

Resistenza al fuoco: **l'impatto della Circolare DCPREV 9962** sulla progettazione secondo il Codice di Prevenzione Incendi

● Marco Antonelli, Daniele Andriotto, Diego Cecchinato

L'uscita della DCPREV Circolare 9962 "Implementazione di soluzioni alternative di resistenza al fuoco. Chiarimenti e indirizzi applicativi" ha suscitato un immediato interesse nel mondo della prevenzione incendi, in particolare in quello della protezione passiva, malgrado questo documento non contenga alcuna rilevante novità rispetto alle norme tecniche di prevenzione incendi ai sensi dell'articolo 15 del D.Lgs. n. 139 8/3/2006, e successive modifiche (in particolare il D.M. 12 aprile 2019), di seguito chiamato Codice di Prevenzione Incendi o semplicemente Codice.

La Circolare, infatti si limita sostanzialmente a ripetere e confermare quanto contenuto nel Codice, aggiungendo però alcune precisazioni e approfondimenti che, unitamente a una scrittura estremamente comprensibile e puntuale, l'hanno resa uno strumento di grande utilità per i professionisti antincendio e, con ogni probabilità, anche per gli organi di controllo.

La Circolare sembra essere, nel tono e nella forma, un segnale chiaro e forte da parte della Pubblica Amministrazione, teso alla correzione di alcune pratiche comportamentali e di progettazione che avevano portato a una deriva non conforme alle norme nel campo delle soluzioni alternative per la resistenza al fuoco. In molti punti del testo è evidenziato come, nel mondo della progettazione antincendio, il Codice sia stato utilizza-



© per gentile concessione del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

to in modo inappropriato, in particolare per quanto riguarda l'utilizzo delle curve di incendio naturale.

La Circolare, oltre a fare chiarezza sull'utilizzo del capitolo S.2 del Codice di Prevenzione Incendi, fornisce anche precise indicazioni sia sull'interpretazione di alcuni punti del Codice stesso sia sulle motivazioni alla base delle scelte del normatore. È doveroso sottolineare che, malgrado tali motivazioni e spiegazioni non potevano essere esaustive, in quanto questo non era, e non poteva essere, lo scopo di una breve Circolare, sono sicuramente un contributo importante che la Pubblica Amministrazione offre ai progettisti e professionisti antincendio, per meglio com-

prendere la ratio del Codice e della progettazione di strutture resistenti al fuoco.

Scopo di questo articolo è quello di approfondire i diversi punti della Circolare e, soprattutto, di fornire ulteriori spiegazioni e possibili soluzioni ai professionisti. Inoltre, sarà analizzato il suo potenziale impatto sulla progettazione antincendio e sull'utilizzo di elementi strutturali e di protettivi da parte dei professionisti antincendio.

La Circolare è stata pubblicata solo alcuni mesi dopo l'entrata in vigore del D.M. 12 aprile 2019 che ha reso obbligatorio, a partire dal 20 ottobre 2019, il Codice di Prevenzione Incendi per più di 40 attività. ➤



● Marco Antonelli

Responsabile della Promat International Academy presso Promat Platform (Belgio) e responsabile tecnico internazionale per i protettivi antincendio presso PRTC (società di ricerca e sviluppo del gruppo Etex). Vicepresidente della Commissioni UNI "Comportamento All'Incendio", Membro G.L. UNI "Resistenza all'incendio" della Commissione "Resistenza al fuoco" e del G.L. "Ingegneria della sicurezza contro l'incendio" (Gruppo misto Comportamento all'incendio/Protezione attiva contro gli incendi). Si occupa di protezione passiva da oltre 35 anni. È autore di diverse pubblicazioni e ha partecipato come docente a numerosi corsi, seminari e conferenze nazionali e internazionali sul tema della protezione strutturale e della compartimentazione antincendio.

● Diego Cecchinato

Responsabile tecnico della divisione Protezione Passiva al fuoco di Edilteco Group. Si laurea in ingegneria meccanica presso l'Università degli Studi di Ferrara. Consegue il Master di I Livello della durata di un anno "SAFEng- Sicurezza antincendio e Fire Engineering" presso l'Università di Ferrara. Vigile del fuoco discontinuo dal 2008 al 2016. Si occupa di protezione passiva per Edilteco Group in ambito civile e Oil&Gas, svolge progettazione, R&D, testing e certificazioni sia in ambito nazionale che internazionale. Iscritto all'albo dei professionisti antincendio e specializzato in simulazioni incendio CFD e studio dell'esodo, svolge attività di libera professione dal 2015.

● Daniele Andriotto

Laureato in Ingegneria Civile con indirizzo strutture presso l'Università di Ferrara, ha svolto il Master di I Livello della durata di un anno "SAFEng- Sicurezza antincendio e Fire Engineering" presso l'Università di Ferrara. Professionista antincendio abilitato ex legge 818, specializzato in Fire Safety Engineering. Tratta principalmente la progettazione e l'adeguamento delle strutture alla resistenza al fuoco con approccio ingegneristico, mediante l'utilizzo di software specifici (Strand7- Safir). Consulente a livello nazionale ed internazionale, svolge formazione presso gli ordini professionali ed è autore di diverse pubblicazioni nell'ambito dell'Ingegneria Antincendio. Libero professionista dal 2013.

Il passaggio da documento alternativo a strumento unico, spesso definito come la "fine del doppio binario", è stato sicuramente un momento storico che ha introdotto in modo definitivo alcuni concetti di grande importanza in ambito di sicurezza antincendio. L'importanza del Codice, infatti, al di là delle sue evidenti intenzioni di semplificazione e di applicazione del principio di proporzionalità, è quella di fornire al progettista una serie di strumenti che gli permettano di stabilire le azioni necessarie a colmare il gap fra una situazione attesa, che nel Codice è definita da diversi livelli di prestazione richiesta, e la situazione attuale, attraverso un'analisi del rischio che può es-

sere più o meno complessa in funzione della potenziale pericolosità delle attività e delle caratteristiche degli edifici.

Tipologie di soluzioni progettuali

Il divario può essere colmato grazie a tre tipologie di soluzioni progettuali chiamate:

- ▶ soluzioni conformi
- ▶ soluzioni alternative
- ▶ soluzioni in deroga

Il progettista può scegliere la soluzione progettuale più adatta alla tipologia di attività che sta esaminando, tenendo però conto che, nel caso voglia utilizzare le soluzioni in deroga, dovrà evidenziare che nessuna soluzione conforme o alternativa è percorribile e seguire uno specifico iter procedurale. Di fatto, quindi, con il Codice i casi di ricorso alla soluzione in Deroga diventano residuali.

Le soluzioni conformi sono definite come soluzioni progettuali di immediata applicazione che garantiscono il raggiungimento del collegato livello di prestazione e per le quali non è richiesta ulteriore valutazione tecnica. Di fatto, queste soluzioni sono dettami prescrittivi, con un contributo progettuale da parte del professionista antincendio di tipo guidato. Le soluzioni alternative sono soluzioni progettuali per le quali il progettista è tenuto a dimostrare il raggiungimento del collegato livello prestazionale, utilizzando uno o più dei metodi di progettazione della sicurezza antincendio, cioè: ingegneria della sicurezza, utilizzo di norme internazionali, eventuale impiego di prodotti e tecnologie innovative e prove sperimentali.

È evidente che le soluzioni conformi sono più semplici per il professionista e limitano le sue responsabilità, ma hanno anche una serie di vincoli che talvolta le rendono poco adatte a situazioni complesse oppure possono essere particolarmente onerose per il titolare dell'attività.

Le soluzioni alternative, per le quali il progettista è sempre tenuto a dimostrare il raggiungimento del



L'evoluzione dei SEDuct® COMMANDER

AerNova incrementa la gamma dei pannelli di comando e controllo per la gestione dei componenti e degli scenari d'incendio nei sistemi di controllo del fumo e del calore



SEDuct® M240

gestione fino a 240 componenti
Matrice di funzionamento

Fanno parte della gamma anche:

➔ **SEDuct® M60**
gestione fino a
60 componenti
2 zone

➔ **SEDuct® M30**
gestione fino a
30 componenti
1 zona

collegato livello prestazionale, necessitano di progettazioni più complesse, di alte competenze, conoscenze approfondite e spesso dell'utilizzo di codici di calcolo e software che permettono di elaborare una soluzione ad hoc per il caso specifico. Per questo motivo le soluzioni conformi contengono implicitamente margini di sicurezza elevati, mentre le soluzioni alternative riducono tali margini al minimo accettabile, in quanto sono dedicate solo a specifici scenari e condizioni considerate ed analizzate dal professionista. Queste soluzioni, se da un lato risultano essere perfettamente calate nello spirito di proporzionalità del Codice e nella logica di una progettazione specifica, dall'altro richiedono scelte precise (e vincolanti) da parte del progettista e tempi di progettazione e di calcolo più lunghi. È quindi compito del professionista trovare il giusto equilibrio fra tutte le variabili e scegliere le soluzioni più opportune, nei diversi casi. Quello che appare evidente leggendo la Circolare è che non sempre c'è stata una totale comprensione di tale complessità e non sempre i professionisti hanno colto appieno i limiti dell'approccio prestazionale, con particolare riferimento alla possibilità o meno di accettare semplificazioni, elaborare progettazioni parziali, utilizzare codici di calcolo inadeguati, metodi semplificati e valutazioni empiriche.

In questo scenario, si è assistito anche all'utilizzo da parte di alcuni professionisti antincendio di relazioni tecniche o di altri documenti predisposti da altri professionisti o da aziende produttrici di materiali antincendio, che, dichiarandosi esperti ("sedicenti esperti", come dovrebbero essere definiti secondo la terminologia della nostra giurisprudenza), hanno proposto soluzioni non adeguate, non conformi o addirittura sbagliate, travisando completamente lo spirito del Codice, che non contempla certamente l'accettazione di soluzioni non sufficientemente sicure in nome della loro economicità o della semplicità di realizzazione o di progettazione, ma, al contrario, mira alla conservazione dei livelli di sicurezza considerati necessari per le diverse attività, cercando di

rendere le procedure più snelle e limitando il numero di documenti da valutare e da predisporre.

A questo proposito si ricorda che il professionista antincendio che appone la sua firma sui modelli CERT REI e DICH PROD, si assume la totale responsabilità delle soluzioni adottate, partendo dal presupposto che esso sia in grado di valutare se una relazione o un documento ricevuto da un collega o da un produttore è conforme alle norme vigenti, alla logica e allo spirito del Codice e, detto senza alcuno spirito polemico, anche ai principi di base della fisica e della termodinamica.

Il capitolo S.2 del Codice

Prima di iniziare con la disamina della Circolare, è utile riassumere brevemente quanto riportato nel capitolo S.2 del Codice, cioè quello relativo alla resistenza al fuoco.

La resistenza al fuoco si determina sulla base della capacità portante propria degli elementi strutturali singoli, di porzioni di struttura o dell'intero sistema costruttivo, comprese condizioni di carico e vincoli e tenendo conto dell'apporto di eventuali protettivi.

Le deformazioni e le espansioni imposte o impedito, dovute ai cambiamenti di temperatura per effetto dell'esposizione al fuoco, producono sollecitazioni indirette, forze e momenti nei singoli elementi strutturali, che devono essere tenute in considerazione, ad eccezione del verificarsi di due casi:

- è riconoscibile a priori che se sono trascurabili o favorevoli
- i requisiti di sicurezza l'incendio sono valutati in riferimento a una curva nominale di incendio (le cosiddette curve standard).

Risulta pertanto evidente che le soluzioni conformi, per le quali è ammessa la verifica degli elementi singoli, possono essere adottate senza alcuna analisi delle azioni indirette, mentre le soluzioni alternative devono essere studiate facendo riferimento alla capacità portante di porzioni di struttura o dell'intero sistema strutturale, a meno di verificare a priori,

come detto in precedenza, che l'effetto delle deformazioni ed espansioni dovute ai cambiamenti di temperatura siano trascurabili.

Livelli di prestazioni

Il capitolo S.2 fornisce una serie di livelli di prestazioni che sono attribuibili alle opere da costruzione relativamente alla resistenza al fuoco. Al fine di ottenere il livello di prestazione richiesto, sono rese disponibili alcune soluzioni conformi che, per loro natura, non necessitano di particolari approfondimenti o valutazioni da parte dei professionisti antincendio. Con specifico riferimento al livello III, che rappresenta una larga porzione degli edifici e delle attività, il Codice richiede la verifica della prestazione di resistenza al fuoco in base agli incendi convenzionali di progetto e la classe minima dovrà essere ricavata per compartimento, in relazione al carico di incendio specifico di

Per conseguire il livello di prestazione richiesto, sono disponibili alcune soluzioni conformi che, per loro natura, non hanno bisogno di particolari approfondimenti o valutazioni da parte dei professionisti antincendio

progetto, secondo una precisa relazione riportata nel Codice.

Curve di incendio

Gli incendi convenzionali di progetto sono definiti attraverso una curva di incendio che rappresenta l'andamento in funzione del tempo della temperatura media dei gas di combustione nell'intorno della superficie

degli elementi costruttivi. Le curve degli incendi di progetto possono essere di due tipi:

- ▶ **Nominali:** adottate per la classificazione delle opere da costruzione e per le verifiche di resistenza al fuoco di tipo convenzionale, cioè la curva standard EN 1363-1 / ISO 834, quella da idrocarburi e quella da esterno.
- ▶ **Naturali:** determinate in base a modelli di incendio e a parametri fisici che definiscono le variabili di stato all'interno del compartimento antincendio. ▶





PRODUZIONE MANIFATTURA ED ECCELLENZA ITALIANA

Tecnologia e Creatività Italiana • Made in Italy

Via Matteotti 55/57 • 24050 Grassano (BG) • Tel. 035.657055
www.svsistemiinsicurezza.com

Da notare che nel punto G 1.12 del Codice è riportata la definizione di "incendio localizzato" cioè un focolaio di incendio che interessa una zona limitata del compartimento, con sviluppo di calore concentrato in prossimità degli elementi costruttivi posti superiormente al focolaio o immediatamente adiacenti.

Le verifiche delle prestazioni di resistenza al fuoco con curve "naturali" di incendio, riportate nel punto S.2.6 del Codice, si effettuano in riferimento a curve che rappresentano l'andamento di temperatura di un incendio determinato in base alle specifiche caratteristiche del compartimento e dei materiali combustibili in esso presenti. Il processo d'individuazione degli scenari di incendio di progetto, alla base dell'elaborazione delle curve di incendio naturale, deve essere conforme al capitolo M.2 del Codice.

Le curve naturali incendio possono essere determinate mediante:

- **Modelli di incendio sperimentali:** curve ottenute sperimentalmente in compartimenti di modeste dimensioni, regolate principalmente dalla quantità di materiale combustibile standard, normalmente legno, e dalla quantità di comburente. Sono riportate in letteratura internazionale, in particolare nei noti lavori di alcuni studiosi del nord Europa, a cavallo fra gli anni 70 e 80.
- **Modelli di incendio numerici semplificati dell'Eurocodice 1991-1-2:** tali curve, dette anche curve parametriche, riproducono la fase di flash over con andamento simile alla ISO 834, ma con altezze e pendenze diverse in funzione del fattore di ventilazione e del carico di incendio. Queste curve prevedono altresì una fase di raffreddamento rappresentata da una retta che congiunge il punto di massima temperatura fino a quello di temperatura ambiente.
- **Modelli di incendio numerici avanzati:** tali modelli permettono di calcolare una curva di incendio molto dettagliata e precisa, basata su complesse equazioni e sulle caratteristiche dei materiali combustibili presenti (quantità, potenza termica, pezzatura posizione all'interno dello spazio), con-

siderando anche l'influenza sia della quantità di comburente disponibile sia le caratteristiche geometriche, fisiche e la composizione degli elementi che delimitano il compartimento. A causa della complessità dei calcoli necessari per la loro elaborazione, per queste curve si utilizzano generalmente specifici software che possono essere di tipo a "Zone", nei quali l'ambiente è diviso in due zone per le quali viene calcolata la temperatura fino al momento del flash over, da tale istante in poi si considera il compartimento come una sola zona, oppure di "Campo", dove l'ambiente è discretizzato in cubi di dimensione generalmente limitate (pochi centimetri), per ognuno dei quali vengono risolte le equazioni di bilancio termico con le zone adiacenti. In quest'ultimo caso i risultati sono molto più precisi, ma i calcoli richiedono tempi lunghi, da alcune ore ad alcuni giorni, e la definizione geometrica del compartimento e l'input degli elementi in esso contenuti è piuttosto complessa.

Soluzioni alternative

Il capitolo sulla resistenza al fuoco S.2, al pari delle altre misure di prevenzione incendi, propone la possibilità di utilizzare soluzioni alternative per i diversi livelli di prestazione.

In particolare, le soluzioni alternative per il livello II si ottengono verificando le prestazioni in base agli scenari di incendio di progetto e relativi incendi convenzionali progetto rappresentati da **curve naturali di incendio**. Da notare che il mantenimento della capacità portante in condizioni di incendio deve essere garantita per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti, considerando un tempo pari al doppio di RSET e comunque maggiore di 15 minuti.

Le soluzioni alternative per il livello III si ottengono verificando le prestazioni di resistenza al fuoco in base agli scenari di incendio di progetto e ai relativi incendi convenzionali di progetto rappresentate anche in questo caso da curve naturali di incendio.

Risulta quindi evidente che le verifiche di prestazio- ➤

AESSE

sistemi *per* l'antincendio

Produzione
impianti revisione
estintori conformi
INDUSTRIA 4.0

Utilizzando impianti **INDUSTRIA 4.0** potrai fornire al tuo cliente rapporti trasparenti e di altissima qualità anche attraverso la tracciabilità dei prodotti utilizzati, potrai ottenere sistemi personalizzati dalle grandi prestazioni con interfacce touch screen semplici ed intuitive, senza tralasciare la sicurezza. Inoltre attraverso un sistema di teleassistenza creato appositamente da Aesse, i nostri tecnici saranno al tuo fianco dall'acquisto, alla messa in funzione e anche nel post-vendita, con noi non sarai mai solo...

TORRICELLI 4.0

Impianto revisioni
estintori a polvere

- IPERAMMORTAMENTO
- TELEASSISTENZA
- PERSONALIZZAZIONE
- CONTROLLO REMOTO
- INTERFACCE TOUCH SCREEN
- SICUREZZA
- RIDUZIONE IMPATTO AMBIENTALE
- RIDUZIONE TEMPI LAVORAZIONE



Vieni a trovarci alle fiere del settore:

- Interschutz di Hannover: Giugno 2021
- Safety Expo a Bergamo: settembre 2021

... Dai valore al tuo lavoro !!

ne con soluzioni conformi comportano l'uso di curve standard, mentre quelle per le soluzioni alternative prevedono l'individuazione di scenari di incendio e delle conseguenti curve naturali di incendio.

La Circolare DCPREV 9962 del 24 luglio 2020 (di seguito chiamata "Circolare") si compone di sole tre pagine, ma, come detto, contiene una serie di informazioni e di precisazioni che ne hanno decretato un immediato successo e apprezzamento da parte degli operatori del settore. Il documento contiene sette punti, ognuno dei quali chiarisce alcuni aspetti rilevanti per la verifica degli elementi strutturali e per la durata e l'estensione degli incendi.

Utilizzo di curve naturali per la verifica di elementi strutturali non protetti

Come noto nell'utilizzo di soluzioni alternative devono essere sempre considerate le sollecitazioni indirette che si generano per deformazioni o espansioni imposte e impedito durante l'esposizione alle curve naturali di incendio, così come indicato nel punto S. 2.8.1 del Codice, salvo i casi in cui è riconoscibile a priori che esse siano trascurabili o favorevoli. Le sollecitazioni indirette vengono normalmente portate in conto nelle modellazioni termo strutturali dell'intera struttura o di sue parti significative, mentre evidentemente ciò non avviene nei modelli analitici su elementi singoli che, per tale motivo, non sono applicabili con incendi naturali, ad eccezione dei casi in cui è riconoscibile a priori che le citate sollecitazioni siano trascurabili o favorevoli. In altre parole, si può affermare che quando si analizza e si valuta la resistenza al fuoco secondo curve d'incendio naturali, che spesso prevedono cimenti termici meno severi degli incendi standard, è necessario verificare sottostrutture significative o addirittura l'intera struttura e non l'elemento singolo. Questo comporta una maggiore complessità progettuale, necessaria a compensare la riduzione dei fattori di sicurezza dovuta all'utilizzo di una curva naturale specifica, relativa al

compartimento in esame, e non alla curva standard che, per sua definizione, è sufficientemente severa e comporta criticità tali da garantire un elevato livello di sicurezza alle strutture portanti.

Esistono numerosi esempi in letteratura circa la differenza di comportamento al fuoco di elementi singoli e di porzioni di struttura sottoposti alla stessa curva di incendio, dove risulta evidente come trascurare le azioni indirette possa portare a sottovalutare alcune potenziali criticità della struttura, come ad esempio nei casi di semplici telai controventati dove le travi possono essere soggette anche a compressione e i pilastri anche a notevoli momenti flettenti.

Di seguito, vengono riportati due esempi: il primo finalizzato a definire un ordine di grandezza delle sollecitazioni indotte dalle dilatazioni termiche impedito per sottolinearne l'importanza e l'entità e il secondo finalizzato a evidenziare l'importanza di tali effetti sull'intera struttura, o almeno un una sottostruttura significativa.

Esempio 1

Il caso di una trave cerniera-cerniera di sezione HEB

Nel primo esempio è stato sviluppato il caso di una trave cerniera-cerniera di sezione HEB interessata da una curva tempo-temperatura che aumenta costantemente con variare del tempo.

Il codice di calcolo utilizzato, SAFIR - sviluppato dai Professori Jean-Marc Franssen presso l'Università di Liegi e Thomas Gernay presso la Johns Hopkins University – restituisce tutti i parametri significativi per l'identificazione del comportamento strutturale. Nell'esempio specifico si riporta l'andamento del momento flettente in mezzera alla trave al variare del tempo che identifica bene l'entità delle sollecitazioni indotte dalle dilatazioni termiche impedito (figura 1). L'andamento del momento flettente, che varia sensibilmente al variare della temperatura, risente dell'aumento dell'eccentricità e del degrado delle proprietà meccaniche del materiale e dell'aumento dello sforzo

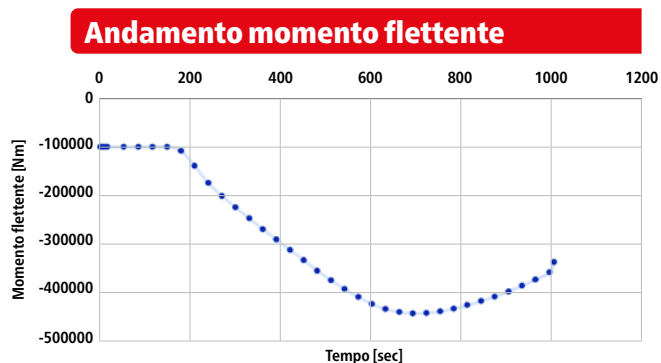


Figura 1 | Andamento del momento flettente in mezzeria a trave vincolata agli estremi con vincoli di appoggio all'aumentare della temperatura distribuita sull'intero sviluppo longitudinale

di compressione generato dal sistema di vincoli che impediscono la libera dilatazione dell'elemento lungo la sua direzione principale. In questo caso, trascurare la non linearità geometrica e di proprietà meccaniche del materiale avrebbe comportato un errore superiore al 400% sulla sollecitazione del momento flettente, compromettendo la correttezza dei risultati finali.

L'esempio riportato conferma che la valutazione della resistenza al fuoco con soluzioni alternative deve essere eseguita con codici di calcolo che considerano le non linearità geometriche e quelle delle proprietà termiche e meccaniche del materiale, in funzione della temperatura raggiunta, sia in fase di riscaldamento sia durante il raffreddamento, secondo quanto riportato negli Eurocodici. La complessità dei calcoli strutturali in campo non lineare richiede l'esecuzione di verifiche di accuratezza dei modelli di calcolo prendendo come riferimento i risultati riportati nell'Allegato C del EN 1992-1-2 e la ISO/TR 16730-4. Si vuole precisare un ulteriore aspetto di tali verifiche. Ogni analisi termomeccanica deve partire dall'analisi termica del profilo strutturale per qualsiasi tipologia di materiale, compreso l'acciaio, nonostante la sua ridotta inerzia termica. Infatti, la temperatura dei gas, che impattano sull'elemento strutturale, non corrisponde a quella del profilo stesso perché essa è funzione delle sue caratteristiche meccaniche e geometriche. La differenza non è trascurabile e

può raggiungere, in casi particolari, alcune centinaia di gradi Celsius. Tale differenza è presente sia nella fase di riscaldamento sia in quella di raffreddamento cosicché il picco della temperatura interna dei profili, anche se metallici, non coincide con quello della temperatura dei gas (in altre parole durante la fase di riscaldamento la temperatura negli elementi strutturali è inferiore a quella dei gas che li lambiscono, mentre in fase di raffreddamento accade il contrario). Questo è uno dei fattori per cui è importante proseguire l'analisi strutturale con curva naturale anche nella fase di raffreddamento dei gas, in particolar modo nel caso di elementi in c.a.

Esempio 2

Le risultanze della modellazione fluidodinamica di uno specifico scenario di incendio

Nel caso di una struttura composta da più elementi strutturali, è necessario estendere l'analisi delle sollecitazioni indirette dovute a deformazioni ed espansioni termiche impedita all'intera struttura o a sue sottostrutture significative. Per esplicitare tale concetto si sviluppa il secondo esempio, basato sulle risultanze della modellazione fluidodinamica di uno specifico scenario di incendio localizzato, rappresentato da una curva naturale di incendio. Si sottolinea che, per brevità di trattazione e focus strutturale dell'articolo, non viene riportata l'analisi qualitativa degli scenari e l'analisi quantitativa degli altri scenari ritenuti gravosi per l'esempio in oggetto. Il modello è stato realizzato attraverso l'utilizzo dei software:

► Pyrosim 2020 come pre-compilatore del codice FDS 6.4.0

► Smokeview 2020 come visualizzatore.

L'edificio oggetto di studio è un capannone tipo delle dimensioni di 51m x 14m ed altezza 7 metri, come da Figure 2 e 3. La disposizione spaziale dei sensori di temperatura è stata scelta in modo da monitorare la temperatura a ridosso delle travi di copertura e delle colonne perimetrali.



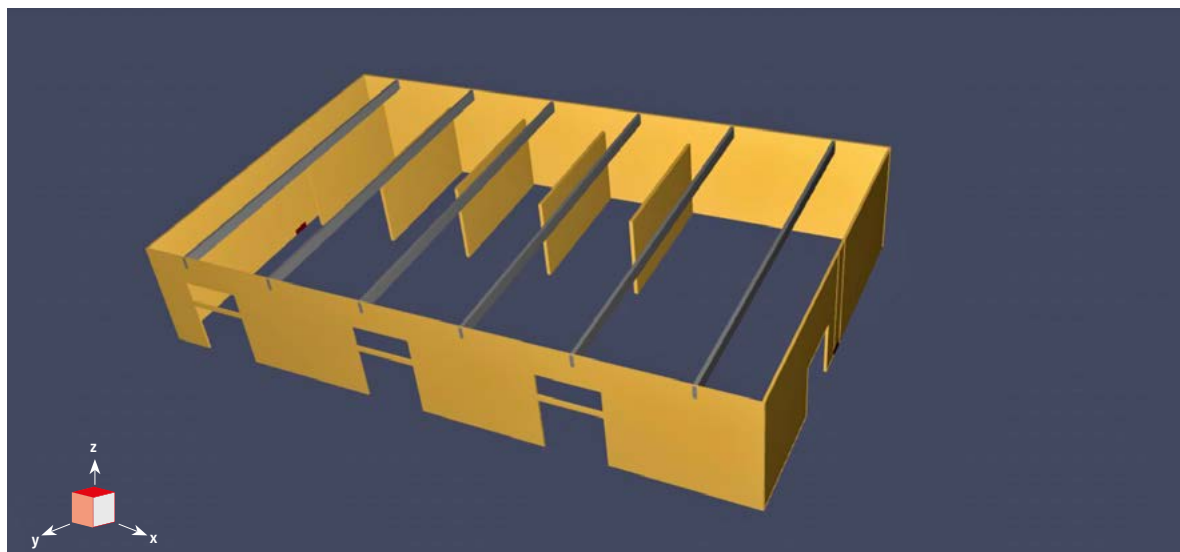


Figura 2 | Visuale interna del modello inserito nel pre-compilatore

Lo scenario di Incendio localizzato prevede dei banchali di materiale combustibile con potenza distribuita sulla sua superficie. Il "burner" ha dimensione totale pari a 1,0x1,2m di base e 3,6m di altezza. Le dimensioni standard degli europallet sono 1x1,2x0,14 m. L'impilamento arriva fino 3,6 m. Il peso è di circa 25 kg cadauno.

Per il calcolo della potenza massima espressa dall'incendio, anche definita "RHR" nel Codice, sono stati utilizzati i dati reperibili in letteratura tecnica. In particolare, è stato preso a riferimento il testo "Inge-

gnieria della sicurezza antincendio" e il suo testo di riferimento internazionale SFPE Handbook.

Per stimare la fase di crescita, è stato utilizzato quanto riportato nel D.M. 18 ottobre 2019, stimando una crescita "fast", con $\alpha = 0.0444$. La scelta di tale parametro non governa solo i risultati ottenuti nella modellazione fluidodinamica, ma anche quelli dell'intera progettazione antincendio perché individua il profilo di rischio dell'attività. Una scelta coscienziosa di tale parametro deve essere guidata dalla tabella G.3-2 del Codice.

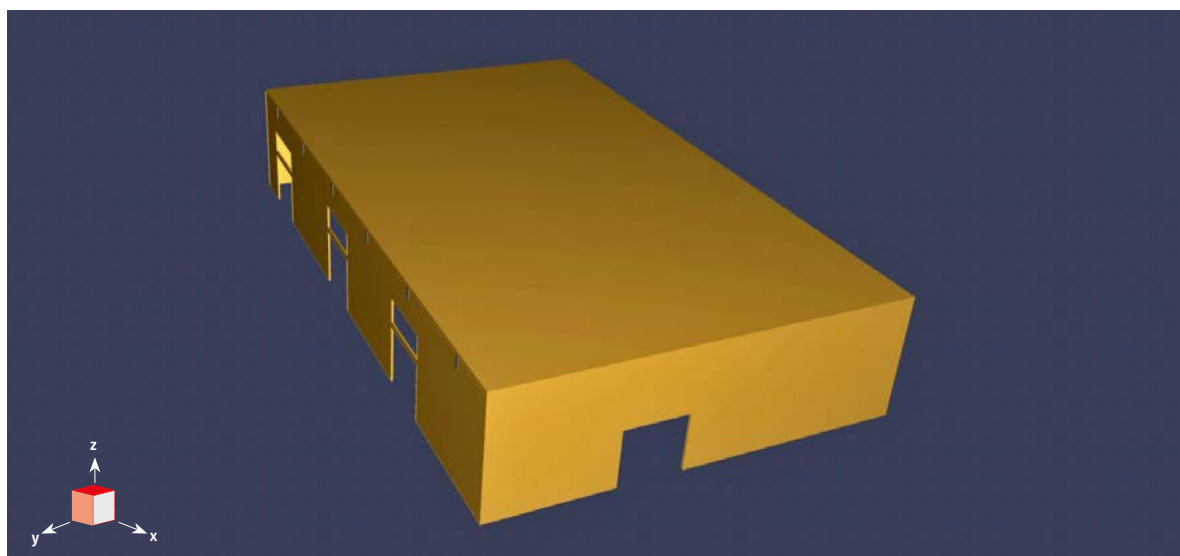


Figura 3 | Visuale esterna del modello inserito nel pre-compilatore



TESTATO IN PISTA



VALLE D'AOSTA

Soan - Aosta

PIEMONTE

Csa Ziano - Villanova Canavese (TO)

Nuova Asac Antincendio - Arquata

Scrivia (AL)

Sarem - Biella

LIGURIA

Giem Ghirardelli - Imperia

Ravizza Vergari Antincendi - Genova

Tasi - La Spezia

LOMBARDIA

CEA Mantek - Monza (MB)

CME - Desenzano del Garda (BS)

Manzi Gianfranco - Cremona

Minerva Antincendio - Garlasco (PV)

Zenith Estintori - Vanzago (MI)

TRENTINO ALTO ADIGE

CEA Estintori - Trento

FRIULI VENEZIA GIULIA

Antincendio e Sicurezza - Pordenone

VENETO

AD Antincendi - Cornedo Vicentino (VI)

Antincendi Viel - Belluno

Api - Campodarsego (PD)

Ferrari Antincendio - S. Martino Buon

Albergo (VR)

Gardenale Estintori - Occhiobello (RO)

Oaci - Este (PD)

Veta System - Meolo (VE)

EMILIA ROMAGNA

APA Antincendi - Parma

CEA Campo Prove - Savignano sul

Rubicone (FC)

CEA Estintori - Castenaso (BO)

CEA Estintori - Mordano (BO)

CEA Itec - Modena

CEA Squadra Corse - Medicina (BO)

Retra - Savio (RA)

TOSCANA

Aden Antincendio - Albinia (GR)

Cobel Servizi - Lucca

Imma - Prato

Idealcoop - Pomarance (PI)

MARCHE E ABRUZZO

Antincendio Macerata - Macerata

Mingucci Antincendio - Pesaro

Piemme Estintori - Pagliare (AP)

LAZIO

Estintori Cotterli - Aprilia (LT)

Sicursystem - Roma

CAMPANIA

DMG Estintori e Sicurezza - Buccino

(SA)

Fenix Antincendio - Napoli

PUGLIA E BASILICATA

L'Antincendio - Matera

CALABRIA

Pugliese Antincendi

Cannavà di Rizziconi (RC)

SARDEGNA

Aire Antincendio - Sassari

Arde Antincendio - Selargius (CA)

SICILIA

Azzatech - Torregrotta (ME)

Caruso Estintori - Enna

Cocimano G Di Paola - Catania

SEAF - Corleone (PA)

System Fire - Agrigento

CEA

ESTINTORI

Dal 1967 cultura della sicurezza

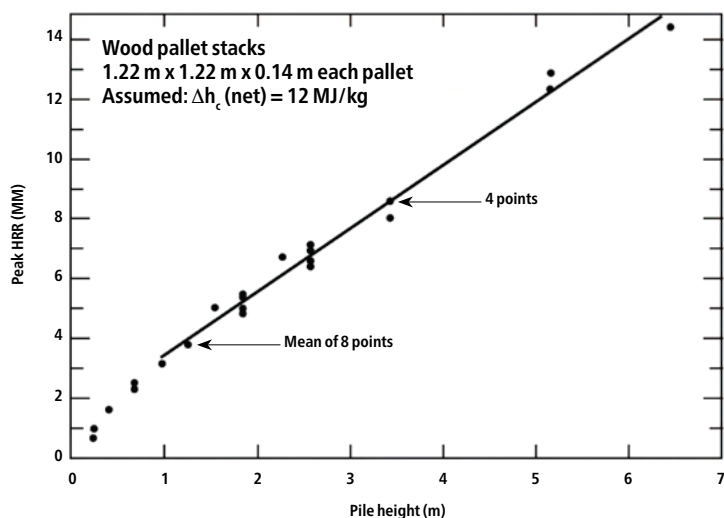
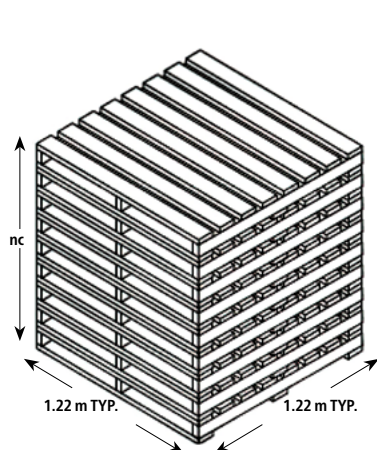


Figura 4 | Potenza termica rilasciata dall'incendio di un Pallet in funzione della sua altezza – Estratto SFPE Handbook

In questo caso, l'incendio è "controllato dal combustibile". Le aperture consentono di mantenere la maggior ventilazione possibile e di conseguenza le maggiori temperature, consentendo il totale sviluppo della potenza inserita in fase di costruzione del modello.

I profili di temperatura restituiti dai sensori hanno un andamento localizzato, in linea con quanto ci si attendeva. I valori di temperatura più alti si registrano sulla verticale dell'incendio (in corrispondenza del sensore denominato TA59), come riportato in figura 5.

Nello specifico, si analizza con software STRAUS7 il caso di un telaio con pilastri e travi di sezione IPE 400.

Le dimensioni del telaio sono 7 metri di altezza e 14 metri di luce della trave (vedi figura 6).

Il software STRAUS7 è un codice di calcolo generale utilizzato anche per applicazioni di tipo non-lineare nel transitorio termico. Proprio perché si tratta di software generico è necessaria una verifica dell'accuratezza dei modelli di calcolo sulla base di specifici risultati sperimentali, controllando i parametri critici mediante analisi di sensitività. Per sviluppare tali verifiche si prenda a riferimento l'allegato CC della DIN EN 1992-1-2 NA, nel quale sono presentati alcuni casi noti di riferimento rispetto ai quali confrontare i risultati del codice utilizzato, nonché la ISO/TR ➤

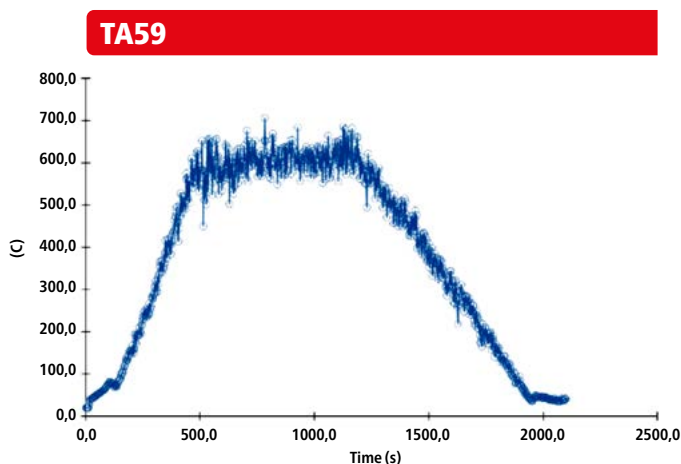


Figura 5 | Curva naturale di incendio restituita dal sensore TA59

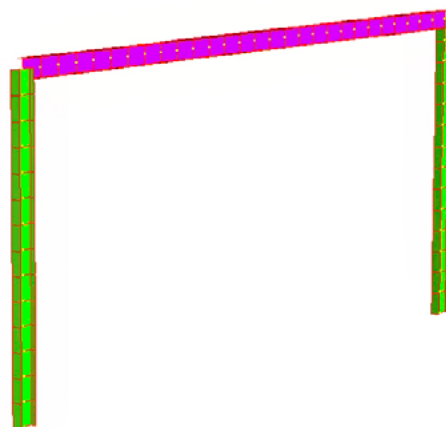
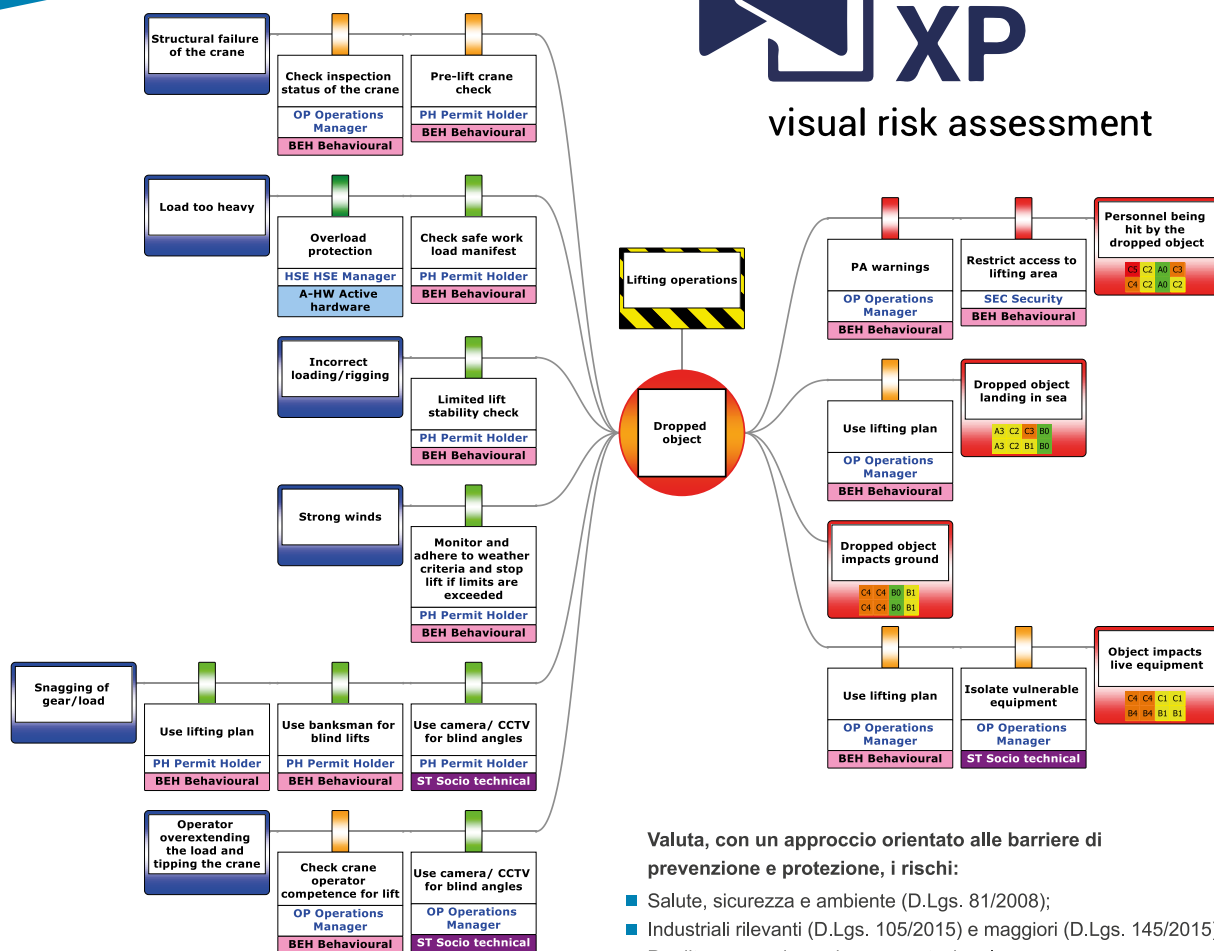


Figura 6 | Rappresentazione grafica del telaio metallico oggetto di analisi – Software STRAUS7



Valuta, con un approccio orientato alle barriere di prevenzione e protezione, i rischi:

- Salute, sicurezza e ambiente (D.Lgs. 81/2008);
- Industriali rilevanti (D.Lgs. 105/2015) e maggiori (D.Lgs. 145/2015);
- Perdita economica e danno reputazionale;
- Incendio e formazione atmosfere esplosive;
- Organizzativi, di processo e di qualità del prodotto.

Effettua l'analisi qualitativa o quantitativa dei rischi con il metodo Bow-Tie, nei seguenti settori:

- Oil&Gas (on-shore ed off-shore);
- Farmaceutica;
- Industria manifatturiera, pesante e mineraria;
- Logistica;
- Infrastrutture e trasporti;
- Ospedaliero;
- Cantieri temporanei e mobili;
- Energia, utilities, servizi;
- Rifiuti.



TECса srl

Via Figino, 101 - 20016 Pero (MI) ITALY
Tel. +39 02 33910 484 - Fax +39 02 33910 737

www.tecsasrl.it | tecса@tecsasrl.it

BowTie XPTM è un software prodotto da:



Risk Management Solutions
Making risk understandable

40th ANNIVERSARY
1979 | 2019

BowTie XPTM è venduto in Italia da:



TECnologie per la Sicurezza e l'Ambiente

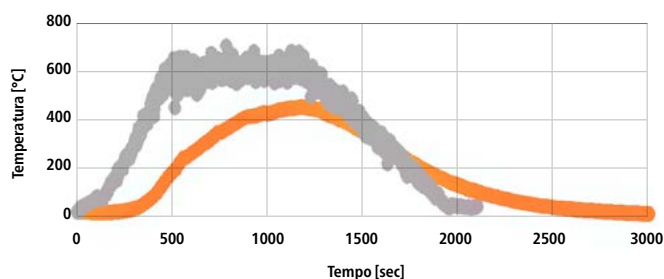
Riscaldamento della sezione

Figura 7 | Confronto tra la curva delle temperature raggiunte dai gas (curva grigia) e quella delle temperature raggiunte dall'elemento metallico (curva arancione)

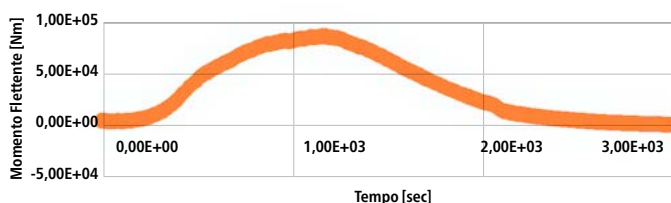
Incastro alla base del pilastro [Nm]

Figura 8 | Sollecitazione di momento flettente alla base del pilastro

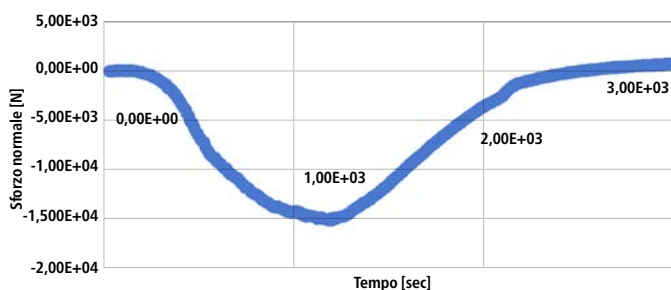
Sforzo Normale sulla Trave [N]

Figura 9 | Sollecitazione di sforzo normale sulla trave

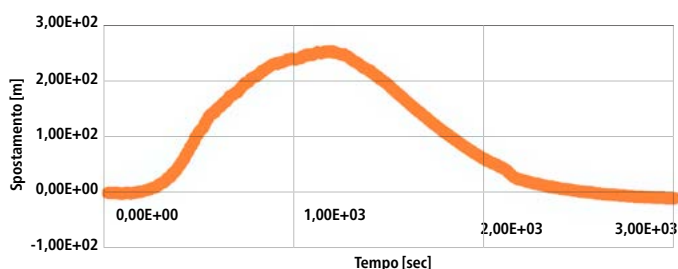
Spostamento orizzontale in sommità al pilastro [m]

Figura 10 | Spostamento in direzione orizzontale in corrispondenza della sommità del pilastro

16730-4, che fornisce una metodologia per la validazione dei software di calcolo per analisi strutturali in condizioni d'incendio.

Si precisa che in commercio sono disponibili numerosi codici di calcolo che non richiedono tale passaggio perché sono specifici per la progettazione della resistenza al fuoco e già validati. Tra questi si riportano i principali: ANSYS, ABAQUS and SAFIR.

Il software utilizzato (STRAUS7) richiede lo svolgimento dell'analisi termica sui singoli elementi, così la prima fase è quella di analisi della temperatura all'interno della sezione in funzione della temperatura dei gas e delle proprietà termiche (variabili in funzioni della temperatura) del materiale e geometriche della sezione.

Si riporta in figura 7 una delle coppie di curve tempo-temperatura dei gas (curva grigia) e quella del profilo (curva arancione).

Una volta imposte le temperature derivanti dall'analisi termica (temperatura uniforme nella sezione), si procede alla verifica termo-strutturale. Si riportano gli andamenti dei valori presi in considerazione, ovvero: il momento flettente nell'incastro alla base dei pilastri (figura 8), lo sforzo di compressione della trave (figura 9) e lo spostamento in direzione orizzontale della sommità dei pilastri (figura 10).

Si è scelto di sviluppare l'analisi termo-strutturale per l'intera durata dell'incendio per avere evidenza degli effetti finali dell'incendio sulle strutture una volta tornati alla temperatura ambiente prossima ai 20°C.

Si precisa che la Circolare al punto C esplica in maniera chiara quale debba essere la durata degli incendi naturali, che non deve essere confusa con classe di resistenza al fuoco, ma che dipende dal Livello di Prestazione. Ad esempio, per il Livello di prestazione I è necessario sviluppare l'analisi termo-strutturale fino al collasso o, in assenza, fino alla durata stabilità dal paragrafo M.2.5 in base all'obiettivo della sicurezza

antincendio dello specifico progetto (salvaguardia della vita degli occupanti, salvaguardia della vita dei soccorritori, mantenimento della capacità portante in caso d'incendio).

I risultati ottenuti nel caso specifico, oltre a sottolineare l'entità delle sollecitazioni indotte dalle dilatazioni termiche impediti, mostrano come la stabilità strutturale sia garantita per l'intera durata dell'incendio e non si raggiungano mai le condizioni di collasso. A conferma del buon comportamento strutturale, si evidenzia che i valori del momento flettente alla base del pilastro, dello sforzo di compressione sulla trave e dello spostamento in direzione orizzontale in corrispondenza della sommità del pilastro sono del tutto in linea con quelli dell'istante iniziale e la configurazione finale, compresa la freccia della trave in mezzzeria, è la medesima dell'istante iniziale.

Utilizzo di curve naturali per la verifica di elementi strutturali con protettivi

Questo punto della Circolare ha suscitato numerosi dibattiti fra i professionisti antincendio e gli altri operatori del settore, malgrado non ci sia alcuna effettiva novità in quanto riportato nel testo della Circolare. Prima di analizzare i punti specifici, è bene ricordare che per protettivo antincendio si intende un prodotto che contribuisce alla resistenza al fuoco di elementi strutturali, come ad esempio pitture intumescenti, intonaci protettivi e lastre. Le prestazioni dei protettivi e la loro caratterizzazione devono essere valutate con prove sperimentali specifiche che, in Europa, sono rappresentate dalle norme EN della serie 13381. In particolare, per i controsoffitti privi di intrinseca resistenza al fuoco, detti anche membrane protettive, deve essere utilizzata la norma EN 13381-1, mentre per i rivestimenti, i pannelli e le pitture intumescenti, devono essere utilizzate le norme EN 13381 dalla parte 2 alla parte 8, in funzione dell'elemento che dovrà essere protetto. Più nel dettaglio, si possono citare la EN 13381-3 relativa alle strutture in

calcestruzzo, le EN 13381-4 e 8 relative agli elementi d'acciaio (rispettivamente per i protettivi passivi e per quelli reattivi) e la EN 13381-7 relativa agli elementi strutturali in legno. Si fa notare che i protettivi, citati dalle tabelle S.2.16 e S.2.17 del Codice, sono gli stessi prodotti per i quali è prevista la valutazione delle caratteristiche di efficienza e funzionalità per l'asseverazione di rinnovo (MOD. PIN 3.1 -2014).

Per gli elementi strutturali protetti con tali prodotti, la Circolare ricorda innanzitutto che sono in corso attività di ricerca sia nell'industria e sia nel mondo accademico, finalizzate ad appurare se e come si potrà procedere alle verifiche di elementi protetti esposti ad incendi naturali. Sfortunatamente questo ad oggi non è ancora attuabile, infatti, essendo i protettivi valutati sperimentalmente con curve nominali, non è possibile certificare in alcun modo le proprietà di aderenza e coesione e il loro comportamento a temperature, e soprattutto, con gradienti termici, differenti da quelli di una curva nominale. Inoltre, non è noto il comportamento di tali protettivi durante le fasi di raffreddamento.

Quanto sopra riportato non è di certo una novità ed è noto ai più attenti operatori del settore da molti anni, più precisamente da quando sono state introdotte le norme di collaudo e di valutazione europee. Inoltre, nel Codice stesso, che, lo ricordiamo, è datato 2015, era già riportato che i parametri termo fisici necessari per il calcolo delle prestazioni al fuoco degli elementi costruttivi portanti dovessero essere determinati esclusivamente in base alle prove EN 13381 e che elaborazioni numeriche dei valori di detti parametri che esulavano dall'ambito di tali prove non erano validi ai fini della verifica della resistenza al fuoco. I limiti di applicabilità dei risultati delle prove EN 13381 sono quindi determinanti per capire in quali casi possono o non possono essere utilizzati i parametri termo fisici dei protettivi. In linea generale, tutte le norme EN 13381 citate, dalla parte 1 alla parte 8, ribadiscono che i risultati sono validi solo per esposizioni alle curve standard, in alcuni casi esclu-



sivamente alla curva ISO 834, mentre in altri casi anche alla curva di idrocarburi o alla curva da esterno, purché le prove siano state eseguite in quelle specifiche condizioni. Qualsiasi altra curva non rientra nello scopo delle norme ed è al di fuori dei limiti di applicabilità delle stesse.

Protezione di strutture in acciaio

Un caso particolare, che da molti anni è oggetto di discussioni, è quello dei parametri termo fisici riportati nei rapporti di valutazione secondo le norme EN 13381 – 4 e 8, relative alla protezione di strutture in acciaio. Secondo questi standard di prova, si possono esprimere i risultati dei protettivi antincendio anche sotto forma di λ fisso o λ variabile (conducibilità termica). Questo ha generato una certa confusione in alcuni progettisti non particolarmente attenti ai limiti e alle definizioni delle norme EN, che li ha portati a utilizzare questi valori all'interno delle equazioni che regolano l'incremento di temperatura all'interno di elementi in acciaio protetti durante l'esposizione a curve di incendio naturale. Si ribadisce ancora una volta, a scanso di futuri equivoci, che questi valori derivano da una cosiddetta "back calculation", cioè sono calcolati partendo dai risultati della prova al fuoco, procedendo a ritroso e individuando i valori di λ che avrebbero portato allo specifico risultato della prova. Ne risulta che tali valori sono validi solo all'interno dei limiti di applicabilità dello standard di prova, in particolare solo alla curva di incendio provata, cioè generalmente quella standard, e per una specifica gamma gli spessori di protettivo, forma delle sezioni in acciaio, fattori di sezione, schema statico, eccetera. Va anche notato che i parametri termofisici variano durante l'esposizione all'incendio, non solo con la temperatura ma anche con il tempo necessario al raggiungimento di tale temperatura e con il tempo durante il quale essa

Durante l'esposizione all'incendio, i parametri termofisici variano non solo con la temperatura, ma anche con il tempo necessario al raggiungimento di tale temperatura e con il tempo durante il quale essa è mantenuta

è mantenuta. Ad esempio, la densità può variare a causa della perdita d'acqua o delle trasformazioni chimiche (che dipendono dal tempo di esposizione, oltre che dalla temperatura), lo spessore può variare a causa del ritiro lineare oppure a causa della espansione nel caso di pitture intumescenti (che, anche in questo caso, dipendono dal tempo di esposizione, oltre che dalla temperatura e da altri parametri).

Risulta così chiaro che per ottenere i parametri termo fisici di un protettivo che dovrà essere valutato in una specifica curva di incendio, è necessario effettuare complesse sperimentazioni su quel tipo di protettivo, esposto a quella curva di incendio, o a curve molto simili, quando applicato su elementi strutturali mor-

fologicamente e geometricamente simili a quelli che saranno utilizzati nella realtà e che sono oggetto della valutazione del professionista.

Come correttamente riportato nella Circolare, le sperimentazioni in tal senso sono ormai iniziate da molti anni e alcune aziende del settore sono già in grado di proporre alcune soluzioni specifiche (molto limitate, per il momento), basate su proto-

colli di prova individuati dalle aziende stesse insieme a laboratori autorizzati, in assenza di una specifica metodologia di test applicata o validata a livello internazionale. Tali soluzioni devono sempre essere valutate attentamente dal professionista antincendio per verificare se sono adatte al suo specifico caso e se sono ad esso applicabili.

Efficacia dei protettivi

Ricapitolando, se un elemento strutturale necessita di un protettivo perché la sua intrinseca resistenza al fuoco non è sufficiente a garantire i livelli di sicurezza desiderati, si può utilizzare una soluzione conforme, con curva di incendio standard, analizzando semplicemente i singoli elementi, senza alcuna valutazione delle sollecitazioni indirette. Questo metodo è attual-





L'UNICA FIAMMA CHE NON POSSIAMO SPEGNERE

FirePro System®
Estinguenti Aerosol

In caso di incendio ci pensano i nostri estinguenti aerosol.

Il FirePro System rispetta l'ambiente perché è un "Clean Agent", è atossico e non sottrae ossigeno nell'ambiente in cui è erogato. Non dannoso per gli apparati perché non dielettrico. Rapido ed efficace nell'inibire il propagarsi delle fiamme. FirePro System è compatto, flessibile ed è in grado di garantire sia la protezione volumetrica di grandi ambienti che la protezione di piccoli vani tecnici. L'installazione è facile e veloce, come un impianto elettrico, riducendo al minimo le lunghe interruzioni dell'attività. Ha costi di manutenzione ridotti.

Fir. Ex. s.r.l.

Via del Casale di San Basilio, 9 - 00156 Roma
Tel. +39 0687739790 r.a.
Fax. +39 0640800575
www.firexsrl.it - info@firexsrl.it

 **FIREX**
TECNOLOGIE ANTINCENDIO

mente utilizzato in tutto il mondo e ha garantito, e continua a garantire, livelli di sicurezza ottimali. In alternativa, si potrebbe anche utilizzare una soluzione alternativa con curva naturale, qualora fossero noti i parametri termo fisici del protettivo nelle condizioni dello specifico incendio naturale, a seguito di una campagna di prove sperimentali ad hoc, con quella determinata curva di incendio naturale. Va sottolineato che questa soluzione alternativa, al pari di tutte le altre che si basano sull'approccio ingegneristico, sarebbe legata alla specifica curva di incendio e allo scenario scelto, al variare del quale corrisponderebbe una variazione della progettazione e, con ogni probabilità, degli spessori di protettivo. Al momento questa soluzione è quindi difficilmente percorribile soprattutto a causa della scarsa disponibilità dei parametri termo fisici, che, è bene ribadirlo ancora una volta, non sono quelli derivanti dalle prove standard, con curve di incendio nominali, come ad esempio gli standard di prova e valutazione EN 13381 oppure BS 476 o ASTM E119 /UL 263.

Questo punto della Circolare ha fatto sorgere anche alcuni dubbi sulla reale efficacia dei protettivi in caso di incendio naturale. Premesso che non si possono esprimere giudizi generalizzati e nemmeno fare valutazioni relative a tutti i protettivi presenti sul mercato, perché costituiti da materiali diversi, con formule diverse e sistemi di applicazione diversi, si può affermare che tutte le normative internazionali considerano i test che prevedono l'esposizione di un protettivo a una curva standard, in particolare a quella ISO 834, come una condizione sufficiente per valutare correttamente la resistenza al fuoco dell'elemento protetto esposto a un incendio naturale, purché tale incendio non sia più severo di quello standard utilizzato nelle prove. Le motivazioni sono diverse, fra le quali si possono ricordare:

- ▶ la curva standard (ISO 834) è generalmente più severa, con tempi di crescita più veloci e temperature massime più alte, rispetto alle curve di incendio naturali all'interno di compartimenti nei quali sono

presenti attività che non comportano utilizzo di idrocarburi o materiali simili

- ▶ la curva standard è sempre crescente, quindi, se il protettivo funziona per tutta la durata richiesta, la fase di raffreddamento non è rilevante. In altre parole, se anche il protettivo si staccasse o si deteriorasse durante la fase di raffreddamento, la prestazione richiesta sarebbe ugualmente garantita
- ▶ le condizioni di prova previste dalle norme della serie EN 13381, con curve di incendio standard, sono considerate estremamente penalizzanti per i protettivi antincendio, cioè ipotizzano scenari e configurazioni molto gravose per le strutture portanti protette

Esistono numerose evidenze e sperimentazioni che confermano quanto sopra riportato anche se, in un numero limitato di casi, queste considerazioni possono essere discutibili. È evidente che una normativa internazionale non può concentrarsi sui casi particolari, ma deve garantire un livello di affidabilità e di prestazioni sufficienti a soddisfare la stragrande maggioranza delle richieste di sicurezza.

Durata degli incendi naturali

La Circolare riporta testualmente:

"Spesso, in maniera errata, si confondono la durata di un incendio naturale con la classe di resistenza al fuoco. Quest'ultima è riferita unicamente a curve nominali mentre la durata gli incendi naturali non ha alcuna relazione con la classe e dipende invece dal livello di prestazioni."

In particolare, per il livello I è necessario procedere alle analisi termo strutturali fino al collasso della struttura o in assenza fino alla durata da stabilire in funzione di quanto è contenuto nel capitolo M. 2.5. Per il livello II vale quanto riportato per il livello I, fatto salvo che sarà necessario dimostrare che la struttura non collassi fino a un tempo pari al doppio di RSET o almeno 15 minuti.

Per il livello III è sempre necessario effettuare un'a-

analisi termo strutturale per una durata da stabilire in funzione di quanto contenuto nel paragrafo M.2.5, al fine di verificare il mantenimento della capacità portante in caso di incendio per l'intera durata dello stesso. È importante sottolineare che, quando ci si riferisce all'intera durata dell'incendio, la temperatura di fine analisi deve essere quella ambiente o, nel caso di elementi strutturali, pari a 100°C, in quanto al di sotto di quella temperatura qualsiasi elemento strutturale, compreso l'alluminio, non presenta più pericoli di cedimenti strutturali dovuti all'azione termica. Talvolta alcuni professionisti si sono limitati a verifiche fino al momento del raggiungimento della massima temperatura dei gas di combustione, sottovalutando il comportamento delle strutture a temperature più basse, soprattutto, ma non solo, se già deteriorate dall'esposizione all'incendio. Inoltre, alcuni elementi strutturali possono essere danneggiati oppure perdere la loro stabilità anche a temperature molto basse, spesso inferiori a quelle considerate di collasso per gli elementi principali. È sufficiente ricordare che, ad esempio, gli elementi in acciaio di classe 4, come quelli presenti nelle sottili capriate di molti capannoni industriali, che

hanno una temperatura critica di 350°C secondo EC 1993-1-2, possono subire deformazioni importanti, soprattutto a causa dell'allungamento, anche a temperature inferiori. Quindi è bene effettuare sempre tutte le necessarie verifiche e non limitarsi a considerare la temperatura suggerita dall'Eurocodice. Emblematico è anche il caso del legno, che inizia la sua combustione a temperature vicine ai 300°C (come riportato nell'EC 1995-1-2 e nello standard di prova EN 13381-7), proseguendo poi la sua carbonizzazione in modo quasi indipendente dall'andamento dell'incendio nel resto del compartimento o dell'intero edificio. Per quanto riguarda il calcestruzzo, si sottolinea che esso può subire l'effetto spalling anche a temperature modeste e tempi di esposizione non particolarmente lunghi. Inoltre, la sua elevata inerzia termica e le dimensioni delle sezioni, esaltano la necessità di estendere la verifica strutturale oltre il picco delle temperature dei gas. Ad esempio, basta valutare il degrado delle barre di armatura di una sezione in c.a. di forma quadrata con lato 30 cm, considerando la curva naturale esposta precedentemente (sonda TA59 – vedi Figura 5 dell'esempio precedente).

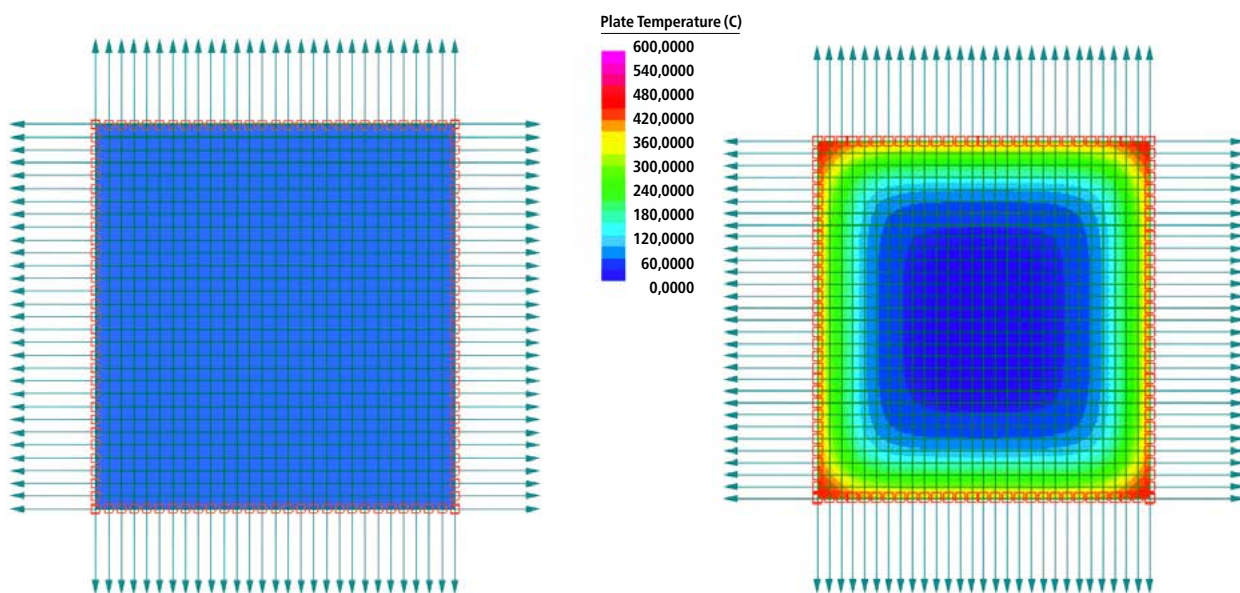


Figura 11 | Rappresentazione grafica della sezione di un pilastro in c.a. esposto all'incendio sui quattro lati e della risposta dell'analisi termica

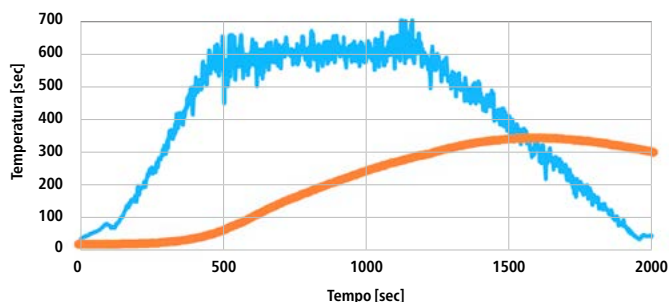
Andamento temperatura gas e barre di armatura

Figura 12 | Confronto tra la curva delle temperature raggiunte dai gas (curva azzurra) e quella delle temperature raggiunte dall'elemento metallico (curva arancione)

Dalla Tabella 1 si nota come la massima temperatura, ovvero il massimo degrado, delle barre di armatura sia raggiunta con un certo ritardo rispetto alla massima temperatura raggiunta dai gas. Da questo si desume che interrompere l'analisi strutturale in corrispondenza del massimo valore di temperatura dei gas conduce ad un errore nel calcolo del massimo degrado della resistenza dell'elemento portante (vedi figure 11 e 12).

t	T fumi	T armatura	DEGRADO ACCIAIO $f_{y,0}/f_{yk}$
[sec]	[°C]	[°C]	[%]
1140	690	277	0
1590	308	350	5%

Tabella 1 | Valori del degrado delle proprietà meccaniche dell'acciaio nella fase di massimo valore delle temperature dei fumi e di massima temperatura raggiunta dalle barre di armatura. Rif. Tabella 3,2b della UNI EN 1992-1-2

Omissione di verifiche ad incendi localizzati

Questo punto della Circolare ha sorpreso molti operatori del settore sia per il contenuto sia per la forma. Il testo sembra infatti trasmettere una profonda preoccupazione da parte della Pubblica Amministrazione riguardo l'utilizzo improprio del carico d'incendio specifico, con particolare riferimento al tentativo di abbassarlo ai minimi livelli possibili considerando nel calcolo l'intera superficie del compartimento, an-

che quando il materiale combustibile è stoccato solo in una porzione dello stesso.

Testualmente la Circolare recita:

"Molto spesso, finanche nelle soluzioni conformi, non vengono correttamente considerate le distribuzioni di materiale combustibile localizzate in un compartimento, che normalmente determinano prestazioni superiori rispetto a quelle valutate sul quantitativo considerato se inteso come distribuito sull'intera superficie lorda del compartimento. Pertanto, nell'individuazione degli altri scenari di incendio di progetto, così come nella progettazione con soluzioni conformi, è assolutamente necessario tenere conto di tale distribuzione localizzati di materiale combustibile, che sono tra l'altro molto ricorrenti, al fine di addivenire ad una corretta progettazione strutturale antincendio".

Al di là di quanto riportato nel Codice e nelle definizioni di carico di incendio e di incendio localizzato, è utile ricordare che, quando il materiale combustibile è posizionato in un'area limitata, le strutture adiacenti o sovrastanti, sono investite dalla fiamma diretta che, in funzione della sua altezza, può impattare o meno il soffitto. Gli Eurocodici, cogenti in Italia dal 2012, prendono in seria considerazione questo aspetto proponendo nel EC 1991-1-2 – Allegato C delle equazioni in grado di prevedere le conseguenze di tali eventi sulle strutture (calcolo dell'altezza della fiamma, della temperatura, ecc.). È noto altresì che, se il materiale combustibile è addossato a una parete perimetrale o, ancor peggio, in un angolo fra due pareti contigue, le temperature raggiunte nella parte immediatamente sovrastante il focolaio sono ancora più elevate e il cimento termico ancora più severo.

Di seguito si propone un semplice esempio che dimostra l'influenza dell'incendio localizzato sulle





BOCCiolONE ANTINCENDIO



NASPO ORIENTABILE
"RODI GIUGIARO"



IDRANTE A MURO
"RODI GIUGIARO"



VALVOLA D'ALLARME
A UMIDO



VALVOLA D'ALLARME
A SECCO



IDRANTE A MURO
"LINEA POLY"



NASPO ORIENTABILE CON
PORTELLO "LINEA MURANO"



IDRANTE A MURO
"LINEA ELECTA"



NASPO ORIENTABILE CON
LASTRA "LINEA BASIC"



GIUNTI SCANALATI



IDRANTE SOPRASUOLO



COMPONENTI SISTEMI
SPRINKLER



GRUPPO ATTACCO
AUTOPOMPA

SEI IN BUONE MANI!

prestazioni di resistenza al fuoco di una struttura nel caso di una soluzione conforme.

Si consideri un compartimento di superficie lorda pari a 1.450 m², nel quale è presente un carico di incendio totale di 575.000 MJ, calcolato come prodotto fra la massa dei diversi materiali combustibili e il loro potere calorifico inferiore, applicando i fattori correttivi m_i (fattore di partecipazione alla combustione) pari a 0,80 e ψ_i (fattore di limitazione della partecipazione) pari 1.

Supponendo che il materiale combustibile sia in realtà stoccato solo in una porzione dell'edificio pari a circa 245 m², il valore del carico di incendio nominale si dovrebbe ottenere dividendo il carico totale per la superficie realmente interessata dal materiale combustibile e quella nelle sue immediate vicinanze. In questo caso si è considerata la superficie direttamente interessata aumentata del 10%, cioè 270 m².

Il valore del carico d'incendio specifico di progetto ($q_{f,d}$) sarà quindi determinato secondo la relazione:

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f$$

dove

- ▶ δ_{q1} è il fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione alla dimensione del compartimento
- ▶ δ_{q2} è il fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento
- ▶ δ_n è il fattore che tiene conto delle differenti misure di protezione

Ponendo arbitrariamente i valori di $\delta_{q2}=1$ e di $\delta_n=0,8$ e utilizzando un valore di δ_{q1} pari a 1,4, poiché la superficie totale del compartimento è compresa fra 1.000 e 2.500 m², il valore del carico d'incendio specifico di progetto sarà pari a 2.368 MJ/m², corrispondente a una classe 120. Si noti che il Codice impone di utilizzare per gli incendi localizzati, in via cautelativa il valore del fattore δ_{q1} corrispondente a quello della superficie dell'intero compartimento e non alla superficie interessata dal materiale combustibile. Se il calcolo fosse stato invece eseguito considerando erroneamente il materiale combustibile unifor-

memente distribuito, valore del carico di incendio sarebbe stato diviso per l'intera superficie (1.450 m²) e, mantenendo gli stessi fattori precedenti, il carico di incendio specifico di progetto sarebbe stato pari a 444 MJ, corrispondenti a una classe 30. Risulta evidente che una struttura capace di garantire una resistenza al fuoco di soli 30 minuti sarebbe stata largamente insufficiente, nella porzione del compartimento interessata dal carico di incendio localizzato, con il rischio concreto di cedimento localizzato o, addirittura, di collasso dell'intera struttura. Lo stesso approccio deve essere usato per le soluzioni alternative con carico di incendio localizzato, utilizzando le curve di incendio naturale e l'analisi termo strutturale di una porzione significativa di struttura o dell'intera struttura e non più del singolo elemento, con le esclusioni citate in precedenza.

Utilizzo di sistemi e impianti a disponibilità superiore

La Circolare ribadisce sostanzialmente quanto già riportato nel Codice cioè che, nel caso si consideri l'effetto di impianti o sistemi sulla curva RHR, allora questi dovranno essere a disponibilità superiore. La disponibilità superiore può essere ottenuta tramite:

- ▶ una migliore affidabilità dell'impianto, ad esempio utilizzando componenti con minor rateo di guasto, ridondanza delle fonti di alimentazione elettrica, di estinguente, di componenti critici o inserimento di accorgimenti per la riduzione degli errori umani, protezioni specifiche degli effetti dell'incendio, eccetera;
- ▶ una maggiore manutenibilità, ad esempio tramite una riduzione dei tempi di ripristino dei guasti, una programmazione della manutenzione per settori dell'impianto a controlli e prove periodiche eccetera;
- ▶ un mantenimento del livello di sicurezza assicurato all'attività attraverso la gestione degli stadi di degrado o dello stato di indisponibilità del sistema, ad esempio attraverso una limitazione della

severità degli stati degradati, misure gestionali compensative, condizioni e limitazioni di esercizio dell'attività.

Questa importante possibilità progettuale, cioè la modifica della curva HRR grazie all'utilizzo di sistemi o impianti a disponibilità superiore, non esime il professionista antincendio da una valutazione del rischio specifica, sempre di tipo quantitativo, mediante un'analisi di sicurezza funzionale che stabilisca, in maniera tecnicamente e professionalmente valida, la caratteristica di disponibilità superiore del sistema, nonché da una valutazione del rischio complessiva, ai fini della corretta individuazione degli scenari di incendio di progetto per la resistenza al fuoco. Solo a questo punto, a valle di tale valutazione e di una successiva analisi in termini previsionali di conseguenze, nonché di riferimenti sperimentali consolidati in cui sono state misurate le effettive riduzioni di potenza termica dovuta al sistema d'impianto, il professionista potrà stabilire se uno scenario in cui è considerato il contributo di sistemi e impianti a disponibilità superiore possa essere ritenuto adeguato.

Collasso implosivo sulle strutture in condizioni di incendio relativo alle soluzioni alternative per i livelli di prestazione I e II

Il collasso implosivo è un concetto introdotto dal D.M. 9 marzo 2007, ma approfondito dal Codice, che riveste un'importanza fondamentale non solo per gli edifici adiacenti a quello coinvolto dall'incendio, ma anche per le squadre di soccorso. In termini pratici si tratta di progettare opere da costruzione capaci di collassare su sé stesse durante l'incendio naturale, per evitare che le strutture stesse coinvolgano persone e/o edifici al di fuori di una determinata superficie, generalmente proporzionale all'altezza dell'edificio (in soluzione conforme per S.9). In altre parole, se l'incendio è di proporzioni tali da determinare il collasso della struttura, questa dovrà implodere,

concentrando energia e materiali verso uno spazio ridotto, all'interno di una superficie limitata considerata non pericolosa.

L'idea del collasso implosivo si basa sul concetto di robustezza strutturale, intesa come la proprietà di una struttura di mostrare un danno proporzionale alla causa che lo ha provocato. A tale concetto, la progettazione antincendio di soluzioni alternative per i livelli di prestazione I e II ha aggiunto la necessità di assenza di danno alle altre opere da costruzione. In caso di cedimento strutturale, quindi non sarà più sufficiente che il danno subito dalla struttura sia limitato, ma la struttura dovrà anche rispettare una precisa direzione di collasso, tale per cui si possano escludere danni alle strutture adiacenti. Da qui deriva il concetto riportato nel Codice *"... l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni ad altre opere da costruzione"* già citato nei paragrafi precedenti.

La Circolare rileva che, nel caso di valutazione del collasso implosivo per soluzioni alternative per livelli di prestazione I e II, sono state tratte conclusioni semplicistiche e affrettate per le analisi su singoli elementi basate sulla sola resistenza anche di singole membrature, senza individuare l'effettivo meccanismo di collasso in condizioni d'incendio in termini cinematici. Occorre invece una corretta, e inevitabilmente complessa, analisi termo-strutturale, nella quale valutare anche il cimento termico in termini di scenari d'incendio di progetto, tenendo conto delle fondamentali misure gestionali, valutando anche lo stato di sollecitazione e di deformazione al variare di gradienti termici negli elementi in funzione del tempo, in modo da definire il cinematismo di collasso e dimostrare che, nelle condizioni di incendio considerate, esso sia implosivo o meno.

Ad esempio, si prenda un semplice telaio con profili in acciaio composto da una sola campata. Il primo fenomeno indotto dall'aumento delle temperature dei gas dovuta all'incendio è la dilatazione di tutti i profili con conseguente spinta orizzontale della tra-



ve sulla testa dei pilastri verso l'esterno, con il conseguente aumento del momento flettente alla base degli stessi. Inoltre, mentre la trave spinge verso l'esterno i pilastri, essa stessa è soggetta ad uno sforzo di compressione crescente, che è accompagnato da una riduzione delle sue proprietà meccaniche, in particolare del modulo elastico, anche a basse temperature. Questi due fattori possono minare il mantenimento della stabilità della trave.

La predominanza del primo fenomeno di spinta verso l'esterno o del secondo di rilassamento verso l'interno non può essere nota a priori. Solo una corretta analisi termo-strutturale può palesare quale sia il comportamento di una determinata struttura sollecitata da un determinato scenario d'incendio.

A titolo esemplificativo è stato sviluppato il calcolo di un telaio metallico con pilastri e travi di sezione IPE 400, altezza pari a 7 metri e 14 metri di luce della trave tramite utilizzo del codice di calcolo specifico per le verifiche di resistenza al fuoco SAFIR. Nelle figure 13 e 14, questi due effetti sono chiaramente visibili. In particolare, nella figura 13, che riprende le fasi iniziali dell'incendio, si evince chiaramente il

primo fenomeno legato alla dilatazione della trave, che provoca lo spostamento della testa dei pilastri verso l'esterno, nella figura 14, che invece riprende le fasi di massimo sviluppo dell'incendio, si nota il comportamento della trave a tirante e la spinta verso l'interno dell'edificio dei pilastri. In quest'ultimo caso, il criterio di attribuzione del livello di prestazione I e II:

“... devono essere adottate soluzioni atte a dimostrare analiticamente, che il meccanismo di collasso strutturale in condizioni di incendio non arrechi danni ad altre costruzioni”

risulta pienamente soddisfatto.

È importante sottolineare che quanto appena descritto è valido solo se le connessioni tra gli elementi strutturali sono in grado di assorbire le sollecitazioni a cui sono soggette per l'intera durata dell'incendio che, lo ricordiamo, dovrà essere di tipo naturale. Sfortunatamente non sempre si trovano precisi riscontri in merito, sia nelle relazioni di calcolo sia in alcune pubblicazioni nazionali, nonostante l'importanza di questo aspetto per la stabilità strutturale sia ben nota. ➤

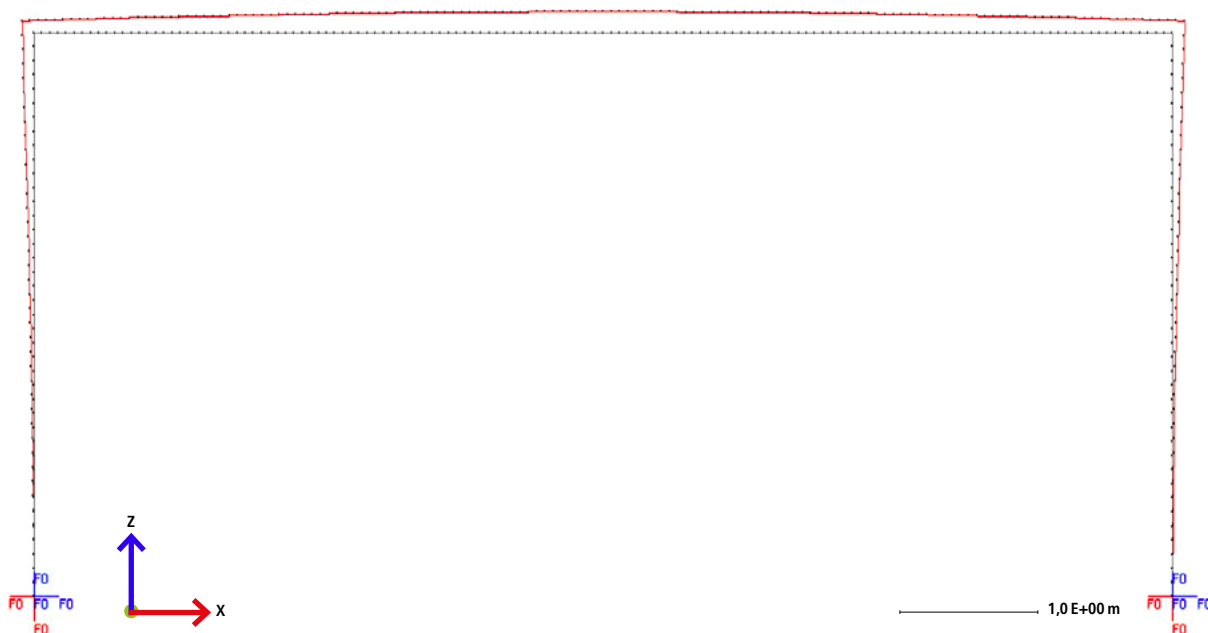


Figura 13 | Deformazione del telaio metallico nelle fasi di riscaldamento – codice di calcolo SAFIR

GLOBAL BUILDING

Paint

F62

**PITTURE INTUMESCENTI
ED INTONACI ANTINCENDIO**

- ACCIAIO
- CEMENTO
- LATERIZIO
- CARTONGESSO
- LATEROCEMENTO
- LAMIERA GRECATA
- LEGNO

SISTEMA PER LA PROTEZIONE AL FUOCO

www.globalbuilding.it



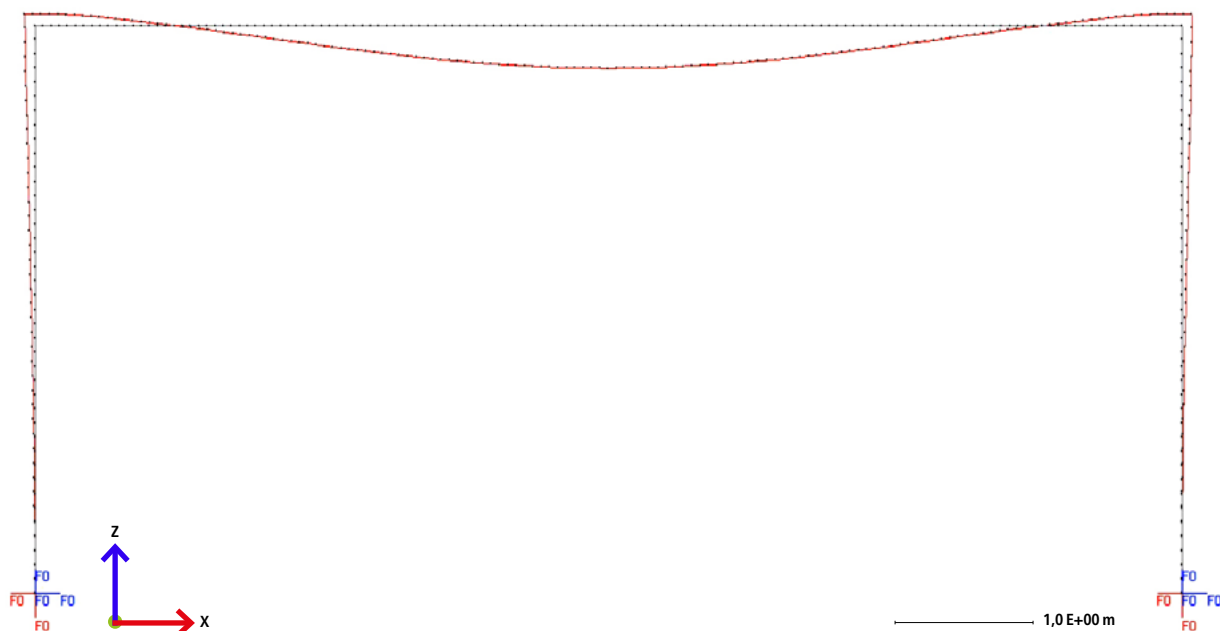


Figura 14 | Deformazione all'istante finale ($T=20^{\circ}\text{C}$) del telaio metallico – codice di calcolo SAFIR

Conclusioni

La Circolare 9962 del 24/7/20 rappresenta un punto fermo per chiunque si occupi di progettazione antincendio e di resistenza al fuoco. Con la sua uscita, la Pubblica Amministrazione non solo ha ribadito il suo ruolo di guida per i professionisti antincendio, ma è anche intervenuta in modo deciso e puntuale nell'ambito specifico della disciplina della sicurezza antincendio e dell'ingegneria della sicurezza dove, come riportato dal bollettino CNI 598 dello scorso 31 luglio *"...si sono recentemente riscontrate progettazioni e pubblicazioni contenenti approssimazione e forzature che meritavano una rettifica"*. Si è così voluto sottolineare da un lato l'importanza delle soluzioni alternative e dell'approccio ingegneristico e dall'altro i suoi inevitabili limiti nello specifico campo della resistenza al fuoco. In questo modo si è sgombrato il campo da alcune interpretazioni inesatte e da certi atteggiamenti ed approcci troppo "semplificistici, errati o confusi", citando la terminologia utilizzata dalla Circolare stessa.

La resistenza al fuoco non è un argomento semplice e necessita di grandi competenze, studio e costante aggiornamento. La sua oggettiva complessità non

può essere sottostimata o addirittura banalizzata, con il solo fine di una disperata ricerca del risparmio a qualsiasi costo, in quanto le conseguenze di una progettazione impropria possono essere disastrose. Lo scopo del Codice è quello di cercare soluzioni efficienti e sono solo efficaci, ma sicuramente non è quello di risparmiare denaro accettando semplificazioni e ipotesi che possono potenzialmente diminuire il grado di sicurezza delle opere da costruzione.

I dibattiti e le discussioni nel mondo professionale a seguito della pubblicazione della Circolare hanno poi evidenziato l'esistenza di tendenze o derive che potevano vanificare gli sforzi dei professionisti più attenti e dei normatori più illuminati. Fra queste, un punto importante è relativo all'utilizzo di relazioni, fascicoli o altri documenti redatti da progettisti o da produttori di materiali antincendio che sono spesso utilizzati dai professionisti antincendio senza un'analisi critica del loro contenuto e, talvolta, senza nemmeno una semplice verifica delle ipotesi alla base dei calcoli o delle valutazioni effettuate. Se da un lato è vero che i professionisti antincendio non possono essere esperti di ogni specifico settore del vasto campo della preven-

zione incendi, dall'altro è altrettanto vero che a loro è richiesta, proprio per la loro qualifica professionale, una conoscenza sufficiente per comprendere i punti fondamentali e, soprattutto, quelli critici, dei documenti che ricevono. Con questo non si vuole certamente affermare che i citati documenti non siano spesso validi, corretti e preparati in modo professionale, ma solo che non è sufficiente ricevere una relazione da un collega o da un produttore perché questa sia automaticamente accettata e utilizzata in una progettazione, senza alcuna verifica o controllo.

Un discorso analogo è valido anche per i risultati dei calcoli di software per l'elaborazione di curve di incendio naturali o per la valutazione della resistenza al fuoco di elementi strutturali. Anche in questo caso i professionisti antincendio non devono essere necessariamente esperti di tali programmi, ma devono essere in grado di analizzare i risultati e valutare le ipotesi e i dati di input alla base del calcolo e, soprattutto, utilizzare piattaforme che siano validate rispetto a casi reali. Si ricorda altresì che gli utilizzatori di programmi di calcolo, come ad esempio quelli di computazione fluidodinamica, sono responsabili della validazione del programma per lo specifico utilizzo. In altre parole, la software house ha la piena responsabilità della verifica e della validazione delle equazioni utilizzate dal programma, mentre il suo utilizzatore ha la responsabilità di utilizzare il programma all'interno dei suoi limiti di applicabilità e di scegliere correttamente i parametri alla base del calcolo stesso, come ad esempio

la discretizzazione dell'ambiente, la potenza termica dei diversi materiali, la scelta dei parametri termofisici utilizzati, ecc.

Sicuramente non sarà sufficiente una sola Circolare a cambiare la mentalità e le modalità operative di una parte, che ci piace pensare minuscola, del mondo professionale, ma sicuramente i professionisti antincendio avranno un ulteriore strumento e una guida ancora più sicura per affrontare la loro difficile professione e gestire le loro responsabilità.

Da ultimo, ci sia consentito ribadire che la prevenzione incendi non solo si occupa della salvaguardia della vita degli occupanti degli edifici, ma anche dell'incolumità delle squadre di soccorso, che possono essere sia i vigili del fuoco sia le squadre antincendio presenti nelle diverse attività. Un'analisi termo-strutturale adeguata, una verifica puntuale dei meccanismi di collasso implosivo, una scelta ponderata e consapevole di eventuali protettivi antincendio, un'analisi cosciente e informata delle diverse soluzioni progettuali e, infine, un approccio etico alla professione di progettista, sono alla base della sicurezza di chi si occupa della sicurezza degli altri. Da non dimenticare, infine, che anche la protezione dei beni ha un valore rilevante: proteggere gli edifici storici, gli ospedali e le case di cura, le costruzioni importanti dal punto di vista socioeconomico, le unità di produzione, di stoccaggio e di vendita sono azioni che hanno un impatto diretto sulla vita dei cittadini, sul loro lavoro, sul loro benessere e sulla loro dignità. ♦

Bibliografia

- Bernard J. Klaene, Russel E. Sanders. "Structural Fire Fighting NFPA - National Fire Protection Association". Jones and Bartlett Publishers, Inc.
- D.M. 18/10/2019: Modifiche all'allegato 1 al decreto del Ministro dell'interno 3 agosto 2015, recante «Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del D.Lgs. 8 marzo 2006, n. 139».
- Buchanan Andrew H.; Gambarova Pietro; Felicetti Roberto. "Progetto delle strutture resistenti al fuoco" - Hoepli, Milano.
- Eurocodice 3: la resistenza al fuoco delle strutture in acciaio e l'influenza del fattore di sezione Am/V di Daniele Andriotto, Ermanno Andriotto - Rivista Antincendio n.6/2017.
- Revisione critica di calcoli avanzati di resistenza al fuoco di Chiara Crosti e Andrea Marino - Rivista Antincendio n.12/2019
- Eurocodici: EC 1991-1, EC 1992-2-1, EC 1993.1.2, EC 1995-1-2
- L. Ponticelli; M. Caciolai. "Resistenza al fuoco delle costruzioni" - UTET
- P.G. Gambarova, A. Fantilli, S. Tattoni (a cura di). "Strutture resistenti al fuoco" - EPC editore
- M. Antonelli; P. Cancelliere. "The new "Circolare 9962" helps Italian fire safety specialists, among others, in assessing fire resistance with a performance approach" - Fire Safe Europe.

ABBONATI ORA!

DA QUEST'ANNO PER TE

UNA DOPPIA OPPORTUNITÀ

ABBONAMENTO

**CARTA +
DIGITALE**

€ 128

ANZICHÉ € 160

FINO AL 31-12-2020



ABBONAMENTO

**SOLO
DIGITALE**

€ 112

ANZICHÉ € 140

FINO AL 31-12-2020

DAL **1949** LA RIVISTA DELLA PREVENZIONE INCENDI E DELLA PROTEZIONE CIVILE



CARTA

12 Fascicoli di **144** pagine
ogni mese sulla tua scrivania



DIGITALE

da PC, smartphone e tablet
sul sito **www.epc.it**:

- Ogni mese il fascicolo in formato sfogliabile.
- I pdf dei singoli articoli pubblicati dal 2004 ad oggi. Li puoi salvare, stampare e archiviare.

UN ARCHIVIO UNICO A TUA DISPOSIZIONE!

ABBONARSI È FACILE!

VAI SU WWW.EPC.IT
nella sezione rivista
e consulta le offerte

OPPURE CONTATTACI
allo **06/33245277**
mail **clienti@epcperiodici.it**

VUOI INTEGRARE IL TUO AGGIORNAMENTO?

Abbonati anche alla rivista **ambiente&sicurezza SUL LAVORO**
E RISPARMI ANCORA DI PIÙ!