



Commissione per la Sicurezza  
delle Costruzioni in Acciaio  
in caso d'Incendio

Supporto da  
Fondazione  
Promozione Acciaio

XXV CONGRESSO C.T.A.

---

## MODELLI DI INCENDIO SEMPLIFICATI ED AVANZATI PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE ANTINCENDIO DI EDIFICI INDUSTRIALI IN ACCIAIO

### SIMPLIFIED AND ADVANCED FIRE MODELS FOR FIRE SAFETY ENGINEERING OF STEEL INDUSTRIAL BUILDINGS

Franco Bontempi,  
Chiara Crosti  
Sapienza Università di Roma  
Dipartimento di Ingegneria Strutturale  
e Geotecnica  
Roma, Italia  
[franco.bontempi@uniroma1.it](mailto:franco.bontempi@uniroma1.it)  
[chiara.crosti@uniroma1.it](mailto:chiara.crosti@uniroma1.it)

Claudio Mastrogiuseppe,  
Luca Ponticelli,  
Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco,  
Roma, Italia  
[claudio.mastrogiuseppe@vigilfuoco.it](mailto:claudio.mastrogiuseppe@vigilfuoco.it)  
[luca.ponticelli@vigilfuoco.it](mailto:luca.ponticelli@vigilfuoco.it)

Emidio Nigro,  
Anna Ferraro  
Università di Napoli "Federico II"  
Dipartimento di Ingegneria Strutturale  
Napoli, Italia  
[emidio.nigro@unina.it](mailto:emidio.nigro@unina.it)  
[a.ferraro@unina.it](mailto:a.ferraro@unina.it)

Sandro Pustorino,  
Paola Princi  
StructuraEngineering S.r.l.  
Livorno, Italia  
[sandro.pustorino@sis-ingegneria.com](mailto:sandro.pustorino@sis-ingegneria.com)  
[paola.princi@sis-ingegneria.com](mailto:paola.princi@sis-ingegneria.com)

#### ABSTRACT

The present work concerns the thermo-fluid-dynamic modeling of the fire scenarios, that can develop in big compartments, like compartments of industrial buildings. With reference to a steel industrial building, for example a wood deposit, in this work fluid-dynamic analyses with three different fire models are developed within the framework of the Fire Safety Engineering: localized fire model, zone model and fluid dynamic model (FDS). The obtained results are compared both in terms of environmental temperatures and structural members temperatures.

This paper is a part of the activities devoted to fire safety of steel industrial buildings, conducted by the Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio, created by Fondazione PromozioneAcciaio.

#### SOMMARIO

Il presente lavoro riguarda la modellazione termo-fluidodinamica degli scenari d'incendio in compartimenti di grande estensione, caratteristica tipica degli edifici di tipo industriale. Con riferimento ad un capannone industriale con struttura portante in acciaio e destinazione d'uso deposito intensivo di legna, si sviluppano nel lavoro analisi termo-fluidodinamiche con tre differenti

modelli d'incendio: modelli di incendio localizzati, modelli a zona e modelli di campo termofluidodinamico per l'applicazione dell'approccio ingegneristico, confrontandone i risultati ottenuti sia in termini di temperature ambientali che in termini di temperature negli elementi strutturali. Questa memoria fa parte delle attività dedicate allo studio della sicurezza antincendio di capannoni industriali di acciaio, condotte dalla Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio, istituita da Fondazione Promozione Acciaio.

## 1 INTRODUZIONE

Con l'evoluzione degli strumenti di calcolo oggi a disposizione e dei criteri normativi utilizzabili, per una certa tipologia di edifici industriali, in particolare quelli monopiano, l'approccio ingegneristico è una concreta alternativa all'approccio prescrittivo per la progettazione delle strutture di acciaio in caso di incendio. Anche lo sviluppo delle norme nazionali si muove in questa direzione, infatti, il nuovo "Codice di prevenzione incendi" ("Norme Tecniche di Prevenzione Incendi di cui al D.M.Int. 03/08/2015, pubblicato in GU il 20 agosto 2015, [5]) si ispira alle norme europee di carattere prestazionale, come le norme Inglesi e Americane (BS e NFPA).

L'approccio ingegneristico per la verifica delle strutture in caso di incendio consta di due fasi: la prima che ha come obiettivo la definizione degli scenari di incendio, la seconda invece riguarda le verifiche di sicurezza al fuoco sia in termini di salvaguardia delle vite umane che in termini di resistenza strutturale.

Nel presente lavoro, con riferimento ad un capannone industriale con struttura portante in acciaio e destinazione d'uso deposito di legna, si approfondisce la tematica della definizione dell'azione termica sulla struttura. Vengono sviluppate analisi fluidodinamiche con tre differenti modelli d'incendio: modelli di incendio localizzati, modelli a zona e modelli di campo termofluidodinamico per l'applicazione dell'approccio ingegneristico. I risultati ottenuti con i vari modelli vengono confrontati tra loro sia in termini di temperature ambientali che in termini di temperature negli elementi strutturali.

## 2 DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO

La struttura oggetto di studio è un capannone industriale con destinazione d'uso di deposito di legna, attività n. 36 del D.P.R. 151/2011. Il capannone consta di due compartimenti, Comp. SX e Comp. DX, di dimensioni in pianta di 20.00m x 75.00m e altezza variabile da un minimo di 5 m ad un massimo di 7 m (Fig. 1). La parete di divisione tra i due compartimenti è realizzata con blocchi di calcestruzzo cellulare di spessore 10 cm con 1 cm d'intonaco su entrambe le facce, la verifica EI30 è stata effettuata secondo la Tabella D.4.3 del D.M.Int. 16/02/2007 (per ovviare al limite di 4 m sulla distanza fra i due elementi di irrigidimento, che nel caso specifico è di 5m, si provvede ad interporre un cordolo in c.a. a metà dell'altezza della parete). Sia la copertura sia le tamponature sono realizzate con lamiere sandwich. La struttura portante (Fig. 2) è stata dimensionata per le normali condizioni ambientali ed è costituita da profili di acciaio S355: travi IPE500, colonne HEA360, arcareccio HEA220 e controventi UPN 80. Si è ipotizzata la presenza di un giunto strutturale lungo la direzione trasversale a metà della lunghezza totale del capannone.

### 2.1 Carico di incendio

Il combustibile è costituito da pallet di legno con potere calorifico di 17.5 MJ/kg. Con riferimento alla distribuzione di scaffalature (Fig. 3), si è determinata la capienza massima dei due compartimenti; per standardizzare e tenere in conto anche la possibilità di una non totale compattezza del carico depositato (vuoto per pieno) si è fatto riferimento come unità di misura al pallet: si è scelto l'Europallet, di dimensioni 1.2x0.8x0.145m e peso 25 kg.

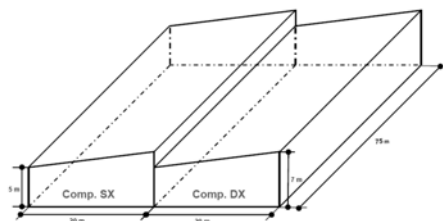


Fig. 1: Dimensioni architettoniche.

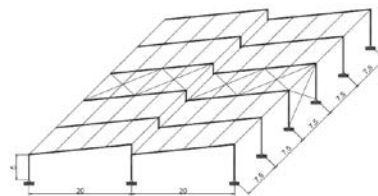


Fig. 2: Schema strutturale 3D



Fig. 3: Distribuzione delle scaffalature.

La distribuzione di scaffalature tiene conto degli ingombri delle scaffalature e dell'eventuale muletto (carrello elettrico elevatore) per la movimentazione degli imballi posti sui pallet, larghezza delle corsie di 4m (come indicato nelle schede tecniche delle scaffalature e del muletto stesso), al fine di rendere agevoli le lavorazioni nel capannone. Si è scelto di fare riferimento al carrello elettrico frontale per due motivi: 1) le altezze da coprire sono inferiori a 7 m, per cui una macchina più complessa non sarebbe necessaria; 2) data l'eccessiva lunghezza del compartimento, 75m, è consigliabile scegliere una macchina che consenta all'operatore di stare seduto.

Con queste ipotesi in ciascun compartimento ci sono 15 500 pallet: negli scaffali alti 3.6 m ci sono 25 pallet sovrapposti, mentre in quelli da 5.4 ci sono 37 pallet sovrapposti.

La massa totale di legna è:  $Massa = 25kg \times 15\,500 = 387\,500kg$

Nota la massa di legno presente nel deposito, il valore del carico di incendio specifico di progetto può essere calcolato applicandole formule del DM 09/03/2007:

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \Psi_i}{A} = 2893 \text{ MJ/m}^2 \quad (1)$$

## 2.2 Ventilazione

Per il dimensionamento dell'apertura minima necessaria allo smaltimento dei fumi caldi si è fatto riferimento a quanto indicato nel nuovo Codice di Prevenzione Incendi al punto S.8.5.3, che stabilisce la dimensione minima dell'area delle aperture in funzione dell'area in pianta del compartimento al variare del carico di incendio. Per carichi di incendio superiori a  $1200 \text{ MJ/m}^2$ , come nel caso specifico, stabilisce che la superficie utile delle aperture di smaltimento deve essere maggiore di  $1/25$  dell'area in pianta.

Nello specifico si ha per ciascun compartimento:

$$A = 20m \times 75m = 1500m^2 \rightarrow A_f = 1/25 A = 60m^2 \quad (2)$$

di cui il 10% deve essere sempre aperto, quindi con installazione di grate, piuttosto che dell'infisso.

Secondo quanto indicato al punto S.8.5.4 comma 1 del nuovo Codice di Prevenzione Incendi: "Le aperture di smaltimento dovrebbero essere distribuite uniformemente nella porzione superiore di tutti i locali, al fine di facilitare lo smaltimento dei fumi caldi da tutti gli ambiti del compartimento". Nel caso in esame, essendo ogni compartimento largo 20 m, ai fini dell'evacuazione dei fumi,

sono sufficienti le aperture su un solo lato, così come indicato al punto S.8.5.4 comma 2 (Fig. 4).

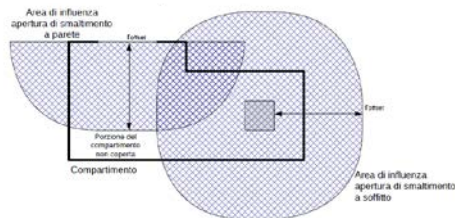


Illustrazione S.8-1: Verifica dell'uniforme distribuzione in pianta delle aperture di smaltimento

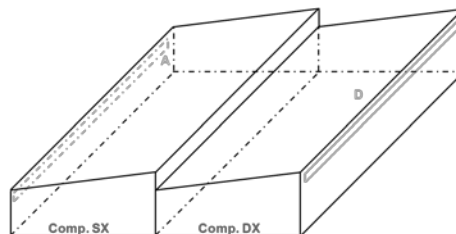


Fig. 5: Distribuzione delle aperture

Pertanto, nel caso specifico vengono distribuite 20 aperture a nastro lungo i due lati esterni del capannone; ogni finestra (Fig. 5) è alta 1 m e lunga 3.3 m per un totale di 66 m<sup>2</sup> di aperture di cui 6 metri permanentemente aperti.

## 2.2 Scenari d'incendio

Lo scenario utilizzato nelle analisi del presente lavoro consiste nell'innescò di 140 pallet localizzati in prossimità della mezzeria di una delle travi principali dei telai trasversali (Fig. 6).



Fig. 6: Scenario d'incendio.

Nel presente lavoro non viene riportata la definizione di tutti gli scenari di incendio di progetto, che sarà sviluppata nel prosieguo dell'attività, ma si fa riferimento ad uno scenario di incendio tipico, comunque probabile, che permette di applicare più modelli di incendio proposti nell'Eurocodice 1 Parte 1-2 (EN 1991-1-2), oltre alla modellazione termo-fluidodinamica con il codice di calcolo FDS. Si ipotizzando la presenza di solo 140 pallet partecipanti alla combustione (49000MJ totali, pari a circa 650MJ/m<sup>2</sup>).

## 2.2 Definizione della Curva di Rilascio Termico

Poiché i capannoni industriali non ricadono tra le destinazioni d'uso per le quali è fornito un valore indicativo della curva di rilascio termico (HRR – *Heat Release Rate*) per unità di superficie, al fine di valutare la curva HRR (punto M.2.6 del Nuovo Codice di Prevenzione Incendi, versione 139), è necessario modellare direttamente il combustibile. Tra i riferimenti indicati, nel punto M.2.8 del Codice PI, si trovano le NFPA 92 (Tabella 1, [6]) e lo SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (2008, [7]), che per il pallet di legno rimandano ai test sperimentali di Babrauskas (2002, [8]) e Krasner (1968, [9]).

La fase di crescita è quadratica di tipo veloce e, per cataste di pallet di altezza maggiore di 60 cm, si osserva lo sviluppo di un *plateau*. La soglia di HRR<sub>max</sub> sviluppabile per ogni catasta può ottenersi dalla relazione di Krasner che ben si associa con i risultati dei test sperimentali. Secondo tale relazione, il picco di HRR è funzione dell'altezza della catasta e dell'umidità del legno (assunta pari al 4%):

$$HRR_{max} \left[ \frac{kW}{mq} \right] = 0.97(1 + 2.14h_p)(1 - 0.027M) \quad (3)$$

Si sceglie di modellare la combustione di ogni catasta di pallet con una curva di incendio costituita da una fase di crescita quadratica (con  $t_q = 150$  s), lo sviluppo di un plateau orizzontale e un decadimento di tipo lineare. La fase di decadimento inizia convenzionalmente al raggiungimento del 70% dell'energia totale.

Tabella 1. Tempo di crescita e  $HRR_{max}$  (NFPA 92)

Warehouse Materials	Growth Time (sec)	Heat Release Density ( $q$ )	Classification
Wood pallets, stacked 1½ ft high (6–12% moisture)	150–310	110	M-F
Wood pallets, stacked 5 ft high (6–12% moisture)	90–190	330	F
Wood pallets, stacked 10 ft high (6–12% moisture)	80–110	600	F
Wood pallets, stacked 16 ft high (6–12% moisture)	75–105	900	F

Confrontando i dati reperibili in letteratura (Difisek, NFPA 92) si evince che la relazione di Krasner si avvicina di molto ai valori di picco dei test sperimentali. In particolare, nella Tabella 2, si vede come le differenze in percentuale siano piuttosto significative solo per cataste molto basse ( $h = 0.5$  m), per le quali, tra l'altro, non è possibile fare l'ipotesi di sviluppo del plateau orizzontale. Per altezze maggiori i valori sono sufficientemente coerenti tra loro.

Tabella 2. Confronto  $HRR_{max}$ 

$h$	DIFISEK $HRR_t$	NFPA 92 $HRR_t$	KRASNER $HRR_t$	KRASNER-DIFISEK errore	KRASNER-NFPA 92 errore
$m$	$MW/mq$	$MW/mq$	$MW/mq$	%	%
0,00	0,06	0,06	0,10	43.3%	43.4%
0,05	-	0,18	0,17	-	-1.6%
3,00	0,25	0,31	0,28	7.0%	-5.8%
4,90	-	0,43	0,44	-	-3.1%

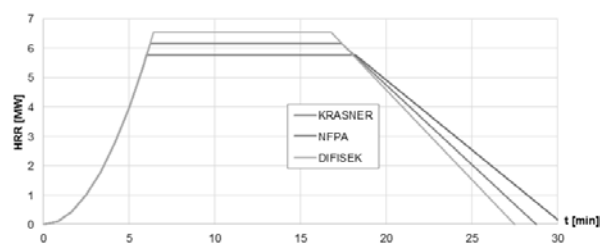


Fig. 7: Curva HRR di una catasta di pallet alta 3 m

Dalla Fig. 7, che mostra le differenze di HRR per una catasta di pallet alta 3 m, si nota come la curva calcolata con Krasner si trovi perfettamente a metà tra il Difisek e la NFPA 92.

### 3 ANALISI TERMO-FLUIDODINAMICHE

L'applicazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio richiede l'utilizzo di curve di incendio "natural", in luogo di quelle "nominali" utilizzate convenzionalmente per l'approccio

prescrittivo. La definizione di curve di incendio naturali può essere effettuata con modelli di incendio di diversa complessità e tipologia, che tengono conto con differente livello di approssimazione delle caratteristiche dei materiali combustibili, della loro disposizione nel compartimento, della geometria e delle proprietà termo-fisiche del compartimento, del grado di ventilazione, etc. Nel prosieguo si applicano modelli avanzati di calcolo termo-fluidodinamico (FDS), modelli a zone (C-Fast) e modelli semplificati per lo studio di incendi localizzati.

### 3.1 Analisi Avanzate (FDS)

Come già accennato, si prende in considerazione lo scenario che vede il combustibile concentrato al di sotto di una trave principale di un telaio trasversale e si suppone l'ignizione di una pila di pallet spostata come da Fig. 8.



Fig. 8: Scenario di incendio, FDS.

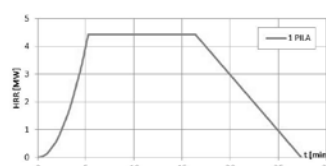


Fig. 9: Curva HRR di una pila di pallet.

Le analisi considerano l'ignizione della pila centrale, come evidenziato in Fig. 8, per poi propagarsi alle adiacenti una volta che queste raggiungono una temperatura di circa 275 °C. Con questo modo di procedere si introduce nell'analisi il cosiddetto "traveling fire" ovvero si suppone che il fuoco sia in grado di spostarsi da una pila all'altra una volta raggiunta la temperatura di ignizione, inserita nel modello come dato di input. Secondo quanto detto precedentemente la curva HRR della pila che dà inizio all'incendio è riportata in Fig. 9 ed è stata calcolata con un  $t_{\alpha}$  pari a 150 sec e un valore di  $HRR_{max}$  definito mediante l'equazione di Krasner.

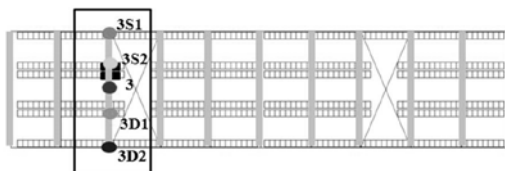


Fig. 10: Termocoppie disposte sulla trave.

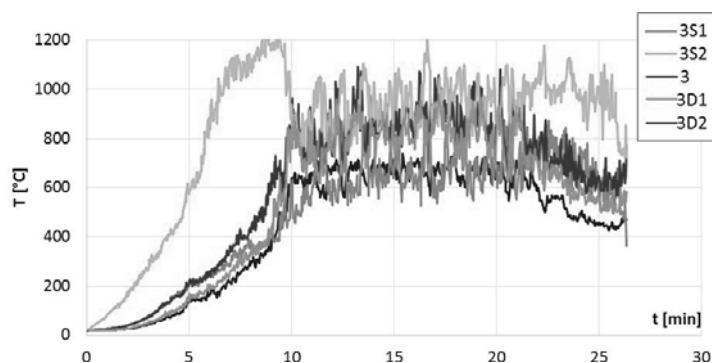


Fig. 11: Andamento delle Temperature per le 5 termocoppie disposte sulla trave.

In Fig. 11 si riportano i risultati delle analisi termo-fluidodinamiche in termini di temperature delle 5 termocoppie disposte sulla trave principale, Fig. 10. I risultati sono stati arrestati a circa 27 min, solo per limitare l'onere computazionale del calcolatore.

L'esame delle temperature di Fig. 11 mostra, come ci si aspettava, la significativa riduzione di temperatura man mano che ci si allontana dal punto di innesco. I massimi valori di temperature vengono difatti registrati dalla termocoppia 3S2 che è la più vicina al punto di innesco, i valori minimi di contro sono registrati dalla termocoppia 3D2.

### 3.2 Analisi Semplificate: Incendi localizzati

Con riferimento al medesimo telaio analizzato nel paragrafo precedente e al medesimo input termico, curva HRR riportata in Fig. 9, viene applicato il cosiddetto Metodo di Hasemi, valido per gli incendi localizzati impattanti il soffitto (Appendice C della EN 1991-1-2), calcolando le temperature negli stessi punti di lettura delle analisi avanzate.

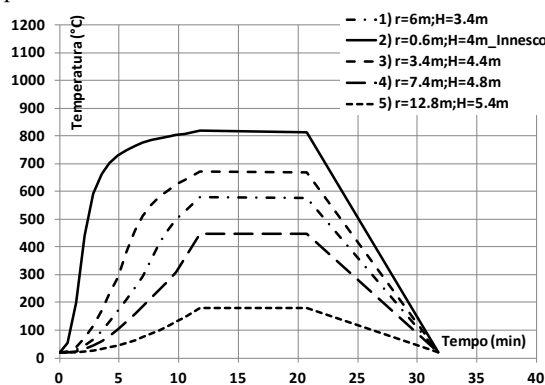


Fig. 12: Andamento delle temperature al variare della distanza dall'asse del focolaio.

Le formule proposte nell'Appendice C dell'Eurocodice 1 sono applicabili se: il diametro della fiamma è minore o uguale a 10 m e se la velocità di rilascio termico non supera i 50 MW. Il metodo utilizzato consente di determinare, nel caso di incendi localizzati impattanti il soffitto, la temperatura in corrispondenza dello stesso al variare della distanza dall'asse della fiamma, partendo dal valore del flusso impattante il soffitto negli stessi punti. In Fig. 12 si riportano i risultati delle calcolazioni eseguite.

Tabella 3. Coordinate punti di misura

	FDS			Hasemi	
	$X$ (m)	$Y$ (m)	$Z$ (m)	$r$ (m)	$H$ (m)
3S1	0.6	15	4.4	6	3.4
3S2	0	15	5	0.6	4
3S	10	15	5.4	3.4	4.4
3D1	14	15	5.8	7.4	4.8
3D2	19.4	15	6.4	12.8	5.4

Nella Tabella 3 è riportata l'equivalenza tra le coordinate nel modello di FDS e quelle del metodo di Hasemi, che hanno origine in corrispondenza dell'asse del focolaio (punto di innesco):( $X;Y;Z$ ) sono le coordinate dei punti di lettura nel modello di FDS e ( $r; H$ ) sono la distanza e la quota degli stessi punti riferite all'origine dell'incendio, posta come indicato in Fig. 6ad 1 m da terra. Anche il metodo semplificato per gli incendi localizzati fornisce valori di temperatura e di velocità di crescita decrescenti man mano che ci si allontana dal punto di innesco.

### 3.3 Analisi Semplificate: Modelli a zone

I modelli a zone sono semplici modelli numerici caratterizzati dalla individuazione, nel compartimento in cui si sviluppa l'incendio, di zone separate all'interno delle quali i parametri di temperatura, densità, pressione ed energia interna del gas sono omogenei. I modelli a zone sono basati sui principi di conservazione della massa e dell'energia. L'evoluzione della temperatura è determinata mediante l'integrazione nel tempo di sistemi di equazioni differenziali che rappresentano l'equilibrio della massa e dell'energia nelle varie zone.

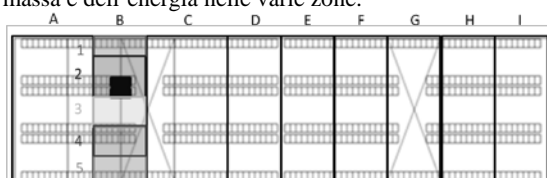


Fig. 13: Suddivisione del compartimento nell'analisi con CFAST.

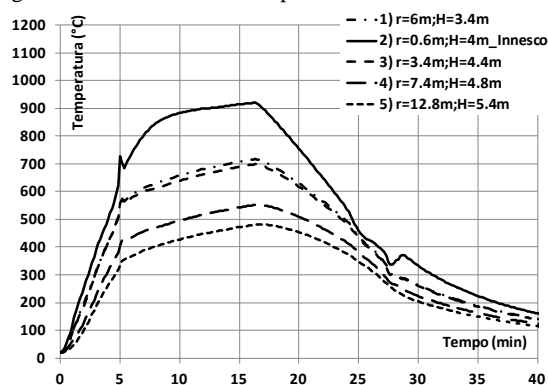


Fig. 14: Temperature con il modello a zone (CFAST).

Quando è necessario valutare il comportamento di elementi strutturali posti in vicinanza dell'incendio, l'ipotesi di temperatura uniforme in ogni zona può non essere sicura e l'analisi della fase pre-flashover effettuata con il modello a due zone deve essere combinata con una valutazione dell'effetto degli incendi localizzati, controllabile ad esempio mediante i criteri esposti al paragrafo precedente.

In letteratura esistono alcuni software che consentono di applicare tale modellazione. Nel caso in esame si è fatto riferimento al CFAST ([10]), software prodotto e distribuito in maniera gratuita dal NIST, come il programma FDS.

Il software utilizzato consente di suddividere l'intero compartimento in aree comunicanti tra loro e valutare la temperatura, mediante la modellazione a zone, in ciascuna area. In particolare nell'analisi che seguono il compartimento è stato suddiviso in 13 aree, come indicato in Fig. 13. Ovviamente per il confronto con le analisi precedenti, sono riportate in Fig. 14 le temperature delle sole aree B1, B2, B3, B4 e B5.

### 3.4 Confronti tra i risultati dei diversi modelli di incendio

Nelle figure che seguono si riportano i confronti tra i tre modelli in corrispondenza dell'intorno del focolaio (asse focolaio) (Fig. 16) e ai due lati opposti dello stesso (Fig. 15; Fig. 17); infine, per le temperature in corrispondenza dell'innescio (asse focolaio), si riportano in Fig.



18 l'andamento della temperatura massima nella trave principale (IPE 500) calcolata eseguendo un'analisi termica della sezione con riferimento a ciascuna delle tre curve di incendio ottenute.

Confrontando i vari risultati in maniera puntuale in termini di temperature dell'ambiente (Fig. 15; Fig. 16; Fig. 17) si evince che i tre modelli di incendio danno risultati piuttosto simili, in particolare il metodo di Hasemi (curve azzurre) raggiunge la temperatura massima in maniera più rapida mantenendo un plateau più esteso, anche se con la modellazione fluidodinamica di tipo avanzato si raggiungono valori di temperatura maggiori. Va poi evidenziato che i risultati con il modello a zone (curve blu) potrebbero essere migliorati aumentando la discretizzazione delle aree in cui è stato suddiviso il compartimento. Infine il confronto in termini di temperature massime nella sezione della trave principale in corrispondenza del punto di innesco (zona B2) mostra che i metodi semplificati sono in questo caso lievemente non conservativi; la differenza appare comunque contenuta e potrebbe essere ulteriormente ridotta, nel caso del modello a zone di CFAST, infitendo la discretizzazione nella zona B2.

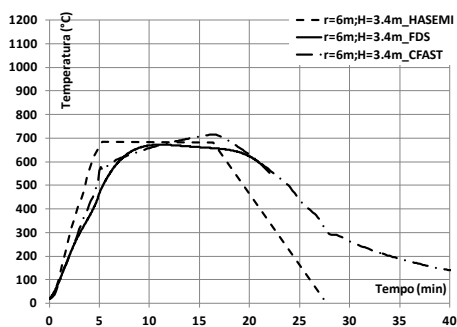


Fig. 15: Confronto in corrispondenza dell'area B1

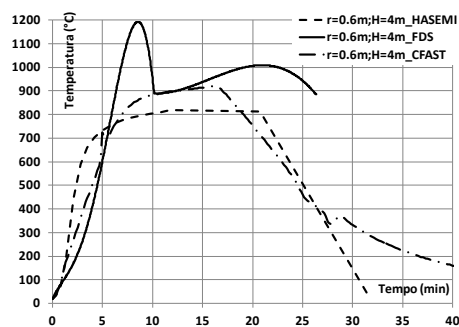


Fig. 16: Confronto in corrispondenza dell'area B2 (Innesco)

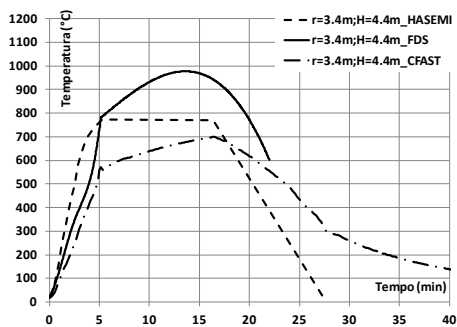


Fig. 17: Confronto in corrispondenza dell'area B3

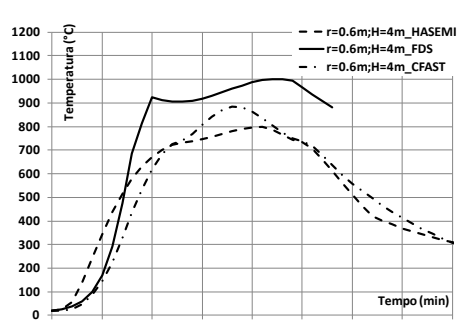


Fig. 18: Temperature trave principale in corrispondenza dell'area B2 (Innesco)

## 5 CONCLUSIONI

Le analisi sintetizzate in questo lavoro sono parte delle analisi preliminari di un'attività che ha l'obiettivo, alla luce dei recenti sviluppi normativi (D.M.Int. 03/08/2015), di fornire ai professionisti una lineaguida per la progettazione in caso di incendio di edifici industriali monopiano in acciaio mediante l'approccio ingegneristico.

In questa prima fase l'attenzione si è concentrata sull'applicazione di metodi di calcolo avanzato (analisi termo-fluidodinamiche condotte con il programma FDS) e di alcuni metodi semplificati suggeriti dagli Eurocodici per la definizione di curve di incendio naturali. Con riferimento alla tipologia di edifici industriali adibiti a deposito intensivo, nel lavoro è stata esaminata anzitutto in dettaglio la definizione delle curve di rilascio termico (HRR) sulla base dei riferimenti bibliografici internazionali più pertinenti. Successivamente l'applicazione dei modelli di incendio avanzati e semplificati ad uno scenario di incendio significativo per la tipologia edifici industriali ha consentito di verificare la accettabile affidabilità dei metodi semplificati, che consentono di ottenere curve di incendio naturali (temperature nell'ambiente) in sufficiente accordo con quelle che si ottengono con metodi di calcolo di tipo avanzato, a fronte del minore onere computazionale. Si è voluto inoltre porre l'attenzione sui limiti di applicabilità che i metodi semplificati presentano e sulla necessità di tarare i modelli a zone come CFAST, in presenza di compartimenti molto ampi. Gli sviluppi futuri dell'attività riguarderanno lo sviluppo di una procedura completa, basata su modelli di incendio semplificati, per l'analisi termo-meccanica degli scenari di incendio di progetto di capannoni industriali in acciaio finalizzata alla verifica di sicurezza strutturale antincendio in accordo con l'approccio ingegneristico.

#### **RINGRAZIAMENTI**

Si ringrazia la Fondazione Promozione Acciaio e la Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni in Acciaio in caso d'Incendio, da essa istituita, per il supporto fornito alle attività di cui al presente articolo.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- [1] EN 1991-1-2 (2002), "Azioni sulle strutture. Parte 1-2: Azioni in generali – Azioni sulle strutture esposte al fuoco", 1 Novembre 2002.
- [2] 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.
- [3] D. MIN. INT. 03/08/2015, Nuovo Codice di prevenzione incendi, "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del D.L 8 marzo 2006, n. 139."
- [4] "Standard for smoke control systems", NFPA 92:2012
- [5] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4th ed., 2008.
- [6] Babrauskas, V. and Williamson R.B., "The historical basis of fire resistance testing – Part II". Fire Technology, 14(4), pp. 304-316, 1978
- [7] Krasner L. Burning characteristic of wooden pallets as a test fuel, Norwood, MA, Factory Mutual Research Corp., 1968.
- [8] DIFISEK + "Dissemination of Fire Safety Engineering Knowledge +", Report Finale progetto RFCS (2008)
- [9] K. McGrattan, B. Klein, S. Hostikka, J. Floyd "Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide" NIST Special Publication 1019-5 October 1, 2007.
- [10] R.D. Peacock, G.P. Forney, P.A. Reneke, "CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) Technical Reference Guide" NIST Special Publication 1026r1 October 2011 Revision

#### **PAROLE CHIAVE**

Capannoni industriali, Sicurezza antincendio, Approccio ingegneristico, curve HRR, Modelli di incendio