

**STRUCTURAL FIRE SAFETY OF EXISTING STEEL BUILDINGS:  
POSSIBLE GENERAL APPROACH AND APPLICATION TO THE  
CASE OF INTUMESCENT COATINGS.**

**SICUREZZA STRUTTURALE IN CASO DI INCENDIO DI EDIFICI  
ESISTENTI IN ACCIAIO: UN POSSIBILE APPROCCIO GENERALE  
E APPLICAZIONE AL CASO DELLE VERNICI INTUMESCENTI.**

Donatella de Silva,  
Antonio Bilotta,  
Emidio Nigro,

Università di Napoli Federico II  
Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura  
Napoli, Italia

donatella.desilva@unina.it, antonio.bilotta@unina.it, emidio.nigro@unina.it

**ABSTRACT**

The fire safety of the existing structures is very important from the socio-economic point of view and has high social impact for civil, industrial, and commercial buildings. The control of the minimum fire resistance of civil structures is done through some regulations, drafted to ensure occupant and rescue teams safety as well as a limited structural damage. When this fire resistance is not enough high, we have to protect the steel structures.

The most common fire protections (e.g. intumescent coatings, board based systems, sprayed fire protection systems and also concrete encasement or filling) reduce the heating during a fire. Intumescent coating are often used on exposed steel structures, since the structural, aesthetic, and architectural value of the structural objects remains preserved. Indeed, intumescent coatings normally form a protective layer on the surface. When exposed to fire or excessive heat, the protective layer will resist and absorb heat, thus protecting the structural member from damage or deformation. Volume expansion and density reduction takes place when temperature starts to rise. In order to perform rigorous and realistic analyses on protected steel members, thermal properties of all materials, including intumescent coatings, have to be known. Nevertheless, especially for existing buildings, the thermal characterization of these systems is not available and therefore experimental tests at high temperature should be performed. Recently, an experimental program was performed to characterize the fire behavior of intumescent coatings applied on an existing 80's steel building. The most significant results are shown to highlight the practical significance of the experimental research, regarding thickness measures, adhesion tests and tests in furnace.

## SOMMARIO

La sicurezza in condizioni d'incendio delle strutture esistenti è una tematica di forte interesse socio-economico e di elevato impatto sociale sia per edifici a destinazione industriale e commerciale, che per edifici ad uso civile. La verifica dei requisiti minimi di resistenza al fuoco di manufatti di ingegneria civile si effettua attraverso il rispetto di normative cogenti, predisposte al fine di garantire, in condizioni di incendio, la sicurezza degli occupanti e delle squadre di soccorso nonché l'assenza di collasso strutturale o un danneggiamento strutturale limitato. Quando tale resistenza non è abbastanza elevata, è necessario proteggere dall'incendio le strutture in acciaio.

Le protezioni al fuoco più comuni (vernici intumescenti, lastre, carter, intonaci a spruzzo e anche calcestruzzo nelle sezioni composte) riducono il riscaldamento durante l'incendio. Le vernici intumescenti sono spesso scelte per valenza non solo strutturale, bensì anche architettonica ed estetica. La vernice intumescente quando esposta alle elevate temperature aumenta di volume, assorbendo calore e formando uno strato protettivo. All'aumento di volume corrisponde una riduzione di densità. Per eseguire analisi con modelli di calcolo avanzati, al fine di valutare la resistenza al fuoco di elementi strutturali protetti, è necessario conoscere le caratteristiche termiche dei materiali che lo costituiscono, compresi i protettivi.

Nel caso di edifici esistenti, è rara la disponibilità di una caratterizzazione termica dei sistemi di protezione passiva e quindi è opportuno eseguire prove sperimentali.

Recentemente sono state svolte prove sperimentali con lo scopo di caratterizzare il comportamento al fuoco di una vernice intumescente esistente applicate su una struttura risalente agli anni 80. Si riportano i risultati più significativi, con lo scopo di evidenziare il significato pratico della campagna sperimentale che ha riguardato: misure di spessore, prove di adesione e prove in forno.

## 1 INTRODUZIONE

Al fine di limitare i rischi derivanti dagli incendi, le costruzioni devono essere progettate e realizzate in modo tale da garantire la resistenza e la stabilità degli elementi portanti e limitare la propagazione del fuoco e dei fumi secondo quanto previsto dalle normative antincendio vigenti.

Le prestazioni di resistenza al fuoco richieste alle strutture sono attualmente modulate nelle normative in V livelli prestazionali al fine di garantire che il possibile danneggiamento strutturale non abbia conseguenze inaccettabili per l'incolumità degli occupanti e delle squadre di soccorso. Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008 [1]), indicano le modalità di verifica delle strutture in caso di incendio, in accordo con quanto previsto dagli Eurocodici per le nuove costruzioni, e rimandano ai Decreti del Ministero dell'Interno del 2007 [2] per gli adempimenti tecnico-amministrativi necessari in caso di attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco in base al DPR 151/2011. Le NTC 2008 non forniscono indicazioni specifiche per la valutazione della vulnerabilità strutturale degli edifici esistenti in condizioni di incendio. Ad esempio, per i coefficienti parziali di sicurezza, da adottare per i materiali costruttivi in funzione del livello di conoscenza acquisito, è possibile fare riferimento ad indicazioni generali che non sempre riescono a tener conto di tutte le variabili che intervengono nelle verifiche di sicurezza strutturale in caso di incendio. Utile esempio di approccio differenziato alla verifica strutturale tra edifici di nuova realizzazione ed edifici esistenti è fornito dalla vigente normativa in materia di progettazione antisismica. Nella circolare esplicativa delle NTC 2008 [3] si definiscono, a tale riguardo, le informazioni necessarie per condurre le analisi di vulnerabilità sismica da ottenere a partire da:

- documenti di progetto o eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione;
- dati derivanti da un rilievo strutturale;
- risultati di prove condotte direttamente su elementi strutturali (prove *in situ*);
- risultati di prove condotte in laboratorio su campioni prelevati dalla struttura.

Inoltre, sono definite le tipologie di prove necessarie per la caratterizzazione meccanica dei materiali, cui sono associate quantità minime per ottenere un certo livello di approfondimento dell'indagine sulla struttura in esame (livello di conoscenza). Sulla base di tale livello di conoscenza, sono infine individuate le metodologie di analisi e i fattori parziali di sicurezza da utilizzare nelle analisi per le proprietà dei materiali. L'impostazione della Circolare per le verifiche di vulnerabilità sismica può dunque rappresentare un utile riferimento per la definizione di una procedura di valutazione della sicurezza strutturale in condizioni di incendio di edifici esistenti.

## 2 POSSIBILI CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EDIFICI ESISTENTI

Per la valutazione della vulnerabilità di edifici esistenti in caso di incendio, non esistendo al momento una definizione unificata dell'approccio e delle procedure da utilizzare, appare naturale far riferimento ai metodi già previsti nei codici per gli edifici nuovi. Nell'attuale quadro normativo sono previsti l'approccio prescrittivo e quello prestazionale. Il primo prevede una serie di regole e prescrizioni da rispettare qualora si voglia garantire una prefissata resistenza con immediatezza e semplicità di calcolo (metodi tabellari, sperimentali ed analitici); inoltre, la curva di temperatura di riferimento è quella standard (ISO834 [4]). Il secondo approccio è basato su un'analisi più dettagliata del fenomeno incendio, con adozione di curve di incendio naturali, a cui abbinare procedure di calcolo più sofisticate (metodi avanzati) per la modellazione strutturale termo-meccanica. Pertanto, la scelta del metodo di verifica per gli edifici esistenti deve influire sul livello di conoscenza delle caratteristiche geometriche e delle proprietà termo-meccaniche dei materiali costituenti la struttura in esame: in sostanza, c'è una forte correlazione tra il metodo di verifica e l'entità delle informazioni che è necessario ottenere da documentazione cartacea e digitale di progetto, certificazione e manutenzione, ovvero da risultati di prove *in situ* e/o in laboratorio. A metodi prescrittivi corrisponde un livello di approfondimento inferiore rispetto ai metodi prestazionali. Per le analisi di valutazione della resistenza al fuoco, come per le analisi di valutazione della capacità statica e sismica, è necessario anzitutto caratterizzare i materiali strutturali, ovvero l'acciaio da carpenteria, il calcestruzzo che spesso coadiuva l'acciaio strutturale nei sistemi composti e non, e le armature generalmente presenti nel calcestruzzo stesso. In aggiunta, è necessario caratterizzare dal punto di vista termo-meccanico i materiali strutturali e definire la presenza e l'efficacia degli eventuali sistemi di protezione antincendio presenti, siano essi di tipo reattivo o passivo. Pertanto, integrando l'impostazione generale suggerita dalle NTC 2008 per la valutazione della sicurezza di edifici esistenti con ulteriori specifiche inerenti le verifiche di strutture soggette ad incendio, scaturisce un approccio per la valutazione di edifici esistenti in caso di incendio che può essere declinato nel modo seguente. Le Tabelle 1 e 2 riassumono poi le indicazioni sulla caratterizzazione delle strutture, dei materiali strutturali e dei protettivi mediante certificazioni disponibili e prove *in situ* o di laboratorio. È possibile svolgere un'analisi semplificata (ad esempio mediante l'approccio prescrittivo con metodo tabellare) se si ha una conoscenza base dei dettagli strutturali: qualora essi fossero incompleti, è necessario integrarli con limitate verifiche in situ (per limitate si intende almeno il 15% degli elementi). Se invece sono a disposizione tutti i dettagli costruttivi, basta un rilievo visivo a campione per verificarne la compatibilità.

Per un'analisi avanzata (approccio prestazionale) è ovviamente necessario avere una conoscenza più completa e più ampia della struttura. Se sono disponibili i dettagli strutturali in modo completo, è sufficiente svolgere limitate verifiche in situ (per limitate si intende che la geometria e le caratteristiche dei collegamenti siano verificate per almeno il 15% degli elementi). In caso contrario è necessario svolgere estese verifiche in situ (per estese si intende un limite inferiore pari al 35% degli elementi).

Per le proprietà meccaniche dei materiali costruttivi è possibile fare riferimento alle specifiche originali di progetto ed ai certificati di prova originali integrate con limitate prove in situ (1 provino di acciaio per piano dell'edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio, 1

prova distruttiva o più prove non distruttive per il calcestruzzo). In assenza di certificazioni, è necessario svolgere estese prove in situ (2 provini di acciaio per piano dell'edificio, 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio, 2 prova distruttive o più prove non distruttive per il calcestruzzo).

**Tabella 1.** Definizione della geometria e caratterizzazione dei materiali.

Metodi di analisi	Geometria	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Proprietà dei sistemi di protezione	
				passiva	attiva
Tabellare	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex novo completo includendo tutti i sistemi di protezione al fuoco presenti	Non necessario	Non necessarie	Documentazione di progetto (certificati di prova e di corretta applicazione, fascicolo tecnico e manuale di manutenzione) incompleta con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in situ.	Documentazione di progetto (certificati di collaudo, schemi di impianto, fascicolo tecnico e manuale d'uso e manutenzione) incompleta con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in situ
Analitico		Dettagli costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in situ. Dettagli costruttivi completi con rilievo visivo a campione	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in situ oppure estese prove in situ	Documentazione di progetto completa con rilievo visivo a campione	
Avanzati		Dettagli costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in situ		Documentazione di progetto (certificati di prova e di corretta applicazione, fascicolo tecnico e manuale di manutenzione) esaustiva con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in situ	Documentazione di progetto (certificati di collaudo, schemi di impianto, fascicolo tecnico, manuale d'uso e manutenzione) esaustiva con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in situ
Prove		-		Caratterizzazione ex novo	-

Per le proprietà termomeccaniche dei materiali strutturali si può fare riferimento a documenti di comprovata validità, come ad esempio gli Eurocodici strutturali, ovvero ai risultati di esaustive prove in situ e/o di laboratorio. Le percentuali di elementi da verificare ed il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto di alcuni aspetti già contemplati dalle Norme Tecniche. In particolare, nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si può tener conto delle eventuali situazioni ripetitive. È quindi possibile estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.

Ai fini delle prove sui materiali costruttivi e sui protettivi è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive. Relativamente ai materiali utilizzati per la protezione passiva delle strutture (controsoffitti, schermi, intonaci a spruzzo, lastre antincendio, vernici intumescenti) è necessario verificare sia la congruenza con le indicazioni progettuali che lo stato di conservazione per valutarne preliminarmente l'efficacia. In assenza di certificazioni dei materiali è necessaria la completa caratterizzazione del protettivo, che varia per ciascuna tipologia.

In caso di sistemi protettivi antincendio in lastre (la cui denominazione comprende controsoffitti, schermi e lastre) è necessario eseguire:

- misure di spessore, *in situ*;
  - caratterizzazione di densità, conducibilità, calore specifico (*in situ* e/o in laboratorio);
  - prove di resistenza al fuoco su campioni prelevati dalla struttura esistente, in laboratorio.
- Talvolta i sistemi di protezione dal fuoco possono prevedere collegamenti e giunti; in tal caso, laddove è necessario, bisogna prevedere anche specifici test sulle singole parti o sull'intero sistema protettivo.

Per i sistemi isolanti costituiti da intonaci a spruzzo è necessario svolgere:

- misure di spessore, *in situ*;
- misure dell'adesione/coesione, in laboratorio ed *in situ*;
- caratterizzazione di densità, conducibilità, calore specifico, *in situ* e/o in laboratorio;
- caratterizzazione in forno di campioni prelevati dalla struttura esistente, in laboratorio;
- prove di resistenza al fuoco su elementi strutturali prelevati dalla struttura esistente, in laboratorio.

Anche in questo caso è possibile prevedere la verifica di accessori di montaggio ed eventuali trattamenti di finitura applicati, in accordo alla norma UNI 10898-3 [5].

Nel caso di vernici intumescenti è necessario prevedere:

- misure di spessore, *in situ*;
- misure dell'adesione, in laboratorio ed *in situ*;
- caratterizzazione in forno di campioni prelevati dalla struttura esistente (con curve ISO834 e smouldering), in laboratorio;
- prove di resistenza al fuoco su elementi strutturali prelevati dalla struttura esistente, in laboratorio;
- valutazione della stickability.

Tra le prove elencate in precedenza, per le prime due si può far riferimento alla procedura di controllo e ai criteri di accettabilità della norma UNI 10898-1 [6], tenendo comunque presente che tale norma riguarda la verifica della corretta posa in opera del prodotto a valle dell'installazione.

Si osserva che per le prove in forno sorge il problema del prelievo dei campioni quando si tratta di elementi rappresentativi dal punto di vista strutturale.

La vernice intumescente ha bisogno di essere accuratamente mantenuta nel tempo, attraverso controlli periodici e certificati che ne attestino il mantenimento dell'integrità. In tal caso, quindi, può essere necessario verificare che essa abbia mantenuto le sue caratteristiche di reattività (rigonfiando con le alte temperature) attraverso una prova *in situ* con appositi strumenti che consentano di concentrare il calore in una zona circoscritta. In tal senso, è importante la redazione di un protocollo di prova (*in situ* o in laboratorio) [7].

**Tabella 2.** Tipologie di prove richieste per la caratterizzazione dei materiali protettivi.

Tipo di protezione Tipo di prova	Rivestimenti per la protezione passiva			Membrane per la protezione passiva	
	Intonaci a spruzzo	Lastre antincendio	Vernici intumescenti	Controsoffitto	Schermo
Misure di spessore	✓	✓	✓	✓	✓
Misure di adesione/coesione	✓	X	✓	X	X
Prove di resistenza sui collegamenti	X	✓	X	✓	✓
Misure di densità, conducibilità, calore specifico	✓	✓	X	✓	✓
Prove in forno su campioni prelevati dalla struttura esistente	✓	✓	✓	✓	✓
Prove in forno dell'intero sistema	X	X	X	✓	✓
Valutazione <i>in situ</i> della reattività della vernice	X	X	✓	X	X
Valutazione della stickability	X	X	✓	X	X

Se sono disponibili tutte le certificazioni sui protettivi è possibile utilizzare sia approcci semplificati (metodo tabellare, metodo analitico, metodo sperimentale), che metodi più sofisticati previsti dall'approccio prestazionale. Se invece non si hanno a disposizione tali certificati è necessario effettuare delle specifiche prove di caratterizzazione secondo quanto indicato nelle Tabelle 1 e 2. Di seguito si mostra più in dettaglio un protocollo di prova generale per la caratterizzazione di vernici intumescenti su edifici di acciaio esistenti.

### 3 PROTOCOLLO DI PROVA PER LE VERNICI INTUMESCENTI

#### 3.1 Misure di spessore

Le misure di spessore devono essere svolte con lo scopo di avere una stima dello spessore del film di vernice intumescente applicato ai vari elementi protetti, per controllarne la corrispondenza con le indicazioni di progetto e con le certificazioni. Un dettagliato rilievo degli spessori consente di dividere gli elementi strutturali in gruppi omogenei e di semplificare le valutazioni sul comportamento strutturale a caldo. Per la valutazione degli spessori si può fare riferimento alle indicazioni suggerite nella norma UNI EN 2808 [8], che descrive sia i metodi di indagine che la modalità di elaborazione dei dati. Tra gli strumenti indicati per dette valutazioni possono essere impiegati apparecchi ad ultrasuoni od ottici. Lo strumento ad ultrasuoni è dotato di un trasmettitore ed un ricevitore ultrasonici e lo spessore della vernice viene misurato attraverso il tempo di propagazione del suono nell'attraversamento dello strato (Fig. 1). Il procedimento di taratura dello strumento e di calibratura in situ sono particolarmente delicati.

Attraverso lo strumento ottico, invece, avviene una misura diretta dello spessore, effettuando un leggero taglio di dimensioni normalizzate sull'elemento verniciato, fino a raggiungere il substrato in acciaio. Le lame sono di forma normalizzata in funzione dello spessore presunto da incidere e la lettura avviene mediante un microscopio graduato (Fig. 2). Mentre lo strumento ad ultrasuoni non è invasivo e consente elevati livelli di precisione, lo strumento ottico è leggermente invasivo, in quanto prevede l'incisione, ma è da considerarsi utile per un controllo a campione delle letture ottenute mediante gli ultrasuoni.



Fig. 1. Strumento ad ultrasuoni



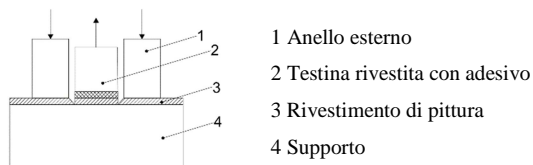
Fig. 2. Strumento ottico

#### 3.2 Misure di adesione

Attraverso le misure di adesione è possibile valutare il grado di compatibilità tra i vari strati che compongono il pacchetto, in genere costituito da *primer*, vernice intumescente e *top coat*, nonché il grado di adesione dello stesso al supporto in acciaio. L'obiettivo delle misure è determinare la forza di *adesione*, ovvero la tensione minima necessaria per provocare lo strappo dello strato di verniciatura dal

supporto (adesione) o la forza di strappo all'interno dello strato del componente più debole (coesione). È opportuno osservare che il risultato della prova può essere influenzato non solo dalle proprietà meccaniche del sistema sottoposto a prova, ma anche dalla natura e preparazione del supporto e dal tipo di strumento di prova utilizzato. Per questo bisogna riferirsi ad indicazioni standardizzate quali ad esempio la UNI EN ISO 4624 [9], che descrive una serie di metodi per determinare l'adesione di uno strato unico o di un sistema a più strati di vernice o prodotti similari mediante la misura del minimo sforzo di trazione necessario per distaccare o rompere il rivestimento in una direzione perpendicolare al supporto. La Norma [9] è scritta per vernici di nuova applicazione e quindi può fornire indicazioni su condizioni ambientali, di posa in opera e di prova, non sempre estendibili alle vernici esistenti. Tuttavia, contiene le indicazioni (cfr. par 9.4.2) necessarie per una corretta esecuzione della prova di strappo.

In particolare, la prova può essere suddivisa in una serie di step che richiedono accuratezza di esecuzione: lo *step 1* prevede la preparazione delle superfici, della testina e del rivestimento. In particolare bisogna assicurarsi che il rivestimento sia pulito: esso va quindi sgrassato nella zona oggetto di prova, per migliorare l'incollaggio della testina. Nello *step 2* avvengono l'applicazione dell'adesivo e della testina. L'adesivo deve avere proprietà meccaniche migliori di quelle del rivestimento sottoposto a prova, con lo scopo di ottenere una rottura del rivestimento e non nell'adesivo. Lo *step 3* consiste nella definizione accurata della geometria dell'area di vernice su cui è applicato il carico. L'obiettivo è perseguito con la rimozione dell'adesivo in eccesso e della vernice stessa attorno alla testina. La metodologia con cui applicare il taglio è strettamente legata alle proprietà meccaniche del sistema di pittura (per esempio fragilità). Generalmente è possibile utilizzare una fresa con diametro leggermente superiore (circa 1mm) al diametro della testina. Lo *step 4* prevede il montaggio dell'attuatore e l'applicazione del carico. Lo sforzo di trazione deve essere applicato perpendicolarmente al piano di supporto rivestito e deve aumentare ad una velocità uniforme, minore di circa 1 MPa/s.



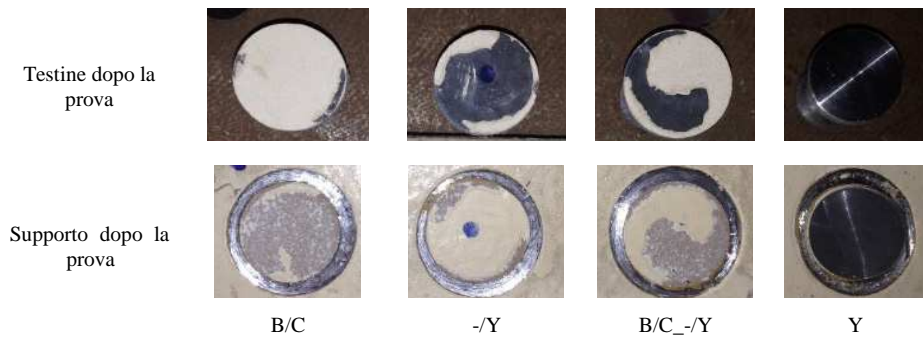
**Fig. 3.** Strumento e modalità di prova (UNI EN ISO 4624).

La classificazione della tipologia di rottura può avvenire esaminando visivamente le superfici di frattura per determinare la natura e valutarne il tipo tramite la tabella contenuta nella norma UNI EN ISO 4624 (Tabella 3). Per esprimere la superficie della frattura come percentuale, è suggerito di arrotondare ogni tipo di frattura al più vicino 10%.

**Tabella 3.** Tipologia di frattura.

Natura delle fratture	
A	è la rottura di coesione del supporto;
A/B	è la rottura di adesione tra il supporto e il primo strato;
B	è la rottura di coesione del primo strato;
B/C	è la rottura di adesione fra il primo e il secondo strato;
n	è la rottura di coesione dello strato n di un sistema a più strati;
n/m	è la rottura di adesione tra lo strato n e lo strato m di un sistema a più strati;
-/Y	è la rottura di adesione fra lo strato finale e l'adesivo;
Y	è la rottura di coesione dell'adesivo;
Y/Z	è la rottura di adesione tra l'adesivo e la testina.

La Fig. 4 mostra un esempio delle modalità di rottura, identificate secondo la classificazione di Tabella 3, che si possono riconoscere dall'analisi visiva delle testine e del supporto dopo la prova.



**Fig. 4.** Modalità di rottura.

### 3.3 Prove in forno

In generale i procedimenti per la valutazione del contributo delle protezioni sugli elementi strutturali si compongono di due fasi: la prima riguarda i test da eseguire in forno secondo procedure standardizzate, la seconda l'elaborazione dei dati sperimentali per ottenere le informazioni necessarie per estendere i risultati ai casi reali. Per i sistemi di protezione di tipo reattivo come le vernici intumescenti, è opportuno far riferimento alla norma EN 13381-8 [10] relativa alla classificazione e alla certificazione dei protettivi reattivi applicati ad elementi di acciaio.

La normativa prevede prove in forno su numerosi campioni carichi e non, con diversi fattori di sezione e diversi spessori di protettivo.

La finalità della prova in forno è relativa alla caratterizzazione del protettivo applicato su elementi esistenti in acciaio di geometria nota [11]. Inoltre, trattandosi di una struttura esistente, è necessario definire in maniera bilanciata il numero dei campioni da testare in forno, coniugando da una parte la necessità di avere una sufficiente caratterizzazione del comportamento delle vernici e degli elementi strutturali protetti da esse, e dall'altra l'opportunità di non essere troppo invasivi sulla struttura esistente.

È necessario quindi progettare *ad hoc* le prove in forno, avvalendosi anche di modellazioni e analisi con software dedicati, per cercare di prevedere le temperature raggiunte negli elementi sottoposti al test. Un esempio di come progettare il setup di prova in forno, anche in base a risultati di analisi numeriche è mostrato in [12].

È sicuramente opportuno predisporre numerose termocoppie sui singoli provini in modo da poter cogliere anche eventuali fenomeni di distacco localizzato della vernice ed effettuare considerazioni sul livello di protezione e reattività della vernice mediante un parametro di efficienza della vernice intumescente [13]. È possibile fare ciò analizzando le temperature registrate dalle singole termocoppie durante la prova (Fig. 5).



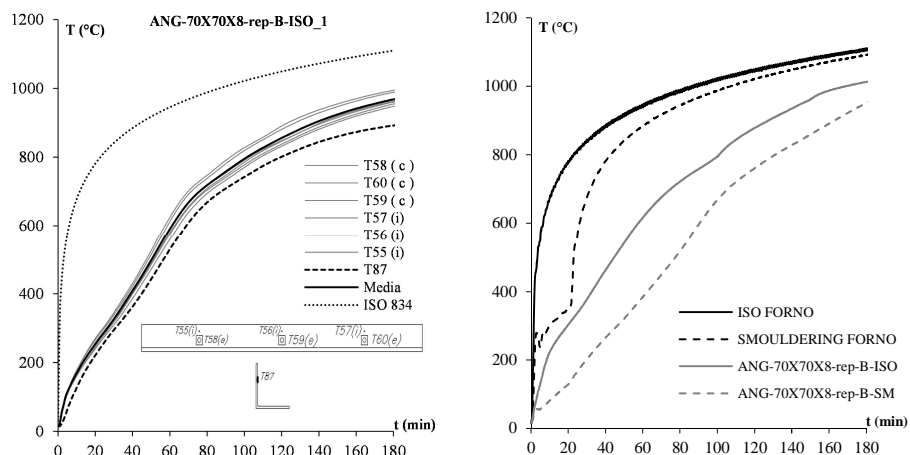


Fig. 5. Elaborazione dei risultati: temperatura Vs tempo e confronti.

#### 4 CONCLUSIONI

Nella presente memoria sono stati individuati un possibile approccio generale per la valutazione della sicurezza in caso di incendio di edifici esistenti.

Partendo da quanto già previsto in ambito nazionale ed internazionale per le verifiche su edifici esistenti, sono stati definiti in linea generale i principali percorsi che il professionista può prendere per la valutazione della vulnerabilità all'incendio di una struttura in acciaio esistente, considerando diverse tipologie di sistemi di protezione al fuoco adottati.

Per strutture protette con vernici intumescenti, è stato fornito un esempio generico del protocollo di prova che si può adottare per la conoscenza della struttura, finalizzato alla valutazione del comportamento dei protettivi applicati. Per alcune tipologie di prove (misure di spessore, misure di adesione, misure di reattività) è stata evidenziata la possibilità e necessità di standardizzare un protocollo di prova, facendo riferimento a norme già esistenti inerenti i controlli necessari per la commercializzazione dei protettivi e la loro applicazione ad edifici nuovi. D'altra parte, per le prove di caratterizzazione in forno, è necessario progettare le prove considerando gli elementi che effettivamente è possibile prelevare dalla struttura in esame.

#### RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare la Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni in Acciaio in caso di incendio, istituita da Fondazione Promozione Acciaio, per il supporto tecnico-scientifico ricevuto. Inoltre desiderano porgere un ringraziamento a Guido Parisi, Fabio Dattilo, Claudio Mastrogioseppe, Luca Ponticelli e tutto il team del Dipartimento Vigili del Fuoco - Area VII D.C.P.S.T, per il supporto e la disponibilità mostrata durante le prove svolte nei laboratori di Cannelle.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] NTC2008 - Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14 Gennaio 2008
- [2] Decreto 16 febbraio 2007 "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione".
- [3] Circolare 2 febbraio 2009 capitolo 8 "Costruzioni esistenti".
- [4] International Standards Organization (ISO) (1975) ISO 834: Fire Resistance Tests-Elements of Building Construction, Geneva.
- [5] UNI 10898-3-Ottobre 2007 "Sistemi protettivi antincendio. Modalità di controllo dell'applicazione. Parte1: Sistemi isolanti spruzzati".
- [6] UNI 10898-1-Maggio2012 "Sistemi protettivi antincendio. Modalità di controllo dell'applicazione. Parte 1: Sistemi intumescenti"
- [7] Rush D. L., Bisby L. A., Jowsey A. Evaluating design guidance for intumescent fire protection of concrete filled steel hollow sections. Structures in Fire (SIF) Shanghai, China, 2014, p 1071-1078.
- [8] UNI EN 2808-Marzo 2007 "Determinazione dello spessore del film".
- [9] UNI EN ISO 4624-Giugno 2006 "Misura dell'adesione mediante prova di trazione".
- [10] EN 13381-8 "Metodi di prova per la determinazione del contributo alla resistenza al fuoco di elementi strutturali-Parte 8: protettivi reattivi applicati ad elementi di acciaio".
- [11] Nadjai A., Sanghoon H., Faris A., Petrou K., El Hadi, Naili A., 2015. Behavior of unprotected and protected cellular beams in fire conditions, in IFireSS\_2015, 20-22 April 2015, Coimbra, Portugal.
- [12] Bilotta A., de Silva D., Nigro E., "Un possibile approccio generale per la sicurezza strutturale antincendio di edifici in acciaio esistenti". Rivista "Antincendio" (EPC editore), Febbraio 2015, pag. 66-77.
- [13] Bilotta A., de Silva D., Nigro E., Ponticelli L., 2015. Tests on intumescent paints for fire protection of existing steel structures, in International Fire Safety Symposium IFireSS\_2015, 20-22 April 2015, Coimbra, Portugal.

## **PAROLE CHIAVE**

Edifici esistenti, vernice intumescente, protocollo di prova, prove sperimentali