

SPERIMENTAZIONE DI EVENTI DI INCENDIO IN UN AMBIENTE CONFINATO

U. Ayr¹, S. Buffo², E. Cirillo¹, P. Masini³

¹ Dipartimento di Fisica Tecnica – Politecnico di Bari, via Orabona n. 4 – I 70125 Bari

² Corpo Nazionale VVF – Ministero dell’Interno, Roma

³ Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Politecnico di Bari, via Orabona n. 4 – I 70125 Bari

SOMMARIO

In questo lavoro viene descritta la sperimentazione condotta all’interno di un edificio in cui si sono realizzati 13 eventi di incendio in scala reale. Le prove di incendio si differenziano tra loro sia per il tipo di combustibile bruciato sia per le condizioni di ventilazione. Il grado di ventilazione è stato variato simulando la rottura di uno o entrambi i vetri di una finestra presente nell’ambiente in cui si è sviluppato l’incendio, oppure aprendo o chiudendo la porta verso il vano scala e un finestrino posto all’ultimo piano del vano scala.

Per quanto riguarda il combustibile, sono stati utilizzati due diversi tipi di poliuretano espanso, con certificazione di classe 1 IM verso la reazione al fuoco, un materiale molto utilizzato per le imbottiture di poltrone e divani; in una prova, invece, è stato bruciato un intero divano in modo da simulare una situazione più vicina a quella che può verificarsi nella realtà.

Durante le prove d’incendio sono stati rilevati il consumo istantaneo del combustibile, le temperature dei gas combusti e la loro composizione chimica, e, infine, la propagazione e l’opacità dei fumi. In questo lavoro, vengono presentati, in particolare, i valori rilevati della velocità del processo di volatilizzazione del combustibile e i valori delle temperature misurate da 59 termocoppie disposte nell’ambiente in cui si sono sviluppati gli incendi e lungo le vie di esodo. I dati vengono analizzati studiandone l’evoluzione temporale e la distribuzione spaziale, anche in relazione ai tempi con cui si raggiungono le condizioni di pericolo determinate dallo stress termico sull’uomo.

INTRODUZIONE

Nella letteratura scientifica si possono trovare numerosi lavori che riguardano l’analisi teorica della termofluidodinamica di un incendio all’interno di un ambiente confinato. Al contrario, vi è un numero molto minore di lavori sperimentali, e ciò a causa delle difficoltà che si incontrano nel ricreare idoneamente le condizioni reali. Spesso le prove di incendio sui materiali vengono effettuate in camere di combustione e particolari forni, in cui vengono eliminati molti degli effetti perturbativi che si possono verificare in condizioni reali. L’eliminazione delle perturbazioni è utile per definire condizioni di riferimento per la comparazione dei dati sperimentali, quando, però, si vuole studiare l’evoluzione di un evento di incendio, sono proprio le perturbazioni al contorno uno degli elementi più importanti da dover considerare. In questo caso, allora, è importante ricreare quanto più è possibile le reali condizioni in cui si sviluppa l’incendio, effettuando la sperimentazione in ambienti per lo più simili a quelli reali. Si possono facilmente comprendere, allora, le notevoli difficoltà che si incontrano nell’effettuare una sperimentazione di questo tipo, sia a livello di organizzazione sia per gli elevati costi economici che è necessario sostenere.

Infatti, per motivi di sicurezza, è opportuno che l’ambiente scelto sia isolato, o che gli ambienti confinanti siano evacuati, in modo da non esporre la popolazione residente a rischi di qualunque genere. In ogni caso, durante le prove sperimentali, occorre disporre della collaborazione dei Vigili del Fuoco per poter tenere sotto controllo i focolai di incendio. Infine, per evitare di provocare danni irreversibili alle strutture, occorre proteggere adeguatamente gli ambienti e le strutture portanti, ma, nonostante ciò, i danni che inevitabilmente si producono richiedono notevoli interventi per il ripristino delle condizioni iniziali.

In questo lavoro, vengono presentati i risultati di una sperimentazione di eventi di incendio su scala reale condotta all’interno di un edificio in fase di ultimazione nel comune di Bari. L’indagine è stata condotta con la collaborazione del Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Bari, che ha messo a disposizione numerosi uomini e mezzi.

SVILUPPO DI UN INCENDIO

Lo sviluppo di un incendio all'interno di un ambiente può essere illustrato con riferimento all'andamento temporale della temperatura media durante l'incendio (fig. 1). Tale curva permette di individuare più stadi specifici durante lo sviluppo dell'incendio: l'ignizione, lo sviluppo preflashover, il flashover, l'incendio completamente sviluppato e il decadimento finale.

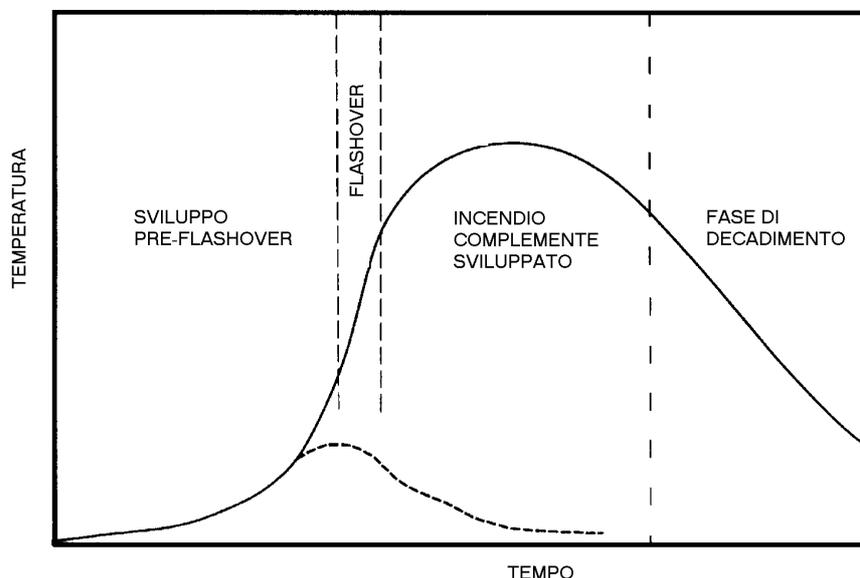


Fig. 1 – Fasi di sviluppo di un incendio (a tratteggio in assenza di flashover)

L'ignizione

Tutti gli incendi iniziano con un evento di innesco, l'ignizione: una sorgente di calore entra in contatto con un combustibile, generalmente liquido o solido, determinando un processo di pirolisi che libera vapori infiammabili capaci di reagire con ossigeno esotermicamente, sviluppando fiamme e gas combustibili.

L'ignizione può essere *pilotata* o *spontanea*. Nel primo caso la combustione si avvia per mezzo di un elemento "pilota" esterno, come una fiamma indipendente, una scintilla elettrica o un punto caldo. Nel secondo caso, invece, la combustione si avvia spontaneamente per effetto dello stato in cui si viene a trovare la miscela dei vapori infiammabili con l'ossigeno.

Le cause più frequenti d'innesco della combustione sono di origine termica o di origine elettrica (cortocircuiti, scariche elettriche e atmosferiche, ecc.).

Lo sviluppo pre-flashover

Una volta che si sia innescata una combustione localizzata, può verificarsi una delle seguenti possibilità:

- se il materiale combustibile incendiato è limitato ed isolato, esso brucia senza coinvolgere altre superfici combustibili;
- se la ventilazione è limitata, l'incendio può estinguersi o continuare a bruciare molto lentamente in base alla disponibilità di ossigeno (incendio controllato dalla ventilazione);
- se il materiale combustibile è sufficiente e così anche la ventilazione, l'incendio può svilupparsi coinvolgendo altri materiali combustibili presenti nell'ambiente.

Lo sviluppo dell'incendio, con l'allargamento delle fiamme fino a coinvolgere altri materiali combustibili, richiede che su questi giunga la potenza termica necessaria per il processo di volatilizzazione che dà luogo alla formazione di vapori infiammabili. Tale potenza termica deriva dall'irraggiamento proveniente dalle fiamme esistenti, dai fumi che si addensano in prossimità del soffitto e dal soffitto stesso, la cui temperatura sale abbastanza rapidamente in un incendio.

Nel caso in cui la combustione riesce a svilupparsi, si determinano le condizioni del *flashover*. Se, invece, la combustione non riesce a svilupparsi a causa di una limitata ventilazione, può accadere che i vapori

prodotti dal processo di pirolisi si accumulino nello spazio, con il pericolo che a seguito di un improvviso aumento della ventilazione, ad esempio per l'apertura di una porta, si determini una loro improvvisa combustione (*backdraught*).

Il flashover

Il flashover (*flames flash over*) segna la transizione da un incendio localizzato ad un incendio generalizzato, in cui tutte le superfici combustibili bruciano contemporaneamente. Durante la fase di sviluppo dell'incendio si ha l'estensione delle superfici combustibili soggette al processo di pirolisi, che determina l'accumularsi di vapori infiammabili. In presenza di sufficiente ossigeno, quando i vapori raggiungono una temperatura sufficientemente elevata, essi si incendiano contemporaneamente dando luogo a quello che si chiama flashover. Ciò determina un rapido aumento della potenza termica rilasciata che continua ad alimentare sempre più il processo, per cui, in presenza di un elevato carico di incendio, il processo non potrà che essere limitato dal solo grado di ventilazione presente. Pertanto, dopo il flashover, gli incendi finiscono generalmente per essere controllati dalla ventilazione a causa dell'elevata richiesta di ossigeno necessaria per mantenere l'incendio generalizzato.

Una precisa definizione del momento in cui si verifica il flashover non è strettamente possibile. Tuttavia studi sperimentali dovuti a Waterman indicano che esso si verifica quando il flusso radiativo al livello del pavimento, proveniente dal soffitto e dalle altre superfici irraggianti, raggiunge il valore di 20 kW/m². Altri studi (Hägglund, Fang) indicano il verificarsi del flashover quando la temperatura del soffitto raggiunge circa 600 °C (in un ambiente di 2.70 m circa di altezza).

L'incendio completamente sviluppato

Questo stadio è quello successivo al flashover o anche al *backdraught*. La potenza termica sviluppata raggiunge il picco e la temperatura dei fumi può superare facilmente i 1000 °C. L'incendio può estendersi ad altre parti dell'edificio e indurre danni strutturali. Anche se l'incendio rimane confinato, i fumi e i gas tossici, caratterizzati da un flusso molto turbolento, possono diffondersi lontano dalla sorgente originale determinando condizioni di estremo pericolo.

Il decadimento

In questo stadio finale la temperatura inizia a diminuire poiché il combustibile si va esaurendo. Le fiamme si estinguono e finiscono per rimanere solo braci incandescenti. Spesso l'inizio di questo stadio viene identificato con l'istante in cui la temperatura media nell'ambiente si è ridotta all'80% del valore di picco.

La storia temporale della temperatura media all'interno del compartimento è molto importante per valutare la severità dell'incendio in termini di danni indotti dallo stress termico sia sull'uomo sia sulle strutture. In generale, i danni alle persone dovuti al calore si verificano già nella fase preflashover, mentre i danni alle strutture si verificano essenzialmente dopo il flashover, quando la temperatura può superare facilmente i 1000 °C.

SPERIMENTAZIONE

Il sito

La sperimentazione è stata effettuata nel comune di Bari, all'interno di un edificio in costruzione, alto 12 piani e avente la struttura portante in cemento armato. Nella figura 2 è riportata la planimetria dell'appartamento all'ottavo piano dove, nell'ambiente A, si sono prodotti gli eventi d'incendio. In questo ambiente è presente una apertura verso l'esterno costituita da una finestra a due ante, ognuna di larghezza 0.50 m e altezza 1 m, posta a 1.10 m dal pavimento. Inoltre la stanza comunica con gli altri ambienti dell'appartamento attraverso una porta, tenuta sempre aperta, di dimensioni 1.00 m x 2.20 m.

Le pareti sono intonacate, con mattoni di laterizio di spessore 30 cm, se esterne, 8 cm se divisorie, e, per garantire un'adeguata resistenza al fuoco, sono state rivestite con pannelli di gesso di spessore 3 cm. Su una delle pareti è stata realizzata una piccola finestra, con vetro resistente ad alte temperature, per consentire la ripresa video del focolare. Il solaio è in latero-cemento e ha uno spessore di 30 cm.

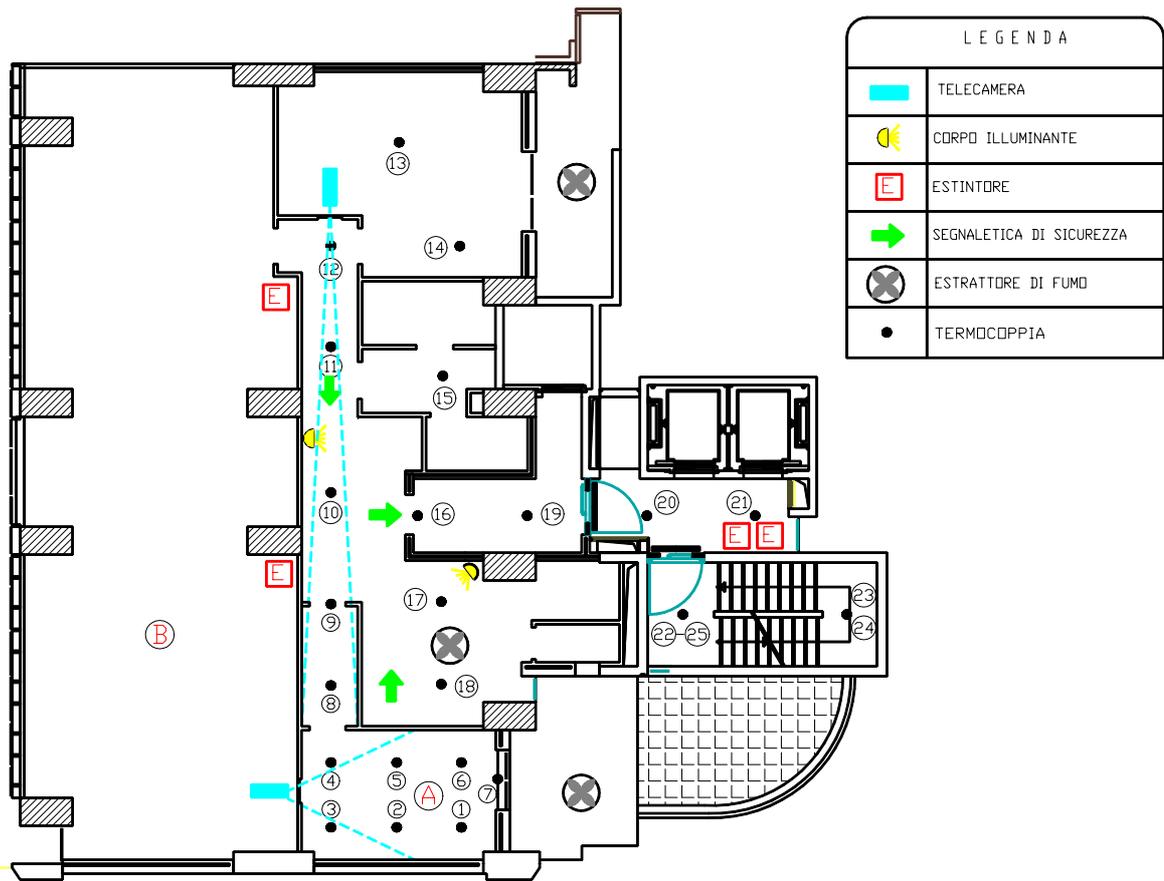


Fig. 2 – Planimetria dell'appartamento in cui si è svolta la sperimentazione

La strumentazione

Durante le prove sono state effettuate numerose misurazioni. In particolare sono state rilevate la temperatura dei gas combusti, la loro composizione chimica, l'opacità dei fumi e la loro propagazione. Inoltre si è misurato il consumo istantaneo di combustibile e sono stati predisposti due punti di ripresa video, uno per tenere sotto osservazione il focolare e l'altro per rilevare l'avanzamento dei fumi rispetto a dei segnali a vista collocati lungo le vie di esodo. Tutta la strumentazione di controllo e il personale addetto ha trovato posto nell'ambiente B, che è stato opportunamente protetto dai fumi.

Per quanto riguarda la misura della temperatura, sono state collocate 59 termocoppie di tipo K distribuite sia nell'ambiente in cui si sono sviluppati gli incendi sia lungo le vie di esodo, fino ad arrivare ai pianerottoli del piano inferiore e del piano superiore (fig. 2). Le termocoppie sono state fatte scendere dal piano superiore attraverso un foro praticato nel solaio e sono state posizionate a varie altezze dal pavimento: nelle postazioni da 1 a 10 sono state collocate tre termocoppie alle altezze di 1.5 m, 2 m e 3 m, mentre nei restanti punti sono state collocate solo due termocoppie, alle due altezze maggiori. I valori della temperatura sono stati rilevati ogni 10 secondi mediante un sistema di acquisizione dati (Agilent 34970A) controllato da un personal computer portatile. A causa della lunghezza dei cavi è stato necessario utilizzare termocoppie con cavi di compensazione.

Per quanto riguarda, invece, la misura della massa di combustibile volatilizzato, è stata utilizzata una bilancia elettronica di precisione, collocata all'esterno della stanza in cui si è sviluppato l'incendio, su cui si è fatto gravare il combustibile, contenuto in una vasca in acciaio, tramite un braccio a leva.

Gli eventi di incendio

La sperimentazione condotta ha riguardato 13 prove in cui è stato variato sia il combustibile bruciato sia il grado di ventilazione (Tab. 1). Per quanto riguarda il combustibile, sono stati utilizzati due tipi diversi di poliuretano espanso, certificato di classe 1 IM nei confronti della resistenza al fuoco, un materiale molto utilizzato per le imbottiture di poltrone e divani. In una prova, invece, è stato bruciato un intero divano, in modo da simulare una situazione per lo più simile a quella che può verificarsi in un caso reale. La massa di combustibile è stata sempre di 20 kg circa, tranne nel caso del divano, la cui massa complessiva era di circa 32 kg. Per il tipo 2 di poliuretano espanso, utilizzato nella maggior parte delle prove, è stato misurato sia il potere calorifico inferiore, che è risultato pari a 26 MJ/kg, sia la densità, pari a 32 kg/m³. Con questi valori, il carico d'incendio, in kg di legna equivalente su metro quadrato di pavimento, risulta pari a 2.5 circa, un valore relativamente limitato rispetto al caso di incendi reali.

Il grado di ventilazione è stato variato principalmente simulando la rottura di uno o entrambi i vetri della finestra presente nella stanza in cui si sono sviluppati gli incendi e, inoltre, è stata variata anche aprendo o chiudendo la porta di comunicazione con il vano scala e la finestra, di 1 m² di area, presente all'ultimo piano del vano scala.

Tab. 1 – Eventi di incendio sperimentati

N. prova	Finestra focolare [m ²]	Porta vano scala	Finestra ultimo piano	Combustibile
1	0.5	Chiusa	-	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 1
2	0.5	Aperta	Chiusa	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 2
3	0.5	Aperta	Aperta	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 2
4	1.0	Aperta	Chiusa	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 2
5	1.0	Aperta	Aperta	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 2
6	0.5	Aperta	Aperta	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 2
7	1.0	Aperta	Aperta	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 2
8	0.0	Aperta	Aperta	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 2
9	0.0	Aperta	Aperta	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 2
10	0.0	Aperta	Chiusa	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 2
11	0.0	Aperta	Chiusa	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 2
12	1.0	Aperta	Chiusa	Divano
13	1.0	Chiusa	-	Poliuretano cl. 1 IM - tipo 2

Le misure sperimentali

Nelle figure 3 e 4 sono riportati per le varie prove gli andamenti temporali rispettivamente della massa di combustibile residua e della velocità di volatilizzazione del combustibile. Si può osservare come il processo di volatilizzazione proceda dapprima molto lentamente (*fase di incubazione*), poi con una velocità relativamente elevata e, infine, ancora con velocità ridotta nella fase finale di estinzione. La linea verticale in blu riportata nei grafici rappresenta l'istante in cui è stata aperta la finestra presente nell'ambiente in cui si è sviluppato l'incendio. Nei grafici di figura 4 è riportato anche il valore medio della velocità di volatilizzazione del combustibile, in kg/min, calcolata su tutto il periodo di tempo in cui la combustione ha avuto effettivamente luogo.

Si può osservare che in alcune prove la massa residua finale è nulla, cioè il combustibile è completamente volatilizzato, mentre in altre prove il combustibile non è volatilizzato per gran parte. Più precisamente, quando entrambe le ante della finestra presente nell'ambiente in cui si è sviluppato l'incendio sono state mantenute chiuse, il combustibile non è mai bruciato completamente, lasciando una massa residua variabile tra 5 e 11 kg, molto probabilmente a causa della insufficiente ventilazione. Quando invece è stata aperta una sola delle due ante della finestra, il combustibile è volatilizzato completamente in tre casi su quattro, e, infine, quando entrambe le ante della finestra sono state tenute aperte si è avuta la totale combustione solo due volte su cinque, anzi, in una sola prova, se escludiamo il caso in cui si è bruciato il divano, in cui la massa di combustibile presente era nettamente superiore rispetto alle altre prove. Questo comportamento può essere stato determinato da un'eccessiva ventilazione, rispetto al carico d'incendio, che ha mantenuto

relativamente basse le temperature dei gas e quindi anche il flusso termico di ritorno necessario per il processo di volatilizzazione del combustibile.

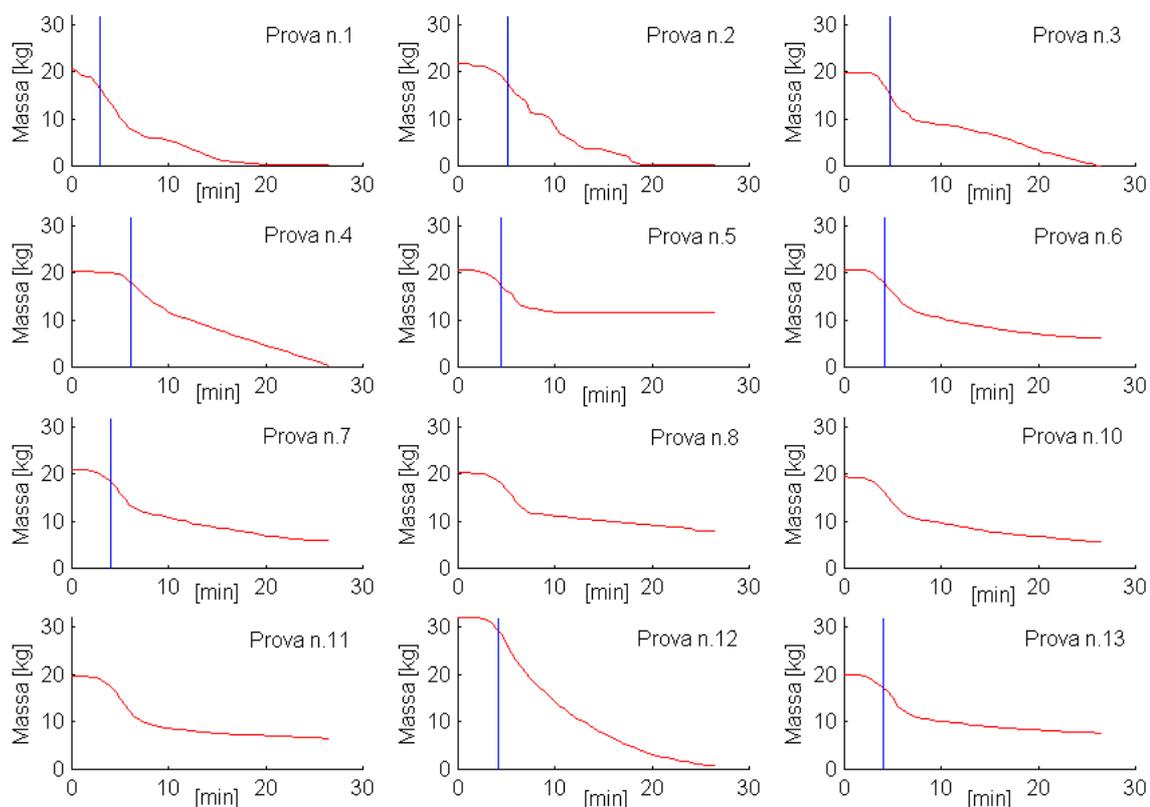


Fig. 3 – Andamento temporale della massa di combustibile residua

Un'indagine più approfondita sull'influenza del grado di ventilazione, che è una delle variabili più importanti nello sviluppo di un incendio, può essere fatta analizzando le prove n. 11, n. 2 e n.4, che si differenziano tra loro solo per il livello di ventilazione derivante dalla finestra presente nell'ambiente adibito a focolare. In particolare nella prova n. 11 la finestra è rimasta chiusa per tutta la durata della prova, nella prova n. 2 è stata aperta solo un'anta della finestra quando la temperatura del vetro ha superato il valore di 180 °C, simulando così la sua rottura [1], e, infine, nella prova n. 4 si è simulata la rottura di entrambi vetri della finestra.

Si può osservare che nella prova n. 11 non tutto il combustibile è riuscito a volatilizzare a causa della insufficiente ventilazione (fig. 3). Infatti dei circa 20 kg iniziali di poliuretano espanso, i primi 10 kg circa sono volatilizzati con velocità relativamente elevata, mentre dopo questa fase la volatilizzazione è proseguita molto lentamente, tant'è che al termine della prova risulta presente una massa residua di circa 6.5 kg. In questa seconda fase, evidentemente, la combustione è stata di tipo *ventilation-controlled* a causa della scarsa ventilazione, quella derivante solo dalla comunicazione del focolare con gli altri ambienti dello stesso appartamento.

Nella prova n. 2, invece, in cui è stata aperta una sola delle due ante della finestra, la volatilizzazione è proseguita fino a completarsi, determinando una massa residua nulla dopo circa 20 minuti dall'ignizione. La velocità istantanea del processo di volatilizzazione presenta ampie oscillazioni, probabilmente dovute agli irregolari flussi locali di aria proveniente dall'apertura della finestra.

Infine, nella prova n. 4, dove sono state aperte entrambe le ante della finestra, il processo di volatilizzazione è proseguito anche qui fino a completarsi ma con una velocità più regolare e mediamente più bassa rispetto alla prova n. 2. La maggiore regolarità della velocità può dipendere dalla maggiore ventilazione, che è stata tale da garantire sempre una sufficiente quantità di ossigeno in ogni punto del focolare. Mentre la minore velocità media di volatilizzazione può spiegarsi con il fatto che la maggiore ventilazione può aver ridotto le temperature nell'ambiente e quindi il flusso termico di ritorno, da cui dipende il processo di volatilizzazione.

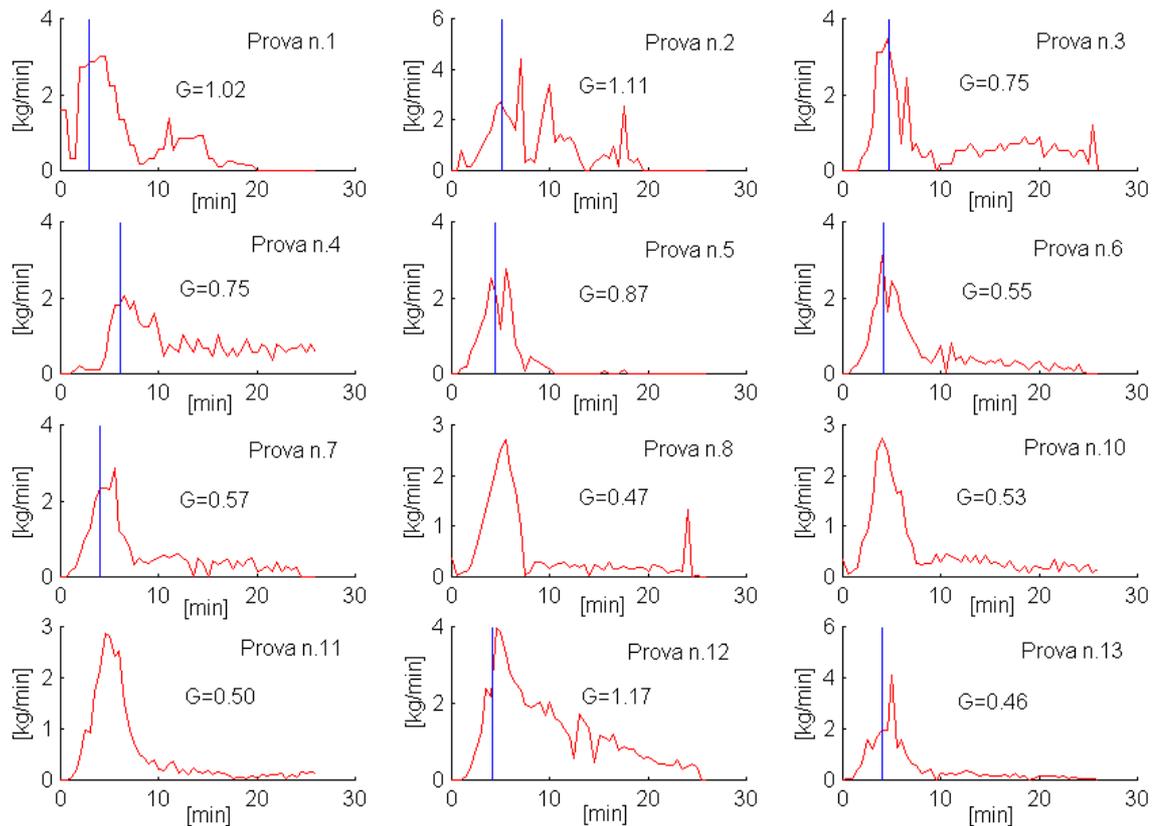


Fig. 4 – Velocità di volatilizzazione del combustibile

Di quanto detto si può trovare conferma nella figura 5, in cui sono riportati gli andamenti temporali della temperatura all'interno del compartimento e alle tre altezze cui sono state sistemate le termocouple. Per ogni altezza l'andamento riportato rappresenta la temperatura media misurata nelle sei postazioni presenti.

Nella prova n. 11, in assenza di ventilazione, si osserva un iniziale rapido aumento della temperatura e un successivo decadimento della temperatura anch'esso relativamente rapido in conseguenza della lentezza di volatilizzazione del combustibile e degli scambi termici verso l'esterno. Invece nella prova n. 2 si osserva che dopo un iniziale decadimento si ha una ripresa dell'aumento di temperatura determinata dalla ripresa della combustione dopo l'apertura di un'anta della finestra. Ciò è ancora più evidente nella prova n. 4, in cui, essendo state aperte entrambe le ante, si osserva che la temperatura media ha un decadimento molto più lento, determinato dall'equilibrio tra gli scambi termici verso l'esterno e lo sviluppo della combustione che continua a verificarsi.

Si può osservare, inoltre, che la massima temperatura di picco viene raggiunta nella prova n. 11, in assenza di ventilazione, perché la ventilazione se da un lato consente lo sviluppo della combustione nel tempo, dall'altro riduce la temperatura media, poiché i gas caldi si diluiscono con l'aria relativamente fredda della ventilazione. Questa minore temperatura la si osserva soprattutto a quote più basse (fig. 5), cioè proprio laddove circola l'aria di ventilazione.

Un'ulteriore considerazione può farsi analizzando le prove in cui si è bruciato un differente combustibile, le cui caratteristiche influenzano notevolmente lo sviluppo di un incendio. In particolare, le prove n. 1 e n. 12, in cui si è bruciato rispettivamente un primo tipo di poliuretano espanso, certificato di classe 1 IM, e un divano sono quelle in cui l'incendio si è sviluppato più rapidamente (fig. 3), dando luogo alle temperature più elevate, con picchi anche di 1000 °C in alcuni punti. In tutte le altre prove, invece, in cui si è bruciato un secondo tipo di poliuretano espanso, ma ancora con certificazione di classe 1 IM, pur con differenti gradi di ventilazione, l'incendio si è sempre sviluppato molto più lentamente, dando luogo a temperature significativamente più basse. Tutto ciò mette in evidenza come la semplice certificazione dei materiali combustibili non sia in grado di descrivere adeguatamente il loro comportamento in caso di incendio.

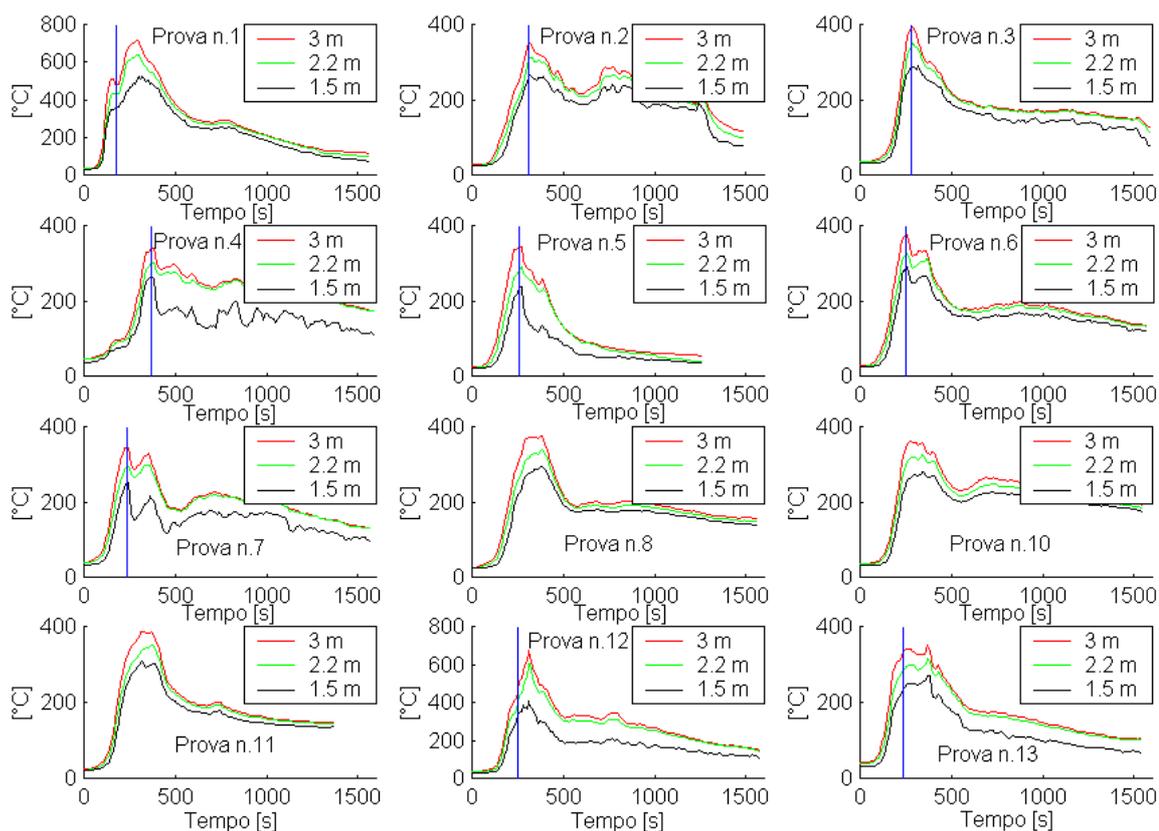


Fig. 5 – Andamento delle temperature medie all'interno dell'ambiente adibito a focolare

Un dato importante per valutare la severità dell'incendio, può essere il tempo necessario per raggiungere nel compartimento le condizioni di pericolo determinate dallo stress termico sull'uomo. In generale, i danni alle persone dovuti al calore si verificano già nella fase preflashover e i criteri di sicurezza pongono limitazioni sia al flusso termico, essenzialmente radiativo dallo strato superiore dei gas caldi, sia alla temperatura dei gas ad altezza d'uomo. In tab. 2 sono riportati i valori limite e i sintomi che insorgono, secondo le BSI Standards.

Tab. 2 – Condizioni limite da stress termico sull'uomo (BSI Standard).

Tipo di scambio termico	Sintomo	Livello di esposizione
Irraggiamento	Sofferenza acuta della pelle con insorgenza di bruciature.	2.5 kW/m ² corrispondente all'incirca a una temperatura di 200 °C dello strato superiore dei gas caldi.
Conduzione (contatto su metallo)	Bruciatura della pelle in 1 s circa.	60 °C
Convezione (gas caldi)	Affezione della pelle e dei polmoni con insorgenza di bruciature per esposizione di oltre 60 s.	120 °C
	Affezione della pelle e dei polmoni con insorgenza di bruciature per esposizione inferiore a 60 s.	190 °C

Come si può osservare dalla figura 6, la condizione limite legata allo scambio termico convettivo con i gas caldi e quella legata allo scambio termico radiativo vengono, in pratica, raggiunte contemporaneamente in tutte le prove. Il tempo in cui si raggiunge tale condizione risulta variare da un minimo di circa 110 secondi nella prova n.1 a un massimo di 280 secondi nella prova n. 4, ma in oltre l'80% dei casi esso è compreso tra 160 secondi e 210 secondi.

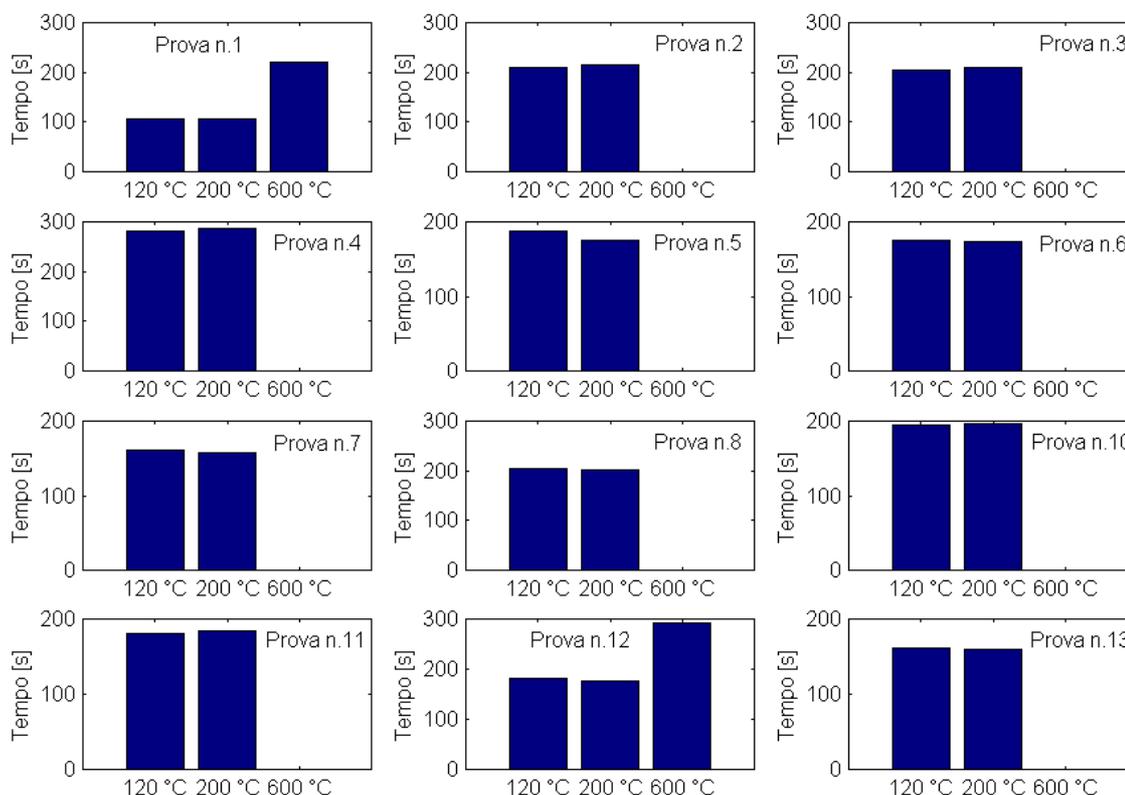


Fig. 6 – Raggiungimento delle condizioni di pericolo all'interno dell'ambiente in cui si è sviluppato l'incendio

Infine, la condizione di flashover, assunta come il raggiungimento della temperatura al soffitto del valore di circa 600 °C, si è verificata solo nelle prove n. 1 e n. 12, che sono quelle in cui si sono ottenute le temperature più elevate. Tale condizione è stata raggiunta dopo circa 220 secondi dall'ignizione nella prova n. 1 e 290 secondi nella prova n. 12. Occorre, però, dire che in realtà anche in queste due prove il flashover non si è potuto verificare, pur essendosi realizzate le condizioni, a causa del limitato carico d'incendio.

Bisogna, inoltre, tenere presente, se si vogliono confrontare tra loro prove differenti, che in un incendio i tempi sono molto influenzati dal periodo iniziale di incubazione, il quale può essere più o meno lungo dipendendo anche delle modalità di ignizione.

Allontanandosi dal compartimento dell'incendio, lungo le vie di esodo, le temperature diminuiscono significativamente, tant'è che, in tutte le prove tranne la n. 1, la condizione di pericolo legata flusso radiativo dallo strato di gas superiore non viene raggiunta in alcuna postazione. Nella prova n. 1, invece, questa condizione è stata raggiunta nella sola postazione 9 dopo circa 300 secondi dall'ignizione. E' da notare che nella postazione 8, pur essendo più vicina al focolare, non è stata raggiunta la temperatura di 200 °C al soffitto in quanto, a questa altezza, la veletta della vicina porta ostacola il flusso dei gas.

L'altra condizione di pericolo, definita dalla temperatura di 120 °C ad altezza d'uomo (in realtà rilevata all'altezza di 2.2 m), è stata raggiunta solo nelle postazioni 8 e 9, le più vicine al focolare (fig. 7). Solo nella prova n. 1 essa è stata raggiunta anche nelle postazioni 10, 11 e 16. Il fronte di questa temperatura risulta avanzare con una velocità decrescente con la distanza dal focolare. Nella postazione 8 la velocità è risultata variabile da 0.06 m/s nella prova n. 4 fino a 0.31 m/s nella prova n. 1, ma in più dell'80% dei casi è risultata compresa tra 0.07 m/s e 0.12 m/s. Nella postazione 9, invece, i valori sono significativamente più bassi, variabili tra 0.02 m/s e 0.08 m/s, e in oltre l'80 % dei casi tra 0.02 e 0.03 m/s.

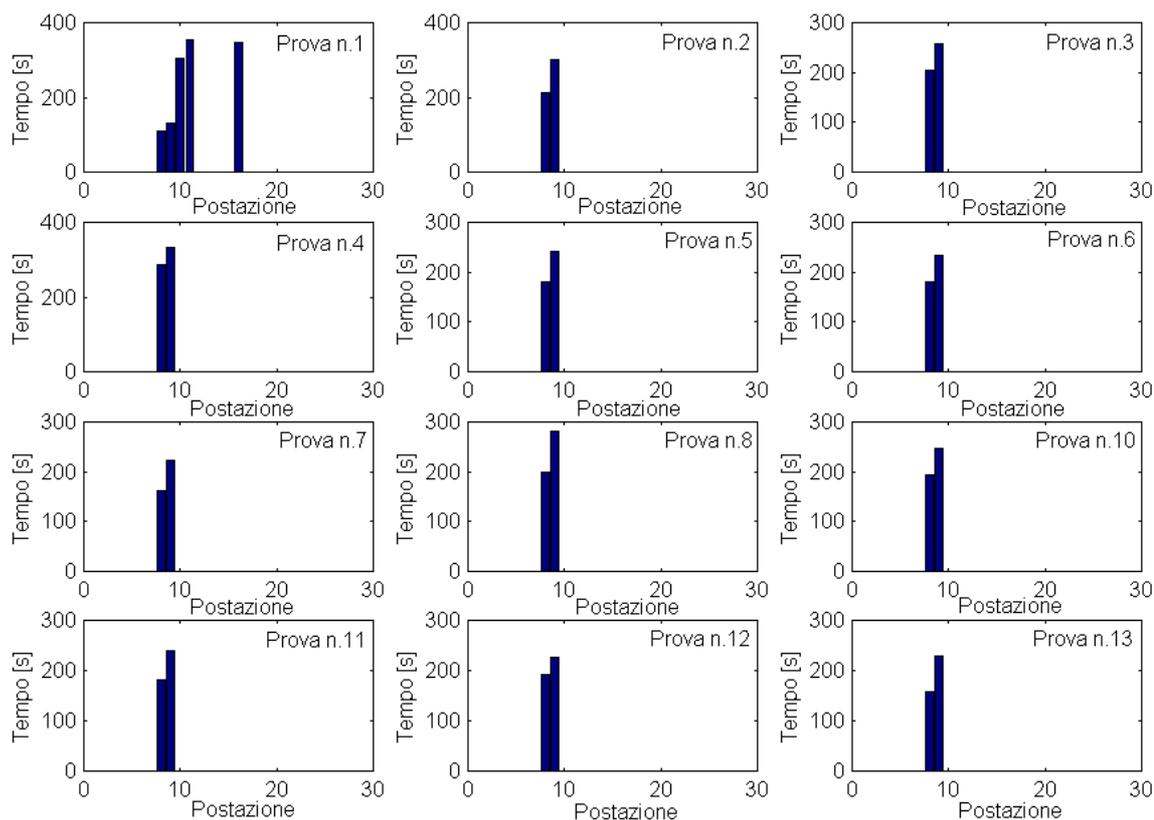


Fig. 7 – Raggiungimento della temperatura di 120 °C ad altezza d’uomo lungo le vie di esodo

Per dare un’idea dei valori di temperatura lungo la via di esodo, nelle figure 8 e 9 si riportano i diagrammi dei valori rilevati nelle postazioni 8 e 12 rispettivamente, che ci permettono anche di fare qualche osservazione sulla stratificazione dei gas caldi. In generale le temperature più elevate vengono misurate a livello del soffitto, ma, in realtà, questa stratificazione può essere alterata dalla presenza di ostacoli al percorso dei fumi. Ad esempio nel punto 8, a valle della veletta di una porta, la temperatura in sommità risulta essere la più bassa (fig. 8). Un altro effetto si può evidenziare nel punto 12, dove la presenza di una parete trasversale alla corrente dei fumi determina una condizione di flusso che annulla la stratificazione dei gas caldi rendendo uguali le temperature misurate a quote diverse (fig. 9).

Un’ultima considerazione può essere fatta sulla ripetibilità dei risultati nelle prove d’incendio. E’ noto che essa non è molto elevata, persino utilizzando forni da laboratorio, condizioni di prova ritenute uguali possono determinare variazioni nei risultati anche del 30% [2]. Tenendo presente questo, possiamo allora osservare una significativa ripetibilità nelle due prove aventi le stesse condizioni al contorno, la n. 10 e la n. 11. In particolare la ripetibilità può essere osservata nella legge di volatilizzazione del combustibile, un po’ meno negli andamenti temporali delle temperature, probabilmente perchè queste sono maggiormente influenzate dalle tante variabili in gioco.

CONCLUSIONI

In questo lavoro è stata descritta la sperimentazione condotta all’interno di un edificio in cui si sono realizzati 13 eventi di incendio in scala reale. Le varie prove di incendio si differenziano tra loro sia per il tipo di combustibile bruciato sia per le condizioni di ventilazione. Sono stati presentati i valori di alcune grandezze misurate durante la sperimentazione, come la velocità del processo di volatilizzazione del combustibile e le temperature misurate da 59 termocoppie disposte sia nell’ambiente in cui si è sviluppato l’incendio sia lungo le vie di esodo. I dati sono stati analizzati studiandone sia l’evoluzione temporale sia la distribuzione spaziale, anche in relazione ai tempi con cui si raggiungono le condizioni di pericolo determinate dallo stress termico sull’uomo. I valori sperimentali delle grandezze misurate potranno essere utilizzati, inoltre, per verificare l’affidabilità dei modelli teorici disponibili in letteratura.

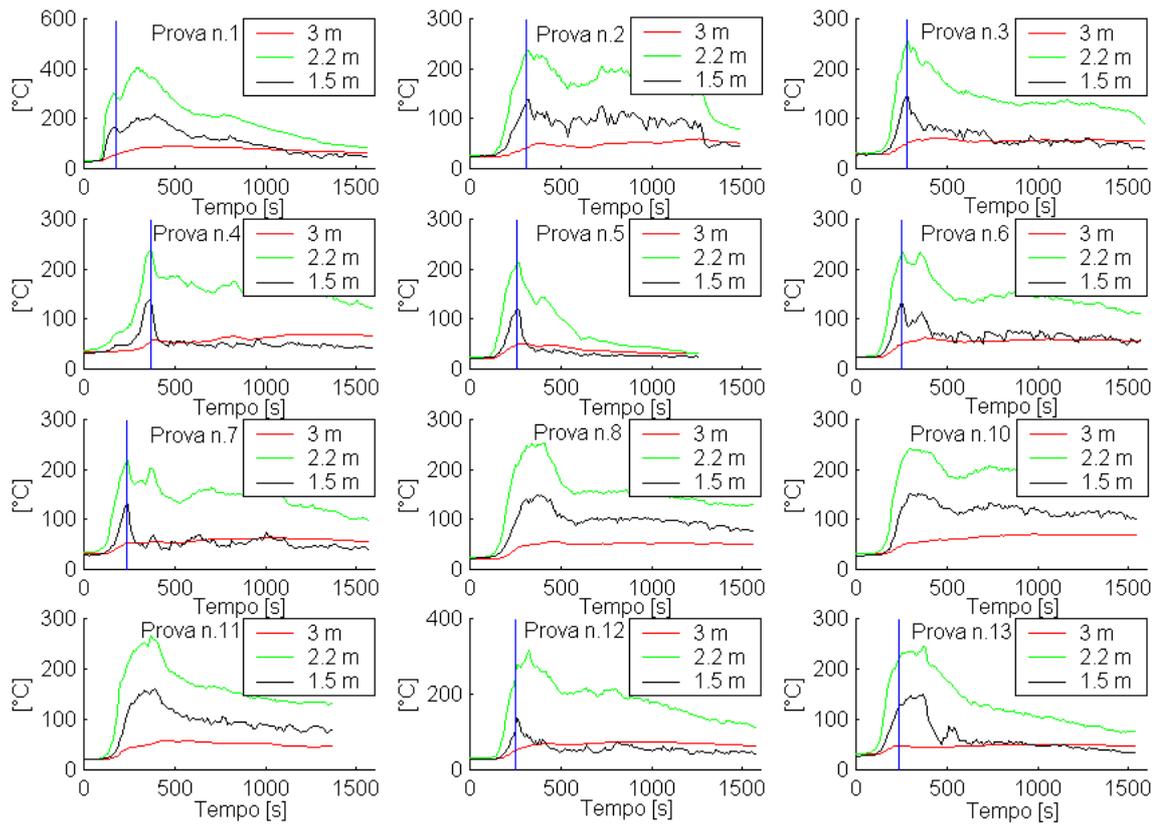


Fig. 8 – Stratificazione delle temperature nella postazione n. 8

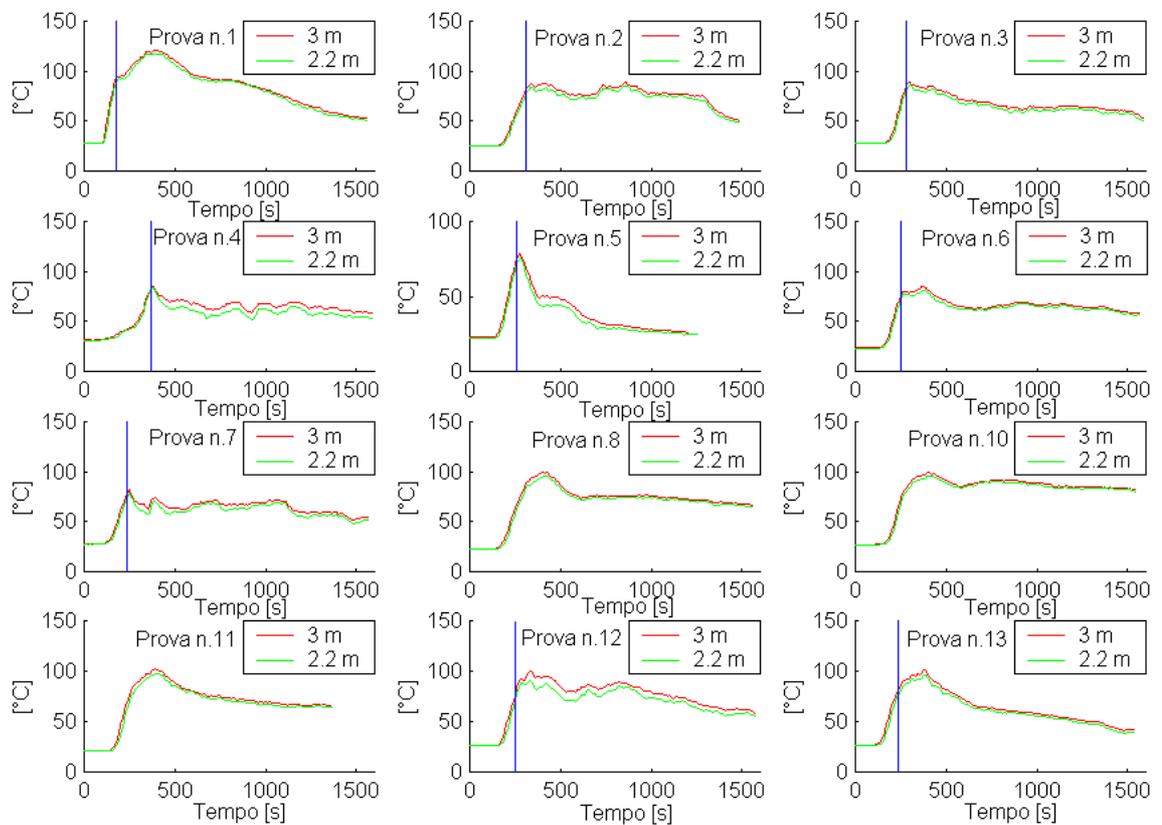


Fig. 9 – Stratificazione delle temperature nella postazione 12

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Hadjisophocleous G. V., Benichou N., "*Performance criteria in fire safety design*", Automation in Construction, 8, 1999, 489-501.
- [2] Barnett C. R., "BFD curve: a new empirical model for fire compartment temperatures", Fire Safety Journal, 37, 2002, 437-463.