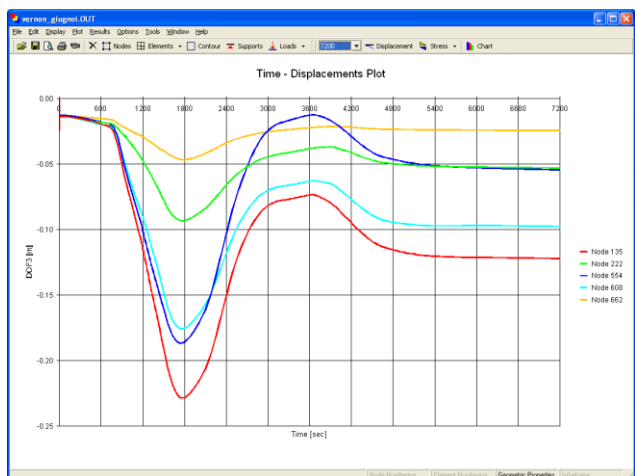
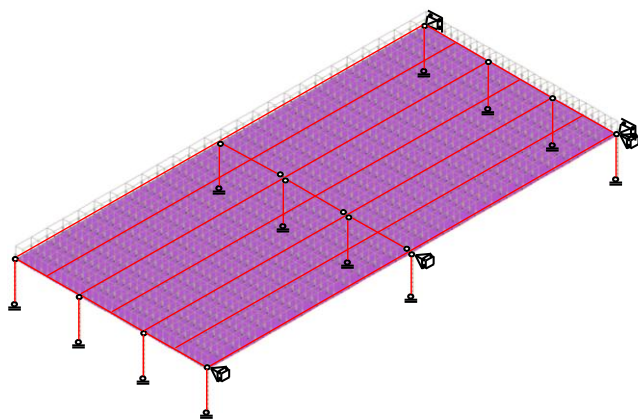
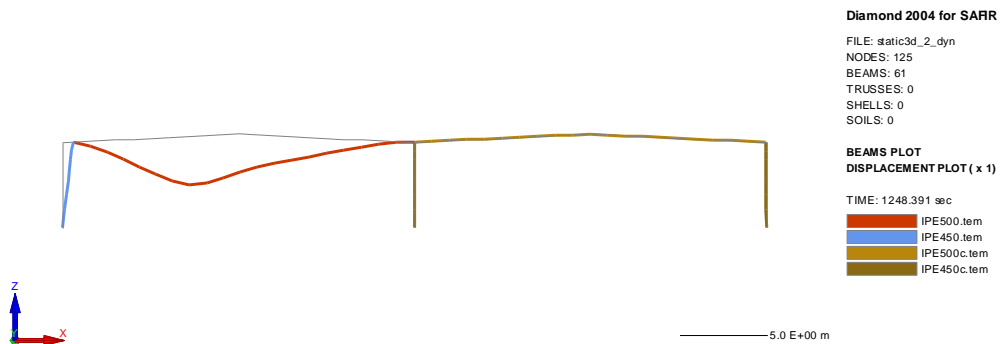


# 9. La sicurezza strutturale in caso di incendio negli edifici adibiti a deposito e ad attività industriale.

A cura di:



## **Premessa**

Il presente contributo, partendo dai risultati delle ricerche condotte e dall'analisi dei nuovi documenti normativi vigenti in ambito europeo, centra l'attenzione sugli obiettivi della sicurezza in caso di incendio in vigore per gli edifici adibiti a deposito e/o attività industriale, al fine di individuare possibili criteri di applicazione dell'approccio ingegneristico nell'ambito delle norme nazionali.

# **La sicurezza strutturale in caso di incendio negli edifici adibiti a deposito e ad attività industriale**

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

Emidio Nigro – Università degli Studi di Napoli “Federico II”

Luca Ponticelli – Ministero dell’Interno - Corpo Nazionale Vigili del Fuoco

*Il presente lavoro è frutto delle attività 2011 condotte dalla Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio, istituita e sostenuta da Fondazione Promozione Acciaio.*

## **Introduzione**

L’evoluzione del quadro normativo nazionale ha introdotto nuovi criteri di valutazione della sicurezza strutturale in caso di incendio. Questa evoluzione da un lato ha riguardato i tradizionali criteri basati su un approccio di tipo prescrittivo, dall’altro ha determinato un nuovo approccio, il cosiddetto approccio ingegneristico.

Una tipologia costruttiva che è stata approfonditamente investigata in ambito scientifico per l’applicazione dell’approccio ingegneristico è quella degli edifici adibiti a deposito e/o ad attività industriali. Per questo tipo di edificio sono stati condotti importanti progetti di ricerca e sono stati pubblicati, in paesi esteri, nuovi criteri normativi per la progettazione delle strutture in caso di incendio.

Il presente contributo, partendo dai risultati delle ricerche condotte e dall’analisi dei nuovi documenti normativi vigenti in ambito europeo, centra l’attenzione sugli obiettivi della sicurezza in caso di incendio in vigore per questo tipo di edifici al fine di individuare possibili criteri di applicazione dell’approccio ingegneristico nell’ambito delle norme nazionali.

## **L’approccio ingegneristico per la sicurezza strutturale in caso di incendio**

La Direttiva del Consiglio della Comunità Economica Europea del 21 dicembre 1988 (Construction Product Directive 89/106/CEE) ha stabilito i requisiti essenziali, relativi alla sicurezza, delle opere da costruzione. Tra questi è compresa la sicurezza in caso di incendio che, nell’ambito della stessa Direttiva, è definita in termini di obiettivi come segue: “le costruzioni devono essere progettate e costruite in modo tale che, nel caso di sviluppo di un incendio:

- la capacità portante delle strutture sia garantita per un determinato periodo di tempo;
- la produzione e la propagazione di fiamme e di fumi all’interno delle costruzioni sia limitata;
- la propagazione dell’incendio alle costruzioni vicine sia limitata;
- gli occupanti possano abbandonare la costruzione o essere messi in salvo;
- la sicurezza delle squadre di soccorso sia presa in considerazione.”

Vista l’articolazione degli obiettivi che definiscono la sicurezza in caso di incendio, nel caso specifico di un edificio diventa in generale necessario intervenire su molteplici aspetti della progettazione, quali il layout dell’edificio, la prestazione delle strutture portanti, dei singoli prodotti da costruzione utilizzati e degli impianti adottati, che devono essere valutati in condizioni di incendio.

Nel Documento Interpretativo N. 2 della Direttiva 89/106/CEE, ciò viene ottenuto individuando una strategia che è tracciata attraverso i seguenti passi:

- ridurre al minimo la probabilità di un evento di incendio (prevenzione incendi);
- valutare la sicurezza degli occupanti e stabilire se essa debba essere migliorata mediante l’adozione di sistemi di rilevazione, di allarme e di controllo dell’incendio (sistema di protezione attiva);
- individuare un sufficiente livello di compartimentazione al fine di impedire la crescita eccessiva dell’incendio all’interno dell’edificio;
- prevenire la propagazione dell’incendio tra edifici contigui;
- individuare le condizioni affinché sia possibile l’intervento delle squadre di soccorso.

E' chiaro che diversi punti di questa strategia possono essere soddisfatti solo se viene assicurata un'adeguata prestazione di stabilità delle strutture portanti principali della costruzione in condizioni di incendio. Proprio per poter condurre in maniera efficace questa strategia, nel suddetto Documento Interpretativo è stato esplicitamente introdotto il cosiddetto "approccio ingegneristico" nell'ambito della sicurezza in caso di incendio, che è mirato sia alla valutazione degli obiettivi di sicurezza, sia al progetto e alla verifica delle prestazioni di sicurezza adottate. In tal modo l' "approccio ingegneristico" si presenta come una concreta possibilità che permette di conseguire il requisito di sicurezza in caso di incendio per una specifica costruzione, rispetto al tradizionale "approccio prescrittivo" mediante il quale la sicurezza in caso di incendio è definita da regole convenzionali fissate per determinate tipologie di costruzioni.

E' importante sottolineare come questa definizione di approccio ingegneristico alla sicurezza in caso di incendio, da un punto di vista normativo, è stato sviluppato soprattutto nell'ambito dell'ingegneria strutturale, grazie a importanti progetti di ricerca condotti in ambito europeo e alla definizione dei criteri di calcolo introdotti nelle cosiddette parti fuoco degli Eurocodici. Mediante l'applicazione di questi criteri è oggi possibile verificare se le prestazioni della struttura portante siano compatibili o meno con gli obiettivi della sicurezza in caso di incendio di una specifica costruzione e dell'attività che in essa si svolge.

Nell'ambito del nuovo quadro normativo nazionale sono stati definiti differenti livelli di prestazione per le strutture in caso di incendio. Nella tabella 1 sono riportati i livelli di prestazione delle strutture in caso di incendio previsti dal Decreto del Ministero dell'Interno 9 marzo 2007 (applicabile ad attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco non disciplinate da specifiche regole tecniche di prevenzione incendi) e, in maniera analoga, dalle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 (applicabile in generale a tutti i manufatti di ingegneria civile).

Livello I	nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze della perdita dei requisiti stessi siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile;
Livello II	mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione;
Livello III	mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza;
Livello IV	requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione;
Livello V	requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa.

Tab. 1 – Livelli di prestazione delle strutture portanti di un edificio (D.M. 09-03-2007, NTC 2008)

Si precisa che il livello I non è ritenuto accettabile per attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco.

L'applicazione dell'approccio ingegneristico per la valutazione della sicurezza delle strutture in caso di incendio deve essere condotta con riferimento a questi livelli di prestazione tenendo in considerazione due aspetti principali, da un lato quale livello di prestazione è adatto alla sicurezza dell'edificio che si sta trattando, dall'altro che i criteri di calcolo adottati consentano la verifica delle prestazioni individuate.

### **Edifici, attività e prestazioni delle strutture portanti in caso di incendio**

E' interessante analizzare alcuni esempi di applicazione dei criteri di calcolo previsti dalle parti fuoco degli Eurocodici che consentono il controllo e la verifica dei livelli di prestazione richiesti alle strutture per la sicurezza in caso di incendio.

Si analizza dapprima il livello II di prestazione definito nell'ambito delle già citate disposizioni nazionali. Nello studio condotto in [1] è stato investigato il comportamento al fuoco della struttura portante di un edificio monopiano.

L'edificio ha le tipiche caratteristiche di un edificio in cui è svolta un'attività industriale e presenta una compartimentazione longitudinale, come indicato nella figura 1. Nella figura 2 sono riportati i risultati dell'analisi strutturale eseguita mediante l'applicazione dei metodi di calcolo avanzato previsti nelle parti fuoco degli Eurocodici.

Si nota come le analisi condotte sono state finalizzate al controllo del comportamento strutturale in condizioni di incendio: ad esempio la capacità della struttura di mantenere una stabilità sufficiente a garantire sia l'esodo degli occupanti che la sicurezza delle squadre di soccorso oppure la possibilità di verificare durante le fasi dell'incendio il mantenimento dell'efficienza della compartimentazione prevista in fase di progetto. In particolare, il collasso delle strutture verso l'interno dell'edificio è una prestazione strutturale favorevole per la sicurezza delle squadre di soccorso che operano all'esterno dell'edificio.

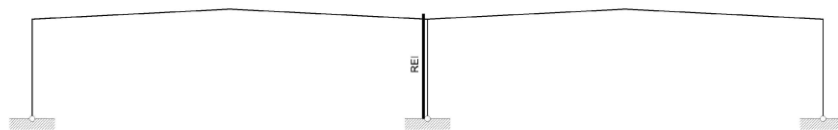


Fig. 1 - Edificio monopiano di tipo industriale – Sezione trasversale.

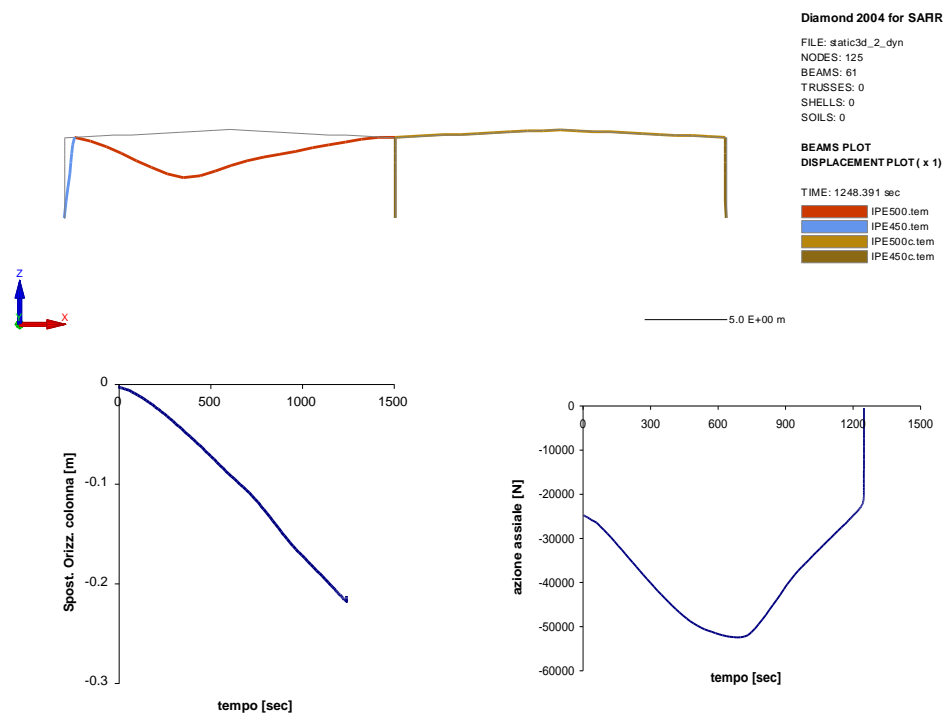


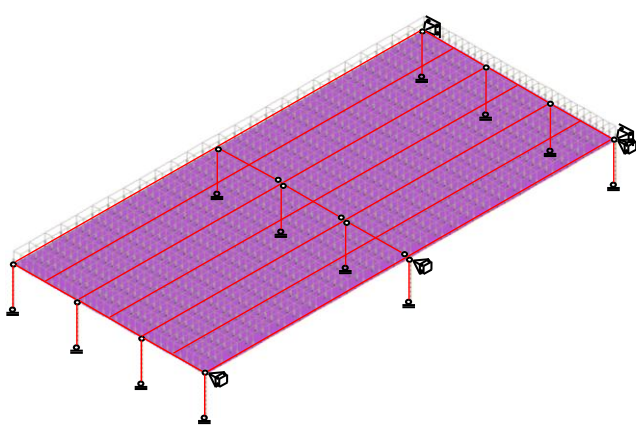
Fig. 2 - Risultati dell'analisi strutturale condotta nell'ambito dell'approccio ingegneristico (tratto da [1]).

Un livello di sicurezza superiore è ovviamente richiesto alle prestazioni delle strutture corrispondenti al citato livello III. Tale caso può essere ad esempio associato, in linea di principio, ad un edificio in cui viene svolta un'attività di autorimessa di autovetture (figura 3).

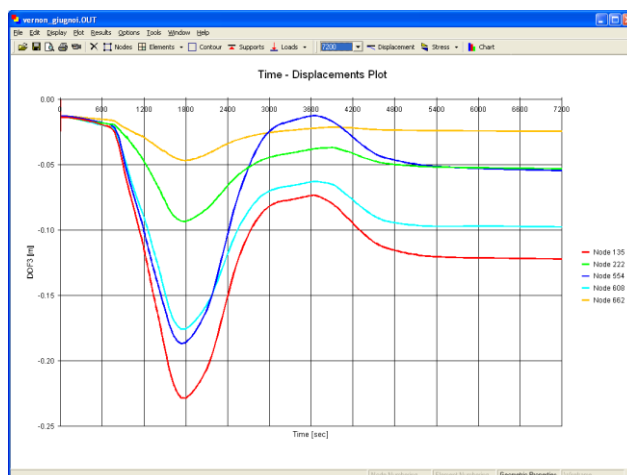


Fig. 3 – Interno di un edificio adibito ad autorimessa

Nella figura 4 sono riportati i risultati di un'analisi strutturale condotta mediante l'applicazione dei metodi di calcolo avanzato previsti nelle parti fuoco degli Eurocodici al caso di un'autorimessa di tipo aerato. Si nota come l'analisi strutturale è in grado di verificare se le prestazioni delle strutture in caso di incendio siano compatibili con le prestazioni minime fissate per il livello III, ad esempio verificando che sia mantenuta la stabilità delle strutture per tutta la durata dell'incendio di progetto, compresa anche la fase di raffreddamento.



Il modello di calcolo della struttura



Spostamenti verticali delle travi secondarie

Fig. 4 - Applicazione dell'approccio ingegneristico al caso di un parcheggio di tipo aerato (tratto da [10])

La figura 5 è riferita alle prove sperimentali condotte per la verifica della metodologia di calcolo qui applicata.



Fig. 5 – Prove sperimentali eseguite per verificare l'applicazione dell'approccio ingegneristico (CTICM, 2001)

### **Il caso degli edifici monopiano adibiti a deposito o ad attività industriale e la normativa nazionale**

Nell'ambito del quadro normativo nazionale, la sicurezza strutturale in caso di incendio degli edifici adibiti a deposito o ad attività industriale è definita secondo quanto previsto dal Decreto del Ministero dell'Interno 9 marzo 2007 qualora gli stessi ricadano in una delle fattispecie specifiche di cui al DPR 151 del 1 agosto del 2011 (Attività n. 24, 25, 26, 27, 28, 34, 36, 43, 44, 46, 47, 70, solo per citarne alcune) . Nel DM 9 marzo 2007 sono riportati i criteri di valutazione applicabili per la determinazione dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture portanti di questi edifici (approccio prescrittivo) o, in via alternativa, delle prestazioni della struttura portante in caso di incendio (approccio ingegneristico).

#### **1) Approccio prescrittivo**

Per la tipologia di edifici qui analizzata, una volta verificate alcune caratteristiche geometriche e funzionali generali, il decreto individua il livello di prestazione II, stabilendo quindi l'obiettivo di sicurezza strutturale in caso di incendio corrispondente al mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti. Seguendo questo approccio sono specificate le classi minime di resistenza al fuoco necessarie per garantire questo livello di prestazione, in funzione del numero dei piani dell'edificio, in particolare:

- 30, per costruzioni ad un piano fuori terra, senza interrati;
- 60, per costruzioni fino a due piani fuori terra ed un piano interrato.

Eventuali requisiti di resistenza al fuoco inferiori possono essere determinati mediante un metodo convenzionale definito nel decreto stesso, basato principalmente sulla definizione del carico di incendio specifico di progetto che caratterizza l'attività che si svolge nell'edificio.

#### **2) Approccio ingegneristico**

Le prestazioni delle strutture portanti degli edifici per la sicurezza in caso di incendio possono essere verificate seguendo i criteri di applicazione della metodologia dell'approccio ingegneristico. In tal caso la progettazione strutturale deve essere condotta al fine di dimostrare che gli obiettivi della sicurezza in caso di incendio siano stati raggiunti, facendo riferimento alle disposizioni contenute nel D.M. 09/05/07. Come sopra ricordato, per la tipologia di edifici qui trattata è stato individuato il livello di prestazione II, ossia "il mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione".

Seguendo le disposizioni normative nazionali vigenti, l'applicazione dell'approccio ingegneristico alla progettazione strutturale deve rispettare le seguenti condizioni:

- la capacità portante deve essere verificata rispetto all'azione termica della curva naturale di incendio, applicata per l'intervallo di tempo necessario al ritorno alla temperatura ordinaria (D.M. 09/03/2008, NTC 2008);
- deve essere eseguita la verifica della capacità portante degli elementi costruttivi rispetto all'azione termica della curva di incendio nominale standard, determinando le classi di resistenza richieste in funzione del carico di incendio specifico di progetto secondo una regola convenzionale definita dal decreto stesso (D.M. 09/03/2008).

Da un punto di vista tecnico, questi due criteri non consentono in genere di progettare le strutture per il livello di prestazione richiesto dalle norme vigenti per questo tipo di edifici. E' infatti sufficiente che l'edificio sia caratterizzato da discreti livelli di carico di incendio specifico di progetto, come spesso avviene nella realtà, affinché i due criteri sopra riportati conducano a richieste di resistenza al fuoco superiori a quelle corrispondenti al livello II. A chiarimento di quanto esposto, si evidenzia la possibile incongruenza tra il tempo di resistenza al fuoco delle strutture compatibile con il livello II (esodo degli occupanti) e l'intera durata dell'incendio. Inoltre, la verifica con il metodo prescrittivo, imposta in aggiunta a quella derivante dall'approccio prestazionale, può condurre a richieste di resistenza al fuoco eccessive rispetto agli obiettivi imposti dal livello II.

### **Il caso degli edifici monopiano adibiti a deposito o ad attività industriale nella ricerca e nella normativa europea**

L'introduzione nel quadro normativo dell'approccio ingegneristico per la valutazione della sicurezza strutturale in caso di incendio è stato accompagnato da numerose ricerche svolte con l'obiettivo di verificare l'applicazione dei criteri di calcolo previsti dal metodo alle diverse tipologie edilizie. A questo proposito, nell'articolo [10] sono stati riepilogati i risultati di un importante progetto di ricerca, denominato Flumilog [8], avente per oggetto la sicurezza in caso di incendio degli edifici adibiti a deposito e ad attività industriale.

Conseguentemente a queste attività di ricerca, la normativa nazionale ha subito aggiornamenti al fine di consentire la corretta applicazione delle nuove metodologie di calcolo. A questo proposito si ricorda il decreto pubblicato in Francia:

- *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.*

A questo sono poi seguiti altri decreti che riguardano tipologie particolari di depositi quali, ad esempio, i depositi di carta e cartone o i depositi con celle frigorifere, per i quali sono previste misure di sicurezza specifiche, ma che si basano sullo stesso tipo di approccio progettuale:

- *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; 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. Con riferimento a questi ultimi aspetti, riepiloghiamo di seguito quanto previsto per le prestazioni delle strutture portanti in caso di incendio:

- le disposizioni costruttive devono essere tali che la rottura, a causa di un evento incidentale, di un elemento (muro, copertura, colonna, trave, ...) non comporti la rottura a catena dell'intero edificio;
- la rottura di un elemento o di una parte di struttura in un compartimento non deve causare danneggiamenti ai compartimenti vicini a quello in cui si sviluppa l'incendio e agli elementi della compartimentazione;
- la rottura degli elementi strutturali non deve comportare il crollo della struttura verso l'esterno del compartimento in cui si sviluppa l'incendio;



- i tempi di resistenza al fuoco della struttura devono essere compatibili con i tempi di evacuazione degli occupanti.

Oltre a queste richieste di prestazione della struttura in caso di incendio il decreto individua un requisito minimo di resistenza al fuoco della struttura portante, che, per caratteristiche ordinarie dell'edificio, è fissata in R15.

Questi criteri di progettazione appaiono chiaramente indirizzati alla verifica degli obiettivi di sicurezza in caso di incendio stabiliti per questa tipologia di costruzione, in corrispondenza dei quali le prestazioni in caso di incendio delle strutture devono, oltre a evitare la non propagazione dell'incendio ad altri compartimenti o edifici, garantire la sicurezza degli occupanti e delle squadre di soccorso.

### **Conclusioni**

L'evoluzione del quadro normativo nazionale ha introdotto nuovi criteri di valutazione della sicurezza strutturale in caso di incendio. Questa evoluzione da un lato ha riguardato i tradizionali criteri basati su un approccio di tipo prescrittivo, dall'altro ha determinato la possibilità di applicazione di un nuovo approccio, il cosiddetto approccio ingegneristico, basato sull'applicazione dei più avanzati criteri di calcolo strutturale definiti per la sicurezza in caso di incendio. Una tipologia costruttiva approfonditamente investigata per l'applicazione dell'approccio ingegneristico è quella degli edifici adibiti a deposito e/o ad attività industriali. Per questo tipo di edificio sono stati condotti importanti progetti di ricerca e sono stati pubblicati nuovi criteri normativi per la progettazione delle strutture in caso di incendio.

Facendo riferimento alla normativa nazionale vigente, nel presente lavoro sono stati analizzati i livelli di sicurezza in caso di incendio fissati per le strutture portanti di questa tipologia di edifici e i corrispondenti criteri di applicazione dell'approccio ingegneristico. E' stato riscontrato come alcuni riferimenti normativi della legislazione vigente, in particolare previsti nelle disposizioni del D.M. 09/03/2007, e di conseguenza riportati anche nelle disposizioni delle NTC2008 (D.M. 14/01/2008), rendono non applicabili i criteri dell'approccio ingegneristico per la progettazione delle prestazioni delle strutture previste dalle norme vigenti per questa tipologia di edifici. Una conferma di questo aspetto si può trarre dall'analisi della normativa recentemente entrata in vigore in altri Paesi europei, in cui i criteri di calcolo oggi disponibili sono applicabili per verificare i criteri di sicurezza in caso di incendio definiti per questa tipologia di edifici.

E' stato riscontrato come alcuni riferimenti normativi non consentono una corretta applicazione dell'approccio ingegneristico alla progettazione strutturale di questa tipologia di edifici, applicazione ormai consentita dalle nuove norme vigenti in altri paesi europei.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Decreto del Ministero dell'Interno del 16 febbraio 2007 "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione" (GU n. 74 del 29-3-2007- Suppl. Ordinario n. 87);
- [2] Decreto del Ministero dell'Interno del 9 marzo 2007 "Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco" (GU n. 74 del 29-3-2007- Suppl. Ordinario n.87);
- [3] Decreto del Ministero dell'Interno del 9 maggio 2007 "Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio" (G.U. n. 117 del 22-5-2007);
- [4] Norme Tecniche per le Costruzioni, supplemento ordinario della Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana del 4 febbraio 2008, n.29;
- [5] EN 1991.1.2 (Eurocodice 1) "Azioni sulle strutture - Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco";
- [6] EN 1993.1.2 (Eurocodice 3) "Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio";
- [7] DIFISEK+, Dissemination of Fire Safety Engineering Knowledge, Progetto RFCS, Roma, Istituto Superiore Antincendi, 2 dicembre 2008;
- [8] Flumilog – Essai d'incendie dans un entrepot en constuction metallique. Reference CTICM SRI-09/50 BZ-MSS-CT-JK/NB, 15-06-2009.
- [9] Nigro E., Cefarelli G., Pustorino S., Princi P., "Progettazione di strutture in acciaio e composte acciaio-calcestruzzo in caso di incendio", Hoepli, 2010.
- [10] 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.
- [11] Zhao B., Pustorino S., Henneon N., "La sicurezza in caso di incendio degli edifici adibiti a deposito e le prestazioni delle strutture portanti in caso di incendio", 2011.