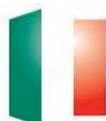


LE PRESTAZIONI DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE STRUTTURE DI ACCIAIO PROTETTE

Documento a cura di:



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



**MINISTERO
DELL'INTERNO**



Fondazione
Promozione Acciaio





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

Il presente articolo è frutto delle attività della Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio. Il Tavolo Tecnico-Scientifico permanente è stato istituito il 20 gennaio 2006 su iniziativa di Fondazione Promozione Acciaio e del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ed è finalizzato a valutare i risultati della ricerca nazionale ed europea, all'analisi tecnica della norma nazionale e confronto con quella europea al fine di fornire contributi tecnici per un suo aggiornamento. La Commissione fornisce strumenti appropriati all'organo di controllo per la valutazione della sicurezza delle strutture in acciaio in caso di incendio e volti a garantire l'aggiornamento professionale dei tecnici impegnati nell'attività di prevenzione incendi.

La Commissione è composta da rappresentanti nazionali nel campo della ricerca europea, da esponenti del Ministero dell'Interno coinvolti nella definizione del quadro normativo nazionale, da docenti universitari e da liberi professionisti:

- Prof. Ing. Emidio Nigro (Coordinatore) - Ordinario di Strutture Speciali e Tecnica delle Costruzioni Università Federico II di Napoli;
- Ing. Mauro Caciolai – Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco;
- Ing. Andrea Marino – Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco;
- Ing. Sandro Pustorino – Libero professionista

Prestano la loro collaborazione su aspetti specifici in merito alla sicurezza strutturale e alla protezione attiva:

- Ing. Luca Ponticelli – Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco
- Ing. Piergiacomo Cancelliere – Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco
- Ing. Armando De Rosa – Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

Per tutte le informazioni sulle attività della Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso d'Incendio e di Fondazione Promozione Acciaio: www.promozioneacciaio.it

© Documento di proprietà di Fondazione Promozione Acciaio.
Diritti di riproduzione riservati
Pubblicazione: Aprile 2024

LE PRESTAZIONI DI RESISTENZA AL FUOCO DELLE STRUTTURE DI ACCIAIO PROTETTE

AUTORI

A. Marino, Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

E. Nigro, Università degli Studi di Napoli "Federico II"

S. Pustorino, SIS Ingegneria.

SOMMARIO

Nel presente lavoro, rivolto ai progettisti antincendio e strutturali, sono delineati i criteri di dimensionamento delle strutture di acciaio protette per la progettazione delle prestazioni di resistenza al fuoco. L'articolo ha affrontato gli aspetti della progettazione delle strutture di acciaio, necessari per assicurare il contributo alla prestazione di resistenza al fuoco del sistema protettivo individuato, della qualificazione sperimentale necessaria del sistema protettivo impiegato, secondo quanto previsto dalla normativa tecnica in vigore, e le procedure previste dalla normativa tecnica in vigore da seguire per il controllo dell'esecuzione delle opere.

1. LE STRUTTURE IN ACCIAIO PROTETTE

In caso d'incendio, l'incremento della temperatura determina la diminuzione della capacità portante delle strutture di acciaio. Questo fenomeno è influenzato principalmente da due fattori:

- la rapidità del riscaldamento dell'acciaio esposto all'incendio, dovuta all'elevata conducibilità termica del materiale;
- la riduzione delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio in funzione dell'aumento della temperatura.

Nella figura seguente è mostrato l'andamento delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio in funzione della temperatura [14].

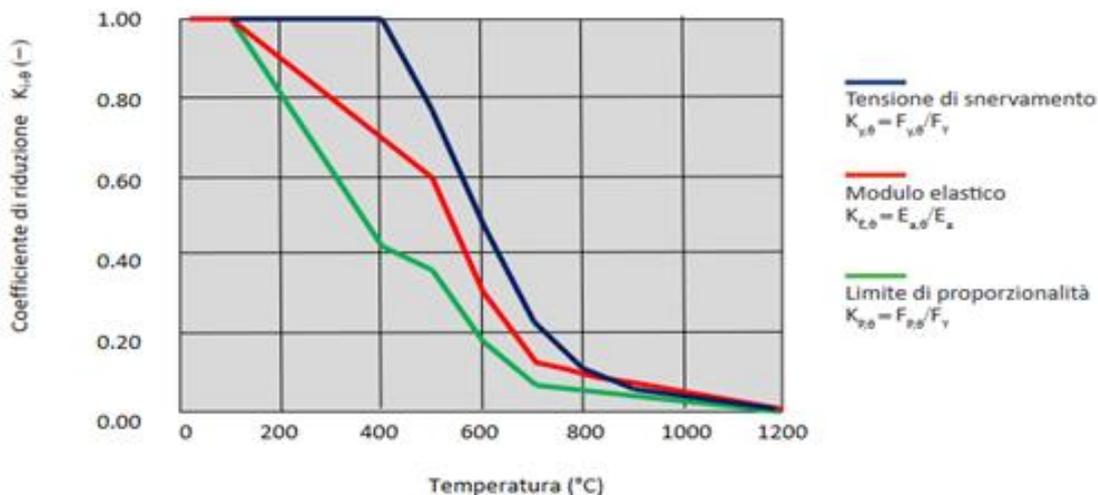


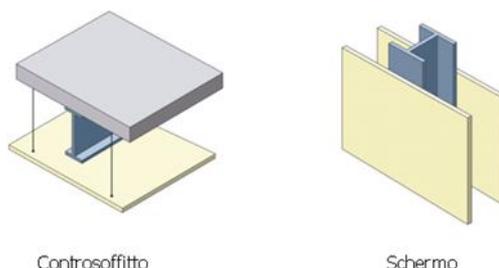
Figura 1 - Curve di riduzione delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio con la temperatura

Per limitare l'innalzamento della temperatura della struttura di acciaio, si può intervenire isolando gli elementi dall'incendio mediante l'applicazione di sistemi protettivi, aventi caratteristiche termiche tali da limitare il riscaldamento e, di conseguenza, la riduzione delle caratteristiche di resistenza dei materiali strutturali. In tal caso le soluzioni progettuali nell'ambito della sicurezza antincendio sono denominate **strutture di acciaio protette**.

2. TIPOLOGIA DELLE PROTEZIONI

I rivestimenti protettivi antincendio delle strutture di acciaio, normalmente, vengono suddivisi in base alla tipologia di applicazione. In generale si individuano le seguenti tipologie:

- intonaci spruzzati;
- rivestimenti in lastre;
- pitture intumescenti.



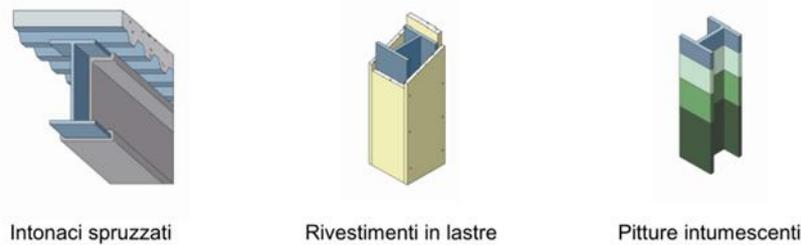


Figura 2 – Rivestimenti per la protezione passiva antincendio delle strutture di acciaio

Tali sistemi sono costituiti da lastre non combustibili, installate a secco nella fase di cantiere della realizzazione, da intonaci spruzzati, applicati direttamente in cantiere, oppure da pitture intumescenti, che possono essere applicate sia in officina che in cantiere.

La scelta del sistema di protezione da impiegare nelle diverse situazioni progettuali è in genere influenzata da molti aspetti differenti, come ad esempio le esigenze architettoniche ed economiche del progetto, le condizioni ambientali, la forma e le dimensioni degli elementi da proteggere ed il livello di resistenza al fuoco richiesta.

3. LA PRESTAZIONE DI RESISTENZA AL FUOCO ED I CRITERI PER LA SUA DETERMINAZIONE

3.1 Introduzione

La **prestazione di resistenza al fuoco** rappresenta la capacità portante in caso di incendio di una struttura, di una parte della struttura o di un elemento strutturale, nonché la capacità di compartimentazione in caso di incendio di elementi strutturali (es. travi, colonne, muri, solai, ...) e non strutturali (es. porte, divisori, ...). Tale prestazione deve essere determinata per un tempo minimo necessario al raggiungimento degli obiettivi primari di prevenzione incendi.

Nell'ambito della normativa vigente [3], la prestazione di resistenza al fuoco richiesta alle strutture è modulata mediante la definizione dei seguenti n. 5 livelli di prestazione, che possono essere attribuiti ad un'opera da costruzione in funzione dei profili di rischio determinati:

- Livello di prestazione I Assenza di conseguenze esterne per collasso strutturale.
- Livello di prestazione II Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione.
- Livello di prestazione III Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la durata dell'incendio.
- Livello di prestazione IV Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione.
- Livello di prestazione V Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa.

Per progettare un livello di prestazione di resistenza al fuoco nell'ambito della normativa vigente [3], sono previste due tipologie di soluzioni:

Le prestazioni di resistenza al fuoco delle strutture di acciaio protette

(A. Marino, E. Nigro, S. Pustorino)

- **le soluzioni conformi**, definite secondo un approccio prescrittivo, nel quale l'azione termica è rappresentata da una curva temperatura/tempo di tipo nominale, quale ad esempio la curva di incendio standard ISO 834;
- **le soluzioni alternative**, definite secondo un approccio prestazionale, nel quale l'azione termica è rappresentata da curve temperatura/tempo determinate ad hoc per ciascuno degli scenari di incendio individuati.

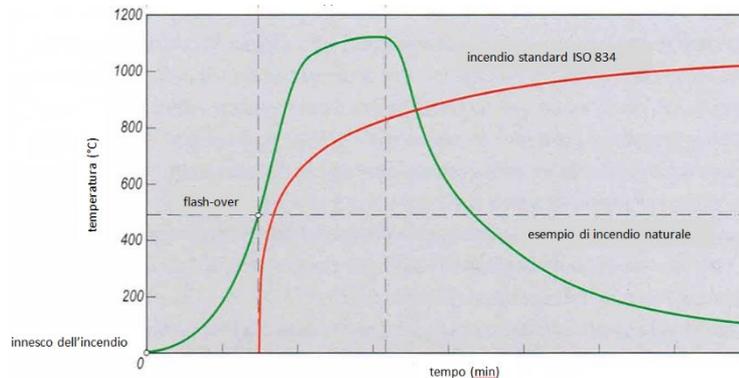


Figura 3 - Curva temperatura-tempo standard ISO 834 ed esempio di curva di incendio naturale

Tenendo conto dei criteri generali con cui le due tipologie di soluzioni progettuali sono definite nell'ambito delle normative vigenti [3], [4], [9], valgono le seguenti regole di progettazione:

- le soluzioni conformi possono essere progettate facendo riferimento alla capacità portante propria degli elementi strutturali singoli,
- le soluzioni alternative devono essere progettate facendo riferimento alla capacità portante di porzioni di struttura o dell'intero sistema strutturale, a meno di verificare a priori, per la particolare struttura oggetto di studio, che l'effetto delle deformazioni ed espansioni imposte o impedito dovute ai cambiamenti di temperatura sia trascurabile.

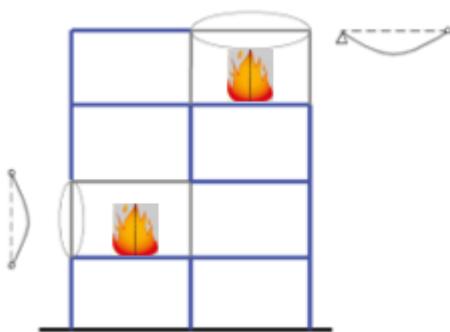


Figura 4 - Soluzioni conformi: analisi per singoli elementi

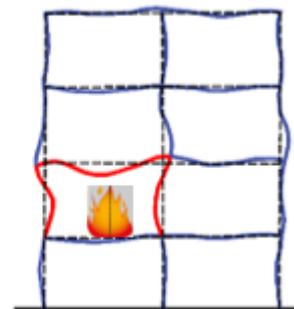


Figura 5 - Soluzioni alternative: analisi globale

SCHEMATIZZAZIONE DELLA STRUTTURA E SOLUZIONI PROGETTUALI	Soluzioni Conformi	Soluzioni alternative
Analisi per singoli elementi	SI	NO
Analisi per parti della struttura	SI	SI
Analisi globale della struttura	SI	SI

Tabella 1 - Criteri generali di analisi della struttura per la determinazione delle prestazioni di resistenza al fuoco

Tenendo conto dei criteri con cui sono qualificati sperimentalmente i sistemi protettivi (vedi paragrafi successivi), nell'ambito della normativa vigente la progettazione delle **strutture di acciaio protette** può essere condotta ad oggi solo utilizzando **le soluzioni conformi** (vedasi indicazioni nota DCPREV n. 9962 del 24/07/2020).

Lo schema generale della progettazione della resistenza al fuoco di un elemento strutturale di acciaio protetto in soluzione conforme è rappresentato nella Figura 6:

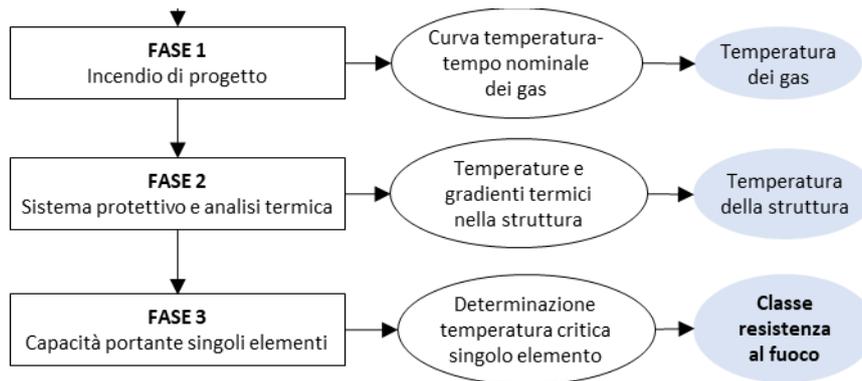


Figura 6 - Classe di resistenza al fuoco: soluzione progettuale conforme di elementi di acciaio protetti

La fase principale della progettazione di una struttura di acciaio protetta è la scelta del più idoneo sistema protettivo, Fase 2 dello schema generale in Figura 6, mediante il quale si determina il ritardo dell'incremento della temperatura nella struttura di acciaio in caso di incendio. Una volta determinata la risposta termica della struttura di acciaio protetta, il progetto della resistenza al fuoco deve essere completato, tenendo conto delle caratteristiche resistenti degli elementi della struttura di acciaio e delle sollecitazioni determinate in fase di progetto mediante i criteri di verifica previsti.

4. IL REGOLAMENTO PRODOTTI DA COSTRUZIONE 305/2011 E LA MARCATURA CE

4.1 Introduzione

La sicurezza in caso di incendio di una costruzione è stata oggetto di una chiara definizione con il Regolamento Prodotti da Costruzione 305/2011 (di seguito chiamato CPR) [2]. Tutti i criteri di valutazione indicati dalle norme vigenti fanno esplicito riferimento ad esso. Il CPR ha stabilito i requisiti essenziali relativi alla sicurezza, che devono soddisfare le opere da costruzione. Tra questi è inserito anche quello che riguarda la sicurezza in caso di incendio, a cui è direttamente legata la necessità della classificazione di resistenza al fuoco delle strutture. La condizione di base che viene posta dal CPR alle operazioni di progetto e realizzazione delle protezioni al fuoco è che le caratteristiche dei prodotti impiegati e le procedure adottate per la loro verifica siano validate su basi concordate e armonizzate nell'ambito dei Paesi membri della Comunità Europea. A questo scopo sono state emanate le norme di prodotto o specifiche tecniche armonizzate, che individuano le caratteristiche che i prodotti devono possedere e le modalità di verifica di tali caratteristiche. Per i prodotti per i quali le norme di prodotto non sono disponibili, è possibile fare riferimento a specifiche metodologie di prova sperimentale, mediante le quali è possibile ottenere il benessere tecnico europeo (ETA), ossia una valutazione tecnica di idoneità per l'impiego previsto, che consente di ottenere la marcatura CE volontaria da parte del produttore.

I prodotti impiegati per la protezione dal fuoco delle strutture sono pertanto accompagnati da una ETA (European Technical Approval) rilasciata da un Technical Approval Body (TAB) sulla base di un documento di valutazione (European Assessment Document – EAD). Gli EAD, che contengono le prove e le altre procedure necessarie per dimostrare l'adeguatezza dei prodotti allo scopo per cui sono progettati, riguardanti i sistemi di protezione dal fuoco delle strutture di acciaio, sono:

- EAD350402-1106 (sistemi reattivi per la protezione di elementi di acciaio);
- EAD350140-00-1106 (intonaci per applicazioni riguardanti la resistenza al fuoco);
- EAD350142-00-1106 (lastre).

Lo sviluppo degli EAD ha determinato la pubblicazione di una serie di norme tecniche EN 13381 [18-24], in cui sono definiti i metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco degli elementi strutturali, con le quali sono stati uniformati i criteri di valutazione vigenti in ambito europeo. Con riferimento agli elementi delle strutture in acciaio e composte acciaio-calcestruzzo, le parti della norma di interesse sono le seguenti:

- UNI EN 13381-1:2020 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Parte 1: Membrane di protezione orizzontali;
- UNI EN 13381-2:2014 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Parte 2: Membrane di protezione verticali;
- UNI EN 13381-4:2013 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 4: Protettivi passivi applicati ad elementi di acciaio;
- UNI EN 13381-5:2014 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 5: Protezione applicata ad elementi compositi di calcestruzzo/lastre profilate di acciaio;
- UNI EN 13381-8:2013 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 8: Protettivi reattivi applicati ad elementi di acciaio;
- UNI EN 13381-9:2016 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 9: Sistemi di protezione al fuoco applicati a travi di acciaio con anima forata;
- UNI EN 13381-10:2020 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 10: Protezione applicata alle barre di acciaio massiccio in tensione.

Tali normative definiscono le modalità per la realizzazione dei rapporti di valutazione, che ogni azienda produttrice deve fornire per i prodotti commercializzati, in quanto necessari per il dimensionamento e la progettazione dei sistemi protettivi antincendio.

Il marchio CE attesta che un prodotto da costruzione può essere legalmente immesso sul mercato degli Stati membri dello Spazio Economico Europeo (SEE) e indica che il prodotto è in linea con i dati forniti nella relativa Dichiarazione di Prestazione – Declaration of Performance (DoP), come rilasciata dal Produttore.

In Italia, come previsto nei regolamenti europei, non risulta obbligatorio marcare CE i protettivi degli elementi strutturali esposti all'incendio.

Qualora un produttore intenda procedere alla marcatura CE di un protettivo per elementi strutturali esposti all'incendio, non essendo disponibili specifiche tecniche armonizzate, deve ricorrere ad una ETA basata su una delle EAD (European Assessment Document) sopra citate.

In sostanza l'ETA, unitamente alla EAD di riferimento, che di fatto costituisce una specifica tecnica armonizzata sviluppata dall'EOTA (European Organisation for Technical Assessment), consente ai produttori di marcare CE in maniera volontaria un prodotto da costruzione e di pubblicare la relativa DoP (dichiarazione di prestazione).

Pertanto, l'impiego di un prodotto marcato CE consente al progettista di avere a disposizione, insieme al prodotto impiegato, la DoP (Declaration of Performance), nella quale sono riportate le prestazioni del prodotto da costruzione. Tra queste vale la pena ricordare le prestazioni del sistema protettivo riguardanti la sua durabilità, che non sono documentate nell'ambito delle norme della serie UNI EN 13381 sopra citate.

In conclusione, la documentazione di accompagnamento necessaria per un prodotto impiegato per la protezione antincendio delle strutture è il rapporto di valutazione, emesso ai sensi della pertinente norma UNI EN 13381. La documentazione relativa alla ETA, disponibile se il produttore abbia proceduto alla marcatura CE dei prodotti, rappresenta un'integrazione della documentazione attestante le prestazioni dei prodotti da costruzione.

4.2 Il rapporto di valutazione ai sensi delle norme 13381

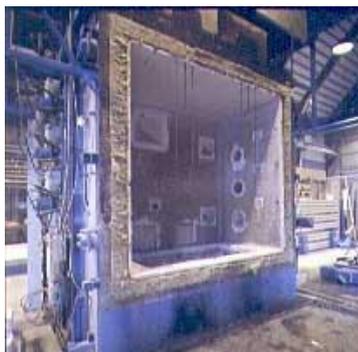
4.2.1 Introduzione

Il Regolamento Europeo 305/2011, in vigore dal 1° luglio 2013, ha introdotto per i prodotti da costruzione la Dichiarazione di Prestazione, il documento obbligatorio che accompagna la marcatura CE dei prodotti da costruzione. A questo scopo in ambito CEN, Comitato Europeo di Normazione, attraverso il comitato tecnico TC 127, sono stati messi a punto i metodi di valutazione sperimentale per determinare il contributo che i diversi sistemi protettivi antincendio sono in grado di fornire alla prestazione di resistenza al fuoco dei diversi elementi strutturali.

Questi sono stati raggruppati nelle norme della serie EN 13381, che forniscono anche la documentazione tecnica di riferimento necessaria ai fini della progettazione dei sistemi protettivi.

Ogni norma della serie 13381 comprende una procedura distinta in due fasi:

- un dettagliato programma di prove sperimentali al fuoco, eseguite sia su provini di strutture sotto carico che su provini di strutture non caricate;
- una specifica metodologia di elaborazione dei risultati delle prove sperimentali, che consente di individuare le prestazioni dei sistemi strutturali protetti per ogni determinato spessore di protettivo applicato e per ogni periodo di resistenza al fuoco (classe).





(a) prima della prova



(b) dopo la prova

Figura 7 – Forni per le prove di resistenza al fuoco, di tipo verticale ed orizzontale e campioni sottoposti a prova

Di seguito sono brevemente descritte le norme della serie EN 13381, con particolare riferimento a quelle impiegabili per la progettazione delle prestazioni di resistenza al fuoco delle strutture di acciaio.

4.2.2 Norma EN 13381-1 (2020) “Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 1: Membrane di protezione orizzontali”.

4.2.2.1 Scopo

Questo documento specifica un metodo di prova per determinare la capacità di una membrana protettiva orizzontale (controsoffitto) di contribuire alla resistenza al fuoco di elementi strutturali orizzontali, quando esposta alla curva di incendio standard EN 1363-1 (ISO 834).

La membrana protettiva orizzontale di dimensioni minime 4 x 3 metri deve essere esposta ad una curva nominale di incendio insieme all'elemento strutturale da proteggere (che può essere standard oppure un elemento specifico scelto dal committente).

Il metodo di prova consente la raccolta di dati, in particolare di temperature, che possono essere utilizzati come input diretto per il calcolo della resistenza al fuoco, secondo i processi indicati nelle norme EN 1992-1-2 [13], EN 1993-1-2 [14], EN 1994-1-2 [15] ed EN 1995-1-2 [16].

Il documento consente anche di elaborare il rapporto di valutazione, dove sono riportate le resistenze al fuoco di elementi standard protetti, in funzione delle loro caratteristiche dimensionali e morfologiche, per determinate temperature critiche:

- 600 °C per solette in calcestruzzo armato;
- 530 °C per solette in calcestruzzo armato e travi in acciaio;
- 450 °C per solette in calcestruzzo armato precompresso;
- 400 °C per strutture miste (lamiera grecata collaborante + calcestruzzo armato);
- 370 °C per strutture in acciaio laminate a freddo;
- 300 °C per strutture portanti in legno.

Le temperature sono misurate nella cavità fra controsoffitto ed elemento da proteggere, ma è anche possibile ottenere assessment basati sulle temperature rilevate sugli elementi portanti.

4.2.2.2 Limiti di applicabilità

I risultati sono applicabili a controsoffitti identici a quelli testati (con gli stessi sistemi di fissaggio, interasse degli elementi di supporto, ecc.), purché applicati ad una distanza dall'elemento protetto uguale o superiore a quella testata (cavità).

Per quanto riguarda l'estensione dei risultati di prova, la classificazione basata su test effettuati su una delle solette standard, proposte nel capitolo 15 della EN 13381-1, è valida nei seguenti casi:

- il risultato ottenuto su solette in calcestruzzo alleggerito è valido per solette in calcestruzzo alleggerito con spessore maggiore o uguale a quello testato, in normale calcestruzzo armato con spessore di almeno 60 mm, su strutture miste (con caratteristiche indicate nella EN 13381-5) oppure su pavimenti in legno con spessore di almeno 21 mm, con assi connesse con un sistema maschio/femmina e purché i giunti fra le assi siano in corrispondenza delle travi;
- il risultato ottenuto su solette in calcestruzzo armato standard è valido per solette in calcestruzzo armato standard con spessore maggiore o uguale a quello testato;
- il risultato ottenuto per pavimento in legno standard è applicabile a qualsiasi soletta in calcestruzzo normale con spessore almeno 60 mm, calcestruzzo alleggerito con spessore almeno 100 mm, su qualsiasi elemento di acciaio di qualsiasi fattore di sezione e su strutture miste oppure a qualsiasi pavimento in legno con spessore di almeno 21 mm, con assi connesse con un sistema maschio/femmina e purché i giunti fra le assi siano in corrispondenza delle travi;
- il risultato ottenuto su soletta con travi in acciaio è valido per ogni trave di acciaio di qualsiasi fattore di sezione se sono stati utilizzati i criteri di massima temperatura nella cavità oppure di fattore di sezione uguale o inferiore se sono stati usati i criteri di massima temperatura sull'elemento protetto;
- il risultato ottenuto su struttura mista è valido per ogni struttura mista purché la lamiera grecata abbia spessore uguale o superiore a quello testato, che abbia lo stesso profilo (trapezoidale, coda di rondine, ecc.), che il calcestruzzo sia almeno dello stesso spessore e densità di quello testato.

4.2.3 Norma EN 13381-2 (2014) “Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 2: Membrane di protezione verticali”.

4.2.3.1 Scopo

Questo documento specifica il metodo di prova per determinare la capacità di una membrana protettiva verticale di contribuire alla resistenza al fuoco (capacità portante R) di elementi strutturali verticali portanti in acciaio, calcestruzzo, materiali compositi acciaio/calcestruzzo o legno, purché in presenza di un'intercapedine tra la membrana protettiva verticale e l'elemento strutturale. La membrana protettiva verticale può essere separata o aderente all'elemento strutturale e deve essere autoportante.

Il documento contiene il metodo di prova per membrane protettive verticali testate insieme agli elementi strutturali da proteggere. L'esposizione al fuoco, secondo la curva standard temperatura/tempo EN 1363-1 (ISO 834), è applicata al lato che sarà esposto nell'applicazione pratica. Nel documento sono altresì inserite le procedure aggiuntive opzionali e la raccolta di dati che possono essere utilizzati come input diretto per il calcolo della resistenza al fuoco secondo i procedimenti indicati nelle norme EN 1992-1-2, EN 1993-1-2, EN 1994-1-2 e EN 1995-1-2.

Il documento fornisce inoltre i metodi di valutazione e le indicazioni per l'interpretazione dei risultati della prova al fuoco, in termini di criteri di capacità portante dell'elemento strutturale verticale protetto.

Il metodo di prova e la relativa valutazione non sono applicabili a:

- a) tutte le situazioni in cui l'intercapedine deve essere utilizzata come cavedio o canale di ventilazione;
- b) tutte le situazioni in cui la membrana protettiva verticale funge da membrana di controventamento.

I risultati della prova e della valutazione possono essere applicati a elementi strutturali verticali quali travi, colonne o combinazioni di entrambi che possono o meno far parte di un elemento di separazione o di una partizione.

Il documento consente anche di elaborare il rapporto di valutazione, dove sono riportate le resistenze al fuoco di elementi standard protetti, in funzione delle loro caratteristiche dimensionali e morfologiche, per determinate temperature critiche:

- 600 °C per elementi verticali in calcestruzzo (compreso quello con barre di rinforzo);
- 530 °C per elementi verticali costituiti da acciaio e elementi verticali costituiti da colonne cave in acciaio riempite di calcestruzzo con barre di rinforzo;
- 400 °C per elementi verticali costituiti da colonne cave in acciaio riempite di calcestruzzo senza barre di rinforzo;
- 370 °C per strutture in acciaio laminate a freddo;
- 300 °C per strutture portanti in legno.

Le temperature sono misurate nell'intercapedine fra membrana ed elemento da proteggere, ma è anche possibile ottenere assessment basati sulle temperature rilevate sugli elementi portanti.

4.2.3.2 Limiti di applicabilità

I risultati sono applicabili a membrane verticali identiche a quello testate (con gli stessi sistemi di fissaggio, interasse degli elementi di supporto, ecc.), purché applicate ad una distanza dall'elemento protetto uguale o superiore a quella riportate nel rapporto di valutazione (intercapedine).

Per quanto riguarda l'estensione dei risultati di prova, la classificazione basata su test effettuati su una delle solette standard proposte nel capitolo 15 della EN 13381-2 è valida nei seguenti casi:

- la resistenza al fuoco ottenuta da una prova con colonna in acciaio si applica a colonne in acciaio con un fattore di sezione inferiore a quello testato-;
- la resistenza al fuoco ottenuta da una prova con colonna in legno sarà applicabile a colonne in acciaio con qualsiasi fattore di sezione;
- la resistenza al fuoco ottenuta dalla prova su una colonna in acciaio sarà applicabile alle colonne in calcestruzzo con dimensioni della sezione trasversale pari o superiori alla colonna in acciaio sottoposta a prova;
- la resistenza al fuoco ottenuta dalla prova su una colonna cava in acciaio/composito si applica alle colonne in calcestruzzo con dimensioni della sezione trasversale pari o superiori alla colonna cava in acciaio/composito testata;
- la resistenza al fuoco ottenuta dalla prova su una colonna in legno è applicabile alle colonne in calcestruzzo con qualsiasi sezione trasversale;

- la resistenza al fuoco ottenuta dalla prova su una colonna cava in acciaio composito sarà applicabile alle colonne cave in acciaio composito con dimensioni della sezione trasversale uguali o superiori alla colonna cava in acciaio composito sottoposta a prova;
- la resistenza al fuoco ottenuta dalla prova su una colonna in legno è applicabile alle colonne composite cave in acciaio con qualsiasi sezione trasversale;
- se nella colonna di prova in calcestruzzo o in acciaio cavo riempito di calcestruzzo è stato utilizzato calcestruzzo di diverso grado di resistenza o preparato con aggregati non silicei, l'applicabilità dei risultati deve essere limitata in base alle norme EN 13381-3 e EN 13381-6, rispettivamente.

4.2.4 Norma EN 13381-4 (2013) “Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 4: Protettivi passivi applicati ad elementi di acciaio”.

4.2.4.1 Scopo

Questo documento specifica il metodo di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di protettivi antincendio passivi, applicati ad elementi di acciaio utilizzabili come travi o pilastri. La metodologia di prova consente di raccogliere dati direttamente impiegabili per il calcolo della resistenza al fuoco di strutture metalliche in conformità alle procedure delle UNI EN 1993-1-2 e UNI EN 1994-1-2.

I protettivi antincendio di tipo passivo, ovvero lastre antincendio, pannelli e intonaci isolanti, appartengono alla famiglia di protettivi che non modificano le loro caratteristiche chimico-fisiche (quale lo spessore) durante l'esposizione al fuoco.

Il documento contiene il metodo di prova dettagliato per l'esecuzione di test al fuoco su elementi in acciaio carichi e non carichi. Questo insieme di profili in acciaio, rivestiti dal protettivo in esame e riscaldati in un forno di prova rispondente ai criteri riportati nella EN 1363-1, genera una serie di dati che, opportunamente elaborati, permettono di valutare il comportamento del protettivo. Gli elementi carichi sottoposti a prova in confronto con gli stessi elementi non sottoposti al carico forniscono indicazioni sulla capacità del sistema protettivo di restare aderito e coeso per tutto il tempo di esposizione al fuoco (stickability). I test su elementi di piccole dimensioni, oltre alla risposta termica, permettono di valutare il comportamento del protettivo quando applicato su elementi in acciaio di diversa forma, ad esempio sezioni a H o I, o sezioni cave.

I dati generati vengono successivamente elaborati, secondo precise procedure indicate dalla norma stessa, chiamati metodi di assessment. Si possono utilizzare quattro metodologie (ma non metodologie diverse all'interno dello stesso assessment):

- Metodo di analisi grafica;
- Metodo di analisi delle equazioni differenziali con utilizzo del parametro λ variabile;
- Metodo di analisi delle equazioni differenziali con utilizzo del parametro λ fisso;
- Metodo di analisi della regressione numerica.

Per ogni metodo di valutazione, i risultati devono essere presentati sotto forma di spessore di protettivo applicabile ad un elemento in acciaio in funzione del suo fattore di sezione (massività), della sua temperatura critica e del tempo di resistenza al fuoco richiesto.

Per i sistemi protettivi sottoposti a test, vengono rilevati i seguenti parametri, che rappresentano quelli principali identificativi del prodotto protettivo testato:

- spessore;
- densità;
- contenuto di umidità.

I campioni utilizzati per determinare questi parametri subiscono lo stesso condizionamento dei campioni utilizzati per le prove al fuoco. I parametri rilevati, in quanto strettamente legati alle prestazioni dei protettivi, sono riportati nei rapporti di valutazione, oltre al nome commerciale del prodotto.

4.2.4.2 Limiti di applicabilità

I risultati, derivanti dalla prova e successiva elaborazione, sono applicabili a sistemi di protezione dal fuoco, dove il range di spessori minimo e massimo, il fattore di sezione dell'elemento da proteggere e la sua temperatura critica sono conformi a quanto riportato nel rapporto di valutazione (quindi nessuna estrapolazione, ad esclusione di quelle verso valori più bassi di temperatura critica e massività, mantenendo lo spessore di protettivo relativo ai valori più alti).

I risultati ottenuti su colonna possono essere applicati alle travi esposte su tutti i lati, fino allo spessore massimo del sistema di protezione sottoposto a prova.

I risultati della valutazione sono applicabili a tutti i gradi di acciaio provati e indicati nella EN 10025-1.

Per i sistemi protettivi a pannelli/lastre, la distanza dall'elemento in acciaio deve essere la seguente:

- da 5 mm fino a + 50 mm senza modifica del sistema di fissaggio utilizzato;
- in caso di distanze diverse, deve essere effettuato un nuovo test.

Per intonaci applicati a grandi sezioni, può essere necessario inserire la rete di armatura. In questo caso lo stesso sistema dovrà essere utilizzato anche durante l'applicazione in cantiere.

Nella valutazione di un rapporto di classificazione, devono essere tenuti in conto i seguenti fattori:

- a) **Orientamento:** i metodi di fissaggio dell'orientamento possono variare tra pilastri e travi;
- b) **Forma:** il sistema di fissaggio può essere differente rispetto alla forma dell'elemento;
- c) **Numero di strati:** la combinazione di strati di diverso spessore può portare ad un risultato differente rispetto allo stesso spessore provato in strato unico;
- d) **Dimensione elemento:** per elementi con ala di grande profondità potrebbe essere necessario un diverso sistema di supporto.

Il risultato della valutazione su profili aperti ad I ed H sono direttamente applicabili a profili angolari come L oppure profili con sezione a T. Per sistemi di protezione scatolare (lastre e pannelli) lo spessore necessario per proteggere profili cavi non richiede correzioni rispetto ai dati riportati nella tabella valida per profili aperti, mentre per sistemi di protezione applicati sul contorno dell'elemento, come nel caso degli intonaci isolanti, è necessario modificare lo spessore rilevato sulla tabella valida per profili ad I e H secondo la formula seguente:

per valori di A_p/V fino a 250 m^{-1} l'incremento di spessore è dato da:

$$\text{Spessore modificato} = d_p \left(1 + \frac{A_p}{1000 V} \right)$$

per valori di A_p/V maggiori di 250 m^{-1} l'incremento di spessore è dato da: $\text{Spessore modificato} = 1,25 d_p$

4.2.5 Norma EN 13381-5 (2014) “Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 5: Protezione applicata ad elementi compositi di calcestruzzo e lastre profilate di acciaio collaboranti”

4.2.5.1 Scopo

La Norma specifica il metodo di prova per la determinazione del contributo alla resistenza fuoco della protezione applicata ad elementi compositi di calcestruzzo e lastre profilate in acciaio collaboranti. Il calcestruzzo può essere alleggerito, normale o pesante.

Il metodo è applicabile a tutti i protettivi antincendio utilizzati per la protezione di tali elementi compositi strutturali o solai e include protezione tramite intonaci isolanti, pitture reattive, lastre/pannelli e sistemi di protezione multistrato o materiali compositi.

Il metodo di prova e la relativa procedura di valutazione sono concepiti per consentire l'applicazione diretta dei risultati all'interno del range di spessore minimo e massimo del protettivo sottoposti a test.

Il metodo di prova è applicabile solo ai sistemi di protezione antincendio fissati direttamente alla parte inferiore dell'elemento composito o soletta in calcestruzzo/acciaio. Sistemi di protezione antincendio in cui il materiale di protezione antincendio non è fissato direttamente all'elemento composito, determinando una cavità continua tra l'elemento composito calcestruzzo/acciaio e il sistema di protezione antincendio di dimensioni superiori a 5 mm, devono essere oggetto di prova secondo la norma EN 13381-1.

Il metodo di prova stabilisce la perdita del parametro R al raggiungimento della temperatura fissa di 350 °C registrata sulla lamiera grecata.

Nel rapporto di valutazione sono riportati i seguenti dati:

- a) la relazione tra la temperatura della lamiera, il tempo e lo spessore del protettivo antincendio (T_{cr} 350°C);
- b) lo spessore equivalente del calcestruzzo, in relazione al criterio di isolamento termico e le indicazioni per calcolarlo su elementi con dimensioni diverse da quelle testate;
- c) informazioni sull'aderenza e coesione durante l'esposizione al fuoco del sistema protettivo.

4.2.5.2 Limiti di applicabilità

I risultati ottenuti sono applicabili a solai composti calcestruzzo / lamiera grecata che possono contenere o meno barre di rinforzo strutturale.

Valgono le seguenti condizioni:

- lo spessore della lamiera grecata deve essere uguale o superiore a quello provato;
- la larghezza della nervatura della lamiera grecata deve non deve superare di 1.5 volte quella provata;
- l'altezza della nervatura della lamiera grecata deve non deve superare di 1.5 volte quella provata;
- i risultati ottenuti su lamiere grecate di tipo trapezoidale non possono essere applicati a lamiere grecate con differenti profili e viceversa;
- i risultati del test possono essere applicati a solaio con getto di calcestruzzo che presenta un range di densità compresa tra 0.85 – 1.15 di quello provato;
- i risultati del test sono applicabili a tutti i tipi di calcestruzzo, se è stato provato un calcestruzzo contenente inerti di tipo siliceo; diversamente sono validi solo per il tipo di calcestruzzo provato.

I risultati del test sono validi solo se:

- il sistema di fissaggio è lo stesso di quello provato;
- il numero di strati di protezione antincendio è uguale a quello provato.

4.2.6 Norma EN 13381-8 (2013) “Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 8: Protettivi reattivi applicati ad elementi di acciaio”.

4.2.6.1 Scopo

Questa Norma Europea specifica il metodo di prova previsto per la determinazione del contributo dato dai sistemi di protezione di tipo reattivo (quali le pitture intumescenti) alla prestazione di resistenza al fuoco degli elementi strutturali in acciaio come travi e colonne. Il risultato della valutazione su profili aperti ad I ed H sono direttamente applicabili a profili angolari come L oppure profili con sezione a T. Essa non si applica nel caso delle barre piena e aste o per elementi che presentano anima forata.

Il contributo dei protettivi applicati a profili con sezione cava di tipo circolare o scatolare deve essere valutato mediante questa norma, attraverso una prova specifica che genera un assessment specifico.

Con l'applicazione di questa norma viene coperto un intervallo di classi di prestazioni di resistenza al fuoco di elementi strutturali di acciaio, mediante l'impiego di un intervallo di spessori del materiale di protezione, di un intervallo di fattori di sezione degli elementi di acciaio, per un intervallo di temperature di progetto (non superiori a quelle critiche) di riferimento.

La norma specifica i test necessari (vari profili di forma differente trattati con spessori diversi di sistema reattivo) per determinare la capacità del sistema protettivo di rimanere inalterato e aderente agli elementi strutturali in condizione di incendio (stickability). Le informazioni sulla curva di incendio sono quelle definite nella norma EN 1363-1. È fornita anche la metodologia sperimentale per verificare il comportamento del materiale protettivo nei confronti di una curva di incendio caratterizzata da riscaldamento di tipo lento (smouldering curve). Le informazioni ottenute ed elaborate secondo i metodi indicati nella norma e riportati nel rapporto di valutazione (assessment) permettono di ottenere i parametri del sistema protettivo necessari per eseguire la progettazione delle prestazioni di resistenza al fuoco delle strutture di acciaio ed i limiti di applicabilità degli stessi.



Figura 8 - Fine della prova EN 13381-8 su elementi di acciaio tipo H

4.2.6.2 Limiti di applicabilità

Il tempo della protezione è limitato al massimo periodo sottoposto a prova o periodi inferiori.

I risultati, derivanti dalla prova e successiva elaborazione, sono applicabili a sistemi di protezione dal fuoco dove il range di spessori minimo e massimo, il fattore di sezione dell'elemento da proteggere e la sua temperatura critica sono conformi a quanto riportato nel rapporto di classificazione (quindi nessuna estrapolazione, ad esclusione di quelle verso valori più bassi di temperatura critica e massività, mantenendo lo spessore di protettivo relativo ai valori più alti).

Più precisamente, i risultati forniti dal metodo di valutazione EN 13381-8 sono validi per il sistema di protezione testato (cioè, primer + protettivo + eventuale finitura) in presenza:

- degli spessori determinati (minimo e massimo spessore di protettivo);
- dei fattori di sezione degli elementi di acciaio sottoposti a prova (non maggiori);
- delle temperature della struttura di acciaio verificate durante il test;
- tipo di sezione provata (profili aperti/ sezioni circolari cave /scatolari).

I risultati della valutazione sono applicabili a tutti i tipi di acciaio compresi in EN 10025-1.

4.2.7 Norma EN 13381-9 (2016) "Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 9: Sistemi di protezione al fuoco applicati a travi di acciaio con anima forata".

4.2.7.1 Introduzione

Le travi alveolari sono caratterizzate da fori, solitamente ma non sempre regolarmente distanziati, nell'anima. Sono prodotte con forme dell'apertura rettangolari e allungate, anche se le più comuni sono quelle circolari.

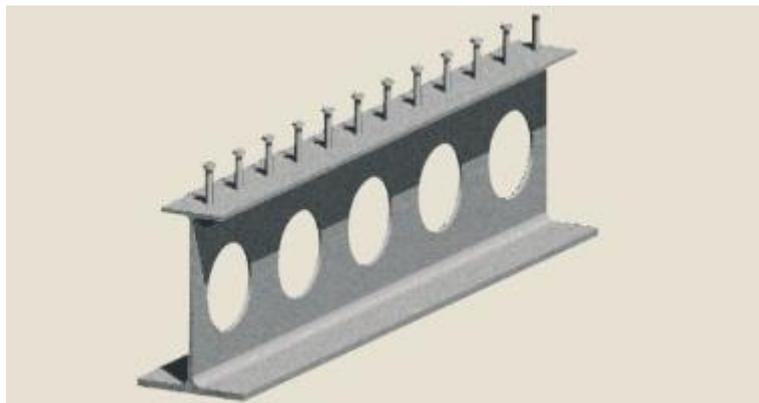


Figura 9 - Trave alveolare asimmetrica (serie ACB)

Per quanto riguarda la protezione antincendio, la caratteristica più importante è che, a differenza dei profilati laminati, che in caso di incendio di solito cedono per flessione e per i quali la temperatura più importante è in genere quella della flangia inferiore, per le travi alveolari la modalità di cedimento è generalmente l'instabilità del montante dell'anima e la temperatura di quella parte della trave è di solito la più importante. Le dimensioni del "montante dell'anima" residuo possono quindi influenzare in modo significativo le prestazioni di resistenza al fuoco della trave alveolare.

4.2.7.2 Scopo

Questa Norma Europea specifica il metodo di prova previsto per la determinazione del contributo dato dai sistemi di protezione alla prestazione di resistenza al fuoco degli elementi strutturali in acciaio (essenzialmente travi esposte su 3 o 4 lati) con profili ad I ed H contenenti aperture nell'anima, che hanno influenza sulla prestazione strutturale. L'applicabilità di questa norma ai sistemi protettivi è possibile solo se i sistemi protettivi indagati sono già stati testati e valutati in accordo alle EN 13381-4 o EN 13381-8, anche perché è necessario ricorrere alla MTA (multi-temperature analysis), derivata da una delle suddette norme, sull'anima e sulla flangia inferiore, applicata su porzioni (anima e flangia inferiore) dell'elemento strutturale (EMTA – elemental multi-temperature analysis).

La modalità di presentazione dei risultati è analoga a quella prevista per la EN 13381-4 e EN 13381-8, ossia sotto forma di tabelle, distinte per anima e flangia inferiore, in cui, fissata la classe di resistenza al fuoco, è possibile ricavare lo spessore del protettivo da applicare, conoscendo il fattore di sezione e la temperatura di progetto (inferiore a quella critica).

4.2.7.3 Limiti di applicabilità

I risultati, derivanti dall'utilizzo dei metodi di prova indicati in questa norma, sono applicabili a sistemi di protezione passiva, i cui campi di variabilità degli spessori e del fattore di sezione sono gli stessi di quelli oggetto delle prove secondo la EN 13381-4 o EN 13381-8.

Il metodo di fissaggio del sistema protettivo non può essere modificato rispetto a quello testato durante le prove. I risultati valgono per acciai con gradi differenti rispetto a quello testato, in accordo alla EN 10025-1 e secondo ulteriori indicazioni contenute nella stessa EN 13381-9; inoltre si possono utilizzare anche per travi con aperture di forma diversa da quella circolare o rettangolare, facendo riferimento a travi analoghe con aperture più ampie che le circoscrivono.

I risultati possono essere applicati sia a sezioni laminate a caldo sia a travi sagomate a freddo.

Infine, i dati termici ottenuti utilizzando i fattori di modifica della porzione di anima compresa tra due aperture si applicano a tutti gli spessori dell'anima.

4.2.8 Norma EN 13381-10 (2020) "Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 10: Protezione applicata alle barre di acciaio massiccio in tensione".

4.2.8.1 Introduzione

Il contributo alla resistenza al fuoco di protettivi antincendio applicati su colonne e travi a sezione I o H, o a sezione cava in acciaio, viene effettuata mediante le procedure di prova e valutazione descritte nella norma EN 13381-4 per i prodotti di protezione antincendio passivi (non reattivi) e nella norma EN 13381-8 per i prodotti di protezione antincendio reattivi (intumescenti).

Gli ambiti di applicazione di entrambe le norme sopra citate escludono specificamente la valutazione delle barre piene utilizzate come elementi di tensione. Il documento EN 13381-10, pertanto, fornisce procedure di prova e di valutazione supplementari rispetto a quelle indicate nelle norme EN 13381-4 e EN 13381-8 per estendere l'ambito di applicazione di un prodotto alle barre solide circolari o rettangolari utilizzate come elementi di tensione. È ugualmente applicabile ai prodotti di protezione antincendio passivi e reattivi.

4.2.8.2 Scopo

La norma specifica un metodo di prova e una procedura di valutazione per determinare il contributo dei sistemi protettivi alle prestazioni di resistenza al fuoco di barre di acciaio circolari e rettangolari utilizzate come elementi di tensione, quando tali protettivi sono già stati testati e valutati in conformità alla norma EN 13381-4 o EN 13381-8. Le prestazioni del protettivo sono determinate da prove senza carico (generalmente 9 barre con lunghezza 1.000 mm, rivestite con diversi spessori di protettivo), anche se per alcuni tipi di prodotti possono essere richieste prove aggiuntive con carico, a determinate condizioni specificate nel documento.

La procedura di valutazione viene utilizzata per stabilire le proprietà termiche del protettivo antincendio sotto forma di tabelle che mettono in relazione il tempo di raggiungimento di una determinata temperatura dell'acciaio, lo spessore del materiale antincendio e le dimensioni delle barre. Il risultato finale è restituito sotto forma di tabelle che indicano lo spessore di protettivo necessario per non superare diverse temperature (da 350°C a 700°C) su barre di acciaio di diverse dimensioni, per i tempi di resistenza al fuoco richiesti dal committente della prova. È possibile interpolare i risultati per barre di dimensioni comprese fra quelle testate.

4.2.8.3 Limite di applicabilità

Il metodo di prova è applicabile a tutti i protettivi antincendio utilizzati per la protezione di barre solide fino a un diametro massimo di 130 mm. Nel caso di barre rettangolari, la lunghezza massima del lato è limitata a 130 mm con un rapporto massimo di 2:1 rispetto alla lunghezza del lato più corto.

Sono previste prove con orientamento sia verticale che orizzontale. I risultati delle barre orientate orizzontalmente possono essere applicati a qualsiasi orientamento, mentre i risultati delle barre orientate verticalmente sono utilizzati per le barre orizzontali solo se i dati sono stati corretti in conformità con quanto riportato nell'Allegato C, utilizzando un fattore di correzione determinato da una serie limitata di test comparativi con barre orizzontali

5. IL PROGETTO DELLE STRUTTURE DI ACCIAIO PROTETTE

5.1 Introduzione

La prestazione di resistenza al fuoco dipende da alcuni parametri del progetto degli elementi strutturali di acciaio protetti, che sono:

- il fattore di sezione;
- la temperatura critica.

5.2 Il fattore di sezione degli elementi di acciaio

Il fattore di sezione è una caratteristica della sezione dell'elemento di acciaio che influenza il riscaldamento che la sezione raggiungerà durante l'esposizione al fuoco. Nel caso di una sezione aperta, una sezione scatolare o una sezione composta acciaio-calcestruzzo, il fattore di sezione dell'elemento è definito in EN 1993-1-2 come la superficie dell'elemento per unità di lunghezza (A_m) divisa per il volume per unità di lunghezza (V). Esso è quindi misurato in unità di m^{-1} .

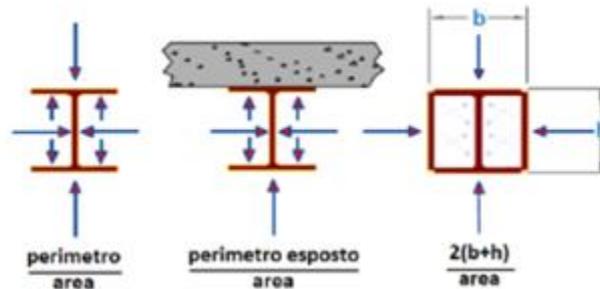


Figura 10 – Determinazione del fattore di sezione di elementi di acciaio non protetti

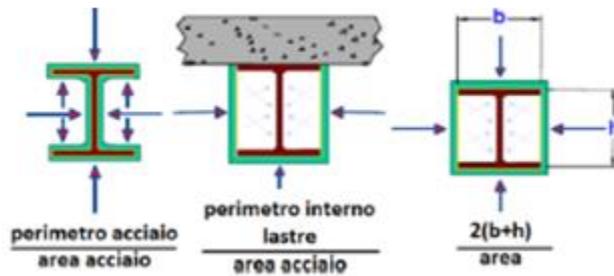


Figura 11 – Determinazione del fattore di elementi di acciaio

Nella Figura seguente è rappresentato il riscaldamento di elementi di acciaio esposti alla curva di incendio nominale ISO 834 al variare del fattore di sezione (tra 50 e 250 m⁻¹).

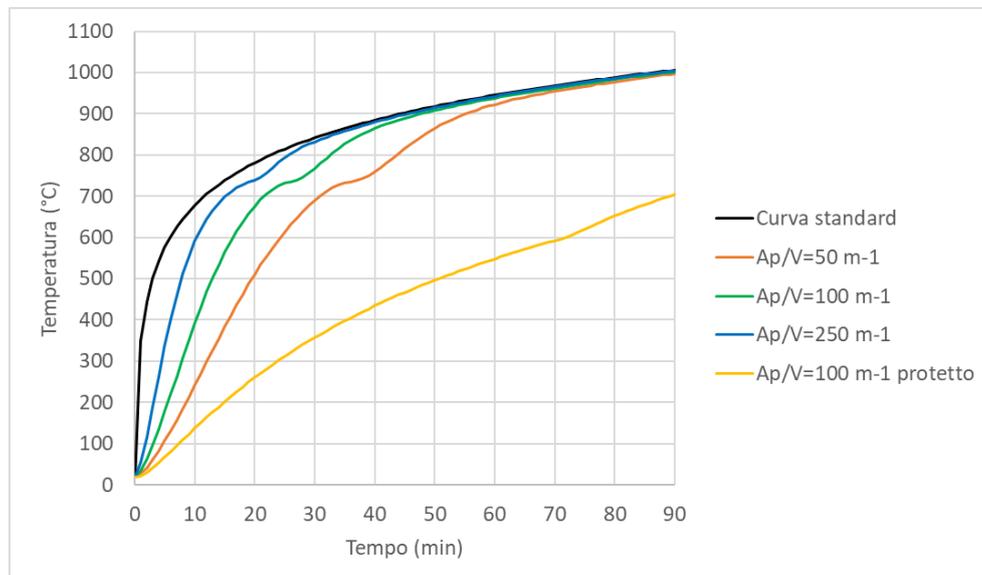


Figura 12 – Influenza del fattore di sezione sulla temperatura di elementi di acciaio, non protetti e protetti

È da tenere presente che, nel caso delle sezioni protette, non è previsto l'uso del coefficiente per effetto ombra (shadow effect) riportato in EN 1993-1-2 nei criteri di verifica validi per le sezioni di acciaio non protette.

5.3 La temperatura critica degli elementi di acciaio

5.3.1 Introduzione

Nell'ambito della valutazione della resistenza al fuoco di soluzioni conformi, la temperatura critica di un singolo elemento rappresenta la massima temperatura raggiunta dall'elemento prima della perdita della capacità portante quando esso, in presenza delle azioni meccaniche previste per la condizione di incendio, è esposto all'incendio nominale di progetto.

Una procedura generale per la valutazione della capacità portante di singoli elementi di strutture di acciaio in condizioni di incendio può essere così delineata:

- determinazione delle azioni meccaniche in condizioni di incendio;
- applicazione di uno dei metodi di calcolo disponibili per il singolo elemento, schematizzato con i vincoli corrispondenti allo schema strutturale e soggetto alle sollecitazioni in caso di incendio, tenendo presente il pertinente campo di applicazione;
- analisi di aspetti specifici del caso trattato, come ad esempio la verifica dei collegamenti tra differenti elementi strutturali o l'analisi di particolari dettagli costruttivi che non sono compresi nei metodi di calcolo generali applicati.

5.3.2 Le azioni meccaniche in caso di incendio

In situazione di incendio, i carichi meccanici applicati alle strutture sono determinati facendo riferimento alla combinazione eccezionale dei carichi prevista nel D.M. 17/01/2018 [9]. Essi sono determinati mediante la seguente formula:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{22} \cdot Q_{k1} + \dots$$

dove:

G_1 e G_2 valore caratteristico delle azioni permanenti;

P presollecitazione;

A_d azioni eccezionali;

ψ_{22} coefficiente di combinazione per i valori quasi permanenti delle azioni variabili;

Q_{k1} valore caratteristico dell'azione principale variabile;

ψ_{2i} coefficiente di combinazione per i valori quasi permanenti delle altre azioni variabili;

Q_{ki} valori caratteristici delle azioni variabili secondarie.

I valori raccomandati dei coefficienti di combinazione sono riportati nella tabella seguente, tratta dalle Norme tecniche per le costruzioni, DM 17-01-18.

Le prestazioni di resistenza al fuoco delle strutture di acciaio protette

(A. Marino, E. Nigro, S. Pustorino)

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tabella 2 - Valori dei coefficienti di combinazione [9]

5.3.3 Metodi di calcolo e progettuali

5.3.3.1 Introduzione

I metodi di calcolo e progettuali previsti per la determinazione della capacità portante in caso di incendio sono i seguenti:

- metodo tabellare;
- metodi semplificati;
- metodi avanzati.

5.3.3.2 Dati tabellati

Le tabelle sono definite facendo riferimento ad uno specifico livello di carico e sono utilizzabili nell'ambito di analisi di strutture con esposizione all'incendio standard ISO 834, quindi per la progettazione delle soluzioni conformi.

Sono disponibili tabelle per elementi composti acciaio-calcestruzzo (si veda [15], paragrafo 5.4.3.2), non per elementi di acciaio. Tali dati tabellati rientrano nel metodo analitico di cui al D.M. 16/02/2007 o al Codice di Prevenzione Incendi.

5.3.3.3 Metodi di calcolo semplificato

5.3.3.3.1 Introduzione

I metodi di calcolo semplificato si basano su ipotesi conservative applicabili a singoli elementi.

Solitamente essi sono definiti sotto l'ipotesi di una temperatura uniforme dell'acciaio nella sezione trasversale e introducendo la modifica della resistenza di progetto definita per la progettazione a temperatura ordinaria, in modo da tenere conto delle proprietà meccaniche dell'acciaio ridotte ad elevate temperature.

Questi metodi sono disponibili sia per elementi di acciaio che per elementi composti acciaio-calcestruzzo.

La verifica è effettuata confrontando le caratteristiche della sollecitazione agenti con le corrispondenti caratteristiche resistenti degli elementi, entrambe valutate nella situazione di incendio:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$$

dove:

$E_{fi,d}$ è l'effetto di progetto delle azioni nella situazione di incendio;

$R_{fi,d,t}$ è la corrispondente resistenza di progetto dell'elemento di acciaio, nella situazione di incendio, al tempo t .

5.3.3.3.2 Classificazione delle sezioni di acciaio

Le sezioni di acciaio sufficientemente tozze sono in grado di sopportare una significativa rotazione o compressione senza deformazioni locali e possono sviluppare la completa plasticizzazione della sezione. Al contrario, nelle sezioni troppo sottili si determinano grandi deformazioni locali in presenza di livelli di carico inferiori al limite di elasticità della sezione. Per tenere conto di questi comportamenti degli elementi strutturali di acciaio sono individuate 4 classi di duttilità, 1, 2, 3, 4, definite sulla base della snellezza delle varie parti di cui è composta la sezione, secondo i criteri previsti dalla norma UNI EN 1993-1-2 [14]. In particolare, quelle di classe 4 sono sezioni trasversali per le quali è necessario mettere esplicitamente in conto gli effetti dell'instabilità locale nel determinare le loro prestazioni resistenti, sia in termini di momento resistente che di resistenza a compressione. Per queste sezioni la normativa vigente richiede specifici criteri di verifica delle prestazioni di resistenza al fuoco, come di seguito indicato.

5.3.3.3.3 Metodi di verifica

La norma di riferimento per la progettazione della resistenza al fuoco delle strutture di acciaio:

- UNI EN 1993-1-2 [14] riporta i criteri di verifica separatamente per le sezioni di classe di duttilità 1, 2 e 3 e per quelle di classe 4.

Per quanto riguarda le strutture composte acciaio-clc, la norma:

- UNI EN1994-1-2 [15] comprende anche i metodi di verifica della resistenza al fuoco per alcuni casi tipici di colonne, di travi e di solette.

Elementi con sezione di classe 1,2,3.

In generale le procedure utilizzate per calcolare la resistenza di progetto delle membrature in caso di incendio sono uguali a quelle utilizzate per la verifica agli stati limite ultimi a temperatura ordinaria, modificate per tenere conto che le proprietà meccaniche dell'acciaio sono differenti a causa delle variazioni di temperatura.

Nella norma EN 1993-1-2 [14], paragrafo 4.2.3, sono riportate le formule da utilizzare per il calcolo della resistenza in condizioni di incendio di elementi soggetti a differenti tipi di sollecitazione:

- aste tese (par. 4.2.3.1);
- aste compresse di classe di duttilità 1, 2, e 3 (par. 4.2.3.2);
- aste inflesse di classe di duttilità 1 e 2 (par. 4.2.3.3);
- aste inflesse di classe di duttilità 3 (par. 4.2.3.4);
- aste presso-inflesse di classe di duttilità 1, 2, e 3 (par. 4.2.3.5).

Inoltre, sono riportate:

- le formule per la verifica a taglio delle sezioni in condizioni di incendio (par. 4.2.3.3 e 4.2.3.4);
- le formule per tenere conto dei possibili fenomeni di instabilità a flessione e a flessione-torsione in condizioni di incendio (par. 4.2.3.2, 4.2.3.3 e 4.2.3.4).

Elementi con sezione di classe 4

Gli elementi di acciaio aventi sezione di classe 4, soggetti a sollecitazioni differenti dalla trazione, devono essere sottoposti a verifiche specifiche nei confronti di possibili instabilità locali.

Gli elementi soggetti a trazione sono analizzati con i metodi validi per le sezioni di classe 1,2,3.

Il metodo di calcolo semplificato è basato sulla seguente ipotesi:

- la temperatura critica delle sezioni di classe di duttilità 4 è assunta pari a 350°C.

Tale metodo è confermato nell'Appendice nazionale [17].

In alternativa è possibile procedere con un calcolo più preciso, nettamente più complesso, sulla base di una specifica procedura descritta nella norma EN 1993-1-2, Appendice E [14].

Metodo della temperatura critica

Il metodo della temperatura critica, riportato nella norma EN 1993-1-2 [14], paragrafo 4.2.4, è un metodo semplificato di verifica della capacità portante in condizioni di incendio, definito utilizzando una distribuzione di temperatura uniforme nella sezione di acciaio, in cui la verifica è effettuata nel dominio della temperatura.

Esso è valido per elementi strutturali aventi sezione di acciaio riscaldata uniformemente.

Questo metodo permette di determinare la temperatura critica dell'elemento strutturale sulla base del livello di carico agente, espresso per mezzo del fattore di utilizzazione μ_0 :

$$\theta_{cr} = 39.19 \ln \left[\frac{1}{0.9674 \cdot \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482$$

dove:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}} \quad \text{è il fattore di utilizzazione;}$$

$E_{fi,d}$ è l'effetto di progetto delle azioni nella situazione di incendio, secondo EN 1991-1-2[12], integrato dal rispettivo NAD [17];

$R_{fi,d,0}$ è la resistenza di progetto dell'elemento nella situazione di incendio, al tempo $t=0$.

La validità del metodo è limitata ai casi in cui si verificano tutte le seguenti condizioni:

- casi in cui gli effetti delle deformazioni sulla stabilità dell'elemento strutturale sono trascurabili;
- casi in cui i fenomeni di instabilità sono trascurabili;
- casi in cui non sono presenti sezioni di classe di duttilità 4.

5.3.3.4 metodi di calcolo avanzato

I metodi di calcolo avanzato consentono di analizzare il comportamento delle strutture soggette a incendi naturali di progetto in assenza di sistemi protettivi. La loro applicazione è generalmente rivolta alla verifica delle soluzioni alternative, mentre è poco significativa nel caso delle soluzioni conformi.

5.4 Determinazione dello spessore minimo del sistema protettivo

La determinazione dello spessore minimo del sistema protettivo, per verificare la classe di resistenza al fuoco richiesta in fase di progetto, avviene quindi sulla base dei seguenti parametri:

- 1) fattore di sezione dell'elemento di acciaio (6.2);
- 2) classe di duttilità dell'elemento di acciaio nella condizione di incendio (se classe 4, il successivo punto 3 è già determinato, pari a 350°C) (6.3.3.2);
- 3) temperatura critica dell'elemento di acciaio (6.3).

Tale determinazione si effettua sulla base del rapporto di valutazione del sistema di protezione selezionato, per la classe di resistenza al fuoco richiesta individuata in fase di progetto. In Tabella 3, a titolo di esempio, è riportata una tabella tratta dal rapporto di valutazione EN 13381-8 per una pittura intumescente.

Section Factor up to m ⁻¹	Thickness (mm) Required for a Design Temperature of									
	350°C	400°C	450°C	470°C	500°C	550°C	600°C	650°C	700°C	750°C
75	-	-	0.894	0.820	0.710	0.642	0.584	0.520	0.432	0.344
80	-	-	0.894	0.820	0.730	0.660	0.599	0.529	0.435	0.349
85	-	-	0.894	0.820	0.749	0.678	0.615	0.538	0.439	0.353
90	-	-	0.894	0.820	0.769	0.695	0.631	0.547	0.442	0.358
95	-	-	0.894	0.840	0.788	0.713	0.647	0.556	0.446	0.363
100	-	-	0.894	0.860	0.808	0.731	0.663	0.565	0.449	0.367
105	-	-	0.894	0.880	0.827	0.749	0.678	0.574	0.453	0.372
110	-	-	0.894	0.900	0.846	0.766	0.694	0.588	0.456	0.377
115	-	-	0.932	0.920	0.866	0.784	0.710	0.603	0.460	0.381
120	-	-	0.970	0.940	0.885	0.802	0.726	0.618	0.463	0.386
125	-	-	1.008	0.960	0.905	0.820	0.741	0.634	0.467	0.390
130	-	-	1.046	0.980	0.924	0.838	0.757	0.649	0.470	0.395
135	-	-	1.085	1.009	0.944	0.855	0.773	0.664	0.474	0.400
140	-	-	1.123	1.042	0.963	0.873	0.789	0.679	0.477	0.404
145	-	-	1.161	1.075	0.983	0.891	0.804	0.695	0.481	0.409
150	-	-	1.199	1.108	1.008	0.909	0.820	0.710	0.484	0.414
155	-	-	1.237	1.140	1.035	0.926	0.836	0.725	0.488	0.418
160	-	-	1.275	1.173	1.062	0.944	0.852	0.740	0.491	0.423
165	-	-	1.313	1.206	1.089	0.962	0.867	0.756	0.494	0.428
170	-	-	-	1.239	1.116	0.980	0.883	0.771	0.498	0.432
175	-	-	-	1.272	1.142	0.999	0.899	0.786	0.501	0.437
180	-	-	-	1.305	1.169	1.018	0.915	0.801	0.505	0.442
185	-	-	-	-	1.196	1.037	0.930	0.817	0.508	0.446
190	-	-	-	-	1.223	1.057	0.946	0.832	0.512	0.451
195	-	-	-	-	1.250	1.076	0.962	0.847	0.515	0.456
200	-	-	-	-	1.276	1.095	0.978	0.862	0.519	0.460
205	-	-	-	-	1.303	1.115	0.995	0.878	0.522	0.465
210	-	-	-	-	1.330	1.134	1.013	0.893	0.526	0.470
215	-	-	-	-	-	1.153	1.032	0.908	0.529	0.474
220	-	-	-	-	-	1.173	1.050	0.923	0.533	0.479
225	-	-	-	-	-	1.192	1.069	0.939	0.536	0.484
230	-	-	-	-	-	1.211	1.087	0.954	0.540	0.488
235	-	-	-	-	-	1.231	1.106	0.969	0.543	0.493
240	-	-	-	-	-	1.250	1.124	0.984	0.547	0.498
245	-	-	-	-	-	1.269	1.143	1.003	0.550	0.502
250	-	-	-	-	-	1.288	1.161	1.021	0.554	0.507
255	-	-	-	-	-	1.308	1.179	1.040	0.557	0.512
260	-	-	-	-	-	1.327	1.198	1.058	0.560	0.516
265	-	-	-	-	-	-	1.216	1.077	0.564	0.521
270	-	-	-	-	-	-	1.235	1.095	0.567	0.526
275	-	-	-	-	-	-	1.253	1.113	0.571	0.530
280	-	-	-	-	-	-	1.272	1.132	0.576	0.535
285	-	-	-	-	-	-	1.290	1.150	0.998	0.540
290	-	-	-	-	-	-	1.309	1.169	1.015	0.544
295	-	-	-	-	-	-	1.327	1.187	1.033	0.549
300	-	-	-	-	-	-	-	1.206	1.051	0.554
305	-	-	-	-	-	-	-	1.224	1.068	0.558

Tabella 3 - Tabella tratta dal rapporto di valutazione EN 13381-8 per una pittura intumescente

6. IL CONTROLLO

6.1 Il controllo in opera

Un aspetto importante della certificazione delle strutture di acciaio protette è il controllo del ciclo di applicazione e degli spessori applicati del sistema protettivo, che devono essere coerenti con quanto previsto in fase di progettazione.

A questo scopo sono disponibili specifiche norme UNI che forniscono i criteri per eseguire una limitata serie di verifiche e controlli, sufficiente per verificare la conformità della posa. In particolare, sono disponibili le seguenti norme:

- UNI 10898-1 Modalità di controllo dell'applicazione - Sistemi intumescenti;
- UNI 10898-2 Modalità di controllo dell'applicazione - Sistemi in lastre;
- UNI 10898-3 Modalità di controllo dell'applicazione - Sistemi isolanti spruzzati.

Evidenziando quanto sia importante distinguere i compiti e le responsabilità della ditta applicatrice del sistema protettivo dai controlli spettanti al progettista responsabile ai fini della certificazione della soluzione progettuale protetta, di seguito si richiamano alcune utili indicazioni riportate nelle suddette norme riguardanti quest'ultimo aspetto:

- 1) è segnalata l'importanza di un controllo documentale, cioè la verifica della corrispondenza fra i parametri identificativi del protettivo antincendio in opera e quelli contenuti nella scheda tecnica emessa dal produttore;
- 2) sono indicate alcune procedure e metodologie per verificare i principali dati di progetto della soluzione protetta, come il ciclo di applicazione e gli spessori del sistema protettivo posati in opera.

Le procedure e le metodologie prevedono una serie di controlli specifici su elementi tipo (insieme omogeneo di elementi costruttivi, caratterizzati dalla medesima forma e geometria e costituiti da materiali da costruzione della stessa natura), da eseguirsi in specifici punti indicati nelle appendici delle tre norme. Il numero di elementi tipo da controllare è funzione della superficie totale degli elementi protetti.

Numero, posizione e tipologie delle verifiche variano in funzione del tipo di protettivo applicato:

- per le pitture intumescenti è indicato il controllo del ciclo di applicazione del sistema protettivo, comprendente la qualità dei prodotti previsti in fase di progettazione, la procedura di verifica degli spessori di diversi componenti del ciclo di applicazione e una serie di controlli visivi;
- per le lastre sono indicate verifiche dello spessore e degli eventuali strati aggiuntivi di materiale coibente,
- per gli spruzzati sono indicati il controllo del ciclo di applicazione del sistema protettivo, comprendente la qualità dei prodotti previsti in fase di progettazione, la verifica degli spessori e della massa volumica del prodotto applicato ed essiccato, con un metodo specifico riportato nella norma, e una serie di controlli visivi.

6.2 Il controllo dell'efficienza nel tempo dei rivestimenti protettivi

Le verifiche ed i controlli della sicurezza antincendio (si veda ad esempio il Mod.Pin asseverazione da allegare al previsto rinnovo periodico) prevedono la verifica dell'efficienza dei sistemi protettivi durante l'esercizio delle attività. Tenendo conto dei valori della vita utile di progetto di una nuova costruzione, minimo 50 anni (vedi Norme tecniche per le costruzioni [9]), e i valori della durabilità delle prestazioni di alcuni sistemi protettivi, ad esempio le pitture intumescenti, è utile segnalare l'importanza del progetto e dell'installazione in fase di esecuzione dei rivestimenti protettivi di un sufficiente numero di cosiddetti campioni di sacrificio, in modo tale da consentire la verifica dell'efficienza della protezione installata durante la vita utile dell'edificio.

7 IL CERT.REI NELLA SCIA ANTINCENDIO

Un elemento in acciaio protetto deve essere certificato, all'atto di presentazione della SCIA ex art. 4 del D.P.R. 151/2011 e s.m.i., utilizzando:

- modello CERT.REI per la certificazione di resistenza al fuoco dell'elemento completo del protettivo, per come realizzato e riscontrato in opera, indicando nell'elenco allegato la relazione di calcolo per la determinazione dello spessore di protettivo, l'individuazione su tavole grafiche di ogni elemento certificato, la tipologia e lo spessore di protettivo posato in opera ed il rapporto di valutazione del protettivo stesso;
- modello DICH.PROD relativo al solo protettivo, al fine di dichiarare che lo stesso, una volta giunto in cantiere, ha le prestazioni minime previste nel progetto approvato, è stato correttamente posato in opera (secondo le indicazioni del produttore e del rapporto di valutazione) e che quanto riscontrato in opera corrisponde a quanto dichiarato nella documentazione progettuale; nell'elenco allegati non possono mancare il rapporto di valutazione del protettivo, la dichiarazione di corretta posa in opera secondo le indicazioni del produttore e del suddetto rapporto di valutazione e le tavole grafiche con l'indicazione della posizione nell'opera del protettivo.

Tali documentazioni vanno prodotte da un professionista antincendio per ciascun elemento componente l'opera o le opere da costruzione in cui è ospitata l'attività.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano Marco Antonelli e Claudio Traverso, componenti di apposito GL UNI, per il contributo fornito alla redazione dei paragrafi: 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6, 4.2.8, 7.2.1.

BIBLIOGRAFIA

- [1] d.P.R. n. 151 del 01/08/2011 "Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4 -quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122"
- [2] Regolamento (UE) N. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 9 marzo 2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio;
- [3] Norme tecniche di prevenzione incendi - Regola tecnica orizzontale, DM Interno 03/08/2015;
- [4] DM Interno 12/04/2019, Modifiche al decreto 3 agosto 2015, recante l'approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139;
- [5] DM Interno 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 decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139»;
- [6] DM Interno 14/02/2020, "Aggiornamento della sezione V dell'allegato 1 al decreto 3 agosto 2015, concernente l'approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi";
- [7] DM Interno 24/11/2021, Modifiche all'allegato 1 del decreto del Ministero dell'Interno del 3 agosto 2015, concernente l'approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi;
- [8] Nota DCPREV prot. N. 9962 del 24/07/2020, "Decreto 3 agosto 2015 e s.m.i. – Capitolo S.2 – Implementazione di soluzioni alternative di resistenza al fuoco. Chiarimenti e indirizzi applicativi";
- [9] Norme tecniche per le costruzioni - DM Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018;
- [10] UNI EN 1990:2014, Eurocodice: Criteri generali di progettazione strutturale;
- [11] UNI EN 1991-1-2, Eurocodice 1: Azioni sulle strutture – Parte 1-2: Azioni generali -Azioni sulle strutture esposte al fuoco", 2005;
- [12] UNI EN 1991-1-2 (Final draft PT SC1.T1, CEN TC250, ottobre 2017), Eurocodice 1: Azioni sulle strutture – Parte 1-2: Azioni generali -Azioni sulle strutture esposte al fuoco", 2017;
- [13] UNI EN 1992-1-2, Eurocodice 2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio;
- [14] UNI EN 1993-1-2, Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio;
- [15] UNI EN 1994-1-2, Eurocodice 4: Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio;
- [16] UNI EN 1995-1-2, Eurocodice 5: Progettazione delle strutture di legno - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio;
- [17] Appendici Nazionali EN 1990, EN 1991-1-2, EN 1993-1-2, EN 1994-1-2, EN 1995-1-2, Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 31 luglio 2012, Gazzetta Ufficiale del 27 marzo 2013;
- [18] UNI EN 13381-1:2020 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Parte 1: Membrane di protezione orizzontali
- [19] UNI EN 13381-2:2014 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali - Parte 2: Membrane di protezione verticali
- [20] UNI EN 13381-4:2013 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 4: Protettivi passivi applicati ad elementi di acciaio;
- [21] UNI EN 13381-5:2014 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 5: Protezione applicata ad elementi compositi di calcestruzzo/lastre profilate di acciaio;
- [22] UNI EN 13381-8:2013 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 8: Protettivi reattivi applicati ad elementi di acciaio;
- [23] UNI EN 13381-9:2016 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 9: Sistemi di protezione al fuoco applicati a travi di acciaio con anima forata;
- [24] UNI EN 13381-10:2020 Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali – Parte 10: Protezione applicata alle barre di acciaio massiccio in tensione.

In copertina: TETRA PAK RESEARCH HUB (MO)

Progetto Architettonico: Michele Zini, Claudia Zoboli, Sara Michelini, Alberto De Giovanni, Sara Callioni, Maurizio Forghier

© F.Ili Gelmini srl