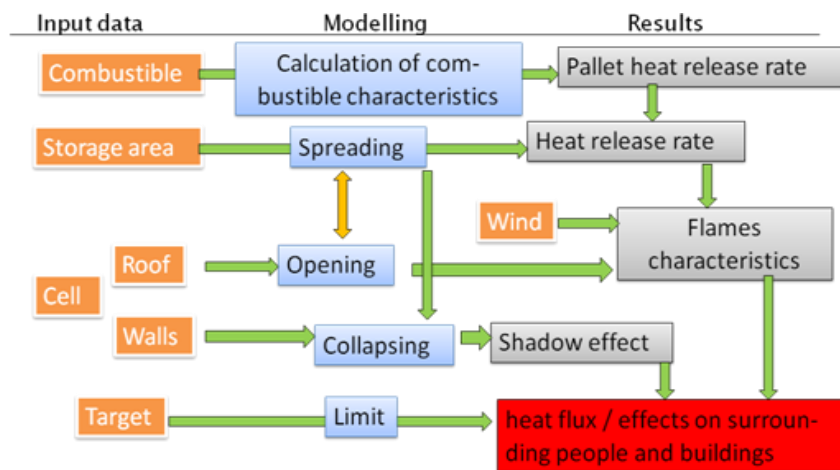


8. La sicurezza in caso di incendio degli edifici adibiti a deposito e le prestazioni delle strutture portanti.

A cura di:



Premessa

Il presente documento illustra il risultato di recenti progetti di ricerca condotti in ambito Europeo e dedicati alla messa a punto di metodologie di calcolo rivolte a individuare la sicurezza in caso di incendio delle strutture di acciaio degli edifici adibiti a deposito.

Nell'articolo presentato sono esposti i risultati degli studi condotti per individuare come possono essere verificati i diversi obiettivi della sicurezza in caso di incendio, in particolare la sicurezza degli occupanti e quella delle squadre di soccorso. L'obiettivo del lavoro è quello di delineare una metodologia, basata sui criteri di calcolo previsti dalle norme vigenti, capace di individuare i requisiti minimi di resistenza strutturale necessari per garantire gli obiettivi della sicurezza in caso di incendio.

La sicurezza in caso di incendio degli edifici adibiti a deposito e le prestazioni delle strutture portanti. I risultati della ricerca in Europa

Bin Zhao – CTICM, Centre Technique Industriel de la Construction Metallique

Sandro Pustorino – Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in Caso di Incendio (Coordinatore)

Nicolas Hennenon – CTICM, Centre Technique Industriel de la Construction Metallique

Il presente lavoro è frutto delle attività condotte dalla Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso d'Incendio istituita e sostenuta da Fondazione Promozione Acciaio.

Introduzione

Con la Direttiva Comunitaria 89/106 l'obiettivo della sicurezza in caso di incendio di un edificio è stato definito in modo tale da consentire anche l'applicazione di criteri di calcolo basati su un approccio ingegneristico. Come altre tipologie di edifici, anche gli edifici adibiti a deposito sono stati oggetto di importanti lavori di ricerca che hanno avuto come principale obiettivo quello di definire criteri di valutazione utili alla progettazione ed alla verifica della sicurezza in caso di incendio.

Centrando l'attenzione sul ruolo che hanno le strutture portanti dell'edificio adibito a deposito per il raggiungimento dell'obiettivo della sicurezza in caso di incendio, il presente contributo vuole presentare i principali risultati della ricerca condotta in ambito europeo. In particolare sono esposti i risultati di un importante progetto concluso nel 2008, denominato Flumilog, che ha avuto come obiettivo la messa a punto di metodi di calcolo utili per la valutazione della sicurezza in caso di incendio degli edifici adibiti a deposito.

Nell'ambito del progetto, realizzato con il contributo di diversi partner (CTICM, INERIS, AFILOG, ArcelorMittal, SCMF, CNPP, IRSN e Efectis France), la definizione e la calibrazione dei metodi di calcolo è stata condotta dai principali laboratori francesi che operano nel settore dell'ingegneria dell'incendio, come INERIS, CNPP, IRSN e CTICM, con il principale scopo di consentire l'evoluzione dei regolamenti vigenti per la realizzazione delle infrastrutture destinate a deposito.

In particolare le attività del progetto di ricerca hanno permesso di definire un nuovo metodo per il calcolo del flusso termico dovuto all'incendio dei materiali immagazzinati.

Le attività del progetto hanno previsto anche una serie di test e una prova di incendio in scala reale che hanno consentito la verifica di tutti i modelli di calcolo su cui è basata la procedura di valutazione della sicurezza in caso di incendio per gli edifici adibiti a deposito.

I risultati della ricerca hanno consentito l'introduzione nel quadro normativo vigente francese dei metodi di calcolo tipici dell'approccio ingegneristico per la valutazione della sicurezza in caso di incendio degli edifici adibiti a deposito. Sono, infatti, oggi in vigore in Francia i seguenti decreti:

- Arrête relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts couverts relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n°1510 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement;
- Arrête relatif aux prescriptions générales applicables aux dépôts de papier et de carton relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n°1530 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement;
- Arrête relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts frigorifiques relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n°1511 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

Alle conclusioni di questo progetto di ricerca ha guardato con interesse la Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni in Acciaio in caso di Incendio, che ha avviato un'attività di approfondimento tecnico che inizia con la presentazione dei principali risultati riportati nel presente contributo.

La sicurezza in caso di incendio degli edifici adibiti a deposito: il progetto di ricerca Flumilog

1) Descrizione della ricerca

Il progetto di ricerca Flumilog è stato condotto da quattro istituti di ricerca francesi, CNPP, CTICM, INERIS e IRSN, con l'obiettivo di individuare una metodologia di calcolo per valutare gli effetti di eventi di incendio che possono verificarsi in un edificio adibito a deposito.

Il metodo si basa sull'impiego di un modello di calcolo dell'incendio naturale e prevede l'analisi del fenomeno per tutta la sua durata, dalla fase di innesco fino allo spegnimento. Le attività del progetto hanno trattato tutti i principali aspetti che interessano il requisito di sicurezza in caso di incendio di un edificio adibito a deposito, in particolare i criteri per la valutazione:

- del flusso termico verso le costruzioni vicine;
- della sicurezza delle condizioni di esodo degli occupanti;
- della sicurezza dell'intervento delle squadre di soccorso;
- delle prestazioni di stabilità delle strutture.

Al fine di verificare e validare il metodo sono stati fatti 8 test su magazzini di 100 m² di superficie e una prova in scala reale su un magazzino di 850 m² di superficie e alto 12 m. Durante le prove sono stati misurati i flussi di calore ed è stato considerato in particolare il comportamento delle pareti. Durante questi test sono stati usati vari tipi di prodotti immagazzinati. Tra l'altro è stata verificata l'influenza che hanno le condizioni di vento sul flusso di calore prodotto dall'incendio.

L'applicazione generale del metodo si basa su una procedura standardizzata che si compone dei seguenti passi principali:

- raccolta dei dati di input (materiali combustibili e loro disposizione all'interno dell'edificio, caratteristiche dell'edificio, pareti, copertura, ...);
- calcolo delle caratteristiche delle fiamme (forma delle fiamme, influenza del vento e effetto dell'eventuale rottura di elementi di tamponamento e copertura);
- calcolo dei flussi termici e degli effetti ad essi associati (si tiene conto anche delle caratteristiche degli elementi esposti agli effetti del flusso termico e del grado di affacciamento tra superficie radiante e gli elementi investiti dal flusso).

Nella figura seguente sono sintetizzati i passi fondamentali della procedura di calcolo.

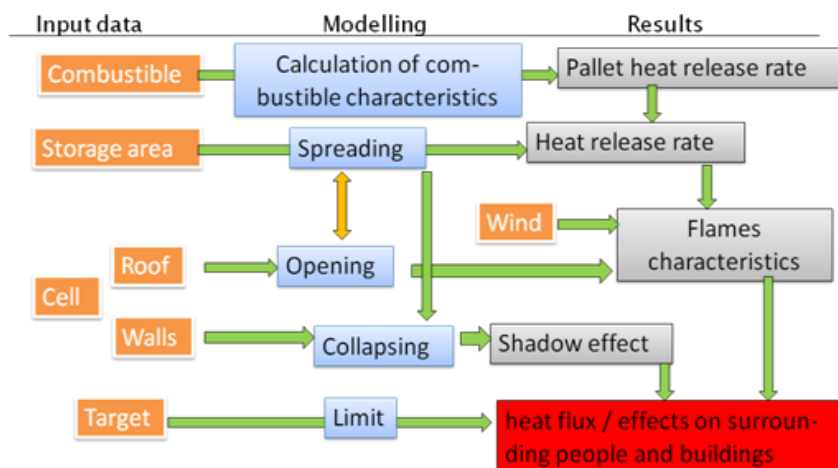


Fig 1. Diagramma di flusso del metodo

I modelli di calcolo impiegati nel processo di valutazione della sicurezza in caso di incendio sono stati verificati mediante l'esecuzione di una serie di test in scala ridotta e di un test di incendio in scala reale. Il test in scala reale è stato svolto a Rouvroy-Les-Merles (F) il 26 settembre 2008. Nella figura seguente sono riportate le caratteristiche principali dell'edificio sottoposto a prova.

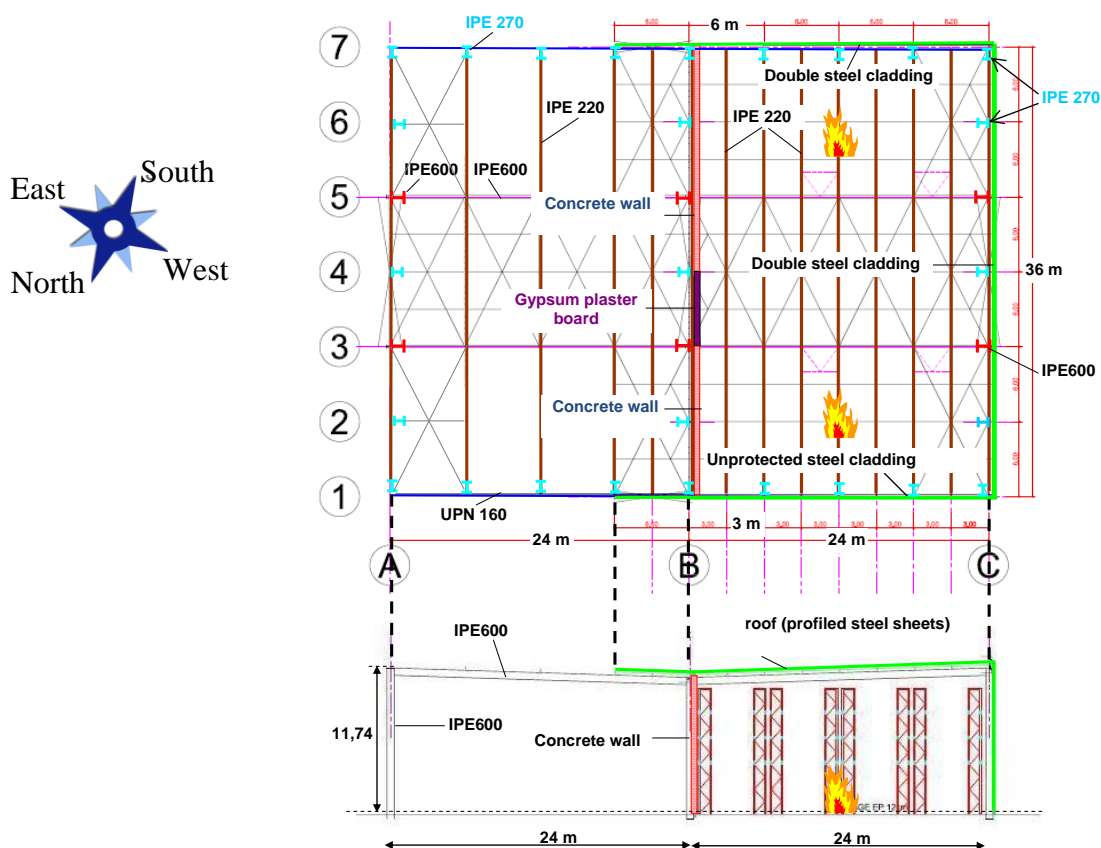






Fig 2. Disposizioni costruttive del deposito sottoposto a prova

L'edificio adibito a deposito è stato suddiviso in due parti da una parete tagliafuoco REI 120 disposta longitudinalmente. La struttura portante nella direzione trasversale è stata realizzata mediante un telaio di acciaio con travi aventi luce 24 m. Le pareti esterne, realizzate con pannelli metallici protetti, non protetti o a doppio strato, sono state applicate solo al compartimento in cui si è sviluppato l'incendio. La copertura è

costituita da lamiera grecata con un isolamento di 50 mm di lana di roccia ed è stata estesa per un tratto dalla parte del compartimento non interessata dall'incendio. Il carico di incendio è stato di 310 ton di legno immagazzinato in 5 scaffalature di 30 m di lunghezza per 10 m di altezza.

<p>Durante la prova, nel compartimento in cui si è sviluppato l'incendio dopo 60 minuti il telaio di acciaio è collassato, mentre il compartimento separato dalla parete REI 120 non ha subito danneggiamenti. Nella figura 3 è riportata una sintesi degli eventi significativi registrati durante la prova</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo stimato: 10:14:32 (7 minuti dopo l'innesco) ▪ Il fumo invade tutto il compartimento in cui si sviluppa l'incendio ▪ Dilatazione termica: si notano piccole aperture sul tamponamento di acciaio ▪ Il fumo (quasi incolore) comincia ad uscire dal tetto 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo stimato: 10:18:16 (11 minuti dopo l'innesco) ▪ Si verificano importanti deformazioni nei tamponamenti di acciaio ▪ Apertura del primo evacuatore di fumo ▪ Apertura del secondo evacuatore di fumo, circa 1 minuto dopo 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo stimato: 10:25:32 (18 minuti dopo l'innesco) ▪ La copertura collassa parzialmente ▪ Fiamme e gas caldi (500°C) escono dal compartimento e vengono deviate dal vento verso nord-est ▪ Le travi dei due portali principali cominciano a crollare 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo stimato: 10:30:18 (23 minuti dopo l'innesco) ▪ Gli spostamenti della struttura verso l'interno diventano visibili 	





<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo stimato: 10:32:00 (25 minuti dopo l'innescio) ▪ La struttura continua a crollare ▪ La parziale rottura della parete nord (non visibile nella figura) causa un incremento del flusso termico registrato 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo stimato: 10:37:00 (30 minuti dopo l'innescio) ▪ La struttura crolla verso l'interno ▪ Una parte della parete nord si stacca dalla struttura crollata 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo stimato: 10:41:52 (35 minuti dopo l'innescio) ▪ Il fuoco non si propaga al compartimento vicino. Solo alcune fessure appaiono sulla parete di separazione, che non ne pregiudicano l'integrità e la capacità di impedire il passaggio dei flussi termici 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo stimato: 11:08:54 (61 minuti dopo l'innescio) ▪ La struttura del compartimento in cui si è sviluppato l'incendio è completamente crollata ▪ E' visibile una cerniera plastica a 20 cm dalla parete di separazione 	

Fig 3. Sintesi degli eventi significativi registrati durante la prova.

2) Calcolo del flusso termico verso le costruzioni vicine

Il flusso termico viene determinato mediante l'applicazione del modello dell'incendio che si sviluppa nel compartimento tenendo conto dei principali fattori che influenzano il fenomeno: il carico di incendio e la sua disposizione all'interno dell'edificio, le caratteristiche geometriche e costruttive dei compartimenti e l'effetto

del vento. Il fenomeno viene controllato tenendo presente che la propagazione fa aumentare l'area dell'incendio mentre nella fase di spegnimento per esaurimento di combustibile si ha una riduzione di tale area. Si ipotizza che l'innesco dell'incendio avvenga in una zona di uno scaffale e da qui si propaghi prima a tutto lo scaffale e poi agli scaffali vicini. Viene considerato anche l'effetto del vento che determina nel modello una deviazione della fiamma (figura 4).

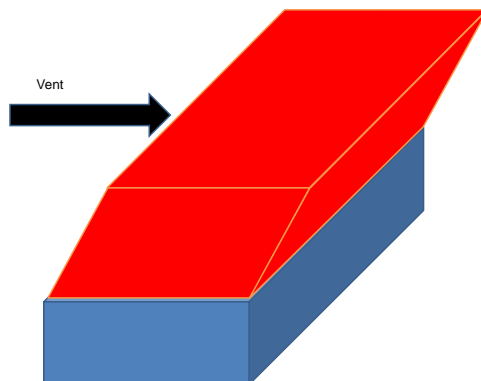


Fig 4. Effetto di vento

I flussi termici dovuti alle fiamme dipendono oltre che dalle caratteristiche delle fiamme anche dalle caratteristiche degli elementi che ad essi sono esposti e dal grado di affacciamento reciproco tra fiamme e elementi esterni (figura 5).

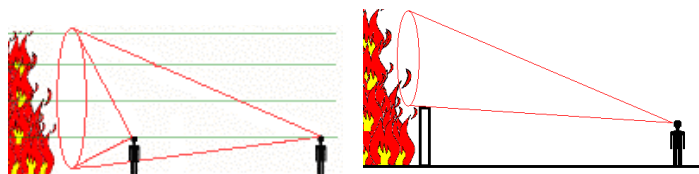


Fig 5. Affacciamento tra il focolaio e le zone circostanti

3) Valutazione delle condizioni di esodo degli occupanti

Le attività del progetto di ricerca sono state rivolte anche alla valutazione del rischio per le persone a seguito di un incendio che può svilupparsi all'interno di un deposito.

In primo luogo sono state analizzate le misure di sicurezza che sono normalmente predisposte nell'ambito della progettazione dell'edificio ai fini della prevenzione incendi: i percorsi e la lunghezza delle vie di esodo, il numero delle uscite, l'altezza dell'edificio, la presenza di soppalchi, il comportamento della struttura. Ognuno di questi parametri è stato analizzato nell'ambito delle modellazioni numeriche sviluppate per la simulazione del caso di incendio, ossia per la previsione dell'evoluzione della temperatura e della propagazione dei fumi durante gli eventi considerati.

Nell'ambito di queste analisi particolare attenzione è stata rivolta alla valutazione delle condizioni di esodo degli occupanti. In particolare sono stati valutati i tempi limite di percorso delle vie di esodo compatibili con la sicurezza delle persone in funzione di due principali parametri:

- la massima esposizione al calore;
- la quantità di gas tossici presenti.

Nell'ottica di questi obiettivi della sicurezza sono stati analizzati i benefici effetti di alcune soluzioni progettuali ricorrenti nella progettazione degli edifici adibiti a deposito, quali la predisposizione di impianti che favoriscono l'allarme immediato e riducono i tempi di reazione in caso di incendio, la predisposizione di

aperture in copertura disponibili per l'evacuazione del fumo e del calore. Si è visto poi come, a queste disposizioni progettuali che aiutano a migliorare le condizioni di sicurezza dell'esodo delle persone, è necessario aggiungere una particolare attenzione alla progettazione della struttura. Questa deve dare assicurazione di assenza di crolli durante le fasi in cui gli obiettivi della sicurezza in caso di incendio devono essere garantiti e, in caso di crisi locale della struttura, non determinare il crollo a catena dell'intera struttura.

4) Valutazione della sicurezza delle squadre di soccorso

I criteri discussi al punto precedente sono stati impiegati anche per la valutazione della sicurezza delle squadre di soccorso durante l'evento dell'incendio.

Per questo obiettivo sono state individuate altre prestazioni che la struttura deve essere in grado di garantire in caso di incendio. In particolare l'eventuale crisi della struttura portante non deve avvenire con un crollo della facciata verso l'esterno dell'edificio. E' chiaro in questa disposizione l'intento di salvaguardare la sicurezza delle squadre di soccorso che, nelle operazioni di emergenza, operano all'esterno dell'edificio in prossimità delle facciate.

A questo scopo le attività della ricerca sono state rivolte all'individuazione di quei criteri progettuali che consentono di evitare che eventuali crisi della struttura in caso di incendio comportino il crollo delle facciate verso l'esterno dell'edificio.

I regolamenti normativi

I risultati del progetto di ricerca hanno contribuito all'aggiornamento dei regolamenti vigenti in Francia per la realizzazione delle infrastrutture destinate a deposito. Sono stati, infatti, pubblicati i nuovi decreti:

- Arrête relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts couverts relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n°1510 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement;
- Arrête relatif aux prescriptions générales applicables aux dépôts de papier et de carton relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n°1530 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement;
- Arrête relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts frigorifiques relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n°1511 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

Tali decreti costituiscono la regola tecnica in vigore per la progettazione delle misure di prevenzione incendi degli edifici adibiti a deposito. Essi individuano le misure tecniche necessarie per garantire la sicurezza in caso di incendio, quali le caratteristiche generali della costruzione, le condizioni di accesso all'edificio, i livelli di compartimentazione, il layout delle vie di esodo, gli impianti per la protezione dagli incendi e le prestazioni che devono essere garantite dalle strutture portanti. La determinazione di queste ultime viene condotta anche mediante l'applicazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza in caso di incendio, basato sui criteri di calcolo definiti nelle parti fuoco degli Eurocodici vigenti anche nel nostro paese.

Conclusioni

La prova sull'edificio in scala reale, ha permesso di ottenere una valutazione realistica del flusso termico dovuto all'incendio e di studiare in dettaglio il comportamento delle strutture metalliche non protette esposte ad un incendio reale.

Nell'ambito della ricerca sono state condotte simulazioni sia dei casi effettivamente sottoposti a prova sperimentale che di altri casi di studio utilizzati per calibrare i modelli e valutare l'effetto dei vari parametri che interessano l'incendio e la sicurezza delle persone. I risultati delle simulazioni sono stati utilizzati per effettuare confronti tra i tempi di evacuazione, il rischio dovuto al calore, la resistenza al fuoco della struttura e il rischio legato ai fumi tossici.

Nelle figure seguenti vengono messi a confronto i tempi di raggiungimento dei limiti riferiti al rischio termico, alla resistenza strutturale e all'evacuazione in alcuni dei casi studiati.

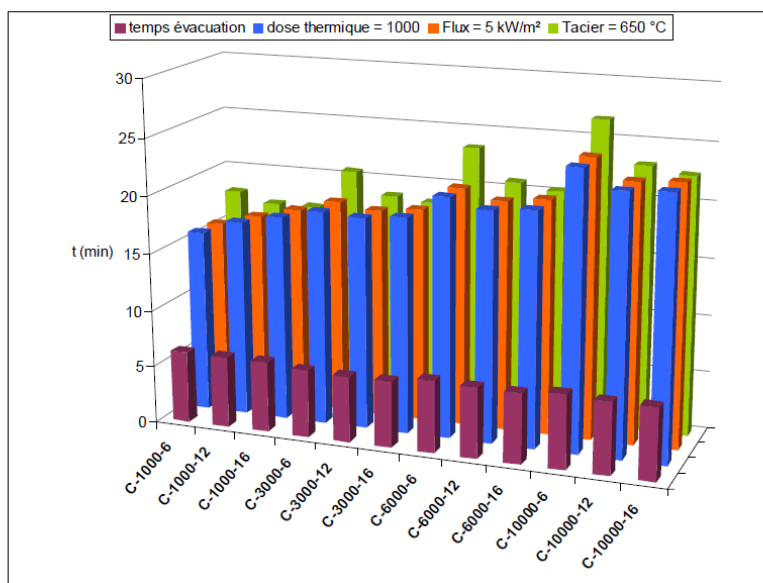


Fig 6. Sintesi grafica dei risultati delle analisi sui depositi di prodotti cellulósici (le condizioni termiche considerate sono riferite al centro del deposito) (tratto da [7])

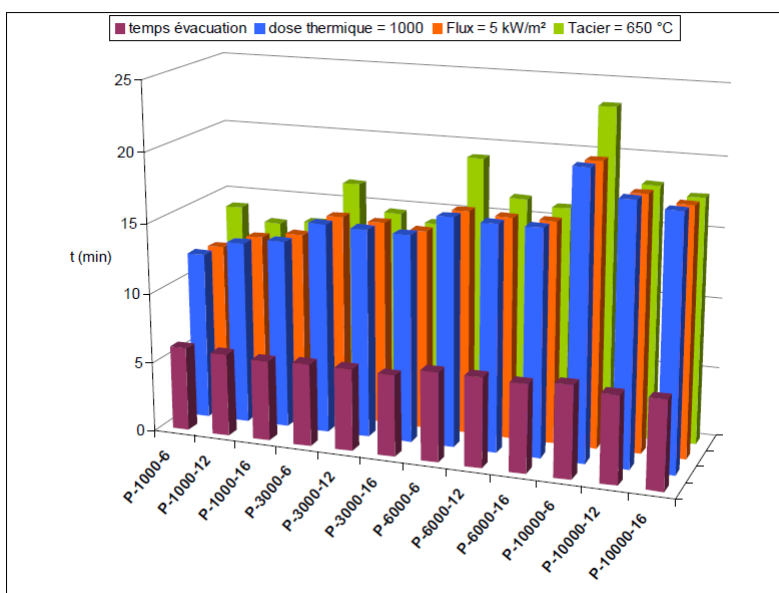


Fig 7. Sintesi grafica dei risultati delle analisi sui depositi di prodotti plastici (le condizioni termiche considerate sono riferite al centro del deposito) (tratto da [7])

Se si considera in particolare uno degli scenari studiati, si possono tracciare le curve di variazione nel tempo del flusso termico, dell'evacuazione e della temperatura dell'acciaio. Le curve sul grafico seguente sono tracciate indicando la percentuale di tali valori in rapporto al corrispondente valore limite.

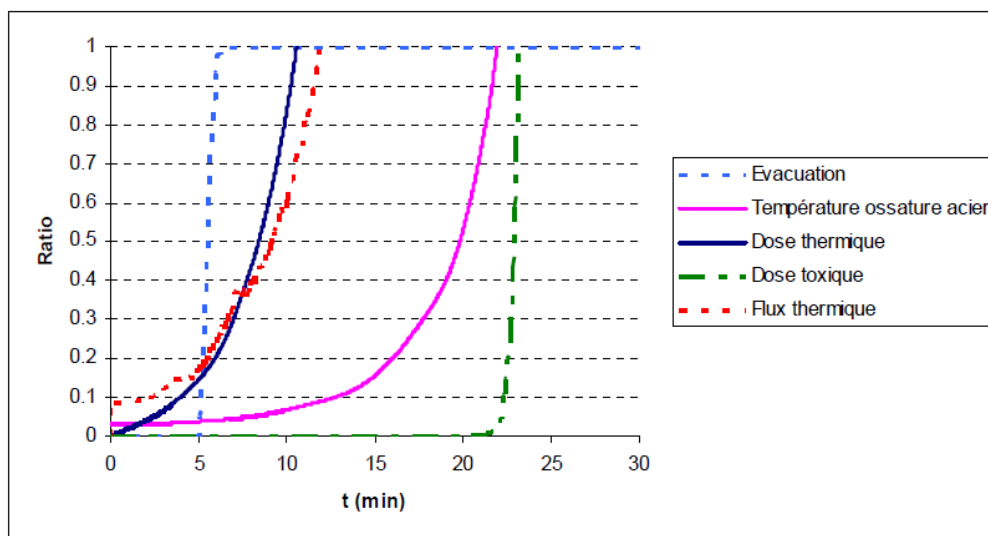


Fig 8. Variazione in funzione del tempo delle percentuali riguardanti il flusso termico, l'evacuazione, la temperatura dell'acciaio e i gas tossici, valore medio all'interno dell'edificio (tratto da [7])

E' stato verificato che, indipendentemente dalle dimensioni del deposito e dalle caratteristiche del materiale combustibile immagazzinato, nei depositi monopiano il tempo di raggiungimento delle condizioni limite di sopravvivenza all'interno dell'edificio risulta in ogni caso inferiore al tempo corrispondente al raggiungimento di danneggiamenti strutturali. Inoltre, la migliore garanzia per l'uscita in sicurezza di tutti gli occupanti sono i sistemi che permettono un allarme precoce e tempi di reazione ridotti.

Il posizionamento di evacuatori o aperture in copertura permette di limitare la propagazione delle fiamme e di prolungare il periodo prima del raggiungimento delle condizioni limite di sopravvivenza. E' anche stato verificato che, negli edifici monopiano, la resistenza della struttura di acciaio, se vengono rispettate specifiche condizioni progettuali (R15), è sufficiente a garantire la sicurezza delle persone e l'uscita dall'edificio.

Analogo approccio è stato adottato per le squadre di soccorso, per le quali sono stati individuati i limiti di tempo in cui possono intervenire in base ai fumi tossici e al calore sviluppato nel compartimento.

BIBLIOGRAFIA

- [1.] Commissione della Comunità Europea, "Direttiva sui prodotti da costruzione" 89/106/CEE, 21 dicembre 1988.
- [2.] Commissione della Comunità Europea, Documento Interpretativo n. 2 di 89/106/CEE "Requisiti essenziali della sicurezza in caso di incendio" ottobre 1993.
- [3.] EN 1991-1-2 (2004), "Azioni sulle strutture. Parte 1-2: Azioni in generali – Azioni sulle strutture esposte al fuoco", Ottobre 2004.
- [4.] EN 1993-1-2 (2005), "Progettazione delle strutture di acciaio. Parte 1-2: Regole generali – progettazione strutturale contro l'incendio", Luglio 2005.
- [5.] D. MIN. INT. (9-03-2007), "Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco", GU n. 74 del 29 marzo 2007.
- [6.] Pustorino S., Nigro E., Giomi G., Cirillo V., "Le procedure per la progettazione della sicurezza strutturale in caso di incendio nell'ambito della normativa nazionale vigente", Antincendio n°9-2011.
- [7.] Flumilog – Essai d'incendie dans un entrepot en construction metallique. Reference CTICM SRI-09/50 BZ-MSS-CT-JK/NB, 15-06-2009.
- [8.] Thauvoye, C, Russo, P, Blanchet, JM, Duplantier, S, Kruppa, J, Muller, A, Patej, S, Taveau, J, Zhao, B, "Method for calculating heat fluxes from a warehouse fire", Proc. 8th Intl. Conference on Performance-Based Codes and Safety Design Methods, Lund, 2010.
- [9.] Henneson N., Kruppa J. & Zhao B., "Investigations to the fire safety for people in steel structure warehouses", Proceedings of the 6th European Conference on Steel and Composite Structures, Budapest, 2011.
- [10.] Henneson N., Kruppa J. & Zhao B., "Risques pour les personnes dans les incendies d'entrepôts à simple rez-de-chaussée", Revue Construction Métallique, n°4-2011.