

INCENDIO IN UN EDIFICIO DI GRANDE ALTEZZA: CONFRONTO TRA LO SCENARIO REALE E QUELLO SPERIMENTALE

E. Mannino, A. Del Gallo, V. Puccia, M. Minozzi
Comando Provinciale Vigili del Fuoco Padova, Via S.Fidenzio, 3 - 35128 Padova

SOMMARIO

Il 26 febbraio 2008 un incendio interessa un edificio di grande altezza ubicato nel centro di Padova. L'edificio che si sviluppa su 14 piani fuori terra, è adibito a civile abitazione ed uffici ed al momento dell'incendio è occupato da circa 80 persone.

L'articolo evidenzia gli aspetti dell'intervento dei Vigili del Fuoco allo scopo di confrontare i dati dell'incendio reale con quelli ottenuti mediante una simulazione con software FDS (fire dynamics simulator). Dal riscontro emergono elementi utili alla definizione delle misure di contenimento delle conseguenze in caso d'incendio in edifici di grande altezza.

La sicurezza antincendio negli edifici pluripiano e costruiti in un ambiente urbano di centro storico, trova la sua naturale espressione nel cosiddetto approccio di tipo "prestazionale" [1], attraverso l'utilizzo di strumenti innovativi di ingegneria della sicurezza antincendio che tendono a privilegiare l'aspetto analitico, rispetto a quello "tradizionale" basato invece su prescrizioni chiuse e di tipo deterministico.

Diventa dunque indispensabile avviare un processo di cambiamento e rinnovamento che valuti, pianifichi e predisponga la sicurezza antincendio degli edifici, per i quali la semplice applicazione di norme e regole di carattere prescrittivo risultano spesso inadeguate od erroneamente dimensionate per soddisfare le esigenze e gli obiettivi di sicurezza previsti.

Nell'articolo si sviluppa lo studio di un evento di incendio realmente accaduto alla luce dei dati rilevati/acquisiti con il metodo della Fire Investigations [2] e della Fire Engineering [3], al fine di definire alcuni possibili criteri pratici per la messa in sicurezza degli edifici pluripiano posti nei centri storici delle città italiane.

Vengono inoltre evidenziate alcune considerazioni sulla efficacia delle misure antincendio preventive e protettive adottate nella realtà, in confronto con i disposti normativi e proponendo ulteriori accorgimenti volti a conseguire un ottimale livello delle condizioni di sicurezza.

1.0 L'EVENTO INCIDENTALE

1.1 Descrizione dell'edificio

L'edificio, denominato "Torre Medoacense", ha un'altezza di circa 45 m ed è stato progettato dall'Architetto e Ingegnere Giulio Brunetta (1935-1978); fu costruito nell'arco di tre anni ed inaugurata nel 1956.

Originariamente sorto come casa-albergo per studenti italiani e stranieri, l'edificio presentava come oggi, una ricca composizione funzionale: negozi al piano terra e all'ammazzato, uffici al primo e secondo piano ed infine alloggi nei soprastanti nove. L'interesse principale era dato dalla presenza delle antiche mura di Padova; si doveva mediare quindi lo stacco tra una muratura dalla tessitura robusta, con lo slancio di una torre alta più di tredici piani.

Dopo svariati studi di composizione distributiva dei piani destinati ad appartamento, il progettista realizzò otto alloggi per piano con un unico vano scala di servizio e un blocco centrale adibito ai vani corsa ascensore [4].

Attualmente al piano interrato è ubicata la centrale termica; al piano terra sono presenti alcune attività commerciali, la centrale elettrica, il locale contatori dell'energia elettrica e la portineria inserita nell'atrio di accesso; gli altri tredici piani fuori terra, che presentano una superficie di circa 420 m² ciascuno, hanno destinazione prevalentemente residenziale (Figura 1, Figura 2, Figura 3).

Dal punto di vista costruttivo l'edificio è realizzato con struttura portante di travi e pilastri in calcestruzzo armato, solai in laterocemento e tamponature in laterizio.

L'edificio è servito da una sola scala, baricentrica, dotata di porte metalliche a tutti i piani, e da due ascensori anch'essi centrali rispetto alla pianta.

1.2 L'incendio

Il 26 febbraio 2008 alle ore 11,55 giunge alla sala operativa del Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Padova una prima richiesta di soccorso per principio d'incendio nell'atrio d'ingresso di un edificio. Immediatamente una prima squadra di cinque unità con autopompaserbatoio si reca sul luogo e, accertata la gravità dell'evento, inizia le operazioni di spegnimento: i primi operatori muniti di dispositivi di protezione delle vie aeree, entrano nei locali della portineria dell'edificio completamente invasi dal fumo. L'accesso è ostacolato anche dal forte calore e dalla caduta per fusione dal soffitto delle lampade di illuminazione e dei calcinacci. L'incendio, che interessa un quadro elettrico e mobiliario vario, è prontamente spento con l'utilizzo di estintori a polvere e CO₂ e acqua nebulizzata. Tuttavia il problema maggiore è costituito dal fumo che nel frattempo ha invaso e completamente saturato il vano scala, bloccando gli occupanti dell'edificio all'interno delle proprie abitazioni. Gli stessi tentano di impedire l'ingresso nel fumo all'interno degli appartamenti tamponando le fessure delle porte con stracci. Nonostante tali accorgimenti il fumo penetra negli alloggi costringendo gli inquilini a rimanere affacciati alle finestre per respirare aria pulita. Al sesto piano viene rinvenuta una giovane donna priva di sensi che viene soccorsa e portata a braccia al di fuori dell'edificio e consegnata al 118 che nel frattempo ha istituito un posto medico vicino al luogo dell'intervento 118. Trasportata d'urgenza al vicino Ospedale Civile, alla ragazza viene riscontrata una elevata concentrazione di carbossiemoglobina e sottoposta a ossigenoterapia. Contestualmente proseguono le operazioni di evacuazione attraverso le finestre con l'utilizzo dell'autoscala: complessivamente vengono trasportate a terra 18 persone. Tuttavia, data l'altezza dell'edificio e di altre problematiche connesse all'accesso all'area, non è stato possibile raggiungere gli ultimi piani nei quali sono presenti ancora molte persone. Una anziana signora del dodicesimo piano rimaneva intossicata dai fumi e dai gas di combustione e anch'essa, sebbene in stato confusionale, veniva portata a braccia a terra. Complessivamente al termine dell'intervento si conteranno venti persone ricoverate in ospedale. Il problema della evacuazione dei fumi viene affrontato cercando di abbattere ad ogni piano la porta del ripostiglio condominiale, dotato di finestra, posto nella parte finale del corridoio di piano; sulla sommità il vano scala era dotato di due piccole aperture che però non erano in grado di garantire un'efficace smaltimento. Alla base della scala viene piazzato un elettroventilatore allo scopo di evacuare il fumo dagli ambienti, ma la carenza di aperture naturali rende vana l'operazione. Solo dopo circa due ore l'edificio viene liberato completamente dai fumi: la successiva verifica strutturale non ha evidenziato particolari danneggiamenti agli elementi costruttivi portanti. Tuttavia l'edificio è ritenuto inagibile a seguito del coinvolgimento nell'incendio dell'impianto elettrico. L'intervento si conclude con le operazioni messa in sicurezza dello stabile e le comunicazioni di rito alle autorità competenti.

1.3 Le principali problematiche dell'intervento dei Vigili del Fuoco

- a. Il flusso iniziale delle informazioni fornite dai richiedenti alla sala operativa non era proporzionato all'entità dell'evento poiché, benché l'incendio fosse effettivamente di modesta entità, le sue conseguenze in termini di esposizione agli effetti dello stesso sono risultate critiche;
- b. essendo l'edificio ubicato in pieno centro ed in un punto particolarmente trafficato, l'incendio ha richiamato una grande folla di curiosi che solo con il successivo intervento delle Forze dell'Ordine è stato possibile allontanare;
- c. la particolare configurazione alla base dell'edificio, la conformazione delle strade di accesso e soprattutto la presenza di un cantiere di scavo nelle immediate adiacenze, non hanno consentito l'ottimale possibilità di accostamento dell'autoscala;
- d. l'elevato affollamento dell'edificio ha posto il problema dell'accertamento dell'effettiva completa evacuazione degli occupanti: con la collaborazione della Questura sono state condotte verifiche sistematiche a tutti i piani;
- e. il principale problema affrontato nel corso dell'intervento è stata l'impossibilità di evacuare fumo e calore dal vano scala, né per mezzo delle scarse aperture di aerazione presenti in sommità, né con l'ausilio della ventilazione meccanica; benché l'incendio abbia coinvolto limitati quantitativi di materiale combustibile, l'ubicazione del focolaio e la dinamica dell'incendio hanno generato uno scenario che ha messo in crisi un intero stabile, con conseguenze che avrebbero potuto essere ancora più critiche in assenza o con un ritardo dei soccorsi.

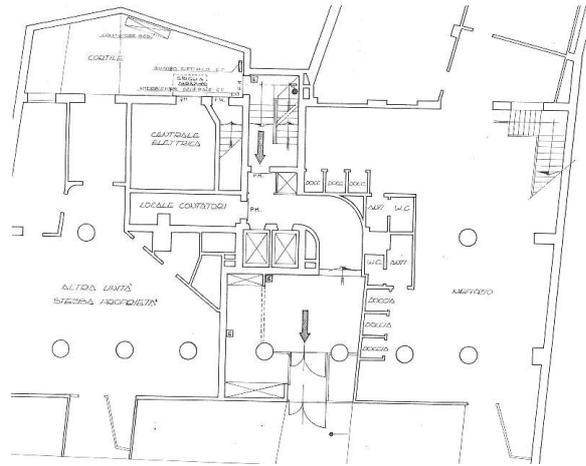


Figura 1. Piano terra

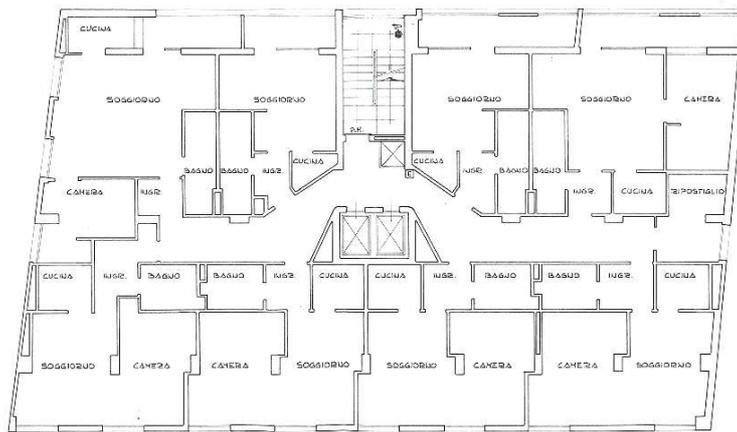


Figura 2. Piano tipo

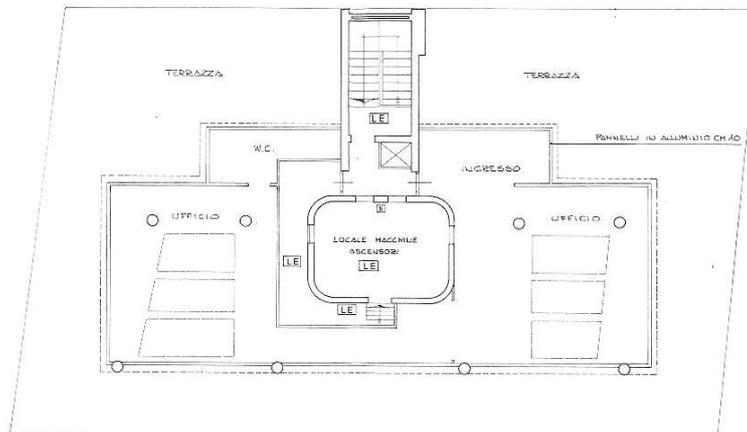


Figura 3. Piano copertura

2.0 LO STUDIO SPERIMENTALE

Lo studio consiste nell'analisi dello scenario di incendio reale in un edificio di civile abitazione mediante l'applicazione di un modello CFD di simulazione di incendio.

Lo scopo dello studio è quello di prevedere verosimilmente l'andamento:

- dei fumi;
- delle temperature;
- del monossido di carbonio (CO);
- dell'anidride carbonica (CO₂);
- della curva di potenza termica (HRR);

prodotti da un incendio in base ai materiali combustibili presenti, in un volume determinato in base alle caratteristiche di compartimentazione dell'edificio.

La zona oggetto della simulazione comprende l'entrata e il vano scale della Torre Medoacense.

2.1 L'approccio

L'approccio consiste nella determinazione delle fasi per mezzo delle quali condurre l'analisi di tipo prestazionale, partendo dalla definizione della portata del progetto, attraverso l'identificazione dello scopo e degli obiettivi fino allo sviluppo dello scenario di incendio e alla analisi dei risultati previsti dalla simulazione con quelli reali documentati nella fase di intervento delle squadre di soccorso dei Vigili del Fuoco del Comando Provinciale di Padova.

L'attività descritta è stata condotta applicando il modello di fluidodinamica computazionale FDS (versione 5) sviluppato dal NIST [5][6].

FDS risolve una forma delle equazioni di Navier-Stokes appropriata per i flussi termici a bassa velocità di fumi e gas generati in un incendio; il programma è stato oggetto di numerosi studi di validazione sia interni al NIST sia di enti esterni (VTT).

Esso permette la modellazione dell'incendio a partire dall'introduzione dei materiali definiti in base alle caratteristiche chimico-fisiche ed ai dati di incendio sperimentali. La dinamica dell'incendio è poi simulata in base ai parametri che caratterizzano ciascun materiale presente nel dominio di simulazione, ciascuno con le proprie caratteristiche di infiammabilità e combustione o di reazione all'incendio. Infatti, in base a questi dati, FDS risolve numericamente (con il metodo ai volumi finiti) le equazioni che modellano la reazione di combustione ed i fenomeni di trasporto, tenendo conto dinamicamente delle mutue interazioni tra i processi.

FDS è in grado di calcolare e conseguentemente fornire come dati di uscita, previo un opportuno setup della simulazione in modo che le qualità di interesse vengano effettivamente calcolate, i valori di tutte le variabili, scalari e vettoriali, calcolate in ciascuna delle celle del dominio, utili alla comprensione dei fenomeni ed all'analisi degli effetti (concentrazione delle specie chimiche, distribuzione delle temperature, pressioni, velocità dei gas, fumi, visibilità,...).

I risultati così ottenuti possono poi essere visualizzati e/o elaborati grazie al post-processore (Smokeview), il quale consente ad esempio di visualizzare la geometria del dominio di integrazione e la sua griglia, di rappresentare graficamente i campi vettoriali e scalari e, nel caso di simulazioni in transitorio, può addirittura permettere di eseguire animazioni filmate che illustrino l'evoluzione dinamica delle grandezze di interesse.

2.2 Scopo e obiettivi

Lo scopo dello studio è quello di prevedere l'andamento dei fumi prodotti dall'incendio reale, definito in base alla quantità ed alla tipologia di materiale combustibile presente nel compartimento considerato, in un volume predefinito e in tempi confrontabili con quelli registrati dall'emergenza.

L'obiettivo è l'analisi del rischio associato all'incendio che non può prescindere dal considerare i prodotti che si formano durante la combustione; a tal fine bisogna prendere in considerazione la loro evoluzione spazio/temporale nei tempi dell'emergenza/evacuazione in tutto il compartimento.

Da non dimenticare i cinque obiettivi di sicurezza:

- riduzione delle occasioni d'incendio;
- stabilità delle strutture all'azione del fuoco;
- non propagazione dell'incendio;
- sicurezza degli occupanti;
- sicurezza dei soccorritori,

che, nella finalità della strategia di un progetto di sicurezza antincendio, devono essere rispettati e garantiti anche in caso ed in occasione di un incendio che non si è saputo o potuto prevenire.

2.3 Criteri prestazionali di progetto

I criteri prestazionali sono valori o distribuzioni di soglia, che sono usati per sviluppare una determinata ipotesi di progetto; devono riflettere gli intenti degli obiettivi ed esprimere misure quantitative delle conseguenze dell'incendio che devono essere evitate per soddisfare gli obiettivi.

I criteri prestazionali legati alla sicurezza della vita umana devono indicare la possibilità di sopravvivenza delle persone esposte all'incendio ed ai prodotti della combustione.

L'analisi degli effetti termici prevede che sia definita una soglia che determini un valore di danno ed il tempo d'esposizione necessario a raggiungere la soglia durante uno specifico scenario d'incendio.

Al fine di valutare l'adeguatezza dei percorsi d'esodo e la protezione delle squadre dei Vigili del Fuoco Permanenti del Corpo Nazionale è stato individuato come criterio di accettabilità l'insieme di valori di soglia elencati in tabella 1[3][7][8].

Tabella 1. Soglie di accettabilità per visibilità e concentrazioni di prodotti di combustione

Specie	Soglia di accettabilità	Descrizione
Visibilità	30 m	Per evacuare tramite la scala di servizio, unica via di esodo disponibile
Ossigeno (O ₂)	17%	Primi segni di affaticamento
Monossido di carbonio (CO)	500 ppm in 300 s	Massima esposizione per poter evacuare
	35000 ppm in 60 s	Soglia di incapacità di reagire all'evento
Anidride carbonica (CO ₂)	30.000 ppm	Concentrazione volumetrica media in aria, in grado di provocare il raddoppio del volume d'aria inspirata
	400.000 ppm in 60 s	Soglia di incapacità di reagire all'evento
Temperatura	80 °C per 600 s	Con H ₂ O < 10%, limite di tollerabilità per persone non dotate di D.P.I.

2.4 Studio preliminare dei materiali combustibili

Allo stato attuale dell'esecuzione è possibile risalire alla tipologia e alla quantità del materiale depositato all'interno del compartimento. Dalle testimonianze raccolte e dal sopralluogo effettuato [2] dopo la fase di spegnimento, i materiali presenti all'interno dell'atrio sono descritti nella tabella 2.

Tabella 2. Materiali presenti nello scenario di incendio

Materiale	Massa materiale combustibile [Kg]	Potere calorifico medio [MJ/Kg]
Alcool etilico	2	30
Carta	10	20
Cavi elettrici	250	30
Legno	300	18

Dai dati desunti, sulla base della tipologia d'impiego del locale e nel rispetto del D.M. 9 marzo 2007, il carico d'incendio presumibile della simulazione è di 181,27 MJ/m². Considerando che la superficie del locale è di circa m² 47 si può riscontrare che il carico di incendio è relativamente basso, ma non meno pericoloso di un quantitativo maggiore d'energia disponibile.

2.5 Definizione e set-up dello scenario di incendio

L'insorgere dell'incendio nell'ambito del caso in esame potrebbe essere stato generato principalmente da un sovraccarico nell'impianto elettrico o dall'usura/invecchiamento del rivestimento dei cavi elettrici, non dimenticando che l'impianto risale agli anni sessanta. In particolare nel punto d'innesco, dietro a due porte di legno, era installata la canalizzazione verticale per la dorsale principale di distribuzione dell'energia elettrica alle utenze della torre, e nello stesso luogo si trovava del materiale per le normali pulizie dell'atrio. Avendo determinato la tipologia del materiale presente in prevalenza cavi elettrici, è stato possibile definire la reazione chimica di combustione da utilizzare nel modello, in modo tale da prevedere la quantità di fumi prodotta dall'incendio ed il loro andamento spazio-temporale nel modo più accurato. A tale fine è stata utilizzata la reazione chimica del "POLIETILENE", modificata come di seguito descritto in modo da tener conto degli opportuni valori di resa di fumo e dei gas della combustione [9]:

- resa di fuliggine $Y_s = 0.074$ [Kg/Kg]
- resa di monossido di carbonio $Y_{CO} = 0.1$ [Kg/Kg]

2.6 Definizione e set-up del dominio geometrico della simulazione

Il fabbricato si presenta in pianta con una forma rettangolare allungata il cui asse longitudinale è disposto secondo la direttrice sud-ovest e, confina ad est con fabbricato d'altra proprietà, a sud con Via San Fermo, ad est con Corso Garibaldi e a nord dove si trova l'unico accesso alla Torre da Largo Europa. Tipologicamente come descritto in precedenza è un edificio a torre che si sviluppa per un'altezza complessiva di circa 45 m. La struttura portante è costituita da una intelaiatura in cemento armato tamponata perimetralmente da opere in muratura di laterizio tradizionale.

Il nucleo centrale, scenario dell'intervento, è costituito da due ascensori, una scala di servizio e da un cavedio aperto ad ogni piano verso il corridoio degli appartamenti per tutta la lunghezza della zona di sbarco ascensori e per un'altezza di 0,40 m fino a filo soffitto con superficie totale di m^2 0,92.

Il cavedio aperto è laterale ai pianerottoli che collegano il vano scale con il corridoio del piano.

Il dominio della simulazione è costituito da una porzione di fabbricato d'ampiezza pari a 16 m, larghezza 4 m; l'altezza del dominio di simulazione è pari a 55 m.

Le aperture del dominio geometrico sono dislocate al piano terra con la porta d'entrata (1,20x2,00 m), nella sommità del cavedio aperto (1,05x0,40 m) e due grigliati metallici nel locale macchine ascensore (1,35x0,60 m). FDS consente di descrivere il dominio di simulazione mediante una griglia tridimensionale di celle a forma di parallelepipedo. Tutti i particolari geometrici sono descrivibili lasciando le celle vuote o mediante l'introduzione di ostruzioni che vadano ad occupare una o più celle. Il dominio di simulazione è stato suddiviso in 274.500 celle di dimensioni 0,20x0,20x0,20 m; di conseguenza tutti i particolari geometrici sono rappresentati con una risoluzione di circa 0,20 m.

Dalle immagini è possibile notare come gli elementi strutturali siano stati inseriti nel modello perché essenziali al fine di ottenere un andamento dei fumi verosimilmente rispondente alla realtà. Inoltre, al fine di non sottostimare la velocità di stratificazione e di discesa dei fumi nell'ambiente, sono stati inclusi nella definizione del dominio geometrico i principali ingombri che, nello scopo e nei tempi della simulazione, possono essere considerati volumi non permeabili ai fumi: controsoffitto, parapetti, travi, scale, vetrate.

Tabella 3. Composizione dei materiali utilizzati per l'architettoneco

Materiale	Conducibilità [W/mK]	Calore specifico [kJ/Kg K]	Densità [Kg/m ³]	Spessore [m]
Cemento armato	1.00	0.88	2200	0.20
Muratura	0.69	0.84	1600	0.30
Vetro	0.76	0.84	2000	0.01

2.7 Analisi delle previsioni del modello

2.7.1 Ignizione

Per quanto riguarda la simulazione, la fase d'innesco dell'incendio non è molto rilevante in quanto il processo d'ignizione può essere immaginato con tempi e rampe d'innesco differenti, ma si può ritenere che sostanzialmente lo sviluppo dell'incendio dal momento dell'accensione sia stato molto

lento con una produzione di fumi e gas di combustione molto limitati considerando il materiale bruciato nei primi minuti.

2.7.2 Rilevazione dell'incendio

Considerando il materiale combustibile presente e la prima richiesta di soccorso pervenuta alla sala operativa dei Vigili del Fuoco (11:55 A.M.) si può stimare il rilevamento dell'incendio a 180 s dall'innesco. Il precoce rilevamento dell'incendio è da imputare a due fattori: il primo, che le porte della torre erano aperte, quindi i prodotti della combustione si sono diretti verso l'esterno; il secondo, che la torre è in centro città, quindi prendendo in considerazione l'orario, l'evento ha destato subito allarme tra i passanti.

2.7.3 Inizio processo di evacuazione

Si è stimato che tra l'istante di rivelazione dell'incendio ed il momento in cui il processo d'evacuazione ha avuto effettivamente inizio, sia intercorso un ritardo da imputare a molteplici fattori quali: le scale invase dai prodotti della combustione, il tentativo maldestro del portiere nell'invitare gli inquilini a scendere al piano terra, l'inabilità motoria degli anziani e, ultima, ma non per importanza, la presenza di un'unica via d'esodo sfociante in un atrio di entrata di limitate dimensioni.

Per quanto riguarda l'oggetto dello studio, l'intervallo d'inizio evacuazione è stato ritenuto pari a 1200 s ben oltre il completo spegnimento dell'incendio a 790 s; di conseguenza è possibile indicare $\Delta t_{\text{inizio evacuazione}} = 1200$ s, quindi un tempo elevato.



Figura 4. Schema dell'andamento temporale del processo d'esodo.

2.8 Valutazione della rispondenza ai criteri prestazionali

L'effetto dei gas, che diminuiscono la capacità respiratoria, motoria e visiva, combinato con l'oscuramento prodotto dalle particelle dei fumi in sospensione, che ostacolano la visibilità dei percorsi d'esodo e occludono le prime vie respiratorie, limita la mobilità delle vittime, che spesso subiscono solo in un secondo tempo l'effetto dell'aumento della temperatura, come di seguito descritto. Sono state posizionate delle termocoppie nei primi sei piani ad un'altezza di 1,80 m da ciascun pianerottolo (identificate con la lettera P seguita dal numero di piano) mentre all'ingresso sono state identificate due termocoppie: PP nella postazione del portiere proprio di fronte il focolaio di incendio e PE fronte porta di ingresso.

Nel grafico riportato in Figura 5 è possibile valutare l'andamento temporale della potenza rilasciata dall'incendio simulato. I cambiamenti di pendenza sono da attribuire ai materiali presenti nello scenario di incendio e la repentina fase discendente, allo spegnimento da parte dei Vigili del Fuoco.

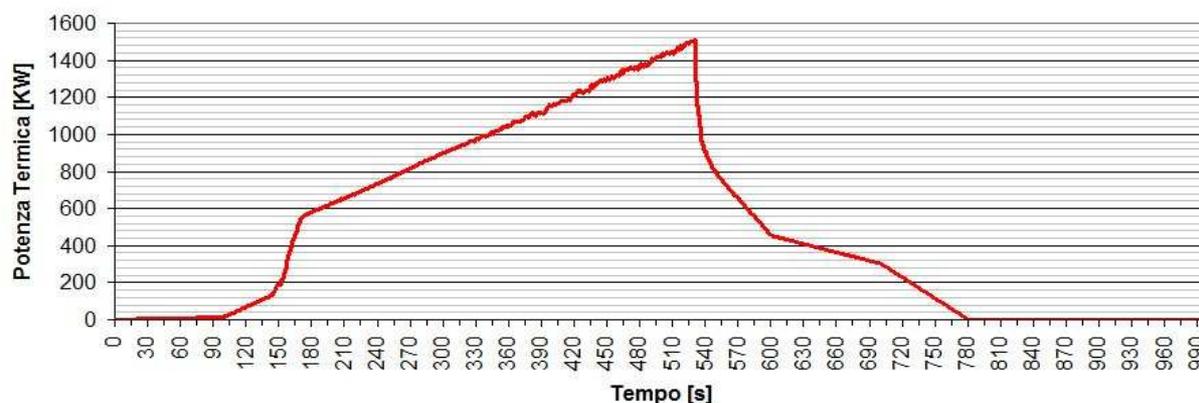


Figura 5. Curva di rilascio termico HRR

2.8.1 Produzione dei fumi e condizioni di visibilità

Nelle immagini di Figura 6 sono mostrati ai tempi $t=200$ s e $t=400$ s lo sviluppo dei fumi e la visibilità all'interno del vano scala, mentre nella figura 7 è riportato il grafico della visibilità durante l'incendio in corrispondenza delle termocoppie.

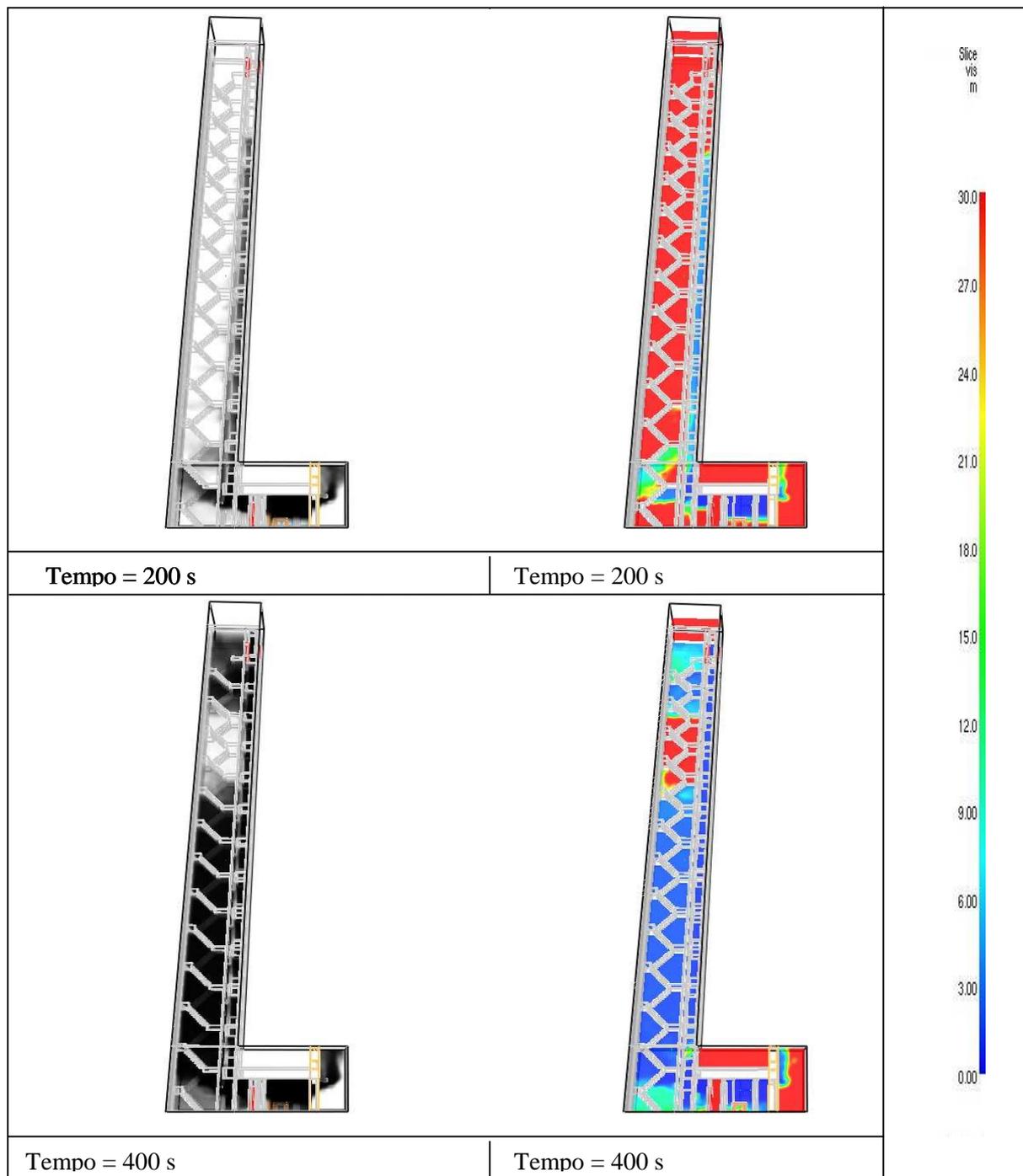


Figura 6. Produzione dei fumi e condizioni di visibilità

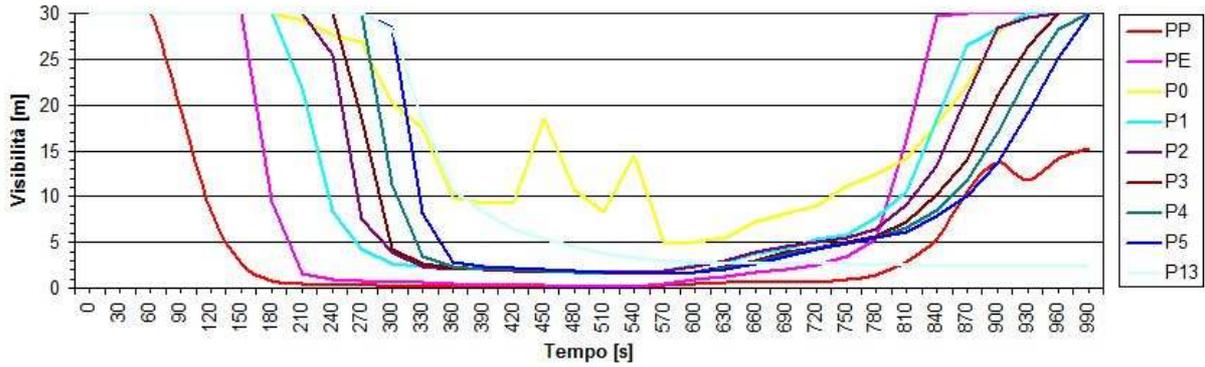


Figura 7. Grafico della visibilità durante l'incendio in corrispondenza delle termocoppie

2.8.2 Temperature

Le temperature dei prodotti della combustione nel vano scala si sono mantenute a valori bassi mentre nel locale interessato dall'incendio si è raggiunto un picco ad un'altezza da terra di 1,8 m di circa 380°C. Ciò è confermato sia dalla fusione degli apparecchi illuminanti composti di leghe metalliche e plastica gocciolati sui D.P.I. del personale V.V.F. intervenuto, sia di parti di intonaco staccatesi dal soffitto dell'atrio di ingresso (Figura 8).

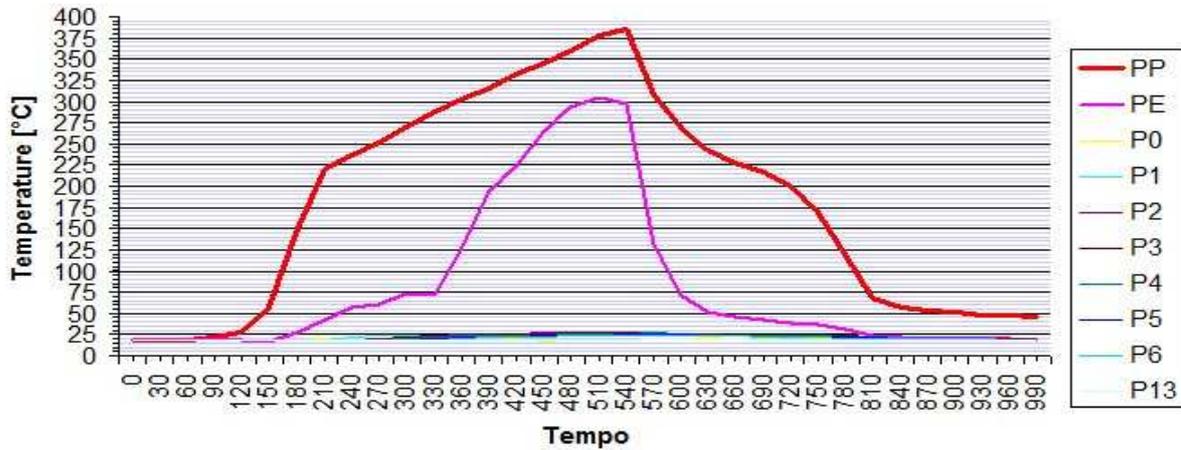


Figura 8. Andamento delle temperature

2.8.3 Concentrazioni di anidride carbonica e monossido di carbonio

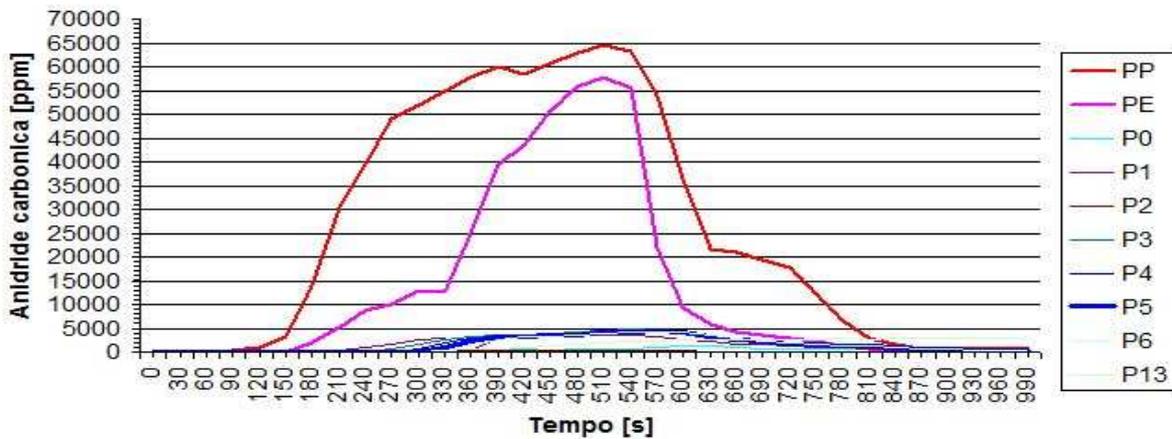


Figura 9. Concentrazioni di anidride carbonica

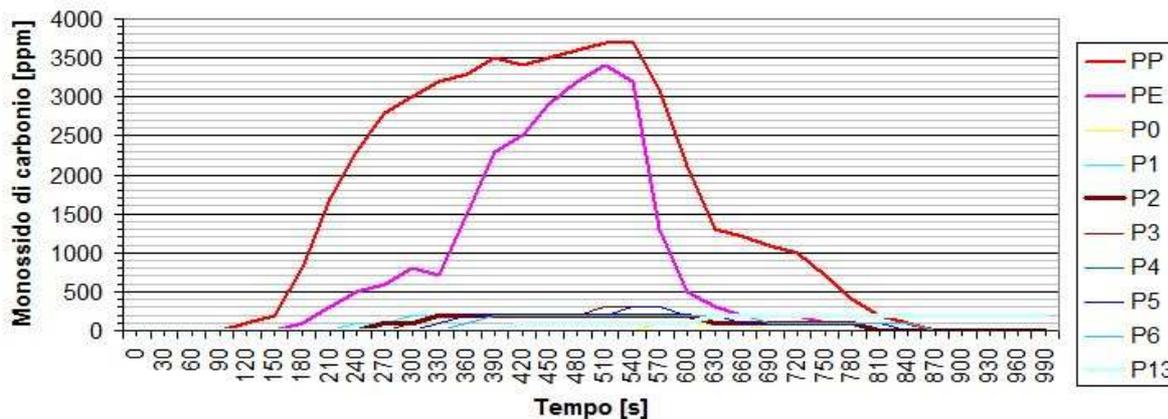


Figura 10. Concentrazioni di monossido di carbonio

Per valutare il rischio alle quali sono stati esposti gli occupanti l'edificio durante l'incendio a causa della sola presenza di monossido di carbonio ed anidride carbonica, è necessario conoscere il presumibile tempo di esposizione t [min], la concentrazione di monossido di carbonio nell'aria inalata C_{CO} [ppm] e il ritmo respiratorio V [l/min].

Una espressione che consente di fornire una sommaria valutazione della possibile concentrazione di carbossiemoglobina accumulata nel sangue di una persona esposta ad un'atmosfera arricchita di monossido di carbonio è quella proposta da Stewart [10] come qui di seguito descritta:

$$COHb\% = t \cdot 3,317 \cdot 10^{-5} \cdot C_{CO}^{1,036} \cdot V$$

Il tempo di esposizione stimata della persona soccorsa al sesto piano è di circa 15 minuti, considerato che dopo l'avviso del portiere, la malcapitata si è diretta dall'ottavo piano verso il piano terra, ma al terzo è dovuta risalire per l'aumento dei gas e fumi di combustione; dalle testimonianze del personale VV.F. intervenuto la persona è stata trovata priva di sensi al sesto piano, quindi considerando l'effetto del panico e l'elevata concentrazione di anidride carbonica, si stima che il ritmo respiratorio in buona approssimazione sarà minimo raddoppiato per arrivare a 80 l/min. Come sopra riportato nei grafici degli output, la concentrazione media di monossido di carbonio nelle rampe delle scale è di circa 350 ppm. Implementando l'equazione di Stewart si ricava una concentrazione di carbossiemoglobina pari a 17,2%, dato approssimativamente concorde con il valore 22,8% rilevato sulla donna dal Pronto Soccorso al momento dell'arrivo in ospedale. La disparità nei dati è da imputare a molteplici fattori, ma in particolare alla fisiologia dei soggetti esposti.

2.8.4 Concentrazioni di ossigeno

Come era da attendere (Figura 11), nella parte alta del locale interessato dall'incendio i gas e i fumi della combustione hanno saturato completamente l'ambiente ricevendo l'aria pulita dal basso.

Come dimostrato dalla simulazione e confermato dalle riprese effettuate dalle emittenti televisive intervenute, il vano scala ha funzionato da vera e propria canna fumaria: tuttavia il fumo ha presto saturato il suo volume poiché privo di aperture sommatali, compromettendo l'evacuazione in sicurezza degli occupanti.

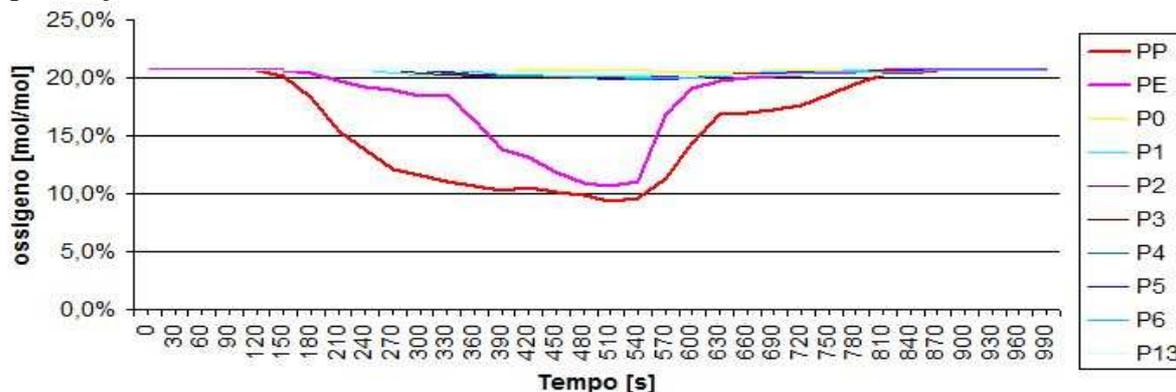


Figura 11. Concentrazioni di ossigeno

2.8.5 Stratificazione dei fumi

Come ben rappresentato dalla Figura 12, vi è una sostanziale corrispondenza tra i valori di altezza dell'interfaccia dello stato dei fumi fornito dalla simulazione e i dati dello scenario reale. Al termine dell'incendio, all'interno del vano scala si misura un'altezza dei fumi da terra di circa 0,70-0,80 m, valori confermati nella simulazione con FDS.

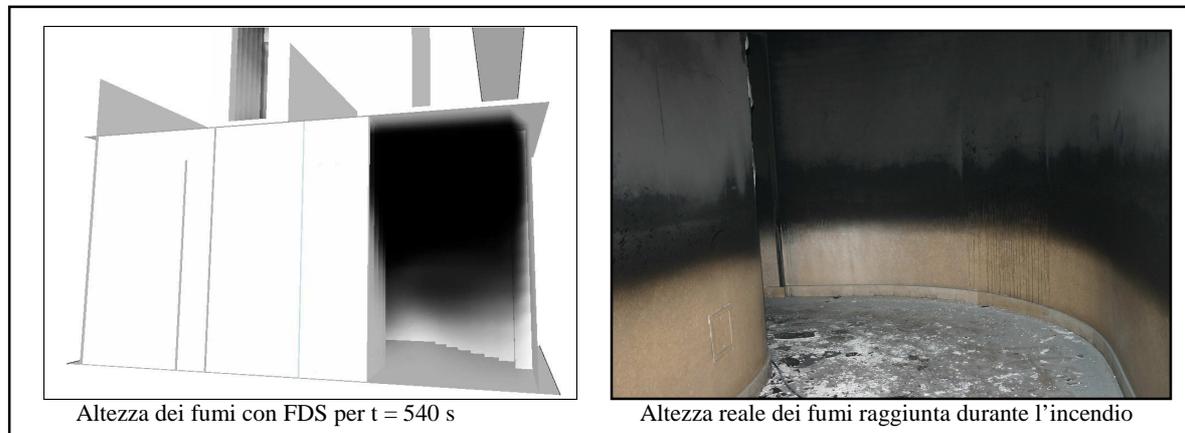


Figura 12. Confronto dell'altezza raggiunta dai fumi nel modello sperimentale e nello scenario reale

2.9 Conclusioni

E' stato descritto uno studio di simulazione di un incendio realmente accaduto presso la Torre Medoacense a Padova, destinato a abitazione e uffici. L'analisi è stata svolta applicando la versione 5 di FDS, modello CFD sviluppato dal NIST.

Negli edifici esistenti, la progettazione e, in questo caso, l'adeguamento alla prevenzione incendi, non può prescindere da un attento rilievo e da una approfondita analisi dell'edificio. Oggi la tecnica e la scienza della Fire Engineering permettono, anche negli edifici non recenti, di dimostrare il raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza con lo studio del comportamento del sistema in caso di incendio.

3.0 CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLE MISURE DI PREVENZIONE INCENDI

3.1 Premessa

Nelle considerazioni seguenti che discendono da una esperienza reale, si vogliono fornire elementi tecnici utili a sensibilizzare i Professionisti che si occupano della Prevenzione Incendi, per individuare i principali fattori di rischio per l'incolumità delle persone in caso di incendi in edifici civili di grande altezza ed al contempo creare le condizioni per rendere agevole l'opera dei soccorritori.

Le osservazioni, che trovano conforto nei dati ottenuti utilizzando il programma FDS (Fire engineering) e riportati nel paragrafo precedente, mettono a confronto le prescrizioni normative di tipo verticale previste dal DM n. 246/87 [11], con auspicabili misure proposte dagli Autori oltre i minimi normativi stessi, finalizzate a conseguire un livello di sicurezza ottimale (vedi Tabella 4).

3.2 Accostamento autoscala

L'unico lato utile a consentire l'accostamento dell'autoscala dei Vigili del Fuoco, rivelatasi determinante per il successo delle operazioni di soccorso, è risultato parzialmente ostruito da alcuni ostacoli, sia fissi che occasionali, quali i parapetti di un sottopassaggio, una fermata dell'autobus, due cabine telefoniche, un cantiere, diversi segnali stradali con i relativi supporti ed alcuni automezzi parcheggiati lungo il marciapiede.

La presenza di questi elementi ha reso difficoltoso lo sviluppo e le manovre dell'autoscala per il trasferimento degli occupanti dalle finestre dei vari piani della facciata fino a terra.

Per evitare tali inconvenienti si dovrebbero prevedere adeguate e rigorose misure gestionali degli spazi prospicienti gli edifici, quali divieti di sosta o paletti rimovibili di protezione, scongiurando la presenza di automezzi parcheggiati, eliminando ogni tipo di manufatto od ostacolo fisso.

3.2 Impianto elettrico

Appare superfluo sottolineare l'importanza di realizzare l'impianto elettrico e tutte le sue componenti, compresi gli utilizzatori, nel pieno rispetto della "regola dell'arte", certamente ben oltre di quanto disposto dalla legge n. 46/90 per gli impianti esistenti (linee protette da interruttori magnetotermici e differenziali), utilizzando cavi di sezione adeguata e del tipo "non propagante l'incendio". Spesso purtroppo, nel settore degli edifici di civile abitazione, gli amministratori di condominio, ancorché sensibili all'argomento della sicurezza, incontrano notevoli e spesso insormontabili resistenze, da parte dei proprietari delle unità immobiliari che si oppongono ad adeguamenti impiantistici ritenuti onerosi e non necessari. In questo caso l'impianto elettrico, a seguito di un probabile surriscaldamento dei cavi, ha originato l'incendio ed ha prodotto un ingente quantitativo di fumi e gas tossici di combustione, i quali hanno determinato conseguenze gravi per la salute delle persone e significativi danni alle cose. L'impianto di illuminazione di emergenza ha svolto una funzione del tutto inefficace, non contribuendo in alcun modo all'orientamento ed alla visibilità delle vie d'esodo da parte degli occupanti nella fase di emergenza.

3.3 Scala antincendio ed aerazione in sommità

La norma prevede la realizzazione di scale protette in edifici con altezza in gronda fino a 24 m ove non sia possibile l'accostamento dell'autoscala VV.F., ovvero di scale "a prova di fumo" per edifici di altezza superiore. Nella circostanza l'unica scala, provvista di porte metalliche rinvenute aperte in quanto senza dispositivo di autochiusura, ha favorito la propagazione ascensionale dei prodotti della combustione alle altre parti dell'edificio, in particolare verso i corridoi di piano, fino all'interno delle singole abitazioni, penetrando attraverso le fessure a pavimento delle porte di entrata. A ciò ha sicuramente contribuito l'assenza pressoché totale di superfici di aerazione naturale in sommità della scala, circostanza che ha di fatto impedito la diluizione dei fumi verso l'esterno della stessa, sia naturale che forzata (i Vigili del Fuoco hanno tentato, senza successo, di far evacuare i fumi dall'ultimo piano, azionando un elettroventilatore a piano terra). In alternativa alla superficie di aerazione di mq. 1, si ritiene comunque efficace l'installazione di un EFC (evacuatore di fumo e calore) collegato con un sensore di fumo, dispositivo che mitigherebbe le dispersioni termiche ed i conseguenti disagi per i residenti. E' opportuno che la comunicazione della scala protetta con le altre parti dell'edificio (locali comuni, cantine etc.), avvenga tramite filtri a prova di fumo.

3.4 Portineria

Questa esperienza conferma che va assolutamente evitata la presenza della portineria, con un carico d'incendio non trascurabile, in prossimità dell'ingresso-uscita all'interno del vano scala e da questo non compartimentata: negli atrii possono essere consentite postazioni con mobilio ed arredi rigorosamente incombustibili ed a condizione che non pregiudichino in alcun modo la fruibilità delle vie d'esodo.

3.5 Impianti di protezione attiva antincendio

Lo spegnimento del modesto incendio, tentato senza successo dal portiere con un estintore portatile, è stato completato dai primi Vigili del Fuoco intervenuti. Sebbene non utilizzato, era presente un impianto di idranti con le bocche posizionate, secondo una diffusa consuetudine, nei pianerottoli intermedi all'interno della scala, a piani alternati. Tale configurazione è certamente errata dal punto di vista tecnico, in quanto qualora gli idranti fossero stati utilizzati, l'esodo degli inquilini verso il luogo sicuro sarebbe stato compromesso dalla presenza delle manichette, svolte ed in pressione, lungo le rampe. In relazione alla particolare utenza civile, si ritiene opportuno consigliare l'installazione di naspi antincendio, che possono essere facilmente utilizzati anche da persone non dotate di particolare preparazione professionale, ad ogni piano ed esternamente al vano scala.

3.6 Gestione della sicurezza

Negli edifici di grande altezza, orientativamente superiore ai 24 m in gronda, si suggerisce l'opportunità di elaborare, analogamente a quanto previsto nei luoghi di lavoro ai sensi del D.Lgs. n. 626/94, un sistema di gestione della sicurezza contenente un piano di evacuazione finalizzato a rendere rapido ed agevole l'esodo dei residenti, con particolare attenzione all'informazione degli stessi condomini, predisponendo adeguata segnaletica di sicurezza e planimetrie di orientamento. A tal fine

sarà necessario poter disporre di una postazione attrezzata, possibilmente con le caratteristiche di luogo sicuro, da cui coordinare le emergenze da parte di personale adeguatamente formato (es. portiere), anche attraverso un efficace impianto di comunicazione ed allarme, udibile a tutti i piani e collegato ad alimentazione elettrica di sicurezza.

Tabella 4. Misure di Prevenzione Incendi

NORME MISURE	D.M. n. 246/87 (edifici nuovi)	D.M. n. 246/87 (edifici esistenti)	Misure migliorative proposte
Accostamento autoscala VV.F.	Punto 2.2.1: deve essere possibile l'accostamento delle autoscale ad ogni piano	----	Lungo i lati accessibili: - Eliminazione di ogni ostacolo fisso; - Divieti di sosta, transenne per impedire il parcheggio.
Impianto elettrico	Punto 5: realizzazione "a regola d'arte", con illuminazione di emergenza ad alimentazione autonoma, che consenta un ordinato sfollamento	Punto 8.1: illuminazione di emergenza ad alimentazione autonoma, che consenta un ordinato sfollamento. Interruttori di protezione delle linee elettriche (Legge 46/90 - esistenti)	Realizzazione della piena conformità alla "regola dell'arte", anche per gli impianti esistenti, evitando che lo stesso inneschi l'incendio, contribuisca o ne favorisca la propagazione.
Tipologia scale ed aerazione	Punto 2.4: Scale protette in edifici fino a 24mt. in gronda, se non è possibile l'accostamento dell'autoscala; scale a prova di fumo per altezze superiori. Aerazione permanente netta in sommità di 1 mq.	----	Scale protette in edifici fino a 24mt. in gronda, anche negli edifici esistenti; scale a prova di fumo per altezze superiori. Comunicazione tra scale e cantinati tramite filtri a prova di fumo. Aerazione permanente netta in sommità di 1 mq., ovvero EFC.
Portineria e compartimentazione	----	----	Evitare la portineria nell'atrio comunicante con la scala, qualora essa non abbia arredi completamente incombustibili e non interferisca con le vie d'esodo.
Impianti antincendio	Punto 7: idranti o naspi ad ogni piano con adeguate prestazioni idrauliche in grado di coprire tutte le aree.	Punto 8.2: per edifici fino a 32 m. in gronda sono validi gli impianti già installati.	Impianti a regola d'arte come previsto al punto 7, anche per gli edifici esistenti, disponendo preferibilmente naspi, esternamente alle scale
Gestione della sicurezza	----	----	Piano di evacuazione, con informazione dei condomini, segnaletica e planimetrie di orientamento. Luogo sicuro ove coordinare le emergenze da personale formato, con sistema di comunicazione ed allarme.

RIFERIMENTI

- [1] D.M. 9 maggio 2007. Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio, (G.U. n. 117 del 22/05/2007).
- [2] NFPA 921. Guide for Fire and Explosion Investigations. NFPA, 1 Batterymarch Park, PO BOX 9101, Quincy, MA 02269-9101USA.
- [3] SFPE. Handbook of Fire Protection Engineering (Third Edition). National Fire Protection Association Quincy, Massachusetts. Society of Fire Protection Engineers Bethesda, Maryland. USA.
- [4] Giulio Brunetta. Architetture 1935-1978. Ministero per i Beni e le Attività Culturali. Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici del Veneto Orientale. 2000 Editrice compositori. Bologna.
- [5] NIST (National Institute of Standards and technology. U.S. Department of Commerce). Fire Dynamics Simulator, User's Guide. Kevin McGrattan, Bryan Klein, Simo Hostikka, Jason Floyd. In cooperation with: VTT Technical Research Centre of Finland.
- [6] NIST (National Institute of Standards and technology. U.S. Department of Commerce). Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide (Draft: June 21, 2007). Kevin McGrattan, Bryan Klein, Simo Hostikka, Jason Floyd, Howard Baun, Ronald Rehm. In cooperation with: VTT Technical Research Centre of Finland.
- [7] The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. BSI, London. PD 7974-6:2004.
- [8] UNI EN 10989-3:2003. Analisi su scala di laboratorio delle emissioni prodotte dalla combustione dei materiali in condizioni rappresentative della prima fase dell'incendio – guida all'uso dei risultati.
- [9] SI Units Fire Protection Engineering, 1980 Report of the Measurement of Fire Phenomena Committee, Society of Fire Protection Engineers (SFPE), Boston, Massachusetts, March 1980.
- [10] Ingegneria della sicurezza antincendio. Antonio La Malfa. Legislazione Tecnica. Ottobre 2007. Roma.
- [11] D.M. 16 Maggio 1987 n. 246. Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione, (G.U. n. 148 del 27/06/1987).