

# POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle  
Costruzioni

Corso di laurea magistrale in Ingegneria dei sistemi edilizi



**POLITECNICO**  
**MILANO 1863**

La propagazione del fuoco in facciata:

analisi della nuova Normativa Italiana e confronto con  
quelle Europee

Relatore: Prof. Ing. Davide Luraschi

Correlatore: Ing. Gianluigi De Dionigi

Controrelatore: Ing. Nicola Clemeno

Laureanda: Virginia Viterbo

Numero di matricola: 952870

Anno Accademico 2021-2022



## Sommario

1. NORMATIVE ITALIANE APPLICATE .....	13
1.1 REGOLA TECNICA VERTICALE V.13 RELATIVA ALLE CHIUSURE D'AMBITO .....	14
1.2 GUIDA PER LA DETERMINAZIONE DEI REQUISITI DI SICUREZZA ANTINCENDIO DELLE FACCIATE NEGLI EDIFICI CIVILI .....	29
1.3 CONFRONTO E CONCLUSIONI.....	38
1.4 DM 25/01/2019: REQUISITI DI SICUREZZA ANTINCENDIO DELLE FACCIATE NEGLI EDIFICI DI CIVILE ABITAZIONE .....	41
2. NORMATIVE EUROPEE .....	43
EUROPA.....	43
FRANCIA.....	46
2.1 GUIDA PER LA PROTEZIONE ANTINCENDIO DI FACCIATE IN CLS O MURATURA CON SISTEMA ETICS-EPS.....	46
2.2 ISTRUZIONE TECNICA 249 E PROVA LEPİR 2 .....	53
2.3 CONCLUSIONI E CONFRONTO TRA GUIDA DI FACCIATE CON SISTEMA ETICS E ISTRUZIONE TECNICA 249.....	60
2.4 UN NUOVO METODO DI VERIFICA PER DETERMINARE IL COMPORTAMENTO AL FUOCO DELLE FACCIATE CON SISTEMA ETICS.....	62
2.4.1 PROCEDURA DEL TEST .....	76
2.4.2 DISCUSSIONE DEI RISULTATI OTTENUTI .....	80
2.4.3 CONCLUSIONI.....	88
2.5 NORMA INGLESE – BRITISH STANDARD.....	89
2.5.1 PASS 9980:2022 .....	89
2.5.1.1 ANNEX A: TEST SU PICCOLA E LARGA SCALA PER FACCIATE ESTERNE .....	90
2.5.1.2 ANNEX B: MECCANISMO DI PROPAGAZIONE DELLA FIAMMA E IMPLICAZIONI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FACCIATE ESTERNE .....	99
3. UTILIZZO DEL SOFTWARE VENTO .....	111
3.1 PRIMO SCENARIO.....	113
3.2 SECONDO SCENARIO .....	120
3.3 TERZO SCENARIO .....	122
3.4 CONCLUSIONI.....	123
4. INCENDI NEGLI EDIFICI ALTI.....	126
4.1 CRITICITA' DELLE FACCIATE CONTINUE.....	132
4.2 CRITERI PROGETTUALI .....	133
4.3 CONCLUSIONI.....	134
Bibliografia .....	137



*"La salita sarà dura, ma il  
panorama sarà fantastico"*



# Abstract

Lo scopo di questo elaborato di tesi è stato quello di evidenziare, analizzare e approfondire con sguardo critico, la propagazione del fuoco in facciata durante un incendio in un edificio di civile abitazione.

Giorno dopo giorno si realizza che una giusta e adeguata progettazione antincendio delle facciate eviterebbe danni importanti sia per l'uomo che per l'ambiente.

Il confronto tra l'ampio scenario delle normative Europee ha permesso di analizzare le loro differenze ma soprattutto le loro somiglianze.

È stata valutata l'importanza della sicurezza in facciata e nel giunto solaio-facciata in modo che possa essere evitata una propagazione interpiano, tramite aperture finestrate o intercapedini che permetterebbero una rapida propagazione del fuoco.

La progettazione delle facciate negli edifici dovrebbe quindi considerare sempre il rischio di incendio poiché questo può propagarsi non solo internamente ma anche verso edifici adiacenti, creando danni spesso irreversibili.





# Abstract (eng)

The aim of this thesis was to critically highlight, analyse and investigate the spread of fire in a façade during a fire in a residential building.

Day after day, it is realised that the right and adequate fire protection design of façades would prevent significant damage to both man and the environment.

By comparing the wide range of European regulations, it was possible to analyse their differences but above all their similarities.

The importance of safety in the façade and the slab-façade joint was assessed so that inter-floor propagation could be avoided, through window openings or cavities that would allow rapid fire propagation.

The design of façades in buildings should therefore always consider the risk of fire as this can spread not only internally but also to adjacent buildings, creating often irreversible damage.



# INTRODUZIONE

L'obiettivo principale del presente elaborato di tesi prevede un confronto tra normative e prove di laboratorio effettuate in diversi paesi europei, in modo da individuarne le differenze, vantaggi e svantaggi della loro applicazione.

Non esiste uno standard capace di descrivere il comportamento al fuoco di una facciata ma i paesi Europei utilizzano due diversi approcci: il primo riguardante il comportamento al fuoco dei singoli materiali costituenti la facciata, il secondo invece si basa su test specifici per valutare il comportamento della facciata. Il secondo approccio però garantisce una sicurezza inferiore rispetto al primo.

Si passa dalla normativa italiana, con una nuova regola tecnica verticale sulle chiusure d'ambito, alle specifiche francesi riguardo alla progettazione della sicurezza antincendio su facciate vetrate e su facciate pesanti che devono avere determinati requisiti; dalla prova francese per testare la resistenza della fascia interpiano in un edificio alla prova britannica per edifici alti.

Ogni prova effettuata ai fini della prevenzione incendi e di un'adeguata progettazione di partenza, prende come campione di riferimento un edificio a grandezza naturale, di almeno due-tre piani fuori terra e come fonte di innesco un focolare di legno da sottoporre a sollecitazione termica, per ipotizzare uno scenario d'incendio il più simile alla realtà.

Ogni facciata, come ogni altro componente edilizio deve sottostare a precise richieste di comportamento al fuoco e le prove di laboratorio vengono utilizzate per stabilirne le prestazioni.



# 1. NORMATIVE ITALIANE APPLICATE

La prevenzione incendi riguarda principalmente la sicurezza di vite umane, beni e ambiente.

Questo obiettivo avviene attraverso lo studio e l'elaborazione di normative e di misure preventive per evitare l'insorgenza di un incendio o comunque cercando di limitarne le conseguenze.

All'interno di questo capitolo ci si sofferma in particolare sullo scenario italiano.

Qui di seguito le normative italiane prese in considerazione:

- Regola tecnica verticale, estratta dal DM 3 Agosto 2015 codice prevenzione incendi, capitolo V.13 – chiusure d'ambito degli edifici civili;
- Guida tecnica su requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili del 15/04/2013;

## 1.1 REGOLA TECNICA VERTICALE V.13 RELATIVA ALLE CHIUSURE D'AMBITO

La normativa<sup>1</sup> a cui si fa riferimento pubblicata in data 08/04/2022 in vigore dal 07/07/2022, è la regola tecnica verticale capitolo V.13 che riguarda le chiusure d'ambito degli edifici civili.

La presente regola tecnica si applica alle chiusure d'ambito degli edifici civili come strutture sanitarie, scolastiche, alberghiere, commerciali, uffici, residenziali..e presenta come obiettivi quasi i medesimi della lettera circolare.

Una facciata può essere coinvolta da un incendio in differenti modi: tramite un incendio esterno per irraggiamento; tramite un incendio esterno per esposizione diretta alle fiamme o tramite un incendio interno che si propaga in facciata attraverso aperture.

Il primo obiettivo della regola tecnica verticale, riguarda il limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'interno dell'edificio attraverso le sue chiusure d'ambito.

Il secondo obiettivo riguarda il limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'esterno dell'edificio attraverso le sue chiusure d'ambito.

Il terzo obiettivo riguarda l'evitare o il limitare la caduta di parti della chiusura d'ambito dell'edificio in caso d'incendio che possano compromettere l'esodo degli occupanti o l'azione delle squadre di soccorso.

Tra le definizioni di facciata, in primo luogo, vengono definite la chiusura d'ambito e la copertura.

---

<sup>1</sup> Ministero dell'Interno, Dipartimento dei Vigili del Fuoco. (2015). *Decreto Ministeriale* (DM 03.08.2015).

La chiusura d'ambito dell'edificio è una frontiera esterna ad andamento orizzontale o verticale.

Sono ricomprese nella definizione anche frontiere esterne interrato, intercapedini, pozzi luce se si affacciano verso un volume d'aria.

Per quanto riguarda invece la definizione di copertura, questa rappresenta l'insieme dei componenti che costituiscono la porzione di chiusura d'ambito sommitale dell'edificio, inclinata con un angolo minore di  $45^\circ$  rispetto al piano di riferimento.

Le chiusure d'ambito sono classificate come segue in relazione alle caratteristiche dell'edificio su cui sono installate, come ad esempio secondo l'altezza:

- SA riferendosi a edifici di altezza tra -1m e 12m con un affollamento inferiore a 300 occupanti o edifici fuori terra ad un solo piano o mono planari. La chiusura d'ambito di un edificio avente massima



Figura 1.1- SA

quota dei piani di 10m con un affollamento però pari a 400 occupanti non viene considerato SA ma classificato SB.

- SB per chiusure d'ambito di edifici aventi quota totale inferiore a 24m.



*Figura 1.2 - SB*

- SC per chiusure d'ambito di altri edifici.  
Per altri edifici si intende secondo il codice prevenzione incendi, tutti quelli in cui gli occupanti dormono o ricevono cure mediche quindi includendo una compartimentazione con  $R_{vita}$  pari a D1, D2 (quando gli occupanti ricevono cure mediche).



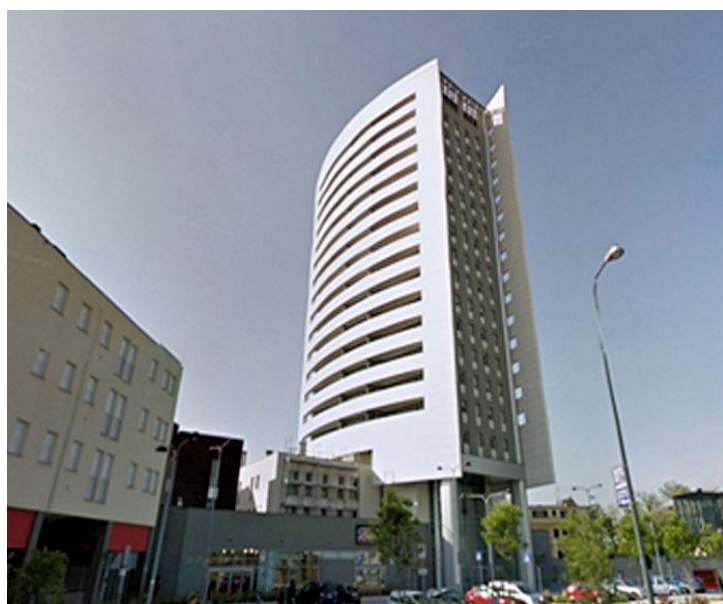


Figura 1.3 - SC

Per le coperture e per le facciate di tipo SA, fino ad un'altezza di 12 metri e con un affollamento inferiore a 300 persone, non sono previsti dei requisiti di reazione al fuoco per le coperture e per le facciate stesse.

Quindi in conclusione, viene riassunto tutto all'interno della tabella seguente:

<b>TIPOLOGIA</b>	<b>ALTEZZA</b>	<b>OCCUPANTI</b>
SA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -1m – 12m</li> <li>• edifici monopiano</li> </ul>	<300
SB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12m – 24m</li> <li>• -1 – 12m con 400 occupanti</li> </ul>	≥300 *esclusi compartimenti con Rvita D1 e D2
SC	> 24m	*inclusi compartimenti con Rvita D1 e D2

Tabella 1.1 - Riassunto categorie

Nella nuova RTV sono indicati precisi requisiti di reazione al fuoco che i componenti delle facciate di tipo SB ed SC con caratteristiche di cui sopra, devono possedere: devono presentare un isolante termico, un sistema di isolamento esterno in kit tipo ETICS, inoltre, guarnizioni, sigillanti e materiali di tenuta qualora occupino una superficie del 10% della superficie della chiusura d'ambito e infine gli altri componenti ad esclusione di quelli in vetro, qualora occupino complessivamente una

superficie maggiore del 40% dell'intera superficie lorda della chiusura d'ambito.

La definizione di kit viene ripresa all'interno della lettera circolare del 2013 secondo la seguente specificazione:

il kit nell'accezione della direttiva dei prodotti da costruzione (DPC) e del nuovo regolamento prodotti da costruzione che riguarda tutti i requisiti che ogni prodotto deve avere, è equivalente ad un prodotto da costruzione.

Un prodotto da costruzione è un kit quando è costituito da una serie di almeno due componenti separati che necessitano di essere uniti per essere installati permanentemente nelle opere.

Per rientrare nello scopo della DPC un kit deve soddisfare le seguenti condizioni:

1. Deve essere collocato sul mercato consentendo all'acquirente di comperarlo in un'unica transazione da un singolo fornitore
2. Deve possedere caratteristiche che consentano alle opere nelle quali è incorporato di soddisfare i requisiti essenziali, quando le opere sono soggette a regole che prevedano detti requisiti.

La normativa impone che debbano essere utilizzati determinati materiali a seconda della chiusura d'ambito.

Per le chiusure d'ambito di tipo SB ed SC sono previsti come gruppi di materiali GM2 e GM1 rispettivamente, che successivamente vengono evidenziati all'interno della tabella del codice.

I materiali appartenenti al Gruppo GM1, ovvero realizzati con isolanti aventi una classe di reazione al fuoco C-s2,d0 se protetti con materiali non metallici incombustibili (gruppo GM0) oppure prodotti di classe minima di reazione al fuoco B-s1,d0; o con isolanti in vista o kit aventi classe di reazione al fuoco A2-s1,d0.

Oltre alle Euroclassi da A2 a D, sono previste classi aggiuntive che prendono in considerazione la produzione di fumo e il gocciolamento di particelle ardenti:

Qui di seguito un elenco:

- S1: scarsa emissione di fumo
- S2: moderata emissione di fumo
- S3:abbondante emissione di fumo
- D0: nessun gocciolamento
- D1: gocciolamento di breve durata
- D2: gocciolamento persistente

All'interno della sezione S del Codice prevenzione incendi, riguardante la strategia antincendio, si definisce, nel capitolo S.1.5, la classificazione dei materiali in gruppi.

I materiali vengono suddivisi in classi di reazione al fuoco, partendo dalla classe GM0 costituita da materiali aventi classe 0 di reazione al fuoco italiana o A1 di reazione al fuoco europea.

Questi sono denominati anche materiali incombustibili.

All'interno di questa tabella 1.2 e 1.3, vengono definiti i materiali da utilizzare per rivestimento e completamento, evidenziando specialmente le classi GM1 e GM2 previste per le chiusure d'ambito.

Descrizione materiali	GM1		GM2		GM3	
	Ita	EU	Ita	EU	Ita	EU
Rivestimenti a soffitto [1]	0	A2-s1,d0	1	B-s2,d0	2	C-s2,d0
Controsoffitti, materiali di copertura [2], pannelli di copertura [2], lastre di copertura [2]						
Pavimentazioni sopraelevate (superficie nascosta)	1	B-s1,d0	1	C <sub>fi</sub> -s1	2	C <sub>fi</sub> -s2
Rivestimenti a parete [1]						
Partizioni interne, pareti, pareti sospese	1	B <sub>fi</sub> -s1	1	C <sub>fi</sub> -s1	2	C <sub>fi</sub> -s2
Rivestimenti a pavimento [1]						
Pavimentazioni sopraelevate (superficie calpestabile)						

[1] Qualora trattati con prodotti vernicianti ignifughi, questi ultimi devono avere la corrispondente classificazione indicata ed essere idonei all'impiego previsto.

[2] Si intendono tutti i materiali utilizzati nell'intero pacchetto costituente la copertura, non soltanto i materiali esposti che costituiscono l'ultimo strato esterno.

Tabella 1.2 - Classi di reazione al fuoco

Descrizione materiali	GM1		GM2		GM3	
	Ita	EU	Ita	EU	Ita	EU
Isolanti protetti [1]	2	C-s2,d0	3	D-s2,d2	4	E
Isolanti lineari protetti [1], [3]		C <sub>L</sub> -s2,d0		D <sub>L</sub> -s2,d2		E <sub>L</sub>
Isolanti in vista [2], [4]	0, 0-1	A2-s1,d0	1, 0-1	B-s2,d0	1, 1-1	B-s3,d0
Isolanti lineari in vista [2], [3], [4]		A2 <sub>L</sub> -s1,d0		B <sub>L</sub> -s3,d0		B <sub>L</sub> -s3,d0

[1] Protetti con materiali non metallici del gruppo GM0 oppure prodotti di classe di resistenza al fuoco K 10 e classe minima di reazione al fuoco B-s1,d0.

[2] Non protetti come indicato nella nota [1] della presente tabella

[3] Classificazione riferita a prodotti di forma lineare destinati all'isolamento termico di condutture di diametro massimo comprensivo dell'isolamento di 300 mm

[4] Eventuale doppia classificazione italiana (componente esterno che ricopre su tutte le facce esposte alle fiamme il componente isolante - componente isolante a sé stante) riferita a *materiale isolante in vista* realizzato come prodotto a più strati di cui almeno uno sia componente isolante; quest'ultimo non esposto direttamente alle fiamme

Tabella 1.3 - Classi di reazione al fuoco

Per le chiusure d'ambito di tipo SB ed SC bisogna possedere determinati requisiti di resistenza al fuoco.

Non sono, invece, richiesti requisiti di resistenza al fuoco per le chiusure d'ambito di edifici:

- a) Che hanno carico d'incendio specifico  $q_f < 200 \text{ MJ/m}^2$  in tutti i compartimenti;
- b) Dotati di misure di controllo d'incendio di livello di prestazione V

Per le chiusure d'ambito SA non sono previsti requisiti di resistenza al fuoco.

All'interno della regola tecnica verticale vengono definite le fasce di separazione.

Per fasce di separazione si intendono le porzioni di chiusura d'ambito costituite da uno o più elementi costruttivi aventi classe di resistenza al fuoco determinata e materiali classificati per reazione al fuoco, atta a limitare la propagazione orizzontale e verticale dell'incendio.

In facciata le fasce di separazione devono essere realizzate con materiali in classe di reazione al fuoco non inferiore ad A2-s1-d0 e costituite da uno o più elementi costruttivi aventi classe di resistenza al fuoco E 30-ef (dove "ef" sta per fuoco esterno) o se portanti RE 30-ef.

In copertura invece le fasce di separazione ed eventuali altre protezioni devono avere classe di comportamento al fuoco esterno Broof (t2), Broof (t3), Broof (t4), oppure essere di classe di resistenza al fuoco EI30.

La classificazione Broof T1, T2, T3, T4 è una classificazione al fuoco dall'esterno che riguarda il sistema ossia l'intero pacchetto di copertura e non solo la membrana.

Qualora il sistema di copertura non sia stato testato, viene definito Froof ovvero prestazione non determinata.

Il sistema Broof T1 presenta un metodo con tizzoni ardenti e una pendenza variabile dai 15° ai 45°.

Il sistema Broof T2 presenta un metodo con tizzoni ardenti e vento e una pendenza di prova fissa a 30°.

Il sistema Broof T3 presenta un metodo con tizzoni ardenti, vento e pannello radiante e una pendenza di prova variabile da 5° a 30° e infine il sistema Broof T4 presenta un metodo con tizzoni ardenti, vento e pannello radiante in due sessioni e una pendenza di prova variabile da 0° a 45°.

La fascia di separazione per la quale è previsto il requisito di resistenza al fuoco, può essere verificata attraverso alcune norme come, ad esempio, che per le facciate semplici poggiate su solai realizzati con elementi pesanti in calcestruzzo pietra o muratura, o costituite da materiali poco deformabili ad alte temperature, la verifica ai fini della classificazione di resistenza al fuoco può essere eseguita facendo ricorso ai metodi di cui al capitolo S.2, il quale tratta di resistenza al fuoco.

Vengono definiti cinque livelli di prestazione partendo dal primo livello riguardante l'assenza di conseguenze esterne per collasso strutturale fino al quinto livello citato nei paragrafi di cui sopra, riguardante i requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione.

Le soluzioni conformi per il livello di prestazione V indicano:

1. Ai fini della verifica della capacità portante in condizioni di incendio, della deformabilità e della compartimentazione si applicano le prescrizioni valide per il livello di prestazione IV
2. Non si forniscono soluzioni conformi per la verifica degli impianti ritenuti significativi ai fini della funzionalità dell'opera
3. Ai fini del controllo del danneggiamento di tutti gli elementi strutturali vanno verificati i limiti di deformabilità imposti dalle NTC per le verifiche agli stati limite di esercizio.

A differenza della lettera circolare del 2013, nella regola tecnica verticale V.13 sono ammesse soluzioni conformi riguardanti la facciata a doppia pelle ventilata.

Ci si sofferma sui casi singolarmente:

Facciata	Caratteristiche intercapedine	Caratteristiche delle pelli
Non ispezionabile, con pelle esterna chiusa	In corrispondenza di ogni piano [1], l'intercapedine è interrotta da setti di compartimentazione E 30, o E 60 per chiusure d'ambito di tipo SC.	Per la <i>pelle interna</i> devono essere applicate le stesse prescrizioni previste per le <i>facciate semplici</i> .
	Qualsiasi	Per l'intera altezza e per tutti i piani [1], la <i>pelle interna</i> deve essere EW 30, o EW 60 per chiusure d'ambito di tipo SC.



Figura 1.4 - Facciata ispezionabile con pelle esterna chiusa

Non ispezionabile, con pelle esterna aperta	In corrispondenza di ogni piano [1], l'intercapedine è interrotta da setti di compartimentazione E 30, o E 60 per chiusure d'ambito di tipo SC.	Per la <i>pelle interna</i> devono essere applicate le stesse prescrizioni previste per le <i>facciate semplici</i> .
	Qualsiasi	Per l'intera altezza e per tutti i piani [1], la <i>pelle interna</i> deve essere EW 30, o EW 60 per chiusure d'ambito di tipo SC.

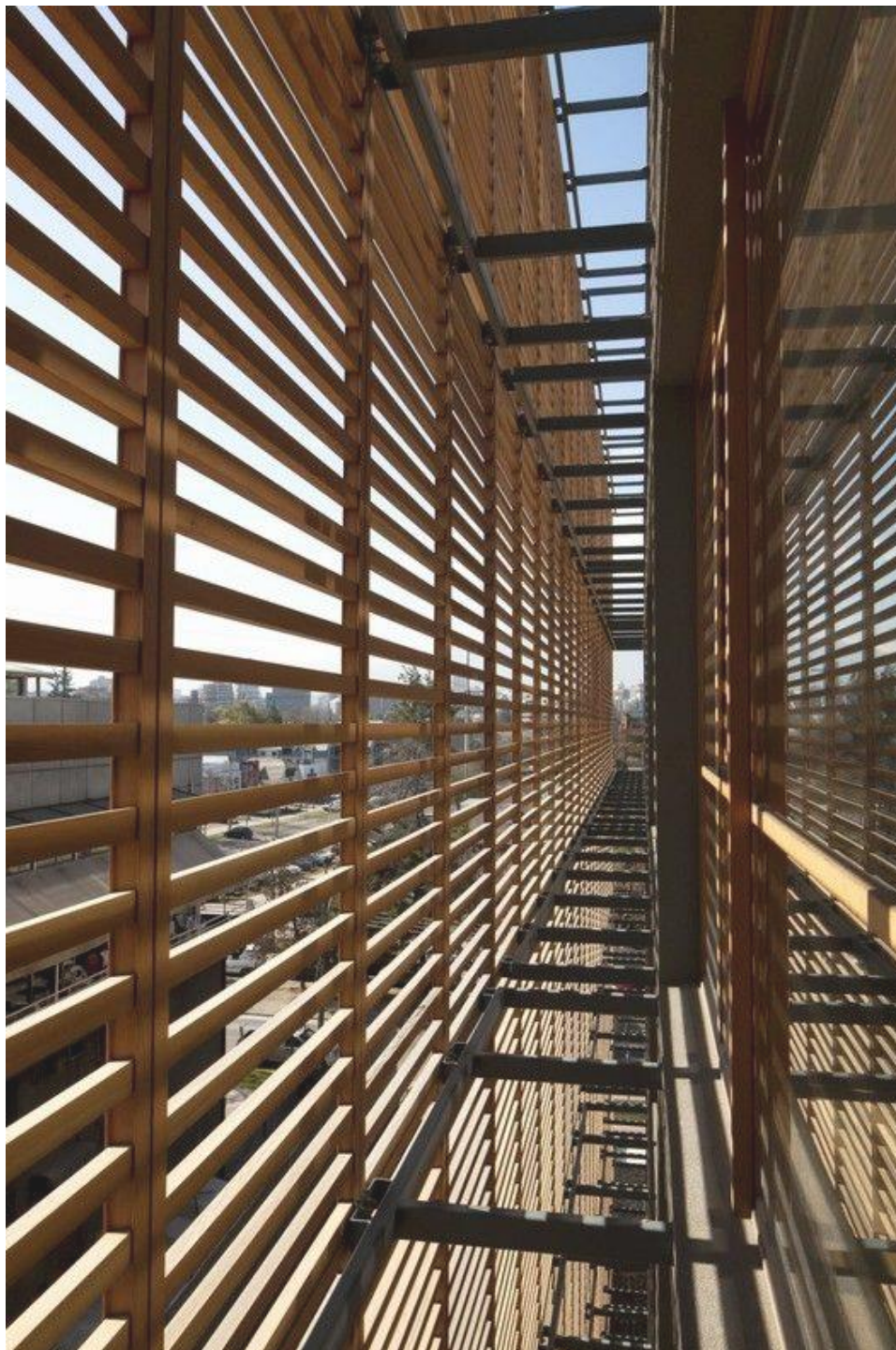


Figura 1.5 - Facciata non ispezionabile con pelle esterna aperta



Ispezionabile, con pelle esterna chiusa	In corrispondenza di ogni piano [1], l'intercapedine è interrotta da setti di compartimentazione E 30, o E 60 per chiusure d'ambito di tipo SC.	Per le <i>pelli interna ed esterna</i> devono essere applicate le stesse prescrizioni previste per le <i>facciate semplici</i> .
	Qualsiasi	Per l'intera altezza e per tutti i piani [1], la <i>pelle interna</i> deve essere EW 30 (i→o), o EW 60 (i→o) per chiusure d'ambito di tipo SC. [2]

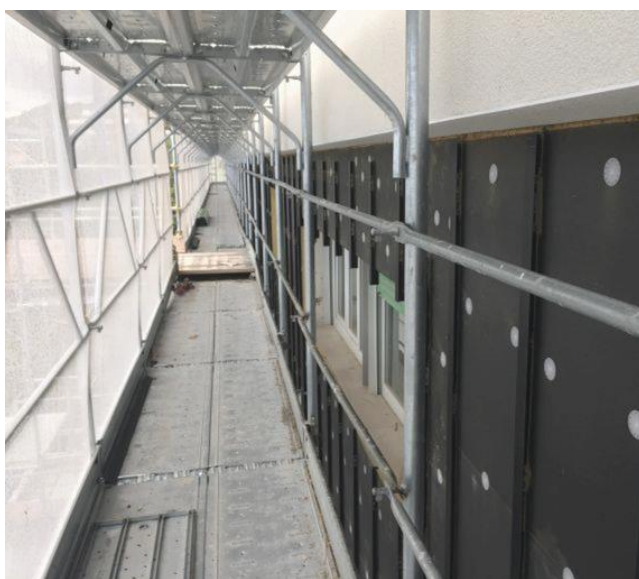


Figura 1.6 - Facciata ispezionabile con pelle esterna chiusa

Ispezionabile, con pelle esterna aperta	Qualsiasi	Per le <i>pelle interna ed esterna</i> devono essere applicate le stesse prescrizioni previste per le <i>facciate semplici</i> .
---	-----------	--



*Figura 1.7 - Facciata ispezionabile con pelle esterna aperta*

La differenza principale nelle tabelle qui presenti sta nel definire la resistenza al fuoco e compartimentazione della pella interna dell'intera altezza e di tutti i piani, includendo anche le chiusure d'ambito di tipo SC ovvero delle chiusure aventi un'altezza maggiore di 24 m o comunque con occupanti dormienti all'interno.

Per quanto riguarda la presenza di combustibili, qualora sulla chiusura d'ambito o adiacente ad essa fossero presenti materiali combustibili in quantità significative, la porzione di chiusura d'ambito interessata deve essere protetta con le fasce di separazione.

Anche se presenti sulla chiusura d'ambito o in adiacenza ad essa impianti di produzione o trasformazione dell'energia, la porzione di chiusura d'ambito interessata deve essere protetta con le fasce di separazione.

In facciata, le fasce di separazione ed eventuali altre protezioni, devono avere alcune caratteristiche:

- Realizzate con materiali in classe di reazione al fuoco non inferiore a A2-s1-d0
- Costituite da uno o più elementi costruttivi aventi classe di resistenza al fuoco E-30-ef o se portanti RE-30-ef.

Soffermandosi sulla geometria di un edificio, in facciata la fascia di separazione orizzontale tra compartimenti limita la propagazione verticale dell'incendio ed è realizzata garantendo uno sviluppo  $\geq 1,00$  m in totale, come riportato nella figura seguente:

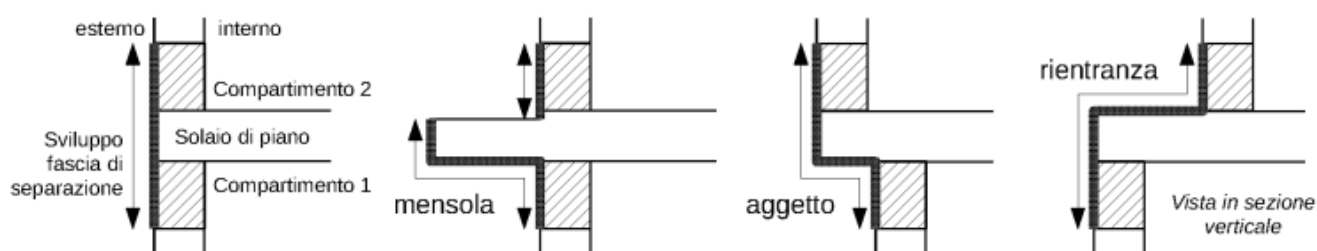


Figura 1.8 - Esempi di fascia di separazione orizzontale in facciata

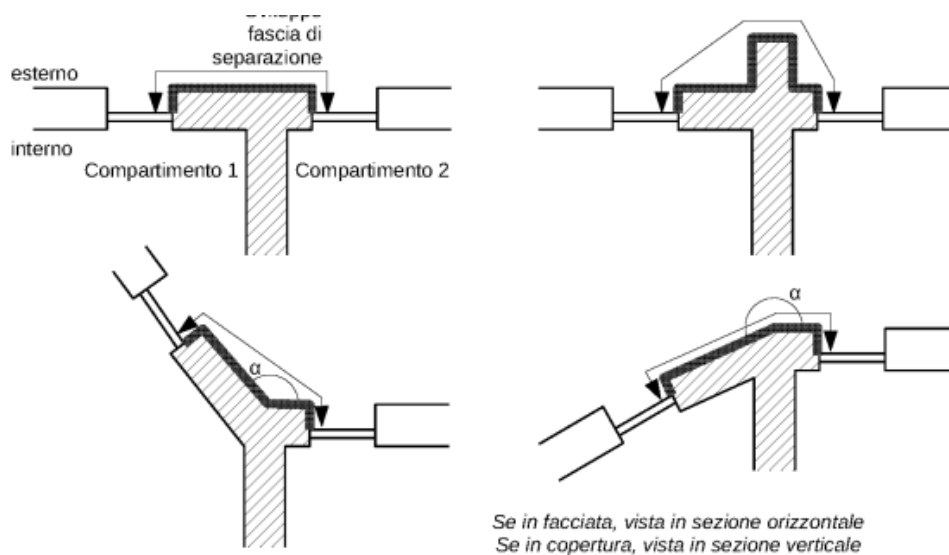


Figura 1.9 - Esempi di fascia di separazione verticale in facciata o in copertura

In facciata, la fascia di separazione verticale tra compartimenti limita la propagazione orizzontale dell'incendio ed è realizzata garantendo uno sviluppo  $\geq 1,00$  m.

In copertura invece la fascia di separazione tra compartimenti limita la propagazione orizzontale dell'incendio ed è realizzata garantendo uno sviluppo  $\geq 1,00$  m.

## 1.2 GUIDA PER LA DETERMINAZIONE DEI REQUISITI DI SICUREZZA ANTINCENDIO DELLE FACCIATE NEGLI EDIFICI CIVILI

La presente guida tecnica<sup>2</sup> ha i seguenti obiettivi:

- a. Limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'interno dell'edificio, a causa di fiamme o fumi caldi che fuoriescono da vani, aperture, cavità verticali della facciata, interstizi eventualmente presenti tra la testa del solaio e la facciata o tra la testa di una parete di separazione antincendio e la facciata, con conseguente coinvolgimento di altri compartimenti sia che essi si sviluppino in senso orizzontale che verticale, all'interno della costruzione e inizialmente non interessati dall'incendio;
- b. limitare la probabilità di incendio di una facciata e la sua successiva propagazione, a causa di un fuoco avente origine esterna (incendio in edificio adiacente oppure incendio a livello stradale o alla base dell'edificio);
- c. evitare o limitare, in caso d'incendio, la caduta di parti di facciata (frammenti di vetri o di altre parti comunque disgregate o incendiate) che possono compromettere l'esodo in sicurezza degli occupanti l'edificio e l'intervento delle squadre di soccorso.

### DEFINIZIONI:

**Facciata:** l'insieme dei componenti che costituiscono un sistema di chiusura (materiali, elementi, accessori etc.), progettati, assemblati ed installati al fine di realizzare l'involucro esterno verticale, o quasi - verticale, dell'edificio.

**Facciata semplice:** Facciata, anche di tipo multistrato, in cui gli strati e gli elementi funzionali sono assemblati con continuità senza intercapedini

---

<sup>2</sup> *Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili.* (2013).

d'aria tra gli strati. Sono considerati come unico strato elementi forati quali laterizi, blocchetti in cls, vetro-camera, ecc.

**Facciate a doppia parete:** Facciata di tipo multistrato, in cui gli strati e/o gli elementi funzionali sono separati da una cavità o intercapedine d'aria (denominata "corridoio d'aria" o "spazio intermedio").

Le facciate a doppia parete possono essere di tipo ventilato e non ventilato, con pareti opache o vetrate. Dal punto di vista della sicurezza antincendio la facciata a doppia parete non ventilata è assimilabile ad una facciata semplice.

**Facciate a doppia parete ventilata non ispezionabile:** Facciata a doppia parete con circolazione d'aria nell'intercapedine di tipo meccanico e/o naturale. L'intercapedine d'aria può assumere spessori variabili compresi tra un minimo di 3 cm e un massimo di 60 cm. Generalmente gli spessori sono compresi tra 5 e 10 cm.

Tale tipologia di facciata può essere a doppia parete ventilata sia verso l'interno che verso l'esterno.

**Facciata a doppia parete ventilata ispezionabile:** Facciate a doppia parete con circolazione d'aria nell'intercapedine di tipo meccanico e/o naturale. L'intercapedine d'aria può assumere spessori superiori a 60 cm. Nel caso di intercapedini superiori a 120 cm le due pareti costituiscono, dal punto di vista della sicurezza antincendio, due sistemi facciata indipendenti.

Tale tipologia di facciata è generalmente composta da una parete esterna vetrata e una parete interna che può essere semplice con o senza infissi, di tipo curtain wall opaca o vetrata. L'intercapedine interna tra le due pareti è attrezzata per consentire il passaggio di addetti alle operazioni di manutenzione.

**Curtain wall (facciata continua):** facciata esterna non portante, indipendente dall'ossatura strutturale dell'edificio e generalmente fissata davanti alla testa dei solai e dei muri trasversali. Una facciata continua include telai, pannelli, superfici vetrate, sigillature, sistemi di fissaggio, giunti, membrane di tenuta, ecc.

E' solitamente formata da una intelaiatura, costituita da elementi strutturali lineari interconnessi, vincolata alla struttura di supporto dell'edificio e riempita a formare una pelle continua leggera e avvolgente, che fornisce, di per sé o insieme all'edificio, tutte le normali funzioni di una parete esterna, ma tale da non avere funzioni portanti per lo stesso edificio. E' caratterizzata da una continuità dell'involucro rispetto alla struttura portante dell'edificio, che in genere resta interamente arretrata rispetto al piano della facciata (v. UNI-EN 13119:2007, EN 13830).

**Parete aperta:** parete esterna costituita, per almeno il 50 % della sua superficie da giunti, griglie fisse o mobili (che si aprono automaticamente in caso di incendio di almeno 60 gradi rispetto alla posizione di chiusura) distribuiti in modo sufficientemente uniforme, o infine, da pannelli realizzati con materiali che a temperature inferiori a 200 °C si rompono e cadono.

**Parete chiusa:** parete esterna che non rispetta i criteri della parete aperta.

**Kit:** nell'accezione della Direttiva Prodotti da Costruzione (DPC) e del nuovo Regolamento Prodotti da Costruzione' (CPR), un kit è equivalente ad un prodotto da costruzione. Un prodotto da costruzione è un kit quando è costituito da una serie di almeno due componenti separati che necessitano di essere uniti per essere installati permanentemente nelle opere (es.: per diventare un sistema assemblato). Per rientrare nello scopo della DPC (o del CPR), un kit deve soddisfare le seguenti condizioni:

- 1) il kit deve essere collocato sul mercato consentendo all'acquirente di comperarlo in un'unica transazione da un singolo fornitore;
- 2) il kit deve possedere caratteristiche che consentano alle opere nelle quali è incorporato di soddisfarei requisiti essenziali, quando le opere sono soggette a regole che prevedano detti requisiti.

Esistono due possibili tipi di kit: quelli in cui il numero e il tipo dei componenti sono predefiniti e rimangono costanti e quelli in cui il numero, il tipo e la disposizione dei componenti cambia in relazione a specifiche applicazioni.

## REQUISITI DI RESISTENZA AL FUOCO E COMPARTIMENTAZIONE

### **Regole generali**

Non sono richiesti requisiti di resistenza al fuoco per gli elementi della facciata che appartengono a compartimenti aventi carico d'incendio specifico, al netto del contributo rappresentato dagli isolanti eventualmente presenti nella facciata, minore o uguale a 200 MJ/mq. Non sono altresì richiesti requisiti di resistenza al fuoco per gli elementi della facciata che appartengono a compartimenti all'interno dei quali il valore del carico di incendio specifico è superiore a 200 MJ/mq se essi sono provvisti di un sistema di spegnimento ad attivazione automatica.

### **Facciate semplici e curtain walls**

La facciata deve presentare in corrispondenza di ogni solaio e di ogni muro trasversale, con funzione di compartimentazione, una fascia, realizzata come descritto in Allegato, costituita da uno o più elementi costruttivi di classe di resistenza al fuoco E60-ef (o,i). Nel caso delle facciate di tipo curtain walls ovvero in tutti i casi in cui l'elemento di facciata non poggia direttamente sul solaio è inoltre richiesto che l'elemento di giunzione della facciata ai solai e ai muri trasversali dei compartimenti sia di classe di resistenza al fuoco EI60.

Le parti di facciata appartenenti alla fascia di cui sopra, che devono possedere i requisiti di resistenza al fuoco, possono presentare aperture a condizione che, in corrispondenza delle stesse, sia previsto, in caso di incendio, l'intervento automatico di apposita serranda tagliafuoco, o sistema equivalente, avente il medesimo requisito di resistenza al fuoco previsto per le parti di facciata.

### **Facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili**

#### **Parete esterna chiusa**

Nel caso di facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili con parete esterna chiusa, se l'intercapedine è dotata in corrispondenza di ogni vano per finestra e/o porta-finestra e in corrispondenza di ogni solaio di



elementi di interruzione non combustibili e che si mantengono integri durante l'esposizione al fuoco, la parete interna deve obbedire alle stesse regole delle facciate semplici. Non sono richiesti gli elementi orizzontali di interruzione in corrispondenza dei solai se nell'intercapedine è presente esclusivamente materiale isolante classificato almeno Bs3d0 ovvero se la parete interna ha, per l'intera altezza e per tutti i piani, una resistenza al fuoco E130,

### **Parete esterna aperta**

Nel caso di facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili con parete esterna aperta, la parete interna dovrà presentare analoghi requisiti di resistenza al fuoco delle facciate semplici, se nell'intercapedine è presente esclusivamente materiale isolante classificato almeno Bs3d0 ovvero dovrà avere, per l'intera altezza e per tutti i piani, una resistenza al fuoco E130 se nell'intercapedine è presente materiale isolante con classificazione di reazione al fuoco inferiore.

### **Facciate a doppia parete ventilate ispezionabili**

#### **Parete esterna chiusa - Intercapedine interrotta da elementi di interpiano resistenti al fuoco**

Nel caso di facciate a doppia parete ventilate ispezionabili con parete esterna chiusa, se l'intercapedine è interrotta da solai o setti di compartimentazione E60 per ciascun piano, la parete esterna ovvero la parete interna devono obbedire alle stesse regole delle facciate semplici.

Nei solai e setti resistenti al fuoco che interrompono l'intercapedine, possono essere praticate aperture allo scopo di consentire la circolazione di aria all'interno dell'intera intercapedine, a condizione che sia mantenuta salva la continuità della compartimentazione di interpiano attraverso l'intervento, in caso d'incendio, di dispositivi automatici di chiusura aventi requisito di resistenza al fuoco E60.

#### **Parete esterna chiusa - Intercapedine priva di interruzioni**

Nel caso di facciate a doppia parete ventilate ispezionabili con parete esterna chiusa, se l'intercapedine è priva di interruzioni orizzontali, la parete interna dovrà avere, per l'intera altezza e per tutti i piani, una resistenza al fuoco EW30 (i1-o). Nel caso in cui la parete interna sia di tipo Curtain Walls è inoltre richiesto che l'elemento di giunzione della facciata ai solai e ai muri trasversali dei compartimenti sia di classe di resistenza al fuoco E160.

### **Parete esterna aperta**

Nel caso di facciate a doppia parete ventilata ispezionabili con parete esterna aperta, la parete interna dovrà presentare analoghi requisiti di resistenza al fuoco delle facciate semplici.

### **Misure Alternative**

In alternativa alle prescrizioni 3.4.1, 3.4.2 e 3.4.3 è possibile dotare la facciata di un sistema automatico di spegnimento ad acqua, posizionato all'interno delle due pareti e dimensionato in modo da garantire una densità di scarica non inferiore a  $10 \text{ l/min} \cdot \text{m}^2$  sulle pareti interne della facciata che potranno avere superfici vetrate purché in vetro temperato con trattamento HST (Heat Soak Test).

La portata dell'impianto, da considerarsi aggiuntiva alla portata destinata ad altri impianti di spegnimento previsti per l'edificio, deve essere tale da garantire il funzionamento contemporaneo, in erogazione, degli ugelli del piano immediatamente superiore a quello interessato dall'incendio, mentre la durata di scarica degli erogatori dovrà essere almeno pari a 60 minuti.

L'impianto deve essere comandato da apposito sistema di rivelazione incendi a servizio di ciascun piano dell'edificio e i dispositivi di erogazione, posti al di sopra di ciascun piano, devono essere orientati verso la parete interna.

Lo spazio intermedio o "corridoio d'aria", inoltre, dovrà essere provvista di sistema di evacuazione dei fumi, orientativamente individuabile attraverso una superficie di ventilazione naturale, realizzata sia nella parte

bassa che nella parte alta della facciata, di area pari al 10 O/ della sezione orizzontale dell'intercapedine stessa.

### **Verifica dei requisiti di resistenza al fuoco**

La conformità di un sistema di facciata ai criteri stabiliti deve essere comprovata con riferimento ad uno dei seguenti metodi:

#### **Metodo basato su prove**

La porzione della facciata (fascia) per la quale è previsto il requisito di resistenza al fuoco viene verificata sperimentalmente secondo le seguenti indicazioni:

a) per facciate semplici poggianti sui solai si applica la norma EN 1364-1 (Prove di resistenza al fuoco per elementi non portanti - Muri);

b) per facciate tipo Curtain Walls si applica la norma EN 1364-4 (Prove di resistenza al fuoco per elementi non portanti - Facciate continue in configurazione parziale); nel caso in cui la facciata di tipo Curtain Walls debba garantire il requisito di resistenza al fuoco per tutto lo sviluppo e non limitatamente alla fasciaprospiciente i solai e i muri di compartimentazione, anziché la norma indicata al punto precedente, si applica la norma EN 1364-3 (Prove di resistenza al fuoco per elementi non portanti - Facciate continue in configurazione totale);

c) per prodotti di sigillatura lineare si applica la norma EN 1366-4 (Prove di resistenza al fuoco per impianti di fornitura servizi - Sigillanti per giunti lineari).

La norma di classificazione EN 13501-2 fornisce la procedura di classificazione delle facciate semplici e Curtain Walls secondo i criteri E, 1 con i suffissi "i" (inside) e "o" (outside) legati da una freccia per indicare il verso di esposizione al fuoco, nonché il suffisso -ef nel caso in cui la classificazione sia resa nei confronti dell'esposizione al fuoco esterno, così come definito nel D.M. 9 marzo 2007. La norma di classificazione EN 13501-2 fornisce altresì le indicazioni circa le norme per le applicazioni estese dei risultati di prova (E CAP) che dovessero rendersi disponibili.

Sono comunque applicabili alle facciate i contenuti del punto B.8 del D.M. 16 febbraio 2007.

### **Metodo basato su calcoli e tabelle**

Per gli elementi di facciata realizzati con elementi pesanti in calcestruzzo, pietra o muratura, ossia costituiti da materiali poco deformabili alle alte temperature, la verifica ai fini della classificazione di resistenza al fuoco può essere eseguita facendo ricorso al D.M. 16/2/2007. Al tale proposito si rammenta che il requisito E160 di una parete garantisce automaticamente anche il requisito E160-ef.

Per gli elementi di facciata realizzati con elementi di tipo leggero sono al momento indisponibili soluzioni basate su calcoli o riferimento a tabelle.

Per gli elementi strutturali la verifica ai fini della classificazione R60-ef può essere eseguita facendo ricorso al D.M. 16/2/2007.

### **Reazione al fuoco**

I prodotti isolanti presenti in una facciata, comunque realizzata secondo quanto indicato nelle definizioni di cui al punto 2, devono essere almeno di classe 1 di reazione al fuoco ovvero classe B-s3-d0, in accordo alla decisione della Commissione europea 2000/147/CE del 8.2.2000.

La predetta classe di reazione al fuoco, nel caso in cui la funzione isolante della facciata sia garantita da un insieme di componenti unitamente commercializzati come kit, deve essere riferita a quest'ultimo nelle sue condizioni finali di esercizio.

I prodotti isolanti, con esclusione di quelli posti a ridosso dei vani finestra e porta-finestra per una fascia di larghezza 0,60 m e di quelli posti alla base della facciata fino a 3 m fuori terra, possono non rispettare i requisiti di reazione al fuoco richiesti al primo capoverso purché siano installati protetti, anche all'interno di intercapedini o cavità, secondo le indicazioni seguenti:

- prodotto isolante C-s3-d2 se protetto con materiali almeno di classe A2;

- prodotto isolante di classe non inferiore ad E se protetto con materiali almeno di classe A1 aventi uno spessore non inferiore a 15 mm.
- soluzioni protettive ulteriori possono essere adottate purché supportate da specifiche prove di reazione al fuoco su combinazione di prodotti (supporti, isolanti, protettivi) rappresentativi della situazione in pratica che garantiscano una classe di reazione al fuoco non inferiore ad i ovvero Bs3-dO

Limitatamente alle pareti ventilate non ispezionabili le protezioni sopra definite possono non essere applicate se la parete rispetta le prescrizioni di cui al precedente punto 3,3.

Le guarnizioni, i sigillanti e i materiali di tenuta, qualora occupino complessivamente una superficie maggiore del 10% dell'intera superficie della facciata, dovranno garantire gli stessi requisiti di reazione al fuoco indicati per gli isolanti.

Tutti gli altri componenti della facciata, qualora occupino complessivamente una superficie maggiore del 40% dell'intera superficie della facciata, dovranno garantire gli stessi requisiti di reazione al fuoco indicati per gli isolanti.

Per gli elementi in vetro non viene richiesta alcuna prestazione di reazione al fuoco.

Qualora elementi metallici (staffe, perni, viti, ecc.) o impianti, suscettibili in condizioni di esercizio di raggiungere temperature superiori a 150 °C, attraversano prodotti isolanti che non rispettano i requisiti di reazione al fuoco richiesti al primo capoverso, è necessario separare tali elementi dal contatto diretto con il prodotto isolante.

## ESODO DEGLI OCCUPANTI E SICUREZZA DELLE SQUADRE DI SOCCORSO

Nel caso in cui le facciate siano composte da materiali fragili ovvero che in caso di incendio possono dare luogo a rotture e distacchi di parti non minute, deve essere assicurato che gli sbarchi delle vie di esodo e i luoghi sicuri esterni risultino protetti dalla caduta delle parti della facciata.

Il dimensionamento e/o la progettazione del sistema di esodo dovrà necessariamente tenere conto della difficoltà di accesso all'edificio dall'esterno, in caso di incendio, da parte delle squadre di soccorso. È tuttavia possibile inserire in zone ben individuabili dalle squadre di soccorso dei serramenti facilmente apribili dall'esterno, nel rispetto dei requisiti di accessibilità dei mezzi VV.F.

Nel sistema di esodo è vietato l'utilizzo della cavità o intercapedine nelle facciate a doppia parete da parte degli occupanti ai fini della evacuazione

### 1.3 CONFRONTO E CONCLUSIONI

Le strategie di protezione antincendio devono prevedere l'utilizzo di materiali incombustibili (Euroclasse A2-s1-d0) sull'intera facciata o almeno in alcune zone critiche come, ad esempio, i primi metri da terra, intorno alle aperture delle facciate per rallentare la propagazione delle fiamme, tra i diversi piani dell'edificio, sui balconi e negli ultimi metri in sommità.

Ci sono alcune differenze tra la lettera circolare del 2013 sui requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili e, la regola tecnica verticale V.13 sulle chiusure d'ambito.

La linea guida del 2013 prescrive che i prodotti isolanti presenti all'interno di una facciata siano almeno in classe 1 di reazione al fuoco ovvero B-s3-d0, mentre la RTV 13 impone che le facciate siano realizzate con isolanti aventi una classe di reazione al fuoco C-s2-d0 se protetti però con materiali non metallici incombustibili appartenenti al gruppo GM0, oppure con isolanti in vista aventi classe di reazione al fuoco A2-s1-d0.

Nel primo caso, quindi, viene utilizzata la reazione al fuoco dei materiali isolanti come parametro per individuare la sicurezza di una facciata in caso di incendio, senza prevedere alcuna differenza tra tipologie di edificio, tra materiali isolanti da utilizzare e non richiede l'utilizzo di isolanti incombustibili ma di isolanti aventi euroclasse B-s3-d0, ovvero combustibili.

In altre parole, tale guida tecnica per i sistemi ETICS ammette ogni tipo di materiale isolante a differenza degli altri paesi europei che mostrano esplicitamente l'intenzione di utilizzare isolanti incombustibili.

Per quanto riguarda invece la regola tecnica verticale sulle chiusure d'ambito, quest'ultime vengono citate come frontiera esterna dell'edificio ad andamento orizzontale e verticale.

La RTV 13 fornisce una vasta gamma di definizioni e di misure antincendio, in grado di coinvolgere tutte le tipologie di facciate e prevede una classificazione in base alla quota dei piani, all'affollamento e al profilo di rischio vita (Rvita) attribuibile all'attività.

Si parla di edifici a più quote di piano e soprattutto vissuti da un differente numero di occupanti.

Inoltre, all'interno della regola tecnica verticale V.13, vengono stabilite in maniera più dettagliata le soluzioni conformi sia per una facciata ispezionabile con pelle aperta o chiusa sia per una facciata non ispezionabile con pelle esterna chiusa o aperta.

Questa importanza viene data a causa della particolare criticità di queste facciate nella propagazione degli incendi.

Qui di seguito<sup>3</sup> vengono elencati i requisiti richiesti all'interno della regola tecnica verticale, rapportati agli altri paesi Europei:

---

<sup>3</sup> F.I.V.R.A.

altezza edificio [n. piani]	UK	Germania	Francia	Slovenia	Serbia	Croazia	Slovacchia	Rep. Ceca	Romania	Italia
11	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A/C
10	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A/C
9	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	fasce Euroclasse A	solo Euroclasse A/C
8	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	fasce Euroclasse A	solo Euroclasse A	solo Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse B/D
7	solo Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	solo Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse B/D
6	solo Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	solo Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse B/D
5	modifica in corso	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse B/D
4	modifica in corso	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	qualunque	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	Requisiti non richiesti
3	modifica in corso	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	qualunque	fasce Euroclasse A	qualunque	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	Requisiti non richiesti
2	modifica in corso	qualunque	qualunque	qualunque	fasce Euroclasse A	qualunque	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	fasce Euroclasse A	Requisiti non richiesti
1	modifica in corso	qualunque	qualunque	qualunque	qualunque	qualunque	qualunque	qualunque	fasce Euroclasse A	Requisiti non richiesti

Tabella 1.4 – Requisiti legislativi

Per gli edifici SA, definiti edifici bassi, che possono essere fuori terra ad un solo piano o fino a 12m di altezza ma con un massimo di 300 occupanti, non sono previsti requisiti di reazione al fuoco.

Per gli edifici classificati SB, che possono avere un'altezza fino a 24m, un numero di occupanti maggiore di 300 o che non includono compartimentazioni con Rvita pari a D1 e D2, sono previsti come requisiti di reazione al fuoco, materiali di gruppo GM2.

Infine, per gli edifici classificati SC, che possono superare i 24 m di altezza e che includono occupanti allettati o dormienti, sono previsti come requisiti di reazione al fuoco, materiali di gruppo GM1 ovvero incombustibili.



## 1.4 DM 25/01/2019: REQUISITI DI SICUREZZA ANTINCENDIO DELLE FACCIATE NEGLI EDIFICI DI CIVILE ABITAZIONE

Gli edifici destinati ad uso civile vengono classificati come attività n.77 secondo l'allegato I del D.P.R. 151/2011.

77	94	Edifici destinati ad uso civile con altezza antincendio superiore a 24 m	fino a 32 m	oltre 32 m e fino a 54 m	oltre 54 m
----	----	--	-------------	--------------------------	------------

### Attività n. 77 secondo l'allegato III al D.M. 7 agosto 2012

Attività Sottoclasse Categoria	Descrizione attività	Descrizione sottoclasse
77.1.A	Edifici destinati ad uso civile, con altezza antincendio > 24 m.	Fino a 32 m
77.2.B	Edifici destinati ad uso civile, con altezza antincendio > 24 m.	Oltre 32 m e fino a 54 m
77.3.C	Edifici destinati ad uso civile, con altezza antincendio > 24 m.	Oltre 54 m

Tabella 1.5 - Attività n.77

Obiettivi dei requisiti di sicurezza antincendio:

- Limitare la probabilità di propagazione di un incendio dal compartimento di origine ad un altro, tramite vani, aperture e cavità della facciata stessa
- Limitare la probabilità di incendio di una facciata e la propagazione dello stesso
- Evitare o limitare la caduta di parti di facciata che possono compromettere l'esodo in sicurezza degli occupanti e l'intervento delle squadre di soccorso.



## 2. NORMATIVE EUROPEE

All'interno dello scenario Europeo si ritrovano le seguenti normative:

- Istruzione tecnica n.249 sulle facciate (FRANCIA)
- Pass 9980:2022 – Valutazione del rischio di incendio su facciate esterne
- Norma inglese BS8414 – British Standard

### EUROPA

In ambito europeo è trattato dalla norma UNI EN 13501-2 “Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione (Parte 2 in base a prove)”.

Le classi di resistenza e le prestazioni misurate per la classificazione sono analoghe a quelle riportate per il caso italiano.

E	15		30	60	90	120
EI	15		30	60	90	120
EW		20	30	60		

Tabella 2.1 - Resistenza al fuoco

La norma stabilisce diversi scenari di incendio, ciascuno dei quali permette di definire il corretto attacco termico nelle diverse situazioni:

- Curva normalizzata temperatura/tempo (incendio post flashover):  
Il rapporto normalizzato temperatura/tempo applicato per l'intera durata della prova ed è un modello di un incendio completamente sviluppato in un compartimento dato dall'equazione:

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$

Dove:

t: è il tempo dall'inizio della prova in minuti (min)

T: è la temperatura media del forno in gradi Celsius (°C)

- Curva d'incendio a lento sviluppo (fuoco covante):

La prova a fuoco covante deve essere utilizzata solo se si prevede che la prestazione di resistenza al fuoco dell'elemento possa essere ridotta dall'esposizione a temperatura associate con la fase di incremento di un incendio. Pertanto, è pertinente per gli elementi per cui prestazioni possono dipendere da velocità di incendio elevate minori di circa 500°C.

La curva di incendio a lento sviluppo è data dall'equazione seguente:

$$T = 154t^{0.25} + 20$$

$$T = 345 \log_{10}(8 * (t - 20) + 1) + 20$$

Dove t (min) è il tempo trascorso dall'inizio del test in minuti e T(°C) è la temperatura media nel forno.

- Incendio "semi-naturale":

Durante questo tipo di incendio la temperatura dei gas deve raggiungere 1000°C entro un periodo da 10 min a 20 min dall'inizio della prova.

- Curva di esposizione a fuoco esterno:

Questo rapporto temperatura/tempo rappresenta l'esposizione della faccia esterna di un muro al fuoco che può provenire dalla finestra di un edificio o da un fuoco esterno che brucia liberamente.

La curva è definita dall'equazione:

$$T = 660 (1 - 0.687e^{0.32t} - 0.313e^{3.8t}) + 20$$

Dove:

t: è il tempo dall'inizio della prova in minuti (min)

T: è la temperatura media del forno in gradi Celsius (°C)

- Attacco a temperatura costante:

La temperatura dipende dal tipo di elemento. La velocità di raggiungimento di questa temperatura è specificata in ogni forma di prova pertinente.

Per gli elementi indicati si devono utilizzare le temperature seguenti:

- a. 20°C per valutare il tasso di perdita delle porte a tenuta di fumo a temperatura ambiente
- b. 200°C per valutare il tasso di perdita delle porte a tenuta di fumo a medita temperatura
- c. 500°C per valutare le prestazioni al fuoco di solai sopraelevati
- d. 1000°C per valutare la resistenza al fuoco fuligginoso dei camini e prodotti affini

## FRANCIA

### 2.1 GUIDA PER LA PROTEZIONE ANTINCENDIO DI FACCIATE IN CLS O MURATURA CON SISTEMA ETICS-EPS

Proteggere le persone dal rischio di incendio e di panico nelle strutture aperte al pubblico e residenziali è una preoccupazione costante delle autorità pubbliche e di tutti coloro che partecipano alla costruzione degli edifici.

I regolamenti specifici per tutti i tipi di edificio delineano le condizioni di sicurezza antincendio da rispettare, in particolare, basandosi sulla disposizione tecnica n.249 relativa alle facciate (IT 249) allegata al decreto del 24 maggio 2010.<sup>4</sup>

Tenendo conto di questi sviluppi, sono stati richiesti ed effettuati appositi test per valutare la conformità delle soluzioni di protezione applicabili ai sistemi di isolamento termico esterni, secondo la prova chiamata “Lepir 2” (Local Experimental Pour Incendie Reel a 2 niveaux, Locale Sperimentale Per Incendio Reale su 2 livelli) definita dal decreto del 10 settembre 1970.

Il protocollo è una guida sulla protezione antincendio di facciate in cls o in muratura rivestite con sistemi ETICS (rivestimento in polistirene espanso).

L’obiettivo di questa guida è limitare la propagazione di un incendio su una facciata in calcestruzzo o in muratura, quando quest’ultima è coperta da un sistema di isolamento termico esterno mediante rivestimento in polistirene espando ETICS -PSE.

Queste soluzioni dipendono da: spessore dell’isolante EPS sulla facciata e dal sistema di rivestimento che copre l’EPS ma anche dal primo isolamento o sovra isolamento.

---

<sup>4</sup> *Protezione antincendio di facciate in calcestruzzo o in muratura con sistemi di isolamento termico esterno con rivestimento in polistirene espanso (ETICS-PSE). (2016).*

Le raccomandazioni contenute in questa guida riguardano ETICS con isolamento EPS utilizzato su facciate in calcestruzzo o in murature.

Il sistema ETICS riguarda l'assemblaggio di pannelli isolanti fabbricati, incollati o fissati meccanicamente al supporto e coperti con un sistema di rivestimento il cui primo strato comprende almeno un rinforzo.

L'insieme protegge il rivestimento esterno della facciata.

Il fissaggio meccanico dei pannelli isolanti al supporto avviene attraverso tasselli o profili.

Gli ETICS a cui si fa riferimento in questa guida devono avere Euroclasse almeno B-s3-d0.

Le principali soluzioni antincendio dipendono dal sistema di isolamento e dallo spessore dell'isolamento EPS nella parte principale:

Sistema di rivestimento che copre l'EPS						
		Spesso (> 10 mm)	Sottile (≤ 10mm)			
		- Rivestimento di base idraulico - Finitura idraulico (cfr. § 3.3.1)	- Rivestimento di base idraulico - Finitura minerale (cfr. § 3.3.2)	- Rivestimento di base idraulico - Finitura organica (cfr. § 3.3.3)	- Rivestimento di base organico impasto + cemento - Finitura organica ignifuga (cfr. § 3.3.4)	- Rivestimento di base organico in impasto pronto per l'uso ignifuga - Finitura organica ignifuga (cfr. § 3.3.4)
Spessore da EPS e (mm)	e ≤ 200	Soluzione A o B	Soluzione A	Soluzione A	Soluzione A	Soluzione A
	200 < e ≤ 300	Soluzione A	non trattato in questa guida			

Figura 2.1 - Soluzioni a seconda di differenti spessori

La soluzione A prevede l'applicazione di strisce incombustibili di protezione orizzontali e continue su tutta la facciata sovrapposte all'EPS. Devono presentare le seguenti caratteristiche:

- Lana di roccia minerale
- Stesso spessore dell'EPS
- Euroclasse A1

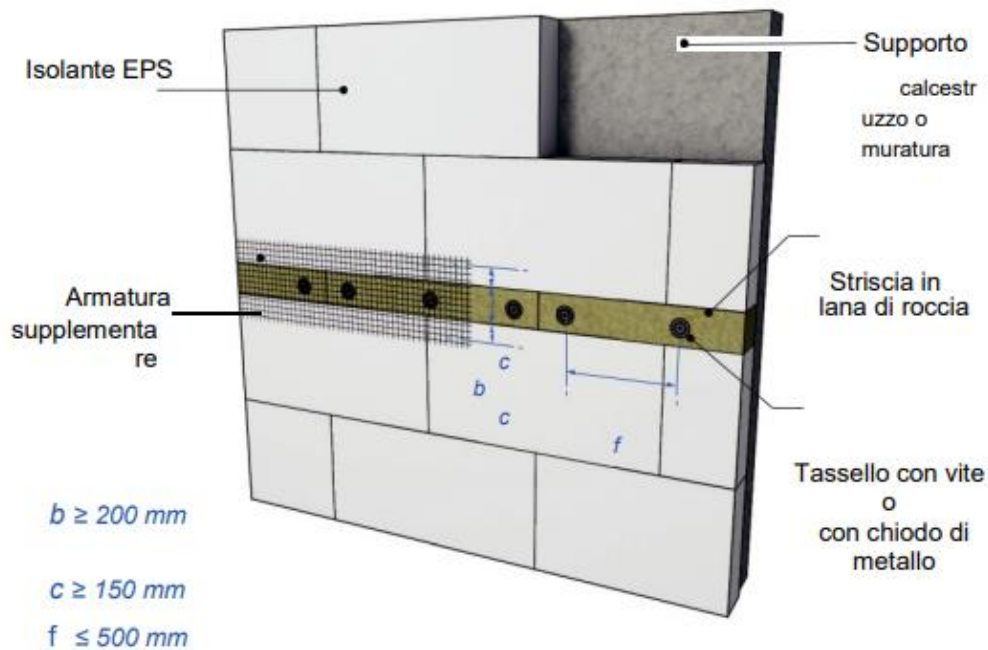


Figura 2.2 - EPS alternato a strisce in lana di roccia

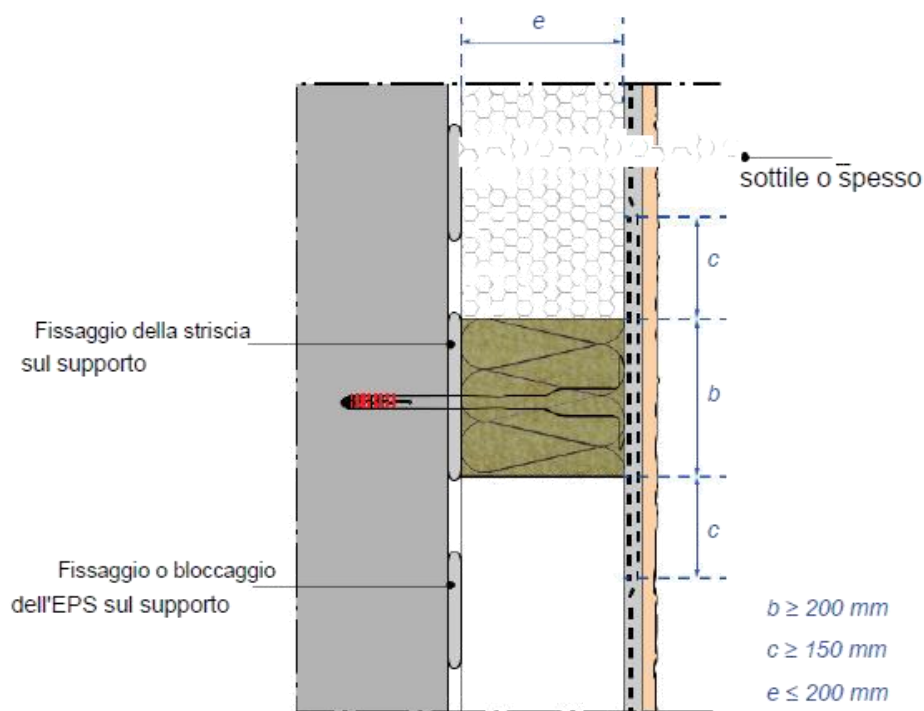


Figura 2.3 - Assemblaggio

In questa sezione si può notare l'alternanza tra strisce di lana di roccia in verde e strati di isolante EPS in bianco.



Le strisce di lana di roccia sono incollate per intero (spessore in grigio) con la malta idraulica di fissaggio o di bloccaggio dell'EPS, e quindi fissate con tasselli con vite o con chiodi metallici. La distanza tra i singoli tasselli deve essere inferiore a 50cm.

Si aggiunge un ulteriore supporto in fibra di vetro che viene applicato sulla striscia in modo che sporga di almeno 150mm su entrambi i lati dell'EPS.

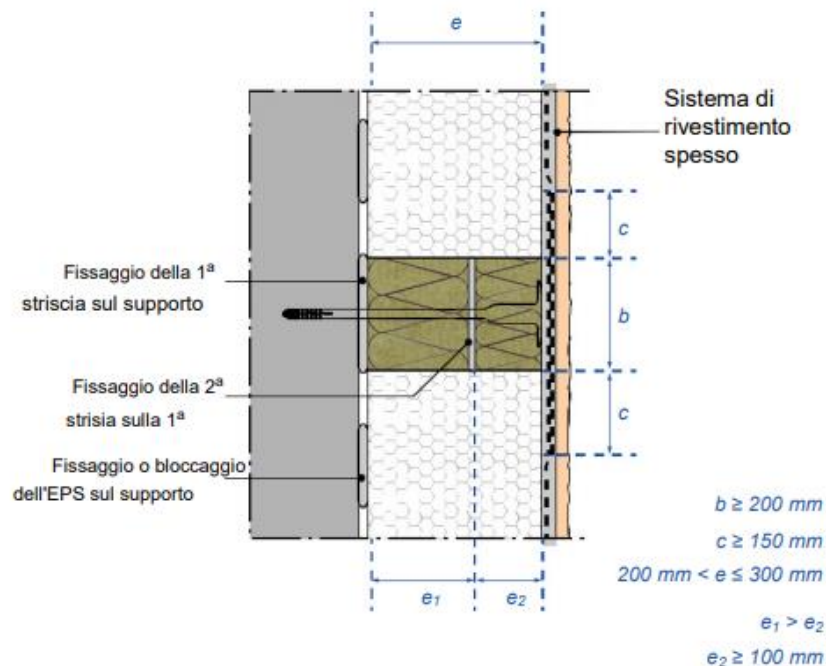


Figura 2.4 - Soluzione A - Sezione con finitura esterna

Il telaio è montato sull'intonaco di base e le strisce presentano una distanza dalle aperture tra i 200 e 500mm.

Le strisce sono disposte o all'estremità inferiore dell'ETICS come nel caso 2 nell'immagine, o ad ogni livello della facciata su cui la distanza tra l'arco delle aperture rispetto al rustico e la parte inferiore delle strisce deve essere compresa tra 200 e 50mm.

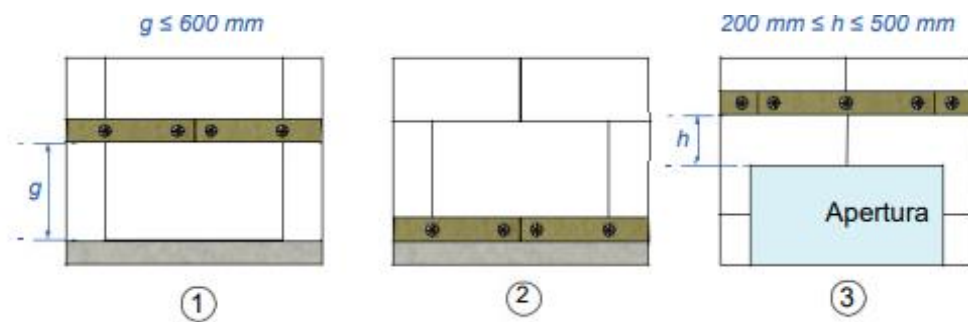


Figura 2.5 - Soluzione A - Disposizione strisce in facciata

Per i sistemi caratterizzati da intonaco idraulico spesso, nella parte inferiore dell'ETICS viene utilizzata una sola striscia di sovrapposizione ad una distanza massima di 60cm al di sopra del livello base, come mostrato qui in figura:

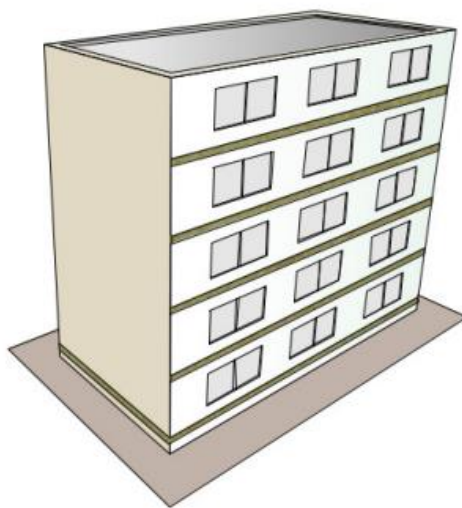


Figura 2.6 - Soluzione A - 1 striscia di base

Per i sistemi di rivestimento sottili, le strisce di sovrapposizione sono disposte all'estremità inferiore dell'ETICS ma anche al primo livello tra piano terra e piano primo e al secondo livello tra piano primo e piano secondo.

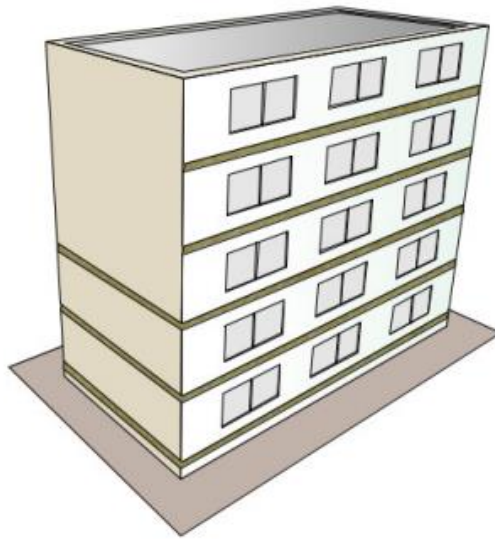


Figura 2.7 - Soluzione A - Striscia PT, P1, P2

Le disposizioni di cui sopra non vengono applicate alle facciate cieche, che formano un diedro angolare non superiore ai  $135^\circ$  con facciate che presentano aperture.

In questa situazione, le facciate cieche devono essere trattate come facciate con aperture.

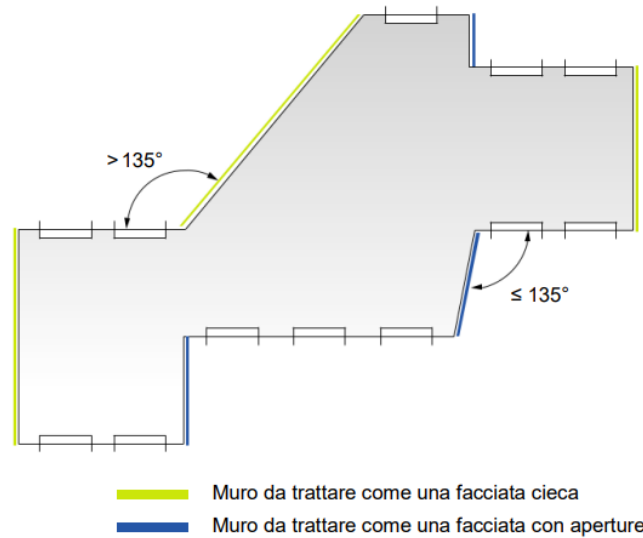


Figura 2.8 - Soluzione A.1 - Facciata cieca e facciata con aperture

La soluzione B invece, riguarda una striscia implementata nella parte inferiore dell'ETICS (base dell'edificio) come mostrato nella figura successiva.

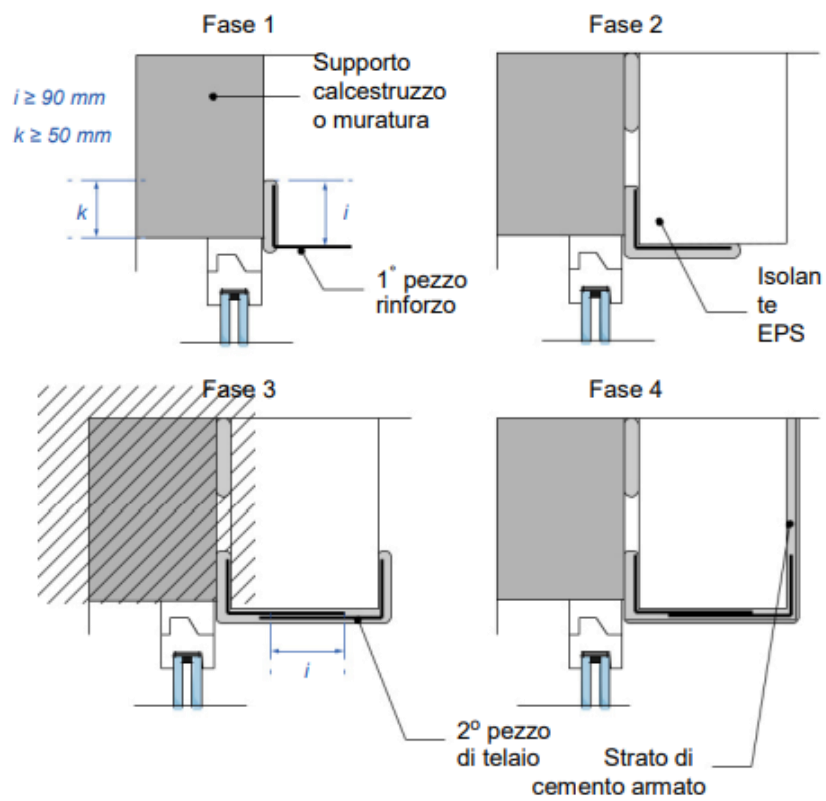


Figura 2.9 - Soluzione B

## 2.2 ISTRUZIONE TECNICA 249 E PROVA LEPIR 2

La norma francese che riguarda l'istruzione tecnica 249<sup>5</sup> su facciate con ordinanza del 24 Maggio 2010 (INSTRUCTION TECHNIQUE 249-RELATIVE AUX FAÇADES-Arrêté du 24 mai 2010), è volta a valutare la propagazione dell'incendio all'esterno delle facciate per edifici regolamentati, esercizi aperti al pubblico, edifici residenziali e grattacieli, nei limiti dei requisiti di ciascuna norma.

L'istruzione tecnica 249 descrive in particolare le tipiche disposizioni costruttive per i sistemi di isolamento termico esterno per facciate, evitando controlli sperimentali o prove di laboratorio da effettuare.

Il suo scopo è quello di:

- Specificare le condizioni di applicazione della norma;
- Definire le disposizioni relative alle facciate e al loro collegamento con i solai che non richiedono verifiche sperimentali mediante la prova LEPIR 2, definita sulla classificazione delle facciate vetrate in relazione al pericolo di incendio;
- Definire le disposizioni per impedire il rapido passaggio di fiamme o gas caldi da un piano all'altro.

Questa istruzione arriva al momento giusto per chiarire alcuni dubbi nelle costruzioni. L'implementazione di soluzioni P3 o P4 non è da non considerare in quanto può essere dannosa se non è stata prevista.

---

<sup>5</sup> *Documentation Batiss - Instruction Technique 249. (2010).*

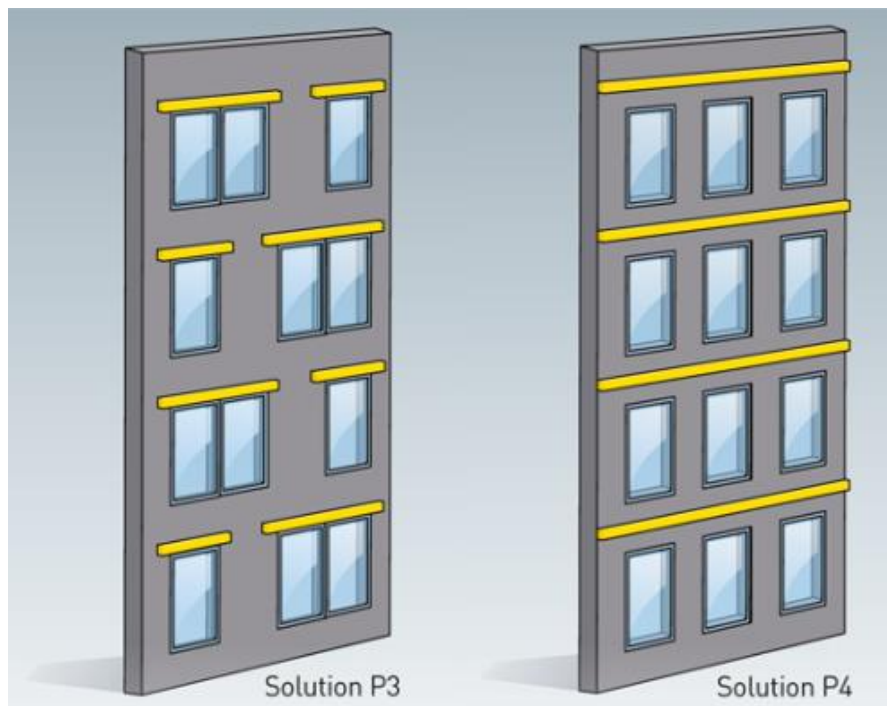


Figura 2.10 - Soluzioni differenti

La soluzione **P3** riguarda una banda di protezione in lana minerale dello stesso spessore dell'isolante e di un'altezza di 20cm, posizionata sopra ogni finestra, sporgendo di 30cm su entrambi i lati delle singole finestre di grandi dimensioni.

La soluzione **P4** invece è identica alla P3 ma la striscia di protezione è posizionata sull'intera larghezza della facciata.

Le due soluzioni descritte all'interno dell'istruzione tecnica 249 sostituiscono una sperimentazione o prova da effettuare.

La prova Lepir 2 consiste in un test che è stato effettuato realizzando una parete in larga scala 5,5m di lunghezza per 7m di altezza, simulando una facciata di un edificio di tre piani fuori terra con un telaio tamponato in cemento armato e una facciata con due aperture sia al piano terra che al primo piano e una veletta in prossimità senza aperture.

La parete di facciata è stata costruita con blocchi cassero Isotex in legno-cemento con all'interno presente un isolante EPS di 23cm.



*Figura 2.11 - Durante la costruzione dell'edificio oggetto di studio*

All'interno del locale del piano terra sono stati disposti 600 kg di bancali in legno di pino, utilizzati come fonte di innesco. La prova ha avuto una durata totale di 60 minuti.

Tra le varie tipologie di legno, il legno di pino è un combustibile discreto che produce molto fumo durante le prime fasi iniziali di incendio e, che presenta una fiamma scintillante che riscalda rapidamente.

Durante la prova, attraverso dei rilevatori di temperatura, sono stati registrati i diversi andamenti delle variazioni di temperatura sia internamente che esternamente all'edificio, su ogni livello di altezza.

Nell'arco di 60 minuti di prova, al piano terra i rilevatori hanno registrato un picco di oltre 800°C dopo 10/20 minuti di prova; mentre al primo piano sono stati rilevati solamente 35°C.

Esternamente lungo l'intera facciata, le temperature massime registrate son passate da 800°C al piano terra, a 180°C al secondo piano.

Riguardo al secondo piano è stato constatato che l'isolante presente internamente al blocco è risultato intatto senza alcuna propagazione parietale, sulla lunghezza della facciata.

I risultati testimoniano le ottime prestazioni delle pareti realizzate in legno-cemento.

Qui di seguito viene illustrato l'edificio oggetto di studio:



*Figura 2.12 - Prima della prova*



*Figura 2.13 - Al termine della prova*



Le soluzioni costruttive fornite nell'istruzione tecnica di cui sopra, si riferiscono in alcuni casi alla regola C+D.

La regola C+D riguarda la somma tra le distanze verticale (C) e orizzontale (D) che formano un ostacolo resistente al fuoco tra due estremità sovrapposte come definito all'interno di questa norma IT249.

La regola C+D vede come C la distanza verticale pari al valore definito nella figura. Quando le aperture vetrate però non sono sovrapposte la C viene misurata in base alla distanza minima più breve tra queste aperture.

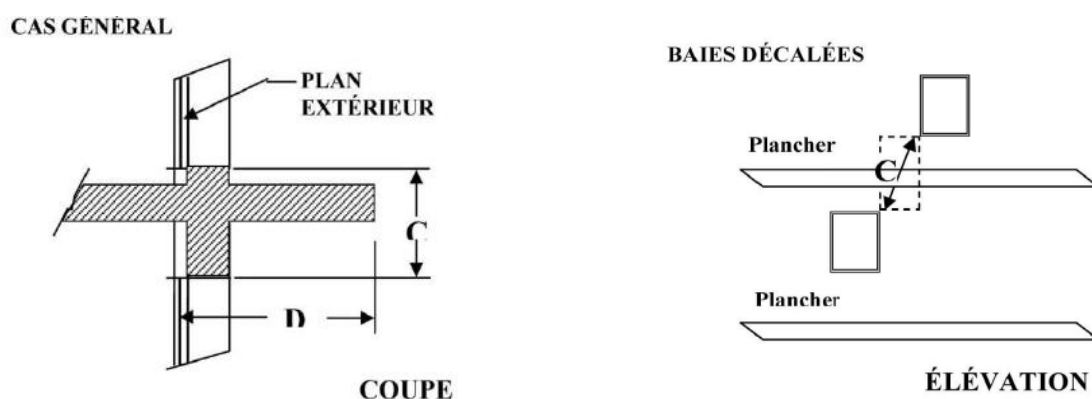


Figura 2.14 - regola C+D

D è la distanza orizzontale tra il piano esterno del tamponamento e la superficie esterna della facciata in linea con le aperture sovrapposte, comprese le sporgenze se formano una barriera resistente al fuoco.

La misurazione viene effettuata sulla massima larghezza delle aperture sovrapposte. Questo valore deve essere preso in considerazione solo quando è maggiore o uguale a 0.15m.

Questa definizione può essere applicata in primo luogo su facciate continue in cui l'altezza di C è definita nella figura seguente:

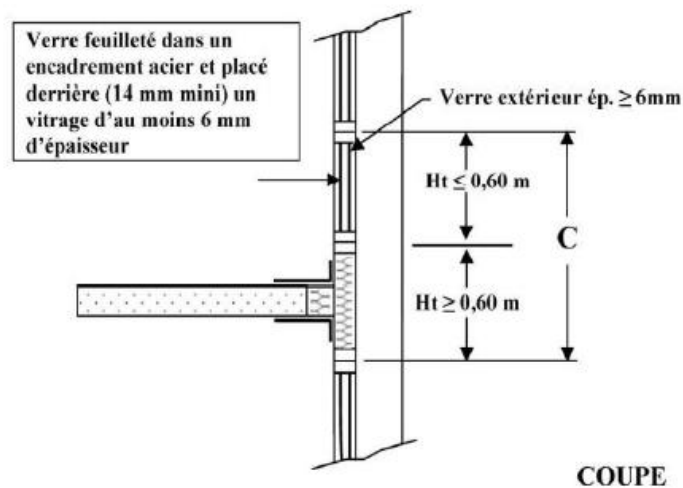


Figura 2.15 – regola C+D

Per quanto riguarda invece la definizione dello spessore D, quando presenti elementi antincendio con un grado di resistenza al fuoco di un'ora o E60/RE60, questi possono essere inclusi nella classe D.

Per gli edifici in cui il grado di resistenza al fuoco del pavimento richiesto è inferiore a un'ora, deve essere mantenuto lo stesso requisito per l'elemento sporgente.

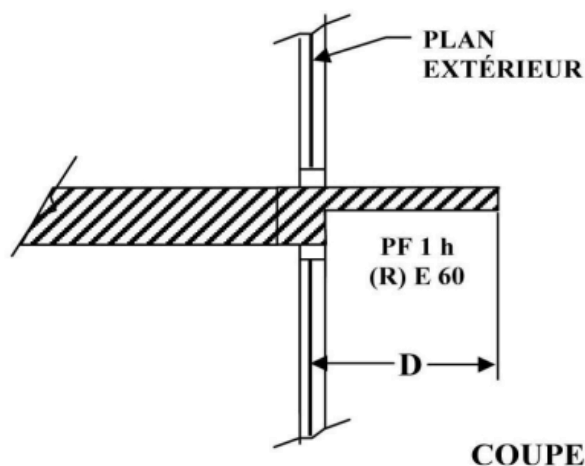


Figura 2.16 - Elemento D con sporgenza

Per quanto riguarda la realizzazione di *facciate pesanti*, queste possono essere realizzate con elementi in muratura, blocchi di cemento o cemento prefabbricato.

La tenuta alle fiamme e ai gas caldi è garantita nella giunzione facciata-pavimento quando le facciate che comprendono anche i parapetti, sono

costituite da elementi prefabbricati pesanti su cui sono appoggiati o fissati i pavimenti.

La giunzione soddisfa una classe di resistenza al fuoco equivalente alla classe di resistenza al fuoco del pavimento con un massimo di 1 ora.

Esistono però anche soluzioni costruttive senza applicazione della regola C+D.

Devono essere adottate disposizioni per impedire il passaggio di fiamme o gas caldi attraverso la giunzione facciata-pavimento per almeno 15 minuti.

Questo requisito viene raggiunto o implementando le stesse disposizioni associate alla regola C+D oppure installando una guarnizione continua tra pavimento e facciata per l'intera lunghezza della stessa.

Per quanto riguarda i sistemi di isolamento classificati almeno A2-s3-d0 non richiedono disposizioni particolari nelle costruzioni dal punto di vista della sicurezza antincendio.

Se l'isolamento non è classificato almeno in questa classe, il produttore deve essere in grado di fornire la prova del monitoraggio della resistenza al fuoco della materia prima. La certificazione di terzi è considerata una prova sufficiente per poter garantire resistenza al fuoco.

Queste disposizioni si applicano anche ai pannelli compositi di tipo sandwich costituiti da un pannello di polistirene espanso inserito tra due pannelli di lana di legno classificati come B-s1-d0.

## 2.3 CONCLUSIONI E CONFRONTO TRA GUIDA DI FACCIATE CON SISTEMA ETICS E ISTRUZIONE TECNICA 249

La differenza tra le prescrizioni francesi presenti nei paragrafi precedenti riguarda l'istruzione tecnica francese 249 e la guida per la protezione antincendio di facciate con sistema ETICS-EPS.

Per quanto riguarda la guida, il suo obiettivo è quello di limitare la propagazione di un incendio su una facciata in calcestruzzo o in muratura, quando quest'ultima è coperta da un sistema di isolamento termico esterno mediante rivestimento in polistirene espanso chiamato ETICS - EPS.

Non solo viene data importanza al materiale di isolamento utilizzato in facciata ma anche al rivestimento esterno della facciata stessa.

La guida sul sistema ETICS riguarda quindi due soluzioni differenti: la prima coinvolge un sistema aggiuntivo di isolamento a strisce incombustibili, per una protezione orizzontale e continua su tutta la facciata. Queste strisce sono sovrapposte all'EPS, hanno il medesimo spessore dell'EPS e devono essere in lana di roccia Euroclasse A1.

Inoltre, sono disposte o all'estremità inferiore dell'ETICS o ad ogni livello della facciata su cui la distanza tra l'arco delle aperture rispetto al rustico e la parte inferiore delle strisce, deve essere compresa tra 200 e 50mm.

La soluzione B invece riguarda il posizionamento delle strisce nella parte inferiore del sistema di facciata ETICS.

Per quanto riguarda l'istruzione tecnica 249, viene utilizzata nel momento in cui non bisogna ricorrere alla prova dei materiali LEPIR 2.

L'istruzione tecnica prevede l'utilizzo di una regola chiamata C+D, di distanze di separazione orizzontali e verticali tra le aperture e aggetti di un edificio.

Nel momento in cui la regola non viene applicata, nel caso di edifici pesanti, bisogna procedere con il giunto facciata-solaio che deve avere determinati requisiti di resistenza al fuoco, e deve resistere almeno un'ora.

Nel momento in cui si ha un isolamento incombustibile non si ricorre a nessun requisito, ma nel momento in cui l'isolamento non rientra in questa classe, bisogna ricorrere al certificato di resistenza al fuoco da parte del produttore, sufficiente per garantire una resistenza generale.

In conclusione:

- Bisogna utilizzare materiali incombustibili
- Si pone l'isolante eps alternato a strisce incombustibili in lana di roccia dello stesso spessore (per sistema etics)
- Si rispetta una distanza c+d tra aperture
- Si progetta un giunto solaio-facciata con requisiti di resistenza al fuoco, avente almeno un'ora di resistenza.

## 2.4 UN NUOVO METODO DI VERIFICA PER DETERMINARE IL COMPORTAMENTO AL FUOCO DELLE FACCIATE CON SISTEMA ETICS

Ultimamente in edilizia è stato considerato un significativo utilizzo di materiali combustibili come isolanti termici sia negli involucri edilizi che nelle facciate.

A causa della maggiore diffusione degli incendi i danni che si verificano in caso di un incendio possono essere considerevoli e comporterebbero un aumento dei rischi per gli occupanti degli edifici.

Questo articolo<sup>6</sup> descrive la proposta di un nuovo metodo di prova su media scala per valutare il comportamento al fuoco delle facciate con sistema composito di isolamento termico esterno (ETICS). I dati raccolti durante il test potrebbero essere utili anche per una progettazione basata sull'applicazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio per definire i requisiti di sicurezza dell'edificio, i sistemi di evacuazione degli occupanti, la sicurezza dell'intervento delle squadre di soccorso e per stimare i danni residui sull'edificio e su quelli adiacenti dopo lo scoppio di un incendio.

Progettare le facciate degli edifici significa considerare le caratteristiche architettoniche ed estetiche in relazione agli aspetti di protezione dagli agenti atmosferici.

Gli edifici più recenti sono costituiti da facciate rivestite da ampie pannellature dotate di materiali isolanti a base di plastica o da ampie superfici vetrate, in grado di svolgere i più svariati scopi, tra cui la riduzione dell'energia, il comfort climatico, il recupero di energia elettrica attraverso pannelli fotovoltaici, ampi spazi per la pubblicità.

Per fare in modo di ottenere un efficientamento energetico all'interno dell'edificio si è introdotto un significativo utilizzo di materiali

---

<sup>6</sup> Interflam 2019: facades. (2020).

combustibili come isolanti termici negli involucri degli edifici e soprattutto nelle facciate.

I danni causati in caso di incendio possono quindi diventare considerevoli, a causa della maggiore propagazione del fuoco, con rischi aggiuntivi per gli occupanti dell'edificio e mettendo a repentaglio la sicurezza delle squadre di soccorso, con conseguenze sociali, economiche e ambientali.

Diversi incendi che hanno coinvolto sistemi compositi di isolamento termico esterno (ETICS) con isolamento in polistirene espanso (EPS) in Germania hanno portato a un'ampia discussione e le autorità edilizie tedesche hanno richiesto test in uno scenario di incendio che rappresentasse un contenitore di rifiuti in fiamme.

**Tuttavia, un buon progetto di sicurezza antincendio dell'edificio deve tener conto delle prestazioni della facciata in caso di incendio all'interno di un processo di valutazione del rischio di incendio.**

I prodotti da costruzione per l'edilizia in Europa devono soddisfare i requisiti legali indicati nel Regolamento sui prodotti da costruzione (CPR n. 305/2011).

Il requisito di base n. 2 del CPR - sicurezza in caso di incendio - prevede che le opere di costruzione debbano essere progettate e costruite in modo tale che, in caso di incendio, la capacità portante della costruzione sia tale da non compromettere la sicurezza.

Gli obiettivi principali sono:

- La generazione e la diffusione di fuoco e fumo all'interno dell'opera siano limitate;
- La diffusione dell'incendio alle opere vicine è limitata;
- Gli occupanti possono lasciare l'edificio o essere salvati con altri mezzi;
- Si tiene conto della sicurezza delle squadre di soccorso.

Pertanto, la norma europea armonizzata, sviluppata per soddisfare la sicurezza di base dei prodotti da costruzione, classifica le prestazioni antincendio dei prodotti da costruzione.

Ad esempio, la reazione al fuoco dei prodotti da costruzione è classificata secondo la norma EN 13501-1, che considera i prodotti di classe A come non combustibili, la classe B è la migliore classe ottenibile per i materiali combustibili, mentre le classi C, D ed E sono classi di reazione al fuoco meno performanti e infine la classe F è per i prodotti che non soddisfano il test di infiammabilità richiesto per la classificazione E.

I dati forniti dai test possono essere considerati come parametri di pericolosità e applicati durante il processo di valutazione del rischio.

Alcuni studi di validazione hanno lo scopo di garantire la sicurezza antincendio degli edifici e di decidere se l'utilizzo di materiali combustibili in facciata possa essere consentito, evitato o tenuto sotto controllo, migliorando le parti più vulnerabili della facciata.

Sono stati eseguiti alcuni test antincendio di facciata per testare diversi elementi con spessori dell'EPS differenti e variabili. L'obiettivo principale è stato quello di stabilire uno strumento standard comune a tutti gli stati membri dell'Unione Europea, per la regolamentazione della resistenza al fuoco dei sistemi di facciata.

È importante ribadire che non tutti i metodi di prova avevano lo stesso scopo; ciò vale anche per i sistemi di facciata che non presentano ETICS.

I risultati dei test mostrano che il vento intorno all'impianto di prova può avere un impatto significativo sui risultati del test.

Il 22 luglio 2014 il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ha sottoscritto un accordo di ricerca per la valutazione delle prestazioni antincendio degli ETICS per i sistemi di facciata degli edifici. I partner del progetto di ricerca sono la Direzione Centrale per la Prevenzione Incendi e la Sicurezza Tecnica del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, il laboratorio notificato L.S. Fire testing institute e due produttori italiani di sistemi isolanti.



Il progetto è stato finalizzato alla definizione di un metodo di prova in grado di descrivere la propagazione del fuoco su facciate di edifici con ETICS, per la certificazione delle loro prestazioni antincendio.

Grazie alla peculiarità di questo sistema di facciata (a differenza di altri sistemi come le facciate ventilate, che necessitano di un metodo di prova su larga scala) è stato possibile ridurre lo studio ad un singolo piano.

Questo metodo risulta essere più economico rispetto ai metodi su larga scala e ottimale per consentire misure di laboratorio per la raccolta di parametri pericolosi.

L'obiettivo dell'accordo di ricerca è quindi duplice: fornire agli operatori economici italiani un metodo di prova con un impatto economico limitato e studiare il comportamento al fuoco degli ETICS anche attraverso l'esecuzione sperimentale di prove secondo lo schema protocollare sviluppato durante la fase di attuazione dell'accordo di ricerca.

La prima parte del programma di ricerca si è concentrata sullo sviluppo di un metodo di prova per il kit ETICS con intonaco, considerando questi due scenari d'incendio:

- Scenario d'incendio in fase di costruzione: scenario d'incendio in cui solo l'elemento **isolante** non rivestito del sistema è esposto a una fonte di ignizione.
- Scenario d'incendio a lavoro finito (oggetto dello studio): scenario d'incendio in cui il **sistema** ETICS nelle sue condizioni di utilizzo finale è esposto a una fonte di ignizione.

La prima parte del programma di ricerca ha dato origine alla nota del Ministero dell'Interno italiano denominata "**Procedura 281**".

La procedura consiste in un campione di prova ETICS di facciata di dimensioni di 2950 mm × 2950 mm colpito da una fiamma premiscelata di un bruciatore lineare da 30 kW, che rappresenta lo scenario dei lavori di costruzione.

Per lo scenario di lavoro finito, lo stesso campione viene colpito da un bruciatore lineare da 300 kW.

In entrambi i casi, viene utilizzata una metodologia di prova (ISO 9705) che simula un incendio in una corner room con una singola finestra aperta, per raccogliere i prodotti della combustione e registrare il rilascio di calore totale (THR), il tasso di rilascio di calore (HRR) e le quantità di fumo come parametri pericolosi.

Ulteriori criteri sono la **misurazione della propagazione della fiamma e la registrazione delle goccioline ardenti**. In generale, i problemi che si pongono quando si decide di definire un metodo per la valutazione del comportamento al fuoco di un prodotto o di un materiale sono vari.

Dipendono dall'uso dei materiali, dalla necessità (e dalla possibilità) di rappresentarlo durante l'incendio, dall'identificazione dei parametri che devono essere misurati e registrati, dalla valutazione complessiva dei dati raccolti durante l'esecuzione dei test per qualsiasi classificazione da utilizzare nelle valutazioni del comportamento al fuoco richieste.

Il nuovo obiettivo è stato quello di individuare un **protocollo di prova concepito per essere ripetibile, versatile e in grado di fornire i parametri di valutazione rilevanti richiesti per una valutazione del rischio incendio**.

Inoltre, le quantità pericolose per il fuoco potrebbero essere utili anche per una progettazione basata sulle prestazioni che si avvale dell'ingegneria della sicurezza antincendio per definire l'evacuazione degli occupanti, la sicurezza dell'intervento delle squadre di soccorso e per stimare il danno residuo sull'edificio e su quelli adiacenti dopo l'incendio.

Poiché l'obiettivo del test di valutazione del rischio d'incendio proposto è il comportamento al fuoco delle facciate ETICS, il passo successivo è stato l'identificazione degli scenari di interesse.

Lo scenario di incendio più significativo è rappresentato da una fiamma e da altre emissioni di fuoco che fuoriescono da una finestra in cui è stato raggiunto il flashover che ha colpito la facciata.

L'altezza della fiamma e la temperatura che fuoriesce da una finestra di un incendio in un locale di un edificio sono funzione della geometria del locale, delle aperture del locale (sia la dimensione che la forma delle aperture) e dell'HRR dell'incendio.

Secondo uno scientifico *Fang* la fiamma espulsa da un'apertura ha una temperatura di circa 550°C all'altezza di circa 1,2 m, utilizzando un presepe di legno di 30 kg come combustibile.

Per descrivere l'altezza della fiamma di facciata, gli autori utilizzano di solito l'altezza media della fiamma come parametro che si verifica quando l'intermittenza assume il valore del 50% sopra il piano neutro dell'apertura.

Un modello classico sull'altezza della fiamma di facciata è stato proposto da *Delichatsios*, un ingegnere meccanico che ha effettuato molti studi legati alla sicurezza antincendio. All'interno del modello viene analizzata la fiamma della facciata, la quale può essere fisicamente considerata generata da una sorgente di fuoco rettangolare sul piano neutro dell'apertura.

Inoltre, l'ambiente in cui si sviluppano gli incendi di facciata è solitamente complesso e comprende vento, pressione, struttura della facciata dell'edificio e così via.

Per studiare il fenomeno dell'incendio in queste condizioni, sono state condotte diverse ricerche. Per quanto riguarda l'effetto delle pareti laterali, i risultati mostrano che la fiamma della facciata si allunga fino a raggiungere un livello elevato e l'altezza della fiamma aumenta con la diminuzione della distanza di separazione tra le due pareti laterali.

Per quanto riguarda la condizione del vento ambientale, la fiamma della facciata viene compressa e la sua altezza diminuisce.

**L'altezza** della fiamma di facciata espulsa da un'apertura di un compartimento antincendio in presenza di vento esterno è stata studiata da *L. Hu* ed è stato osservato che l'altezza della fiamma diminuisce significativamente con l'aumento della velocità del vento esterno.

In uno dei documenti quantitativi sui parametri dell'altezza della fiamma di facciata, *Lee* propone la seguente correlazione sperimentale:

$$\frac{W_{f,max}}{Z_f} = \text{func}\left(\frac{l_1}{Z_f}\right)$$

dove  $W_{f,max}$  è la larghezza massima della fiamma (m),  $Z_f$  è l'altezza della fiamma (m) e  $L_1=(A * \sqrt{H})^{2/5}$  è la scala di lunghezza caratteristica che rappresenta la condizione di uscita all'apertura (m).

L'apertura considerata nel test è caratterizzata da una larghezza di 1000 mm e un'altezza di 1250 mm, con un rapporto larghezza/altezza  $W / H = 0,8$ .

Analizzando il documento riguardante l'evoluzione della larghezza e della profondità della fiamma emessa da una finestra di una facciata di un edificio sottoventilato, è possibile osservare che la correlazione di *Lee* può essere approssimativamente vera anche per aperture con ( $l_1/Z_f > 0,33$ ). Assumendo la stessa dimensione per l'apertura del piano inferiore da cui fuoriesce la fiamma, è possibile prevedere l'altezza della fiamma  $Z_f$  in base alla correlazione di *Lee*:  $l_1/Z_f$

$$\frac{W_{f,max}}{Z_f} = \frac{l_1}{Z_f} + 0.12$$

Le larghezze di fiamma massime sono generalmente maggiori della profondità di fiamma massima e crescono entrambe con l'aumento dell'HRR.

Per un'apertura quadrata, si scopre che l'ampiezza massima della fiamma è più grande dell'area di apertura.

Considerando che la larghezza massima della fiamma (m) è approssimativamente uguale all'ampiezza dell'apertura (m) aumentata di un fattore 1,4, è possibile determinare l'altezza di fiamma  $Z_f$  per l'apertura considerata nella prova proposta.

$$Z_f = \frac{W_{f,max} - l_1}{0.12} = 2.14 \text{ m}$$

La Figura 2.17 illustra la sezione e la vista frontale della fiamma che si sprigiona da un'apertura di una camera di flashover. Il rapporto tra l'altezza della base della fiamma fino alla base dell'apertura, rispetto all'altezza dell'apertura è quasi costante ( $H_E \approx 0,28 H$ ) per diverse aperture, quindi nella nostra configurazione proposta:

$$H_E \approx 0.28 H = 0.28 \cdot 1.25 = 0.35 \text{ m.}$$

E la lunghezza della fiamma che dovrebbe partire dalla parte superiore dell'apertura del piano più basso è:

$$Z_{f,top} = Z_f - (H - H_E) = 2.14 - (1.25 - 0.35) = 1.24 \text{ m.}$$

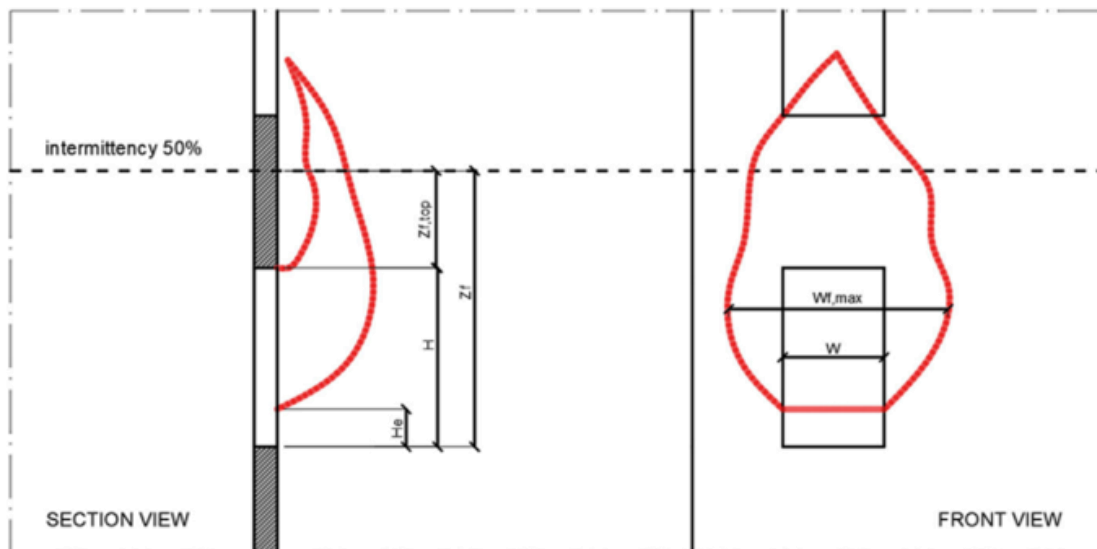


Figura 2.17 - Altezza fiamma

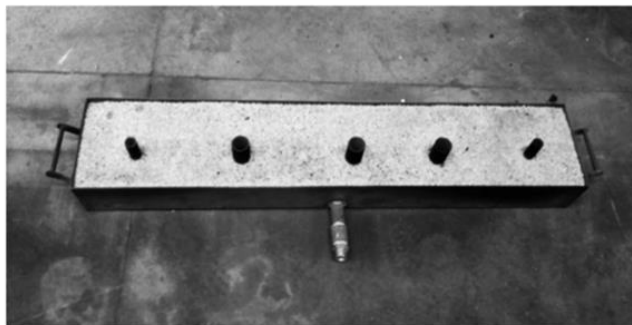
Pertanto, come scenario d'incendio più rappresentativo è stato scelto un bruciatore a gas (1250 mm × 240 mm × 125 mm, vedi Figura 2), con una potenza di 500 kW, che fornisce un attacco termico di 20 minuti sulla facciata, con una dimensione costante della fiamma di circa 1250 mm × 1200 mm.

Un attacco termico a 500 kW rappresenta un incendio sviluppato che permette l'incremento dei valori THR e RHR.

Il bruciatore è la parte dell'impianto di combustione in cui avviene la miscelazione tra comburente e combustibile che avviano la combustione con la produzione di una fiamma.

Questo attacco di fuoco, con questa potenza, rappresenta una fiamma che viene espulsa da un'apertura di una stanza in cui si raggiunge il flashover. La configurazione di prova prevede che il bruciatore a gas sia posizionato 50 mm sotto la superficie inferiore del campione per attaccare la superficie inferiore della base del manufatto, tenendo conto di tutti gli effetti del meccanismo di uscita di una fiamma da un'apertura (una finestra) che coinvolge la facciata esterna dell'edificio.

I bruciatori a propano, quindi, applicano sempre lo stesso attacco termico, lo stesso irraggiamento, producono sempre la stessa quantità di fumo da sottrarre poi al fumo totale misurato nella prova e quindi permettono di verificare i danni causati alla facciata in esame con un'ottima riproducibilità.



*Figura 2.18 - Bruciatore*

Alla fine del 2016, sono state raccolte alcune osservazioni di altri laboratori antincendio europei e alcuni di essi hanno apportato modifiche e miglioramenti nella procedura di prova dopo aver cambiato la forma delle facciate sottoposte al test: invece di utilizzare un campione composto da una superficie piana di tre metri per tre, con una finestra al centro, si è deciso di modificare il manufatto in esame aggiungendo una parete ortogonale, per produrre un diedro, che si suppone rappresenti meglio una configurazione reale dell'edificio.

Il campione è stato modellato con un unico angolo e con un'apertura centrale a finestra di 100 mm × 125 mm, posta a 170 mm dalla base e con 57 termocoppie disposte in modo da misurare l'aumento di temperatura verso l'alto e lateralmente, a diverse profondità (Figura 2.19).

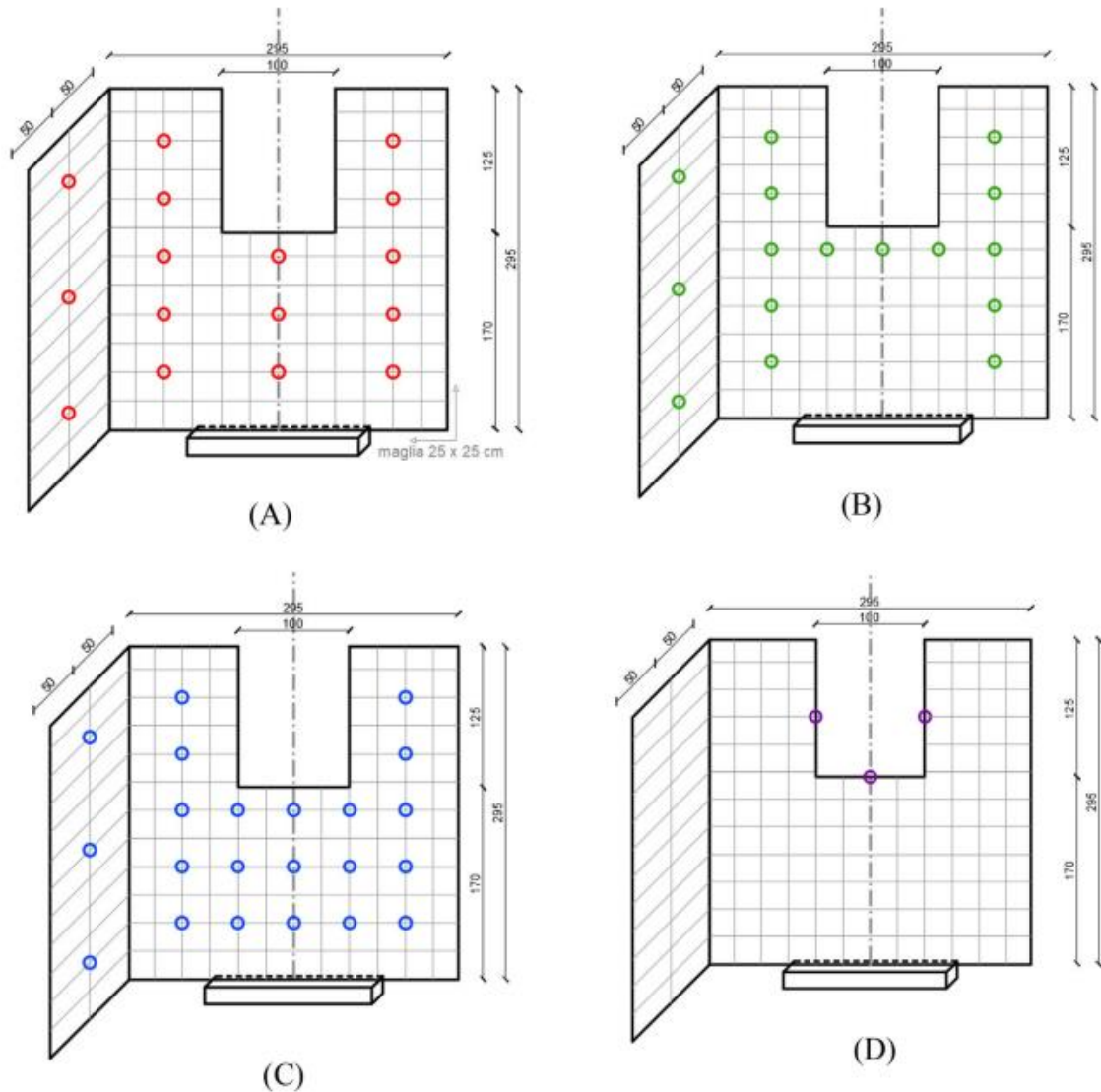


Figura 2.19 - Termocoppie

La Figura 2.20 mostra la vista in sezione del campione evidenziando i tre livelli di posizione delle termocoppie nella facciata in esame.

Il primo livello di termocoppie è stato posizionato immediatamente all'interno dell'intonaco di rivestimento (vedi Figura 3A).

Il secondo livello, al 50% dello spessore del prodotto isolante (vedi Figura 3B).

Il terzo e ultimo livello di approfondimento vede le termocoppie posizionate esattamente all'altezza della superficie della parete dell'edificio, muratura o del legno, a seconda della natura del campione di prova, misurando così la temperatura sulla superficie dell'edificio che deve essere termicamente isolata nelle normali condizioni di utilizzo finale (vedi Figura 3C).

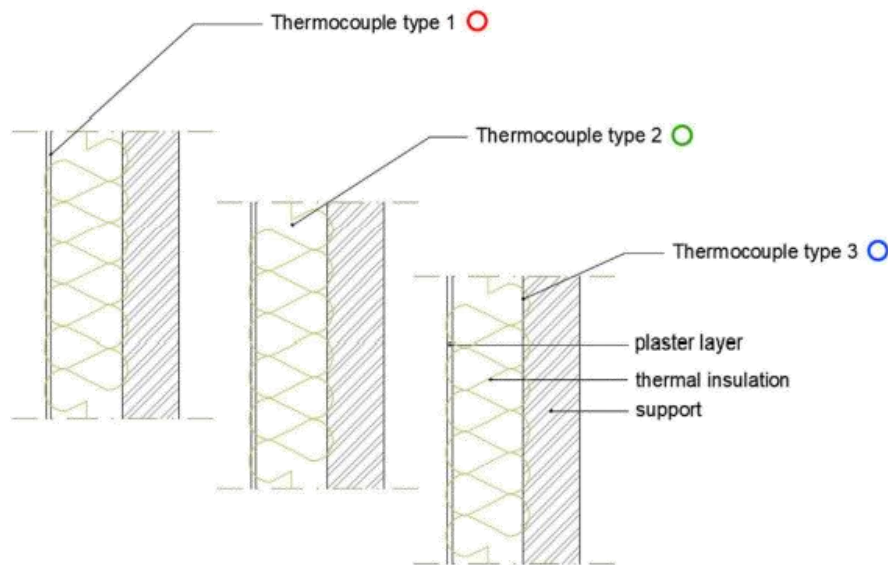


Figura 2.20 - 3 posizioni di termocoppie

La misurazione comprendeva la registrazione dell'andamento della temperatura con termocoppie di tipo 57 K; lo scopo è ottenere l'andamento della penetrazione dell'energia imposta dal modello di incendio all'interno del campione di facciata in prova, durante il tempo della prova stessa.

Intorno all'apertura sono state posizionate altre tre termocoppie direttamente esposte alla fiamma del bruciatore (vedi Figura 2.19D).

Inoltre, cinque sensori di flusso di calore raffreddati ad acqua sono stati collocati all'interno dell'apertura della finestra e all'esterno sul lato, come mostrato nella Figura 2.21.

Questi strumenti sono utilizzati per raccogliere informazioni preziose da utilizzare negli approcci basati sulle prestazioni (ingegneria della



sicurezza antincendio), come il flusso critico minimo per l'accensione o la pirolisi e il tempo di accensione.

Lo scopo dei sensori di flusso di calore dietro la finestra è quello di determinare il flusso di calore interno per sapere se l'incendio potrebbe diffondersi all'interno dell'edificio attraverso l'apertura e se il meccanismo potrebbe ripetersi nei piani superiori dell'edificio.

I sensori di flusso termico laterali sono stati utilizzati per determinare l'effetto su un'ipotetica facciata adiacente.

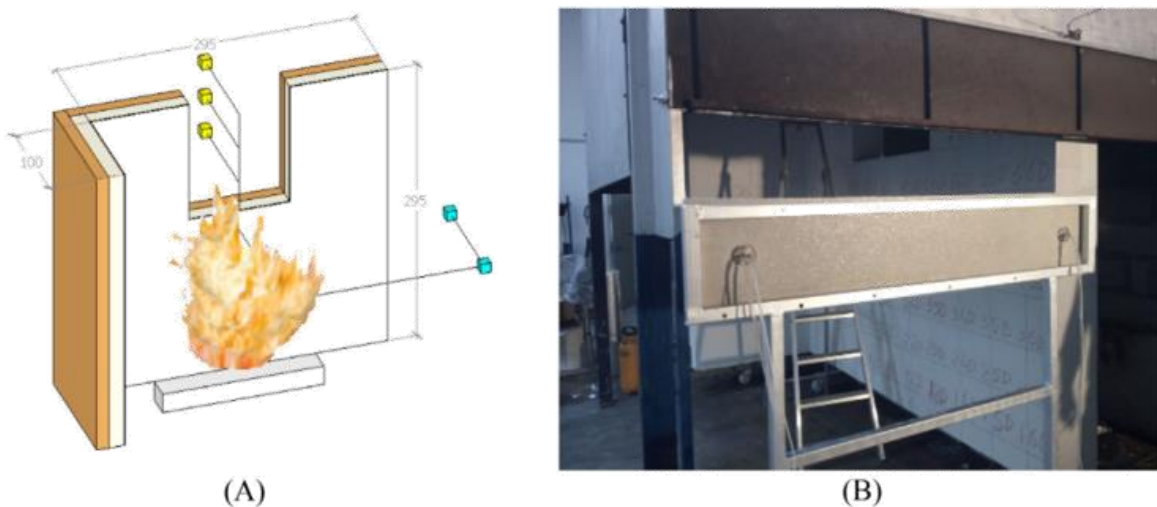


Figura 2.21 - Sensori di flusso di calore

La Figura 2.22 invece, mostra come il campione di prodotto viene posizionato sotto la cappa del Room Corner Test per consentire il convogliamento dei gas di combustione nel condotto di scarico. Il sistema di raccolta dei prodotti della combustione è progettato in modo da far sì che il flusso d'aria e gli effluenti generati dall'incendio vengano aspirati a diverse velocità per miscelarli all'interno del condotto e consentirne l'esaminazione grazie agli analizzatori.

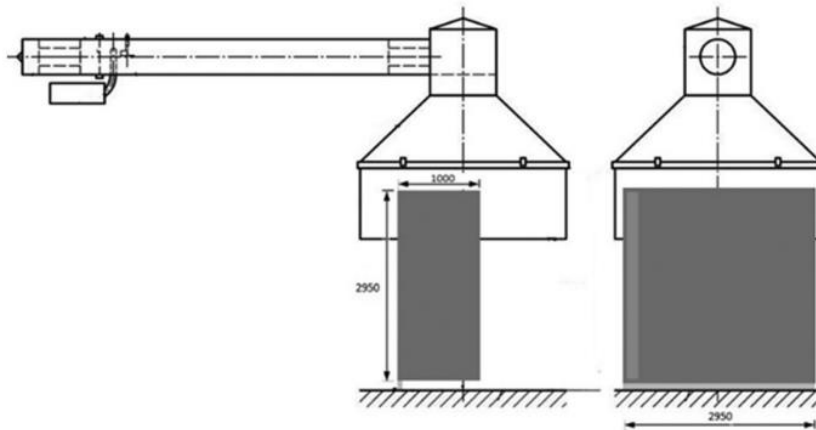


Figura 2.22 - Condotto di scarico gas

Il Room Corner test è stato sviluppato come un protocollo di prova pratico per l'infiammabilità dei materiali di finitura per interni ed è una delle tecnologie sperimentali ben riconosciute per determinare il tasso di rilascio di calore (RHR) applicando la teoria calorimetrica a un livello di scala intermedio.

La linea di campionamento è realizzata con materiale inerte che non influenza in alcun modo la concentrazione dei gas da analizzare, in particolare l'ossigeno e l'anidride carbonica contenuti nei prodotti della combustione (fumo e particelle). L'analizzatore paramagnetico di ossigeno che analizza la presenza di ossigeno nel gas, insieme al sistema di acquisizione dati registrano la variazione di concentrazione dei gas: secondo il principio del consumo di ossigeno, la misurazione del rilascio di calore fornisce una valutazione della crescita dell'incendio in base al calcolo del consumo di ossigeno stesso.

Grazie a questo sistema è quindi possibile valutare la RHR (curva di rilascio termico) e la THR (carico termico).

Per quanto riguarda il fumo, il pericolo dato dalla riduzione della visibilità viene stimato misurando l'oscuramento della luce e la densità ottica.

Questi parametri sono misurati in un sistema costituito da una lampada a filamento incandescente, lenti allineate in parallelo e una fotocellula in grado di intercettare il fascio luminoso e la diminuzione della sua intensità, fornendo informazioni sui parametri di trasmittanza e

produzione totale di fumo (TPS). Infine, è stata utilizzata una termocamera per registrare l'andamento dinamico delle temperature sulla superficie della parete per tutto il tempo del test.

## 2.4.1 PROCEDURA DEL TEST

La preparazione dei campioni avviene come indicato nella linea guida europea per l'applicazione del sistema a cappotto, creata da EAE (European Association for ETICS).

I telai di supporto individuati per la struttura sono di due tipi: muratura composta da mattoni in calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) e una struttura in legno lamellare (CLT/X-LAM).

I mattoni di 12 cm di spessore sono posizionati dal basso verso l'alto, sfalsati l'uno sull'altro e completamente accostati su una piattaforma mobile in lamiera e il cemento utilizzato viene lasciato asciugare per 30 giorni. Il supporto in CLT è composto da tavole di legno piallate, unite con un giunto a pettine, incrociate e incollate tra loro.

I pannelli di materiale isolante vengono posati sul supporto con il cosiddetto metodo perlina/punto, che consiste in un bordo di adesivo intorno alle circonferenze (perlina) e tre punti dello stesso materiale al centro, che vengono poi applicati in un secondo momento, senza consentire alcun passaggio d'aria, uniformemente alla superficie del supporto per evitare l'effetto cuscino o l'effetto materasso. I pannelli in fibra di legno sono ancorati con cinque ancoraggi per pannello, mentre i pannelli in EPS sono ancorati secondo il cosiddetto schema a T per il quale un pezzo è posto al centro e gli altri quattro sono posizionati ad ogni intersezione dei giunti; i pannelli isolanti in poliuretano (PIR/PUR) invece non sono ancorati. Dopo 24 ore, lo strato di base/colla viene steso con una spatola dentata da 14 mm e viene posata e leggermente pressata una rete in fibra di vetro da 150 g/m<sup>2</sup>.

Dopo altre 24 ore, si stende la seconda passata di colla per riempire la rete e colmare uniformemente eventuali dislivelli o cavità.

Per l'asciugatura e l'indurimento della colla è necessario un periodo di circa 30 giorni, al termine del quale si applica uno strato di primer all'acqua. Dopo l'asciugatura di quest'ultimo, si procede alla posa del

rivestimento di finitura con grana 1,2 mm. L'intonaco di finitura viene applicato a mano, utilizzando una spatola, lungo tutto il perimetro della struttura, compreso il profilo della finestra. I campioni completati vengono conservati in un ambiente chiuso, all'interno del laboratorio, per consentirne la completa asciugatura.

Da questo momento, i campioni sono pronti per l'inserimento di termocoppie di tipo K.

La Figura 2.23 riporta le prime fasi di preparazione di un campione di prova.



*Figura 2.23 - Posizionamento materiali*

In primo luogo, vengono verificate e analizzate le condizioni ambientali per determinare la fattibilità del test durante il giorno prestabilito: la temperatura nell'area di prova deve essere di  $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$ , l'umidità relativa del  $55 \pm 15\%$  e viene registrata anche la pressione atmosferica.

Il campione viene spinto grazie alla piattaforma dotata di ruote sotto la cappa del Room Corner Test, dove viene posizionato al centro del quadrato. I sensori di flusso di calore sono posizionati alle distanze prestabilite, come mostrato nella Figura 4A,B e le termocoppie sono collegate al sistema di acquisizione dati.

Successivamente viene posizionato il bruciatore (Figura 2.24) in corrispondenza dell'apertura che rappresenta la finestra, a 50 mm di

profondità sotto l'isolante, in modo da rappresentare la fiamma che esce dalla finestra del piano inferiore, dove si verifica un flashover.

Una volta posizionati tutti gli elementi, tra cui una telecamera e una termocamera a una distanza di circa 4 m dal campione, il flusso volumetrico del sistema di scarico viene impostato a  $2,6 \text{ m}^3 / \text{s}$  e tutti gli strumenti di misura vengono accesi per consentire l'acquisizione di una linea di base di almeno 2 minuti.

Le fasi del test si svolgono come segue:

- $t=0$  s avvio del cronometro e automatica registrazione dei dati;
- $t=100$  s accensione della fiamma pilota (candela) che accenderà il bruciatore;
- $t=120$  s accensione del bruciatore a 500 kW con fiamma pilota (candela);
- $t=1320$  s spegnimento della fiamma che interrompe la propagazione del propano.

Il bruciatore è quindi in grado di fornire una potenza costante di 500 kW per attaccare il campione di facciata in prova sia frontalmente che in profondità dal basso, con un'altezza di fiamma costante di circa 1,2 m. La Figura 2.24 (seconda illustrazione) mostra un campione durante e dopo la prova di incendio.



Figura 2.24 – Prima e dopo

Durante il periodo in cui il bruciatore è acceso, si osservano eventuali perdite e gocciolamenti. Una volta spento il bruciatore, si osservano elementi come la ritenzione della fiamma o l'autoaccensione che vengono continuamente osservati e registrati per altri 40 minuti.

Al termine del periodo di osservazione, il campione viene lasciato raffreddare e l'area danneggiata viene valutata a diversi livelli di profondità: a livello superficiale quindi, tagliando il manufatto, a livello dell'isolamento e infine a livello del supporto incombustibile, per valutare il consumo totale del campione.

Per calibrare la strumentazione questi supporti sono stati inizialmente testati con un isolante incombustibile, utilizzando un pannello isolante minerale sui blocchi e con lana di roccia sul supporto in legno.

Successivamente, sono stati testati diversi tipi di isolante, facendo riferimento ai materiali più diffusi in Italia per i sistemi ETICS.

La Tabella 2.2 elenca le prove eseguite, specificando la natura del telaio di supporto, il materiale isolante campione, lo spessore dello strato di intonaco e la reazione in classe europea al fuoco del materiale isolante.

**TABLE 2** Executed tests

Test number	Support frame	Insulating material	plaster layer thickness	Reaction to fire insulation material
1	Autoclaved aerated concrete blocks	Mineral insulation boards	7 mm	A1
2	Cross laminated timber	Rock wool	7 mm	A1
3	Autoclaved aerated concrete blocks	Wood fibres	7 mm	E
4	Cross laminated timber	Wood fibres	7 mm	E
5	Autoclaved aerated concrete blocks	EPS	7 mm	E
6	Cross laminated timber	EPS	7 mm	E
7	Concrete blocks	EPS with graphite	20 mm	E
8	Autoclaved aerated concrete blocks	PIR (low performance)	7 mm	N.A.
9	Cross laminated timber	PIR (high performance)	7 mm	N.A.
10	Cross laminated timber	PUR (generic)	7 mm	F
11	Autoclaved aerated concrete blocks	PIR (for ETICS)	7 mm	E
12	Cross laminated timber	PIR (for ETICS)	7 mm	E

Abbreviations: EPS, expanded polystyrene; ETICS, external thermal insulation composite system; PIR/PUR, polyurethane.

*Tabella 2.2 - Elenco prove eseguite*

## 2.4.2 DISCUSSIONE DEI RISULTATI OTTENUTI

Durante ogni test<sup>7</sup>, i parametri misurati sono stati:

- La HRR (kW).
- Il THR (MJ).
- La trasmittanza (%).
- Il TSP (m<sup>2</sup>).
- Il flusso di calore (kW/m<sup>2</sup>).
- L'evoluzione della temperatura a tre diversi livelli di approfondimento (°C).

Nella Figura 2.25 sono confrontate le curve HRR di una facciata con isolamento e supporto incombustibile in blocchi di cls e di una facciata con isolamento e supporto combustibile in legno. È possibile osservare la partecipazione alla combustione dei materiali combustibili che hanno aumentato la potenza termica fornita dal bruciatore (500 kW) fino a un massimo di 905 kW al tempo di circa 10 minuti. Dal grafico si può analizzare l'andamento differente delle due linee: la linea in verde rappresenta il bruciatore a differenza della linea irregolare in blu che rappresenta il rilascio di calore. Quando la linea tende ad andare verso il basso, vuol rappresentare lo spegnimento del bruciatore a fine test.

---

<sup>7</sup> Interflam 2019: facades. (2020).



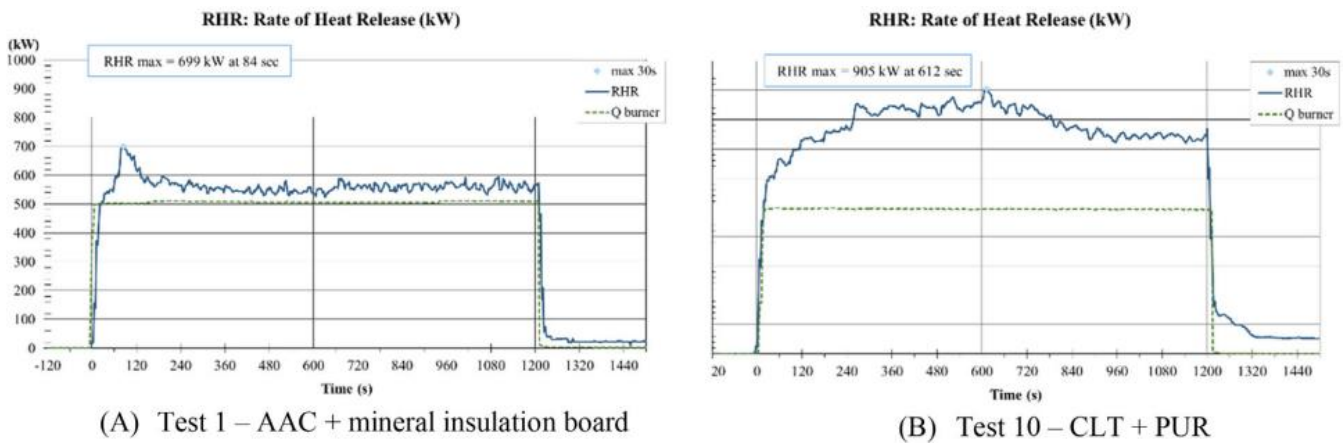


Figura 2.25 - RHR

Nel primo caso con supporto incombustibile si ha una curva RHR inferiore di 699 kW in 84 secondi, a differenza del secondo caso con supporto in legno che presenta una curva RHR più significativa con una potenza di 905 kW in 612 secondi.

Il THR (rilascio calore totale), espresso in MJ, fornisce un'altra visione dell'aumento di calore rispetto al calore rilasciato dal bruciatore ( in arancio).

Nel primo caso si analizza il test effettuato su supporto incombustibile che nel momento dello spegnimento del bruciatore , tende a bloccare il suo andamento. Mentre nel secondo caso con utilizzo di materiale combustibile, allo spegnimento del bruciatore, termina anche il rilascio che ha raggiunto un'energia oltre i 900 MJ fino a 1200 secondi. (vedere Figura 2.26).

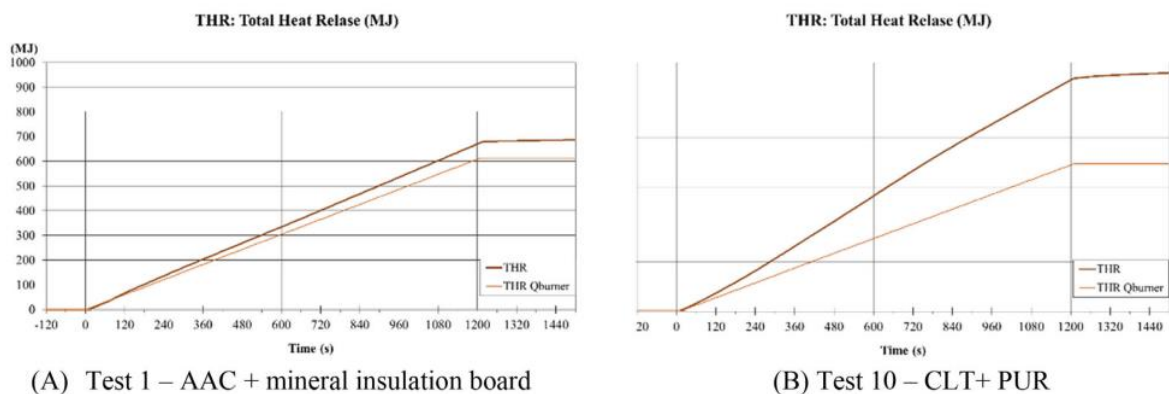
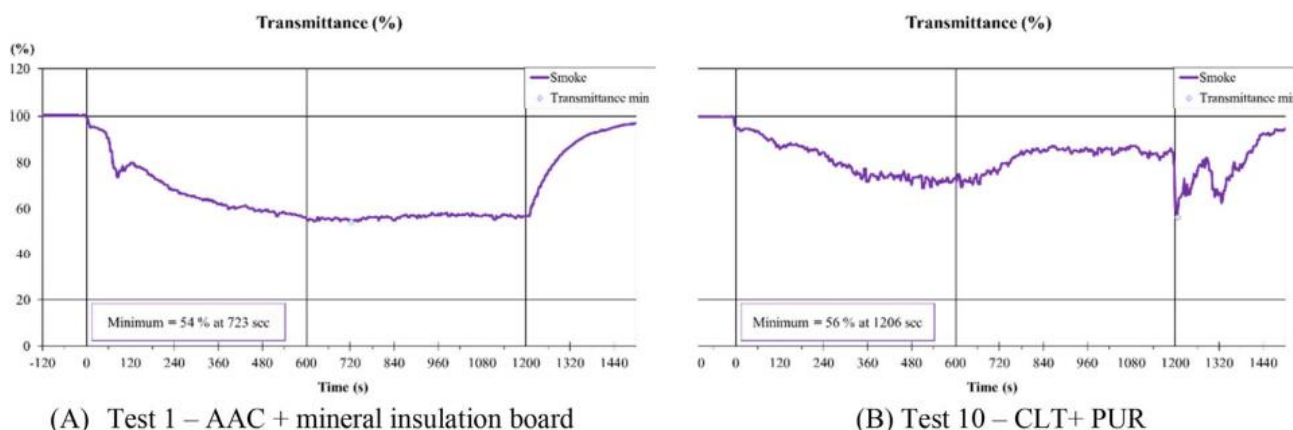


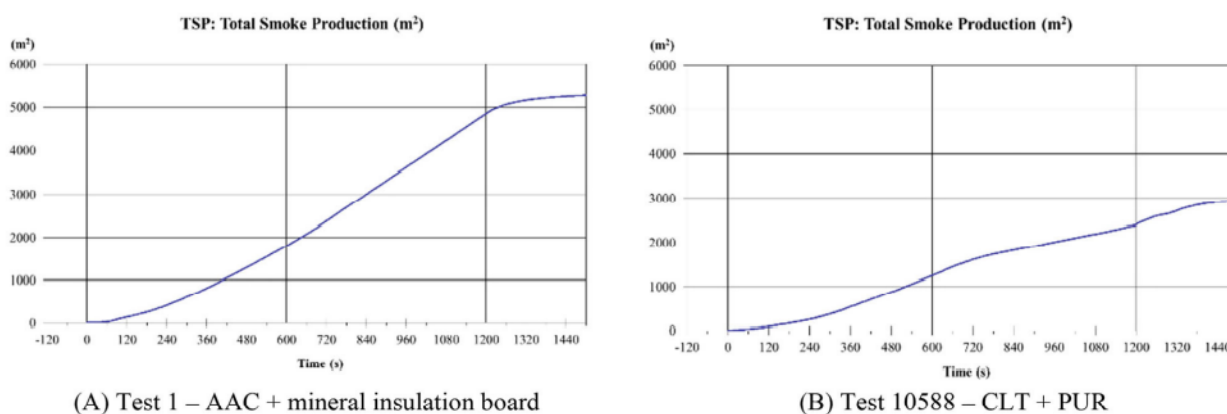
Figura 2.26 - Curva THR

Esempi di misurazione della trasmittanza e del TPS (produzione totale di fumo) sono riportati nella Figura 2.28 e nella Figura 2.29.



**FIGURE 11** Transmittance (%) A, test on AAC support with mineral insulation board and B, test on CLT support with PUR insulation. AAC, aerated concrete bricks; CLT, cross laminated timber; PUR, polyurethane

Figura 2.27 - Trasmittanza



**FIGURE 12** Total smoke production ( $m^2$ ) A, test on AAC support with mineral insulation board B, test on CLT support with PUR insulation. AAC, aerated concrete bricks; CLT, cross laminated timber; PUR, polyurethane

Figura 2.30 - TSP

Nella Figura 2.31A è riportato un esempio di flusso di calore misurato con i cinque sensori di flusso di calore raffreddati ad acqua mentre nella figura 13B l'evoluzione delle temperature misurate con le termocoppie.

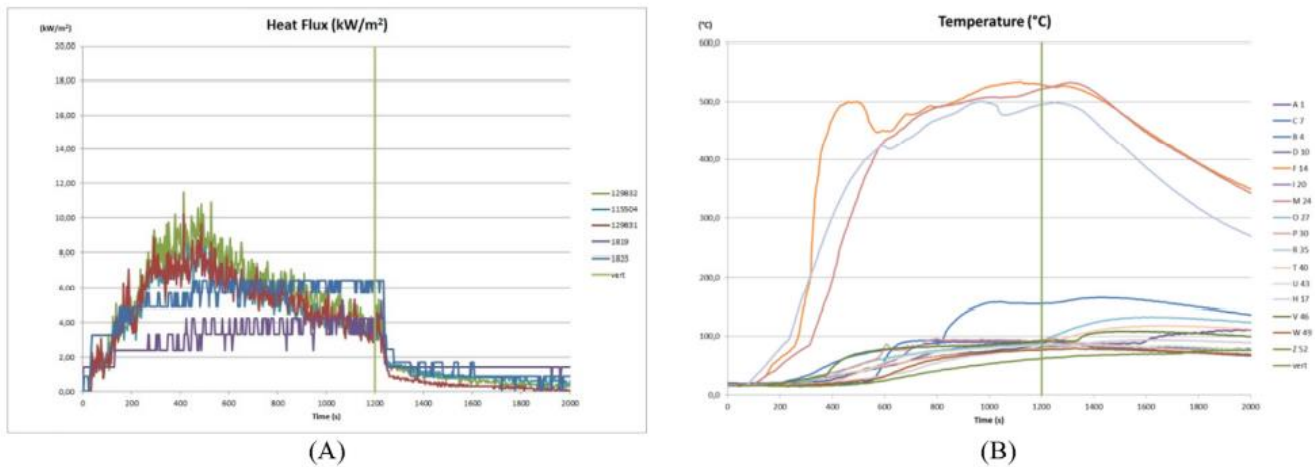


Figura 2.31 - Sensori di flusso e termocoppie

Inoltre, è stata effettuata un'analisi visiva con il supporto di una termocamera, per osservare l'evoluzione della temperatura sotto lo strato di intonaco.

Queste informazioni sono state utili per sapere dove, quando e come è stato possibile rimuovere lo strato di intonaco per l'indagine finale, per determinare il danno residuo sui campioni.

All'interno della tabella 2.3 vengono riportati i dati principali raccolti durante il test dei 12 campioni di facciata e ciò che risulta riguarda le aree danneggiate in rosso.

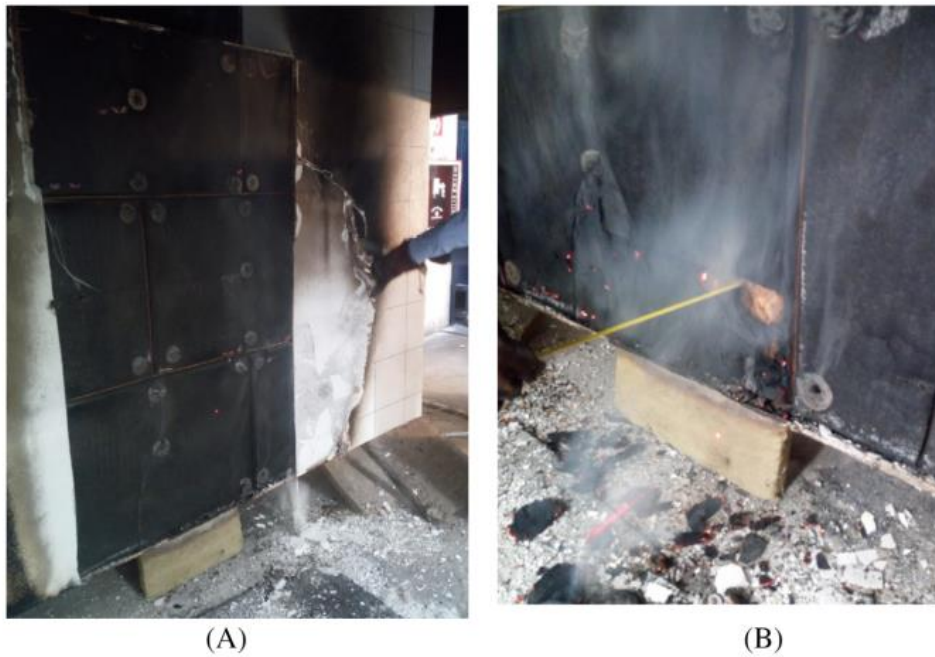
L'indagine effettuata, visibile nella figura 2.31, ha permesso di conoscere la profondità della combustione e di verificare il danno residuo sul supporto quando viene utilizzato un materiale combustibile.

**TABLE 3** Measured and observed parameters

Test number	$\Delta$ RHR		$\Delta$ THR	Transmittance (%)	TSP (m <sup>2</sup> )	Interested area	Additional notes
	Maximum value	Average value					
1	199	50	70	54	4850		No post-combustion
2	175	80	70	51	5000		No post-combustion
3	150	100	110	57	4600		Protract post-combustion, difficulty in extinguishing
4	175	100	130	54	4850		Protract post-combustion, difficulty in extinguishing, damage to the support
5	190	110	110	36	5800		Important post-combustion, sudden re-ignition, falling of flaming droplets
6	208	90	110	48	5000		Important post-combustion, falling of flaming droplets
7	245	90	100	56	4500		Very limited post-combustion, cracks in the plaster
8	359	250	300	59	3000		Post-combustion, explosion of small portions of the plaster
9	337	200	235	76	1750		Post-combustion, explosion of small portions of the plaster
10	405	260	330	56	2400		Post-combustion, explosion of small portions of the plaster
11	210	105	130	82	1650		Post-combustion, explosion of small portions of the plaster
12	160	100	100	83	1400		Post-combustion, explosion of small portions of the plaster

Abbreviations: RHR, rate of heat release.

Tabella 2.3 - Parti coinvolte sulla facciata



*Figura 2.31 - Profondità combustione*

La riaccensione improvvisa e la caduta di gocce infuocate sono un esempio di ciò che è stato osservato sui campioni con isolamento in EPS (vedi Figura 2.32).



*Figura 2.32 - Caduta gocce*

Il provino con isolamento in **EPS** potenziato con grafite e con uno strato di intonaco di due centimetri ha dimostrato un comportamento migliore, con un'area combusta ridotta e senza fenomeni di riaccensione,

confermando l'importanza dell'intonaco che è la prima barriera che protegge dal fuoco.

I campioni con le fibre di **legno** hanno dimostrato un buon comportamento iniziale, con una lenta progressione della combustione, per cui è possibile immaginare, in caso di incendio in facciata, un intervento dei vigili del fuoco senza che si verificano fenomeni di riaccensione, soprattutto come accade per l'EPS quando le lesioni sull'intonaco comportano l'ingresso di ossigeno e l'uscita di gas ancora incombusti. Allo stesso tempo, la difficoltà di spegnimento potrebbe comportare danni al supporto (quando combustibile) con rischi legati alla stabilità della struttura.

Sui provini con poliuretano (**PUR**) è stato osservato un comportamento migliore rispetto all'EPS, ma è anche possibile osservare, riferendosi alla Tabella 2.3, l'importanza di utilizzare materiali come, ad esempio, il legno lamellare appositamente sviluppati per essere impiegati su ETICS (prova 12 in Tabella 2.2) piuttosto che il generico PUR (prova 10 in Tabella 2.2).

Sui provini con PUR sono stati osservati anche fenomeni più o meno pronunciati di esplosione di alcune porzioni di intonaco ma senza conseguenze pericolose, se non l'aggravamento legato all'esposizione diretta del materiale al fuoco.

Tutti i dati raccolti, compresi quelli associati alle caratteristiche dei fumi prodotti, saranno analizzati per associare al sistema ETICS un livello di prestazioni completo.

Nel nuovo metodo di prova presentato in questo lavoro, i tre sensori di flusso di calore raffreddati ad acqua dietro la finestra sono stati posizionati a 2000 mm, 2375 mm e 2750 mm dalla base (pavimento) del banco di prova, mentre i due sensori laterali sono stati posizionati a 1500 mm dalla base.

Considerando gli esperimenti in scala reale, eseguiti per studiare l'impatto dell'HRR, in combinazione con le dimensioni dell'apertura della finestra,

sul trasferimento di calore a una parete esterna, i flussi di calore registrati durante la prova (Figura 2.31A) concordano con altri dati raccolti.

## 2.4.3 CONCLUSIONI

I risultati dei test<sup>8</sup> mostrano una sensibile differenza tra i materiali isolanti, a seconda dello spessore dell'intonaco e del materiale di supporto, mettendo in evidenza l'importanza di valutare il comportamento al fuoco del sistema di rivestimento di facciata come kit nelle reali condizioni di applicazione, dove non è raro, ad esempio, trovare ETICS con uno spessore dell'intonaco di soli 4 mm - 5 mm. Il metodo di prova proposto su media scala evidenzia come i diversi materiali isolanti utilizzati all'interno dei sistemi ETICS, richiedano specifiche metodologie di intervento per le squadre di soccorso, a causa del diverso comportamento in caso di incendio di una facciata.

Il nuovo protocollo di prova può quindi essere uno strumento valido per confrontare le prestazioni di diversi sistemi ETICS e per ottenere una valutazione della propagazione dell'incendio sulla facciata.

Il metodo proposto è inoltre flessibile e meno costoso rispetto ai test su scala più ampia e ripetibile nelle stesse condizioni grazie al bruciatore a gas che può garantire una potenza di fiamma costante, a differenza di altri tipi di combustibile come i presepi di legno.

Anche i parametri misurati come HRR, TSP, curva di rilascio di calore e rilascio totale dei fumi, possono fornire dati sperimentali rilevanti.

Per convalidare il metodo di prova proposto, è stata pianificata una campagna sperimentale di confronto con altri metodi di prova su scala reale.

Inoltre, è necessario sviluppare una classificazione dei prodotti di facciata.

I nuovi sistemi di classificazione saranno sviluppati sulla interpretazione dei risultati dei test, specificando la procedura da utilizzare per il confronto del rischio di incendio complessivo tra i prodotti per facciate ETICS.

---

<sup>8</sup> Interflam 2019: facades. (2020).



## 2.5 NORMA INGLESE – BRITISH STANDARD

### 2.5.1 PASS 9980:2022

La PASS 9980<sup>9</sup> fornisce una guida sul rischio di propagazione del fuoco attraverso la costruzione di facciate esterne. Definisce una metodologia per condurre e registrare le valutazioni del rischio di incendio delle pareti esterne, che possono essere differenti a seconda della complessità dei singoli edifici; non tutti gli edifici richiederanno una valutazione, e di quelli che lo fanno, non tutti richiederanno un'ispezione invasiva.

La PASS 9980 non modifica gli obblighi imposti a chi esegue lavori di costruzione di pareti esterne, né influisce sulla conformità alle norme, sulla conformità dei lavori da costruzione già eseguiti.

Data la complessità e la gamma dei diversi sistemi di pareti esterne esistenti, la PASS 9980 non contiene "sistemi" di costruzione di facciate esistenti, o soluzioni "pronte per l'uso" per specifici tipi di parete e materiali, ma può consentire un approccio coerente alla valutazione del rischio quando si tratta di pareti esterne di edifici reali.

---

<sup>9</sup> *PAS 9980:2022, Fire risk appraisal of external wall construction and cladding of existing blocks of flats – Code of practice.* (s.d.).

## 2.5.1.1 ANNEX A: TEST SU PICCOLA E LARGA SCALA PER FACCIATE ESTERNE

### *A.1.1 BS 476-7 - DIFFUSIONE SUPERFICIALE DELLA FIAMMA*

La prova di propagazione superficiale della fiamma BS 476-7 utilizza un pannello radiante con una fonte di accensione a fiamma pilota per misurare la velocità con cui la fiamma si propaga sulla superficie di un prodotto.

I campioni sono montati in un porta campioni in acciaio raffreddato ad acqua, in modo tale da proteggere i bordi del campione. Il portacampioni è dotato di un meccanismo di oscillazione, in modo che, all'inizio della prova, si sposta in posizione perpendicolare alla superficie del pannello radiante.

Il pannello radiante è costituito da un bruciatore di tipo refrattario poroso.

Il gas naturale premiscelato e l'aria (o il propano e l'aria) vengono introdotti dalla parte posteriore del pannello in modo che in modo che si diffonda verso la parte anteriore. La miscela brucia all'interno del pannello, emettendo radiazioni di calore. La radiazione è più intensa in prossimità del pannello e diminuisce a distanza.

È prevista una fiamma pilota che proietta una fiamma sull'angolo inferiore del campione, più vicino al pannello radiante.

I test vengono eseguiti per 10 minuti, con la fiamma pilota accesa solo per il primo minuto. L'estensione della fiamma lungo una linea di riferimento (circa un terzo dal fondo del provino) viene misurata e registrata. In base all'estensione della fiamma dopo 1,5 minuti, viene assegnata una classe al prodotto.

La classe 1 è assegnata per la minore propagazione della fiamma, mentre la classe 4 è assegnata per la maggiore propagazione della fiamma.

Un campione può superare uno qualsiasi dei limiti di 25 mm o meno e viene comunque classificato in quella classe. Il raggiungimento della Classe 1 può contribuire al raggiungimento della Classe 0.

Il vantaggio del test BS 476-7 è che è relativamente economico da condurre rispetto ai test europei equivalenti.

Tuttavia, il suo principale punto debole, è che espone solo le superfici dei prodotti, i cui bordi sono protetti dal raffreddamento ad acqua.



*Figura 2.33 - Test campione*

## *A.1.2 TEST DI RIVESTIMENTO E CLASSIFICAZIONE SU LARGA SCALA – BS 8414-1, BS 8414-2 E BR 135*

La norma britannica<sup>10</sup> in vigore attualmente, BS 8414 stabilisce uno standard su come i sistemi di rivestimento a facciata ventilata devono essere adeguatamente testati e valutati per ridurre al minimo il rischio di diffusione e propagazione dell'incendio negli edifici alti, secondo i criteri stabiliti nella BR 135.

Il BR135 è il criterio o standard di prova antincendio mentre BS 8414 è la metodologia di test.

È un test di sistema su larga scala che imita un incendio che fuoriesce da una finestra ed espone il sistema di rivestimento a un grave rischio di propagazione. Non testa le singole parti componenti di un sistema di rivestimento, ad esempio i fissaggi, le interruzioni di fuoco, le cavità o l'isolamento, ma piuttosto come si comporta l'intero sistema in condizioni di incendio.

Il BS 8414 è composto da due parti:

- La prova BS 8414-1 è destinata a verificare la resistenza al fuoco di sistemi di rivestimento esterno non portanti, fissati e supportati da un substrato in muratura.
- La prova BS 8414-2 serve a testare la resistenza al fuoco di sistemi di rivestimento esterno non portanti, fissati e supportati da un telaio in acciaio strutturale.

La metodologia di prova BS 8414 è importante perché fornisce uno standard riconosciuto per testare l'intero sistema di facciata ventilata.

Quando un edificio ottiene la classificazione BR 135 vuol significare che il sistema funziona bene in condizioni di incendio, riducendo la diffusione del fuoco in un edificio alto.

---

<sup>10</sup> *PAS 9980:2022, Fire risk appraisal of external wall construction and cladding of existing blocks of flats – Code of practice. (s.d.).*

**Questo standard vale per qualsiasi edificio alto, classificato in Inghilterra con un'altezza di 18 m o più e in Scozia con un'altezza di 11 m o più, in cui i materiali combustibili non sono consentiti all'interno delle facciate ventilate.**

L'unica eccezione a questa regola è quando un test antincendio dimostra che i materiali utilizzati all'interno delle facciate ventilate, non contribuiscono alla diffusione del fuoco.

Il test richiede la costruzione di un campione di prova su una struttura alta almeno 8 m (almeno 9,5 m dall'edizione 2020).

Ha una parete principale larga almeno 2,6 m con un focolare alla base, con un'apertura di 2 m per 2 m di superficie e una profondità di 1 m. A lato della parete principale c'è un muro perpendicolare (angolo di 90°) alla parete principale e largo almeno 1,5 m.

Il sistema di rivestimento (o campione di prova) da testare è installato sul banco di prova sponsorizzato, che di solito è rappresentato dal produttore o dal progettista.

Normalmente il test viene eseguito prima dell'installazione di un sistema in un edificio, e il provino viene quindi progettato sulla base della norma BS 8414, con dettagli che rappresenteranno effettivamente gli stessi che saranno utilizzati quando il sistema sarà installato negli edifici (ad esempio, fissaggi, staffe, isolamento, dimensioni delle intercapedini, schermatura per le piogge, spazi tra i componenti, ecc.)

Le termocoppie sono installate nel sistema di rivestimento a intervalli prestabiliti sui livelli 1 e 2 dell'impianto di prova, come mostrato nella Figura 2.34, sia all'esterno che all'interno del sistema, inserite a metà di ogni strato combustibile del sistema e di ogni cavità.

Nelle versioni 2020 delle norme BS 8414-1 e BS 8414-2 sono state inserite una serie di termocoppie aggiuntive al nuovo livello 3 come parte del banco di prova.

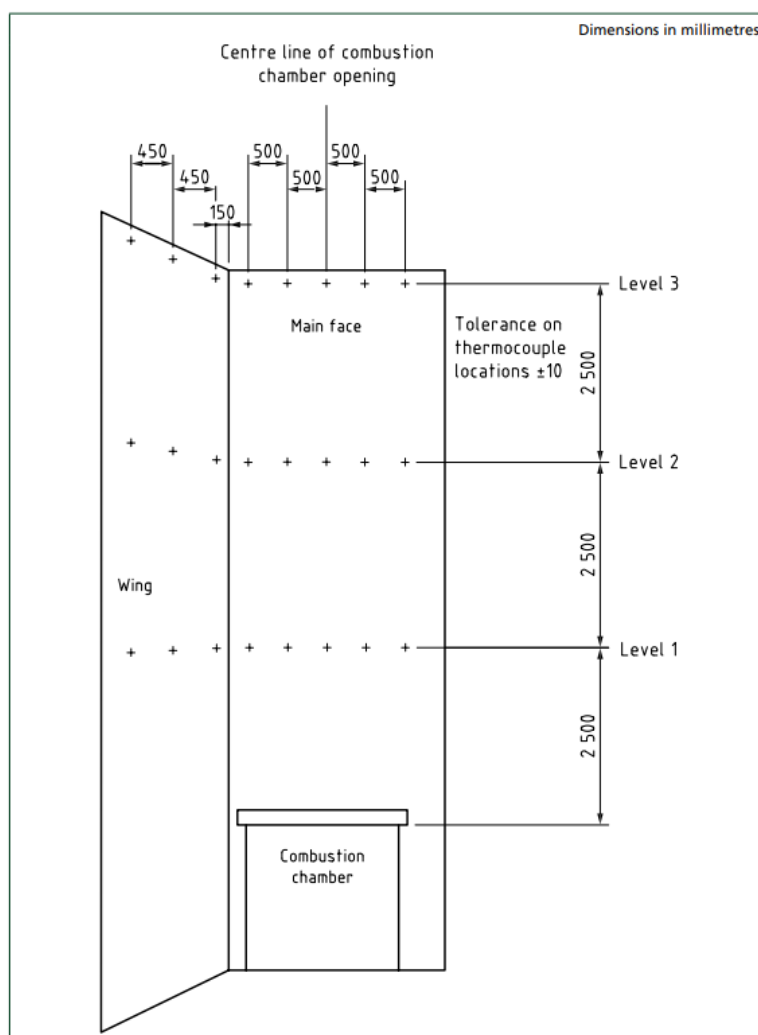


Figura 2.34 - Parete utilizzata nel test

La Figura 2.34 illustra la posizione delle termocoppie nei vari strati della muratura.

La fonte di calore, tipicamente un grande fonte in legno, è posizionata nel focolare alla base della parete (vedi Figura 2.36 e Figura 2.37).

Questo scenario d'incendio simula un incendio completamente sviluppato all'interno di una stanza che sfoga attraverso una finestra rotta colpendo anche la parete esterna.

Il provino di legno è progettato per fornire un picco di rilascio di calore compreso tra 2,5 MW e 3,5 MW con un'energia termica di 4500 MJ per un periodo di 30 minuti.



Figura 2.36 – 2.37 - Simulazione parete su tre livelli

Durante il test vengono raccolti dati sulla temperatura e su ciò che appare.

Il focolare di legno viene spento nei successivi 30 minuti dopo l'accensione e la registrazione dei dati e le osservazioni continuano per altri 30 minuti (per un totale di 60 minuti dall'accensione).

I criteri di interruzione della prova sono i seguenti:

- la fiamma ha un'estensione o propagazione che supera l'apparecchiatura del test utilizzata durante la durata del test;

oppure

- c'è un rischio per la sicurezza del personale o un imminente danno all'attrezzatura.

La norma BR 135 [15] fornisce sia una guida sui criteri di classificazione per un sistema di rivestimento testato secondo la norma BS 8414.

I criteri di prestazione e di classificazione sono i seguenti:

- Il sistema deve essere stato testato per l'intera durata della prova senza alcuna interruzione anticipata dell'esposizione al fuoco;

- Un aumento della temperatura, al di sopra di quella iniziale di ciascuna termocoppia esterna al livello 2, superiore a 600 °C per un periodo di almeno 30 s entro 15 minuti dall'inizio della prova, causa un fallimento dovuto alla propagazione del fuoco esterno;

In relazione alla classificazione dei sistemi testati in base alla norma BS 8414-2, se si verifica una bruciatura del sistema tale da permettere al fuoco di raggiungere la superficie interna, si ritiene che si sia verificato un guasto; il guasto avviene se si osserva una fiamma continua, definita come una fiamma di durata superiore a 60 s, sulla superficie interna del provino a un'altezza pari o superiore a 0,5 m, sopra l'apertura della camera di combustione entro 15 minuti dall'ora di inizio.

**Le osservazioni di qualsiasi prestazione meccanica devono essere riportate secondo la norma BS 8414**, e viene ribadito all'interno della norma BR 135 [15] che forme significative di prestazioni meccaniche, come il collasso del sistema, il crollo, le fiamme, detriti, ecc. siano considerate come parte della valutazione del rischio complessivo, quando si specifica il sistema.

Qualsiasi valutazione del rischio di incendio delle pareti esterne, con sigla "FRAEW", che si basa su un test BS 8414, dovrà far emergere quanto accaduto durante il test, tenendone conto nell'ambito della valutazione.

La BS 8414 fornisce regole di applicazione diretta per un sistema che è stato sottoposto a un singolo test BS 8414-1 o BS 8414-2 e interpolato.



### *A.1.3 PROVE DI RESISTENZA AL FUOCO*

La resistenza al fuoco è una misura di uno o più dei seguenti elementi:

- la resistenza al collasso (capacità portante), che si applica solo agli elementi portanti, indicata con R nella classificazione europea della resistenza al fuoco;
- resistenza alla penetrazione del fuoco (integrità), indicata con E nella classificazione europea della resistenza al fuoco;
- resistenza al trasferimento di calore eccessivo (isolamento), indicata con I nella classificazione europea della resistenza al fuoco.

Esistono diversi test di resistenza al fuoco a seconda del sistema da testare.

In relazione alle pareti esterne, è probabile che siano rilevanti i seguenti test:

- Da BS 476-20 a BS 476-23;
- BS EN 1363-1 e BS EN 1363-2;
- da BS EN 1364-1 a BS EN 1364-5; e
- BS EN 1365-1 a BS EN 1365-4.

In tutte queste prove, il periodo di resistenza al fuoco viene misurato montando il campione di prova in un forno, facendo funzionare il forno e annotando il tempo in cui uno o più criteri vengono soddisfatti.

Il test inizia con il forno a temperatura ambiente e bruciatori a gas per raggiungere le temperature stabilite dallo standard internazionale ISO 834.

Il profilo di temperatura per un periodo di 4 ore è mostrato nella Figura 2.38.

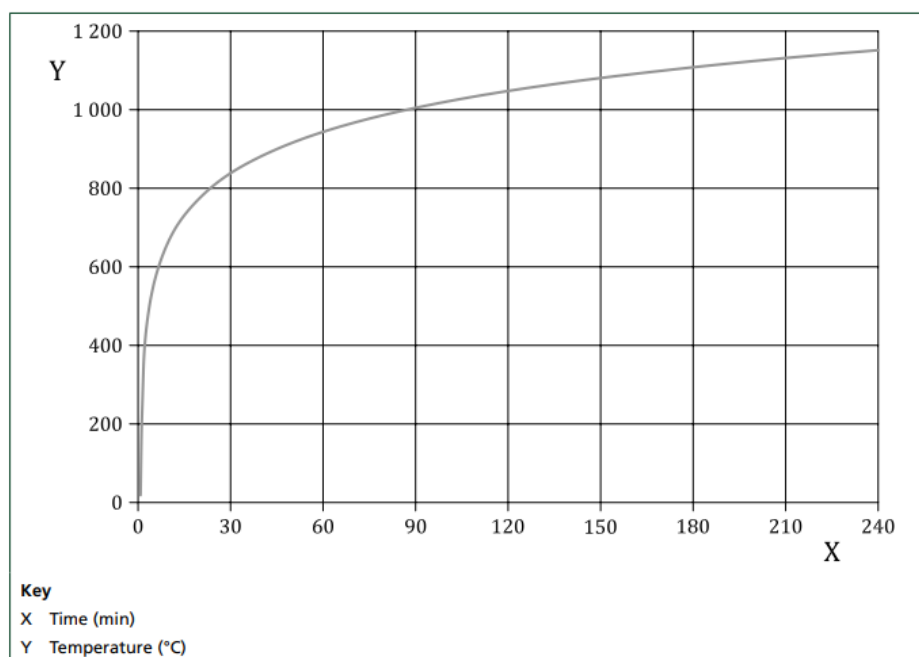


Figura 2.38 -Andamento della temperatura

**Per quanto riguarda le differenze tra i test equivalenti nazionali ed europei, i test differiscono principalmente nel modo in cui viene misurata la temperatura.**

- *Temperature del forno:* Nelle prove nazionali, le termocoppie sono del tipo a filo nudo con diametro compreso tra 0,75 mm e 1,5 mm.

Nelle prove europee, si utilizzano termometri a piastra in cui la termocoppia è isolata e rivestita di materiale minerale e fissata al centro di una piastra in lega di nichel ripiegata attorno a uno strato di isolamento minerale.

I termometri a piastra dei test europei sono più duraturi (50 ore di servizio) rispetto ai test nazionali (6 ore di servizio), ma sono meno sensibili. Ciò significa che, in pratica, la temperatura del forno è probabilmente più alta nello standard europeo rispetto alla temperatura nazionale.

- *Temperature dei campioni:* Le termocoppie utilizzate per misurare le temperature superficiali sulla facciata non esposta del provino, sono sostanzialmente identiche, anche se ci sono alcune piccole differenze sulla loro posizione.

## 2.5.1.2 ANNEX B: MECCANISMO DI PROPAGAZIONE DELLA FIAMMA E IMPLICAZIONI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FACCIATE ESTERNE

Gli incendi, che hanno origine internamente o esternamente, possono propagarsi sull'involucro esterno di un edificio. Gli incendi interni di solito si propagano attraverso una finestra o un'altra apertura non resistente al fuoco. Sebbene una finestra aperta consentirebbe di raggiungere questo obiettivo in una fase più precoce, la propensione a questo fenomeno è più pronunciata nel momento del flashover all'interno del locale in cui si è sviluppato l'incendio (a quel punto si ipotizza la rottura della finestra).

Una volta che le fiamme provenienti, ad esempio, da una finestra rotta, hanno attaccato l'involucro esterno dell'edificio, c'è la possibilità, soprattutto se le facciate incorporano una costruzione muraria esterna e un rivestimento combustibile, che l'incendio si sviluppi rapidamente e si diffonda in modo estensivo.

In ultima analisi, e per una questione di tempo, il risultato di qualsiasi incendio che si diffonde attraverso l'involucro esterno di un edificio, è che si verifichino incendi secondari almeno al piano immediatamente superiore a quello di origine dell'incendio.

La figura 2.39 rappresenta la propagazione dell'incendio limitata nella sua estensione, ma che include la possibilità che si creino incendi secondari all'interno degli altri piani dell'edificio in questione.

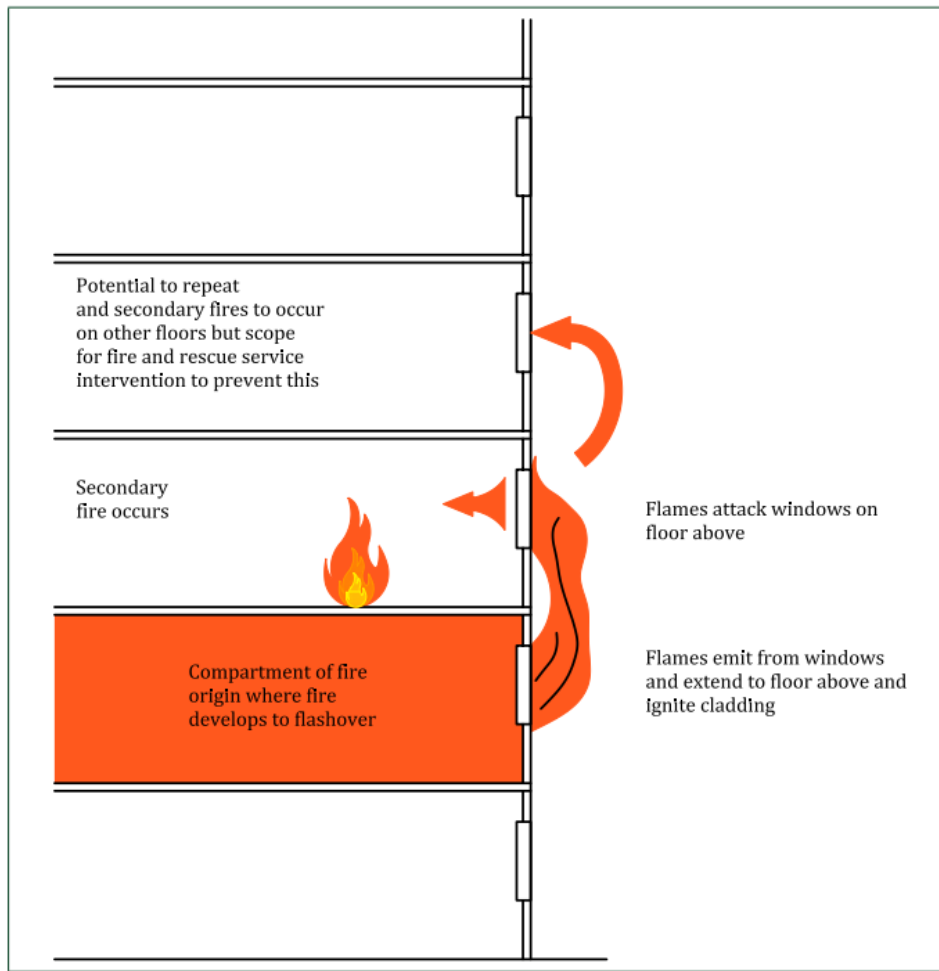


Figura 2.39 - Propagazione limitata da un piano all'altro

La Figura 2.40 illustra invece, una situazione in cui la costruzione e il rivestimento della parete esterna danno luogo a una rapida diffusione e ad un rapido sviluppo dell'incendio.

In quest'ultimo caso, l'estensione degli incendi secondari può essere molto più estesa, interessando contemporaneamente molti piani.

Questo è indicativo di pareti esterne che non sono considerate in grado di resistere adeguatamente alla propagazione del fuoco. Naturalmente, in entrambi i casi è possibile che gli incendi vengano innescati ai livelli inferiori da goccioline e detriti che cadono dall'incendio sovrastante.

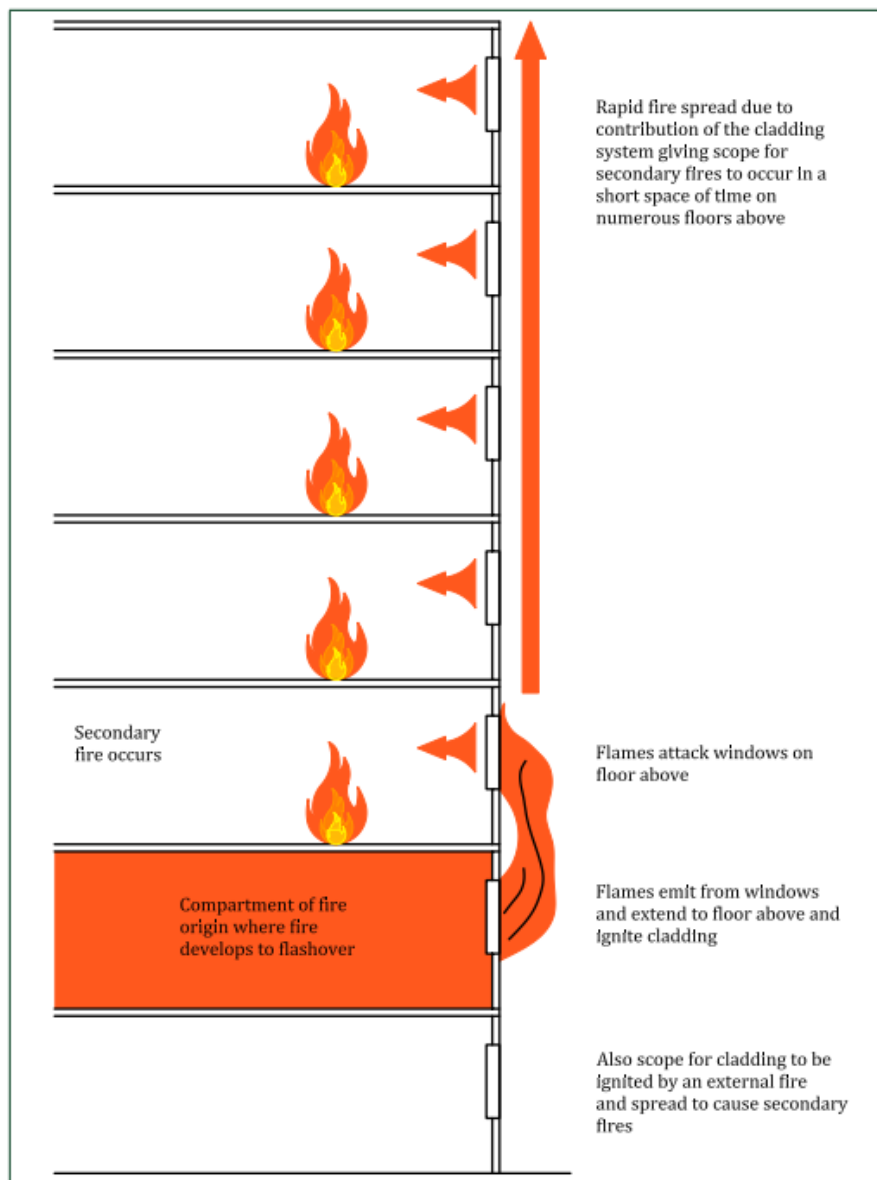


Figura 2.40 - Incendio in un edificio che permette la propagazione del fuoco

Una caratteristica notevole delle pareti esterne, e in particolare dei sistemi di rivestimento moderni, è la presenza di cavità. Queste presentano il particolare pericolo di diffusione **nascosta ed estesa dell'incendio**.

Oltre a contribuire alla velocità di sviluppo dell'incendio, questo meccanismo di propagazione può, se non è adeguatamente mitigato da barriere di cavità, aggirare caratteristiche chiave del progetto di sicurezza antincendio dell'edificio.

In particolare, nel caso di un condominio, può consentire di aggirare la compartimentazione tra i piani e tra gli appartamenti.

Poiché questa compartimentazione supporta i principi fondamentali alla base della progettazione antincendio dell'edificio, della strategia di evacuazione, che di solito si limita all'evacuazione del solo appartamento di origine dell'incendio, mentre gli occupanti degli altri appartamenti, rimangono fermi, e le conseguenze di tale propagazione dell'incendio possono essere molto gravi.

Il fatto che le cavità possano contribuire in modo così significativo è evidente da molti casi di incendi avvenuti e viene discusso più avanti.

È dovuto, all'allungamento delle fiamme in cerca di ossigeno e alla dinamica del trasferimento del calore da e verso le fiamme all'interno di uno spazio ristretto.

Questo fenomeno è ulteriormente aggravato quando la cavità contiene materiale combustibile facilmente incendiabile e che è in grado di rilasciare una quantità significativa di calore quando brucia.

Tale situazione può dare origine a una propagazione dell'incendio estremamente rapida. Tuttavia, la Figura B.1 mostra chiaramente che la propagazione del fuoco esterno possa rappresentare un pericolo per gli occupanti dell'edificio, provocando incendi secondari. Le finestre sono un'ovvia via per il rientro del fuoco.

Questo può minacciare direttamente gli occupanti lontani dall'origine dell'incendio, se si trovano all'interno dello spazio in cui si verifica un incendio secondario, o indirettamente, se l'incendio rende impraticabili le vie di fuga.

Limitare la combustibilità dei materiali all'interno di una parete esterna, oltre a garantire che le eventuali intercapedini presenti siano di estensione limitata, sono due dei controlli più significativi nell'ambito degli standard di sicurezza antincendio delle pareti esterne.

Gli incendi possono anche iniziare dall'esterno e diffondersi fino a coinvolgere l'esterno dell'edificio.

Tali incendi possono riguardare, ad esempio un veicolo in fiamme parcheggiato su una strada adiacente all'edificio, o un cassonetto dei rifiuti in fiamme se posizionato sotto una parte sporgente della facciata esterna.

In effetti, è anche possibile che un incendio in un edificio vicino, se sufficientemente vicino, possa provocare un trasferimento di calore radiante con intensità sufficiente a far sì che il materiale combustibile esposto sia a rischio di ignizione.

Limitare la classificazione della reazione al fuoco delle superfici e, quindi, la propensione dei materiali e dei prodotti a sostenere una fiamma e a propagarla, nonché il controllo della quantità di energia rilasciata da un materiale o prodotto una volta esposto al fuoco, è alla base dei controlli previsti dalla guida applicata alla sicurezza antincendio delle pareti esterne.

I punti chiave da notare nelle Figure 2.39 e 2.40 per quanto riguarda i meccanismi di propagazione dell'incendio che si applicano alle pareti esterne sono i seguenti:

- a) Il tipo di **sistema di rivestimento, i materiali utilizzati e la configurazione** di una parete esterna possono potenzialmente portare a una rapida propagazione dell'incendio in senso verticale all'esterno di un edificio e, di conseguenza, provocare incendi secondari a diversi altri livelli di piano, dove il fuoco si propaga all'interno dell'edificio.
- b) Anche nel caso in cui le pareti esterne non contribuiscano alla rapida propagazione dell'incendio, è comunque possibile e anzi probabile che il fuoco si propaghi ai piani superiori, attraverso, ad esempio, le **finestre**, a meno che l'incendio non venga spento prima che ciò avvenga.
- c) Anche se la rapida propagazione dell'incendio attraverso le pareti esterne non è probabile, è comunque possibile e anzi probabile che l'incendio si diffonda ai piani superiori all'esterno, ed è comunque necessario un intervento efficace da parte dei vigili del fuoco, per spegnere l'incendio, se si vuole evitare la sua propagazione da un piano all'altro.

Ciò evidenzia un punto fondamentale: i parametri di riferimento insiti negli standard e nelle linee guida attuali per la progettazione della sicurezza antincendio degli edifici, non escludono la possibilità di una propagazione dell'incendio da un piano all'altro. Inoltre, il tempo è un fattore importante.

Di recente l'attenzione si è concentrata soprattutto sul tipo di sistema di rivestimento a schermo solare della Grenfell Tower, e, in particolare, l'uso di materiali di involucro con un nucleo di polietilene.

Tuttavia, è stata notata anche la presenza, all'interno del sistema di rivestimento del sistema di copertura, di cavità estese in cui era presente un isolamento polimerico. Uno dei primi incendi a evidenziare i potenziali pericoli delle intercapedini è stato l'incendio di Knowsley Heights a Liverpool, nel 1991.

Il BR 135 [15] fa riferimento anche all'incendio di Garnock Court, Irvine, nell'Ayrshire, nel 1999, che si riferisce ad un incendio esterno.

In questo caso, l'incendio è partito dal quinto piano e si è propagato all'esterno fino al 13° piano di questo condominio di 14 piani. L'estensione dell'incendio è stata in gran parte limitata a un'unica striscia della parete esterna, che comprende i cosiddetti pannelli di tamponamento tra le finestre di ogni piano (vedi Figura 2.41). Sebbene l'incendio abbia causato una vittima, la vittima in questione si trovava nell'appartamento in cui si è sviluppato l'incendio.





*Figura 2.41 - Striscia di tamponamento*

I pannelli spandrel sono stati evidenziati anche come significativi in un incendio in un grattacielo di Shepherd Court, a Londra, nel 2016.

In questo caso, il fuoco si è propagato da un appartamento al settimo piano interessando altri appartamenti fino al 12° piano. Anche in questo caso è stata illustrata possibilità che il fuoco possa diffondersi in maniera estesa sulle pareti esterne, anche in assenza di rivestimenti continui;

il meccanismo in questo incendio, e in altri incendi che coinvolgono pannelli di tamponamento combustibili, è quello che le fiamme passino da un pannello all'altro, dando così origine all'incendio a cascata o a torcia verso la prossimità dell'edificio (si veda la Figura 2.41).

Altri incendi recenti di particolare rilevanza sono quelli al Lighthouse, Manchester (dicembre 2017) e alla Samuel Garside House, Barking (giugno 2019). Entrambi hanno coinvolto balconi in legno.

Il legno rappresentava la pavimentazione per i balconi di piccole dimensioni di Manchester, ma alcuni elementi in legno erano presenti

anche sulle pareti dietro i balconi. Nella Samuel Garside House, l'uso del legno era ancora più presente nella costruzione dei balconi, che formavano sporgenze sulla facciata. Entrambi gli incendi hanno provocato incendi secondari ai livelli superiori, ma in numero molto maggiore nella Samuel Garside House.

Sebbene sia stato riconosciuto da tempo che gli incendi che coinvolgono i balconi in legno, come quelli del Lighthouse, possono dare luogo a una notevole propagazione del fuoco esterno, l'entità della propagazione del fuoco a Samuel Garside House (si veda la Figura 2.42) ha messo in evidenza che questo fenomeno può essere molto significativo in termini di rischio di incendio nella costruzione di pareti esterne e di rivestimenti.



*Figura 2.42 - Incendio al Garside House, Barking*

Un altro incendio che ha suscitato preoccupazione nell'opinione pubblica e che ha riguardato ancora una volta i pericoli dei rivestimenti combustibili, si è verificato nel novembre 2019, al Cube di Bolton (vedi Figura 2.43).

Questo edificio per studenti era dotato di un sistema di rivestimento in HPL (laminato ad alta pressione), ed è stato coinvolto nell'estesa propagazione dell'incendio che si è verificata.



*Figura 2.44 - Incendio the Cube, Bolton*

Questi sono esempi di incendi di rilievo che hanno coinvolto molte delle costruzioni del Regno Unito; altri si sono verificati altrove.

La Tabella 2.4 fornisce un elenco di incendi di rilievo che hanno coinvolto la costruzione di pareti esterne e rivestimenti che si sono verificati dal 1990, sia nel Regno Unito che all'estero. L'elenco non è esaustivo né in termini di contenuti né di dettagli.

Building name (where known), town/city, country	Year	Cladding type
Manitoba, Canada	1990	ETICS
Knowsley Heights, UK	1991	GRP rainscreen
Munich, Germany	1996	ETICS
Eldorado Hotel, Reno, Nevada, USA	1997	Curtain wall
Palace Station, Las Vegas, USA	1998	ETICS
Irvine, UK	1999	Mixture (fire involved GRP spandrel/infills)
Magdeburg, Germany	2000	ETICS
Lakeside Plaza, Virginia, USA	2005	ETICS
Berlin, Germany	2005	ETICS
Rin Grand Hotel, Bucharest, Romania	2007	Rainscreen
Water Club Tower, Atlantic City, USA	2007	Metal composite rainscreen
MGM Hotel, Las Vegas, USA	2008	ETICS
Miskolc, Hungary	2009	ETICS
Millenium Business Centre, Bucharest, Romania	2009	ACM rainscreen
Centre International Plaza, Nanjing, China	2009	Unknown
Lakanal House, London, UK	2009	Curtain wall
CCTV Tower, Beijing, China	2009	Mixture including ETICS (system involved)
Dijon, France	2010	ETICS
Wooshin Golden Suites, Busan South Korea	2010	ACM rainscreen
Shanghai, China	2010	Unknown
Bucharest, Romania	2011	Rainscreen
Mermoz Tower, Roubaix, France	2012	ACM rainscreen and decorative panels
Al Tayer Tower, Sharjah, UAE	2012	ACM rainscreen
Tamweel Tower, Dubai, UAE	2012	ACM rainscreen
Saif Belhasa Building, Tecom, Dubai, UAE	2012	ACM rainscreen
Targu Mures, Romania	2012	ETICS
Polat Tower, Istanbul, Turkey	2012	Rainscreen
Grozny City Tower, Chechenia, Russia	2013	Metal composite rainscreen
Karlstad, Sweden	2013	Unknown
Krasnoyarsk, Russia	2014	Rainscreen
Lacrosse Tower, Melbourne, Australia	2014	ACM rainscreen
Seoul, South Korea	2015	ETICS
Baku, Azerbaijan	2015	Unknown
Ream Island, Abu Dhabi, UAE	2015	Rainscreen
Address Downtown Hotel, Dubai, UAE	2015	ACM rainscreen
Torch Tower, Marina, Dubai, UAE	2015	ACM rainscreen
Shepherds Court, London, UK	2016	Mixture (fire involved composite spandrel/infills)
Grenfell Tower, London, UK	2017	ACM rainscreen
Torch Tower, Marina, Dubai, UAE	2017	ACM rainscreen
Taksim Training and Research Hospital, Istanbul, Turkey	2018	Rainscreen
NEO 200, Melbourne, Australia	2019	Rainscreen
Shenyang, China	2019	Unknown
The Cube, Bolton, UK	2019	HPL
Abcco tower, Sharjah, UAE	2020	Unknown
Ulsan, South Korea	2020	Unknown
Shijiazhuang, China	2021	Unknown

Tabella 2.4 - Incendi noti

Con le orribili scene del rivestimento in fiamme della Grenfell Tower, seguite da altri recenti incendi drammatici che hanno coinvolto la propagazione di incendi esterni, molti hanno concluso che non sia stata presta la giusta attenzione.

Allo stesso tempo, la soglia di tolleranza del pubblico, delle autorità di regolamentazione e delle autorità di controllo nei confronti del rischio percepito di propagazione del fuoco esterno si è ridotta drasticamente. È in questo contesto che gli edifici esistenti vengono esaminati per determinare se sono "sicuri" o meno. Tuttavia, è importante, nel considerare le pareti esterne di uno specifico condominio, contestualizzare il rischio per la vita nel caso di quell'edificio specifico.

Infatti, i risultati delle indagini condotte dopo l'incendio della Grenfell Tower, hanno evidenziato che i pannelli di rivestimento in ACM (composito di alluminio) di categoria 3 erano stati installati in centinaia di altri palazzi.

La maggior parte degli incendi nei condomini è contenuta all'interno dell'appartamento di origine dell'incendio. Raramente si propagano fino a coinvolgere l'involucro esterno, dando origine alla propagazione del fuoco all'esterno. Questo si evince dal numero molto ridotto di casi in cui è stato necessario l'intervento dei vigili del fuoco per evacuare o salvare le persone al di fuori dell'appartamento di origine dell'incendio.

In genere, nei condomini costruiti ad hoc, le compartimentazioni e i mezzi di fuga sono stati efficaci.



### 3. UTILIZZO DEL SOFTWARE VENTO

“Vento AEC<sup>11</sup>” è un software sviluppato per il mondo dell’Architettura, Urbanistica e delle Costruzioni. In particolare, viene utilizzato per valutare il carico del vento su strutture ed edifici; analizzare riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell’aria e valutarne i rischi.

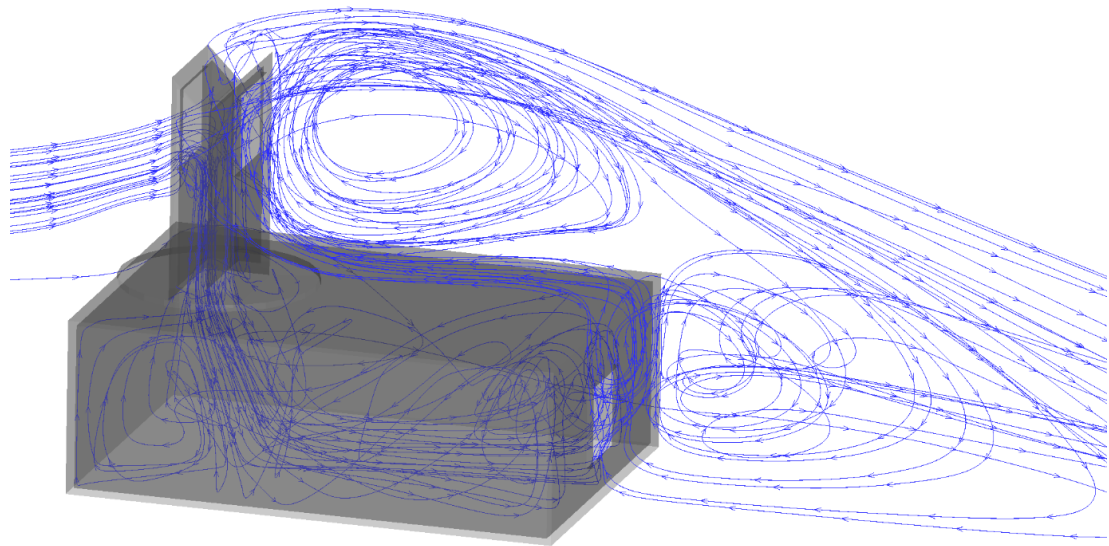
Il software è in grado di analizzare un modello BIM (Building Information Modeling) attraverso l’importazione di files IFC.

È in grado di analizzare diversi studi:

- Carico del vento: per la determinazione di forze, momenti e delle distribuzioni del  $C_p$  (coefficiente di forma in funzione della geometria dell’edificio) su edifici e strutture grandi e complesse;
- Benessere indoor: per misurare quantitativamente la prestazione degli impianti di ventilazione e clima in stazioni, centri commerciali, luoghi pubblici, uffici;
- Comfort urbanistico: per la progettazione di spazi outdoor destinati ad uso ricreativo come bar e ristoranti all’aperto, giardini pubblici, stadi, piazze;
- Trasporto e dispersione di contaminanti: per l’analisi di scenari che riguardano la prevenzione e la sicurezza sia in ambienti outdoor che indoor
- Analisi della propagazione dei fumi (Fire Safety Engineering)

---

<sup>11</sup> *Vento CFD srl*



*Figura 2.1 - Impatto vento su edificio*

Il software Vento all'interno del progetto di tesi è stato utilizzato per studiare e analizzare la fluidodinamica dei fumi, dei gas e delle fiamme su un modello di facciata a cappotto creato in Revit (figura 3.2), come rappresentato nella figura seguente. L'obiettivo era quello di interpretare l'andamento e la propagazione delle fiamme dell'incendio sull'intero edificio, focalizzandosi principalmente su una sola fascia di separazione interpiano, ad esempio, tra primo piano e secondo piano.

La distanza interpiano doveva rispettare almeno il metro di lunghezza ripreso in normativa italiana.





*Figura 3.2 - Modello Revit*

### 3.1 PRIMO SCENARIO

Il primo scenario di incendio è stato ipotizzato simulando una ventilazione da Sud rispetto all'edificio, di intensità pari a 0.5 m/s e scegliendo come sorgente di incendio un solido di dimensioni 90x200x80cm posto ad 1.5m dalla finestra centrale dell'appartamento in esame.

Inoltre, è stata presa in considerazione una curva di rilascio termico (HRR) considerando un range di tempo di dieci minuti.

Come mostrato nella figura 3.3, dopo i primi 50 secondi, in cui si ipotizza l'avvenimento della fase di ignizione e combustione, comincia la fase di propagazione dell'incendio.

Durante questa fase, si passa da 0 a 2000 kW in 400 secondi per poi procedere con un andamento stazionario.

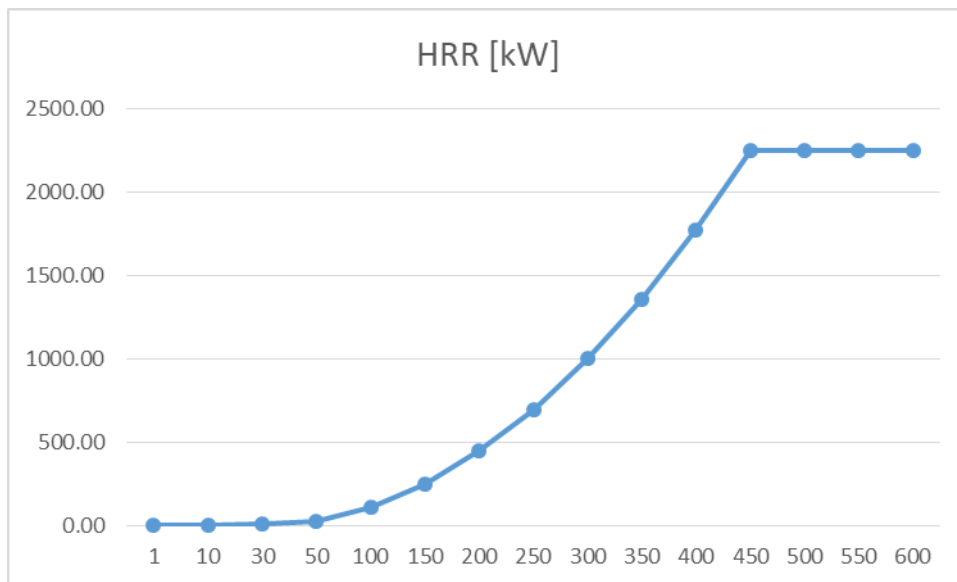


Figura 3.3 - Curva di rilascio HRR

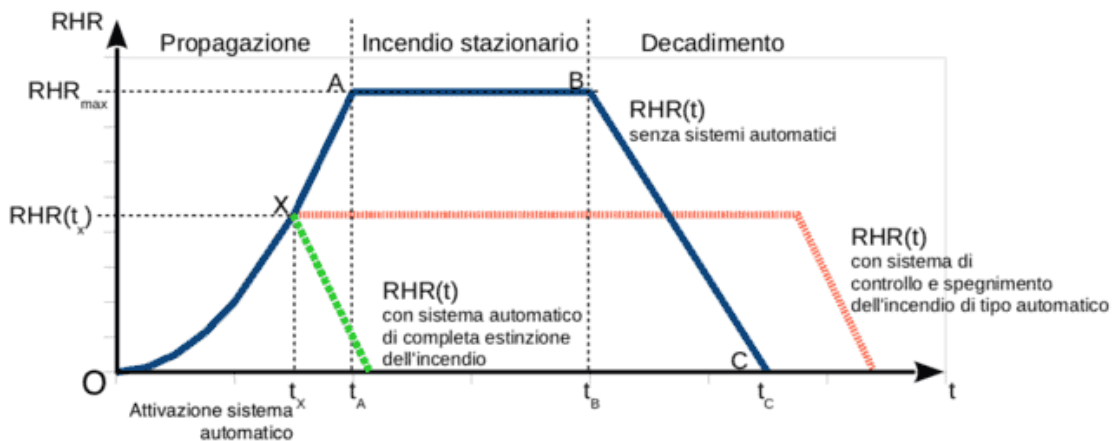


Figura 3.4 - Fasi dell'incendio

La curva RHR ( come mostrato in figura 3.4) rappresenta il tasso di rilascio termico (o Heat Release Rate – HRR) ovvero l’energia termica emessa da un focolare o da un incendio per unità di tempo, quasi sempre espressa in kW(sec). Il concetto di RHR o HRR fornisce maggiori indicazioni rispetto al concetto di carico incendio.

Il primo, infatti, prende in esame il rilascio d’una potenza termica, ossia un parametro strettamente legato allo sviluppo dell’incendio reale; il carico d’incendio, invece, è riferito ad un’energia rilasciata, senza riferimenti al tempo di combustione.

Inoltre, per il carico d’incendio la stima della temperatura risulta molto conservativa in quanto si presuppone che tutto il combustibile presente

partecipi alla combustione; quindi, si descrive la dinamica dell'incendio solo nella fase di post flashover.

Possiamo riassumere le fasi che caratterizzano un incendio in 4 fasi:

**Ignizione:** rappresenta la fase iniziale in cui un materiale combustibile inizia il processo della combustione che in questa fase è governato principalmente dal bilancio termico della reazione;

**Fase di propagazione:** una volta stabilizzata la reazione di combustione, si nota una marcata tendenza all'estensione dell'incendio, associata ad un rapido aumento della temperatura ambientale;

**Fase d'incendio generalizzato:** quando la temperatura ambientale tende all'uniformità e raggiunge valori compresi fra 500 °C e 600 °C, in dipendenza delle caratteristiche del compartimento e dei materiali combustibili in esso contenuti, si ha il cosiddetto punto critico ovvero punto di completo sviluppo dell'incendio (flashover); il termine flashover si usa per indicare l'accensione improvvisa dei gas accumulatisi nella parte alta d'un locale, durante l'incendio.

Una fase dello sviluppo di un incendio al chiuso nel quale tutte le superfici esposte raggiungono la temperatura di accensione più o meno contemporaneamente ed il fuoco si propaga rapidamente in tutto il compartimento. Il flashover coincide con il primo punto di flesso della curva e tutto il materiale combustibile presente nel locale investito dall'incendio prende fuoco contemporaneamente;

**Fase d'estinzione e raffreddamento:** il progressivo esaurimento del combustibile determina la riduzione dell'emissione termica da parte dell'incendio, il quale diminuisce gradualmente d'intensità, fino a giungere all'estinzione. L'incendio può essere considerato estinto quando la temperatura dell'ambiente è scesa al di sotto dei 300 °C, potendosi ragionevolmente escludere improvvisi inneschi o ritorni di incendio.

Nello studio effettuato, in primo luogo si è partiti con un'analisi stazionaria per determinare il campo di ventilazione attorno all'edificio e sui due piani considerati aperti (piano primo e piano secondo).

Successivamente è stato effettuato un calcolo transiente per simulare lo scenario incidentale, con step temporale di 15 secondi per un totale di 40 steps fino al raggiungimento dei dieci minuti ovvero 600 secondi del fenomeno.

In primo luogo, la temperatura ambiente considerata corrispondeva a 290°K equivalenti a 16°C.

Le prime tre immagini sono relative alla finestra centrale esposta a Sud, mentre le successive due riguardano una finestra laterale all'interno dell'appartamento.

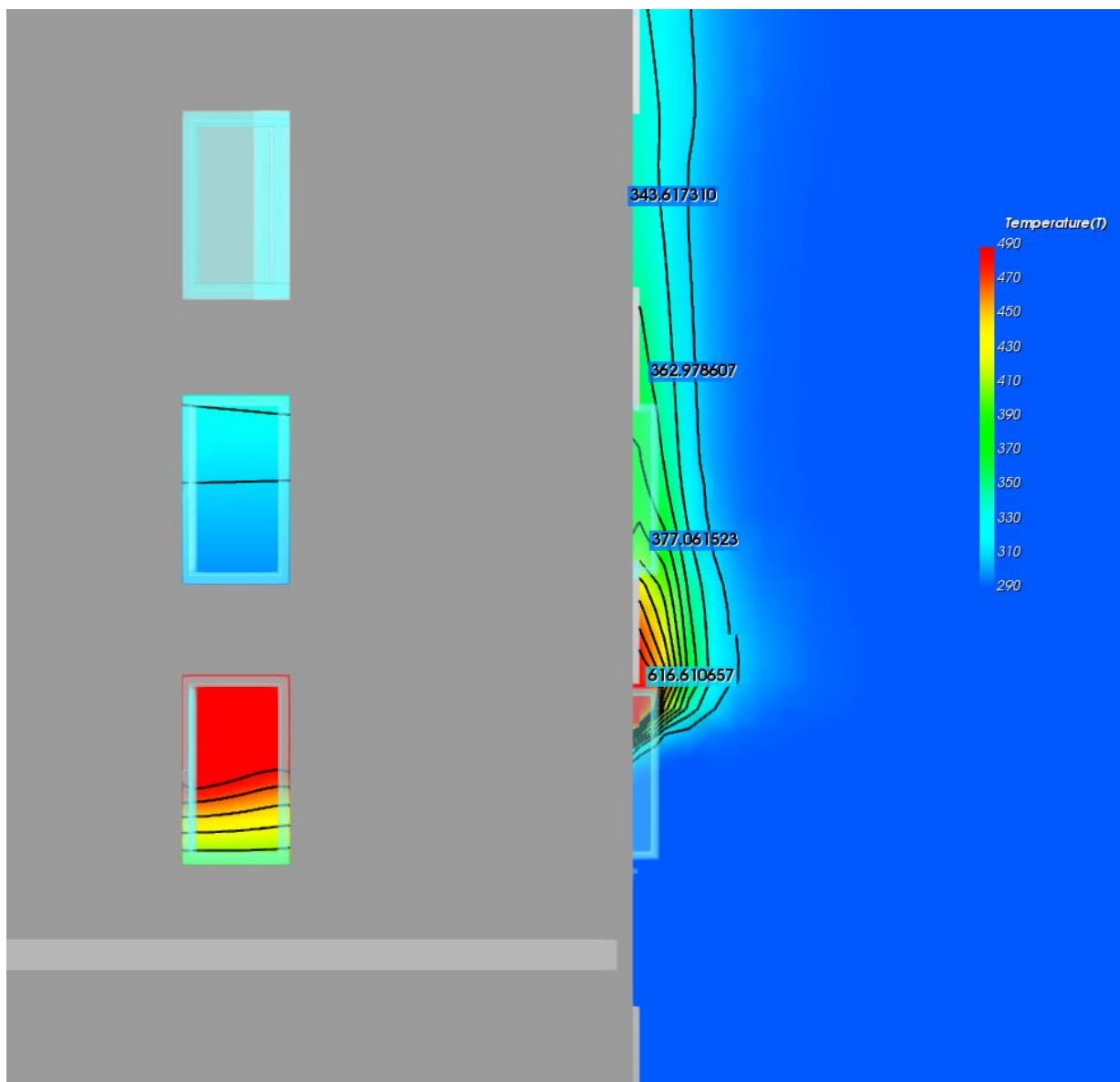


Figura 3.5- Finestra centrale

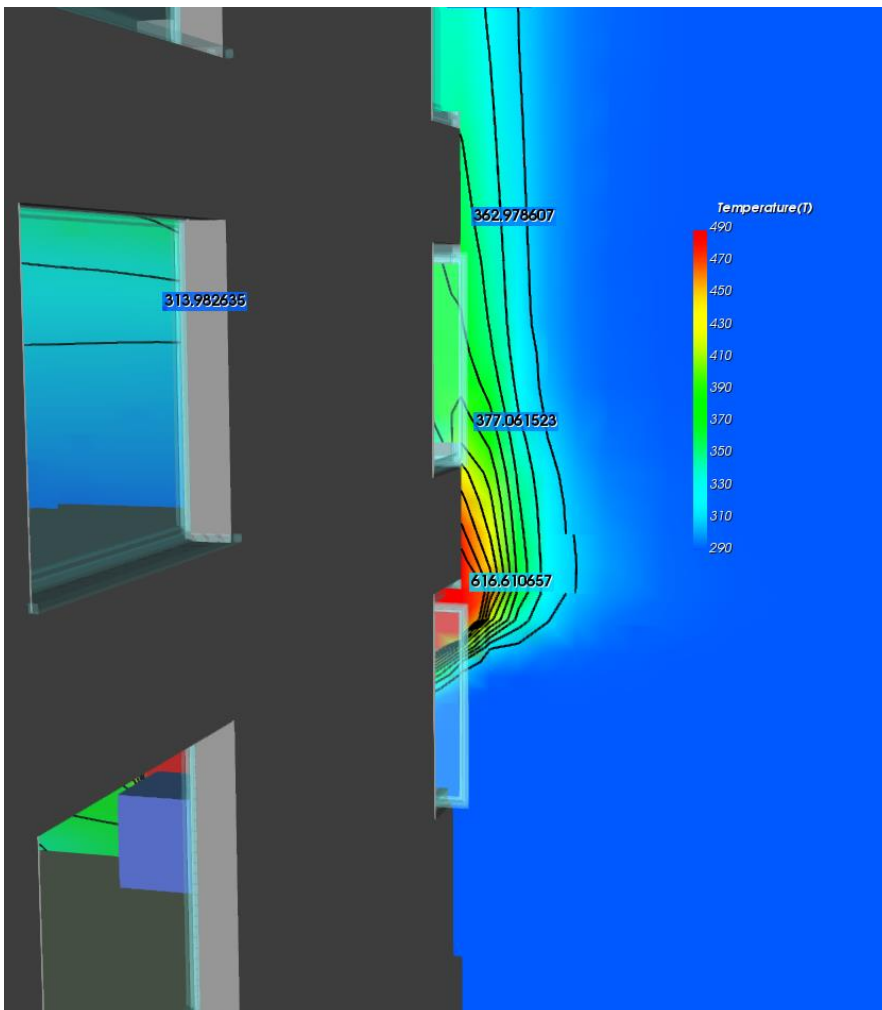
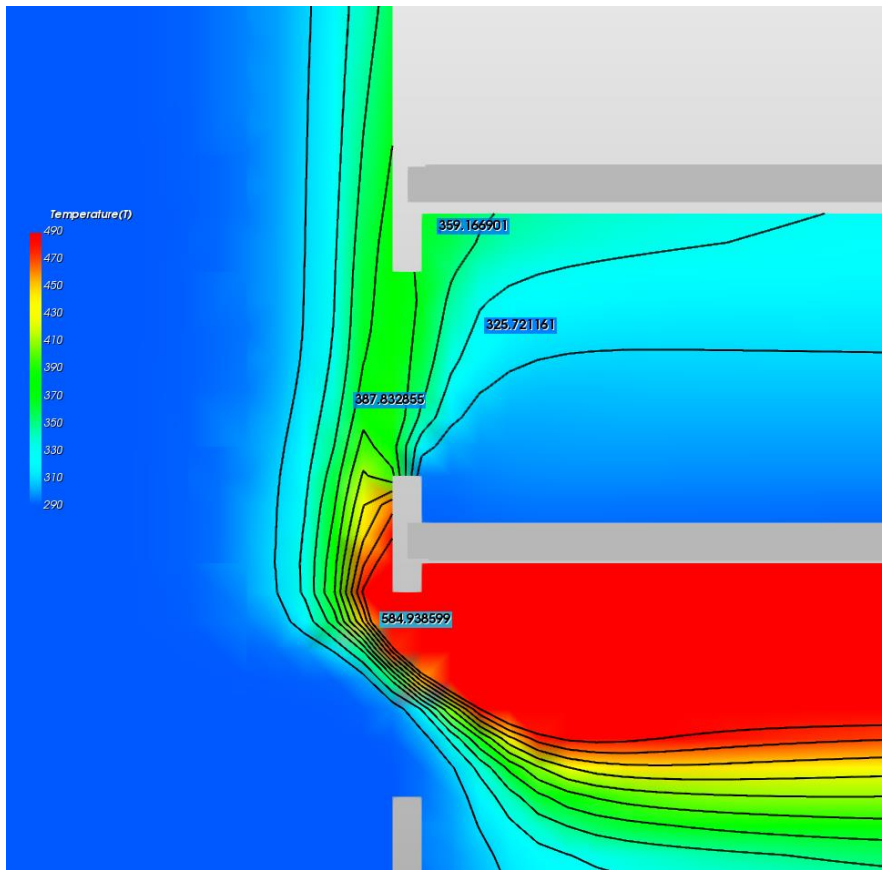


Figura 3.6 – 3.7 - Temperatura finestra centrale

Le immagini qui presenti hanno una temperatura in Kelvin.

Ciò che si può notare da questa prima analisi effettuata è che le temperature inter piano raggiunte in prossimità della compartimentazione di 100cm, soffermandosi sulla finestra centrale aperta, raggiungono massimo i 370°K corrispondenti a 100°C circa esterni.

Per quanto riguarda l'analisi effettuata sulla finestra laterale, sempre aperta, presenta pressoché i medesimi risultati: una temperatura esterna all'incirca di 100°C e una temperatura all'interno del secondo piano molto bassa, di 314°K corrispondenti a 40°C.

L'ultima immagine rappresenta una mappa dei fumi dispersi a causa della fonte di incendio.

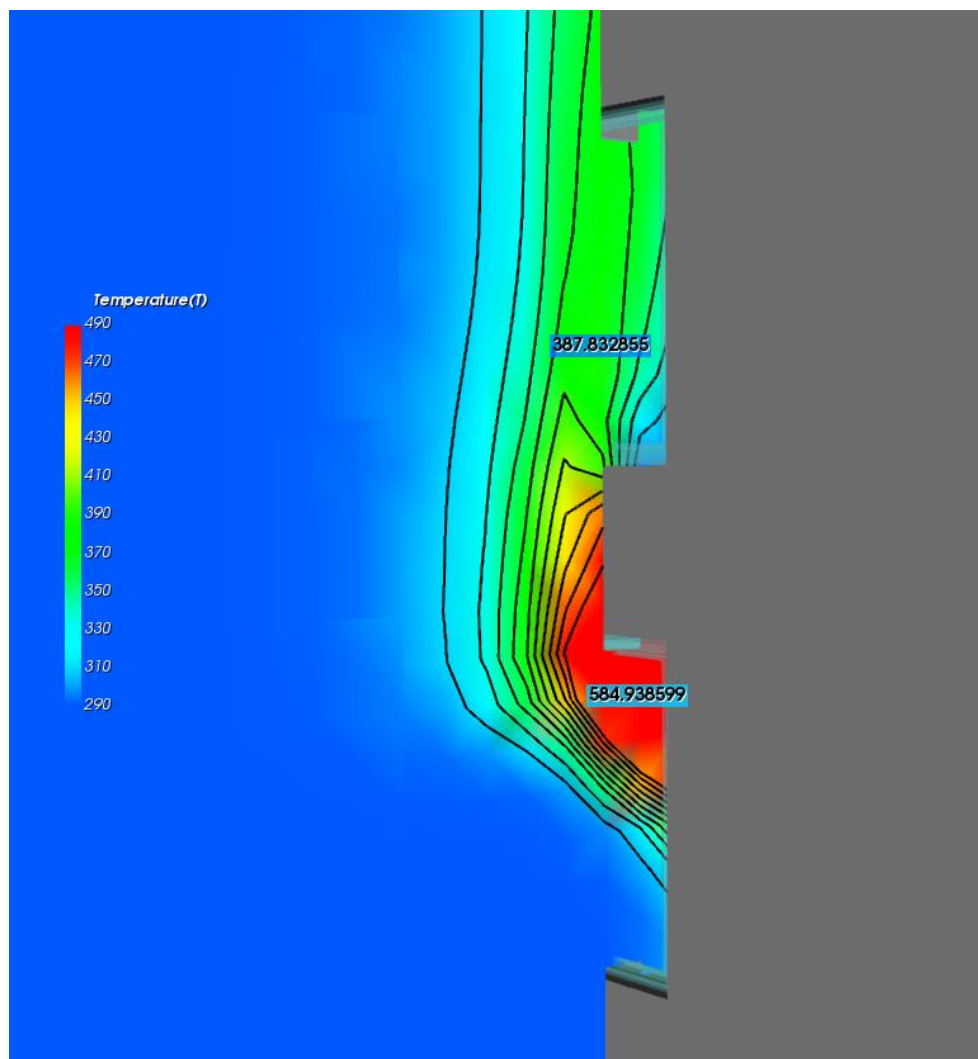


Figura 3.8 - Temperatura finestra laterale

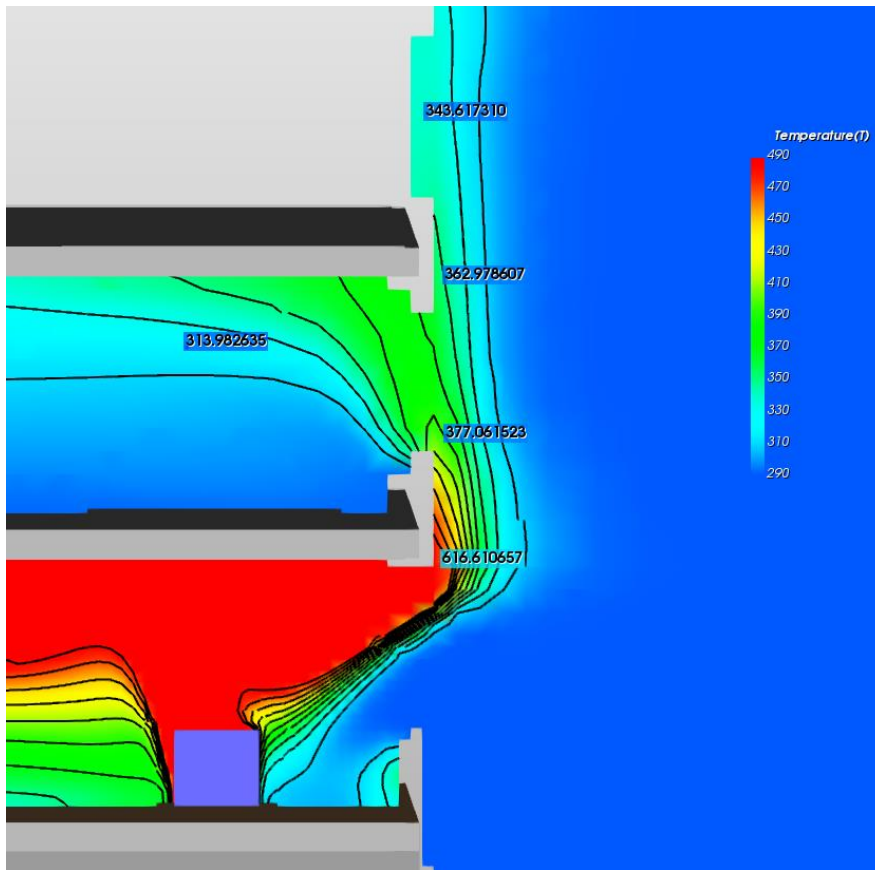


Figura 3.9 - Temperatura finestra laterale

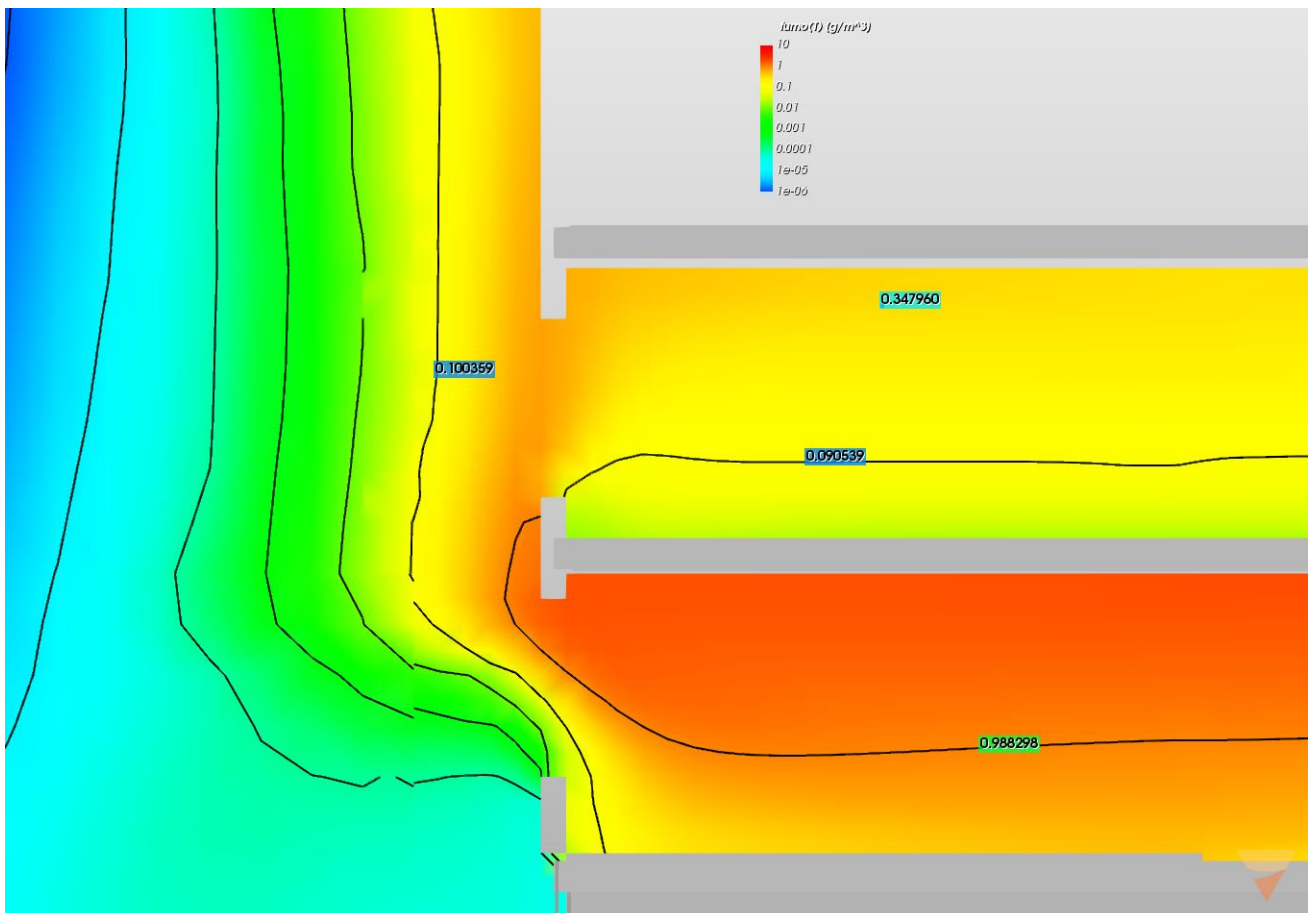


Figura 3.10 - Fumi

Quel che ci si aspettava da queste prime analisi iniziali è che con una potenza termica di rilascio di 2500 kW considerando un periodo di 10 minuti, si raggiungesse all'interno del secondo piano una temperatura di almeno 200°C e non 120°C ottenuti.

Per tale motivo, son state considerate altre due soluzioni per una nuova analisi:

- Portare la simulazione a 20 minuti e non più a 10 minuti, mantenendo fissa la potenza massima di 2500 kW;
- Cambiare la curva di rilascio termico HRR considerandone una superiore.

## 3.2 SECONDO SCENARIO

Optando per la prima soluzione, con un rilascio termico di 2500 kW ma considerando un range di tempo superiore di altri 10 minuti, si sono ottenuti altri 40 nuovi steps da 15 secondi l'uno senza però avere risultati differenti. Il vento preso in considerazione in questa nuova analisi proveniva da Sud e da Est.

All'interno delle immagini successive ( Figura 3.11 e 3.12) si possono notare quattro nuvole di colori differenti che rappresentano quattro range di temperature diverse:

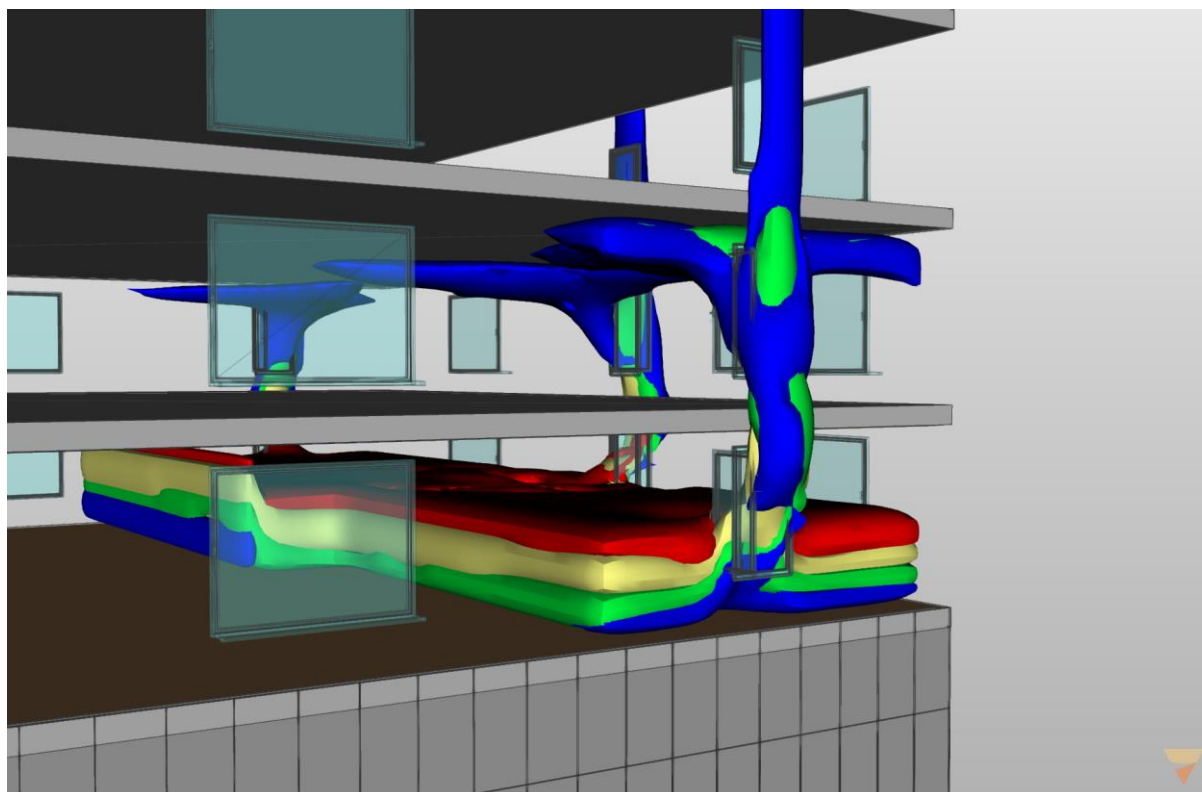
- Nuvola rossa T= 150-200°C
- Nuvola gialla T= 100-150 °C
- Nuvola verde T=70-100 °C
- Nuvola blu T= 50-70°C

Le differenze notate sono minime in quanto all'interno del piano superiore si ha una temperatura sempre molto bassa nonostante un'energia di rilascio maggiore nel doppio del tempo.

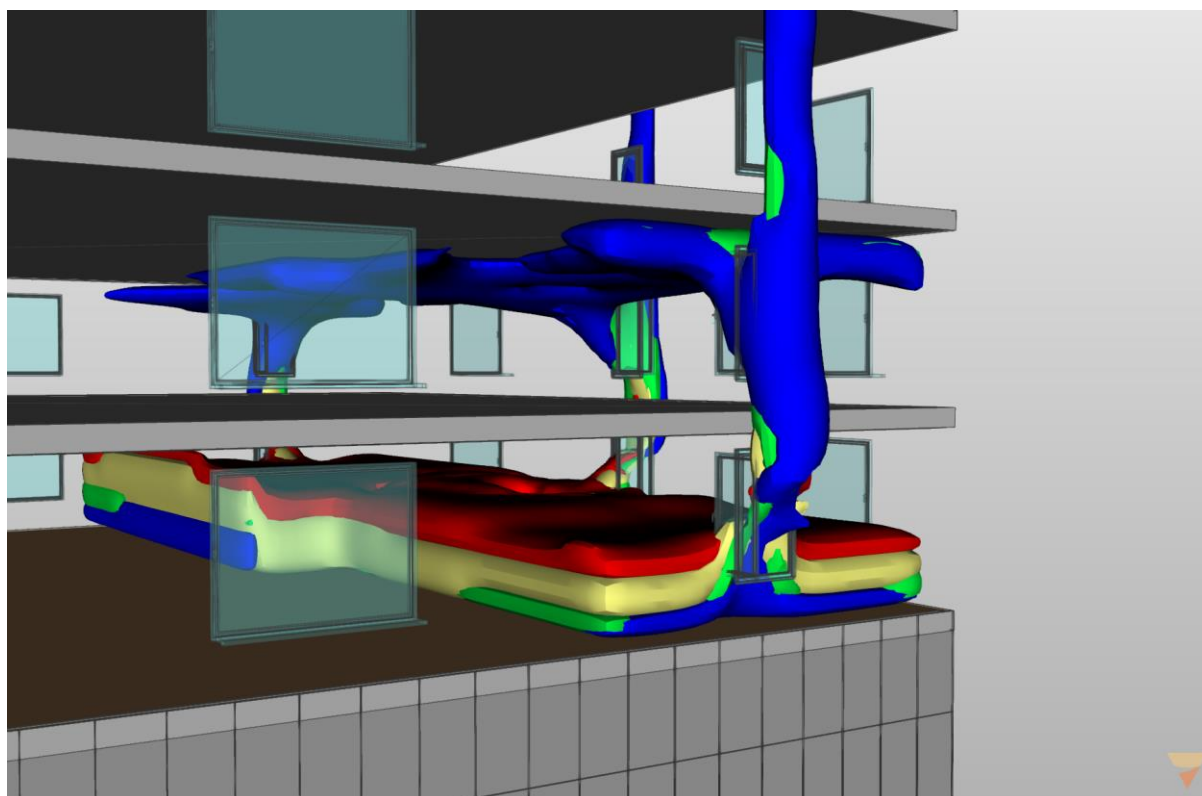
Se si trasmette ad un ambiente una potenza di rilascio termico di 2500 kW per 10 minuti o 20 minuti ci si aspetta nel secondo caso un'energia e un



calore maggiori. All'interno di quest'ultima analisi invece, è sembrata esserci una cessione del calore verso l'esterno del sistema.



*Figura 3.11 - Vento da Sud*



*Figura 3.12 - Vento da Est*

### 3.3 TERZO SCENARIO

La scelta ultima è ricaduta sul considerare una differente curva di rilascio termico HRR, come in figura 3.13, con crescita lenta in un range di 20 minuti.

Dopo una prima fase lenta di combustione, a 600 secondi la curva continua ad aumentare il suo andamento, aumentando l'energia termica in fase di propagazione dell'incendio, a differenza della curva presa in considerazione nel primo scenario.

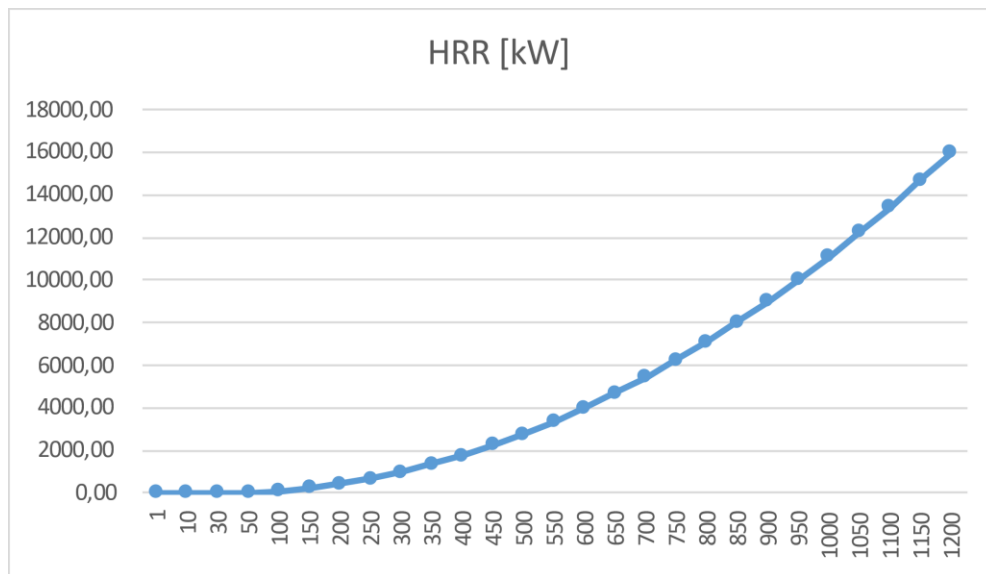


Figura 3.13 - Curva di rilascio termico HRR

Nel primo caso, la curva di rilascio aumentava il suo andamento fino a 400 secondi raggiungendo un'energia di 2000 kW.

Nonostante questa curva di rilascio termico in un range maggiore di tempo, i risultati non son stati convincenti in quanto la temperature interna al secondo piano è risultata addirittura minore della prima soluzione.

### 3.4 CONCLUSIONI

Nonostante le diverse prove effettuate col software “Vento AEC”, ciò che è apparso dalle analisi non rispecchia del tutto ciò che accade realmente durante un incendio in un edificio a più piani fuori terra.

Con una curva di rilascio termico superiore a 2000 kW si immagina una fase di propagazione dell’incendio più importante non solo a livello di energia ma anche a livello di calore raggiunto internamente ai piani coinvolti.

In queste analisi le temperature molto elevate sono state raggiunte solo all’interno della stanza che presenta la fonte di innesco, ma nel momento in cui l’incendio si propaga al piano superiore, superando la fascia di separazione interpiano di 1m, sembra reagire fin troppo bene rispetto a ciò che realmente accade.

Le temperature all’interno del secondo piano dovrebbero essere almeno di 200°C se non superiori.

Ciò che si nota è uno spegnimento dell’incendio quasi immediato.

Come da letteratura, l’incendio si considera estinto quando la temperatura dell’ambiente coinvolto, scende al di sotto dei 300°C, escludendo riaccensioni o improvvise fonti di innesco.

La letteratura italiana<sup>12</sup> stabilisce che debbano esserci almeno 100cm interpiano di fascia di separazione orizzontale in facciata, per una maggiore protezione e migliore difesa dall’incendio.

Nelle prove viste nei capitoli precedenti effettuate in diversi paesi Europei, nonostante materiali differenti utilizzati e reputati migliori nella costruzione di un edificio con più piani fuori terra, almeno i primi piani sono risultati coinvolti del tutto sia esternamente che internamente.

Questo ci permette di capire che le analisi effettuate non rispecchino la realtà dei fatti e che non possono esserci temperature di 40°C (viste

---

<sup>12</sup> *Chiusure d'ambito degli edifici civili - V.13. (s.d.).*

precedentemente in una delle sezioni) all'interno del piano coinvolto, posto superiormente rispetto al piano di innesco.



## 4. INCENDI NEGLI EDIFICI ALTI

L'altezza in ogni struttura di un edificio può giocare un ruolo cruciale sull'evacuazione degli occupanti.

Negli ultimi anni sono molti gli incendi avvenuti per svariate cause in diverse città del mondo:



*Figura 4.1 - Esempi di incendio*

L'incendio della Grenfell Tower di Londra ( Figura 4.2) avvenuto nella notte del 14/06/2017 è stato per il nostro paese un brusco richiamo alla realtà.



*Figura 4.2 - Grenfell Tower Londra*

Il drammatico evento, in cui persero la vita ben settantanove persone, è considerato il più grave incendio avvenuto nel Regno Unito dal dopoguerra, e ha riguardato un edificio destinato a civile abitazione.

La Grenfell Tower era una casa popolare realizzata su ventiquattro piani in cui abitavano seicento persone.

L'edificio era stato costruito negli anni 70 in un'area composta da case popolari circondate da quartieri ricchi residenziali. La torre era dotata di un'unica scala aperta, accessibile da un pianerottolo centrale presente in ciascun piano, su cui si affacciavano i due ascensori.

La torre doveva essere valorizzata e adeguata dal punto di vista energetico; pertanto, in facciata furono applicati dei pannelli isolanti, posati in modo da realizzare una intercapedine ventilata tale da contrastare l'umidità, dotati di un doppio rivestimento in lastre di alluminio, fissate ad un'anima in polietilene per garantire un gradevole effetto estetico e proteggere lo strato isolante e l'involucro dell'edificio dall'acqua meteorica e da danni eventuali meccanici.

I lavori non prevedevano interventi strutturali, pertanto la scala non fu racchiusa in compartimento antincendio, essendo presente al piano terra un ampio atrio, mentre le porte degli appartamenti garantivano la tenuta ai fumi caldi e al calore, ma soltanto per 30 minuti.

L'incendio è stato innescato dal malfunzionamento del motore di un frigorifero posizionato in un appartamento del quarto piano.

Il calore dell'incendio si è trasferito rapidamente dal locale cucina, attraverso una finestra lasciata aperta, al rivestimento in alluminio causandone la deformazione e la delaminazione rispetto al nucleo in polietilene che ha causato la rapida propagazione dell'incendio lungo la parete ventilata dell'edificio.

L'effetto camino garantito dall'intercapedine in facciata e la mancanza di fasce tagliafuoco di compartimentazione in facciata, ha accelerato la propagazione delle fiamme verso i piani superiori estendendo in pochissimo tempo l'incendio a tutta la facciata, passando dal quarto piano al tredicesimo piano nel giro di dieci minuti e, dopo solo mezz'ora di tempo arrivando fino alla sommità della torre.

Tutte le persone che persero la vita all'interno della torre si trovavano oltre il decimo piano. Nessun vigile del fuoco, pur protetto riuscì a superare il ventesimo piano.

Le problematiche che sono state esaminate e risolte, emerse proprio dagli eventi più significativi, sono state:

- La presenza di materiali facilmente combustibili in facciata
- L'assenza di ostacoli alla propagazione dell'incendio in facciata e nelle facciate limitrofe
- Le condizioni geometriche e di ventilazione che potevano favorire lo sviluppo dell'incendio verso l'alto ed in orizzontale
- Il possibile distacco di porzioni di facciata incendiate e il coinvolgimento di porzioni ancora integre

Nello scenario statunitense, nell'arco di cinque anni, i vigili del fuoco hanno risposto a una media di 14500 chiamate per incendi all'anno in grattacieli o edifici alti.

Questi incendi hanno causato una media annua di:

- 40 morti



- 520 feriti
- \$ 154 milioni di danni diretti alla proprietà

La maggior parte degli incendi negli edifici alti avviene nelle abitazioni o unità familiari, circa per il 62%, la restante minima parte avviene negli hotel, dormitori, uffici, strutture sanitarie o ammissibili.

La percentuale di incendi che avvengono all'interno dei grattacieli è inferiore a quella relativa agli edifici bassi.

Negli appartamenti si ha il 4% degli incendi contro il 10% negli edifici più bassi; negli hotel si ha il 4% degli incendi nei grattacieli contro l'11% negli edifici più bassi; nei dormitori si ha il 2% nei grattacieli contro l'1% in edifici più bassi; negli uffici il 10% degli incendi avviene nei grattacieli rispetto al 21% in edifici più bassi e infine le strutture di cura o sanitarie che presentano la percentuale maggiore negli edifici più bassi rispetto ai grattacieli.

Questo avviene perché i grattacieli essendo edifici alti, hanno più probabilità rispetto agli edifici bassi di avere una struttura resistente al fuoco, sistemi di spegnimento automatici come sprinkler.

Questi tipi di protezione aiutano a prevenire la propagazione del fuoco.

Su 10000 incendi più del 62% degli incendi avviene in edifici multipiano destinati a residenza. Hotel, dormitori pesano circa il 4%.

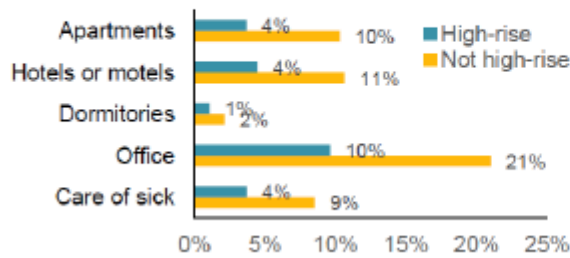
Analizzando le camere comuni alle diverse destinazioni d'uso, la cucina o l'angolo cottura sono le principali aree di origine in tutte e cinque le tipologie costruttive, indipendentemente dall'altezza.

Negli edifici multipiano è meno probabile che gli incendi si propaghino oltre la stanza e il piano di origine rispetto agli incendi in edifici più bassi.

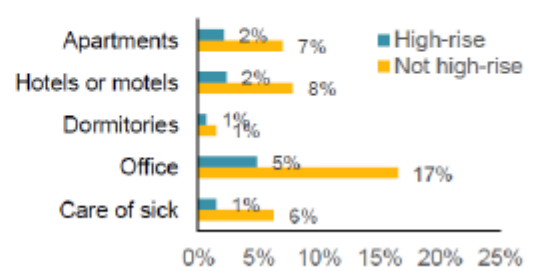
Negli edifici bassi l'incendio statisticamente si propaga molto più facilmente oltre la stanza d'origine.

**Fire spread beyond the room and floor of origin  
2009-2013**

**A. Beyond room of origin.**



**B. Beyond floor of origin**



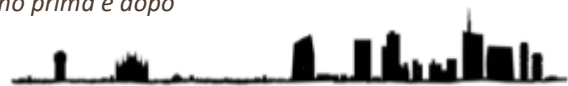
*Figura 4.3 - Propagazione dell'incendio*

Per tale motivo e per una sicurezza effettiva verificata dalle indagini e dagli studi nel corso degli anni, rispetto al passato le città sono cresciute molto verticalmente, in altezza.

Analizzando Milano (Figura 4.4 e 4.5), in pochi anni ha avuto uno sviluppo verticale tra le zone Citylife, Garibaldi-Isola.



*Figura 3.4 – 4.5 - Milano prima e dopo*



Le facciate negli edifici moderni sono i nuovi punti deboli dell'edificio.

L'idea che l'incendio esterno sia meno importante ha portato a trascurare la propagazione e gli effetti del fuoco in facciata.

Poiché i grattacieli tendono ad avere un maggior numero di occupanti e percorsi d'esodo, la prevenzione e la protezione antincendio sono essenziali.

Così come è anche consigliato da normativa di cui sopra, gli obiettivi sono:

- Evitare e/o limitare la propagazione di un incendio dall'esterno dell'edificio al suo interno;
- Evitare e/o limitare la propagazione di un incendio dall'interno dell'edificio al suo esterno;
- Evitare e/o limitare la probabilità di un incendio di una facciata e la sua propagazione a edifici limitrofi e/o ad aree prossime;
- Evitare e/o limitare la caduta di parti della facciata che possono compromettere l'esodo e la sicurezza dei soccorritori

Questi obiettivi si traducono in prevenzione e protezione.

La protezione al fuoco consiste nel controllo del processo di combustione, progettando i materiali da costruzione e d'arredo, la costruzione limitando e contenendo la propagazione dell'incendio.

Per essere efficace una compartimentazione deve garantire per un tempo che ne caratterizza la durata:

- T max inferiore a 180°C
- T media inferiore a 140°C
- Nessun passaggio di fumo
- Irraggiamento inferiore a 15 kW/mq

Contrariamente al sistema italiano, che prevede di assegnare ai materiali sei classi di reazione al fuoco: 0,1,2,3,4,5 con l'aumentare del loro grado di partecipazione alla combustione, a partire dalla classe 0 riservata ai materiali non combustibili, il sistema europeo delle EUROCLASSI ne prevede 7 espresse in lettere con valore decrescente:

- A1 e A2 per materiali inorganici non combustibili
- B,C,D,E per materiali combustibili con diverse caratteristiche di reazione al fuoco
- F per materiali combustibili che non superano i test di piccola fiamma previsto per la classe E

Il sistema prevede anche la valutazione dello sviluppo di fumi "s" "smoke" variabile da s1 a s3 e del gocciolamento di particelle ardenti "d" "dropping" variabile da d0 a d2.

## 4.1 CRITICITA' DELLE FACCIATE CONTINUE

L'incendio di un edificio può propagare perché il calore si trasmette per conduzione, convezione e radiazione alle partizioni orizzontali e verticali.

I solai avendo una elevata inerzia termica, rallentano la diffusione del calore.

Al contrario le facciate continue non sono elementi massivi e materiali come l'alluminio sono fortemente conduttivi. Esse sono strutture discontinue e rappresentano una via preferenziale per il passaggio di fumo e fiamme anche a causa della differenza di pressione tra l'ambiente dell'innescò e gli altri locali.

Un fattore che incrementa la diffusione dell'incendio è il vento che influisce sulla velocità di combustione apportando comburente.

L'osservazione di incendi legati alle facciate continue ha evidenziato i punti deboli di cui tener conto in fase progettuale:

- Propagazione verticale dell'incendio nell'intercapedine esistente tra piano della facciata e bordo dei solai, imputabile ad una scarsa tenuta al fumo in corrispondenza dell'attacco della struttura alle partizioni orizzontali dell'edificio.
- Propagazione possibile verticale dell'incendio per conduzione all'interno del pannello sottofinestra della facciata.
- Propagazione verticale del fuoco, esternamente al piano della facciata, dovuta alla risalita delle fiamme ai piani superiori una volta causata la rottura dei vetri di ogni piano. Ciò consiste quindi nella propagazione dell'incendio dal piano in cui è situato il focolaio iniziale a quelli successivi, risalendo dall'esterno per poi rientrare internamente.

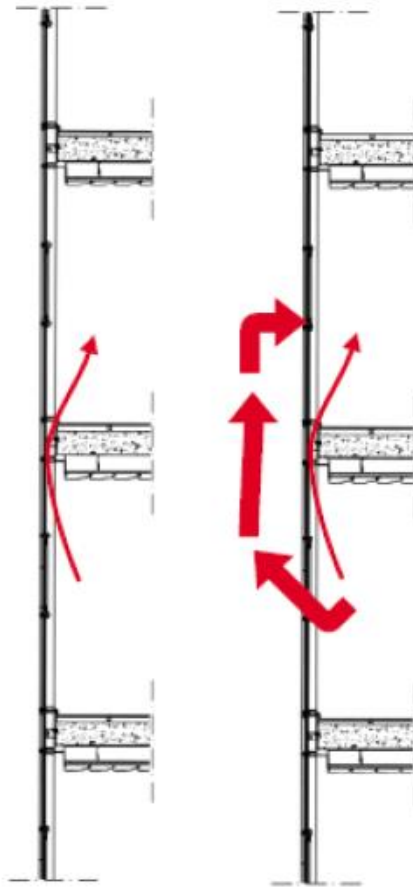


Figura 4.6 - Propagazione incendio in facciata

## 4.2 CRITERI PROGETTUALI

Sono stati quindi individuati alcuni punti fondamentali da rispettare nel processo di ingegnerizzazione della facciata:

- Predisposizione di un setto tagliafuoco in materiale incombustibile ed ancorato all'intradosso della soletta e non alla facciata.
- Materiali incombustibili come lana di roccia, lana di vetro, espansi rigidi a base di resine poliuretatiche.

## 4.3 CONCLUSIONI

L'elaborato di tesi riguarda la propagazione del fuoco in facciata e i danni che comporterebbe una sbagliata progettazione antincendio.

Durante un incendio, le fiamme fuoriescono dalle aperture sulla facciata fino a raggiungere anche un'altezza di 5m.

L'elaborato è stato diviso in quattro capitoli:

- Capitolo 1 riguardante le normative italiane tra cui la guida sui requisiti di progettazione antincendio negli edifici civili, del 2013 e la regola tecnica verticale sulle chiusure d'ambito, ormai fondamentale e in vigore.
- Capitolo 2 riguardante l'ampia gamma di normative europee, nello specifico quella inglese e quella francese, al fine di ottenere un confronto e di analizzare le differenti prove eseguite in laboratorio per constatare la resistenza dei materiali isolanti e di involucro.
- Capitolo 3 riguardante la sperimentazione avvenuta utilizzando il software di fluidodinamica "Vento AEC", tramite il quale si è cercato di scoprire e approfondire la resistenza della fascia di compartimentazione interpiano, soggetta ad una determinata fonte di calore.
- Capitolo 4 nel quale si è evidenziata l'evoluzione, nella storia delle facciate, dell'importanza data nella prevenzione incendi degli edifici alti.

Ciò che si evince dall'elaborato di tesi è che la scelta dei materiali in fase di progettazione di un edificio è molto importante in quanto non tutti sono in grado di resistere al fuoco.

L'utilizzo di materiali incombustibili in facciata risulta essere la soluzione migliore che garantisce la massima sicurezza antincendio possibile.

Infatti, considerato ciò, la quasi totalità dei vari paesi europei ha vietato l'utilizzo di isolanti combustibili negli edifici più critici, come gli edifici alti o edifici occupati da utenze più fragili come anziani, bambini o malati.

Gli edifici ritenuti meno critici sono quelli ad altezza intermedia in cui i paesi europei ammettono l'utilizzo di isolanti combustibili se in abbinamento ad isolanti incombustibili.

Affacciandosi al panorama francese, la guida sull'utilizzo del sistema ETICS permette di comprendere l'importanza di fasce interpiano inserite in facciata, alternate all'isolante EPS. Questo permette di avere una maggiore resistenza al fuoco nel sistema.

L'istruzione tecnica 249 invece, viene utilizzata nel momento in cui le disposizioni relative alle facciate e al collegamento con i solai, non richiedono verifiche sperimentali mediante la prova LEPiR 2.

L'istruzione tecnica 249 viene rapportata sia a facciate continue in cui vige la regola C+D (sopra menzionata), sia a facciate pesanti in cui o si richiede al produttore la certificazione dei materiali per la resistenza al fuoco oppure si richiede una protezione sul giunto facciata-solaio per evitare la propagazione del fuoco.

Così come si dà importanza al giunto facciata solaio utilizzando isolanti incombustibili nella normativa francese, così lo si fa anche nella normativa italiana che ribadisce l'importanza del metro di fascia di compartimentazione interpiano e dei materiali isolanti incombustibili ormai da utilizzare.

In termini di reazione al fuoco, la regola tecnica verticale prescrive per isolanti termici, per i sistemi di isolamento esterno ETICS e per le guarnizioni e sigillanti, l'utilizzo di materiali di classe GM1 e GM2.

Per quanto riguarda invece il panorama inglese, la normativa viene utilizzata per edifici che superano un'altezza di 18 m, in cui i materiali combustibili non sono consentiti all'interno delle facciate ventilate.





## Bibliografia

- *Ministero dell'Interno, Dipartimento dei Vigili del Fuoco. (2015). Decreto Ministeriale (DM 03.08.2015).*
- *Chiusure d'ambito degli edifici civili - V.13. (s.d.).*
- *F.I.V.R.A.*
- *Protezione antincendio di facciate in calcestruzzo o in muratura con sistemi di isolamento termico esterno con rivestimento in polistirene espanso (ETICS-PSE). (2016).*
- *Documentation Batiss - Instruction Technique 249. (2010).*
- *Interflam 2019: facades. (2020).*
- *PAS 9980:2022, Fire risk appraisal of external wall construction and cladding of existing blocks of flats – Code of practice. (s.d.).*
- *Vento CFD srl*