Quelli che s'innamoran
di pratica sanza scienzia,
son come 'l nocchieri
ch'entra in naviglio
sanza timone o bussola,
che mai ha certezza
dove si vada

Leonardo da Vinci

3 **MISURE DI SICUREZZA ANTINCENDI PER GLI IMPIANTI ELETTRICI NELLE FIERE E NELLE ATTIVITÀ DI PUBBLICO SPETTACOLO A CARATTERE TEMPORANEO**

di Gianfranco Tripi, Calogero Turturici, Michele Mazzaro

INTRODUZIONE – 1. STRUMENTI DI ANALISI – 2. IMPIANTI SOGGETTI E COMPETENZE – 3. REQUISITI GENERALI – 4. ALIMENTAZIONE ELETTRICA E DISTRIBUZIONE – 5. RISCHIO DI INCENDIO: MISURE CONTRO IL DANNEGGIAMENTO MECCANICO – 6. SCELTA DEI CAVI – 7. PRESE A SPINA ED INVOLUCRI – 8. RISCHIO DI INCENDIO: MISURE CONTRO L'INNESCO – 9. IMPIANTI DI SICUREZZA – 10. ILLUMINAZIONE DI SICUREZZA – 11. SISTEMI DI RILEVAZIONE ED ALLARME INCENDIO – 12. IMPIANTI DI ESTINZIONE – 13. IMPIANTI DI TERRA – 14. DOCUMENTAZIONE – 15. CONCLUSIONI

26 **APPROCCIO "PRESTAZIONALE" ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO IN EDIFICI DI INTERESSE STORICO ARTISTICO: IL CASO DI SANTA MARIA DELLA SCALA IN SIENA**

di Gabriele Ballocco, Andrea Carpignano, Luca Nassi

1. INTRODUZIONE – 2. MODELLI A ZONE – 3. MODELLI DI CAMPO – 4. APPLICAZIONE ALL'AMBIENE DEL "PASSEGGIO", NELL'AMBITO DEL COMPLESSO MONUMENTALE DI SANTA MARIA DELLA SCALA – 5. CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI DAL MODELLO A ZONE (CFAST) E DAL MODELLO FLUIDODINAMICO (FDS) – 6. UTILIZZO DEI RISULTATI DEI MODELLI DI SIMULAZIONE DELL'INCENDIO – 7. CONCLUSIONI – 8. RIFERIMENTI

ISTITUTO SUPERIORE ANTINCENDI

COMITATO SCIENTIFICO

MINISTERO DELL'INTERNO
Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile
ISTITUTO SUPERIORE ANTINCENDI · Via del Commercio, 13 · 00154 Roma

PRESIDENTE

Michele DI GREZIA · Istituto Superiore Antincendi
e-mail: michele.digrezia@vigilfuoco.it

COMPONENTI

Diana ALESSANDRINI · Giornalista Radio RAI · Largo Villy De Luca, 5
e-mail: d.alessandrini@rai.it

Massimo BONFATTI · Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica
e-mail: massimo.bonfatti@vigilfuoco.it

Mauro CACIOLAI · Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica
e-mail: mauro.caciolai@vigilfuoco.it

Stefano MARSELLA · Direzione Centrale per le Risorse Logistiche e Strumentali
e-mail: stefano.marsella@vigilfuoco.it

Barbara MAZZAROTTA · Dipartimento Ingegneria Chimica · Fac. di Ingegneria Univ. di Roma "La Sapienza"
e-mail: mazzarot@ingchim.ing.uniroma1.it

Daniele NARDI · Prof. Dipartimento di Informatica e Sistemistica · Univ. di Roma "La Sapienza"
e-mail: nardi@dis.uniroma1.it

Francesco NOTARO · Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Milano
e-mail: francesco.notaro@vigilfuoco.it

Camillo NUTI · Prof. Dipartimento Strutture · Terza Università di Roma

Guido PARISI · Comandante Provinciale dei Vigili del Fuoco di Roma
e-mail: guido.parisi@vigilfuoco.it

Emanuele PIANESE · Direzione Centrale per l'Emergenza
e-mail: e.pianese@tiscali.it

Sergio SCHIAROLI · Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica
e-mail: sergio.schiaroli@vigilfuoco.it

Gennaro TORNATORE · Uff. I Gabin. del Capo Dipart. dei Vigili del Fuoco, del Socc. Pubbl. e della Dif. Civile
e-mail: gennaro.tornatore@vigilfuoco.it

Giuseppe M. VECA · Dipartimento di Ingegneria Elettrica · Fac. di Ingegneria Univ. di Roma "La Sapienza"
e-mail: giuseppe.veca@uniroma1.it

SEGRETERIA DI REDAZIONE

Istituto Superiore Antincendi · Via del Commercio, 13 · 00154 Roma · tel.fax 0657064234

Cristiana VITTORINI · Istituto Superiore Antincendi
e-mail: obiettivosicurezza@vigilfuoco.it

GRAFICA

Roberto FILERI · Direzione Centrale per la Formazione
e-mail: roberto.fileri@vigilfuoco.it

MISURE DI SICUREZZA ANTINCENDI PER GLI IMPIANTI ELETTRICI NELLE FIERE E NELLE ATTIVITÀ DI PUBBLICO SPETTACOLO A CARATTERE TEMPORANEO

di Gianfranco Tripi, Calogero Turturici, Michele Mazzaro

Il presente documento è il frutto dell'esperienza maturata dagli autori sia nell'attività professionale come funzionari tecnici del Corpo nazionale dei vigili del fuoco, sia come formatori nell'ambito di corsi organizzati in collaborazione con il Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI).

Come si avrà modo di notare, gli autori hanno operato un'analisi comparativa della normativa vigente, con l'obiettivo di estrapolare i riferimenti necessari per la valutazione dei rischi e la definizione delle misure di compensazione per gli impianti elettrici nelle fiere e nelle attività di pubblico spettacolo a carattere temporaneo.

I risultati dello studio effettuato sono stati presentati nell'ambito dei convegni istituzionali CEI-VVF per l'anno 2006, riscuotendo vivo consenso da parte della comunità tecnico-scientifica.

I positivi riscontri ottenuti spingono a proporre lo studio, in assenza di normativa tecnica specifica, come possibile riferimento per professionisti e funzionari VVF in materia di valutazione dei rischi e misure di compensazione per gli impianti elettrici nelle fiere e nelle attività di pubblico spettacolo a carattere temporaneo.

INTRODUZIONE

Ad ogni sopraggiungere del periodo estivo, ritornano prepotentemente protagonisti i luoghi ubicati in delimitati spazi all'aperto attrezzati con impianti appositamente destinati a spettacoli o intrattenimenti e con strutture apposite per lo stazionamento del pubblico e, con essi, gli impianti elettrici temporanei.

In realtà, gli impianti temporanei di interesse per la prevenzione incendi non sono solo quelli dei luoghi all'aperto ma anche (anzi, soprattutto) quelli allestiti nelle scene e nelle sale dei teatri al chiuso nonché quelli realizzati negli

ISTITUTO SUPERIORE ANTINCENDI

edifici allestiti per particolari avvenimenti (eventi sportivi, mostre ed esposizioni).

In merito, si è cercato di analizzare quanto di applicabile esiste, per analogia dei rischi, nel quadro normativo emanato dal CEI per l'attuazione dei criteri generali di sicurezza antincendi dettati dalla legislazione vigente per le attività in argomento, elaborando un punto di vista che si ritiene possa costituire possibile riferimento sia per i colleghi funzionari nell'ambito delle verifiche di competenza sia per i progettisti, alla luce del fatto che quanto proposto nel seguito, riguardante sia le specifiche tecniche che la documentazione sugli impianti, oltre che frutto dell'esperienza maturata nella didattica anche in ambito CEI e nell'attività di prevenzione/vigilanza, è stato esposto con esito lusinghiero nel corso del 2006 al convegno istituzionale CEI – VVF.

Le ragioni che spingono a porre in risalto la tipologia degli impianti in argomento sono diverse e in particolare:

- gli impianti temporanei sono soggetti, più degli impianti fissi, a danneggiamenti meccanici sia durante l'esercizio, sia durante le iterate operazioni di installazione e recupero;
- tali danneggiamenti, oltre a comportare un rischio di folgorazione, possono essere causa di incendi;
- non esiste una norma che tratti in modo sistematico gli impianti elettrici temporanei a servizio dei locali di pubblico spettacolo;
- dal momento che le misure atte a garantire la sicurezza antincendi coinvolgono anche gli impianti elettrici, ad essi si estendono le competenze del rappresentante dei VVF in seno alle commissioni di vigilanza sui locali di pubblico spettacolo, e pertanto le determinazioni in materia di impianti elettrici non possono essere in tutto delegabili, a parere di chi scrive, all'esperto di elettrotecnica;
- comunemente viene sostenuta, non sempre a ragione, l'inapplicabilità della legge 46/90.

Il documento si articolerà nei seguenti paragrafi:

- strumenti di analisi
- impianti soggetti e competenze
- requisiti generali di sicurezza antincendi
- alimentazione elettrica e distribuzione
- rischio di incendio: misure contro il danneggiamento meccanico
- scelta dei cavi
- prese a spina ed involucri
- rischio di incendio: misure contro l'innesco
- impianti di sicurezza

- illuminazione di sicurezza
- sistemi di rivelazione ed allarme incendio
- impianti di estinzione
- impianti di terra
- documentazione
- conclusioni

1. STRUMENTI DI ANALISI

Nel condurre il presente studio, si è preso il considerazione:

- il quadro legislativo richiamante l'obbligo generale del rispetto della regola dell'arte per gli impianti e dei requisiti essenziali di sicurezza per le macchine
  · art.6 d.lgs. 626/94
  · legge 186/68
  · art.7 legge 46/90;
- il requisito essenziale n. 2 "sicurezza in caso di incendio" della direttiva 88/106/CE, recepita con il DPR 246/93, che, alla luce di quanto specificato dal relativo documento interpretativo (punto 4.2.3.2.2), impone che gli impianti elettrici siano progettati in modo che, in caso di incendio, possano svolgersi le operazioni di spegnimento e quelle di soccorso;
- il quadro regolamentare emanato dal ministero dell'Interno dal quale emergono le prestazioni da garantire per gli impianti elettrici nelle attività in esame
  · la circ. 16/51 limitatamente alle fiere
  · il titolo XIII del DM 19/08/1996, per tutti gli altri locali di pubblico spettacolo.

2. IMPIANTI SOGGETTI E COMPETENZE

Gli impianti elettrici in argomento sono quelli realizzati:

- nelle aree adibite ad esposizioni, mostre e fiere di cui all'art.17 della circolare 16/51;
- nelle altre attività di pubblico spettacolo a carattere temporaneo comprese nel campo di applicazione del DM 19/8/1996;
  · teatri tenda;
  · circhi;
  · spazi all'aperto delimitati con strutture e impianti per il pubblico;
  · spettacoli viaggianti;

· parchi di divertimento;
· allestimenti temporanei all'interno di strutture permanenti (i.e. teatri, cinema-teatri, aree museali, ecc.).

La competenza sulle attività di pubblico spettacolo spetta alle commissioni di vigilanza di cui agli articoli 141-bis e 142 del regio decreto n.635/40 che si esplica mediante l'espressione di pareri preventivi sui progetti e la verifica delle condizioni di sicurezza degli impianti realizzati.

Fanno eccezione:
- gli impianti temporanei realizzati per gli allestimenti scenografici nei teatri, in quanto la commissione esprime il parere per strutture ed impianti permanenti, mentre per gli allestimenti potrebbe al massimo impartire prescrizioni di carattere generale;
- gli impianti elettrici nelle fiere nel caso in cui non si dovessero configurare come attività di pubblico spettacolo.

In tali casi vige la responsabilità del titolare in merito all'attuazione dei criteri generali di sicurezza antincendi di cui al DM 10/03/98 e, nel primo caso, anche del DM 19/8/1996, fermi restando i controlli sull'efficienza degli impianti per i locali ove sia previsto il servizio di vigilanza a cura del personale VF ai sensi del DM 18/3/1996 n.261[1] e la competenza dei comandi provinciali per le installazioni permanenti.

3. REQUISITI GENERALI DI SICUREZZA ANTINCENDI

I requisiti di sicurezza antincendi enunciati nel DM 19/08/1996 per le attività di pubblico spettacolo in genere e, dunque, anche per quelle a carattere temporaneo prevedono:
- il controllo del rischio di innesco incendio/esplosione e del rischio di propagazione, secondo quanto stabilito dalle sezioni 422, 751 e 752 della norma CEI 64-8;
- l'indipendenza elettrica dei circuiti di sicurezza[2];
- l'obbligo di esplicitare il funzionamento dell'impianto in condizioni di emergenza facendo ricorso alla segnaletica di sicurezza di cui all'art.4 del d.lgs. 493/96;

(1) Teatri con capienza superiore a 500 posti e fiere con superficie superiore a 4000 mq se al chiuso e 10.000 mq se all'aperto.
(2) Nella nota all'art.563.1 la norma CEI 64-8 recita testualmente: "Questo significa che un guasto elettrico, un intervento, una modifica su un circuito non compromette il corretto funzionamento di un altro circuito".

- il controllo del rischio di folgorazione per i soccorritori in armonia con quanto previsto dall'allegato A del DPR 246/93 (Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione);
- l'assicurazione di un'autonomia minima funzionamento per impianti di protezione attiva per un tempo stabilito dal decreto e/o dal comando e/o dalle modalità di espletamento del piano di emergenza.

Tuttavia, la maggiore probabilità di danneggiamento meccanico per urti, vibrazioni, tagli, abrasioni e schiacciamento degli impianti temporanei rispetto a quelli fissi comporta un aggravio delle misure necessarie per il conseguimento dei richiamati obiettivi di sicurezza.

Infatti, il danneggiamento meccanico, oltre al rischio di folgorazione per contatti diretti e indiretti, potrebbe comportare:
- l'interruzione dei circuiti di alimentazione dei servizi di sicurezza;
- la formazione di correnti elettriche vaganti su sistemi/elementi conduttori adiacenti a materiali combustibili in deposito e successivo innesco di quest'ultimi.

Ulteriori fattori di aggravio del rischio possono essere dovuti:
- alle sollecitazioni ambientali quali spruzzi, stillicidio di acqua, escursioni termiche e polveri;
- alla maggiore usura degli stessi legata alle frequenti operazioni di montaggio e smontaggio;
- alla mancata realizzazione di idonee condizioni di posa/assemblaggio dei componenti, spesso dovute alla rapidità con cui tali operazioni devono essere effettuate per il rispetto del calendario delle manifestazioni;
- alla posa in adiacenza/prossimità di materiali senza particolari requisiti di reazione al fuoco;
- all'impiego di quantità rilevanti, per numero e lunghezza, di cavi elettrici per l'alimentazione degli impianti di illuminazione e dei motori utilizzati per la movimentazione delle scene.

Al fine di individuare i necessari provvedimenti compensativi del maggior rischio valutato, è stata condotta una selezione per analogia dei rischi delle misure proposte dal CEI in altri ambienti particolari riportate nei seguenti documenti:
- CEI 64-8/7 cap. 704: cantieri di costruzione e demolizione
- CEI 64-8/7 cap. 708: aree di campeggio
- Guida CEI 64-17: impianti elettrici nei cantieri
- CEI 64-8/7 cap 711: fiere, mostre, stand
- CEI 64-15: impianti elettrici negli edifici storici.

4. ALIMENTAZIONE ELETTRICA E DISTRIBUZIONE

L'alimentazione degli impianti temporanei viene normalmente assicurata da una linea in bassa tensione dell'ente distributore e/o da gruppo elettrogeno.

Il sistema di distribuzione realizzato sarà:

- di tipo TT nel caso di alimentazione dal punto di consegna dell'ente distributore (neutro a terra in cabina e conduttore di protezione collegato all'impianto di terra dell'utente);
- di tipo TN-S (conduttore di protezione separato dal neutro ma ad esso collegato all'origine dell'impianto), ovvero di tipo IT (neutro isolato da terra e conduttore di protezione collegato all'impianto di terra dell'utente) in caso di alimentazione da gruppo elettrogeno.

Per la distribuzione non sono sicuramente percorribili le seguenti soluzioni:

- TN-C (conduttore di protezione e neutro coincidenti - PEN - collegato all'impianto di terra), per il rischio di interruzione del neutro a seguito di danneggiamento meccanico;
- separazione elettrica, per il rischio elevato di guasto a terra[3].

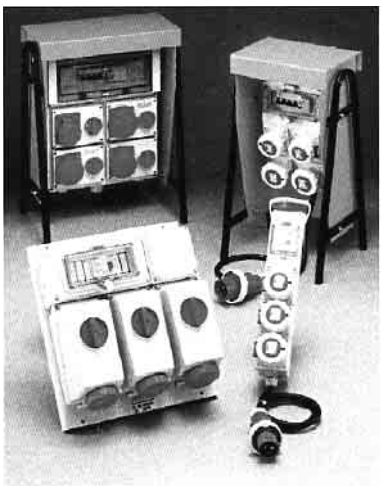


Figura 1: Quadri prese secondo Norma CEI 17/13/4

I quadri di distribuzione per installazione mobile dovranno essere conformi alle prescrizioni dettate dalla norma CEI 17-13/4: apparecchiature per cantieri (ASC), quelli per istallazione fissa (container e simili) dovranno essere realizzati secondo le norme CEI 17-1 e le CEI 23-51[4].

(3) In merito si faccia riferimento agli artt. 413.5.1.3 e 413.5.1.4 della Norma CEI 64-8 e all'art. 4.4.1 della Guida , CEI 64-17.

(4) CEI 17-13/1 sino a 1000 V in alternata e 1500 V in continua, CEI 17-13/3 per l'accesso a persone non qualificate – In_{tot}<250A - $In_{sing.}$< 125 A, CEI 23-51 per quadri con Tamb 25°C – In< 25 A – Icc≤10kA o protetti da interruttori limitatori di corrente con $I_{picco} \leq 17$ kA).

5. RISCHIO DI INCENDIO: MISURE CONTRO IL DANNEGGIAMENTO MECCANICO

I possibili modi di intervento per controllare il rischio di danneggiamento meccanico sono i seguenti:

- adottare per le condutture accessibili un'idonea protezione meccanica ovvero fare ricorso a cavi armati;
- rendere le condutture inaccessibili mediante:
  · distanziamento, traendo spunto dalle indicazioni della norma CEI 64-15;
  · posa aerea;
  · posa interrata.

In sintesi, i modi di protezione possibili sono riportati nel prospetto di Figura 2:

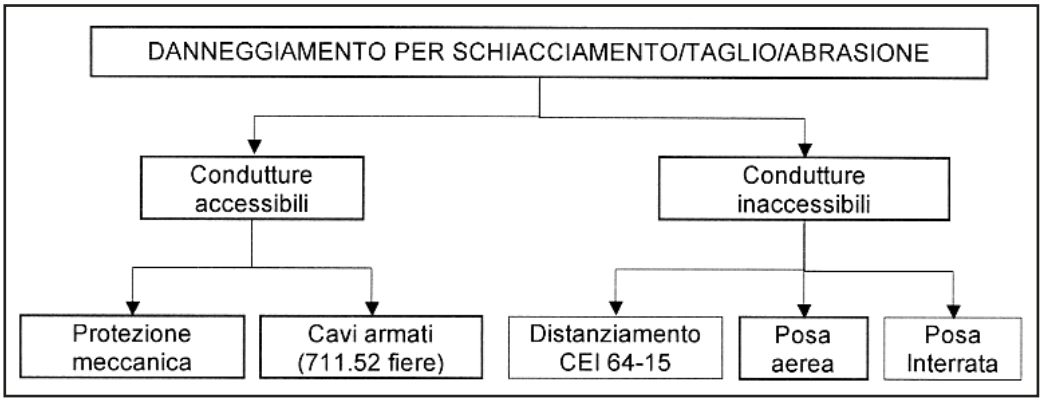


Figura 2: Criteri di scelta delle condutture per la protezione contro il danneggiamento meccanico

Condutture accessibili

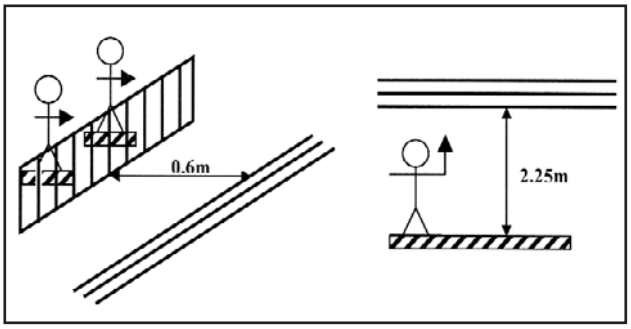


Figura 3: Criteri di distanziamento dal pubblico delle condutture

Con tale dicitura e per le finalità in premessa, si intendendo, in analogia a quanto proposto dalla norma CEI 64-15[5], le condutture distanziate orizzontalmente meno di 60 cm e verticalmente meno di 2,25m.

(5) CEI 64-15 – art.2.10 Componente elettrico non distanziato: Componente elettrico dell'impianto situato nella zona che si estende da una superficie occupata o percorsa ordinariamente da persone fino ai limiti di 2,25 m al di sopra del pavimento e/o di 0,60 m in orizzontale in tutte le direzioni....

Per tali condutture, come già ricordato, deve farsi ricorso a cavi armati ovvero ad una protezione meccanica aggiuntiva.

Esempi classici di condutture da proteggere sono:

- quelle accessibili a bordo delle tribune metalliche per l'alimentazione di vari utilizzatori (apparecchi di illuminazione, regie televisive, postazioni giornalisti, altoparlanti, ecc.). Tra queste, non sembrano rientrare le condutture posate sotto le tribune qualora rese sicuramente inaccessibili al pubblico. Una illustrazione grafica è riportata in Figura 4;
- quelle di collegamento tra il palco e la regia luci/audio/scene in zona pubblico (sala di un teatro, area attività sportiva nei palazzi dello sport, stadi o spazi all'aperto utilizzati per le grandi manifestazioni, ecc) per le quali la protezione meccanica deve essere in grado di garantire la conduttura dal calpestio.

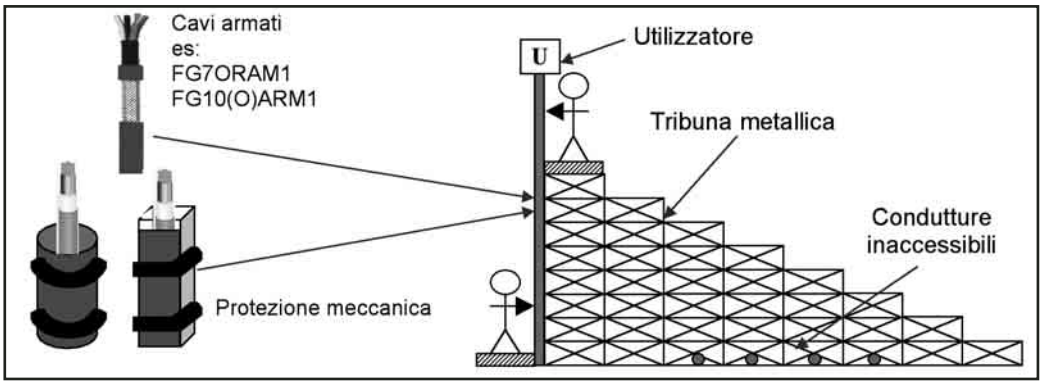
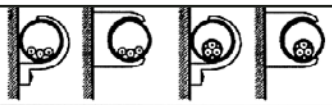


Figura 4: Protezione delle condutture accessibili: ricorso a cavi armati in assenza di protezione meccanica

Per la posa fissa, si può fare ricorso alle seguenti tipologie:

Tabella 1: Modalità di posa in opera per installazioni fisse

cavi entro tubi a vista senza guaina cavi entro tubi a vista multipolari o unipolari con guaina	tipologie n° 3 e 3A tab. 52C CEI 64-8	
cavi con armatura posati a parete	tipologia n° 11, 11°, 11B tab. 52C CEI 64-8	

Per la posa mobile sono necessarie opportune protezioni/ripari calpestabili/carrabili in funzione della prevedibile sollecitazione meccanica a cui devono essere sottoposti.

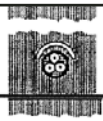
In ogni caso sono da prevedere opportune cautele per la posa relative ai raggi di curvatura (non inferiore a 12 volte il diametro) e alla protezione dei cavi negli attraversamenti di pareti metalliche (manicotti o passacavi od altri accorgimenti equivalenti).

Condutture inaccessibili

Oltre che con il distanziamento, effettuato in conformità alle indicazioni di cui all'art.2.10 della norma CEI 64-15, l'inaccessibilità può essere ottenuta mediante la posa interrata o aerea.

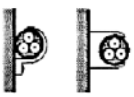
La posa interrata è sicuramente poco praticabile data la natura temporanea degli impianti. Tuttavia, proprio perché in certi casi l'interramento potrebbe apparire la scelta meno onerosa rispetto altre modalità di posa, è importante che esso avvenga secondo modalità tali da non compromettere la sicurezza dell'installazione. A tal fine le condutture interrate devono essere munite di protezione meccanica, ovvero, in assenza di detta protezione, installate ad una profondità maggiore di 60 cm, fuori dalle aree di parcheggio e dai luoghi ove possano essere piantati picchetti o altri ancoraggi al suolo.

Tabella 2: Modalità di posa in opera interrata

cavi con guaina interrati con protezione meccanica	tipologia n° 63 tab. 52C CEI 64-8	
cavi con guaina interrati senza protezione meccanica addizionale – profondità interramento > 60 cm	tipologia n° 62 tab. 52C CEI 64-8	

La posa aerea è la soluzione più ricorrente; tuttavia molte delle soluzioni adottate nella pratica, quali i cavi tesi fra i rami degli alberi con lunghezza delle campate lasciate alla casualità, non sono contemplate dalla norma, che difatti prevede le modalità di posa riportate nella tabella seguente:

Tabella 3: Modalità di posa in opera aerea

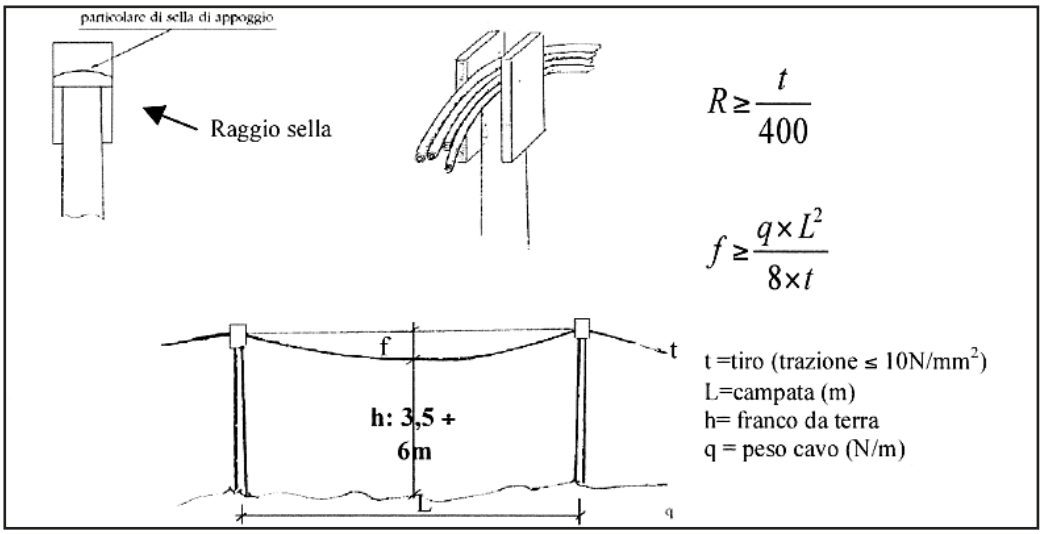
cavi unipolari con guaina (o multipolari) sospesi a od incorporati in fili o corde di supporto	tipologia n° 17 tab. 52C CEI 64-8	
cavi multipolari con guaina sospesi su pali dotati di selle e fissati con fascette	tipologia n° 17 tab. 52C CEI 64-8	
cavi con guaina o armatura posati a parete	tipologia n° 11 tab. 52C CEI 64-8	

Le cautele da adottare per la posa sono le seguenti:

- i supporti dei cavi fissati alle pareti senza tubo protettivo (non accessibili al pubblico) devono distare fra di loro massimo 0,40 m in verticale e 0,25 m in orizzontale;

- i pali e sostegni dei conduttori sospesi devono essere protetti da danneggiamenti per veicoli in movimento, l'altezza minima dei cavi dal suolo deve essere almeno 3,5 m da incrementare a 6 m nei luoghi di transito dei veicoli ed inoltre la sollecitazione a trazione deve essere limitata a 50 N/mm^2, o il valore altrimenti fornito dal costruttore, per evitare il danneggiamento del cavo;
- le tesate nel caso di posa in opera sospesa si pali devono essere dimensionate come dallo schema riportato in Figura 5.

Figura 5: Calcolo delle tesate per la posa in opera sospesa su pali



In alternativa al calcolo, si può ricorrere alla Tabella 4 della Guida CEI 64-17 di cui si riporta una estrapolazione nella seguente:

Tabella 4: Frecce indicative (cm) per cavi multipolari 06/1 kV

tipo cavo	sez. (mm2)	campate da				
		25m	20m	15m	10m	6m
tribolare	6	174	111	63	28	10
quadripolare	6	156	100	56	25	9
pentapolare	6	156	100	56	25	9

Laddove le caratteristiche del sito e dei sostegni a disposizione non consentano di rispettare quanto sopra, si può ricorrere a dei tiranti d'acciaio su cui ancorare la conduttura.

6. SCELTA DEI CAVI

La scelta dei cavi è legata alla loro ubicazione (all'esterno o all'interno) ed al tipo di posa (fissa o mobile).

Per la **posa fissa**, si possono utilizzare:

- all'*esterno*
  - · cavi con guaina[6], in assenza di canali protettivi;
  - · cavi senza guaina[7] in presenza di canali protettivi, purché venga garantita la tenuta all'acqua delle canalizzazioni (Guida CEI 64-50);
- all'*interno*[8]
  - · cavi a basso sviluppo di gas tossici e corrosivi (LSOH), in assenza di rivelazione incendi;
  - · cavi non propaganti l'incendio (CEI 20-22), in presenza di rivelazione incendi.

Per la **posa mobile**:

- all'*esterno* cavi muniti di guaina antiabrasiva[9];
- all'*interno* cavi muniti di guaina antiabrasiva e non propaganti la fiamma[10].

7. PRESE A SPINA ED INVOLUCRI

Le prese devono essere del tipo CEI 23-12, dotate di contatto di terra e con grado di protezione IP 44 se di tipo fisso, IP 67 se di tipo mobile.

Sono consentite prese di tipo domestico e/o adattatori per il collegamento di apparecchiature per uso temporaneo (strumenti musicali, macchine fumogene, ecc.), solo in ambienti in cui è possibile escludere la presenza di acqua e polveri quali, ad esempio, i palchi protetti dagli agenti atmosferici.

Gli involucri dei componenti dell'impianto devono possedere grado di protezione almeno IP 44 (ivi compresi gli apparecchi di illuminazione) e idonea resistenza agli urti[11].

È importante sottolineare che, trattandosi di luoghi di pubblico spettacolo, secondo l'art. 752.52.5 della norma CEI 64-8, le derivazioni e le giunzioni devono essere

(6) Tipo CEI 20-19 (Tabella 2 b CEI 20-40).
(7) Tabelle 1a e 1b CEI 20-40.
(8) In merito si è fatto riferimento agli artt. 751.03.2, 751.04.2.6 c, 751.04.2.8 e 711.521 della CEI 64-8.
(9) Cavi H07RN-F (CEI 20-19/4), H07BQ-F (CEI 20-19/10) ovvero FG7O-K (Sez 704 CEI 64-8).
(10) Cavi FROR: CEI 20-20/1 e 2, CEI 20-22 II, CEI 20-37/2; FM9OZ1: CEI 20-22 III).
(11) Si suggerisce una resistenza all'impatto pari a IK 10 secondo CEI 70-3 (energia di impatto pari a 20 J).

realizzate in cassette. Soluzioni alternative, sovente riscontrate nella pratica, devono essere attentamente valutate nel rispetto dei seguenti principi:
- protezione meccanica contro taglio/schiacciamento/abrasione (anche mediante distanziamento);
- materiali utilizzati per le derivazioni/giunzioni non costituenti causa di innesco e/o propagazione di un incendio;
- protezione contro i contatti diretti;
- protezione contro gli agenti atmosferici.

8. RISCHIO DI INCENDIO: MISURE CONTRO L'INNESCO

Contro l'innesco le norme prese a riferimento prevedono specifici accorgimenti volte sia a prevenirlo, ad esempio limitando le correnti di dispersione in caso di guasto, che a contenerne gli effetti, ad esempio prescrivendo l'adozione di materiali con particolari requisiti di reazione al fuoco.

Per il primo degli obiettivi, per l'analogia dei rischi trattati dalla sezione 751 per le condutture di cui all'art.751.04.2.6.c), si prevede:
- nei sistemi TT e TN la protezione dei circuiti con interruttori differenziali con corrente di intervento di 300 mA;
- nei sistemi IT (ottenibile con alimentazione da gruppo elettrogeno) occorre un dispositivo che rilevi con continuità le correnti di dispersione verso terra e che, in caso di decadimento dell'isolamento, provochi l'apertura automatica del circuito o, se richiesto dalle esigenze di continuità del servizio, l'azionamento di un allarme ottico e acustico.

Le prese devono essere protette contro le sovracorrenti singolarmente in ambienti accessibili al pubblico ed in gruppi al massimo di cinque negli altri ambienti.

Le misure di cui sopra, previste per gli ambienti a maggior rischio in caso di incendio per la presenza di elevato affollamento o di elevato tempo di sfollamento, devono essere integrate per compensare il maggior rischio di guasto meccanico con provvedimenti mirati. A tal fine si può fare riferimento alla norma CEI 64-15 che, sull'argomento, prescrive:
- prese a spina con protezione differenziale da 30 mA;
- di stanziamento dal pubblico;
- accorgimenti per evitare l'intralcio;
- utilizzo di cavi multipolari con conduttore di protezione.

Allo scopo di impedire l'innesco di materiali combustibili presenti in pros-

simità degli impianti, la sezione 422 della norma CEI 64-8 prevede appositi accorgimenti per i componenti che nel normale funzionamento sono caratterizzati da:
- alte temperature superficiali;
- produzione di archi o scintille;
- effetti di focalizzazione.

Le misure consistono:
- nell'installazione su od entro elementi costituiti da materiali in grado di resistere a tali temperature ed aventi basso grado di conducibilità termica;
- nell'interposizione di schermi termicamente isolanti che resistano a tali temperature (cioè con classe di reazione al fuoco 0, 1 o 2);
- nel mantenimento di una distanza dai materiali combustibili sufficiente alla dissipazione del calore.

Tali provvedimenti non sono necessari per le condutture, gli interruttori luce, le prese a spina di uso domestico e gli interruttori magnetotermici fino a 16 A in quanto non ritenuti pericolosi dalla norma.

In merito agli schermi termicamente isolanti, benché ammessi anche di classe 1 e 2 di reazione al fuoco, si ritiene debbano essere realizzati, in ogni caso, con materiali di classe 0 in quanto la combustione che comunque si verificherebbe nel materiale costituente lo schermo, seppur con limitata produzione di fiamme, calore e gocce incandescenti come previsto dal vigente quadro normativo, potrebbe innescare i materiali non classificati presenti in prossimità.

La distanza di sicurezza dai materiali combustibili degli apparecchi di illuminazione deve essere generalmente effettuata in conformità all'art. 751.04.1.5 della norma CEI 64-8[12].

Per le altre apparecchiature e per gli apparecchi di illuminazione non rispondenti alle prescrizioni del citato art.751.04.1.5, in assenza di indicazioni fornite dal

(12) L'articolo 751.04.1.5 prevede le distanze di sicurezza riportate nella seguente tabella:

Potenza apparecchio (in W)	Distanza D (in m)
≤ 100	0,5
≤ 300	0,8
≤ 500	1

Fanno eccezione gli apparecchi con alimentatore elettronico marcati "F" i quali possono essere installati direttamente su superfici "normalmente infiammabili" intendendosi per tali, in conformità con la norma CEI 34-21, il legno di spessore non inferiore a 2 mm).

fabbricante, può essere utile fare riferimento alla norma CEI 64-15 che prevede l'individuazione della distanza in funzione della temperatura raggiunta dai materiali combustibili circostanti che deve essere limitata entro 90°C[13] dopo 8 ore di esposizione in caso di funzionamento normale dell'apparecchio.

Ulteriori provvedimenti sono deducibili:

- dalla sezione 424 della norma CEI 64-8 che per le condotte di riscaldamento ad aria forzata i cui elementi riscaldanti non siano del tipo ad accumulo centralizzati, prevede due dispositivi indipendenti per la limitazione della temperatura, del tipo a riarmo manuale[14];
- dalla sezione 751 che, per i depositi prevede il ricorso a custodie con grado di protezione IP 4X per i componenti elettrici con esclusione degli interruttori luce, delle prese a spina di uso domestico, degli interruttori magnetotermici fino a 16 A, dell'alloggiamento delle lampade degli apparecchi di illuminazione e per i componenti dei motori elettrici diversi dalle morsettiere e dal collettore.

9. IMPIANTI DI SICUREZZA

Gli impianti di sicurezza previsti dal DM 19/8/1996 sono i seguenti:

- illuminazione di emergenza;
- rivelazione ed allarme incendi;
- estinzione incendi.

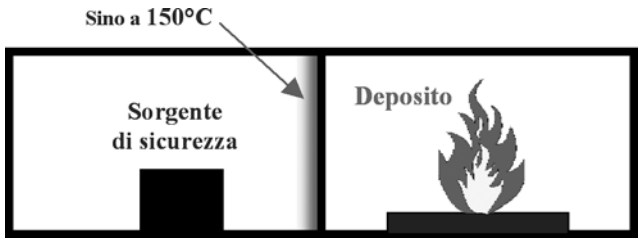
Ferme restando le prescrizioni dettate dalla circolare MI n.31/78 per i gruppi elettrogeni e dalla Norma CEI 21-39 per le batterie di accumulatori, i locali ove collocare le sorgenti di sicurezza devono essere isolati dai fabbricati/installazioni alimentati o costituire compartimenti antincendio, accessibili dall'esterno e con caratteristiche REI compatibili con la durata di funzionamento minima prevista.

L'ubicazione del compartimento nella volumetria del fabbricato deve, comunque, essere effettuata in modo da garantire il corretto funzionamento della sorgente. In merito si fa presente che l'adiacenza a locali di deposito in fiamme dovrebbe esse-

(13) La norma CEI 64-15 si riferisce alla distanza dagli apparecchi di illuminazione che non rispettano le prescrizioni di cui all'art.751.04.1.5. Tuttavia, i principi di carattere generale alla base del provvedimento si ritengono applicabili per qualsiasi apparecchiatura fatto salvo il generico obbligo della valutazione dei rischi ex art.4 D.Lgs. 626/94.
(14) Norma CEI 64-8 art.424.1.1.

re evitata a causa del possibile raggiungimento di temperature elevate sulla faccia della parete non esposta e dalla conseguente alterazione della temperatura ambiente di progetto della sorgente.

Figura 6: Sollecitazione termica delle sorgenti di sicurezza installate in prossimità dei depositi



Poiché le sorgenti di sicurezza possono essere utilizzate anche per l'alimentazione di riserva del locale (utenze privilegiate), deve essere installato un dispositivo di emergenza per il sezionamento, a monte del fabbricato/installazione servita, delle citate utenze privilegiate e delle utenze di sicurezza non destinate a funzionare durante l'emergenza (i.e. impianto di rivelazione incendi, illuminazione di emergenza, ecc.), provvedendo altresì all'affissione della segnaletica conforme al d.lgs. 493/96 (art.2 comma 2[15]).

Figura 7: Segnaletica di sicurezza per il sezionamento di emergenza

Segnaletica per dispositivo di sezionamento

(15) L'articolo Art.2 comma 2 d.lgs. 493/96: *Qualora sia necessario fornire mediante la segnaletica di sicurezza indicazioni relative a situazioni di rischio non considerate negli allegati al presente decreto, il datore di lavoro, anche in riferimento alla normativa nazionale di buona tecnica, adotta le misure necessarie, secondo le particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica.*

10. ILLUMINAZIONE DI SICUREZZA

I requisiti minimi previsti per l'illuminazione di sicurezza dal DM 19/8/1996 sono di 5 lux lungo le vie di esodo e di 2 lux negli altri ambienti accessibili al pubblico misurati ad 1 metro dal piano di calpestio.

Negli ambienti non accessibili al pubblico, nelle aree ad alto rischio (dove cioè l'improvvisa assenza dell'illuminazione può causare pericolo per le persone ad esempio nei palcoscenici con lavori in quota o con movimentazione di scenografie sospese) e nelle fiere (non contemplate dal DM 19/8/1986), fatta salva la facoltà di prescrivere soluzioni più restrittive, le caratteristiche dell'illuminazione di sicurezza sono quelle stabilite dalla norma UNI EN 1838.

In merito si suggerisce l'opportunità di prescrivere il raggiungimento del 100% del flusso luminoso previsto entro 0,5 sec anziché entro 60 sec come prescrive la norma, tenuto conto che nei luoghi a rischio di incendio elevato (attività espositive con oltre 10.000 m^2) il DM 10/03/98 prevede tempi di evacuazione inferiori al minuto.

Nel caso di alimentazione centralizzata, deve essere assicurato il coordinamento cronometrico e/o amperometrico delle protezioni elettriche in modo tale che al verificarsi di un guasto non vengano disattivate vaste parti d'impianto oltre che un'opportuna progettazione del lay-out dell'impianto rispettosa dei livelli di compartimentazione e/o delle distanze di isolamento esistenti così come schematicamente rappresentato in Figura 8:

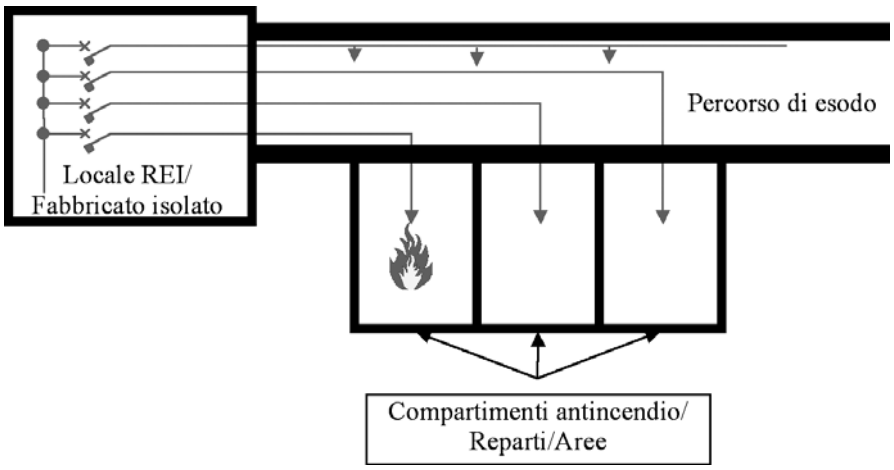


Figura 8: Continuità di esercizio in caso di incendio per impianti di illuminazione di emergenza centralizzati

Da ricordare, infine, che la recente norma CEI 34-111, al punto 4.1 prescrive testualmente: "*L'illuminazione di sicurezza deve essere attivata, non solo in caso di guasto completo dell'alimentazione dell'illuminazione normale, ma anche in caso di guasto localizzato, come ad esempio in caso di guasto del circuito finale*".

11. SISTEMI DI RIVELAZIONE ED ALLARME INCENDIO

L'impianto di rivelazione incendi, oltre che nei casi previsti dal DM 19/08/96[16], è reso obbligatorio dall'art.711.521 della norma CEI 64-8 all'interno delle fiere nel caso in cui non vengano utilizzati cavi a bassa emissione di fumi e gas tossici.

Con riferimento allo schema a blocchi dell'impianto contenuto nella norma UNI 9795 e riportato in Figura 9, si richiama l'attenzione sui seguenti aspetti:

- benché non previsto dalla norma, si deve proteggere dal fuoco l'interconnessione tra la centrale di controllo B e la segnalazione dell'attuatore **G** del sistema automatico antincendi;
- tenuto conto che i locali in oggetto sono non presidiati nei periodi di chiusura, è obbligatoria l'installazione dei dispositivi E, F, J, K descritti in legenda.

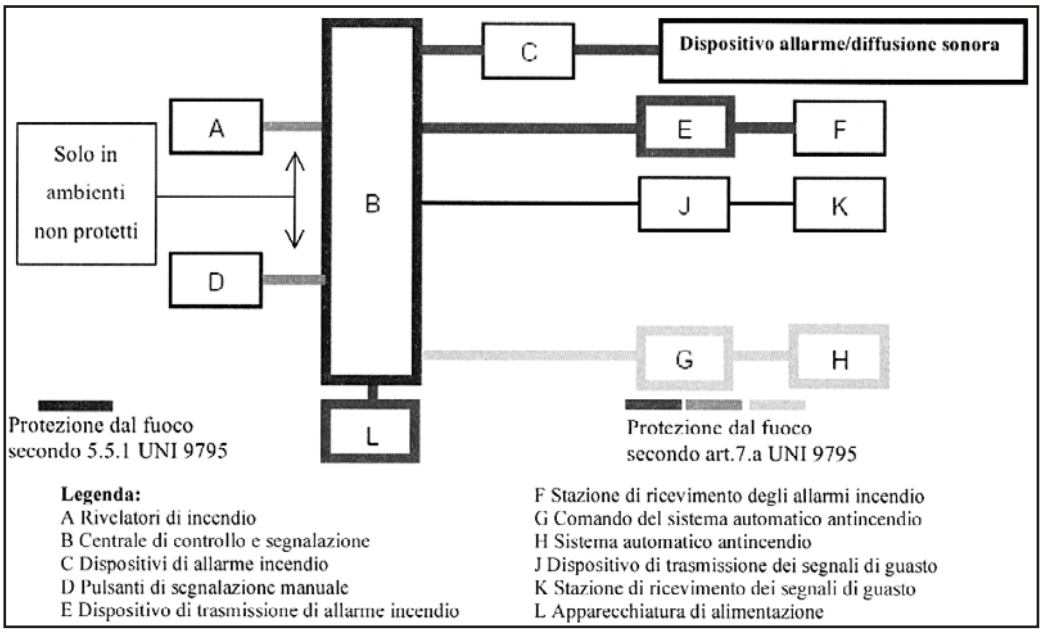


Figura 9: Impianto di rivelazione incendi (UNI EN 54-1) - provvedimenti per la protezione dal fuoco

In merito alle modalità di emanazione dell'allarme, da una lettura congiunta del titolo XIV dell'allegato al DM 19/08/1996 (locali di pubblico spettacolo, escluse le fiere) e dell'allegato IV al DM 10/3/1998, si può dedurre che è obbligatoria, almeno per gli ambienti vasti, l'adozione di un impianto di allarme in grado di diffondere mediante altoparlanti messaggi anche di tipo preregistrato, eventualmente attivato dal sistema di

(16) Il DM 19/08/96 prescrive l'impianto di rivelazione incendi negli ambienti aventi carico di incendio superiore a 30 kg/mq di legna standard e all'interno delle condotte dei sistemi di condizionamento con ricircolo d'aria che attraversano più compartimenti.

rilevazione incendi con un ritardo imposto per verificare l'effettiva situazione ed evitare allarmi intempestivi che potrebbero creare indebite situazioni di panico. Il sistema, da realizzarsi secondo la norma CEI 100-55 cui si rimanda per maggiori approfondimenti, deve rispondere alle seguenti specifiche:
- la distribuzione degli altoparlanti deve essere ridondante in ogni ambiente protetto;
- non sono previste costruzioni protette dal fuoco in quanto è ammessa la possibilità di danneggiamenti a seguito dell'emergenza;
- la costruzione elettrica deve essere compatibile con la classificazione delle aree;
- devono essere installati gli allarmi per mancata alimentazione ordinaria/di sicurezza e per i guasti del sistema;
- deve annullare ogni altro messaggio sonoro o musicale.

12. IMPIANTI DI ESTINZIONE

Per l'alimentazione elettrica degli impianti di estinzione previsti dal DM 19/08/96 e dalla circolare 16/51[17] si richiamano in quanto integralmente applicabili le prescrizioni dettate dai capitoli 35 e 56 della norma CEI 64-8 per gli impianti destinati a funzionare in caso di incendio, nonché dalla norma UNI 9490. Per maggiori approfondimenti, si rimanda alla letteratura tecnica disponibile[18].

(17) Le protezioni antincendi previste dal DM 19/08/96 e dalla circolare 16/51 sono riportate nella seguente tabella:

ATTIVITÀ	DOTAZIONE MINIMA	RIFERIMENTO NORMATIVO
Circhi	Temporanei: 1 idrante DN 70 Permanenti: rete idranti DN 70 distanti max 60 m In alternativa: mezzi idonei stabiliti da CPVLPS	Art. 7.6 DM 19/8/1996 Circ. MISA 23/1/1997
Parchi di divertimento		
Luoghi all'aperto	Idoneità mezzi antincendio	Titolo IX DM 19/8/1996
Teatri tenda e simili	Temporanei: 1 idrante DN 70 Fissi: rete idrica antinc.	Art. 8.4 DM 19/8/1996
Fiere	Idoneità mezzi antincendi	Art.117 Circ.16/51 norma UNI 10779

(18) Manuale Didattico "Impianti Elettrici e Sicurezza Antincendi" di C. Turturici e F.D'Anna.

13. IMPIANTI DI TERRA

Una delle prescrizioni più controverse e dibattute emerse in seno alle commissioni di vigilanza è quella relativa al collegamento all'impianto di terra di palchi e tribune metalliche.

In merito si fa presente che la messa a terra di queste strutture deve essere realizzata esclusivamente nei seguenti casi:

- la struttura è una massa estranea[19] visto che, certamente, non è una massa[20];
- la struttura è soggetta ad un rischio indebito di fulminazione.

Poiché una parte conduttrice che può andare in tensione solo perché è in contatto con una massa non è da considerare massa, *tribune e palchi in contatto con masse non sono masse*. Inoltre se il valore misurato strumentalmente della resistenza verso terra supera i 200 Ohm, situazione spesso riscontrata, *tribune e palchi non sono masse estranee***,** per cui il collegamento a terra delle stesse, normalmente riscontrato nella pratica, non è necessario. Anzi, tale collegamento può essere controproducente per il rischio di circolazione di correnti vaganti, in caso di installazione all'interno di aree urbane o industriali o in prossimità di reti ferroviarie.

La verifica del requisito di "massa estranea" deve comunque essere effettuata per tutte le altre parti conduttrici quali, ad esempio, le attrazioni dei luna park e le strutture di sostegno dei circhi o dei teatri tenda.

Per quanto riguarda il rischio indebito di fulminazione, in base all'art. 39 del DPR 547/55[21], le strutture metalliche installate all'aperto di notevoli dimensioni devono essere protette contro i fulmini.

Il requisito di "notevole dimensione" va individuato secondo la regola dell'arte, ovvero secondo la norma EN 62305 (CEI 81-10/1-5): le dimensioni saranno da considerare notevoli e, pertanto, le strutture saranno da collegare a terra solo se dall'applicazione della norma emerge che il rischio di fulminazione supera quello ritenuto accettabile.

---

(19) Parte conduttrice non facente parte dell'impianto elettrico in grado di introdurre un potenziale, generalmente il potenziale di terra. Una parte conduttrice va considerata massa estranea se ha una resistenza R verso terra non superiore a 1000 Ω negli ambienti ordinari, non superiore a 200 Ω negli ambienti particolari (cantieri, stalle, locali medici), non superiore a 0,5 MΩ negli ambienti con rischio di microshock.

(20) Parte conduttrice di un componente elettrico che può essere toccata e che non è in tensione in condizione ordinarie ma che può andare in tensione in condizione di guasto (singolo) non superiore a 0,5 MΩ negli ambienti con rischio di microshock.

(21) Art. 39 del DPR 547/55: "Le strutture metalliche degli edifici provvisionali, i recipienti e gli apparecchi metallici di notevoli dimensioni, situati all'aperto, devono, per sè stessi o mediante conduttore e spandenti appositi, risultare collegati elettricamente a terra in modo da garantire la dispersione delle scariche atmosferiche".

Non è dunque da trascurare l'analisi del rischio di fulminazione condotta secondo le norme, dal momento che gli insediamenti in argomento sono realizzati facendo ricorso a strutture prevalentemente metalliche ed in aree spesso lontane da altri edifici, poco edificate e con suolo privo di pavimentazione.

14. DOCUMENTAZIONE

La tipologia della documentazione certificativa per gli impianti in argomento non è, purtroppo univocamente individuata dalla legislazione vigente. Infatti:

- una parte non sono soggetti alla legge 46/90;
- una parte sono soggetti alle prescrizioni in materia di documentazione dettate dal DM 19/08/96;
- tutti sono soggetti agli obblighi documentali previsti dall'art.6 della circolare 16/51;
- tutti sono soggetti all'obbligo generale del rispetto della regola dell'arte previsto dalla legge 186/61;
- tutti quelli conformi alla norma CEI 64-8 sono soggetti agli obblighi documentali di cui ai fascicoli 5 e 6 della norma;
- tutti gli impianti sono soggetti all'obbligo di corretta gestione per il mantenimento delle condizioni di sicurezza durante l'esercizio.

In merito all'applicazione della legge 46/90, si fa notare che:

- per immobile il codice civile intende qualsiasi edificio o costruzione uniti al suolo anche a scopo transitorio; pertanto sono da considerare tali anche le costruzioni precarie quali i container adibiti ad uffici, le costruzioni per fiere e simili (chioschi, biglietterie, camerini, uffici dei teatri all'aperto) e in esse applicabile la legge;
- sono soggetti alla legge 46/90 gli impianti all'esterno che hanno origine da punti di consegna dell'energia da parte dell'ente distributore posti all'interno dell'edificio (discoteche estive all'aperto annesse ad esercizi in locali chiusi;
- sono esclusi gli impianti aventi origine da quadri ENEL o da gruppo elettrogeno a servizio di palchi all'aperto (utilizzati ad esempio per i concerti estivi), luna park, circhi, discoteche estive realizzate interamente con strutture provvisorie quali gazebo o tettoie.

Ove non si applica la legge 46/90, non è richiesta né la redazione del progetto conforme alla Guida CEI 0-2, né il rilascio della dichiarazione di conformità secondo il modello di cui al DM 20/02/92 e Guida CEI 0-3.

Per quanto premesso, in funzione della tipologia di attività, si è reso neces-

sario procedere all'individuazione delle documentazioni di certificazione previste dalla legislazione vigente sinteticamente rappresentate nei diagrammi di flusso riportati nel seguito:

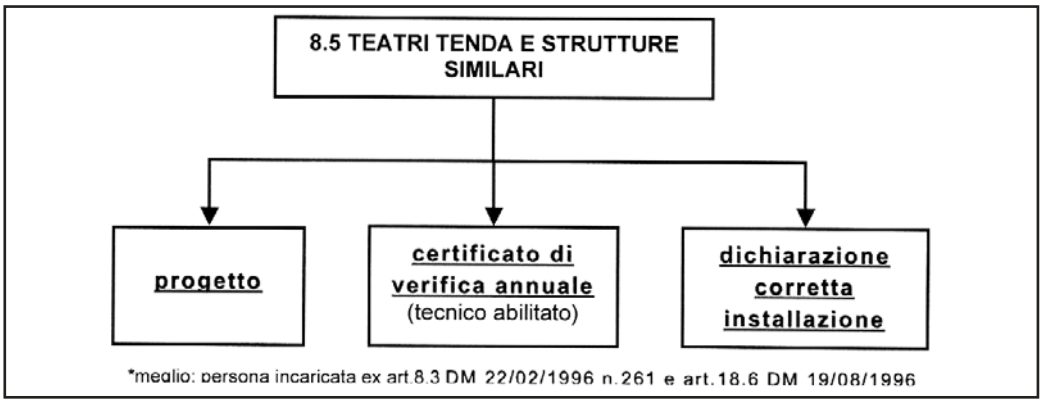


Figura 10: Documentazione per gli impianti nei teatri tenda e strutture similari (art. 8.5 del DM 19/8/1996)

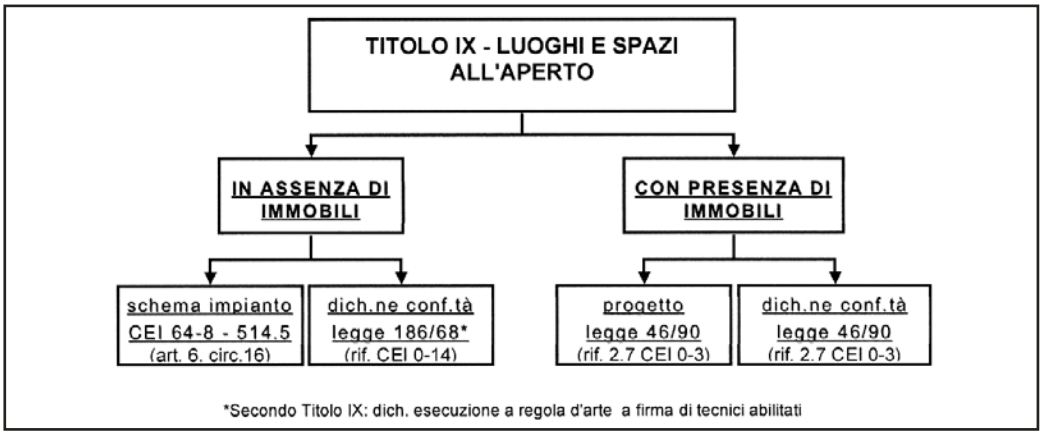


Figura 11: Documentazione per gli impianti per luoghi e spazi all'aperto (Titolo IX del DM 19/8/1996)

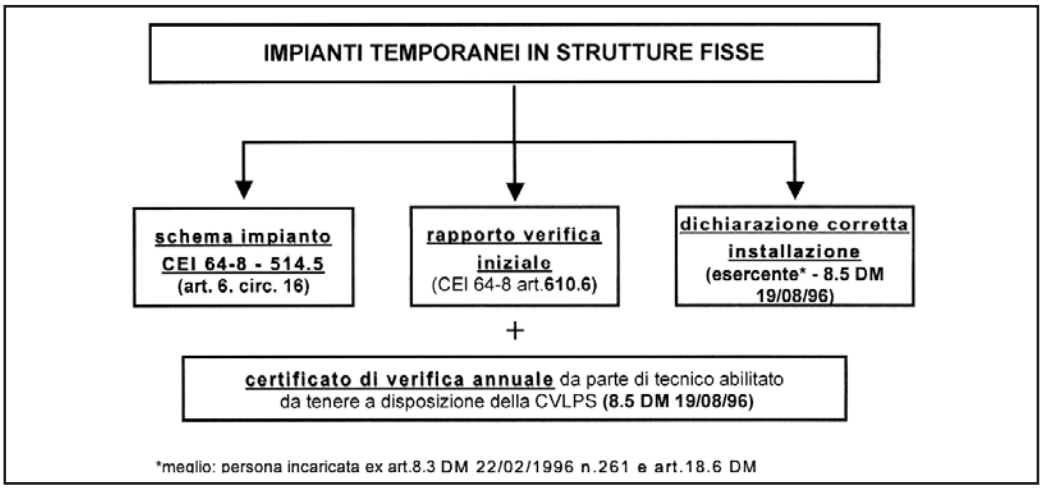


Figura 12: Documentazione per gli impianti temporanei in strutture fisse (allestimenti scenici nei teatri allestimenti fieristici)

Per quanto riguarda circhi, parchi di divertimento e spettacoli viaggianti, l'art.7.7 del DM 19/8/1996, sospeso con DM 8/11/1997, prevedeva la redazione:

· di un progetto degli impianti approvato ai sensi della legge 18 marzo 1968, n. 337;
· della certificazione di verifica annuale da parte di tecnico abilitato;
· della dichiarazione di corretta installazione e montaggio impianti a firma esercente.

Tuttavia, sino ad avvenuto ripristino della disposizione, trova applicazione, per analogia, quanto previsto dalla vigente normativa (legge 186, legge 46/90 e norma CEI 64-8) per i luoghi e gli spazi all'aperto (Figura 11).

Si fa presente che lo schema di impianto previsto dall'art. 514.5 della CEI 64-8/5 da produrre in sostituzione del progetto, laddove non obbligatorio, deve riportare il tipo e la composizione dei circuiti (punti utilizzazione, numero/sezione conduttori, tipo di condutture elettriche) nonché le caratteristiche e la dislocazione dei dispositivi di protezione, sezionamento e comando.

In aggiunta a quanto sopra si richiama l'attenzione sui seguenti ulteriori obblighi certificativi degli impianti:

- il capitolo 61 della norma CEI 64-8/6, prevede per l'installatore l'obbligo di procedere alla verifica iniziale e alla compilazione del rapporto di verifica per la cui consistenza si ritiene comunque valido riferimento la Guida CEI 0-3;
- per i quadri elettrici è necessario rilasciare la dichiarazione di conformità secondo le norme CEI applicabili;
- l'art.2 DPR 462/2001 prevede il rilascio della dichiarazione di conformità degli impianti di messa a terra e di protezione dalle scariche atmosferiche (o la dichiarazione attestante l'autoprotezione della struttura) con l'esclusione delle attività aventi durata inferiore ai 30 giorni;
- per tutta la durata delle manifestazioni deve essere mantenuto aggiornato e reso disponibile ai fini dei controlli di competenza del comando dei vigili del fuoco il registro dei controlli di cui all'art.18.6 DM 19/08/96 e all'art.32 d.lgs.626/94, nel quale a cura dei responsabili dell'attività vengono annotati i controlli, le verifiche, gli interventi di manutenzione, l'informazione e la formazione del personale.

15. CONCLUSIONI

Ferme restando l'ottemperanza alle disposizioni vigenti in materia di progettazione, realizzazione e documentazione certificativa sugli impianti, la precarietà di tali installazioni richiede, più che in altri casi, una forte assunzione di responsabilità da parte del titolare dell'attività, ai sensi dell'art.32, comma 1 lettera b) del d.lgs. 626/94 e/o dell'art.2053 CC[22], attività in merito alla continua verifica dell'integrità dei componenti e la sostituzione o pronta riparazione di quelli danneggiati dall'uso.

D'altro canto, la corretta gestione in vita dell'impianto a cura del titolare, oltre che essere richiamata nel titolo XVIII del DM 19/08/1996 (art.18.1 lettera d) ed oggetto di vigilanza, laddove prevista, da parte del personale VVF, è anche richiesta dalla sezione 752 della norma CEI 64-8 (artt.752.60.4 - 6) in termini di:

- obbligo di presidio dei locali a cura di personale addestrato durante le prove e lo spettacolo;
- obbligo di verificare l'efficienza e sicurezza degli impianti e il corretto funzionamento di quelli di sicurezza prima di ammettere il pubblico in sala.

Gianfranco Tripi
(Corpo nazionale dei nigili del fuoco, direttore vice dirigente, direzione regionale per l'Emilia Romagna)
Calogero Turturici
(Corpo nazionale dei vigili del fuoco, direttore vice dirigente, direzione provinciale di Alessandria)
Michele Mazzaro
(Corpo nazionale dei vigili del fuoco, direttore vice dirigente, direzione centrale per l'emergenza e il soccorso tecnico)

(22) Art. 2053 C.C. - Rovina di edificio: Il proprietario di un edificio o di altra costruzione è responsabile dei danni cagionati dalla loro rovina, salvo che provi che questa non è dovuta a difetto di manutenzione o a vizio di costruzione.

APPROCCIO "PRESTAZIONALE" ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO IN EDIFICI DI INTERESSE STORICO ARTISTICO: IL CASO DI SANTA MARIA DELLA SCALA IN SIENA

di Gabriele Ballocco, Andrea Carpignano, Luca Nassi

A seguito della crescente richiesta di efficienza dei sistemi produttivi e di allocazione delle risorse destinate alla sicurezza, in quasi tutte le nazioni industrializzate è stato avviato da alcuni anni il tentativo di affiancare, al tradizionale sistema della normazione antincendio di tipo prescrittivo, un sistema di valutazione della sicurezza di tipo "prestazionale".

L'approccio prescrittivo è volto a definire regole di tipo generale per categorie di edifici o sistemi che sono caratterizzati da una certa omogeneità (ad esempio gli edifici abitativi, le scuole, ecc.); seguendo tali regole si può supporre sia garantita la sicurezza del sistema.

L'approccio prestazionale è invece orientato a definire criteri e regole specifiche per quei sistemi e contesti difficilmente assimilabili in categorie omogenee (ad esempio un edifico storico), per i quali ogni caso richiede uno studio e un approccio ad hoc. Per approccio "prestazionale" alla sicurezza antincendio si intende quindi l'analisi del contesto specifico, volta a dimostrare il raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza sulla base delle caratteristiche proprie del sistema oggetto dello studio e del suo comportamento, in caso di incendio. Questa necessità, è sentita in particolare nei riguardi degli edifici caratterizzati da forte singolarità, come quelli di interesse storico artistico, o dei grandi progetti, in cui è più probabile che si manifesti l'impossibilità di ottemperare completamente alle norme prescrittive o per i quali una norma prescrittiva di riferimento non sia disponibile.

Malgrado questo orientamento generale, sussistono ancora delle difficoltà evidenti nell'applicazione diffusa dei metodi prestazionali, dovuti principalmente alle carenze nella normativa specifica (soprattutto in Italia e in Europa) ed alla necessità di approfondire la definizione della metodologia che porta al riconoscimento della congruità del progetto antincendio. Ferma restando la necessità di ottemperare scrupolosamen-

te a tutti i passi della procedura prestazionale, è innegabile come un punto cruciale della stessa sia la scelta e la modellazione degli scenari di incendio al fine di verificare la capacità di soddisfare i requisiti di sicurezza fissati, da parte del progetto proposto.

In questo lavoro si esaminano gli strumenti oggi a disposizione dell'analista per la simulazione dei fenomeni di incendio e se ne commenta l'utilizzo in un contesto di valutazione prestazionale. In particolare si discute l'approccio applicato per l'analisi del restauro del complesso monumentale di Santa Maria della Scala in Siena.

Santa Maria della Scala è stato in passato uno dei primi ospedali europei ed ha giovato dell'opera dei migliori artisti senesi diventando il terzo polo artistico della città insieme al Palazzo Pubblico e alla Cattedrale. Dal punto di vista della sicurezza antincendio esso è caratterizzato principalmente, come spesso accade per gli edifici di questo genere, dalla complessità plano-volumetrica, dalla presenza di cantieri per opere di restauro, dall'esposizione di installazioni temporanee.

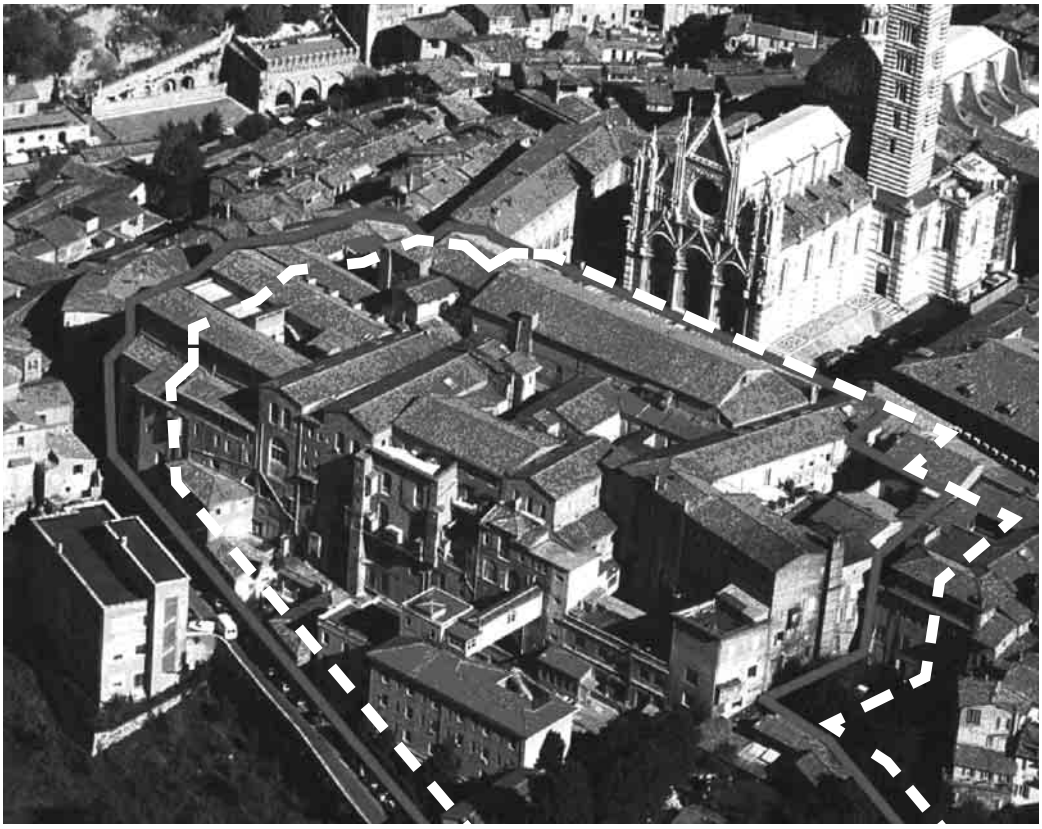


Figura 1: Foto del complesso

L'UTILIZZO DEI MODELLI DI SIMULAZIONE NELL'AMBITO DELL'INGEGNERIA ANTINCENDIO

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi due decenni sono stati sviluppati numerosi strumenti di calcolo che consentono di stimare gli effetti di un incendio, in modo più o meno approssimato. La complessità del fenomeno che questi strumenti intendono simulare, fa sì che, a dispetto della loro grande proliferazione, esistano ancora difficoltà nella loro applicazione dovuta al fatto che il margine di incertezza associato ai risultati può essere considerevole. Questo soprattutto a seguito dell'utilizzo da parte di un utente non molto esperto.

Nella grande varietà di modelli disponibili si possono identificare tre gruppi principali [1]:

- *modelli mono-zona:* sono stati utilizzati nel campo dell'ingegneria strutturale principalmente per predire condizioni di post-flashover in un singolo compartimento. Questi modelli assumono il locale in cui si sviluppa l'incendio come un'unica zona in cui i valori di temperature e degli altri parametri significativi sono uguali in ogni punto. Non forniscono una buona approssimazione delle prime fasi dell'incendio;
- *modelli a zone:* suddividono ogni locale in un piccolo numero di volumi di controllo (chiamati "layer"), lo stato di ognuno dei quali è ipotizzato uniforme al suo interno, cioè i valori di temperatura, quantità di fumo, concentrazione dei prodotti della combustione sono uguali in ogni punto dello stesso volume;
- *modelli fluidodinamici:* forniscono la stima dell'evoluzione dell'incendio in uno spazio per via numerica, risolvendo le equazioni di conservazione (della massa, dell'energia, della diffusione delle specie ecc.) che risultano da un incendio. Questo approccio è sviluppato attraverso i metodi agli elementi finiti, o meglio, ai volumi finiti. Così come per i modelli a zone, i modelli di campo richiedono la descrizione del compartimento e delle aperture, ma in realtà permettono di simulare anche spazi non compartimentati, come i "plume" (cioè il pennacchio di fiamme e gas caldi che si eleva dalla regione di combustione) ed i camini.

Prescindendo dai modelli mono-zona, che sono di scarsa utilità per simulare un incendio all'interno di un edificio reale, l'interesse di questo lavoro è focalizzato sulle altre due tipologie di modelli: i modelli a zona e i modelli di campo. In particolare si farà riferimento, per gli esempi applicativi, ai modelli implementati nei software CFAST ed FDS, entrambi sviluppati dai gruppi di ricerca del BFRL (building and fire research laboratory) del NIST (national institute of standards and technology) degli Stati Uniti, che rappresentano rispettivamente gli esempi più noti di modello a zone e modello flui-

dodinamico. I due software sono caratterizzati da un grado di dettaglio modellistico molto differente, dal momento che CFAST adotta una semplificazione molto più spinta del fenomeno fisico. A fronte di ciò, essi richiedono d'altra parte un impegno di risorse molto diverso soprattutto in termini di tempo necessario per concludere la simulazione.

2.1 Caratteristiche generali

I modelli di simulazione di incendi in spazi confinati definiti "a zone" suddividono ogni locale in un piccolo numero di volumi di controllo (chiamati "layer"), lo stato di ognuno dei quali è ipotizzato uniforme al suo interno, cioè i valori di temperatura, quantità di fumo, concentrazione dei prodotti della combustione sono supposti uguali in ogni punto dello stesso volume.

2.2 CFAST

Il software CFAST (consolidated model of fire growth and smoke transport) è stato sviluppato dai gruppi di ricerca del BFRL (building and fire research laboratory) dell'ente statunitense NIST (national institute of standards and technology).

Il modello di simulazione contenuto in CFAST è un modello a zone in grado di predire le condizioni ambientali in una struttura composta da più compartimenti e soggetta ad incendio. La versione utilizzata per effettuare le simulazioni nell'ambito di questo studio è la numero 3.1.7 dell'ottobre 2001.

In qualità di modello a zone, CFAST suddivide i compartimenti in due layer, i quali rappresentano la parte bassa e quella alta di una stanza, all'interno della quale le condizioni possono variare solamente in senso verticale tra pavimento e soffitto, e rimangono costanti sullo stesso piano orizzontale.

Il funzionamento dell'algoritmo contenuto nel software è basato sulla risoluzione di equazioni che predicono le variabili di stato (pressione, temperatura, ecc.) basandosi sulla conoscenza dei flussi di calore e di massa per ogni istante di tempo. In CFAST l'incendio è considerato come una sorgente di combustibile rilasciata con una determinata velocità. La combustione può avere luogo sia nella zona bassa che in quella alta all'interno di un compartimento; in ogni caso vi deve essere presenza di ossigeno.

Sopra ogni oggetto che brucia, si forma una fiamma che non viene considerata facente parte di alcun layer, ma come una pompa che spinge il calore e la massa dalla zona sottostante a quella sovrastante. Sono due le cause di tale movimento ascensionale: il primo è la fiamma stessa, la seconda è il flusso d'aria proveniente dalle aperture quali porte e finestre ma anche da aperture poste sul pavimento o sul soffitto dei locali.

CFAST tiene conto dei trasferimenti di calore che avvengono con la struttura in esame e permette di selezionare diversi tipi di materiale che caratterizzano pareti, pavimento, e soffitto. Questo fatto non solo produce risultati più accurati, ma permette una maggiore interazione con l'edificio reale.

Il modello consente all'utente di definire tutti i parametri che caratterizzano l'incendio da simulare e in particolare la curva di rateo di rilascio di calore (HRR, vd.4.5); esiste, comunque, un database di incendi standard che comprende anche le caratteristiche di alcuni oggetti di uso comune.

Il risultato fornito da CFAST consiste negli andamenti nel tempo (per la durata della simulazione), dei parametri che caratterizzano gli effetti dell'incendio ed in particolare della quantità di fumi prodotti, delle temperature e delle concentrazioni delle specie chimiche pericolose.

2.3 Principali limiti di CFAST

Il modello contenuto in CFAST è stato creato e validato per la simulazione di incendi in spazi confinati caratterizzati da dimensioni geometriche proprie degli edifici di civile abitazione, e quindi di locali di modeste dimensioni.

Per questi motivi, in tutti gli scenari per i quali le dimensioni dei locali si differenziano, per dislocazione e geometria da quelli caratteristici dell'edilizia civile, le valutazioni del modello non potranno che essere affette da un certo grado di incertezza. Anche se è oltremodo diffusa l'applicazione del software CFAST per la simulazione di incendi negli scenari più diversi, dai grandi ambienti alle navi, e anche se, per sopperire in parte a tale limitazione, è possibile, in alcuni casi, suddividere il locale reale in più sotto-comparti "virtuali" di dimensioni inferiori, si tratta in ogni caso di un'utilizzazione non del tutto propria del modello.

Valutazioni comparative tra simulazioni di incendi e prove sperimentali su scala reale hanno altresì dimostrato che i limiti del modello vengono raggiunti per po-

tenze dell'incendio elevate (nell'ordine dei 35 MW), mentre per potenze più contenute (nell'ordine dei 4-5 MW) i risultati si possono considerare verosimili. Altre limitazioni riscontrate durante prove comparative, condotte dallo stesso ente che ha sviluppato il modello, sono nella sovrastima delle temperature (nell'ordine dei 50/150 °C secondo i casi) degli strati superiori dei compartimenti [2].

3. MODELLI DI CAMPO

3.1 Caratteristiche generali

I modelli di campo forniscono la stima dell'evoluzione dell'incendio in uno spazio per via numerica, risolvendo le equazioni di conservazione (della massa, dell'energia, della diffusione delle specie ecc.) che risultano da un incendio.

Questo approccio è sviluppato attraverso i metodi agli elementi finiti, o meglio, ai volumi finiti. Come noto, questi metodi sono già ampiamente utilizzati in altri settori dell'ingegneria, in campo civile, meccanico ecc. I modelli di campo, quindi, dividono uno spazio in un numero elevato di elementi e risolvono le equazioni di conservazione all'interno di ciascuno di essi. Maggiore il numero di elementi, più dettagliata sarà la soluzione. I risultati sono tridimensionali e, se comparati con i modelli a zone, molto più dettagliati. I modelli di campo si sono rivelati utili in caso di investigazione dell'incendio o nella ricerca, e sono necessari quando gli altri modelli forniscono soluzioni eccessivamente conservative.

Così come per i modelli a zone, i modelli di campo richiedono la descrizione del compartimento e delle aperture, ma in realtà permettono di simulare anche spazi non compartimentati, come i "plume" (cioè il pennacchio di fiamme e gas caldi che si eleva dalla regione di combustione) ed i camini.

3.2 FDS

Il software FDS (fire dynamics simulator) è stato sviluppato dai gruppi di ricerca del BFRL (building and fire research laboratory) del NIST (national institute of standards and technology) degli Stati Uniti. Le origini del software risalgono alla fine degli anni '90. Nel febbraio 2000 viene rilasciata la versione 1.0 del programma, seguita nel dicembre 2001 dalla versione 2.0, sino a giungere all'ultima versione disponibile, la 3.1, pubblicata nell'aprile del 2003.

Il modello di simulazione contenuto nel software FDS è un modello di tipo CFD (computational fluid dynamics) e rientra nella categoria dei modelli cosiddetti "di campo".

Per quanto riguarda il modello idrodinamico, gli algoritmi contenuti nel software risolvono numericamente, per ogni cella del dominio di calcolo, le equazioni di Navier-Stokes per flussi termici a bassa velocità, con un'enfasi sul trasporto dei fumi e del calore derivanti dall'incendio. La turbolenza è trattata mediante la risoluzione delle formulazioni di Smagorinsky tramite il metodo LES (large eddy simulation). E' inoltre possibile migliorare la precisione di calcolo adottando la DNS (direct numerical simulation), che richiede però una suddivisione del dominio di calcolo molto fitta.

Il modello di combustione è del tipo "mixture fraction". La frazione di miscela è una quantità scalare, che è definita come la frazione di gas in un determinato punto del campo di flusso che è originato dal combustibile. Il modello assume la combustione come controllata dalla miscela, e la reazione del combustibile e dell'ossigeno è infinitamente veloce. Per simulare il trasporto radiativo, il modello utilizza il metodo FVM (finite volume method).

La simulazione di un incendio mediante il modello di FDS può avvenire in due modi. Il primo modo prevede la definizione di un valore dell'HRRPUA (heat release rate per unit area, in kW/m^2), definito su una superficie che si destina ad origine dell'incendio. L'andamento nel tempo di tale valore può, a scelta, seguire un andamento lineare, crescente, costante, decrescente, inserito per punti significativi; oppure seguire una crescita secondo una legge quadratica t^2 seguita da un andamento a valori costanti.

L'altro metodo, che lascia spazio a più ampi margini d'incertezza valutativa, consiste nel definire le caratteristiche termo-fisiche e chimiche del materiale che brucia o che deve essere innescato dall'incendio.

Tra le caratteristiche del materiale da definire si ricordano:

la densità (superficiale o volumica);
· il calore di vaporizzazione;
· la temperatura di ignizione;
· il calore di combustione;
· le caratteristiche stechiometriche delle reazioni di combustione.

Tale modo di operare prevede che il materiale, sottoposto ad una determinato flusso di calore, vaporizzi e i relativi gas si inneschino alla temperatura di ignizione prefissata, reagendo secondo i rapporti indicati dal tipo di reazione predefinita. Occorre perciò specificare, in ogni caso, una sorgente di innesco, che può essere stabilita,

in modo temporaneo, secondo il primo metodo precedentemente visto. Fra gli svantaggi insiti nella metodologia di definizione dell'incendio descritta si evidenzia una possibile sovrastima dell'HRR rilasciato e la necessità di definire le proprietà termofisiche e chimiche di un unico materiale "virtuale", che rappresenti la moltitudine di sostanze, che in uno scenario reale, possono bruciare.

Il volume interessato dall'incendio (dominio di calcolo) viene suddiviso in un numero, generalmente molto elevato, di celle (o FV, finite volume) di forma cubica, secondo griglie ortogonali. L'utente prescrive delle ostruzioni che vengono adattate a conformarsi con la griglia sottostante.

L'inserimento dei dati è effettuabile con la compilazione diretta dei file di input (.data), tramite editor di testo. Il software è sensibile ai caratteri contenuti nel file, pertanto è necessaria una particolare attenzione nell'immissione dei dati.

Per quanto riguarda i dati di output, è possibile ottenere un notevole quantità di informazioni tramite file di tipo .csv, elaborabili da programmi di calcolo (Excel) e tramite file grafici dai quali, tramite l'utility Smokeview, è possibile ottenere rappresentazioni statiche e dinamiche, bidimensionali e tridimensionali, del moto dei fumi e dei valori relativi a tutte le principali grandezze chimiche e termodinamiche.

3.3 Principali limiti di FDS

Attualmente, la metà delle applicazioni del software, riscontrate dal NIST, riguardano la progettazione di sistemi di trattamento dei fumi e studi sull'attivazione di sistemi sprinkler e rilevatori di incendio.

Il modello contenuto in FDS è stato originariamente sviluppato per analizzare incendi a scala industriale. Pertanto, l'affidabilità dei risultati ottenuti per mezzo del codice di calcolo è ragionevole se la dimensione del focolaio è circoscritta e le dimensioni dell'ambiente sono relativamente grandi rispetto a quelle della sorgente. In tali condizioni, i valori delle velocità dei flussi e delle temperature dei gas sono caratterizzate da un'accuratezza del 10-20% rispetto a misure sperimentali effettuabili nelle medesime situazioni.

Date le origini del modello, gli stessi sviluppatori ammettono che esso deve essere migliorato per quanto riguarda l'affidabilità dei risultati di simulazioni che riproducono lo sviluppo di incendi in ambienti di residenza civile.

Un ulteriore limite evidenziato dai ricercatori riguarda la simulazione del-

la crescita dell'incendio, che è strettamente legata alle caratteristiche termofisiche dei materiali che circoscrivono l'incendio, proprietà che devono essere definite con precisione dall'utilizzatore del modello.

Anche nel caso in cui l'utente riesca a definire con relativa precisione le caratteristiche termofisiche dei materiali, il modello è stato validato solo per quei pochi materiali testati sperimentalmente dal NIST. In assenza di verifica sperimentale dei dati inseriti nel codice di calcolo, non si assicura la rispondenza dei risultati ottenuti dalle simulazioni con i possibili scenari reali.

Un ulteriore limite del programma, dal punto di vista applicativo, riguarda le risorse hardware necessarie per la sua esecuzione e i tempi di calcolo richiesti.

4. APPLICAZIONE ALL'AMBIENTE DEL "PASSEGGIO", NELL'AMBITO DEL COMPLESSO MONUMENTALE DI SANTA MARIA DELLA SCALA

4.1 Introduzione

Il caso studio per l'applicazione dei modelli di simulazione degli incendi, è fornito da uno degli ambienti del complesso monumentale di Santa Maria della Scala in Siena, con riferimento al quale è stata svolta una vasta attività di simulazione di incendi, al fine di produrre un supporto alle valutazioni sulla sicurezza della struttura.

Il Santa Maria della Scala è stato in passato uno dei primi ospedali europei ed ha giovato dell'opera dei migliori artisti senesi diventando il terzo polo artistico della città insieme al Palazzo Pubblico e alla Cattedrale. Da punto di vista della sicurezza antincendio esso è caratterizzato principalmente, come spesso accade per gli edifici di questo genere, dalla complessità plano-volumetrica, dalla presenza di cantieri per opere di restauro, dall'esposizione di installazioni temporanee.

All'interno del complesso, una delle fasi dell'attività di simulazione di incendio, ha preso in considerazione la zona del passeggio, delle corsie che si affacciano su di esso e della Cappella del Manto, situata al IV livello del complesso. Il passeggio è un locale di lunghezza pari a circa 36 metri e larghezza pari a quasi 8 metri parallelo al pellegrinaio, uno dei locali più prestigiosi dell'intero complesso, con il quale comunica tramite una porta monumentale situata nella parte nord del passeggio stesso. A nord del passeggio è situato il locale della Cappella del Manto, di dimensioni pari a circa 17 metri per 8. Si affacciano sul passeggio da ovest 5 corsie che si estendono perpendicolarmente alla sua dimensione maggiore. All'estremità sud del passeggio è posta una grande superficie vetrata (Figura 9).

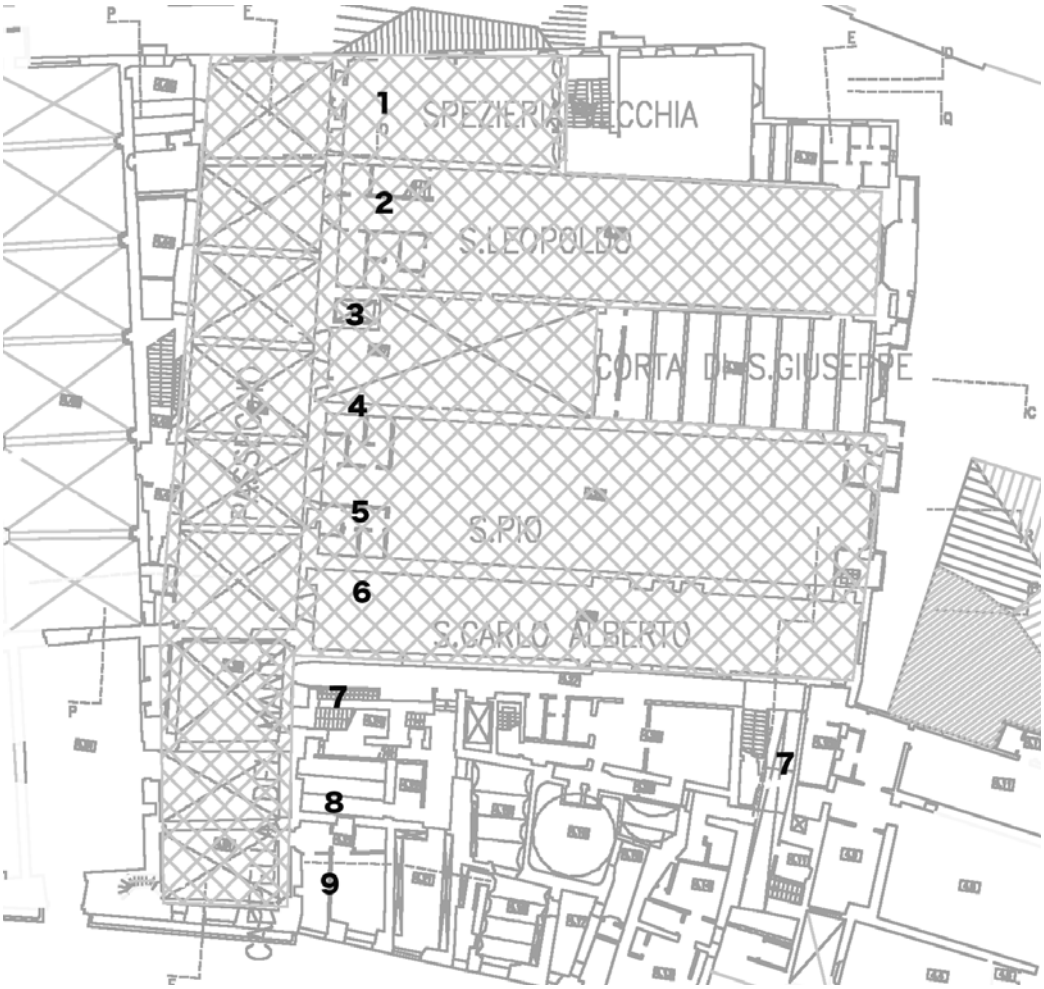


Figura 9: Dominio di calcolo (scala 1:500)

4.2 Scenari di incendio

L'insieme del passeggio, della Cappella del Manto e delle corsie, costituiscono il dominio di calcolo per le simulazioni condotte con il software FDS e, per confronto, con il software CFAST; gli scenari studiati sono i seguenti:

1. incendio all'interno della corsia Spezieria Vecchia con la vetrata del passeggio chiusa;
2. incendio all'interno della corsia San Carlo Alberto con la vetrata del passeggio chiusa;
3. incendio all'interno della corsia Spezieria Vecchia con la vetrata del passeggio aperta;
4. incendio all'interno della corsia San Carlo Alberto con la vetrata del passeggio aperta;

L'insieme degli scenari simulati è stato così articolato al fine di valutare le

differenze nell'andamento dei parametri che caratterizzano gli effetti dell'incendio in funzione della localizzazione dello stesso e soprattutto di verificare i benefici apportati dalla possibile apertura della finestra in caso di incendio.

4.3 Geometria

I domini di calcolo relativi agli scenari studiati sono evidenziati nella Figura 9. Nelle simulazioni condotte con CFAST, il passeggio e la Cappella del Manto sono stati suddivisi in 9 comparti "virtuali", indicati con un numero progressivo da 1 a 9. Questo per il fatto che CFAST mal si adatta a geometrie di tale ampiezza ma anche per tenere conto della presenza degli archi che costituiscono un reale elemento di compartimentazione.

Con il software FDS la geometria in oggetto è stata ricostruita con il maggior grado di fedeltà possibile, considerando che il software consente l'utilizzo di soli parallelepipedi; per questo motivo i soffitti sono piatti e non a volta.

In generale, tutte le aperture verso l'esterno del dominio si sono considerate chiuse, ad eccezione delle due indicate con una freccia nella Figura 10, che corrispondono alla porta monumentale che dal passeggio conduce al pellegrinaio e alla porta che dalla Cappella del Manto conduce al locale 4.51; per gli scenari di incendio che lo prevedono, si è considerata anche l'apertura della grande finestra del passeggio.

Per le dimensioni dei vari comparti e delle relative connessioni si è fatto riferimento alle planimetrie e alle sezioni disponibili; in caso di dati mancanti si sono fatte assunzioni ritenute verosimili.

4.4 Proprietà fisiche dei materiali

Le caratteristiche fisiche dei soffitti e delle pareti che delimitano gli ambienti in esame sono stati considerante equivalenti a quelle dei mattoni di argilla pieni, come riportate nel database fornito con il software CFAST. Tali caratteristiche sono riportate nel dettaglio in Tabella 1.

Tabella 1. Proprietà termofisiche dei materiali

Tipo di materiale	Clay brick
conducibilità [W/mK]	1,5
calore specifico [J/KgK]	960
densità [Kg/m^3]	2645
spessore [m]	0,076
emissività	0,9

4.5 Incendio di progetto

4.5.1 Considerazioni generali

Una delle modalità per simulare lo sviluppo di un incendio con FDS prevede la definizione di un valore del rateo di rilascio termico, definito (anche in funzione del tempo) su una superficie che si destina ad origine dell'incendio. L'altra modalità, che lascia spazio a più ampi margini d'incertezza valutativa, consiste nel definire le caratteristiche termo-fisiche e chimiche del materiale che brucia o che deve essere innescato dall'incendio.

In questo caso, conseguentemente all'impossibilità di determinare con esattezza il carico di incendio si è utilizzata la prima delle due modalità possibili e si è provveduto ad impostare una curva di rilascio termico ritenuta verosimile in considerazione della destinazione d'uso degli ambienti.

Solitamente, negli studi di fire engineering si assumono curve standard composte da:

- una fase iniziale in cui la curva cresce con legge quadratica;
- una fase centrale stazionaria in cui la quantità di massa bruciata è costante nel tempo e quindi la curva assume un valore costante;
- una fase finale corrispondente alla fase di spegnimento in cui la curva assume un andamento decrescente.

Per quanto riguarda la fase iniziale, essa viene simulata mediante una funzione del tipo:

$$HRR = \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2$$

in cui

HRR è il tasso di calore rilasciato durante la fase di crescita dell'incendio, espresso in MW;

t è il tempo in secondi

t_a è una costante dipendente dalla destinazione del compartimento

In funzione della costante t_a, gli incendi negli ambienti civili sono classificati in quattro classi caratterizzate dal tempo necessario per raggiungere la soglia di 1 MW [3]:

- a crescita lenta (slow), adatta per massicci oggetti solidi come tavoli e armadi in legno;
- a crescita media (medium), adatta per combustibili solidi a bassa densità come mobilio imbottito e materassi;
- a crescita veloce (fast), adatta per combustibili a bassa densità in pezzatura sottile come carta, scatole di cartone, tessuti;
- a crescita ultra veloce (ultra fast), adatta per liquidi infiammabili e in genere per combustibili altamente volatili.

Il rilascio di calore nella fase stazionaria dell'incendio dipende dalla quantità di combustibile presente e dalla ventilazione del compartimento. Si possono avere le seguenti due situazioni limite:

- nel primo caso nel locale c'è sufficientemente disponibilità di ossigeno per sostenere la combustione ed il massimo valore della curva HRR dipende dalla quantità di combustibile presente (incendio controllato dal combustibile);
- nel secondo caso la ventilazione del locale è insufficiente ed il massimo valore della curva HRR dipende dalla quantità di ossigeno disponibile (incendio controllato dalla ventilazione).

La terza fase della curva inizia dopo che circa il 70% del carico di incendio totale è stato bruciato. L'andamento di questa fase risulta lineare anche se è solitamente schematizzato con una curva quadratica decrescente speculare alla curva di crescita.

Va osservato che fissare il rateo di rilascio termico per un incendio, equivale a fissare la quantità di combustibile che, nell'unità di tempo, passa in fase gas rendendosi disponibile per la combustione. Noto il calore specifico del combustibile H_C vale infatti la relazione:

$$\dot{m}_f \cdot H_C = HRR$$

Conoscendo il valore del parametro per un combustibile, è possibile stimare il rateo di produzione delle specie chimiche che si formano durante l'incendio e il rateo di consumo dell'Ossigeno presente. Solitamente, l'emissione dei prodotti della combustione, è modellata tramite il parametro Yield Factor che rappresenta il rapporto

$$y_i = \frac{\dot{m}_i}{\dot{m}_f}$$

in cui rappresenta la massa della specie *i* prodotta durante l'incendio e è la massa di combustibile gassoso o la massa gassificata per un combustibile solido. L'ossigeno ha uno yield factor negativo dal momento che viene consumato.

4.5.2 Curva di rilascio termico per il caso in esame

Per quanto riguarda lo studio in esame si è mantenuta la curva documentata in [RAMS&E, 2004] rappresentativa dell'incendio a crescita media (medium), adatta per combustibili solidi a bassa densità e quindi per il tipo di materiale che si prevede possa occupare i locali in esame. Per quanto riguarda la fase stazionaria, si è assunto un valore di calore rilasciato pari a 10 MW corrispondente al massimo previsto dal software CFAST per la curva di crescita media. Il valore di 10 MW viene raggiunto dopo 900 secondi e rimane costante per il resto della simulazione. La scelta di mantenere costante il valore dell'HRR per un tempo superiore ai 20 minuti è motivata dallo scopo di tenere conto, in una certa misura, della possibile propagazione dell'incendio all'interno del dominio di calcolo e per mantenere condizioni severe al fine di verificare lo scenario in condizioni cautelative.

La curva di incendio scelta può essere rappresentativa dell'incendio che si può originare in una fase di normale attività e può quindi essere riferita al primo degli 8 scenari di incendio previsti dalla norma NFPA 914 [NFPA, 2001] per la valutazione della sicurezza di una struttura con metodi prestazionali.

Il valore massimo di 10 MW può essere rappresentato conservativo e corrispondente alla potenza emessa dall'incendio peggiore possibile dal momento che, secondo quanto riportato in [Karlsson B, 1999], un incendio che coinvolga una pila di pallet in legno di altezza pari a 3 metri, sviluppa 7 MW.

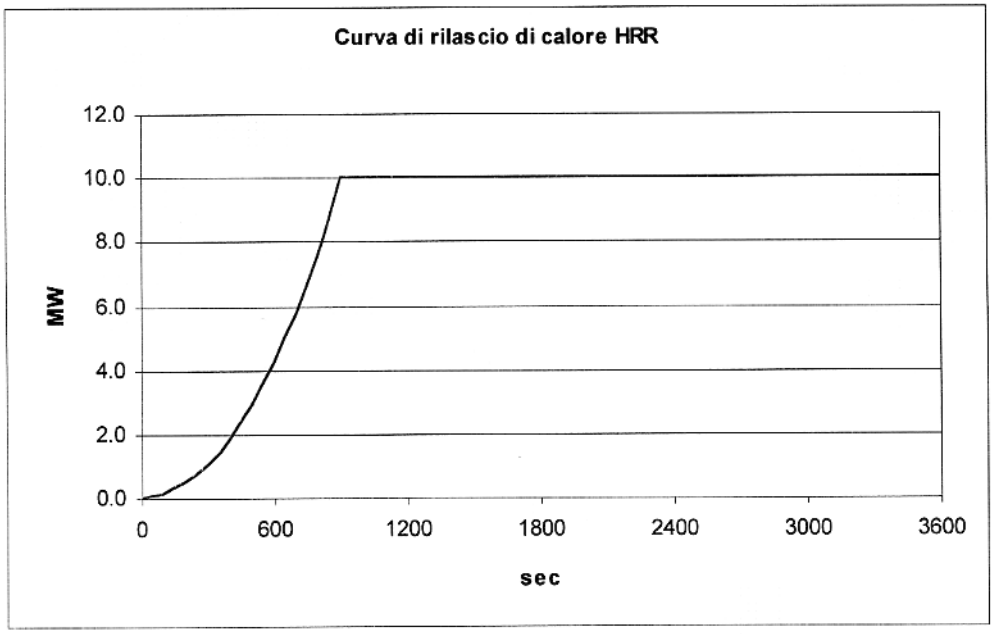


Figura 2: Curva caratteristica dell'incendio di progetto utilizzato

4.5.3 Prodotti della combustione

Come dimostrato in letteratura [XXXRAMS&E, 2004], l'utilizzo delle curve di incendio standard di CFAST, comporta il raggiungimento di concentrazioni di CO nel locale in cui si sviluppa l'incendio, che sono inferiori di un ordine di grandezza rispetto a quelle previste sulla base di prove sperimentali. Dal momento che in CFAST non è immediata la comprensione dei parametri che regolano la produzione di prodotti tossici, il problema della previsione delle concentrazioni di CO, viene affrontato, d'ora in avanti, con FDS. FDS, infatti, consente di impostare i valori del parametro "yield factor" per ognuno dei prodotti tossici di interesse.

Premesso che stimare con precisione lo "yield factor" di una sostanza durante l'incendio non è un compito facile, dal momento che il valore dipende fortemente dal tipo di combustibile e dalle condizioni di combustione, sono reperibili in letteratura valori di riferimento, riportati in Tabella 2.

Tabella 2: Produzione di monossido di carbonio

CO Yields (g/g)		
Sostanza	**Incendio con buona ventilazione**	**Incendi controllati dalla ventilazione**
propano	0,005	0,23
acetilene	0,042	-
etanolo (Alcool Etilico)	0,001	0,22
eptano	0,01	-
polistirene	0,06	-
nylon	0,038	-
poliuretano (flessibile) PU	0,031	-
polimetilmetacrilato	0,01	0,19
legno	0,005	0,14
PVC	0,063	0,4

Fonte: [Karlsson, 1999]

Ai fini del presente studio si è adottato un valore di "yield factor" per il CO pari a 0,14 g/g [Karlsson B, 1999], corrispondente alla combustione del legno in ambienti controllati dalla ventilazione. Tale valore consente di ottenere andamenti delle specie chimiche nel locale in cui si sviluppa l'incendio, congruenti con quanto riportato in letteratura.

4.5.4 Caratteristiche e limiti del modello utilizzato

È noto come, negli studi di fire engineering la scelta dell'incendio di progetto rappresenti sempre una fonte di incertezza nei risultati dal momento che risulta sempre difficile prevedere con esattezza la tipologia e la quantità di materiale combustibile presente in un determinato locale al momento dell'innesco. Questa difficoltà vale a maggior ragione per il presente studio, nell'ambito del quale non è disponibile un inventario meticoloso di quanto presente all'interno di ciascun locale della struttura. I risultati ottenuti andranno quindi valutati alla luce di questa considerazione tendendo comunque presente che la curva di rilascio scelta, che prevede un rateo di emissione nella fase stazionaria pari a 10 MW, essendo rappresentativa di un incendio ben sviluppato, garantisce il carattere conservativo dei risultati.

Un'altra annotazione da fare riguarda l'emissione dei prodotti dell'incendio. Come dimostrato in [RAMS&E, 2004], è noto che utilizzando le curve di incendio standard di CFAST, si ottengono concentrazioni di anidride monossido di carbonio nel locale in cui avviene l'incendio, sottostimate rispetto a quanto riscontrato da curve tipiche ottenute per via sperimentale. Sarà quindi cura di quest'analisi, approfondire il problema attraverso il confronto con i risultati di FDS.

4.6 Sostenibilità degli effetti dell'incendio

4.6.1 Considerazioni generali

Gli effetti che si prendono in considerazione per determinare le condizioni critiche o di insostenibilità degli ambienti sono la quantità di fumo presente, la temperatura e la concentrazione di monossido di carbonio dello strato di fumo. Si discutono brevemente nel seguito le soglie di riferimento.

Per quanto riguarda l'altezza dello strato di fumo si usa normalmente l'ipotesi conservativa secondo la quale una volta sia arrivato all'altezza della testa delle persone (non meno di 1,5 metri dal pavimento) non sia più possibile fuggire [4][3].

Il valore di temperatura al di sopra del quale si ritiene che le operazioni di evacuazione e di soccorso siano fortemente impedite è assunto pari a 65°C per [5]. Altri ricercatori suggeriscono il valore di soglia pari a 80°C riferito alla temperatura dello strato di fumo [4].

Per quanto riguarda il monossido di carbonio si riportano in Tabella 3 alcuni valori di soglia [6].

Tabella 3: Effetti del monossido di carbonio

PPM	Tempo (min)	PPM – Min	Effetti
200	120 –180	24000 – 36000	lieve mal di testa
800	45	36000	lieve mal di testa
3200	30	32000 – 48000	senso di vertigine
6900	1-2	6900 – 13800	possibilità di morte
12800	1	6900 – 1800	senso di vertigine
12800	1-3	12800 – 38400	morte

Le condizioni di insostenibilità all'interno di un ambiente possono essere riferite al raggiungimento di una soglia espressa in ppm_{CO}-min ottenuta moltiplicando il

valore di concentrazione di CO per il tempo di esposizione. Questa soglia è solitamente posta pari a 35000 ppm-min [7] [8].

Un interessante riferimento in questo ambito è rappresentato dalla norma ISO 13344 del 1996 (determination of the lethal toxic potency of fire effluents) che contiene il primo tentativo di trattazione sistematica del pericolo legato alla tossicità dei prodotti della combustione in caso di incendio. In essa si stabilisce che la tossicità di gas narcotici sia valutata in base al modello FED: fractional effective dose definito dalla seguente relazione:

$$FED = \frac{[CO]}{5000} + \frac{[HCN]}{150} + \frac{[HCL]}{3800} + \frac{[HBR]}{3000} + \frac{[NO]}{1000} + \frac{[NO_2]}{200}$$

In cui i termini nelle parentesi quadre rappresentano le concentrazioni espresse in parti per milione dei vari prodotti di combustione ed i denominatori I rispettivi valori di concentrazione in grado di fornire una probabilità di morte del 50% in un tempo di esposizione di 30 minuti (LC50).

Il dipartimento di ingegneria antincendio dell'università di Lund propone il valore dell'indice FED pari a 0,5 come soglia di sostenibilità dei prodotti della combustione [4].

Si evidenzia comunque, come una stima attendibile delle condizioni di sostenibilità all'interno dei locali, debba essere basata su algoritmi di verifica combinata dei tre parametri sopra citati. In [9] si suggerisce ad esempio di considerare insostenibili le condizioni in un locale quando almeno due delle criticità sopra riportate, vengono raggiunte. In [4] si assume che l'insostenibilità insorga nel caso in cui venga oltrepassata la soglia di tossicità dei prodotti della combusione o entrambe le soglie relative all'altezza dello strato di fumo e alla temperatura. La necessità di avere una doppia conferma è particolarmente evidente per le simulazioni condotte con il software CFAST, in cui si osserva un andamento anomalo dell'altezza dell'interfaccia dei fumi in locali scarsamente ventilati lontani da quello in cui avviene l'incendio: in questi locali si ottiene abbastanza rapidamente quasi il 100% di saturazione dei fumi, con temperature quasi invariate rispetto a quella ambiente, aspetto piuttosto inspiegabile anche considerando che i fumi si raffreddano nel loro percorso. L'incongruenza deriva dal fatto che il software, una volta che l'altezza dello strato di fumo oltrepassa verso il basso l'altezza delle porte inizia, con un algoritmo matematico a far girare i fumi nei diversi ambienti. Nel caso in cui questi ultimi non abbiano aperture verso l'esterno o verso altri locali, il programma continua a "mettere senza togliere", provocando a breve innaturali saturazioni.

4.6.2 Soglie di sostenibilità utilizzate per lo studio in esame

In questo studio, seguendo un approccio simile a quello indicato in [4] in accordo con [10] si assumono le seguenti soglie di sostenibilità.

Tabella 4: Soglie di sostenibilità utilizzate per lo studio

altezza dello strato di fumo (z)	z = 1.5 m se T_g > 65°C
temperatura dello strato di fumo (T_g)	T_g = 65°C se z < 1.5 m
tossicità	FED = 0,5

Si osservi che, relativamente al caso in esame in cui l'indagine sui prodotti della combustione è limitata all'esame delle concentrazioni di monossido di carbonio, il valore dell'indice FED pari a 0,5, equivale ad una concentrazione di CO pari a 2500 ppm.

4.7 Riepilogo dati

software	FDS – version 3.1 (09/04/03)	CFAST - Version 3.1.7 (10/01)
geometria reale		
ambienti	1 compartimento, 7 locali	
dimensioni in pianta	44 x 56 metri circa	
superficie	2464 m^2	
altezza minima/massima soffitto	5,5 m / 9,0 m	
modello geometrico virtuale		
discretizzazione del dominio di calcolo	334125 celle cubiche da 0,4 m di lato	14 comparti
aperture	2 porte (2,8 m x 4,0 m – 1,92 m x 3,2 m per un'area complessiva pari a 16,32 m^2) + 1 finestra (grande finestra passeggio) se prevista (4,1 m x 6,7 m)	
incendio di progetto		
curva di rilascio termico (HRR)	curva "medium growth" (1 MW a 300 s) crescita t^2 fino a 900 s (circa 10 MW), poi costante	
combustibile	legno	legno
calore di combustione [KJ/Kg]	18392 KJ/kg	18392 KJ/kg
soot yield [kg/kg]	0,01	equivalente a 0.01
CO yield [kg/kg]	0,14	equivalente a 0.14

proprietà termofisiche di pareti e soffitti		
tipo di materiale	"Clay brick"	
conducibilità [W/mK]	1,5	
calore specifico [J/KgK]	960	
densità [Kg/m^3]	2645	
spessore [m]	0,076	
emissività	0,9	
Simulazione		
durata della simulazione	1200 secondi	3600 secondi
tempi di calcolo orientativi	40-50 ore per simulare l'andamento dell'incendio per un tempo di 1200 secondi	Alcuni minuti per simulare l'andamento dell'incendio per un tempo di 3600 secondi
soglie di sostenibilità		
altezza dello strato di fumo (z)	z = 1.5 m se T_g > 65°C	
temperatura dello strato di fumo (T_g)	T_g = 65°C se z < 1.5 m	
tossicità	FED = 0,5	

5. CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI DAL MODELLO A ZONA (CFAST) E DAL MODELLO FLUIDONIMANICO (FDS)

I risultati dei software FDS e CFAST applicati agli stessi scenari di incendio, sono stati confrontati. Il confronto ha riguardato in particolare il tempo di raggiungimento delle condizioni critiche all'interno del Passeggio, sia con riferimento ai singoli parametri di temperatura, altezza dello strato di fumo e concentrazione di CO, sia con riferimento alla combinazione dei loro effetti, secondo l'algoritmo illustrato in Tabella 4. Conseguentemente, non si sono presi in considerazione gli scenari che prevedono l'apertura della grande finestra del passeggio, per i quali, nelle previsioni di entrambi i software, i limiti di sostenibilità impostati non vengono mai superati.

5.1 Confrontabilità dei modelli relativamente agli scenari di incendio ipotizzati.

Il confronto tra i due software può essere fatto per i risultati frutto di assunzioni comuni nell'ambito dell'impostazione dei parametri di input del calcolo. Per questo motivo è opportuno considerare i seguenti aspetti.

Il dominio di calcolo preso in considerazione dai due software è lo stesso e comprende il passeggio, la Cappella del Manto e le corsie. Nota la difficoltà di CFAST a trattare geometrie ampie, si è optato per una suddivisione fittizia del passeggio e della Cappella del Manto in 9 comparti virtuali.

Per quanto riguarda la produzione di fumo si sono mantenuti i dati di input relativi al legno per entrambi i software, CFAST ed FDS; dal punto di vista dell'andamento della posizione dell'interfaccia di separazione tra strato di fumo e strato (sottostante) imperturbato, quindi i risultati ottenuti con i due strumenti dovrebbero essere confrontabili.

Dal momento che, per i due software si è impostato lo stesso andamento della curva di rilascio termico HRR e identiche proprietà termofisiche dei materiali costituenti pareti e soffitti, anche i valori di temperatura media dello strato di fumo, possono essere confrontati.

Le simulazioni effettuate con FDS hanno dimostrato come, in tutti gli scenari, le condizioni di ventilazione di locali in cui si suppone lo sviluppo dell'incendio, sono incompatibili con la curva di rilascio termico impostata, che prevede una crescita con rateo medio fino a 900 secondi ed una fase di rilascio costante a 10 MW. Le curve costruite dal software dimostrano come dopo circa 800-900 secondi, la concentrazione di ossigeno scenda sotto i livelli che consentono la combustione e conseguentemente la curva di rilascio termico inizia ad assumere un andamento decrescente. D'altro canto, il software CFAST non pare prevedere questa mancanza di comburente, e si mantiene fedele all'andamento della curva HRR impostata. Queste considerazioni conducono ad una conclusione di valenza duplice: da un lato, appare evidente come le differenze nell'approccio alla simulazione dello scenario di incendio siano tali da comportare discrepanze evidenti nei risultati; dall'altro va preso atto del fatto che un confronto dei risultati stessi deve essere limitato al tempo durante il quale i due software seguono la stessa curva di rilascio termico e cioè gli 800-900 secondi iniziali (che rappresentano comunque l'intervallo più interessante ai fini dell'evacuazione).

È opportuno infine ricordare che, sebbene nessuno dei due software possa

essere preso come riferimento assoluto, dal momento che entrambi attuano una modellizzazione della realtà inevitabilmente soggetta ad errore, FDS è uno strumento indubbiamente e nettamente più raffinato rispetto a CFAST. È quindi molto probabile, come indicato dalla letteratura disponibile in materia, che FDS consenta di ottenere simulazioni degli scenari di incendio più vicine alla realtà.

5.2 Risultati

Entrambi i software forniscono tra i risultati i valori dell'andamento del tempo di tutti i parametri che consentono di descrivere con completezza gli effetti dell'incendio. I valori sono forniti per ciascuno dei volumi di controllo relativamente ai quali è stata condotta la simulazione: l'informazione resa disponibile in output da FDS è conseguentemente più ricca in virtù della discretizzazione molto fine del dominio di calcolo (in CFAST i volumi di controllo sono 2 per ogni locale).

Dal punto di vista della rappresentazione grafica dei risultati, FDS si avvale del tool smokeview che consente la visualizzazione (in due e tre dimensioni), dell'andamento dei valori dei parametri caratteristici direttamente sul dominio di calcolo. E' possibile creare dei veri e propri filmati che consentono di apprezzare in modo immediato gli effetti dell'incendio, fermo restando che per una valutazione più accurata è necessario ricorrere agli output testuali che, come per CFAST, possono essere esportati verso un foglio di calcolo.

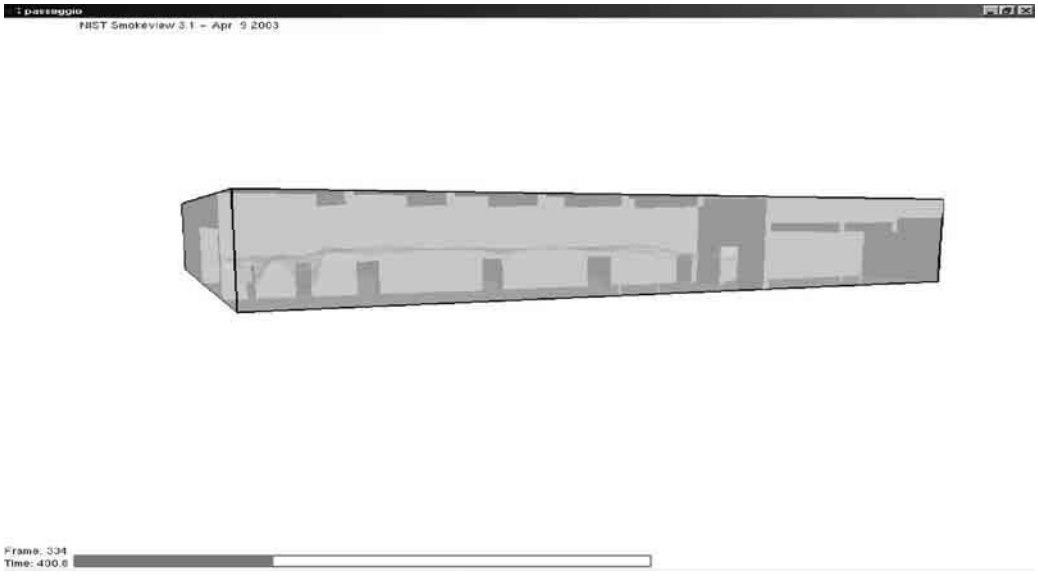


Figura 3: Incendio Speziera Vecchia, finestra chiusa: interfaccia dei fumi – T=400s

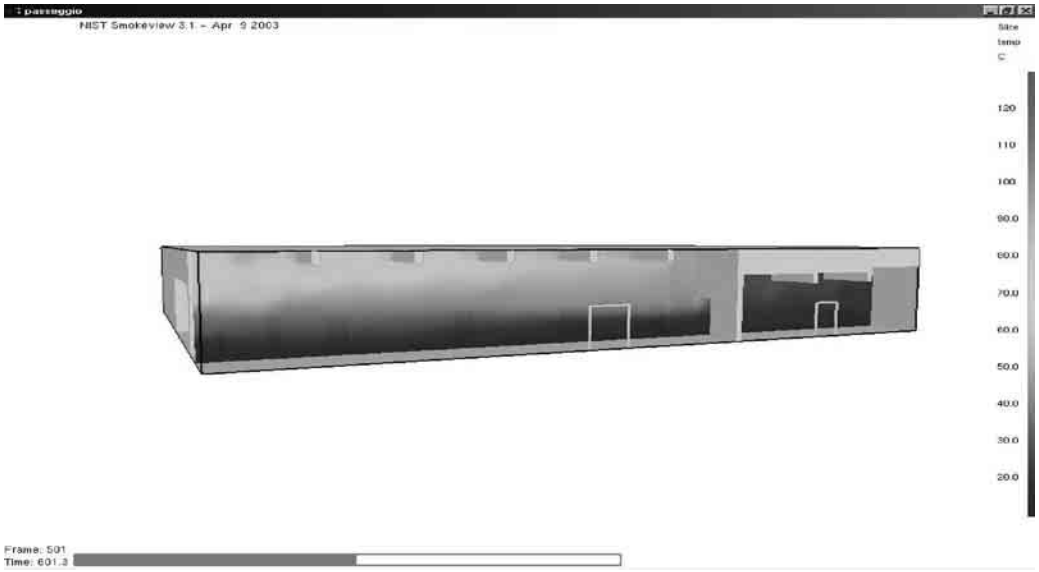
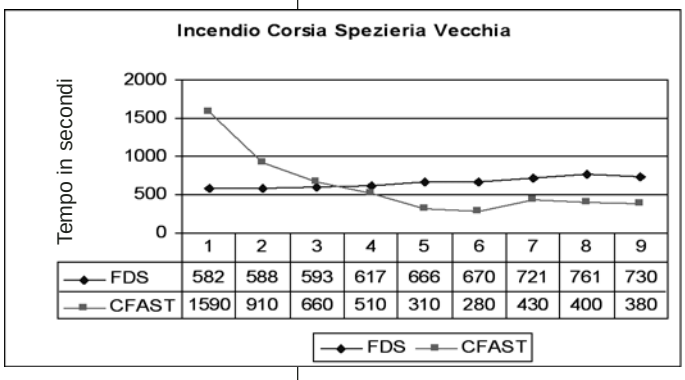


Figura 4: Incendio Speziera Vecchia, finestra chiusa: temperatura – T=600

5.3 **Valori dell'altezza dell'interfaccia dello strato di fumo**

Si riportano in Figura 5 i valori del tempo di raggiungimento delle condizioni di insostenibilità a causa della quantità di fumo presente nelle varie sezioni del passeggio e della Cappella del Manto, come calcolati da CFAST e FDS. La mancanza del dato di CFAST per il punto 6 è dovuta al fatto che, secondo la previsione del software, l'interfaccia dello strato di fumo, non raggiunge la soglia critica di 1,5 metri per tutta la durata della simulazione (3600 secondi).



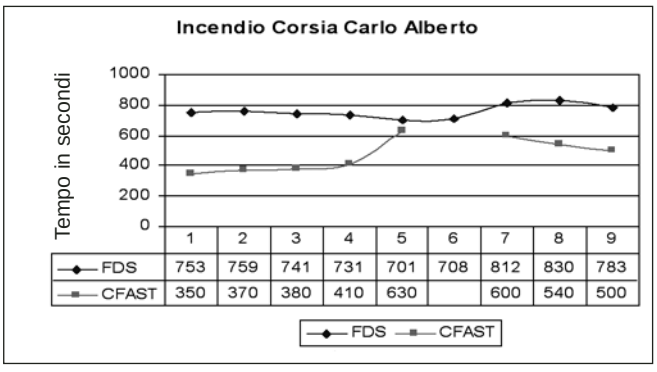
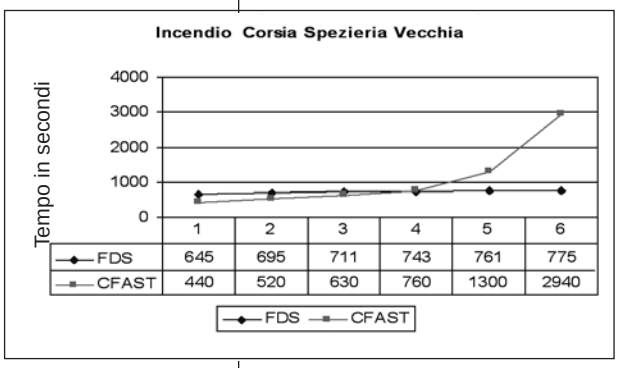


Figura 5: Tempi di raggiungimento delle condizioni critiche per l'altezza dell'interfaccia dello strato di fumo

I grafici evidenziano una notevole discrepanza nei risultati ottenuti dai due software. Si sottolinea in particolare la differenza di andamento delle curve che uniscono i punti rappresentativi dei tempi critici nelle diverse sezioni del passeggio. I risultati di FDS suggeriscono che lo strato di fumo scenda in modo omogeneo all'interno del passeggio e della Cappella del Manto registrando differenze ridotte tra il tempo di raggiungimento delle condizioni critiche di insostenibilità nella zona più prossima e in quella più remota, rispetto al locale in cui si sviluppa l'incendio. Nel caso di CFAST, invece, i tempi sono molto diversi nelle varie zone e, soprattutto, sono elevati in prossimità della corsia in cui si sviluppa l'incendio diminuendo nell'allontanarsi. Questo significa che il software prevede condizioni più gravose nelle zone del passeggio più lontane dall'incendio.

5.4 Valori di temperatura

In modo equivalente a quanto fatto nel paragrafo precedente, si discutono nel seguito i risultati relativi alla temperatura media nello strato di fumo ottenuti dai due software e riportati in Figura 6.



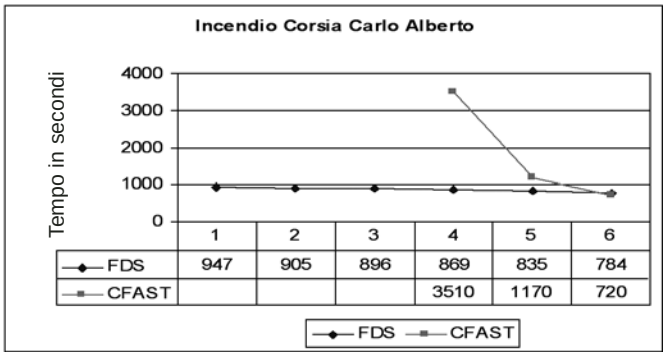


Figura 6 – Tempi di raggiungimento delle condizioni critiche per la temperatura media dello strato di fumo

In questo caso, i software sono concordi nel prevedere condizioni di temperatura via via meno gravose allontanandosi dalla corsia in cui avviene l'incendio, secondo l'andamento più plausibile. Accanto a questo dato, si ribadisce comunque una significativa differenza nei risultati ottenuti, soprattutto per il caso che prevede l'incendio

nella corsia San Carlo Alberto, per il quale il valore critico di 65°C della temperatura media dello strato di fumo non viene mai raggiunto nella sezioni 1, 2 e 3.

5.5 Valori di concentrazione di CO

Gli andamenti delle concentrazioni di CO ottenute dai due modelli sono riportati in Figura 7. I grafici dimostrano come, per quanto sussista una certa discrepanza nei risultati ottenuti, gli andamenti previsti dai due software siano in buon accordo, considerando il diverso grado di approssimazione dei due strumenti.

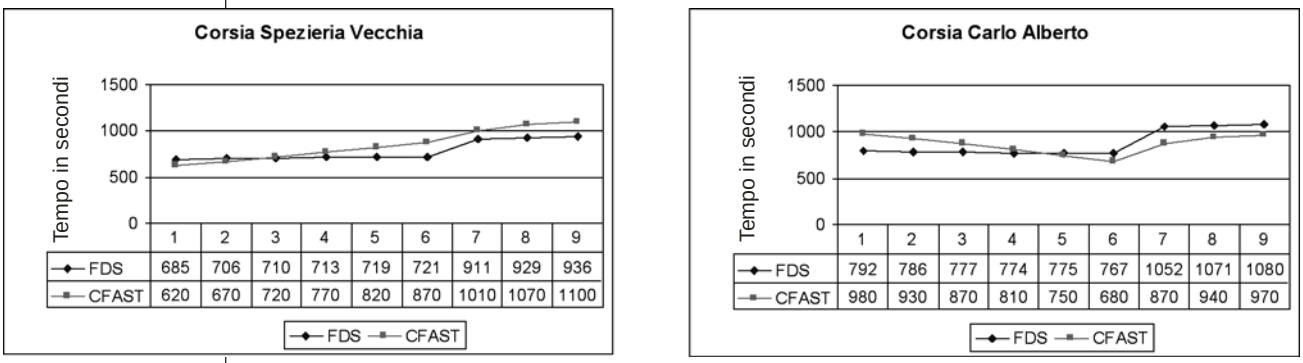


Figura 7 - Tempi di raggiungimento delle condizioni critiche per la concentrazione di CO nello strato di fumo

5.6 Tempi di raggiungimento delle condizioni di criticità

La figura seguente illustra i valori dei tempi in cui, nelle previsioni dei due modelli, vengono raggiunte le condizioni di insostenibilità nelle varie sezioni del passeggio, dichiarate secondo l'algoritmo di Tabella 4. Va innanzitutto osservato (dall'esame dei grafici nelle figure precedenti) come tali valori siano molto condizionati dai tempi in cui la condizione critica viene raggiunta per il parametro CO. Di conseguenza rimane sostanzialmente valido il commento espresso per la Figura 6: pur in presenza di una certa discrepanza nei risultati prodotti dai due software, gli andamenti sono in buon accordo, considerate le diversità dei due software. Ferma restando l'impossibilità di fare considerazioni univoche sulla validità dei risultati in assenza di un raffronto sperimentale, si osserva comunque, come l'andamento tracciato da FDS risulti più verosimile nella

gradualità dell'aumento dei tempi corrispondenti alle condizioni di criticità nell'allontanarsi dal locale in cui si sviluppa l'incendio. L'andamento più ripido prodotto da CFAST è dovuto al fatto che le varie sezioni del passeggio sono state considerate come locali separati l'uno dall'altro per esigenze legate alle caratteristiche del software (cfr.2.3).

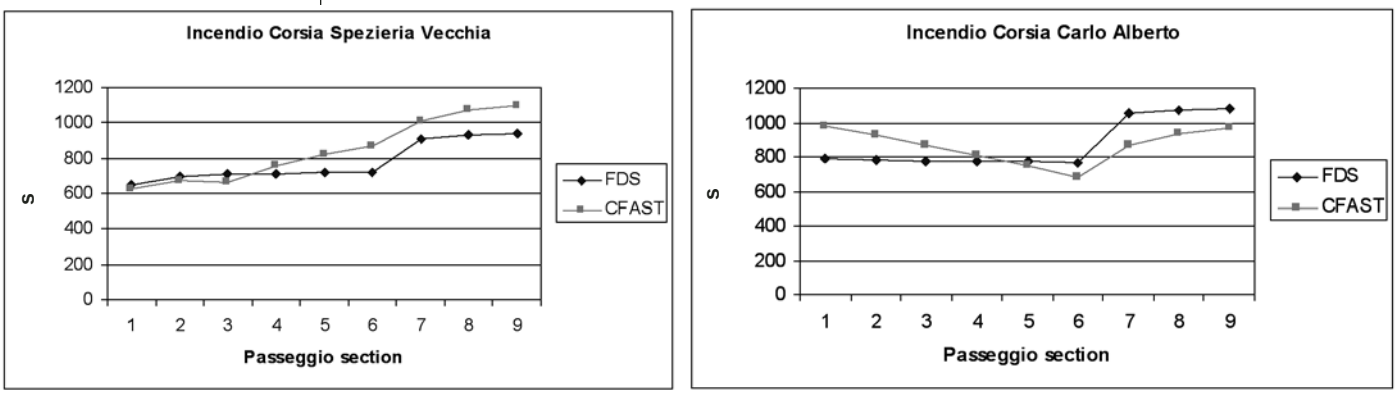


Figura 8: Tempi di raggiungimento delle condizioni di criticità

6. UTILIZZO DEI RISULTATI DEI MODELLI DI SIMULAZIONE DELL'INCENDIO

I modelli di simulazione degli incendi negli ambienti confinati, sono uno strumento di grande utilità nella progettazione antincendio. Il loro utilizzo è particolarmente e fortemente indicato per garantire la sicurezza di quelle strutture che difficilmente possono essere oggetto di un approccio legislativo di tipo prescrittivo, in virtù della loro spiccata singolarità. Appartengono a questa categoria gli edifici di interesse storico artistico per i quali la necessità di operare minime alterazioni nella struttura degli edifici preservandone l'originalità può rendere impossibile ottemperare completamente alle norme prescrittive. In questo senso i modelli di simulazione degli incendi possono fornire un valido contributo per dimostrare che le condizioni di sicurezza sono comunque assicurate.

L'attività da cui è tratto il caso studio illustrato nella presente memoria, è stata proprio incentrata sulla volontà di procedere ad una valutazione degli effetti di un incendio all'interno del complesso monumentale di Santa Maria della Scala a Siena. Con riferimento al caso qui trattato, ad esempio, si sono tratte le seguenti conclusioni:

- i risultati delle simulazioni condotte da FDS e CFAST come nel caso degli incendi simulati, sono disponibili almeno 10 minuti di sostenibilità all'interno del passeggio. Lo scenario più gravoso è quello che prevede l'incendio all'interno delle corsia Spezieria Vecchia anche se sarebbe stato lecito supporre il contrario: dato che la localizzazione

dell'incendio nel secondo caso è più pericolosa essendo in corrispondenza del centro del passeggio ed intersecando la via di fuga. Ciononostante, a causa delle dimensioni delle due corsie e delle aperture con le quali esse comunicano con il passeggio, in caso di incendio nella Spezieria Vecchia le condizioni critiche siano raggiunte in anticipo in tutte le sezioni del passeggio;

- nel caso in cui si consideri aperta la grande finestra del passeggio, le previsioni dei due software mostrano come non si instaurino condizioni insostenibili all'interno del passeggio per almeno 1200 secondi (durata della simulazione con FDS). In questo caso, si osserva ancora che gli effetti dell'incendio al di fuori degli ambienti presi in considerazione ed in particolare nel pellegrinaio, sarebbero di scarso rilievo.

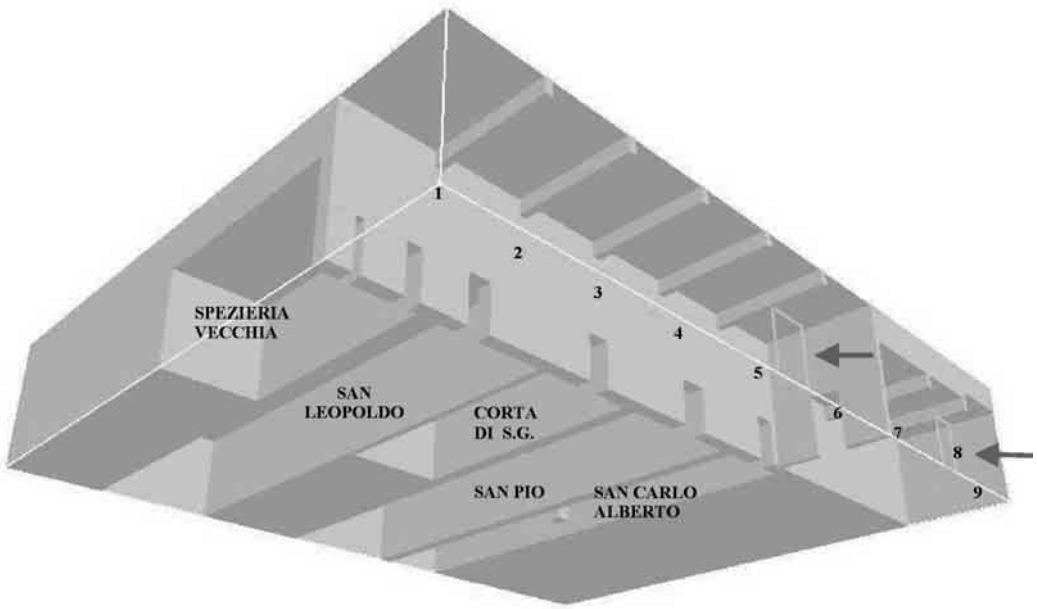


Figura 10: Rappresentazione del dominio di calcolo con FDS

7. CONCLUSIONI

A seguito della crescente richiesta di efficienza dei sistemi produttivi e di allocazione delle risorse destinate alla sicurezza, in quasi tutte le nazioni industrializzate è stato avviato da alcuni anni il tentativo di affiancare, al tradizionale sistema della normazione di tipo prescrittivo, un sistema di valutazione della sicurezza di tipo prestazionale cioè in grado di dimostrare il raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza sulla base del comportamento del sistema in caso di incendio. Questa necessità, è sentita più frequentemente nei riguardi degli edifici caratterizzati da forte singolarità, come quelli di interesse storico artistico, o dei grandi progetti, in cui è più probabile che si manifesti l'impossibilità di ottemperare completamente alle norme prescrittive. Malgrado questo orientamento generale, sussistono ancora delle difficoltà evidenti nell'applicazione diffusa dei metodi prestazionali, dovuti principalmente alle carenze nella normativa specifica (soprattutto in Italia e in Europa) e alla necessità di approfondire la definizione della metodologia che porta al riconoscimento della congruità del progetto antincendio. Ferma restando la necessità di ottemperare scrupolosamente a tutti i passi della procedura prestazionale, è innegabile come un punto cruciale della stessa sia la scelta e la modellazione degli scenari di incendio al fine di verificare la capacità di soddisfare i requisiti di sicurezza fissati, da parte del progetto proposto.

Il presente lavoro ha inteso approfondire il problema della simulazione dell'incendio attraverso l'applicazione di due tra i modelli di calcolo più diffusi, ad uno degli ambienti del complesso monumentale di Santa Maria della Scala in Siena. I software utilizzati sono il modello a di campo FDS ed il modello a zone CFAST, entrambi sviluppati dall'ente statunitense NIST.

In virtù delle sue caratteristiche, FDS si è rivelato uno strumento adatto per simulare gli scenari di incendio ipotizzati. La fase di inserimento dei dati di input è sufficientemente chiara da consentire una trattazione accurata del caso in esame, anche se alcuni dati non sono di facile determinazione dal momento che richiedono una conoscenza dettagliata della quantità e tipo del materiale combustibile presente e delle caratteristiche fisiche dei materiali di rivestimento. FDS offre una previsione molto accurata degli effetti dell'incendio, fornendo una grande quantità di informazioni. A fronte di questi vantaggi, l'utilizzo del software è senza dubbio laborioso, sia nella fase di input, in cui occorre fornire tutte le informazioni attraverso un file di testo, sia nella fase di calcolo che richiede tempi piuttosto lunghi (40-50 ore per ognuno degli scenari qui presentati), sia nella fase di acquisizione e trattamento dei dati di output.

D'altro canto CFAST, a fronte di tempi di calcolo molto contenuti, attua una semplificazione molto più spinta del fenomeno e, su una geometria complessa come

quella del caso in esame, produce risultati che vanno valutati con grande attenzione da un utente esperto prima di essere utilizzati. Dal punto di vista dell'inserimento dei dati di input non vi sono sostanziali differenze nella facilità di utilizzo rispetto ad FDS. Il tipo di output prodotto è invece decisamente più povero per qualità e quantità di informazione disponibile.

Gli studi condotti hanno dimostrato come i due software producano risultati che in alcuni casi sono notevolmente differenti e di difficile confronto, soprattutto se questo si focalizza sui singoli parametri che caratterizzano gli effetti dell'incendio (temperatura, quantità e tipologia dei prodotti della combustione, etc.). Considerate le caratteristiche e i limiti di ciascun software e valutata la verosimiglianza delle rispettive previsioni, una prima conclusione concerne il fatto che il software CFAST si adatta con difficoltà alle complesse geometrie che caratterizzano l'edificio che ha offerto il caso studio, producendo risultati che vanno valutati con atteggiamento critico ed esperto prima di poter essere utilizzati a supporto della progettazione. D'altro canto è indubbio che il grado di incertezza che caratterizza i dati di input dell'analisi, rischia di vanificare l'ingente investimento profuso in una modellazione dettagliata con FDS. Va inoltre aggiunto che il trattamento del problema della sicurezza antincendio in una grande struttura comporta la simulazione di un grande numero di scenari su domini molto estesi che richiedono considerevoli tempi di calcolo.

Spetta quindi all'analista scegliere di volta in volta lo strumento più adatto, sulla base della conoscenza accurata delle caratteristiche dei modelli, oltre che degli aspetti fisici e termodinamici legati allo sviluppo di un incendio, indispensabili per valutare le verosimiglianza dei risultati. D'altro canto è di fondamentale importanza sottolineare che i modelli forniscono una serie di informazioni indubbiamente utili per la progettazione; dal momento che, però, essi sono inevitabilmente affetti da errore, se una struttura è progettata in accordo con risultati da essi prodotti, il progetto stesso sarà affetto da un errore. Una sottostima della gravità delle conseguenze dell'incendio può portare a soluzioni progettuali che non garantiscono la sicurezza delle persone mentre risultati troppo conservativi possono portare ad una spesa inutilmente onerosa. Per questo motivo, è importante poter valutare correttamente l'incertezza associata ai risultati. D'altro canto la necessità di svolgere analisi di sensitività sui dati di input e di incertezza sul modello utilizzato, che possono essere tradotti in fattori correttivi dei risultati ottenuti, è palese nell'ambito del processo di progettazione con metodi prestazionali. Questa esigenza sta aprendo la strada alla possibilità di mettere in pratica, accanto al-

l'approccio puramente deterministico descritto in questa memoria, un approccio probabilistico per il trattamento dei dati di input e, di conseguenza, per la rappresentazione dei risultati [11].

Gabriele Ballocco
(Politecnico di Torino, dipartimento di energetica)

Andrea Carpignano
(Politecnico di Torino, dipartimento di energetica)

Luca Nassi
(Corpo nazionale dei vigili del fuoco, direttore vice dirigente comando provinciale di Siena)

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato finanziato dal comune di Siena nell'ambito dell'opera di restauro del complesso di Santa Maria della Scala, ed è stato realizzato nell'ambito di una collaborazione tra comune di Siena, lo studio Canali di Parma che è incaricata del restauro, il comando dei vigili del fuoco di Siena, il Politecnico di Torino e RAMS&E SRL di Torino che ha sviluppato l'attività di simulazione ed analisi.

Gli autori desiderano ringraziare Tatiana Campioni del comune di Siena e Francesco Canali dello studio Canali per il supporto e i suggerimenti ricevuti nel corso dello studio.

8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] Lundin J., *Uncertainty in smoke transport models*, Report 3086, Lund University, Department of Fire Safety Engineering, Lund (Norway), 1997.

[2] Reneke, P. A.; Peatross, M. J.; Jones, W. W.; Beyler, C. L.; Richards, R., *Comparison of CFAST Predictions to USCG Real-Scale Fire Tests*, Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 11, No. 1, 43-68, , 2001.

[3] Marsella S., Vigne G, *L'approccio ingegneristico alla protezione dagli incendi*, Antincendio, Novembre 1999, EPC, Roma, 1999.

[4] Frantzich H., *Fire Safety Risk Analysis of a Hotel*, Report 3091, Lund University, Department of Fire Safety Engineering, Lund (Norway), 1997.

[5] R.W. Bukowski, *Hazard I - Fire Hazard Assessment Method*, Nist handbook 146, NIST, Gaithesburg (USA), 1989.

[6] Claudy W.D., *Respiratory Hazard of the Fire Services*, National Fire Protection Association, Boston, 1957.

[7] Beacham B.J., *Integrating human behaviour and response issues into fire safety management of facilities*, Facilities, Vol. 17, Number 9/10, ISSN 0263-2772, MCB Press, 1999.

[8] Piccinini N., Giachino G.M., *Tossicità dei prodotti di combustione*, Atti del 4° Seminario rischio e ambiente, 28-29 marzo 2000, Torino, 2000.

[9] Maccagno M., *Analisi dei rischi nella progettazione antincendio. L'evacuazione nelle strutture assistenziali di ricovero*., Tesi di Dottorato, Politecnico di Torino, Torino, 2002 .

[10] Purser D.A., , SFPE Handbook of Fire Protection Engineering , 2nd Edition, National Fire Protection Agency, Quincy (MA - USA), 1995.