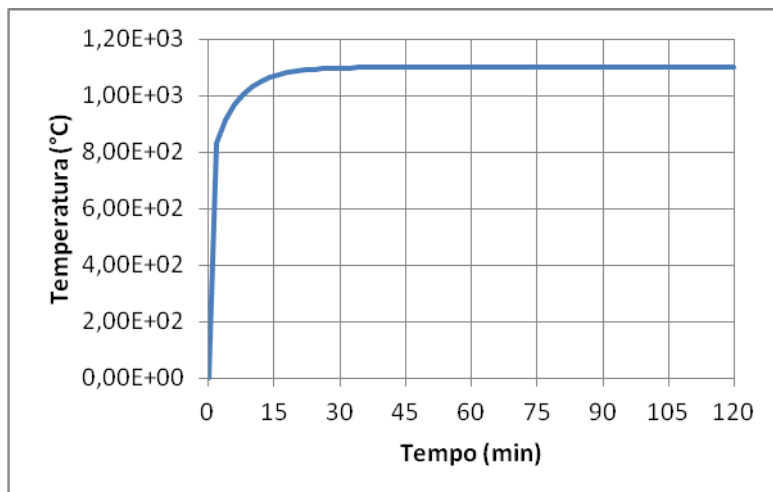


## 10. Strutture di acciaio protette in attività industriali ad alto rischio di incendio: la qualificazione sperimentale dei sistemi protettivi.

A cura di:



## **Premessa**

La normativa nazionale per la certificazione delle strutture di acciaio protette ha subito recenti radicali cambiamenti. Dal 2007, lasciata alle spalle la previgente normativa nazionale, sono in vigore anche in Italia le nuove norme di prova valide in tutti i Paesi dell'Unione Europea.

Un aspetto poco indagato riguarda i sistemi protettivi che si impiegano per soddisfare i requisiti di resistenza al fuoco nelle attività industriali ad alto rischio di incendio, dove, in genere, è richiesta la verifica nei confronti della curva nominale di incendio da idrocarburi. Il presente contributo, facendo riferimento ai più aggiornati documenti normativi europei, affronta il tema della progettazione delle strutture di acciaio protette e degli idonei sistemi protettivi che si impiegano in questo tipo di attività.

## Strutture di acciaio protette in attività industriali ad alto rischio di incendio: la qualificazione sperimentale dei sistemi protettivi.

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

Paola Princi – Structura Engineering

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

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

### **Introduzione**

I sistemi di protezione da incendi da idrocarburi sono necessari per le strutture e gli elementi di acciaio se il loro improvviso collasso dovuto al fuoco può mettere in pericolo le persone, causare la dispersione di una grande quantità di materiali combustibili e/o tossici, se può creare pericolo per gli edifici vicini e se può danneggiare impianti rilevanti. In alcuni casi possono essere richieste protezioni dal fuoco anche per sistemi di controllo ed elettrici.

La principale applicazione dei sistemi di protezione dal fuoco per curva di incendio da idrocarburi è negli impianti petrolchimici. In tali siti è spesso necessario proteggere le strutture degli edifici, gli elementi di sostegno dei macchinari e delle tubazioni presenti, eventuali valvole ed elementi strategici degli impianti. Gli elementi che devono essere protetti vengono individuati in base alle possibili condizioni di sviluppo dell'incendio e sulla base delle misure di protezione antincendio che sono presenti: ad esempio è normalmente impiegato un approccio che prevede l'interruzione dell'alimentazione di combustibile, in modo da far estinguere l'incendio nel più breve tempo possibile.

Inoltre si hanno applicazioni di questo tipo di prodotti su altri siti industriali soggetti a rischio rilevante, quali gli impianti petroliferi, gli impianti chimici, gli impianti e i terminali LNG, le centrali elettriche, le centrali termoelettriche.



*Fig. 1. – Impianto petrolchimico*

Un'altra applicazione comune di questo tipo di prodotti è nei serbatoi di GPL in pressione. In caso di incendio il calore che si sprigiona dalle fiamme può causare sovrappressioni incompatibili con la resistenza del contenitore a sua volta ridotta dall'incremento di temperatura. Nel caso dei serbatoi di GPL, un'improvvisa rottura del mantello può portare al fenomeno detto BLEVE (*boiling liquid expanding vapour explosion*). La rottura può avvenire per sovrappressione interna generata dal riscaldamento del gas cui segue un'esplosione che, rompendo la parete del serbatoio in frammenti, può essere accompagnata da una fireball (lett. "palla di fuoco") se è presente un innesco.

I sistemi di protezione dal fuoco vengono utilizzati per proteggere gli elementi critici per la sicurezza in caso di incendio attraverso la limitazione del trasferimento di calore in modo da garantire il mantenimento della resistenza strutturale, dell'integrità e dell'isolamento termico. I materiali che normalmente si usano per questo tipo di protezione sono:

- mastici intumescenti epossidici;
- intonaci cementizi alleggeriti;
- sistemi speciali studiati per applicazioni su valvole o altri elementi puntuali, basati su materiali cementizi o intumescenti.

La scelta del materiale di protezione sarà determinata dalla combinazione delle prestazioni di resistenza al fuoco richieste e della durabilità legata alle condizioni ambientali.

I materiali di protezione dal fuoco, per poter essere applicati in ambito industriale, devono essere qualificati in accordo alle norme vigenti. In generale, pertanto, necessitano di prove sperimentali. Sono previste prove specifiche per valutare il comportamento dei sistemi di protezione nelle varie condizioni che si possono verificare durante lo sviluppo dell'incendio. In particolare, vengono fatte prove per verificare il comportamento del sistema di protezione in presenza dei seguenti scenari di incendio:

- *Hydrocarbon pool fire*: si tratta di un incendio che si sviluppa da una pozza di carburante fluido aperta nella parte superiore. Il calore dovuto all'incendio dipende dal tipo di carburante e dalle dimensioni della pozza. Questo tipo di incendio viene riprodotto attraverso i test con curva di incendio da idrocarburi normalizzata;

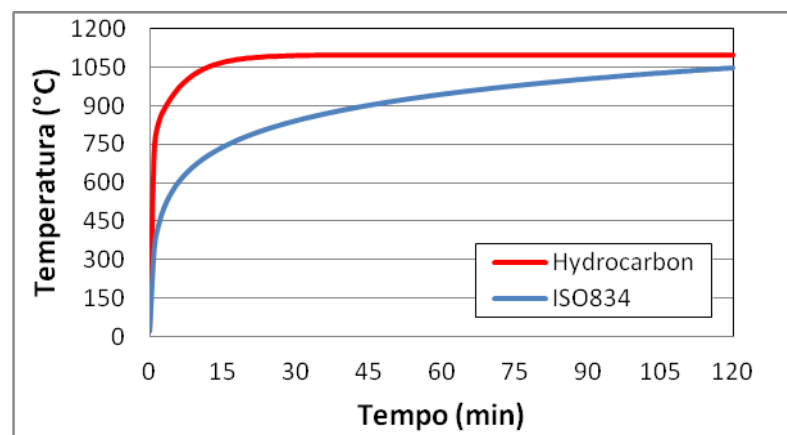


Fig. 2. – Curva di incendio da idrocarburi (Hydrocarbon) e curva di incendio ISO834

- *Jet fire*: si tratta di una fiamma turbolenta generata dalla combustione di un carburante liquido o gassoso pressurizzato. Questa fiamma causa flussi di calore più elevati rispetto al pool fire a causa dei moti turbolenti di aria e combustibile. Inoltre la velocità e la turbolenza della fiamma possono essere corrosivi per il sistema di protezione, che può rovinarsi localmente creando danneggiamenti consistenti nella struttura, fino al collasso. Il jet fire rappresenta lo scenario di incendio più severo per il quale può essere richiesta la resistenza del sistema di protezione dal fuoco.



Fig. 3. – Prova di resistenza al jettfire in grande scala

- *Hoose stream*: si tratta di uno scenario atto a verificare la resistenza del materiale alla capacità erosiva dei getti d'acqua. Sono infatti condizioni simili a quelle in cui si trovano le strutture durante l'intervento dei vigili del fuoco.

In realtà per i sistemi di protezione dal fuoco da utilizzare in caso di incendi da idrocarburi non esistono norme nazionali specifiche per la qualificazione sperimentale, tranne alcune indicazioni fornite nelle norme che regolano le singole attività. Per questo motivo la qualificazione di questi prodotti generalmente fa ricorso a norme riconosciute a livello europeo.

### **INCENDI DA IDROCARBURI: IL QUADRO NORMATIVO NAZIONALE**

L'Eurocodice 1 introduce, nella parte che riguarda le azioni sulle strutture esposte al fuoco [6], tra le curve di incendio nominali, la curva da idrocarburi, riconosciuta a livello europeo anche con la norma EN 1363-2 [7] inerente le procedure aggiuntive ed alternative per prove di resistenza al fuoco. Ad oggi, la curva degli idrocarburi non viene inclusa tra quelle impiegabili per la classificazione di resistenza al fuoco dei prodotti da costruzione, in quanto non citata dalle norme EN 13501-2; -3; -4 [8]; [9]; [10] che rappresentano l'unico riferimento possibile per tale classificazione. Questo aspetto, più di carattere amministrativo che tecnico, crea un vuoto normativo che fino ad adesso è stato colmato solo dalla presenza di norme specifiche applicate nei diversi paesi europei.

In Italia, con il decreto del Ministro dell'Interno 9 marzo 2007 [5] è stato definito il campo di applicazione della curva di incendio da idrocarburi: essa viene impiegata nella verifica della resistenza al fuoco nei casi in cui gli incendi riguardano quantità rilevanti di idrocarburi o altre sostanze con equivalente velocità di rilascio termico. In realtà però il problema della qualificazione dei prodotti si ripresenta dal momento che tutti i prodotti che vengono impiegati nelle costruzioni ricadono nel campo di applicazione del Decreto 16 febbraio 2007 [4], che, fa esclusivo riferimento alle norme EN 13501-2; -3; -4 [8]; [9]; [10]. Come visto in precedenza tali norme non trattano delle prove condotte con esposizione alla curva di incendio da idrocarburi e, per questo motivo, è necessario individuare norme che possano essere riconosciute a livello nazionale al fine di garantire il necessario livello di sicurezza.

Per quanto riguarda i livelli di sicurezza richiesti alle costruzioni, si deve fare riferimento agli specifici decreti che regolano le differenti attività.

#### **1) Attività industriali**

I siti industriali soggetti a rischio di incendio rilevante, per i quali possono essere richieste verifiche di resistenza al fuoco con esposizione alla curva di incendio da idrocarburi, comprendono ad esempio gli impianti petrolchimici, gli impianti petroliferi, gli impianti chimici, gli impianti e i terminali LNG, le centrali elettriche, le centrali termoelettriche.

Tali impianti sono regolati da norme che dipendono dai materiali presenti e dai trattamenti a cui sono sottoposti. Ad esempio per l'industria petrolchimica si deve fare riferimento alla seguente norma di legge:

- Decreto 31 luglio 1934 "Approvazione delle norme di sicurezza per la lavorazione, l'immagazzinamento, l'impiego o la vendita di olii minerali, e per il trasporto degli olii stessi", con le successive modifiche e integrazioni.

Essa, in realtà, si basa sull'adozione di una serie di misure di protezione attiva e passiva degli edifici e degli impianti (distanze di sicurezza, mezzi di estinzione, ecc), senza soffermarsi sui prodotti di protezione dal fuoco delle strutture e sulla loro qualificazione. Lo stesso approccio viene adottato per le altre attività a rischio di incendio rilevante, per le quali deve essere fatta un'analisi del rischio generale che comprende misure di prevenzione e interventi di protezione. In ogni caso non viene analizzato il problema della qualificazione dei sistemi di protezione dal fuoco. Per questo motivo per essi manca una procedura nazionale unificata di qualificazione.



Fig. 4. – Strutture di acciaio protette dal fuoco in impianto petrolchimico



## 2) Serbatoi di GPL in pressione

Per i serbatoi di GPL, a causa delle caratteristiche chimico-fisiche e dell'infiammabilità del GPL, sono state emanate negli anni norme specifiche per la sicurezza in caso di incendio, che riguardano la progettazione e l'esercizio dei serbatoi e forniscono le misure da adottare per garantire la sicurezza delle persone che si trovano in prossimità di essi.

Il documento principale che regola la progettazione dei serbatoi di GPL è il Decreto del Ministro dell'Interno del 13 ottobre 1994 [2].

Nel decreto viene stabilito che i serbatoi fuori terra siano protetti con un'apposita coibentazione. Tale coibentazione, al fine della protezione antincendio, dovrà:

- evitare il raggiungimento delle condizioni critiche di temperatura all'interno del serbatoio;
- garantire la resistenza strutturale;
- essere progettata in funzione del rischio al quale il serbatoio è soggetto;
- essere realizzata a regola d'arte;
- resistere all'azione dei getti idrici antincendio e degli agenti atmosferici.

Ulteriori informazioni sulla qualificazione della predetta coibentazione sono fornite dalla Lettera circolare 20 maggio 1996 del Ministero dell'Interno, n. 2838 [3].

La lettera richiama le indicazioni del DM 13 ottobre 1994 e aggiunge indicazioni sul tipo di prove sperimentali che devono essere svolte al fine della qualificazione del rivestimento protettivo.

La valutazione del grado di protezione offerto dal rivestimento coibente installato a protezione dei serbatoi metallici contenenti GPL può essere fatto con un approccio di tipo sperimentale: il decreto stabilisce che i sistemi di protezione siano verificati secondo una metodologia riconosciuta a livello nazionale. In assenza di tale metodologia è possibile fare riferimento alle prove del programma GASAFE effettuate dal GEIE (Groupment Europeen d'Interet Economiques) – Francia. Le metodologie di prova non sono da ritenersi esclusive, ma possono essere accettati materiali che sono stati sottoposti ad altri tipi di prove a condizione che siano supportate da idonea documentazione tecnica che ne dimostri la conservatività rispetto a quelle descritte.

A tali documenti si affianca il Decreto Ministeriale del 29 ottobre 1999 [1]. In esso vengono fornite le modalità per poter qualificare un prodotto su cui sono state condotte prove differenti da quelle del programma GASAFE e viene indicata la documentazione tecnica che deve essere presentata al Ministero dell'Interno, Dipartimento dei Vigili del fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile, per il riconoscimento dell'equivalenza della qualificazione con quella prevista dal DM 13 ottobre 1994.



Fig. 5. – Serbatoi di GPL

## 3) GASAFE

Il GASAFE è un programma di prove fatto negli anni 90, che coinvolse i principali produttori di sistemi di protezione delle strutture dal fuoco. Non si tratta di una norma di qualificazione e una volta concluso non può essere più applicato.

Tali prove prevedevano che la valutazione del comportamento del materiale ignifugo in caso di incendio tenesse conto di due aspetti, per i quali erano previste specifiche prove:

- resistenza al fuoco;
- resistenza ai getti d'acqua.

Le prove di resistenza al fuoco dovevano essere eseguite contemporaneamente su 4 piastre metalliche delle dimensioni di 1.25 x 1.25 m formanti le quattro pareti laterali del forno di prova. Le facce dei provini dovevano essere rivestite con il protettivo sul lato esposto al fuoco e con 5 cm di lana di roccia sul lato non esposto.

La temperatura del forno deve riprodurre la seguente curva di incendio:

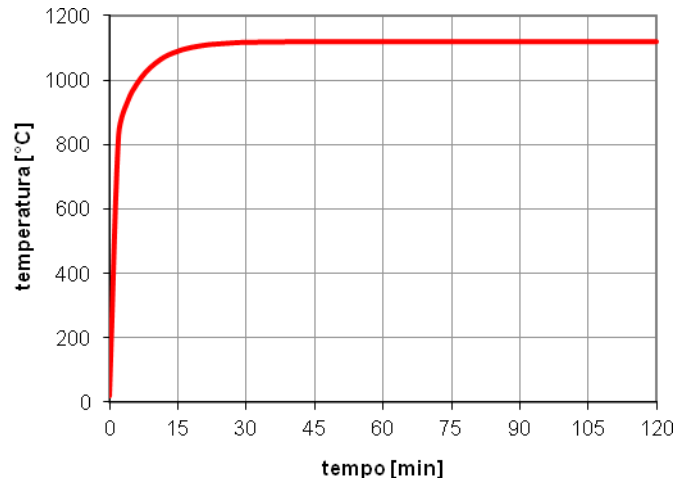
$$T(t) - T_{iniziale} = 1100 \cdot (1 - 0.325 \cdot e^{-t/6} - 0.204 \cdot e^{-8.5t/6} - 0.472 \cdot e^{-9.5t/6})$$

Dove:

$T(t)$  temperatura del forno al tempo  $t$  espressa in °C

$T_{iniziale}$  temperatura ambiente al tempo zero espressa in °C

$t$  tempo espresso in minuti



**Fig. 6.** – Curva di incendio per prova GASAFE

Le temperature dovevano essere misurate, in almeno nove punti, tramite termocoppie poste a metà dello spessore della piastra. La temperatura media della parete dopo 1, 2, 3, 4 ore di esposizione alle fiamme doveva risultare inferiore a 427°C.

Le prove di resistenza ai getti di acqua prevedevano campioni identici a quelli della prova di resistenza. Essi dovevano essere irraggiati con una torcia in grado di produrre un flusso non inferiore a 200 kW/m<sup>2</sup> su una superficie di 900 cm<sup>2</sup>.

La manichetta doveva essere posizionata a 15 metri ed il flusso idrico doveva essere di 250 l/min con una pressione all'ugello di 7 bar. I cicli alternati torcia termica/getto idrico dovevano essere eseguiti secondo il seguente ordine:

da	0	a	30 min	torcia termica
da	31	a	45 min	getto idrico
da	46	a	75 min	torcia termica
da	76	a	90 min	getto idrico
da	91	a	120 min	torcia termica

### **NORMATIVA INTERNAZIONALE**

Le strutture portanti delle attività ad alto rischio, come quelle indicate nei paragrafi precedenti, devono verificare prestazioni in condizioni di incendio diverse rispetto all'azione rappresentata dalla curva di incendio standard ISO 834 se esposte ad attacco termico di natura differente. A tale scopo i sistemi protettivi impiegati vengono qualificati mediante opportune prove unificate con le quali sono analizzate particolari condizioni critiche, quali:

- esposizione alla curva di incendi da idrocarburi (hydrocarbon pool fire);
- esposizione al jet fire;
- esposizione all'azione termica combinata con il getto d'acqua (hose stream).

Nel quadro normativo nazionale non sono presenti regolamenti per qualificare sperimentalmente i sistemi protettivi per questo tipo di prestazioni. Pertanto si fa ricorso a norme internazionali di comprovata validità, alle quali di seguito si fa un breve richiamo, limitando la trattazione a quelle esistenti in ambito europeo.

Le principali norme valide per la verifica della resistenza al fuoco con esposizione alla curva di incendio da idrocarburi sono:

- ISO 834-3 "Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 3: Commentary on test method and test data application";
- BS 476 Part. 20-21:1987 "New appendix D: Hydrocarbon curve".

Il primo documento fornisce informazioni sulle procedure di verifica al fuoco, sui criteri di accettabilità dei risultati delle prove di resistenza al fuoco e sull'applicazione dei dati ottenuti da esse ai casi progettuali. In esso si fa riferimento a differenti curve di incendio; in particolare per i casi in cui l'incendio coinvolge grandi quantità di idrocarburi è stabilito l'utilizzo della curva di incendio da idrocarburi.

Anche il documento della normativa inglese riconosce la necessità di impiegare una curva di incendio specifica nei casi in cui si hanno grandi quantità di idrocarburi. La curva proposta è la stessa per entrambi i documenti ed è la seguente:

$$T = 1100 \cdot (1 - 0.325 \cdot e^{-0.1667t} - 0.204 \cdot e^{-1.417t} - 0.471 \cdot e^{-15.833t})$$

Dove:

$T$  è l'incremento di temperatura, espressa in °C  
 $t$  è il tempo espresso in min

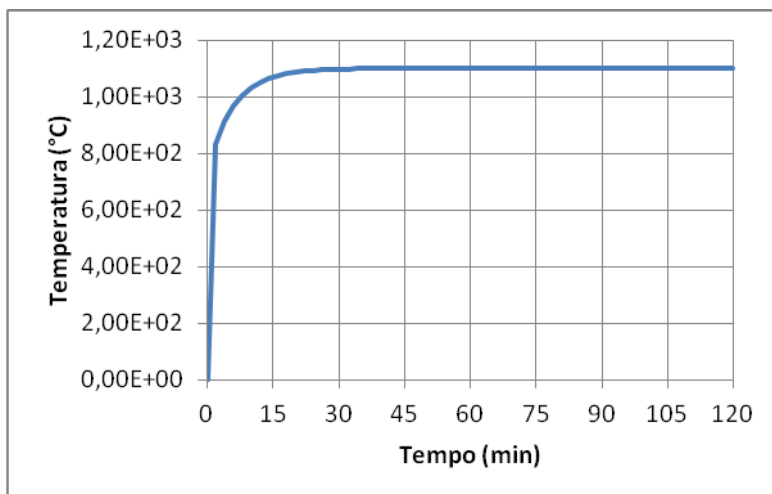


Fig. 7. – Curva di incendio da idrocarburi (BS476 Part. 20-21, Appendix D)

I criteri di prova sperimentale per la verifica del requisito di resistenza al fuoco con esposizione al jet fire sono definiti nei seguenti documenti:

- ISO 22899-1 "Determination of the resistance to jet fires of passive fire protection materials"
- OTI 95 634 "Jet fire resistance test for passive fire protection materials".

La norma ISO 22899-1 fornisce un metodo di valutazione della resistenza al jet fire dei sistemi di protezione dal fuoco e include informazioni sulle prestazioni necessarie per specifiche condizioni di esposizione alle fiamme. I criteri di valutazione sono basati sulla definizione della temperatura massima che può essere raggiunta da tutte le termocoppie sul campione: tale temperatura viene assunta pari a 400°C. Il campione è costituito da una scatola di acciaio con una costola interna ed è rivestito col sistema protettivo. La forma del campione fa in modo che si creino turbolenze in prossimità delle pareti, generando flussi di calore localizzati molto alti. La temperatura del campione viene verificata con un alto numero di termocoppie per registrare tali flussi locali.

Il documento OTI definisce un test di Jet Fire in scala media. Vengono registrate le temperature di un campione durante lo svolgimento del test. Il campione può essere di quattro tipi: un piatto di acciaio (per applicazioni su pannelli), una lamiera di acciaio (per applicazioni su pareti cilindriche di grande raggio o elementi di acciaio senza spigoli), su profili di acciaio o su sezioni tubolari di acciaio. Non ci sono temperature limite fissate, ma è richiesta solo la verifica di un requisito di integrità per un certo periodo di tempo. La prova prevede il raggiungimento di velocità del getto tra 60 e 100 m/s, in funzione della posizione in cui viene fatta la misurazione.



Fig. 8. – Prova di resistenza al fuoco – Jet fire (ISO 22899-1)



Tra le norme europee non è disponibile un documento per la verifica in presenza di esposizione alternata alla torcia termica e al getto d'acqua, simile a quanto previsto dalla prova GASAFE; quando è richiesta la verifica di questa prestazione può essere fatto riferimento alla norma americana:

- NFPA 58 "Liquified Petroleum Gas Code".

Secondo questo standard lo scopo delle prove previste è verificare se il materiale di protezione dal fuoco impedisce o ritarda il rilascio delle sostanze contenute in un serbatoio durante 50 minuti di esposizione al fuoco e con un getto d'acqua di una durata di 10 minuti. Il campione è costituito da un piatto di acciaio di dimensioni 1200 mm x 1200 mm con spessore 16 mm. Durante la prova la temperatura dovuta alla torcia termica deve essere compresa nell'intervallo  $1200^{\circ}\text{C} \pm 56^{\circ}\text{C}$ . Dopo 20 minuti di esposizione alla torcia termica, il campione viene colpito anche dal getto d'acqua per un periodo di 10 minuti. Dopo l'esposizione al getto d'acqua il campione continua ad essere esposto alla torcia termica fino a quando non raggiunge la temperatura di  $427^{\circ}\text{C}$ . La prova viene considerata superata se il tempo impiegato dal piatto di acciaio per raggiungere la temperatura di  $427^{\circ}\text{C}$  è superiore a 50 minuti.

Sono inoltre disponibili norme specifiche per la verifica dei serbatoi in pressione, comprendenti anche prove in scala reale su serbatoi di piccole dimensioni. Un esempio di questo tipo è la norma:

- OTO (Offshore technology report) 2000 051 "Review of the pressurised process vessels and equipment to fire attack".

Si tratta di una norma inglese per la verifica di serbatoi in pressione. Essa include una valutazione del rischio di incendio e le metodologie per ridurre tale rischio; inoltre fornisce le proprietà termomeccaniche dell'acciaio e il suo comportamento in caso di esposizione al fuoco, in modo da valutare le prestazioni dei serbatoi in pressione esposti all'incendio. Nella norma è fissata la temperatura critica di  $300^{\circ}\text{C}$  per una durata dell'incendio di 90 minuti.

Altro esempio di questo tipo è la procedura:

- BAM test

Non si tratta di una norma, ma una procedura di prova regolata dall'istituto BAM (German Federal Institute for Materials Research and Testing). La procedura di prova si compone di due fasi: una serie di test di esplorazione e una prova su un serbatoio in scala reale. La serie di test di esplorazione viene fatta su 8 piatti di acciaio di dimensioni 470 mm x 470 mm con spessore variabile tra 6 mm e 30 mm. I piatti vengono isolati sul lato non esposto e protetti sul lato esposto al fuoco. La temperatura viene fatta aumentare fino a  $900^{\circ}\text{C}$  nei primi 5 minuti e poi mantenuta costante a  $900^{\circ}\text{C}$  per il tempo previsto per la prova. La temperatura limite è fissata pari a  $300^{\circ}\text{C}$ .

La prova sul serbatoio viene condotta sulla base dei risultati dei test di esplorazione. Lo scopo della prova è trovare una correlazione tra lo spessore della parete del serbatoio, la durata di resistenza al fuoco prevista e lo spessore di protezione. Il serbatoio viene rivestito col sistema di protezione dal fuoco ed esposto ad un incendio da idrocarburi in un sito all'aperto. Anche in questo caso la temperatura massima all'interno del serbatoio non deve superare i  $300^{\circ}\text{C}$  per un tempo pari alla durata di resistenza al fuoco richiesta.



Fig. 9. – Prova di resistenza al fuoco di un serbatoio in scala reale (BAM)

Oltre alle norme elencate in precedenza vanno ricordate alcune norme di riferimento impiegate per il controllo della durabilità e della resistenza agli agenti atmosferici delle protezioni, come ad esempio la:

- Norsok M501-rev5 "Surface preparation and protective coating": la norma si applica alle strutture off-shore e a quelle che risultano esposte a condizioni ambientali severe. Essa prevede la verifica al fuoco del sistema protettivo in assenza dello strato di finitura: infatti esso può danneggiarsi durante la vita utile della struttura oppure può essere applicato non correttamente o del tutto non applicato. Inoltre sono previste prove di resistenza al fuoco dopo che il materiale è stato esposto a trattamenti che simulano l'effetto degli agenti atmosferici, per verificare l'efficacia del sistema anche dopo molto tempo dall'applicazione.
- UL 1709 "Rapid fire tests of protection materials for structural steel": questa norma americana viene utilizzata per la verifica dei sistemi di protezione. Oltre alle prove di resistenza al fuoco, condotte sul prodotto appena applicato, e di durabilità prevede una serie di controlli sul prodotto durante la produzione e sul mercato.

Un comune riferimento di tutte le norme precedentemente citate è rappresentato dalle norme API (American Petroleum Institute), che rappresentano la base di tutte le norme attualmente disponibili per la qualificazione dei prodotti con esposizione alla curva di incendio da idrocarburi, tra le quali ricordiamo:

- API 521 "Guide for pressure-relieving and depressurizing systems";
- API 2510 "Design and construction of LPG installations" / API 2510A "Fire protection considerations for the design and operation of liquefied petroleum gas (LPG) storage facilities".
- API 2218 "Fireproofing practices in petroleum and petrochemical processing plants".

## **CONCLUSIONI**

Nel quadro normativo nazionale non esistono procedure di qualificazione normalizzate per la verifica delle prestazioni delle strutture protette in condizioni di incendio da idrocarburi. Alcuni standard di riferimento, non più in vigore, sono richiamati dalle normative emanate negli anni '90. Diventa quindi necessario per i progettisti individuare procedure di comprovata validità nell'ambito dei sistemi di qualificazione internazionale che possano essere impiegate sul territorio nazionale. In pratica devono essere individuate soluzioni tecniche che impiegano prodotti qualificati secondo procedure riconosciute a livello internazionale che soddisfano requisiti equivalenti o cautelativi rispetto a quelli previste dalle norme nazionali. Dove possibile sarà preferibile fare riferimento a norme europee, in analogia a quanto viene fatto per gli altri prodotti di protezione regolati da norme comuni europee. In assenza di norme europee saranno individuate norme internazionali di comprovata affidabilità.

Le procedure di qualificazione dei sistemi protettivi descritte nel presente lavoro forniscono utili indicazioni per la progettazione e la realizzazione di strutture di acciaio protette impiegate nel settore delle costruzioni ad alto rischio di incendio. Più precisi riferimenti normativi saranno sicuramente disponibili a seguito del riassetto normativo attualmente in corso in ambito nazionale ed europeo.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Decreto Ministeriale del 29 ottobre 1999 "Modificazioni al decreto ministeriale 13 ottobre 1994 concernente "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione, l'installazione e l'esercizio dei depositi di G.P.L. in serbatoi fissi di capacità superiore a 5 m<sup>3</sup> e/o in recipienti mobili di capacità complessiva superiore a 5000 kg"
- [2] Decreto del Ministero dell'Interno del 13 ottobre 1994 "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione, l'installazione e l'esercizio dei depositi di G.P.L. in serbatoi fissi di capacità complessiva superiore a 5 m<sup>3</sup> e/o in recipienti mobili di capacità complessiva superiore a 5000 kg (G.U. 12 novembre 1994, n. 265)".
- [3] Ministero dell'Interno lettera circolare 20 maggio 1996, n. 2838 "Coibentazione di serbatoi metallici fuori terra contenenti GPL. Specifiche per la valutazione dell'efficacia dei rivestimenti protettivi".
- [4] D. MIN. INT. (16-02-2007), "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione", GU n. 74 del 29 marzo 2007
- [5] D. MIN. INT. (09-03-2007), "Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco", GU n. 74 del 29-3-2007- Suppl. Ordinario n.87.
- [6] EN 1991-1-2 "Azioni sulle strutture – Parte 1-2: Azioni in generale – Azioni sulle strutture esposte al fuoco" (Ottobre 2004).
- [7] EN 1363-2 "Prove di resistenza al fuoco. Procedure alternative e aggiuntive" (Luglio 2001).
- [8] EN 13501-2 "Classificazione al fuoco dei prodotti e elementi da costruzione – Parte 2: Classificazione in base ai risultati delle prove di resistenza al fuoco, esclusi i sistemi di ventilazione" (Aprile 2005).
- [9] EN 13501-3 "Classificazione al fuoco dei prodotti e elementi da costruzione – Parte 3: Classificazione in base ai risultati delle prove di resistenza al fuoco dei prodotti e degli elementi impiegati in impianti di fornitura servizi: condotte e serrande resistenti al fuoco" (Novembre 2009).
- [10] EN 13501-4 "Classificazione al fuoco dei prodotti e elementi da costruzione – Parte 4: Classificazione in base ai risultati delle prove di resistenza al fuoco dei componenti dei sistemi di controllo del fumo" (Novembre 2009).
- [11] ISO 834-3 "Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 3: Commentary on test method and test data application";
- [12] BS 476 Part. 20-21:1987 "New appendix D: Hydrocarbon curve".
- [13] ISO 22899-1 "Determination of the resistance to jet fires of passive fire protection materials"
- [14] OTI 95 634 "Jet fire resistance test for passive fire protection materials".
- [15] NFPA 58 "Liquefied Petroleum Gas Code".
- [16] OTI 2000 051 "Review of the pressurised process vessels and equipment to fire attack".
- [17] Norsok M501-rev5 "Surface preparation and protective coating".
- [18] Ian Bradley "Jet Fires and BLEVEs – The limitations of API 2218 & API 2510".