



Come valutare le prestazioni degli elementi **separanti** con la Fire Safety Engineering

■ Maurizio Torres

L'abstract

Il lavoro illustra una metodologia basata sulla Fire Safety Engineering che, in alternativa ai metodi tradizionali previsti dalle norme di legge vigenti, permette una valutazione specifica delle prestazioni degli elementi separanti legata alle effettive caratteristiche dell'incendio ipotizzate nel progetto.

Un esempio mostra come applicare nella pratica la metodologia con una comparazione fra materiali di diverse caratteristiche.

L'attribuzione della classe di resistenza al fuoco ad un elemento strutturale o separante avviene con un procedimento che si compone di due fasi.

La prima fase riguarda la determinazione della classe tramite il metodo introdotto dal D.M. 09/03/2007, mentre la seconda fase consiste nel calcolo vero e proprio della prestazione dell'elemento che deve essere

quindi congruente con la classe determinata in precedenza.

Per le attività normate da una regola tecnica di prevenzione incendi la prima fase non viene sviluppata dal momento che la classe di resistenza al fuoco è fissata da detta regola e resta, quindi, solamente il procedimento di calcolo della prestazione dell'elemento.

Per le attività non "normate" è invece necessario applicare entrambe le fasi, ed a queste



ultime attività si rivolge il citato D.M. 09/03/2007, il quale, oltre alla procedura standard basata sul calcolo del carico d'incendio, introduce la possibilità di determinare le classi di resistenza al fuoco utilizzando le curve di incendio naturale o le curve di incendio reale che esprimono l'andamento delle temperature dell'incendio in funzione del tempo.

Per quanto concerne la determinazione delle prestazioni degli elementi strutturali e separanti è possibile ricorrere alle tabelle allegate al D.M. 16/02/2007, che comunque non esauriscono la casistica di tutti gli elementi utilizzabili nella pratica. Oppure, è possibile ricorrere a metodi e codici di calcolo specifici o in alternativa a prodotti commercializzati con specifiche caratteristiche di resistenza al fuoco, per i quali però il tecnico certifica-

tore, con ulteriori valutazioni tecniche, dovrà verificarne le effettive prestazioni in relazione alle caratteristiche e condizioni di posa, carico ed utilizzo.

In ogni caso la prestazione calcolata e certificata è sintetizzata con un numero che esprime un tempo entro il quale il manufatto garantisce una R, una E ed una I o alcune di esse.

I limiti che connotano questa metodologia, soprattutto quando non si utilizzano per il calcolo delle prestazioni metodi analitici, sono riconducibili alla effettiva prestazione offerta da un manufatto in relazione alle reali condizioni di utilizzo ed allo specifico incendio cui può essere sottoposto rispetto alle prestazioni che al medesimo manufatto vengono attribuite sulla scorta di prove di laboratorio o tabelle.

Tuttavia nell'ambito di una valutazione di tipo analitico delle prestazioni di un elemento strutturale o separante, cui il professionista può ricorrere a causa delle complessità delle condizioni di utilizzo dello stesso e delle caratteristiche dell'incendio, è possibile attraverso la FSE (Fire Safety Engineering) condurre un'analisi di tipo "alternativo" alle metodologie sinteticamente descritte precedentemente.

Per sviluppare un'analisi alternativa si farà separatamente riferimento, come peraltro ormai previsto dalle norme europee, ad una distinzione fra il parametro R ed i parametri E ed I.

Nel caso di elementi separanti non portanti si prendono in esame i parametri E ed I per valutare la capacità dell'elemento di limitare la propagazione di calore e fumo, dall'ambiente in cui si è sviluppato l'incendio, verso un ambiente adiacente.

Questo aspetto conduce inevitabilmente a considerare l'energia termica sviluppata dall'incendio che può essere trasmessa ad ambienti adiacenti.

A questo punto ci si chiede quanta energia termica può essere assorbita da un elemento separante per fare in modo che l'elemento stesso svolga un'effettiva azione isolante

rispetto ad un locale adiacente. Posto in questi termini l'obiettivo finale diventa quello di calcolare o misurare questa quantità di energia in modo tale che quella realmente trasmessa al locale adiacente non crei condizioni di temperatura intollerabili per le persone eventualmente presenti e le stesse temperature non producano l'accensione di materiali combustibili e infiammabili.

Si tratta, pertanto, di dimensionare gli elementi separanti in modo tale che l'energia termica trasmessa attraverso gli stessi verso il locale adiacente produca, nel medesimo locale, un incremento di temperatura tale da non arrecare pericolo alle persone e non far raggiungere la temperatura di accensione di materiali combustibili e infiammabili ivi presenti.

Se in relazione allo sviluppo di un incendio, un elemento separante offre una protezione sufficiente a garantire il raggiungimento degli obiettivi precedentemente individuati, il parametro cui fare riferimento e da controllare, ai fini della determinazione delle prestazioni dell'elemento separante, diventa l'energia trasmessa nell'arco del tempo massimo di durata dell'incendio.

La prestazione dell'elemento separante dovrà, quindi, essere valutata riguardo alla sua capacità di offrire, durante l'intero arco di tempo in cui si presume si sviluppi l'incendio preso in esame, un'adeguata protezione per le persone e i materiali facendo riferimento

all'energia termica trasmessa ad un locale adiacente.

A questo punto sarà necessario quantificare la massima energia termica sviluppata dall'incendio.

Si dovrà quindi fare riferimento alla curva RHR(t) che esprime la potenza termica rilasciata da un incendio.

Operando con questa curva si ha il vantaggio che si riesce a determinare l'andamento di un incendio ed il conseguente sviluppo di energia termica relativo al caso specifico in esame prendendo in considerazione tutti i parametri fisici che ne caratterizzano il reale sviluppo.

Per il proseguimento di questa analisi i due parametri fondamentali da calcolare sono: l'energia termica massima sviluppata dall'incendio, che nel caso particolare investe l'elemento separante oggetto dell'analisi, e l'incremento di temperatura massimo accettabile per il locale adiacente a quello in cui si è sviluppato l'incendio ai fini del raggiungimento di valori di temperatura non "pericolosi" nel senso definito in precedenza.

Per iniziare un'analisi in questi termini sarà, pertanto, necessario definire il "sistema fisico" di riferimento e formulare delle ipotesi iniziali relative alla propagazione del calore.

La curva RHR ha solitamente l'andamento riportato in *Figura 1*, la propagazione del calore, considerati i fenomeni di irraggiamento, convezione e conduzione che vengono innescati e che si sviluppano nel tempo, avviene sostanzialmente in regime transitorio cioè variabile nel tempo.

L'energia termica prodotta, dopo una prima fase crescente, mantiene uno sviluppo costante rispetto al tempo per poi diminuire rapidamente nella fase finale quando ormai resta da bruciare solo una parte residuale del materiale combustibile presente all'interno di un locale.

L'analisi dovrà essere quindi improntata sulle leggi della trasmissione del calore in regime transitorio.

Considerando un locale all'interno del quale si è sviluppato un incendio, facendo un bi-

Ing. Maurizio Torres

Presta servizio nel CNVVF dal 1998, attualmente in servizio con la qualifica di Direttore Vicedirigente presso il Comando Prov.le di Enna dove svolge gli incarichi di Direttore Area Prevenzione Incendi, Polizia Giudiziaria, Direttore dei Nuclei di Soccorso Speciali.

Ha preso parte operativamente a diversi eventi emergenziali fra i quali: alluvioni in Piemonte, alluvione in provincia di Messina, terremoto L'Aquila, terremoto Emilia Romagna.

Ha partecipato ad esercitazione interforze antiterrorismo a Torino;

Ha partecipato, presso il Comando Prov.le di Torino, alla organizzazione dei servizi operativi VVF per le olimpiadi invernali 2006.

Autore di diverse pubblicazioni sulla rivista antincendio.

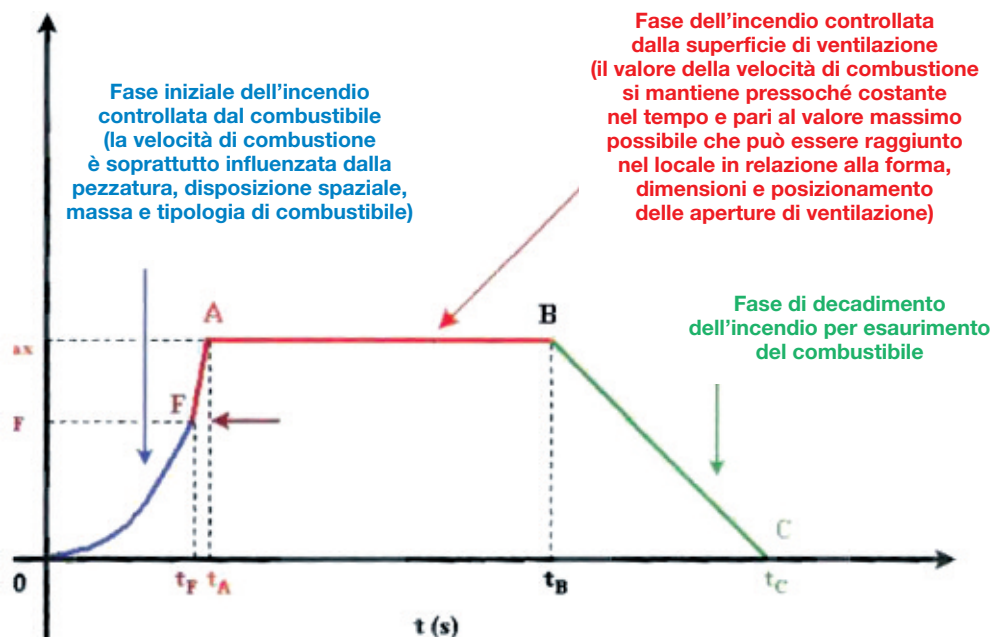


Figura 1 - La curva RHR(t) esprime la potenza termica rilasciata da un incendio

lancio sulla scorta del principio di conservazione dell'energia, si ottiene che:

$$\int P_{tot} dt = \int P_{add} dt + \int P_{irr} dt + \int P_{cond} dt + \int P_{conv} dt$$

Gli integrali, che esprimono le energie in gioco, sono riferiti ad un prefissato intervallo di tempo rispetto al quale si intende effettuare il calcolo. Le grandezze hanno il seguente significato:

P_{tot} = potenza termica totale sviluppata da un incendio

P_{add} = potenza termica trasmessa per adduzione attraverso le pareti del locale

P_{irr} = potenza termica trasmessa per irraggiamento attraverso le aperture del locale (finestre)

P_{cond} = potenza termica trasmessa per conduzione attraverso le pareti del locale

P_{conv} = potenza termica trasmessa per convezione gas.

Altri termini di potenza termica forniscono

contributi trascurabili per il bilancio energetico e quindi non vengono considerati ai fini del calcolo.

I termini che incidono sulla energia assorbita da un elemento separante sono il primo addendo ed il penultimo addendo al secondo membro.

Occorre quindi analizzare detti termini.

Per farlo è necessario descrivere le caratteristiche principali con cui si trasmette il calore prodotto durante l'incendio.

La trasmissione del calore durante l'incendio è un fenomeno di tipo non stazionario cioè variabile col tempo.

Quindi verranno analizzati singolarmente i contributi forniti dalla trasmissione del calore mediante conduzione ed adduzione.

Conduzione

Identificando come sistema fisico l'elemento solido di separazione, non essendoci alcun lavoro da parte di un fluido, per il primo prin-

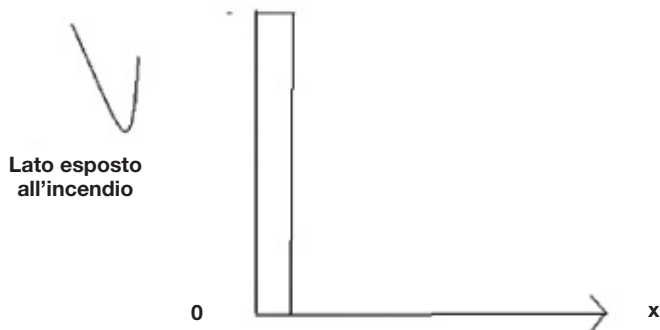


Figura 2 - Schema di riferimento per la conduzione in regime transitorio di una parete

cipio della termodinamica, si ottiene che il calore assorbito dal sistema è uguale alla variazione della sua energia interna $Q=\Delta U$. Per individuare qual'è la quantità di calore che determina la variazione di energia interna (ΔU) bisogna prendere in considerazione il numero di Biot (Bi) ed il numero di Fourier (Fo). Gli elementi utilizzati per costituire compartimenti antincendio sono caratterizzati da un $Bi \gg 1$ ($Bi =$ resistenza esterna convettiva/resistenza conduttiva interna) cioè una elevata quantità di calore scambiata per convezione ed una alta resistenza conduttiva interna che determina l'accumulo di calore nell'elemento. Il numero di Fourier di un solido è determinato dal rapporto fra la potenza termica trasmessa per conduzione e la potenza termica accumulata.

La trasmissione del calore durante l'incendio è un fenomeno di tipo non stazionario cioè variabile col tempo. Quindi, nel presente articolo, vengono analizzati singolarmente i contributi forniti dalla trasmissione del calore mediante conduzione ed adduzione

In questo caso il modello di analisi dell'elemento è quello di un solido piano di lunghezza seminfinita per il quale si applica l'equazione differenziale di Fourier per la conduzione in regime variabile.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

$T =$ temperatura assoluta nel locale incendiato

$\alpha = \lambda / (\rho \cdot c_p)$ [m^2/s] diffusività termica

$\lambda =$ conducibilità termica [$W/m \cdot K$] che conduce alla soluzione dell'equazione differenziale (1)

$$\frac{(T - T_S)}{(T_i - T_S)} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\eta e^{-u^2} du = erf(\eta)$$

$$con \eta = \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}}$$

erf =funzione degli errori 2)

Dalla soluzione dell'equazione differenziale di Fourier monodimensionale

$$T = T_S - (T_S - T_i) \cdot erf(\eta)$$

si ricava (per $x=0$) che la temperatura della parete della faccia esposta all'incendio è praticamente uguale a quella dell'ambiente incendiato, quindi si può esprimere la T_S in funzione della temperatura raggiunta da un incendio.



Dove x è il valore della profondità della parete (spessore) rispetto alla quale si calcola la T , T_S è la temperatura in corrispondenza della superficie della parete, T_i è la temperatura iniziale della parete.

Risolvendo invece l'equazione differenziale per una ascissa $x=0$ (cioè in corrispondenza della faccia esposta all'incendio) e per un generico istante t si ottiene l'espressione del flusso di calore che attraversa la parete:

$$q = b \cdot S \cdot (T_S - T_i) / \sqrt{t \cdot \pi}$$

b = inerzia termica [$J/m^2 \cdot s^{1/2} \cdot K$]
 S = superficie parete in m^2
 t = tempo in secondi,
 temperature espresse in K.

Dal numero di Biot (Bi) sappiamo che la quantità di calore che all'istante t viene trasmessa per conduzione è pari a q/Bi , mentre la variazione di temperatura della parete di-

pende dalla quantità di calore assorbita per conduzione regolata da Bi e Fo .

Il Bi va calcolato considerando il coefficiente di convezione medio relativo all'elemento parete in esame.

Dell'energia termica che investe la parete una parte viene accumulata dalla stessa un'altra viene trasmessa per conduzione.

Facendo un bilancio energetico si ottiene che

$$q = q_{acc} + q_{cond,usc}$$

cioè la quantità di calore che investe per conduzione la parete è uguale alla quantità di calore accumulata (che provoca la variazione di energia interna della parete) più la quantità di calore trasmessa per conduzione verso l'ambiente adiacente.

$$q_{cond,usc} = q / (1 + Fo)$$

questo bilancio termico effettuato per un istante generico t bisogna estenderlo ad un intervallo di tempo più ampio coincidente con la durata dell'incendio fino al raffreddamento.

È necessario quindi procedere integrando l'espressione di q che contiene due variabili " T_S " e " t ".

In tal senso per esprimere la temperatura di un incendio si è scelto di adoperare l'espressione dell'Eurocodice 1:

$$T = 1325 (1 - 0,324 e^{-0,2t} - 0,204 e^{-1,7t} - 0,472 e^{-19t})$$

$$t^* = t^* \Gamma$$

$$\Gamma = (Fv/0.04)^2 / (b/1900)^2$$

Fv = fattore ventilazione del locale
e b = inerzia termica

trascurando il quarto termine entro parentesi (molto piccolo in base all'esponente) l'espressione restante, sostituita in q , fornisce la funzione da integrare per ottenere l'energia termica totale assorbita dalla parete ed applicando le relazioni di bilancio termico, indicate precedentemente, si ottiene la quantità di energia termica trasmessa per conduzione nel locale adiacente $E_{cond,usc}$.

In questa fase il problema maggiore è il calcolo dell'integrale della funzione, al netto delle costanti, costituita dall'espressione

$$[1325 * (1 - 0,324 * e^{-0,2t} - 0,204 * e^{-1,7t})] / \sqrt{t}$$

la risoluzione dell'integrale può avvenire per via numerica linearizzando prima la funzione con il metodo dei minimi quadrati, verificandone il coefficiente di coerenza, e procedendo poi ad un'integrazione molto semplice dell'equazione di una retta.

La linearizzazione si avvicina sempre più all'andamento delle due funzioni, costituenti la funzione integranda,

$$[1325 * (1 - 0,324 * e^{-0,2t} - 0,204 * e^{-1,7t})] e \sqrt{t}$$

man mano che aumenta il tempo t poiché tendono entrambe asintoticamente all'infinito (cambia solo la rapidità con cui decrescono).

Adduzione

Il fenomeno comprende la convezione e l'irraggiamento. La quantità di calore trasmessa è proporzionale al prodotto $(T_S - T_{loc}) * S$ secondo un coefficiente pari alla somma del coefficiente medio di convezione (h_{medio}) ed il coefficiente medio di irraggiamento (r_{medio}). Il fenomeno convettivo è caratterizzato dalla differenza di temperatura fra l'ambiente incendiato ed il locale adiacente in cui non vi è incendio.

In questo caso bisognerà calcolare il coefficiente convettivo medio (h_{medio}) della parete in base al numero di Nusselt.

Detto coefficiente è quello che serve a determinare Bi .

L'espressione del calore trasmesso ad un generico istante t è $Q_{add} = (r_{medio} + h_{medio}) * (T_S - T_{loc}) * S$. La T_{loc} è la temperatura del locale adiacente.

Considerato che la faccia della parete non esposta all'incendio è calcolabile con la (1) ponendo x = allo spessore della parete, S superficie in mq della parete (tutte le temperature sono espresse in K).

Anche in questo caso l'energia totale trasmessa per adduzione all'altro locale si calcola con un integrale sostituendo all'espressione di T_S la funzione della temperatura dell'Eurocodice 1.

Questa volta però l'integrale si può calcolare più agevolmente essendo la funzione integranda la somma di due funzioni esponenziali.

Alla fine si ottiene il secondo termine che è E_{add} .

Per la componente convettiva bisogna tenere conto del fatto che, a partire dallo strato di aria a diretto contatto con la faccia non esposta all'incendio, le particelle di aria vanno via via riscaldandosi, allontanandosi dalla parete, acquistando energia cinetica e tra-

sformando quindi il regime di trasmissione del calore da laminare a turbolento e favorendo una trasmissione del calore più rapida rispetto a quella che avviene per conduzione. Per la componente di irraggiamento la determinazione del coefficiente r deve avvenire per via numerica. Considerata la crescente differenza di temperatura fra la faccia esposta all'incendio e la faccia non esposta all'incendio il coefficiente medio r può essere calcolato a partire dal primo termine della serie di Taylor relativo alla $(T_s^4 - T_{loc}^4)$; il termine $(T_s - T_{loc})$, con un coefficiente correttivo¹⁾ moltiplicato per $4 \cdot T_{loc}^3$ e per la costante di Boltzmann consente di determinare il contributo dell'irraggiamento.

La funzione da integrare, che consente di

determinare l'energia trasmessa per adduzione, è:

$$\alpha \cdot S_{parete} \cdot [1325 \cdot (1 - 0,324 \cdot e^{-0,2t} - 0,204 \cdot e^{-1,7t})],$$

trascurando il terzo termine esponenziale dell'espressione della temperatura, con

$$\alpha = r_{medio} + h_{medio}$$

Terminata questa fase di calcolo, si sono ottenuti i contributi all'energia complessivamente trasmessa al locale adiacente mediante conduzione ed adduzione durante il periodo pari alla durata dell'incendio fino al raffreddamento (come previsto dal punto 4 dell'Allegato al D.M. 09/03/2007).

MURATURE • GEOTECNICA-ACCIAIO • SISMICA • COMPOSTE ACCIAIO/CALCESTRUZZO • RESISTENZA AL FUOCO • AZIONI SULLE STRUTTURE



GUIDA ALL'EUROCODICE 2 Progettazione delle strutture in calcestruzzo

Questa Guida fornisce indicazioni sulla progettazione di edifici e strutture di ingegneria civile in calcestruzzo armato basata sulla EN 1992-1-1 (Progettazione delle strutture di calcestruzzo: Regole generali e regole per gli edifici) e indicazioni sulla EN 1992-1-2 (Progettazione delle strutture di calcestruzzo: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio). La Guida all'Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo: EN 1992-1.1, 1.2 tratta le strutture gettate in opera e prefabbricate utilizzando calcestruzzo di peso specifico ordinario o alleggerito e si applica a strutture in calcestruzzo semplice, armato e precompresso. Le indicazioni della norma vengono discusse e motivate, fornendo una guida utilissima per l'applicazione dell'Eurocodice e delle NTC 2008.

Autori: A. W. Beeby, R. S. Narayanan - **Traduzione:** L. Atanasio
Edizione: febbraio 2011 - **Formato:** 210x297 mm cartonato - **Prezzo:** € 40,00



Via dell'Acqua Traversa 187/189 - 00135 Roma - Tel. 06 33245277 - Fax 06 33111043 - www.epc.it - clienti@epc.it

 **EPC**
EDITORE

Nel locale adiacente il sistema termodinamico si identifica con l'aria presente all'interno del medesimo locale.

In questo caso l'aria non compie alcun lavoro e quindi, secondo il primo principio della termodinamica, anche in questo caso, l'energia termica ricevuta mediante i meccanismi suesposti è pari alla variazione di energia interna dell'aria.

Ferma restando la diversità, dal punto di vista fisico, dei meccanismi con cui viene trasmessa l'energia termica, dal punto di vista termologico la temperatura dell'aria varierà in funzione della sua capacità termica, del volume del locale e dell'energia termica trasmessa.

Considerando che lavoriamo in regime non stazionario, la quantità di calore dQ trasmessa al volume di aria ad un istante di tempo dt , produce un incremento di temperatura dT , quindi la quantità di calore complessivamente trasmessa al volume di aria produce un incremento della temperatura secondo l'espressione $\int 1 \cdot V_{loc} \cdot dt$.

Quindi l'espressione da utilizzare è:

$$Q = 1 \cdot V_{loc} \cdot \Delta T$$

con ΔT pari all'incremento di temperatura dell'aria nel locale, (capacità termica dell'aria = 1 kJ/m^3).

Il valore di Q è quello trasmesso al locale adiacente calcolato con la metodologia precedentemente esposta. Il valore di ΔT si fissa a priori in modo da utilizzarlo come valore di controllo rispetto all'energia termica trasmessa attraverso la parete.

Pertanto se la capacità termica dell'aria contenuta nel locale adiacente, a ΔT prefissato, consente allo stesso volume di aria di accumulare una quantità di energia termica superiore all'energia termica trasmessa attraverso la parete, quest'ultima avrà, allora, offerto un livello di isolamento sufficiente a garantire la protezione del locale adiacente a quello incendiato. In caso contrario si dovrà intervenire sulle caratteristiche fisiche ed iso-

lanti della parete per ridurre la quantità di energia trasmessa al locale adiacente e ricondurla ad un valore inferiore a quello dell'energia termica accumulabile dalla massa di aria presente nel locale medesimo.

Quindi sostanzialmente il livello di protezione che viene richiesto alla parete separante si traduce in una temperatura massima accettabile per il locale da proteggere considerando:

- la presenza di persone all'interno del medesimo locale e l'esposizione delle stesse alle temperature che si creeranno all'interno del locale a seguito dello sviluppo dell'incendio
- la presenza di materiali incendiabili che possono essere innescati da un innalzamento di temperatura.

In ogni caso bisogna considerare che nel locale da proteggere la temperatura massima in corrispondenza del ΔT prefissato sarà raggiunta solo nella fase finale dell'incendio. Questa considerazione è importante perché in relazione al punto 1 le persone dovranno essere evacuate nella fase iniziale dell'incendio cioè quando l'energia termica trasmessa è lontana dal valore massimo e di conseguenza il valore di temperatura nel locale sarà abbondantemente al di sotto di quello massimo. Dunque il raggiungimento della temperatura massima riguarderà essenzialmente il pericolo di incendio dei materiali combustibili e la salvaguardia dei beni materiali presenti nel locale che possono danneggiarsi con le elevate temperature.

In definitiva la scelta delle caratteristiche protettive dell'elemento di separazione dipende da una oculata e corretta scelta del ΔT ammissibile per il locale da proteggere in corrispondenza del quale si ammette la quantità di energia termica massima che può attraversare la parete separante.

Analisi finale

Questa metodologia, basata sulle energie termiche trasmesse, consente di concentra-

re l'attenzione sulla effettiva prestazione dell'elemento separante in relazione alle reali caratteristiche dell'incendio esaminato e sulle condizioni al contorno identificabili con le caratteristiche dimensionali del locale, che si deve proteggere, adiacente a quello incendiato.

Infatti, quest'ultimo aspetto non può essere trascurato nella individuazione delle caratteristiche di isolamento di una parete in quanto la capacità di accumulare calore dipende dal volume di aria disponibile e diminuisce proporzionalmente al diminuire di detto volume. Per cui potrebbe verificarsi il caso che per contenere la quantità di energia termica trasmessa verso un volume di piccole dimensioni sia necessario un livello di protezione maggiore rispetto al caso in cui si debba proteggere un volume di dimensioni più grandi proprio perché il volume più piccolo tende a riscaldarsi più facilmente.

In ogni caso la procedura è coerente con quanto previsto dal D.M. 09/03/2007, in ordine alla valutazione delle prestazioni, considerando la durata di un incendio fino alla fase di raffreddamento.

Gli altri parametri, oltre alla durata dell'incendio, che ne caratterizzano lo sviluppo sono variabili indipendenti che influiscono sulla funzione energia termica trasmessa che quindi assumerà valori differenti proprio in funzione dei valori assunti da queste variabili.

Un altro aspetto molto importante, che viene superato con questa metodologia, riguarda l'estensibilità del requisito "EI" attribuito ad un manufatto con prove di laboratorio al caso specifico reale. Infatti in questo caso la valutazione della prestazione del manufatto, in termini di isolamento termico, si lega alle caratteristiche del manufatto in relazione all'andamento dell'incendio reale e non si devono valutare le condizioni di estensibilità

Conoscere è Risolvere

Hai la percezione dei tuoi problemi?

Sembra difficile e costoso risolverli?
 La lettera circolare VVF n. 8269 del 20.5.2010 ammette anche l'aspetto economico per la richiesta di deroga.
 La deroga può essere trattata anche con la Fire Engineering.
 Raggiungi lo stesso livello di sicurezza ottimizzando le risorse.
 ISAQ Studio S.r.l. opera nel campo della Fire Engineering dal 1996.

www.isaq.it via dei Mille 8 – 60015, Falconara Marittima (An) – Italy
 Tel- +39 071 910701 – Fax +39 071 9160688 - info@isaq.it

Italian representative for AIAS
CFPA EUROPE

Un'altra applicazione significativa nell'ambito dell'investigazione di un incendio è quando la prestazione di una parete influisce sulla propagazione di un incendio e sullo sviluppo dello stesso. Partendo dalle caratteristiche fisiche di una parete è possibile risalire all'energia termica che può avere favorito la propagazione di un incendio

che consentono di attribuire al medesimo manufatto le stesse prestazioni determinate durante le prove di laboratorio (vanno sempre considerate le condizioni necessarie stabilite dal produttore per garantire la stabilità del manufatto).

Un'altra applicazione significativa è invece nell'ambito dell'investigazione di un incendio in quanto la prestazione di una parete influisce sulla propagazione di un incendio e lo sviluppo dello stesso. Partendo dalle caratteristiche fisiche di una parete è possibile risalire all'energia termica che può avere favorito la propagazione di un incendio.

Fra i limiti che comunque attengono questa metodologia sono da evidenziare gli stessi che consentono l'utilizzo dell'espressione della temperatura dell'incendio dell'Eurocodice 1, cioè è applicabile per locali con superficie in pianta ≤ 500 mq, altezza ≤ 4 metri, senza aperture nel soffitto e combustibile assimilabile al legno.

In ogni caso, ferme restando le procedure previste dal D.M. 09/03/2007, questa metodologia in ambito FSE completa le analisi tecniche e permette una valutazione comparativa delle prestazioni che devono essere richieste ad un elemento di separazione, nell'ottica di una scelta progettuale fra le varie prestazioni che i diversi manufatti presenti in commercio possono offrire al fine di una ottimizzazione economica della scelta stessa. Nell'esempio applicativo riportato di seguito verrà mostrato un calcolo dei parametri oggetto di questo lavoro.

Esempio pratico

Locale deposito (Schema 1)

Si deve proteggere dall'incendio un locale adiacente con superficie in pianta metri 10×10 ed altezza 5 metri. Inizialmente si ipotizza che la parete di separazione sia costituita da laterizi forati con spessore 16 cm, la parete è protetta da intonaco di gesso con spessore 1,5 cm, l'inerzia termica della parete è limitata dai laterizi rispetto all'intonaco ed è pari $585 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}$.

Utilizzando la curva T-t dell'Eurocodice 1 si ottiene una durata dell'incendio fino al raffreddamento pari a $4065 \text{ s} = 68$ minuti con una temperatura massima raggiunta pari a $1258,33 \text{ }^\circ\text{C}$. Dopo avere calcolato la durata dell'incendio e la temperatura massima dell'incendio si passa a:

- calcolare il coefficiente medio di convezione h_{medio} necessario per il calcolo del numero di Bi e del calore trasmesso oltre che per conduzione anche per adduzione
- calcolare il coefficiente medio di irraggiamento
- calcolare il calore totale trasmesso alla parete dal quale determinare quello trasmesso per conduzione.



Locale deposito con superficie in pianta pari a metri 20*10, altezza 5 metri, porta di ingresso larga metri 3 ed alta metri 3, due superfici finestrate sui lati più lunghi larghi ciascuna metri 15*1,5. Materiale combustibile presente = 1500 kg di legna.

Carico di incendio specifico = 131,25 MJ/m²

$E_{disp} = 26250 \text{ MJ}$

$S_{pianta} = 200 \text{ m}^2$

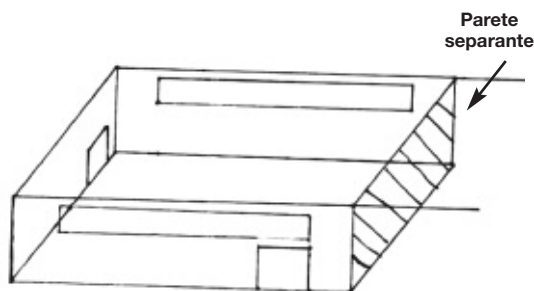
$S_{tot} = 700 \text{ m}^3 \text{ Vloc} = 1000 \text{ m}^3$

$S_{vent} = 45 \text{ m}^2$

$H_v = \text{altezza equiv. superfici vent.} = 1,5 \text{ m}$

Fattore di ventilazione $F_v = 0,079$

$W_{eq} = \text{larghezza equivalente superfici ventilazione} = 30 \text{ m} \quad \Gamma_{design} = 41,14$



Schema 1 - Locale deposito

Per eseguire questi calcoli sono stati impostati specifici fogli excel.

Per la linearizzazione della

$$q = b \cdot S \cdot (T_S - T_i) / \sqrt{(t \cdot \pi)}$$

sono stati calcolati 10 punti della funzione per gli istanti in secondi [300, 800, 1000, 1300, 1700, 2100, 2600, 3000, 3500, 4065]; un numero maggiore di punti fornisce una maggiore accuratezza dei risultati ottenuti a

fronte di un tempo maggiore impiegato per il calcolo.

Si ottiene così la seguente retta che approssima la funzione con il metodo dei minimi quadrati:

$$Y = -8,5 \cdot 10^{-7} \cdot t + 0.002582$$

(t tempo in secondi) che spiega l'andamento della funzione reale al 69%, integrando nell'intervallo [1- 4065], sviluppando i calcoli si ottiene che l'energia termica che investe la parete (50 m²) del locale adiacente risulta pari a 2820,52 MJ.

Si sottolinea che il coefficiente angolare della retta è negativo poiché esprime, così come la funzione integranda, un andamento decrescente col tempo.

I coefficienti calcolati sono $h_{medio} = 6,986 \text{ W} \cdot \text{K} / \text{m}^2$ ed $r_{medio} = 2,567 \text{ W} \cdot \text{K} / \text{m}^2$.

Il coefficiente h_{medio} è stato calcolato con l'espressione di Nusselt considerando intervalli della temperatura dell'incendio di 100°C fino alla temperatura massima, partendo da una temperatura di 132 °C.

Il coefficiente r_{medio} è stato calcolato secondo quanto precedentemente esposto utilizzando il coefficiente correttivo ricavato dalla tabella riportata in appendice.

Il coefficiente di adduzione a risulta pari a $9,55 \text{ W} \cdot \text{K} / \text{m}^2$.



Il numero $Bi = h_{\text{medio}} \cdot s / \lambda$, s / λ rappresenta la resistenza termica conduttiva di un elemento. Nel caso in esame la parete è costituita da laterizi + intonaco di gesso su entrambe facce della parete, quindi la resistenza ai fini di Bi è la somma delle resistenze termiche dei materiali costituenti la parete espressi in metri:

$$0,16/0,34+(0,01/0,18)*2=0,582$$

$$Bi=0,582*6,986=4,064,$$

il numero di Fourier è $\lambda*t/ *cp*s^2$

s = spessore (m) , ma detto numero con opportune sostituzioni si può esprimere in funzione della resistenza termica conduttiva e dell'inerzia termica di un elemento, diventando quindi t/Rt^2*b^2 .

Considerando la resistenza termica calcolata ed il tempo di durata dell'incendio si ottiene $Fo=0,035$ e conseguentemente:

- Energia verso parete per conduzione=2224,17 MJ
- Energia entrante parete=547,28 MJ
- Energia trasmessa al locale adiacente = 18,5 MJ
- Energia trasmessa al locale adiacente per adduzione = 0,64 MJ
- Energia tramessa totale = 19,14 MJ

Dalla $Q=1*V_{loc}*\Delta T$ si ottiene che la capacità di accumulo di calore nel locale.

Dall'equazione differenziale (1) si calcola

la temperatura sulla faccia della parete non esposta all'incendio utilizzando per la diffusività termica l'espressione s^2/b^2*R^2t che conduce ad ottenere una variabile η pari 2,523 in corrispondenza della quale la funzione degli errori assume un valore di 0,9995, per cui la temperatura della faccia non esposta al fuoco è di 20°C pari alla temperatura iniziale della parete.

Fissando in 40 °C il ΔT massimo accettabile per il locale adiacente ($T_{\text{max}} = 60$ °C) si ottiene una capacità di accumulo di energia termica di $40*500=20MJ$

Che è quasi uguale all'energia massima ricevuta pari a 19,14 MJ.

Quindi per questi valori massimi di temperatura e' sufficiente lo spessore di parete considerato.

Se si fosse, invece, fissato un $\Delta T = 20$, accettando cioè una $T_{\text{max}} = 40$ °C, la capacità di accumulo di energia termica del locale diventa $20*500= 10$ MJ, per cui gli spessori dell'elemento non garantirebbero il mantenimento della T_{max} prefissata.

Ai fini di un confronto, per lo stesso tipo di incendio, sono state calcolate le prestazioni di un muro in blocchetti di calcestruzzo di una nota casa produttrice ed una parete di cartongesso sempre di un altro noto produttore.

Entrambi i prodotti sono certificati EI 120 con le caratteristiche riportate nello *schema 2*.

Per parete con blocchetti in calcestruzzo si ottiene:

	blocchetti calcestruzzo	parete cartongesso
Spessore (cm)	14,4	14
Inerzia termica (J/m ² *s ^{1/2} *K)	768	583
Resistenza termica (m ² *K/W)	0,4	0,56
Conducibilità termica (W/m*K)	0,355	0,25

Schema 2 - Caratteristiche dei prodotti

- Energia entrante = 1367 MJ
- Energia uscente = 56,37 MJ
con $B_i = 2,39$ e $F_o = 0,043$ a = 9,8
 $T_{max} = 1175$ °C $t_{max} = 4266$

Per parete in cartongesso si ottiene:

- Energia entrante = 718,43 MJ,
- Energia uscente = 26,36 MJ
con $B_i = 3,91$ e $F_o = 0,0381$ a = 9,6
 $T_{max} = 1259$ °C $t_{max} = 4062$

Quindi, nel caso in esame, a parità di prestazione certificata e di spessore della parete, una parete in cartongesso consente una riduzione della durata dell'incendio ma soprattutto la riduzione dell'energia trasmessa per conduzione all'ambiente da proteggere del 53% a causa di un maggiore valore di B_i ed un minore valore di F_o .

Questi dati raffrontati con la quantità di energia termica massima accettabile che può essere accumulata nel locale adiacente orientano la scelta del tipo di materiale da utilizzare.

A corredo di quanto esposto sopra, vale la pena evidenziare che una parete in blocchetti di calcestruzzo con spessore 7,7 cm (certificati EI 60) dà luogo a:

- Energia entrante = 2744 MJ
- Energia uscente = 419 MJ.

Quindi il raddoppio dello spessore della parete, a parità di materiale, consente di abbattere l'energia termica trasmessa per conduzione del 86,5%.

In questo contesto, quindi, sulla scorta dell'offerta di prodotti in commercio, le cui prestazioni sono definite sulla base di una prova "standardizzata", è possibile scegliere il prodotto in relazione non alla prestazione dichiarata ma in relazione alla prestazione effettivamente offerta in relazione agli ambienti da isolare e proteggere dall'incendio .

Quindi quello proposto è sostanzialmente uno strumento di analisi di tipo comparativo che si inserisce nell'approccio FSE laddove è necessario determinare per via analitica le prestazioni dei sistemi protettivi.

Nell'ambito invece dell'applicazione di regole tecniche di prevenzione incendi, fermo restando i limiti minimi prestazionali imposti e certificabili per via tabellare o per via estensiva sperimentale, l'approccio permette di fare una scelta tecnico-economica fra i diversi prodotti che offrono le caratteristiche minime di protezione necessarie.

In definitiva il progettista non dovrà individuare un tempo di durata della protezione ma la temperatura massima ammissibile per un locale da proteggere dato l'incendio reale.

Questo è possibile in quanto il parametro preso a riferimento per misurare una prestazione non è più il tempo ma l'energia termica massima trasmissibile durante un incendio.

Appendice

1)

coeff. Correttivo	T (°K)
2,123	373-473
1,607	373-573
1,291	373-673
1,077	373-773
0,923	373-873
0,807	373-973
0,716	373-1073
0,643	373-1173
0,584	373-1273
0,534	373-1373
0,493	373-1473
0,457	373-1573

La tabella riportata sopra si utilizza individuando il coefficiente correttivo da adoperare per calcolare il contributo dell'irraggiamento individuando la fascia entro cui si attesta la temperatura massima raggiunta durante l'incendio.

2) La funzione degli errori esprime la probabilità che il valore di una variabile casuale, con distribuzione "normale", differisca rispetto alla media entro i limiti della sua deviazione standard.