

Auditorium in una struttura tutelata: la deroga con l'uso della **FSE**

- Luca del Vecchio
- Emanuele Nicolini
- Paolo Persico
- Tiziano Zuccaro

L'abstract

Il D.M. 9 maggio 2007 ha introdotto per la prima volta in Italia i metodi propri della Fire Safety Engineering (FSE). L'art. 2 del decreto identifica gli "edifici di particolare rilevanza architettonica e/o costruttiva, ivi compresi quelli pregevoli per arte o storia o ubicati in ambiti urbanistici di particolare specificità" come uno dei principali campi di applicazione della norma.

Essi rappresentano infatti uno dei più chiari esempi di possibilità/necessità di uscire dalla logica del metodo prescrittivo e di far uso del metodo prestazionale di gran lunga più flessibile.

In Italia praticamente ogni Comune, più o meno grande, possiede uno o più edifici di elevato valore storico ed architettonico all'interno dei quali si svolgono le attività che possono ricadere sotto il controllo dei VV.F. Un caso esemplificativo è quello del Comune di Tolentino e dell'Auditorium San Giacomo oggetto del presente articolo, che il Comune ha recentemente deciso di riqualificare e recuperare adibendo la struttura ad auditorium e sala convegni.

Descrizione della struttura.

Applicabilità della norma tecnica

Una volta definite le attività soggette a controllo, si è verificato quale norma tecnica di prevenzione incendi debba essere applicata. Tale norma è stata individuata nel D.M. 19 agosto 1996: "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo".

La struttura occupa una superficie totale in pianta di circa 700 m² che comprende la sala principale adibita ad auditorium/sala convegni di 480 m², un foyer - guardaroba e alcuni locali di passaggio.

La sala ha una pianta di forma rettangolare costituita dalla navata principale della ex Chiesa della Carità e da una navata secon-



Scorcio della città di Tolentino (MC) e a lato la Chiesa di San Giacomo. Dal 1970 l'edificio non è più aperto al culto. I principali lavori sono stati finalizzati alla sistemazione degli ambienti interni adibiti attualmente ad auditorium

daria adiacente, separata da un colonnato in muratura.

La copertura della sala è sorretta da una trave realizzata con struttura in legno appoggiata direttamente alla muratura perimetrale dell'edificio.

Essa non è direttamente visibile dall'auditorium poiché è separata da un controsoffitto a cassettoni in legno del XVI sec. con pareti di

spessore pari a circa 7-8 cm, sorretto da un reticolo di travi in legno. Il controsoffitto è impreziosito da una statua dorata di S. Giacomo Apostolo.

L'Auditorium è ricavato all'interno della navata principale.

Per limitare l'impatto degli arredi il progetto prevede l'utilizzo di posti a sedere di tipo non fisso; inoltre per sfruttare al massimo gli

Le attività che si svolgono all'interno dell'edificio

ATTIVITÀ 72.1.C - Edifici sottoposti a tutela ai sensi del D.Lgs. 22/1/2004, n. 42, aperti al pubblico, destinati a contenere biblioteche ed archivi, musei, gallerie, esposizioni e mostre, nonché qualsiasi altra attività contenuta nel presente Allegato.

ATTIVITÀ 65.1.B - Locali di spettacolo e di trattenimento in genere, impianti e centri sportivi, palestre, sia a carattere pubblico che privato, con capienza superiore a 100 persone, ovvero di superficie lorda in pianta al chiuso superiore a 200 m².



Copertura della sala sorretta da una travatura realizzata con struttura in legno appoggiata direttamente alla muratura perimetrale dell'edificio

spazi disponibili la sistemazione dei posti prevede l'impiego di file da 12 posti cadauna. Per l'esodo dall'edificio sono presenti tre uscite di sicurezza di larghezza pari a 0,90 m. Tutte le uscite sono caratterizzate dal fatto che le porte esterne sono degli antichi portoni in legno con apertura in senso oppo-

sto a quello dell'esodo. Gli elementi che caratterizzano in maniera specifica la struttura dal punto di vista architettonico e di impiego sono quindi:

- la struttura portante della copertura in travi di legno
- il controsoffitto a cassettoni del XVI secolo
- la distribuzione dei posti a sedere in rapporto agli spazi interni della sala
- le porte esterne delle uscite di emergenza con apertura in senso contrario all'esodo.

Dal punto di vista della prevenzione incendi essi costituiscono anche gli elementi di non conformità alle prescrizioni del D.M. 19 agosto 1996, per i quali è necessario prevedere l'impiego dell'istituto della deroga previsto dall'art. 7 del D.P.R. 151/2011.

La deroga

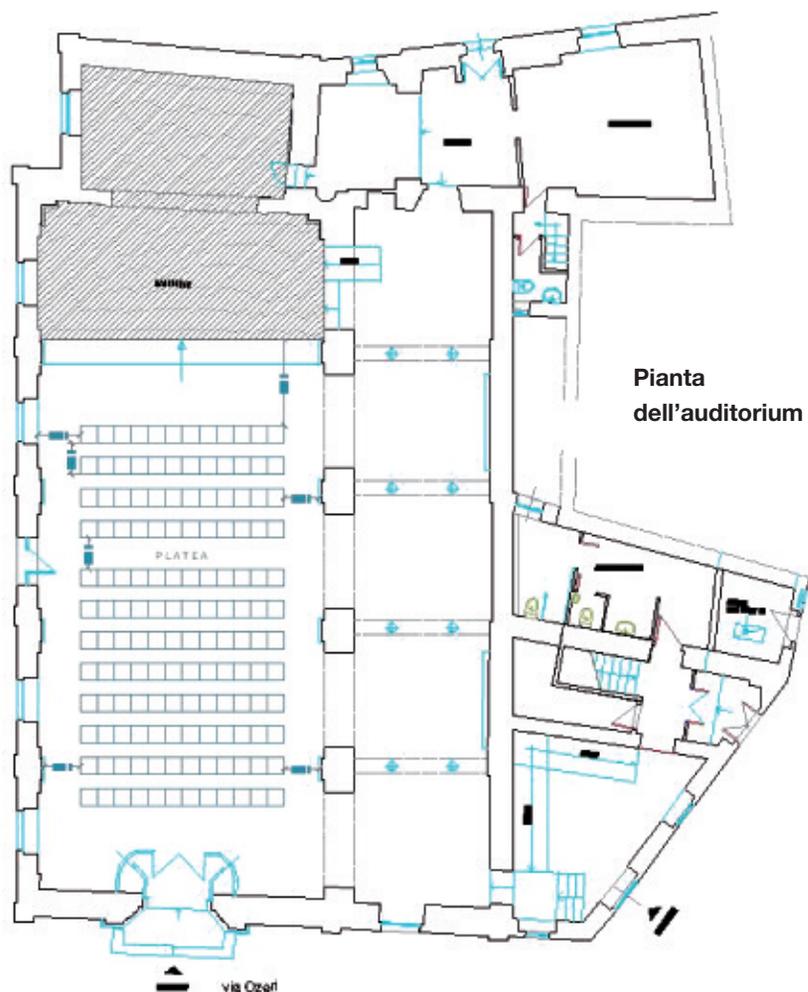
La deroga è stata pertanto strutturata come prescritto dall'art. 6 del D.M. 7 agosto 2012: "Disposizioni relative alle modalità di presentazione delle istanze concernenti i procedimenti di prevenzione incendi e alla documentazione da allegare, ai sensi dell'articolo 2, comma 7, del decreto del Presidente della Repubblica 1° agosto 2011, n. 151". I punti specifici della regola tecnica di prevenzio-

Ing. Luca del Vecchio - Tecnico ISAQ Studio s.r.l. specializzato nella modellazione di incendi con software; applicazione dei concetti di ingegneria della sicurezza antincendio, applicazioni normative ATEX, progettazione impianti antincendio e pratiche per la richiesta del Certificato di Prevenzione Incendi.

Geom. Emanuele Nicolini - Tecnico ISAQ Studio s.r.l. specializzato nell'analisi del rischio di incendio e supporto alla redazione di pratiche per CPI, anche con l'applicazione delle metodologie della Fire Safety Engineering, valutazione rischio incendio ed esplosione (ATEX).
Docente qualificato presso: ENI Corporate University; AIAS Academy Milano; INFORMA Roma.

Ing. Paolo Persico - Tecnico ISAQ Studio s.r.l. specializzato nella modellazione di incendi con Software; applicazioni dei concetti dell'ingegneria della sicurezza antincendio, applicazioni normative ATEX, grandi rischi e progettazione impianti antincendio.
Docente qualificato presso: ENI Corporate University; AIAS Academy Milano; INFORMA Roma.

Ing. Tiziano Zuccaro - Rappresentante italiano per AIAS nella CFPA Europe, Presidente vicario Associazione Professionale AIAS Prevenzione Incendi e amministratore ISAQ Studio S.r.l..
Opera nel campo della prevenzione incendi da oltre 30 anni ed in particolare da oltre 15 anni nell'approccio prestazionale alla prevenzione incendi.



ne incendi per i quali si è richiesta la deroga e le motivazioni a supporto della richiesta sono i seguenti:

Resistenza al fuoco

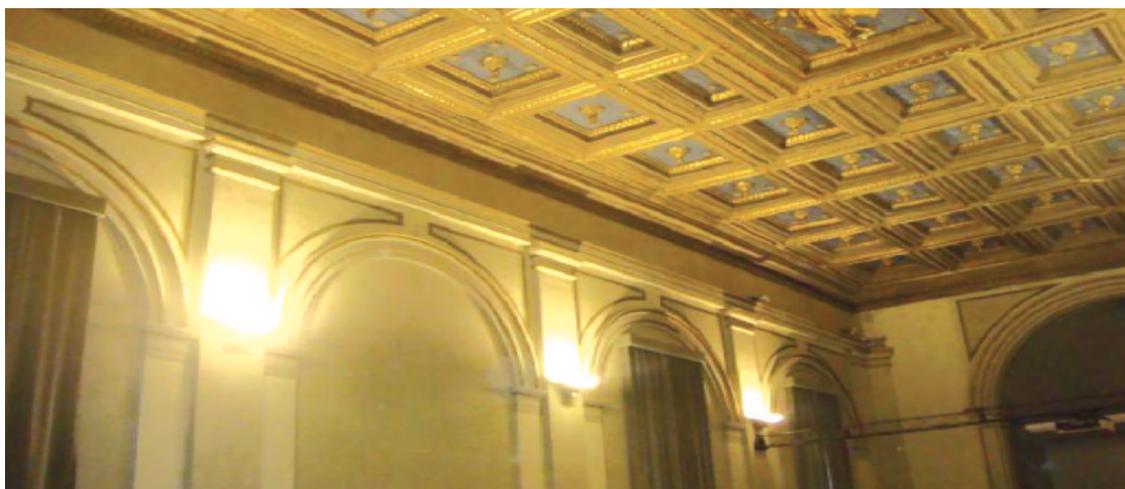
- P.to 2.3.1: le strutture portanti devono possedere caratteristiche di resistenza al fuoco, rispettivamente R e REI, non inferiori a 60 minuti per edifici con altezza inferiore a 12 m.

La struttura portante della copertura dell'Auditorium è realizzata in legno e non possiede caratteristiche di resistenza al fuoco conformi. L'adeguamento a tale prescrizione comporterebbe interventi di protezione passiva quali: verniciatura con

materiale intumescente o controsoffittatura con pannelli REI. Entrambe le soluzioni non sono realizzabili in quanto la capriata è separata dalla sala dell'auditorium dal controsoffitto a cassettoni del XVI sec. che non può essere rimosso né trattato perché bene storico artistico sottoposto a tutela da parte della Soprintendenza ai Beni Architettonici.

Reazione al fuoco

- P.to 2.3.2: reazione al fuoco dei materiali. I cassettoni in legno che costituiscono il controsoffitto non possiedono la reazione al fuoco richiesta dalla normativa (classe 1 o Euroclasse equivalente). Anche in



Copertura della sala sorretta da una travatura realizzata con struttura in legno appoggiata direttamente alla muratura perimetrale dell'edificio. Essa non è direttamente visibile dall'auditorium poiché è separata da un controsoffitto a cassettoni in legno del XVI sec. con pareti di spessore pari a circa 7-8 cm, sorretto da un reticolo di travi in legno. Il controsoffitto è impreziosito da una statua dorata di S. Giacomo Apostolo

questo caso per l'adeguamento alla prescrizione sarebbe necessario intervenire con trattamenti ignifughi, cosa impossibile da farsi dato il valore artistico e storico del bene.

Posti a sedere

- P.to 3.2 comma 4: Nei locali non provvisti di posti a sedere fissi, è consentito l'impiego temporaneo di sedie purché collegate rigidamente tra loro in file. Ciascuna fila può contenere al massimo 10 sedie in gruppi di 10 file. Al fine di utilizzare in modo adeguato tutto lo spazio disponibile per permettere una più completa fruizione della struttura è stato necessario inserire, contrariamente a quanto previsto dalla norma tecnica, file da 12 posti a sedere anziché 10.

Uscite di emergenza

- P.to 4.3.2 comma 3: le uscite devono essere dotate di porte apribili nel verso dell'esodo con un sistema a semplice spinta. Le porte delle uscite di emergenza che conducono all'esterno dell'edificio hanno apertura contro esodo. Non risulta tuttavia possibile un intervento per adeguarle

in quanto anch'esse sono soggette a tutela ai sensi del D. Lgs. 42/2004.

Misure

P.to 5.3 comma 3: Il numero di uscite dalla sala e quelle che immettono sull'esterno non possono essere in ogni caso inferiori a tre, di larghezza non inferiore a 1,2 m ciascuna. Data la presenza della pedana che funge anche da palco, il decreto richiede che la larghezza delle uscite di sicurezza sia pari ad almeno 1,20m. Le porte esterne hanno invece larghezza pari a 0,90 m. Anche in questo caso l'intervento di adeguamento non risulta possibile in quanto la struttura è soggette a tutela ai sensi del D. Lgs. 42/2004.

Il progetto di Fire Safety Engineering

La strategia antincendio adottata per definire il progetto ha tenuto in considerazione i seguenti aspetti:

- I vincoli progettuali derivanti da previsioni normative e da esigenze peculiari dell'attività: essi derivano dal fatto che la struttura è soggetta a tutela ai sensi de Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42

- I pericoli di incendio connessi alla destinazione d'uso prevista nell'edificio
- L'analisi delle condizioni ambientali per l'individuazione dei dati necessari per la valutazione degli effetti che si potrebbero produrre
- L'analisi delle caratteristiche degli occupanti in relazione alla tipologia dell'edificio e alla destinazione d'uso prevista: all'interno dell'edificio possono essere presenti, anche se in maniera non continuativa, varie tipologie di persone: adulti, anziani, bambini, famiglie, ecc. Tutte comunque rientrano nella più ampia categoria di persone caratterizzate dal seguente profilo: persone sveglie (cioè assenza di posti letto nell'attività) con ridotta familiarità con l'edificio.

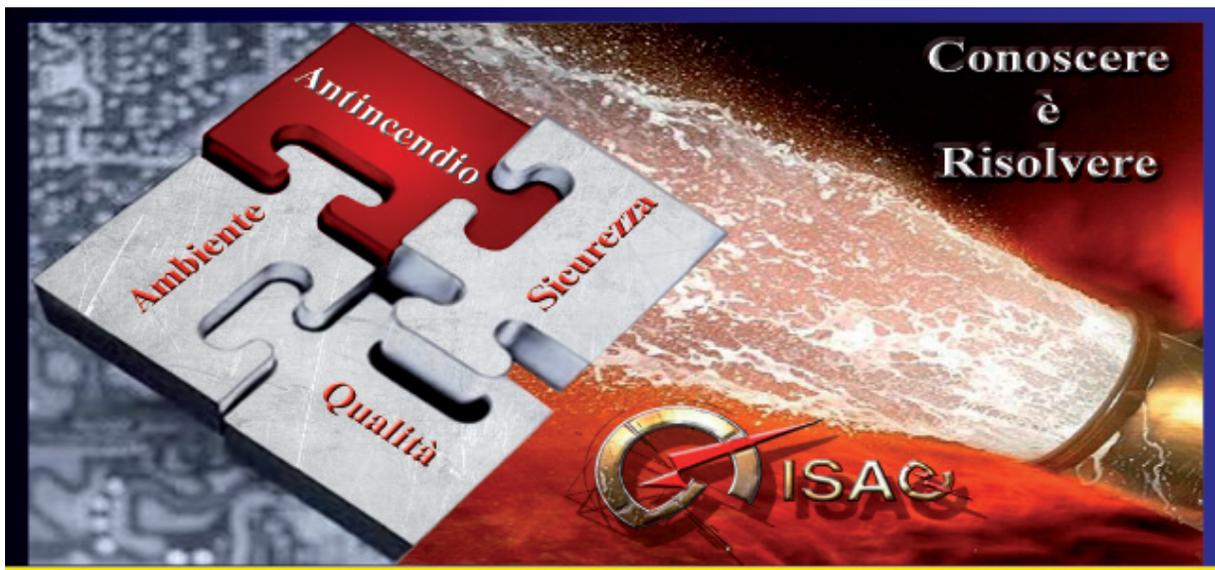
In base a questi aspetti e a quanto previsto dal D.M. 9/5/2007 si è quindi provveduto a

individuare in primo luogo gli obiettivi di sicurezza da raggiungere, per poi quantificare questi obiettivi di sicurezza in livelli di prestazione da soddisfare.

Gli obiettivi di sicurezza da raggiungere

Per dimostrare che le misure compensative riescono a produrre una sicurezza almeno equivalente a quella garantita dall'applicazione delle prescrizioni della norma di prevenzione incendi si è preso a riferimento il Documento Interpretativo n. 2 della Dir. 89/106CE: "Sicurezza in caso di incendio". Tale documento identifica cinque obiettivi di sicurezza, che sono:

- garantire la stabilità delle strutture portanti per un periodo di tempo determinato



Conoscere è Risolvere

Hai la percezione dei tuoi problemi?

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

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

Italian representative for AIAS
CFPAEUROPE

- limitare la produzione e la propagazione di un incendio all'interno dell'attività
- limitare la propagazione di un incendio ad attività contigue
- garantire la possibilità che gli occupanti lascino l'attività autonomamente o che gli stessi siano soccorsi in altro modo
- garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

Nel caso specifico dell'Auditorium, gli obiettivi di sicurezza da raggiungere risultano i seguenti:

- la resistenza al fuoco della struttura capriata deve essere garantita per un periodo di tempo determinato: secondo la regola tecnica di prevenzione incendi 60 minuti
- gli occupanti devono essere in grado di abbandonare l'opera indenni
- le squadre di soccorso esterne devono poter operare in sicurezza.

I livelli di prestazione

I livelli di prestazione da soddisfare per i diversi obiettivi di sicurezza sono i seguenti:

- per garantire la resistenza al fuoco della travatura, e quindi anche la sicurezza delle squadre di soccorso, il livello di prestazione che è stato definito prevede che la temperatura che si sviluppa all'interno dei locali a seguito dell'incendio naturale non deve raggiungere valori tali da costituire possibilità di innesco e combustione autosostenuta del legno, cioè del materiale con cui sono realizzati sia il controsoffitto, sia la travatura del tetto. Se infatti il legno non inizia a bruciare con fiamma auto-

ma, non si vengono nemmeno a creare le condizioni per il deterioramento delle sue caratteristiche di resistenza al fuoco.

Con questa idea di base sono state sviluppate alcune considerazioni.

La prima è relativa alla copertura: l'elemento più vulnerabile in caso di incendio non è tanto la travatura, quanto il controsoffitto a cassettoni. Inoltre, nella strategia antincendio proposta nella relazione di deroga a tale elemento viene assegnata anche una funzione di protezione delle travature sovrastanti, non necessaria, ma utile. La seconda considerazione è invece relativa all'innesco e alla combustione del legno per convezione e/o per irraggiamento. Secondo studi presenti nella letteratura tecnica internazionale¹, il giapponese F. Akita nel 1959 ha stabilito, a fronte di numerosi studi sperimentali, che la temperatura di auto sostentamento spontaneo della combustione nel legno è pari a circa 765 K (circa 492° C).

S. B. Martin nel 1965 ha poi verificato che l'innesco spontaneo autoalimentato di materiali a base cellulosa sottoposti a flusso radiante avviene quando la temperatura superficiale dell'elemento raggiunge il valore critico di 900 K (627° C), che corrisponde in pratica alla temperatura di flashover (N.d.A).

La verifica del soddisfacimento del livello di prestazione è quindi avvenuta in pratica confrontando le temperature raggiunte in prossimità delle tavole del controsoffitto rispetto al flash point² e al fire point³ del legno:

Parametri	Livello di prestazione
Resistenza al fuoco	$\theta_{fi,d} \leq \theta_{ign}$ $\theta_{fi,d} \leq \theta_{sostentamento\ fiamma}$

note

¹ sezione 2.11: "Flaming ignition of solid fuels", "SFPE – Handbook of fire protection" III Ed.

² Il punto di infiammabilità (in inglese flash point) di un combustibile è la temperatura più bassa alla quale si formano vapori in quantità tale che in presenza di ossigeno (aria) e di un innesco ha luogo il fenomeno della combustione.

³ temperatura, maggiore della temperatura di infiammabilità, necessaria per sostenere la combustione autoalimentata

- per garantire l'esodo in sicurezza degli occupanti si deve verificare che il tempo disponibile per l'evacuazione (Available Safe Egress Time - ASET) sia maggiore del tempo richiesto alle persone per giungere all'esterno dell'edificio (Required Safe Egress Time - RSET). In termini pratici il livello di prestazione equivale a:

Parametri	Livello di prestazione
Sicurezza dell'esodo	$T_{\text{sicurezza}} = \text{ASET} - \text{RSET}$ > 2 minuti

Per la verifica di tale relazione, ai sensi della normativa tecnica internazionale (ISO 13571:2007, BS 7974-6), per il calcolo dell'ASET si è fatto riferimento alle condizioni di "zero exposure", cioè di "non esposizione" degli occupanti a condizioni ritenute pericolose: ovvero altezza dei fumi dal pavimento non inferiore a 2,0 m e temperatura dello strato di gas caldi non superiore a 200 °C.

Gli scenari di incendio

La definizione degli scenari di incendio si è basata sull'analisi del rischio di incendio che ha riguardato, in particolare, i seguenti aspetti:

- individuazione dei principali elementi combustibili presenti che possano risultare pericolosi. Tali materiali sono costituiti dalla pedana del palco in legno, dalle sedie in platea con schienale e seduta

imbottiti, dalla consolle dell'impianto audio, dalla bussola di ingresso in legno e dagli arredi del palco

- individuazione delle fonti di innesco più probabili in relazione al quantitativo di materiale presente e della posizione
- individuazione delle caratteristiche di reazione al fuoco dei materiali presenti all'interno della sala che presentano un difficile innesco e propagazione
- individuazione delle caratteristiche di ventilazione della sala
- individuazione delle caratteristiche degli occupanti in relazione alla tipologia di edificio ed alla destinazione d'uso prevista.

Sono stati esclusi scenari del tipo:

- Incendio diretto all'interno del controsoffitto della sala dell'auditorium in quanto non sono presenti sorgenti di innesco
- scenario che coinvolge il locale guardaroba in quanto il locale è stato compartimentato quindi un eventuale incendio non interessa immediatamente la sala Auditorium.

A conclusione della valutazione del rischio sono stati scelti i seguenti tre scenari.

Scenario A

Lo scenario A descrive un incendio che si sviluppa a partire dal palco in legno dell'Auditorium, di superficie pari a 45 m²,



con rateo di crescita iniziale del tipo “medio” ($\alpha = 0,0111 \text{ kJ/sec}^3$), con lo sviluppo della seguente curva HRR.

Tale scenario è stato sviluppato per verificare l’andamento delle temperature in ordine alla verifica degli obiettivi di sicurezza per la resistenza al fuoco e la tutela dei soccorritori. La relazione utilizzata per determinare la potenza massima rilasciata dall’incendio è:

$$\text{HRR}_{\text{max}} = \text{Mc}''_{\text{max}} \times \text{H}$$

Dove

HRR_{max} è la potenza termica massima rilasciata in funzione del tempo (KW)

H il potere calorifico inferiore del combustibile (KJ/kg)

Mc''_{max} è la velocità di combustione del legno (kg/s), ricavabile dai dati di letteratura

Il tempo di simulazione è stato posto pari a 4200 secondi per verificare l’andamento delle temperature per tutta la durata dell’incendio (Grafico 1).

Scenario B

Lo scenario B descrive lo stesso incendio dello scenario A, ma con il rateo di crescita della curva di incendio di tipo “lento” ($\alpha = 0.00278 \text{ kJ/sec}^3$).

Tale scenario è stato sviluppato per dimostrare che l’incendio del palco non può coinvolgere le poltroncine della platea, classificate in classe di reazione al fuoco 1IM.

Le caratteristiche principali dello scenario B sono le seguenti:

- il materiale che brucia è il legno della pedana del palco
- il rateo di crescita è lento per tenere in considerazione il fatto che la pedana risulta essere trattata con vernice che attribuisce alla stessa una classe di reazione al fuoco 1.

Anche in questo caso il tempo di simulazione è stato posto pari a 4200 secondi per verificare l’andamento delle temperature per tutta la durata dell’incendio (Grafico 2).

Scenario C

Lo scenario C è studiato per determinare la sicurezza dell’esodo degli occupanti, e descrive un incendio del tutto uguale allo scenario B, con durata dell’analisi limitata ai primi 900 secondi (15 minuti), tempo ritenuto in prima analisi sufficiente per l’evacuazione degli occupanti.

Le principali scelte progettuali sono:

- rateo di produzione di fumo posto pari a $0,015 \text{ kg}_{\text{soot}}/\text{kg}_{\text{comb}}$, valore superiore del 50% a quanto riportato in letteratura o nel-

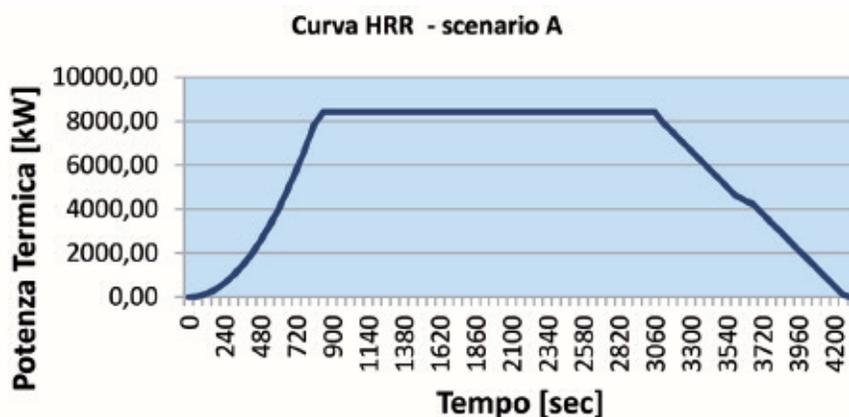


Grafico 1 - Tempo di simulazione posto pari a 4200 secondi per verificare l’andamento delle temperature per tutta la durata dell’incendio

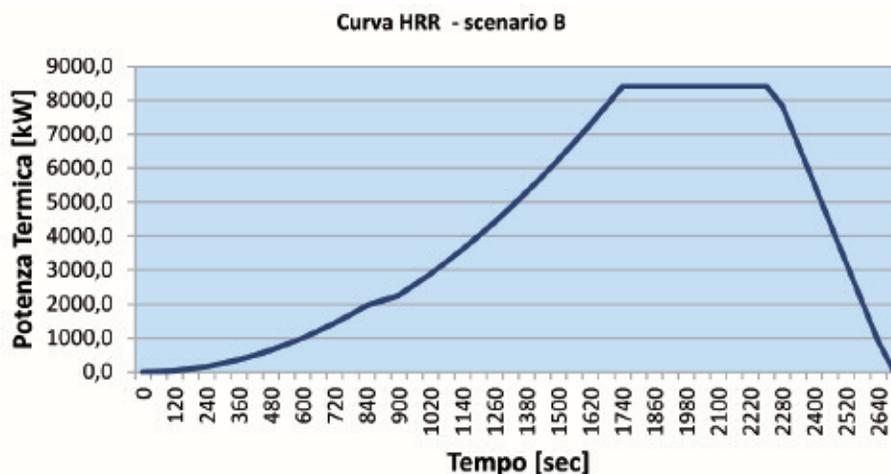


Grafico 2 - Tempo di simulazione posto pari a 4200 secondi per verificare l'andamento delle temperature per tutta la durata dell'incendio

la Circolare 31 marzo 2008, per la combustione dei materiali cellulósici (il valore di letteratura è pari a $0.01 \text{ kg}_{\text{soot}}/\text{kg}_{\text{comb}}$).

- Presenza di un impianto di rilevazione fumi che attiva l'allarme ed è collegato ad un sistema di apertura automatica delle finestre presenti nell'auditorium per permettere l'evacuazione dei fumi (Grafico 3).

Tutti gli scenari di incendio - come meglio illustrato nel paragrafo successivo - sono

sviluppati con il modello di simulazione di campo FDS 5.5.3 (Fire Dynamics Simulator) del NIST (National Institute of Standards and Technology); lo scenario di evacuazione è stato invece sviluppato con FDS+EVAC 2.1.1.

L'impiego di questo modello è stato deciso a causa della caratteristica conformazione architettonica del locale basata su arcate e volte, che i modelli di zona - data la loro semplicità - non potevano riprodurre geometricamente in maniera adeguata.

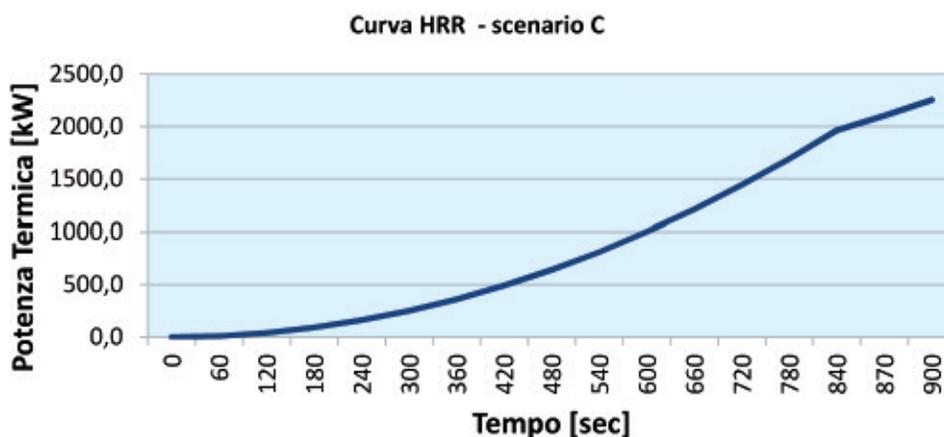


Grafico 3 - Presenza di un impianto di rilevazione fumi che attiva l'allarme ed è collegato ad un sistema di apertura automatica delle finestre presenti nell'auditorium per permettere l'evacuazione dei fumi

Il modello di simulazione: FDS

Per sviluppare la simulazione, data la complessità architettonica dei locali della Chiesa della Carità, si è scelto di utilizzare un modello di fluidodinamica computazionale.

Le Figure 1, 2 e 3 illustrano la riproduzione del modello in 3D discretizzato per la simulazione.

All'interno del dominio di simulazione sono stati inseriti i seguenti punti di misura per lo studio degli scenari:

- rilievo di temperatura in corrispondenza dell'estradosso e dell'intradosso del controsoffitto a cassettoni in legno all'interno della sala auditorium
- rilievo di temperatura dei fumi a due metri dal piano di calpestio della sala auditorium
- dispositivi di rilevazione dell'irraggiamento ad una distanza dall'incendio pari alla posizione delle sedie della platea
- rilievo dell'irraggiamento sulla verticale dell'incendio
- rilievo dei fumi su tutti gli ambienti dell'auditorium compresi i locali di servizio
- dispositivi di apertura automatica delle fi-

nestre nella sala auditorium collegate all'impianto di rilevazione e allarme.

Le misure compensative

Le misure compensative hanno fatto riferimento fondamentalmente:

- alla limitazione della stratificazione dei fumi e della temperatura mediante l'impiego di un sistema di evacuazione dei fumi realizzato collegando le apparecchiature per l'apertura automatica delle finestre dell'auditorium al sistema di rilevazione ed allarme incendio
- alla corretta implementazione degli aspetti gestionali della struttura: formazione degli addetti antincendio, aspetti manutentivi e di controllo prima e dopo ogni manifestazione, ecc.

Questo permette di limitare l'impatto degli interventi sulle strutture al minimo indispensabile, pur garantendo la sicurezza, dando la giusta importanza anche agli aspetti gestionali.

Figura 1
3D completo vista esterna



Figura 2 - Vista interna senza copertura

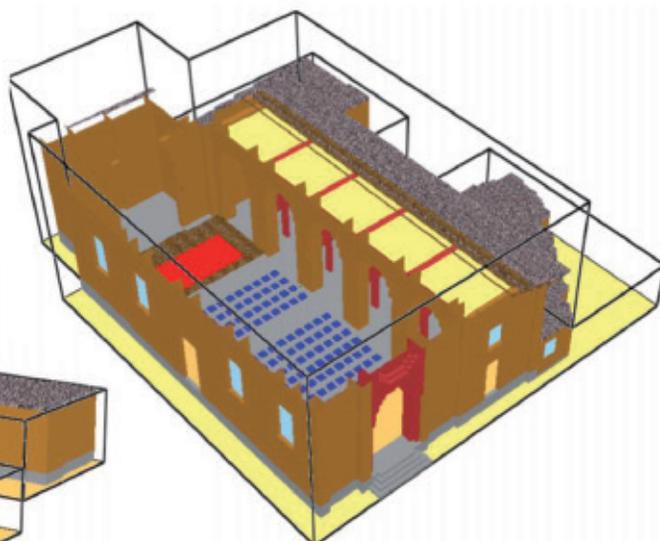


Figure 1, 2, e 3 - Riproduzione del modello in 3D discretizzato per la simulazione

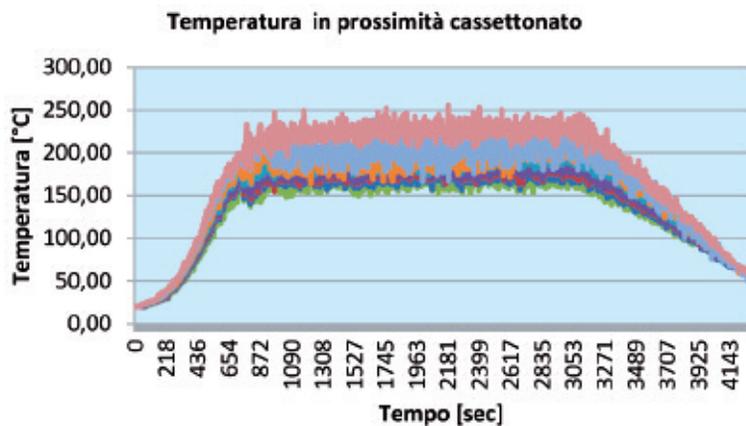


Grafico 4 - Le curve temperatura

I RISULTATI

Resistenza al fuoco

Scenario A

Le curve temperatura - tempo restituite dalla simulazione dell'incendio di progetto hanno registrato valori di picco pari a circa 230 °C in prossimità dell'incendio (Grafico 4).

Le Figure 4, 5 e 6 sono dei render della simulazione dello scenario A con indicazione delle temperature rispetto ad un piano di riferimento.

Scenario B

Nello scenario B le temperature registrate dai dispositivi di misura sono risultate praticamente uguali a quelle dello scenario A,

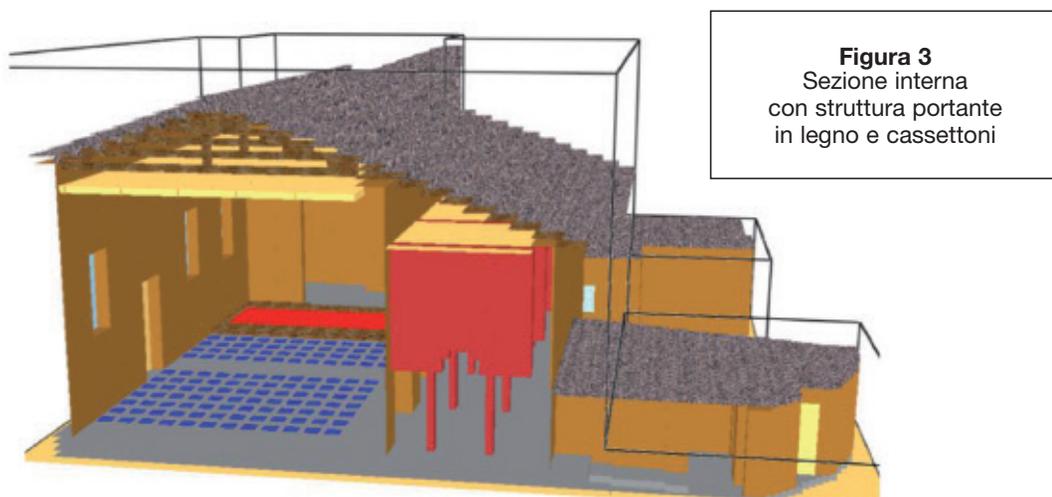


Figura 3
Sezione interna
con struttura portante
in legno e cassettoni

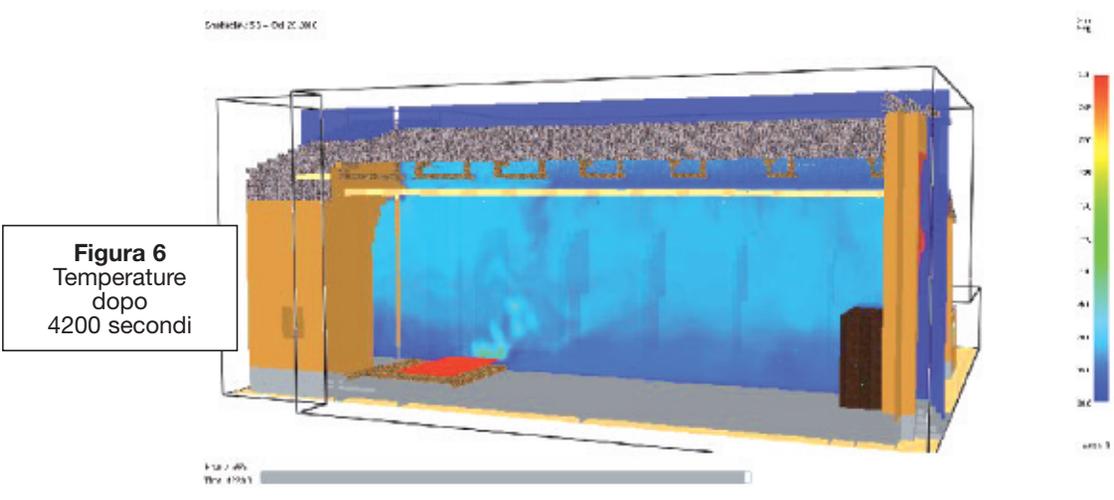
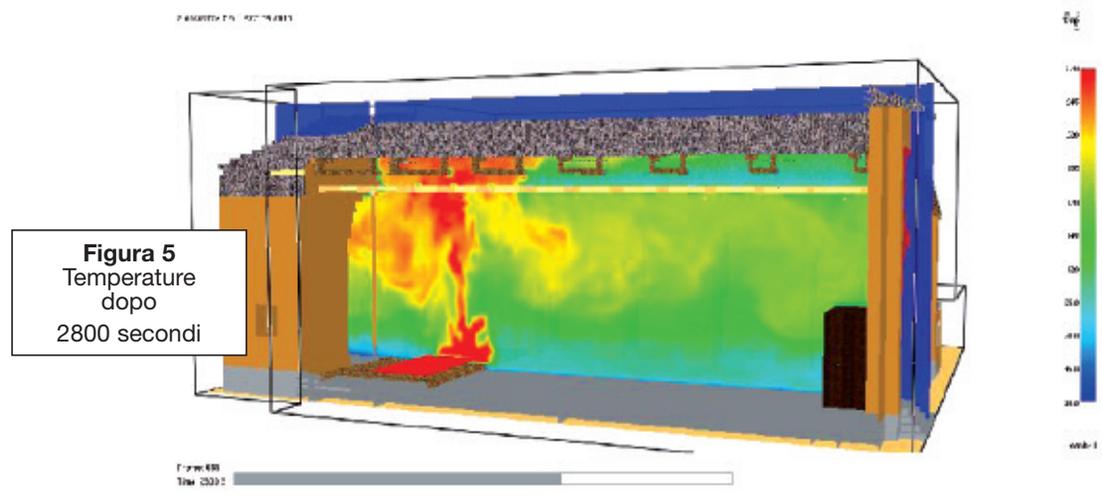
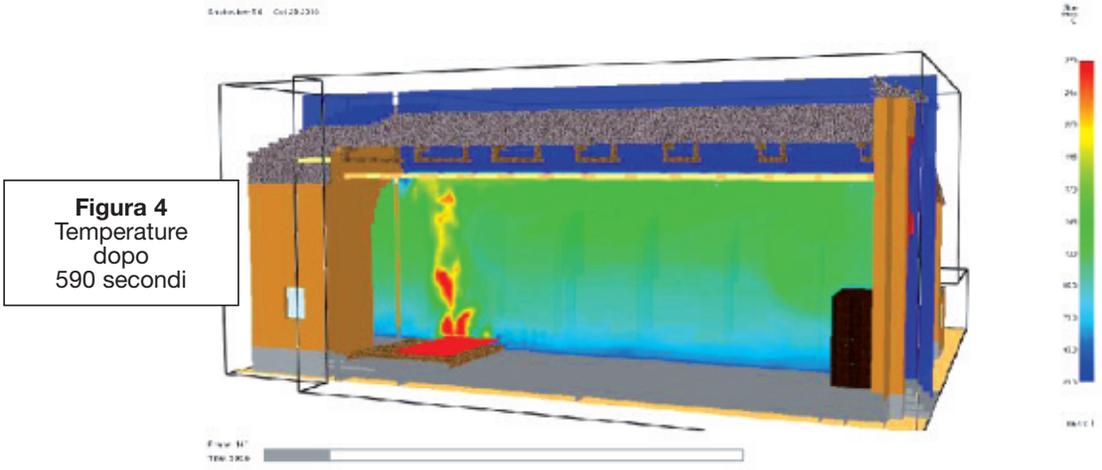


Figure 4, 5 e 6 - Render della simulazione dello scenario A con indicazione delle temperature rispetto ad un piano di riferimento

con l'unica differenza che gli stessi valori sono stati raggiunti più tardi. Questo a causa della diversa velocità di accrescimento della curva HRR tra i due scenari (medio nello scenario A e lento nello scenario B) (Grafico 5). Tuttavia lo scopo principale dello scenario B era quello di verificare l'irraggiamento dell'incendio sia verso il controsoffitto in cassetto-

ni sia verso le poltroncine in platea.

I Grafici 6, 7 e 8 mostrano l'irraggiamento in prossimità del cassetto e delle poltroncine della platea.

Le Figure 7, 8 e 9 sono dei render della simulazione dello scenario B con indicazione delle temperature rispetto a un piano di riferimento.

Tolentino, città d'arte



L'affresco della Basilica di San Nicola

Il Comune di Tolentino è situato nell'entroterra della provincia di Macerata.

La città è in una posizione favorevole che le ha permesso di conoscere insediamenti umani fin dai tempi più remoti, in quanto luogo ininterrottamente prescelto dalle varie popolazioni succedutesi nella vallata. Le prime testimonianze della vita nel territorio del Comune di Tolentino sembrano risalire al paleolitico. Ma è nel VII sec. a.C. che si entra nel vivo, con le testimonianze della civiltà Picena.

Il paese divenne poi municipio romano, come testimoniano i resti di una costruzione termale sotto il Palazzo comunale.

Il Prefetto Flavio Giulio Catervio porta i tolentinati alla conversione al Cristianesimo e viene proclamato loro protettore col nome di San Catervo. Lungo il corso Garibaldi si innalza il solenne Duomo a lui dedicato.

Tolentino è uno piccolo scrigno di tesori architettonici e storici, partendo per esempio dal Teatro Vaccaj (purtroppo distrutto in un recente incendio).

Tale evento, per una città di 20.000 abitanti come Tolentino, che offre infinite opportunità di richiamo dal punto di vista storico, culturale, paesaggistico ai numerosi turisti provenienti da ogni regione d'Italia e non solo, ha evidenziato la necessità di attuare una politica di prevenzione attenta e mirata, soprattutto nel campo dell'antincendio, per tutelare e salvaguardare un patrimonio così prezioso. In questa cittadina, quando era un piccolo borgo medievale, visse un Santo eremita, S. Nicola, che ha legato per sempre il suo nome alla fama e al destino della città. La più bella Chiesa di Tolentino è una delle più belle d'Italia, è proprio la splendida Basilica Santuario di San Nicola, ornata da un ciclo di affreschi tra i più vividi della pittura marchigiana del medioevo, risalenti al XIV sec.

Da sempre importante dal punto di vista storico e culturale, Tolentino è ricca di numerosi altri richiami artistici come il Castello della Rancia e vari palazzi: oltre a quello Comunale, il Parisini Bezzi e il San Gallo; inoltre il Ponte del Diavolo e la Torre degli Orologi. Sono presenti Musei archeologici, d'arte, di etnografia, come quello della civiltà contadina; di scienze: il museo storico naturalistico; specialistici: l'internazionale dell'umorismo nell'arte, il presepistico, il Poltrona Frau ed altri.

In Piazza Murri, si erge poi l'ex Chiesa della Carità, in origine dedicata a San Giacomo, trasformata oggi in auditorium. Si hanno notizie della Chiesa fin dal 1233. La struttura iniziale fu ampliata verso il 1421. Nell'uso comune la Chiesa acquisì la denominazione "della Carità" quando, nei primi decenni dell'Ottocento, divenne sede della Confraternita omonima. Dal 1970 la Chiesa non è più aperta al culto. L'Amministrazione Comunale ha recentemente deciso di riqualificare e recuperare la struttura, adibendola ad auditorium e sala convegni per oltre 100 posti (e fino a 150 posti). Di essa, risalente al XII secolo, si possono ammirare all'esterno il campanile romanico, il portale anch'esso romanico, con la grande rosa di dodici colonnine disposte a raggiera, e all'interno il soffitto a cassettoni del XVI secolo con al centro la statua in legno dorato di S. Giacomo Apostolo.

Ci sono anche varie biblioteche; oltre a quella comunale e del liceo classico, diverse ecclesiastiche e una privata, ricche di numerosi volumi ed edizioni di pregio risalenti al '500.

La sua vivacità culturale la dimostra anche nell'organizzazione di molteplici interessanti manifestazioni tra cui la Biennale internazionale dell'umorismo nell'arte, istituita nel 1961, la Mostra annuale dell'editoria marchigiana e il Festival Internazionale dei cori polifonici.

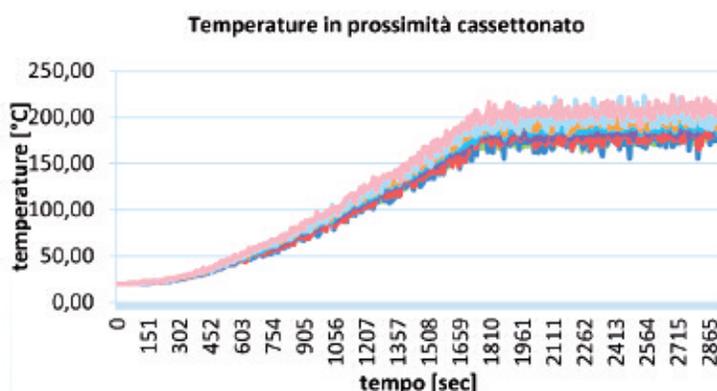


Grafico 5 - Diversa velocità di accrescimento della curva HRR tra i due scenari

I risultati delle simulazioni relativi all'andamento delle temperature in prossimità del controsoffitto dimostrano che le superfici lignee dei cassettoni investite da flussi convettivi e radianti saranno sicuramente in parte carbonizzate a seguito della pirolisi indotta dal calore.

Tuttavia la combustione autonoma di tali superfici non può essere sostenuta sia per le considerazioni relative alla combustibilità riportate nel paragrafo relativo ai livelli di prestazione, sia perché i fumi prodotti dalla combustione sono poveri di ossigeno, e

quindi non in grado di sostenere una combustione completa.

Si ha quindi il seguente scenario: a seguito dell'incendio il cassetto sarà soggetto a una lenta combustione che non progredisce verso una combustione completa ed autoalimentante, ma che consuma lentamente il pannello in legno.

Ipotizzando quindi che il legno del cassetto esposto all'incendio naturale bruci - in favore della sicurezza - secondo il massimo tasso di combustione fornito dall'Eurocodice n. 5: "Progettazione delle strutture di legno.

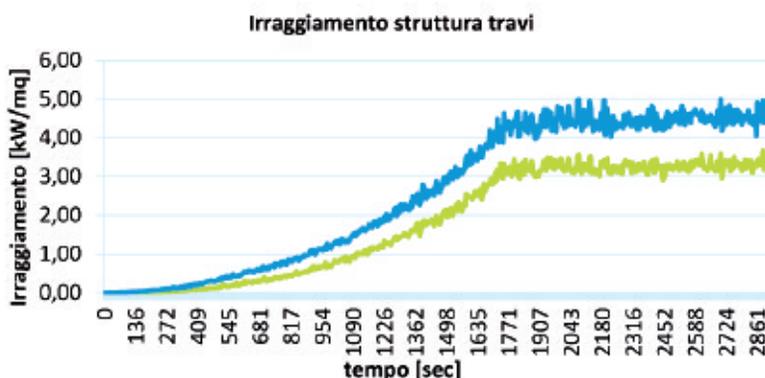


Grafico 6 - Flusso della frazione radiante assorbita dalla struttura in prossimità della verticale dell'incendio

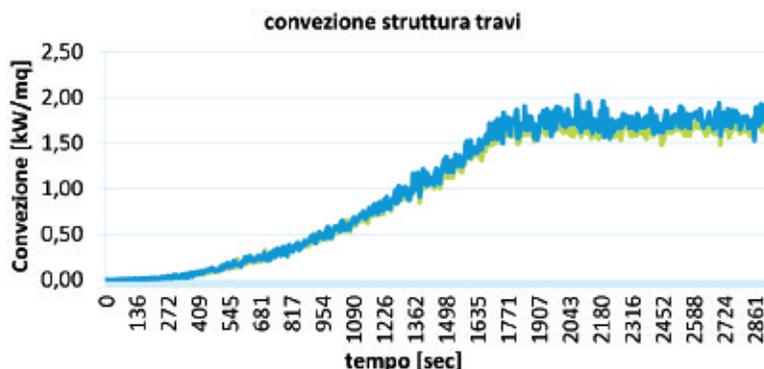


Grafico 7 - Flusso della frazione convettiva assorbita dalla struttura in prossimità della verticale dell'incendio

Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio”, il rateo di “consumo” della struttura è pari a 0,7 mm/min. Considerando quindi una esposizione all'incendio pari a 60 minuti (come richiesto dal D.M. 19/8/1996) sia avrà una riduzione della sezione del cassettone pari a 0,7 mm * 60 minuti = 42 mm. La sezione residua del cassettone sarà quindi pari a 70 mm - 42 mm = 28 mm. Tale sezione può essere ragionevolmente ritenuta sufficiente a:

- sostenere il peso proprio del cassettone (considerando la presenza collaborante di travi di sostegno del cassettone)
- fungere da protezione per la travatura so-

prastante che, anche in caso di crollo del cassettone sarebbe comunque sottoposta a una temperatura che non costituisce un significativo pericolo per la stabilità della struttura stessa.

Evacuazione

Scenario C

Valutazione dei tempi di esodo degli occupanti

La valutazione dei tempi di esodo degli occupanti si divide in due fasi: la prima relativa al calcolo dei tempi disponibili per l'evacua-

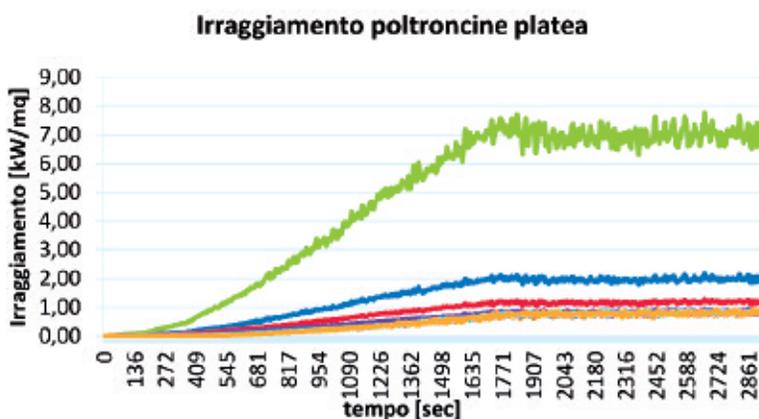


Grafico 8 - Flusso della frazione radiante assorbita dalle poltroncine. La curva verde è quella delle poltroncine più vicine al palco

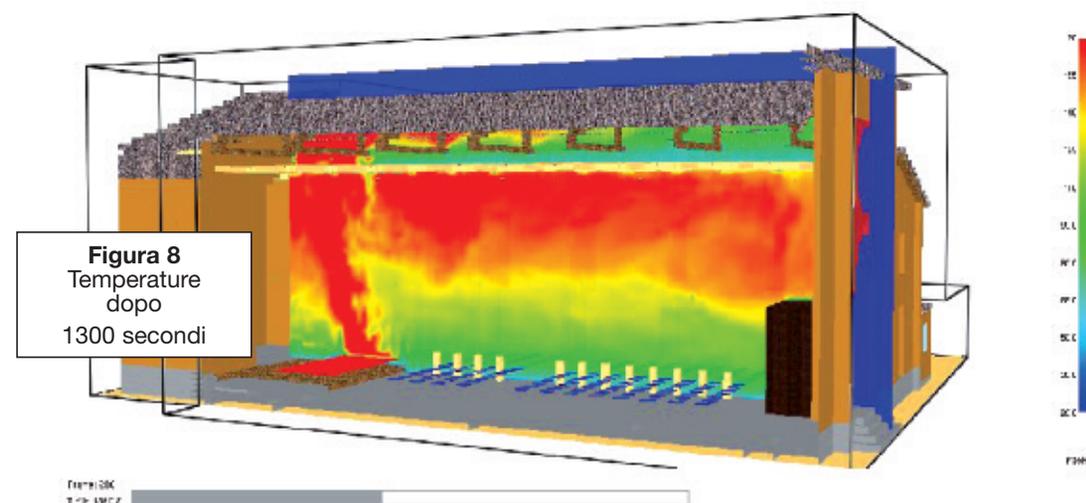
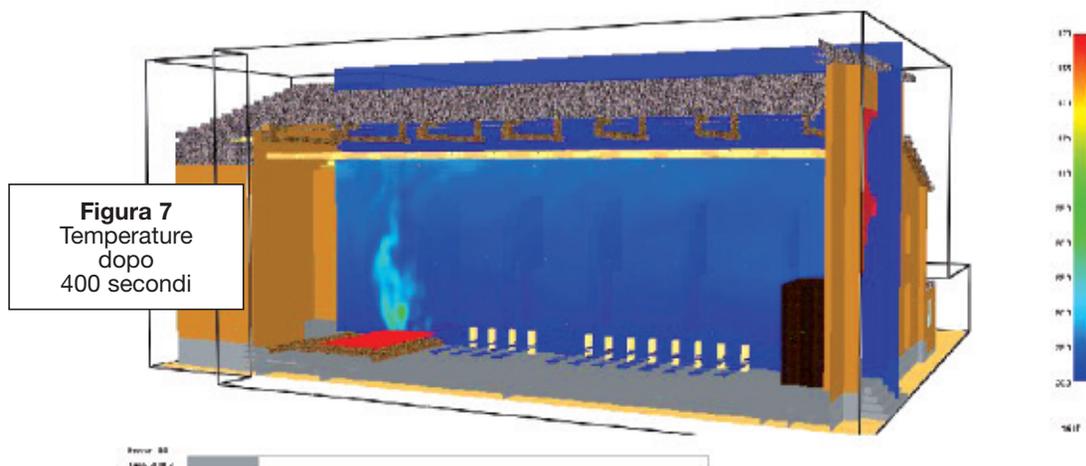
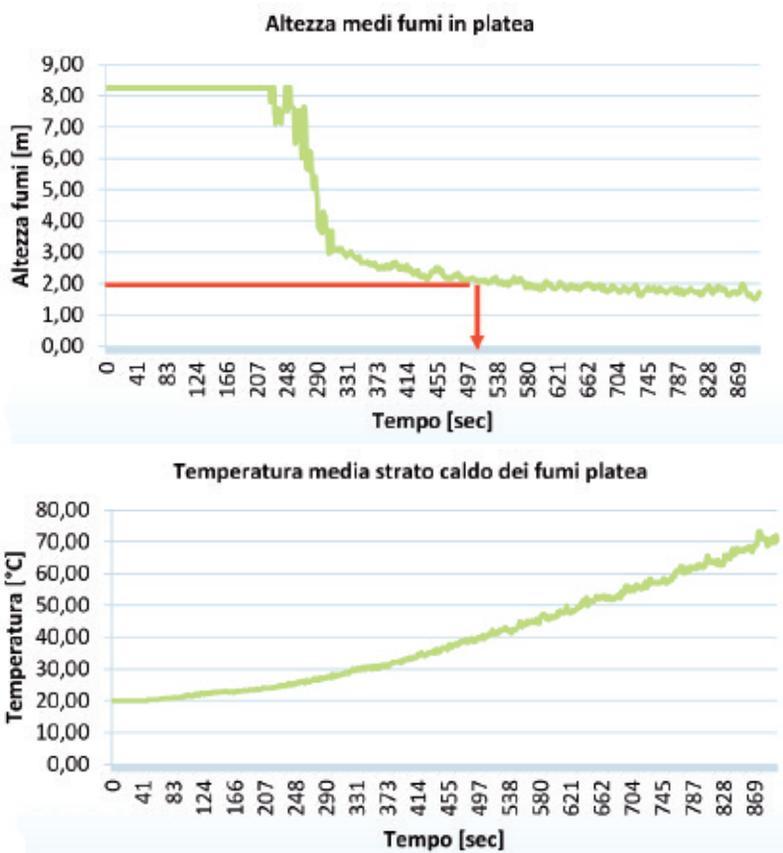


Figure 7, e 8 - Render della simulazione dello scenario B con indicazione delle temperature rispetto ad un piano di riferimento

Verifica del livello di prestazione: resistenza al fuoco

Scenario A

	Temperatura max raggiunta	Temperatura autoaccensione legno	Temperatura di sostentamento combustione	Verifica
Intradosso cassettoni	230° C	230° C	450 ° C	Soddisfatta
Estradosso cassettoni	230° C	230° C	450 ° C	Soddisfatta
Scenario B				
Intradosso cassettoni	230° C	230° C	450 ° C	Soddisfatta
Estradosso cassettoni	230° C	230° C	450 ° C	Soddisfatta



Grafici 9/10 - Altezza dei fumi in platea rispetto al piano del pavimento e la temperatura massima raggiunta nello strato caldo dei fumi a 2.50 m di altezza

zione (ASET - Available Safe Egress Time), la seconda relativa al calcolo del tempo necessario all'evacuazione (RSET - Required Safe Egress Time).

Calcolo ASET

Per definire il tempo disponibile (ASET) si è fatto riferimento ai risultati della modellazione dell'incendio che ha fornito, con riferi-

mento ai livello di prestazione “zero exposure”, l'altezza dei fumi in platea rispetto al piano del pavimento e la temperatura massima raggiunta nello strato caldo dei fumi a 2.50 m di altezza (Grafici 9 e 10).

La letteratura internazionale definisce l'ASET di riferimento come il più piccolo tra i tempi di ASET calcolati secondo il modello “zero exposure”.

Modello altezza dei fumi	
Punti critici <i>Platea</i> <i>Uscite di emergenza</i>	Tempo di ASET 520 sec (8 min e 40 sec) 520 sec (8 min e 40 sec)
Modello temperatura strato caldo dei fumi	
Punti critici <i>Platea</i> <i>Uscite di emergenza</i>	Tempo di ASET Valori al di sotto del valore limite Valori al di sotto del valore limite

Quindi risulta:

Calcolo del tempo di RSET - Secondo la "BS PD 7974-6:2004: "Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and conditions"; il RSET è composto complessivamente da 4 tempi:

$$R_{SET} = \Delta T_{det} + \Delta T_a + \Delta T_{pre} + \Delta T_{trav}$$

ΔT_{det} : "detection time" (tempo di rilevazione). Tempo che intercorre tra l'inizio del processo di combustione e la sua rilevazione tramite un sistema automatico o manuale. Il suo valore varia in funzione delle caratteristiche degli impianti, se presenti, o della capacità delle persone di rilevare l'incendio e segnalarlo.

ΔT_a : "alarm time" (tempo di allarme). Tempo che intercorre tra l'inizio dell'incendio e la sua segnalazione tramite un sistema di allarme.

ΔT_{pre} : "pre-movement time" (tempo di pre-movimento). Tempo che intercorre dal momento in cui viene percepito l'allarme fino a quando la prima persona comincia a muoversi verso l'uscita.

ΔT_{trav} : "travel time" (tempo di percorrenza). Tempo necessario alle persone per spostarsi dal posto in cui si trovano al luogo sicuro.

Nel nostro caso, per calcolo del RSET si è impiegata una metodologia "mista":

- il tempo di rilevazione è stato calcolato mediante l'impiego del modello di simulazione FDS
- il tempo allarme è stato valutato con l'ausilio delle indicazioni della BS 7974-6:2004
- il tempo di pre-movimento è stato valutato sempre con l'ausilio delle tabelle fornite dalla BS 7974-6:2004
- il tempo di percorrenza è stato calcolato con il software di simulazione FDS+EVAC ver 2.1.1.

Tempo di Rilevazione

L'auditorium è dotato di impianto di rilevazione incendi collegato ad un impianto di allarme con sirene ottico acustiche.

Dalla simulazione dell'incendio è stato restituito un tempo di risposta del rilevatore di fumo pari a 50 secondi.

$$\Delta_{Det} = 50 \text{ sec. (0.83 min)}$$

Tempo di Allarme

L'impianto di allarme all'interno dell'Auditorium è collegato con l'impianto di rilevazione quindi l'allarme da parte delle targhe ottico acustiche è immediato. Sulla base delle indicazioni del punto A.1.1 della BS PD 7974-6 il tempo di allarme è quindi pari a:

$$\Delta_{ta} = 0 \text{ s}$$

Tempo di Pre-movimento

Il tempo di pre-movimento dipende principalmente da:

- scenario di comportamento
- caratteristiche del sistema di allarme
- complessità dell'edificio
- management dell'emergenza.

Il tempo è stato stimato attraverso l'uso della tabella C.1 dell'Annex C contenuta nella "BS 7974-6:2004 "Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and conditions".

Una volta definite le 4 caratteristiche sopra elencate, il risultato è stato il seguente:

$$\Delta_{pre}^{(1st \text{ percentile})} = 1.0 \text{ min}$$

Tale valore è ampiamente giustificabile anche in considerazione del fatto che l'evento avviene nella stessa sala in cui sono presenti gli spettatori.

Tempo di Spostamento

Il tempo di spostamento è stato calcolato con l'ausilio dell'applicazione FDS+Evac ver. 2.1.1. È stata simulata la condizione con maggior affollamento all'interno dell'auditorium ovvero con la presenza massima di pubblico pari

Grafico Contatore degli occupanti

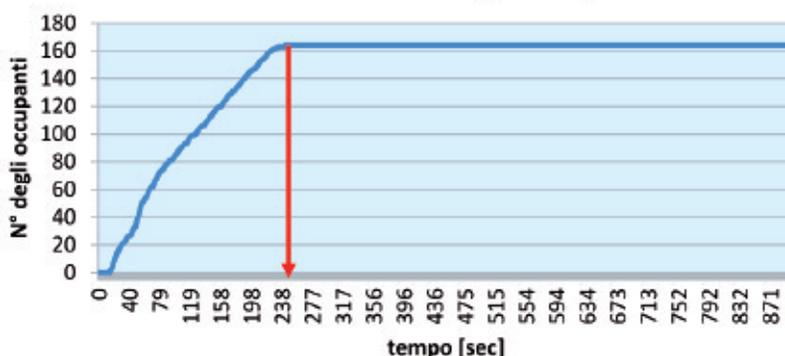
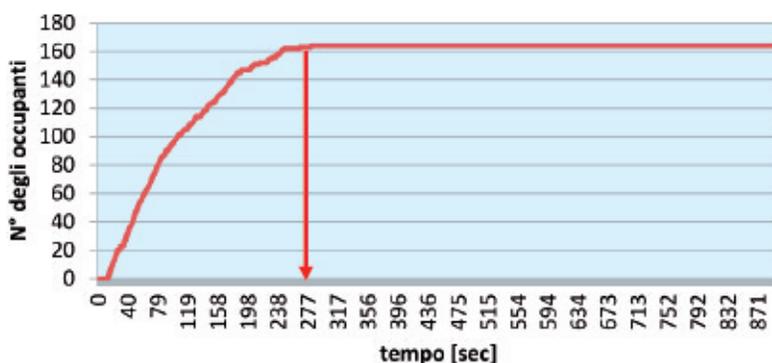


Grafico Contatore degli occupanti



Grafici 11/12 - Due simulazioni più significative: nel grafico 11 (in alto) gli occupanti sono usciti nel tempo minimo (240 secondi), in quello in basso (12) è stato necessario il tempo più lungo (280 secondi)

a 144 persone più alcuni addetti alla manifestazione.

Le simulazioni sono state condotte considerando lo scenario di incendio C.

Il pubblico presente è costituito da diverse tipologie di persone: anziani, adulti e bambini.

I dati della letteratura internazionale indicano che la velocità di spostamento di una

persona adulta è pari a circa 1,25 m/s, mentre per una persona anziana e per un bambino è rispettivamente di 0.9 m/sec e 0.8 m/sec. Questi ultimi due valori sono stati presi come riferimento in favore della sicurezza.

La simulazione dell'esodo degli occupanti è stata condotta considerando contemporaneamente l'incendio e la presenza di per-



DENIOS
ECOLOGIA & SICUREZZA

**Deposito omologato per sostanze pericolose:
mobile, flessibile, a protezione antincendio.**

*Il programma produttivo certificato
più ampio in Europa*

Richiedete subito informazioni • 010 9636743 • www.denios.it

Finalmente i container interamente certificati REI 120!

Figura 9
Configurazione
iniziale
degli occupanti

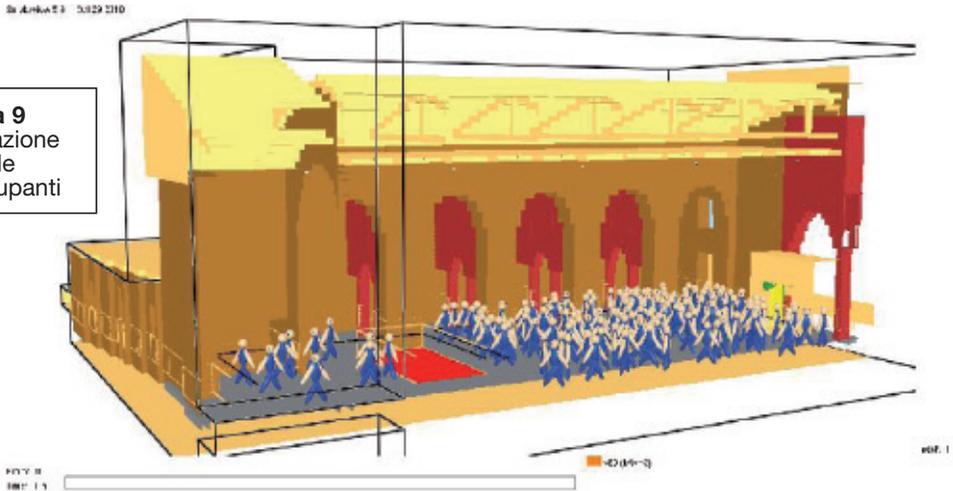


Figura 10
Spostamento verso
le varie uscite
di emergenza

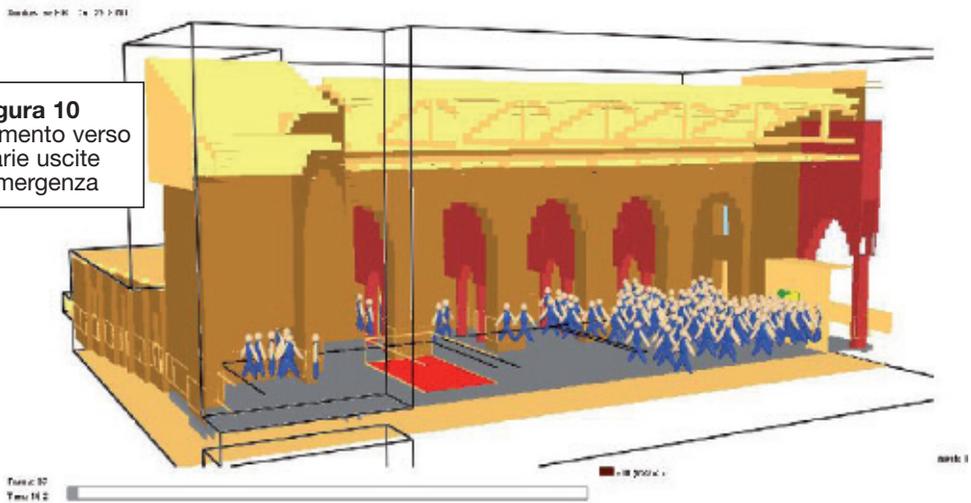


Figura 11
Ultimi occupanti
che escono
dall'edificio

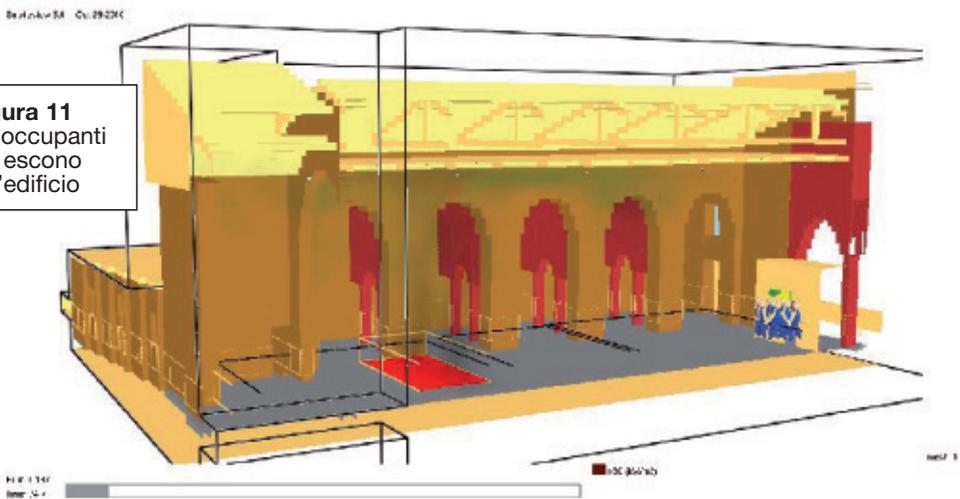


Figure 9, 10 e 11 - Render tratti da alcune delle simulazioni di evacuazione

Tempo di rilevazione	Tempo di allarme	Tempo di premovimento	Tempo di spostamento	RSET
0.83 min	0 min	1.0 min	4.5 min	6.33 min
RSET luogo sicuro			ASET	
6.33 minuti			8.66 minuti	

sone. Questo ha permesso di effettuare una reiterazione di simulazioni, che hanno restituito come risultato non un singolo tempo di spostamento, ma una “distribuzione” diversificata dei tempi di spostamento.

I grafici 11 e 12 mostrano le due simulazioni più significative: il primo riporta quella in cui gli occupanti sono usciti nel tempo minimo (240 secondi), il secondo quella per la quale è stato necessario il tempo più lungo (280 secondi).

Le Figure 9, 10 e 11 sono dei render tratti da alcune delle simulazioni di evacuazione.

Si è quindi preso a riferimento il seguente tempo di spostamento:

$$\Delta t_{\text{spostamento}} = 4.5 \text{ min}$$

Verifica del livello di prestazione

In definitiva il tempo impiegato per l'esodo di tutte le persone presenti all'interno dell'auditorium è risultato essere pari secondo quanto riportato nello schema in alto.

Il livello di prestazione scelto prevedeva di verificare che:

$$T_{\text{sicurezza}} = T_{\text{ASET}} - T_{\text{RSET}} = 2.33 \text{ min} > 2 \text{ minuti}$$

Reazione al fuoco cassettoni

Per le valutazioni sulla reazione al fuoco del cassettoni si è fatto riferimento ai risultati relativi alla resistenza al fuoco e all'evacuazione.

Combinando le conclusioni di questi due aspetti è stato possibile sostenere che:

- il cassettoni, pur non possedendo specifiche caratteristiche di reazione al fuoco, sarà in parte carbonizzato, ma non brucerà con combustione autonoma.
 - gli occupanti riescono ad evacuare dalla sala dell'Auditorium prima che all'interno del locale si vengano a creare condizioni che non consentono più la permanenza delle persone.
- Pur se il controsoffitto non possiede specifiche caratteristiche di reazione al fuoco, quindi, non si vengano a creare condizioni di pericolo per gli occupanti. La deroga è stata accolta positivamente dal CTR.

Le conclusioni

Nel presente lavoro risulta chiaro come un “edificio storico adibito ad auditorium”, e quindi soggetto a CPI, possa presentare varie problematiche, prime tra tutte la resistenza e la reazione al fuoco.

Infatti se è pur vero che le norme per gli edifici storici adibite a musei e biblioteche non prevedono rigide misure, è altrettanto vero che, qualora le attività che si svolgono in tali edifici siano riconducibili a regole tecniche diverse (nel nostro caso quelle per i locali di pubblico spettacolo), gli obiettivi di sicurezza sono sottoposti a misure più stringenti.

Proprio in questi casi l'approccio prestazionale ci viene incontro: attraverso un'analisi approfondita si riescono ad individuare le vere vulnerabilità del sistema e a risolverle nel modo migliore sia per la sicurezza, sia per i relativi costi, tanto da poter affermare che conoscere è risolvere.