



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

Supporto da
Fondazione
Promozione Acciaio

XXV CONGRESSO C.T.A.

APPLICAZIONE DELL'APPROCCIO INGEGNERISTICO PER IL PROGETTO IN CASO DI INCENDIO DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO DI EDIFICI INDUSTRIALI

APPLICATION OF THE ENGINEERING APPROACH FOR THE STEEL STRUCTURES FIRE DESIGN OF INDUSTRIAL BUILDINGS

Sandro Pustorino,
Paola Princi
Structura Engineering
Livorno, Italia
sandro.pustorino@sis-ingegneria.com
paola.princi@sis-ingegneria.com

Claudio Mastrogioseppe,
Luca Ponticelli
Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco
Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza
Tecnica, Area Protezione Passiva
Roma, Italia
claudio.mastrogioseppe@vigilfuoco.it
luca.ponticelli@vigilfuoco.it

Chiara Crosti
Università di Roma La Sapienza
Dipartimento di Ingegneria Strutturale
Roma, Italia
chiara.crosti@uniroma1.it

Emidio Nigro
Università di Napoli Federico II
Dipartimento di Strutture
per l'Ingegneria e l'Architettura
Napoli, Italia
emidio.nigro@unina.it

ABSTRACT

The evolution of the normative criteria and the calculation tools available to designers allows the possibility of verification of the performance that the structures must ensure for the safety in case of fire. So, for a certain type of industrial buildings, in particular single-storey ones, the engineering approach has become a real alternative to the prescriptive for the verification of structural safety in case of fire.

Referring to the results of a recent European research project, in this paper were analyzed some applications of criteria calculation required to assess the performance of the structure of an industrial building necessary for the structural verification in case of fire through the application of the engineering approach.

This paper is the result of the activities conducted in 2014 by the Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio, created by Fondazione Promozione Acciaio.

SOMMARIO

L'evoluzione dei criteri normativi e degli strumenti di calcolo a disposizione dei progettisti consente la possibilità di verifica delle prestazioni che la struttura portante deve garantire per verificare la sicurezza in caso di incendio. Così, per una certa tipologia di edifici industriali, in particolare quelli monopiano, l'approccio ingegneristico è diventato una concreta alternativa all'approccio prescrittivo per la verifica della sicurezza strutturale in caso di incendio.

Facendo riferimento ai risultati di un recente progetto di ricerca europeo, nel presente lavoro sono state analizzate alcune applicazioni dei criteri di calcolo previsti dalla normativa vigente per valutare le prestazioni della struttura portante di un edificio industriale necessarie per la verifica strutturale in caso di incendio condotta mediante l'applicazione dell'approccio ingegneristico.

Questa memoria è frutto delle attività 2014 condotte dalla Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio, istituita da Fondazione Promozione Acciaio.

1 INTRODUZIONE

La progettazione in caso di incendio di un capannone industriale deve essere condotta tenendo in considerazione i livelli di prestazione minimi fissati per le strutture portanti nelle disposizioni previste dal Decreto 9 marzo 2007 ([4]). In queste sono indicati i criteri di valutazione applicabili per la determinazione dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture portanti (approccio prescrittivo) o, in via alternativa, delle prestazioni della struttura portante in condizioni di incendio (approccio ingegneristico).

Facendo riferimento al caso specifico di capannoni industriali monopiano, il decreto citato ammette la possibilità del livello di prestazione II di resistenza al fuoco, a valle della verifica di alcune caratteristiche geometriche e funzionali individuando, quindi, l'obiettivo di sicurezza in caso di incendio nel mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro.



Fig. 1. La struttura portante in acciaio di un edificio industriale monopiano

L'evoluzione dei criteri normativi ⁽¹⁾, in particolare le cosiddette parti fuoco degli Eurocodici, e degli strumenti di calcolo a disposizione dei progettisti consente oggi la possibilità di analizzare una struttura in caso di incendio e di verificare il soddisfacimento o meno di queste prestazioni.

Nel presente lavoro questa procedura di calcolo viene analizzata anzitutto facendo specifico riferimento ai risultati di un recente progetto di ricerca europeo [1]. Nella seconda parte del lavoro

⁽¹⁾ Va precisato che il quadro normativo nazionale è in evoluzione, essendo state pubblicate in Gazzetta Ufficiale, con DM 3/8/2015, le Norme Tecniche di Prevenzione Incendi (comunemente note come Codice di Prevenzione Incendi [6]).

viene presentata poi un'applicazione diretta della valutazione di resistenza strutturale in caso di incendio di un capannone industriale di acciaio di forma differente condotta secondo i criteri propri del Livello di prestazione II.

2 I RISULTATI DEL PROGETTO DI RICERCA EUROPEO

Nell'ambito del progetto di ricerca [1] è stata eseguita l'analisi del comportamento in caso di incendio della struttura portante di acciaio di un tipico edificio industriale, impiegando i modelli di calcolo ANSYS, ABAQUS, e SAFIR, con l'obiettivo di analizzare le capacità operative dei diversi software e di confrontarne i risultati. I modelli di calcolo sono stati confrontati mediante un benchmark condotto da 4 utilizzatori, due dei quali hanno usato il modello ABAQUS.

Il benchmark è stato eseguito sulla struttura mostrata in Figura 2. La struttura è costituita da un doppio portale in acciaio con travi e colonne realizzate mediante profili ad anima piena.

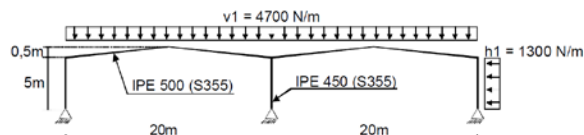


Fig. 2. Schema della struttura portante di un edificio industriale

Le analisi strutturali sono state condotte in conformità a quanto previsto nelle parti fuoco degli Eurocodici, sia per quanto riguarda le proprietà termiche e meccaniche dei materiali, sia per quanto riguarda la combinazione dei carichi in caso di incendio.

L'azione dell'incendio è stata schematizzata con la curva di incendio ISO, mentre l'analisi termica dei profilati di acciaio è stata condotta mediante i metodi di calcolo semplificato previsti dalla parte fuoco dell'Eurocodice 3, considerando quindi una distribuzione di temperatura uniforme nella sezione trasversale di acciaio.

L'analisi strutturale dell'edificio in caso di incendio è stata condotta su modelli strutturali differenti, che sono schematizzati nella Figura 3.

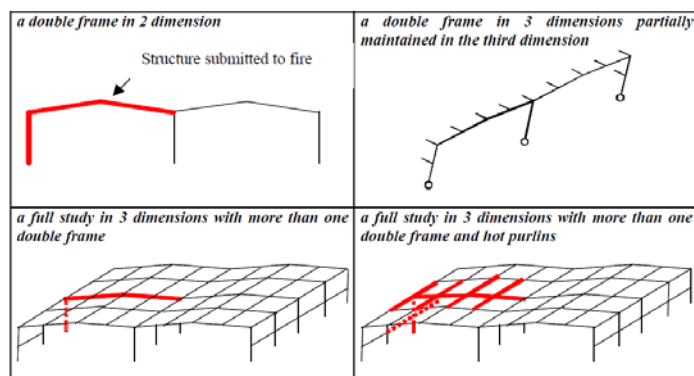


Fig. 3. Modelli strutturali analizzati in condizioni di incendio

Nel modello n. 4, in cui la struttura completa è stata analizzata considerando un telaio e due campi di arcarecci adiacenti riscaldati dalla curva ISO 834, è stato possibile analizzare anche il comportamento della struttura dopo la rottura per instabilità degli arcarecci.

Di seguito sono riportati i grafici dei principali risultati ottenuti nelle analisi svolte con il Modello n. 4 (struttura completa, schema 2).

La Figura 4 riporta la deformata della struttura al termine dell'analisi, che mette in evidenza grandi deformazioni localizzate del telaio e degli arcarecci riscaldati.

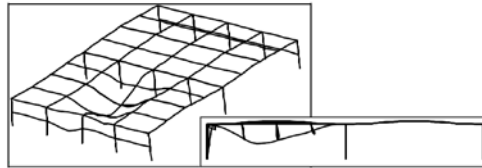


Fig. 4. Modello n. 4 – Deformata a rottura

I grafici degli spostamenti dei nodi della struttura permettono di verificare che la trave principale del telaio riscaldato subisce inflessioni molto grandi, che portano la colonna a inclinarsi verso l'interno del compartimento, mentre le colonne della parete centrale subiscono deformazioni inferiori a 5 cm: questo dimostra che quando la parte di struttura riscaldata è giunta a collasso il resto della struttura non subisce danneggiamenti.

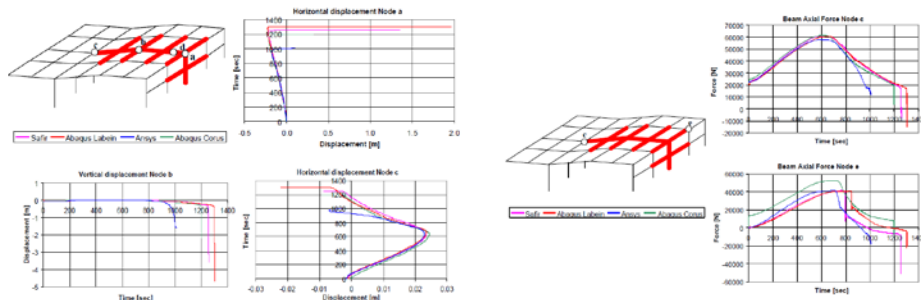


Fig. 5. Modello n. 3 - Spostamenti dei nodi. Modello n. 4 - Azione sulla struttura non riscaldata

Il grafico degli spostamenti fuori piano degli arcarecci mostra che essi raggiungono l'instabilità flessio-torsionale dopo 790 sec. Nonostante lo svergolamento degli arcarecci l'analisi dinamica non si interrompe.

I risultati ottenuti nelle analisi condotte nell'ambito della ricerca hanno mostrato come i tre modelli di calcolo analizzati (ANSYS, ABAQUS e SAFIR) consentano di analizzare compiutamente e in modo concorde il comportamento globale 3D della struttura in caso di incendio, fino al completo collasso in presenza di grandi spostamenti, permettendo di:

- simulare il meccanismo di rottura della struttura;
- prevedere l'influenza di rotture locali sul comportamento globale della struttura;
- seguire eventuali collassi progressivi della struttura.

Può essere così superata la semplificazione, spesso accettata nei calcoli convenzionali, secondo cui il tempo di collasso locale della struttura è interpretato come il tempo di resistenza al fuoco dell'intera struttura.

3 ANALISI DELLE PRESTAZIONI DELLE STRUTTURE IN CASO DI INCENDIO

3.1 Introduzione

Le analisi strutturali presentate nel paragrafo precedente sono state condotte su una struttura analoga a quella studiata in [1], in modo tale che quello studio possa essere un utile riferimento nell'analisi dei risultati ottenuti. La struttura analizzata è rappresentata in Figura 6.

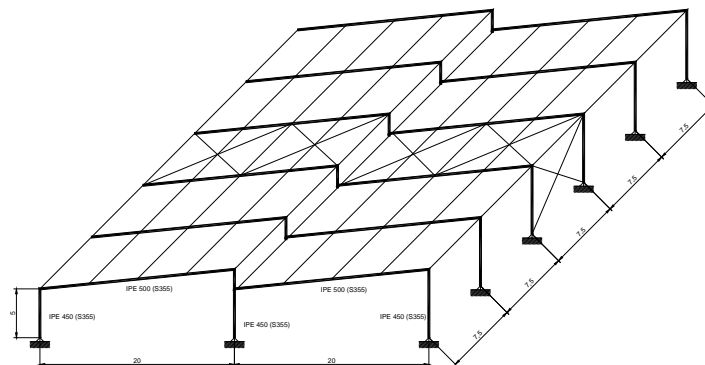


Fig. 6. La struttura portante dell'edificio

3.2 Le prestazioni della struttura in caso di incendio

L'obiettivo dell'analisi strutturale è la verifica delle seguenti prestazioni in caso di incendio:

- mantenimento della stabilità strutturale per un determinato periodo di tempo;
- mantenimento della funzione di separazione in presenza di più compartimenti nell'edificio;
- assenza di crolli verso l'esterno della struttura portante.

L'analisi della prestazione b) è qui limitata al comportamento strutturale e non al comportamento degli altri elementi della compartimentazione.

3.3 La struttura di acciaio

La struttura portante dell'edificio è composta da un doppio portale in acciaio con travi e colonne costituite da profili a sezione piena. I carichi considerati sono riassunti nel seguito:

- peso strutturale: 325 N/m^2
- permanenti portati: 300 N/m^2
- vento: 860 N/m^2
- $\psi_{2i} = 0$ per la neve
- $\psi_{2i} = 0.2$ per il vento

Tali carichi comportano un'utilizzazione dei profili a temperatura ambiente, nella combinazione dei carichi per la situazione eccezionale di incendio, pari a:

- trave, coefficiente di utilizzazione $\mu_0=0.36$;
- colonna perimetrale, coefficiente di utilizzazione $\mu_0=0.23$;
- colonna intermedia, coefficiente di utilizzazione $\mu_0=0.31$.

3.4 Lo scenario d'incendio

L'edificio è composto da due compartimenti, essendo presente una separazione longitudinale in corrispondenza della colonna centrale. Lo scenario di incendio prevede quindi che l'incendio si sviluppi in una sola parte dell'edificio.

Per semplicità anche in questo caso, come in [1], l'analisi viene svolta facendo riferimento alla schematizzazione dell'incendio mediante la curva ISO standard, tenendo presente che le procedure applicate hanno piena validità anche nel caso di schematizzazione dell'incendio mediante una curva di incendio naturale, come è necessario fare quando si opera nell'ambito dell'approccio ingegneristico.

Il riscaldamento delle aste è stato determinato attraverso modelli termici 2D agli elementi finiti delle singole sezioni trasversali delle aste.

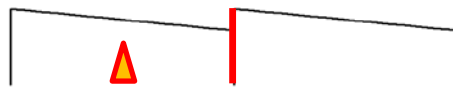


Fig. 7. Scenario di incendio

3.5 Il modello strutturale

L'analisi delle prestazioni della struttura in condizioni di incendio è condotta su un modello completo della struttura agli elementi finiti analizzato con il programma di calcolo Safir, sviluppato presso l'Università degli Studi di Liegi. Il programma di calcolo permette di tenere conto degli effetti dei grandi spostamenti, delle non-linearità del materiale e delle variazioni delle caratteristiche del materiale in funzione della temperatura, come stabilito negli Eurocodici per le analisi strutturali in caso di incendio condotte con metodo avanzato.

Il modello completo della struttura permette di tenere conto delle azioni indirette che si generano nella struttura a causa delle variazioni di temperatura.

L'analisi condotta è di tipo dinamico, che permette di valutare il comportamento strutturale anche in condizione di rotture o plasticizzazioni localizzate.

3.6 La verifica delle prestazioni in caso di incendio

L'analisi strutturale in caso di incendio del modello implementato consente di verificare i tempi di mantenimento della stabilità della struttura portante, che nel caso qui analizzato sono risultati pari a circa 1070 sec. Nella Figura 9 è riportata la deformazione della struttura in fase di rottura.

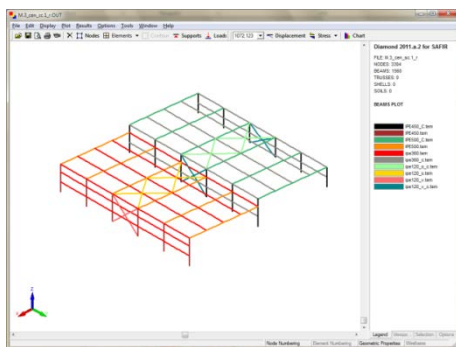


Fig. 8. Il modello di calcolo

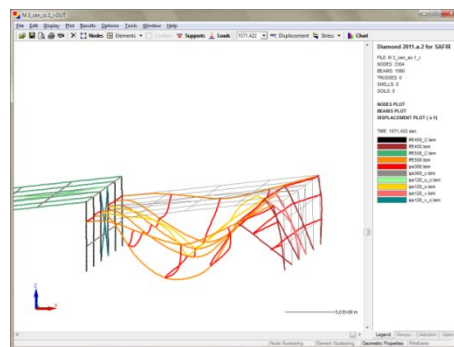


Fig. 9. Le deformazioni in fase di rottura

Nonostante le azioni esercitate dalla struttura del compartimento incendiato sulla struttura di quello freddo, esso risulta non danneggiato: al termine dell'analisi infatti nel compartimento dove si verifica l'incendio le travi si sono ormai inflesse con grandi spostamenti (Figura 10) mentre le colonne della parete centrale hanno subito spostamenti non superiori a 2 cm. In questa configurazione è quindi verificata l'assenza di collassi progressivi dal compartimento dove si verifica l'incendio verso il resto della struttura.

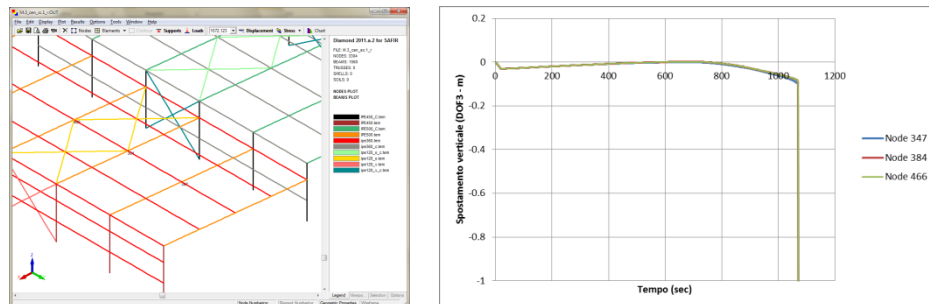


Fig. 10. Spostamento verticale nodi di mezzeria delle travi del compartimento di incendio

La verifica della parete di separazione in corrispondenza della compartimentazione richiede il controllo delle forze che la struttura in condizioni di incendio esercita sulla struttura che rimane a bassa temperatura.

Mediante l'analisi di queste azioni nel modello implementato, rappresentate in Figura 11, si può determinare la spinta massima che la struttura del compartimento incendiato esercita sulla struttura del compartimento vicino in corrispondenza della parete di separazione: $N_{max} = 40'000$ N (azione di trazione).

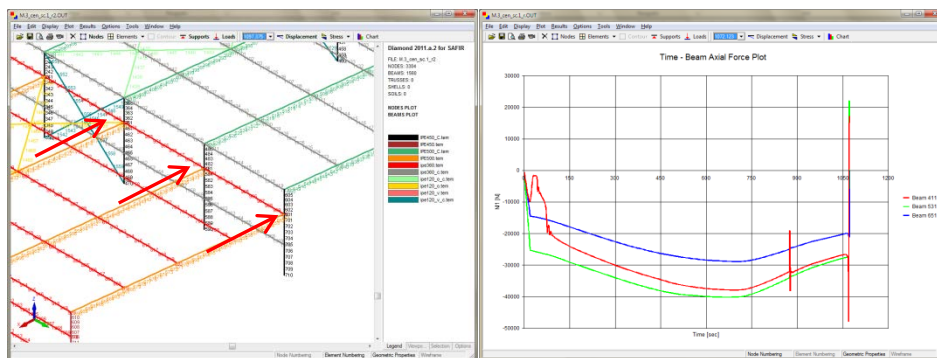


Fig. 11. Spinta delle travi sul compartimento non riscaldato

Infine l'analisi del modello implementato consente di riconoscere il comportamento della struttura perimetrale durante l'evoluzione dell'incendio, che comporta il crollo verso l'interno dell'edificio (Figura 9).

4 CONCLUSIONI

Facendo riferimento ai risultati di un recente progetto di ricerca europeo, in questo lavoro sono state analizzate le procedure di applicazione dell'approccio ingegneristico per la valutazione della sicurezza strutturale in caso di incendio di capannoni industriali monopiano.

Esse hanno mostrato come sia possibile analizzare il meccanismo completo di collasso della struttura portante in condizioni di incendio fino alla fase dei grandi spostamenti e prevedere l'influenza di rotture locali sul comportamento globale della struttura. Mediante queste analisi è quindi possibile verificare le prestazioni della struttura di acciaio in caso di incendio necessarie per soddisfare gli obiettivi di sicurezza fissati dalle norme per questa tipologia di edifici.

Queste conclusioni appaiono oggi ancora più significative per la progettazione delle strutture di acciaio di capannoni industriali alla luce della piena possibilità di impiego di queste procedure nell'ambito della nuova normativa nazionale, secondo quanto previsto dalla bozza del nuovo codice di prevenzione incendi [6], in cui non sono più presenti le restrizioni vigenti nel vecchio quadro normativo.

Ulteriori sviluppi dell'attività, già in corso di esecuzione, riguardano la valutazione della resistenza strutturale in caso di incendio del capannone oggetto di studio, facendo riferimento a curve di incendio naturali dedotte applicando modelli di incendio di varia complessità (modelli semplificati, modelli a zone, incendi localizzati, CFD).

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è frutto delle attività 2014 condotte dalla Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio, istituita da Fondazione Promozione Acciaio.

BIBLIOGRAFIA

- [1] L.G. Cajot, O. Vassart, M. O'Connor, Y. Shenkai, C. Fraud, B. Zhao, J. De la Quintana, J. Martinez de Aragon, J.M. Franssen, F. Gens, *3D simulation of Industrial Hall in case of fire Benchmark between ABAQUS, ANSYS and SAFIR*.
- [2] EN 1991-1-2 (2002), *Azioni sulle strutture. Parte 1-2: Azioni in generali – Azioni sulle strutture esposte al fuoco*, 1 Novembre 2002.
- [3] EN 1993-1-2 (2005), *Progettazione delle strutture di acciaio. Parte 1-2: Regole generali – progettazione strutturale contro l'incendio*, 1 Luglio 2005.
- [4] 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.
- [5] D. MIN. INT. (09-05-2007), *Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio*, Ministero dell'Interno 9 maggio 2007.
- [6] *Codice di prevenzione incendi* (Bozza, revisione: codicepi_130) – Ministero dell'Interno, Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile.

PAROLE CHIAVE

Edifici industriali, sicurezza in caso d'incendio, approccio ingegneristico, strutture di acciaio.