

Prof. Ing. Roberto Vancetti, Ing. Emiliano Cereda – Politecnico di Torino
Giorgia Zanghi – Tesista del Politecnico di Torino

La resistenza al fuoco delle componenti metalliche della sottostruttura delle facciate ventilate

La propagazione dell'incendio in facciata è un tema molto importante e attuale nell'ambito della sicurezza antincendio per due ragioni principali: innanzitutto, è a rischio la salvaguardia della vita umana; in secondo luogo, la tematica è fondamentale per via della crescente diffusione degli edifici di grande altezza e, al contempo, dell'utilizzo di facciate ventilate come soluzione tecnologica.

Nel lavoro di tesi svolto da Giorgia Zanghi al Politecnico di Torino, sono stati realizzati uno studio approfondito sui meccanismi di propagazione dell'incendio nelle facciate ventilate, seguendo l'approccio prestazionale della Fire Safety Engineering (FSE) mediante l'analisi con Fire Dynamics Simulator (FDS), e una linea guida a supporto dei progettisti che si apprestano ad effettuare valutazioni di sicurezza antincendio di questa specifica tipologia di facciata. A valle di tali indicazioni e valutazioni, è stato realizzato un approfondimento sulla resistenza al fuoco delle connessioni metalliche costituenti la sottostruttura delle facciate ventilate, completando così lo studio del comportamento al fuoco delle facciate ventilate in condizioni di incendio.

Introduzione

La norma UNI 11018-1:2023 definisce la facciata ventilata come un

«tipo di facciata a schermo avanzato, in cui l'intercapedine tra il rivestimento e la parete è progettata in modo tale che l'aria in essa presente possa fluire per effetto camino in modo naturale e/o in modo artificialmente controllato, a seconda delle necessità stagionali e/o giornaliere, al fine di migliorarne le prestazioni termo-energetiche complessive».

Si tratta di una soluzione a doppia parete che sfrutta il moto convettivo generatosi nell'intercapedine d'aria, offrendo notevoli vantaggi in termini di prestazioni energetiche, comfort abitativo ed estetica architettonica (Micunco, 2022). Tuttavia, presenta alcune criticità in relazione alla propagazione verticale dell'incendio proprio a causa della presenza della lama d'aria (Giacalone, 2014).

Una facciata ventilata è articolata, dall'interno verso l'esterno dell'edificio, in un primo strato portante, ossia una parete interna in cemento armato o muratura, uno strato di isolamento o strato coibente, un'intercapedine o lama d'aria dove si ha la ventilazione, e infine la sottostruttura e lo strato di rivestimento (Micunco, 2022).

La sottostruttura è composta da un sistema di elementi metallici in acciaio inox, acciaio zincato e/o leghe di alluminio, quali perni, piastre e inserti, che insieme formano i dispositivi di fissaggio e ancoraggio. Questi componenti vengono fissati alla parete interna per distribuire i carichi della facciata sulla struttura portante,

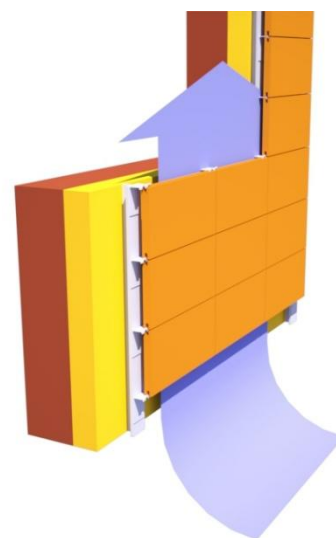


Figura 1: Schema di una facciata ventilata (Putilov, 2011)

mentre sul lato esterno creano il necessario distanziamento per formare l'intercapedine d'aria e sostenere le lastre di rivestimento (Micunco, 2022).

Gli obiettivi

Uno dei principali obiettivi della sicurezza antincendio, chiaramente espresso nel Codice di prevenzione incendi, è la salvaguardia della vita umana. In particolare, dalla RTV.13 – Chiusure d'ambito, si evince che una delle finalità è

«evitare o limitare la caduta di parti della chiusura d'ambito dell'edificio (es. frammenti di facciata o altre parti comunque disgregate o incendiate, ...) in caso d'incendio, che possano compromettere l'esodo degli occupanti o l'operatività delle squadre di soccorso» (par. V.13.1, RTV.13 – Codice, pag. V.13-1).

Per queste ragioni, lo studio del comportamento al fuoco degli elementi metallici che costituiscono la sottostruttura delle facciate ventilate assume un'importanza cruciale. L'analisi presentata in questo articolo, estratto dal lavoro di Tesi, si propone valutare l'evoluzione della temperatura nel tempo di questi elementi metallici e il mantenimento delle caratteristiche di resistenza in condizioni di incendio, fornendo indicazioni utili ai professionisti che si apprestano ad effettuare analoghe valutazioni di sicurezza antincendio.

Questa analisi è stata condotta mediante il software di CDM Dolmen, utilizzando il tool IS Fuoco, che consente di eseguire verifiche termo-strutturali attraverso un'analisi agli elementi finiti (FEM).

La metodologia adottata

La metodologia seguita si basa sulle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) e sugli Eurocodici. Nello specifico, è stata seguita la *Procedura di analisi della resistenza al fuoco* secondo il par. 3.6.1.5 delle NTC 2018 e gli Eurocodici di riferimento sono l'Eurocodice 3 (EN 1993), relativo alla progettazione delle strutture in acciaio, e l'Eurocodice 9 (EN 1999), relativo alla progettazione delle strutture in alluminio.

Il caso studio

Per quanto riguarda la configurazione della sottostruttura e del sistema di ancoraggio del caso studio, è stato adottato il sistema [StoVentec S](#) proposto da [Sto Italia](#). Perciò, è stata considerata la configurazione seguente:

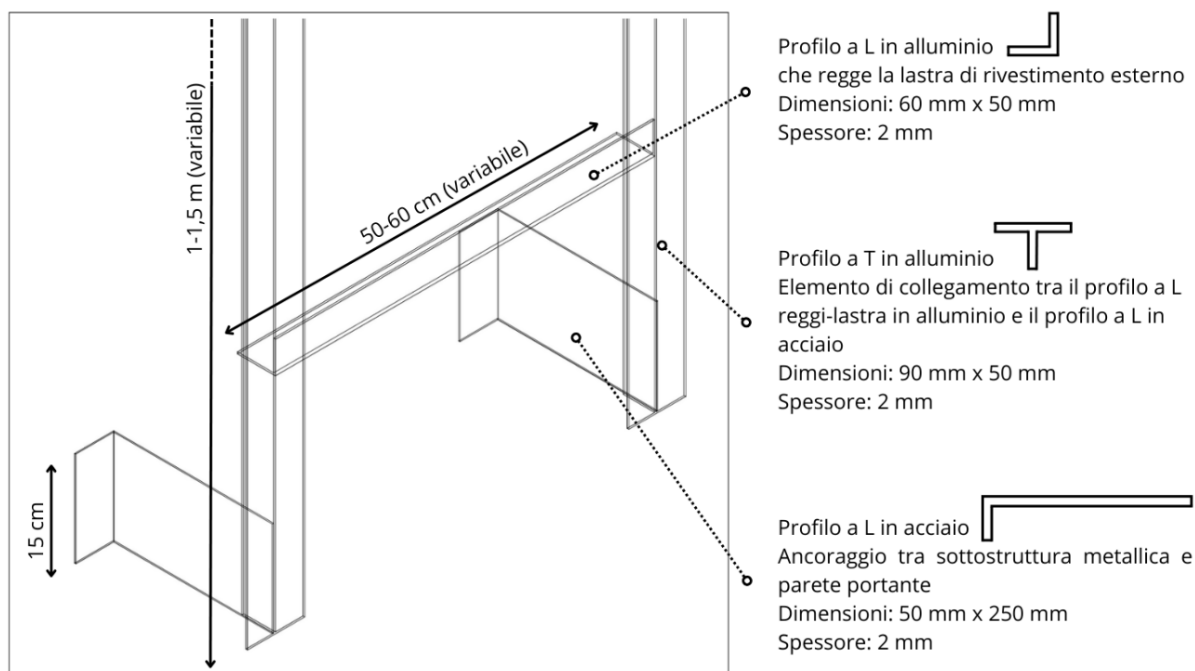


Figura 2: Layout della sottostruttura metallica della facciata ventilata

Con il software Dolmen-IS Fuoco è stata eseguita un'analisi termica a livello di sezione che ha previsto la definizione dei materiali, delle geometrie, della mesh e delle zone di esposizione.

Per quanto riguarda i materiali, sono stati impiegati *acciaio* per le connessioni di ancoraggio e *alluminio* per montanti e traversi di sostegno per le lastre di rivestimento.

È stato impiegato il materiale acciaio predefinito sul software, mentre l'alluminio è definito da utente. Si riportano le proprietà dei materiali impiegati.

Acciaio per profili di classe S235 Spessore ≤ 40 mm	
Caratteristiche meccaniche	$f_y = 235$ MPa
	$f_u = 360$ MPa
	$E = 210$ GPa
Proprietà meccaniche "a freddo"	$\gamma_{m0} = 1,05$
	$f_a = 223,81$ MPa
	$\varepsilon_y = 0,001066\%$
Proprietà meccaniche "a caldo"	$\gamma_{m0} = 1$
	E_{fi}/E : Eurocodice 3
	$f_{y,fi}/f_y$: Eurocodice 3
	$f_{d,\theta=20^\circ} = 235$ MPa

Tabella 1: Le caratteristiche e proprietà dell'acciaio in CDM Dolmen

Per quanto riguarda montanti e traversi che sostengono il rivestimento, queste parti della sottostruttura sono realizzate in alluminio EN AW-6063 T66, le cui principali proprietà fisico-meccaniche sono:

- Modulo di elasticità: $E = 70$ GPa (UNI EN 1999-1-1:2007+A1);
- Valore caratteristico della resistenza alla trazione allo 0,2%: $f_0 = 180$ MPa (UNI EN 1999-1-1:2007+A1);
- Valore caratteristico della resistenza ultima: $f_u = 225$ MPa (UNI EN 1999-1-1:2007+A1).

Per quanto riguarda le proprietà a freddo, è stata considerata la seguente legge costitutiva.

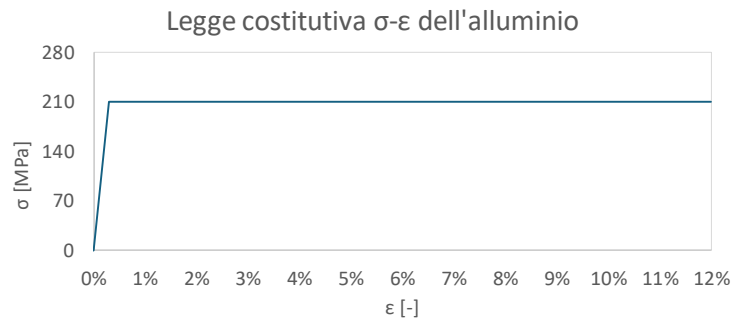


Figura 3: La legge costitutiva sforzi-deformazioni dell'alluminio (UNI EN 1999-1-1:2007+A1)

Le proprietà dipendenti dalla temperatura, ossia densità, calore specifico e conduttività termica, sono state ricercate in letteratura e si è preso come riferimento un articolo scientifico di Foteinopoulos et al. (2017). Risalendo alla fonte originale (Jensen et al., 1980), è stato ricostruito il grafico in Excel per poi impostare la densità in IS Fuoco di CDM Dolmen. La stessa procedura è stata seguita per calore specifico e conducibilità termica.

Dalla norma UNI EN 1993-1-2:2005 (Eurocodice 3 – Acciaio) si evincono i coefficienti di riduzione $k_{y,\theta}$, $k_{y,p}$ e $k_{E,\theta}$, che rappresentano la diminuzione di resistenza del materiale acciaio in funzione della temperatura.

Temperatura °C	$k_{y,\theta}$	$k_{p,\theta}$	$k_{E,\theta}$
20	1,000	1,000	1,000
100	1,000	1,000	1,000
200	1,000	0,807	0,900
300	1,000	0,613	0,800
400	1,000	0,420	0,700
500	0,780	0,360	0,600
600	0,470	0,180	0,310
700	0,230	0,075	0,130
800	0,110	0,050	0,090
900	0,060	0,0375	0,0675
1000	0,040	0,0250	0,0450
1100	0,020	0,0125	0,0225
1200	0,000	0,0000	0,0000

Tabella 2: I fattori di riduzione dell'acciaio in funzione della temperatura (UNI EN 1993-1-2:2005, Table 3, pag. 22)

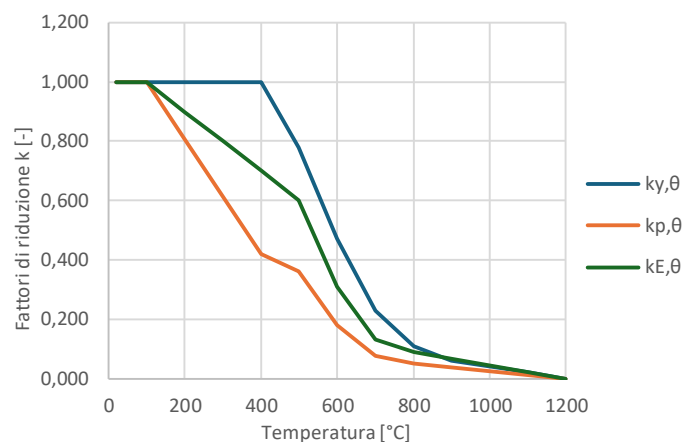


Figura 4: I fattori di riduzione in funzione della temperatura (UNI EN 1993-1-2:2005, Fig. 3.2, pag. 23)

L'acciaio comincia a degradare a 100°C, mentre presenta un marcato decadimento delle proprietà fisico-meccaniche intorno ai 400°C e un abbattimento della resistenza molto pronunciato. Infine, a 600°C la resistenza è pressoché dimezzata (Fantilli, 2024).

Per quanto riguarda l'alluminio, il riferimento normativo rimane la norma UNI EN 1999-1-2 (Eurocodice 9 – Alluminio). Tuttavia, da uno dei quaderni Inail, il Focus sulla resistenza al fuoco (Sabatino et al., 2019), si desumono i valori del coefficiente di riduzione della tensione convenzionale di snervamento $k_{0,2,T}$.



Alluminio	EN AW-6063 T66
Temperatura	$k_{0,2,T}$
°C	-
20	1,00
100	1,00
150	0,79
200	0,65
250	0,38
300	0,20
350	0,11
550	0,00

Tabella 3: La variazione del coefficiente di riduzione della tensione convenzionale di snervamento (Sabatino et al., 2019, pag. 132)

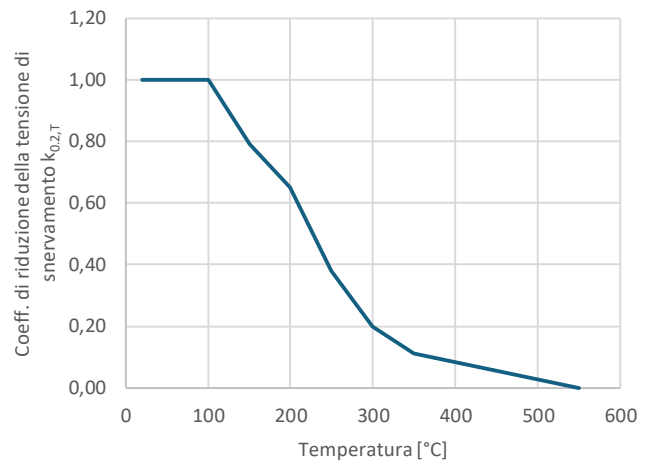


Figura 5: La variazione del rapporto di resistenza dell'alluminio in funzione della temperatura

Si riporta il legame tra modulo elastico dell'alluminio in funzione della temperatura.

Temperatura	$E_{al,T}$
°C	MPa
20	70000
50	69300
100	67900
150	65100
200	60200
250	54600
300	47600
350	37800
400	28000
550	0

Tabella 4: Variazione del modulo di elasticità dell'alluminio in funzione della temperatura (Sabatino et al., 2019, pag. 133)

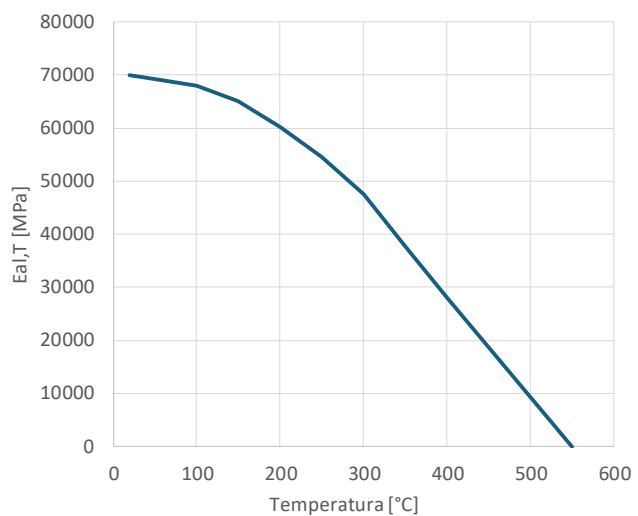


Figura 6: Modulo di elasticità dell'alluminio in funzione della temperatura

Per quanto riguarda il modulo elastico dell'alluminio, in

si nota che a 350°C si dimezza ed a 550°C si annulla completamente, poiché la sua temperatura di fusione si aggira attorno ai 600°C.

Su CDM Dolmen, utilizzando il tool IS Fuoco e seguendo le caratteristiche geometriche riportate nella Figura 2, sono state editate le sezioni dei profili metallici costituenti la sottostruttura metallica.

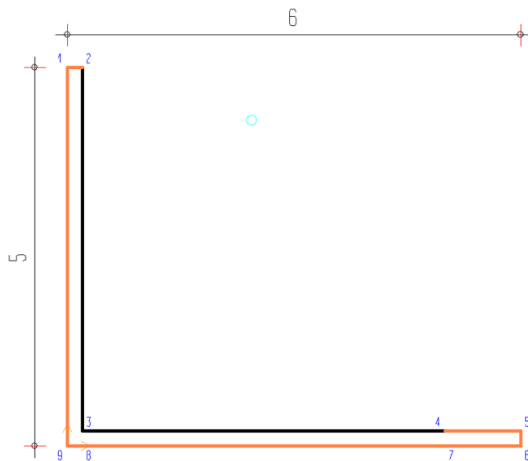


Figura 8: Sezione a L 6x5 cm, spessore 2 mm, in alluminio

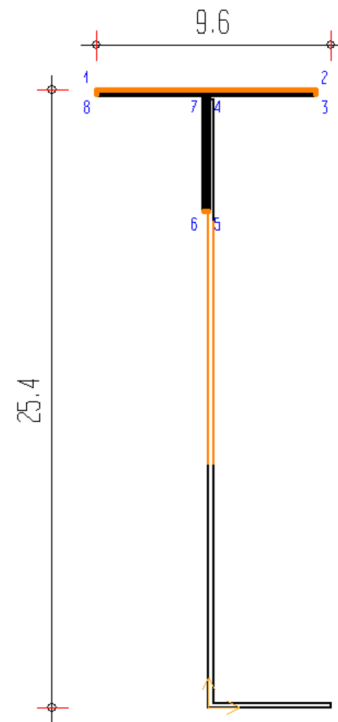


Figura 7: Sezioni a T, 9x5 cm in alluminio, e a L, 5x25 cm in acciaio

In queste immagini, si osservino le zone colorate in arancione che corrispondono alle zone di esposizione a cui è stata associata la curva nominale *Fuoco esterno*.

A tal proposito, si è scelto di adottare la curva nominale di incendio esterno poiché questa tipologia viene impiegata per simulare l'azione dell'incendio sulla facciata (BibLus, 2024). Per di più, al par. 3.6.1.5.1 delle NTC 2018, si evince che questa tipologia di curva si adotta

«nel caso di incendi sviluppatisi all'interno del compartimento, ma che coinvolgono strutture poste all'esterno».

I risultati

Si riportano i risultati dell'analisi realizzata impostando prima quattro mappe termiche ogni 15 minuti e poi otto mappe termiche ogni 2 minuti. I seguenti risultati sono stati estratti mediante l'opzione *curva su punto*, scegliendo i punti più critici della sezione dei vari profili metallici.

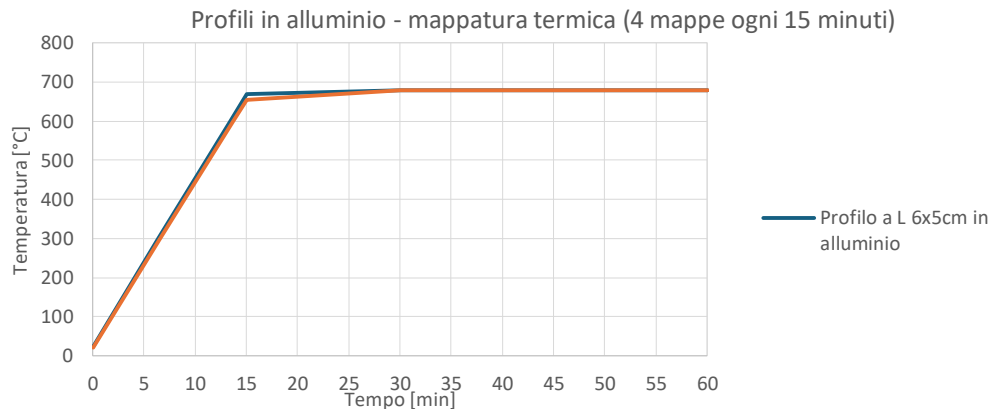


Figura 9: sezioni in alluminio, sviluppo della temperatura di un punto all'interno della sezione

Dalla Figura 9 si evince che le sezioni in pochi minuti (circa 7 minuti e mezzo) raggiungono i 350°C, dove la resistenza è stata abbattuta del 50%. Dopo circa 13-14 minuti si raggiungono i 600°C, a cui corrisponde la fusione del materiale. Venendo a mancare questi elementi in alluminio di supporto, si ha sicuramente il cedimento della lastra del rivestimento.

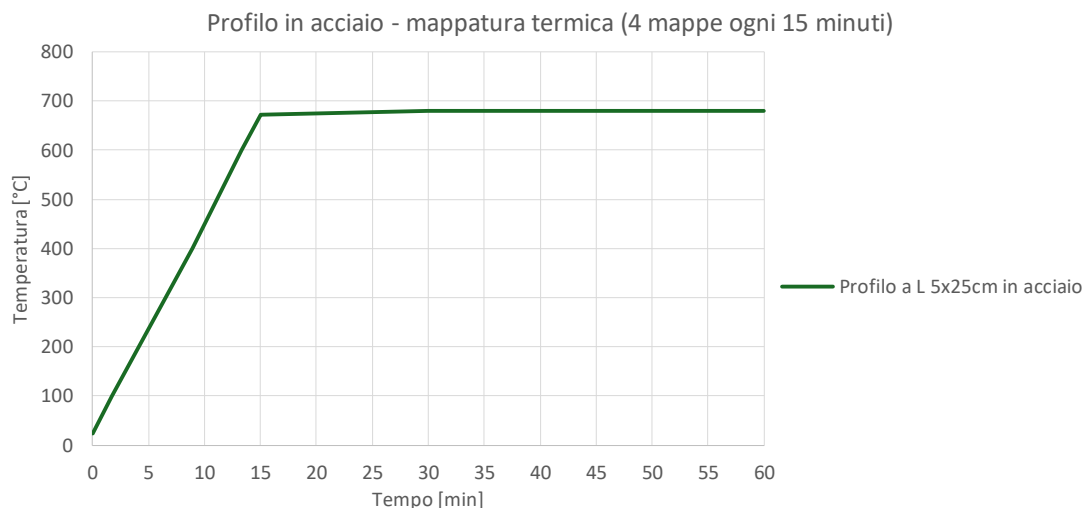


Figura 10: sezione in acciaio, sviluppo della temperatura di un punto all'interno della sezione

Per quanto riguarda la connessione in acciaio, dalla Figura 10 si nota che in meno di 2 minuti (1,76 min) si raggiungono i 100°C e l'acciaio comincia a degradare. Successivamente, si arriva a 400°C dopo poco meno di 9 minuti (8,96 min), punto in corrispondenza del quale si ha un abbattimento rilevante della resistenza meccanica. Infine, si raggiungono i 600°C dopo circa 13 minuti (13,30 min), in corrispondenza dei quali una resistenza risulta dimezzata.

In questo caso, l'acciaio non rischia la fusione; tuttavia, dato che è sottoposto a carichi, questa marcata riduzione può inficiare la stabilità della struttura.

A questo punto, si è deciso di realizzare un'analisi su un intervallo di tempo minore, per verificare l'accuratezza dei risultati precedenti. Di seguito si riportano i risultati.

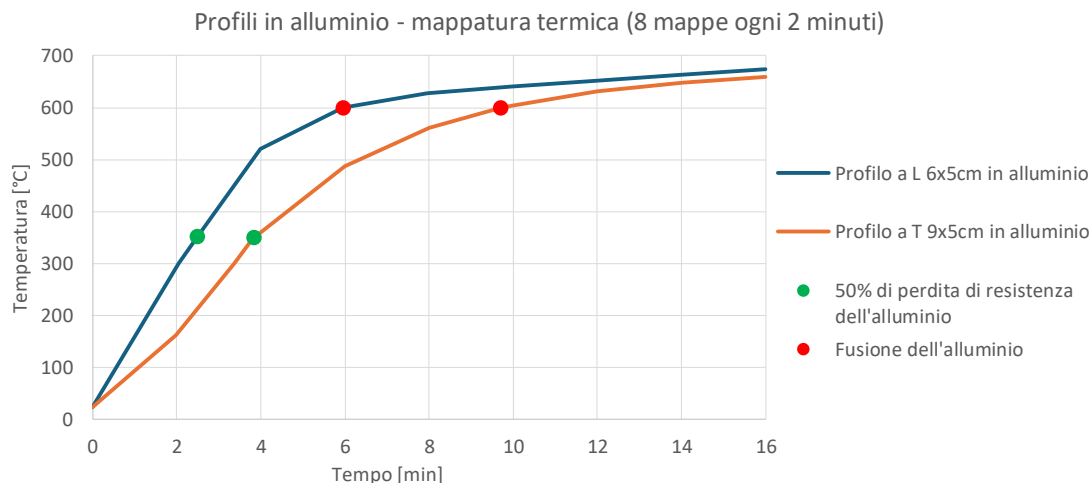


Figura 11: sezioni in alluminio, 8 mappe ogni 2 minuti, sviluppo della temperatura di un punto all'interno della sezione

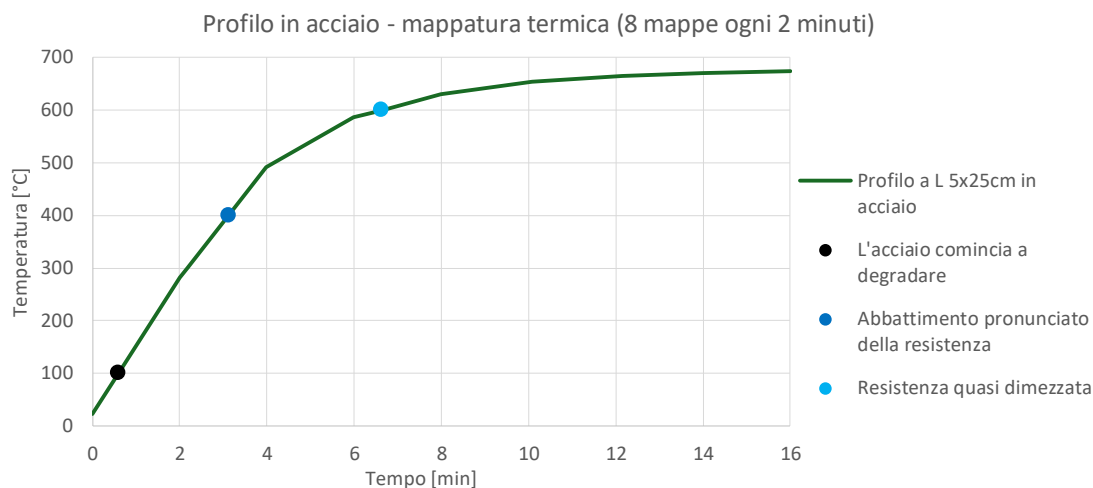


Figura 12: sezione in acciaio, 8 mappe ogni 2 minuti, sviluppo della temperatura di un punto all'interno della sezione

In effetti, riducendo la dimensione del dominio temporale e discretizzandola in maniera differente, si ottengono dei risultati diversi e più accurati. Questa scelta è stata fatta perché ci si è accorti dalle prime mappe di Figura 9 e di Figura 10 che le componenti della sottostruttura cedono entro i primi 15 minuti, quindi si è voluto approfondire il fenomeno in un arco di tempo assimilabile al quarto d'ora.

Si noti che il sistema di connessione e ancoraggio del rivestimento alla parete portante fallisce dopo poco tempo: si ipotizza che dopo 6, 7 o al più 8 minuti le componenti cedano e il sistema della sottostruttura fallisce entro 10 minuti.

Conclusioni

I risultati dell'analisi dimostrano che gli elementi in alluminio e acciaio, costituenti la sottostruttura metallica delle facciate ventilate, cedono inevitabilmente entro i primi 10 minuti di esposizione all'incendio.

Considerando che la potenza termica potrebbe essere superiore a quella utilizzata, specialmente nelle aree prossime al focolaio, è necessario valutare possibili contromisure.

L'utilizzo di profili metallici con spessori maggiori di 2 mm rappresenta una potenziale soluzione, ma con benefici limitati: impiegare profili spessi un paio di millimetri in più non comporta cambiamenti significativi, anzi il comportamento al fuoco può risultare immutato o, eventualmente, si potrebbero guadagnare un

paio di minuti di resistenza in più; tuttavia, ciò comporterebbe aumentare peso e costi, in contrasto con i requisiti di leggerezza ed economicità della struttura.

La sostituzione completa con componenti in acciaio, pur offrendo maggiore resistenza rispetto all'alluminio, comporterebbe analogamente incrementi di peso e costi non giustificabili. L'impiego di materiali isolanti risulta impraticabile per mancanza di spazio adeguato durante l'installazione.

L'applicazione di vernici intumescenti sui profili e nei punti di connessione potrebbe offrire protezione attraverso l'espansione durante l'incendio, ma presenta svantaggi significativi: difficoltà di manutenzione e riapplicazione periodica, aumento di peso, complessità realizzativa, e incremento di costi e tempi d'installazione.

Realisticamente, appare impossibile proteggere completamente la sottostruttura dagli effetti dell'incendio, specialmente nelle aree vicine al punto d'innesco. Un approccio più pragmatico consiste nel considerare in fase progettuale delle interruzioni nella modularità della facciata, accettando il cedimento localizzato della parte direttamente esposta, ma impedendo il collasso dell'intero sistema, salvaguardando così l'esodo degli occupanti e l'intervento dei soccorritori.

Bibliografia

- BibLus, ACCA software. (2024, 4 novembre). *Diagramma andamento incendio – Curve nominali di incendio*. Ultimo accesso: 07 marzo 2025, [https://biblus.acca.it/diagramma-andamento-incendio/#Curve nominali di incendio](https://biblus.acca.it/diagramma-andamento-incendio/#Curve%20nominali%20di%20incendio)
- Decreto 17 gennaio 2018, “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».” (2018, 20 febbraio). *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*. (Italia). *Gazzetta Ufficiale*, (42). <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/2/20/18A00716/sg>
- Fantilli, A. P. (2024). *Corso di Consolidamento strutturale (Marano, G. C.) – Modulo di resistenza al fuoco* (Dispense). Politecnico di Torino.
- Foteinopoulos, P., Papacharalampopoulos, A., & Stavropoulos, P. (2017). *On thermal modeling of Additive Manufacturing processes*. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 20, 66–83. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2017.09.007>
- Giacalone, C. (2014, 22 gennaio). Sicurezza antincendio nelle facciate (Dispense del 2°seminario di aggiornamento di prevenzione incendi). In C. Giacalone, S. Leotta & P. Valera (A cura di), *Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili*. Ordine degli Architetti P. P. e C. della Provincia di Monza e della Brianza. [https://www.ordinearchitetti.mb.it/files/Presentazione - Ing Claudio Giacalone.pdf](https://www.ordinearchitetti.mb.it/files/Presentazione_-_Ing_Claudio_Giacalone.pdf)
- Jensen, J. E., Stewart, R. G., Tuttle, W. A., Brechna, H., & Prodell, A. G. (1980). *Brookhaven national laboratory selected cryogenic data notebook: sections I-IX* (Vol. 1). Brookhaven National Laboratory. <https://books.google.it/books?id=61DLBfUPKX0C&ots=CnC9CGGdqf&dq=Brookhaven%20National%20Laboratory%20Selected%20Cryogenic%20Data%20Notebook%20section%20X&lr&hl=it&pg=P1#v=onepage&q=Brookhaven%20National%20Laboratory%20Selected%20Cryogenic%20Data%20Notebook%20section%20X&f=false>
- Jensen, J. E., Stewart, R. G., Tuttle, W. A., Brechna, H., & Prodell, A. G. (1980). *Brookhaven national laboratory selected cryogenic data notebook: sections X-XVIII* (Vol. 2). Brookhaven National Laboratory. <https://books.google.it/books?id=l4j3F5zNCe0C&hl=it&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- Micunco, M. (2022, giugno). *Comportamento al fuoco delle facciate ventilate: analisi CFD e problematiche inerenti alla Linea Guida Italiana* [Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano]. POLITesi - Archivio digitale delle tesi di laurea e di dottorato. <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/187934>
- Testo coordinato dell'allegato I del D.M. 3 agosto 2015, "Codice di prevenzione incendi". (2023, 1 gennaio) (Italia). *Ministero dell'Interno, Dipartimento dei Vigili del fuoco, del Soccorso pubblico e della Difesa civile*. [https://www.vigilfuoco.it/sites/default/files/2023-05/COORD DM 03 08 2015 Codice Prevenzione Incendi.pdf](https://www.vigilfuoco.it/sites/default/files/2023-05/COORD_DM_03_08_2015_Codice_Prevenzione_Incendi.pdf)
- UNI 11018-1:2023, “Facciate ventilate - Parte 1: Caratteristiche prestazionali e terminologia”. (2023, 14 dicembre). *UNI – Ente Italiano di Normazione*. <https://store.uni.com/uni-11018-1-2023>

- UNI EN 1993-1-1:2022, “Eurocodice 3: Progettazione delle Strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”. (2022, 15 dicembre). *UNI – Ente Italiano di Normazione*. <https://store.uni.com/uni-en-1993-1-1-2022>
- UNI EN 1993-1-2:2005, “Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules Structural fire design”. (2005). *CEN – Comitato Europeo di Normazione*. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1993.1.2.2005.pdf>
- UNI EN 1993-1-2:2024, “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio”. (2024, 19 settembre). *UNI – Ente Italiano di Normazione*. <https://store.uni.com/uni-en-1993-1-2-2024>
- UNI EN 1999-1-1:2007+A1, “Eurocode 9: Design of aluminium structures – Part 1-1: General structural rules”. (2009). *CEN – Comitato Europeo di Normazione*. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/11/en.1999.1.1.2007.pdf>
- UNI EN 1999-1-1:2023, “Eurocodice 9 - Progettazione di strutture in alluminio - Parte 1-1: Regole generali”. (2023, 21 aprile). *UNI – Ente Italiano di Normazione*. <https://store.uni.com/uni-en-1999-1-1-2023>
- UNI EN 1999-1-2:2023, “Eurocodice 9 - Progettazione di strutture in alluminio - Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio”. (2023, 21 aprile). *UNI – Ente Italiano di Normazione*. <https://store.uni.com/uni-en-1999-1-2-2023>