



Riqualificazione di edifici realizzati con strutture metalliche: analisi della capacità di resistenza al fuoco

● Ing. Corrado Romano, Primo Dirigente comandante Vigili del fuoco di Imperia

● L'abstract

Recentemente si è posto il problema del mantenimento delle condizioni di sicurezza, la riqualificazione e nuova destinazione d'uso di complessi edilizi realizzati con strutture metalliche risalenti prevalentemente nei decenni compresi tra gli anni '50 e '70.

Nel presente articolo si vuole affrontare la problematica inerente al recupero strutturale alla luce della vigente normativa per tali tipologie costruttive anche nell'ambito di riqualificazioni edilizie per le quali è necessario mantenere lo stato di conservazione delle strutture per vincoli di archeologia industriale; essendo variate le condizioni per cui sono ritenute meritevoli di attenzione le strutture in acciaio, anche se sussistono talune problematiche inerenti:

- ▶ una ridotta resistenza al fuoco degli elementi costruttivi;
- ▶ una adeguata affidabilità delle strutture di edifici in caso di incendio.

Questi due aspetti sono da collegare al nuovo approccio della normativa antincendio unitamente alle innovazioni normative per la progettazione delle strutture in acciaio a freddo. A tale riguardo si intende esporre l'evoluzione delle norme antincendio e di progettazione strutturale a freddo, al fine di poter descrivere il cambiamento dei requisiti di sicurezza degli elementi strutturali esposti al fuoco, unitamente alle finalità che l'ingegneria antincendio si prefigge di raggiungere.

Uno dei problemi ricorrenti, incorsi recentemente, riguarda la scadenza e/o il rinnovo dei certificati di prevenzione incendi rilasciati dai Comandi Provinciali per gli edifici con strutture in acciaio, essendo variata la normativa antincendio unitamente ad una innovazione di approccio nei riguardi delle strutture in esame.

La pregressa normativa (abrogata) attribuiva il requisito di resistenza al fuoco degli elementi co-

struttivi in acciaio pari a R15 a qualsiasi tipologia strutturale e forma.

La normativa vigente per valori ridotti di resistenza al fuoco consente di attuare due percorsi:

- ▶ requisito mediante livello di prestazione II (conferire agli elementi una resistenza pari a R30 con l'applicazione di rivestimenti protettivi).
- ▶ Requisito mediante livello di prestazione III (determinazione da parte del progettista della resistenza al fuoco mediante analisi numeriche più o meno avanzate).

Tralasciando la prima opzione che pur essendo la più semplice, risulta onerosa e non in tutti i casi percorribile a causa della difficoltà di posare efficacemente il rivestimento protettivo; la seconda permette di approfondire il comportamento strutturale mediante analisi numeriche che consentono di valutare la risposta alle sollecitazioni termiche e meccaniche in relazione alla specificità costruttiva.

Percorrendo la seconda opzione in questo articolo saranno approfonditi gli aspetti di analisi numeriche semplificate e avanzate rispettivamente articolate su un incendio generalizzato ed uno localizzato.

Le analisi numeriche semplificate sono correlate a:

- ▶ geometria di ciascun elemento strutturale;
- ▶ fattore di utilizzo;
- ▶ massività.



Le analisi numeriche avanzate sono correlate a:

- ▶ geometria di ciascun elemento strutturale;
- ▶ fattore di utilizzo;
- ▶ massività;
- ▶ capacità plastica delle sezioni;
- ▶ iperstaticità della struttura.

Resistenza al fuoco

– Cambiamento della normativa

Circolare n.91 del 1961

Il requisito di resistenza al fuoco delle strutture compare per la prima volta nella Circolare n. 91/61 *“norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile”*. Tale novità era dovuta ad un impiego elevato di elementi costruttivi in acciaio in edilizia che imponeva una normazione specifica al fine di garantire una adeguata stabilità agli edifici in caso di incendio. Il metodo principale seguito dalla norma si basa sul concetto che un edificio deve resistere all'incendio senza crollare.

Il livello di protezione degli elementi costruttivi in acciaio cambia principalmente in relazione:

- ▶ alla quantità di materiale combustibile contenuto nell'edificio;
- ▶ alla destinazione d'uso degli ambienti;
- ▶ al numero ed ubicazione delle uscite di sicurezza;
- ▶ alla propagazione dell'incendio in altri edifici circostanti;
- ▶ ai tempi di arrivo delle squadre di soccorso.

D.M. 9 marzo 2007

Il D.M. 9 marzo 2007 *“prestazione di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco”*, ha abrogato la Circolare n.91/61, introducendo molte variazioni per il calcolo della resistenza al fuoco. Tale norma, pur mantenendo una similitudine alla Circolare n.91/61 per quanto riguarda il calcolo del carico di incendio ai fini poi della determinazione della resistenza al fuoco, introduce novità sulle

scelte che il progettista deve effettuare per quanto riguarda “il livello di prestazione” da garantire alla specifica struttura, salvaguardando i valori minimi di resistenza al fuoco in relazione alle specifiche caratteristiche dello stabile oggetto di esame.

Le prestazioni richieste ad un edificio, in relazione agli “obiettivi di sicurezza”, sono distinte secondo i sottoelencati livelli:

- ▶ **Livello I**: nessun requisito specifico di resistenza al fuoco (perdita requisiti accettabile o rischio di incendio 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.

Il livello di prestazione I è applicabile unicamente a quelle strutture non ricadenti tra le attività soggette ai Vigili del fuoco.

Per il livello II non è necessario il calcolo del carico di incendio in quanto, se l'immobile è ricompreso in specifici parametri previsti dalla norma, la classe di resistenza al fuoco da garantire risulta:

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

Il progettista se lo ritiene opportuno, può determinare classi di resistenza inferiore se compatibili con il livello III di prestazione, applicabile a tutte le costruzioni ricadenti nel campo di applicazione del succitato decreto ad esclusione di quelle rientranti nelle categorie IV e V. >

Protezione antincendio a misura d'uomo.

Novec™ 1230 Fire Protection Fluid

Dalla ricerca 3M è nato il rivoluzionario agente chimico antincendio che, agendo in tempi molto rapidi e senza dispersione di sostanze tossiche, consente di fare una scelta sicura per le persone.

Infine il decreto consente al progettista di elaborare un progetto seguendo l'approccio prestazionale basato sulle curve naturali di incendio verificando la capacità portante e/o la capacità di compartimentazione, nei confronti dell'azione termica applicata per l'intervallo di tempo necessario al ritorno alla temperatura ordinaria.

Determinazione del requisito di resistenza al fuoco

Circolare n. 91 del 1961

Dopo aver definito la classe di resistenza al fuoco del compartimento, la Circolare n.91 con l'ausilio di apposite tabelle, permetteva di determinare gli spessori dei materiali di ricoprimento delle strutture al fine di soddisfare il requisito di resistenza al fuoco stabilito.

Gli spessori dei materiali di ricoprimento (indicati nelle tabelle) sono stati determinati mediante prove in forno dell'elemento costruttivo sollecitato a carico ammissibile.

Le tabelle contenute nella Circolare non riportano alcun rivestimento protettivo per le strutture in acciaio dove la classe richiesta è R15.

D.M. 16 febbraio 2007

Il D.M. 16 febbraio 2007 introduce diversi cambiamenti, sia per la classificazione della resistenza al fuoco delle strutture e sia per l'individuazione di tali valori; infatti sono inclusi nuovi fattori di classificazione oltre alla capacità portante R, alla tenuta E e all'isolamento I: l'irraggiamento W, la stabilità meccanica M e la tenuta al fumo S.

Le prestazioni di resistenza al fuoco dei prodotti e degli elementi costruttivi possono essere identificate in base ai risultati di:

- ▶ prove (il D.M. rinvia alla norma specifica che le regola);
- ▶ calcoli (il D.M. rinvia alla norma specifica che le regola);
- ▶ confronti con tabelle.

Confrontando le tabelle della Circ. n.91/61 con quelle del D.M. 16/02/2007 si può constatare l'introduzione del fattore di sezione S/V , che assume un ruolo essenziale in quanto regolando la velocità di riscaldamento di un elemento in acciaio esposto al fuoco, condiziona la velocità d'ingresso del calore. Tale aspetto è dovuto all'aumento di calore che è direttamente proporzionale all'area esposta all'incendio e la velocità di riscaldamento è inversamente proporzionale alla capacità termica dell'elemento.

Evidenze delle modifiche apportate dalla normativa vigente

Il calcolo del carico d'incendio è sostanzialmente rimasto invariato con l'unica differenza che prima era espresso in "kg legnaS/mq", mentre ora si misura in "MJ/mq".

Il calcolo del carico di incendio specifico viene determinato in entrambe le norme con lo stesso procedimento, ma con diversi coefficienti.

Per i differenti coefficienti che consentono di passare dal carico di incendio di progetto a quello specifico, il D.M. 9 marzo 2007 risulta più restrittivo della Circ. n.91/61, in quanto in molti casi a parità di materiali presenti, dimensioni dell'edificio, caratteristiche di accessibilità e di impianti di spegnimento e allarme, è più elevata la richiesta di resistenza al fuoco. Tale differenza incide al massimo facendo cambiare di una classe il requisito richiesto.

A parità del valore della resistenza al fuoco, determinato con le due normative, con uguale classe, emerge che ne derivano differenti modalità per garantire tale requisito dovute in particolare all'introduzione del fattore S/V .

Classe R15

La capacità portante dei componenti strutturali di un edificio, determinata ai sensi della Circolare n.91/61, pari a 15 minuti, risulta sempre garantita indipendentemente dalla forma e dimensione de-

gli stessi senza prevedere nessun intervento.

Tale presupposto si colloca sul principio che l'acciaio riduce le sue proprietà meccaniche con il graduale aumento della temperatura all'interno dell'elemento, e poiché nella progettazione "a freddo" si ricorre all'impiego dei coefficienti di sicurezza, è presumibile che la struttura sia sollecitata al 50–70%

dei carichi che la condurrebbero al collasso. Sussiste infatti un intervallo di tempo in cui la struttura, pur diminuendo la sua sezione resistente, non dissipa la sua capacità portante. La medesima analisi si può rilevare dai contenuti del D.M. 16 febbraio 2007 che indica i requisiti necessari per garantire la stabilità meccanica degli elementi a partire dalla classe R30.

Nel D.M. 16 febbraio 2007 non essendo indicate le protezioni delle strutture in acciaio, i cui elementi assicurino una resistenza al fuoco R15, non emerge la garanzia che tali strutture possano resistere per 15 minuti.

In pratica è il progettista che ha la facoltà di scegliere se applicare il livello di prestazione II, ovvero garantire una resistenza R30, oppure il livello di prestazione III mediante l'uso di procedure codificate dal D.M. 9 marzo 2007, che preclude la certificazione degli elementi mediante comparazione tabellare (non previsto dal D.M. 16 febbraio 2007), ma attraverso verifica con metodo analitico.

In quali casi è necessario effettuare la riquilificazione

Un complesso edilizio al cui interno sussistono attività soggette al controllo da parte del Comando Provinciale dei Vigili del fuoco per il quale è stato rilasciato il Certificato di Prevenzione Incendi "CPI", alla scadenza è necessario presentare l'attestazione di rinnovo ai sensi dell'art. 5 Del D.P.R. n. 151/11.

Il progettista ha la facoltà di scegliere se applicare il livello di prestazione II, ovvero garantire una resistenza R30, oppure il livello di prestazione III mediante l'uso di procedure codificate dal D.M. 9 marzo 2007

Tale prassi è attuabile se all'interno delle attività soggette al controllo non sono state apportate modifiche che possano aver alterato lo stato dei luoghi nell'ambito della sicurezza antincendi.

In caso di variazione delle persistenti condizioni di sicurezza è necessario presentare una nuova documentazione progettuale (se trattasi di attività di categoria B e C

o SCIA se di categoria A) contenente le valutazioni tecniche che tengono conto delle modifiche apportate. In tali condizioni subentrano le problematiche di tipo strutturale oggetto del presente articolo.

Problematiche connesse alla riquilificazione

Una delle problematiche rilevanti che emerge nell'ambito di una riquilificazione di complessi edilizi con ridotto carico di incendio, progettati ai sensi della Circolare n.91/61, è quella relativa alla classe R15 per la quale la norma non prevedeva alcuna verifica strutturale, qualora gli ambienti costituenti i compartimenti antincendio fossero caratterizzati da basso carico di incendio. Negli anni 60'/70' gli edifici con strutture metalliche venivano progettati tenendo conto delle quantità di materiale stoccato o in lavorazione diversi da quelli che sono gli attuali cicli e processi produttivi. Pertanto al fine della presentazione della SCIA è necessario osservare i requisiti stabiliti dalla vigente norma.

Metodologia della riquilificazione

Ai sensi della vigente normativa è possibile seguire due tipologie di progettazione:

- Progettazione con il livello II: "mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione"; per cui il D.M. 9 marzo 2007 stabilisce una condizione pari a R30. ➤

► Progettazione con il livello III: “*mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza*”; per cui il D.M. 9 marzo 2007 stabilisce di procedere al calcolo del requisito.

Nel caso si prescelga la strada della progettazione con il livello II, è necessario che per conferire la classe R30 alle strutture in acciaio occorre applicare un rivestimento protettivo adeguato, mediante l'esecuzione di un metodo di calcolo oppure tabellare, indicato nel D.M. 16/02/2007, che comporterebbe l'impiego di ingenti risorse economiche per proteggere tutti gli elementi strutturali e, talune volte, non sempre attuabili per difficoltà di posa dei rivestimenti stessi.

Nel caso della progettazione con il livello III (ipotizzando una resistenza al fuoco pari a R15/R20), è ragionevole procedere ad una analisi della struttura in dettaglio mediante verifiche sezionali in prima applicazione, e se si ritiene utile anche mediante un'analisi di sistema coinvolgente integralmente o parzialmente la struttura sotto l'azione del fuoco generalizzato o sotto l'azione di un fuoco localizzato in relazione ai possibili scenari di incendio.

Evoluzioni nell'ambito della progettazione a freddo

La metodologia di progettazione nei decenni precedenti seguita è stata quella delle tensioni ammissibili, prevedendo che la struttura potesse ricadere sempre in campo elastico. In particolare se una progettazione a freddo è stata effettuata con dei margini di sicurezza più elevati maggiore sarà la capacità resistente anche a caldo.

Il collasso di un elemento strutturale avviene quando si raggiunge la tensione critica nel componente in esame. Se due elementi con resistenze diverse sono sottoposti alla medesima sollecitazione dei carichi e termiche, raggiungono il collasso in tempi diversi a causa del rapporto tra le azioni a freddo e la tensione di snervamento a freddo (fattore di uti-

lizzo). Con le attuali conoscenze sul comportamento dei materiali e con la normativa vigente è possibile effettuare una progettazione agli stati limite. Le strutture esistenti essendo state progettate con il metodo delle tensioni ammissibili, è effettuabile eseguire verifiche agli stati limite ultimi, essendo state calcolate e realizzate in modo sovradimensionato con un coefficiente di utilizzo basso, pertanto è plausibile pensare che seguendo un'analisi numerica avanzata non è necessario proteggere la struttura.

Progetto agli stati limite

Il metodo semi probabilistico agli stati limite, prevede che la sicurezza strutturale debba essere verificata mediante il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni.

La verifica della sicurezza agli stati limite ultimi di resistenza viene eseguita con il “metodo dei coefficienti parziali” di sicurezza.

Aspetti generali sulle costruzioni in acciaio

È ricorrente negli edifici con strutture in acciaio, in prevalenza mono piano, la coniugazione architettonica finalizzata all'adozione di scelte efficaci di carattere funzionale ed esigenze imprenditoriali con lo scopo di ridurre i tempi ed i costi di realizzazione.

Tali tipologie di scelte edilizie presentano nel tempo una buona adattabilità in caso di ampliamenti, necessari a seguito di variazioni delle esigenze di utilizzo, con mutamenti spesso semplici e veloci.

Schemi statici ricorrenti

Prevalentemente gli schemi statici che sono ricorrenti nella maggior parte di questa tipologia di costruzioni sono:

- a) colonne incastrate alla base e trave incernierata in sommità;
- b) portale incastrato alla base;
- c) portale a due cerniere.

Lo schema statico "a" è quello più comune sia per semplicità di calcolo che di realizzazione.

In caso di luci elevate alla soluzione della semplice trave appoggiata viene prescelta quella della trave reticolare con maggiore inerzia.

La scelta dello schema di un portale incastrato alla base risulta vantaggioso per gli edifici di grande altezza ed elevate luci, in quanto risultano contenute le sollecitazioni e gli spostamenti orizzontali.

Un simile sistema consente di favorire il dimensionamento determinato con l'analisi plastica.

Particolarità dei tetti

Le travi di copertura, normalmente sono installate con un interasse tra i 5 e 7 m, e possono essere di tipo: reticolari, a parete piena e coperture a shed.

Le travi reticolari impiegate prevalentemente sono:

- ▶ Mohnié a diagonali tese;
- ▶ Warren a diagonali tese e compresse;
- ▶ Polonceau;
- ▶ Inglese.

Le colonne

Le colonne sono realizzate con travi reticolari, oppure colonne a sezione costante con l'impiego di profili HE.

I controventi

L'assorbimento delle sollecitazioni orizzontali, agenti ortogonalmente al piano dei telai trasversali, è svolto dai controventi trasversali di falda in copertura ed a controventi verticali.

Gli scenari di incendio – fire scenarios

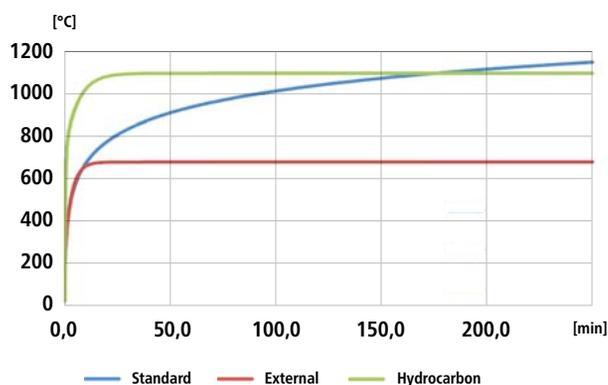
L'ingegneria antincendio, è uno strumento che consente di simulare un incendio con tecniche di calcolo avanzate e di poter analizzare i risultati della elaborazione per poi verificare se si è raggiunto un livello minimo di sicurezza.

La buona affidabilità dei risultati che si ottengono dipende fondamentalmente dalla scelta degli sce-

nari di incendio e, a tale riguardo, il progettista è tenuto ad argomentare le selezioni degli stessi in linea con i contenuti del D.M. 9 maggio 2007.

Curve nominali

Le curve nominali di incendio vengono frequentemente adoperate dai progettisti perché rappresentano generalmente la condizione più gravosa dell'incendio e sono di facile determinazione poiché si basano sul presupposto che internamente al compartimento si giunga sempre alla fase di flashover indipendentemente dai materiali presenti e aperture di aerazione.



Confronto delle curve nominali tratte dall'Eurocodice

Curve parametriche

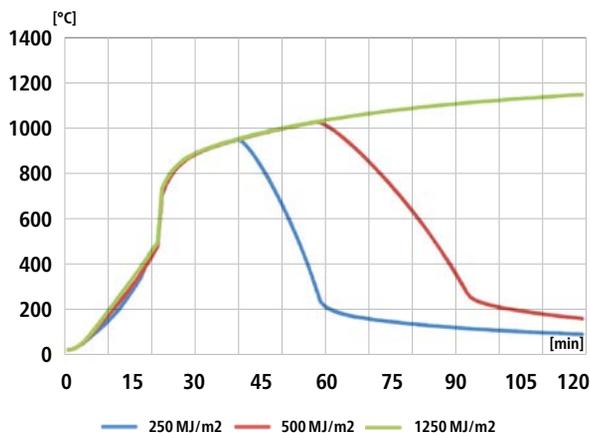
L'Eurocodice – 3 di riferimento fornisce un'equazione per gli incendi parametrici, che permette di ottenere la relazione temperatura-tempo per qualsiasi possibilità di carico d'incendio, di fattore di ventilazione e di materiale per il rivestimento delle pareti. Le curve dell'incendio parametrico dell'Eurocodice – 3 consentono di stimare la durata della fase di combustione stabilizzata.

Tali curve parametriche sono utilizzabili in funzione dei seguenti casi:

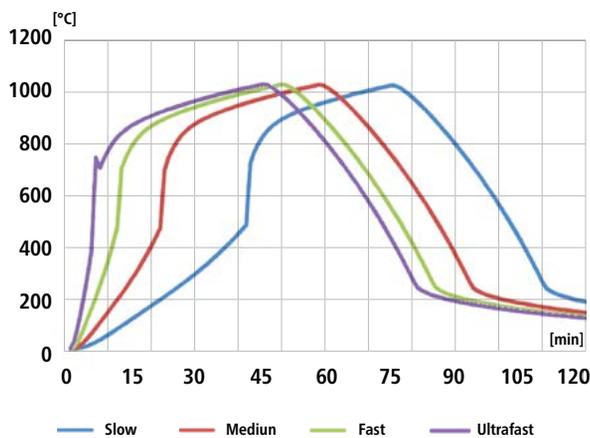
- ▶ Compartimenti antincendio fino a 500 mq di superficie in pianta.
- ▶ Nessuna apertura nella copertura.
- ▶ Altezza massima del compartimento pari a 4 m.
- ▶ Il materiale costituente il carico d'incendio nel



compartimento risulti completamente combusto fino alla sua estinzione.



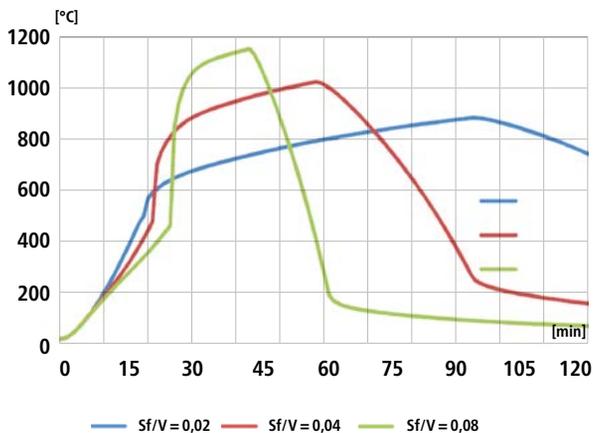
Rappresentazione della crescita della temperatura in relazione del tempo al variare del carico di incendio per mq



Crescita delle temperature in relazione del tempo al variare del carico di incendio per mq

In tale grafico la rappresentazione della crescita delle temperature in relazione del tempo al variare del carico di incendio per mq, si rileva che al variare della velocità di incremento dell'incendio le temperature raggiungono tutte lo stesso valore massimo. Le curve si differenziano lungo l'asse del tempo per un coefficiente che deriva dal fattore di accrescimento dell'incendio.

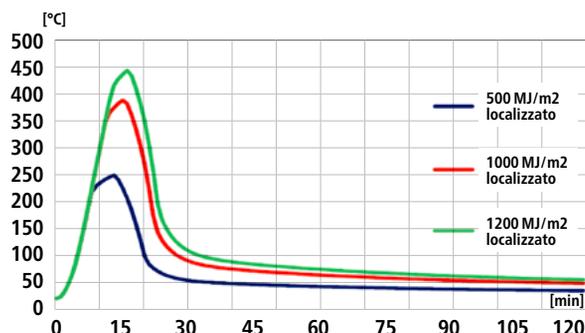
Questo fattore incide in modo sostanziale nella fase iniziale mentre, con il completo sviluppo delle fiamme all'interno del compartimento, le curve mantengono una distanza uguale a quella raggiunta anteriormente.



Curve temperatura – tempo al variare del rapporto Sf/V

Incendi localizzati

L'esposizione delle curve descritte sopra prevedono che l'incendio si sviluppi interamente in modo che le medesime temperature si raggiungano in tutto il compartimento. In ambienti caratterizzati da ampi spazi con limitato materiale combustibile oppure in ambito di incendi confinati, è credibile che si verifichi un incendio localizzato con un effetto disomogeneo sulle strutture.



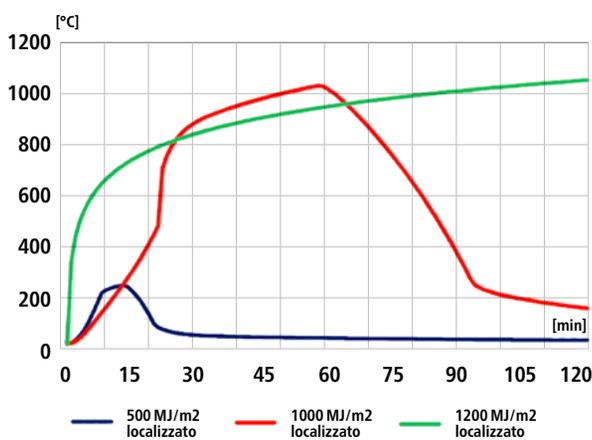
Comparazione delle curve di incendio localizzato al mutare del carico di incendio

Comparazione dei casi esaminati

Nel grafico successivo si rileva l'andamento delle tre tipologie di curve temperature-tempo esposte.

La curva nominale standard:

- ▶ non presenta tratti di temperature discendenti (evoluzione all'infinito della combustione all'interno del compartimento);



- ▶ ha una crescita iniziale molto evidente con, in alcuni intervalli, temperature maggiori delle altre curve;
- ▶ dopo una crescita iniziale molto ripida, protende asintoticamente con andamento orizzontale.

Le curve parametriche:

- ▶ hanno l'attitudine ad avere un ramo di crescita iniziale poco inclinata, ma con il raggiungimento dell'incendio esteso le temperature raggiunte superano quella della curva nominale standard;
- ▶ fino a quando il materiale non risulta completamente combusto, nella fase di massima espansione del fuoco, conserva un andamento analogo a quello della curva nominale standard, mentre in quella consecutiva si manifesta l'andamento di raffreddamento.

Le curve di incendio localizzato:

- ▶ hanno un picco iniziale più evidente delle curve parametriche, a parità di carico di incendio, e consecutivamente evidenziano una riduzione delle temperature a causa dell'estinzione dell'incendio;
- ▶ con l'incremento dal carico di incendio può manifestarsi che il picco iniziale di temperature raggiunte dalla curva superi le temperature dalla la curva standard (essendo indipendente da questo fattore).

Si precisa che effettuando il calcolo delle temperature degli elementi in acciaio occorre tener conto anche dell'effetto dell'irraggiamento prodotto dalla fiamma.

Azione del fuoco sull'acciaio

Caratteristiche termiche

La massa volumica dell'acciaio è 7850 kg/m³ e rimane praticamente costante con la temperatura. Il calore specifico dell'acciaio varia in funzione della temperatura.

Conducibilità termica

Cambia con la temperatura e, nei casi più semplici, può essere considerata uguale a 45 W/mK.

Caratteristiche meccaniche

Deformazione:

La deformazione dell'acciaio a temperatura elevata è normalmente condizionata dalla sussistenza di tre componenti:

- ▶ **Deformazione termica** (attitudine tipica dei materiali riscaldati con valori indicati nell'Eurocodice).
- ▶ **Deformazione dovuta alla viscosità**
A temperatura normale la viscosità nell'acciaio è trascurabile, ma è rilevante per temperature superiori a 400 o 500°C.
- ▶ **Deformazione meccanica**
Le leggi sforzo–deformazione ad alta temperatura possono essere ottenute direttamente da prove in condizioni stazionarie a temperature prefissate oppure ricavate da prove di tipo transitorio.

Resistenza allo snervamento e resistenza convenzionale.

Per la progettazione a temperature elevate delle strutture in acciaio è necessario disporre del valore della resistenza allo snervamento.

Modulo elastico

Il peggioramento del modulo elastico ha effetti rilevanti sull'instabilità strutturale e sulle deformazioni elastiche (parzialmente poco importanti ad alta temperatura, dove hanno elevato rilievo le deformazioni plastiche).

In caso di componenti strutturali semplici (travi isostatiche) si considera la sola deformazione meccanica; mentre per le strutture complesse occorre tener conto anche della deformazione termica e della viscosità.

Progettazione e verifiche delle strutture in acciaio

In via generale la progettazione all'azione dell'incendio di strutture complesse richiede l'impiego di appropriati codici di calcolo, soprattutto se i telai non sono controventati per i quali è necessario prendere in considerazione gli effetti di secondo ordine.

Diverse strutture mostrano un basso grado di iperstaticità, per cui il collasso di un singolo elemento può causare il cedimento dell'intera struttura. Contrariamente, le strutture iperstatiche sono in grado di effettuare una elevata redistribuzione del carico, in modo che il cedimento di un elemento determina il trasferimento dei suoi carichi ad altri elementi più rigidi e resistenti. Tale evoluzione è logicamente analoga alla redistribuzione dei momenti all'interno di ciascun elemento strutturale, anche se in pratica si concretizza in una redistribuzione dei carichi da elemento a elemento. Tanto elevato risulta il grado di iperstaticità, maggiormente numerose sono le alternative della redistribuzione dei carichi per cui risulta logico ipotizzare una scarsa probabilità di collasso dell'intero edificio in seguito ad un incendio localizzato, che causi il collasso di uno o più elementi strutturali. L'iperstaticità e il rapporto di utilizzo sono correlati, poiché, se i carichi totali agenti su una struttura al momento dell'incendio sono di gran lunga più bassi rispetto al carico di progetto (basso rapporto di utilizzo), è utile una inferiore iperstaticità, a condizione che sussistano adeguate vie alternative per il trasferimento dei carichi agli elementi non danneggiati dall'incendio.

Collasso incontenibile

Un collasso in sequenza è logicamente diverso dal collasso in caso di iperstaticità strutturale. Una struttura iperstatica può reggere il collasso di una o più

delle sue parti senza crollare integralmente, altre strutture (isostatiche o con componenti isostatiche) sono soggette al collasso con conseguenze a catena, ovvero incontrollabili, tali da manifestare effetti finali eccessivi nei confronti della causa primaria).

Continuità

La persistenza flessionale delle travi continue, aumenta in generale la resistenza al fuoco di una trave inflessa. Una trave continua è un elemento staticamente indeterminato (iperstatico), il cui collasso accade solo dopo il cedimento di un numero di sezioni pari al grado dell'iperstaticità flessionale aumentato di una unità. I benefici della continuità flessionale si manifestano specialmente nel caso di elementi duttili, in grado di sopportare grandi rotazioni in corrispondenza delle "cerniere plastiche" (composte da una medesima quantità di conci di trave dove si verificano estese rotazioni senza un aumento efficace del momento flettente, a causa della plasticizzazione dell'acciaio a trazione – compressione).

Progettazione in campo plastico

Per il calcolo strutturale all'azione dell'incendio riferito al dominio delle resistenze, risulta agevole il metodo cosiddetto "delle cerniere plastiche", basato sul teorema cinematico della teoria della plasticità e sull'uso del principio dei lavori virtuali. Tale metodo consente di determinare la capacità portante (espresso anche come carico resistente) della struttura al variare dell'incendio e del corrispettivo campo termico.

Alcuni casi di analisi di complessi strutturali

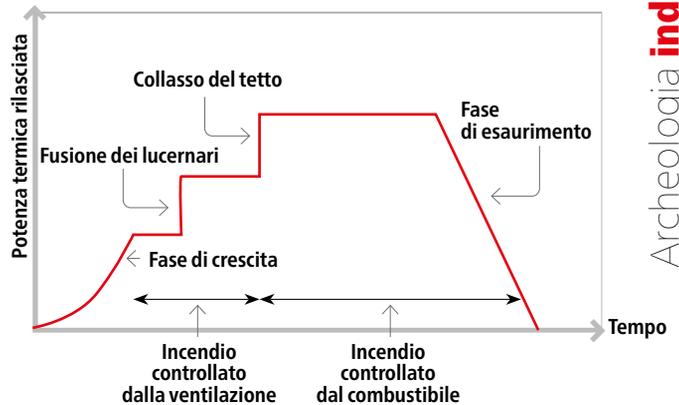
Gli edifici in acciaio non possono essere correttamente progettati con i metodi semplificati, occorre utilizzare il metodo "generale" indicato nell'Eurocodice – 3 con l'utilizzo di esclusivi programmi di calcolo per l'analisi delle strutture esposte al fuoco. Tali programmi sono in grado di stabilire lo stato di sollecitazione in ogni membratura tenendo conto dell'effetto delle deformazioni termiche, meccani-

che e viscoso, come consigliato. L'utilizzo di tale metodo risulta necessario per qualsiasi struttura che presenti grandi spostamenti.

Edifici mono piano con struttura a portale

Una tipologia consueta di costruzione in acciaio è rappresentata da strutture monopiano a portale tipica degli edifici industriali. Tali complessi edilizi sono strutturati con telai a portale con interasse variabile da 5 a 10 m e luci da 20 a 50 m (o più in caso di colonne interne). Normalmente le coperture hanno una pendenza tra i 2° e i 15° e sono realizzate con lamiera in acciaio e lucernari in plastica traslucida o vetri retinati, appoggiati su travetti in legno o acciaio distanti fino a 1 m e posizionati tra un portale e l'altro. Altre tipologie di copertura sono costituite da lamiera ondulata o pannelli-sandwich, che possono ricoprire luci maggiori. Le pareti degli edifici a portale mono piano sono spesso in mattoni, muratura di calcestruzzo o pannelli in cal-

cestruzzo prefabbricati in stabilimento o in opera. In caso di incendio incontrollato, la potenza termica rilasciata viene descritta nel seguente grafico:



Si può notare che l'incendio inizialmente risulta contenuto a causa della ventilazione disponibile, diventa controllato dal materiale combustibile quando i lucernari fondono e si verifica il collasso del tetto. La struttura metallica di copertura è in pochi casi protetta contro l'incendio, per cui solita-



**BOCCIOLONE
ANTINCENDIO**

FIREFLOW® SISTEMI SPRINKLER



VALVOLA D'ALLARME A UMIDO



VALVOLA D'ALLARME A SECCO



GIUNTI SCANALATI



VALVOLE FLANGIATE



EROGATORI SPRINKLER

mente crolla nel corso di un incendio completamente sviluppato. La superficie integrale interessata dall'incendio e pertanto di cedimento del tetto progredirà con l'aumento dell'incendio e della sua propagazione. I travetti in acciaio sottoposti al calore subiscono una deformazione assumendo una forma a catenaria con spinte a trazione, reggendo la copertura fra le travi. Le temperature prodotte dall'incendio risultano più contenute a causa della dissipazione del calore in copertura per la distruzione dei lucernari o delle lamiere metalliche.

Una problematica sussiste quando tale tipologia di edifici è contigua ad altri stabili con altra destinazione. In particolare pur realizzando pareti resistenti al fuoco perimetrali adiacenti ad altri manufatti, risultano significative le deformazioni dei telai in acciaio che possono causare cedimenti delle pareti esterne; a tale riguardo è consigliabile costruire i setti in muratura o in pannelli prefabbricati con appoggi esterni alle strutture di fondazione delle colonne in acciaio.

Valutazioni finali

Con l'impiego dei programmi Cfast, FDS e OZone è possibile ottenere risultati in merito allo sviluppo dei fumi all'interno dell'ambiente e la loro temperatura, consentendo anche di verificare la capacità di esodo delle persone dagli ambienti in cui ha avuto origine l'incendio, in relazione all'altezza raggiunta dai fumi, alla loro temperatura e alla visibilità.

Contesto di fuoco generalizzato di un edificio mono piano

Effettuando mediante simulazione una analisi numerica semplificata e una avanzata, per ciascun elemento strutturale, non riportate per brevità di esposizione, si è pervenuti ai seguenti risultati:

► L'analisi numerica semplificata ha evidenziato che per alcuni elementi la resistenza al fuoco è risultata inferiore a 15 minuti, mentre per altri, contraddistinti da uno stato di sollecitazione a freddo, la resistenza è superiore a 15 minuti.

► L'analisi numerica avanzata, tenendo conto delle risorse plastiche e dell'iperstaticità strutturale, ha evidenziato che la resistenza al fuoco risulta inferiore ai 15 minuti a causa delle dilatazioni termiche impedita che causerebbero il collasso.

Contesto di fuoco localizzato di un edificio mono piano

Effettuando una simulazione con un'analisi numerica avanzata, non riportata per brevità di esposizione, è emerso che essendo la struttura non totalmente soggetta all'azione del fuoco (fatto alquanto probabile per ambienti di notevoli dimensioni), l'intero edificio resisterebbe all'azione del fuoco fino all'estinzione dell'incendio anche se potrebbe verificarsi localmente il danneggiamento della capacità portante di qualche elemento strutturale.

Infine è fondamentale che il progettista analizzi in maniera dettagliata tutte le peculiarità strutturali, osservando con particolare attenzione quegli elementi costruttivi con basso valore di resistenza al fuoco, poiché un errore di qualche minuto può compromettere l'incolumità degli occupanti.

Risulta utile poter effettuare calcoli progettuali e verifiche su strutture inserite in ambienti con basso carico di incendio, in quanto è possibile provare una affidabilità di resistenza al fuoco degli elementi costruttivi per tempi superiori ai 15 minuti, senza ricorrere ai rivestimenti protettivi che non in tutti i casi risulterebbero efficaci per la difficoltà di posa e anche per gli elevati costi previsti per tali interventi. Si aggiunge anche che nel tempo i rivestimenti protettivi possono subire alterazioni riguardo alla loro funzione protettiva a causa di perdita delle proprie caratteristiche di isolamento, per azioni meccaniche di natura accidentale che possono rimuovere o deformare il materiale protettivo dalla superficie strutturale, oppure per interventi manutentivi (ad esempio impiantistici) che nel tempo possono aver provocato occultate discontinuità del rivestimento. ◆

LA GAMMA DI PRODOTTI PER SIGILLATURE DI ATTRAVERSAMENTI SACOP SI ARRICCHISCE.

Dal 2020 Sacop è partner del gruppo SVT-KUHN, azienda tedesca fondata nel 1976, leader nel settore delle protezioni di attraversamenti resistenti al fuoco.



La gamma di prodotti per sigillatura di attraversamenti di murature, solai rigidi e pareti a secco si compone di COLLARI, NASTRO INTUMESCENTE, PANNELLO IN LANA DI ROCCIA PRETRATTATO, TAPPO INTUMESCENTE MATTONI TERMOESPANDENTI e SACCHETTI.

Tutti i prodotti sono stati provati secondo la norma EN 1366-3, e ulteriormente validati da ETA (valutazione tecnica europea) emessi da Enti notificati dalla Commissione Europea.

Sul sito www.sacop.it sono disponibili il catalogo, il manuale tecnico e le certificazioni ETA.