



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile
a.a. 2024/2025
Sessione di Laurea Marzo 2025

**SICUREZZA ANTINCENDIO DELLE
FACCIATE DEGLI EDIFICI: CRITICITÀ,
SOLUZIONI E STRATEGIE PROGETTUALI**

Relatore:
Prof. Roberto Vancetti

Candidata:
Irene Copparoni

Correlatore:
Ing. Filippo Cosi

Abstract

In questo elaborato di tesi viene trattato il tema della sicurezza antincendio delle facciate, un argomento di crescente rilevanza nella progettazione degli edifici, soprattutto dopo eventi disastrosi come l'incendio della Torre Grenfell.

Il capitolo introduttivo analizza il panorama normativo internazionale e nazionale, mettendo a confronto regolamentazioni di paesi come Regno Unito, Svezia, Croazia, Nuova Zelanda e Spagna con la normativa italiana. In questo modo è possibile evidenziare criticità e differenze e valutare la loro efficacia nella prevenzione e gestione del rischio incendio.

In seguito, viene effettuata una catalogazione delle tipologie di facciate secondo il Codice di Prevenzione Incendi, in particolare vengono integrate soluzioni innovative a quelle tradizionali. Viene fatta poi una valutazione del rischio approfondita attraverso l'analisi dei requisiti di reazione al fuoco, resistenza al fuoco e compartimentazione. È esaminato quindi l'impatto delle strategie di efficientamento energetico sulla sicurezza antincendio in relazione alle tecnologie utilizzate.

Viene poi analizzato il caso emblematico dell'incendio della Torre Grenfell, con una sintesi e un'analisi dell'inchiesta conclusasi dopo anni il 4 settembre 2024, in modo da avere più chiarezza riguardo le criticità dell'incidente.

Successivamente, vengono studiati i fattori geometrici e climatici che influenzano la propagazione del fuoco come la presenza di intercapedini, angoli tra facciate, balconi e rientranze. La tesi prosegue con l'analisi delle tecnologie e dei materiali per la protezione antincendio, offrendo soluzioni sia di tipo passivo che attivo. Inoltre, lo studio della propagazione del fuoco sulle facciate è approfondito attraverso esempi di prove eseguite su diverse scale per valutare le implicazioni sulla sicurezza.

Infine, l'elaborato approfondisce quanto spiegato fin qui introducendo la modellazione numerica tramite gli strumenti della Fire Safety Engineering (FSE), ossia con elaborazioni CFD (Computational Fluid Dynamics) proponendo esempi pratici di applicazione di questi strumenti. Il caso studio sviluppato con FDS permette di avere il confronto tra dati

sperimentali e simulazioni numeriche, che consente di valutarne l'affidabilità e i possibili ambiti di applicazione.

La ricerca evidenzia l'importanza di integrare le soluzioni di efficientamento energetico con i requisiti di sicurezza antincendio, questo si ottiene solo attraverso una progettazione che tiene conto di entrambi gli ambiti, con lo scopo di garantire edifici a basso impatto ambientale, ma anche sicuri in caso di incendio.

Abstract (EN)

This thesis paper discusses the topic of facade fire safety, a topic of increasing relevance in building design, especially after disastrous events such as the Grenfell Tower fire.

The introductory chapter analyzes the international and national regulatory landscape, comparing regulations from countries such as the United Kingdom, Sweden, Croatia, New Zealand and Spain with Italian regulations. In this way, critical issues and differences can be highlighted and their effectiveness in fire risk prevention and management evaluated.

Next, a cataloguing of façade types according to the Fire Prevention Code is carried out, in particular, innovative solutions are integrated with traditional ones. An in-depth risk assessment is then made through the analysis of fire reaction, fire resistance and compartmentation requirements. The impact of energy efficiency strategies on fire safety in relation to the technologies used is then examined.

The landmark case of the Grenfell Tower fire is then analyzed, with a summary and analysis of the investigation that ended after years on September 4, 2024, so as to have more clarity regarding the critical issues of the incident.

Next, geometric and climatic factors affecting fire spread such as the presence of cavities, angles between facades, balconies and recesses are studied. The thesis goes on to analyze fire protection technologies and materials, offering both passive and active solutions. In addition, the study of fire propagation on facades is explored in depth through examples of tests performed at different scales to assess the safety implications.

Finally, the paper deepens what has been explained so far by introducing numerical modeling using Fire Safety Engineering (FSE) tools, i.e., with Computational Fluid Dynamics (CFD) computations, proposing practical examples of the application of these tools. The case study developed with FDS allows us to have the comparison between experimental data and numerical simulations, which allows us to assess their reliability and possible areas of application.

The research highlights the importance of integrating energy-efficient solutions with fire safety requirements; this can only be achieved through a design that takes into account both areas, with the aim of ensuring buildings that are environmentally friendly but also safe in case of fire.

Indice

Abstract	1
Abstract (EN)	3
Introduzione al tema della sicurezza antincendio delle facciate	7
1. Panorama normativo sulla sicurezza antincendio delle facciate	10
1.1 Panorama normativo internazionale e confronto con la normativa italiana	10
1.1.1 Regolamentazione britannica	10
1.1.2 Regolamentazione svedese.....	16
1.1.3 Regolamentazione croata	19
1.1.4 Regolamentazione neozelandese	27
1.1.5 Regolamentazione spagnola.....	28
1.2 Panorama normativo nazionale.....	32
2. I sistemi di facciata: catalogazione delle tipologie di facciata da Codice con l'integrazione di sistemi innovativi e valutazione del rischio incendio.....	37
2.1 Tipologie di facciata tradizionali e innovative	37
2.1.1 FACCIATA SEMPLICE:.....	38
2.1.2 FACCIATA A DOPPIA PARETE:.....	39
2.1.3 FACCIATA A DOPPIA PARETE VENTILATA NON ISPEZIONABILE: 39	
2.1.4 FACCIATA A DOPPIA PARETE VENTILATA ISPEZIONABILE:.....	45
2.1.5 CURTAIN WALL:.....	46
Parete aperta	48
Parete chiusa:.....	48
Kit:.....	49
2.2 Requisiti di resistenza al fuoco e compartimentazione	49
2.2.1 FACCIATE SEMPLICI E CURTAIN WALLS:	50
2.2.2 FACCIATE A DOPPIA PARETE VENTILATE NON ISPEZIONABILI CON PARETE ESTERNA CHIUSA:.....	54
2.2.3 FACCIATE A DOPPIA PARETE VENTILATE NON ISPEZIONABILI CON PARETE ESTERNA APERTA:.....	57
2.2.4 FACCIATE A DOPPIA PARETE VENTILATE ISPEZIONABILI CON PARETE ESTERNA CHIUSA:	59
2.2.5 FACCIATE A DOPPIA PARETE VENTILATE ISPEZIONABILI CON PARETE ESTERNA APERTA:	61

2.3	Impatto delle soluzioni di efficientamento sulla sicurezza antincendio	62
3.	L'incendio della Torre Grenfell: analisi e sintesi dell'Inchiesta	65
3.1	Sintesi dell'inchiesta sulla Torre Grenfell	65
3.2	Analisi dell'inchiesta	74
4.	Fattori che influenzano la propagazione del fuoco	78
4.1	Vento.....	78
4.2	L'influenza delle intercapedini	80
4.3	Angolo tra facciate.....	81
4.4	Elementi sporgenti come balconi o porticati	83
4.5	Rientranze delle facciate e dei serramenti	84
4.6	Elementi a tutta altezza.....	86
5.	Tecnologie e materiali per la protezione antincendio.....	89
5.1	Imbotte dei serramenti, tecnologie e protezione passiva.....	90
5.2	Soluzioni di protezione passiva	92
5.3	Soluzioni di protezione attiva.....	97
5.4	Tecnologie e sistemi integrati per la sicurezza e l'efficienza energetica.....	98
6.	Lo studio della propagazione del fuoco sulle facciate	101
6.1	Prove in piccola e media scala.....	101
6.2	Prove in larga scala.....	105
6.3	Implicazioni sulla sicurezza delle facciate	113
7.	Sinergia tra le misure antincendio ai fini di una valutazione dei rischi completa ed efficace	115
8.	Applicazione e valutazione pratica di fenomeni e parametri evidenziati in letteratura per incendi di facciata	117
8.1	Introduzione all'importanza della modellazione numerica degli incendi di facciata tramite la FSE	117
8.2	Limiti e potenzialità della modellazione CFD nell'analisi degli incendi di facciata	118
8.3	Esempio di applicazione della modellazione degli incendi di facciata	123
8.4	Confronto con risultati esistenti e applicazioni pratiche	138
	Conclusioni.....	140
	Bibliografia.....	146

Introduzione al tema della sicurezza antincendio delle facciate

La sicurezza antincendio rappresenta un aspetto fondamentale nella progettazione degli edifici, in particolare per quelli di grande altezza, in quanto le operazioni di evacuazione e di intervento dei soccorritori risultano essere di un elevato livello di complessità. In questo contesto la tipologia di involucro esterno della struttura, di cui le facciate sono parte integrante, svolge un ruolo determinante per la sicurezza dell'edificio, in quanto può influenzare sulla propagazione delle fiamme.

Questo dipende dal comportamento del sistema costruttivo della facciata in caso di incendio. La reazione della facciata è influenzata da diverse variabili, come i materiali utilizzati, la geometria del sistema e le condizioni climatiche.

Il tema della sicurezza antincendio delle facciate è diventato rilevante soprattutto negli ultimi anni, dopo che si sono susseguiti incendi di grande impatto che hanno evidenziato come, l'involucro esterno delle strutture, sia stato causa principale di propagazione del fuoco. A partire dall'incendio della Grenfell Tower a Londra nel 2017, probabilmente quello che ha dato maggiore impulso allo sviluppo normativo in materia, con 72 vittime e 74 feriti, per poi passare a quello dello Zen Tower a Dubai nel 2018, a quello del The Cube a Bolton nel 2019, per poi continuare con quello del Tower Block a Madrid del 2020, della Torre dei Moro a Milano del 2021, a quello di un edificio terziario a Changsha nel 2022 e per finire tra i più recenti quello di un edificio residenziale di Valencia avvenuto a febbraio del 2024, si è arrivati alla consapevolezza che le vulnerabilità degli edifici siano legate all'uso di materiali non opportunamente resistenti al fuoco e di sistemi costruttivi che non bloccano la propagazione delle fiamme ma che al contrario contribuiscono alla diffusione di queste.



Figura 1 – Esempi incendi di facciata

Da questi incidenti il panorama normativo nazionale e internazionale ha avuto una spinta per cercare di sviluppare soluzioni costruttive che possano bloccare la propagazione del fuoco e migliorare le proprietà di resistenza al fuoco dei materiali con l'obiettivo di salvaguardare la sicurezza degli occupanti.

L'obiettivo di questa tesi è quello di creare una sorta di supporto per i progettisti che si trovano a dover progettare un edificio che rispetti sia i requisiti di efficienza energetica, sia quelli di sicurezza antincendio.

Le facciate in edifici di nuova costruzione rispettano sia i requisiti di efficientamento energetico che quelli di sicurezza antincendio per legge, il problema principale si ha quando si deve intervenire in edifici esistenti, in cui la maggior parte delle volte ci si concentra solo sugli obiettivi di efficientamento energetico tralasciando quelli di sicurezza antincendio. Negli ultimi anni si sono sviluppate ormai diverse tipologie innovative di facciata, come le facciate verdi o le facciate adattive, le quali permettono di ottenere alti livelli di efficientamento energetico, ma spesso la loro capacità di reazione al fuoco viene trascurata, nonostante la sua importanza per la sicurezza.

Questo documento ha lo scopo di offrire un riferimento utile per l'attività operativa, che deve tenere in considerazione le caratteristiche costruttive del sistema, la geometria, i dettagli costruttivi specifici e le condizioni climatiche del contesto.

Alla base di tutto, il progettista deve analizzare la complessità dell'edificio e, come indicato nella tabella della figura 2 sottostante, deve fare una valutazione sull'altezza complessiva, l'eventuale difficoltà di raggiungibilità e accesso, la conformazione geometrica o costruttiva articolata, l'approvvigionamento dei materiali durante la fase costruttiva e la possibile presenza di persone con esigenze specifiche.

Oggetto di complessità	Risvolti della complessità
Edificio di elevata altezza	Complessità operativa per l'intervento dei VV.F.
	Tempi di evacuazione più lunghi
	Possibile estensione rilevante dell'incendio
	Maggiore influenza del vento sullo sviluppo dell'incendio
	Notevole fabbisogno idrico per il controllo dell'incendio
Difficoltà di raggiungimento e/o di accesso	Difficoltà per il controllo di fumi e calore negli ambiti interni
Difficoltà di raggiungimento e/o di accesso	Tempi di intervento più lunghi
Conformazione geometrica e/o costruttiva articolata	Influenza sul meccanismo di sviluppo dell'incendio
Approvvigionamento dei materiali durante la fase costruttiva	Contributo dei materiali all'incendio in base al loro comportamento al fuoco (reazione e resistenza)
Presenza di persone con esigenze specifiche	Necessità di apposite modalità di soccorso

Figura 2 – Aspetti di complessità degli edifici (Filippo Cosi, Gennaio 2024)

Il progettista deve quindi adottare un approccio di tipo olistico, non deve limitarsi ad analizzare semplicemente le chiusure d'ambito, ma deve tener conto della complessità dell'edificio citata sopra. Questo implica un'integrazione dei vari aspetti strutturali, tecnologici, geometrici, climatici a partire dalle prime fasi progettuali. Solo in questo modo è possibile garantire la sicurezza antincendio e l'adeguatezza ai requisiti di efficienza energetica.

1. Panorama normativo sulla sicurezza antincendio delle facciate

Negli ultimi anni il susseguirsi di gravi incidenti ha portato alla necessità di rivalutare il panorama normativo sia a livello nazionale che internazionale. Era ormai diventato fondamentale trovare dei requisiti in grado di garantire la sicurezza antincendio. Questi si sono adeguati, con il tempo, alle nuove esigenze, con lo scopo di migliorare le misure di prevenzione e garantire una maggiore sicurezza per gli occupanti degli edifici.

1.1 Panorama normativo internazionale e confronto con la normativa italiana

1.1.1 Regolamentazione britannica

Per quanto riguarda la regolamentazione britannica, dopo l'incendio della Grenfell Tower, c'è stata una profonda evoluzione della normativa tecnica sulla prevenzione incendi, in particolare in relazione alla valutazione del rischio d'incendio delle facciate.

Il vecchio BS 9999:2008 Code of practice for fire safety in the design, management and use of buildings, che dopo l'evento della Grenfell Tower è stato severamente criticato, è stato aggiornato con gli Amendment 2020 e 2022 delle The Building Regulations 2010.

Infatti, i riferimenti per la sicurezza antincendio degli edifici residenziali, fanno riferimento alle Building Regulations 2010: "HM Government. The Building Regulations 2010. Fire safety. Approved Document B Volume 2 – Buildings other than dwellinghouses. London. DCLG, 2006 edition incorporating 2007, 2010 and 2013 amendments, Crown Copyright 2006."

La normativa è suddivisa in due volumi: il Volume 1 è riferito alle abitazioni, mentre il Volume 2 alle altre attività.

Le misure di sicurezza che andrebbero adottate per gli edifici di grande altezza come la Grenfell Tower sono le seguenti:

- Tutte le nuove costruzioni residenziali devono essere munite di sistema di rivelazione incendi e allarme.

- Le strutture portanti devono avere la resistenza al fuoco di tipo R120, ed è obbligatorio l'impianto sprinkler per i fabbricati con altezza dell'ultimo piano superiore a 30 m rispetto al piano terra.

Table A2 Minimum periods of fire resistance						
Purpose group of building	Minimum periods of fire resistance (minutes) in a:					
	Basement storey ⁽¹⁾ including floor over		Ground or upper storey			
	Depth (m) of a lowest basement		Height (m) of top floor above ground, in a building or separated part of a building			
	More than 10	Not more than 10	Not more than 5	Not more than 18	Not more than 30	More than 30
1. Residential:						
a. Block of flats						
- not sprinklered	90	60	30*	60**†	90**	Not permitted
- sprinklered	90	60	30*	60**†	90**	120**
b. Institutional	90	60	30*	60	90	120#
c. Other residential	90	60	30*	60	90	120#

Figura 3 – Building Regulations 2100 (Cosi, Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio, Giugno 2017)

- Le scale di esodo devono essere di tipo protetto e deve essere prevista una via di fuga alternativa oppure l'impianto sprinkler.

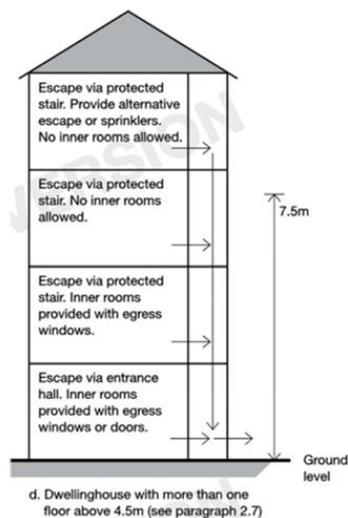


Figura 4 – Caratteristiche del sistema di esodo e altre misure antincendio connesse con l'altezza del fabbricato (Cosi, Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio, Giugno 2017)

- La reazione al fuoco delle finiture all'interno dei locali sono definite dalla tabella sottostante della Figura 5.

Table 1 Classification of linings		
Location	National class ⁽¹⁾	European class ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾
Small rooms ⁽²⁾ of area not more than 4m ²	3	D-s3, d2
Domestic garages of area not more than 40m ²		
Other rooms ⁽²⁾ (including garages)	1	C-s3, d2
Circulation spaces within dwellinghouses		

Figura 5 – Building Regulations 2100 (Cosi, Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio, Giugno 2017)

- Per le caratteristiche di reazione al fuoco delle superfici esterne sono ammessi materiali almeno B-s3,d2.
- Per gli edifici “alti” è necessario adottare misure per limitare la combustibilità delle facciate. Devono essere segnalate eventuali intercapedini in facciata che possono favorire la propagazione dell’incendio.
- Per tutti i fabbricati di altezza superiore a 18m, i materiali isolanti presenti in facciata devono essere “a limitata combustibilità”, quindi nella euroclasse A2-s3, d2.
- Per il tema dell’Operatività antincendio, fare riferimento alla Figura 6 sotto riportata, per l’accesso dei soccorritori ai piani superiori alla quota di 18m è richiesta la scala a prova di fumo e l’ascensore antincendio.

(Cosi, Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio, Giugno 2017)

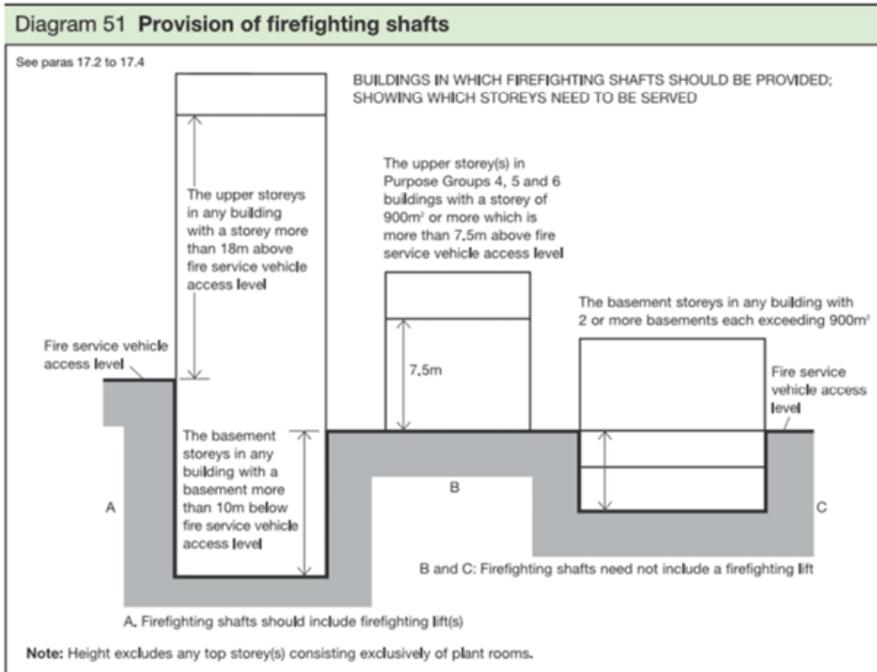


Figura 6 – Building Regulations 2010 (Cosi, Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio, Giugno 2017)

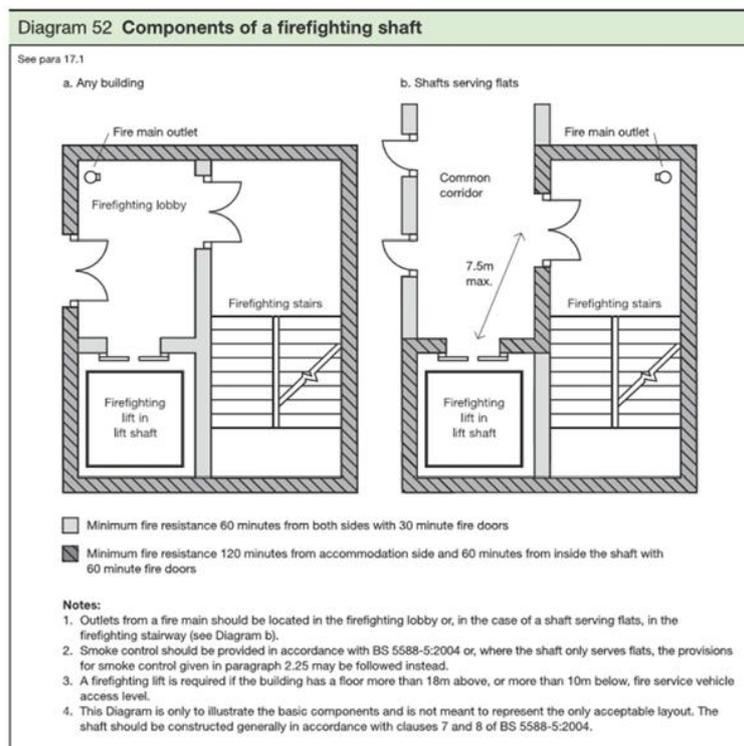


Figura 7 – Building Regulations 2010 (Cosi, Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio, Giugno 2017)

Oltre a questi volumi precedentemente descritti, sono stati pubblicati studi importanti come quello della BRE (2020) Fire Performance of Cladding Materials Research.

In seguito anche le tre Publicly Available Specifications (PAS) e infine, il 23 gennaio 2023 è entrato in vigore il The Fire Safety (England) Regulation 2022, che si occupa dei problemi di gestione dell'informazione per la prevenzione incendi degli edifici di grande altezza.

Un altro punto da evidenziare è la figura normata del Building Safety Manager, oggetto della PAS 8693: 2022 Built environment, ormai vigente dal 26 luglio 2022, che riguarda più in generale la gestione della sicurezza negli edifici residenziali.

Le norme britanniche, come il The Fire Safety (England) Regulation 2022, puntano sempre di più sulla responsabilizzazione e collaborazione del responsabile dell'attività, il quale indica una corretta strategia di gestione, anche se la gestione non è tutto perché è il progetto che in primo luogo deve essere corretto. (Filiberto Lembo, Ottobre 2023)

CONFRONTO CON NORMATIVA ITALIANA

Nella RTV.13 per i fabbricati di tipo SA non sono richiesti requisiti di reazione al fuoco per le coperture e per le facciate, quindi in questo caso è più stringente la normativa britannica che richiede in generale che i materiali debbano essere almeno di classe B-s3,d2.

Mentre le facciate di tipo SB e SC, quindi per edifici di altezze superiori ai 12m, devono possedere materiali appartenenti ai gruppi GM2 e GM1. Questo requisito interessa gli isolanti termici, i sistemi di isolamento esterno in kit, le guarnizioni, sigillanti e materiali di tenuta, altri componenti ad esclusione di quelli in vetro.

Facendo quindi un confronto tra la normativa italiana e quella britannica, prendendo come esempio un edificio alto più di 18 m ma meno di 24 m in cui in Italia è classificato SB, si hanno materiali appartenenti alla classe GM2, mentre la normativa britannica richiede che, per le superfici esterne, sono ammessi materiali almeno di classe B-s3,d2. Il gruppo di materiali GM2 riguardante i rivestimenti a parete e le diverse tecnologie di applicazione di isolanti, corrispondono alle classificazioni definite dalle tabelle seguenti.

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

[1] Qualora trattati con prodotti vernicianti ignifughi omologati ai sensi del DM 6/3/1992, questi ultimi devono essere idonei all'impiego previsto e avere la classificazione indicata di seguito (per classi differenti da A2): GM1 e GM2 in classe 1; GM3 in classe 2; per i prodotti vernicianti marcati CE, questi ultimi devono avere indicata la corrispondente classificazione.

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

Figura 8 – Tabella S.1-6: Classificazione in gruppi di materiali per rivestimento e completamento (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)

Descrizione materiali	GM1	GM2	GM3
	EU	EU	EU
Isolanti protetti [1]	C-s2,d0	D-s2,d2	E
Isolanti lineari protetti [1], [3]	C _l -s2,d0	D _l -s2,d2	E _l
Isolanti in vista [2]	A2-s1,d0	B-s2,d0	B-s3,d0
Isolanti lineari in vista [2], [3]	A2 _l -s1,d0	B _l -s3,d0	B _l -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.

Figura 9 – Tabella S.1-7: Classificazione in gruppi di materiali per l'isolamento (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)

La classificazione B-s2,d0 risulta essere più restrittiva rispetto a quella britannica, lo stesso per gli isolanti in vista e lineari in vista.

Se invece si prendesse come esempio un edificio più alto di 24 m, seguendo la RTV.13 ricade nella classe SC, con l'impiego di materiali del gruppo GM1, i quali sono equivalenti ai materiali di classe B-s1,d0, quindi, rispetto a quelli di classe B-s3,d2, sono superiori.

Per edifici di tale altezza la RTV.13 risulta essere più stringente anche per le caratteristiche dei materiali isolanti, in quanto gli isolanti in vista e lineari in vista devono essere di classe A2-s1,d0 mentre secondo la regolamentazione britannica per gli edifici di altezza superiore ai 18m devono appartenere alla classe A2-s3,d2.

Un'altra differenza riguarda anche l'aspetto della resistenza al fuoco in cui la normativa sopra spiegata definisce che le strutture portanti devono avere la resistenza al fuoco di tipo R120, e per edifici più alti di 30 m è obbligatorio l'impianto sprinkler. La RTV13

invece, essendo specifica per le chiusure d'ambito, ha altri requisiti per la resistenza al fuoco e compartimentazione riferiti esclusivamente all'oggetto della normativa. Il tutto si basa principalmente sulla realizzazione di fasce di separazione che devono rispettare specifiche caratteristiche e geometria.

1.1.2 Regolamentazione svedese

In Svezia, la sicurezza antincendio per le facciate degli edifici è data principalmente da una regolamentazione basata sulle prestazioni, le soluzioni prescrittive dettagliate sono fornite dal Boverkets building regulations (BBR) che riguarda principalmente pareti esterne e facciate. Le pareti esterne, in questo caso, devono garantire un tempo adeguato per l'evacuazione e per l'intervento dei soccorsi.

La normativa prevede una classificazione per gli edifici che sono divisi in base alla tipologia e alle destinazioni d'uso.

- Br0: Edifici con più di 16 piani, edifici di grandi dimensioni, inclusi ospedali e prigioni.
- Br1: Edifici con più di due piani, edifici a due piani destinati a sistemazioni temporanee e edifici utilizzati per malati e disabili o che hanno una sala riunioni al secondo piano.
- Br2: Edifici a due piani con più di due appartamenti, edifici con una sala riunioni al piano terra o edifici in cui uno dei piani è adibito a struttura di assistenza.
- Br3: Tutti gli altri edifici.

Per gli edifici più piccoli si prevede l'utilizzo di materiali che devono soddisfare i requisiti di reazione al fuoco di classe D-s2, d2. Mentre per edifici più grandi i requisiti sono più specifici e più restrittivi.

I requisiti per le pareti esterne negli edifici di classe Br1 sono i seguenti:

1. La funzione di separazione tra compartimenti antincendio deve essere mantenuta.
2. La propagazione del fuoco all'interno della parete deve essere limitata.
3. Il rischio di propagazione del fuoco lungo la superficie della facciata deve essere ridotto.

4. Il rischio di lesioni causate dalla caduta di parti della parete esterna deve essere limitato.

Un aspetto molto importante di questi requisiti è la caduta di parti della parete, le pareti esterne devono essere progettate affinché il requisito 4 sia soddisfatto limitando il rischio di caduta di elementi strutturali.

Un sistema alternativo per soddisfare i punti 2,3 e 4 per un edificio fino a otto piani consiste nel testare la facciata seguendo il metodo SP Fire 105.

Questo metodo specifica una procedura per determinare la reazione al fuoco dei materiali e delle costruzioni di sistemi di pareti esterne o rivestimenti di facciata, quando questi sono esposti al fuoco proveniente da un incendio simulato in un appartamento con le fiamme che fuoriescono da una finestra. Grazie a questo test è possibile analizzare il comportamento della struttura, dei materiali e della propagazione del fuoco lungo le pareti.

Per poter applicare il metodo SP Fire 105 le seguenti condizioni devono essere rispettate:

- Nessuna parte significativa della facciata deve cadere, in quanto non deve rappresentare un pericolo per l'evacuazione e per i soccorritori.
- La propagazione del fuoco sulla finitura superficiale e all'interno del muro deve essere limitata al bordo inferiore della finestra posta due piani sopra il locale in cui è iniziato l'incendio.
- Non devono verificarsi fiamme esterne che possano incendiare la gronda situata sopra la finestra due piani sopra il locale dell'incendio. Un criterio equivalente è la temperatura del gas, appena sotto la gronda, che deve essere inferiore ai 500°C per un periodo continuo superiore a 2 minuti o i 450°C per più di 10 minuti.

Per le pareti esterne in edifici con più di otto piani, oltre ai criteri appena citati previsti nel test, la parete esterna non deve incrementare il rischio di propagazione del fuoco verso altri compartimenti antincendio situati a un piano sopra il locale in cui l'incendio si è originato.

Un punto di criticità del BBR riguarda la verifica del rispetto dei requisiti; infatti, alcune indicazioni generali sono precise, mentre altre risultano ambigue e potrebbero essere interpretate in modi diversi.

Seguendo le raccomandazioni generali, il sistema di facciata soddisfa i requisiti se la parete esterna mantiene la sua compartimentazione; ma non è chiaro quale livello di capacità di separazione sia considerato ragionevole. Una possibile rappresentazione definisce il livello EI 60, il che significherebbe avere una soluzione più conservativa rispetto ai risultati di un test SP Fire 105. Da questi requisiti le finestre sono esentate se la distanza tra di esse è almeno 1,2 metri.

Il metodo SP Fire 105 permette di valutare l'estensione della propagazione del fuoco sulla superficie esterna della facciata, sulle parti interne del muro e l'entità della caduta di parti. I requisiti accettano la propagazione del fuoco sulla facciata e sulla sua superficie fino a due piani sopra il locale in cui si è originato l'incendio e fino al bordo inferiore della finestra. Questo significa che le fiamme potrebbero propagarsi nel muro di un compartimento per il quale è prevista una specifica resistenza al fuoco. Quindi c'è il rischio che l'incendio si propaghi anche ai compartimenti adiacenti.

Un'altra incertezza riguarda il requisito del punto 4 riguardante "il rischio di lesioni dovute alla caduta di parti della parete esterna deve essere limitato". Riguardo questo punto la raccomandazione generale parla di caduta di elementi strutturali come vetri rotti, piccoli frammenti di intonaco. Al contrario secondo i requisiti definiti dal metodo SP Fire 105 non devono cadere parti significative della facciata. Quindi non risulta chiaro cosa sia regolamentato se vetri rotti o grandi lastre di vetro, se piccoli o grandi frammenti di intonaco. Questa ambiguità porta a differenti interpretazioni.

Infine, il metodo di prova è una procedura nazionale svedese, ma i risultati possono essere usati anche in Danimarca, Norvegia, parti della Finlandia per mostrare che la progettazione incontra i requisiti delle normative edilizie dei rispettivi paesi.

I paesi nordici hanno diverse limitazioni all'utilizzo del metodo, spesso collegate al numero di piani degli edifici. (Boverket's mandatory provisions and general recommendations, BBR, 2018)

CONFRONTO CON NORMATIVA ITALIANA

Il BBR a differenza della normativa italiana risulta essere molto meno preciso e accurato nei requisiti che devono essere rispettati dalle pareti esterne degli edifici, risulta avere un approccio piuttosto flessibile e basato sulle prestazioni. Questo può causare incomprensioni, in quanto le ambiguità possono portare ad interpretazioni della norma differenti. Al contrario, la RTV.13 offre indicazioni più dettagliate che facilitano la progettazione e il rispetto dei requisiti. Una notevole differenza si ha anche nella classificazione degli edifici, in Svezia vengono suddivisi in categorie in base all'altezza e alla destinazione d'uso, con requisiti più alti per gli edifici più vulnerabili, mentre la RTV.13 classifica le chiusure d'ambito in relazione alle caratteristiche dell'edificio su cui sono installate come l'altezza e l'Rvita.

1.1.3 Regolamentazione croata

Passando al panorama normativo della Croazia, la progettazione degli edifici in ambito di protezione antincendio è regolata dalla Building Act (Gazzetta Ufficiale 153/13, 20/17), dalla Fire Protection Act (Gazzetta Ufficiale 92/10) e da numerosi regolamenti attuativi dalle regole di pratica tecnica e dagli standard. (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

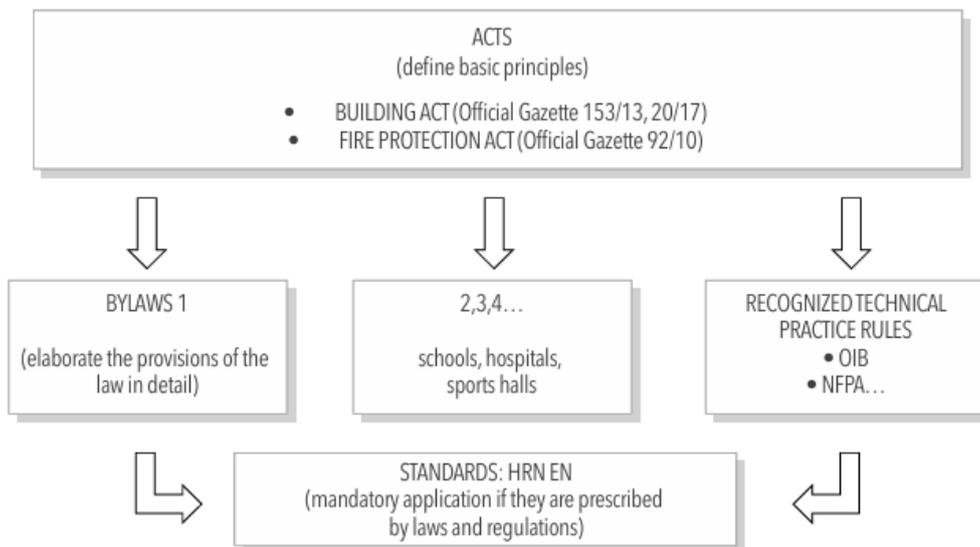


Figura 10 - Schema generale della legislazione croata riguardante la protezione antincendio (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

Ci sono ancora alcune aree della protezione antincendio che non sono ancora regolamentate, come ospedali, scuole, asili nido, case di riposo ecc... il regolamento

attuativo di base per la protezione antincendio è l' "Ordinanza sulla resistenza al fuoco e altri requisiti per gli edifici in caso di incendio" – Gazzetta Ufficiale 29/13 e 87/15, approvata nel 2013 e modificata nel 2015. Questa ordinanza segue i requisiti europei che poi deve essere integrata con ulteriori moduli specifici per gli edifici prima menzionati (scuole, ospedali, case di riposo ecc...).

Nel frattempo che non vengono emanate normative croate specifiche per queste tipologie di edifici, viene applicata la pratica tecnica riconosciuta a livello internazionale, di solito si utilizza la NFPA 101, o le linee guida austriache OIB Richlinie 2.

Tali normative regolamentano la superficie massima dei compartimenti antincendio e di fumo o la necessità di sistemi di protezione attiva, ecc..., misure che non sono ancora definite dalle normative croate, mentre per il resto si applicano le leggi croate esistenti.

La Fire Protection Act (Gazzetta Ufficiale 92/10), non definisce i dettagli, ma stabilisce i principi generali che poi vengono elaborati nei regolamenti attuativi. In particolare, l'Articolo 25 prevede dei requisiti essenziali che devono essere rispettati nella progettazione e costruzione di un edificio affinché sia garantita la sicurezza antincendio.

Tali requisiti sono i seguenti:

- La capacità portante della struttura è garantita per un periodo di tempo specifico.
- La generazione e propagazione del fuoco e del fumo all'interno della struttura è limitata.
- La propagazione del fuoco verso opere da costruzione vicine è limitata.
- Gli occupanti possono lasciare l'edificio o essere soccorsi da altri mezzi.
- Va tenuta in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso.

Nessun requisito si riferisce direttamente alle facciate, anche se queste ultime svolgono un ruolo fondamentale come possibili fonti di propagazione del fuoco, a causa della loro combustibilità o da una installazione non corretta l'incendio potrebbe propagarsi verso appartamenti o edifici adiacenti.

L'Ordinanza sulla resistenza al fuoco tratta dettagliatamente i requisiti di sicurezza antincendio degli edifici, il capitolo 5.2 tratta la classificazione degli edifici e delle

costruzioni in sottogruppi, in base ai requisiti antincendio richiesti, che influisce anche sui requisiti di protezione antincendio che devono soddisfare le facciate degli edifici.

Classificazione:

- Edifici appartenenti al sottogruppo 1 - ZPS 1

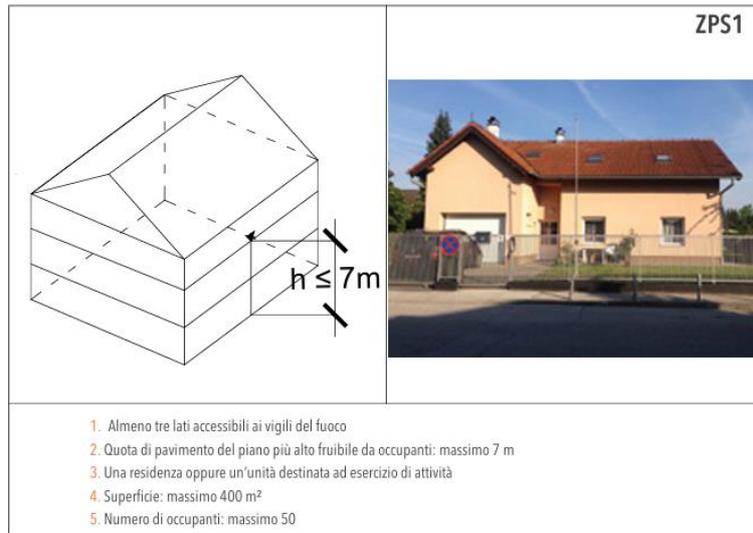


Figura 11 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico del sottogruppo 1 con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

- Edifici appartenenti al sottogruppo 2 - ZPS 2

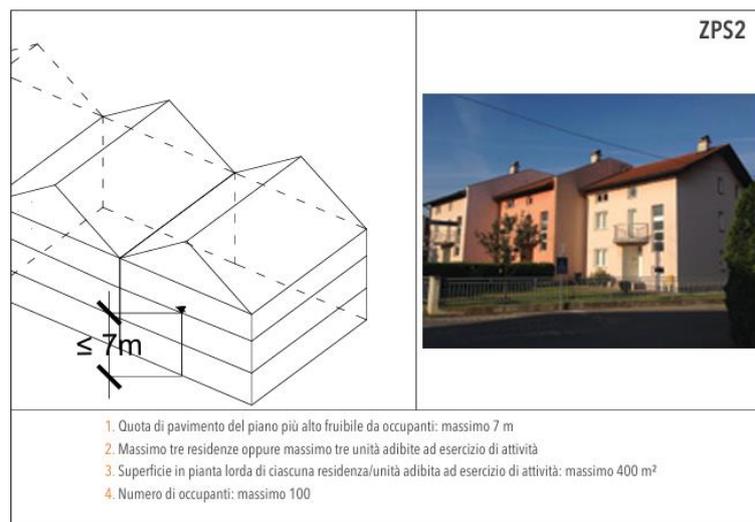


Figura 12 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico del sottogruppo 2 con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

- Edifici appartenenti al sottogruppo 3 - ZPS 3

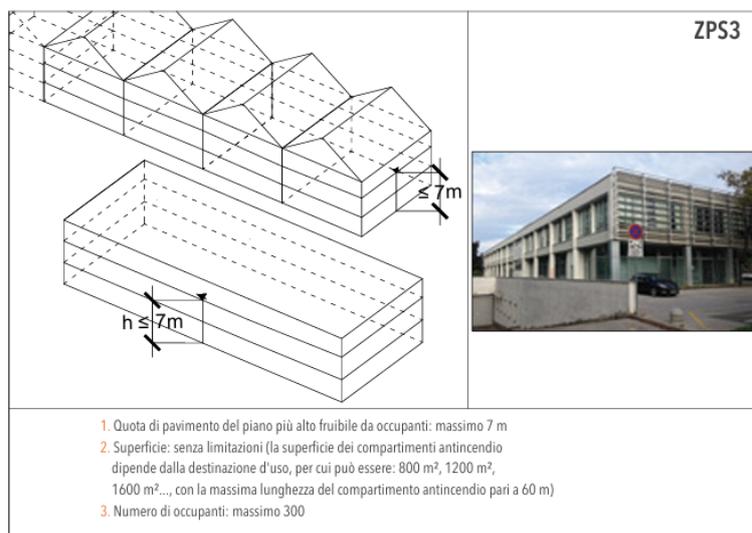


Figura 13 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico del sottogruppo 3 con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

- Edifici appartenenti al sottogruppo 4 - ZPS 4

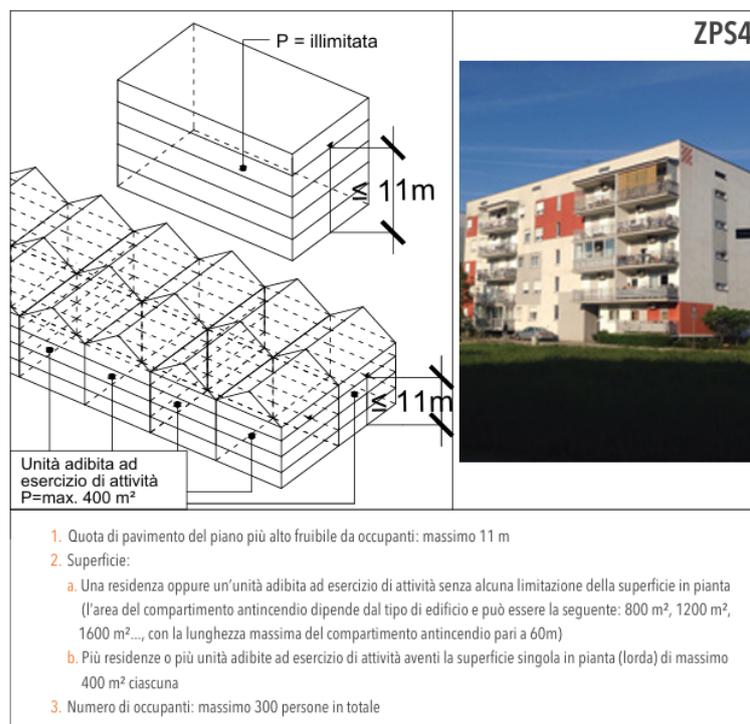


Figura 14 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico del sottogruppo 4 con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

- Edifici appartenenti al sottogruppo 5 - ZPS 5

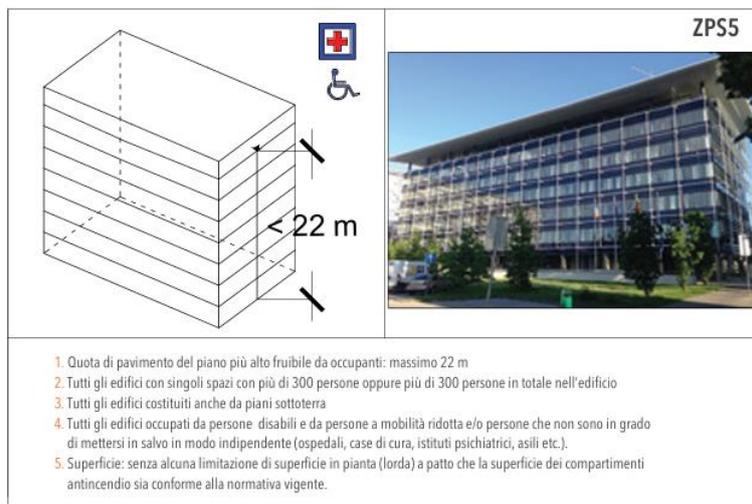


Figura 15 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico del sottogruppo 5 con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

- Edifici di grande altezza

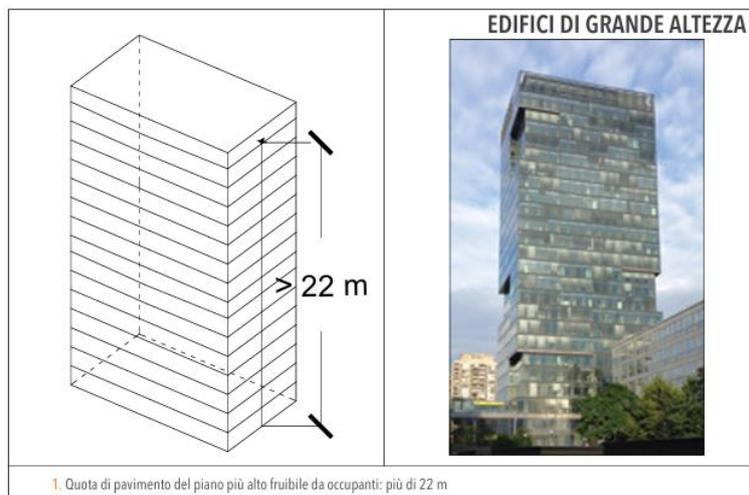


Figura 16 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico di grande altezza con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

Al capitolo 5.3 del Manuale sono citati gli articoli dell'Ordinanza che definiscono i requisiti relativi alla scelta della classe di reazione al fuoco dell'isolamento termico delle facciate e alle modalità di realizzazione delle barriere o fasce antincendio negli edifici realizzati con isolanti combustibili.

Vengono definite le caratteristiche dei muri tagliafuoco in copertura e in facciata, come illustrato nelle figure 17, 18 e 19 seguenti.

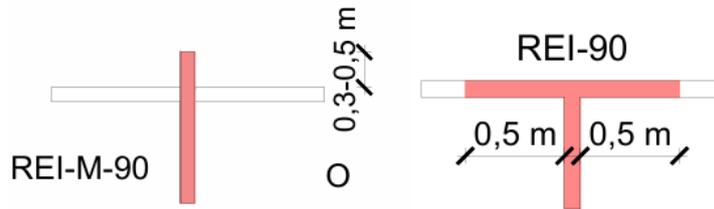


Figura 17 – Sezione trasversale del muro tagliafuoco sulla copertura (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

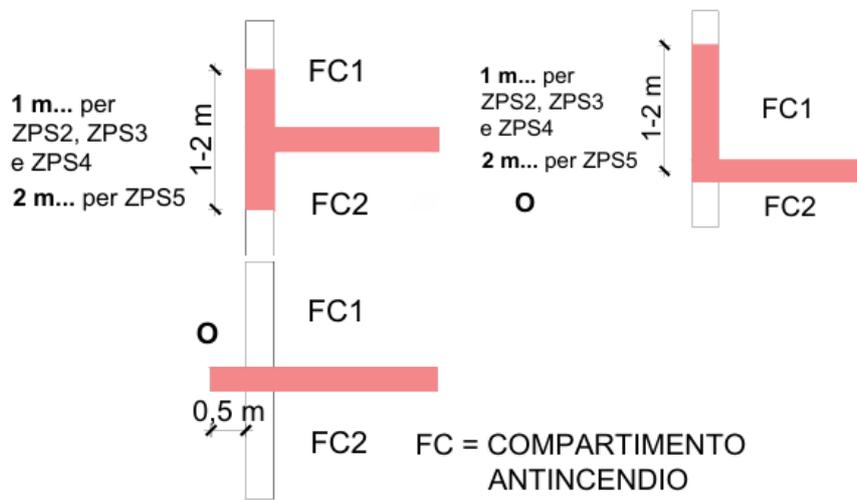


Figura 18 - Realizzazione del muro tagliafuoco sulla facciata al fine di prevenire la propagazione orizzontale delle fiamme (pianta) (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

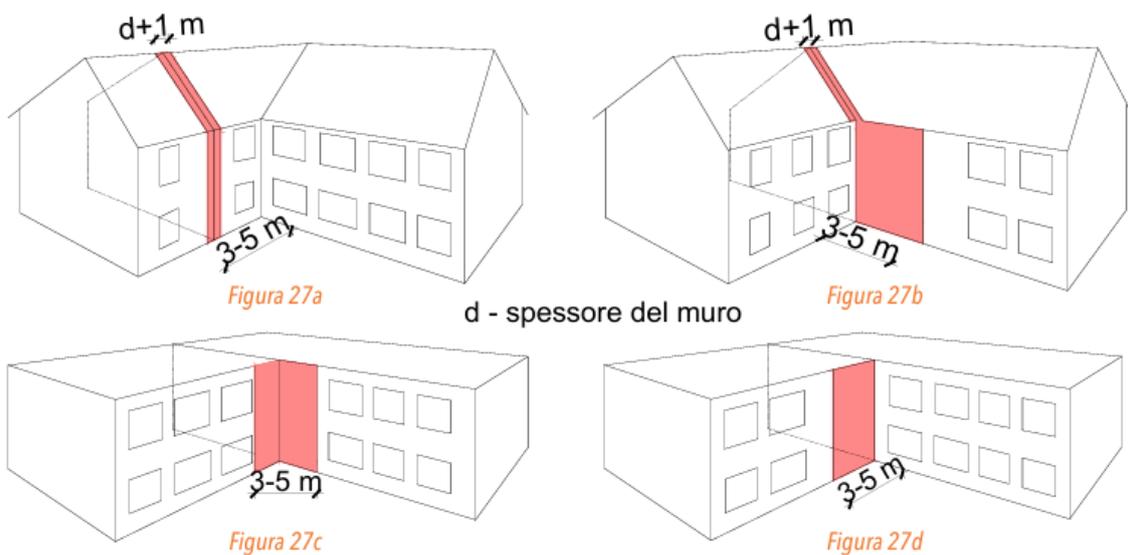


Figura 19 - Muri tagliafuoco negli edifici con pianta angolare (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

Oltre ai sistemi di prevenzione di propagazione del fuoco orizzontalmente o da un compartimento all'altro attraverso il giunto angolare, vengono definite misure di prevenzione anche per la propagazione verticale.

Per prevenire la propagazione verticale lungo le facciate degli edifici è necessario realizzare un parapetto che abbia la stessa resistenza al fuoco dei compartimenti antincendio da esso stesso separati.

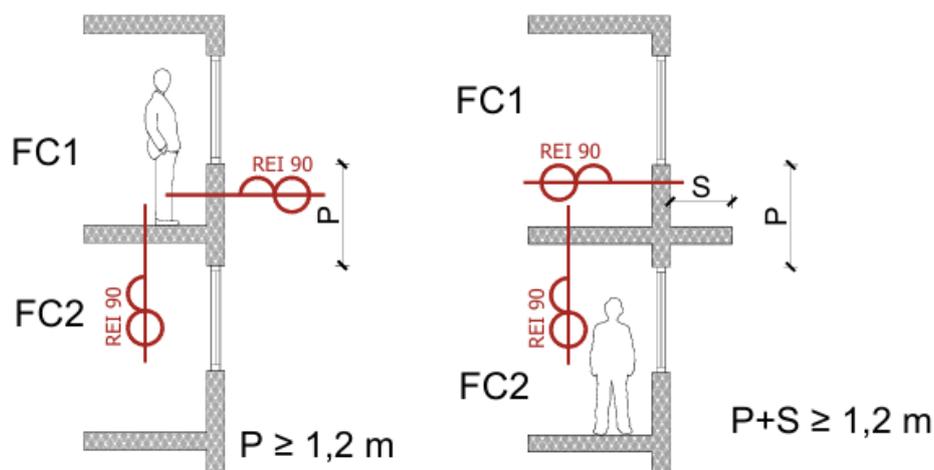


Figura 20 - Prevenzione della propagazione delle fiamme in direzione verticale (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

Le facciate degli edifici devono essere realizzate con prodotti da costruzione con classi di reazione al fuoco come indicato nella seguente tabella illustrata nella figura 21.

Elementi da costruzione	Edifici appartenenti al sottogruppo (ZPS)						Edifici di grande altezza		
	ZPS1	ZPS2	ZPS3	ZPS4		ZPS5			
Elementi di facciata ventilata sospesa									
Sistema classificato	E	D-d1	D-d1	C-d1		B-d1	A2-d1		
Oppure									
Realizzazione con i seguenti componenti classificati									
Rivestimento esterno	E	D	D	A2-d1	oppure	B-d1	B-d1	A2-d1	
Sottostruttura									
- linerare	E	D	D	D	oppure	D	C	A2	
- a fissaggio puntuale	E	D	A2	A2		A2	A2	A2	A2
Isolamento	E	D	D	B		A2	A2	A2	A2
Isolamento termico a cappotto									
Sistema classificato	E	D	D-d1	C-d1		B-d1	A2-d1		
Oppure									
Composizione degli strati con i seguenti componenti classificati									
- strato di finitura	E	D	D	C		B-d1	A2-d1		
- strato isolante	E	D	C	B		A2	A2		

Figura 21 – Classi di reazione al fuoco richieste per le facciate (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

Gli articoli poi danno anche soluzioni specifiche da adottare nel caso in cui si ha un cappotto con isolamento termico combustibile o incombustibile. Si susseguono poi soluzioni per realizzare facciate ventilate, facendo sempre la distinzione tra isolanti combustibili e non.

Vengono definite soluzioni con barriere antincendio anche per i sistemi a cappotto (ETICS). In questo caso si parla di barriere antincendio intorno alle aperture della facciata, di una fascia continua orizzontale realizzata in materiale incombustibile di 30/50 cm fissata meccanicamente sulla parete della facciata per prevenire il distacco di pezzi del materiale termoisolante in caso di incendio. (Marija Jelcic Rukavina, 2017)

CONFRONTO CON NORMATIVA ITALIANA

Confrontando la regolamentazione croata con quella italiana si può dedurre che entrambe danno indicazioni su quelle che la RTV.13 chiama fasce di separazione.

All'interno della normativa croata si trovano soluzioni per le diverse tipologie di facciata molto più specifiche rispetto alle direttive date dalla RTV.13 in cui l'applicazione di queste fasce di separazione non viene descritta così accuratamente.

Per quanto riguarda le classi di reazione al fuoco degli edifici di grande altezza, per la normativa croata, gli elementi di facciata ventilata sospesa e di isolamento termico a cappotto devono essere di classe A2 o A2-d1. Gli edifici di grande altezza considerati, sono quelli che hanno come quota del pavimento più alto maggiore di 22m. Questi stessi edifici secondo la RTV.13 vengono classificati come SC, quindi devono essere adottati gruppi di materiali GM1. Secondo la tabella S.1-6 e S.1-7 del Codice di Prevenzione Incendi illustrata sopra, la classe degli isolanti è più o meno equiparabile (A2-s1,d0), mentre la classe dei rivestimenti a parete risulta essere meno stringente (B-s1,d0) rispetto a quello che viene richiesto dalla normativa croata.

1.1.4 Regolamentazione neozelandese

In Nuova Zelanda per la progettazione degli edifici si utilizza il “Building Code”, in particolare la normativa antincendio riguarda la sezione C di questo Codice, chiamata “Protezione dal fuoco”.

Il documento più utilizzato per la progettazione è il C/AS2 “Acceptable Solution for Buildings other than Risk Group SH”. A differenza dell’Italia non esiste una norma riferita unicamente ai sistemi di facciata, ma c’è una parte inerente alle pareti esterne, in particolare al capitolo 5 intitolato “Control of external fire spread” suddiviso in otto sottocapitoli:

5.1 Separazione antincendio per edifici con più titoli: in questo capitolo viene trattato il tema delle separazioni antincendio che devono essere garantite se un edificio è suddiviso su più titoli catastali, cioè la separazione legale delle diverse proprietà. Se invece tutte le unità sono dotate di impianto sprinkler non sono necessarie le separazioni antincendio.

5.2 Il fuoco orizzontale si propaga dalle pareti esterne: qui si parla di requisiti specifici per separazioni che devono essere rispettati nelle aree non protette nelle pareti esterne. Sono indicate le modalità di protezione e quando devono essere applicati.

5.3 FRR (Fire Resistance Rating) delle pareti esterne: in questo punto si definiscono i requisiti di FRR che devono essere rispettati dalle pareti esterne richieste come antincendio.

5.4 Piccole aperture e vetri resistenti al fuoco: nel seguente capitolo si fa riferimento ai requisiti per le vetrate resistenti al fuoco, le quali devono rispettare specifiche dimensioni e distanze tra le aree.

5.5 Metodo della tabella per pareti esterne: per le pareti esterne si applica il metodo della tabella al fine di soddisfare i requisiti di protezione contro la propagazione del fuoco nelle pareti esterne degli edifici. Si determinano le dimensioni massime delle aree non protette nelle pareti esterne in base al gruppo di rischio e alla distanza dal confine.

5.6 Il fuoco orizzontale si propaga dai tetti e dagli edifici aperti: si definiscono le misure da adottare ai gruppi di rischio WB e VP per prevenire la propagazione orizzontale del fuoco in edifici.

5.7 Propagazione verticale del fuoco: qui vengono stabiliti i requisiti per prevenire la propagazione del fuoco dai tetti. La protezione può essere raggiunta con distanze adeguate, impianti sprinkler, FRR e protezione degli elementi strutturali di supporto.

5.8 Sistemi di rivestimento esterno: i materiali per le pareti esterne devono essere o non combustibili o certificati (Tipo A/B) in funzione della distanza dal confine e all'altezza dell'edificio. Per edifici più alti di 10 metri devono essere non combustibili o certificati. Per edifici con altezza superiore a 25 metri tutto il sistema deve rispettare gli standard internazionali di sicurezza. Le barriere nelle cavità sono necessarie ad ogni piano per prevenire la propagazione del fuoco. (Ministry of business, June 2019)

CONFRONTO CON NORMATIVA ITALIANA

A differenza dell'Italia, in Nuova Zelanda non c'è una normativa specifica per le facciate, per questo si fa riferimento al Building Code, il quale tratta il tema della propagazione del fuoco in orizzontale e verticale sulle pareti esterne, ma senza dare indicazioni specifiche riguardo le facciate. Anche qui non vengono nominate le fasce di separazione, ma solo barriere nelle cavità da inserire in ogni piano.

1.1.5 Regolamentazione spagnola

In Spagna gli edifici sono soggetti al Codice Tecnico dell'Edilizia (CTE DB - SI) che si applica sia agli edifici pubblici che privati in cui vi è una permanenza di persone.

A dicembre del 2019 è stato pubblicato il Real Decreto, RD 732/2019, che ha modificato i requisiti per la reazione al fuoco delle facciate del Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio CTE DB – SI, il quale regola il comportamento di reazione al fuoco che deve essere richiesto ai prodotti che vengono installati sulle facciate per prevenire la propagazione esterna del fuoco in caso di incendio.

I requisiti relativi ai prodotti da installare sulle facciate sono stabiliti nella sezione 2 del DB – SI del CTE. I requisiti di reazione al fuoco sono determinati in base all'altezza totale della facciata.

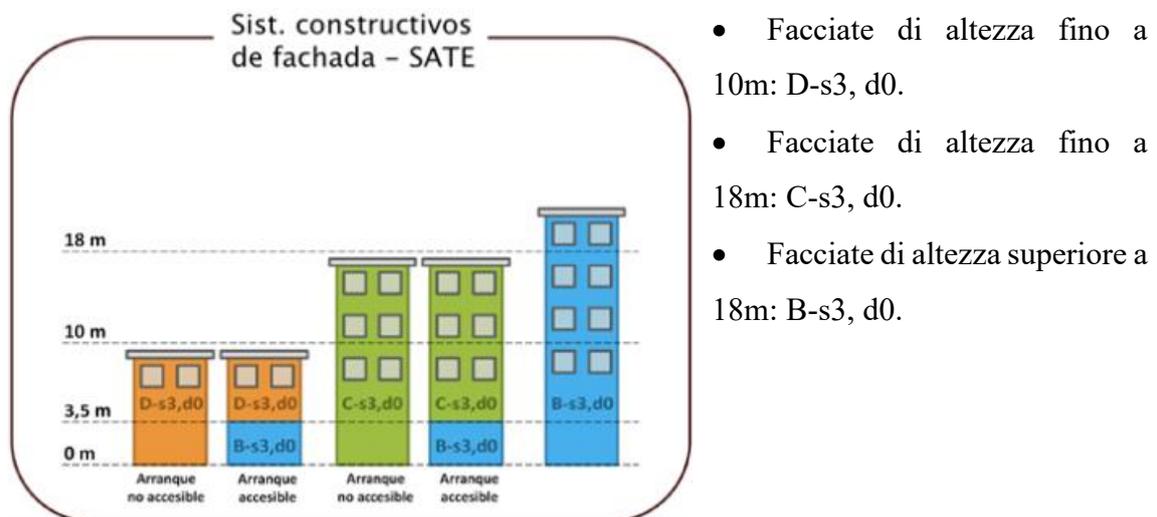
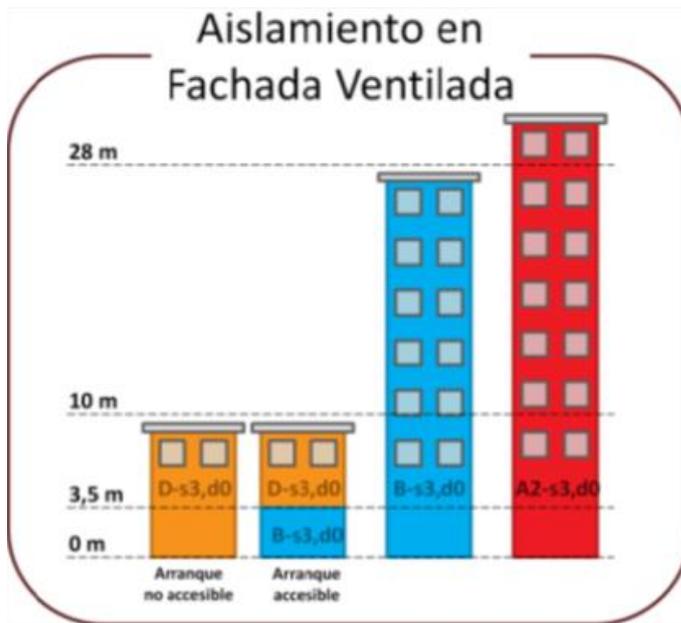


Figura 22 – Valori di reazione al fuoco del rivestimento di facciata a seconda dell'altezza

Nel caso di facciate ventilate con la coibentazione posta all'interno dell'intercapedine di ventilazione, i requisiti proposti dal nuovo CTE sono i seguenti:



- Facciate di altezza fino a 10m: D-s3, d0.
- Facciate di altezza fino a 28m: B-s3, d0.
- Facciate di altezza superiore a 28m : A2-s3, d0.

Figura 23 – Valori di reazione al fuoco dell'isolante a seconda dell'altezza dell'edificio

(DB - SI Seguridad en caso de incendio)

Il concetto più importante del nuovo DB SI del Codice Tecnico delle Costruzioni nella settorizzazione delle facciate ventilate specifica: *"Lo sviluppo verticale delle camere della facciata ventilata deve essere limitato in continuità con le lastre resistenti al fuoco che separano i settori antincendio. L'inclusione delle barriere E 30 può essere considerata una procedura valida per limitare tale sviluppo verticale"*.

In questo caso significa che né il fuoco né il fumo possono passare attraverso la facciata durante quei 30 minuti. Quindi questo nuovo CTE aggiunge la settorizzazione delle facciate in tutti gli edifici.

Ci sono due tipologie di barriere: quelle intumescenti e quelle non intumescenti. (Hinojal, 2020)

- Le barriere intumescenti sono costituite da un materiale che ha la proprietà di espandersi con la temperatura. Grazie a questo materiale la camera non perde la sua funzione in quanto rimane continua e al momento del fuoco il materiale si espande e la chiude.

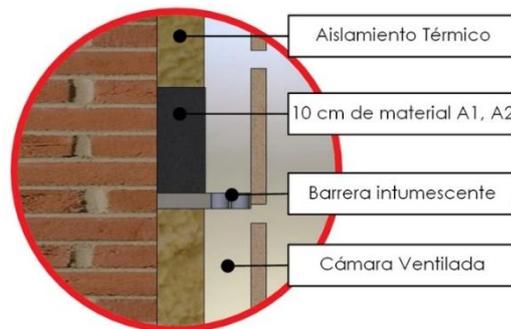


Figura 24 – Barriera di intercapedine intumescente

- Le barriere non intumescenti sono barriere che separano fisicamente la camera dalla facciata ventilata, causandone la riduzione o la perdita delle proprietà. In alcuni casi può causare l'arginizzazione dell'acqua che penetra.

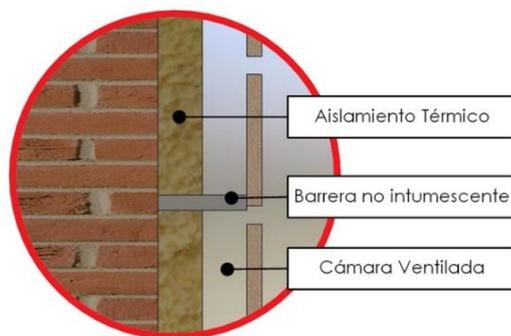


Figura 25 – Barriera di intercapedine non intumescente

CONFRONTO CON NORMATIVA ITALIANA

A differenza della normativa italiana, quella spagnola risulta essere più spoglia in termini di requisiti e soluzioni. Ad esempio, riguardo la reazione al fuoco, le facciate vengono distinte tra ventilate e non e, in base all'altezza, variano le classi dei materiali che possono essere applicati ad esse. Questo aspetto è simile alla RTV.13 in quanto, anche questa norma suddivide gli edifici in classi in base all'altezza per l'applicazione di diversi gruppi di materiali assegnati ad ognuna. In particolare, per le facciate ventilate, il nuovo CTE indica due tipologie di soluzioni: le barriere intumescenti e non, ma, a differenza della RTV.13, non vengono citate le fasce di separazione che invece sono soluzioni che riescono a limitare di più la propagazione delle fiamme in direzione verticale o orizzontale, non incentrandosi solo sulle barriere all'interno delle facciate.

Un altro elemento mancante nella normativa spagnola sono i requisiti di resistenza al fuoco, che, al contrario la RTV13 descrive in modo piuttosto dettagliato.

1.2 Panorama normativo nazionale

Per quanto riguarda l'evoluzione del panorama normativo nazionale, il 16 maggio del 1987 è stato pubblicato il decreto n.246 riguardante le norme di sicurezza per gli edifici di civile abitazione. Le presenti norme vengono applicate ad edifici di civile abitazione con altezza antincendi uguale o superiore ai 12m, tali edifici vengono poi classificati in base alla loro altezza antincendi in diverse classi: a, b, c, d, e per ognuna delle quali viene definita una massima superficie del compartimento, una massima superficie di competenza di ogni scala per ogni piano, il tipo dei vani scala e di almeno un vano ascensore e la caratteristica REI del vano scala e ascensore, filtri, porta, ecc...

Oltre alla classificazione viene definito anche il comportamento e la resistenza al fuoco della struttura, la reazione al fuoco dei materiali, poi la scelta dell'area; quindi tutto ciò che riguarda gli accessi e la possibilità di accostamento delle autoscale dei Vigili del Fuoco. Vengono date indicazioni riguardo la compartimentazione, i vani scala, rampe e ascensori. Sono presenti anche delle linee guida riguardanti il locale macchine, le varie tipologie di impianti, il controllo dell'incendio e l'accesso in sicurezza dei soccorritori. (dell'interno)

Il primo documento in cui sono stati definiti i requisiti di sicurezza antincendio specifici per le facciate degli edifici dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco è la Lettera Circolare n.5643 del 31 marzo del 2010 (Ing. Michele Castore, Dicembre 2023). Riguarda edifici con altezza antincendio superiore ai 12 metri e definisce tre obiettivi di sicurezza:

- Limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'interno dell'edificio.
- Ridurre la probabilità di incendio di una facciata a causa di un fuoco esterno e la successiva propagazione.
- Evitare o limitare, in caso di incendio, la caduta di parti di facciata per garantire l'esodo in sicurezza degli occupanti e l'intervento in sicurezza delle squadre di soccorso.

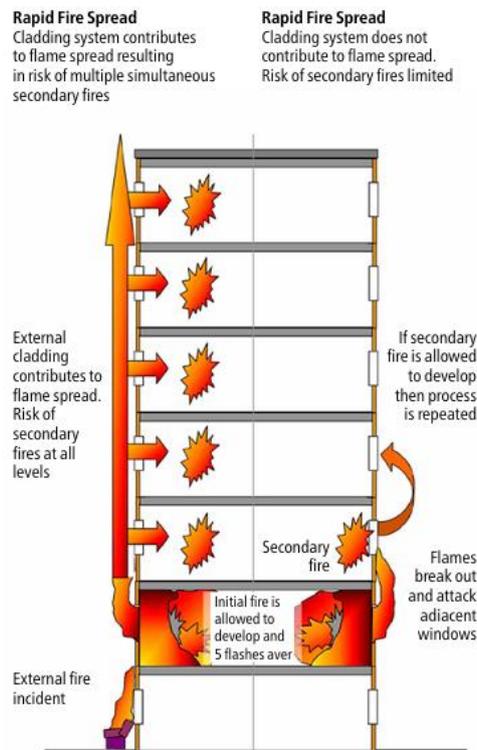


Figura 26 - Scenari di propagazione in facciata degli incendi (Ing. Michele Castore, Dicembre 2023)

Nella lettera circolare vengono considerate solo tre tipologie di facciate: semplice, quella a doppia pelle e il curtain wall (facciata continua).

Questa prima lettera poi è stata aggiornata con la Lettera Circolare n.5043 del 15 aprile 2013 dove si amplia la classificazione delle facciate, si includono anche configurazioni più complesse. Si ha quindi sia una più appropriata caratterizzazione tipologica delle facciate riguardo gli aspetti di sicurezza antincendio da garantire, sia una migliore impostazione formale. Oltre alle tre tipologie descritte dalla precedente lettera, si aggiungono anche le facciate a doppia parete, a doppia parete ventilata ispezionabile, non ispezionabile, quelle a parete aperta e chiusa.

Gli obiettivi di sicurezza rimangono invariati rispetto alla circolare precedente e si mantiene lo status di “Documento Volontario di Applicazione”, applicabile sempre agli edifici con altezza antincendio superiore a 12 metri.

Nel Codice di Prevenzione Incendi nella versione aggiornata del DM 18 ottobre 2019, il tema della sicurezza delle facciate viene richiamato nella sezione S.1, qui si specificano

i materiali di rivestimento da utilizzare per limitare il rischio di incendio delle facciate stesse.

Infine, si è arrivati al Decreto del 30 marzo 2022, sezione V.13 riguardante le chiusure d'ambito degli edifici. Questa, quindi, non si applica alla facciata, ma alla chiusura d'ambito dell'edificio ad andamento orizzontale o verticale, vengono incluse le seguenti tipologie di facciate: semplice, a doppia pelle, a doppia pelle ventilata o ispezionabile, curtain wall, facciata aperta o chiusa.

Le chiusure d'ambito vengono classificate in base all'altezza e alle caratteristiche dell'edificio, nelle categorie SA, SB e SC, inoltre la V.13 riporta soluzioni conformi per la reazione al fuoco, resistenza al fuoco, compartimentazione e per gli impianti. Sono consentite soluzioni alternative (descritte nel capito G.2 del Codice), ad esempio per la valutazione del comportamento al fuoco del sistema chiusura d'ambito.

Da tutto ciò emerge il limite di non avere un metodo armonizzato europeo di valutazione sperimentale del comportamento al fuoco di una facciata. Infatti, il tema della sicurezza delle facciate non può ridursi solamente all'applicazione delle misure prescrittive di reazione o resistenza al fuoco, in quanto il fenomeno di incendio di una facciata richiede la valutazione delle prestazioni dell'intero sistema di facciata nella sua unitarietà, complessità ed effettiva condizione di posa in opera e alla reale scala in cui si sviluppa l'incendio e la sua evoluzione dinamica.

In merito a questo limite il comma 3 dell'articolo 4 del decreto del Ministro dell'interno del 30 marzo 2022 riguardante le norme tecniche per la prevenzione incendi delle chiusure d'ambito degli edifici civili, specifica che “ In attesa di metodi armonizzati per la valutazione sperimentale dei requisiti di sicurezza antincendio dei sistemi per le facciate degli edifici civili, ai fini del raggiungimento degli obiettivi previsti dal D.M. 30 marzo 2022, si potranno utilizzare come riferimento anche le valutazioni sperimentali basate su metodi di prova riconosciuti in uno degli Stati della Unione europea”.

Con la Lettera circolare DCPREV n.11051 del 2 agosto 2022, sono stati definiti i metodi di prova riconosciuti in uno degli stati membri dell'Unione europea per la valutazione sperimentale dei requisiti di sicurezza antincendio.

Gli obiettivi di sicurezza antincendio valutati da questi metodi di prova sono i seguenti:

- Limitare la propagazione del fuoco sulla superficie, all'interno e attraverso il sistema di facciata.
- Verificare le prestazioni al fuoco dei sistemi che non seguono o non possono soddisfare le caratteristiche di prestazione al fuoco per i singoli componenti.
- Limitare o prevenire la caduta di parti e/o detriti/goccioline in fiamme.
- Imitare gli incendi covanti.

Metodo di prova	Stato che utilizza il metodo di prova
PN-B-02867:2013	Polonia
BS 8414-1:2015 and BS 8414-2:2015	Regno Unito, Irlanda
DIN 4102-20	Svizzera, Germania
ÖNORM B 3800-5	Svizzera, Austria
Technical regulation A 2.2.1.5	Germania
LEPIR 2	Francia
MSZ 14800-6:2009	Ungheria
SP Fire 105	Svezia, Norvegia, Danimarca
Engineering guidance 16	Finlandia
ISO-13785-2:2002	Slovacchia
ISO-13785-1:2002	Repubblica Ceca

Figura 27 - Metodi di prova riconosciuti ed utilizzati dagli Stati dell'Unione Europea (Ing. Michele Castore, Dicembre 2023)



Figura 28 - Metodi di prova riconosciuti ed utilizzati dagli Stati dell' Unione Europea (Ing. Michele Castore, Dicembre 2023)

In conclusione, se una facciata di un edificio civile che soddisfa i requisiti antincendio viene valutata secondo questi metodi di prova, rappresenta una soluzione alternativa. Per garantire il raggiungimento dei requisiti antincendio, i risultati delle prove sperimentali sono integrate da una valutazione di un professionista antincendio.

2. I sistemi di facciata: catalogazione delle tipologie di facciata da Codice con l'integrazione di sistemi innovativi e valutazione del rischio incendio

2.1 Tipologie di facciata tradizionali e innovative

È importante analizzare le diverse tipologie di facciata al fine di comprendere meglio il fenomeno della propagazione degli incendi in facciata.

Le seguenti tipologie di facciata elencate sotto sono quelle tradizionali le cui definizioni si trovano all'interno della Lettera Circolare del 15 aprile 2013 n.°5034 – Guida tecnica su “Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili”. Queste stesse definizioni vengono riportate anche all'interno della RTV.13.

- Facciata semplice
- Facciata a doppia parete
- Facciata a doppia parete ventilata non ispezionabile
- Facciata a doppia parete ventilata ispezionabile
- Curtain wall
- Parete aperta
- Parete chiusa
- Kit

Ci sono alcune tipologie di facciate più innovative che vengono utilizzate prevalentemente per migliorare l'efficienza energetica di un edificio. Tuttavia, quando si interviene sulla riqualificazione di edifici esistenti, l'attenzione è spesso rivolta quasi esclusivamente all'aspetto energetico, trascurando quello legato alla sicurezza antincendio. Per affrontare questa criticità, il seguente capitolo classificherà queste tipologie di facciate secondo i criteri stabiliti dal Codice di Prevenzione Incendi. In questo modo, i progettisti impegnati in interventi di riqualificazione energetica potranno integrare anche i requisiti di resistenza al fuoco nel loro approccio progettuale.

In generale una facciata è considerata come l'insieme dei componenti che costituiscono un sistema di chiusura.

2.1.1 FACCIATA SEMPLICE:

Gli strati e gli elementi funzionali sono assemblati con continuità senza intercapedini d'aria tra gli strati.

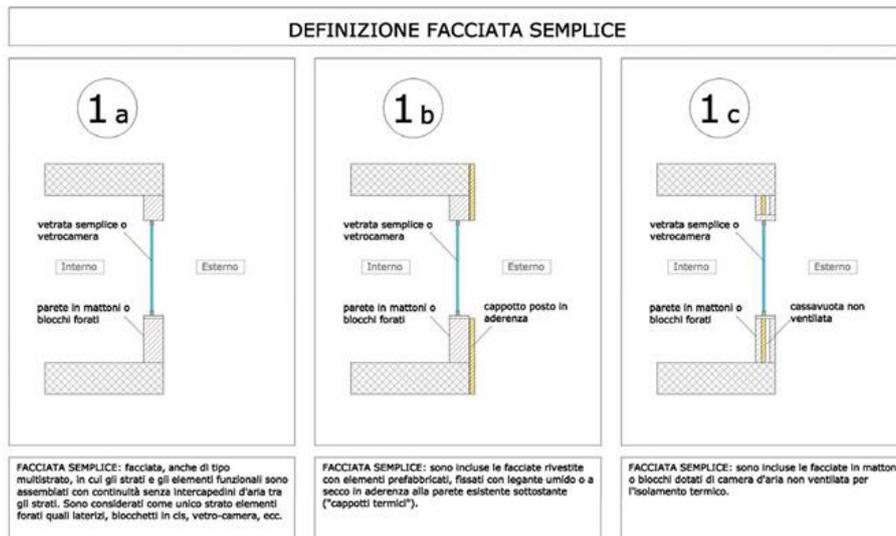


Figura 29 – Definizione facciata semplice (F.Cosi)

2.1.1.1 Muri vegetali:

Questa tecnica consiste nell'installare piccoli vasi su una griglia fissata alla facciata in cui le piante vengono piantate manualmente per creare un effetto più naturale. Sulla parete possono essere inoltre inserite quasi tutte le specie vegetali ma occorre rispettare le caratteristiche climatiche, di esposizione o soleggiamento.



Figura 30 - Esempio facciata con muro vegetale

2.1.2 FACCIATA A DOPPIA PARETE:

È di tipo multistrato in cui gli strati e/o gli elementi funzionali sono separati da una cavità o intercapedine d'aria. Possono essere di tipo ventilato e non ventilato con pareti opache o vetrate, quelle di tipo ventilato anche ispezionabili e non ispezionabili.



Figura 31 – Definizione facciata a doppia parete non ventilata (F.Cosi)

2.1.3 FACCIATA A DOPPIA PARETE VENTILATA NON ISPEZIONABILE:

La circolazione di aria nell'intercapedine può essere di tipo meccanico e/o naturale. L'intercapedine assume spessori variabili compresi tra i 3cm e i 60cm.

Può essere a doppia parete ventilata sia verso l'interno che verso l'esterno.

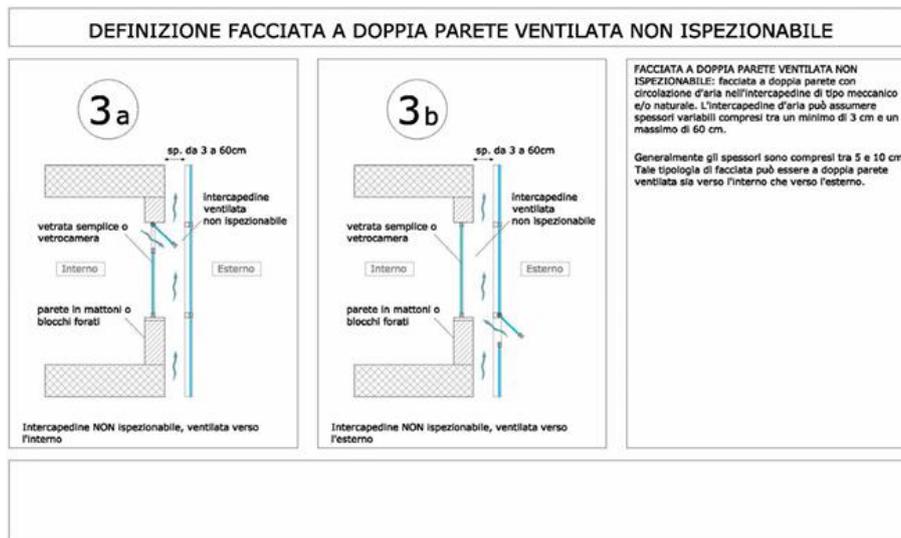


Figura 32 – Definizione facciata a doppia parete ventilata non ispezionabile (F.Cosi)

2.1.3.1 Facciate verdi (green facade):

Oltre alle tradizionali facciate ventilate possono essere classificate tali anche le facciate verdi (green facade). Si tratta di strutture autonome, generalmente in acciaio, su cui vengono posizionate le specie vegetali, queste sono fissate alla parete esterna dell'edificio tramite sistemi di ancoraggio. Tali facciate sono considerate ventilate poiché tra il graticcio che sostiene le piante e la parete dell'edificio si crea un'intercapedine.



Figura 33 - Esempio stratigrafia facciata verde

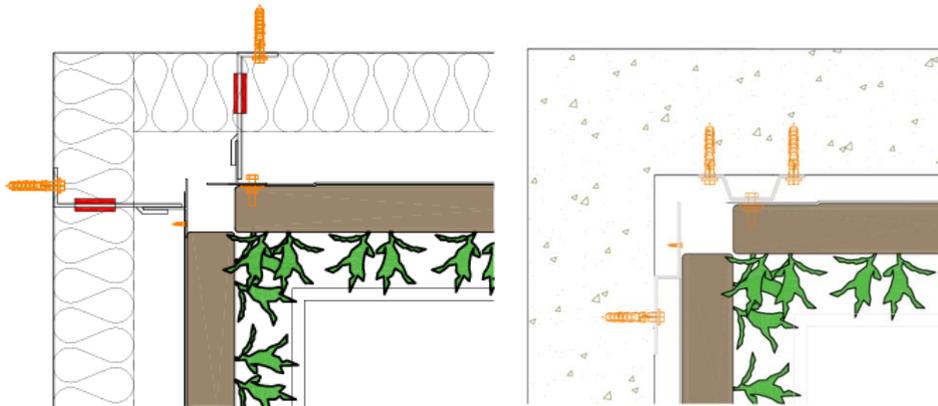


Figura 34 – Dettagli tecnici green wall – con isolante (imm.sinistra), su pietra senza isolante (imm. Destra) – “Sempergreen”



Figura 35 - Esempio applicazione facciata verde - Scuola superiore di Geldern (Gheldria - Germania)

2.1.3.2 Pareti viventi (living wall):

Questa è un'altra tecnica possibile per realizzare del verde verticale. In questo caso è previsto l'utilizzo di elementi modulari in materiale inorganico, nei quali viene predisposto il terriccio e vengono inserite le diverse piante. A differenza della facciata verde, in questo caso è necessario affiancare alla chiusura vegetata un impianto di irrigazione che garantisce in modo automatico il nutrimento necessario alle piante. (Dr. Thomas Engel Johannes Kahler, Januar 2025)



Figura 36 - Esempio di living wall – Stazione M2 di Losanna Flon

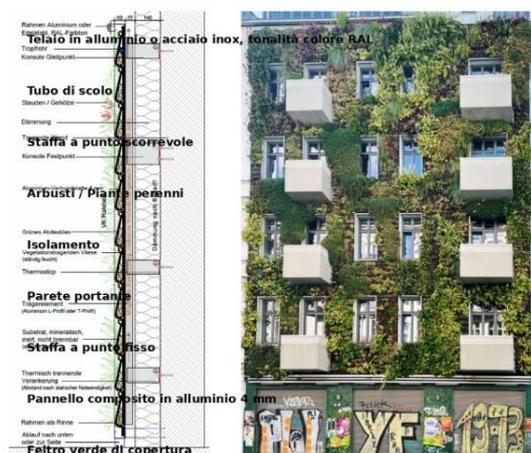


Figura 37 – Esempio di living wall – Edificio residenziale Glogauer Strabe Berlin (Dr. Thomas Engel Johannes Kahler, Januar 2025)

2.1.3.3 Facciate adattive (adaptive facade):

Le facciate adattive possono reagire cambiando la loro forma/geometria, colori, trasparenza/traslucidità e permeabilità.

In questo contesto l'edificio viene considerato come un organismo che si auto-adatta, questa adattabilità è evidente nell'involucro esterno. La facciata non ha quindi solamente una funzione di separazione tra interno ed esterno, ma anche una funzione di controllo e regolazione di aspetti legati all'energia, igiene, permeabilità visiva, ventilazione. Tutto questo può essere integrato in una singola cella di facciata. Tutto tramite sensori che ricevono segnali dall'ambiente esterno e vanno ad attuare gli elementi della facciata stessa in modo da rispondere alle variate condizioni climatiche esterne.

Viene considerata una facciata a doppia parete ventilata non ispezionabile in cui l'intercapedine ventilata è verso l'esterno. Non può essere considerata come una classica facciata ventilata in quanto la parte esterna è in continuo movimento, ma essendo una struttura che viene aggiunta alla parete esterna dell'edificio, si crea un'intercapedine d'aria e per questo viene considerata tale.



Figura 38 – Esempio di facciata adattiva – Al Bahar Towers (Abu Dhabi)

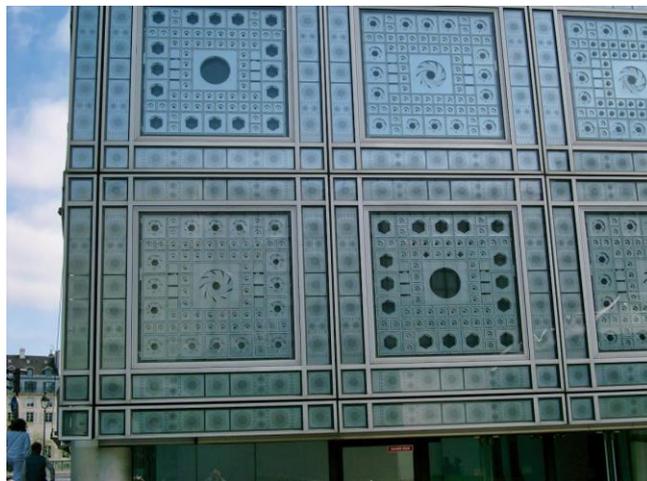


Figura 39 - Esempio di facciata adattiva - Institut du Monde Arabe (Paris)

2.1.3.4 Facciate a doppia pelle (double skin facade):

Queste facciate possono essere considerate facciate ventilate anche se non sempre lo sono, dipende se il sistema progettato prevede il passaggio dell'aria nell'intercapedine. In quel caso vanno adottati i requisiti antincendio usati per le facciate ventilate.

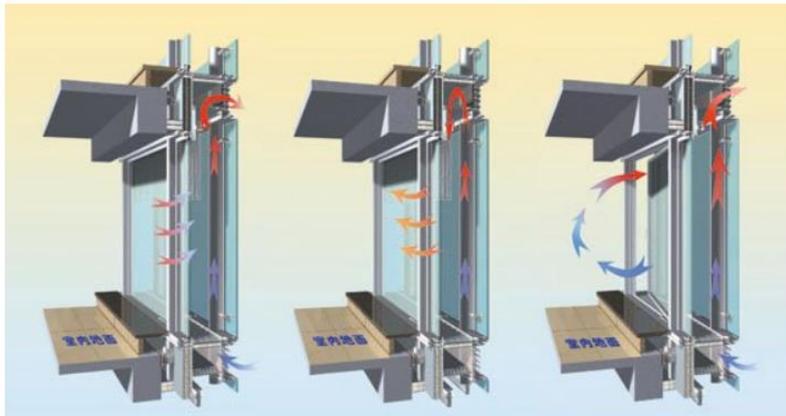


Figura 40 – Sistema facciata a doppia pelle ventilata

2.1.3.5 Facciate fotovoltaiche ventilate:

I sistemi BIPV “Building Integrated Photovoltaic” sono un tipo di tecnologia fotovoltaica utilizzata per generare energia elettrica attraverso l’integrazione di pannelli solari direttamente nelle superfici verticali dell’edificio. Per installare tali pannelli in facciata è fondamentale valutare l’esposizione solare dell’edificio, in quanto, ricevono meno irradiazione di quelli installati in copertura, ma possono comunque contribuire in modo sostanziale alla generazione locale di elettricità.

In termini costruttivi, i sistemi BIPV devono rivestire lo stesso ruolo degli elementi tradizionali di rivestimento per facciate e coperture che vanno a sostituire, come resistenza alle intemperie, carico del vento e vita utile.

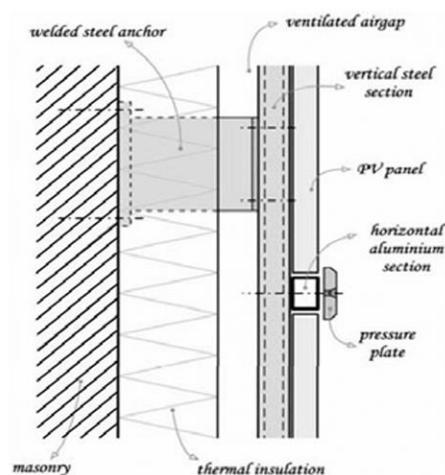


Figura 41 – Dettaglio costruttivo di facciata ventilata BIPV



Figura 42 – Esempio di facciata fotovoltaica ventilata – Sede centrale della Coca Cola a Monterrey, Messico

2.1.4 FACCIATA A DOPPIA PARETE VENTILATA ISPEZIONABILE:

La circolazione d'aria nell'intercapedine può essere di tipo meccanico e/o naturale. L'intercapedine può assumere spessori superiori a 60cm, se superano i 120cm le due pareti costituiscono due sistemi di facciata indipendenti. L'intercapedine interna tra le due pareti è attrezzata per consentire il passaggio di addetti alle operazioni di manutenzione.

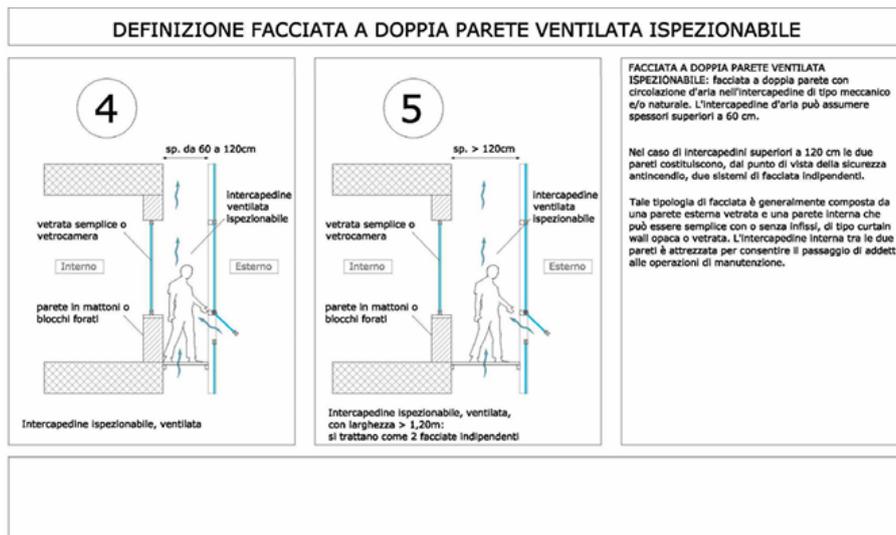


Figura 43 – Definizione facciata a doppia parete ventilata ispezionabile (F.Cosi)

2.1.4.1 Facciata a doppia pelle (double skin facade):

Questa tipologia di facciata ha l'intercapedine tra i due strati sufficientemente ampio (maggiore di 60cm) per consentire l'accesso umano.



Figura 44 - Esempio di facciata a doppia pelle ispezionabile

2.1.5 CURTAIN WALL:

Costituisce la facciata esterna non portante indipendente dall'ossatura strutturale dell'edificio. Questa tipologia di facciata è solitamente formata da un'intelaiatura, costituita da elementi strutturali lineari interconnessi, vincolata alla struttura di supporto dell'edificio e riempita a formare una pelle continua leggera che fornisce tutte le normali funzioni di una parete esterna, ma senza avere funzioni portanti per l'edificio stesso.

Generalmente viene progettata con una struttura di alluminio estrusa ed è generalmente tamponata con pannelli in vetro.

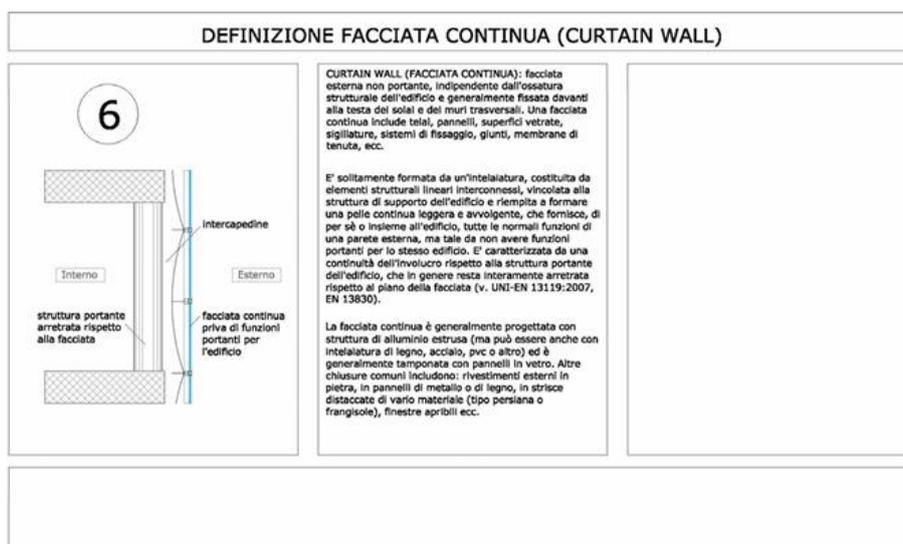


Figura 45 - Definizione facciata continua (curtain wall) - (F.Cosi)

2.1.5.1 Facciata a doppia pelle (double skin facade):

Questa tipologia di facciata è costituita da due strati generalmente in vetro, separati da un'intercapedine sigillata. In questo caso non c'è circolazione dell'aria, ma solamente un isolamento statico. La doppia pelle quindi, ha la funzione di essere uno strato isolante sia dal punto di vista termico che acustico. La pelle esterna protegge dagli agenti atmosferici ed è il primo filtro per il controllo solare e termico, la pelle interna funziona come la parete isolante principale e può includere finestre apribili o superfici opache.

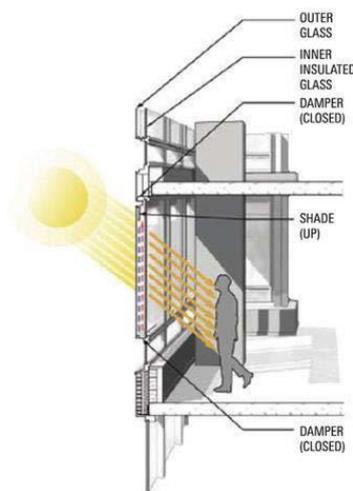


Figura 46 – Esempio di facciata continua a doppia pelle non ventilata

2.1.5.2 Facciate fotovoltaiche:

I sistemi BIPV possono essere integrati anche in facciate continue. I sistemi di facciate continue prevedono normalmente un doppio strato di vetro, i moduli FV possono essere incorporati come unità prefabbricate a doppio vetro: il pannello esterno può essere in vetro laminato su cui viene applicato il vetro FV in resina, mentre quello interno è in vetro. Inoltre, si posiziona un'intercapedine d'aria sigillata tra i due vetri.

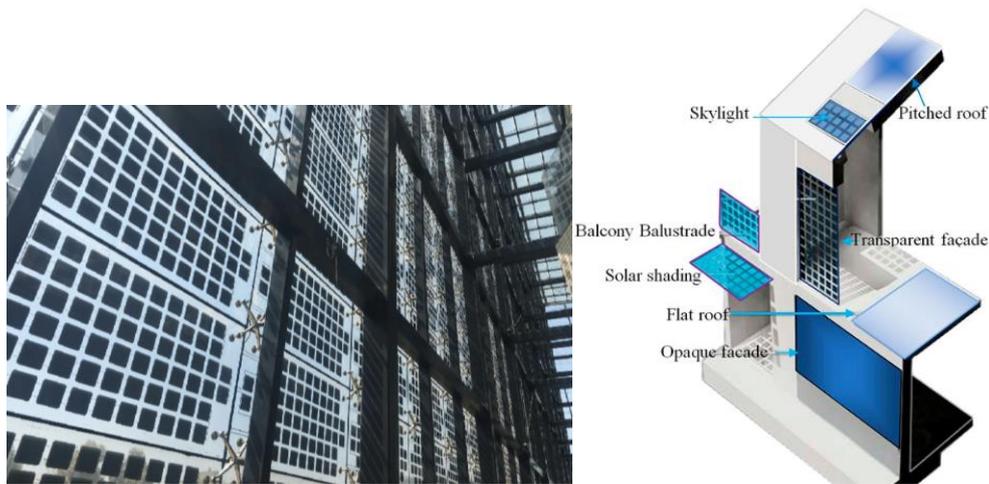


Figura 47 – Esempio di facciate continue fotovoltaiche

Parete aperta:

- è una parete esterna costituita per almeno il 50% della sua superficie da giunti, griglie fisse o mobili distribuiti in modo sufficientemente uniforme da pannelli realizzati con materiali che a temperature inferiori a 200°C si rompono e cadono.

Parete chiusa:

- è una parete esterna che non rispetta i criteri della parete aperta.

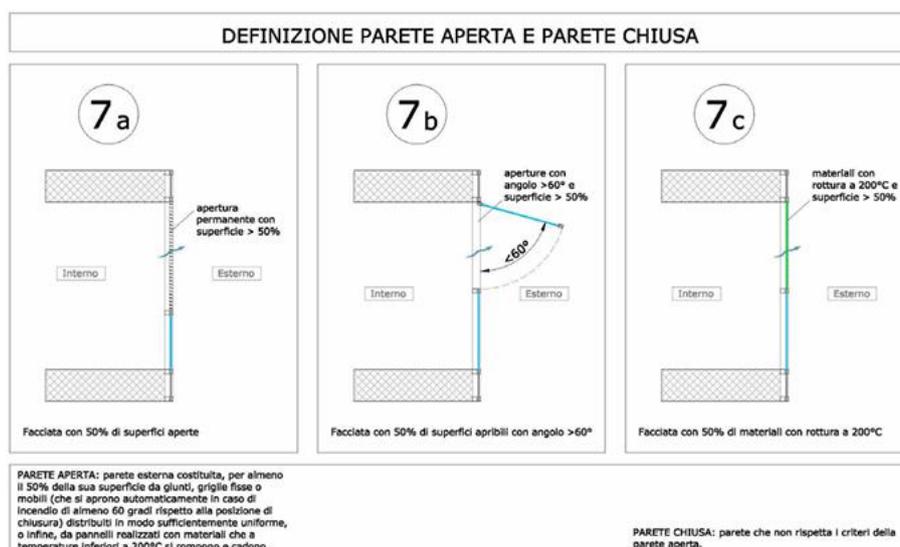


Figura 48 – Definizione parete aperta e parete chiusa

Kit:

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 diventare un sistema assemblato.

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.

ETICS (External Thermal Insulation Composite System):

Il sistema di isolamento termico a cappotto, è una soluzione di isolamento multistrato progettata per migliorare l'efficienza energetica degli edifici nuovi ed esistenti. Vengono applicati pannelli di lana di roccia sul lato esterno e fissati ad esso tramite incollaggio e ancoraggio meccanico. Questo sistema può essere considerato un kit in quanto è costituito da più di due componenti assemblati tra loro, come esplicitato dalla figura X sottostante.



Figura 49 – Esempio stratigrafia ETICS

2.2 Requisiti di resistenza al fuoco e compartimentazione

Per il primo caso, quindi le facciate semplici, in linea generale non sono richiesti requisiti di resistenza al fuoco per gli elementi della facciata che appartengono a compartimenti aventi carico d'incendio specifico minore o uguale a 200 MJ/m^2 . Non sono inoltre 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/m^2 se essi sono provvisti di un sistema di spegnimento ad attivazione automatica.

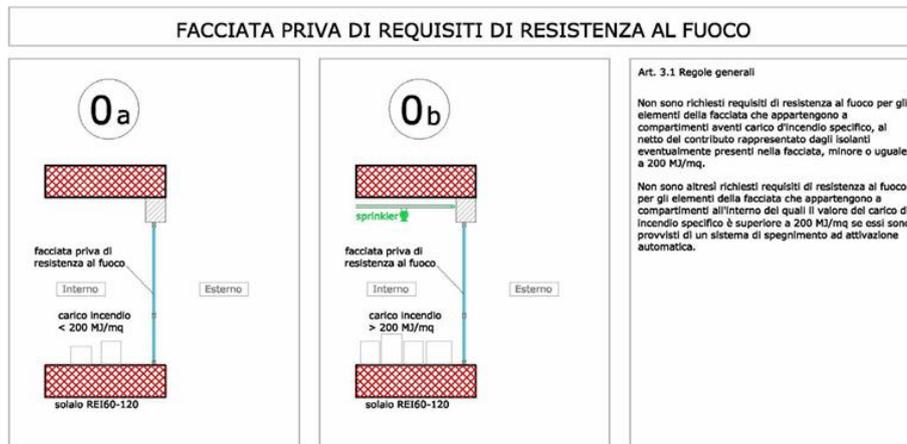


Figura 50 – Facciata priva di requisiti di resistenza al fuoco (F.Cosi)

2.2.1 FACCIATE SEMPLICI E CURTAIN WALLS:

Secondo la Lettera Circolare del 15/04/ 2013 n.°5034: La facciata deve presentare in corrispondenza di ogni solaio e di ogni muro trasversale, con funzione di compartimentazione, una fascia costituita da uno o più elementi costruttivi di classe di resistenza al fuoco E60.

Nel caso delle facciate di tipo curtain walls, ovvero quando l'elemento di facciata non poggia direttamente sul solaio, è richiesto che l'elemento di giunzione ai solai e ai muri trasversali dei compartimenti sia di classe di resistenza al fuoco EI60. Le parti di facciata appartenenti alla fascia predetta possono presentare aperture a condizione che, in corrispondenza delle stesse sia previsto l'intervento automatico di un'apposita serranda tagliafuoco, con il medesimo requisito di resistenza al fuoco.

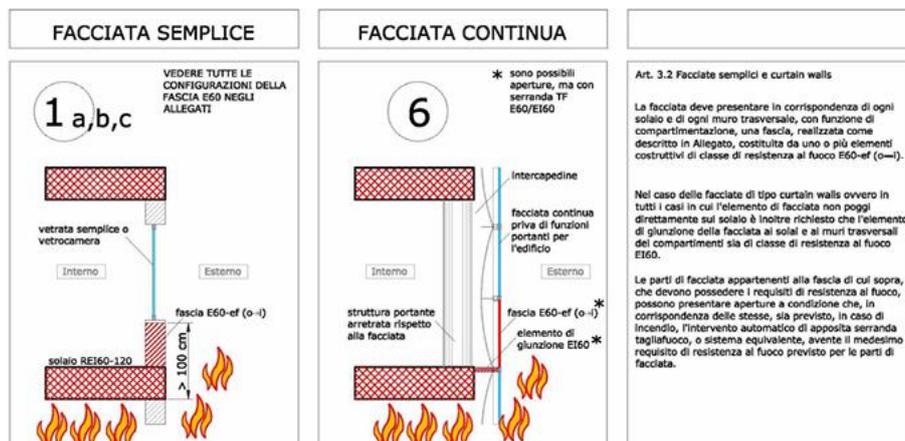


Figura 51 – Requisiti di resistenza al fuoco per facciata semplice e continua

Secondo la RTV.13: In corrispondenza delle proiezioni degli elementi costruttivi di compartimentazione orizzontale e verticale sulle chiusure d'ambito, nelle facciate semplici e nelle curtain walling devono essere realizzate le *fasce di separazione**. Inoltre, se l'elemento di facciata non poggia direttamente sul solaio e nelle curtain walling, deve essere realizzato un elemento di giunzione tra la facciata e le compartimentazioni orizzontali e verticali con classe di resistenza al fuoco almeno EI 30. Per chiusure d'ambito di tipo SC, detto elemento di giunzione deve avere classe di resistenza al fuoco almeno EI 60.

*Fasce di separazione: In facciata, le fasce di separazione ed eventuali altre protezioni devono avere le seguenti caratteristiche:

- a. realizzate con materiali in classe di reazione al fuoco non inferiore a A2 s1,d0;
- b. costituite da uno o più elementi costruttivi aventi classe di resistenza al fuoco E 30-ef (o→i) o, se portanti, RE 30-ef (o→i).

Le porzioni di chiusura d'ambito comprese nelle fasce di separazione ed in eventuali altre protezioni possono presentare aperture solo se provviste di serranda tagliafuoco o sistema equivalente a chiusura automatica in caso di incendio, con i medesimi requisiti di resistenza al fuoco della fascia di separazione, oppure devono essere testate in configurazione totale come da EN 1364-3.

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.

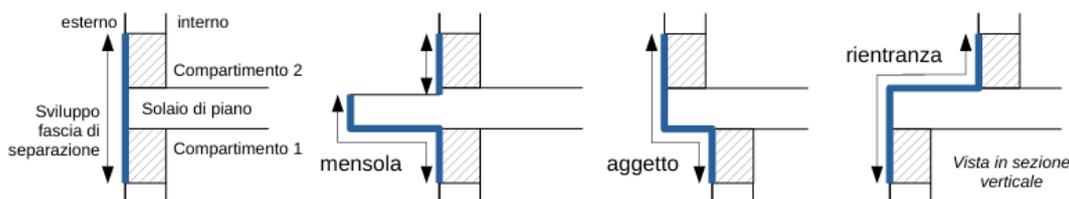


Figura 52 – V.13-2: Esempi di fascia di separazione orizzontale in facciata (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)

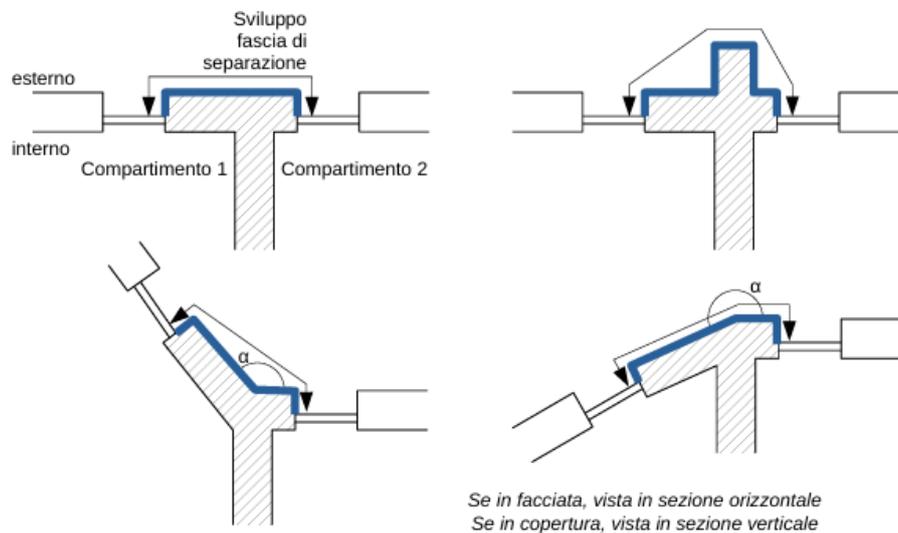


Figura 53 – V.13.3: Esempi di fascia di separazione verticale in facciata o in copertura

2.2.1.1 Muri vegetali:

Nel caso dei muri vegetali è possibile adottare le soluzioni riguardanti le facciate semplici, quindi inserire una fascia che abbia una determinata resistenza al fuoco in quanto non modificherebbe né l'estetica, né la struttura della facciata. Quello che si deve tenere in considerazione però è la presenza del verde presente lungo la facciata, in quanto potrebbe influire sulla propagazione delle fiamme.

Come dimostrato dal “Rapporto finale FireSafeGreen sull'applicabilità della protezione antincendio facciate verdi su edifici a più piani”, le diverse tipologie di facciate verdi si comportano in modo differente in caso di incendio. In questo caso le piante rampicanti aderiscono direttamente alle superfici del muro e non necessitano di graticci o supporti metallici, questo può avere dei vantaggi per quanto riguarda la semplicità costruttiva, per il fatto che migliora l'isolamento termico e che non richiede grandi interventi di manutenzione.

I rischi legati al fuoco di questa tipologia di facciata riguardano innanzitutto l'accumulo di materiale secco, il quale potrebbe aumentare il rischio di combustione soprattutto nelle piante non curate o trascurate. Un altro problema riguarda la propagazione verticale, infatti, il fuoco può salire facilmente lungo la superficie della facciata sfruttando la continuità della vegetazione. Questo fenomeno è logicamente amplificato nel caso in cui sono presenti speci rampicanti con una struttura più secca e legnosa.

Un aspetto positivo riguarda l'umidità in quanto le piante vive e fresche come l'edera tendono a resistere al fuoco e a non propagare le fiamme, spegnendosi naturalmente dopo il primo contatto con il fuoco. Inoltre gli studi evidenziano che in presenza di vento forte, il rischio di propagazione aumenta anche con piante fresche.

Per ridurre i rischi di incendio nelle pareti vegetali il documento consiglia come prima cosa una manutenzione regolare, in modo tale da ridurre il rischio della presenza di rami o foglie secche, la scelta di specie adatte, la creazione di interruzioni lungo la facciata in modo tale da interrompere la vegetazione con parti vuote o barriere non infiammabili e infine il monitoraggio dell'umidità, così da garantire che il sistema sia irrigato adeguatamente.

2.2.1.2 Facciate a doppia pelle (double skin facade):

Per questa tipologia è possibile applicare i requisiti richiesti per le facciate continue in quanto, neanche in questo caso si modificano struttura o estetica della facciata. Basterebbe quindi inserire elementi di giunzione e una fascia di separazione nella pelle esterna con le caratteristiche definite sopra. Una criticità che potrebbe riscontrarsi in questa tipologia di facciata è la fragilità del vetro e dei materiali metallici deformabili ad alte temperature. Infatti, il fuoco e i fumi possono propagarsi ai piani superiori attraverso rotture all'interno del sistema ad esempio tramite l'effetto camino all'interno della cavità di aria che può accelerare il fenomeno.

Risultati sperimentali dimostrano che il vetro temprato sembra però sopravvivere a temperature molto più alte rispetto ad un vetro tradizionale, quindi un doppio strato di vetro temprato può sopportare incendi molto più severi di un sistema monostato. In generale, quando l'intercapedine presenta uno spessore maggiore, le temperature sul lato esterno diminuiscono e la pelle interna non viene attaccata dal fumo.

2.2.1.3 Facciate fotovoltaiche:

I requisiti richiesti per la facciata continua possono essere rispettati anche nelle facciate fotovoltaiche quando si parla di inserire gli elementi di giunzione resistenti al fuoco, ma se la facciata continua è totalmente costituita da celle fotovoltaiche non è possibile installare fasce di separazione in facciata.

C'è da tener conto che, a differenza di una classica facciata continua vetrata, il rischio di ignizione e propagazione di incendio è più alto. Di conseguenza, con l'aumento dell'utilizzo dei sistemi BIPV, sono stati sviluppati dispositivi che hanno la funzione di interrompere l'alimentazione in situazione di emergenza e di garantire la sicurezza in caso di incendio, questi sistemi si chiamano RSS "Rapid shutdown systems". (F. Parolini)

I moduli FV in assenza di elettricità e ad inverter spento, rimangono attivi in presenza di irraggiamento solare, quindi sono in grado di generare tensioni pericolose per gli occupanti e per le squadre di soccorso. Lo scopo di un RSS è proprio quello di suddividere i circuiti elettrici in sezioni controllate, in modo tale da ridurre la tensione elettrica ad un livello sicuro. Spesso funge da secondo interruttore, se ne è già presente uno che interrompe l'impianto.

Il componente principale del RSS deve normalmente essere posizionato sul retro dei moduli fotovoltaici, con la funzione di separare tra loro i moduli per ottenere tensioni in corrente continua non pericolose. Questi sistemi sono nati per intervenire su impianti esistenti, oltre che su quelli nuovi, senza modificarne i componenti. Ad oggi non esistono procedure specifiche per la valutazione del corretto funzionamento ed affidabilità dei sistemi di estinzione rapida.

2.2.2 FACCIATE A DOPPIA PARETE VENTILATE NON ISPEZIONABILI CON PARETE ESTERNA CHIUSA:

Secondo la Lettera Circolare del 15/04/ 2013 n.°5034: 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 B-s3-d0 ovvero se la parete interna ha, per l'intera altezza e per tutti i piani, una resistenza al fuoco EI30.

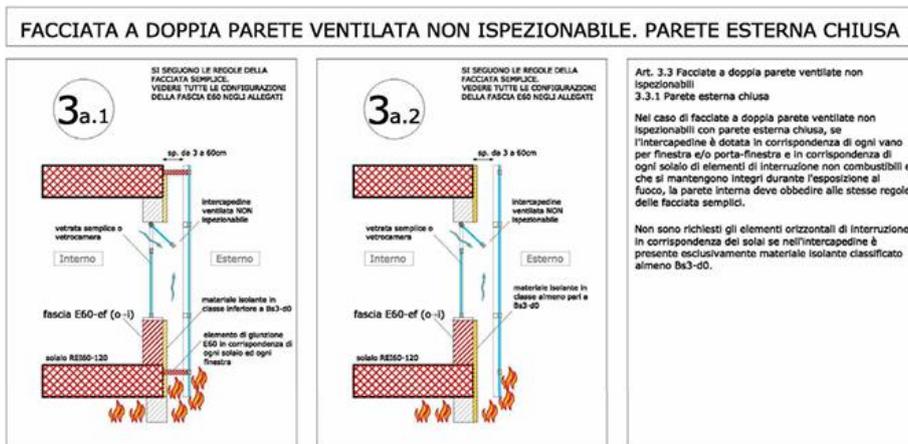


Figura 54 – Facciata a doppia parete ventilata non ispezionabile, parete esterna chiusa (F.Cosi)

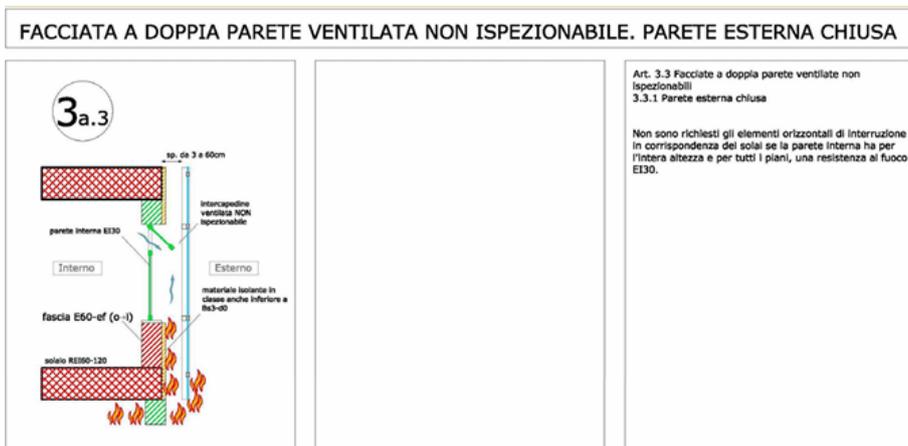


Figura 55 - Facciata a doppia parete ventilata non ispezionabile, parete esterna chiusa (F.Cosi)

Secondo la RTV.13: per le facciate a doppia pelle ventilata non ispezionabile con parete esterna chiusa sono ammesse le soluzioni conformi di cui alla tabella seguente.

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 56 – Caratteristiche di resistenza al fuoco per facciate a doppia pelle ventilate (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)

2.2.2.1 Facciate verdi (Green facades):

Per quanto riguarda queste facciate, ci sono due aspetti critici da tenere in considerazione in quanto in primo luogo non sono ancora stati stabiliti dei metodi di prova ed inoltre ad oggi si ha un vuoto normativo riguardo questo sistema.

I requisiti di resistenza al fuoco sopra menzionati per le facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili, possono essere adottati anche per questo sistema, in quanto si possono sia installare elementi di giunzione, sia scegliere il materiale isolante adatto e sia rendere la pelle interna resistente al fuoco.

In particolare, le facciate verdi riducono il rischio di propagazione del fuoco dal supporto in cui sono installate le piante alla struttura principale grazie al distanziamento. Un dato molto importante a riguardo, è il materiale che viene utilizzato per il graticcio, è importante che sia di un materiale non combustibile come il metallo per prevenire il rischio di propagazione del fuoco. Un aspetto negativo può essere la presenza di materiale vegetale secco, che favorisce la propagazione verticale agendo come combustibile.

Per avere un'adeguata sicurezza antincendio è necessaria una manutenzione regolare alla struttura, utilizzare supporti metallici o ignifughi per ridurre il rischio di propagazione delle fiamme, garantire uno spazio sufficiente tra il supporto e la facciata per evitare il surriscaldamento della parete e infine mantenere le piante ben idratate per ridurre il rischio di incendio.

2.2.2.2 Pareti viventi (Living walls):

Anche le pareti viventi come le pareti verdi possono rispettare i requisiti di resistenza al fuoco richiesti dalla normativa sopra spiegata.

Per quanto riguarda il comportamento al fuoco di questo sistema è possibile affermare che, se irrigato correttamente, resiste meglio al fuoco rispetto alle facciate verdi in quanto le piante hanno un alto contenuto di umidità, il quale permette anche di rallentare la propagazione delle fiamme.

I rischi che si possono riscontrare in questa tipologia di facciata riguardano la presenza di componenti plastici o sintetici che possono fondere o alimentare il fuoco e la presenza di piante secche, le quali favoriscono la propagazione verticale del fuoco.

Sono stati condotti dei test su larga scala e si è evidenziato che per avere una maggiore sicurezza antincendio è necessario fare una manutenzione regolare delle piante e del sistema di irrigazione, utilizzare pannelli, telai e substrati incombustibili, predisporre

distanze adeguate tra la vegetazione e i materiali infiammabili e se necessario integrare barriere ignifughe dietro la vegetazione per proteggere l'edificio.

2.2.2.3 *Facciate doppia pelle (Double skin):*

Nel caso della doppia pelle con parete interna opaca è possibile rispettare i requisiti di resistenza al fuoco sopra menzionati, nel caso in cui la parete interna fosse vetrata si possono seguire i requisiti della facciata continua definiti precedentemente.

2.2.2.4 *Facciate fotovoltaiche:*

I requisiti antincendio descritti sopra possono essere adottati a questa tipologia di facciata senza modificarne la struttura. Quello che può aggravare la sicurezza antincendio globale della costruzione è la presenza di elementi fotovoltaici BIPV integrati nell'involucro dell'edificio. Infatti, oltre all'”effetto camino” dato dal fatto che la facciata sia ventilata, si aggiunge il funzionamento elettrico del sistema fotovoltaico, che può causare fenomeni di sovraccarico o corto circuito.

Attualmente i regolamenti edilizi nazionali non presentano requisiti applicabili in modo specifico ai sistemi fotovoltaici integrati in facciata, quindi le facciate BIPV dovrebbero essere trattate come gli altri materiali esterni di facciata, tenendo sempre conto del loro particolare comportamento al fuoco ed al rischio di propagazione delle fiamme all'interno delle cavità nascoste dal rivestimento esteriore. Un altro fattore riguardante le celle solari è che, all'interno dell'intercapedine posizionata posteriormente ai moduli FV, ci sono molti collegamenti elettrici, quindi potenziali fonti di accensione.

Come per le facciate continue fotovoltaiche, anche qui è possibile installare i dispositivi RSS per garantire una maggiore sicurezza in caso di incendio.

2.2.3 FACCIATE A DOPPIA PARETE VENTILATE NON ISPEZIONABILI CON PARETE ESTERNA APERTA:

Secondo la Lettera Circolare del 15/04/ 2013 n.°5034: La parete interna dovrà avere gli stessi requisiti di resistenza al fuoco delle facciate semplici, se nell'intercapedine è presente esclusivamente materiale isolante classificato almeno B-s3-d0, ovvero dovrà avere, per l'intera altezza e per tutti i piani, una resistenza al fuoco EI30 se nell'intercapedine è presente materiale isolante con classificazione di reazione al fuoco inferiore.

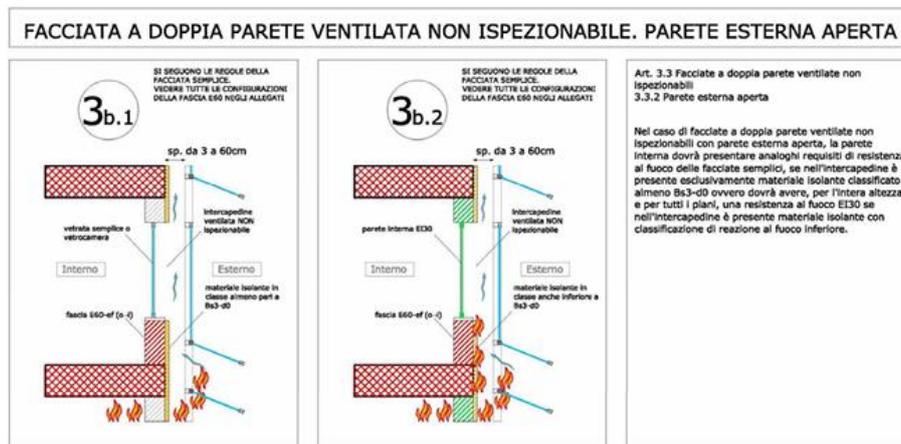


Figura 57 – Facciata a doppia parete ventilata non ispezionabile, parete esterna aperta (F.Cosi)

Secondo la RTV.13: per le facciate a doppia pelle ventilata non ispezionabile con parete esterna aperta sono ammesse le soluzioni conformi di cui alla tabella seguente.

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 58 - Caratteristiche di resistenza al fuoco per facciate a doppia pelle ventilate (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)

2.2.3.1 Facciate adattive (adaptive facade):

I requisiti descritti sopra possono essere adottati in quanto la parete interna delle facciate adattive tendenzialmente è opaca.

È importante tenere in considerazione il fatto che spesso le facciate adattive sono costruite con materiali innovativi come i materiali a cambiamento di fase (PCM) o i materiali compositi. In entrambi i casi è necessario fare in modo che questi materiali non diventino un rischio in caso di incendio e che non contribuiscano alla propagazione delle fiamme o al rilascio di fumi tossici. Inoltre, i materiali della facciata devono essere in grado di resistere a temperature elevate per un determinato periodo di tempo senza deformarsi o compromettere la protezione dell'edificio.

Un ulteriore aspetto molto importante è che i pannelli mobili delle facciate non debbano staccarsi dalla parete e favorire l'ignizione di altri incendi. Per evitare questo rischio, è essenziale che gli elementi di giunzione siano resistenti al fuoco.

2.2.4 FACCIATE A DOPPIA PARETE VENTILATE ISPEZIONABILI CON PARETE ESTERNA CHIUSA:

Secondo la Lettera Circolare del 15/04/ 2013 n.°5034: in questo caso si possono presentare due differenti casi:

- Parete esterna chiusa – Intercapedine interrotta da elementi di interpiano resistenti al fuoco: in questo caso 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 di incendio, di dispositivi automatici di chiusura aventi requisito di resistenza al fuoco E60.
- Parete esterna chiusa – Intercapedine priva di interruzioni: in questo caso 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. Nel caso del 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 EI60.

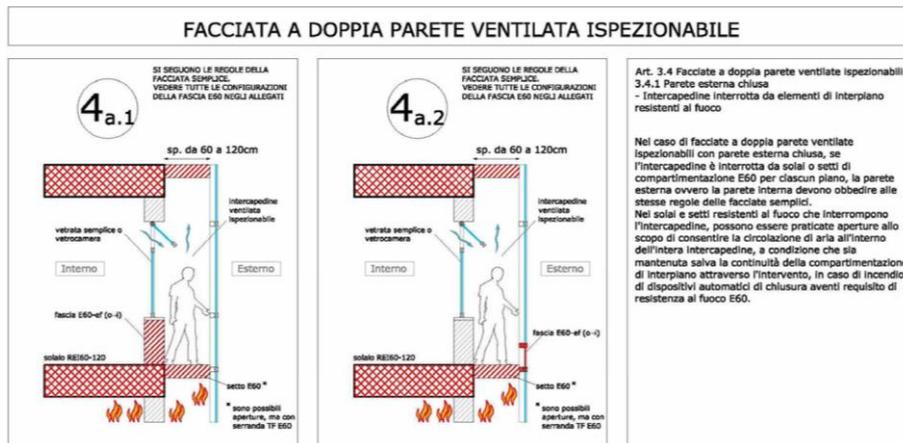


Figura 59 – Facciata a doppia parete ventilata ispezionabile (F.Cosi)

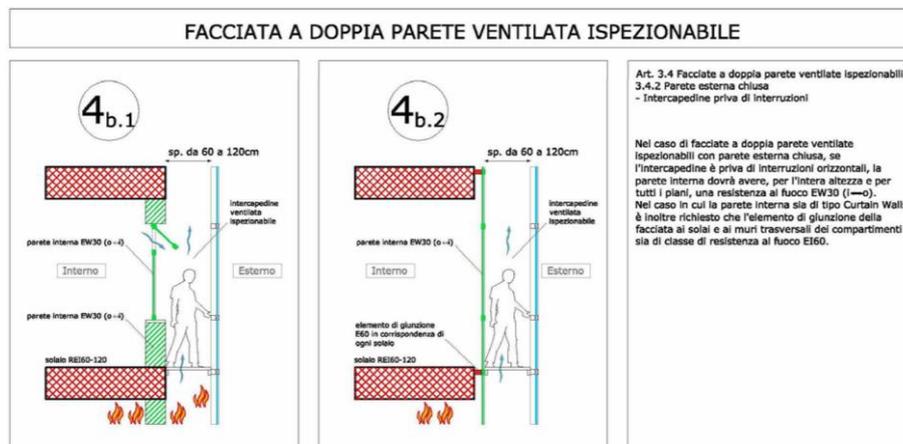


Figura 60 – Facciata a doppia parete ventilata ispezionabile (F.Cosi)

Secondo la RTV.13: per le facciate a doppia pelle ventilata ispezionabile con parete esterna chiusa sono ammesse le soluzioni conformi di cui alla tabella seguente.

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 pelli interna ed esterna devono essere applicate le stesse prescrizioni previste per le facciate semplici.
	Qualsiasi	Per l'intera altezza e per tutti i piani [1], la pelle interna deve essere EW 30 (i→o), o EW 60 (i→o) per chiusure d'ambito di tipo SC. [2]

Figura 61 - Caratteristiche di resistenza al fuoco per facciate a doppia pelle ventilate (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)

2.2.4.1 Facciate doppia pelle (double skin facade):

Qui si possono adottare i requisiti richiesti sia se la parete interna è opaca, sia nel caso in cui sia vetrata.

2.2.5 FACCIATE A DOPPIA PARETE VENTILATE ISPEZIONABILI CON PARETE ESTERNA APERTA:

Secondo la Lettera Circolare del 15/04/ 2013 n.°5034: nel caso di quelle con parete esterna aperta, la parete interna dovrà presentare analoghi requisiti di resistenza al fuoco delle facciate semplici.

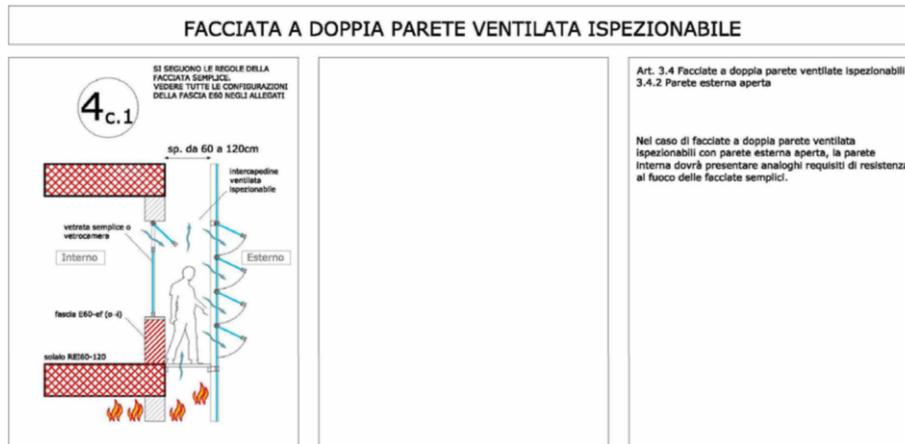


Figura 62 – Facciata a doppia parete ventilata ispezionabile (F.Cosi)

Come misura alternativa a quelle precedenti 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 l/min/m² sulle pareti interne della facciata che potranno avere superfici vetrate purchè in vetro temprato con trattamento HST (Heat Soak Test).

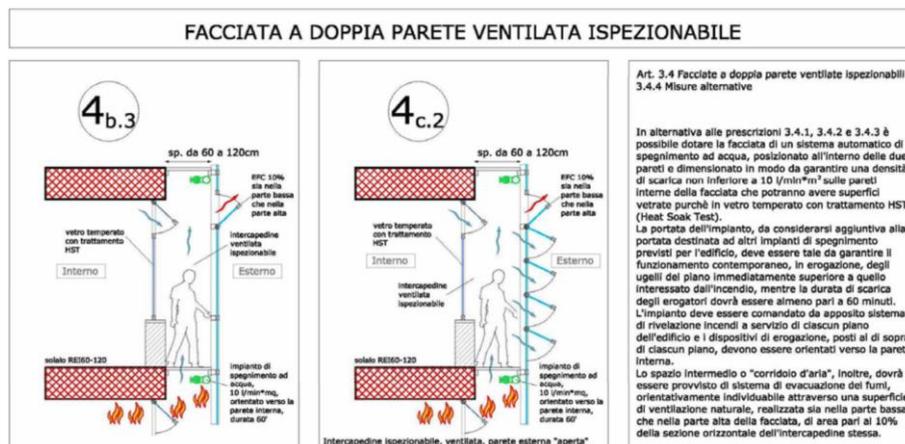


Figura 63 – Facciata a doppia parete ventilata ispezionabile (F.Cosi)

Secondo la RTV.13: per le facciate a doppia pelle ventilata ispezionabile con parete esterna aperta sono ammesse le soluzioni conformi di cui alla tabella seguente.

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

Figura 64 - Caratteristiche di resistenza al fuoco per facciate a doppia pelle ventilate (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)

La RTV.13 definisce anche che se in facciate a doppia pelle ventilate ispezionabili, con pelle esterna aperta o chiusa l'intercapedine è provvista di sistema automatico di inibizione, controllo o estinzione dell'incendio e dotata di smaltimento di fumi e calore, non è richiesto nessun requisito alla chiusura d'ambito (come illustrato nella tabella della Figura 65 sottostante).

Ispezionabile, con pelle esterna aperta o chiusa	L'intercapedine è provvista di sistema automatico di inibizione, controllo o estinzione dell'incendio esteso a tutta la facciata [3] (capitolo S.6) e dotata di smaltimento di fumi e calore [4].	Nessuna
<p>[1] Sono ammesse aperture nella compartimentazione se provviste di serranda tagliafuoco o sistema equivalente a chiusura automatica in caso di incendio, con i medesimi requisiti di resistenza al fuoco della facciata.</p> <p>[2] Se l'elemento di facciata non poggia direttamente sul solaio e nelle facciate <i>curtain walling</i>, l'elemento di giunzione tra la facciata e le compartimentazioni, orizzontali e verticali, deve avere classe di resistenza al fuoco EI 30, o EI 60 per chiusure d'ambito di tipo SC.</p> <p>[3] Se ad acqua, dimensionato per densità di scarica $\geq 10 \text{ l/min}\cdot\text{m}^2$. Sono ammesse superfici vetrate in vetro temperato. La portata dell'impianto è aggiuntiva a quella di altri eventuali impianti di spegnimento previsti. Deve essere garantito il funzionamento contemporaneo in erogazione degli ugelli del piano immediatamente superiore a quello interessato dall'incendio, per una durata pari a 60 minuti. I dispositivi di erogazione devono essere orientati verso la pelle interna.</p> <p>[4] Ad esempio tramite superfici di ventilazione naturale, alla base ed in sommità della facciata, ciascuna di area pari al 10% della sezione orizzontale dell'intercapedine stessa.</p>		

Figura 65 - Caratteristiche di resistenza al fuoco per facciate a doppia pelle ventilate (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)

2.3 Impatto delle soluzioni di efficientamento sulla sicurezza antincendio

Generalmente con efficientamento energetico si intende l'insieme degli interventi e soluzioni tecniche applicate ad un edificio nuovo o esistente per migliorare le prestazioni energetiche. In particolare, gli interventi che possono interessare le facciate possono comprendere l'isolamento termico, quindi l'aggiunta di materiali isolanti, la sostituzione degli infissi, la modifica di rivestimenti o finiture per migliorare la protezione dell'edificio dalle perdite di calore o dal calore solare in eccesso, ed anche l'installazione

di soluzioni tecnologiche quali: pannelli solari, sistemi di schermatura o altre tecnologie innovative per ottimizzare l'energia.

Nel settore edilizio spesso si nota una maggiore attenzione verso il tema dell'efficientamento energetico rispetto alla sicurezza antincendio, questo perché è dovuto a una combinazione di fattori normativi, economici, sociali e di percezione del rischio.

Infatti le politiche europee e globali, negli ultimi anni hanno sottolineato la necessità di ridurre le emissioni di gas serra e aumentare l'efficienza degli edifici, sono state emanate direttive come la EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) che impongono obblighi di miglioramento della prestazione energetica degli edifici. Incentivi economici come Ecobonus o Superbonus promuovono l'efficientamento energetico, mentre la sicurezza antincendio difficilmente riceve incentivi di questo genere. Questo perché la sicurezza antincendio è percepita come un tema meno urgente e legato ad eventi più rari.

I due mondi possono entrare in conflitto ad esempio per l'uso dei materiali isolanti combustibili, per tipologie di facciate o per l'accumulo di fumo in edifici sigillati, ma è possibile renderli compatibili adattando sistemi tecnologici integrati. La soluzione infatti, sta in normative armonizzate, nell'innovazione tecnologica che permette di trovare compromessi tra i due aspetti.

Alcune tipologie di facciata sopra citate come quelle adattive, fotovoltaiche e verdi rappresentano soluzioni avanzate per quanto riguarda l'efficientamento energetico, ma potrebbero essere un rischio per quanto riguarda la sicurezza antincendio. Infatti ad esempio le facciate fotovoltaiche integrate, migliorano la sostenibilità energetica, ma possono indurre rischi di incendio elevati. Le facciate verdi poi, oltre a migliorare l'isolamento termico, la qualità dell'aria e l'estetica della facciata, possono aumentare la propagazione delle fiamme se non viene effettuata una corretta manutenzione. Infine, le facciate adattive, sono progettate per rispondere dinamicamente alle condizioni ambientali esterne, anche in questo caso potrebbero aumentare il rischio di ignizione e propagazione di un incendio se non vengono installate tecnologie sicure.

Per questo l'integrazione tra la progettazione energetica e antincendio è cruciale per avere edifici che abbiano buone prestazioni energetiche e garantiscano sicurezza. È importante avere un approccio progettuale integrato per ridurre i rischi di incendio legati, ad esempio, a materiali isolanti combustibili, a facciate ventilate o a sistemi fotovoltaici.

Queste criticità ad oggi, interessano solamente gli interventi in edifici esistenti in quanto, per gli edifici di nuova costruzione, devono essere rispettate entrambe le norme di antincendio e di efficientamento energetico.

3. L'incendio della Torre Grenfell: analisi e sintesi dell'Inchiesta

La notte del 14 giugno 2017 un incendio improvviso ha colpito una torre di 24 piani con 120 appartamenti a West London, vicino a Notting Hill, abitata da circa 600 persone. L'incendio, partito dal 4° piano, si è propagato rapidamente fino al tetto a causa delle finestre aperte e dei materiali di rivestimento inadeguati. Le vittime sono state 72 e ci sono stati 74 feriti.

La tragedia ha scatenato proteste per la scarsa sicurezza antincendio nei fabbricati analoghi. Questo drammatico evento ha scatenato l'urgenza di discutere e migliorare norme e pratiche di sicurezza antincendio, con l'obiettivo primario di tutelare la vita umana.

L'obiettivo di questo capitolo è quello di analizzare i risultati dell'inchiesta e le implicazioni per la sicurezza antincendio delle facciate.

3.1 Sintesi dell'inchiesta sulla Torre Grenfell

Le fasi principali dell'inchiesta sull'incendio della Grenfell Tower sono due, ognuna dedicata ad aspetti specifici dell'accaduto. (Moore-Bick, GRENPELL TOWER INQUIRY: PHASE 1 REPORT OVERVIEW, October 2019) (Sir Martin Moore Bick, Settembre 2024)

Fase 1: il report della fase 1 è diviso in sei parti:

- Parte I: introduzione generale agli eventi accaduti nelle prime ore del 14 giugno 2017. Include una descrizione della Grenfell Tower, dell'organizzazione dei London Fire Brigade (LFB) e fornisce informazioni per la parte II.
- Parte II: Contiene una narrazione dettagliata dell'incendio e delle misure adottate in risposta.
- Parte III: Conclusioni sull'origine e lo sviluppo dell'incendio e analisi della risposta dell'LFB e degli altri servizi di emergenza intervenuti.
- Parte IV: Sintesi degli omaggi e ricordi dedicati alle vittime da parte di familiari e amici, elemento centrale delle udienze.

- Parte V: Raccomandazioni basate sulle conclusioni tratte nelle sezioni precedenti del rapporto.
- Parte VI: Anticipazione delle questioni più rilevanti che saranno oggetto di approfondimento nella Fase 2 dell'inchiesta.

Parte I : Questioni di contesto

Il rapporto dedica i capitoli 1-8 a introdurre il contesto dell'inchiesta e gli elementi chiave dell'incendio della Grenfell Tower:

Capitolo 1: Introduzione all'inchiesta, organizzata in due fasi, e parallela alle indagini della Polizia Metropolitana e del Coroner. La Fase 1 è iniziata con le commemorazioni delle vittime.

Capitolo 3: Descrizione della Grenfell Tower, completata nel 1974, con dettagli sulle modifiche e sulla ristrutturazione del 2016, inclusa la composizione sociale dei residenti e i ruoli di RBKC e TMO.

Capitolo 4: Principi di sicurezza antincendio negli edifici alti, con particolare attenzione alla strategia dello "stay put" per gli incendi in singoli appartamenti.

Capitolo 5: Sintesi della legislazione primaria e secondaria applicabile alla costruzione e ristrutturazione della torre e linee guida per la conformità.

Capitolo 6: Panoramica della ristrutturazione, tra cui il nuovo rivestimento, i cambiamenti alle finestre e l'aggiunta della corona architettonica, evidenziando anche le misure di sicurezza.

Capitolo 7: Struttura e responsabilità dei LFB, attrezzature e funzionamento della sala controllo, compresi gli strumenti usati durante l'incendio.

Capitolo 8: Riferimento all'incendio della Lakanal House del 2009, che ha portato a raccomandazioni e cambiamenti nelle procedure di gestione delle chiamate di emergenza e delle istruzioni di sopravvivenza. Tuttavia, le stesse carenze sono state riscontrate durante l'incendio di Grenfell.

Parte II: Gli eventi del 14 giugno 2017

Capitoli 9–20 del report, che costituiscono la Parte II, offrono un resoconto dettagliato degli eventi, suddiviso in 11 periodi temporali. La narrazione copre il periodo tra le 00:54, pochi minuti prima che la centrale operativa ricevesse la prima chiamata relativa all'incendio alla Grenfell Tower, e le 08:10, quando l'ultimo sopravvissuto abbandonò l'edificio.

Il racconto si basa sulle testimonianze di sopravvissuti e vigili del fuoco, su materiale documentale come le registrazioni delle chiamate di emergenza al 999, e sulle analisi fornite da esperti chiamati a supportare l'inchiesta. Per ciascun periodo, il rapporto descrive: il comportamento dell'incendio, gli eventi sul luogo dell'incidente e nella control room, le condizioni all'interno della torre, i movimenti degli occupanti, le azioni intraprese da MPS (Metropolitan Police Service), London Ambulance Service (LAS), RBKC (Royal Borough of Kensington and Chelsea) e TMO (Tenant Management Organisation). L'Allegato A della Parte II fornisce un elenco delle persone presenti nella torre alle 00:54, indicando gli orari in cui hanno lasciato l'edificio.

Parte III: Conclusioni

Nel capitolo 21 si analizzano la causa e l'origine dell'incendio e la sua propagazione dall'appartamento 16: l'incendio è stato provocato da un guasto elettrico in un grande frigorifero-congelatore nell'appartamento 16. L'inquilino non ha alcuna responsabilità.

Nei capitoli 22 e 23 si analizza la natura e la propagazione del fuoco in modo più dettagliato. In particolare si conclude che la rapida diffusione delle fiamme è stata principalmente causata dai pannelli in materiale composito di alluminio (ACM) con nucleo di polietilene, che hanno fornito combustibile.

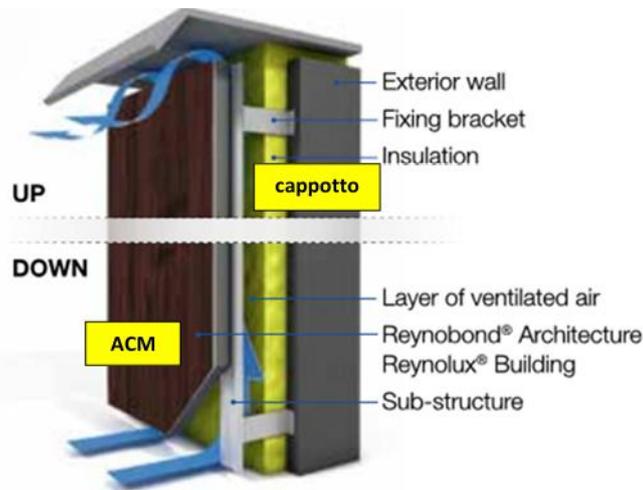


Figura 66 – Schema del rivestimento in pannelli ACM e cappotto termico (Cosi, Il report ufficiale dell'inchiesta sull'incendio della Grenfell Tower, Novembre 2019)

Gli isolanti poliisocianurato (PIR) e fenolici dietro i pannelli ACM hanno aiutato a velocizzare e amplificare la diffusione verticale delle fiamme.

Il “cappello di coronamento architettonico”, che è stato introdotto in fase di ristrutturazione, è stato un altro elemento cruciale per lo sviluppo orizzontale delle fiamme lungo le quattro facciate dell’edificio.

Nel capitolo 24 si analizza come il fuoco e il fumo siano penetrati nell’edificio, compromettendo la compartimentazione. Il capitolo 25 descrive la diffusione di fumo e fiamme all’interno dell’edificio.

Nel capitolo 26 si affronta il problema che le pareti esterne dell’edificio non rispettavano il Requisito B4(1) delle Norme Edilizie 2010, in quanto non impedivano adeguatamente la propagazione del fuoco.

Nel capitolo 27 si esamina la pianificazione e la preparazione della LFB, che per l’incendio della Grenfell Tower è risultata insufficiente. I comandanti non erano in grado di riconoscere quando fosse necessario far evacuare l’edificio e come organizzare l’esodo, non esisteva un piano di evacuazione specifico.

Il capitolo 28 analizza le operazioni sul luogo dell’incidente. I comandanti non hanno tenuto in conto la possibilità di un’evacuazione di massa, non hanno preso il controllo

della situazione e neanche cambiato strategia. Ci sono state gravi carenze nel comando e nel controllo.

Il capitolo 29 esamina le operazioni della sala di controllo durante l'incendio, in cui sono emerse carenze significative che hanno compromesso la capacità di gestire in modo efficace la situazione.

Nel capitolo 30 si analizza la risposta dei servizi di emergenza, RBKC e TMO durante l'incendio. Ci sono stati importanti fallimenti come la comunicazione tra i servizi di emergenza che non ha rispettato gli standard previsti o RBKC che non ha attivato correttamente il suo piano di emergenza e il piano del TMO era obsoleto.

Il capitolo 31 descrive le azioni intraprese per isolare la torre dalla fornitura di gas.

Parte IV: Ricordando le vittime

Il capitolo 32 riassume gli omaggi resi alle vittime dell'incendio. Vengono elencati i nomi di tutte le vittime e fornito un breve riassunto delle loro vite.

Parte V: Raccomandazioni

Il capitolo 33 contiene raccomandazioni basate sulle evidenze emerse nella Fase 1, riguardanti la sicurezza antincendio e la risposta dei servizi di emergenza, in particolare per gli incendi in edifici residenziali di grande altezza. Sono emerse necessità di cambiamento in vari ambiti.

Parte VI: Guardando alla fase 2

Il capitolo 34 segna l'inizio della fase 2 che si concentra sugli aspetti emersi nella fase 1. Si concentrerà sulla ricostruzione delle circostanze delle vittime, analizzando ulteriormente le cause e gli eventi che hanno portato alla tragedia.

Fase 2:

Parte II:

Nei capitoli da 3 a 14 viene esaminato il ruolo del governo, in particolare del Department for Communities e del Local Government nello sviluppo delle normative e nella gestione

dell'indagine sull'incendio della Lakanal House nel 2009. Si analizzano inoltre le responsabilità di altri enti coinvolti fino ad arrivare alla conclusione che l'incendio è stato il risultato di decenni di error da parte del governo e da altri organi responsabili del settore edilizio.

Il governo tra il 1991 e il 2017 ha avuto diverse opportunità per riconoscere i rischi dell'utilizzo di pannelli di rivestimento e isolamento infiammabili, ma non ha agito a riguardo. La gestione interna era inadeguata e le decisioni venivano prese da persone incompetenti e inesperte. Inoltre, l'approccio deregolamentativo e un atteggiamento negligente hanno ulteriormente impedito l'attuazione di adeguate misure di sicurezza.

Il Building Research Establishment (BRE) deteneva una posizione di fiducia nel settore edilizio ed era riconosciuto anche a livello internazionale come leader nella sicurezza antincendio, ma ha mostrato gravi carenze, prassi inadeguate e mancanza di supervisione efficace e di rigore scientifico. Non ha informato adeguatamente il governo sui rischi dei materiali testati, come i pannelli in composito di alluminio. Ha subito pressioni da produttori, compromettendo la propria indipendenza e spesso i dipendenti risultavano poco professionali e formati. Queste mancanze hanno contribuito al mal funzionamento della regolamentazione antincendio.

Parte III:

Una delle ragioni più significative per cui la Grenfell Tower è stata rivestita con materiali infiammabili è stata la disonestà dei produttori, i quali hanno manipolato test e falsificato dati. Il BRE è stato complice di tali pratiche nel caso dell'isolante Celotex RS5000. Gli enti certificatori BBA non hanno verificato l'accuratezza dei certificati, mentre l'UKAS non ha applicato standard adeguati di monitoraggio e supervisione.

Il British Board of Agreement (BBA) è un'organizzazione commerciale che certifica la conformità dei prodotti ai requisiti di legge. Ha emesso certificati per i materiali isolanti Kingspan K15 e Reynobond 55 PE, utilizzati nella Grenfell Tower, nonostante le relative procedure non erano del tutto indipendenti, né precise, e non venivano sempre applicate rigorosamente. Il BBA ha accettato test inadeguati, incluso l'uso di dati non

rappresentativi e ha emesso certificati con informazioni errate, come la classificazione antincendio di Classe 0 per prodotti non conformi.

Il Local Authority Building Control (LABC), organo formato nel 2005 dai dipartimenti di controllo edilizio per fornire supporto tramite formazione e questioni tecniche e per fornire servizi centralizzati di marketing e sviluppo aziendale ai relativi membri. Ha rilasciato certificati di conformità per il Celotex RS5000 e Kingspan K15 mostrando gravi carenze. Mancavano controlli tecnici, e i funzionari incaricati non erano competenti. I certificati includevano affermazioni fuorvianti sull'idoneità dei materiali per edifici alti più di 18 metri.

Il National House Building Council (NHBC) forniva servizi di controllo degli edifici a gran parte del settore dell'edilizia residenziale. Per evitare di compromettere i rapporti con i clienti e il settore, non ha denunciato l'ampio utilizzo di isolamenti infiammabili in edifici alti, ostacolando la tutela dell'interesse pubblico.

Il Building Research Establishment (BRE) ha permesso a Celotex e Kingspan di commercializzare i propri prodotti per l'utilizzo nelle pareti esterne degli edifici alti più di 18 metri.

Lo UKAS ha mostrato carenze nei suoi processi di valutazione, che erano privi di rigore e incompleti. Faceva troppo affidamento alle organizzazioni valutate, senza un atteggiamento critico. La sua capacità di azione si è rivelata sorprendentemente limitata, senza alcun potere esecutivo, il massimo è stato sospendere o ritirare l'accreditamento.

Parte IV:

Il rapporto tra la Tenant Management Organisation (TMO) e i residenti della Grenfell Tower era caratterizzato da un clima poco sereno con mancanza di fiducia già da prima della ristrutturazione. Tra il 2011 e il 2017 i rapporti con i residenti divennero sempre più tesi, con la TMO che considerava alcuni inquilini come piantagrane e non prendeva sul serio le loro preoccupazioni. Per quanto irritanti e sconvenienti potessero a volte essere le lamentele e le richieste di alcuni dei residenti della Grenfell Tower, il fatto che la TMO abbia consentito che il rapporto si deteriorasse così tanto riflette una mancanza grave da parte loro, che rivela l'incapacità di adempiere alle proprie responsabilità di base.

Parte V:

RBKC e la TMO erano corresponsabili della gestione della sicurezza antincendio alla Grenfell Tower, ma hanno mostrato una grande indifferenza verso la sicurezza antincendio e in particolare verso la sicurezza dei cittadini vulnerabili.

La TMO ha inoltre gestito in modo inadeguato le valutazioni dei rischi antincendio, affidandosi a personale non qualificato e non affrontando le carenze identificate. Alcuni aspetti importanti delle misure di prevenzione antincendio alla Grenfell Tower non rispondevano a standard adeguati come le nuove porte di ingresso e molti dispositivi di chiusura automatica. I piani di evacuazione erano obsoleti e incompleti e le informazioni sugli inquilini vulnerabili non venivano aggiornate adeguatamente.

Parte VI:

Questa parte esamina la fase di ristrutturazione della struttura, si evidenziano le problematiche e le responsabilità legate alla scelta dei materiali, in particolare dei pannelli di rivestimento, la decisione di utilizzare questa tipologia di pannelli è stata influenzata principalmente dall'aspetto economico, lasciando in secondo piano il discorso sulla sicurezza antincendio. La TMO ha gestito la ristrutturazione e ha deciso di nominare un architetto, Studio E, e consulenti, senza garantire il rispetto delle norme edilizie. Per questo motivo le responsabilità sono attribuite a varie figure tra cui Studio E e la TMO per non aver garantito che il progetto rispettasse le normative antincendio e per non aver monitorato adeguatamente i lavori.

Parte VII:

In questo capitolo si descrive il lavoro svolto per sostituire una delle sei colonne montanti del gas soggetta a corrosione, che però non ha contribuito all'incendio.

Parte VIII:

In questa parte si evidenziano le gravi carenze nel London Fire Brigade (LFB), non fu garantita una formazione adeguata per poter gestire le emergenze in edifici di tale altezza e né per rispondere ad un elevato numero di chiamate. I problemi principali sono stati la gestione e la leadership che erano inefficaci, c'era una carenza di integrazione tra

dipartimenti e una gestione superficiale dei problemi. Anche le apparecchiature di comunicazione erano inadeguate, non furono eseguiti gli aggiornamenti necessari, compromettendo l'efficienza operativa durante l'incendio.

Parte IX:

Qui viene descritta la metodologia utilizzata per il recupero e l'identificazione delle vittime, con l'aiuto di esperti come archeologi, antropologi e patologi forensi. Nonostante le prove confuse, è stato possibile identificare alcune informazioni cruciali, come le chiamate di emergenza e le tempistiche del decesso, accertando che le vittime erano morte o incoscienti prima che le fiamme li raggiungessero.

Parte X:

I seguenti capitoli trattano delle responsabilità del governo e dell'RBKC in quanto quest'ultimo non aveva un piano adeguato per gestire un'emergenza di tale portata e non ha tenuto in considerazione le differenze culturali delle vittime.

Le risposte del governo e dell'RBKC sono state lente a causa di una mancanza di preparazione del personale e il direttore esecutivo non ha saputo gestire la crisi. La risposta è stata ostacolata anche dalla scarsa comunicazione e dalla mancanza di informazioni affidabili. L'errore principale dell'RBKC è stato non coinvolgere abbastanza le organizzazioni locali di volontari, per un aiuto immediato.

Parte XI:

Le questioni in sospeso dalla fase 1 erano principalmente due: la prima riguardava i rispettivi contributi all'incendio dati dai pannelli antipioggia in ACM e dalle tavole isolanti in poliisocianurato e materiale fenolico. La seconda questione in sospeso riguardava il meccanismo per il quale l'incendio era passato dalla cucina alla parete esterna dell'edificio.

Parte XII:

In questo capitolo si parla del regime di test antincendio in cui prima dell'incendio della Grenfell Tower, i test antincendio non fornivano informazioni adeguate per valutare il

rischio di propagazione del fuoco. I metodi di test erano inadeguati e non consideravano correttamente il comportamento del fuoco all'esterno degli edifici. Inoltre, i criteri per la valutazione della conformità al Regolamento edilizio erano difettosi. La convinzione che un sistema di pareti esterne che superava i test BS 8414 fosse sicuro era errata, poiché non teneva conto delle condizioni reali durante un incendio. Il sistema di valutazione era troppo semplificato e non forniva le informazioni necessarie per prevenire la propagazione del fuoco.

Parte XIII:

Nella relazione, sono stati esaminati incendi in edifici multi-piano causati dall'uso di rivestimenti antipioggia in ACM, con l'aiuto del Professor Torero, esperto dei regolamenti internazionali. Si è valutato l'approccio adottato in altri Paesi, come Stati Uniti, Europa, Medio Oriente e Australia. Alcuni Paesi hanno adottato un approccio prescrittivo ai regolamenti edilizi, poco utile per il nostro sistema. Tuttavia, Paesi come l'Australia, che utilizzano requisiti funzionali simili ai nostri, sono stati identificati come esempi da seguire.

Parte XIV:

Qui vengono descritte delle raccomandazioni potenzialmente utili per prevenire un altro disastro e migliorare la capacità delle autorità di rispondere alle emergenze.

3.2 Analisi dell'inchiesta

Da questa inchiesta pubblicata a settembre del 2024 si deduce che le cause principali che hanno portato all'esito registrato dell'incendio della Grenfell Tower sono:

- L'utilizzo di pannelli ACM e la mancanza di test adeguati: gli isolanti poliisocianurati e fenolici presenti dietro i pannelli hanno fatto sì che l'incendio si sviluppasse con un'elevata velocità e hanno anche amplificato lo sviluppo delle fiamme in verticale. È stato deciso di utilizzare questa tipologia di pannelli principalmente per un aspetto economico, lasciando in secondo piano il discorso sulla sicurezza antincendio. Nella fase due viene anche evidenziato il problema dei test in cui i produttori hanno manipolato test e falsificato dati, quindi si

evidenzia anche un problema di responsabilità dei produttori, del BRE e degli enti certificatori che, come il British Board of Agreement, non ha verificato adeguatamente l'accuratezza dei certificati e ha rilasciato certificati per materiali usati nella Grenfell Tower. Il BBA ha accettato test inadeguati, basati su dati non rappresentativi e ha emesso certificati contenenti informazioni errate, come la classificazione antincendio di Classe 0 per prodotti non conformi. Inoltre l'UKAS non ha garantito standard adeguati di monitoraggio e supervisione.

- Fallimenti nel sistema di controllo, nella formazione e preparazione, errore nella progettazione: il sistema di controllo ha avuto lacune riguardanti il rispetto delle normative antincendio in quanto è stato permesso l'utilizzo di materiali combustibili. Anche la mancata formazione dei progettisti, dei costruttori e delle autorità locali hanno contribuito a decisioni inadeguate e all'incapacità di comprendere i rischi legati ai materiali utilizzati. Sono stati fatti anche errori nella progettazione, in quanto è stato installato un sistema di rivestimento altamente infiammabile senza barriere ignifughe, permettendo alle fiamme di espandersi verticalmente in modo repentino.
- Gestione dell'emergenza e delle vittime: il London Fire Brigade (LFB) non è stato in grado di gestire la situazione durante l'incendio a causa di una mancata preparazione e pianificazione. I comandanti non sono stati in grado di riconoscere l'emergenza e di attuare un corretto piano di evacuazione. Non hanno tenuto in considerazione la possibilità di un'evacuazione di massa, la strategia dello "stay put" non è stata modificata. Inoltre, la risposta dei servizi di emergenza, del Royal Borough of Kensington and Chelsea (RBKC) e del TMO ha mostrato gravi carenze, come la mancata comunicazione tra i servizi di emergenza che non ha rispettato gli standard previsti e la mancata attivazione del piano di emergenza.

Dall'analisi dell'inchiesta si deduce che la tragedia della torre Grenfell ha evidenziato la necessità di intervenire in modo costruttivo su vari aspetti che riguardano la sicurezza antincendio di un edificio. Come prima cosa l'avvenimento è stato fondamentale per aggiornare le normative antincendio, principalmente quelle riguardanti l'utilizzo dei

materiali da costruzione. L'evento ha smosso sia il panorama normativo della Gran Bretagna, che dell'Europa che quello internazionale.

È importante che i materiali utilizzati nella costruzione, ma anche ristrutturazione dell'edificio siano sottoposti a test più rigorosi e veritieri, in grado di garantire standard di sicurezza più elevati. Ci sono stati, quindi, aggiornamenti per quanto riguarda la modalità e lo svolgimento dei test sia in piccola e media scala che in grande scala. È essenziale considerare che tali norme vengano periodicamente riesaminate ed eventualmente aggiornate nel caso in cui ci siano nuovi materiali o tecnologie.

In secondo luogo è fondamentale sviluppare dei piani di emergenza che siano più efficaci, ciò significa non solo migliorare la preparazione e formazione del personale, ma coinvolgere in modo diretto anche gli inquilini in modo tale da renderli più preparati in caso di emergenza.

Un altro punto cruciale che emerge da questa inchiesta è l'aumento dei controlli sui responsabili, progettisti, costruttori e autorità di regolamentazione. Questo rappresenta un elemento chiave per prevenire disastri futuri.

In generale, come evidenziato da alcuni degli esperti convocati per contribuire all'inchiesta, occorre capire che la sola prova in larga scala non fornisce sufficienti informazioni per consentire un'analisi complessiva e soprattutto consapevole del rischio di incendio di una facciata, ma deve essere integrata da test in scala minore che in compenso forniscono una mole di informazioni sul comportamento termo-fisico dei singoli componenti e dei sistemi edilizi. Sulla base di queste informazioni, infine, è essenziale che il progettista antincendio:

1. Interpreti correttamente i risultati dei test;
2. Valuti l'attinenza con lo specifico progetto in corso;
3. Analizzi il comportamento complessivo all'incendio delle chiusure d'ambito in progetto;
4. Fornisca al tema di progettazione le necessarie indicazioni specialistiche per garantire una progettazione consapevole degli aspetti che influiscono sulla

sicurezza antincendio e sulle progettazioni degli altri sistemi (per esempio quelli impiantistici) e sulle procedure di emergenza più adeguate.

4. Fattori che influenzano la propagazione del fuoco

La propagazione del fuoco lungo una facciata è influenzata da una serie di fattori, tra questi le caratteristiche geometriche della struttura della chiusura d'ambito e dell'edificio nel complesso, ma anche le condizioni climatiche presenti durante l'incendio svolgono un ruolo determinante.

La tipologia di facciata, la presenza di intercapedini, gli angoli tra facciate, la presenza di rientranze o sporgenze come balconi e porticati, la tipologia di serramenti o gli elementi a tutta altezza sono fattori che possono favorire o ostacolare la diffusione delle fiamme. Così come i parametri climatici quali la velocità e direzione del vento e la temperatura allo stesso modo possono influenzare il comportamento del fuoco.

4.1 Vento

Indipendentemente dall'orientamento e dalla disposizione della facciata, le condizioni del vento possono ridurre o aumentare l'esposizione alla fiamma e alla temperatura. Il flusso d'aria che influisce su un edificio può essere di tre tipi: ambientale, ossia il movimento naturale dell'aria; indotto dalla pressione, quindi causato dalle variazioni del flusso d'aria attorno alla struttura; e dovuto al vento, che può intensificare gli effetti della pressione. Inoltre, un incendio ben sviluppato è in grado di generare il proprio movimento d'aria, influenzando la propagazione del fuoco.

L'aria è sempre in movimento e, quando incontra un edificio, soprattutto un grattacielo, si formano differenze di pressione. Queste creano zone di alta e bassa pressione, dando origine a vortici e zone di risucchio man mano che l'aria si sposta da aree di alta pressione a quelle di bassa pressione. In presenza di vento, questo fenomeno si accentua, con una differenza marcata tra il lato esposto al vento (sopravvento) e quello opposto (sottovento). Se un edificio basso si trova vicino a uno più alto, può generarsi un vortice tra le due strutture, influenzando la propagazione di eventuali incendi in quelle zone. Le zone di pressione attorno a un edificio si suddividono in tre categorie: primarie, causate dal flusso d'aria sulla struttura principale; secondarie, dovute all'interazione del vento con elementi architettonici come balconi e rientranze; e localizzate, provocate da irregolarità sulla facciata dell'edificio.

Questi fattori possono incidere sulla diffusione e sul comportamento del fuoco. Ad esempio, nel caso della Grenfell Tower, le condizioni atmosferiche erano calme, mentre nell'Olympus Tower, un vento forte ha avuto un impatto significativo sul movimento dell'aria. Ogni sporgenza o irregolarità sulla superficie di un edificio altera il flusso d'aria, aumentando la turbolenza e creando differenze di pressione che possono accelerare o modificare la propagazione delle fiamme.

Nel caso della Grenfell Tower, il flusso d'aria si sviluppava sia verticalmente che orizzontalmente attorno all'edificio, creando vortici e zone di pressione variabile. In assenza del vento significativo, il movimento dell'aria era determinato principalmente dalla forma della torre e dai suoi elementi architettonici. Tuttavia, durante l'incendio, le fiamme e il fumo si muovevano in direzioni specifiche, suggerendo un flusso d'aria non completamente spiegato. Nel caso della Olympus Tower a Grozny, invece, un forte vento da est ha avuto un impatto significativo sulla propagazione dell'incendio. L'aria ha creato zone di pressione positiva sul lato sopravvento e di pressione negativa sugli altri lati, ostacolando la diffusione del fuoco. Tuttavia, nonostante la resistenza del vento, le fiamme sono riuscite a propagarsi, dimostrando che un incendio può avanzare anche controcorrente rispetto al flusso d'aria naturale. Entrambi i casi evidenziano il ruolo cruciale del movimento dell'aria nella diffusione delle fiamme e la necessità di ulteriori studi su questo fenomeno. (Peacock, THE RELATIONSHIP BETWEEN BUILDING DESIGN AND FIRE SPREAD: How the shape, form and features of a building can influence the behaviour of fire, October 2019)

L'effetto del vento quindi può essere influenzato dalla geometria dell'edificio e dagli elementi architettonici presenti sulla facciata. In condizioni di vento forte, le fiamme e il fumo tendono a essere spinti nella direzione del flusso d'aria, accelerando la combustione e facilitando l'espansione del fuoco su superfici esposte. Tuttavia, come dimostrano gli incendi dell'Olympus Tower, della Grenfell Tower e del rogo a Valencia, la diffusione delle fiamme non avviene sempre in modo prevedibile lungo la direzione del vento, poiché la struttura dell'edificio può creare percorsi alternativi o addirittura contrastare il movimento naturale del fuoco. Gli esempi prima citati dimostrano che il vento, pur avendo un'influenza significativa sulla velocità e sulla direzione della propagazione

dell'incendio, non è sempre il fattore dominante. La presenza di elementi architettonici come cornici, balconi e rivestimenti combustibili può creare percorsi preferenziali che deviano le fiamme e permettono loro di propagarsi anche controvento. Inoltre, la forma dell'edificio può generare vortici e zone di bassa pressione che influenzano il comportamento delle fiamme, rendendo la diffusione del fuoco altamente complessa e difficile da prevedere. In conclusione, la combinazione tra vento e geometria dell'edificio può determinare percorsi di propagazione del tutto inaspettati, come dimostrato dagli incidenti realmente accaduti. (Peacock, REPORT ON THE FIRE WHICH OCCURRED AT A HIGH-RISE BUILDING IN VALENCIA, SPAIN, ON 22 FEBRUARY 2024, March 2024)

4.2 L'influenza delle intercapedini

Un incendio interno può diffondersi ai piani superiori e ai sistemi esterni tramite aperture interne come intercapedini e cavità.

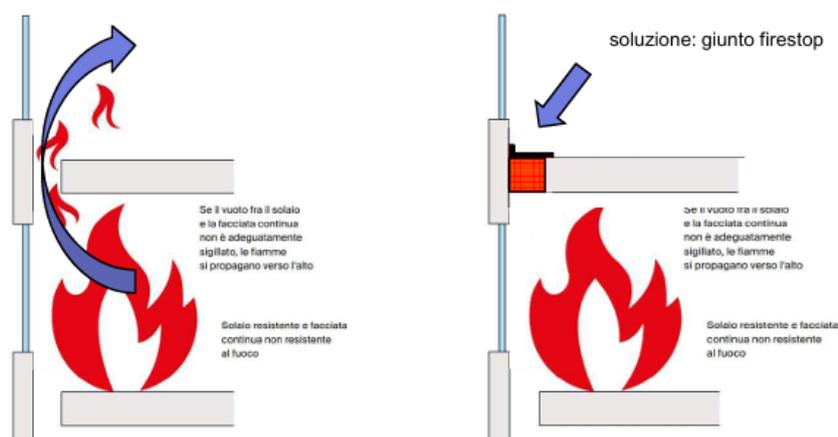


Figura 67 – Esempio diffusione dell'incendio tramite intercapedini e soluzione con giunto firestop (Giacalone, Sicurezza antincendio delle facciate - parte I)

Per quanto riguarda le facciate a doppia pelle, in cui vengono implementate due pareti separate da distanze inferiori a un metro, introducono problematiche riguardanti il fatto che la fiamma, una volta raggiunta l'intercapedine, è confinata all'interno di uno spazio allungato simile ad un camino. Per evitare questa grave problematica è possibile applicare barriere per cavità normalmente aperte per consentire la ventilazione in tutta la cavità fino a quando non si verifica un incendio. Queste barriere comprendono sostanze intumescenti

che hanno lo scopo di sigillare l'intercapedine una volta che i gas caldi raggiungono l'elemento.

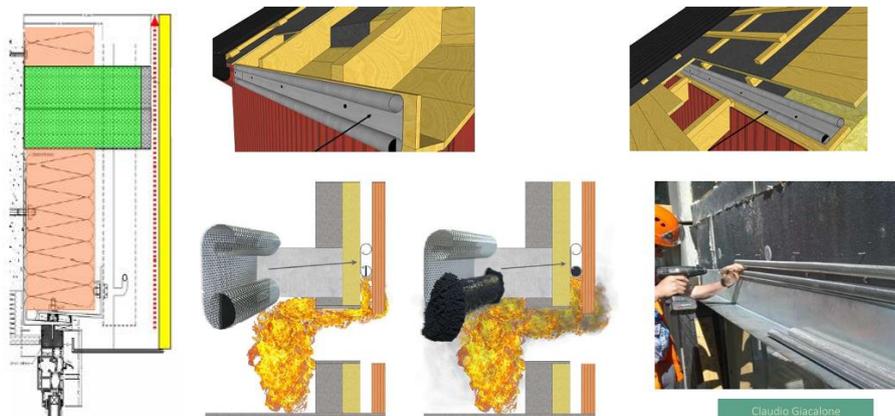


Figura 68 – Esempio di barriere per cavità (Giacalone, Sicurezza antincendio delle facciate - parte I)

4.3 Angolo tra facciate

Il fuoco di solito tende a non propagarsi anche oltre gli angoli della facciata, ma rimane confinato nella sua facciata originaria a meno che non ci siano fattori che favoriscano il movimento delle fiamme anche attraverso gli angoli. Il fattore principale che favorisce la propagazione da una facciata all'altra è la presenza dei marcapiani orizzontali che si estendono attorno agli angoli, queste fasce architettoniche creano un percorso che le fiamme tendono a seguire, facilitando il passaggio del fuoco da una facciata all'altra. Altri fattori sono la forma dell'angolo e la presenza del vento che contribuiscono a questo andamento.

Gli angoli degli edifici possono assumere forme diverse ed essere introversi o estroversi, in base a questo si ha un diverso comportamento di propagazione delle fiamme. La maggior parte degli edifici possiede angoli multipli, ad eccezione degli edifici di forma rotonda o ellittica.

Quando le fiamme incontrano un angolo introverso sulla facciata, tendono a propagarsi velocemente verso l'alto, questo fenomeno è chiamato "Corner effect", e può essere osservato in diversi edifici, come l'Olympus Tower.

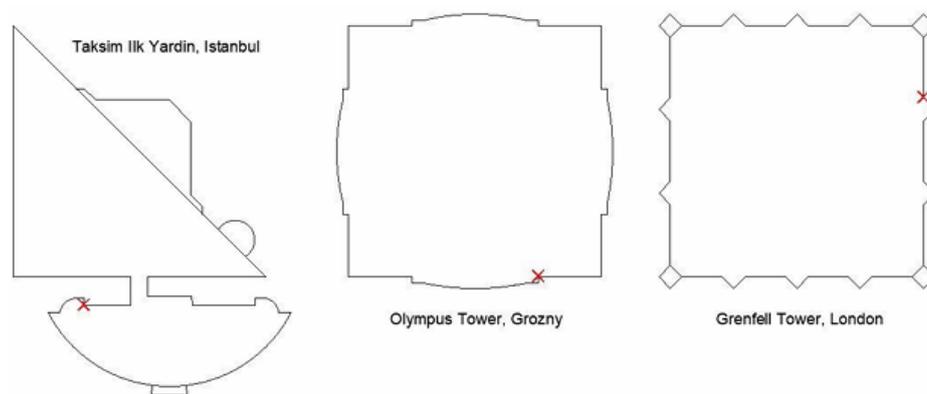


Figura 69 – Esempi di edifici in cui si è verificato il “Corner Effect” (Peacock, *THE RELATIONSHIP BETWEEN BUILDING DESIGN AND FIRE SPREAD: How the shape, form and features of a building can influence the behaviour of fire*, October 2019)

La propagazione verticale del fuoco può essere interrotta se il vento soffia verso l’angolo, soprattutto quando l’angolo si trova sul lato sottovento. In quei casi il vento tende a spingere le fiamme fuori dall’angolo e a farle tornare verso la superficie della facciata dell’edificio.

Come nel caso degli angoli introversi, gli angoli sono fondamentali anche per determinare il modo in cui un incendio si propaga lungo un bordo o un angolo estruso. Analogamente agli angoli rientranti, si verifica l’”edge effect”, se l’angolo è inferiore a 180° . In generale, quanto più stretto è l’angolo, tanto più il materiale combustibile tende ad avere un “comportamento da combustibile sottile”. Questi tipi di combustibili bruciano su entrambi i lati, intensificando l’incendio.

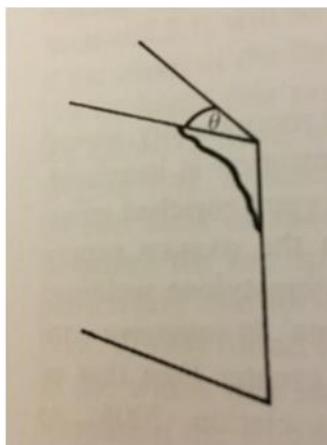


Figura 70 – Esempio angolo rilevante per “Effetto Bordo” (Peacock, *THE RELATIONSHIP BETWEEN BUILDING DESIGN AND FIRE SPREAD: How the shape, form and features of a building can influence the behaviour of fire*, October 2019)

4.4 Elementi sporgenti come balconi o porticati

Anche gli elementi sporgenti hanno un effetto sulla propagazione e sul comportamento del fuoco su una facciata di un edificio. Questo può manifestarsi in due forme: un elemento sporgente può favorire il confinamento del fuoco nel vertice dove incontra la superficie dell'edificio, oppure il fuoco tende ad aderire all'elemento stesso. Gli esempi lampanti della tendenza al fuoco ad aderire agli elementi sporgenti possiamo vederli al Monte Carlo Casino e all'Hotel di Las Vegas, o anche nella facciata est della torre Grenfell in cui le due colonne in fiamme fanno sì che il fuoco non si propaghi lateralmente, in quanto sono concentrate negli elementi sporgenti. Da questi esempi appena citati si nota che il fattore più determinante sia il fatto che l'elemento sporga dalla facciata dell'edificio e non il fatto che dipende dalla sua forma.

Quindi le proiezioni esterne del sistema di facciata o degli elementi strutturali dell'edificio possono avere un effetto benefico o negativo sull'estensione della lunghezza della fiamma e sull'esposizione al flusso di calore degli elementi dell'involucro edilizio.

Il National Research Council of Canada ha dimostrato che una proiezione orizzontale situata sopra le fiamme che escono da una finestra è efficace nel ridurre l'esposizione alle fiamme.

La presenza di balconi permettere alle fiamme di interrompere il loro percorso e di fungere, in certi casi, da fasce di separazione, a patto che quest'ultime poi vengano aggiunte e adattate adeguatamente alla geometria delle sporgenze.

Per quanto riguarda gli elementi esterni verticali invece aumentano la proiezione verticale delle fiamme lungo una facciata, avendo quindi un impatto negativo.

cambiamento dell'estensione e della posizione delle fiamme dovuti ad un oggetto orizzontale sopra la finestra, sia in una facciata normale che in una facciata ventilata

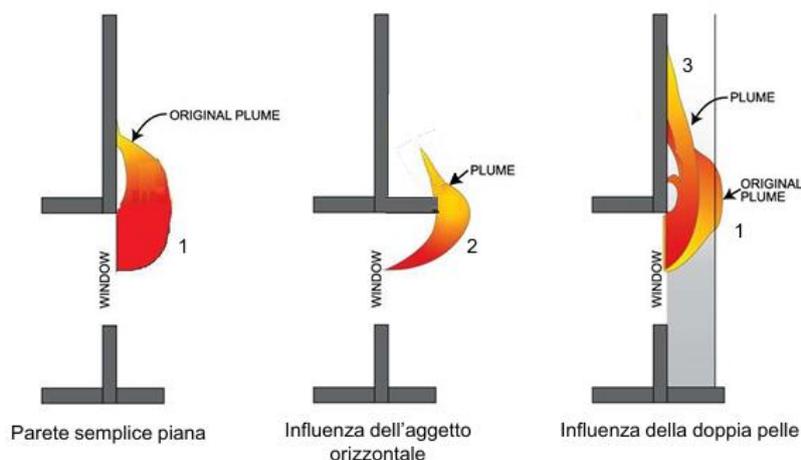


Figura 71 – Impatto delle proiezioni orizzontali e verticali sul pennacchio della finestra (Giacalone, Sicurezza antincendio delle facciate - parte I)

4.5 Rientranze delle facciate e dei serramenti

Per comprendere come l'effetto delle rientranze sulla facciata di un edificio possa influenzare la propagazione del fuoco è importante prima valutare quali sono le condizioni che permettono al fenomeno di verificarsi. Il fenomeno viene chiamato "Trench effect" e per far sì che si verifichi questo effetto sono richiesti quattro fattori:

- L'inclinazione della trincea
- La dimensione e il profilo geometrico della trincea
- Le proprietà dei materiali che rivestono la trincea
- La fonte di innesco

È stato riscontrato che questo effetto, nonostante sia stato studiato per le scale mobili, si può verificare anche sugli edifici quando è presente una rientranza. Una rientranza su un edificio può essere formata in due modi: può far parte del design complessivo dell'edificio o può essere creata da caratteristiche geometriche e architettoniche che sporgono dalla facciata dell'edificio.

Negli edifici alti solitamente la rientranza è a 90° rispetto all'orizzontale e quindi verticale, ciò significa che la propagazione delle fiamme verso l'alto e il contenimento dei gas caldi sono massimizzati.

Si deve considerare anche l'angolo delle pareti rispetto al pavimento della rientranza, se le pareti sono inclinate di un angolo ottuso rispetto alla base l'aria potrà fuoriuscire più liberamente e l'effetto trincea non può verificarsi.

Le proprietà dei materiali della rientranza devono essere combustibili e coprire l'intera larghezza della trincea per far sì che si verifichi l'effetto.

In conclusione quando si ha un edificio con rientranze, canali verticali e forme a U che si comportano come camini, spesso hanno una maggiore velocità di combustione ed una propagazione della fiamma più estesa rispetto alle pareti piatte.



Figura 72 - Esempio rientranza (Liverpool Echo) (Peacock, THE RELATIONSHIP BETWEEN BUILDING DESIGN AND FIRE SPREAD: How the shape, form and features of a building can influence the behaviour of fire, October 2019)

Anche i serramenti presenti sulle facciate degli edifici sono responsabili della propagazione delle fiamme. Infatti, il fuoco interno si diffonde al sistema di pareti esterne attraverso aperture come le finestre.

La proiezione della fiamma e la temperatura dipendono dall'area e dall'altezza della finestra, dalla geometria della stanza, del contenuto di combustibile e della velocità di combustione, nonché dalla velocità e dalla direzione del vento.

Le fiamme, una volta fuoriuscite dalle finestre di un piano e si propagano lungo la facciata, entrano nei piani superiori grazie alle finestre sovrastanti.

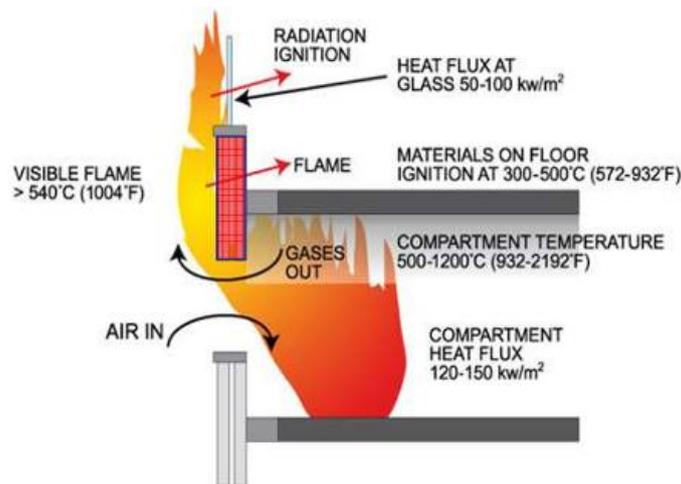


Figura 73 – Schema di come il fuoco si propaga all'esterno tramite aperture (Giacalone, Sicurezza antincendio delle facciate - parte I)

4.6 Elementi a tutta altezza

Gli elementi a tutta altezza rivestono un'importanza fondamentale nella progettazione della sicurezza antincendio. Questi elementi infatti, influenzano non solo l'estetica e la funzionalità dell'edificio, ma anche il comportamento del fuoco in caso di incendio.

Un esempio evidente dell'influenza degli elementi a tutta altezza nella diffusione delle fiamme si è verificato nell'incendio della Grenfell Tower. Dopo che il fuoco è fuoriuscito dall'appartamento, si è propagato rapidamente lungo la facciata est dell'edificio, diffondendosi verso l'alto e verso il basso, come illustrato nella Figura X. La presenza di questa colonna a tutta altezza ha fatto sì che le fiamme si propagassero rapidamente sia verso la parte superiore che verso quella inferiore dell'edificio.

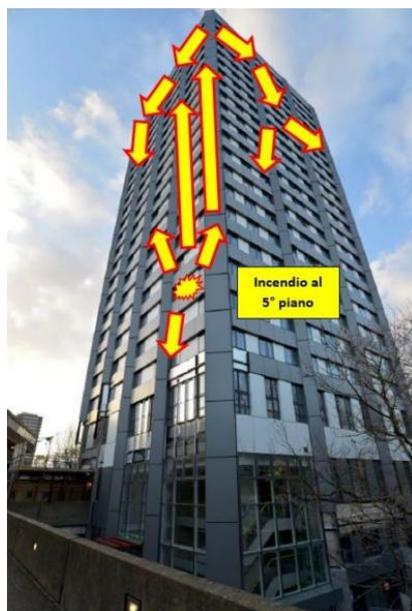


Figura 74 – Esempio di edificio con elementi a tutta altezza (Cosi, Il report ufficiale dell'inchiesta sull'incendio della Grenfell Tower, Novembre 2019)

Un ulteriore esempio significativo in cui si può osservare come la propagazione delle fiamme lungo la parte verticale dell'edificio sia causata da elementi a tutta altezza è l'incendio della Torre dei Moro. In questa situazione, la rapida diffusione del fuoco su tutta l'altezza dell'edificio è stata favorita dalla presenza di colonne strutturali che si estendono lungo tutta la sua altezza.



Figura 75 – Esempio edificio con elementi a tutta altezza e curvilinei (Torre dei Moro)

In conclusione, gli elementi a tutta altezza in edifici molto alti possono avere una significativa influenza negativa in caso di incendio. Infatti, la continuità verticale di questi elementi favorisce la rapida propagazione delle fiamme lungo l'intera altezza della struttura; questo fa sì che il rischio di complicazioni di evacuazione e intervento aumentano, oltre ad avere un rischio più alto di avere gravi danni. Inoltre si segnala che dall'analisi visiva delle fiamme e dei fumi caldi durante l'incendio della Torre dei Moro (foto sopra), gli elementi curvi abbiano favorito l'estensione dell'incendio all'intera superficie di tali elementi, laddove invece spigoli retti ne avrebbero rallentato la propagazione.

È fondamentale quindi, progettare e implementare soluzioni che limitano questa soluzione.

5. Tecnologie e materiali per la protezione antincendio

Per garantire la protezione antincendio negli edifici esistono, e si stanno sviluppando tutt'ora, diverse tecnologie e materiali impiegati per ridurre il più possibile la propagazione delle fiamme e limitarne i danni. Nel seguente capitolo vengono analizzate le soluzioni più significative, necessarie a garantire la sicurezza degli occupanti e preservare l'integrità strutturale delle costruzioni in caso di incendio.

La questione relativa alla sicurezza antincendio è rilevante già dall'inizio della fase di progettazione, in cui il progettista dovrebbe essere in grado di poter dare forme e caratteristiche geometriche che non garantiscono la diffusione delle fiamme, così come l'utilizzo di materiali combustibili.

Le caratteristiche che dovrebbero essere correttamente valutate sono:

- Le cornici architettoniche, parapetti e bordi sporgenti a livello del tetto: questi elementi alimentano la propagazione del fuoco orizzontalmente, permettendo alle fiamme di espandersi attorno al perimetro dell'edificio a livello del tetto e diffondersi, quindi, su tutti i lati della struttura.
- Proiezioni verticali come colonne o pilastri: il fuoco si concentra in queste proiezioni verticali, che proiettano le fiamme verso l'alto. Questo fa sì che la temperatura del combustibile aumenta, favorendo la diffusione del fuoco sempre più rapida.
- Proiezioni orizzontali come marcapiani e cornicioni: come per le proiezioni verticali, anche in questo caso il fuoco tende a concentrarsi in questi elementi, favorendo la direzione delle fiamme orizzontalmente.
- Angoli introversi e rientranze: il fuoco tende a concentrarsi all'interno degli angoli interni, dove la presenza di ossigeno è ridotta. Quindi le fiamme tenderanno ad estendersi nel tentativo di trovare ossigeno. Quindi si avrà un aumento del riscaldamento dei materiali che accelera sia la velocità che l'intensità della propagazione del fuoco. Le rientranze, come già spiegato sopra, possono dar

luogo al fenomeno dell'“Effetto trincea”, poiché i gas caldi e le fiamme restano intrappolati all'interno della rientranza permettendo al calore di accumularsi.

5.1 Imbotte dei serramenti, tecnologie e protezione passiva

L'imbotte dei serramenti gioca un ruolo fondamentale nella protezione passiva contro gli incendi, poiché contribuisce a limitare la propagazione del fuoco tra gli ambienti interni ed esterni dell'edificio.



Figura 76 - Esempio fallimento imbotte dei serramenti Torre Grenfell (Cosi, Il report ufficiale dell'inchiesta sull'incendio della Grenfell Tower, Novembre 2019)

Come illustrato nella figura 76, un esempio significativo di cedimento dell'imbotte dei serramenti si è verificato nell'incendio della Grenfell Tower. In questo caso, la ricollocazione delle finestre durante la ristrutturazione e l'uso di materiali isolanti inadeguati hanno facilitato la propagazione delle fiamme dall'interno dell'appartamento all'esterno.

È fondamentale che l'imbotte sia realizzata in modo da garantire un elevato grado di resistenza al fuoco, impedendo il passaggio delle fiamme, del calore e dei gas nocivi attraverso di essa. Per garantire la protezione passiva è necessario utilizzare materiali resistenti al fuoco, come le guarnizioni intumescenti, che si espandono a contatto con il calore, sigillando le fessure e impedendo la propagazione delle fiamme.

Per limitare il passaggio delle fiamme dall'esterno all'interno è possibile anche posizionare barriere antifluoco attorno alle finestre per impedire al fuoco di entrare nella cavità della facciata, sia dall'interno all'esterno dell'edificio, che viceversa.

Un esempio dell'utilizzo di barriere attorno agli infissi si ha in Holm Court, come illustrato nella figura 77 sottostante. Si tratta di un edificio situato nella regione del Nord-Ovest del Regno Unito, precisamente a Salford, in cui è possibile vedere una soluzione per l'imbotte dei serramenti.

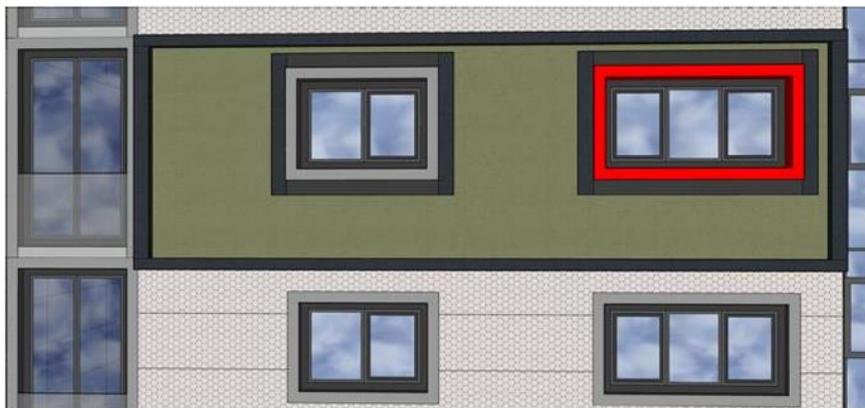


Figura 77 – Esempio soluzione per imbotte dei serramenti senza rivestimento di Holm Court (Frances Maria Peacock FCIAT, April 2022)

Sebbene le barriere antifluoco siano in grado di offrire una buona protezione, la loro efficacia aumenta se vengono utilizzate con materiali meno soggetti a deformazione e degrado. Se gli edifici con pannelli ACM devono essere sottoposti a misure di mitigazione, anziché a una completa bonifica, è necessario trovare un'alternativa in grado di garantire protezione anche quando i pannelli si sono deteriorati.

Esistono due soluzioni per ottenere questo risultato: una è stata sviluppata nel Regno Unito, mentre l'altra è stata sviluppata negli Emirati Arabi Uniti (UAE).

Nel Regno Unito, la soluzione consiste nell'uso di un modulo finestra resistente al fuoco, progettato e realizzato appositamente per impedire l'ingresso e l'uscita del fuoco attraverso l'interfaccia tra le finestre e la facciata. Questo modulo, migliorato, si adatta all'apertura della finestra ed è realizzato in acciaio robusto, garantendo così la protezione della cavità della facciata anche quando i pannelli ACM vengono esposti alle fiamme.

Negli Emirati Arabi Uniti, invece, la protezione è fornita da lamierini in acciaio installati attorno alle finestre, un requisito standard per ogni nuovo edificio costruito nel Paese. Questo è uno dei motivi per cui pochissime persone, se non nessuna, hanno perso la vita in incendi gravi che hanno coinvolto edifici alti a Dubai e Sharjah, alcuni dei quali sono molte volte più alti della Grenfell Tower.

Con entrambi i metodi, sebbene il fuoco possa eventualmente penetrare negli appartamenti attraverso la rottura dei vetri, quando ciò avviene gli occupanti delle zone interessate avranno già avuto il tempo necessario per evacuare e i vigili del fuoco saranno già intervenuti per domare le fiamme. Quindi, il vantaggio di questa protezione è quello di mantenere più a lungo la compartimentazione grazie alla sua capacità di prevenire l'ingresso e l'uscita di fuoco e fumo attraverso la finestra.

5.2 Soluzioni di protezione passiva

Le misure di protezione passiva non richiedono attivazione in caso di incendio e sono costantemente operative. Possono essere ad esempio porte e pareti resistenti al fuoco, barriere antifiamma e barriere fisse nelle cavità.

La compartimentazione è fondamentale come misura di mitigazione e deve essere centrale in tutte le misure di protezione antincendio. È importante che questa rimanga integra in caso di incendio per evitare la diffusione delle fiamme oltre il compartimento di origine.

Oltre alla compartimentazione, un'altra soluzione di protezione passiva è la reazione al fuoco dei materiali. Infatti, sono preferibili i materiali con bassa reazione al fuoco per ridurre la probabilità di propagazione dell'incendio. Questo, insieme ad altri sistemi di sicurezza, permette di limitare danni e salvaguardare vite umane in caso di incendio.

Anche la segnaletica risulta essere tra le misure di protezione passiva, infatti è fondamentale per facilitare l'evacuazione e indicare le vie di fuga, per localizzare i dispositivi antincendio in emergenza, per identificare i comportamenti vietati, per informare sui rischi presenti e per guidare il personale e i soccorritori in caso di evacuazione.

Concentrandosi di più sui sistemi di protezione passiva per le facciate, di seguito vengono riportate alcune soluzioni conformi alla RTV.13 per le diverse tipologie.

Global Building fornisce soluzioni certificate di protezione passiva antincendio che rispettano la RTV.13, come fasce di separazione orizzontali, verticali o giunti lineari.

Per i curtain walling vengono fornite soluzioni di fasce di separazione orizzontale e verticale con le seguenti caratteristiche:

- Reazione al fuoco: A1
- Resistenza al fuoco: E60 (o → i) (fascia di separazione orizzontale)
- Resistenza al fuoco EI 30 / EI 60 (fascia di separazione verticale)

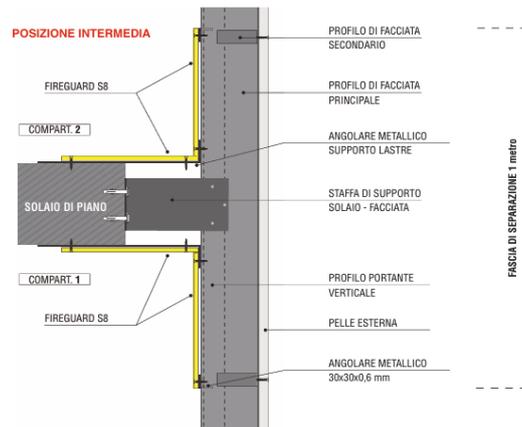


Figura 78 - Fascia di separazione orizzontale – Vista in prospettiva (Building)

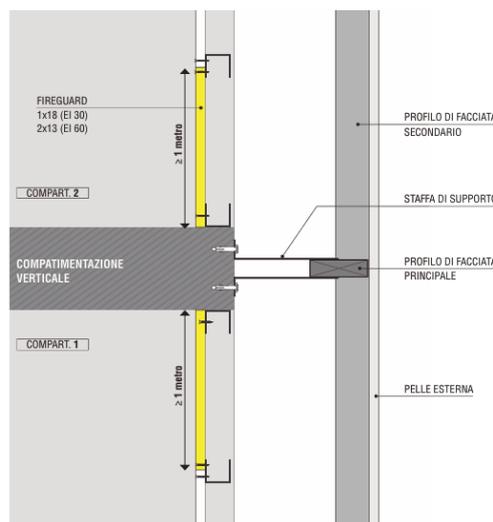


Figura 79 – Fascia di separazione verticale – Vista in pianta (Building)

Oltre alle fasce di separazione vengono fornite anche molte soluzioni per i giunti di facciata verticali o orizzontali con diverse applicazioni e classi di resistenza al fuoco, da scegliere in base alle necessità.

Per le facciate a doppia pelle non ventilata e non ispezionabili invece, vengono indicate soluzioni differenti sulla base della presenza o meno di un giunto in intercapedine.

Nelle Figure 80 e 81 sottostanti, vengono mostrate possibili soluzioni per una doppia pelle non ventilata e ventilata.

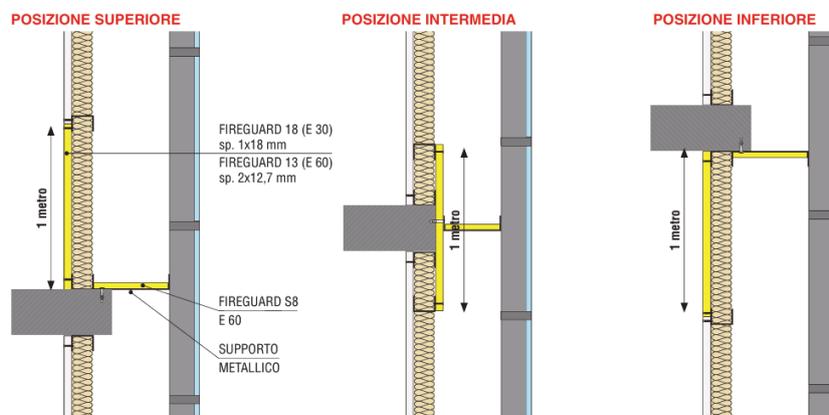


Figura 80 – Esempio soluzione doppia pelle non ventilata con giunto in intercapedine (Building)

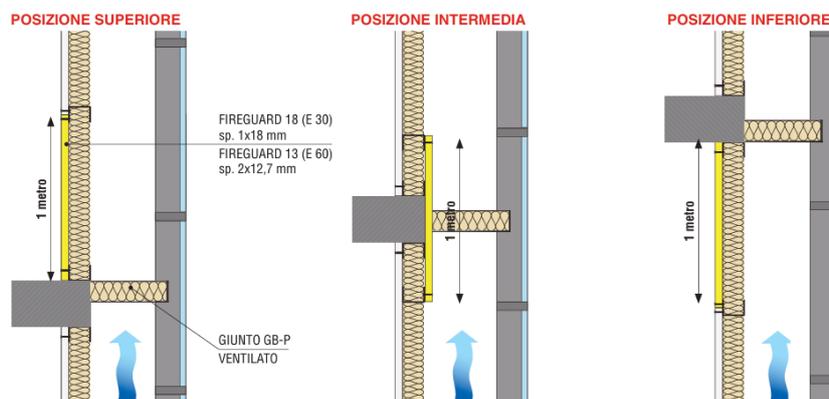


Figura 81 – Esempio soluzione doppia pelle ventilata con giunto in intercapedine (Building)

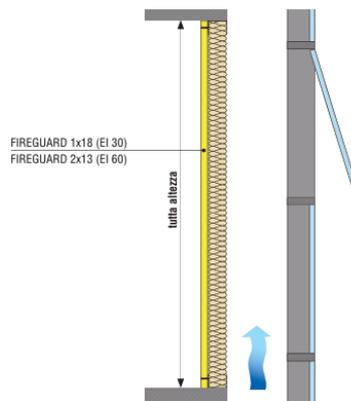


Figura 82 – Esempio soluzione doppia pelle ventilata senza giunto in intercapedine (Building)

Allo stesso modo per le facciate a doppia pelle ventilate e non, ma ispezionabili, Global Building fornisce soluzioni diverse per facciate con giunto in intercapedine o senza giunto in intercapedine.

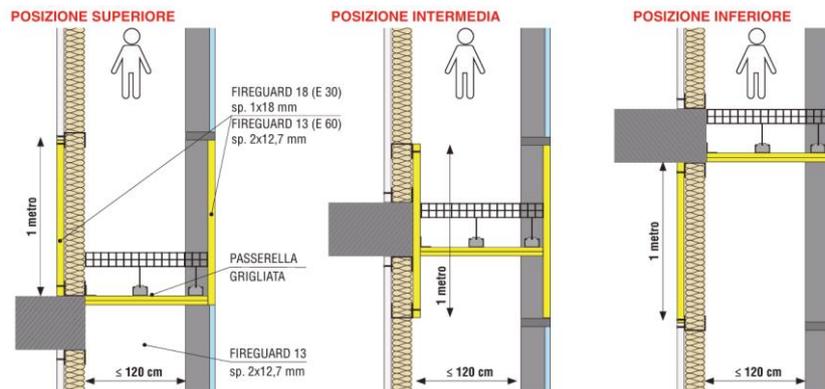


Figura 83 – Esempio facciata a doppia pelle non ventilata – ispezionabile – pelle esterna chiusa con giunto in intercapedine (Building)

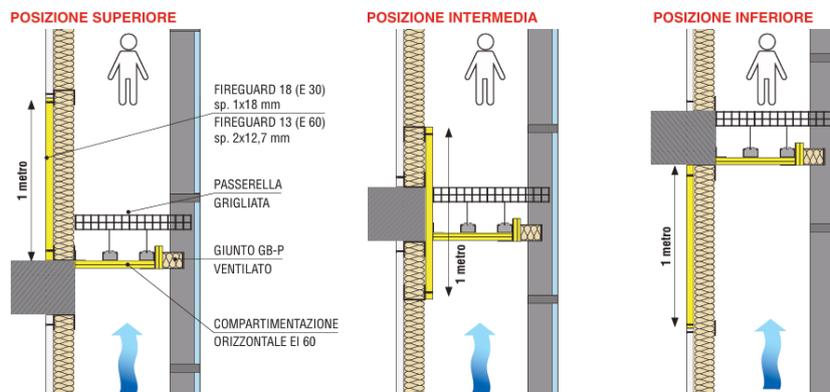


Figura 84 - Esempio facciata a doppia pelle ventilata – ispezionabile – pelle esterna chiusa/aperta con giunto in intercapedine (Building)

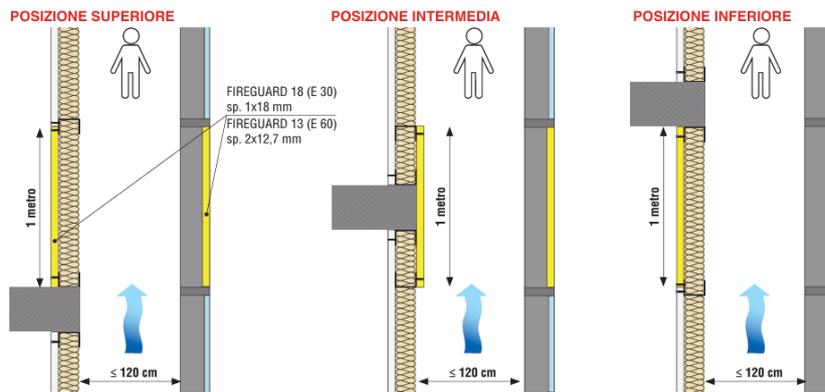


Figura 85 - Esempio facciata a doppia pelle ventilata – ispezionabile – pelle esterna aperta senza giunto in intercapedine (Building)

Per le fasce di separazione orizzontali e verticali per le facciate semplici si utilizzano materiali con le seguenti caratteristiche:

- Reazione al fuoco: A1
- Resistenza al fuoco: EI 30/60

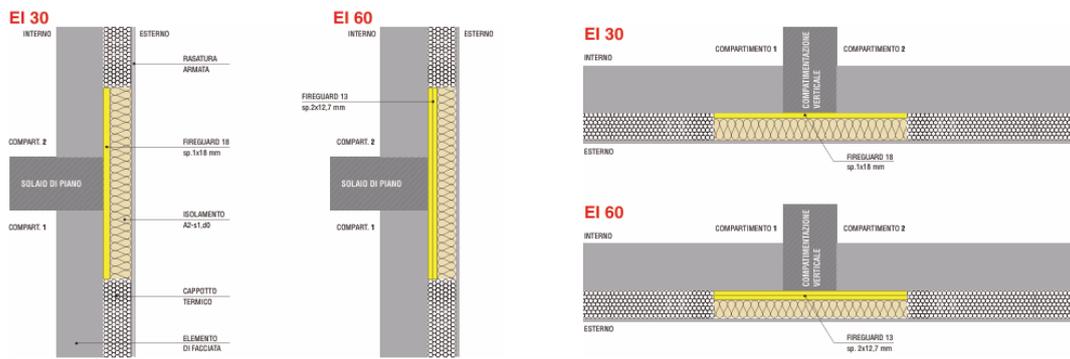


Figura 86 – Esempi di fasce di separazione orizzontali (sx) e verticali (dx) per le facciate semplici

Oltre alle parti opache esistono soluzioni di protezione passiva anche per le parti trasparenti. Promat, ad esempio, offre 2 gamme di prodotti in vetro con prestazioni di alta qualità. I loro prodotti sono costituiti da un vetro composto da vetro float e stratificato, assemblato con strati di gel intumescente che abbondano in caso di incendio. Il numero di strati di float e lo spessore del vetro influenzano le prestazioni antincendio EI 30 – EI 90. Ci sono inoltre soluzioni che garantiscono una resistenza al fuoco fino a EI 120.

Esistono anche dei prodotti “Pyrobel” con diverse caratteristiche di resistenza al fuoco da EI30/EW60 a EI180, che sono vetri stratificati assemblati con lastre di vetro e intercalari

intumescenti trasparenti resistenti al fuoco. In caso di incendio, gli intercalari si trasformano in scudi antincendiorigidi e opachi, che tengono fuori le fiamme, limitano il trasferimento di calore attraverso la vetratura e riducono fortemente la temperatura sulla superficie protetta dal vetro Pyrobel. (AGC, s.d.)

Questa tecnologia può essere utilizzata per applicazioni interne (vetro singolo), esterne (vetro doppio o triplo), come soluzione esterna a vetro singolo con un interstrato in pvb da 0,76mm e un pannello di vetro extra che funge da filtro UV, per un sistema di vetrate a giunto di testa senza montanti o anche come prodotti speciali come vetro antiproiettile e antieffrazione.

5.3 Soluzioni di protezione attiva

Le misure di protezione attiva invece, richiedono l'attivazione con fumo o calore e restano inattive fino a quando non risultano necessarie. Ad esempio allarmi antincendio, sistemi di rilevamento del fuoco e sistemi di controllo fumi.

Per le facciate ventilate le misure tipiche includono barriere di cavità intumescenti, se è presente una facciata a doppia parete. A differenza delle barriere di cavità fisse, quelle intumescenti rimangono in posizione aperta finché non vengono attivate dal calore del fuoco, che le fa espandere e chiudere la cavità.

Oltre alle barriere antifiamma e alle barriere di cavità, un'altra misura necessaria è un sistema di rilevazione esterno, i cui sensori vengono installati direttamente nella facciata dell'edificio. Una migliore sicurezza sarebbe il posizionamento dei rilevatori all'interno del rivestimento, in quanto sono proprio i rivestimenti combustibili a presentare il rischio più alto. Attualmente esiste un sistema progettato per essere installato esternamente, chiamato Intelliclad (Peacock). Il sistema può funzionare anche insieme ad altre misure di protezione contro gli incendi, inclusi i sistemi di allarme per l'evacuazione e gli sprinkler. Intelliclad è un sistema intelligente che utilizza una tecnologia basata su cloud per fornire a residenti e vigili del fuoco informazioni precise riguardo la posizione dell'incendio e la sua relativa propagazione.

Anche i Sistemi di Evacuazione di Fumo e Calore (SEFC) rappresentano una soluzione di protezione attiva. Sono sistemi essenziali per eliminare gas caldi e fumo che si

accumulano durante la combustione, in modo tale da garantire una migliore visibilità agli occupanti e soccorritori. Sono considerati una soluzione attiva poiché si attivano in risposta alla presenza di fumo o calore. Questi sistemi entrano in funzione automaticamente attraverso dei rivelatori di temperatura e fumo, oppure possono essere attivati manualmente. L'evacuazione avviene tramite dispositivi di apertura automatica come lucernari o finestre motorizzati, o attraverso estrattori meccanici che permettono la rimozione del fumo dagli ambienti.

5.4 Tecnologie e sistemi integrati per la sicurezza e l'efficienza energetica

Nella progettazione degli edifici moderni le tecnologie e i sistemi integrati per la sicurezza e l'efficienza energetica stanno diventando sempre più importanti. I due concetti di sicurezza e efficienza energetica non devono più essere considerati come concetti separati, ma devono essere sempre di più combinati con soluzioni integrate che ottimizzano le risorse e riducono i rischi.

I sistemi di BMS (Building Management System) permettono di avere una gestione automatizzata dell'edificio, permette di ottimizzare i consumi energetici controllando ad esempio l'illuminazione, il riscaldamento e la climatizzazione. Così come l'utilizzo di sensori di movimento, rilevatori di fumo e gas permettono di avere una sorveglianza attiva che contribuisce anche alla riduzione degli sprechi energetici.

Questi sistemi di gestione automatizzata permettono di monitorare in tempo reale anche parametri legati alla sicurezza antincendio, come temperatura, umidità e rilevazione di fumo. Si possono infatti, attivare automaticamente impianti di estinzione (sprinkler, water mist) e sistemi di evacuazione di fumo e calore.

In questo modo l'integrazione di sistemi di sicurezza attiva e passiva con tecnologie energetiche avanzate ottimizzano le prestazioni dell'edificio, ma garantiscono anche una protezione più efficace contro i rischi di incendio, migliorando la sicurezza complessiva dell'edificio e degli occupanti.

Per quanto riguarda i sistemi di integrazione delle facciate, è importante che, per far combaciare i requisiti di resistenza o reazione al fuoco con l'efficientamento energetico, si seguano le seguenti condizioni: Per le facciate ventilate è fondamentale che, per la resistenza al fuoco, la tenuta (E), cioè l'attitudine di un elemento a non lasciar passare né produrre fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto, è un requisito garantito dalla stratigrafia costituente il supporto del rivestimento e non esclusivamente dal rivestimento stesso. Al rivestimento infatti, è richiesta la prestazione di reazione al fuoco.

Per il requisito di reazione al fuoco secondo la Circolare VVF n.° 5034 del 15 aprile 2013, qualsiasi isolamento della facciata esterna che sia esposto in una intercapedine dovrà avere classe di reazione al fuoco minima B-s3-d0. In particolare, questa classe deve essere sempre rispettata dai prodotti isolanti posti a ridosso dei vani finestra e portafinestra per una fascia di larghezza 0,60 metri e di quelli posti alla base della facciata fino a 3 metri fuori terra.

Inoltre, qualsiasi rivestimento della facciata ventilata che supera il 40% della superficie di facciata dovrà avere classe di reazione al fuoco minima B-s3,d0.

A seconda della tipologia di installazione, d'isolamento e di sottostruttura retrostante la resistenza al fuoco della facciata dipende dal comportamento del pacchetto murario e non dalla facciata ventilata.

Per le facciate adattive invece, che sono sistemi molto più innovativi e incentrati principalmente sull'efficientamento energetico, non esistono ancora soluzioni standardizzate che combinino le funzionalità adattive con la sicurezza antincendio.

È possibile adottare strategie che garantiscano un certo grado di sicurezza in caso di incendio, come ad esempio l'utilizzo di materiali non combustibili, quindi è essenziale scegliere materiali con elevate classi di reazione al fuoco, come A1, o A2-s1,d0. Questo risulta essere fondamentale per ridurre il rischio di propagazione delle fiamme.

Inoltre, può essere utile inserire delle barriere tagliafuoco all'interno delle intercapedini delle facciate ventilate, in modo tale da interrompere la propagazione del fuoco. In particolare, potrebbero essere adatte le barriere intumescenti che bloccano l'effetto camino solo in caso di aumento di temperatura. È fondamentale anche, installare una corretta sigillatura dei giunti tra elementi della facciata e utilizzare materiali resistenti al fuoco per tutti gli elementi che compongono il sistema.

In conclusione, è essenziale che le facciate adattive rispettino le normative antincendio come la RTV.13 in quanto, questi sistemi offrono notevoli miglioramenti in termini di efficienza energetica e comfort ambientale, ma la loro progettazione richiede molta attenzione per garantire la sicurezza antincendio.

Anche le facciate verdi, precedentemente descritte, nascono per migliorare l'efficientamento energetico dell'edificio, per questo è importante che la progettazione bilanci i benefici ambientali con la protezione della struttura. Dal punto di vista della sicurezza è fondamentale selezionare le specie vegetali con bassa infiammabilità, come quelle sempreverdi o con elevato contenuto di umidità. Un altro punto importante, è la scelta di materiali incombustibili per i pannelli di supporto, che riducono la propagazione delle fiamme. Esistono, per le living facade, anche dei sistemi di irrigazione automatizzati e sensori di umidità, che possono prevenire la disidratazione del verde e abbassare il rischio di innesco. Per ottimizzare l'integrazione tra la sicurezza e l'efficienza energetica, è consigliabile inserire barriere tagliafuoco e prevedere distanze minime tra la parete verde e l'edificio. Combinando queste strategie è possibile massimizzare i vantaggi ambientali senza compromettere la sicurezza degli occupanti.

6. Lo studio della propagazione del fuoco sulle facciate

L'incendio avvenuto nel 2017 della Torre Grenfell ha portato a notevoli cambiamenti a livello nazionale e internazionale, sia riguardo le normative, che anche riguardo i metodi di test antincendio utilizzati per stabilire la reazione al fuoco dei materiali, dei prodotti e delle strutture di pareti esterne. Infatti, uno dei problemi principali dell'incidente è stato, che i precedenti metodi di test non avevano fornito ai progettisti le informazioni necessarie a valutare il rischio che un incendio potesse propagarsi fino alla parete esterna dell'edificio.

6.1 Prove in piccola e media scala

In Europa ci sono diverse modalità di prova per la reazione al fuoco, i test che si possono condurre seguendo le normative europee sono:

- Test di non combustibilità
- Bomba calorimetrica
- SBI
- Prova della fiamma piccola
- Prova del pannello radiante per pavimenti
- Condizionamento dei campioni e scelta del substrato
- Classificazione

Concentrandosi sul SBI (Single Burning Item) test, è un metodo di prova che segue la EN 13823 e serve per determinare la reazione e il comportamento al fuoco dei prodotti da costruzione (esclusi i pavimenti), quando sono esposti ad un attacco termico da un'unica fonte di calore.

I test per la classificazione della reazione al fuoco dei materiali da costruzione hanno lo scopo di permettere ai progettisti di scegliere i prodotti che impediscono o rallentano lo sviluppo di un incendio, in modo tale da non far verificare un flashover.

Il campione che viene esaminato con l'SBI test tendenzialmente è composto da due facce posizionate a 90°, è montato su un carrello posizionato in una sorta di camino, sovrastato da una cappa di aspirazione per fumi.

La reazione del campione al calore è monitorata strumentalmente e visivamente. Il tasso di calore e fumo rilasciati sono misurati strumentalmente.

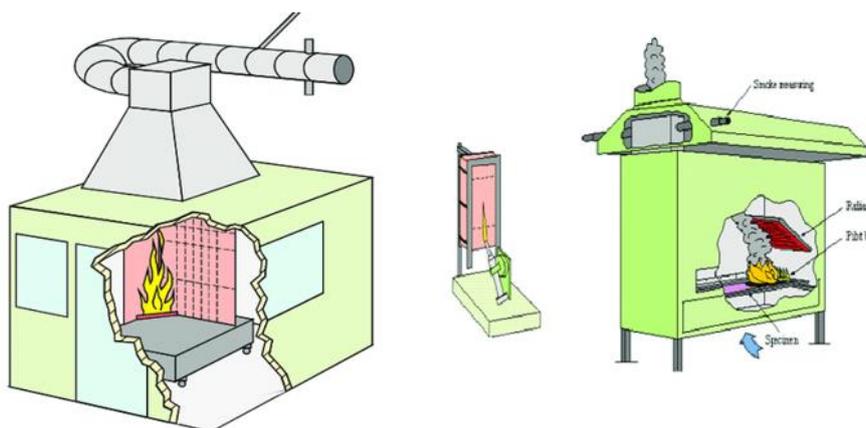


Figura 87 – Metodi di test per la reazione al fuoco, da sinistra: EN 13823 (SBI), EN ISO 11925-2 (test alla piccola fiamma), EN ISO 9239-1 (piastra radiante, per pavimenti)

Un materiale di classe B-s3,d0 garantisce un certo comportamento al fuoco seguendo i requisiti della UNI EN 13501-1. Viene testato con il metodo SBI (EN 13853) e con il metodo della piccola fiamma per soli 30 secondi (EN ISO 11925).

Gli attuali metodi di prova per la classificazione dei materiali di classe B-s3, d0 o peggiori non sono rappresentativi di un incendio reale, in termini di durata e potenza, quindi non è chiaro come si comporterebbero in caso di incendio reale.

Si ritiene che un materiale in classe B, rispetto ad uno in classe E, partecipi ugualmente all'incendio reale, sebbene probabilmente con una velocità più ridotta e con ridotto gocciolamento.

I materiali di classe E garantiscono un certo comportamento al fuoco basandosi sui requisiti della UNI EN 13501-1. La prova viene fatta con il metodo della piccola fiamma per soli 15 secondi (EN ISO 11925) e non è obbligatorio il metodo SBI.

È evidente che per i materiali di classe E è sufficiente una fiamma di durata superiore a 15 secondi per coinvolgere progressivamente l'intero materiale (altrimenti ricadrebbero nelle classi migliori).

I test per la classificazione della reazione al fuoco dei materiali da costruzione hanno lo scopo di permettere ai progettisti di scegliere i prodotti che impediscono o rallentano lo sviluppo di un incendio, in modo tale da non far verificare un flashover.

Il 6 dicembre 2021 sono state condotte prove di reazione al fuoco in conformità alla norma EN 13501-1:2018 presso il laboratorio L.S.Fire di Oltrona di San Mamette (CO). È stato testato un sistema di facciata con piastrelle con lo scopo di individuare a quale classe di reazione al fuoco corrispondono le caratteristiche generali di comportamento del sistema di facciata, partendo dal presupposto che la classe certificata di reazione al fuoco del solo componente isolante è la E.

Dalle prove emerge che il sistema di facciata può essere considerato analogo ad un materiale classificabile come B-s1, d0, grazie ai vari strati che proteggono dal fuoco lo strato isolante.

Queste prove hanno un'utilità limitata in quanto sono stati testati provini di piccole dimensioni. Inoltre, la fiamma del fuoco di laboratorio non è comparabile con quella di un incendio pienamente sviluppato in cui è coinvolto un intero appartamento e parti significative della facciata. Infatti può capitare che un materiale che si è comportato bene nel test, può avere scarse prestazioni in un incendio in una parete esterna.

Di conseguenza le classificazioni europee che emergono dai test dei singoli elementi in combustione (da A2 a D) sono di scarso aiuto nella valutazione delle prestazioni dei sistemi di pareti esterne.

EUROLAB Laboratory A.Ş. è una delle aziende leader nel settore della certificazione e del controllo tecnico. EUROLAB, la sua filiale, è un laboratorio di test indipendente e imparziale a cui molte delle aziende più rigorose e organizzazioni leader si affidano per i rapporti di prova e la documentazione dei prodotti. Svolge le sue attività di rendicontazione e certificazione e grazie agli accreditamenti internazionali, i rapporti e i

documenti rilasciati in tutti gli studi di misurazione, prova, analisi, ispezione, controllo e certificazione effettuati da EUROLAB sono validi in tutto il mondo. (Services, s.d.)

Vengono eseguiti test su materiali da costruzione usando il metodo ASTM E84, il quale permette di misurare la propagazione della fiamma superficiale e la densità del fumo su materiali come legno e fibrocemento in condizioni standardizzate. Si può applicare a materiali da costruzione come pannelli, isolanti e rivestimenti, gli standard correlati includono metodi per legno, materiali isolanti e pannelli compositi. Sono test essenziali per valutare le caratteristiche di combustione superficiale dei materiali.

Vengono fatti anche test di resistenza al fuoco del vetro, i quali vengono effettuati secondo standard internazionali come TS EN 1363-1 e TS EN 13501-2, che verificano durata e prestazioni del vetro antincendio, considerando materiali e assemblaggi appropriati.

Ci sono poi i test di infiammabilità che sono fondamentali per garantire la sicurezza dei prodotti di consumo come anche i materiali da costruzione. Ci sono due tipi principali di test: quelli verticali che misurano il tempo di combustione e la presenza di gocciolamenti, e quelli orizzontali che calcolano il tasso di combustione.

Gli standard francesi (NF P92-501 a NF P92-512) classificano i materiali da M1 (non infiammabili) a M4 (infiammabili) e questa metodologia viene adottata in molti paesi dell'Unione Europea. I criteri principali includono limitare la diffusione del fuoco, mantenere la stabilità strutturale e garantire l'evacuazione e i soccorsi sicuri.

In Europa i criteri per la classificazione dei materiali da costruzione in base alla loro reazione al fuoco sono stabiliti dallo standard EN 13501-1 in cui i prodotti vengono classificati in base all'uso finale e vengono divisi in tre categorie: prodotti da costruzione, pavimentazioni e isolanti termici per tubi lineari. I materiali sono classificati in Euroclassi dalla A1 (materiali non infiammabili) alla F (materiali con alta capacità di combustione). Si aggiungono poi le classificazioni S (emissione fumi) e D (produzione di gioccoline/particelle infiammate). In Italia questo standard è obbligatorio dal 2007 con il Regolamento sulla protezione antincendio degli edifici.

In conclusione, i test in piccola scala rappresentano strumenti fondamentali per verificare il comportamento dei materiali da costruzione in condizioni standardizzate.

Tuttavia presentano delle limitazioni poiché non sempre sono rappresentativi del reale comportamento di un incendio in scala reale. Per garantire una maggiore sicurezza antincendio, sarebbe opportuno integrare i test in piccola scala con quelli su scala più ampia e considerare scenari realistici di incendio, così da avere valutazioni più affidabili.

6.2 Prove in larga scala

Le prove in larga scala danno la possibilità di verificare il comportamento al fuoco delle facciate degli edifici impostando le condizioni di un incendio realistico di dimensioni reali. Grazie a queste prove si possono avere risultati riguardo la propagazione delle fiamme, la resistenza dei materiali e l'interazione con gli altri elementi della struttura.

Questi test seppur costosi e lunghi da realizzare, sono necessari per prevenire rischi di propagazione del fuoco e garantire il rispetto delle normative antincendio.

Il set di prova solitamente è costituito da tre parti: la struttura portante, la facciata combustibile con la relativa struttura autoportante e la strumentazione per la registrazione dei dati. In questo modo si possono testare diverse tipologie di facciate e analizzare, grazie all'installazione delle termocoppie, la variazione della temperatura superficiale del sistema di isolamento e la temperatura del gas all'interno delle stanze. Le termocoppie danno informazioni anche riguardo l'ignizione e la propagazione del fuoco lungo il sistema di isolamento esterno.

Solitamente vengono installate due pareti disposte tra loro ad angolo retto: una principale in cui è presente una camera di combustione in cui avviene l'innesco e una secondaria installata per analizzare la propagazione delle fiamme.

Un esempio di un test eseguito in larga scala è quello condotto presso l'istituto di ricerca antincendio del Sichuan del Ministero della Pubblica Sicurezza in Cina. L'edificio per le prove antincendio è mostrato nella Figura X(2) e Figura X(1): con un'unità edilizia a tre piani e un sistema di isolamento esterno chiamato TPETIS (thin plaster external thermal insulation system), una struttura leggera, di bassa conducibilità termica e semplice da costruire. (Zhenghua Yan, 2013)

Il test in questo caso fornisce informazioni sull'accensione e sulla propagazione del fuoco in questo sistema appena descritto. È stata installata una camera di combustione al piano terra e sale di osservazione al secondo e terzo piano. Come fonte di innesco è stata utilizzata una catasta di legno come combustibile interno all'edificio.

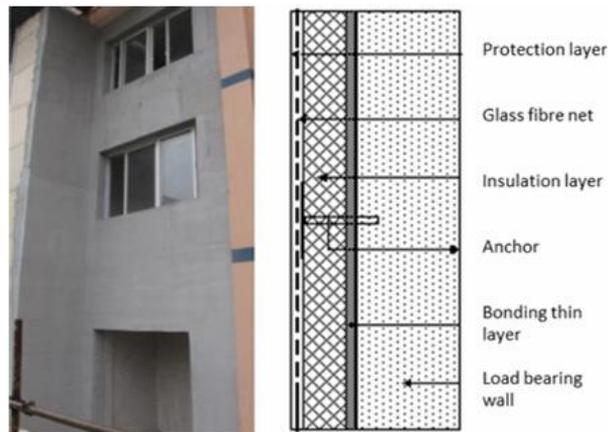


Figura 88 - Configurazione TPEITS

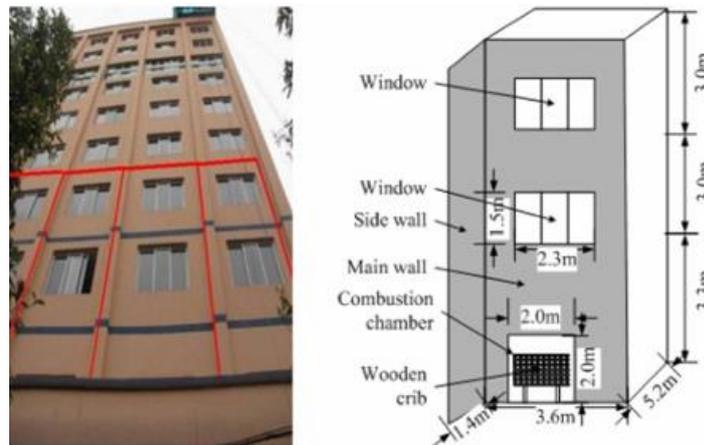


Figura 89 – Modello di prova antincendio in scala reale

Il test è stato condotto 28 giorni dopo che la struttura è stata costruita, ad una temperatura di circa 15/20°C, velocità dell'aria inferiore a 2m/s ad un'altezza di 3 metri dal suolo. Il test è durato 30 minuti, durante i quali il comportamento del fuoco è stato osservato e registrato.

Sono stati fatti più test per valutare le performance dei diversi materiali isolanti del sistema TPETIS, quindi con EPS, XPS, PUR e PIR. In questo caso vengono descritti i risultati del test con EPS come isolante.

Dalla figura X (6) si può notare che la parete frontale al di sotto della finestra del secondo piano è risultata completamente bruciata, come anche quella del terzo è stata in parte bruciata.

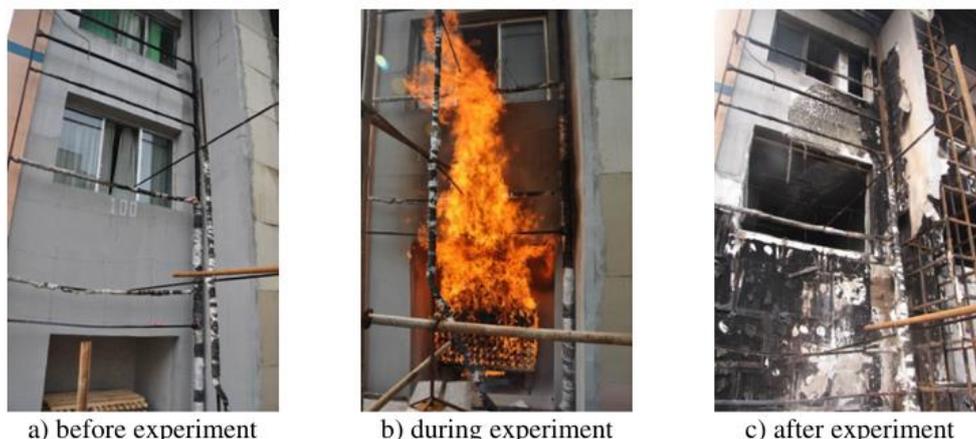


Figura 90 – Foto dell'esperimento

Sono state condotte simulazioni del test anche utilizzando un software avanzato CFD per la simulazione del fuoco: Simtec. Il software è in grado di calcolare il flusso turbolento, la combustione turbolenta, la radiazione termica, la formazione di fuliggine, il trasferimento di calore per convezione, il trasferimento di calore tridimensionale completamente accoppiato all'interno dei materiali solidi, la "bruciatura" dello strato protettivo superficiale e la pirolisi dello strato isolante, ecc...

I risultati ottenuti dalla simulazione potrebbero essere notevolmente differenti rispetto a quelli dati dal test sperimentale, per questo motivo risulta difficile effettuare un confronto quantitativo diretto tra simulazioni e misurazioni.

In conclusione emerge che dai test in larga scala è stata osservata la propagazione del fuoco ai piani superiori con tutti i quattro materiali isolanti testati. Questo implica la necessità di migliorare questi sistemi di isolamento esterno delle pareti.

I risultati sperimentali mostrano anche che le performance di sicurezza antincendio dei sistemi di isolamento per pareti esterne sono particolarmente influenzate dai materiali isolanti. Infatti, con materiali isolanti diversi, il comportamento di propagazione del fuoco risulta differente.

Un secondo test è stato svolto a Montelibretti presso il comprensorio del Dipartimento dei Vigili del fuoco. Queste prove hanno seguito una nuova metodologia di larga scala con pareti perpendicolari tra loro. (Vedi Figura 91). (Ing. Carmine Castaldo, Novembre 2023)

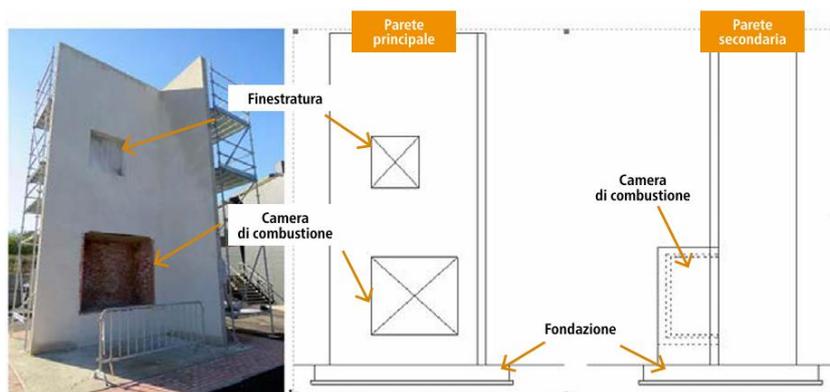


Figura 91 – Set di prova della DCPST, Montelibretti (RM) (Ing. Carmine Castaldo, Novembre 2023)

Sono state eseguite due sperimentazioni su facciate geometricamente uguali ma con differente classe di reazione al fuoco dei pannelli combustibili: test 1 con classe di reazione a fuoco D-S2-d0 e il test 2 con pannelli di classe di reazione a fuoco B-S2-d0.

La facciata combustibile è stata realizzata da pannelli con una sottostruttura di supporto, questi sono di due tipologie: incombustibili e combustibili. I pannelli incombustibili di cartongesso con classe di reazione a fuoco A1, sono collocati in corrispondenza della fascia incombustibile di un metro posta subito sopra la camera di combustione. I pannelli combustibili, invece, coprono la restante parte della superficie del set di prova. La struttura autoportante di sostegno dei pannelli è realizzata con profili tubolari disposti sia in verticale che orizzontale fissata solo in alcuni punti alla struttura muraria. Per simulare una facciata ventilata è stato lasciato uno spazio per la camera d'aria tra la struttura metallica e le pareti in muratura, ma per garantire una compartimentazione in corrispondenza dell'intercapedine, sono stati montati vari strati di guarnizione termo-espandenti.

Questi strati termo-espandenti funzionano mediante il fenomeno dell'espansione, infatti, a circa 200° ostruiscono completamente il passaggio alle fiamme. Inoltre, per proteggere

i profili metallici della struttura autoportante che hanno una bassa resistenza a fuoco, vengono inserite lastre di cartongesso lungo il perimetro della struttura in metallo.

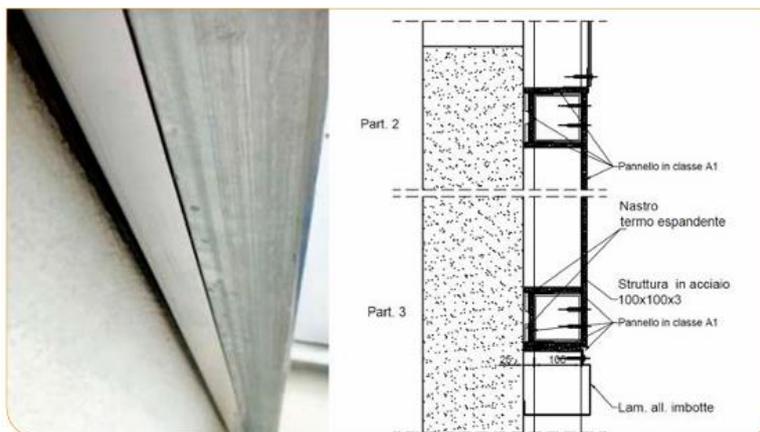


Figura 92 - Guarnizioni termo-espandenti e protezione profili tubolari (Ing. Carmine Castaldo, Novembre 2023)

Sono state applicate delle termocoppie interne ed esterne: le prime misurano la temperatura in corrispondenza dell'intercapedine, mentre quelle esterne misurano la temperatura della facciata esposta alle fiamme. Mentre per l'ignizione vengono utilizzati listelli in legno, i quali iniziano a bruciare grazie all' eptano, collocato in una vasca sottostante la catasta.

Le termocoppie sono state disposte diversamente nelle due prove: nel test 1, con i pannelli di reazione al fuoco di classe D, l'attenzione è stata posta maggiormente sulla fascia incombustibile, sulla finestratura e sugli effetti di bordo, per cui le termocoppie interne sono state dislocate lungo le verticali laterali delle due facciate e vicino la fascia incombustibile. Le termocoppie esterne sono state poste con una certa regolarità lungo le due facciate, in prossimità della fascia incombustibile, della finestratura e della zona sommitale della facciata.

Nel test n.2, in cui si verificano i pannelli di classe di reazione al fuoco B, sono state inserite le termocoppie anche in funzione dei risultati ottenuti dal primo test. Sono state installate un numero minore di termocoppie, posizionate anche in altri punti di interesse come al di sopra della finestratura della facciata principale e al di sotto della fascia incombustibile.

Durante lo svolgimento del test 1 sono stati riscontrati alcuni fenomeni che hanno caratterizzato la prova: la propagazione delle fiamme in senso verticale, le elevate temperature lungo i bordi e il distacco di porzioni di pannelli.

Si può notare che la compartimentazione tra la struttura metallica e la parete in muratura, realizzata con guarnizioni intumescenti, ha garantito la sigillatura delle fiamme per l'intera durata del test. La propagazione in verticale nella restante parte della facciata risulta rapida a causa dell'effetto camino che ha permesso alle fiamme di arrivare alla sommità della struttura.

Riguardo il terzo fenomeno, il distacco ha riguardato le lamine in alluminio dal supporto sottostante di polietilene, a causa delle alte temperature. Nel caso dei pannelli investiti direttamente dalle alte temperature, il gocciolamento ha riguardato sia il polietilene che l'alluminio.

Nella facciata secondaria sono stati registrati fenomeni di propagazione dovuti a tre motivi: gocciolamento o distacco di porzioni di pannelli, irraggiamento ed "effetto angolo", quest'ultimo può essere considerato come una conseguenza dell'"effetto camino", in cui però le fiamme si propagano in direzione orizzontale oltre che verticale.

Per quanto riguarda il test 2, che, come è stato già accennato in precedenza è stato condotto con pannelli multistrato con le stesse caratteristiche di quelli utilizzati nel test 1 ma con la sola differenza che la classe di reazione al fuoco è B, anche qui si sono registrati fenomeni significativi.

In questo caso il fenomeno della propagazione risulta molto più modesto, dato dal fatto che i pannelli combustibili posti sopra la fascia incombustibile, mostrano effetti molto meno marcati. Lo stesso vale per gli effetti di bordo, in cui sia lungo i bordi verticali che lungo la sommità non si sono registrate temperature particolarmente elevate. Anche il terzo fenomeno, quello del distacco di porzioni di pannelli, risulta avere un'incidenza molto più bassa.

In conclusione il fenomeno della propagazione nel test n.2 risulta molto più modesto rispetto al test n.1. Relativamente al fenomeno degli effetti di bordo, nel test n.2 è stato verificato che lungo i bordi verticali e in corrispondenza delle parti sommitali non sono

state registrate temperature particolarmente elevate tali da far propagare l'incendio in direzione orizzontale e verticale. Anche per il terzo fenomeno, quello riguardante il distacco di porzioni di pannelli e il gocciolamento, si è verificata un'incidenza molto più bassa.

Inoltre, anche il progetto di ricerca “La sicurezza antincendio dell'involucro degli edifici: verifiche e analisi CFD con i metodi della Fire Safety Engineering” contribuisce all'analisi delle problematiche fin ora discusse con lo scopo di individuare e consolidare un metodo di lavoro che integri lo sviluppo di modellazioni numeriche sperimentate da test in scala reale condotti dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, con l'obiettivo di creare strumenti utili per supportare le valutazioni relative agli incendi di facciata. (M. Bonfatti, Gennaio 2024)

Il progetto sopra citato è iniziato nel 2022 presso il dipartimento DISEG del Politecnico di Torino con il cofinanziamento di AI Engineering di Torino.

La ricerca è basata sulla realizzazione di prove sperimentali per l'analisi del comportamento al fuoco di campioni di facciata e sulla realizzazione in parallelo di simulazioni FDS su modelli con l'analogia configurazione.

Il campione preso in analisi ha una configurazione ad L, costituito da una parete in blocchi che sorregge una struttura metallica alla quale è ancorata la facciata ventilata costituita da pannelli compositi ACP (Aluminium Composite Panels) in alluminio e polietilene.

Nella facciata principale è presente un vano che raffigura l'ipotetica finestra di un edificio e una fascia incombustibile di 1 m in cartongesso di classe A1 posta al di sopra della camera di combustione. Quest'ultima ospita una catasta di legna collocata su un supporto metallico al di sotto del quale si trova una vaschetta contenente eptano e acqua.

Durante il test i dati vengono acquisiti da videocamere, termocamere e termocoppie, che si trovano interne all'intercapedine, sulla faccia esterna dei pannelli di rivestimento e frontalmente all'ala principale. Adiacente alla facciata è presente anche un'asta centimetrata per avere un'osservazione diretta del movimento delle fiamme ed a quale quota queste arrivano.

Lo stesso campione realizzato in scala reale viene rappresentato nel software di simulazione a partire dalla definizione geometrica e dalla caratterizzazione di materiali e superfici. In seguito è stato definito un dominio computazionale in cui vengono risolte le equazioni di scambio di massa, energia e quantità di moto. Infine vengono impostate le condizioni al contorno di vento, pressione e temperatura per ricostruire l'influenza di questi parametri nei test reali condotti all'aperto.

L'obiettivo di sviluppare questa simulazione è quello di ottenere dati di output che possano essere confrontati con le prove sperimentali, in modo tale da avere un metodo parametrico, quindi adatto ad analizzare i risultati di configurazioni diverse con indici che ne permettano la comparazione.

Particolare attenzione va ai dati di output indiretti: TRP e FPI. Il primo rappresenta il Thermal Response Parameter ($\text{kW} \cdot \text{sec}^{1/2}/\text{m}^2$), è connesso con i parametri termici del materiale come densità, calore specifico e capacità termica e dipende dalla temperatura di ignizione dello stesso. Mentre il secondo Fire Propagation Index ($\text{m}^{5/3}/\text{kW}^{2/3}\text{sec}^{1/2}$) è derivante dal rapporto tra la potenza termica per unità di superficie e il TRP ed esprime la propensione di un materiale a propagare le fiamme sulla superficie oltre la zona di ignizione, quindi questo parametro può essere calcolato per l'intero sistema di facciata prendendo un valore medio di TRP dei materiali presenti.

Questi due parametri sarebbero molto utili in quanto potrebbero dare risvolti positivi nella modellazione e nella valutazione dei materiali da utilizzare, ma oggi sono difficilmente reperibili sia nella letteratura che nelle schede tecniche.

Una volta terminati sia il test sperimentale che le simulazioni, avviene la validazione del modello tramite il confronto tra le registrazioni dei video sperimentali e gli output grafici dati dal software.

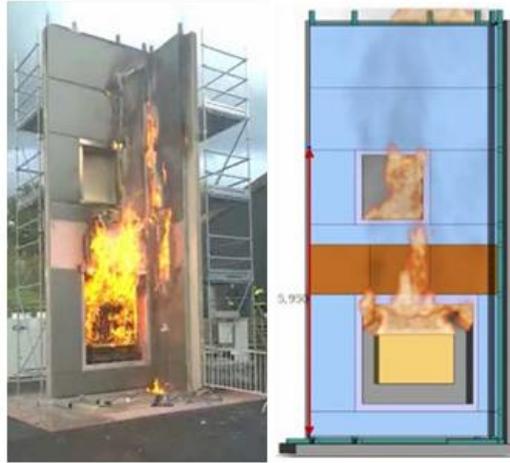


Figura 93 – Confronto tra video sperimentali e output grafici CFD (M. Bonfatti, Gennaio 2024)

Ad esempio, nel test della facciata ventilata, si nota che la creazione di un varco nell'involucro esterno dei pannelli permette alle fiamme di spostarsi rapidamente nell'intercapedine e raggiungere l'estremità superiore del campione, il così detto effetto camino. Si osserva anche come la fascia incombustibile verticale collocata al di sopra della camera di combustione limiti e ritardi l'avanzamento delle fiamme, ma al tempo stesso si nota come la potenza sprigionata dal focolare comporti un importante avanzamento delle stesse fino a raggiungere la quota della finestra determinando la partecipazione all'incendio di altro materiale.

La validazione prosegue con l'analisi delle temperature nel tempo verificando la sovrapposibilità tra i risultati sperimentali e quelli dati dalla simulazione.

Ad oggi si afferma che non tutti i fenomeni che caratterizzano il comportamento al fuoco sono modellabili con sufficiente efficacia e affidabilità, per questo l'attuale elenco dei fenomeni modellabili è aggiornabile in funzione del progresso informatico ed ingegneristico.

6.3 Implicazioni sulla sicurezza delle facciate

Le prove sperimentali che siano in piccola o media scala o che siano in larga scala svolgono un ruolo fondamentale per la progettazione in sicurezza di sistemi di facciate.

Le prove in piccola o media scala hanno il vantaggio di essere più semplici e rapide da realizzare, ma al tempo stesso presentano dei limiti piuttosto rilevanti, in quanto si

possono trarre informazioni utili riguardo le proprietà e le prestazioni al fuoco di un materiale, ma spesso non rappresentano le condizioni reali di un incendio su un'intera facciata. Qui infatti, entrano in gioco l'importanza della geometria, dell'interazione tra componenti, delle condizioni esterne, tutti fattori che hanno un ruolo fondamentale e determinante nello studio della sicurezza di una facciata.

D'altra parte le prove in larga scala offrono la possibilità di avere una rappresentazione più realistica del comportamento al fuoco di una facciata, il limite di queste prove è che sono più difficili da svolgere e comportano un notevole impegno in termini di risorse economiche, logistiche e di tempo.

Per questo è necessaria l'integrazione tra i risultati delle prove in piccola scala, con quelli dei test in larga scala e le simulazioni di incendio, in modo tale da avere una visione globale e affidabile delle prestazioni antincendio delle facciate.

7. Sinergia tra le misure antincendio ai fini di una valutazione dei rischi completa ed efficace

La sicurezza antincendio rappresenta un aspetto cruciale nella progettazione degli edifici, specialmente per edifici di una certa altezza. La valutazione dei rischi deve essere condotta in maniera integrata, tenendo in considerazione le misure di prevenzione, la protezione attiva e passiva, i test in piccola, media e larga scala, la geometria e l'influenza delle condizioni climatiche. È importante che, questa analisi integri anche le misure di efficientamento energetico in modo tale da avere edifici che soddisfino sia i requisiti di sicurezza che quelli ambientali.

Per quanto riguarda le misure di prevenzione, le quali mirano a ridurre la probabilità di innesco e propagazione di un incendio, includono ad esempio la scelta dei materiali, la corretta progettazione degli impianti elettrici, la formazione e sensibilizzazione del personale e la manutenzione periodica.

La scelta dei materiali gioca un ruolo fondamentale, infatti, il progettista è chiamato a scegliere quelli a bassa combustibilità e ignifughi, basandosi anche sulle prove in piccola o media scala e in larga scala, in modo tale da avere una conoscenza più approfondita del comportamento del materiale. Anche la progettazione degli impianti elettrici richiede una certa attenzione, in quanto, potrebbero essere causa di innesco o propagazione di un incendio, quindi, devono essere progettati in modo da evitare cortocircuiti e surriscaldamenti. La formazione del personale e degli utenti è importante sia per prevenire comportamenti a rischio e sia per avere una chiara consapevolezza di come comportarsi in caso di emergenza. Inoltre, le facciate devono essere anche sottoposte a controlli e manutenzioni periodiche, per assicurarsi che il sistema mantenga le caratteristiche originarie e non diventino causa di incendio o propagazione delle fiamme.

Per la protezione passiva è fondamentale inserire le barriere tagliafuoco, seguendo la RTV.13, che imposta delle interruzioni nei materiali combustibili per ridurre la diffusione delle fiamme. È importante anche l'utilizzo di vetri resistenti al fuoco per ridurre il rischio di ingresso o fuoriuscita delle fiamme dall'interno all'esterno dell'edificio e viceversa.

Così come la protezione passiva, anche quella attiva è importante da considerare. L'introduzione, ad esempio, di sistemi di rivelazione e allarme, di sprinkler e sistemi di spegnimento automatico e di impianti di evacuazione dei fumi sono elementi essenziali per limitare il più possibile i rischi dell'incendio.

In tutto questo, le strategie di sicurezza antincendio devono essere integrate con gli obiettivi di efficienza energetica degli edifici. Nella progettazione moderna, questa sinergia diventa un elemento chiave, con l'obiettivo di garantire elevate prestazioni termiche senza compromettere la resistenza al fuoco delle facciate.

Ad esempio nell'utilizzo di materiali isolanti ad alta efficienza energetica, che migliorano notevolmente le prestazioni termiche degli edifici, possono sollevare preoccupazioni in termini di rischio di propagazione dell'incendio lungo la facciata. In tal caso, per garantire un equilibrio tra i due aspetti, le normative internazionali hanno introdotto requisiti più stringenti per i materiali da costruzione. In particolare, la reazione al fuoco dei materiali isolanti è un punto chiave che deve essere rispettato. In questo caso sono fondamentali per le facciate anche i test su larga scala, in quanto, grazie ad essi, si determina la propagazione verticale dell'incendio in condizioni reali.

Anche la scelta dei materiali di rivestimento svolge un compito fondamentale, basti pensare all'incendio della Grenfell Tower in cui materiali come l'alluminio composito con all'interno polietilene si è rivelato altamente problematico. Ci sono infatti altri materiali che offrono prestazioni migliori di resistenza al fuoco senza compromettere l'isolamento termico.

In conclusione, la sinergia tra la sicurezza antincendio e l'efficientamento energetico deve basarsi su un approccio integrato che coinvolga la scelta dei materiali, le tecnologie e le normative aggiornate, con lo scopo di progettare edifici sicuri e sostenibili. Questo stesso approccio va utilizzato anche solamente per le misure antincendio, in quanto, una corretta valutazione fa in modo che l'edificio sia sicuro.

8. Applicazione e valutazione pratica di fenomeni e parametri evidenziati in letteratura per incendi di facciata

8.1 Introduzione all'importanza della modellazione numerica degli incendi di facciata tramite la FSE

Per l'analisi degli incendi di facciata la Fire Safety Engineering (FSE) risulta essere uno strumento fondamentale per comprendere in modo più dettagliato il comportamento del fuoco. Uno degli elementi più importanti dell'FSE è la simulazione numerica che permette di modellare lo sviluppo dell'incendio in modo dettagliato e realistico. Le simulazioni descrivono la propagazione del fumo, del calore e delle fiamme in funzione del tempo e tengono conto di variabili come ad esempio le proprietà termiche dei materiali, le condizioni di ventilazione e la geometria dell'edificio.

Ci sono due diversi modelli numerici:

- Modelli di zona: dividono l'ambiente tendenzialmente in due volumi omogenei: uno strato superiore caldo dove si accumulano i gas caldi e i prodotti della combustione e uno strato inferiore freddo dove rimane l'aria più fredda e pulita. Sono modelli più semplici e veloci di quelli di campo, ma non considerano nel dettaglio la dinamica dei fluidi e approssimano il comportamento del fumo e calore.
- Modelli di campo (o CFD – Computational Fluid Dynamics models): suddividono l'ambiente in una griglia tridimensionale di celle (mesh), in cui vengono risolte le equazioni di Navier-Stokes all'interno di ciascuna di esse. Maggiore è il numero di elementi, più dettagliata sarà la soluzione. Questi modelli consentono di studiare geometrie diverse e più complesse di quelle previste dai modelli a zone. A differenza dei precedenti però, richiedono tempi di calcolo più lunghi e conoscenze avanzate per l'interpretazione dei risultati.

Il caso che verrà analizzato successivamente utilizza modelli di campo, il quale consente di ottenere informazioni più dettagliate sulla velocità di propagazione delle fiamme, sulla

temperatura dei gas caldi, sulla formazione dei fumi, in modo tale da valutare il rischio di incendio con un elevato grado di accuratezza.

In questo caso il software utilizzato per le modellazioni è Pyrosim, basato su Fire Dynamics Simulator (FDS), un codice di fluidodinamica computazionale (CFD). Il software permette agli utenti di costruire modelli tridimensionali di edifici, definire le proprietà dei materiali e impostare le condizioni di incendio, come la posizione dei focolai, la ventilazione e l'interazione con i sistemi di protezione attiva e passiva.

Pyrosim consente di studiare il comportamento termico e fluidodinamico di un incendio, tenendo in considerazione la propagazione del fuoco, il movimento dei fumi, l'accumulo di calore e gli effetti della ventilazione. Essendo in grado di simulare scenari realistici, questo strumento viene ampiamente utilizzato per valutare il rischio in edifici esistenti o di nuova costruzione.

Il seguente capitolo ha come scopo quello di valutare il comportamento delle facciate in caso di incendio, per questo motivo sono state effettuate delle simulazioni di esempio per analizzare più nel dettaglio gli elementi che sono stati spiegati nei vari capitoli precedenti.

8.2 Limiti e potenzialità della modellazione CFD nell'analisi degli incendi di facciata

È importante tenere in considerazione il fatto che, ad oggi, non tutti i fenomeni che caratterizzano il comportamento al fuoco di una chiusura d'ambito e che possono condizionare l'andamento di un incendio, sono modellabili con sufficiente efficacia e affidabilità. Questi fenomeni vanno tenuti in considerazione durante la progettazione delle chiusure d'ambito, facendo attenzione ai sistemi costruttivi, ai nodi, alle zone critiche anche se non è possibile avere risultati dalle modellazioni CFD.

La tabella sottostante definisce un elenco di fenomeni che possono essere o meno analizzati in funzione delle potenzialità e dei limiti dei software di modellazione fluidodinamica e degli ambiti di indagine di ricerca.

Le seguenti valutazioni nelle due tabelle successive sono state effettuate da un progetto di ricerca chiamato “La sicurezza antincendio dell'involucro degli edifici: verifiche e analisi CFD con i metodi della Fire Safety Engineering” iniziato nel 2022 presso il

dipartimento DISEG del Politecnico di Torino con il cofinanziamento di AI Engineering di Torino. La ricerca ha lo scopo di definire e consolidare un metodo di lavoro basato sullo sviluppo di modellazioni numeriche, al fine di sviluppare strumenti e protocolli di supporto alle valutazioni degli incendi di facciata.

Considerando quanto appena detto, l'elenco della Tabella, in figura 94 sottostante, rappresenta un punto di partenza, aggiornabile in funzione del progresso informatico ed ingegneristico. È stato valutato che non si ritiene indispensabile né possibile, agli scopi della ricerca e delle sue future applicazioni pratiche, ricostruire fedelmente tutti i parametri misurabili, ma è preferibile concentrarsi su quelli ricostruibili con sufficiente affidabilità.

FENOMENI MODELLABILI	FENOMENI NON MODELLABILI
Innesco di singoli materiali	Deformazione degli elementi costruttivi
Innesco di elementi combustibili secondari	Cedimento degli elementi costruttivi di sostegno (es. cedimento della sottostruttura portante di un rivestimento esterno)
Estensione della zona interessata dalle fiamme	Cedimento di elementi di tamponamento o rivestimento (es. distacco di porzioni di rivestimento o di isolante)
Altezza delle fiamme	Formazione di intercapedini e varchi inizialmente non presenti (fenomeno parzialmente ricostruibile artificialmente)
Eliminazione di porzioni di elementi costruttivi dal dominio computazionale quando completamente consumati dal fuoco	Generazione di oggetti/frammenti volatili in grado di innescare elementi vicini (es. vetture nelle vicinanze innescate da parti di pannello ACP trasportate dal vento)
Produzione di fumo e di specie tossiche	
Effetti termici sugli elementi costruttivi (temperatura e irraggiamento)	
Rottura di porzioni vetrate, creazione di varchi e conseguente attraversamento di fiamme, gas e fumi	
Effetto del vento (anche variabile nel tempo, come nel caso della Torre dei Moro)	
Effetto della differenza di pressione con la quota	
Effetto delle operazioni dei V.V.F. (es. con idranti, estintori o altro)	

Figura 94 - Primo elenco dei fenomeni modellabili e non modellabili (M. Bonfatti, Gennaio 2024)

La tabella in Figura 95 tenta di sintetizzare quanto riscontrato finora dai primi confronti sui parametri di interesse, valutati sia con la sperimentazione che con le analisi numeriche CFD. In sintesi, i tentativi esplorativi condotti finora hanno messo in luce le difficoltà nella determinazione accurata dei parametri calorimetrici e del rilascio di calore associati a un incendio di facciata. La ripetibilità delle prove sperimentali, soprattutto su larga

scala, risulta influenzata da fattori non sempre completamente controllabili. Ciò è dovuto sia alla complessità del fenomeno e alla sua naturale variabilità, sia alla limitata disponibilità dei dati reali e alle difficoltà nell'eseguire test secondo protocolli condivisi. Allo stesso tempo la simulazione numerica deve integrare questi parametri per una corretta impostazione dei dati di input, al fine di garantire output accurati e realistici. Una volta ottenuti questi risultati parziali, l'obiettivo è riscontrare un certo grado di sovrapposibilità tra i dati reali e quelli simulati. Questo permetterebbe di considerare raggiunto il primo obiettivo, dimostrando l'affidabilità delle simulazioni come supporto o possibile alternativa alle costose prove su larga scala, sia in termini economici che logistici e temporali.

		RISCONTRO CON SPERIMENTAZIONE	RISCONTRO CON SIMULAZIONE
FENOMENI / EFFETTI / PARAMETRI EVIDENZIATI IN LETTERATURA PER INCENDI IN FACCIATA PRINCIPALI UTILI PER LA VALIDAZIONE DEL MODELLO E LA RIPETIBILITÀ / ESTENDIBILITÀ DEI RISULTATI	Innesco di singoli materiali	SI Analisi visiva e strumentale (termocoppie): le acquisizioni foto/video sono confrontate con le temperature raggiunte e con quelle di innesco dei materiali interessati dalle fiamme; si registrano i tempi necessari all'ignizione Grado di accuratezza: medio	SI Analisi visiva e strumentale (sensori): i dati sperimentali sono confrontati con gli output grafici, con le temperature raggiunte dai sensori e con quelle di innesco dei materiali interessati dalle fiamme; si valutano i tempi necessari all'ignizione Grado di accuratezza: medio
	Innesco di elementi combustibili secondari	SI Analisi visiva e strumentale (termocoppie): le acquisizioni foto/video sono confrontate con le temperature raggiunte e con quelle di innesco dei materiali distanti dalla sorgente, coinvolti per irraggiamento o per frammenti volatili incendiati; si registrano i tempi necessari all'ignizione Grado di accuratezza: basso	NO Corrisponde all'innesco dei singoli materiali ma le analisi risultano più complesse per l'impossibilità di modellare inneschi secondari da frammenti volatili incendiati e per la conseguente sovrapposizione incerta dello stato del campione post simulazione con quello reale Grado di accuratezza: basso
	Estensione della zona interessata dalle fiamme	SI Analisi visiva delle fiamme durante la prova (foto/video) e dell'area carbonizzata post prova (in sito); ispezione di zone difficilmente raggiungibili a seguito dello smontaggio del campione Grado di accuratezza: medio	SI Analisi visiva e strumentale (sensori): i dati sperimentali sono confrontati con gli output grafici e con le temperature raggiunte dai sensori Grado di accuratezza: medio
	Altezza delle fiamme	SI Analisi visiva e strumentale (foto/video e asta centimetrata) della quota raggiunta dalle fiamme Grado di accuratezza: alto	SI Analisi visiva e strumentale (sensori): i dati sperimentali sono confrontati con gli output grafici e con le temperature raggiunte dai sensori Grado di accuratezza: medio
	Effetti termici sugli elementi costruttivi (temperatura e irraggiamento)	SI Analisi visiva e strumentale (termocoppie): esame delle temperature raggiunte sulla facciata, in intercapedine e a distanza dal campione e ispezione degli elementi coinvolti nell'incendio per riscontrare distorsioni, distacchi, cedimenti... Grado di accuratezza: medio	SI Analisi visiva e strumentale (sensori): esame delle temperature raggiunte sulla facciata, in intercapedine e a distanza dal campione e degli output grafici Grado di accuratezza: medio
	Mappatura termica del campione	SI Analisi strumentale (termocoppie) ed elaborazione di grafici/diagrammi di sintesi Grado di accuratezza: medio	SI Analisi visiva e strumentale (sensori): esame delle temperature raggiunte sulla facciata, in intercapedine e a distanza dal campione e degli output grafici anche con mappatura termocromatica della facciata ed elaborazione di grafici/diagrammi di sintesi Grado di accuratezza: medio
	Formazione di intercapedini e varchi inizialmente non presenti	SI Analisi visiva delle fiamme durante la prova (foto/video) e dell'area carbonizzata post prova (in sito); ispezione di zone difficilmente raggiungibili a seguito dello smontaggio del campione con attenzione alla scoperta di spazi vuoti inizialmente non presenti Grado di accuratezza: medio	SI Analisi degli output grafici con indagine delle porzioni di facciata con celle eliminate dal dominio computazionale quando completamente consumate dal fuoco (corrisponde alla formazione di intercapedini e varchi); sovrapposizione incerta dello stato del campione post simulazione con quello reale Grado di accuratezza: medio
	Effetto del vento	SI Analisi visiva del campione durante la prova (foto/video) per indagare gli effetti del vento e delle correnti generati dalle fiamme sullo sviluppo e propagazione dell'incendio (per rapidità ed estensione) Grado di accuratezza: basso	NO Riscontrabile ma non valutato nel dettaglio in sede di ricerca Grado di accuratezza: medio

Figura 95 - Confronto tra parametri di interesse e riscontri sperimentazione - simulazione (M. Bonfatti, Gennaio 2024)

		RISCONTRO CON SPERIMENTAZIONE	RISCONTRO CON SIMULAZIONE
FENOMENI / EFFETTI / PARAMETRI EVIDENZIATI IN LETTERATURA PER INCENDI IN FACCIAIA SECONDARI POCO INFLUENTI SULLE ANALISI CFD O DIFFICILMENTE RICOSTRUIBILI CON EFFICACIA	Eliminazione di porzioni di elementi costruttivi dal dominio computazionale quando completamente consumati dal fuoco	NO Corrisponde all'estensione della zona interessata dalle fiamme ma la sovrapposizione con l'andamento simulato è incerta Grado di accuratezza: basso	SI Sovrapposizione incerta dello stato del campione post simulazione con quello reale Grado di accuratezza: basso
	Produzione di fumo e di specie tossiche	SI Analisi visiva del fumo prodotto dalla combustione (foto/video); nessuna indagine sulla produzione di specie tossiche Grado di accuratezza: basso	SI Analisi visiva e numerica della produzione di fumo e specie tossiche ma non valutata nel dettaglio in sede di ricerca Grado di accuratezza: medio
	Rottura di porzioni vetrate, creazione di varchi e conseguente attraversamento di fiamme, gas e fumi	NO Riscontrabile con analisi visive ma non valutato in sede di ricerca Grado di accuratezza: basso	NO Riscontrabile ma non valutato in sede di ricerca Grado di accuratezza: basso
	Effetto della differenza di pressione con la quota	NO Riscontrabile con analisi strumentali ma non valutato in sede di ricerca Grado di accuratezza: basso	NO Riscontrabile ma non valutato in sede di ricerca Grado di accuratezza: basso
	Effetto delle operazioni dei V.V.F.	SI Analisi visiva delle operazioni dei V.V.F. a conclusione della prova Grado di accuratezza: medio	NO Riscontrabile ma non valutato in sede di ricerca Grado di accuratezza: medio
	Deformazione degli elementi costruttivi	SI Analisi visiva del campione durante la prova (foto/video) e dell'area carbonizzata post prova (in sito) Grado di accuratezza: basso	NO Non riscontrabile Grado di accuratezza: basso
	Cedimento degli elementi costruttivi di sostegno	SI Analisi visiva del campione durante la prova (foto/video) e dell'area carbonizzata post prova (in sito); ispezione di zone difficilmente raggiungibili a seguito dello smontaggio del campione Grado di accuratezza: basso	NO Riscontro complesso e sovrapposizione incerta dello stato del campione post simulazione con quello reale Grado di accuratezza: basso
	Cedimento di elementi di tamponamento o rivestimento	SI Analisi visiva del campione durante la prova (foto/video) e dell'area carbonizzata post prova (in sito) Grado di accuratezza: basso	SI Riscontro complesso e sovrapposizione incerta dello stato del campione post simulazione con quello reale Grado di accuratezza: basso
	Generazione di oggetti/ frammenti volatili in grado di innescare elementi vicini	SI Analisi visiva del campione durante la prova (foto/video) e dell'area carbonizzata post prova (con foto/video e in sito); ispezione accurata di zone lontane da quelle interessate dalle fiamme alla ricerca di inneschi secondari Grado di accuratezza: basso	NO Non riscontrabile Grado di accuratezza: basso

Figura 96 – Confronto tra parametri di interesse e riscontri sperimentazione - simulazione (M. Bonfatti, Gennaio 2024)

8.3 Esempio di applicazione della modellazione degli incendi di facciata

Alla luce delle considerazioni esposte nei capitoli precedenti, è importante verificare l'efficacia della modellazione CFD attraverso un caso pratico. Di seguito viene proposto un esempio di simulazione realizzato con Pyrosim, in questo modo è possibile dimostrare come la modellazione numerica possa supportare la progettazione in sicurezza, evidenziando anche le possibili criticità.

L'analisi riguarda un condominio dotato di sistema a cappotto combustibile. Sono state effettuate cinque diverse simulazioni in modo tale da esaminare vari aspetti della propagazione dell'incendio. Le simulazioni differiscono tra loro per le posizioni dei focolai e per le potenze termiche, dando origine a varie evoluzioni delle curve RHR. Questo permette di valutare l'evoluzione delle fiamme nell'edificio in scenari diversi.

L'obiettivo di queste simulazioni è quello di analizzare la propagazione verticale e orizzontale dell'incendio lungo le facciate, l'efficacia delle fasce di separazione nel limitare la propagazione, l'impatto della posizione e della potenza termica del focolaio e il comportamento dei materiali del cappotto.

Il presente condominio è costituito da :

- Facciata semplice con rivestimento a cappotto combustibile in stiferite 5 cm
- Fasce di separazione in calcestruzzo in corrispondenza dei balconi che coprono gli spazi vuoti

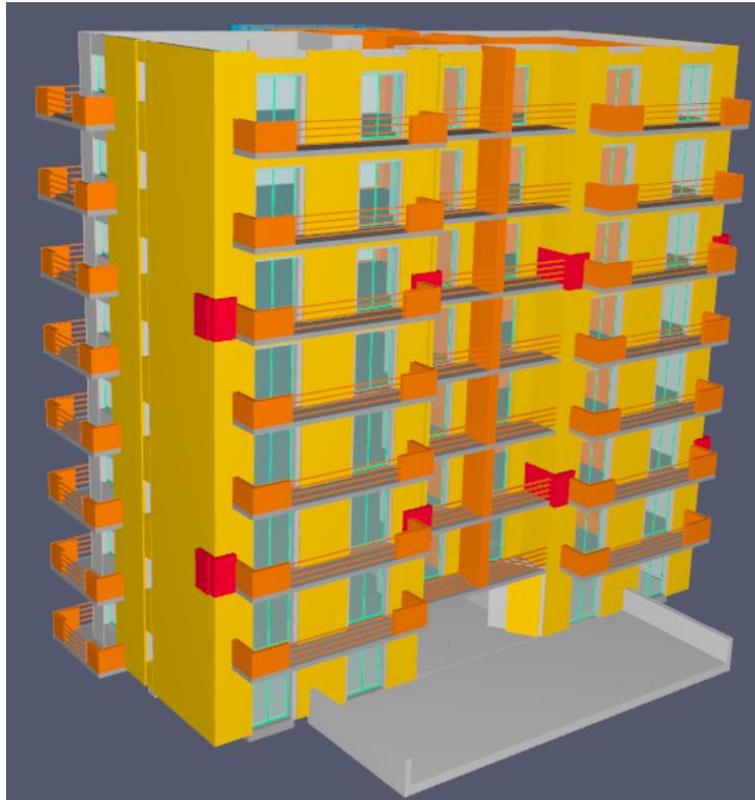


Figura 97 – Edificio in analisi

È importante sottolineare che, le fasce di separazione aggiunte per limitare ulteriormente la propagazione delle fiamme, sono state inserite in maniera dettagliata, come illustrato nell'immagine 98 sottostante, è importante che il materiale incombustibile copra non solo la parte esterna che collega i due balconi, ma che arrivi fino alla facciata della finestra per garantire la protezione, in tal modo gli spazi vuoti vengono coperti totalmente.

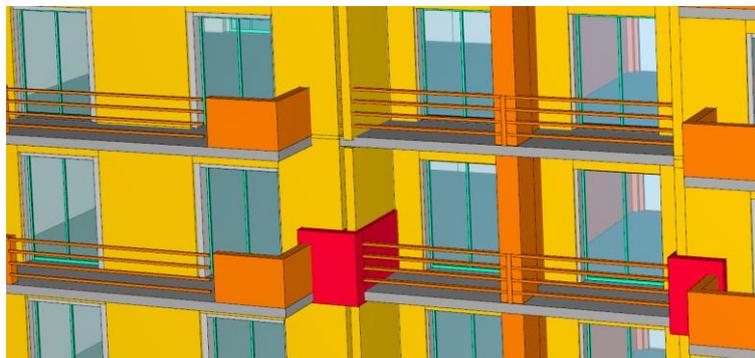


Figura 98 - Dettaglio fascia di separazione

Le mesh inserite nel software sono da 0,25m, i vetri sono impostati per rompersi dopo 30 secondi e, in questo modo, è come se la rottura dei vetri venisse trascurata e si verificasse

il caso più svantaggioso. I devices inseriti in Pyrosim sono di temperatura e irraggiamento, i quali variano di posizione in base a quella del focolaio.

Gli scenari che vengono analizzati di seguito sono i seguenti:.

SCENARI	POSIZIONE FOCOLAIO	RHR max	Indoor / Outdoor
1	PT + P1	3 MW	I
2	PT + P1	5 MW	I
3	PT	8 MW	I
4	PT	8 MW	I
5	PT	8 MW	O

In particolare, tra gli scenari 3 e 4 una differenza importante da tenere in considerazione è che nel terzo scenario sono presenti le fasce di separazione, mentre nel quarto no.

- **SCENARIO 1**

Sono stati posizionati due focolai in due posizioni differenti: uno a piano terra e uno al primo piano, in modo sfalzato in modo tale da non influenzarsi l'uno con l'altro. I focolai hanno entrambi solo la faccia superiore che brucia, di potenza termica di 3 MW.



Figura 99 - Posizione focolai

Risultati scenario 1

È stata effettuata un'analisi dei risultati grazie ai file di output generati dal software. In particolare ci si concentra sulla variazione delle temperature in facciata in funzione del tempo.

Dai file di output è possibile analizzare in Smokeview il burning rate (tasso di combustione), che permette di osservare l'andamento temporale della combustione. La variazione di temperatura viene visualizzata tramite la barra dei colori situata a destra della schermata. I colori variano dal blu (bassa intensità di combustione o assenza di calore) al rosso (alta intensità di combustione e rilascio di calore).

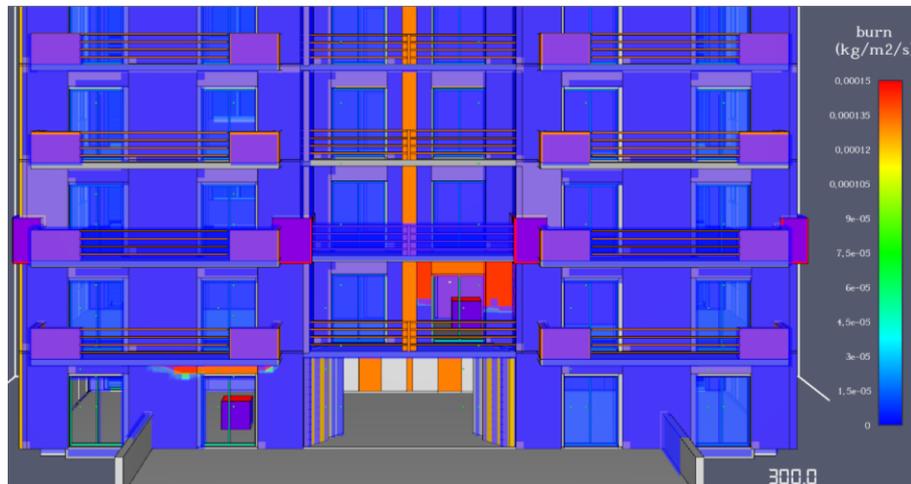


Figura 100 - Burning rate a 300s

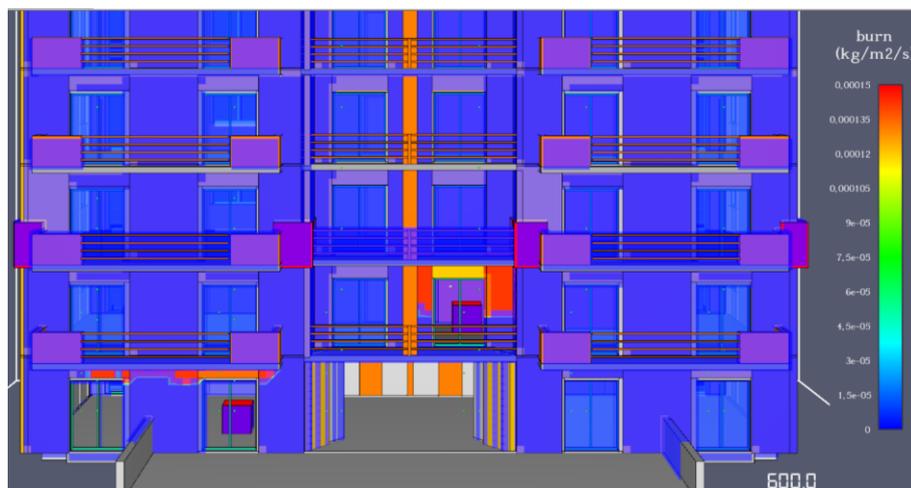


Figura 101 - Burning rate a 600s

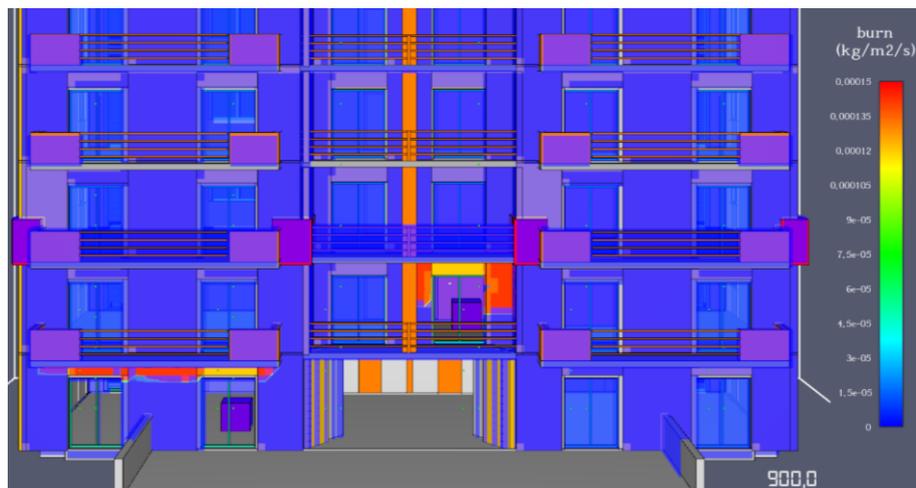


Figura 102 - Burning rate a 900s

Le tre immagini precedenti rappresentano il tasso di combustione a tre differenti tempi: 300s, 600s e 900s.

È evidente che parte del cappotto subito sopra e ai lati della finestra del focolaio a destra, al primo piano, inizia a bruciare molto più rapidamente rispetto a quello situato nei pressi del focolaio al piano terra già dopo 300 secondi. Nei secondi successivi, la combustione nello scenario del primo piano rimane circoscritta alla stessa area, estendendosi anche alla parete ad angolo. Sul lato sinistro invece, il fuoco si propaga orizzontalmente, ma resta limitato al di sotto del balcone.

Questo comportamento può essere spiegato considerando la presenza di balconi e rientranze nella geometria dell'edificio, come spiegato al capitolo 4. Il balcone presente sulla facciata sinistra dell'edificio agisce da fascia di separazione, limitando la propagazione verticale del fuoco verso i piani superiori e favorendo una propagazione orizzontale lungo la parete. Questa sporgenza riduce così il rischio di un'estensione rapida dell'incendio verso l'alto.

Il focolaio di destra invece, si trova in prossimità di una rientranza della facciata, che crea un effetto confinante per il calore e i gas di combustione. Come evidenziato al capitolo 4, qui si ha la conferma che questa conformazione architettonica favorisce l'accumulo di energia termica in uno spazio ristretto, aumentando la temperatura locale e accelerando l'ignizione del materiale isolante per quell'area. La rientranza impedisce la dispersione

del calore, in questo modo si mantengono elevate le condizioni favorevoli alla combustione.

Da questo scenario quindi si evidenzia come le caratteristiche geometriche dell'edificio influenzano significativamente la dinamica della propagazione dell'incendio, determinando zone di maggiore o minore vulnerabilità a seconda se sono capaci di trattenere o disperdere il calore della combustione.

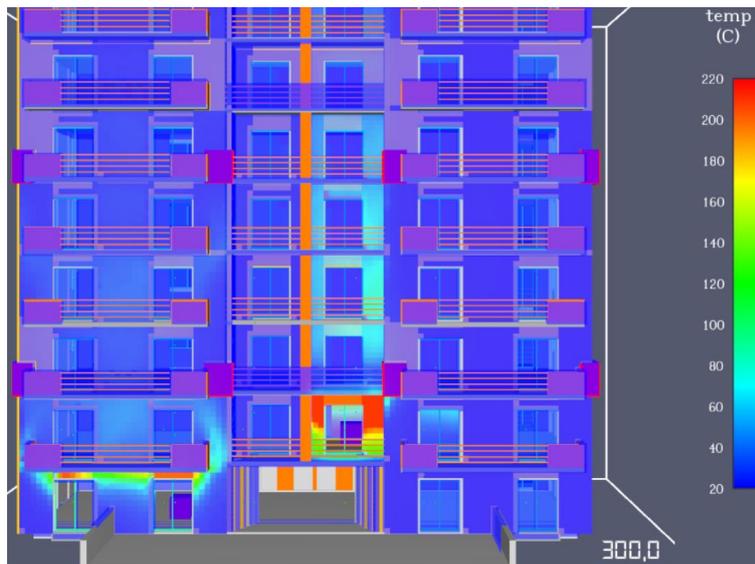


Figura 103 – Wall temperature a 300s

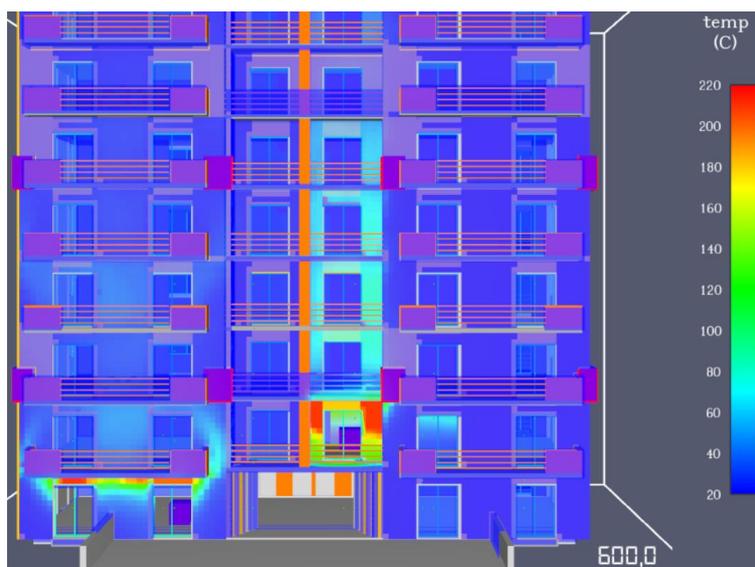


Figura 104 - Wall temperature a 600s

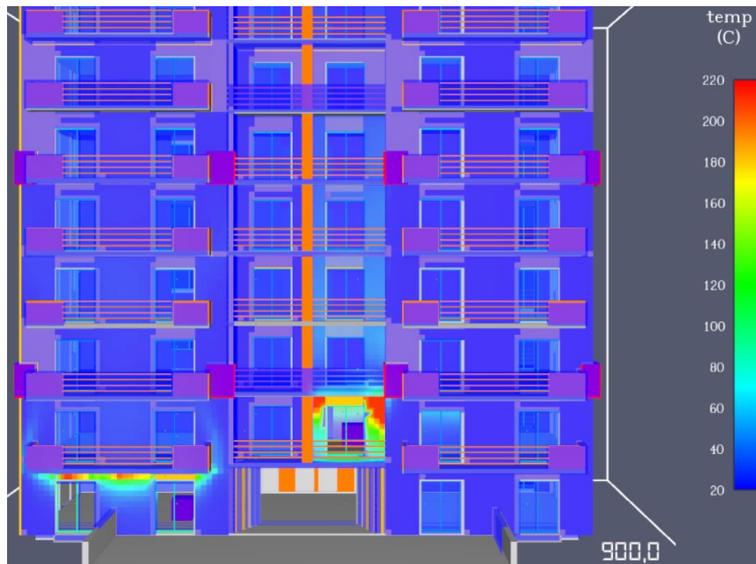


Figura 105 - Wall temperature a 900s

Le tre immagini precedenti mostrano la distribuzione della temperatura in facciata in tre differenti momenti: a 300s, a 600s e 900s, con una scala cromatica che varia da 20°C a circa 220°C.

Dalla simulazione emerge che nei 900s la temperatura massima rilevata è inferiore alla soglia di ignizione del materiale, infatti, la stiferite ha una temperatura di ignizione di 240°C, mentre la scala della temperatura sulla destra indica un massimo di 220°C. Tuttavia questo significa che la stiferite in questo caso non dovrebbe aver preso fuoco spontaneamente, perché non ha raggiunto la temperatura necessaria per l'ignizione, ma potrebbe comunque essere danneggiata o degradata.

In particolare si nota che nel focolaio a sinistra a piano terra, le temperature sono notevolmente inferiori ai 240°C, anche nel focolaio di destra al primo piano la temperatura massima non supera i 220°C, ma è evidente che c'è un'elevata concentrazione di calore sopra la finestra dato dalle questioni geometriche spiegate prima.

Quindi si può dedurre che la stiferite sembra che non abbia raggiunto l'ignizione, ma è vicina alla soglia critica, questo significa che l'incendio potrebbe propagarsi a causa di altri fattori.

In conclusione, l'analisi dello scenario evidenzia come la propagazione dell'incendio sia fortemente influenzata sia dalla posizione del focolaio, sia dalle caratteristiche

architettoniche dell'edificio. In questo caso la potenza termica di 3 MW per ciascun focolaio ha generato un riscaldamento significativo delle superfici circostanti, ma non hanno superato mai i 220°C, rimanendo quindi sotto la soglia di ignizione della stiferite, di 240°C. Questi risultati sottolineano l'importanza di considerare non solo la potenza del focolaio, ma anche la geometria dell'edificio e le proprietà dei materiali per avere una valutazione più precisa della propagazione dell'incendio.

- SCENARIO 2

Questa simulazione è stata effettuata per analizzare più nel dettaglio gli effetti, con lo scopo di trovare soluzioni più accurate. Infatti, la struttura e la posizione dei focolai è la stessa, ma in questi modelli è presente solo una parte dell'edificio; in questo modo è possibile eseguire più simulazioni in maniera più rapida ed efficiente, ottenendo risultati in tempi ridotti e con maggiore dettaglio.



Figura 106 – Edificio scenario 2

A differenza della simulazione precedente, qui i due focolai hanno la faccia superiore che brucia, ma di potenza termica di 5MW. In questo modo è possibile analizzare il comportamento dell'edificio con un incendio più intenso del caso precedente, che genera temperature più elevate. Questo permette di valutare come varia il comportamento dell'incendio, l'efficacia delle misure di sicurezza e la propagazione delle fiamme, con lo scopo di avere un quadro più completo per la progettazione e prevenzione antincendio.

Risultati scenario 2

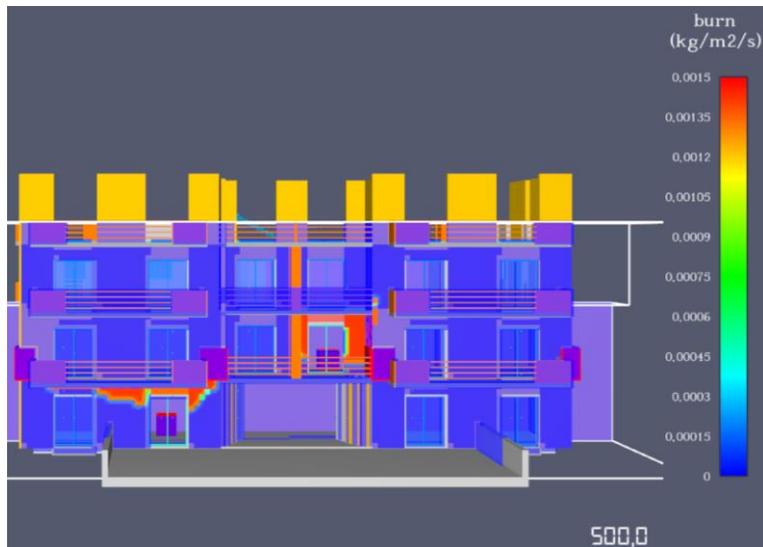


Figura 107 – Burning rate a 500s scenario 2

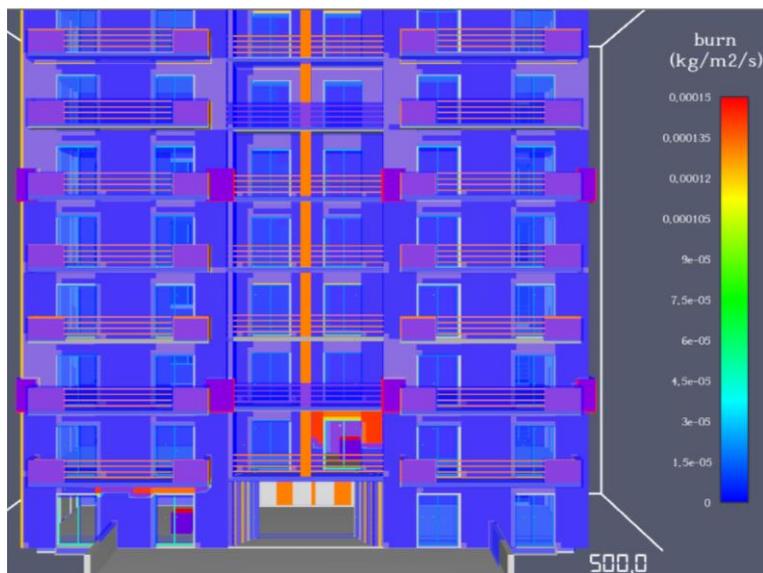


Figura 108 - Burning rate a 500s scenario 1

In questo caso vengono confrontati i risultati del burning rate tra lo scenario 1 e lo scenario 2 allo stesso tempo, 500s. Entrambe le immagini rappresentano il tasso di combustione con una scala cromatica da blu (valori bassi), a rosso (valori alti).

La prima immagine (Scenario 2) mostra un'intensità maggiore del burning rate rispetto alla seconda (Scenario 1), in quanto l'area di colore rosso/arancione è più estesa. Questo

significa che una maggiore potenza termica del focolaio genera una combustione più attiva e quindi una propagazione del fuoco più intensa.

Si deduce che la propagazione del fuoco è più rapida e intensa nel caso del focolaio con potenza termica di 5MW, in cui viene coinvolta una porzione maggiore dell'edificio, quindi un maggiore rischio di propagazione dell'incendio e possibili danno più seri.

Lo scopo di questo confronto tra i due scenari è quello di evidenziare come la variazione dell'RHR max influenzi il burning rate e la propagazione dell'incendio, in modo da offrire dati utili per la valutazione del rischio e l'ottimizzazione delle strategie di sicurezza antincendio.

- **SCENARIO 3**

A differenza dei due casi precedenti, qui il focolaio viene posizionato in un'altra stanza, più esterna, ma sempre a piano terra, come indicato nella figura 109. In questo caso la faccia superiore del focolaio che brucia ha una potenza di 8 MW, quindi ancora più potente dei casi precedenti.

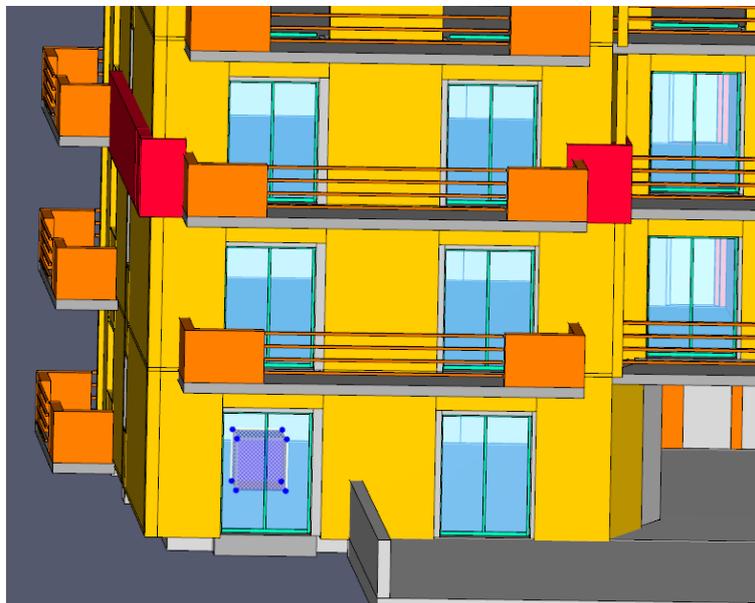


Figura 109 - Posizione focolaio scenario 3

- **SCENARIO 4**

Questa simulazione si differisce dalla precedente per il fatto che l'edificio viene simulato senza fasce di separazione. Questo permette di avere il confronto tra due scenari simili, e di analizzare quanto influisce la presenza delle barriere antifluoco.

Risultati scenari 3 e 4

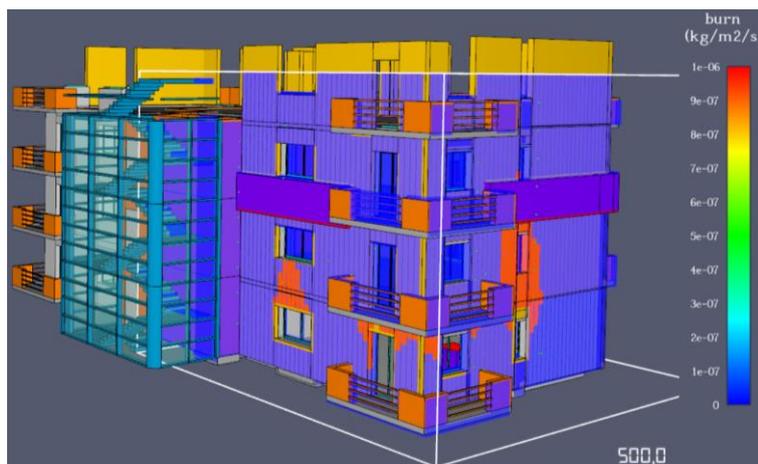


Figura 110 – Burning rate a 500s scenario 3

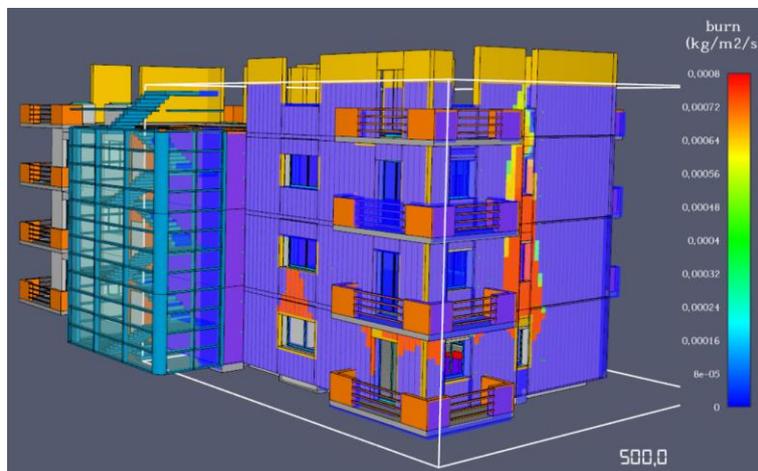


Figura 111 – Burning rate a 500s scenario 4

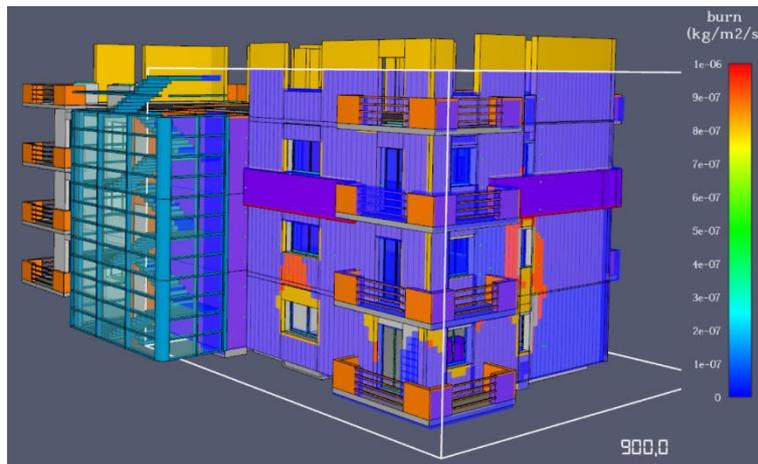


Figura 112 – Burning rate a 900s scenario 3

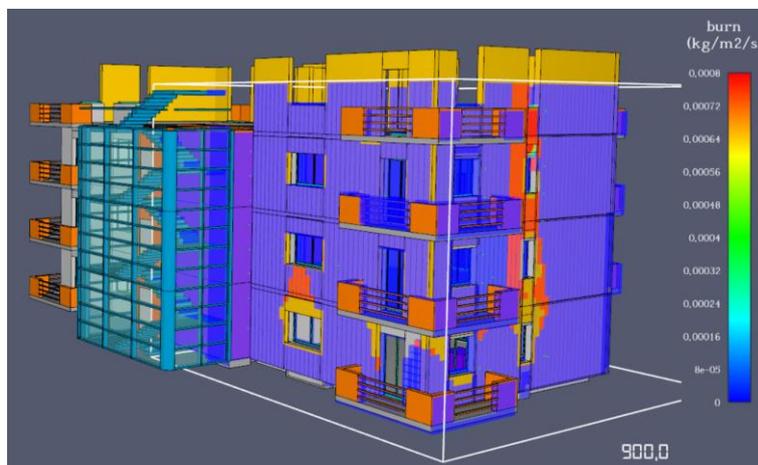


Figura 113 – Burning rate a 900s scenario 4

Gli scenari 3 e 4 vengono analizzati in parallelo in modo tale da valutare l'efficacia della presenza delle fasce di separazione.

Le immagini precedenti 110-111, 112-113 illustrano le due situazioni a due tempi diversi del burning rate. La prima cosa che salta all'occhio come differenza tra i due differenti scenari è la scala di combustione. Infatti, il valore massimo misurato dallo scenario 3 è $1e-06 \text{ kg/m}^2/\text{s}$, mentre l'altro è $0,0008 \text{ kg/m}^2/\text{s}$, che corrisponde a $8e-04 \text{ kg/m}^2/\text{s}$. Questo significa che la combustione è molto più intensa nello scenario 4 e può essere dimostrato anche visivamente, in quanto zone in rosso e arancione sono più estese e con valori più elevati, mentre nell'altro caso la combustione sembra più contenuta, con una distribuzione meno intensa e più limitata.

È importante notare che l'analisi dimostra che la fascia di separazione è efficace nel contenere la propagazione dell'incendio, riducendo l'intensità della combustione e limitando il coinvolgimento delle facciate. Il burning rate con la fascia di separazione risulta più basso, mentre senza risulta più alto. Da questa analisi si ha la conferma che le fasce antifiamma migliorano la protezione antincendio dell'edificio, perché come dimostrato da queste immagini appena descritte, senza protezione la combustione raggiungerebbe la copertura.

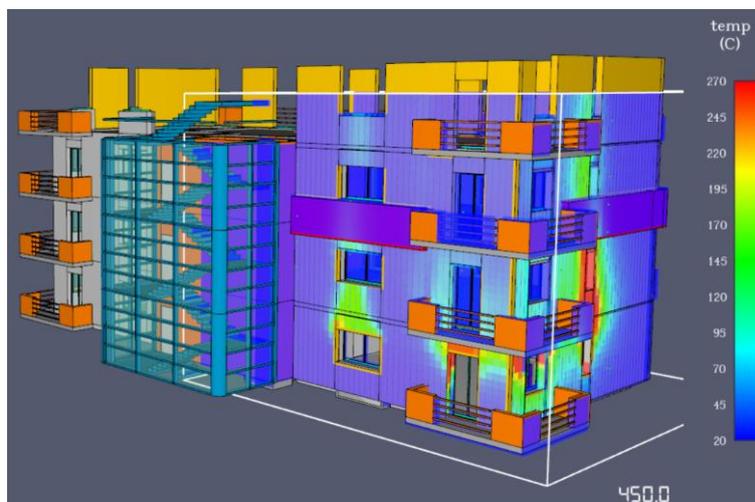


Figura 114 - Wall temperature a 450s scenario 3

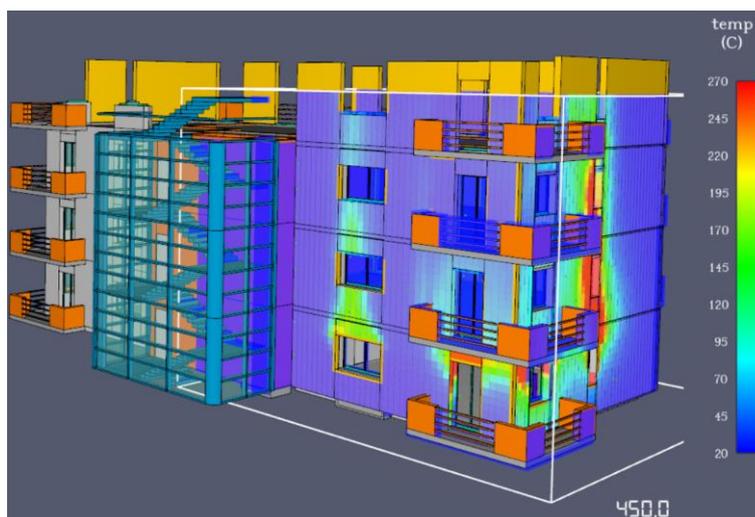


Figura 115 - Wall temperature a 450s scenario 4

Le due immagini 114 e 115 rappresentano la temperatura superficiale delle pareti (wall temperature) e, la scala cromatica va da un minimo di 20°C ad un massimo di 270°C,

quindi la temperatura massima è più elevata rispetto a quella misurata dallo scenario 1, questo perché i focolai hanno potenze termiche differenti.

In entrambi gli scenari 3 e 4 le temperature più elevate si concentrano appena sopra le finestre e sotto i balconi, nella sezione dell'edificio in cui non sono presenti sporgenze, le alte temperature proseguono a tutta altezza, mentre dall'altro lato dell'edificio sono limitate dai balconi.

Nello scenario 3 grazie alla fascia di separazione, la propagazione verticale del calore è limitata, infatti le temperature più alte rimangono confinate al di sotto di essa. Al contrario dello scenario 4 invece, in cui si nota un aumento di propagazione della temperatura verso l'alto; il calore si diffonde più facilmente interessando una porzione di facciata molto più ampia. Il fatto che nel secondo scenario ci siano più aree critiche che arrivano anche a 270°C significa che il sistema di isolamento termico potrebbe perdere la sua integrità molto più rapidamente, aumentando il rischio di collasso o di ulteriore propagazione dell'incendio, visto che la temperatura di ignizione della stiferite è 240°C.

Anche questa analisi conferma che la fascia di separazione migliora la sicurezza dell'edificio, limitando la propagazione del calore e riducendo il rischio di ignizione del cappotto. In assenza di essa si ha una diffusione molto più rapida dell'incendio e c'è un alto rischio che il cappotto in stiferite superi la temperatura critica di ignizione. Inoltre, la geometria dell'edificio gioca un ruolo fondamentale nella propagazione dell'incendio, se si ha, come in questo caso una facciata continua con un cappotto termicamente vulnerabile, la fiamma e i gas caldi si propagano rapidamente in verticale essendo i pannelli isolanti elementi a tutta altezza (come spiegato al capitolo 4). Al contrario, gli aggetti come i balconi, interrompono il movimento verticale delle fiamme, riducendo la propagazione del calore ai piani superiori.

Quest'analisi è utile per far sì che, in fase di progettazione, si deve tener conto della geometria dell'edificio, che è fondamentale per prevenire incendi di facciata. L'utilizzo di balconi, fasce di separazione o altre tipologie di aggetti è una strategia efficace per ridurre il rischio di propagazione verticale, come dimostrato da queste simulazioni.

- **SCENARIO 5**

In questa ultima simulazione il focolaio è posizionato sul balcone del piano terra, di una potenza di 8 MW, quindi è possibile capire il comportamento dell'incendio anche dall'esterno.

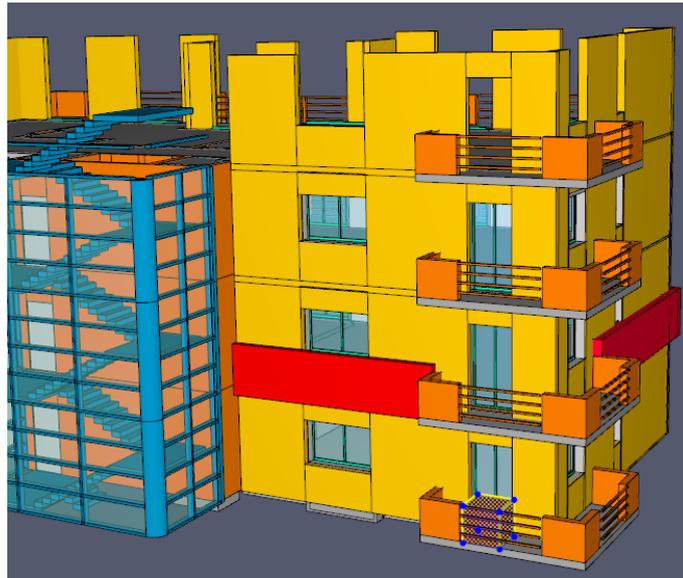


Figura 116 – Posizione focolaio scenario 5

Risultati H1

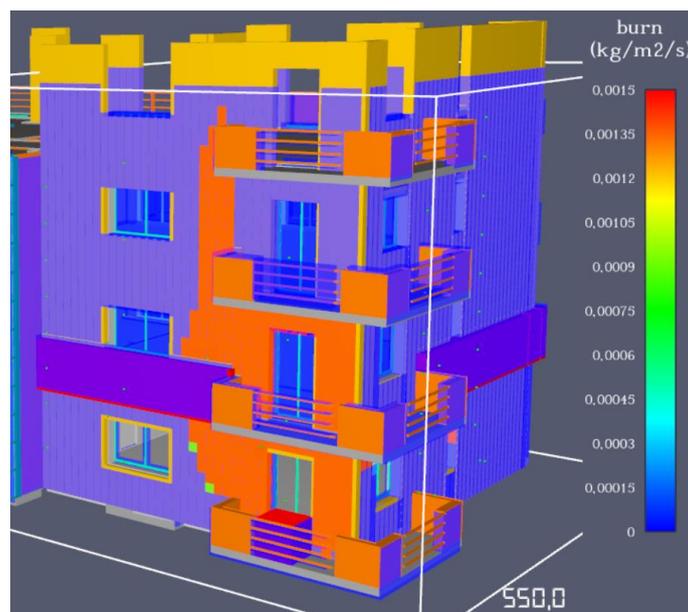


Figura 117 – Burning rate a 550s

In quest'ultima analisi lo scenario è differente, in quanto il focolaio si trova in posizione esterna all'edificio, precisamente sul balcone al primo piano. L'immagine rappresenta il tasso di combustione (burning rate) dell'incendio a 550s, quindi al suo picco massimo.

Da questa immagine è evidente come la propagazione del fuoco sia fortemente influenzata dalla geometria. I balconi svolgono anche qui un ruolo cruciale nel limitare la propagazione verticale del fuoco, riducendo la continuità del materiale combustibile lungo la facciata.

Rispetto agli scenari precedenti, in questo è evidente che l'area coinvolta nella combustione è molto più estesa, in particolare nell'area subito vicina al focolaio e l'area attorno alla finestra del piano superiore.

Un aspetto fondamentale che negli altri scenari non è emerso, è l'effetto dell'angolo retto dell'edificio, il quale limita la propagazione delle fiamme verso l'altra facciata. Come approfondito nel capitolo 4, la discontinuità dell'angolo retto crea una barriera fisica che riduce il trasferimento del calore, eliminando notevolmente l'espansione laterale dell'incendio. Questo dimostra l'importanza delle interruzioni geometriche della struttura, che contribuiscono al contenimento dell'incendio.

8.4 Confronto con risultati esistenti e applicazioni pratiche

I risultati analizzati nel capitolo precedente possono essere confrontati con i dati precedentemente studiati dal team di ricerca "La sicurezza antincendio dell'involucro degli edifici: verifiche e analisi CFD con i metodi della Fire Safety Engineering" citato in precedenza. In particolare, si fa riferimento alla tabella (Figura 95), che contiene le colonne "riscontro con sperimentazione" e "riscontro con simulazione".

Dalla tabella è possibile concentrarsi in particolare sui fenomeni dell'"estensione della zona interessata dalla fiamma", "altezza delle fiamme" e "effetti termici sugli elementi costruttivi", poiché il capitolo 8.3 si focalizza principalmente sugli effetti visivi del burning rate e della wall temperature. Per questi fenomeni, le simulazioni hanno prodotto risultati generalmente coerenti con le osservazioni. Infatti, la tabella indica che questi fenomeni possono essere rappresentati con un grado di accuratezza medio e i risultati ottenuti confermano questa valutazione.

In questo caso studio analizzato non è possibile confrontare i risultati con dati sperimentali, poiché non sono stati effettuati test in scala reale su questo edificio. Nel complesso però, si può confermare che le simulazioni offrono una buona rappresentazione dei fenomeni studiati, anche se ci sono ancora molti aspetti che potrebbero essere migliorati, sia con parametri di input più precisi che con una modellazione più dettagliata.

In conclusione, le simulazioni numeriche realizzate con FDS dimostrano l'importanza della modellazione per analizzare e ottimizzare la sicurezza antincendio negli edifici. I risultati ottenuti dal caso studio sopra studiato evidenziano l'efficacia delle fasce di separazione, l'impatto che ha la posizione e la potenza termica del focolaio, la geometria dell'edificio e i materiali utilizzati. Sono tutti elementi determinanti per l'andamento dell'incendio e la sua propagazione. Questi studi possono essere applicati direttamente in fase di progettazione per migliorare la sicurezza degli edifici e limitare i rischi in caso di incendio, in modo da garantire una protezione adeguata agli occupanti.

Conclusioni

Lo scopo di questa ricerca è stato quello di analizzare le criticità legate alla sicurezza antincendio delle facciate degli edifici, individuando soluzioni e strategie progettuali per mitigare i rischi di propagazione del fuoco. In particolare vengono analizzati gli aspetti di vulnerabilità dei materiali e dei sistemi costruttivi, nonché le misure di protezione e prevenzione necessarie per garantire un adeguato livello di sicurezza in caso di incendio.

La ricerca analizza in parte anche il rapporto della sicurezza antincendio con l'efficientamento energetico, che spesso ad oggi rappresenta una priorità nella progettazione degli edifici. Sebbene il miglioramento delle prestazioni energetiche sia un obiettivo centrale, è fondamentale adottare soluzioni che garantiscano la protezione degli occupanti, assicurando un equilibrio tra efficienza termica e reazione al fuoco.

È emerso che ci sono strategie di prevenzione come l'uso di materiali incombustibili, fasce di separazione, barriere antifuoco nelle intercapedini, fondamentali per contenere la propagazione dell'incendio. Oltre all'importanza della geometria, che è stato dimostrato anche dalla modellazione numerica.

I risultati ottenuti inoltre, dimostrano che è fondamentale adottare un approccio integrato, che consideri sinergicamente la sicurezza antincendio e l'efficienza energetica già dalle fasi iniziali della progettazione. Per questo è importante che le normative future promuovano soluzioni che bilancino questi due aspetti, incentivando l'utilizzo di soluzioni e tecnologie innovative senza compromettere l'aspetto della sicurezza.

Un aspetto da tenere in considerazione è anche il cambiamento della progettazione delle facciate negli edifici di nuova costruzione dopo l'introduzione della RTV.13, in quanto le soluzioni di protezione antincendio richieste sono più stringenti. Questo ha avuto un impatto rilevante in quanto, l'obbligo di inserire fasce di separazione, ha reso impossibile la realizzazione di facciate continue prive di interruzioni. Ci sono quindi ripercussioni non solo dal punto di vista estetico, ma anche in termini di efficienza energetica, richiedendo ulteriori strategie per compensare i problema generati.

Le sfide del futuro si concentrano principalmente sull'ottimizzazione delle modellazioni numeriche, con lo scopo di ridurre la necessità di test in scala reale, in modo da abbattere

tempi e costi alla sperimentazione. Per farlo sono necessarie simulazioni sempre più avanzate e precise, così da avere maggiore affidabilità e consentire ai progettisti di adottare già dalle prime fasi di progettazione soluzioni più sicure ed efficienti.

Allo stesso modo le nuove tecnologie costruttive dovranno avere sistemi di facciata sempre più integrati, capaci di garantire elevati standard di sicurezza e efficienza energetica. L'obiettivo è quello di riuscire a realizzare edifici sempre più resilienti al rischio incendio e allo stesso tempo a basso impatto ambientale, contribuendo ad un'edilizia sostenibile e sicura.

Indice delle figure

Figura 1 – Esempi incendi di facciata	8
Figura 2 – Aspetti di complessità degli edifici (Filippo Cosi, Gennaio 2024)	9
Figura 3 – Building Regulations 2100 (Cosi, Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio, Giugno 2017)	11
Figura 4 – Caratteristiche del sistema di esodo e altre misure antincendio connesse con l’altezza del fabbricato (Cosi, Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio, Giugno 2017)	11
Figura 5 – Building Regulations 2100 (Cosi, Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio, Giugno 2017)	12
Figura 6 – Building Regulations 2010 (Cosi, Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio, Giugno 2017)	13
Figura 7 – Building Regulations 2010 (Cosi, Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio, Giugno 2017)	13
Figura 8 – Tabella S.1-6: Classificazione in gruppi di materiali per rivestimento e completamento (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi).....	15
Figura 9 – Tabella S.1-7: Classificazione in gruppi di materiali per l’isolamento (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)	15
Figura 10 - Schema generale della legislazione croata riguardante la protezione antincendio (Marija Jelcic Rukavina, 2017)	19
Figura 11 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico del sottogruppo 1 con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)	21
Figura 12 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico del sottogruppo 2 con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)	21
Figura 13 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico del sottogruppo 3 con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)	22
Figura 14 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico del sottogruppo 4 con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)	22
Figura 15 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico del sottogruppo 5 con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)	23
Figura 16 - Rappresentazione schematica di un edificio tipico di grande altezza con foto (Marija Jelcic Rukavina, 2017)	23
Figura 17 – Sezione trasversale del muro tagliafuoco sulla copertura (Marija Jelcic Rukavina, 2017)	24
Figura 18 - Realizzazione del muro tagliafuoco sulla facciata al fine di prevenire la propagazione orizzontale delle fiamme (pianta) (Marija Jelcic Rukavina, 2017).....	24
Figura 19 - Muri tagliafuoco negli edifici con pianta angolare (Marija Jelcic Rukavina, 2017) 24	
Figura 20 - Prevenzione della propagazione delle fiamme in direzione verticale (Marija Jelcic Rukavina, 2017)	25
Figura 21 – Classi di reazione al fuoco richieste per le facciate (Marija Jelcic Rukavina, 2017)26	
Figura 22 – Valori di reazione al fuoco del rivestimento di facciata a seconda dell’altezza	29
Figura 23 – Valori di reazione al fuoco dell’isolante a seconda dell’altezza dell’edificio	30
Figura 24 – Barriera di intercapedine intumescente.....	31
Figura 25 – Barriera di intercapedine non intumescente.....	31
Figura 26 - Scenari di propagazione in facciata degli incendi (Ing. Michele Castore, Dicembre 2023)	33

Figura 27 - Metodi di prova riconosciuti ed utilizzare dagli Stati dell' Unione Europea (Ing. Michele Castore, Dicembre 2023)	35
Figura 28 - Metodi di prova riconosciuti ed utilizzare dagli Stati dell' Unione Europea (Ing. Michele Castore, Dicembre 2023)	36
Figura 29 – Definizione facciata semplice (F.Cosi)	38
Figura 30 - Esempio facciata con muro vegetale	38
Figura 31 – Definizione facciata a doppia parete non ventilata (F.Cosi)	39
Figura 32 – Definizione facciata a doppia parete ventilata non ispezionabile (F.Cosi)	40
Figura 33 - Esempio stratigrafia facciata verde.....	40
Figura 34 – Dettagli tecnici green wall – con isolante (imm.sinistra), su pietra senza isolante (imm. Destra) – “Sempergreen”	41
Figura 35 - Esempio applicazione facciata verde - Scuola superiore di Geldern (Gheldria - Germania).....	41
Figura 36 - Esempio di living wall – Stazione M2 di Losanna Flon.....	42
Figura 37 – Esempio di living wall – Edificio residenziale Glogauer Strabe Berlin (Dr. Thomas Engel Johannes Kahler, Januar 2025)	42
Figura 38 – Esempio di facciata adattiva – Al Bahr Towers (Abu Dhabi).....	43
Figura 39 - Esempio di facciata adattiva - Institut du Monde Arabe (Paris).....	43
Figura 40 – Sistema facciata a doppia pelle ventilata	44
Figura 41 – Dettaglio costruttivo di facciata ventilata BIPV	44
Figura 42 – Esempio di facciata fotovoltaica ventilata – Sede centrale della Coca Cola a Monterrey, Messico.....	45
Figura 43 – Definizione facciata a doppia parete ventilata ispezionabile (F.Cosi)	45
Figura 44 - Esempio di facciata a doppia pelle ispezionabile	46
Figura 45 - Definizione facciata continua (curtain wall) - (F.Cosi)	46
Figura 46 – Esempio di facciata continua a doppia pelle non ventilata	47
Figura 47 – Esempio di facciate continue fotovoltaiche	48
Figura 48 – Definizione parete aperta e parete chiusa	48
Figura 49 – Esempio stratigrafia ETICS	49
Figura 50 – Facciata priva di requisiti di resistenza al fuoco (F.Cosi)	50
Figura 51 – Requisiti di resistenza al fuoco per facciata semplice e continua	50
Figura 52 – V.13-2: Esempi di fascia di separazione orizzontale in facciata (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi).....	51
Figura 53 – V.13.3: Esempi di fascia di separazione verticale in facciata o in copertura	52
Figura 54 – Facciata a doppia parete ventilata non ispezionabile, parete esterna chiusa (F.Cosi)	55
Figura 55 - Facciata a doppia parete ventilata non ispezionabile, parete esterna chiusa (F.Cosi)	55
Figura 56 – Caratteristiche di resistenza al fuoco per facciate a doppia pelle ventilate (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)	55
Figura 57 – Facciata a doppia parete ventilata non ispezionabile, parete esterna aperta (F.Cosi)	58
Figura 58 - Caratteristiche di resistenza al fuoco per facciate a doppia pelle ventilate (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)	58
Figura 59 – Facciata a doppia parete ventilata ispezionabile (F.Cosi)	60
Figura 60 – Facciata a doppia parete ventilata ispezionabile (F.Cosi)	60

Figura 61 - Caratteristiche di resistenza al fuoco per facciate a doppia pelle ventilate (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)	60
Figura 62 – Facciata a doppia parete ventilata ispezionabile (F.Cosi)	61
Figura 63 – Facciata a doppia parete ventilata ispezionabile (F.Cosi)	61
Figura 64 - Caratteristiche di resistenza al fuoco per facciate a doppia pelle ventilate (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)	62
Figura 65 - Caratteristiche di resistenza al fuoco per facciate a doppia pelle ventilate (DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi)	62
Figura 66 – Schema del rivestimento in pannelli ACM e cappotto termico (Cosi, Il report ufficiale dell'inchiesta sull'incendio della Grenfell Tower, Novembre 2019)	68
Figura 67 – Esempio diffusione dell'incendio tramite intercapedini e soluzione con giunto firestop (Giacalone, Sicurezza antincendio delle facciate - parte I)	80
Figura 68 – Esempio di barriere per cavità (Giacalone, Sicurezza antincendio delle facciate - parte I)	81
Figura 69 – Esempi di edifici in cui si è verificato il “Corner Effect” (Peacock, THE RELATIONSHIP BETWEEN BUILDING DESIGN AND FIRE SPREAD: How the shape, form and features of a building can influence the behaviour of fire, October 2019)	82
Figura 70 – Esempio angolo rilevante per “Effetto Bordo” (Peacock, THE RELATIONSHIP BETWEEN BUILDING DESIGN AND FIRE SPREAD: How the shape, form and features of a building can influence the behaviour of fire, October 2019)	82
Figura 71 – Impatto delle proiezioni orizzontali e verticali sul pennacchio della finestra (Giacalone, Sicurezza antincendio delle facciate - parte I)	84
Figura 72 - Esempio rientranza (Liverpool Echo) (Peacock, THE RELATIONSHIP BETWEEN BUILDING DESIGN AND FIRE SPREAD: How the shape, form and features of a building can influence the behaviour of fire, October 2019)	85
Figura 73 – Schema di come il fuoco si propaga all'esterno tramite aperture (Giacalone, Sicurezza antincendio delle facciate - parte I)	86
Figura 74 – Esempio di edificio con elementi a tutta altezza (Cosi, Il report ufficiale dell'inchiesta sull'incendio della Grenfell Tower, Novembre 2019)	87
Figura 75 – Esempio edificio con elementi a tutta altezza e curvilinei (Torre dei Moro)	87
Figura 76 - Esempio fallimento imbotte dei serramenti Torre Grenfell (Cosi, Il report ufficiale dell'inchiesta sull'incendio della Grenfell Tower, Novembre 2019)	90
Figura 77 – Esempio soluzione per imbotte dei serramenti senza rivestimento di Holm Court (Frances Maria Peacock FCIAT, April 2022)	91
Figura 78 - Fascia di separazione orizzontale – Vista in prospetto (Building)	93
Figura 79 – Fascia di separazione verticale – Vista in pianta (Building)	93
Figura 80 – Esempio soluzione doppia pelle non ventilata con giunto in intercapedine (Building)	94
Figura 81 – Esempio soluzione doppia pelle ventilata con giunto in intercapedine (Building) ..	94
Figura 82 – Esempio soluzione doppia pelle ventilata senza giunto in intercapedine (Building)	95
Figura 83 – Esempio facciata a doppia pelle non ventilata – ispezionabile – pelle esterna chiusa con giunto in intercapedine (Building)	95
Figura 84 - Esempio facciata a doppia pelle ventilata – ispezionabile – pelle esterna chiusa/aperta con giunto in intercapedine (Building)	95
Figura 85 - Esempio facciata a doppia pelle ventilata – ispezionabile – pelle esterna aperta senza giunto in intercapedine (Building)	96

Figura 86 – Esempi di fasce di separazione orizzontali (sx) e verticali (dx) per le facciate semplici	96
Figura 87 – Metodi di test per la reazione al fuoco, da sinistra: EN 13823 (SBI), EN ISO 11925-2 (test alla piccola fiamma), EN ISO 9239-1 (piastra radiante, per pavimenti)	102
Figura 88 - Configurazione TPEITS	106
Figura 89 – Modello di prova antincendio in scala reale	106
Figura 90 – Foto dell’esperimento	107
Figura 91 – Set di prova della DCPST, Montelibretti (RM) (Ing. Carmine Castaldo, Novembre 2023)	108
Figura 92 - Guarnizioni termo-espandenti e protezione profili tubolari (Ing. Carmine Castaldo, Novembre 2023).....	109
Figura 93 – Confronto tra video sperimentali e output grafici CFD (M. Bonfatti, Gennaio 2024)	113
Figura 94 - Primo elenco dei fenomeni modellabili e non modellabili (M. Bonfatti, Gennaio 2024)	119
Figura 95 - Confronto tra parametri di interesse e riscontri sperimentazione - simulazione (M. Bonfatti, Gennaio 2024).....	121
Figura 96 – Confronto tra parametri di interesse e riscontri sperimentazione - simulazione (M. Bonfatti, Gennaio 2024).....	122
Figura 97 – Edificio in analisi.....	124
Figura 98 - Dettaglio fascia di separazione.....	124
Figura 99 - Posizione focolai	125
Figura 100 - Burning rate a 300s.....	126
Figura 101 - Burning rate a 600s.....	126
Figura 102 - Burning rate a 900s.....	127
Figura 103 – Wall temperature a 300s.....	128
Figura 104 - Wall temperature a 600s	128
Figura 105 - Wall temperature a 900s	129
Figura 106 – Edificio scenario 2	130
Figura 107 – Burning rate a 500s scenario 2.....	131
Figura 108 - Burning rate a 500s scenario 1	131
Figura 109 - Posizione focolaio scenario 3	132
Figura 110 – Burning rate a 500s scenario 3	133
Figura 111 – Burning rate a 500s scenario 4	133
Figura 112 – Burning rate a 900s scenario 3	134
Figura 113 – Burning rate a 900s scenario 4.....	134
Figura 114 - Wall temperature a 450s scenario 3	135
Figura 115 - Wall temperature a 450s scenario 4	135
Figura 116 – Posizione focolaio scenario 5.....	137
Figura 117 – Burning rate a 550s	137

Bibliografia

- AGC, F. r. (s.d.). *Pyrobel*.
- Azzini, G. (s.d.). Tratto da ARCHITETTURA ECOSOSTENIBILE.IT:
<https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/criteri-progettuali/tecniche-facciate-verdi-living-walls-390>
- Basile, I. G. (s.d.). Architetture verdi: resistenza al fuoco negli edifici civili. *Pro fire*.
- Bisby, P. L. (June 2022). Grenfell Tower Inquiry - Phase 2 - Regulatory Testing and the Path to Grenfell. Boverket's mandatory provisions and general recommendations, BBR. (2018).
- Building, G. (s.d.). *La sicurezza antincendio nelle facciate*.
- Cosi, F. (Giugno 2017). Incendio alla Grenfell Tower, Londra. Analisi normativa e tecnica dal punto di vista del progettista antincendio. 20.
- Cosi, F. (Novembre 2019). Il report ufficiale dell'inchiesta sull'incendio della Grenfell Tower. *DB - SI Seguridad en caso de incendio* . (s.d.).
- dell'interno, M. (s.d.). DM 16/05/1987, n. 246 - Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione.
- DM 3 agosto 2015 - Codice di prevenzione incendi*. (s.d.).
- Dr. Thomas Engel Johannes Kahler, P. D. (Januar 2025). Schlussbericht FireSafeGreen. f. (s.d.).
- F. Parolini, P. B. (s.d.). Fire performance assessment of BIPV facades equipped with active rapid shutdown.
- F.Cosi. (s.d.). Una veste grafica per la nuova Guida Tecnica sui requisiti antincendio delle facciate .
- Filiberto Lembo, P. a. (Ottobre 2023). Aspetti di sicurezza antincendio delle facciate ventilate. 22.
- Filippo Cosi, l. p. (Gennaio 2024). Retrofitting delle strutture complesse e rischio di incendio per le facciate.
- Frances Maria Peacock FCIAT, C. F. (April 2022). Remediation or Mitigation? Developing a Strategy for Unsafe Buildings . 152.
- Giacalone, C. (s.d.). Sicurezza antincendio delle facciate - parte I ., (p. 149).
- Giacalone, C. (s.d.). Sicurezza antincendio nelle facciate.
- Hinojal, A. (2020). Sectorización de fachadas ventiladas y soluciones a aplicar: nuevo DB SI.
- Ing. Carmine Castaldo, f. C. (Novembre 2023). Messa a punto di un sistema sperimentale di prova per le facciate. *Il nuovo impianto normativo delle facciate*, 28.
- Ing. Michele Castore, C. d. (Dicembre 2023). Chiusure d'ambito: quadro normativo di prevenzione incendi.
- Johan Anderson, L. B. (2017). Fire Safety of Façades . *RISE*.
- Johan Andersson, L. B. (2017). Fire Safety of Facades. *Brandforsk*, 56.

- Luca Palmeri, D. C.-C. (Febbraio 2024). Nuovo impianto normativo delle facciate degli edifici civili e prospettive di riforma del regolamento (UE) 305/2011 sui prodotti da costruzione. 6.
- M. Bonfatti, C. C. (Gennaio 2024). La sicurezza antincendio delle facciate degli edifici: analisi CFD e test in scala reale a confronto. 18.
- Marija Jelcic Rukavina, M. C. (2017). SICUREZZA ANTINCENDIO DELLE FACCIATE NEGLI EDIFICI .
- Massimo Bonfatti, D. C.-C. (Febbraio 2024). Criteri per la valutazione speditiva delle facciate. 8.
- Michele Castore, C. V. (Marzo 2024). Prodotti da costruzione: il D.M. 14 ottobre 2022 e il sistema di classificazione della reazione al fuoco. 10.
- Ministry of business, i. a. (June 2019). *C/AS2 Acceptable Solution for Buildings other than Risk Group SH* .
- Moore-Bick, T. R. (October 2019). GRENFELL TOWER INQUIRY: PHASE 1 REPORT . 194.
- Moore-Bick, T. R. (October 2019). GRENFELL TOWER INQUIRY: PHASE 1 REPORT OVERVIEW.
- Patrick van Hees, M. S. (2020). A holistic approach for fire safety requirements and design of facade systems - HOLIFAS. *Brandforsk* , 90.
- Peacock, F. M. (March 2024). REPORT ON THE FIRE WHICH OCCURRED AT A HIGH-RISE BUILDING IN VALENCIA, SPAIN, ON 22 FEBRUARY 2024.
- Peacock, F. M. (October 2019). THE RELATIONSHIP BETWEEN BUILDING DESIGN AND FIRE SPREAD: How the shape, form and features of a building can influence the behaviour of fire. 174.
- Peacock, F. M. (September 2021). REPORT ON THE FIRE WHICH OCCURRED AT TORRE DEL MORO, MILAN, ITALY ON 29 AUGUST 2021.
- Roman Yakovchuk, A. K. (2021). FDS simulation of fire spreading on façade heat insulating system.
- Services, L. (s.d.). *EUROLAB*. Tratto da <https://www.eurolab.com.tr/it/sectorel-test-ve-analizler/yapi-malzemeleri-testleri/m1-m2-m3-m4-yanmazlik-testleri-nf-p-92-5xx>
- Sir Martin Moore Bick, A. A. (Settembre 2024). INCHIESTA SULLA GRENFELL TOWER: PANORAMICA DELLA RELAZIONE SULLA FASE 2.
- Zaccarelli, G. (s.d.). La sicurezza antincendio dei materiali da costruzione a base biologica.
- Zhenghua Yan, C. Z. (2013). Experimental study and advanced CFD simulation of fire safety performance of building external wall insulation system.

Ringraziamenti

Un sentito grazie a tutte le persone che mi hanno permesso di arrivare fin qui e di portare a termine questo percorso universitario. Grazie al mio relatore, il professor Roberto Vancetti, per la disponibilità, la professionalità e il continuo supporto che mi ha dimostrato. Durante tutto il percorso, è stato un punto di riferimento fondamentale, accompagnandomi con competenza e attenzione e fornendomi preziosi suggerimenti. Grazie alla sua guida, ho potuto affrontare questa ricerca con maggiore consapevolezza, sviluppando un approccio più critico e metodico. La sua esperienza e passione per la materia hanno rappresentato per me un'importante fonte di ispirazione.

Grazie anche al mio tutor aziendale, l'Ing. Filippo Cosi, per avermi accolto con grande professionalità e per avermi dato l'opportunità di svolgere un'esperienza altamente formativa presso lo studio AI Engineering di Torino. Durante questo periodo, ho avuto modo di apprendere moltissimo non solo dal suo esempio, ma anche dal confronto con i colleghi del settore, che mi hanno trasmesso competenze tecniche e pratiche fondamentali per la mia crescita professionale. L'ambiente stimolante e collaborativo in cui ho avuto il privilegio di lavorare mi ha permesso di approfondire le tematiche della sicurezza antincendio con un approccio concreto, accrescendo il mio bagaglio di conoscenze e affinando le mie capacità analitiche.

Un grazie particolare va ai miei familiari, che mi hanno sempre supportato con pazienza e comprensione, incoraggiandomi nei momenti di difficoltà e festeggiando con me i piccoli e grandi traguardi. La loro fiducia e il loro amore sono stati una fonte costante di motivazione e forza.

Un ringraziamento speciale va anche ai miei amici, che sono stati al mio fianco con entusiasmo, offrendomi risate, supporto morale e consigli preziosi nei momenti più stressanti. La loro presenza ha reso questo percorso più leggero e gratificante.

A tutti voi, grazie di cuore per aver reso questo viaggio più significativo e per avermi sempre sostenuto, credendo in me.