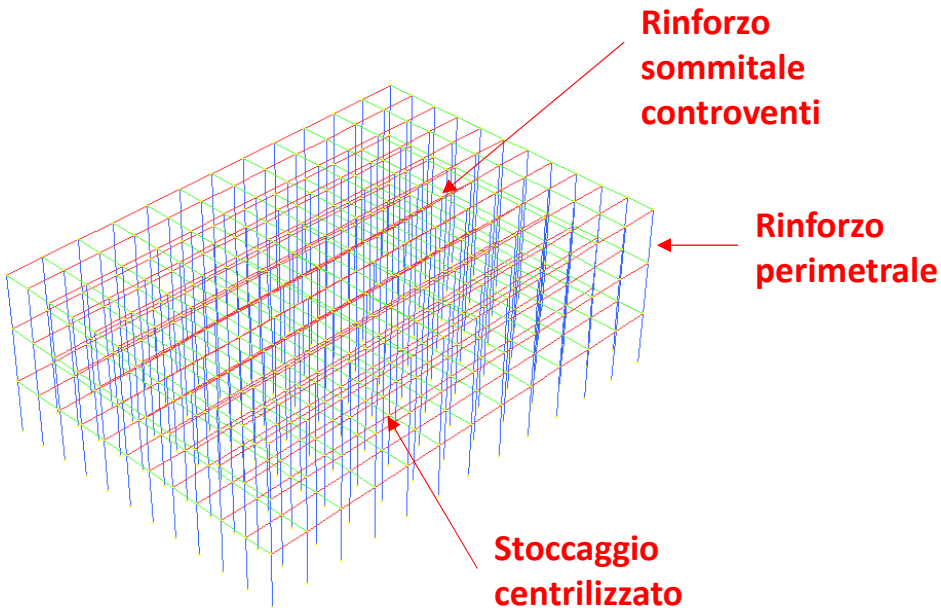


Per citare solo uno dei più evidenti casi di ''**bowing effect**'' :Torri Gemelle 11 Settembre 2001.
L'aumento di flessione del solaio ha comportato l'avvicinamento dei suoi estremi, provocando lo ''scalzamento'' dall'appoggio della trave portante e la perdita di appoggio con conseguente collasso.

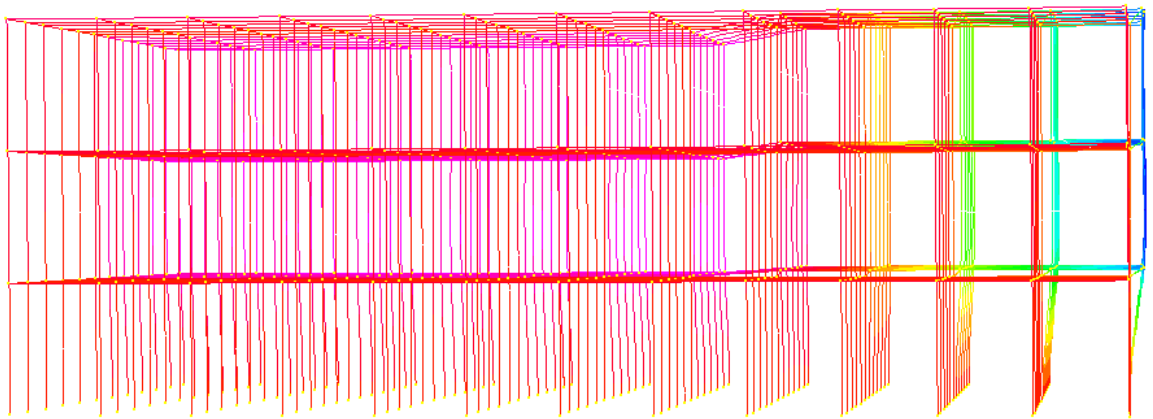
FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

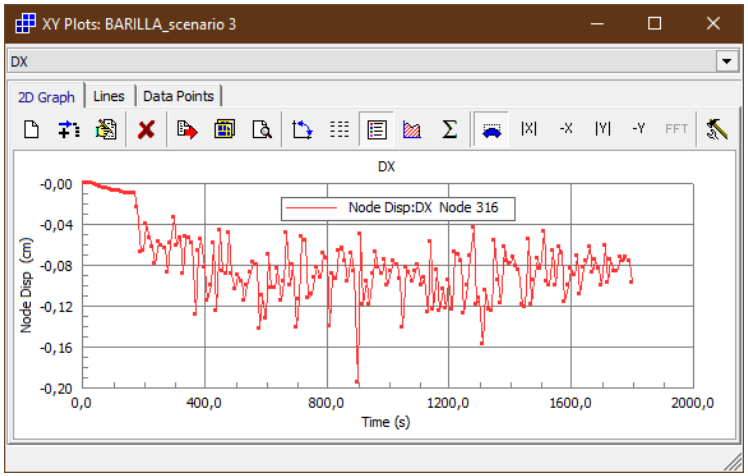
Nel caso si adotti la soluzione alternativa è necessario sviluppare l'Approccio Ingegneristico e tramite la FSE, ovvero la Fire Safety Engineering, modellare il comportamento termo-strutturale dell'edificio.

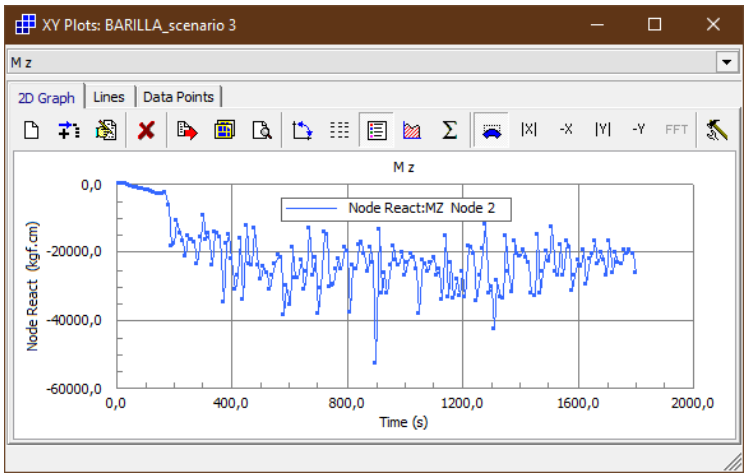
Nel caso specifico, è stata adottata soluzione alternativa e sono stati applicati gli accorgimenti tecnici che consentano di imporre la direzione del collasso, nella fattispecie l'adozione di criteri di gerarchia di resistenza al fuoco. Le risultanze dei calcoli svolti hanno evidenziato che le misure introdotte consentono la imporre la direzioni di collasso verso destra escludendo quindi che l'edificio possa collassare verso sinistra dove la distanza dal confine è inferiore alla massima altezza dell'edificio.



FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO







FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

L'altezza dei prospetti è pari a 11,70 metri, mentre i confini di proprietà sono a distanze minori dell'altezza dei prospetti e precisamente:

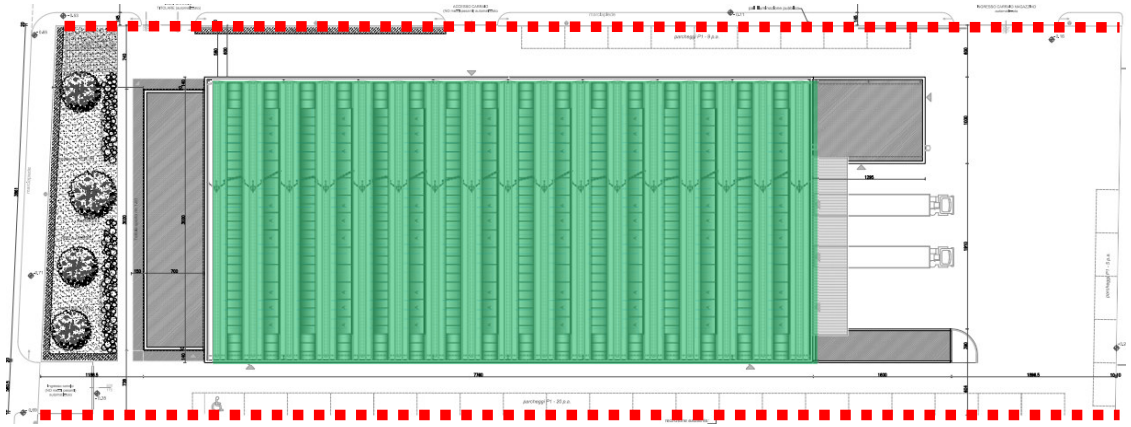
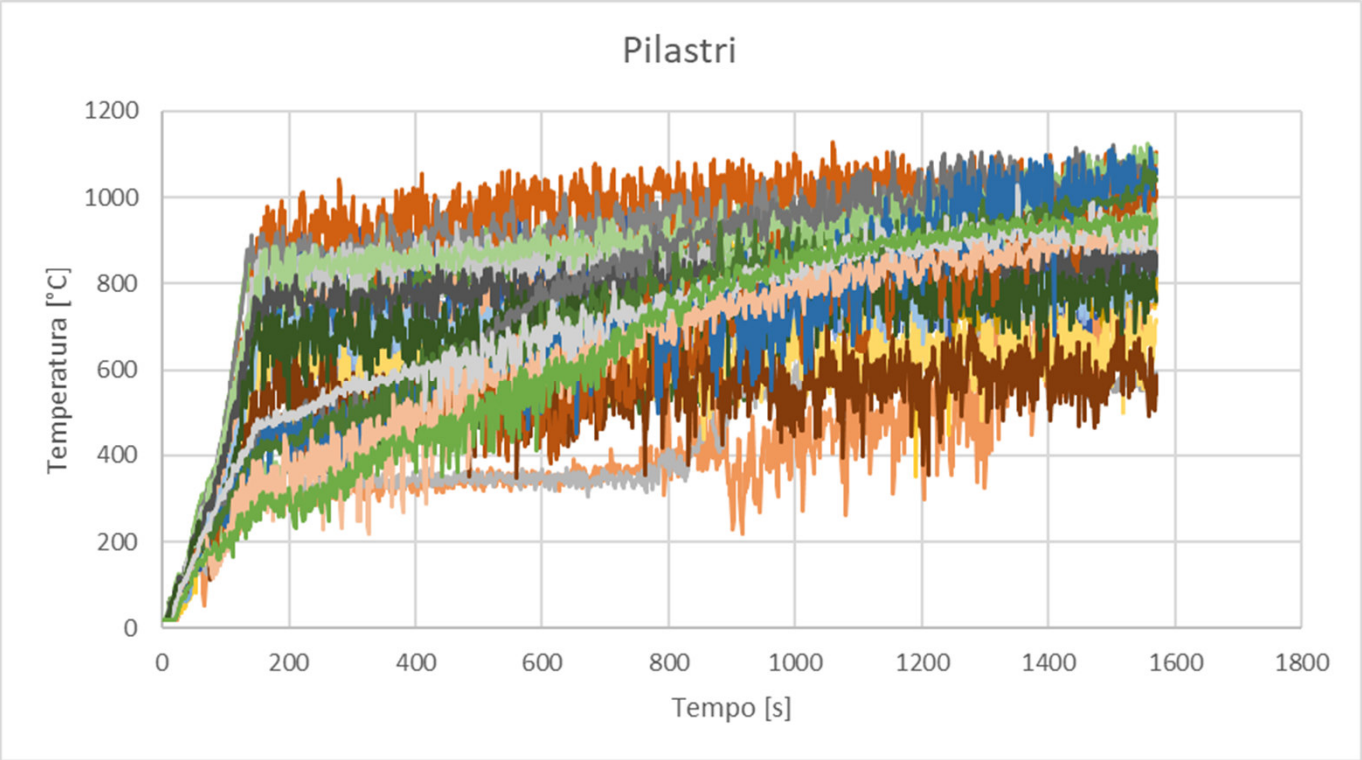


Figura 1: Planimetria con indicazione dei confini di proprietà con indicazione in azzurro dell'edificio analizzato

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

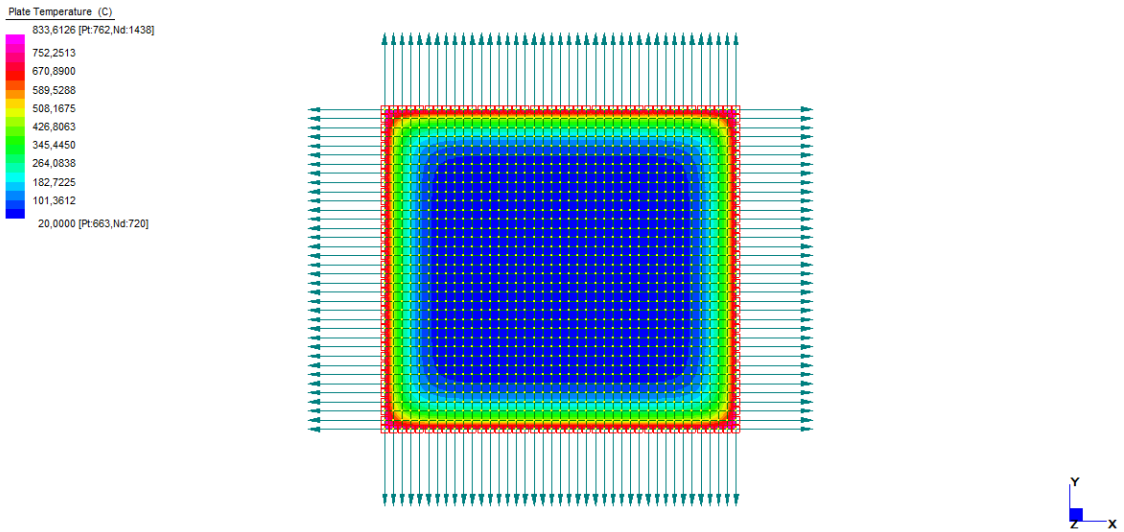
STEP 1: ANALISI TERMICA



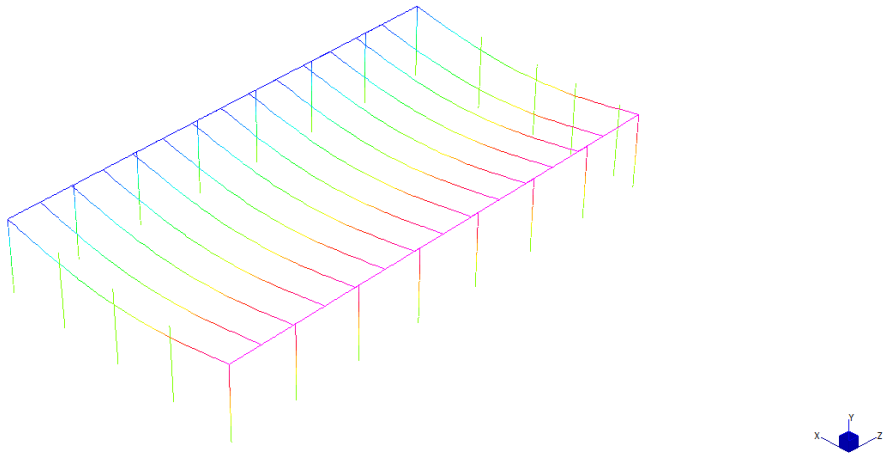
NO
ISO 834

FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

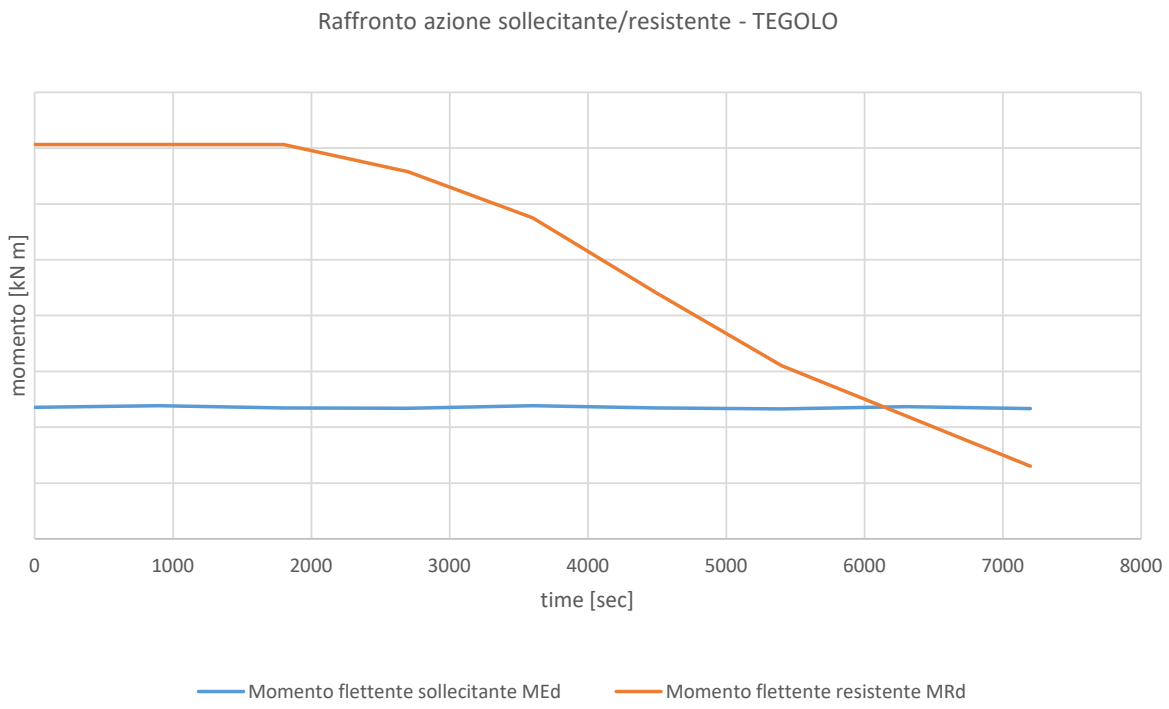
STEP 2.a: ANALISI TERMO-STRUTURALE



STEP 2.b: ANALISI TERMO-STRUTURALE



STEP 2.b: ANALISI TERMO-STRUTURALE



FIRE SAFETY ENGINEERING NELLA SISTEMA DELL'ESODO

La struttura descriverà un comportamento deformativo di tipo controllato in quanto il pilastro mantiene la sua rettilinea e non ruota verso l'esterno mentre la il tegolo può collassare sulla sua proiezione a terra per formazione di una cerniera plastica in mezzeria dovuta al raggiungimento del massimo momento flettente in campata all'istante temporale di 6100sec. Questo collasso viene definito di tipo controllato perché sono state introdotte una serie di misure tecniche che evitano di arrecare danno oltre i confini di proprietà.

Le misure tecniche introdotte sono state riprese direttamente dagli studi statunitensi sul "*Fire Induced Progressive Collapse*", ovvero:

1. **Sovra-resistenza in termini di resistenza al fuoco degli "elementi chiave"**:

I pilastri e le travi principali presentano una resistenza al fuoco maggiore di quella dei tegoli.

1. **Resistenza al fuoco dei pannelli perimetrali:**

I pannelli prefabbricati devono mantenere la propria stabilità strutturale anche in caso di incendio, quindi, devono essere provvisti di fissaggi resistenti al fuoco e devono resistere alla spinta laterale a cui possono essere interessati nel corso dell'incendio per dilatazione delle strutture portanti.

EDIFICIO CON MEZZANINI METALLICI

La soluzione alternativa alla Resistenza al Fuoco consente di eliminare la protezione passiva da questi elementi.

In quali casi?

II	Opere da costruzione o porzioni di opere da costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate *tutte* le seguenti condizioni: • compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti; • strutturalmente separate da altre opere da costruzione e tali che l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni alle stesse o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima; oppure, in caso di assenza di separazione strutturale, tali che l'eventuale cedimento della porzione non arrechi danni al resto dell'opera da costruzione o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima; • adibite ad attività afferenti ad un solo *responsabile dell'attività* e con i seguenti profili di rischio: ○ R_{vita} compresi in A1, A2, A3, A4; ○ R_{beni} pari ad 1; • densità di affollamento ≤ 0,2 persone/m²; • non prevalentemente destinate ad occupanti con disabilità; • aventi piani situati a quota compresa tra -5 m e 12 m.

Come?

Livello di Prestazione II con soluzione alternativa in F.S.E.

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 un margine di sicurezza $t_{marg} \geq 100\% \cdot RSET$ e comunque ≥ 15 minuti (paragrafo M.3.2.2).

AUMENTO DEL CARICO D'INCENDIO

La soluzione alternativa alla Resistenza al Fuoco consente di aumentare i quantitativi di materiale stoccato all'interno del deposito.

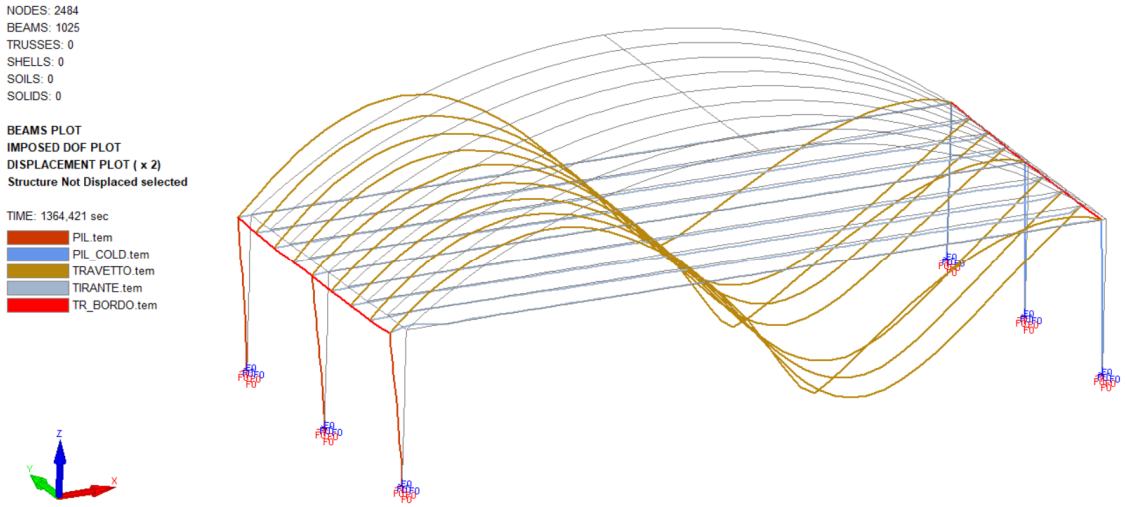
In quali casi?

In generale, non sussistono particolari vincoli, quindi può essere applicato nella stragrande maggioranza dei casi.

Quando i quantitativi aumentano in modo considerevole (+100/200/300%) potrebbe essere necessaria una specifica valutazione del Rischio Ambiente

Come?

Soluzione Alternativa in F.S.E.

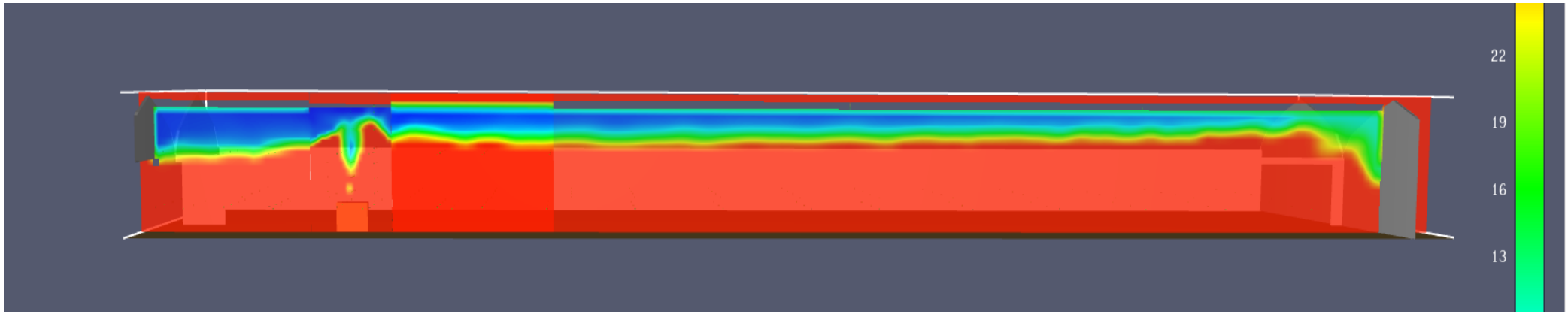


AUMENTO DELL'AFFOLLAMENTO

La soluzione alternativa per il Sistema di Esodo può consente di aumentare gli affollamenti previsti.

In quali casi?
In generale, non sussistono particolari vincoli, quindi può essere applicato nella stragrande maggioranza dei casi.

Come?
Esodo in Soluzione Alternativa in F.S.E.



ELIMINAZIONE IMPIANTO SPRINKLER

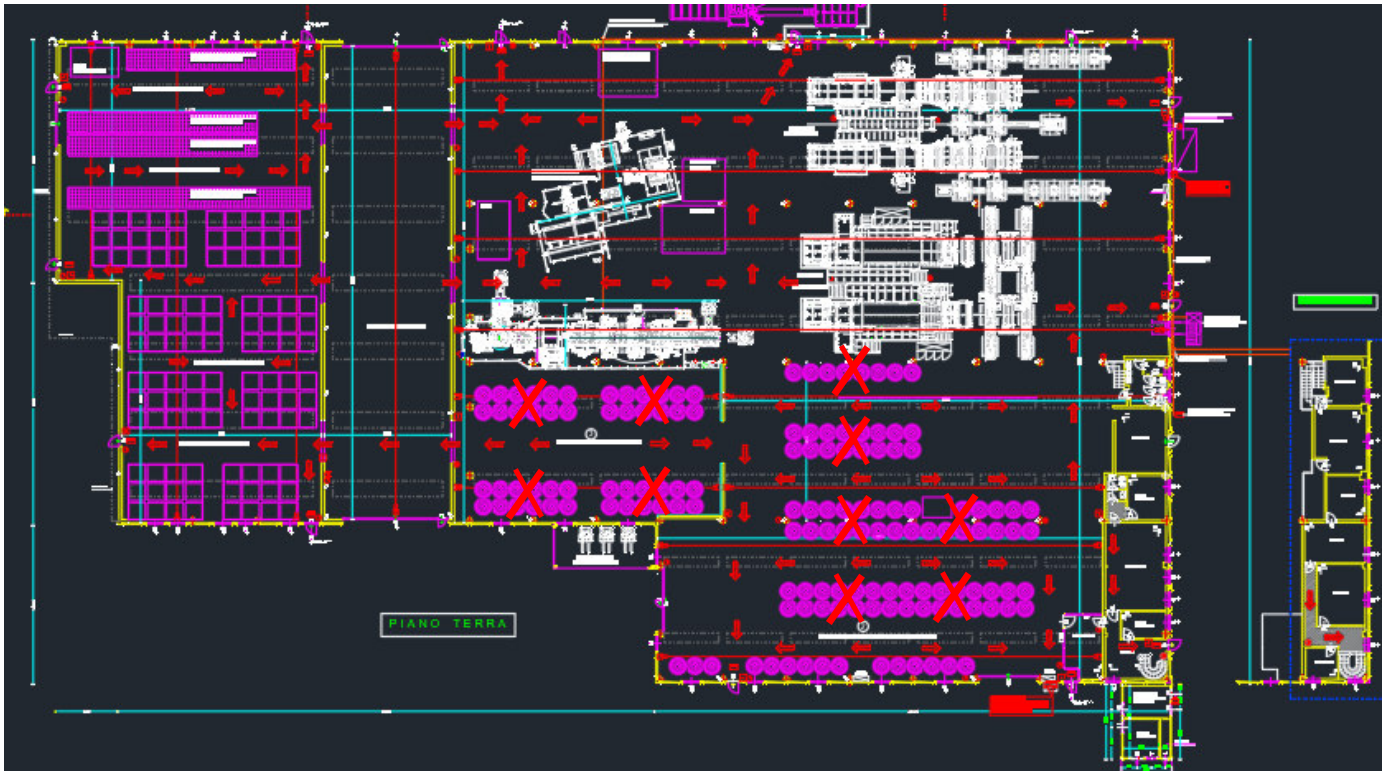
La soluzione alternativa per le misure interessate dallo sprinkler (resistenza, esodo, ect..) può consente di eliminare la presenza dell'impianto sprinkler.

In quali casi?
In casi particolari, in ambito industriale qualora siano garantiti tutti gli obiettivi della sicurezza antincendio.
In casi particolari, in ambito civile, quando risulta evidente che lo sprinkler riduce l'altezza libera dai fumi.

Come?
Soluzione Alternativa in F.S.E con Specifica valutazione del rischio ambiente tramite misure compensative (monitori esterni, ect..).

ELIMINAZIONE IMPIANTO SPRINKLER

La soluzione alternativa per le misure interessate dallo sprinkler (resistenza, esodo, ect..) può consente di eliminare la presenza dell'impianto sprinkler.



ELIMINAZIONE IMPIANTO SPRINKLER

Risulta necessario dimostrare la mancata propagazione dell'incendio tra le bobine.
In questo modo si dimostra che è già presente un impedimento alla propagazione anche in assenza dell'impianto sprinkler.

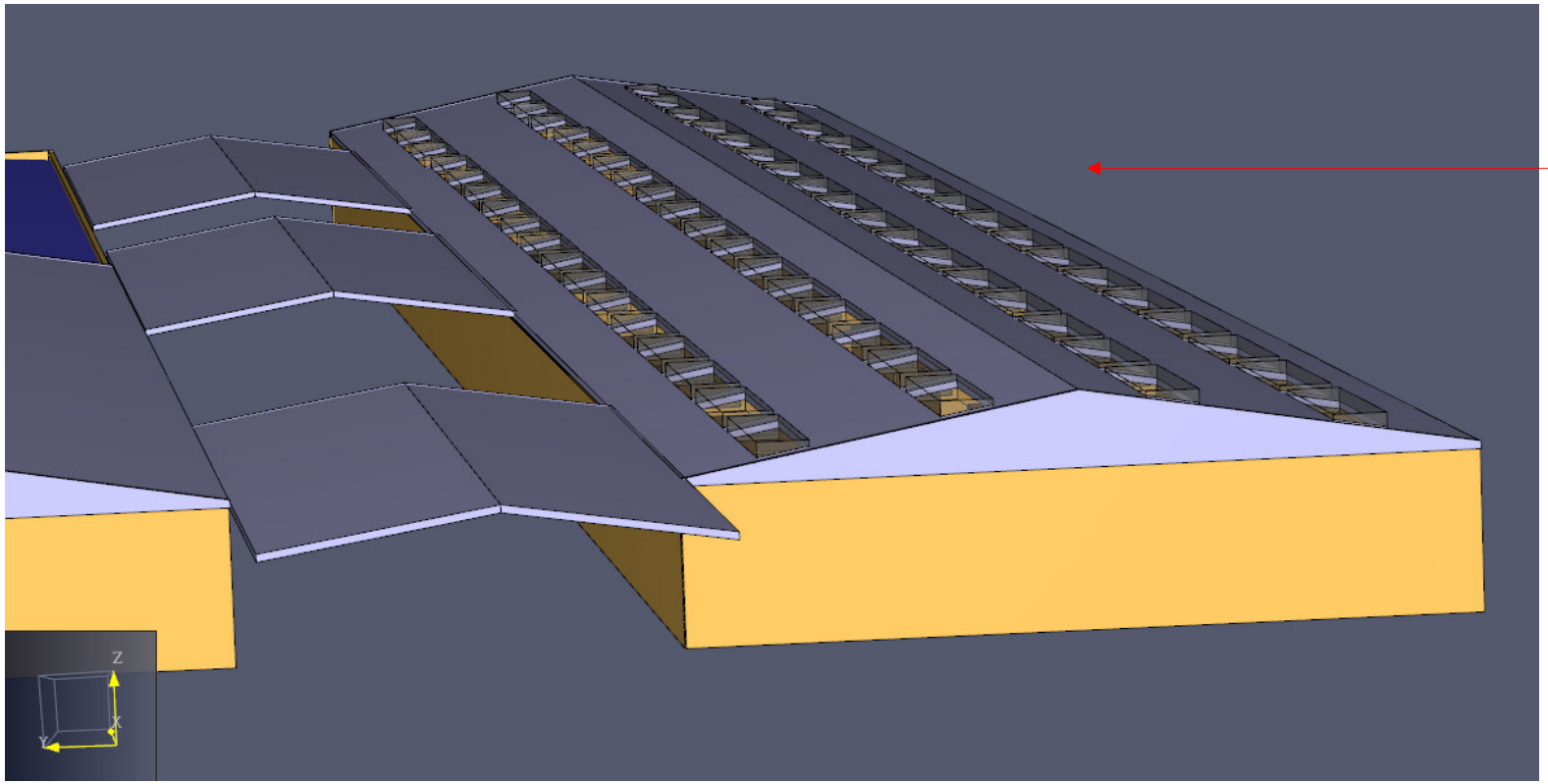
Possiamo lavorare sul layout dello stoccaggio?
Si, qual è la distanza minima?

Possiamo lavorare sulle fonti di innesco?
Possiamo spostare al ricarica muletti in altro compartimento o all'esterno?

Possiamo comunque fornire alle squadre interne dei dispositivi di spegnimento compensativo?
Estintori carrellati.

ELIMINAZIONE IMPIANTO SPRINKLER

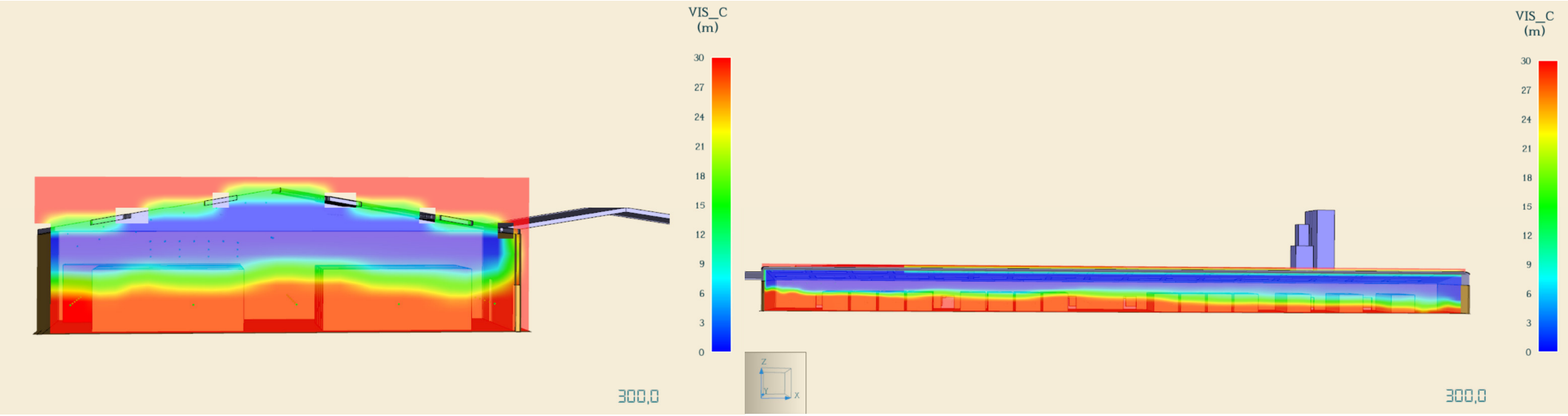
MODELLAZIONE CFD



VENTILAZIONE

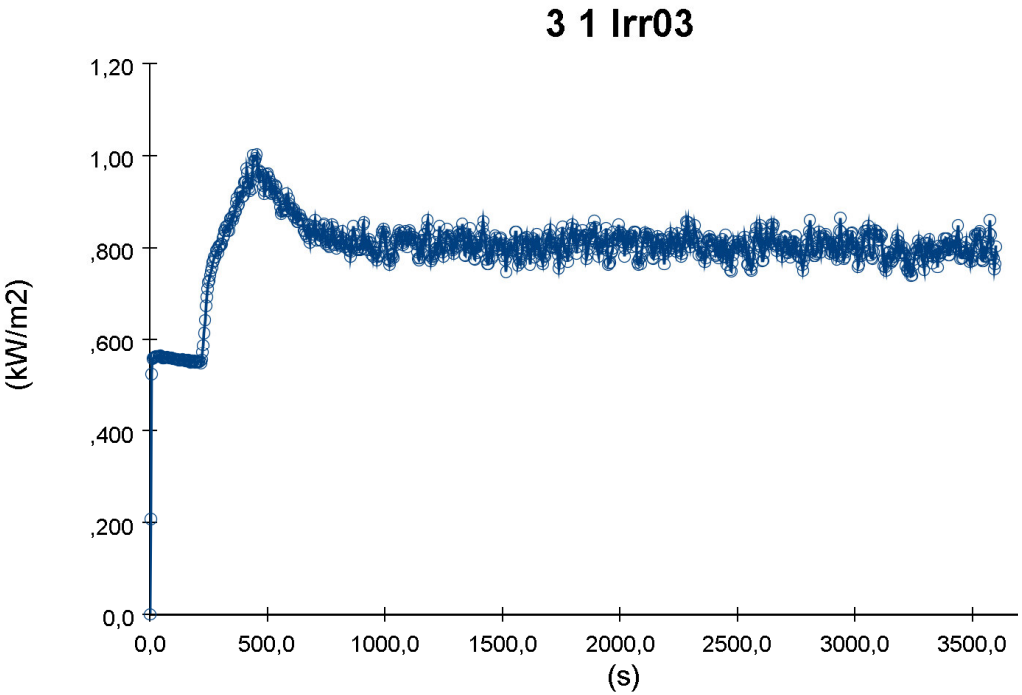
ELIMINAZIONE IMPIANTO SPRINKLER

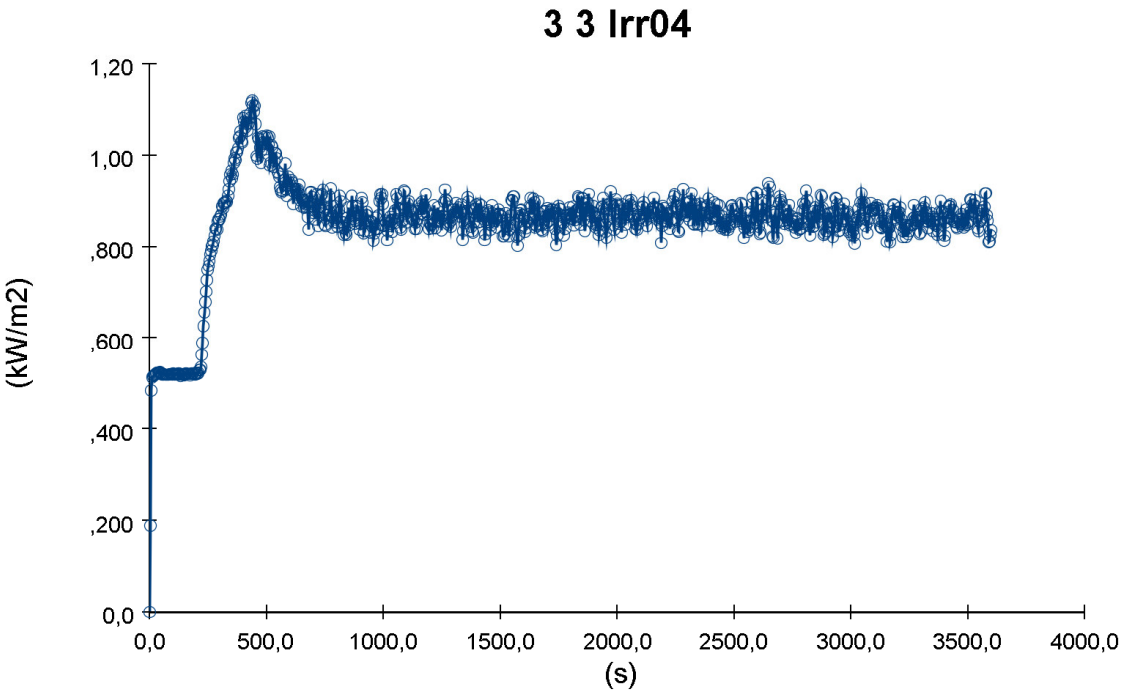
MODELLAZIONE CFD



ELIMINAZIONE IMPIANTO SPRINKLER

- distanza tra baie pari ad almeno 2 bobine
- altezza di impilamento inferiore ai 3 metri
- estintori carrellati ad acqua





CONTACT

Ing. Daniele Andriotto
Fire Engineer
C. 393 5283518
andriottodaniele@gmail.com

Articoli **INGENIO**
https://www.ingenio-web.it/autori/andriotto-daniele

Articoli **RIVISTA ANTINCENDIO**
https://www.insic.it/prevenzione-incendi