

# CHIUSURE D'AMBITO DEGLI EDIFICI CIVILI

**INAIL**

La Regola Tecnica Verticale V. 13  
del Codice di prevenzione incendi



**I** CONSIGLIO NAZIONALE  
DEGLI INGEGNERI

**2026**

**COLLANA RICERCHE**



# CHIUSURE D'AMBITO DEGLI EDIFICI CIVILI

**INAIL**

La Regola Tecnica Verticale V. 13  
del Codice di prevenzione incendi

**2026**

## **Pubblicazione realizzata da**

### **Inail**

Dipartimento innovazioni tecnologiche  
e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

### **Responsabili scientifici**

Raffaele Sabatino<sup>1</sup>, Tarquinia Mastroianni<sup>2</sup>, Tiziana Petrillo<sup>3</sup>

### **Autori**

Raffaele Sabatino<sup>1</sup>, Gianni Biggi<sup>2</sup>, Emanuele Gissi<sup>2</sup>, Michele Mazzaro<sup>2</sup>, Piergiacomo Cancelliere<sup>2</sup>, Andrea Marino<sup>2</sup>, Marco Di Felice<sup>4</sup>, Alessandro Leonardi<sup>5</sup>, Giuseppe Modeo<sup>5</sup>, Samuele Sassi<sup>5</sup>, Antonio Corbo<sup>5</sup>, Andrea Lucherini<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Inail, Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

<sup>2</sup> Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

<sup>3</sup> Consiglio Nazionale degli Ingegneri

<sup>4</sup> Componente del CTSS per il CNI

<sup>5</sup> Libero professionista

<sup>6</sup> Senior Researcher - ZAG - Department for Fire-Safe Sustainable Built Environment (FRISSBE) –Slovenia

per informazioni

Inail – Dipartimento innovazioni tecnologiche  
e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

Via Roberto Ferruzzi, 38/40 - 00143 Roma

dit@inail.it

**www.inail.it**

© 2026 Inail

ISBN 978-88-7484-992-5

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nella pubblicazione, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

Tipolitografia Inail - Milano, aprile 2026

*La presente pubblicazione è il risultato della collaborazione tra Inail, Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco e Consiglio Nazionale degli Ingegneri nell'ambito dei progetti previsti nel Piano delle attività di ricerca dell'Inail per il triennio 2025/2027, sulla base delle finalità delineate nei Protocolli d'intesa sottoscritti dall'Inail con il Consiglio Nazionale degli Ingegneri il 24 settembre 2024 e con il Dipartimento dei Vigili del Fuoco il 20 maggio 2022 (vedi addendum del 29 luglio 2025 relativo al Protocollo d'intesa Inail e Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco del 31 ottobre 2023).*

**INAIL**



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEGLI **INGEGNERI**



# INDICE

<b>Introduzione</b>	9
<b>Obiettivi</b>	13
<b>Le differenze tra l'approccio prescrittivo e quello prestazionale</b>	15
<b>Il Codice di prevenzione incendi</b>	17
<b>Chiusure d'ambito degli edifici civili - la normativa applicabile</b>	23
<b>Definizioni</b>	24
<b>Tipologie di facciata</b>	25
<b>Le chiusure d'ambito come elementi aggiuntivi del rischio in caso di incendio</b>	29
<b>Eventi iniziatori di un incendio</b>	31
<b>Meccanismi di propagazione del fuoco dopo l'evento iniziatore</b>	34
<b>La Regola Tecnica Verticale V.13</b>	38
<b>Nuovo approccio alla sicurezza antincendio delle chiusure d'ambito</b>	48
<i>Analisi del rischio incendio</i>	49
<i>Criteri base per eseguire un'adeguata valutazione del rischio</i>	51
<i>Il comportamento al fuoco dei sistemi i ETICS</i>	56
<b>Prove al fuoco di facciate, dalla piccola scala al nuovo approccio Europeo su larga scala</b>	57
<i>Single Burning Item (SBI)</i>	58
<i>ISO a scala intermedia</i>	58
<i>Approccio europeo su larga scala</i>	59
<i>Confronti e limitazioni</i>	60
<i>Test sperimentali fuori standard ed esperienze scientifiche atte a valutare il comportamento al fuoco dei sistemi ETICS</i>	61
<b>Approccio prestazionale alla sicurezza al fuoco delle facciate ventilate</b>	71
<i>Casi particolari: facciate verdi o con presenza di impianti fotovoltaici</i>	74
<b>Come valutare il terzo obiettivo di sicurezza al fuoco richiamato nella RTV V.13</b>	75
<b>Caso studio: progettazione della sicurezza antincendio delle chiusure d'ambito di un edificio a uso terziario</b>	77
<b>Descrizione</b>	77
<b>Contestualizzazione dell'attività in relazione alla prevenzione incendi</b>	79
<b>Progettazione antincendio con il Codice di prevenzione incendi</b>	89
<b>Riferimenti normativi</b>	89

<b>Classificazioni</b>	89
<b>La metodologia generale</b>	90
<i>Premessa</i>	91
<i>Strategia antincendio</i>	92
<i>Scopo della progettazione</i>	92
<i>Obiettivi di sicurezza</i>	93
<i>Valutazione del rischio d'incendio per attività</i>	93
<b>Reazione al fuoco</b>	99
<b>Resistenza al fuoco e compartimentazione</b>	100
<i>Realizzazione fasce di separazione</i>	101
<i>Verifica dei requisiti di resistenza al fuoco</i>	102
<i>Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio</i>	102
<b>Soluzioni progettuali alternative</b>	102
<i>Criteri normativi</i>	102
<i>Metodi progettuali</i>	103
<b>Adozione di soluzioni alternative nel caso studio</b>	104
<b>Analisi del comportamento delle facciate con l'impiego della FSE</b>	105
<i>Descrizione delle facciate</i>	105
<b>Comportamento degli infissi vetrati</b>	107
<i>L'incendio e la stabilità degli infissi vetrati</i>	107
<i>Studi teorici e sperimentali sul comportamento degli infissi vetrati in caso d'incendio</i>	108
<i>Esperimenti e linee guida sulla rottura degli infissi vetrati in caso d'incendio</i>	110
<i>Sintesi dello stato dell'arte</i>	114
<b>Verifica delle facciate con modello CFD – caso studio</b>	115
<i>Modellazione dell'incendio e cedimento degli infissi vetrati</i>	116
<i>La modellazione CFD</i>	117
<i>Il codice computazionale FDS Ver. 6.7.7</i>	118
<i>Descrizione dei fondamenti teorici di FDS</i>	119
<i>Validazione di FDS</i>	121
<b>Incendio di progetto</b>	122
<i>Fase di crescita e propagazione dell'incendio</i>	123
<i>Fase dell'incendio stazionario</i>	123
<b>Individuazione degli scenari d'incendio</b>	124
<i>Piano terra - spazio espositivo "open space"</i>	125
<i>Piano primo - spazio espositivo suddiviso in aree</i>	125

<b>Tridimensionalizzazione della struttura</b>	126
<i>Descrizione delle proprietà fisiche delle vetrate</i>	128
<i>Riproduzione rottura delle vetrate</i>	128
<i>Verifica della sensibilità delle Mesh computazionali</i>	129
<b>Risultati ottenuti</b>	130
<i>Scenario con focolare posto al piano terra</i>	132
<i>Scenario con focolare posto al piano primo</i>	136
<b>Considerazioni a commento</b>	142
<b>Bibliografia</b>	144
<b>Fonti immagini</b>	147



## INTRODUZIONE

L'iter procedurale per la certificazione della sicurezza antincendio nelle attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco, finalizzato alla riduzione della probabilità di insorgenza di un incendio e alla limitazione delle relative conseguenze, è stabilito dal d.p.r. 1 agosto 2011, n. 151 e, se luoghi di lavoro, è assoggettata anche alle previsioni del d.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i. (Testo Unico sulla salute e sicurezza) e dei dd.mm. 1, 2 e 3 settembre 2021.

La progettazione antincendio si basa sulla preliminare valutazione del rischio d'incendio, per mitigare sino a livelli accettabili il rischio d'incendio valutato, e può seguire un approccio progettuale di tipo prescrittivo o di tipo prestazionale.

Nel rispetto della normativa vigente, essa può quindi essere effettuata elaborando soluzioni tecniche flessibili e aderenti alle specifiche caratteristiche ed esigenze delle attività esaminate (metodologia prestazionale).

In questo contesto si inserisce il *"Codice di prevenzione incendi"* (d.m. 3 agosto 2015 e s.m.i.) che si propone, privilegiando l'approccio flessibile, come promotore del cambiamento e in grado di garantire standard di sicurezza antincendio elevati mediante un insieme di soluzioni progettuali, sia conformi che alternative.

In sostanza, il Codice rappresenta uno strumento finalizzato al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio, caratterizzato da un linguaggio allineato con gli standard internazionali.

La strategia antincendio in esso descritta, in funzione dei livelli di prestazione scelti, garantisce i prefissati obiettivi di sicurezza, mediante l'adozione di diverse soluzioni progettuali, grazie all'apporto ed alla compresenza delle varie misure antincendio (approccio di tipo olistico).

A seguito dell'emanazione del Codice, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ha iniziato ad implementare la Sezione V (Regole tecniche verticali), che originariamente prevedeva solamente tre RTV di tipo trasversale o di servizio (applicabili a più attività, V.1 Aree a rischio specifico, V.2 Aree a rischio per atmosfere esplosive e V.3 Vani degli ascensori), emanando nel tempo una serie di ulteriori specifiche RTV mirando, nel lungo termine, a sostituire gradualmente l'attuale corpo normativo sugellando, a regime, il passaggio dall'approccio prescrittivo tradizionale a quello basato sulla ormai nota metodologia prestazionale del Codice, per tutte le attività normate.

Sono state pertanto emanate, ad oggi, le seguenti RTV:

- V.4 Uffici
- V.5 Attività ricettive turistico-alberghiere
- V.6 Autorimesse
- V.7 Attività scolastiche
- V.8 Attività commerciali
- V.9 Asili nido
- V.10 Musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati
- V.11 Strutture sanitarie
- V.12 Altre attività in edifici tutelati
- V.13 Chiusure d'ambito degli edifici civili
- V.14 Edifici di civile abitazione
- V.15 Attività di intrattenimento e di spettacolo a carattere pubblico

Con il d.m. 26 luglio 2022, sono state emanate le norme tecniche di prevenzione incendi per gli stabilimenti ed impianti di stoccaggio e trattamento rifiuti.

La norma, seppur connotata dalla consueta struttura delle RTV, al momento, non è inserita nel Codice ma, come stabilito all'art. 3 del decreto, si applica in combinazione con le sezioni G, S, V, limitatamente ai Capp. V.1, V.2, V.3, e M, restituendo, di fatto, quale metodologia di progettazione della sicurezza antincendio quella del Codice.

Peraltro, nel 2019 sono stati emanati due fondamentali decreti che hanno apportato sensibili modifiche al Codice, sia negli aspetti inerenti il campo di applicazione che in relazione agli aspetti tecnici contenuti nell'allegato 1.

Infatti, con il d.m. 12 aprile 2019 viene esteso il campo di applicazione delle attività progettabili con il "Codice" ed eliminato per molte attività il cosiddetto "doppio binario", ovvero la possibilità di scelta, da parte del progettista, tra l'applicazione delle normative tradizionali preesistenti rispetto al Codice e l'approccio prestazionale costituito da quest'ultimo.

Con il d.m. 18 ottobre 2019, invece, è stato interamente sostituito l'allegato 1 del Codice, modificando e/o integrando alcune previsioni relative alle misure tecniche di prevenzione incendi di cui alle Sezioni G, S, V, limitatamente ai Capp. V.1, V.2, V.3 e M, sulla base delle esperienze maturate nel primo triennio di applicazione del Codice.

Conseguentemente a tali aggiornamenti, taluni particolarmente radicali, come ad esempio per la misura antincendio S.4 *Esodo*, si è reso necessario apportare alcuni aggiustamenti, mediante il d.m. 14 febbraio 2020 e il d.m. 6 aprile 2020, anche alla Sezione V ed alle nuove RTV di recente emanazione (V.4 ÷ V.8).

Il d.m. 24 novembre 2021 ha quindi introdotte ulteriori modifiche all'allegato 1 del Codice, in particolare per locali molto affollati, proprio in vista della emanazione della RTV V.15 "Attività di intrattenimento e di spettacolo a carattere pubblico".

In definitiva, risultano, ad oggi, 51<sup>1</sup> le attività soggette comprese nel citato allegato I di cui al d.p.r. 1 agosto 2011, n. 151, per le quali la Regola Tecnica Orizzontale (RTO) del Codice rappresenta l'unico riferimento progettuale possibile.

Ad oggi, le varie RTV emanate e ricomprese nel testo coordinato del Codice sono le seguenti:

- d.m. 8 giugno 2016: V.4 "Uffici"
- d.m. 9 agosto 2016: V.5 "Attività ricettive turistico - alberghiere"
- d.m. 21 febbraio 2017: V.6 "Attività di autorimessa"
- d.m. 7 agosto 2017: V.7 "Attività scolastiche"
- d.m. 23 novembre 2018: V.8 "Attività commerciali"
- d.m. 14 febbraio 2020: aggiornamento dei Capp. V.4, V.5, V.6, V.7, V.8
- d.m. 6 aprile 2020: V.9 "Asili nido", correzione refusi nei parr. V.4.2, V.7.2 e tab. V.5-2
- d.m. 15 maggio 2020: aggiornamento del Cap. V.6 "Attività di autorimessa"
- d.m. 10 luglio 2020: V.10 "Musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati"
- d.m. 29 marzo 2021: V.11 "Strutture sanitarie"
- d.m. 14 ottobre 2021: V.12 "Altre attività in edifici tutelati"
- d.m. 30 marzo 2022: V.13 "Chiusure d'ambito degli edifici civili"
- d.m. 19 maggio 2022: V.14 "Edifici di civile abitazione"
- d.m. 22 novembre 2022: V.15 "Attività di intrattenimento e di spettacolo a carattere pubblico"

Come detto, avendo il d.m. 12 aprile 2019 determinato la fine del cosiddetto "doppio binario", per le attività soggette e non normate non esiste più la possibilità di scegliere il criterio progettuale da utilizzare tra il Codice e i preesistenti criteri tecnici.

L'utilizzo del Codice è pertanto ormai obbligatorio; tuttavia, tale "doppio binario" permane esclusivamente per le attività per le quali è presente una regola tecnica di tipo tradizionale ancora vigente, ad eccezione delle autorimesse.

Ad esempio, ad oggi, è possibile progettare un'attività uffici secondo la V.4 oppure utilizzando il d.m. 22 febbraio 2006; viceversa, essendo stato abrogato il d.m. 1 febbraio 1986<sup>2</sup>, un'autorimessa può essere progettata unicamente mediante l'applicazione della V.6.

<sup>1</sup> Comprese quelle con RT per le quali vale il doppio binario (tranne V.6).

<sup>2</sup> L'art. 3 comma 3 del d.m. 15 maggio 2020 prevede che "Per gli interventi di modifica ovvero di ampliamento delle autorimesse esistenti alla data di entrata in vigore del presente decreto, si applicano le disposizioni previste dall'art. 2, commi 3 e 4 del decreto del Ministro dell'interno 3 agosto 2015, come modificato dal decreto del Ministro dell'interno 12 aprile 2019." In estrema sintesi, gli interventi di modifica o adeguamento su autorimesse esistenti vanno progettati con il Codice "a condizione che le misure di sicurezza antincendio esistenti, nella parte dell'attività non interessata dall'intervento, siano compatibili con gli interventi da realizzare". Solo qualora ci sia tale incompatibilità, si potrà progettare gli interventi su autorimesse esistenti con il d.m. 1 febbraio 1986.

Ulteriori RTV sono in fase di pubblicazione, notificate alla Commissione europea, o allo studio dei quadri dirigenti del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (<https://www.vigilfuoco.it/servizi-le-aziende-e-i-professionisti/prevenzione-incendi/norme-di-prevenzione-incendi>).

Tanto premesso, al fine di fornire un seguito alla precedente Collana di Quaderni tecnici, inerenti le Sezioni S ed M del Codice<sup>3</sup>, incentrata sull'illustrazione delle potenzialità del Codice, sulla base di esempi pratici di progettazione, si intende ora, mediante una nuova Collana, focalizzare l'attenzione sulla Sezione V e, con il medesimo approccio pratico, fondato sullo sviluppo di casi studio, saranno prese in rassegna le diverse RTV emanate, con l'ottica di illustrare l'applicazione dei nuovi strumenti normativi e di evidenziare gli esiti delle progettazioni del medesimo caso studio, affrontato con le due metodologie applicabili, costituite dalla vecchia normativa prescrittiva e dalla nuova RTO, come integrata dalla rispettiva RTV.

---

<sup>3</sup><https://www.inail.it/portale/it/inail-comunica/pubblicazioni/catalogo-generale/catalogo-generale-dettaglio.2020.04.il-codice-di-prevenzione-incendi-.html>

## OBIETTIVI

Come per la precedente Collana di Quaderni tecnici, inerenti le Sezioni S ed M del Codice, citata nell'introduzione, anche stavolta s'intende utilizzare la metodologia del caso studio, usualmente adottata nel campo della ricerca empirica come strumento che ha la funzione di approfondimento di una questione.

Nello specifico, si ritiene possa favorire l'apprendimento dei metodi e degli strumenti offerti dal Codice, nell'ambito dell'utilizzo della Sezione V, illustrandone l'applicazione pratica in contesti reali.

Il caso studio consiste nella descrizione di una situazione realistica, a partire dalla quale si intenderebbe sviluppare nel lettore le capacità analitiche necessarie per affrontare, in maniera sistematica, una situazione reale, nella sua effettiva complessità. L'obiettivo specifico del ricorso al caso studio, quindi, non è quello di risolvere un problema, bensì di fornire al lettore strumenti pratici volti ad affrontare le varie problematiche reali e ad inquadrare le stesse nel contesto del protocollo fornito dal Codice.



Si rappresenta che la presente pubblicazione ha scopo divulgativo e non costituisce in alcun modo una linea guida né un canone interpretativo vincolante.

Il caso studio trattato si riferisce a situazioni ipotizzate dagli autori a soli fini esplicativi.

I giudizi di valore rappresentano l'opinione degli autori ed in nessun caso costituiscono istruzioni in merito a soluzioni tecniche vincolanti. Formule, valutazioni, grafici e tabelle e modelli di calcolo impiegati sono riportati al solo fine divulgativo e pertanto viene declinata qualsiasi responsabilità in merito all'effettivo utilizzo degli stessi.

Pur garantendo la massima cura nell'allestimento della pubblicazione, si declina ogni responsabilità per eventuali errori od omissioni e, in merito all'eventuale concreta applicazione delle soluzioni tecniche illustrate, per eventuali danni risultanti dall'uso delle informazioni contenute nella medesima.

Nella presente pubblicazione sarà affrontata la progettazione della sicurezza antincendio delle chiusure d'ambito di un edificio a uso terziario mediante la RTV V.13 che integra, in base alle proprie specificità e per le soluzioni conformi, le imprescindibili e ineludibili indicazioni fornite dalla regola tecnica orizzontale costituita dal Codice.

## LE DIFFERENZE TRA L'APPROCCIO PRESCRITTIVO E QUELLO PRESTAZIONALE

La progettazione della sicurezza antincendio può essere approcciata utilizzando due diverse metodologie.

L'approccio prescrittivo, di natura deterministica, storicamente utilizzato nella normativa italiana, è caratterizzato da un insieme di norme, per l'appunto, prescrittive, che richiedono al progettista l'applicazione pedissequa del disposto normativo senza particolari spazi di manovra e senza poter incidere nella progettazione dell'attività esaminata anche perché, di fatto, non è basato su una valutazione del rischio incendio ed esplosione.

I vantaggi dell'approccio prescrittivo consistono nella sua agevole e omogenea applicazione da parte del progettista e, lato "controllori", nella ragionevole aspettativa di uniformità di giudizio.

D'altro canto, gli svantaggi maggiori di tale metodologia risiedono nell'estrema rigidità, che si manifesta nelle prescrizioni previste dal normatore che, sovente, obbliga il progettista a dover ricorrere all'istituto della deroga.

L'approccio prestazionale, di tipo ingegneristico (*Fire Safety Engineering*), di origine anglosassone, è fondato, invece, sullo studio dell'evoluzione dinamica dell'incendio e sulla previsione scientifica della prestazione dell'attività progettata, mediante l'utilizzo di opportuni modelli di calcolo.

Il pregio principale di questo secondo approccio risiede nell'estrema flessibilità della metodologia, che permette, con tutte le limitazioni del caso, di simulare incendi anche molto complessi.

D'altro canto, anche per tale approccio si rilevano alcuni limiti consistenti nella validazione dei modelli di calcolo, nella forte richiesta di preparazione del progettista (e dei "controllori") e, laddove vengano utilizzati modelli di campo<sup>4</sup>, discreti oneri computazionali che richiedono idonei supporti hardware e software.

Nel nostro Paese, prima dell'avvento del Codice, l'utilizzo della *Fire Safety Engineering* ha riguardato, essenzialmente, la progettazione di attività non normate e, laddove si istruiva una richiesta di deroga, a norme prescrittive di attività normate, al fine di dimostrare il raggiungimento di condizioni di sicurezza equivalente.

La *Fire Safety Engineering* costituisce uno strumento dalle enormi potenzialità; tuttavia, come accennato, richiede al progettista un elevato livello di competenza, considerevoli tempi per la progettazione, elevata etica professionale e, in definitiva, costi di progettazione più elevati per la committenza.

<sup>4</sup> I modelli di campo forniscono la stima dell'evoluzione dell'incendio in un unico volume, risolvendo per via numerica le equazioni fondamentali del flusso dei fluidi risultante da un incendio (equazioni di Navier-Stokes).

Tale approccio è sviluppato attraverso i metodi alle differenze finite, agli elementi finiti o degli elementi di confine.

Si veda, ad esempio, <https://www.inail.it/portale/it/inail-comunica/pubblicazioni/catalogo-generale/catalogo-generale-dettaglio.2019.11.metodi-per-l-ingegneria-della-sicurezza-antincendio.html>

Del resto, però essa, ed è questo uno degli aspetti peculiari dell'approccio prestazionale, consente al progettista di adottare le soluzioni progettuali più adatte allo specifico contesto nel quale va ad operare e al committente potenziali risparmi economici, ben inteso, a parità di sicurezza antincendio.

Il Codice, in quanto *Regola Tecnica Orizzontale*, ovvero regola tecnica applicabile a tutte le attività, predilige l'approccio prestazionale alla sicurezza antincendio, volto all'individuazione del livello di prestazione richiesto da una specifica misura antincendio ed alla verifica del suo raggiungimento.

La *soluzione alternativa* prevista dal Codice applicando, in via prioritaria ma non esclusiva, i *Metodi* suggeriti nella Sezione M, pertanto, si può considerare come eseguita "su misura" dal progettista per ciascuno specifico contesto analizzato.

In tal modo, il progettista è assoluto artefice della progettazione e la flessibilità, caratteristica peculiare del Codice, assicura la massima applicabilità della norma a qualsiasi situazione.

Sinteticamente si rammenta che la Sezione M del Codice descrive la metodologia di progettazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio, fornendo approfondimenti su come individuare gli scenari d'incendio di progetto e come procedere per la progettazione della salvaguardia della vita umana.

Tale approccio metodologico viene adottato anche in soluzione conforme, essendo richiesto al progettista di individuare il livello di prestazione adeguato per ogni misura antincendio e verificandone indirettamente il relativo raggiungimento.

L'applicazione dei principi dell'ingegneria della sicurezza antincendio consente, analogamente alle altre discipline ingegneristiche, di definire soluzioni idonee al raggiungimento di obiettivi progettuali mediante analisi di tipo quantitativo.

Nel Cap. M.1 si descrive in dettaglio la metodologia di progettazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio (o *progettazione antincendio prestazionale*).

Per altri aspetti tecnici della progettazione antincendio prestazionale, debbono essere impiegate le indicazioni riportate nei seguenti capitoli:

- Cap. M.2 Scenari d'incendio per la progettazione prestazionale;
- Cap. M.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale.

Per gli aspetti della progettazione antincendio prestazionale non esplicitamente definiti nel Codice si può sempre fare riferimento alla regola dell'arte internazionale.

## IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI

Rinviando, ad esempio, alla prima delle nove pubblicazioni della precedente Collana di Quaderni tecnici in merito all'illustrazione del Codice e della propria strutturazione, nonché al sito ufficiale del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco <https://www.vigilfuoco.it/asp/page.aspx?ldPage=10259> per la sua consultazione nella versione aggiornata, in questa sede si richiamano, brevemente, alcuni concetti peculiari di questo fondamentale strumento normativo nel campo della prevenzione incendi.

Il Codice ha introdotto norme che potremmo definire "semi-prescrittive", che consentono il ricorso a soluzioni conformi o alternative (*sezione M – Metodi*), e segna il passaggio da una metodologia prescrittiva, dove la valutazione del rischio d'incendio così come la definizione di soluzioni progettuali era fatta dal normatore, sulla base di criteri di sicurezza applicati dal normatore e non noti, ad una metodologia prestazionale che attinge a piene mani alle nuove tecniche dell'ingegneria antincendio (*Fire Safety Engineering*).

A garantire un ottimale rapporto tra il livello di sicurezza e i costi della soluzione adottata contribuiscono, da una parte, le misure tecniche (compartimentazione, sistemi di allarme, ecc.) e, dall'altra, le misure gestionali (sorveglianza, controlli, ecc.), che acquistano pari dignità nella nuova concezione della progettazione antincendio.

Progettare la sicurezza antincendio significa individuare le soluzioni tecniche e gestionali finalizzate al raggiungimento degli obiettivi primari (sicurezza della vita umana, incolumità delle persone e tutela dei beni e dell'ambiente in caso di incendio); il raggiungimento degli stessi si considera soddisfatto se le attività sono progettate, realizzate e gestite in maniera da:

- minimizzare cause incendio o di esplosione;
- garantire la stabilità delle strutture;
- limitare la produzione e la propagazione di un incendio all'interno dell'attività;
- limitare la propagazione di un incendio alle attività contigue;
- limitare gli effetti di un'esplosione;
- garantire la possibilità che gli occupanti lascino l'attività autonomamente o che gli stessi siano soccorsi in altro modo;
- garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza;
- tutelare gli edifici pregevoli per arte e storia;
- garantire la continuità di esercizio per le opere strategiche;
- prevenire il danno ambientale e limitare la compromissione dell'ambiente in caso di incendio.

La metodologia di valutazione del rischio d'incendio è il processo di analisi che, partendo dalla conoscenza scientifica della combustione, consente di stimare gli effetti dell'incendio e del comportamento umano, in termini di probabilità di accadimento e di danno.

Le ipotesi fondamentali del Codice (punto G.2.3) sono le seguenti:

1. in condizioni ordinarie, l'incendio può originarsi da un solo punto di innesco;
2. il rischio d'incendio di un'attività non può essere ridotto a zero;
3. Tali ipotesi rappresentano il riferimento da cui non discostarsi mai per il progettista nella valutazione del rischio incendio ed esplosione.

Il progettista, pertanto, individua i pericoli di incendio presenti nell'attività (sostanze pericolose e modalità di stoccaggio, carico di incendio, impianti, macchine ecc.) e, in funzione delle condizioni strutturali dell'edificio (geometria, distanziamenti, isolamento, viabilità layout aziendali, ecc.), dell'organizzazione (affollamento, turni di lavoro, formazione ecc.) e delle caratteristiche della specifica attività (lavorazioni, processi, ecc.), sviluppa un'attenta valutazione del rischio di incendio dell'attività, finalizzata all'individuazione delle più severe e credibili ipotesi di incendio e le conseguenze che da esso ne derivano, anche quando si progetta in maniera semi-prescrittiva e si ricorre alle soluzioni conformi.

Tale valutazione è centrale nell'ambito della progettazione, consentendo al progettista di adottare correttamente le soluzioni progettuali previste dal Codice, eventualmente, perfezionandole in base alle risultanze dell'analisi eseguita.

In esito alla valutazione del rischio, il progettista dovrà individuare anche compartimenti, ambiti e opere da costruzione, al fine di individuare correttamente i livelli di prestazione da attribuire.

Il processo di valutazione del rischio incendio o esplosione è di tipo iterativo, dal momento che può essere soggetto a rivalutazione da parte del progettista in funzione delle misure antincendio da adottare per raggiungere i relativi livelli di prestazione. Stabilito lo scopo della progettazione della sicurezza antincendio, fissati gli obiettivi di sicurezza ed espletata la valutazione del rischio incendio ed esplosione per l'attività, il progettista attribuisce un valore per ciascuno dei tre profili di rischio e per ciascuno dei compartimenti/ambiti cui sono riferiti, secondo le indicazioni contenute nel Codice:

- $R_{vita}$       *profilo di rischio* relativo alla salvaguardia umana;
- $R_{beni}$       *profilo di rischio* relativo alla salvaguardia dei beni economici;
- $R_{ambiente}$       *profilo di rischio* relativo alla tutela dell'ambiente dagli effetti dell'incendio.

I profili di rischio  $R_{vita}$ ,  $R_{beni}$  e  $R_{ambiente}$  sono definibili come degli indicatori speditivi della tipologia di rischio presente negli ambiti dell'attività, ma in nessun caso sostituiscono la valutazione del rischio di incendio!

Attraverso la valutazione del rischio incendio ed esplosione e la determinazione dei profili di rischio, il progettista è guidato (non costretto!) all'attribuzione dei livelli di prestazione, ricorrendo ai criteri di attribuzione generalmente accettati o ad uno dei metodi di cui al par. G.2.7, ovvero alla individuazione delle misure antincendio.

La valutazione del rischio (frequenza di accadimento e danno eventuale) è propedeutica per l'assegnazione della misura a  $R_{vita}$ ,  $R_{beni}$  e  $R_{ambiente}$  e dipende dagli altri indicatori di pericolosità (geometria complessa, affollamento, lavorazioni pericolose, ecc.) scaturiti dalla valutazione del rischio d'incendio.

Se non diversamente indicato, o determinato in esito a specifica valutazione del rischio, il profilo di rischio  $R_{ambiente}$  è ritenuto non significativo negli ambiti protetti da impianti o sistemi automatici di completa estinzione dell'incendio (Cap. 5.6) a *disponibilità superiore* e nelle attività civili.

Le operazioni di soccorso dei VV.F. sono escluse dalla valutazione del rischio ambientale.



PROFILI DI RISCHIO

Una volta effettuata la valutazione del rischio incendio ed esplosione, individuati i suddetti profili di rischio ed in funzione di altri parametri caratterizzanti la specifica attività, il progettista è chiamato a definire tutte le misure antincendio del Codice attribuendo, per ciascuna, i pertinenti livelli di prestazione in funzione degli obiettivi di sicurezza da raggiungere e degli esiti delle suddette valutazioni, che sono parte di un processo iterativo di progettazione.

Per ogni livello di prestazione di ciascuna misura antincendio sono previste diverse soluzioni progettuali.

La soluzione progettuale scelta deve garantire il raggiungimento del livello di prestazione.

Le soluzioni progettuali che sono previste dal Codice sono:

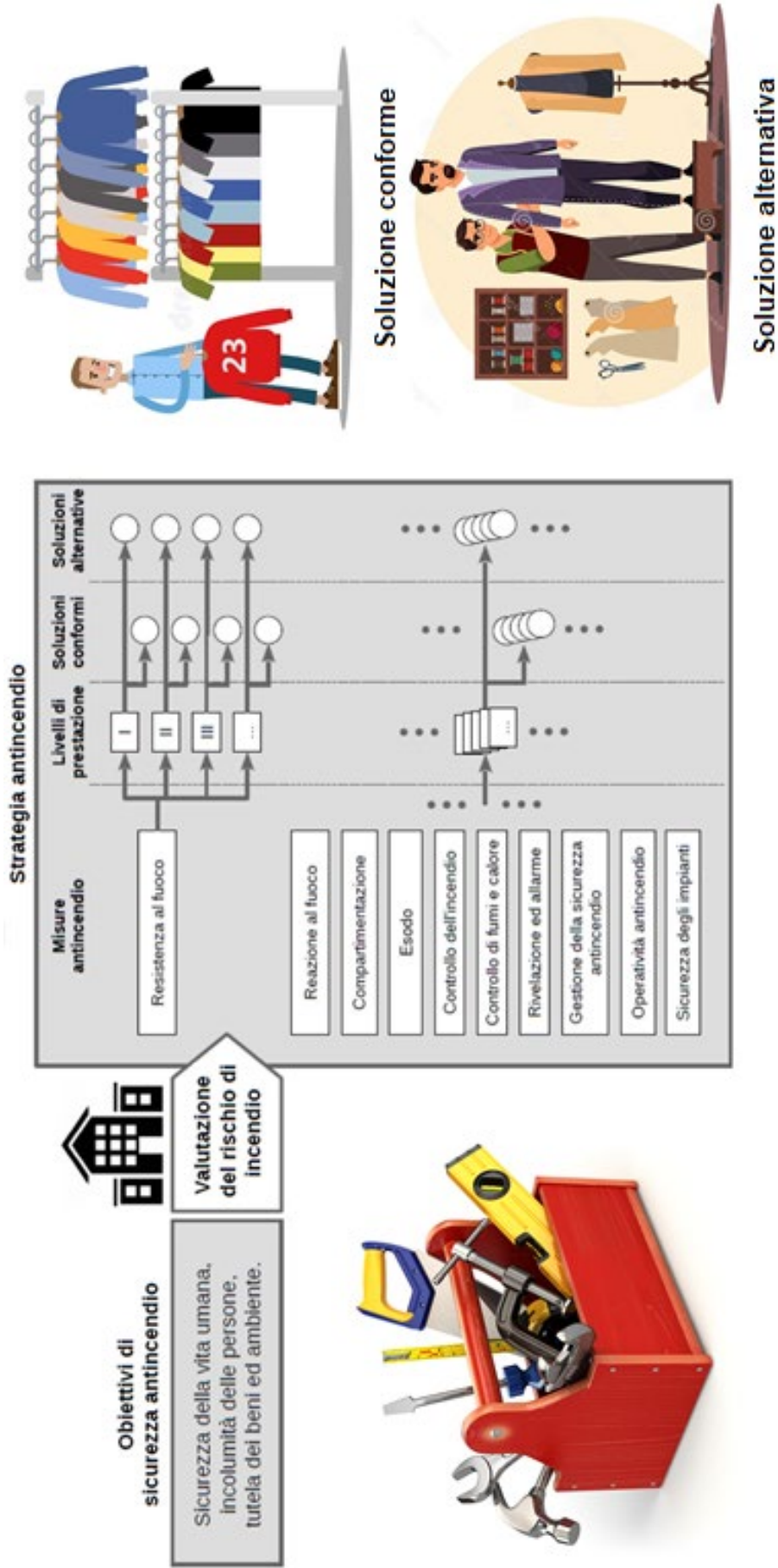


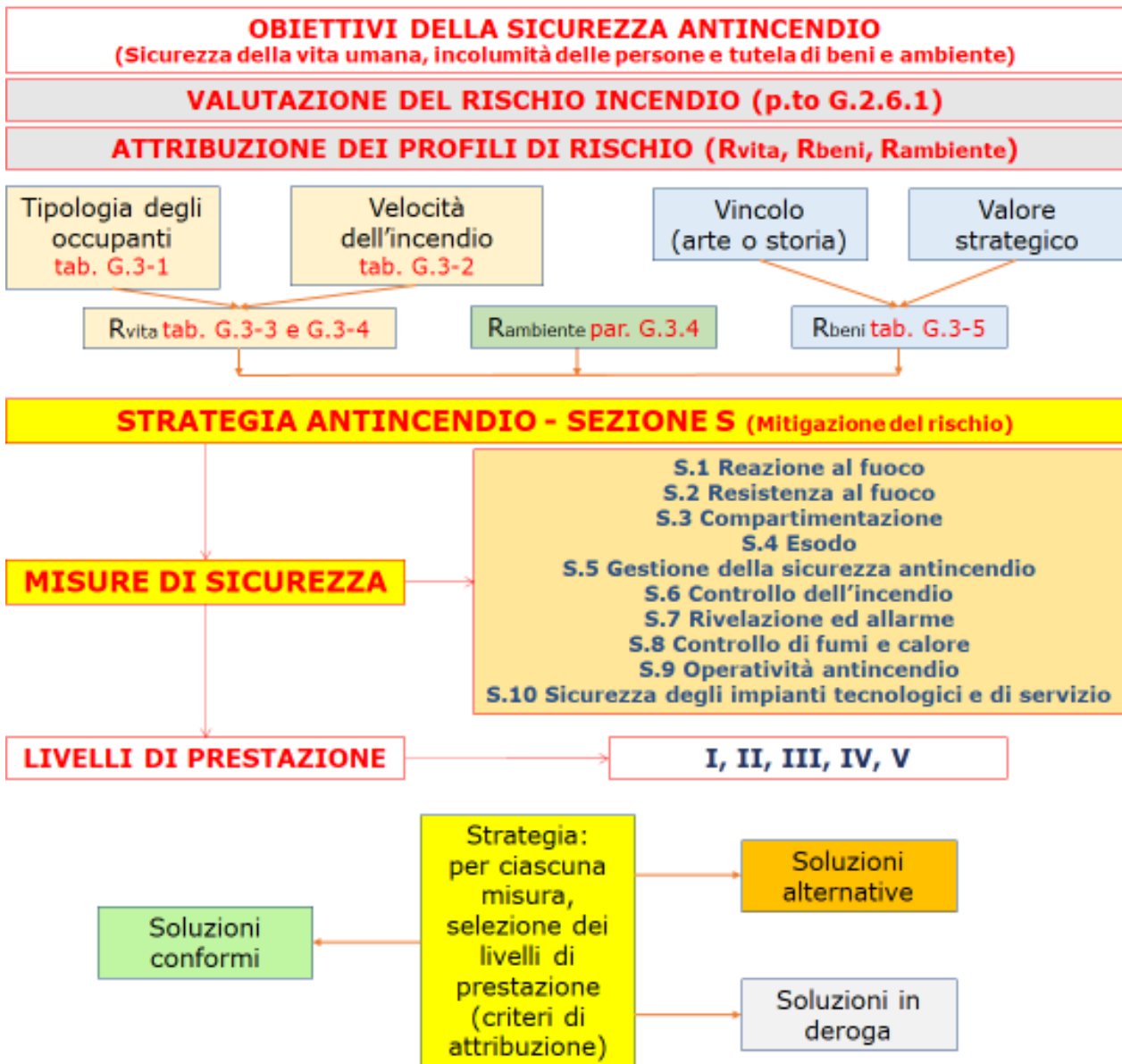
SOLUZIONI PROGETTUALI

La novità del Codice consiste nell'ammettere soluzioni *alternative*: il progettista può sviluppare soluzioni progettuali diverse da quelle *conformi*, trovarne una *alternativa*, dimostrando il raggiungimento del collegato livello di prestazione, ovvero, in via residuale, una *in deroga* (G.2.8), fatto salvo doverne dimostrare il raggiungimento dei pertinenti obiettivi di sicurezza antincendio di cui al par. G.2.5.

Il Codice, come detto, rappresenta la regola generale (RTO) per tutte le attività non dotate di RTV.

Per le attività dotate di RTV occorre prioritariamente effettuare la valutazione del rischio, tenendo conto delle specificità previste dalla RTV, quindi attribuire i livelli di prestazione previsti dalla RTO per le misure antincendio che compongono la strategia antincendio e infine modificare o integrare le *soluzioni conformi* della RTO con quelle di cui alla RTV, nel caso di ricorso alle *soluzioni conformi* (solo la V.6 prevede indicazioni anche per le *soluzioni alternative*, in particolare per la sola resistenza al fuoco). Laddove la RTV non fornisca indicazioni specifiche per una misura (es.: la V.6 per la S.9), in tal caso, si dovrà far riferimento esclusivamente alle pertinenti indicazioni contenute nella sezione S della RTO.





ITER PER L'ATTRIBUZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONI ALLE MISURE DELLA STRATEGIA E DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI

## CHIUSURE D'AMBITO DEGLI EDIFICI CIVILI - LA NORMATIVA APPLICABILE

Anche per la progettazione delle *chiusure d'ambito* occorre rammentare che la prevenzione incendi è regolata da diversi livelli di rango normativo:

- regole di buona tecnica: criteri generali di prevenzione incendi;
- norme volontarie (UNI, EN, ISO o altro);
- regole tecniche emanate per decreto e, pertanto, cogenti.

Nell'ambito delle regole di buona tecnica si segnalano due guide tecniche (*documenti volontari riferiti agli edifici aventi altezza antincendio > 12 m*) redatte dai VV.F., inerenti la sicurezza delle facciate negli edifici civili:

- guida tecnica emanata con lett. circ. n. 5643 del 31 marzo 2010 "*Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili*";
- guida tecnica emanata con lett. circ. n. 5043 del 15 aprile 2013 "*Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili*", che aggiorna la precedente.

Se tali linee guide rimangono comunque uno strumento di riferimento per valutazione del rischio della sicurezza al fuoco delle facciate per edifici progettati con norme antecedenti al Codice, per tutte le attività progettate con Codice è stata emanata e resa obbligatoria l'applicazione della più recente RTV V.13 (7 luglio 2022).

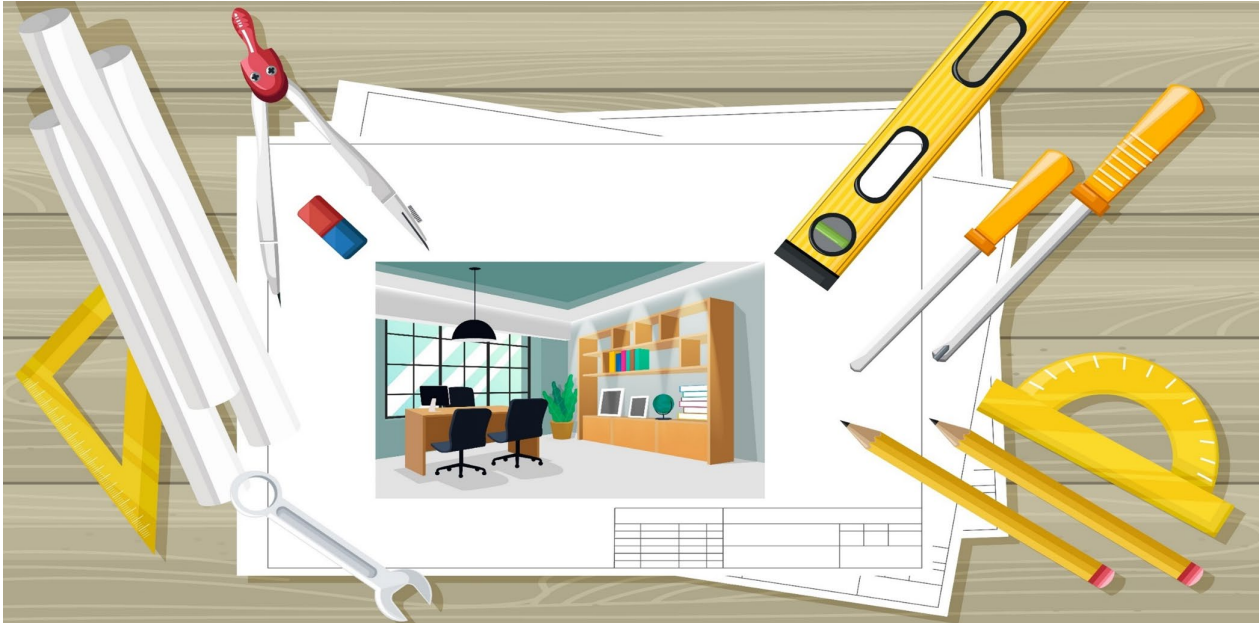
Tanto premesso, attualmente la normativa applicabile alle chiusure d'ambito è la seguente:

Tipologia di edificio	Norma di riferimento per le facciate
Edificio civile soggetto alla RTO	RTV V.13
Edificio NON civile soggetto alla RTO	par. S.1.7 della RTO
Edificio civile soggetto al d.m. 16 maggio 1987(*)	lett. circ. n. 5043 del 15 aprile 2013
Edificio civile NUOVO soggetto alla RTV V.14	RTV V.13
Edificio progettato secondo RT antecedenti al Codice (es.: RT d.m. 22 febbraio 2006 per gli Uffici, ecc.)	Valutazione del rischio secondo lett. circ. n. 5043 del 15 aprile 2013 e/o RTV V.13

(\*) Edifici nuovi o esistenti soggetti al d.m. 16 maggio 1987 e s.m.i. (d.m. 25 gennaio 2019) "Norme di sicurezza antincendi per gli edifici di civile abitazione".

Si segnala che con l'entrata in vigore del d.m. 3 settembre 2021 "*Criteri generali di progettazione, realizzazione ed esercizio della sicurezza antincendio per luoghi di lavoro, ai sensi dell'articolo 46, comma 3, lettera a), punti 1 e 2, del d.lgs. 9 aprile 2008, n. 81*", nei

casi in cui non si ricadrà nell'applicazione del decreto, si dovrà applicare il Codice e, di conseguenza, le applicazioni della RTV V.13 ricadranno non solamente sulle *attività soggette* ma anche in tutti i luoghi di lavoro dove l'applicazione di elementi combustibili in facciata rappresenteranno una aggravio del rischio incendio.



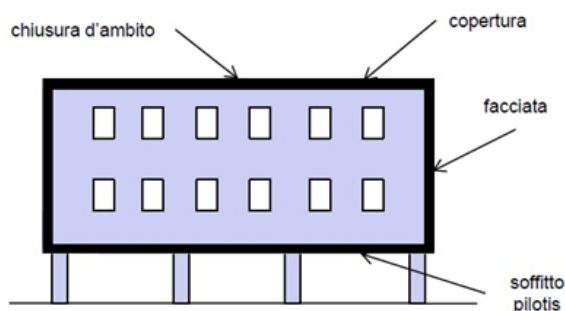
La RTV V.13, pertanto, rappresenta un'assoluta novità, non esistendo una corrispondente RT tradizionale pre Codice.

## DEFINIZIONI

Con il termine "*chiusura d'ambito dell'edificio civile*" s'intende la *frontiera esterna* dell'edificio ad orientamento orizzontale o verticale (par. V.13.2).

Essa comprende, per esempio, oltre alle facciate di un edificio, anche la sua copertura, il soffitto del piano pilotis e altri elementi posti sul perimetro dell'immobile come balconi, bow-windows, ecc..

Sono infine comprese le frontiere esterne interrato, frontiere tra ambiti diversi dell'edificio ed eventuali frontiere tra diversi edifici che si affacciano su volume d'aria.



Definizioni adottate

## TIPOLOGIE DI FACCIATA<sup>5</sup>

Con il termine "*facciata*" s'intende l'insieme dei componenti che costituiscono un sistema di chiusura (materiali, elementi, accessori ecc.), progettati, assemblati ed installati al fine di realizzare l'involucro esterno verticale, o quasi verticale, dell'edificio.

### ■ Facciata semplice

Facciata, anche di tipo multistrato, in cui gli strati e gli elementi funzionali sono assemblati con continuità senza intercapedini d'aria tra gli strati. Sono considerati come unico strato elementi forati quali laterizi, blocchetti in calcestruzzo, vetrocamera, ecc.

Sono incluse le facciate rivestite con elementi prefabbricati, fissati con legante umido o a secco in aderenza alla parete esistente sottostante (cappotti termici) e le facciate in mattoni o blocchi dotati di camera d'aria non ventilata per l'isolamento termico.

### ■ Facciate a doppia parete

Facciata di tipo multistrato in cui gli strati e/o gli elementi funzionali sono separati da una cavità o intercapedine d'aria (denominata "corridoio d'aria" o "spazio intermedio"). Le facciate a doppia parete possono essere di tipo ventilato e non ventilato con pareti opache o vetrate.

- non ventilata (assimilabile ad una facciata semplice)
- ventilata ispezionabile

Facciate a doppia parete con circolazione d'aria nell'intercapedine di tipo meccanico e/o naturale.

L'intercapedine d'aria può assumere spessori superiori a 60 cm.

Nel caso di intercapedini superiori a 120 cm le due pareti costituiscono, dal punto di vista della sicurezza antincendio, due sistemi facciata indipendenti.

Tale tipologia di facciata è generalmente composta da una parete esterna vetrata e una parete interna che può essere semplice con o senza infissi, di tipo curtain wall opaca o vetrata.

L'intercapedine interna tra le due pareti è attrezzata per consentire il passaggio di addetti alle operazioni di manutenzione.

- ventilata non ispezionabile

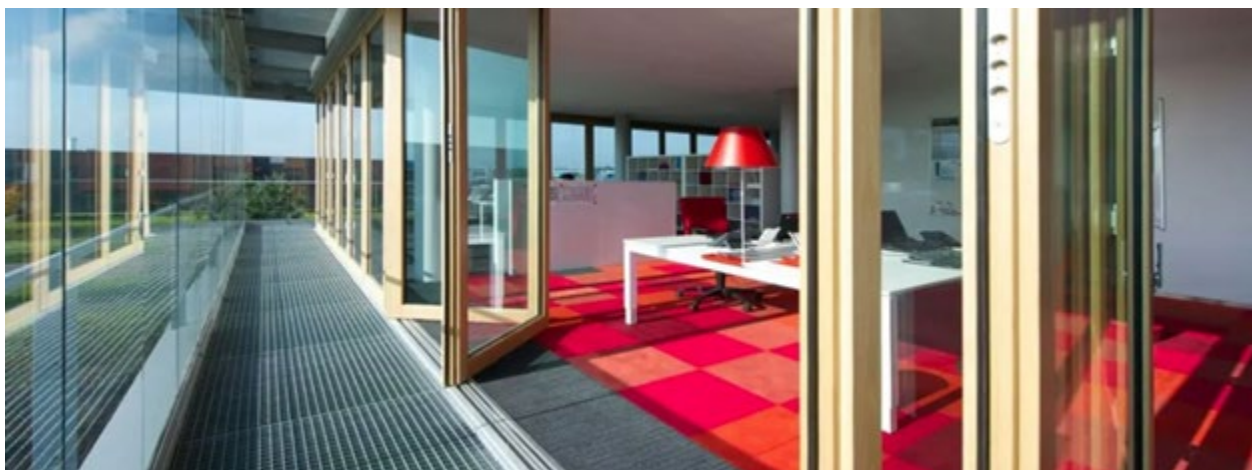
Facciata a doppia parete con circolazione di aria nell'intercapedine di tipo meccanico e/o naturale.

<sup>5</sup> Le definizioni che seguono sono tratte dalla guida tecnica "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" emanata dai Vigili del fuoco con lett. circ. n. 5043 del 15 aprile 2013.

L'intercapedine d'aria può assumere spessori variabili compresi tra un minimo di 3 cm e un massimo di 60 cm.

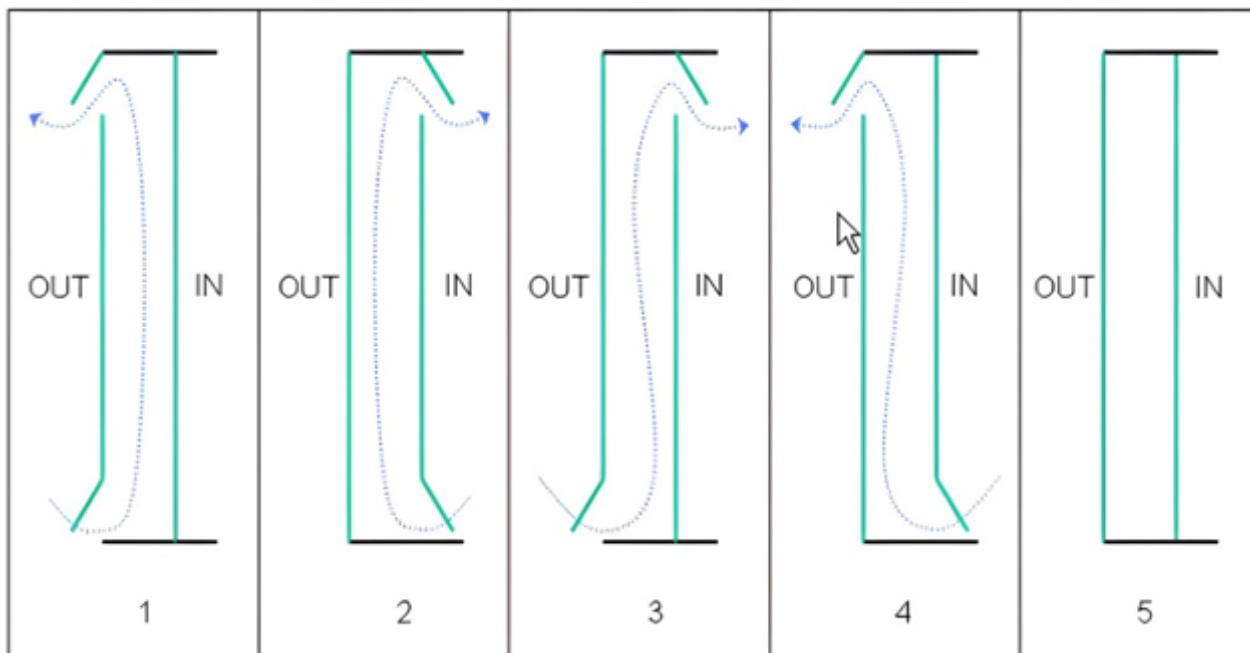
Generalmente gli spessori sono compresi tra 5 e 10 cm.

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



FACCIATA A DOPPIA PELLE<sup>6</sup>

Le facciate ventilate basate sulla ventilazione naturale vengono definite “facciate passive”, mentre quelle dotate di ventilazione meccanica sono definite “facciate attive”.



TIPOLOGIE DI VENTILAZIONE

<sup>6</sup> Si definisce pelle ciascuno degli strati, anche realizzati con più materiali, di cui si compone una chiusura d'ambito dotata di intercapedine.

Le facciate a doppia pelle sono generalmente composte da due strati vetrati, di cui uno a singolo vetro e l'altro costituito da un vetro camera.

La disposizione delle due tipologie di vetro cambia in funzione del tipo di ventilazione previsto.

Per esempio, in linea generale, il doppio vetro costituisce la parete esterna nel caso di facciate ventilate con aria interna (tipo 2 del disegno).

#### ■ Curtain wall (facciata continua)

Facciata esterna non portante indipendente dall'ossatura strutturale dell'edificio e generalmente fissata davanti alla testa dei solai e dei muri trasversali.

Una facciata continua include telai, pannelli, superfici vetrate, sigillature, sistemi di fissaggio, giunti, membrane di tenuta, ecc.

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

La facciata continua è generalmente progettata con struttura di alluminio estrusa (ma può essere anche con intelaiatura di legno, acciaio, PVC o altro) ed è generalmente tamponata con pannelli in vetro.

Altre chiusure comuni includono: rivestimenti esterni in pietra, in pannelli di metallo o di legno, in strisce distaccate di vario materiale (tipo persiana o frangisole), finestre apribili ecc..

#### ■ Parete aperta

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

#### ■ *Parete chiusa* (parete esterna che non rispetta i criteri della parete aperta)

#### ■ Kit

Nell'accezione della Direttiva Prodotti da Costruzione (DPC) e del nuovo Regolamento Prodotti da Costruzione (CPR), un kit è equivalente ad un prodotto da costruzione.

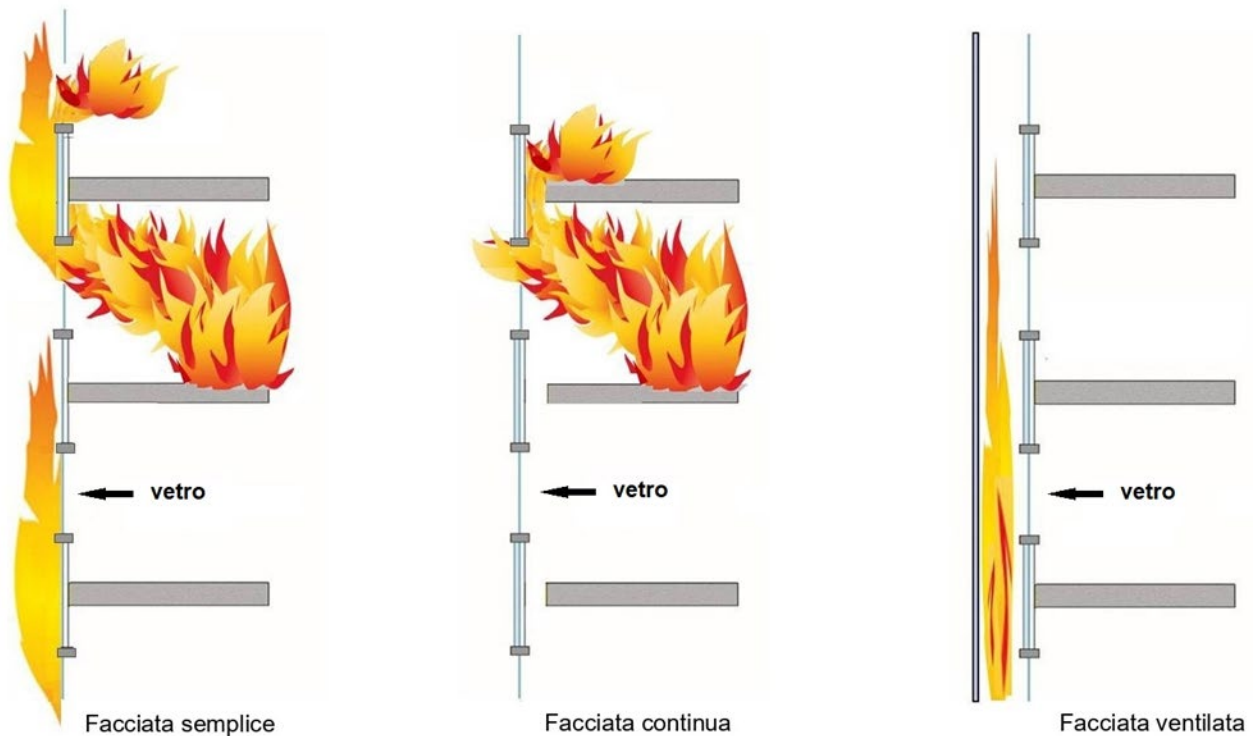
Un prodotto da costruzione è un kit quando è costituito da una serie di almeno due componenti separati che necessitano di essere uniti per essere installati permanentemente nelle opere, per diventare un sistema assemblato.

Per rientrare nello scopo della DPC (o del CPR), un kit deve soddisfare le seguenti condizioni:

- il kit deve essere collocato sul mercato consentendo l'acquisto in un'unica transazione da un singolo fornitore;
- il kit deve possedere caratteristiche che consentano alle opere nelle quali è incorporato di soddisfare i requisiti essenziali, quando le opere sono soggette a regole che prevedano detti requisiti.

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.

## LE CHIUSURE D'AMBITO COME ELEMENTI AGGIUNTIVI DEL RISCHIO IN CASO DI INCENDIO



POSSIBILI MODALITÀ DI PROPAGAZIONE DI UN INCENDIO CON ORIGINE INTERNA TRAMITE LA FACCIATA

Negli ultimi decenni, lo sviluppo tecnologico e le richieste sempre più stringenti in termini di requisiti termici, acustici ha introdotto sempre più l'utilizzo di nuovi componenti architettonici combustibili sia in facciata che sui tetti.

Tali componenti, soprattutto negli edifici di notevole altezza, in caso di incendio, favoriscono la propagazione incontrollata del fuoco lungo tutto il perimetro dell'immobile, con elevata possibilità che l'incendio rientri nell'edificio ai livelli superiori attraverso le finestre, con conseguente perdita di vite umane e danni significativi ai beni e alla proprietà.

Le facciate degli edifici, se non adeguatamente progettate e realizzate, possono rappresentare un *aggravio di rischio* in caso di incendio e quindi su di esse si è focalizzata l'attenzione di ricercatori e studiosi nel campo della *sicurezza antincendio*.

Un principio di base della sicurezza antincendio per edifici, e un requisito del Codice, è quello di contenere la propagazione del fuoco nel compartimento di origine dello stesso. Il controllo di un incendio all'interno di un locale al chiuso si può ottenere attraverso una serie di misure di protezione attiva, tra cui la rete idrica antincendio, l'impianto di spegnimento automatico sprinkler, i sistemi di controllo del fumo, apprestamenti che tuttavia non sono destinati a controllare la propagazione dell'incendio una volta

che il fuoco ha raggiunto l'esterno dell'edificio e quindi non hanno alcuna efficacia sull'incendio di facciata.

Peraltro, i sistemi antincendio interni non sono progettati né destinati a controllare la propagazione del fuoco all'esterno dell'edificio.

Pertanto, il controllo della propagazione verticale del fuoco esterno si deve basare su un'attenta scelta dei materiali da costruzione utilizzati e sui dettagli del progetto dell'involucro dell'edificio.

Un incendio che coinvolge il sistema di facciata o non deve consentire la propagazione del fuoco oltre i confini del compartimento, in particolare da un piano all'altro, o deve essere ritardata al fine di permettere l'evacuazione delle persone e l'intervento delle squadre di soccorso (V.V.F.).



PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO SULLA FACCIATA

Pertanto, al fine di verificare la sicurezza al fuoco di una chiusura d'ambito, è necessario avere una visione globale della sicurezza antincendio dell'intero edificio dove il raggiungimento dell'adeguata soglia di sicurezza è raggiungibile solo tramite la cooperazione di tutte le misure antincendio, siano esse di carattere costruttivo che gestionale.

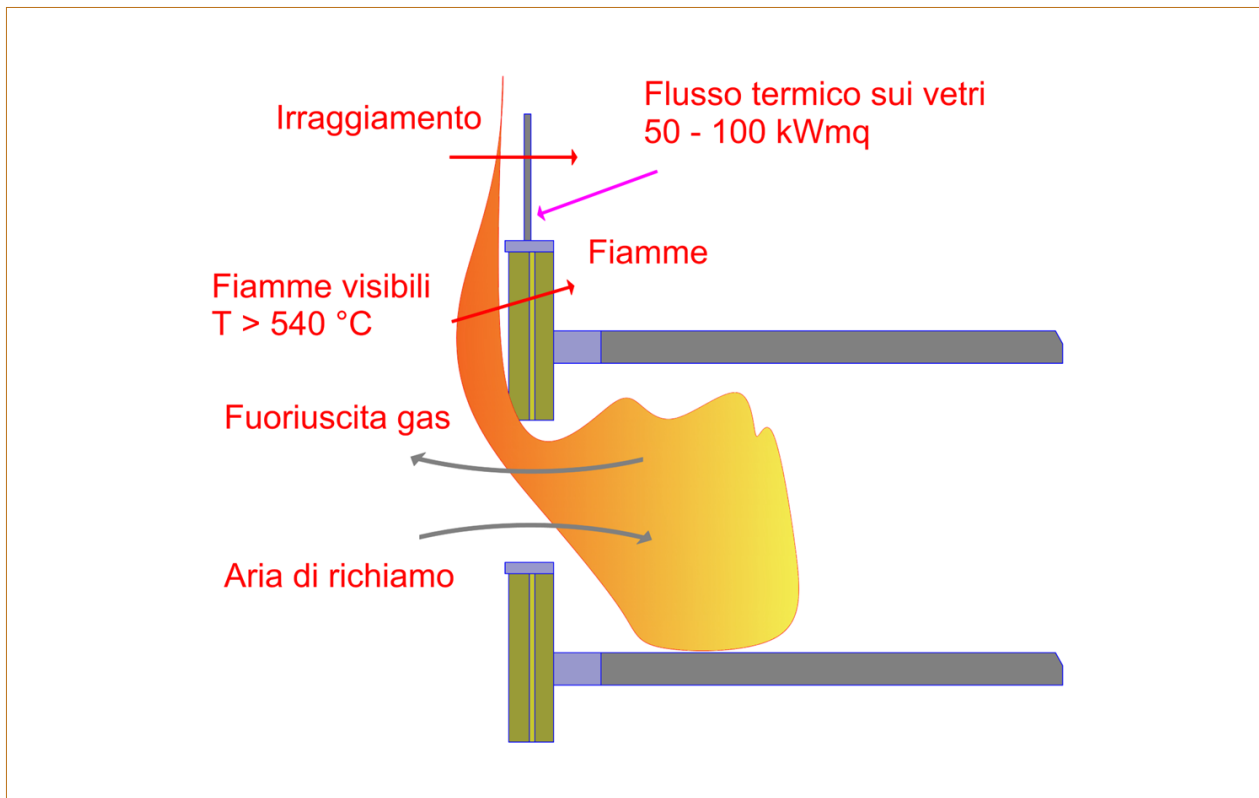
Infatti, il rischio residuo e, di conseguenza, la sicurezza al fuoco di un immobile compreso delle sue chiusure d'ambito è determinato da fattori come la destinazione d'uso del fabbricato (es.: un ospedale presenta un rischio iniziale maggiore rispetto ad un ufficio) e dall'utilizzo di concerto delle misure di protezione attiva e passiva che vanno dalle più tradizionali, come per esempio presenza di impianto sprinkler o rete idranti, presenza di sistemi di esodo protetti o a prova di fumo, ecc. per passare alla meno consuete nel panorama antincendio, come la scelta specifica dei componenti edilizi che compongono ogni chiusura d'ambito (es.: inserire elementi parafiamma di tipo non combustibile, ecc.) fino alla necessità di individuare vincoli e/o soluzioni di tipo gestionale (es.: limitare il carico di incendio alla base di un edificio, avere una maggiore frequenza di controllo per componenti critici come impianti fotovoltaici, ecc.).

## EVENTI INIZIATORI DI UN INCENDIO

Al fine di comprendere meglio la problematica circa la sicurezza contro l'incendio di una facciata è determinante comprendere quali siano i principali eventi iniziatori che possono favorire la propagazione del fuoco tramite l'involucro edilizio.

Sulla base dell'esame degli incendi di facciata, si riportano gli eventi chiave iniziatori che innescano un incendio in una facciata:

- un *incendio interno* all'edificio si diffonde al sistema di pareti esterne tramite *aperture esterne* come le finestre:



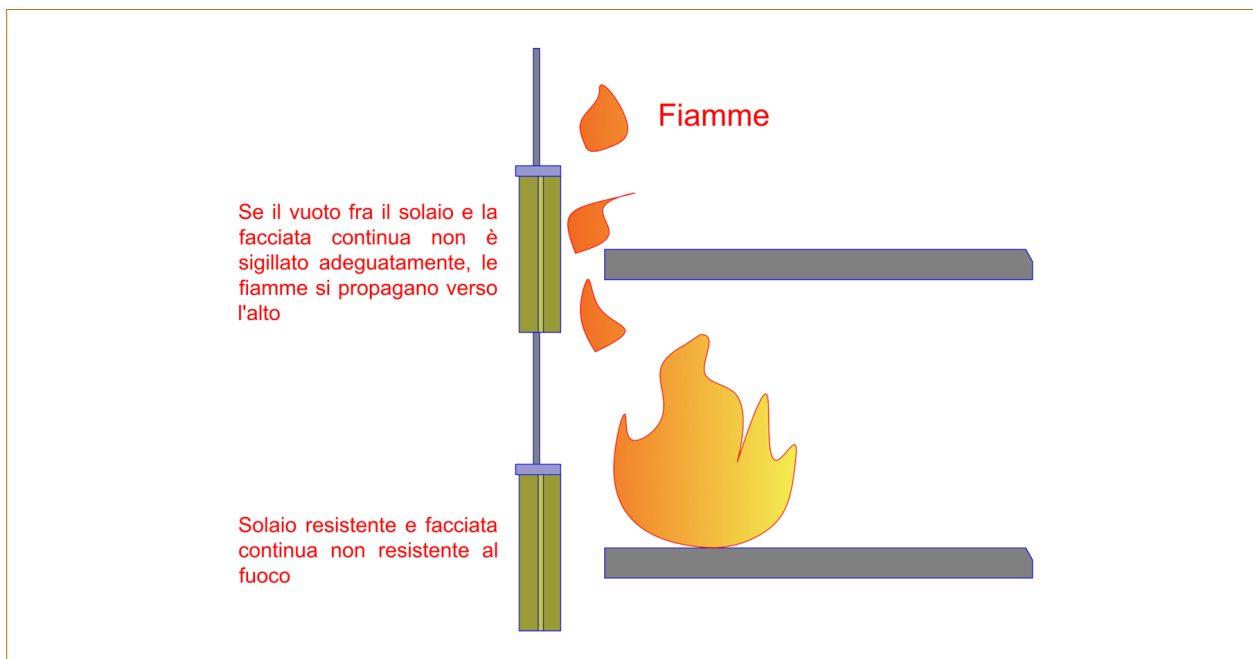
INCENDIO CHE SI DIFFONDE TRAMITE APERTURE ESTERNE

Durante un incendio all'interno dell'edificio, una parte dei gas caldi non è in grado di bruciare all'interno della stanza a causa dell'aria limitata (ventilazione controllata) ma, quando defluisce attraverso le aperture, incontra un sufficiente quantitativo d'aria, consentendo ai gas combustibili caldi di bruciare all'esterno dell'edificio.

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

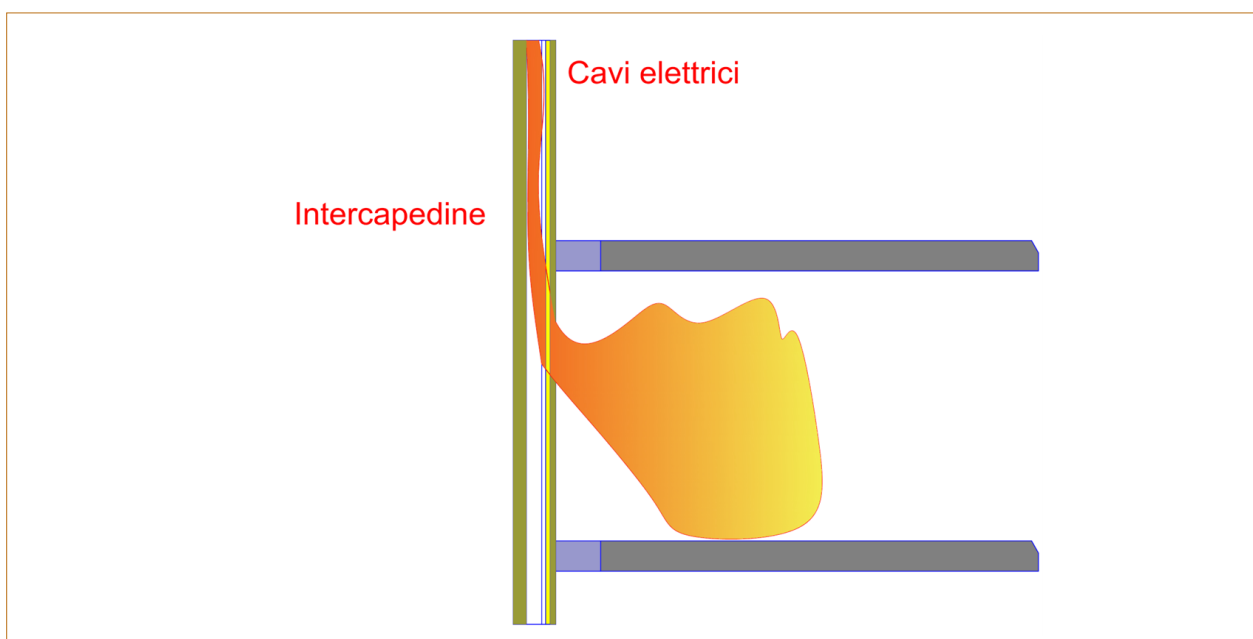
Le fiamme che sporgono dalle finestre espongono la facciata e le eventuali finestre sovrastanti al calore e permettono al fuoco di entrare nei piani superiori.

- un *incendio interno* si diffonde ai piani superiori ed al sistema di pareti esterne tramite *aperture interne* e spazi nascosti:



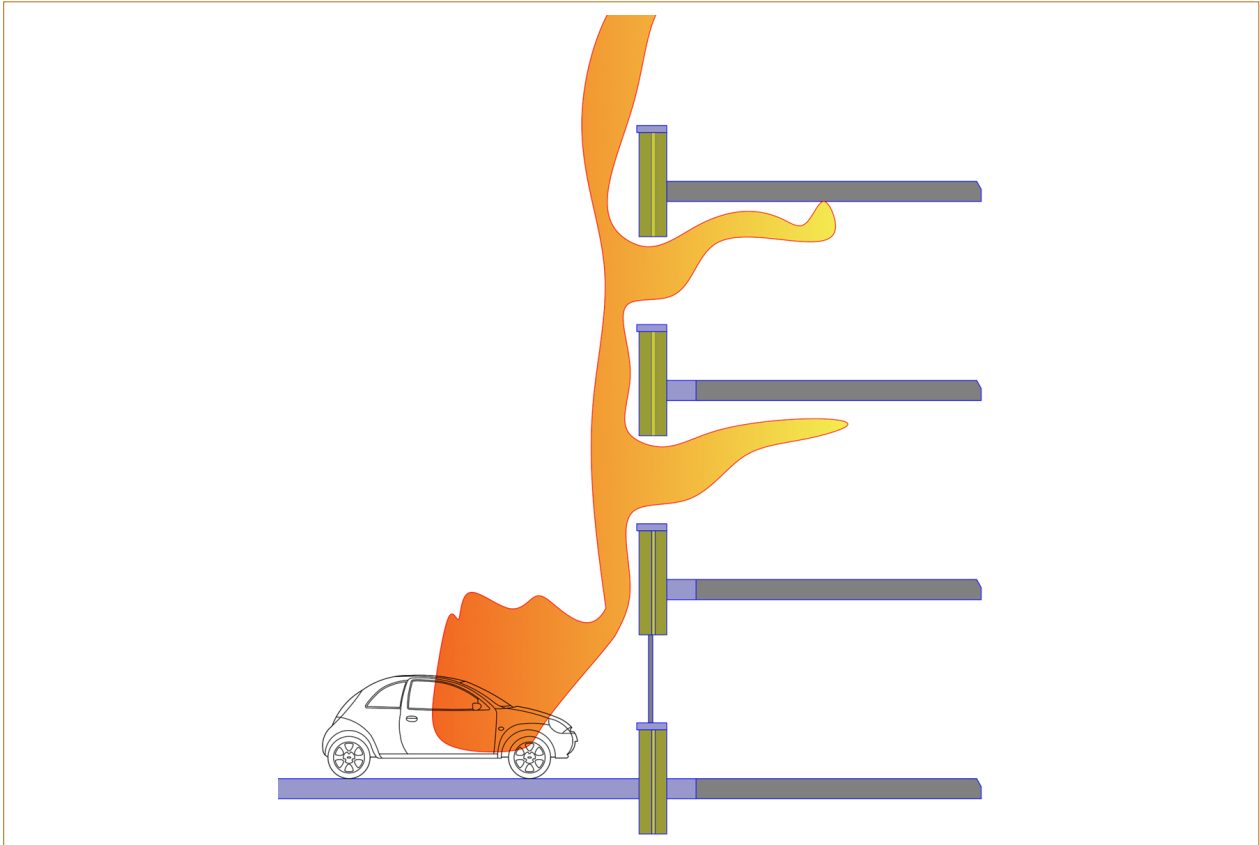
INCENDIO CHE SI DIFFONDE TRAMITE APERTURE INTERNE

- un incendio che si sviluppa direttamente in facciata o *all'interno di una cavità* a causa di cavi elettrici all'interno della cavità stessa o data la presenza di altre possibili fonti di innesco presenti sulla chiusura d'ambito come pannelli FV, elementi tecnologici:



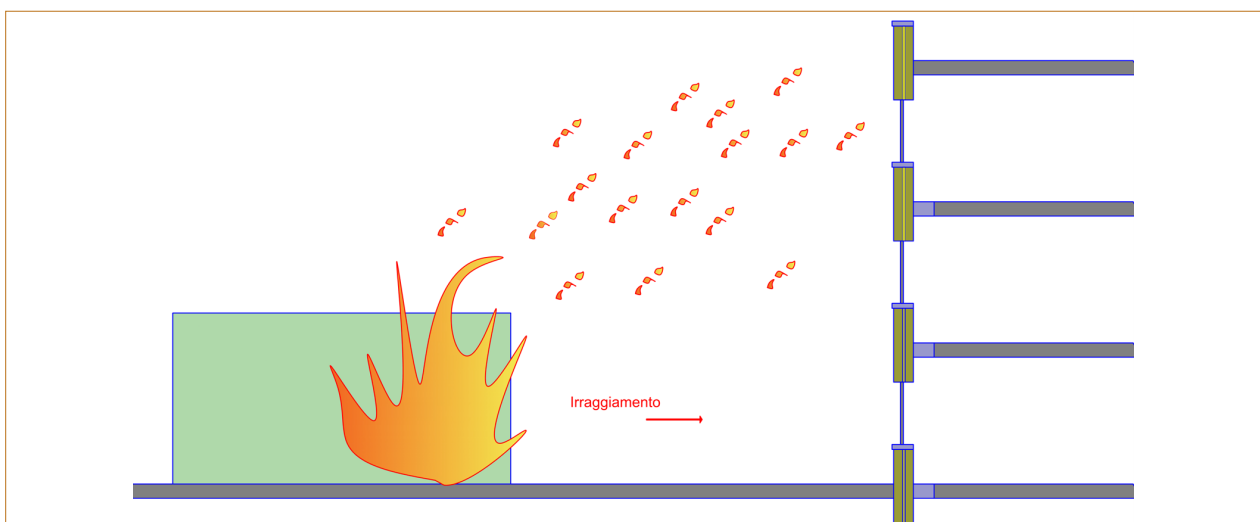
INCENDIO CHE SI DIFFONDE TRAMITE CAVITÀ

- un *incendio esterno* adiacente ad un sistema di pareti esterne con conseguente ignizione a causa del calore radiante e/o dell'impatto della fiamma (es.: alla base di un edificio , su di un balcone/loggia/terrazzo, copertura adiacente, ecc.):



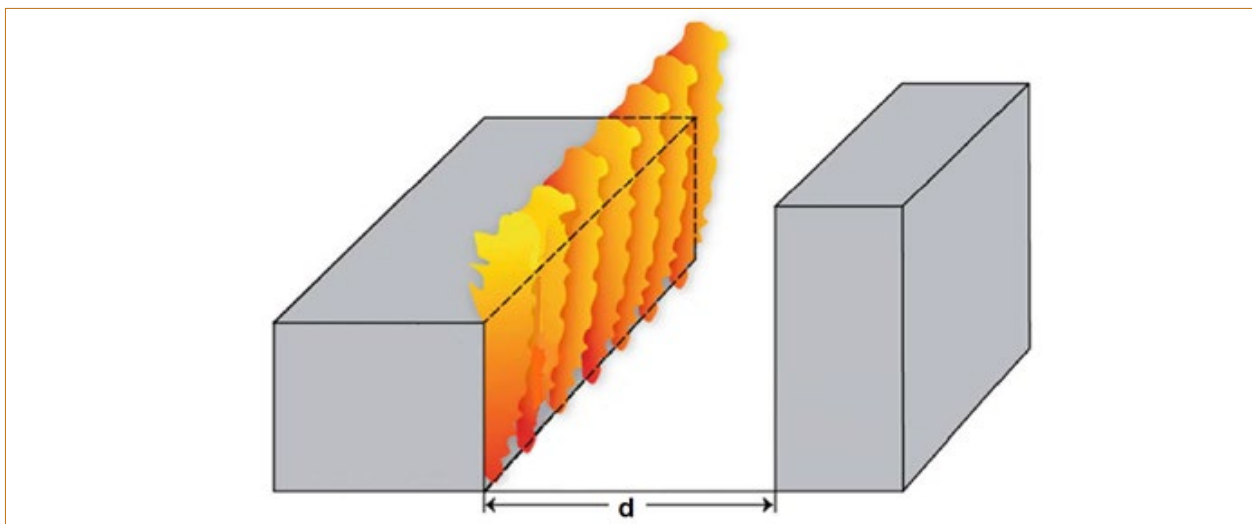
INCENDIO CHE SI DIFFONDE TRAMITE UNO ESTERNO A CAUSA DEL CALORE RADIANTE E/O IMPATTO DELLE FIAMME

- un *incendio esterno* di un fabbricato separato con conseguente accensione del sistema di pareti esterne a causa del calore radiante:



INCENDIO CHE SI DIFFONDE A CAUSA DEL CALORE RADIANTE

La distanza di separazione è da valutare con le metodologie proposte al Cap. S.3 del Codice (vedi parr. S.3.8 e S.3.11), nel quale sono illustrate due procedure per la determinazione della distanza di separazione, la prima di tipo tabellare (par. S.3.11.2) e la seconda di tipo analitico tabellare (par. S.3.11.3):



DISTANZA DI SEPARAZIONE (VEDI CAP. S.3)

## MECCANISMI DI PROPAGAZIONE DEL FUOCO DOPO L'EVENTO INIZIATORIO

Gli *incendi secondari*, causati dalla propagazione ai piani superiori, sono riassumibili nelle seguenti modalità:

- a. il fuoco si diffonde all'interno del piano superiore attraverso aperture come finestre che causano incendi *interni secondari* con conseguente propagazione del fuoco su più piani, chiamato effetto *“rana saltatrice”*:



EFFETTO “RANA SALTATRICE”

b. il fuoco si diffonde attraverso materiali combustibili che si trovano sui *balconi* esterni:



DIFFUSIONE DELL'INCENDIO TRAMITE BALCONI ESTERNI

c. diffusione della fiamma sulla *superficie esterna della parete*:



DIFFUSIONE DELL'INCENDIO SULLA SUPERFICIE ESTERNA DELLA PARETE

d. diffusione della fiamma *all'interno di una cavità verticale interna*:



DIFFUSIONE DELL'INCENDIO ALL'INTERNO DI CAVITÀ VERTICALE INTERNA

- e. gli impatti del flusso di calore causano la *degradazione o la separazione della pelle esterna* non combustibile con conseguente propagazione della fiamma sul nucleo interno della pelle:



DIFFUSIONE DELL'INCENDIO PROVOCATA DALLA DEGRADAZIONE DELLA PELLE ESTERNA NON COMBUSTIBILE

- f. incendi esterni secondari avviati ai piani inferiori derivanti dalla *caduta di detriti in fiamme*:



DIFFUSIONE DELL'INCENDIO PROVOCATA DALLA CADUTA DI DETRITI IN FIAMME AI PIANI INFERIORI

g. incendi esterni secondari avviati su proprietà adiacenti derivanti dalla *caduta di detriti in fiamme*:



DIFFUSIONE DELL'INCENDIO PROVOCATA DALLA CADUTA DI DETRITI IN FIAMME SU PROPRIETÀ ADIACENTI

In definitiva, la tematica degli incendi in termini di propagazione sui sistemi di rivestimento esterni impone il rispetto di alcuni requisiti tecnici essenziali, che riflettono i seguenti principi:

- l'incendio non deve diffondersi facilmente attraverso un sistema di facciata, ed in genere tali sistemi devono essere di combustibilità limitata, in modo che l'incendio del rivestimento non si propaghi facilmente;
- quando un edificio è adiacente ad un altro edificio, e l'incendio può causare il coinvolgimento dell'altro edificio in relazione dell'esposizione al calore irradiato, occorre valutare l'opportunità di un rivestimento di tipo non combustibile;
- in funzione dello sviluppo e della suddivisione in compartimenti dell'edificio, è necessario implementare elementi costruttivi resistenti al fuoco (es.: fascia di separazione > 1 m) al fine di evitare il rientro di fiamma all'interno dell'edificio;

quando è presente uno spazio d'aria tra la parete dell'edificio ed il rivestimento, occorrono provvedimenti per evitare che il fuoco si diffonda attraverso l'intercapedine.

## LA REGOLA TECNICA VERTICALE V.13

Il d.m. 30 marzo 2022 "Chiusure d'ambito degli edifici civili" costituisce RTV di prevenzione incendi inerente le facciate e mantiene lo stesso campo di applicazione del Codice. Si rammenta che l'allegato 1 del d.p.r. 151 del 1 agosto 2011 prevede che la soglia di assoggettabilità degli *edifici destinati ad uso civile* (attività 77) è di 24 m.

Emerge quindi un disallineamento tra il campo di applicazione della RTV V.13 e l'assoggettabilità al controllo da parte dei Vigili del Fuoco e, pertanto, potrebbero esserci edifici civili con altezza antincendio < 24 m (rientranti nel campo di applicazione della RTV V.13), pur non essendo *attività soggette*.

*Peraltro, tali aspetti sono meramente amministrativi, in quanto la RTV V.13 rimane valida quale strumento per la progettazione delle sicurezza a antincendio delle facciate.*

In relazione al proprio campo di applicazione, la RTV V.13 dichiara (par. V.13.1):

1. La presente regola tecnica verticale si applica alle chiusure d'ambito degli *edifici civili* (es.: strutture sanitarie, scolastiche, alberghiere, commerciali, uffici, residenziali ...) e persegue i seguenti obiettivi di sicurezza antincendio:

**a. limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'interno dell'edificio, attraverso le sue chiusure d'ambito;**

**b. limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'esterno dell'edificio, attraverso le sue chiusure d'ambito;**

*Nota Ad esempio, incendio in edificio adiacente, incendio a livello stradale o alla base dell'edificio, ...*

**c. 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.**

*Nota La presente regola tecnica verticale può costituire utile riferimento per la progettazione di chiusure d'ambito di altre opere da costruzione (es.: edifici industriali, ...).*

Al par. V.11.2 sono riportate le seguenti definizioni:

1. Chiusura d'ambito dell'edificio: frontiera esterna dell'edificio ad andamento orizzontale o verticale.

*Nota Sono ricomprese nella definizione anche frontiere esterne interrato, frontiere tra ambiti diversi dell'edificio (es.: intercapedini, pozzi luce, ...) o frontiere tra diversi edifici, se si affacciano verso volume d'aria.*

*Nota Ai fini della presente RTV si impiega la locuzione chiusura d'ambito intendendo la chiusura d'ambito dell'edificio.*

2. Copertura: insieme dei componenti che costituiscono la porzione di chiusura d'ambito sommitale dell'edificio, inclinata con un angolo  $\alpha \leq 45^\circ$  rispetto al piano di riferimento.
3. Facciata: insieme dei componenti che costituiscono una porzione di chiusura d'ambito dell'edificio non ricompresa nella copertura.

*Nota Nella facciata sono compresi intradossi di porticati ed aggetti.*

4. Pelle: ciascuno degli strati, anche realizzati con più materiali, di cui si compone una chiusura d'ambito dotata di intercapedine.
5. Intercapedine: volume d'aria di separazione tra le pelli di una chiusura d'ambito.
6. Fascia di separazione: porzione di chiusura d'ambito costituita da uno o più elementi costruttivi aventi classe di resistenza al fuoco determinata e materiali classificati per reazione al fuoco, atta a limitare la propagazione orizzontale o verticale dell'incendio.
7. Facciata a doppia pelle: facciata dotata di intercapedine.

*Nota Le facciate a doppia pelle possono avere pelli opache o vetrate.*

8. Facciata semplice: facciata non a doppia pelle.

*Nota Sono considerati come unico strato elementi forati (es.: laterizi, blocchetti in calcestruzzo, ...) e vetrificata. Sono incluse le facciate rivestite con elementi prefabbricati, fissati con legante a umido o a secco in aderenza alla parete esistente sottostante, denominati cappotti termici, e le facciate in mattoni o blocchi dotati di camera d'aria non ventilata per l'isolamento termico.*

9. Facciata a doppia pelle ventilata: facciata a doppia pelle nella cui intercapedine si attiva una circolazione d'aria di tipo meccanico o naturale.
10. Facciata a doppia pelle ispezionabile: facciata a doppia pelle nella cui intercapedine è consentito il passaggio di occupanti (es.: addetti alle operazioni di manutenzione, ...), generalmente di spessore  $> 60$  cm.

*Nota Tale tipologia di facciata è generalmente composta da una pelle esterna vetrata e una pelle interna che può essere semplice, con o senza infissi, di tipo curtain walling opaca o vetrata. L'intercapedine può avere spessori superiori a 60 cm.*

*Nel caso di intercapedini superiori a 120 cm le due pelli sono considerate come singole facciate indipendenti dal punto di vista della sicurezza antincendio.*

11. Curtain walling (facciata continua): facciata costituita di elementi d'intelaiatura orizzontali e verticali assemblati tra loro e vincolati alla struttura portante dell'edificio, riempita a formare una pelle continua leggera e avvolgente, che fornisce, di per sé o insieme all'edificio, tutte le normali funzioni di una parete esterna, ma tale da non avere funzioni portanti per lo stesso edificio. È caratterizzata da una continuità dell'involucro rispetto alla struttura portante, che in genera resta interamente arretrata rispetto al piano della facciata (UNI EN 13119, EN 13830).

12. Facciata aperta: facciata costituita, per almeno il 50% della sua superficie, da giunti, griglie fisse o mobili, che si aprono automaticamente in caso di incendio di almeno 60° rispetto alla posizione di chiusura, distribuiti in modo uniforme, o da elementi di chiusura permanenti (es.: lastre in polimero PMMA, policarbonato, superfici vetrate, ...) che ne consentono l'apertura nelle effettive condizioni d'incendio (es.: condizioni termiche generate da incendio naturale sufficienti a fondere o rompere efficacemente l'elemento di chiusura, ...).
13. Facciata chiusa: facciata che non rispetta i criteri della facciata aperta.

Ai fini della presente regola tecnica, le *chiusure d'ambito* sono classificate come segue in relazione alle *caratteristiche dell'edificio* su cui sono installate (par. V.13.3):

- **SA:** chiusure d'ambito di:
  - i. edifici aventi le quote di tutti i piani comprese tra  $-1 \text{ m} < h \leq 12 \text{ m}$ , affollamento complessivo  $\leq 300$  occupanti e che non includono compartimenti con  $R_{vita}$  pari a D1, D2;
  - ii. edifici fuori terra, ad un solo piano;
- **SB:** chiusure d'ambito di edifici aventi quote di tutti i piani ad  $h \leq 24 \text{ m}$  e che non includono compartimenti con  $R_{vita}$  pari a D1, D2;
- **SC:** chiusure d'ambito di altri edifici.

*Nota Ad esempio, la chiusura d'ambito di un edificio avente massima quota dei piani  $h = 10 \text{ m}$  con affollamento pari a 400 occupanti è classificata SB; qualsiasi edificio in cui sono inclusi compartimenti con  $R_{vita}$  pari a D1, D2 è classificato SC.*

### **Strategia antincendio (par. V.13.4)**

Nei paragrafi che seguono sono riportate soluzioni conformi.

Sono comunque ammesse soluzioni alternative (capitolo G.2), ad esempio relative alla valutazione del comportamento al fuoco dell'intero sistema di chiusure d'ambito, che limiti la probabilità di propagazione dell'incendio attraverso le chiusure d'ambito stesse.

Per le misure antincendio esaminate nella RTV V.13, è previsto quanto segue:

#### V.13.4.1 Reazione al fuoco

1. I seguenti componenti delle *facciate* di tipo SB ed SC, comunque realizzate, devono possedere i requisiti di reazione al fuoco (capitolo S.1) di cui alla tabella V.13-1:
  - a. isolanti termici (es.: cappotti non in kit, ...);
  - b. sistemi di isolamento esterno in kit (es.: ETICS, cappotti in kit, ...);
  - c. guarnizioni, sigillanti e materiali di tenuta, qualora occupino complessivamente una superficie  $> 10\%$  dell'intera superficie lorda della chiusura d'ambito;
  - d. gli altri componenti, ad esclusione dei componenti in vetro, qualora occupino complessivamente una superficie  $> 40\%$  dell'intera superficie lorda della chiusura d'ambito.

*Nota Sono inclusi gli elementi in vetro rivestiti da materiali combustibili (es.: pellicole filtranti, ...).*

*Nota Nel caso in cui la funzione isolante della facciata sia garantita da un insieme di elementi unitamente commercializzati come kit, la classe di reazione a fuoco è riferita al kit nelle sue condizioni finali di esercizio e considerato il materiale di rivestimento.*

*Negli altri casi gli elementi sono considerati materiali per l'isolamento, ai fini della prestazione di reazione al fuoco secondo il capitolo S.1.*

2. Non sono richiesti requisiti di reazione al fuoco per le coperture e per le facciate di tipo SA.

*Nota In relazione alla valutazione del rischio, può essere consigliato l'impiego di materiali classificati per reazione al fuoco almeno del gruppo GM3.*

Chiusura d'ambito	Gruppo di materiali
SB	GM2
SC	GM1

Tab. V.13-1: Gruppi di materiali per la reazione al fuoco degli elementi delle chiusure d'ambito

#### V.13.5.2 Resistenza al fuoco e compartimentazione

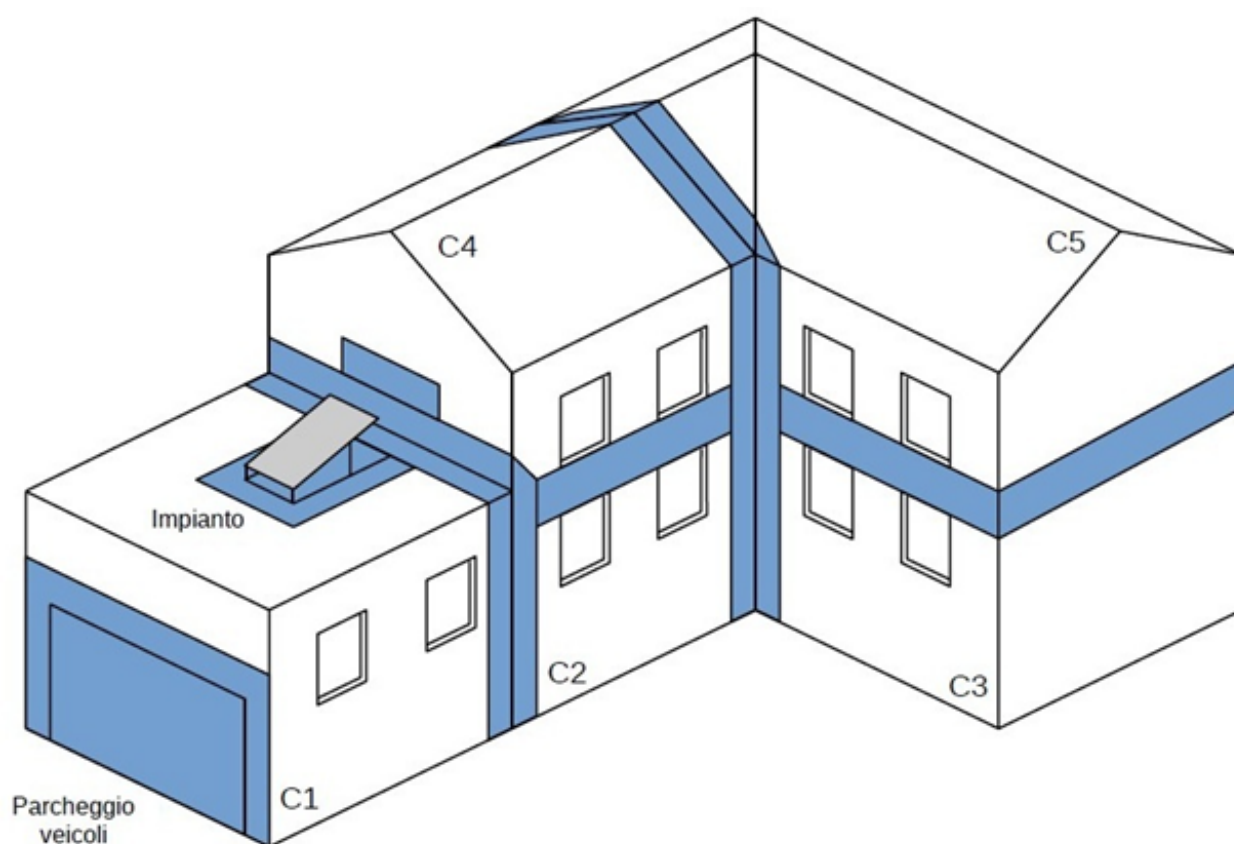
1. Le chiusure d'ambito di tipo SB ed SC devono possedere i requisiti di resistenza al fuoco di cui ai seguenti paragrafi.
2. Non sono richiesti requisiti di resistenza al fuoco per le chiusure d'ambito di edifici:
  - a. che hanno carico d'incendio specifico  $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$  in tutti i compartimenti, al netto del contributo rappresentato dagli isolanti eventualmente presenti in facciata ed in copertura;
  - b. dotati di misure di controllo dell'incendio di livello di prestazione V (capitolo S.6).
3. Non sono richiesti requisiti di resistenza al fuoco per le chiusure d'ambito di tipo SA.
4. Le fasce di separazione devono essere realizzate con le caratteristiche e la geometria descritte al paragrafo V.13.5.
5. La conformità della chiusura d'ambito ai requisiti di resistenza al fuoco è comprovata con riferimento ad uno dei metodi indicati nel paragrafo V.13.6.

#### V.13.4.2.1 Copertura

1. In corrispondenza delle proiezioni degli elementi costruttivi di compartimentazione orizzontale e verticale sulla copertura, devono essere realizzate le fasce di separazione.
2. Le coperture di tipo SC devono essere interamente realizzate con le caratteristiche descritte nel paragrafo V.13.5.

## V.13.4.2.2 Facciata semplice e curtain walling

1. 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*.
2. 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.



ILL. V.13-1: ESEMPIO DI FASCE DI SEPARAZIONE E PROTEZIONI PER IMPIANTI E COMBUSTIBILI

## V.13.4.2.3 Facciata a doppia pelle ventilata

1. Per le facciate a doppia pelle ventilata sono ammesse le soluzioni conformi di cui alla tabella V.13-2.

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

[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.

[2] Se l'elemento di facciata non poggia direttamente sul solaio e nelle facciate *curtain walling*, 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.

[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.

[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.

Tab. V.13-2: Caratteristiche di resistenza al fuoco per facciate a doppia pelle ventilate

*N.D.R. La classificazione EW è completata da "(i→o)" per indicare che l'elemento è stato sottoposto a prova e rispetta i requisiti sull'incendio proveniente dall'interno (vedi tab. S.2-20).*

#### V.13.4.2.4 Presenza di combustibili

1. Qualora sulla chiusura d'ambito o in adiacenza ad essa possano essere presenti materiali combustibili in quantità significative, la porzione di chiusura d'ambito interessata deve essere protetta con le caratteristiche descritte nel paragrafo V.13.5 e circondata da *fasce di separazione*.

*Nota Ad esempio, ove sia ammesso il parcheggio di veicoli o il posizionamento di contenitori di rifiuti.*

#### V.13.4.3 Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio

1. Qualora sulla chiusura d'ambito o in adiacenza ad essa siano installati *impianti di produzione o trasformazione d'energia* (es.: impianti fotovoltaici, impianti di produzione calore, impianti di condizionamento, ...) la porzione di chiusura d'ambito interessata deve essere protetta con le caratteristiche descritte nel paragrafo V.13.5 e circondata da *fasce di separazione* delle medesime caratteristiche.
2. Le canne fumarie devono essere dotate di adeguato isolamento termico o distanza di separazione da elementi combustibili negli attraversamenti al fine di non costituire causa d'incendio.

*Nota Ad esempio, come previsto dalla norma UNI 10683, ove applicabile, oppure utilizzando materiali di opportuna classe di resistenza al fuoco G (capitolo S.2).*

#### V.13.5 Realizzazione di fasce di separazione

##### V.13.5.1 Caratteristiche

1. 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).
2. In copertura, le fasce di separazione ed eventuali altre protezioni devono avere classe di comportamento al fuoco esterno  $B_{ROOF}(t2)$ ,  $B_{ROOF}(t3)$ ,  $B_{ROOF}(t4)$  oppure essere di classe di resistenza al fuoco EI 30.

*Nota Nell'illustrazione V.13-1 si riporta un esempio di realizzazione di fasce di separazione e protezioni.*

3. 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.

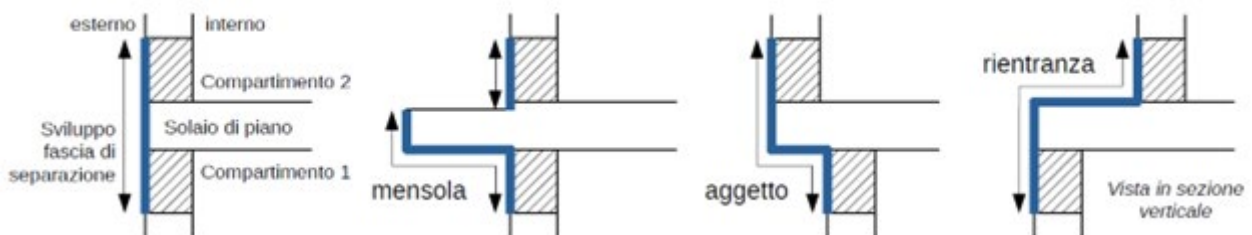
N.D.R. Le classificazioni E e RE (il suffisso "ef" indica che la classificazione è resa nei confronti dell'esposizione al fuoco esterno) sono completate da "(o→i)" per indicare che l'elemento è stato sottoposto a prova e rispetta i requisiti sull'incendio proveniente dall'esterno (vedi tab. S.2-20).

La classificazione  $B_{ROOF}$  è un elemento essenziale nella progettazione delle coperture in considerazione della relativa sicurezza antincendio.

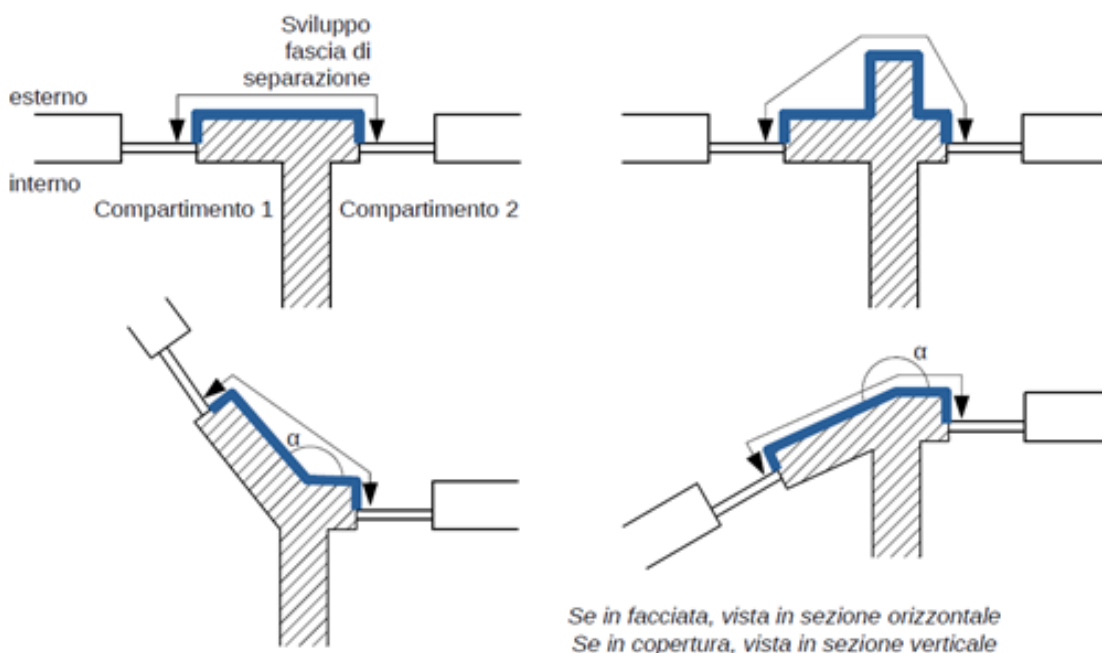
La norma EN 13501-5 illustra le classificazioni relative al comportamento al fuoco esterno di tetti e coperture, definendo quattro metodologie di prova stabilite dalla UNI ENV 1187 (prova T1, prova T2, prova T3 e prova T4), corrispondenti a quattro diversi scenari di incendio.

### V.13.5.2 Geometria

1. 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 (illustrazione V.13-2, vista in sezione verticale).



ILL. V.13-2: ESEMPI DI FASCIA DI SEPARAZIONE ORIZZONTALE IN FACCIATA



ILL. V.13-3: ESEMPI DI FASCIA DI SEPARAZIONE VERTICALE IN FACCIATA O IN COPERTURA

2. In facciata, la *fascia di separazione verticale* tra compartimenti limita la propagazione orizzontale dell'incendio ed è realizzata garantendo uno *sviluppo*  $\geq 1,00$  m (illustrazione V.13-3, vista in sezione orizzontale).  
Se la separazione forma un diedro di ampiezza  $\alpha < 90^\circ$ , lo *sviluppo* deve avere larghezza  $\geq 1,00 + (d_{s,3} - 1) \cdot \cos \alpha$ , espressa in metri, con  $d_{s,3}$  *distanza di separazione* tra i compartimenti in metri calcolata secondo paragrafo S.3.11.
3. In copertura, la *fascia di separazione* tra compartimenti limita la propagazione orizzontale dell'incendio ed è realizzata garantendo uno *sviluppo*  $\geq 1,00$  m (illustrazione V.13-3, vista in sezione verticale).

#### V.13.6 Verifica dei requisiti di resistenza al fuoco

1. La *fascia di separazione*, per la quale è previsto il requisito di resistenza al fuoco, può essere verificata sperimentalmente secondo le seguenti norme:
  - a. EN 1364-1, per facciate semplici poggianti sui solai;
  - b. EN 1364-4, nel caso in cui la facciata di tipo *curtain walling* abbia una fascia di separazione che non includa anche le vetrate; in tal caso, il requisito di resistenza al fuoco può essere garantito per lo sviluppo della facciata facente parte della fascia di separazione;
  - c. EN 1364-3, nel caso in cui la facciata di tipo *curtain walling* abbia una fascia di separazione che includa anche le vetrate; in tal caso, il requisito di resistenza al fuoco deve essere garantito per tutto lo sviluppo della facciata;
  - d. EN 1366-4 per sigillature dei giunti lineari.

*Nota La norma di classificazione EN 13501-2 fornisce la procedura di classificazione delle facciate semplici e curtain walling secondo i criteri E, I con i suffissi "i" (inside) e "o" (outside) legati da una freccia per indicare il verso di esposizione al fuoco, nonché il suffisso "ef" nel caso in cui la classificazione sia resa nei confronti dell'esposizione al fuoco esterno, così come definito al capitolo S.2.*

*La norma di classificazione EN 13501-2 fornisce altresì le indicazioni circa le norme per le applicazioni estese dei risultati di prova (EXAP) che dovessero rendersi disponibili.*

2. Per facciate semplici poggiate sui solai realizzati con elementi pesanti in calcestruzzo, pietra o muratura, oppure costituiti da materiali poco deformabili alle alte temperature, la verifica ai fini della classificazione di resistenza al fuoco può essere eseguita facendo ricorso ai metodi di cui al capitolo S.2.

*Nota Al tale proposito si rammenta che il requisito EI 30 di una parete garantisce automaticamente anche il requisito E 30-ef oppure E 30-i.*

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

3. Per gli elementi strutturali la verifica ai fini della classificazione R 30-ef può essere eseguita facendo ricorso ai metodi di cui al capitolo S.2.
4. Le sigillature tra la facciata continua (*curtain walling*) e la costruzione possono essere verificate secondo la norma EN 1364-4.

### **Osservazioni**

*Si segnala il riferimento tecnico rappresentato dalla lett. circ. n. del 2 agosto 2022, “d.m. 30 marzo 2022 - Valutazione sperimentale dei requisiti di sicurezza antincendio dei sistemi per le facciate degli edifici civili sottoposti alle norme tecniche di cui al decreto del Ministero dell’Interno 3 agosto 2015”, riguardante i metodi di valutazione sperimentale dei requisiti di sicurezza antincendio dei sistemi per le facciate degli edifici civili rientranti nel campo di applicazione del Codice.*

*A tal proposito, a livello europeo, a partire dal 2019 è stato sviluppato un progetto mirato alla standardizzazione dei metodi di prova per la sicurezza antincendio delle facciate (Final Report Draft Revised, Marzo 2024, Project: SI2.825082, “Finalisation of the European approach to assess the fire performance of façades”).*

*In ogni caso, l'armonizzazione dei test per la misura delle prestazioni al fuoco non sono state ancora armonizzate a livello europeo, così come non sono stati armonizzati i regolamenti (i.e fire code) per la sicurezza degli edifici con facciate combustibili.*

## NUOVO APPROCCIO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DELLE CHIUSURE D'AMBITO



TIPOLOGIE DI FACCIATE RISPONDENTI AD OBIETTIVI DIVERSI

Mentre l'architettura tradizionale (edificio a sinistra) aveva in obiettivo, essenzialmente, la protezione dagli agenti atmosferici, il decoro estetico e architettonico, con lo sviluppo di nuovi materiali e di nuove tecnologie costruttive che hanno interessato *anche* le facciate (edificio a destra), sono sorte nuove esigenze per le chiusure d'ambito legate al contenimento energetico, al confort climatico, alla produzione di energia elettrica, ecc., talvolta contrastanti con la *sicurezza antincendio*.

Di conseguenza, aumentata la complessità dei sistemi di chiusura, sono emersi nuovi rischi di cui si occupa la RTV V.13.

Sinteticamente, a fronte dei tre obiettivi di sicurezza antincendio che essa si pone (vedi par. V.13.1), l'approccio metodologico può essere ricondotto a due differenti strategie antincendio (vedi par. V.13.4):

- adozione di *soluzioni conformi* (vedi parr. V.13.4.1 ÷ V.13.4.6);
- adozione di *soluzioni alternative* (vedi Cap. G.2), facendo ricorso ad apposite valutazioni del rischio su e/o agli strumenti e ai metodi della FSE (approccio ingegneristico e/o prestazionale) volti al raggiungimento di obiettivi prefissati piuttosto che al rispetto di prescrizioni normative.

L'adozione di *soluzioni conformi* comporta forti limitazioni alle soluzioni architettoniche e tecnologiche innovative, ma restituisce in tal modo un livello di sicurezza adeguato per l'edificio ospite.

per tale motivo, il Codice nel non limitare soluzioni di facciate architettonicamente e tecnologicamente innovative, offre sempre la possibilità di una progettazione basata sulle prestazioni utilizzando le *soluzioni alternative*.

### Analisi del rischio incendio

I sempre più frequenti interventi di miglioramento energetico degli edifici, favoriti di recente anche dagli incentivi fiscali (Ecobonus, bonus facciate, ecc.), devono tener conto delle conseguenze che tali interventi possono arrecare alla *sicurezza antincendio* dell'edificio.

I recenti gravi incendi avvenuti, sia in Italia che all'estero (Londra, giugno 2017, e Milano, agosto 2021, su tutti), hanno aumentato l'attenzione sulla problematica degli incendi in facciata, sia da parte dei VV.F. che dei progettisti.

Il progettista dell'intervento deve sempre sviluppare un'accurata analisi del rischio incendio (con l'eventuale collaborazione di un *professionista antincendio*) per quantificare e mitigare l'eventuale *aggravio del rischio* indotto dalla modifica delle facciate, con riferimento alla tecnologia adottata, ai materiali utilizzati, alle modalità di realizzazione e ai requisiti funzionali dell'edificio e delle attività ivi previste.

L'esecuzione dei lavori dovrà essere gestita dal *direttore dei lavori*, che valuterà anche le implicazioni di *sicurezza antincendio* delle eventuali varianti in corso d'opera.

Tanto premesso, è necessario, già in fase di progettazione preliminare dell'edificio, di eseguire un'analisi del rischio incendio per verificare se l'intervento in progetto comporti un *aggravio del rischio* incendio della facciata (e quindi dell'intero edificio), con la necessità di introdurre eventuali misure di mitigazione del rischio stesso, inteso sempre nei requisiti funzionali previsti per le attività svolte.

Ad esempio, un intervento sulla facciata di un edificio soggetto al controllo VV.F. necessita, almeno, di una SCIA con *dichiarazione di non aggravio di rischio*.

L'analisi del rischio incendio dovrà tener conto di diversi fattori e, in particolare, la propagazione dell'incendio verso l'alto sulla facciata dell'edificio; essi includono:

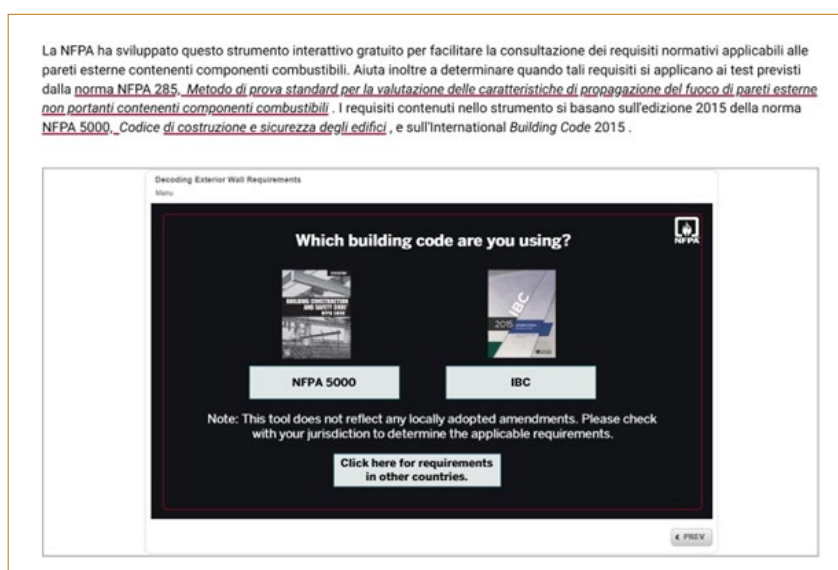
- l'altezza dell'edificio;
- la quota dei piani interrati;
- la tipologia di materiali utilizzati per le facciate;
- la modalità di applicazione degli stessi (in aderenza, con intercapedine, ecc.);
- la forma delle facciate;
- le caratteristiche della compartimentazione dell'edificio;
- il numero di occupanti;
- il profilo di rischio vita degli occupanti;
- la strategia di evacuazione dall'edificio;
- l'affidabilità degli eventuali sistemi di protezione attiva;
- il livello del sistema di gestione della sicurezza.

In ogni caso, per la progettazione della *sicurezza antincendio* dell'intero edificio è necessario orientarsi verso una specifica metodologia di valutazione del rischio in

un'ottica di *approccio olistico* mirata alla valutazione del rischio dell'intero edificio e delle attività ivi contenute, considerando il corretto funzionamento del *sistema edificio* e non dei singoli componenti.

Si segnalano, a tale riguardo:

- La metodologia NFPA sviluppata per la valutazione del rischio di incendio delle facciate corredata da uno strumento per gestire i rischi negli edifici con altezza superiore ai 18 m.  
(vedi <https://www.nfpa.org/education-and-research/research/fire-protection-research-foundation/projects-and-reports/high-rise-buildings-with-combustible-exterior-wall-assemblies-fire-risk-assessment-tool>)



TOOL NFPA PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI INCENDIO DELLE FACCIATE

- Il progetto *Cappotto Sicuro*, coordinato da IDM Sudtirolo Alto Adige, che ha prodotto una linea guida con alcuni suggerimenti utili per la progettazione dell'involucro isolante ed un tool di accompagnamento alla valutazione del rischio su base matriciale.  
(vedi <https://www.cappottosicuro.it/>)



[HTTPS://WWW.CAPPOTTOSICURO.IT/](https://www.cappottosicuro.it/)

Recenti studi sono stati condotti per adattare l'approccio matriciale proposto dall'NFPA alla realtà italiana:

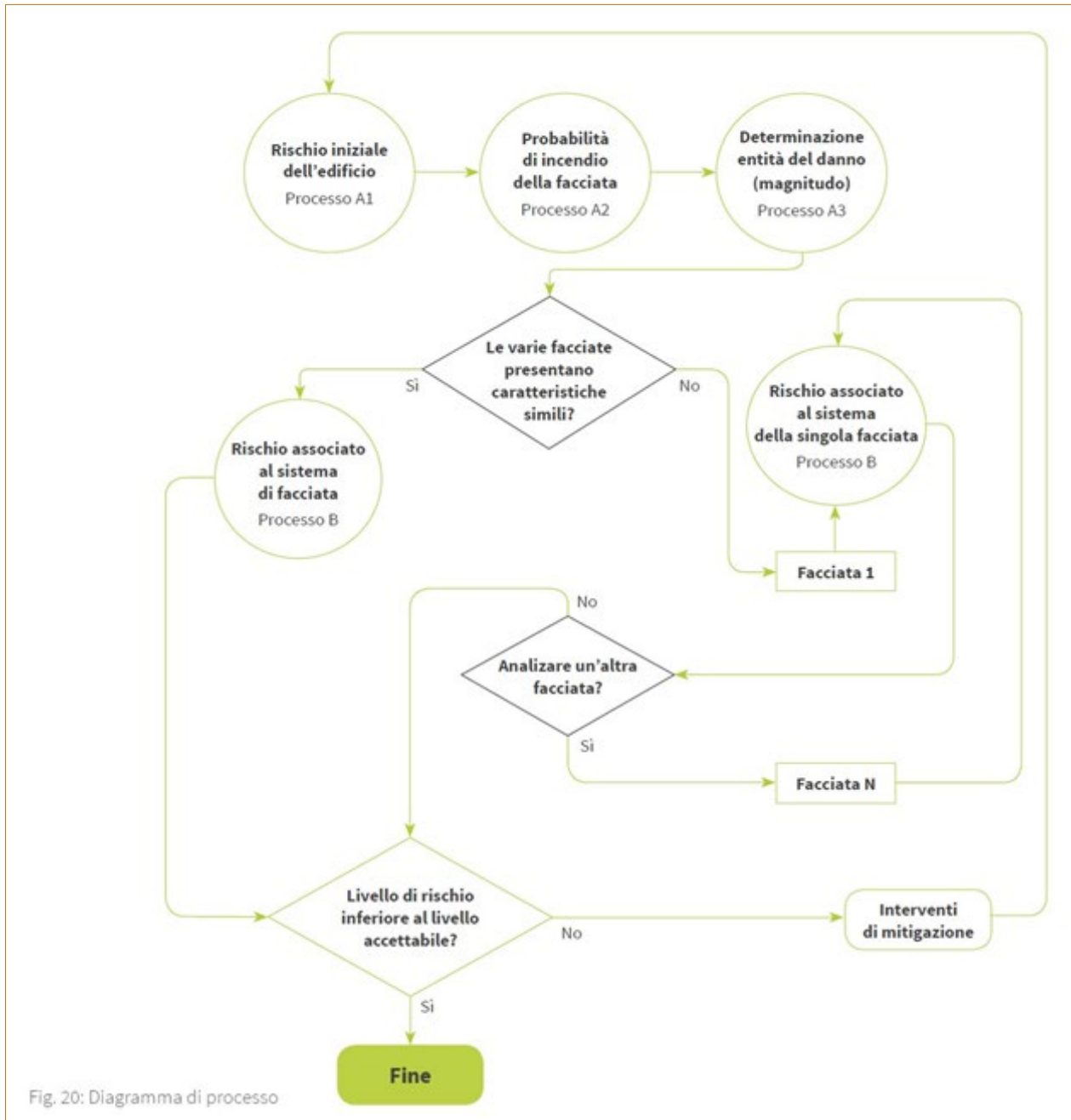


DIAGRAMMA DI PROCESSO PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI INCENDIO DELLE FACCIATE

### Criteria base per eseguire un'adeguata valutazione del rischio

Al fine di valutare la *sicurezza antincendio* dell'involucro edilizio, è necessario analizzare il problema nella sua globalità, adottando un approccio olistico e multidisciplinare. Se i paragrafi precedenti hanno illustrato i meccanismi di propagazione e i principali scenari di innesco in facciata, i capitoli seguenti forniranno una panoramica dello

stato dell'arte relativo al comportamento al fuoco dei diversi sistemi (ETICS<sup>7</sup>, facciate ventilate e curtain walls), basandosi su test sperimentali specifici e sulla nuova proposta di test europeo.

Tali riferimenti sono riportati per evidenziare il comportamento delle facciate in scenari d'incendio più realistici, per potenza e attacco di fiamma, rispetto alle prove attualmente standardizzate a livello europeo e nazionale in termini di reazione e resistenza al fuoco.

Come verrà illustrato in seguito, solo attraverso le evidenze sperimentali e analitiche descritte è possibile valutare integralmente la sicurezza antincendio di una chiusura d'ambito.

L'attuale quadro normativo di qualificazione prodotto risulta infatti limitato e non sufficientemente specifico per stimare l'effettiva sicurezza di un involucro edilizio.

Si precisa che, come indicato nei documenti citati, la valutazione del rischio di una facciata deve essere sempre integrata a quella iniziale dell'edificio.

La facciata stessa rappresenta un elemento in grado di influenzare il rischio globale, mantenendolo invariato rispetto a quello iniziale o incrementandolo.

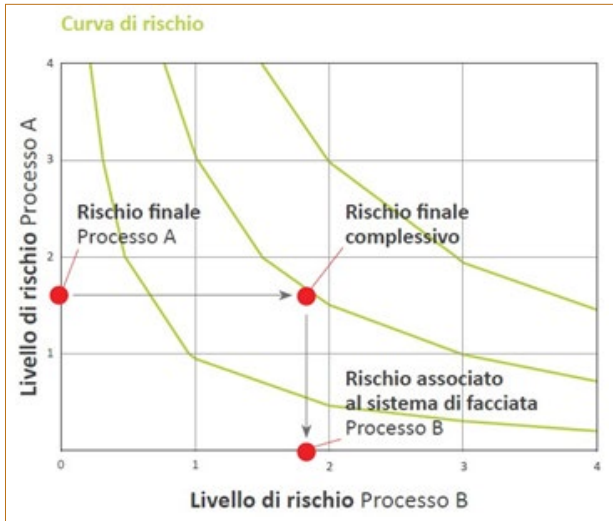
In altri termini, per eseguire una corretta valutazione del rischio (sia essa in termini quantitativi o qualitativi), è indispensabile definire il rischio iniziale dell'immobile a prescindere dalla composizione della facciata.

Partendo da questo indice iniziale, occorre valutare, sulla base degli scenari d'incendio ipotizzabili, se la tecnologia costruttiva scelta per la realizzazione della chiusura d'ambito aumenti o riduca il rischio globale dell'edificio.

---

<sup>7</sup> Il sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite System) è una tecnologia certificata per l'isolamento termico a cappotto delle pareti esterne. Il sistema si compone di un "kit" di materiali compatibili (pannelli isolanti, collante, rasatura armata e finitura finale) ed è in grado di migliorare l'efficienza energetica, eliminare i ponti termici e proteggere l'edificio dagli agenti atmosferici, migliorando la durabilità dello stesso.

Per chiarire ulteriormente questo concetto, si riportano di seguito alcuni esempi di confronto.



Matrice Finale		Livello di rischio Processo A			
		BASSO	MEDIO	ALTO	MOLTO ALTO
Livello di rischio della facciata peggiore	BASSO				
	MEDIO				
	ALTO				
	MOLTO ALTO				

Tab. 6: Matrice di combinazione dei processi "processo A" e "processo B"

ESTRATTO LINEA TECNICA *CAPPOTTO SICURO*

Si consideri un edificio ipotetico che, a parità di condizioni al contorno (impianti, geometria, ecc.), possa essere adibito a uffici (occupanti in stato di veglia che hanno familiarità con l'immobile) o ad albergo (occupanti che possono dormire e non conoscono l'edificio).

In virtù del fatto che la seconda casistica presenta un profilo di rischio maggiore per la tipologia di occupanti (profilo di rischio  $R^{vita}$  A per gli uffici e C per l'albergo), la medesima soluzione costruttiva per la chiusura d'ambito, ad esempio un cappotto termico con isolanti combustibili o una facciata ventilata, potrebbe risultare sicura nel primo caso e insicura nel secondo.

Infatti, la presenza di occupanti in stato di veglia garantisce tempi di esodo molto ridotti (temi di pre-movimento di circa 1-3 minuti); al contrario, in un albergo, lo stato di sonno può dilatare i tempi di pre-movimento fino dai 20 ai 40 minuti.

Tale condizione determina che:

- nel primo caso (uffici): è ipotizzabile che gli occupanti evacuino l'edificio prima che la facciata sia interessata in modo sostanziale dalle fiamme;
- nel secondo caso (albergo): è probabile che l'incendio interessi la facciata prima del completamento dell'esodo.

Ne consegue che la facciata dell'albergo debba garantire prestazioni di reazione e resistenza al fuoco superiori rispetto a quella dell'ufficio.

Così come lo stesso ipotetico edificio con destinazione d'uso ad albergo con l'aggiunta nella strategia generale dell'immobile di un impianto sprinkler o di specifici accorgimenti costruttivi (es.: inserimento di elementi tagliafiamma o barriere incombustibili) potrebbe far risultare la stessa tipologia di facciata sicura.

Infatti, l'introduzione di un impianto di protezione attiva come lo sprinkler riduce drasticamente la possibilità che un incendio che si sviluppi all'interno dell'edificio e possa avere una potenza tale da coinvolgere la facciata, mentre l'inserimento di appositi elementi costruttivi come elementi parafiamma incombustibili nell'intorno delle finestre limita la probabilità di propagazione del fuoco in facciata, garantendo tempi di esodo sicuramente maggiori rispetto alla prima ipotesi.

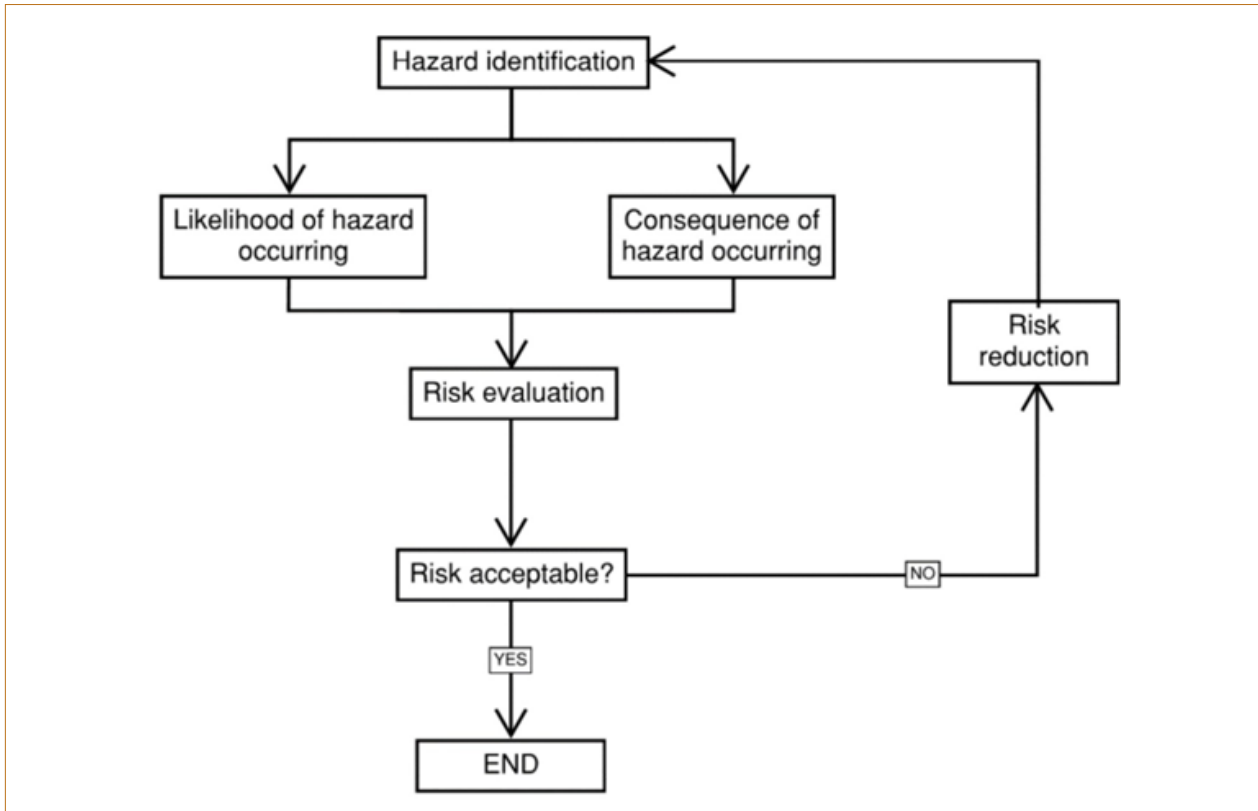
Altre condizione necessaria per eseguire un'attenta valutazione del rischio di una chiusura d'ambito è comprendere quali siano i possibili scenari ipotizzabili e tutte le probabili fonti di innesco, alcune delle quali molte volte sottovalutate o non facilmente individuabili. Una facciata che presenta carico di incendio dato per esempio da balconi o da elementi verdi (es.: facciate verdi, fioriere, ecc.) ha un indice di rischio più alto rispetto a una facciata priva di tali elementi, così come la presenza di fonti innesco normalmente non valutate (es.: luci, fuoriuscita di cappe dell'aria, VMC, ecc.) possono aumentare il rischio della facciata stessa soprattutto se essa presenta materiali combustibili. Un'altra condizione che determina una valutazione molto specifica e accurata è data dalla presenza di pannelli fotovoltaici in facciata che possono fornire sia un elevato carico di incendio che un innesco efficace della facciata stessa per guasto elettrico.



ESTRATTO EFFECT™ USERS GUIDE<sup>8</sup>

<sup>8</sup> External Façade Fire Evaluation and Comparison Tool NFPA's online tool based on methodology developed by Arup.

Ne consegue che definire il rischio di incendio di una facciata è un processo molto complesso e non standardizzabile, nel quale è necessario valutare complessivamente l'immobile in ogni sua sfaccettatura in modo interattivo in funzione delle scelte costruttive ipotizzate.



ESTRATTO EFFECT™ USERS GUIDE

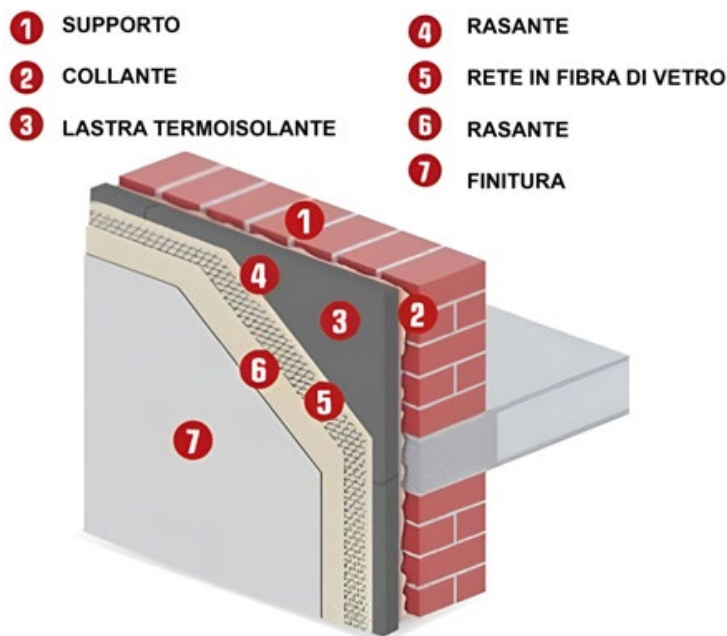
Per comprendere tale complessità i tool precedentemente citati si basano su approccio matriciale della valutazione del rischio tramite diverse decine di domande che servono a identificare diversi fattori di rischio atti a determinare un indice globale di frequenza e magnitudo, dove la stessa scelta costruttiva può influenzare uno o entrambi i fattori.

Per esempio, la scelta di utilizzare una facciata con isolante combustibile aumenta sicuramente la frequenza di accadimento (maggiore numero di scenari in grado di innescare la facciata) e la magnitudo, come invece la presenza di un impianto sprinkler determina principalmente una riduzione di frequenza di accadimento di un determinato scenario, mentre l'inserimento di fasce di rispetto di 1 m di tipo incombustibile determina principalmente una riduzione della magnitudo.

Come sopra riportato risulta altrettanto fondamentale comprendere e conoscere l'effettivo comportamento al fuoco dei componenti edilizi, anche al fine di individuare le corrette misure compensative di riduzione del rischio che possono essere previste sia in termini gestionali che costruttivi.

## Il comportamento al fuoco dei sistemi i ETICS

Tra i sistemi di facciata in via di maggiore diffusione nel panorama nazionale ci sono le cosiddette facciate a "cappotto" o tecnicamente detti ETICS.



FACCIATA A "CAPPOTTO"

Tipicamente tale tipologia di facciata è realizzata da un supporto murario di varia natura (laterizio, legno, cls, ecc.) a cui viene applicato un isolante di natura combustibile (es.: EPS, PIR, PUR, fibra di legno, ecc.) o incombustibile (lana di roccia, lana di vetro, calcestruzzo a ridotta densità, ecc.), fissato tramite collanti e/o tasselli meccanici (volgarmente chiamati funghetti) con uno strato di finitura a base cementizia (intonaci idrosanici, malte, ecc.) applicabile tramite apposita rete di supporto e in diverso spessore. L'attuale panorama normativo, tra cui la RTV V.13, definisce come condizione minima di sicurezza al fuoco l'utilizzo di KIT certificati aventi classe di reazione al fuoco non inferiore a B-s2 - d0 (edifici di tipo SB) o B-s1-d0 (edifici di tipo SC).

Tipicamente tali prestazioni di reazione al fuoco sono facilmente raggiungibili, sempre in soluzione conforme, anche in presenza di isolanti combustibili e malte di finitura a bassissimo spessore (< 8 mm) ma non danno evidenza dell'effettivo comportamento al fuoco di tale sistema.

Ciò è dovuto al fatto che lo standard di qualificazione prodotto secondo EN 13501-1 a cui fa riferimento il test SBI (sotto meglio trattato) risulta essere tarato per piccole fonti di innesco ed è del tutto insufficiente per valutare scenari di incendio che possono innescare una facciata (es.: stanza che va in flash over con uscita di fiamme della finestre, ecc.). Proprio per tale motivo in ambito Europeo è allo studio una nuova metodologia di prova che possa dare una visione più globale al comportamento al fuoco di un sistema di facciata.

## PROVE AL FUOCO DI FACCIATE, DALLA PICCOLA SCALA AL NUOVO APPROCCIO EUROPEO SU LARGA SCALA

Le prove sperimentali sul comportamento al fuoco delle facciate rivestono un ruolo centrale nella valutazione della sicurezza antincendio degli edifici, in quanto permettono di analizzare in modo controllato i meccanismi di innesco, propagazione e sviluppo dell'incendio lungo i sistemi costruttivi.

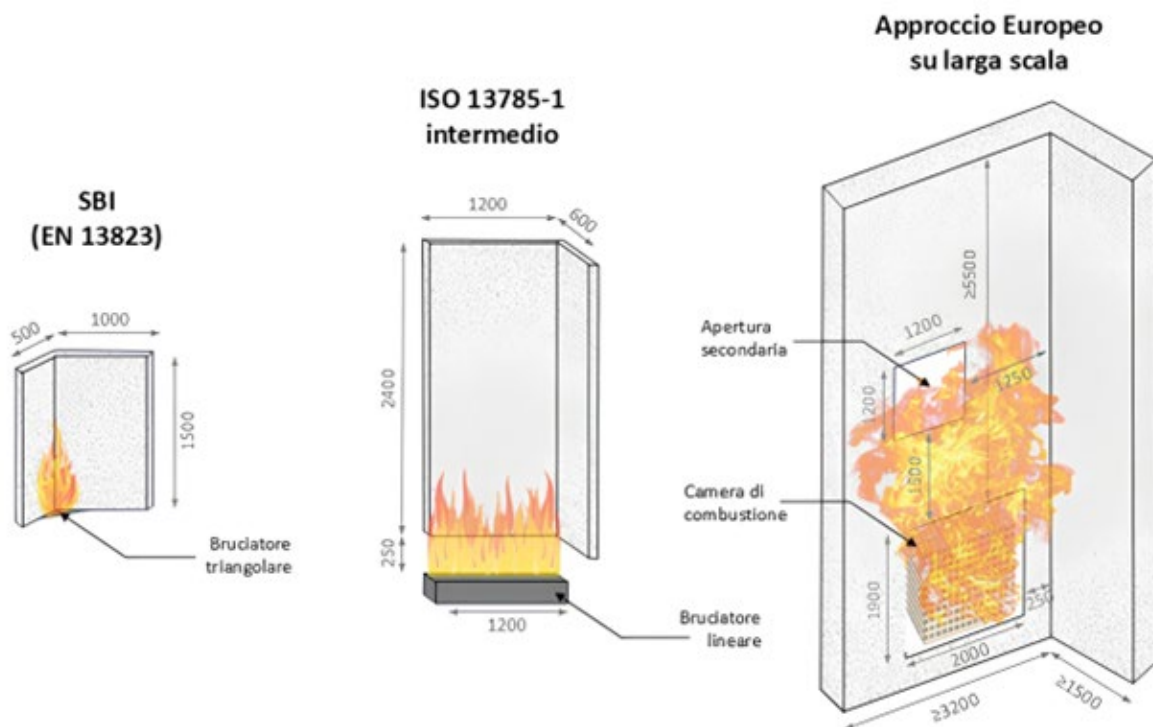
Nel contesto europeo, l'approccio alla valutazione si è storicamente basato su prove di reazione al fuoco su piccola scala, come la prova Single Burning Item (SBI).

Con il progressivo aumento dell'uso di sistemi di facciata complessi e in una certa misura combustibili, è emersa la necessità di metodi di prova più rappresentativi degli scenari di incendio reali.

Ciò ha portato allo sviluppo di prove a scala intermedia, come la prova ISO 13785-1, in grado di investigare la propagazione verticale delle fiamme e l'influenza dei dettagli costruttivi principali.

Più recentemente, l'attenzione si è spostata verso prove su larga scala, capaci di riprodurre in modo più realistico l'attacco termico e la geometria delle facciate, culminando nel nuovo approccio europeo su larga scala.

Le tre principali prove, SBI, ISO a scala intermedia e su larga scala secondo l'approccio europeo, sono schematizzate nella figura sottostante e discusse nei paragrafi che seguono.



PROVE SBI, ISO A SCALA INTERMEDIA E SU LARGA SCALA SECONDO L'APPROCCIO EUROPEO

### **Single Burning Item (SBI)**

La prova Single Burning Item (SBI, EN 13823) è il metodo principale adottato in Europa per la valutazione della reazione al fuoco di prodotti e sistemi costruttivi.

La classificazione è definita dalla norma EN 13501-1, che combina i risultati della prova SBI con quelli di altri metodi di prova: il calorimetro a bomba di ossigeno (EN ISO 1716), la prova di incombustibilità (EN ISO 1182) e la prova alla piccola fiamma (EN ISO 11925-2), al fine di assegnare una classe di reazione al fuoco.

La prova SBI viene eseguita su un sistema installato in configurazione a "L", costituita da due ali verticali di dimensioni 1,0 m × 1,5 m e 0,5 m × 1,5 m (larghezza × altezza).

Il campione è esposto per 20 minuti a un bruciatore triangolare da 30 kW posizionato nell'angolo interno.

La valutazione si basa su diversi parametri: il tasso di rilascio di calore e il rilascio totale di calore, la propagazione laterale della fiamma, il tasso e la quantità totale di produzione di fumo, nonché la caduta di parti e/o il gocciolamento incandescente.

Sebbene la prova SBI sia stata sviluppata per la classificazione della reazione al fuoco di prodotti e sistemi costruttivi destinati all'uso interno negli edifici, i suoi risultati e la relativa classe di reazione al fuoco sono frequentemente utilizzati anche nel contesto della sicurezza antincendio delle facciate.

### **ISO a scala intermedia**

Salendo di scala rispetto alla prova SBI, la prova ISO a scala intermedia (ISO 13785-1) rappresenta un tentativo di armonizzazione internazionale per la valutazione della reazione al fuoco dei sistemi di facciata a scala intermedia.

Simile a questa prova, si trova anche la norma tedesca DIN 4102-20, anch'essa basata su una prova a scala intermedia e focalizzata sul comportamento al fuoco dei rivestimenti delle pareti esterne.

L'ISO ha inoltre sviluppato una prova su larga scala (ISO 13785-2), che tuttavia trova un'applicazione limitata a livello internazionale.

Come per altri metodi ISO, la ISO 13785-1 non definisce un sistema di classificazione del comportamento al fuoco delle facciate, ma fornisce una procedura di prova standardizzata che può essere adottata dai singoli stati.

In particolare, la norma indica esplicitamente che la prova può essere utilizzata come strumento di screening di diversi prodotti e sistemi e per valutazioni comparative.

Nello specifico, la prova mira a rappresentare uno scenario di incendio semplificato, tipico di un incendio che si sviluppa all'interno di un compartimento e fuoriesce attraverso un'apertura, investendo direttamente la facciata.

Il sistema in prova è costituito da due ali verticali di dimensioni 1,2 m × 2,4 m e 0,6 m × 2,4 m (larghezza × altezza), esposte a un bruciatore lineare da 100 kW posizionato sotto il bordo inferiore dell'ala principale.

La durata nominale della prova è di 30 minuti, ma il test viene interrotto anticipatamente qualora il bordo superiore del provino risulti completamente avvolto dalle fiamme.

La valutazione del comportamento al fuoco del sistema di facciata si basa su osservazioni visive e su dati sperimentali ottenuti mediante termocoppie installate

sulla superficie del provino e mediante un misuratore di flusso termico collocato sopra il campione.

In questo modo vengono analizzati l'innescò del sistema, la propagazione verticale della fiamma e l'eventuale sviluppo di fiamme all'interno di cavità.

### **Approccio europeo su larga scala**

A partire dal 2017, un progetto europeo condotto da un consorzio internazionale e coordinato da RISE (Svezia) ha avuto come obiettivo l'armonizzazione, a livello europeo, dei metodi esistenti per la valutazione del comportamento al fuoco delle facciate.

In una prima fase, sono state analizzate e confrontate le normative nazionali degli stati membri, includendo i diversi metodi di prova, le loro caratteristiche e i criteri di valutazione adottati.

Al termine del progetto, con la pubblicazione del report finale nel settembre 2024, sono stati definiti due metodi di prova: uno a scala intermedia, basato sulla prova tedesca DIN 4102-20, e uno su larga scala, derivato dalla prova britannica BS 8414.

A seguito di una campagna iniziale di prove e di confronti interlaboratorio a livello europeo, i metodi sono stati progressivamente modificati e affinati, gli standard di prova sono stati redatti e, infine, è stato condotto un Round Robin sperimentale. Quest'ultimo ha avuto lo scopo di verificare la ripetibilità e la riproducibilità delle prove e di mettere a punto il metodo di valutazione su sistemi di facciata rappresentativi (ETICS, facciata in legno, facciata in alluminio semplice, facciata in alluminio composito - ACM, facciata ventilata e facciata inerte).

Per quanto riguarda l'approccio europeo su larga scala, il campione di prova è costituito da due ali verticali che si estendono per almeno 5,5 m al di sopra della camera di combustione, che ha un'apertura di sezione 1,9 m × 2,0 m, per ottenere un'altezza complessiva del provino superiore a 8 m.

La sorgente di combustibile è una catasta di legno inchiodata, con dimensioni, geometria, specie legnosa, densità e contenuto di umidità definiti entro criteri specifici.

La catasta, di dimensioni pari a 1,1 m × 1,5 m × 1,0 m (altezza × larghezza × profondità), genera un rilascio di calore dell'ordine di 3,5 MW.

La durata complessiva della prova è di circa 60 minuti.

Rispetto alla prova britannica di riferimento, è stata introdotta un'apertura secondaria aggiuntiva di dimensioni 1,2 m × 1,2 m, collocata al di sopra della camera di combustione, con l'obiettivo di riprodurre uno scenario di incendio più severo.

La valutazione delle prestazioni nel metodo di prova su larga scala si concentra sulla propagazione del fuoco, sia verticale sia orizzontale, e sulla propagazione all'interno del sistema di facciata.

Tali fenomeni sono analizzati mediante termocoppie installate sulla superficie e all'interno del provino.

La caduta di parti, detriti e/o gocce incandescenti viene inoltre valutata tramite una bilancia posizionata sotto il campione di prova.

L'approccio prevede l'utilizzo combinato di queste informazioni per classificare i sistemi di facciata in diverse classi di comportamento al fuoco, in maniera simile alle classi

di reazione al fuoco, includendo indicatori relativi alla propagazione delle fiamme e alla caduta e combustione dei materiali.

Il progetto e l'approccio europeo risultano oggi finalizzati.

La fase successiva prevede la standardizzazione formale da parte della Commissione europea e del CEN, attesa nel corso dei prossimi anni.

Nel frattempo, gli stati membri continueranno ad applicare i metodi nazionali esistenti oppure inizieranno ad adottare, su base volontaria, l'approccio europeo.

### Confronti e limitazioni

Le principali caratteristiche delle prove di comportamento al fuoco delle facciate discusse in precedenza sono riassunte e confrontate nella tabella sottostante, in termini di sorgente di incendio, dimensioni del campione di prova, durata della prova e spessore del provino.

	SBI (EN 13823)	ISO intermedio (ISO 13785-1)	Approccio europeo su larga scala
<b>Fonte di incendio</b>	30 kW	100 kW	~ 3.5 MW
<b>Dimensione ala principale e secondaria (larghezza x altezza)</b>	1,0 m x 1,5 m 0,5 m x 1,5 m	1,2 m x 2,4 m 0,6 m x 1,2 m	≥ 3,2 m x 5,5 m ≥ 1,5 m x 5,5 m
<b>Durata prova</b>	20 min	30 min	~ 60 min
<b>Spessore provino</b>	Spessore del prodotto costruttivo (in linea con l'installazione finale)		

Parametri inerenti le prove di comportamento al fuoco

La prova SBI è tradizionalmente orientata alla valutazione del contributo dei prodotti e dei sistemi costruttivi destinati agli ambienti interni, con l'obiettivo di quantificare la tendenza dei materiali all'innesco, al rilascio di calore e alla propagazione delle fiamme.

Per la sicurezza antincendio, lo scopo principale è limitare il contributo del materiale allo sviluppo dell'incendio e, ove possibile, ritardare o prevenire il raggiungimento del flashover.

Nel caso dei prodotti per facciate, specialmente i sistemi ETICS, i risultati della prova SBI sono fortemente influenzati dall'integrità superficiale del campione, in particolare dalla capacità dello strato esterno dell'ETICS di proteggere il materiale isolante combustibile sottostante dall'innesco.

Risultano rilevanti anche i dettagli d'angolo, mentre altri dettagli costruttivi tipici delle facciate non sono considerati.

Inoltre, a causa delle dimensioni limitate del provino e dell'altezza ridotta della fiamma generata dal bruciatore, la prova SBI indaga prevalentemente la propagazione laterale dell'incendio, mentre la propagazione verticale, aspetto cruciale per il comportamento al fuoco delle facciate, risulta solo marginalmente rappresentata.

La prova ISO a scala intermedia aumenta le dimensioni del provino e si concentra maggiormente sulla propagazione verticale dell'incendio.

In questo caso, il comportamento del sistema di facciata risulta fortemente influenzato dai dettagli costruttivi nella parte inferiore del campione, in prossimità della sorgente di incendio, dove è posizionato il bruciatore.

Infine, la prova secondo l'approccio europeo su larga scala mira a una rappresentazione più realistica dello scenario di incendio, grazie all'impiego di un carico di incendio significativamente più elevato e a un campione di prova di dimensioni molto maggiori, con un'altezza complessiva superiore a 8 m, che consente di analizzare in modo più rappresentativo la propagazione verticale del fuoco lungo la facciata.

In questo contesto, numerosi dettagli costruttivi assumono un ruolo determinante, sia in prossimità della camera di combustione sia in corrispondenza dell'apertura secondaria.

Comunque, nonostante le differenze di scala e di severità dell'attacco termico, tutte queste prove valutano campioni con spessori comparabili.

Tuttavia, l'azione termica dell'incendio varia in modo sostanziale tra i diversi metodi. Ad esempio, confrontando la prova SBI con l'approccio europeo su larga scala, la potenza della sorgente di incendio, e quindi il livello di trasferimento di calore, differisce di circa due ordini di grandezza (3500 vs 30 kW)), mentre la superficie dell'ala principale del provino differisce di circa un solo ordine di grandezza (circa 1,5 m<sup>2</sup> contro  $\geq 17,6$  m<sup>2</sup>).

Inoltre, mentre la prova SBI include un numero molto limitato di dettagli costruttivi tipici delle facciate (essenzialmente l'angolo), all'aumentare della scala della prova cresce in modo significativo la complessità e la rappresentatività dei dettagli costruttivi considerati.

### ***Test sperimentali fuori standard ed esperienze scientifiche atte a valutare il comportamento al fuoco dei sistemi ETICS***

Nei paragrafi precedenti si è evidenziato come la classificazione prodotto secondo EN 13501-1 per i sistemi di facciata non sia esaustiva e non permette di eseguire delle attente valutazioni per definire il rischio globale di incendio di un edificio.

In attesa di aver un preciso know-how derivante dal futuro test europeo qui di seguito si ripota l'evidenza di alcuni test sperimentali tratti da articoli scientifici disponibili in letteratura che permettono di eseguire delle più attente valutazioni del rischio incendio dei sistemi ETICS.

Come primo riferimento si cita l'articolo scientifico: AA.VV., Fire behaviour of etics with organic insulation: the skin is all! - IFireSS 2017 - 2nd International Fire Safety Symposium Naples, Italy, June 7-9, 2017;

[https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB\\_DC31793.pdf](https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC31793.pdf)

Tale articolo ha messo in evidenza, utilizzando come test di riferimento quello previsto dall'attuale panorama normativo (SBI), come il comportamento al fuoco di un sistema ETICS è fortemente influenzato dallo strato di finitura.

Table 1. Description of the samples analysed in the experimental campaign

SAMPLE	DESCRIPTION
A1	ETICS sample with thick MGW 200 mm applied on calcium silicate boards
A2	ETICS sample with thick MGW 200 mm applied on calcium silicate boards paint with acrylic painting added to surface of sample A1
A3	ETICS sample with thick MGW 200 mm applied on calcium silicate boards paint with lime painting added to surface of sample A1
B1	ETICS sample with thick EPS 40 mm applied on wood particle boards
B2	ETICS with thick EPS 40 mm applied on wood particle boards, with artificial damage (little shallow cavity in the long wing surface of rendering placed at 15 cm from the corner and 15 high from the burner) 20x50x15 mm
C1	ETICS sample with thick EPS 200 mm applied on calcium silicate boards – operator 1
C2	ETICS sample with thick EPS 200 mm applied on calcium silicate boards – operator 2

PROVE SBI, ISO A SCALA INTERMEDIA E SU LARGA SCALA SECONDO L'APPROCCIO EUROPEO

Leggendo tale documento risulta evidente come la pelle esterna è l'elemento fondamentale per poter passare la ridotta prestazione di reazione al fuoco richiesta dalla norma SBI- EN 13823.

Anche minime variazioni nella posa dello strato di finitura possono produrre risultati di reazione al fuoco molto differenti.

Ad esempio, il confronto tra i casi C1 e C2 mostra come una differenza di circa 1 mm nello spessore della finitura possa declassare il provino dalla classe B-s2-d0 alla classe C-s2-d0.

Table 4. Main data from SBI tests on samples C1 and C2

Sample	Peak HRR <sub>av</sub> (kW)	t-t <sub>0</sub> (s)	THR <sub>ia</sub> (MJ)	Figra (W/s)
C1	20.89	429	4.40	166.54
C2	12.09	465	2.98	68.09

Altra evidenza sperimentale, derivante dai provini B1 e B2, mostra come un piccolo danneggiamento dello strato di finitura cambia drasticamente il comportamento al fuoco del sistema cappotto aumentando la classe di reazione al fuoco in modo non controllato.

Table 3. Main data from SBI tests on samples B1 and B2

Sample	Peak HRR <sub>av</sub> (kW)	t-t <sub>0</sub> (s)	THR <sub>ia</sub> (MJ)	Figra (W/s)
B1	10.6	225	2.9	58.92
B2	281.1	1026	6.6	306.24



FIG. 3. DAMAGE MANUALLY DONE BY HAMMER ON SAMPLE B2

FIG. 6. SAMPLE B2: PICTURES OF FLAME PROPAGATION, DUE TO THE PRESENCE OF DAMAGE, TAKEN AT DIFFERENT TIME STEPS OF THE TEST ( $t-t_0$  15, 261 and 378 s)

Sulla base di tali evidenze sperimentali, al fine di poter eseguire una attenta valutazione del rischio di un sistema ETICS con presenza di isolante combustibile, è fondamentale:

- verificare e controllare in fase di posa lo spessore della finitura, in quanto è fondamentale per soddisfare il minimo requisito di reazione al fuoco previsto dall'attuale panorama normativo;
- eliminare discontinuità della finitura data da elementi costruttivi come per esempio la zona di congiunzione del serramento al cappotto, inserimenti di elementi monoblocco o di altri sistemi che interrompono la continuità della stessa (es.: agganci metallici delle persiane, dei pluviali, ecc.).

Tali condizioni fanno decadere le prestazioni di reazione al fuoco con necessità di valutare in modo molto accurato ogni singolo dettaglio architettonico/costruttivo;

- attuare un adeguato piano di manutenzione, al fine di ripristinare danneggiamenti locali come fessure e rotture accidentali dello strato di finitura (es.: urto o evento meteorologico).

Ulteriori valutazioni possono essere tratte dalla campagna di prova sperimentale eseguita per la redazione della Linea Guida *Cappotto Sicuro* prima citata i cui risultati del test sono riportati nell'articolo scientifico: Cancelliere P, Canzani P, Sassi S, Lucchini A, Messa S, Anselmi E., A new test method to determine the fire behavior of façades with etic system - Fire and Materials, 2020; 1-14; <https://doi.org/10.1002/fam.2886>

Questo articolo tratta la possibilità di eseguire un test in media scala di nuova concezione rispetto gli standard disponibili per verificare il comportamento al fuoco dei sistemi ETICS.

In particolare, tali test sono stati tarati per simulare una fiamma uscente da una finestra di un locale interessato da un flash over, caso più realistico rispetto al ridotto cimento termico previsto dalle prove SBI.

La campagna di prove ha messo al confronto, a parità di test e di condizioni al contorno, il differente comportamento al fuoco di alcuni sistemi ETICS applicati anche a diverse tipologie di supporto.

**TABLE 2** Executed tests

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

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

TEST ESEGUITI

Nella tabella sotto estratta dall'articolo citato si riporta il confronto dei risultati sperimentali tra i vari provini.

**TABLE 3** Measured and observed parameters [Colour table can be viewed at [wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com)]

Test number	$\Delta$ RHR		$\Delta$ THR	Transmittance (%)	TSP (m2)	Interested area	Additional notes
	Maximum value	Average value					
1	199	50	70	54	4850		No post-combustion
2	175	80	70	51	5000		No post-combustion
3	150	100	110	57	4600		Protract post-combustion, difficulty in extinguishing
4	175	100	130	54	4850		Protract post-combustion, difficulty in extinguishing, damage to the support
5	190	110	110	36	5800		Important post-combustion, sudden re-ignition, falling of flaming droplets
6	208	90	110	48	5000		Important post-combustion, falling of flaming droplets
7	245	90	100	56	4500		Very limited post-combustion, cracks in the plaster
8	359	250	300	59	3000		Post-combustion, explosion of small portions of the plaster
9	337	200	235	76	1750		Post-combustion, explosion of small portions of the plaster
10	405	260	330	56	2400		Post-combustion, explosion of small portions of the plaster
11	210	105	130	82	1650		Post-combustion, explosion of small portions of the plaster
12	160	100	100	83	1400		Post-combustion, explosion of small portions of the plaster

Abbreviations: RHR, rate of heat release.

Riassumendo tali dati, i test hanno fornito le seguenti evidenze:

- i sistemi ETICS con isolanti incombustibili: non propagano la fiamma e addirittura possono essere uno strumento di protezione al fuoco di supporti combustibili (provino 2 - supporto in legno CLT + cappotto in lana di roccia);



TEST - SISTEMI ETICS CON ISOLANTI INCOMBUSTIBILI

- i sistemi ETICS con isolanti combustibili in fibra di legno: per il tempo di durata della prova (circa 20 minuti) non evidenziano la propagazione della fiamma né in verticale, né in orizzontale, ma non vi è possibilità di bloccare totalmente la combustione anche dopo l'intervento con estintori e getti d'acqua.



TEST - SISTEMI ETICS CON ISOLANTI COMBUSTIBILI IN FIBRA DI LEGNO

- i sistemi ETICS con isolanti combustibili in EPS, certificati in B-s2/S1-d0 e montati a regola d'arte in presenza di uno strato di finitura da 7 mm: se sottoposti a un

cimento termico più severo rispetto alla BSI mostrano propagazione del fuoco sia in verticale che in orizzontale, dropping considerevole con probabile ri-innesco dello stesso anche lontano dalla fiamma di primo innesco (ri-innesco del provino per pool fire dopo aver spento il bruciatore);



TEST - SISTEMI ETICS CON ISOLANTI CON ISOLANTI COMBUSTIBILI IN EPS

- i sistemi ETICS con isolanti combustibili in EPS + grafite con strato di finitura intonaco da 20 mm: anche se sottoposti a un cimento termico più severo rispetto alla BSI non mostrano la propagazione del fuoco né in verticale né in orizzontale. Il danneggiamento rimane circoscritto in prossimità della fiamma e non si sono evidenziati fenomeni di dropping anche a seguito della rimozione dello strato di finitura;



TEST - SISTEMI ETICS CON ISOLANTI CON ISOLANTI COMBUSTIBILI IN EPS + GRAFITE

- i sistemi ETICS con isolanti combustibili in PIR e PUR in presenza di uno strato di finitura da 7 mm: se sottoposti a un cimento termico più severo rispetto alla BSI

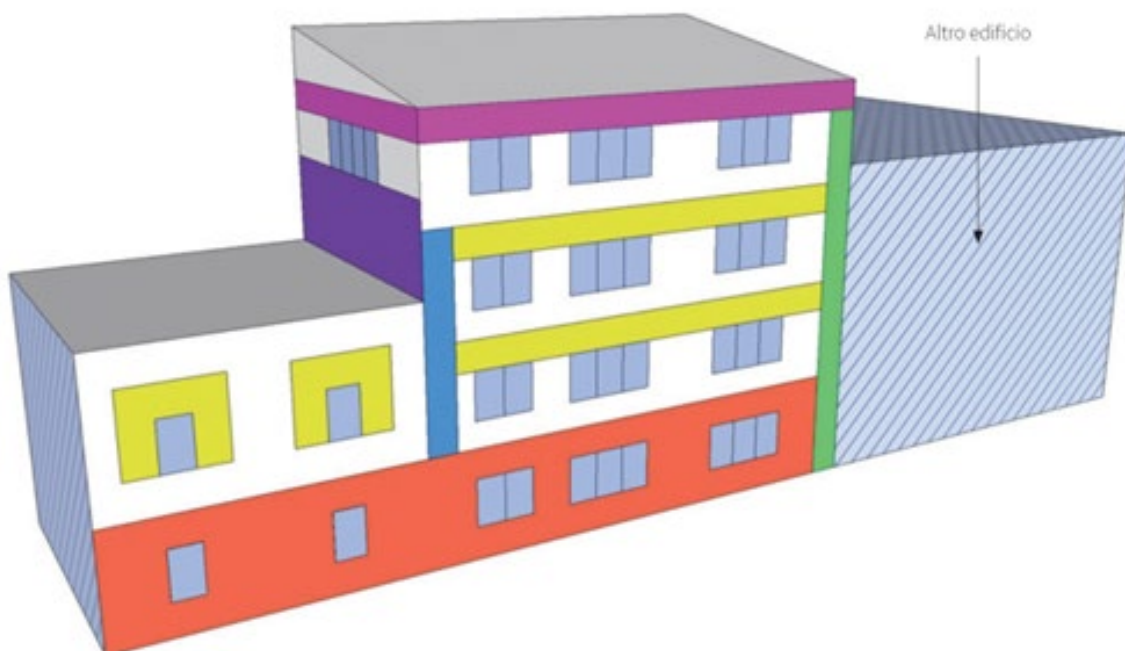
mostrano una propagazione del fuoco principalmente in verticale.

Il danneggiamento rimane circoscritto in prossimità della fiamma, non si sono evidenziati fenomeni di dropping anche a seguito della rimozione dello strato di finitura. Si evidenzia come in alcuni casi è aumentata in modo non trascurabile la potenza dell'incendio.

Sulla base di tali evidenze sperimentali, al fine di poter eseguire una attenta valutazione del rischio di un sistema ETICS, è fondamentale comprendere che:

- i sistemi ETICS con isolanti in EPS + rasatura a basso spessore (7 mm) presentano il maggior rischio.

In caso di edifici complessi o che presentano rischi significativi per  $R_{vita}$  (profilo occupanti C e D secondo il Codice) ne è fortemente sconsigliato l'utilizzo, a meno di non porre degli elementi di separazione incombustibili in corrispondenza di ogni possibile fonte di innesco (es.: 1 m di isolante incombustibile in corrispondenza del perimetro di ogni vano finestra, ecc.) e di ogni elemento di discontinuità del layer esterno (es.: penetrazioni di elementi metallici nello strato coibente come pluviali, ecc.);



ESEMPIO DI EDIFICIO CON PORZIONI INCOMBUSTIBILI DIFFERENZIATE PER SCENARIO DI INCENDIO

Legenda	Scenario di incendio	Es. di fonte di innesco
Sistema a cappotto non combustibile per il primo piano fuori terra	Incendio alla base dell'edificio	Veicolo in fiamme Cassonetto dell'immondizia in fiamme Barbecue Atto vandalico
Sistema a cappotto non combustibile per evitare la propagazione dell'incendio su più piani	Incendio in un compartimento che attraverso le aperture propaga sulla facciata	Cortocircuito Disattenzione degli utenti (sigarette accese, candele, ecc.) Elettrodomestici Lampadine a incandescenza
Sistema a cappotto non combustibile per evitare la propagazione dell'incendio da un compartimento all'altro dello stesso edificio attraverso la facciata	Incendio in un compartimento che raggiunge un altro compartimento attraverso il sistema di facciata	Corto circuito Disattenzione degli utenti (sigarette accese, candele, ecc.) Elettrodomestici Lampadine a incandescenza
Sistema a cappotto non combustibile per evitare la propagazione di incendi esterni in quota	Incendio su un balcone, su un terrazzo, su una scala esterna, su una copertura praticabile a quote inferiori	Disattenzione degli utenti (sigarette accese, candele, ecc.)
Sistema a cappotto non combustibile per evitare la propagazione dell'incendio tra edifici adiacenti	Incendio che propaga dall'edificio in questione a quello adiacente attraverso la facciata o viceversa	Varie
Sistema a cappotto non combustibile per evitare la propagazione dell'incendio dalla facciata all'eventuale copertura combustibile	Incendio che propaga dalla facciata alla copertura	Varie

LEGENDA SCHEMI GRAFICI NELLE PAGINE SEGUENTI, DIFFERENZIATI PER SCENARIO DI INCENDIO

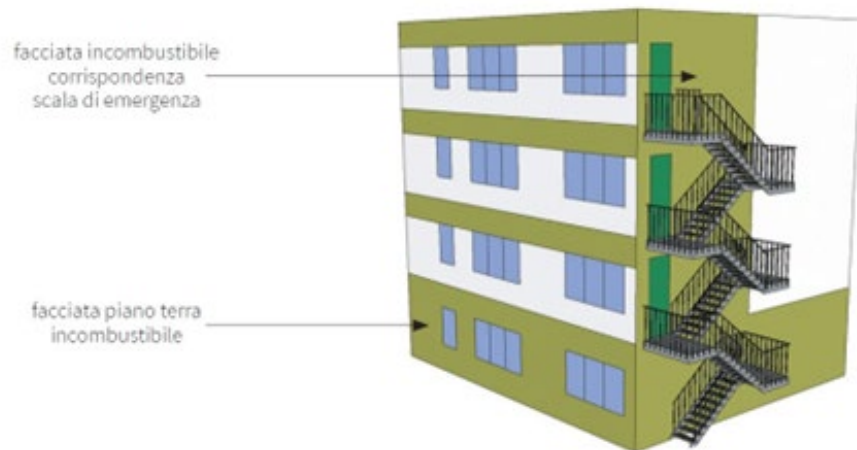
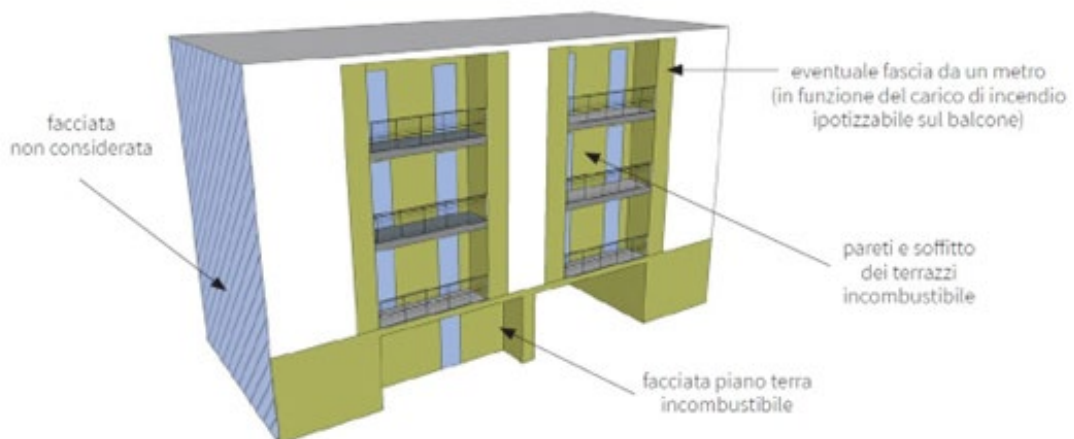
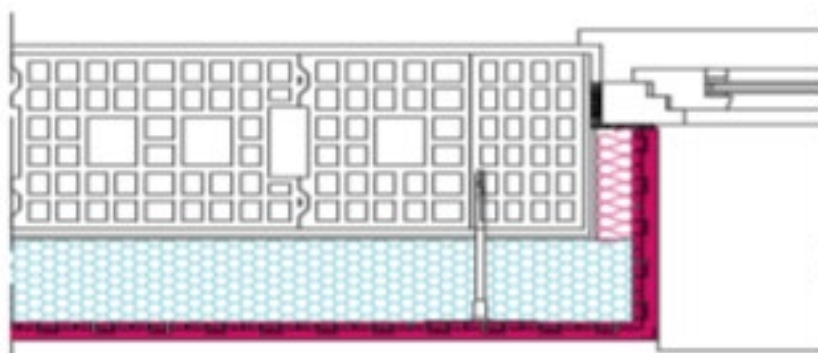


Fig. 18: Facciata con scala di emergenza laterale



FACCIATA CON NICCHIE E PORTICATO

- i sistemi ETICS con isolanti in fibra di legno non presentano particolari rischi per l'esodo gli occupanti, ma aumentano i rischi di intervento delle squadre di soccorso e la possibilità di danneggiamento dell'immobile con post combustione di difficile eliminazione;
- i sistemi ETICS con isolanti in EPS + grafite con uno strato di finitura da 20 mm non presentano particolari rischi per l'esodo degli occupanti e per le squadre di soccorso. Risulta essere una misura valida, purché sia garantita la presenza dello strato di finitura senza soluzione di continuità;



- i sistemi ETICS con isolanti in PIR e PUR hanno evidenziato un buon comportamento al fuoco, anche se si evidenzia una propagazione del fuoco verticale con aumento della potenza dell'incendio con innesco del substrato in caso esso sia in materiale combustibile (CLT).  
Si ritiene che tale soluzione costruttiva possa essere sufficientemente sicura, purché sia garantito che lo strato di finitura sia realizzato senza soluzione di continuità (es.: attacco serramenti, ecc.) e vi sia l'inserimento di elementi parafiamma di tipo incombustibile, la cui posizione va valutata caso per caso, al fine di ridurre la propagazione non controllata del fuoco in verticale.

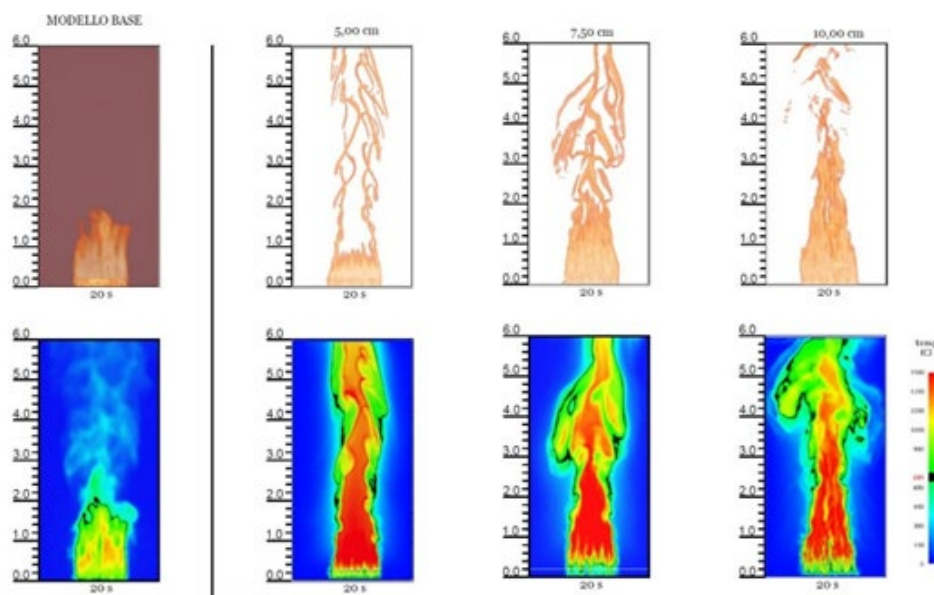
## APPROCCIO PRESTAZIONALE ALLA SICUREZZA AL FUOCO DELLE FACCIATE VENTILATE

Altra tipologia di facciate che merita un approfondimento sono le cosiddette facciate ventilate con camera d'aria non ispezionabile.

La sola presenza della camera d'aria, nell'ipotesi che tutti i componenti che compongono la facciata siano di tipo incombustibile, aumenta in modo sensibile il rischio incendio.

Basti pensare che, ipotizzando lo scenario tipico di un incendio che si propaga in facciata a causa della fuoriuscita delle fiamme da un locale in flashover, si osserva che in una facciata incombustibile priva di camera d'aria il fronte di fiamma raggiunge un'altezza di circa 1 m; al contrario, nelle facciate ventilate, sebbene totalmente incombustibili, tale fronte assume altezze notevolmente superiori.

Si cita come caso di studio la tesi: Micunco, M., Comportamento al fuoco delle facciate ventilate - Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi - A.A. 2021/2022, dove si è data evidenza come, in una facciata composta da soli materiali incombustibili, l'effetto camino provoca un alzamento del fronte di fiamma anche oltre i 6 m in funzione dello spessore dell'intercapedine.

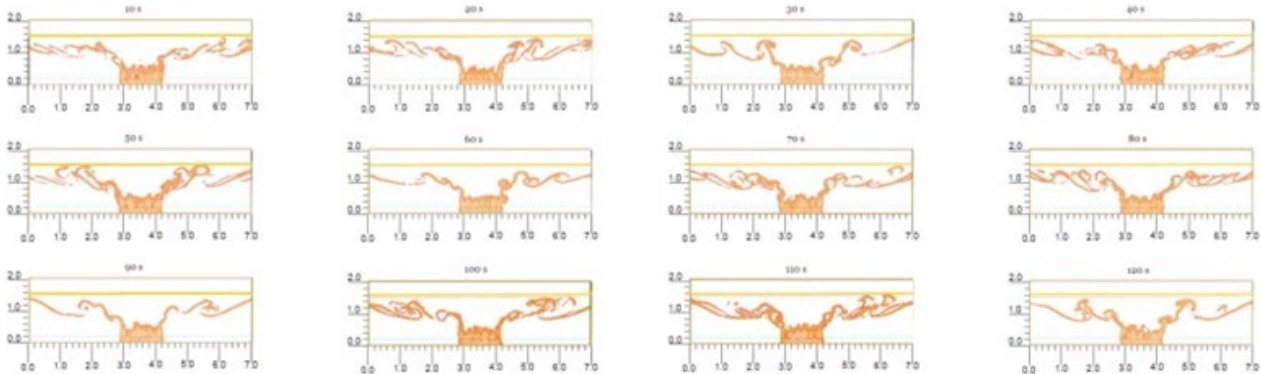


VARIAZIONE ALTEZZA DI FIAMMA IN FUNZIONE DELLA LARGHEZZA DELLA CAVITÀ (ESTRATTO TESI CITATA)

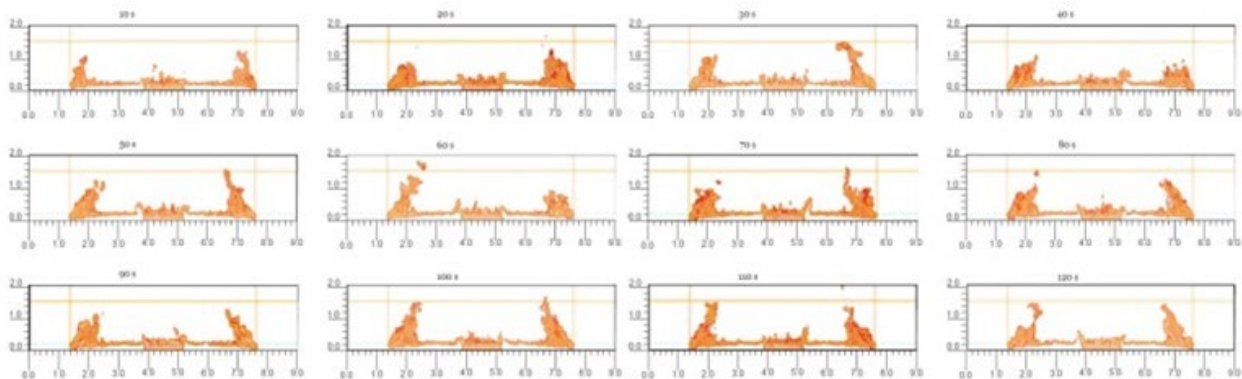
La stessa tesi ha dimostrato come sia necessario implementare all'interno dell'intercapedine l'inserimento di barriere al fuoco sia orizzontali che verticali, al fine di ridurre la propagazione delle fiamme in facciata, limitando così la magnitudo associata ad un predeterminato scenario/evento.

La sola introduzione di barriere orizzontali provoca un allargamento del fronte di fiamma incontrollato.

La suddetta tesi di laurea ha dimostrato come una fiamma di larghezza iniziale di circa 1,4 m assume un fronte orizzontale di oltre i 7/8 m nel caso di facciata ventilata.



VARIAZIONE LARGHEZZA DI FIAMMA CON PRESENZA DI INTERRUZIONE SOLO ORIZZONTALE DELLA CAVITÀ  
(ESTRATTO TESI CITATA)



CONFINAMENTO DE FIAMMA CON PRESENZA DI INTERRUZIONI ORIZZONTALI E VERTICALE DELLA CAVITÀ  
(ESTRATTO TESI CITATA)

Si sottolinea come le ipotesi di diffusione delle fiamme sopra descritte sono valide solo per facciate ventilate incombustibili, mentre la presenza di componenti combustibili all'interno della stratigrafia di una facciata ventilata aumenta la diffusione delle fiamme in modo incontrollato e imprevedibile, la cui valutazione può essere fatta solo tramite test sperimentali su grande scala come la BS 8414 o il futuro test europeo.

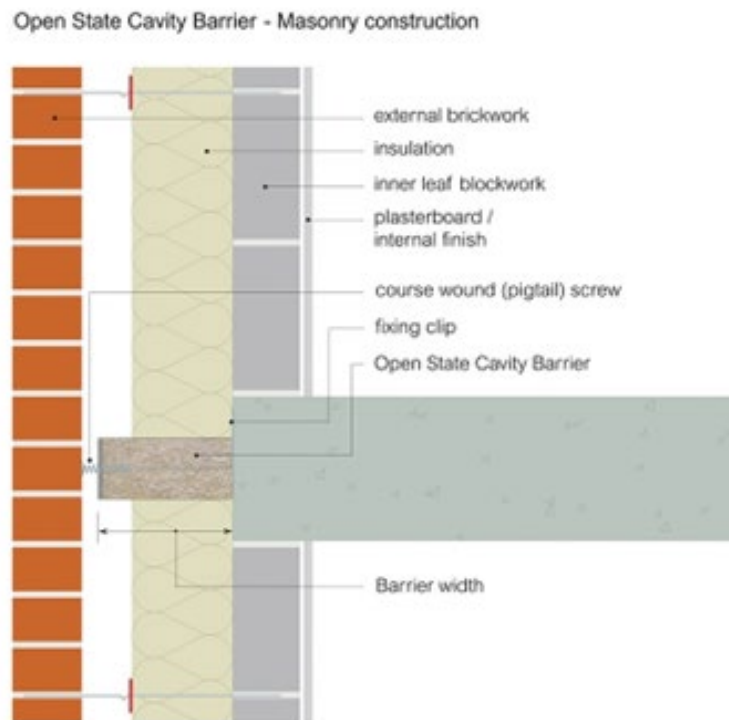
Da quanto sopra evidenziato, in presenza di facciate ventilate, è quasi sempre necessario impostare in fase progettuale una soluzione alternativa rispetto alle *soluzioni conformi* previste dalla RTV V.13 tramite una apposita valutazione del rischio.

In linea generale, in presenza di facciate a doppia pelle con intercapedine non ispezionabile, si raccomanda l'impiego di facciate ventilate costituite esclusivamente da componenti incombustibili (isolanti, rivestimenti, membrane, ecc.).

È inoltre necessaria un'attenta valutazione del rischio per ogni prospetto, volta a determinare l'inserimento di elementi di compartimentazione verticali e orizzontali all'interno della cavità, al fine di creare dei campi predefiniti in cui confinare le eventuali fiamme.

Si evidenzia come tale soluzione costruttiva sia già ampiamente diffusa nei mercati anglosassoni, i quali prevedono la suddivisione della facciata in sottodomini mediante l'inserimento, nello strato ventilato, di *cavity barriers* di tipo statico in verticale e di *cavity barriers* di tipo reattivo in orizzontale a ogni piano.

Tali barriere vanno previste anche in corrispondenza degli elementi a maggior rischio, quali le aperture delle finestre o le zone d'angolo.



OPEN STATE CAVITY BARRIER - COSTRUZIONE IN MURATURA

Si specifica che le *cavity barriers* di tipo statico prevedono la chiusura completa dell'intercapedine, eliminando l'effetto di ventilazione orizzontale sia in condizioni ordinarie di esercizio che in caso di incendio.

Al contrario, le *cavity barriers* di tipo reattivo sono progettate per consentire la ventilazione verticale durante l'esercizio e sigillare la cavità entro un tempo pre-stabilito, qualora essa venga interessata dalle fiamme.

Mentre per la prima tipologia di barriere è possibile utilizzare sistemi certificati secondo la norma EN 1364-4, per le *cavity barriers* di tipo reattivo è in fase di approvazione definitiva la norma EN 1364-6:2025.

Quest'ultima permetterà di disporre di uno standard europeo armonizzato, superando l'attuale classificazione basata principalmente sul documento tecnico inglese TGD 19 (ASFP).

L'impiego di componenti combustibili, seppur ridotti, le differenti condizioni di posa delle barriere e altre variabili costruttive devono essere valutati specificamente caso per caso, avvalendosi anche di evidenze sperimentali ricavate da test su larga scala.

Inoltre, le facciate ventilate, anche dotate di "cavity barrier" possono essere testate in accordo alla NFPA 285 "Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components".

### **Casi particolari: facciate verdi o con presenza di impianti fotovoltaici**

Nel panorama nazionale e internazionale si registra una crescente diffusione di edifici con facciate verdi o pannelli fotovoltaici integrati, sistemi il cui rischio incendio è di complessa valutazione.

Tale difficoltà deriva dalla natura innovativa di queste tecnologie, per le quali non si dispone ancora di un know-how consolidato sul comportamento al fuoco, specialmente se rapportato all'intero ciclo di vita dell'edificio.

Il profilo di rischio di questi sistemi è fortemente influenzato dallo stato di manutenzione e conservazione.

Una facciata verde, ad esempio, muta radicalmente la propria pericolosità in presenza di arbusti secchi dovuti a cattiva gestione o a variazioni climatiche stagionali.

Analogamente, il rischio di cortocircuito in un pannello fotovoltaico, direttamente correlato all'innesco di un incendio, aumenta progressivamente con la vetustà e il degrado dei componenti.

Queste tipologie di facciata sono quasi sempre caratterizzate dalla presenza di intercapedini d'aria (con i rischi di "effetto camino" già evidenziati) e dall'impiego di materiali combustibili.

Gli elementi vegetali possono divenire un rapido veicolo di propagazione con proiezione di tizzoni ardenti, mentre i pannelli fotovoltaici, contenenti strati plastici soggetti a dropping (gocciolamento ardente), possono innescare incendi secondari a catena, come tristemente osservato nei recenti episodi di Londra e Milano.

Per le Facciate Verdi è attualmente in corso una ricerca a livello europeo finalizzata alla redazione di una norma specifica che ne regolamenti la progettazione, inclusa la sicurezza antincendio.

Per approfondimenti sullo stato di avanzamento (pubblicazione prevista nel 2027), si rimanda al progetto GreenVests (<https://www.greenvests-rfcs.eu/>).

Per quanto riguarda le facciate con presenza di pannelli fotovoltaici, si evidenzia l'uscita della nota prot. 14030 del 1 settembre 2025 "*Linea guida di prevenzione incendi per la progettazione, installazione, esercizio, manutenzione di impianti fotovoltaici*" (aggiornamento della nota prot. n. 1324 del 7 febbraio 2012), che ha introdotto linee di indirizzo cruciali per limitare la propagazione del fuoco, prescrivendo alcuni accorgimenti tecnici come distanze di rispetto, l'uso di deflettori di fiamma, ecc..

In conclusione, per queste tecnologie non è possibile identificare soluzioni standard così dette "conformi", ma le stesse debbano essere oggetto di specifiche valutazioni del rischio, anche in termini qualitativi, al fine di determinare tutte le misure tecniche (es.: necessità di utilizzo di ottimizzatori elettrici, suddividere le facciate in sottocampi, ecc.) e gestionali (es.: aumento della frequenza di manutenzione di alcuni componenti, ecc.) necessarie per ridurre il rischio incendio anche in funzione della vita utile dei componenti che compongono la facciata stessa.

## COME VALUTARE IL TERZO OBIETTIVO DI SICUREZZA AL FUOCO RICHIAMATO NELLA RTV V.13

La RTV V.13 definisce come uno dei principali obiettivi di sicurezza:

*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.*

Per questo specifico obiettivo, il normatore ha giustamente scelto di non indicare soluzioni conformi standard, poiché il raggiungimento della prestazione richiesta è influenzato da innumerevoli variabili che rendono impossibile una definizione univoca a priori.

Tale obiettivo può essere valutato solo analizzando l'edificio nella sua complessità: è infatti necessario comprendere come, in funzione di uno specifico scenario d'incendio, si sviluppino le dinamiche di esodo e le operazioni di soccorso, mettendole in relazione con il comportamento al fuoco delle chiusure d'ambito.

Data tale complessità, si ritiene che solo un approccio prestazionale e multidisciplinare sia in grado di garantire l'effettivo raggiungimento di questo fondamentale traguardo di sicurezza.

Si consideri, a titolo di esempio, un edificio a uso terziario con facciata di tipo curtain wall e altezza antincendio superiore a 54 m.

In genere, il layout distributivo del piano tipo prevede un *core* centrale in cui sono inseriti i principali percorsi di esodo verticali (scale) e di intervento dei soccorritori (ascensore antincendio).

Se la posizione di tali elementi risulta ottimale per ragioni strutturali, impiantistiche e al fine di garantire l'esodo e l'intervento delle squadre di soccorso al piano, essa può rivelarsi critica per l'obiettivo sopra citato se applicata al piano terra.

Infatti, i punti di uscita degli occupanti e di ingresso dei soccorritori potrebbero essere soggetti alla caduta di parti di facciata, anche qualora la chiusura d'ambito sia stata progettata rispettando integralmente i requisiti di reazione e resistenza al fuoco previsti dalla RTV V.13.

Le facciate e i serramenti vetrati sono infatti soggetti a rottura con conseguente caduta di frammenti non trascurabili, evento che può manifestarsi già durante le prime fasi dell'incendio.

Solo un approccio multidisciplinare può evidenziare soluzioni tecniche efficaci, tra le quali si citano (a titolo esemplificativo e non esaustivo):

- **Protezione delle uscite:** Prevedere in corrispondenza delle uscite di sicurezza (US) una facciata con caratteristiche almeno E 30 su tutta la proiezione verticale, ampliata di almeno 1,8 m per lato.

- **Percorsi protetti interrati:** Convogliare l'esodo e l'accesso dei soccorritori verso punti sicuri distanti dal sedime dell'edificio tramite percorsi situati ai piani interrati.
- **Protezione attiva:** Integrare nella strategia generale dell'immobile un impianto di spegnimento automatico (es.: sprinkler).

Quest'ultima soluzione è suffragata da evidenze scientifiche, come illustrato nell'articolo scientifico: Mazzucchelli E.S. et al., Fire Safety Façade Design and Modelling: The Case Study of the Libeskind Tower, Journal of facade design & engineering volume 8 / number 1/2020).

<https://jfde.eu/index.php/jfde/article/view/204/204> ).

Lo studio, basato sull'esperienza multidisciplinare di progettazione e costruzione di una nota torre milanese, dimostra tramite modellazioni CFD, FEM e test sperimentali in scala reale come un sistema sprinkler sia in grado di limitare lo sviluppo delle temperature al di sotto della soglia di collasso delle facciate vetrate, utilizzando curve naturali di incendio derivanti dalle simulazioni fluidodinamiche.

Risulta evidente che un tale impianto, se progettato e utilizzato nelle *soluzioni alternative* previste dal Codice, che ricorrono all'approccio ingegneristico, deve essere a *disponibilità superiore*, con tutti gli oneri tecnici, economici e gestionali del caso.

In definitiva, l'analisi fin qui condotta evidenzia come la sicurezza antincendio dell'involucro edilizio non possa più essere considerata un mero adempimento normativo o un elemento di dettaglio da affrontare in fase avanzata.

Al contrario, la complessità delle attuali tecnologie costruttive, siano esse sistemi ETICS, curtain wall, facciate ventilate o soluzioni verdi o fotovoltaiche, impone una visione unitaria e globale del problema.

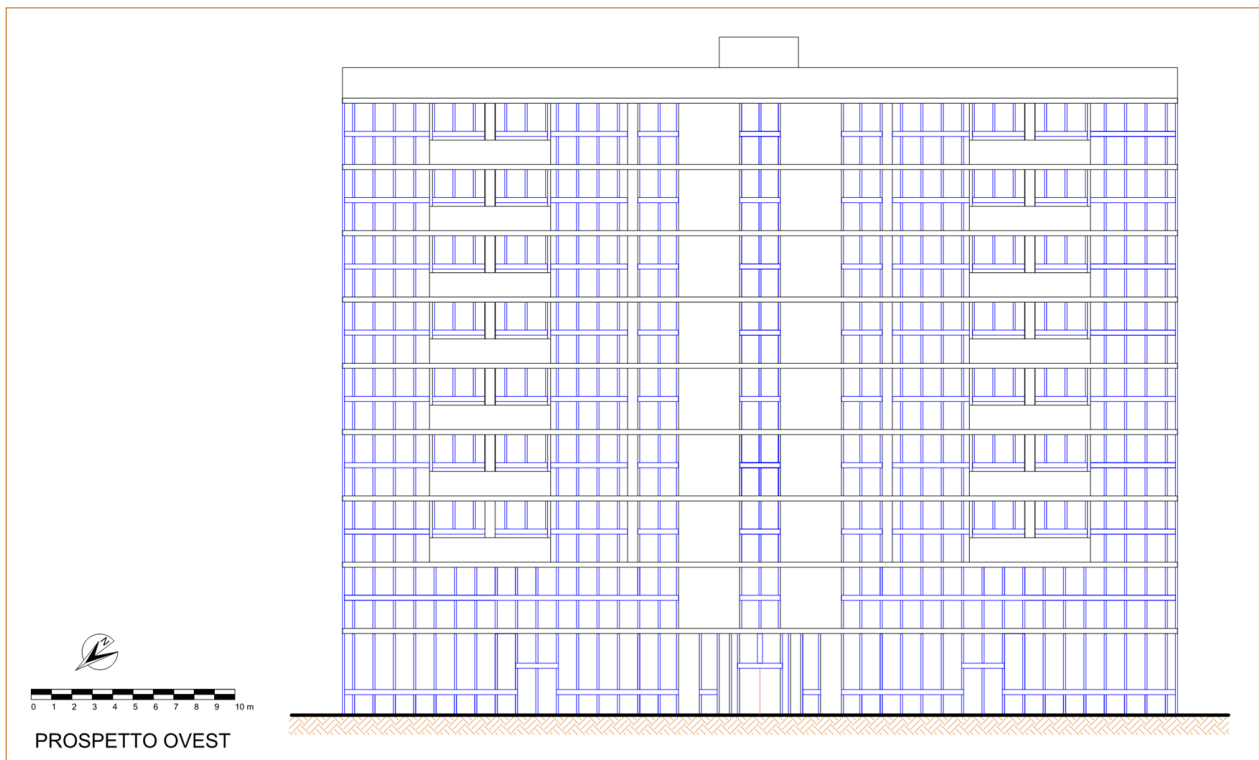
Se, come dimostrato, le soluzioni predefinite a livello normativo possono non risultare sempre sufficientemente cautelative per scenari complessi, solo un corretto approccio prestazionale, basato su specifiche valutazioni del rischio, è in grado di garantire che l'edificio e le sue chiusure d'ambito siano intrinsecamente resilienti e sicuri: sia per chi lo abita, sia per le squadre di soccorso chiamate a intervenire in emergenza.

## CASO STUDIO: PROGETTAZIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO DELLE CHIUSURE D'AMBITO DI UN EDIFICIO A USO TERZIARIO

### DESCRIZIONE

Il presente caso studio riguarda la ristrutturazione di un edificio, sito a Brescia, focalizzando l'attenzione sulle problematiche antincendio delle *chiusure d'ambito*, che presenta, ai piani terra e primo, un'attività commerciale e uffici ai piani superiori (dal secondo all'ottavo).

Di seguito sono riportate le principali risultanze grafiche del progetto architettonico del sito.



PROSPETTO OVEST

L'edificio, con altezza antincendio pari a circa 27,00 m (punto 4 del par. G.1.7), presenta una geometria composta da nove livelli fuori terra, oltre al piano di copertura. Come detto, l'edificio presenta, ai piani terra e primo, un'attività commerciale, altezza interpiano di 4,00 m al piano terra e 3,00 m a partire dal piano primo e ai piani superiori adibiti ad uffici; la superficie di piano è pari a circa 1200 m<sup>2</sup>.

Le caratteristiche delle vie d'esodo prevedono vani scala a prova di fumo con accesso indipendente ad ogni piano per ciascuno di essi.

Sul fronte di accesso (prospetto Ovest) è previsto un aggetto di 50 cm al quale segue un frontalino di 25 cm i quali creano una fascia di separazione REI 90 avente uno sviluppo di 75 cm.

Sui restanti lati, ogni piano è separato da un frontalino dello spessore di 25 cm, che costituisce l'unica fascia di separazione.

La tipologia edilizia dell'edificio prevede elementi portanti in CLS armato ed elementi interni di separazione verticale in laterizio.

Le *facciate continue* sono di tipo non portante e sono indipendenti dall'ossatura strutturale dell'edificio, risultando fissate ai solai ed agli elementi portanti in CLS armato. Esse prevedono infissi con lastra di vetro stratificato dello spessore complessivo di 12 mm.



VISUALIZZAZIONE DEL SITO - GOOGLE MAPS

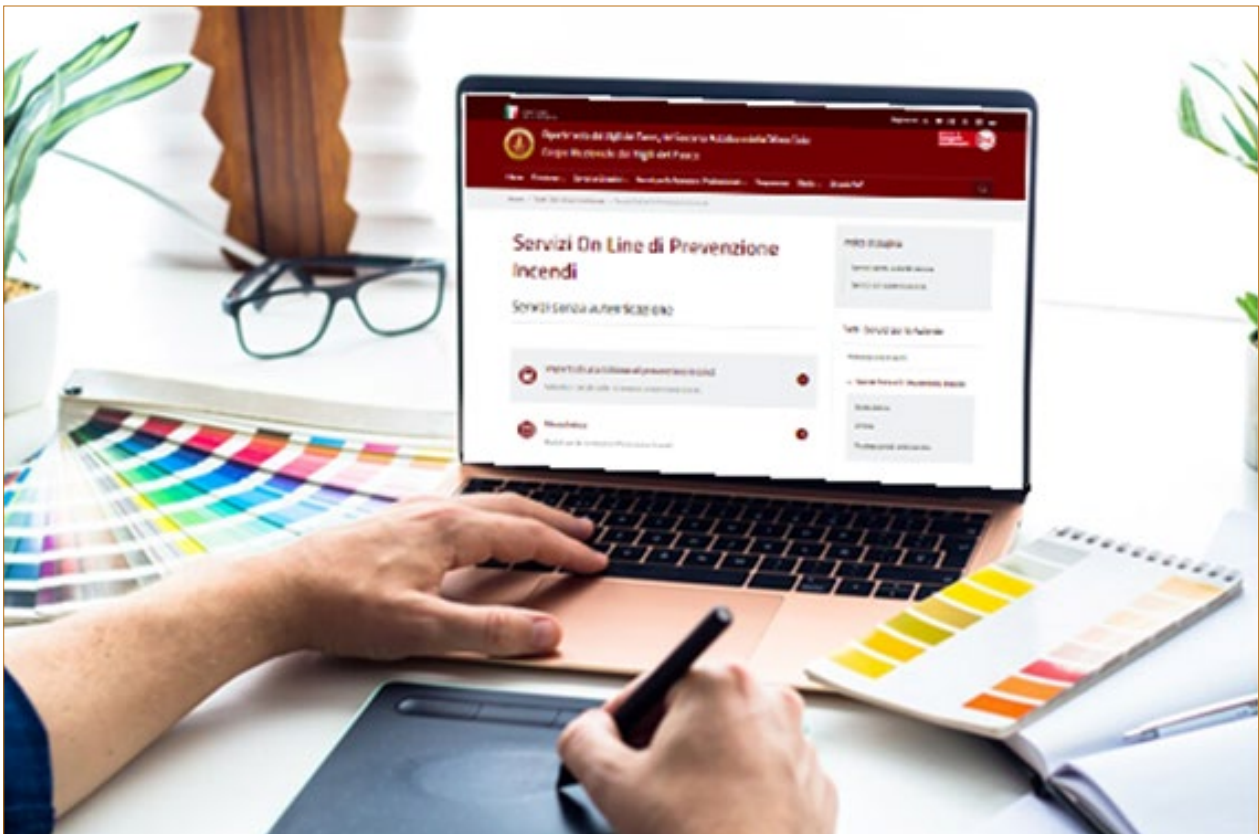
## CONTESTUALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ IN RELAZIONE ALLA PREVENZIONE INCENDI

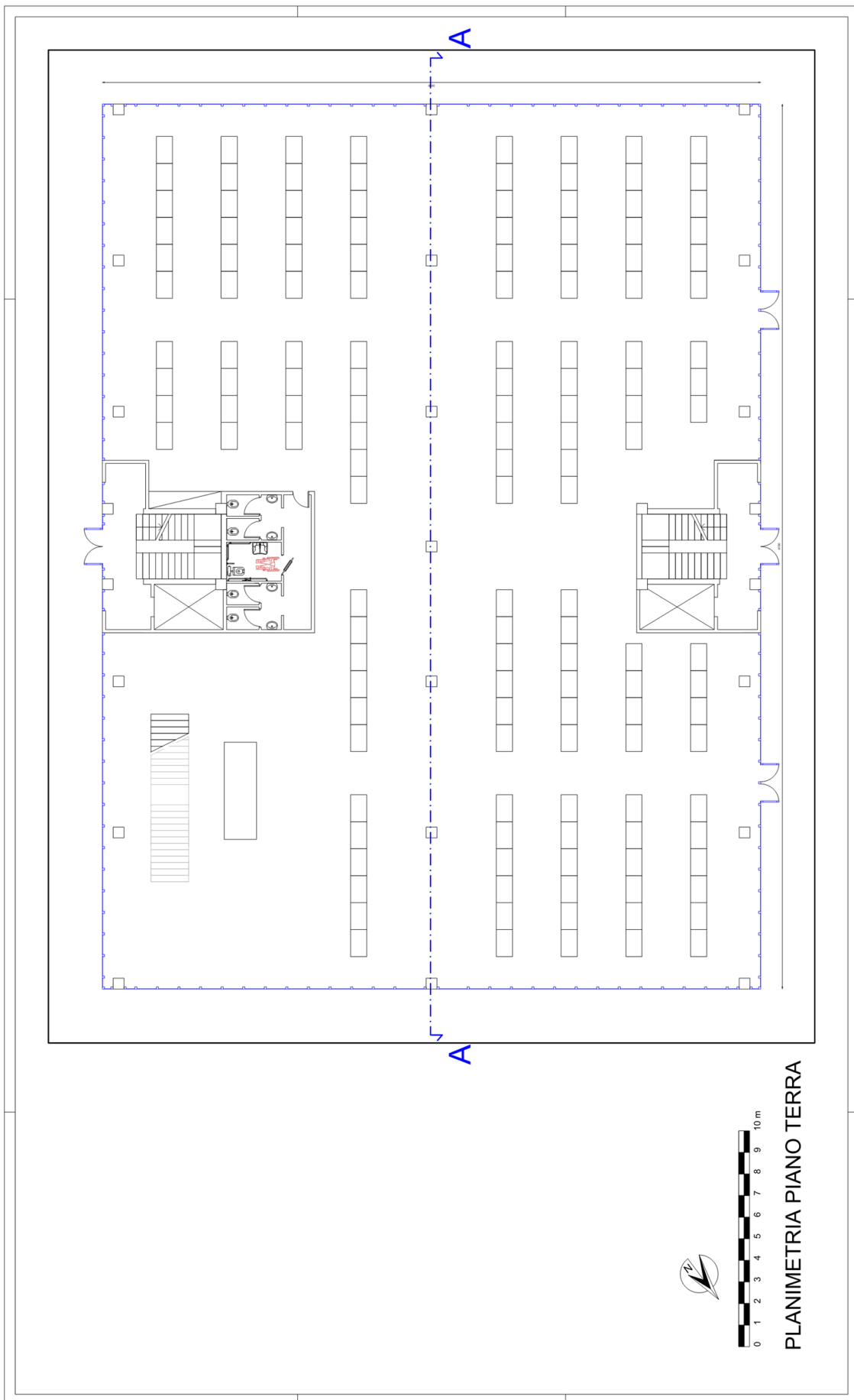
- Ai sensi dell'allegato I del d.p.r. 1 agosto 2011, n. 151 l'attività rientra nella classificazione di cui al punto 71.1.A: "Aziende ed uffici con oltre 300 persone presenti (fino a 500 persone)".

Pertanto, l'attività risulta compresa nel campo di applicazione del Codice.

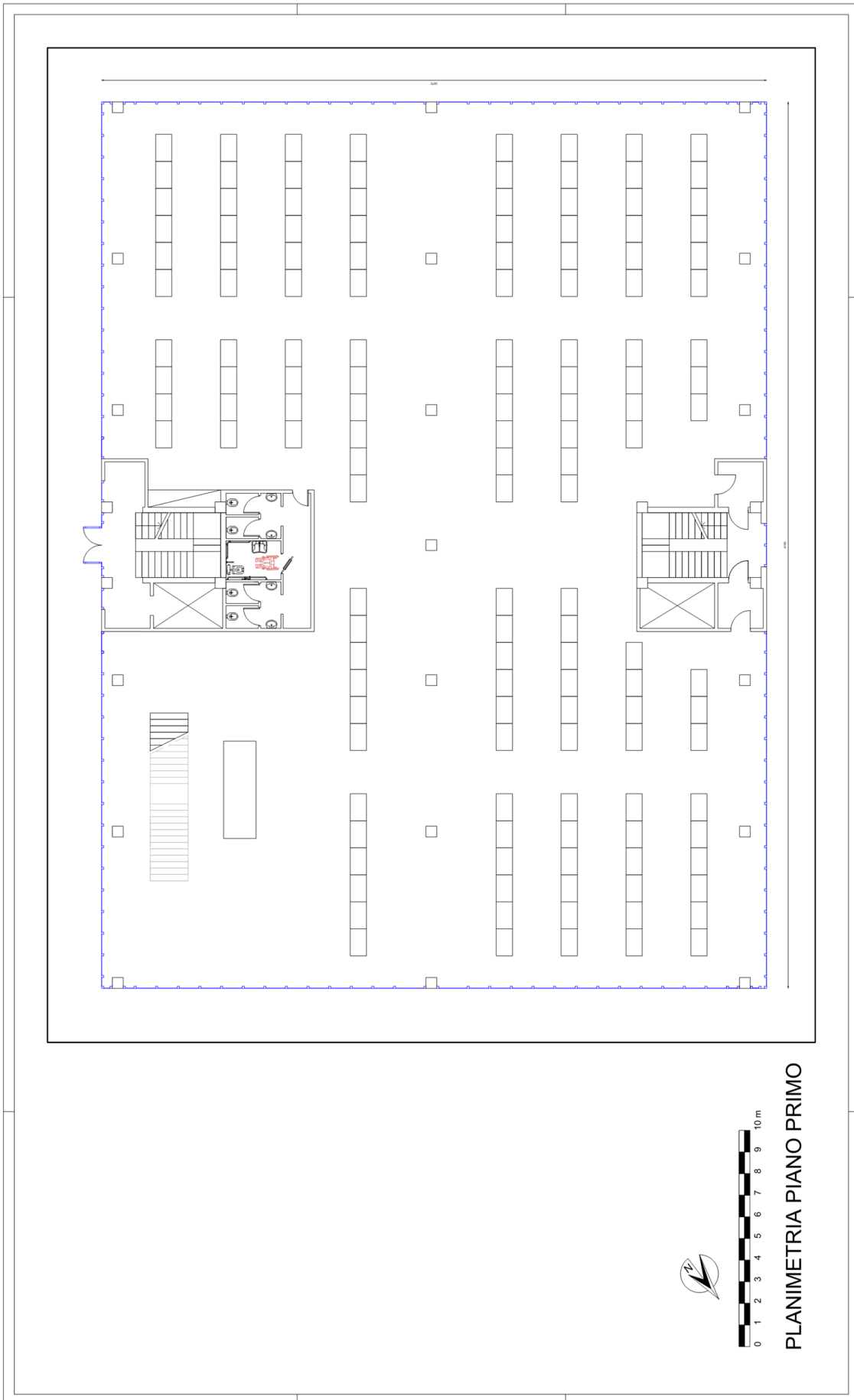
Le attività secondarie (*non oggetto del presente caso studio*) si suppone siano invece:

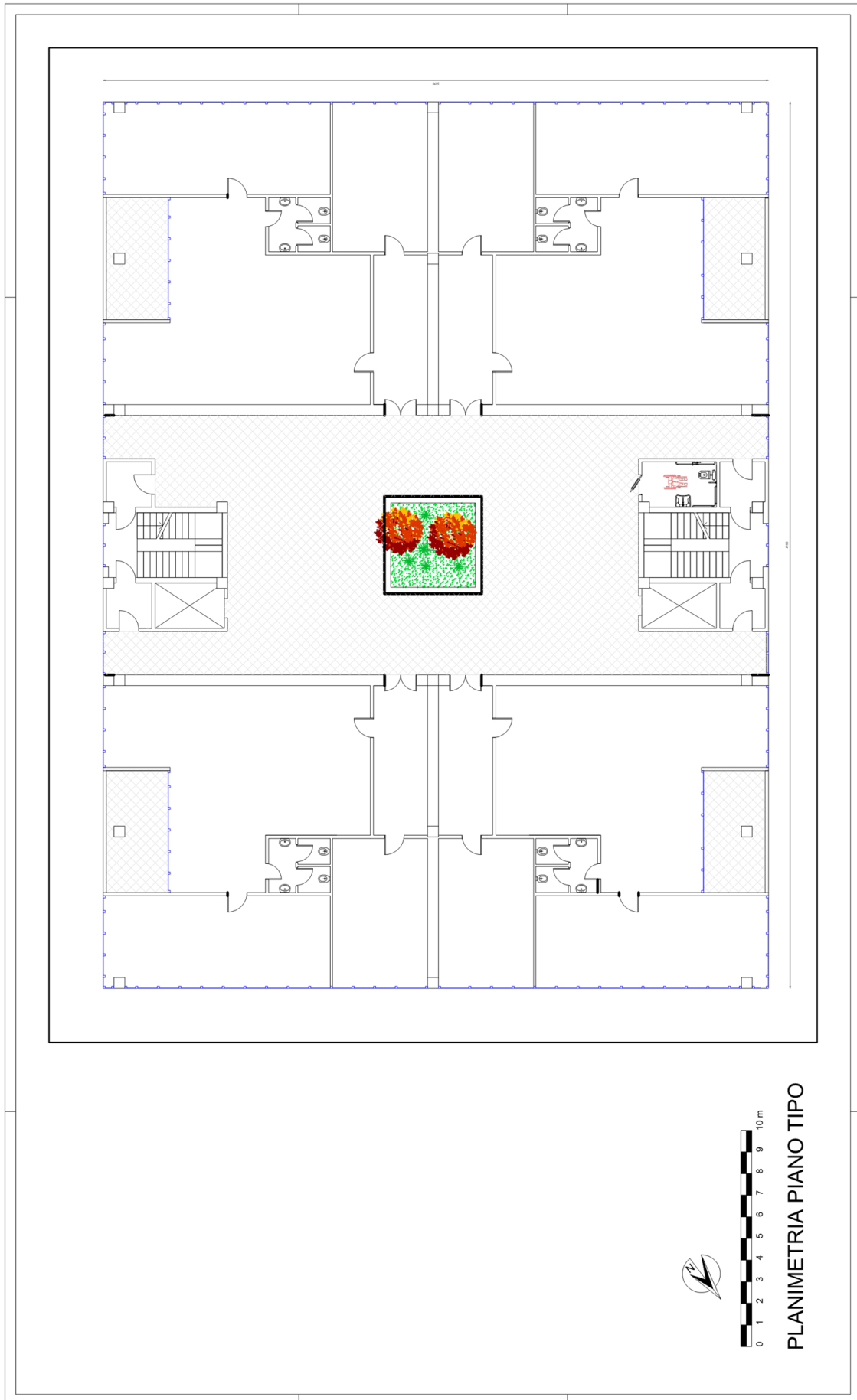
- 69.3.C: "Locali adibiti ad esposizione e/o vendita all'ingrosso o al dettaglio, fiere e quartieri fieristici, con superficie lorda superiore a 1.500 m<sup>2</sup> comprensiva dei servizi e depositi. Sono escluse le manifestazioni temporanee, di qualsiasi genere, che si effettuano in locali o luoghi aperti al pubblico";
- 73.2.C: "Edifici e/o complessi edilizi a uso terziario e/o industriale caratterizzati da promiscuità strutturale e/o dei sistemi delle vie di esodo e/o impiantistica con presenza di persone superiore a 300 unità, ovvero di superficie complessiva superiore a 5.000 m<sup>2</sup>, indipendentemente dal numero di attività costituenti e dalla relativa diversa titolarità (oltre 6.000 m<sup>2</sup> di superficie complessiva)";
- 49.1.A "Gruppi per la produzione di energia elettrica sussidiaria con motori endotermici ed impianti di cogenerazione di potenza complessiva da 25 a 350 kW.

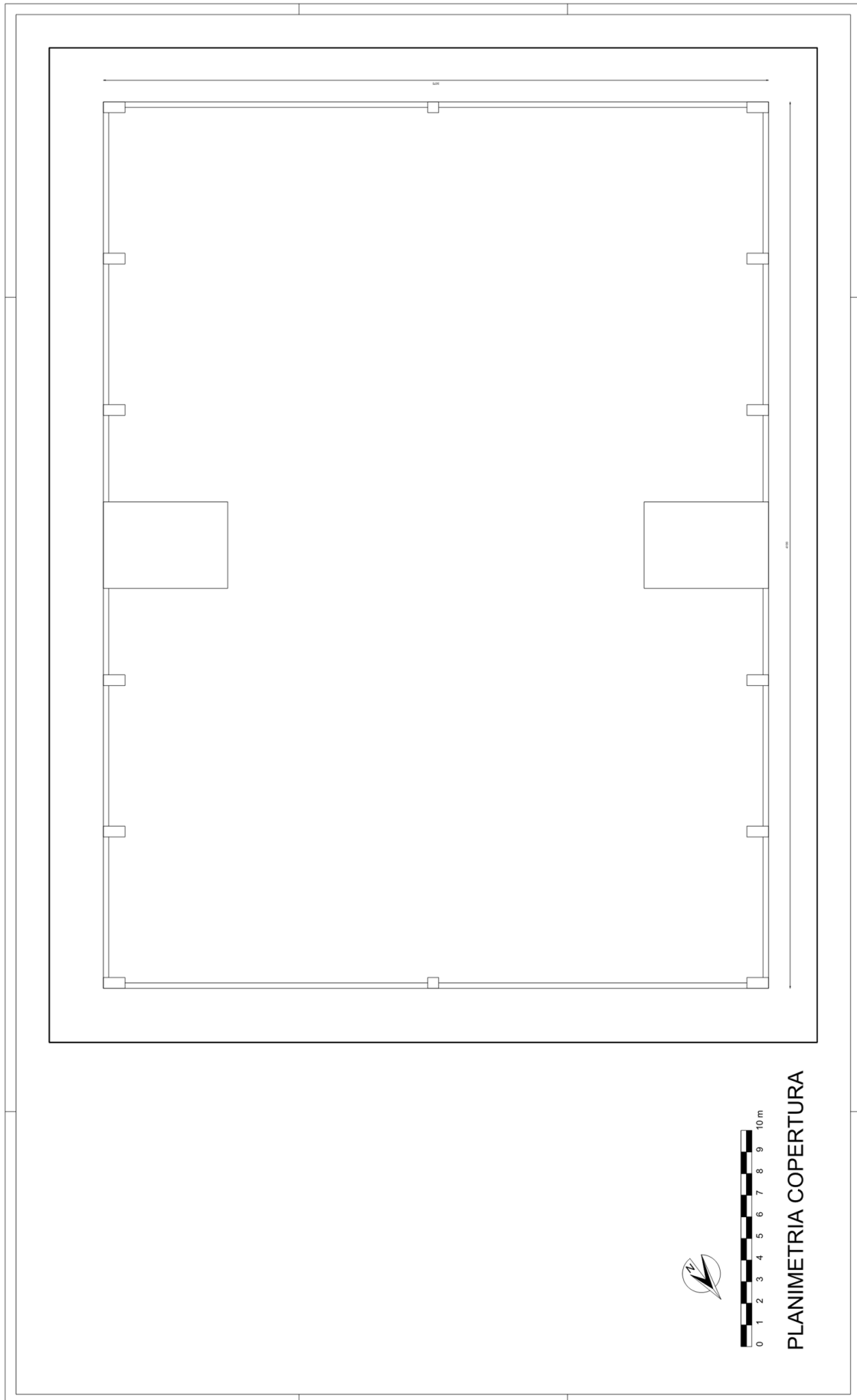


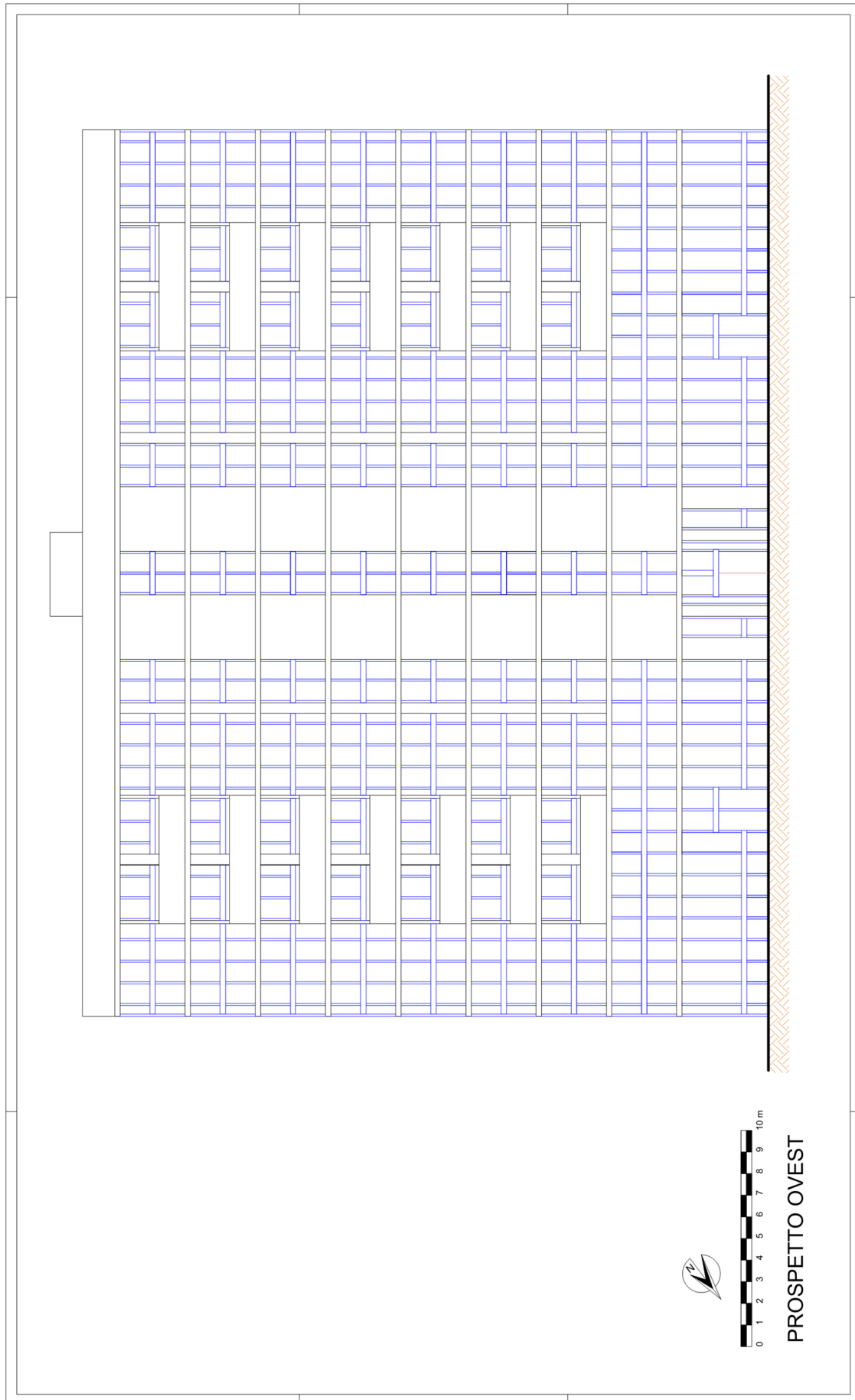


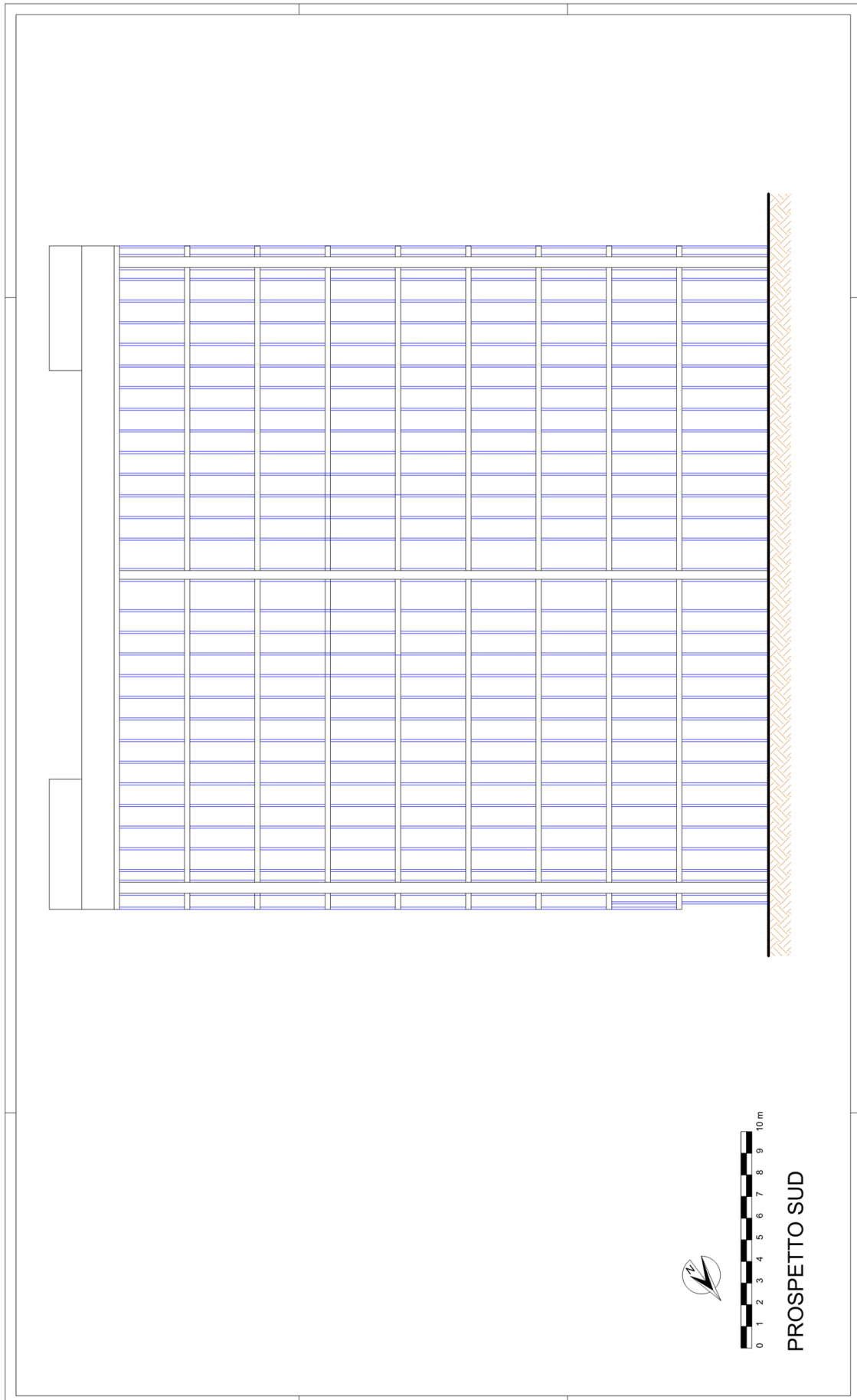
PLANIMETRIA PIANO TERRA

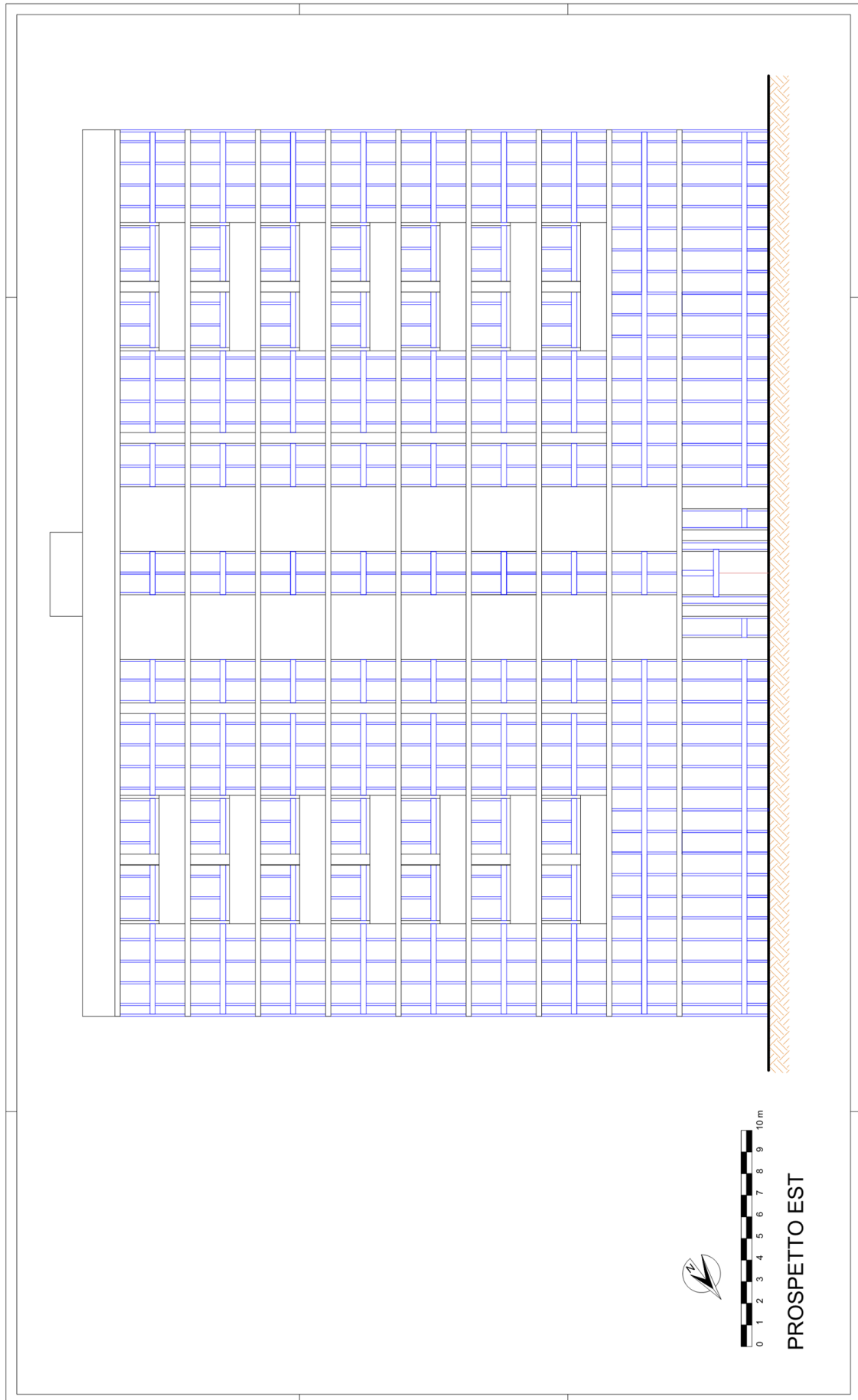


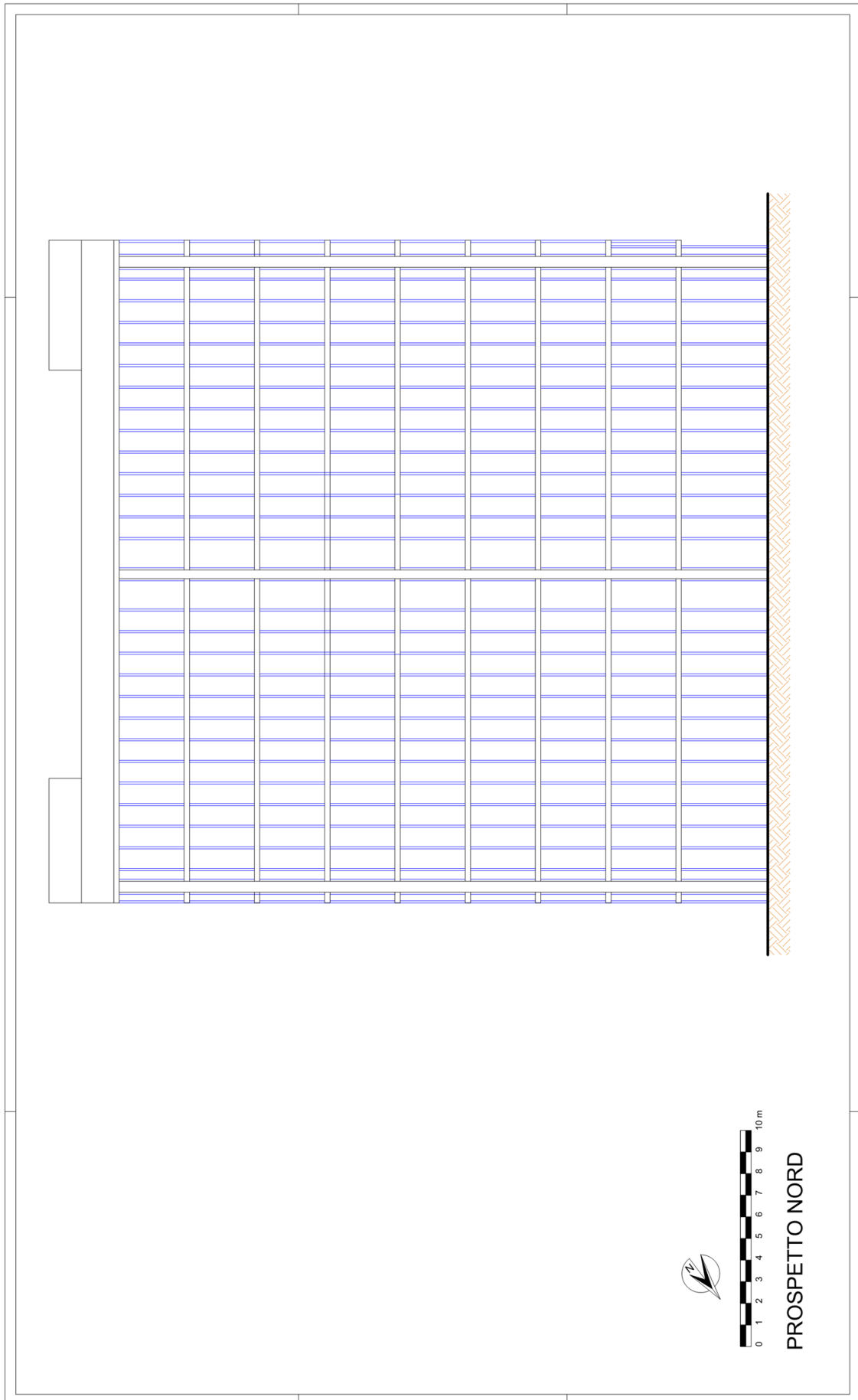


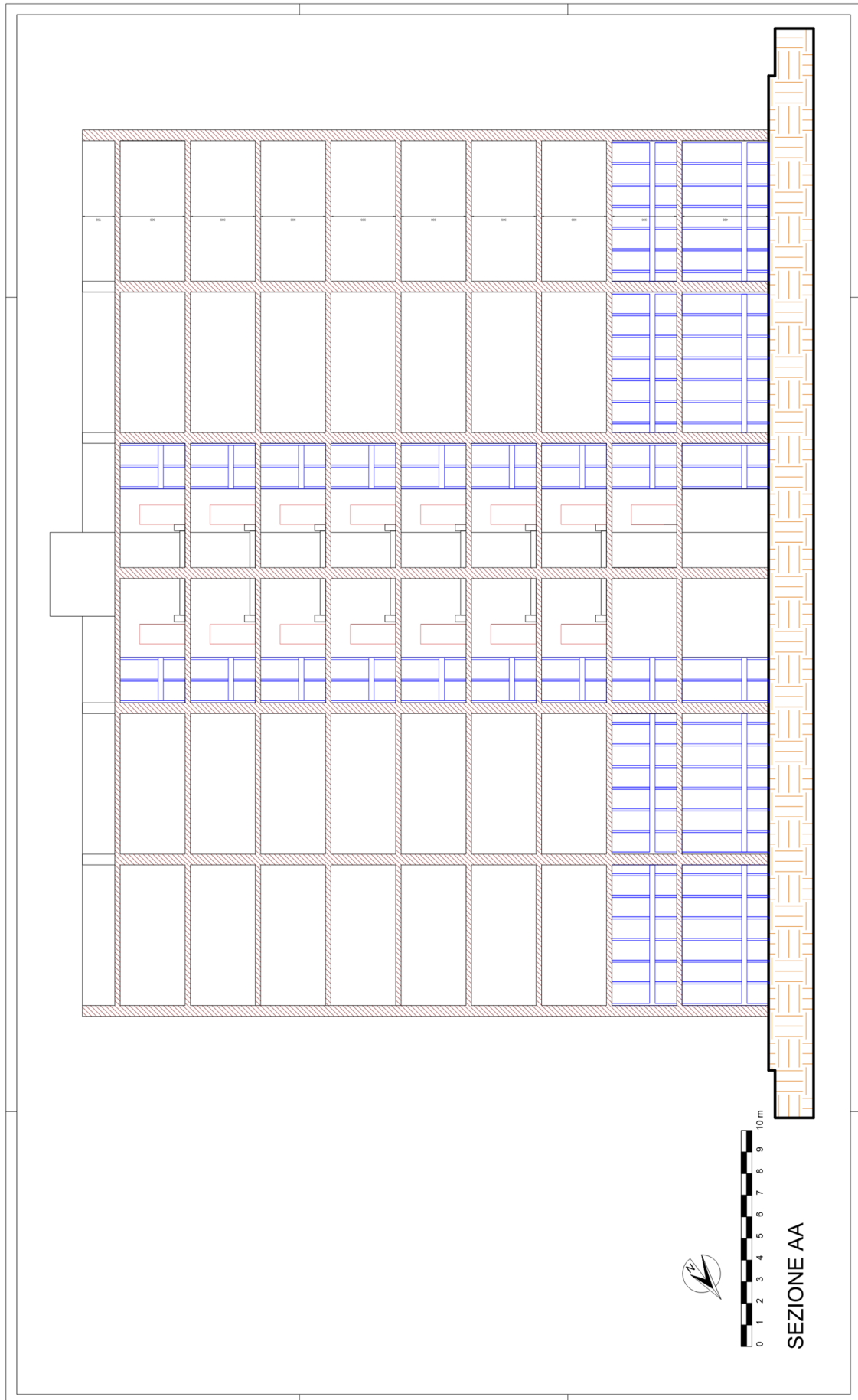












## PROGETTAZIONE ANTINCENDIO CON IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI

### RIFERIMENTI NORMATIVI

d.m. 3 agosto 2015 e s.m.i.; si veda il testo aggiornato al link: <https://www.vigilfuoco.it/codice-di-prevenzione-incendi>

La RTV V.13 riguarda le chiusure d'ambito degli *edifici civili* (es.: strutture sanitarie, scolastiche, alberghiere, commerciali, uffici, residenziali, ecc..).



### CLASSIFICAZIONI

Ai fini della RTV V.13, le chiusure d'ambito dell'edificio oggetto del presente caso studio sono classificate (par. V.13.3) in relazione alle *caratteristiche dell'edificio* su cui sono installate:

- SC: chiusure d'ambito di altri edifici (diversi da SA e SB).

## LA METODOLOGIA GENERALE

L'approccio prestazionale o semi-prestazionale, tipico del Codice, si concentra su tutto ciò che l'attività (strutture, impianti, gestione, ecc.) dovrà garantire, piuttosto che su come questa dovrà essere realizzata definendo, quindi, obiettivi prestazionali sulla base di valutazioni relative alle performance finali.

La valutazione del rischio non è quindi fatta *ex ante*, ma sul caso reale e concreto; pertanto, il progettista effettuerà la scelta delle misure adeguate al conseguimento degli obiettivi di sicurezza da raggiungere, valutando l'adeguatezza del contesto e delle tecniche di analisi, assumendosene direttamente la responsabilità, al fine di garantire le prestazioni attese.

Progettare con approccio prestazionale la sicurezza antincendio, conseguentemente, consente massima flessibilità nell'individuazione di soluzioni tecniche e gestionali finalizzate al raggiungimento del livello di sicurezza accettabile, adottandone di più specifiche e altrettanto efficaci in termini di sicurezza.

In questo modo si favorisce l'utilizzo di nuove tecnologie (che nel complesso potrebbero addirittura risultare meno onerose) e l'adeguamento alle situazioni peculiari dell'attività, ottenendo anche un'ottimizzazione dei costi senza compromissione della sicurezza antincendio.

Sinteticamente, secondo i Capp. G.2 e G.3, le fasi della metodologia indicate dal Codice sono:

### Definizione dello scopo della progettazione

Si fa riferimento al par. G.2.6 punto 1 a.

### Identificazione degli obiettivi di sicurezza

Si fa riferimento al par. V.13.1, in particolare, e al par. G.2.6 punto 1 b, in generale.



### **Premessa**

Alla luce del Codice (punto 5 del par. G.1.3) le Regole Tecniche Verticali (Sez. V) si dividono in due categorie:

- RTV per la progettazione, *in soluzione conforme*, delle attività normate;
- RTV di servizio (per ambiti, rischi specifici, ecc., Capp. V.1, V.2, V.3 e V. 13);

Le RTV di servizio (come la V.13 nel caso in esame) concorrono a completare la metodologia di progettazione della RTO e sono individuate dal progettista o riportate nelle RTV delle specifiche attività.

Pertanto, essendo il focus della presente pubblicazione riferito alle *chiusure d'ambito* degli edifici civili, resta inteso che la progettazione antincendio con il Codice delle *attività esistenti* all'interno dell'edificio oggetto del caso studio seguirà il consueto iter previsto dal medesimo, qui omissis per ragioni di brevità:

- Valutazione del rischio d'incendio per l'attività
- *Attribuzione dei profili di rischio*
- *Strategia antincendio per la mitigazione del rischio*
- *Attribuzione dei livelli di prestazione alle misure antincendio*
- *Individuazione delle soluzioni progettuali*



### **Strategia antincendio**

Si fa riferimento al par . V.13.4, in particolare, e al par. G.2.3, in generale.

La RTV V.13 propone, ai parr. V.13.4.1, V.13.4.2 e V.13.4.3, *soluzioni conformi* in riferimento alle misure S.1, S.2, S.3 ed S.10.

Sono comunque ammesse *soluzioni alternative* (Cap. G.2), ad esempio relative alla valutazione del comportamento al fuoco dell'intero sistema di chiusure d'ambito, che limitino la probabilità di propagazione dell'incendio attraverso le chiusure d'ambito stesse.

La RTV V.13 illustra le caratteristiche minime che devono possedere le chiusure d'ambito degli edifici civili, sia dal punto di vista dei materiali che da quello geometrico, in riferimento a talune zone delle medesime.

Si segnala che la RTV V.13 prende in considerazione non solamente gli aspetti progettuali derivanti da scenari d'incendio che prevedono lo sviluppo all'interno dell'edificio, ma anche sulle caratteristiche che occorre garantire, in riferimento all'involucro esterno dello stesso, in ottica del raggiungimento degli obiettivi di sicurezza.

La propagazione di un incendio in un edificio dipende da come sono organizzati i sistemi di compartimentazione, verticali o orizzontali, che concorrono al contrasto alla propagazione dello stesso.

Tuttavia, tali sistemi di protezione interni non possono controllare il fuoco che si propaga dall'esterno.

Per tale ragione, il controllo della propagazione degli incendi esterni, tra un compartimento antincendio e l'altro, si fonda sulla scelta di materiali idonei, per le facciate e i dettagli strutturali, che variano a seconda del tipo di facciata.

Il dettagliato studio della tipologia di facciata, pertanto, risulta di ausilio per comprendere come può propagarsi un incendio e quali misure tecniche occorre intraprendere per contrastare tale fenomeno.

### **Scopo della progettazione**

Lo scopo della presente progettazione è quello di tutelare l'incolumità degli occupanti previsti, a qualsiasi titolo presenti nell'attività, e di salvaguardare i beni presenti e l'ambiente circostante nei confronti del rischio d'incendio.

Il progetto di prevenzione incendi riguarda la ristrutturazione di un edificio, sito a Brescia, in Via Giuseppe Valadier.

Si ribadisce che il focus della presente pubblicazione riguarderà le problematiche antincendio delle *chiusure d'ambito* dell'edificio in questione.

Come mostrato nei precedenti elaborati grafici, l'edificio presenta, ai piani terra e primo, un'attività commerciale e uffici ai piani superiori (dal secondo all'ottavo). Per brevità di trattazione, si rimanda alla descrizione effettuata nel paragrafo omonimo.

### **Obiettivi di sicurezza**

In relazione al caso studio in esame, gli obiettivi primari di sicurezza della progettazione applicabili sono quelli previsti al par. G.2.5, che riguardano, come noto:

- a. sicurezza della vita umana;
- b. incolumità delle persone;
- c. tutela dei beni e dell'ambiente.

La RTV V.13, come detto, persegue, inoltre, gli ulteriori obiettivi di sicurezza antincendio:

- a. limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'interno dell'edificio, attraverso le sue *chiusure d'ambito*;
- b. limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'esterno dell'edificio, attraverso le sue *chiusure d'ambito*;
- c. evitare o limitare la caduta di parti della *chiusura d'ambito* dell'edificio (*es.: frammenti di facciata o altre parti comunque disgregate o incendiate, ecc.*) in caso d'incendio, che possano compromettere l'esodo degli occupanti o l'operatività delle squadre di soccorso.

### **Valutazione del rischio d'incendio per l'attività**

Per quanto anticipato, relativamente al focus della presente pubblicazione, si omette la valutazione del rischio incendio per le attività svolte all'interno dell'edificio in questione.



## DETERMINAZIONE PROFILI DI RISCHIO DELLE ATTIVITÀ: CAP. G.3

I profili di rischio sono determinati secondo le indicazioni della metodologia di cui al Cap. G.3.

- Il profilo di rischio  $R_{vita}$  è attribuito per *ciascun compartimento* e, ove necessario, per ciascuno *spazio a cielo libero* dell'attività (par. G.3.2).
- Il profilo di rischio  $R_{beni}$  è attribuito all'*intera attività* o ad *ambiti* di essa (par. G.3.3).
- Il profilo di rischio  $R_{ambiente}$  è attribuito all'*intera attività* o ad *ambiti* di essa (par. G.3.4).



**R vita**



**R beni**



**R ambiente**

### Profilo di rischio $R_{vita}$ (tabb. da G.3-1 a G.3-4)

In relazione ai compartimenti, in cui è stata suddivisa l'opera da costruzione, si attribuirà un profilo di rischio  $R_{vita}$  secondo le indicazioni seguenti.

Il profilo di rischio  $R_{vita}$  è attribuito in relazione ai seguenti fattori:

- $\delta_{occ}$ : caratteristiche prevalenti degli occupanti;
- $\delta_{\alpha}$ : velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio riferita al tempo  $t_{\alpha}$ , in sec, impiegato dalla potenza termica per raggiungere il valore di 1000 kW.

Le tabb. G.3-1 e G.3-2 guidano il progettista nella selezione dei fattori  $\delta_{occ}$  e  $\delta_{\alpha}$ .

Il progettista può selezionare il valore di  $\delta_{\alpha}$  anche ricorrendo ad una delle opzioni:

- dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise;
- determinazione diretta della curva RHR (*Rate of Heat Release*) relativa ai combustibili effettivamente presenti e nella configurazione in cui si trovano, secondo le indicazioni del Cap. M.2 o tramite misure presso laboratorio di prova, secondo protocolli sperimentali consolidati.

Il valore di  $\delta_{\alpha}$ , valutato in assenza di sistemi di controllo dell'incendio, può essere ridotto di un livello se l'attività è servita da misure di controllo dell'incendio di livello di prestazione V (Cap. S.6).

Il valore di  $R_{vita}$  è determinato come combinazione di  $\delta_{occ}$  e  $\delta_{\alpha}$ , come da tab. G.3-3.

Caratteristiche prevalenti degli occupanti $\delta_{occ}$		Esempi
<b>A</b>	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	Ufficio non aperto al pubblico, scuola, autorimessa privata, attività produttive in genere, depositi, capannoni industriali
<b>B</b>	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	Attività commerciale, autorimessa pubblica, attività espositiva e di pubblico spettacolo, centro congressi, ufficio aperto al pubblico, ristorante, studio medico, ambulatorio medico, centro sportivo
<b>C</b>	Gli occupanti possono essere addormentati: [1]	
<b>Ci</b>	- in attività individuale di lunga durata	Civile abitazione
<b>Cii</b>	- in attività gestita di lunga durata	Dormitorio, residence, studentato, residenza per persone autosufficienti
<b>Ciii</b>	- in attività gestita di breve durata	Albergo, rifugio alpino
<b>D</b>	Gli occupanti ricevono cure mediche	Degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria
<b>E</b>	Occupanti in transito	Stazione ferroviaria, aeroporto, stazione metropolitana
[1] Quando nel presente documento si usa C la relativa indicazione è valida per Ci, Cii, Ciii		

Tab. G.3-1 – Caratteristiche prevalenti degli occupanti

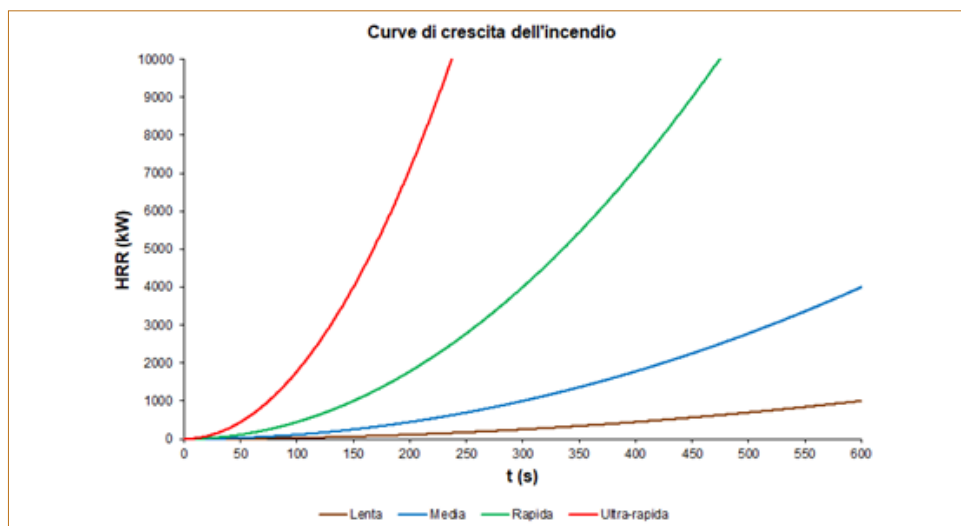
$\delta_a$	$t_a$ [1]	Criteri
1	600 s lenta	Ambiti di attività con carico di incendio specifico $q_f \leq 200$ MJ/m <sup>2</sup> , oppure ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo trascurabile all'incendio.
2	300 s media	Ambiti di attività ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo moderato all'incendio.
3	150 s rapida	Ambiti con presenza di significative quantità di materiali plastici impilati, prodotti tessili sintetici, apparecchiature elettriche ed elettroniche, materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco (capitolo S.1). Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $3,0 \text{ m} < h \leq 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS3 oppure attività classificate HHP1, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti con impianti tecnologici o di processo che impiegano significative quantità di materiali combustibili. Ambiti con contemporanea presenza di materiali combustibili e lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
		Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $h > 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS4 oppure attività classificate HHP2, HHP3 o HHP4, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti ove siano presenti o in lavorazione significative quantità di sostanze o miscele pericolose ai fini dell'incendio, oppure materiali plastici cellulari/espansi o schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.
4	75 s ultra-rapida	Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $h > 5,0 \text{ m}$ [2]. Stoccaggi classificati HHS4 oppure attività classificate HHP2, HHP3 o HHP4, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti ove siano presenti o in lavorazione significative quantità di sostanze o miscele pericolose ai fini dell'incendio, oppure materiali plastici cellulari/espansi o schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.

A meno di valutazioni più approfondite da parte del progettista (es. dati di letteratura, misure dirette, ...), si ritengono non significative ai fini della presente classificazione almeno le quantità di materiali nei compartimenti con carico di incendio specifico  $q_f \leq 200$  MJ/m<sup>2</sup>.

[1] Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio.

[2] Con h altezza d'impilamento.

Tab. G.3-2 – Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio



Caratteristiche prevalenti degli occupanti $\delta_{occ}$		Velocità caratteristica prevalente			
		1 lenta	2 media	3 rapida	4 ultra - rapida
<b>A</b>	Gli occupanti sono in stato di veglia ed hanno familiarità con l'edificio	A1	A2	A3	A4
<b>B</b>	Gli occupanti sono in stato di veglia e non hanno familiarità con l'edificio	B1	B2	B3	Non ammesso [1]
<b>C</b>	Gli occupanti possono essere addormentati: [2]	C1	C2	C3	Non ammesso [1]
<b>Ci</b>	- in attività individuale di lunga durata	Ci1	Ci2	Ci3	Non ammesso [1]
<b>Cii</b>	- in attività gestita di lunga durata	Cii1	Cii2	Cii3	Non ammesso [1]
<b>Ciii</b>	- in attività gestita di breve durata	Ciii1	Ciii2	Ciii3	Non ammesso [1]
<b>D</b>	Gli occupanti ricevono cure mediche	D1	D2	D3	Non ammesso [1]
<b>E</b>	Occupanti in transito	E1	E2	E3	Non ammesso [1]

[1] Per raggiungere un valore ammesso,  $\delta_a$  può essere ridotto di un livello come specificato nel comma 3 del paragrafo G.3.2.1.

[2] Quando nel presente documento si usa il valore C1 la relativa indicazione è valida per Ci1, Cii1 e Ciii1. Se si usa C2 l'indicazione è valida per Ci2, Cii2 e Ciii2. Se si usa C3 l'indicazione è valida per Ci3, Cii3 e Ciii3.

Tab. G.3-3 – Determinazione di  $R_{vita}$ 

Considerata l'articolazione delle aree, e la configurazione dei compartimenti presenti, sono stati attribuiti i seguenti profili di rischio  $R_{vita}$ .

- Per i compartimenti destinati all'attività commerciale (*piani terra e primo*) si attribuisce il profilo di rischio  $R_{vita}$  pari a B2, considerata la presenza di occupanti che ricevono cure mediche e la prevalenza di materiali combustibili che contribuiscono in modo moderato all'incendio ( $\delta_a = 2$ ).

- Per i compartimenti destinati all'attività uffici (*piani dal secondo all'ottavo*) si attribuisce il profilo di rischio  $R_{vita}$  pari a A2, considerata la presenza di occupanti in stato di veglia che hanno familiarità con l'edificio (*uffici non aperti al pubblico*) e la prevalenza di materiali combustibili che contribuiscono in modo moderato all'incendio ( $\delta_a = 2$ ).

Tutte le misure antincendio componenti la strategia adottata saranno verificate rispetto al profilo di rischio di riferimento e alle risultanze della valutazione del rischio incendio.

**Profilo di rischio  $R_{beni}$  (tab. G.3-5)**

Poiché l'attività si svolge in un edificio non sottoposto alle disposizioni di tutela del codice dei beni culturali e non si configura come attività strategica, si attribuisce il profilo di rischio  $R_{beni} = 1$  come da tab. G.3.5 di seguito riportata.

		Attività o ambito vincolato	
		No	Sì
Attività' o ambito strategico	No	$R_{beni} = 1$	$R_{beni} = 2$
	Sì	$R_{beni} = 3$	$R_{beni} = 4$

$R_{beni} = 1$  (per l'intera attività)

**Profilo di rischio  $R_{ambiente}$  (par. G.3.4, punto 3 lett. b)**

In riferimento a quanto previsto al par. G.3.4, dalla valutazione del rischio non sono emerse criticità, anche potenziali, che fanno pensare a problematiche di carattere ambientale in caso d'incendio, pertanto, trattandosi di attività civile senza tali criticità (es.: assenza di sostanze e miscele classificate come pericolose in quantità significative),  $R_{ambiente}$  è non significativo.

Per le motivazioni già addotte, relative al focus della presente pubblicazione, si omette la descrizione inerente:

- *Strategia antincendio per la mitigazione del rischio*
- *Attribuzione dei livelli di prestazione alle misure antincendio*





## MISURA ANTINCENDIO: S.1 REAZIONE AL FUOCO

### REAZIONE AL FUOCO

#### S.1.1 PREMESSA

La reazione al fuoco è una misura antincendio di protezione passiva che esplica i suoi principali effetti nella fase iniziale dell'incendio, con l'obiettivo di limitare l'innesco dei materiali e la propagazione dell'incendio. Essa si riferisce al comportamento al fuoco dei materiali nelle effettive condizioni d'uso finali, con particolare riguardo al grado di partecipazione all'incendio che essi manifestano in condizioni standardizzate di prova.

Tali requisiti sono applicati agli ambiti dell'attività ove si intenda limitare la partecipazione dei materiali alla combustione e ridurre la propagazione dell'incendio.

Chiusura d'ambito	Gruppo di materiali
SB	GM2
SC	GM1

Tab. V.13-1: Gruppi di materiali per la reazione al fuoco degli elementi delle chiusure d'ambito

In considerazione della classificazione SC, la misura antincendio in questione prevede l'utilizzo di materiali del tipo GM1 per la realizzazione delle chiusure d'ambito.

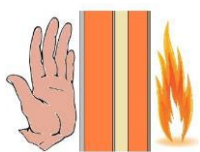
Tra i componenti che devono possedere la certificazione di reazione al fuoco ci sono quelli in vetro rivestiti da materiali infiammabili, come le pellicole filtranti.

Se la facciata utilizza un kit di elementi, la classe di reazione al fuoco si riferisce al kit stesso nelle condizioni finali di esercizio.

Come noto, le classi di reazione al fuoco sono suddivise in quattro gruppi, dal GM0 ai GM4.

Le classi di reazione al fuoco previste sono riferite a quelle italiane, di cui al d.m. 26 giugno 1984 e s.m.i., e a quelle europee, attribuibili ai soli prodotti da costruzione, con riferimento al d.m. 10 marzo 2005 e s.m.i., così come stabilito nel d.m. 14 ottobre 2022.

Ulteriori dettagli sono disponibili nei decreti menzionati.



## MISURA ANTINCENDIO: S.2 RESISTENZA AL FUOCO



## MISURA ANTINCENDIO: S.3 COMPARTIMENTAZIONE

### RESISTENZA AL FUOCO E COMPARTIMENTAZIONE

#### S.2.1 PREMESSA

La finalità della resistenza al fuoco è quella di garantire la capacità portante *delle strutture* in condizioni di incendio nonché la *capacità di compartimentazione*, per un tempo minimo necessario al raggiungimento degli *obiettivi di sicurezza di prevenzione incendi*.

Il capitolo S.3 sulle misure di compartimentazione costituisce complemento al presente capitolo.

#### S.3.1 PREMESSA

La finalità della *compartimentazione* è di limitare la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti:

- verso altre attività, afferenti ad altro *responsabile dell'attività* o di diversa *tipologia*;
- all'interno della stessa attività.

La compartimentazione è realizzata mediante:

- compartimenti antincendio, ubicati all'interno della stessa opera da costruzione;
- interposizione di distanze di separazione, tra opere da costruzione o altri bersagli combustibili, anche ubicati in spazio a cielo libero.

In considerazione della classificazione SC, le misure antincendio in questione prevedono che l'involucro in esame (sia esso copertura o facciata), al fine di garantire la compartimentazione prevista, necessiti di *fasce di separazione* orizzontali e verticali conformi alle prescrizioni di cui al par. V.13.5.

La conformità della chiusura d'ambito ai requisiti di resistenza al fuoco è comprovata con riferimento ad uno dei metodi indicati nel par. V.13.6.

*Si ipotizza di non ricadere nelle ipotesi di cui al punto 2 del par. V.13.4.2, che non prevedono requisiti di resistenza al fuoco per le chiusure d'ambito di quegli edifici.*

### Realizzazione fasce di separazione

I requisiti per le *fasce di separazione* dipendono dal tipo di facciata. Esse devono essere posizionate sulla facciata e in copertura, in corrispondenza degli elementi di compartimentazione orizzontale e verticale e in prossimità di eventuali impianti di produzione o trasformazione di energia.

Per le coperture tipo SC, tutta la copertura deve avere le stesse caratteristiche di resistenza al fuoco delle fasce di separazione.

Per le facciate semplici e le facciate continue, indipendentemente dalla classe, è prevista la realizzazione di fasce di separazione in corrispondenza degli elementi di compartimentazione interna.

### Le fasce di separazione

In facciata, le fasce di separazione, e altre protezioni eventualmente presenti, devono utilizzare materiali con classe di reazione al fuoco A2-s1,d0 ed essere costituite da elementi costruttivi aventi classe di resistenza al fuoco RE/E30-ef (o→i).

In copertura, tali fasce di separazione devono rispettare la classe di comportamento al fuoco esterno  $B_{ROOF}(t2)$ ,  $B_{ROOF}(t3)$ ,  $B_{ROOF}(t4)$  o la classe di resistenza EI 30.

Le porzioni di chiusura d'ambito ricomprese nelle fasce di separazione possono presentare aperture solamente se provviste di un sistema a chiusura automatica in caso di incendio, con gli stessi requisiti di resistenza al fuoco della fascia di separazione o, in alternativa, essere testate in configurazione totale secondo la norma EN 1364-3.

Al par. V.13.5.2 sono descritte le caratteristiche geometriche delle fasce di separazione.

1. 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 (illustrazione V.13-2, vista in sezione verticale).



STRALCIO ILL. V.13-2: ESEMPI DI FASCIA DI SEPARAZIONE ORIZZONTALE IN FACCIATA

2. In facciata, la fascia di separazione verticale tra compartimenti limita la propagazione orizzontale dell'incendio ed è realizzata garantendo uno sviluppo  $\geq 1,00$  m (illustrazione V.13-3, vista in sezione orizzontale).  
Se la separazione forma un diedro di ampiezza  $\alpha < 90^\circ$ , lo sviluppo deve avere larghezza  $\geq 1,00 + (dS.3 - 1) \cdot \cos \alpha$ , espressa in metri, con dS.3 distanza di separazione tra i compartimenti in metri calcolata secondo paragrafo S.3.11.
3. In copertura, la fascia di separazione tra compartimenti limita la propagazione orizzontale dell'incendio ed è realizzata garantendo uno sviluppo  $\geq 1,00$  m (illustrazione V.13-3, vista in sezione verticale).

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

I criteri progettuali della resistenza al fuoco e compartimentazione possono variare in base alla funzione della chiusura d'ambito ed alla tipologia di facciata.

La fascia di separazione, per la quale è previsto il requisito di resistenza al fuoco, può essere verificata, in via sperimentale, secondo la norma EN 1364-1 se le facciate semplici poggiano sui solai e secondo la norma EN 1364-4 nel caso la facciata continua presenti una fascia di separazione che non includa vetrate.

Nel caso la facciata continua preveda una fascia di separazione includente anche vetrate, la verifica può essere effettuata secondo la norma EN 1364-3; per le sigillature dei giunti lineari, occorre applicare la norma EN 1366-4.

Per le facciate semplici poggiate sui solai, realizzati con elementi pesanti in calcestruzzo, pietra o muratura, o costituiti da materiali poco deformabili alle alte temperature, la verifica ai fini della classificazione di resistenza al fuoco può essere eseguita ricorrendo ai metodi di cui al Cap. S.2.

### **Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio**

Il par. V.13.4.3 prevede che, qualora sulla chiusura d'ambito o in adiacenza ad essa siano installati *impianti di produzione o trasformazione d'energia* (es.: impianti fotovoltaici, impianti di produzione calore, impianti di condizionamento, ecc.), la porzione di chiusura d'ambito interessata deve essere protetta con le caratteristiche descritte nel par. V.13.5 e circoscritta da *fasce di separazione* delle medesime caratteristiche.

Eventuali canne fumarie devono essere dotate di adeguato isolamento termico o distanza di separazione da elementi combustibili negli attraversamenti, al fine di non costituire causa d'incendio.

Ad esempio, come previsto dalla norma UNI 10683, ove applicabile, oppure utilizzando materiali di opportuna classe di resistenza al fuoco G (Cap. S.2).

## **SOLUZIONI PROGETTUALI ALTERNATIVE**

### **Criteria normativi**

La progettazione di una *soluzione alternativa* si basa sull'identificazione, la selezione e la quantificazione degli scenari di incendio di progetto e, mediante lo studio di questi, sul-

la verifica del raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio da raggiungere. Questo processo inizia con una valutazione del rischio incendio che, come noto, può essere effettuata facendo riferimento alla norma ISO 16732-1:2012, "*Fire safety engineering – Fire risk assessment – Part 1: General*".

L'approccio prevede di calcolare il rischio R, relativo ad ogni scenario di incendio considerato, come il prodotto della probabilità P di accadimento e delle conseguenze C che lo scenario esaminato può causare.

Conseguentemente, nel contesto dell'albero degli eventi inerente gli scenari di incendio, ciascuno di essi risulta caratterizzato in termini della relativa probabilità di accadimento, delle conseguenze attese e, in definitiva, da un fattore di rischio R che guida il progettista nella selezione degli scenari di incendio di progetto.

### **Metodi progettuali**

Le norme di prevenzione incendi stabiliscono i metodi per la progettazione della sicurezza antincendio, utilizzabili dal progettista, per la verifica delle *soluzioni alternative* finalizzate a dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione attribuito alle misure antincendio, al fine di attestare il raggiungimento dei relativi livelli di sicurezza antincendio.

Nella progettazione delle chiusure d'ambito, utilizzando *soluzioni alternative*, assume particolare rilevanza, unitamente ai metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio, l'utilizzo di prove sperimentali.

La lett. circ. n. del 2 agosto 2022, "*Decreto del Ministero dell'Interno 30 marzo 2022 – Valutazione sperimentale dei requisiti di sicurezza antincendio dei sistemi per le facciate degli edifici civili sottoposti alle norme tecniche di cui al decreto del Ministero dell'Interno 3 agosto 2015*" stabilisce, in ambito nazionale, la validità dei metodi sperimentali normati, riconosciuti e utilizzati in alcuni Stati europei.

Tra questi, si segnalano:

- la norma tedesca DIN 4102-20:2017, "*Fire behaviour of building materials and building components - Part 20: Complementary verification for the assessment of the fire behaviour of external wall claddings*";
- la norma francese LEPIR 2;
- le norme inglesi BS 8414-1:2020, "*Fire performance of external cladding systems Test method for nonloadbearing external cladding systems fixed to, and supported by, a masonry substrate*" e BS 8414-2:2020, "*Fire performance of external cladding systems. Test method for nonloadbearing external cladding systems fixed to, and supported by, a structural steel frame*".

Con tali metodi di prova possono essere valutate le prestazioni relative ai principali obiettivi di sicurezza antincendio:

- limitare la propagazione dell'incendio sulla superficie, all'interno e attraverso la facciata (intercapedini e giunzioni con il pavimento);

- verificare le prestazioni al fuoco per sistemi che non seguono o non sono in grado di soddisfare le caratteristiche di prestazione al fuoco per i singoli componenti;
- evitare o limitare la caduta di parti della chiusura d'ambito dell'edificio in fiamme;
- limitare gli incendi covanti.

*Le diverse norme di prova rappresentano la base di partenza per ricorrere alle soluzioni alternative (Cap. G.2), in quanto i dati sperimentali restituiscono i parametri di pericolosità mediante i quali il professionista stabilisce soglie quantitative necessarie alla progettazione prestazionale al fine della verifica delle prestazioni richieste dalla valutazione del rischio incendio.*

## **ADOZIONE DI SOLUZIONI ALTERNATIVE NEL CASO STUDIO**

Si illustra, di seguito, il comportamento delle facciate dell'edificio oggetto del caso studio, impiegando i metodi della Fire Safety Engineering (FSE).

Ribadendo che il par. V.13.4 ammette, in ogni caso, *soluzioni alternative*, come noto, l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio consente al progettista di adottare soluzioni mirate al raggiungimento delle prestazioni desiderate, tipicamente quando l'approccio prescrittivo risulterebbe non applicabile, offrendo, nel contempo, anche vantaggi a livello economico.

In relazione all'analisi degli incendi di facciata, la FSE si propone come uno strumento fondamentale al fine della descrizione dettagliata del comportamento dell'incendio stesso, grazie alla citata simulazione numerica che permette di modellare lo sviluppo dell'incendio in maniera dettagliata e realistica.

Le simulazioni, infatti, descrivono, in funzione del tempo, la propagazione del fumo, del calore e delle fiamme, tenendo conto di variabili collegate alla geometria dell'edificio, alle proprietà termiche dei materiali presenti ed alle specifiche condizioni di ventilazione.

Il caso in esame utilizza un modello di campo (CFD), il quale consente di ottenere informazioni dettagliate sulla velocità di propagazione delle fiamme, sulla temperatura dei gas caldi, sulla dinamica dei fumi, consentendo al progettista di valutare il rischio di incendio con un affidabile livello di accuratezza.

In conformità alla norma cogente, l'obiettivo perseguito nell'analisi prestazionale è stato quello di dimostrare il livello di prestazione garantito dalle soluzioni progettuali sviluppate in termini di salvaguardia delle persone presenti e limitazione della propagazione dell'incendio attraverso le chiusure d'ambito.

Questo obiettivo ha portato a concentrare l'analisi sulle prime fasi, omettendo una elaborazione della dinamica evolutiva dell'incendio avanzata ovvero legata strettamente alla reazione al fuoco dei materiali presenti all'interno dei compartimenti.

Ciò ha portato, come descritto nel dettaglio di seguito, alla scelta di adottare i focolari predefiniti, generalmente severi in termini di velocità caratteristica di crescita dell'incendio, fattore critico sia per i processi d'esodo che per il gradiente temporale delle temperature. Le predette analisi hanno riguardato varie simulazioni, esaminando diversi aspetti

della propagazione dell'incendio, al fine di valutare l'evoluzione delle fiamme nell'ambito di diversi scenari.

Le simulazioni hanno consentito di analizzare la propagazione verticale e orizzontale dell'incendio lungo le facciate, l'efficacia delle fasce di separazione nel limitarne la propagazione, le conseguenze derivanti dal variare della posizione del focolare e il comportamento dei materiali costituenti le facciate.

Si anticipa che i risultati ottenuti hanno obbligato il progettista ad introdurre una fascia EI di 50 cm sulla veletta, peraltro invisibile dall'interno grazie al controsoffitto installato.

## ANALISI DEL COMPORTAMENTO DELLE FACCIATE CON L'IMPIEGO DELLA FSE

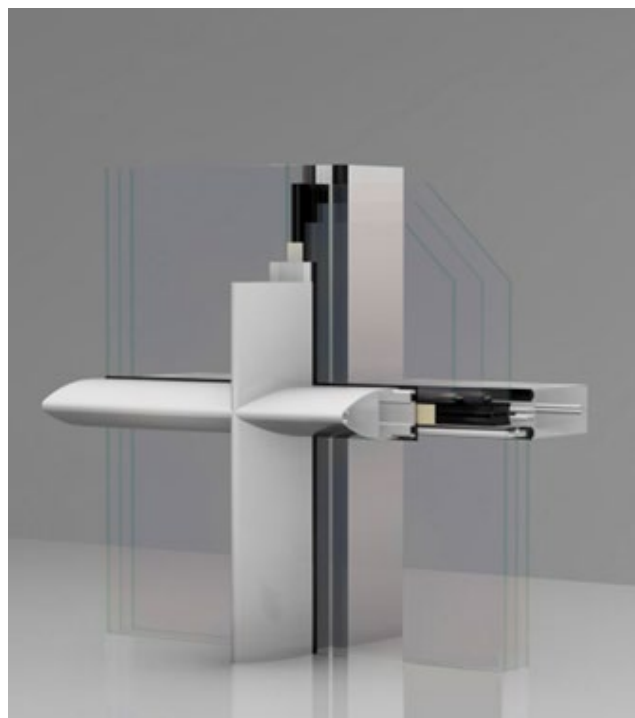
### *Descrizione delle facciate*

Si ipotizza che le facciate dell'edificio siano *continue* di tipo strutturale ("*structural glazing*"), ovvero caratterizzate da un'orditura metallica di supporto e da pannelli di tamponamento ad essa incollati mediante adesivi siliconici che li nascondono.

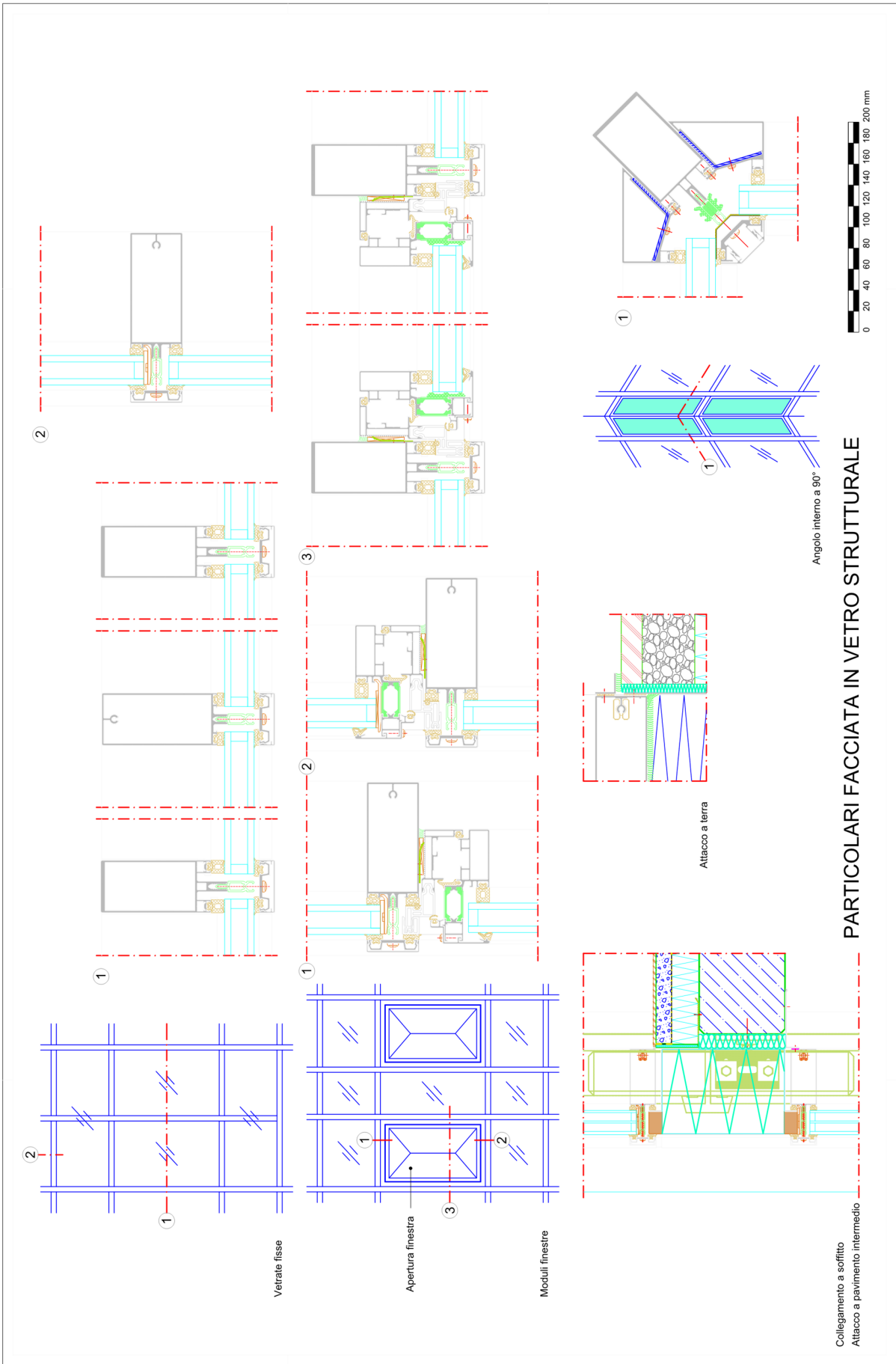
Con l'adozione di questa tecnica, si crea un sistema di facciate, pavimenti e pareti vetrate senza soluzione di continuità, e senza cornici, che offre una visuale libera, un'ottimale luce naturale e prestazioni ottimali in termini di efficienza energetica.

Si ipotizza, pertanto, una facciata, con sezioni in vista di 50 mm, senza telaio con effetto tutto vetro.

I profili della facciata in vetro strutturale sono visibili solo internamente, conferendo esternamente alla facciata un aspetto interamente in vetro planare.



FACCIATA STRUTTURALE - MONTANTI E TRAVERSI



PARTICOLARI FACCIATA IN VETRO STRUTTURALE

## COMPORAMENTO DEGLI INFISSI VETRATI

### *L'incendio e la stabilità degli infissi vetrati*

Come noto dalle letterature scientifica<sup>9</sup>, l'entità (più tecnicamente, la potenza rilasciata o RHR) degli incendi confinati è generalmente limitata dal flusso di ossigeno disponibile. In tutti i casi, tranne rarissimi, il flusso di ossigeno in una stanza proviene in gran parte da porte e finestre aperte, e in minima parte da eventuali sistemi di ventilazione meccanica e da permeabilità dell'involucro edilizio.

Una volta che un incendio si sviluppa, tuttavia, le finestre, precedentemente chiuse, possono comportarsi in modi diametralmente opposti ovvero danneggiarsi e conseguentemente rompersi oppure no.

A seconda dell'evoluzione degli eventi, i risultati sulla storia dell'incendio saranno spesso drasticamente diversi, diventando di notevole interesse poter prevedere se e quando il vetro possa cedere e mettere conseguentemente in comunicazione il focolare con l'esterno. Per comprendere meglio le dinamiche e le conseguenti implicazioni è necessario analizzare fenomenologicamente ciò che avviene, partendo dal vetro in commercio più semplice ovvero il vetro "float".

Quando un vetro float comune viene riscaldato per la prima volta, tende a rompersi quando raggiunge una temperatura di circa 150 ÷ 200 °C.

La prima cricca (fessurazione della lastra) inizia da uno dei bordi, da questo istante, la lesione si propaga attraverso il vetro, non causando ancora la rottura della lastra. In questa fase non vi è alcun effetto sulla ventilazione disponibile per l'incendio.

Infatti, affinché l'incendio risenta del danneggiamento della finestra, si devono instaurare dei flussi d'aria dall'ambiente esterno verso il focolare e viceversa e ciò può avvenire solo quando uno o più pezzi di grandi dimensioni collassano e staccandosi compromettono l'ermeticità garantita dall'infisso.

Comprendere le condizioni durante le quali si manifesta il distacco di larghe porzioni delle superfici vetrate è stato l'obiettivo perseguito da molti ricercatori che si sono occupati dell'evoluzione dinamica degli incendi confinati.

I risultati sono stati integrati nella modellazione degli incendi come effetto di aperture di ventilazione aggiuntive rispetto a quelle iniziali.

Questa intensa attività ha dato origine a numerosi studi teorici e semplificati, nonché ad alcuni empirici.

Il lavoro di ricerca fino ad oggi svolto ha consentito di distinguere due tipi esposizione termica delle vetrate coinvolte negli incendi ovvero:

- a. L'infisso vetrato si trova all'interno di una stanza in cui è in corso un incendio; in tale caso si ha:
  - il riscaldamento per contatto diretto su di un lato con i fumi caldi prodotti dalla combustione;
  - l'irraggiamento delle fiamme;

<sup>9</sup> Glass breakage in fires: - Dr. Vytenis Babrauskas, Fire Science and Technology Inc. 2016

- un gradiente di temperatura e flusso di calore dall'alto verso il basso piuttosto accentuato.
- b. L'infisso vetrato è esposto ad un incendio o una fiamma esterna, legati in genere ad un incendio nei piani sottostanti, boschivo o di vegetazione; in tale caso, si ha:
- una minima differenza di esposizione tra la parte superiore e quella inferiore della finestra
  - un riscaldamento dovuto principalmente all'irraggiamento;
  - temperature locali dell'aria che potrebbero essere prossime a quelle ambientali, poiché le fiamme non investono direttamente la finestra e vi è un flusso di raffreddamento convettivo lungo la superficie.

### **Studi teorici e sperimentali sul comportamento degli infissi vetrati in caso d'incendio**

La prima analisi teorica approfondita sul comportamento degli infissi vetrati in caso d'incendio è stata portata a termine da Keski-Rahkonen<sup>10</sup> nel 1988.

Il lavoro da loro svolto ha identificato, come causa principale delle rotture delle lastre di vetro, l'insorgenza di gradienti termici fra la superficie esposta ai prodotti dell'incendio ed il vetro schermato dal bordo dell'infisso.

La teoria esposta prevedeva che fosse necessaria una differenza di temperatura di circa 80 °C tra la temperatura del vetro riscaldato e la temperatura del bordo per innescare la frattura della matrice vetrosa.

Queste conclusioni sono state riprese da Pagni e Joshi<sup>11</sup> nel 1991, approfondendo gli aspetti fisici della propagazione del calore concentrando gli sviluppi teorici sulle proprietà termiche del vetro.

I risultati hanno previsto una differenza di temperatura di 58 °C per innescare la frattura della matrice vetrosa.

La differenza fra i due risultati è principalmente legata all'assunzione di diverse proprietà termiche e meccaniche del vetro.

Nello stesso anno Skelly<sup>12</sup> ha pubblicato i risultati di una serie di esperimenti portati a termine in un ambiente di piccole dimensioni.

Le particolari condizioni di prova hanno avuto come conseguenza che le finestre non erano mai esposte a un gradiente di temperatura verticale, rappresentando quindi condizioni di sollecitazione termo-meccanica non particolarmente rappresentative degli scenari reali.

Le osservazioni sperimentali hanno evidenziato il distacco di sezioni di vetro, pur non consentendo di sintetizzare i risultati ottenuti in linee guida o tabelle in grado di correlare l'evento alle condizioni micro-ambientali riprodotte.

<sup>10</sup> Keski-Rahkonen, O., Breaking of Window Glass Close to Fire, Fire and Materials 12, 61-69 (1988).

<sup>11</sup> Pagni, P. J., and Joshi, A. A., Glass Breaking in Fires, pp. 791-802 in Fire Safety Science-Proc. Third Intl. Symp., Elsevier Applied Science, London (1991).

<sup>12</sup> Skelly, M. J., Roby, R. J., and Beyler, C. L., An Experimental Investigation of Glass Breakage in Compartment Fires, J. Fire Protection Engineering 3, 25-34 (1991).

Nel 1998 Mowrer<sup>13</sup> ha presentato l'ultimo studio sperimentale sull'argomento.

Le prove sono state portate a termine, riscaldando, con un pannello radiante, i campioni di vetro sia su larga scala che su piccola scala, al fine di simulare un'esposizione degli infissi generata da focolari esterni.

I flussi di calore massimi riprodotti, non superando i 16 kW/m<sup>2</sup>, causarono solo l'insorgere di cricche senza mai portare alla rottura dei vetri delle finestre.

I risultati hanno comunque dimostrato che la formazione di cricche nel vetro monostato si verifica con flusso di calore radiante dell'ordine dei 4 ÷ 5 kW/m<sup>2</sup>.

Fu inoltre verificato l'effetto delle zanzariere, che, a causa del loro effetto schermante, aumentavano di circa il 21% (6 ÷ 7 kW/m<sup>2</sup>) il flusso termico necessario per causare la formazione di cricche nel vetro.

L'utilizzo di radiometri posti all'interno dell'ambiente servito dalle finestre dimostrò che circa il 33% della radiazione infrarossa incidente su un vetro monostato viene trasmessa attraverso di esso, fornendo indicazioni utili per stimare l'innesco dei materiali combustibili posti all'interno di un edificio in caso di incendio o fiamme esterne. Sempre nell'ambito della ricerca applicata alle vetrate si segnala, nel 1987, un programma di ricerca promosso dal Consiglio Nazionale delle Ricerche del Canada (NRCC)<sup>14</sup>.

Nell'ambito di questo programma, sono stati condotti alcuni test con e senza impianto di protezione antincendio (Sprinkler).

I test in assenza dell'impianto di protezione sono di particolare rilevanza, perché hanno visto infissi equipaggiati con vetro temperato spesso 6 mm esposti a condizioni di incendio reale.

I risultati hanno dimostrato che il vetro temperato si comporta diversamente rispetto al vetro float, in quanto si frantuma già in fase di fessurazione iniziale.

Quest'ultima però si verifica solo quando si raggiungono:

- temperature di 290 ÷ 380 °C sulla superficie esposta;
- temperature minori di 100 °C sulla superficie non esposta.

Si è altresì constatato che, per tali vetrate, le due condizioni vengono normalmente raggiunte dopo l'insorgenza del flashover nella stanza.

Nel 1990 lo stesso NRCC<sup>15</sup> ha promosso ulteriori prove sperimentali esaminando il comportamento di vetrate esposte al calore radiante.

In tali condizioni, si è riscontrato che il vetro "semplice" (n.d.r. probabilmente *float*) di spessore non specificato si "rompeva" quando il lato esposto raggiungeva 150 ÷ 175 °C, mentre il lato non esposto si trovava a 75 ÷ 150 °C.

<sup>13</sup> Mowrer, F. W., Window Breakage Induced by Exterior Fires, pp. 404-415 in Proc. 2nd Intl. Conf. On Fire Research and Engineering, Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD (1998). Anche: Mowrer, F. W., Window Breakage Induced by Exterior Fires (NIST-GCR-98-751), Natl. Inst. Stand. And Technol., Gaithersburg MD (1998).

<sup>14</sup> Richardson, J. K., and Oleszkiewicz, I., Fire Tests on Window Assemblies Protected by Automatic Sprinklers, Fire Technology 23, 115-132 (1987).

<sup>15</sup> Kim, A. K., and Lougheed, G. D., The Protection of Glazing Systems with Dedicated Sprinklers, J. Fire Protection Engineering 2, 49-59 (1990).

Shields<sup>16</sup> nel 2001 ha condotto una serie di test di resistenza al fuoco in stanza utilizzando vetro float spesso 6 mm e ha dimostrato che la prima crepatura non si verifica finché la temperatura del vetro in massa non raggiunge circa 110 °C. Ciò corrisponde a un flusso termico di circa 3 kW/m<sup>2</sup>.

### **Esperimenti e linee guida sulla rottura degli infissi vetrati in caso d'incendio**

Le prime indicazioni reperibili in letteratura sulla rottura degli infissi durante un incendio risalgono al 1969 e provengono dal ricercatore russo Roytman<sup>17</sup>, il quale osserva che è necessaria una temperatura ambiente del gas di circa 300 °C per causare la rottura della superficie vetrata.

Il percorso seguito dal ricercatore per giungere a tali conclusioni non è chiaro e pertanto i risultati sono stati considerati puramente orientativi.

A cavallo fra il 1994 ed il 1995 Hassani, Shields e Silcock<sup>18</sup> hanno condotto una serie di esperimenti in uno scenario sperimentale in scala ridotta utilizzando finestre a vetro singolo delle dimensioni di 0,9 x 1,6 m.

A differenza di quanto realizzato da Skelly, l'ambiente di prova ha consentito di creare un gradiente di temperatura naturale dall'alto verso il basso anche sul vetro.

La prima cricca osservata due lastre di vetro spesse 4 o 6 mm, è stata registrata con temperature del gas nello strato superiore di 323 ÷ 467 °C.

Le prove sperimentali avevano una durata di 20 minuti, generando temperature dello strato di gas caldi di circa 500 °C.

Tuttavia, solo in 1 test su 6 si è verificata una caduta di consistenti porzioni di vetro. Le differenze di temperatura tra la superficie esposta del vetro e la parte schermata variavano tra 125 °C e 146 °C al momento dell'inizio della cricca.

Queste temperature sono risultate essere circa il doppio di quelle previste dalle teorie dell'assenza di gradiente verticale.

I risultati delle prove non hanno mai fornito l'esatta temperatura alla quale è iniziata la caduta di vetro.

Incrociando però i tempi registrati con l'andamento delle temperature dei gas caldi si può ipotizzare che questa dovesse essere superiore a 431 °C (inizio della crepa) e inferiore a circa 450 °C (fine del test).

Con riferimento alla ricerca in questione si può concludere che a una temperatura ambiente del gas di circa 450 °C la probabilità di rottura del vetro è pari a 1/6.

Nel 2001 Shields<sup>19</sup> ha proseguito il suo lavoro di ricerca riproducendo uno scenario d'incendio utilizzando una stanza con tre finestre vetrate con pannelli di 6 mm di spessore.

<sup>16</sup> Shields, T. J., Silcock, G. W. H., and Flood, M. F., Performance of Single Glazing Elements Exposed to Enclosure Corner Fires of Increasing Severity, *Fire and Materials* 25, 123-152 (2001).

<sup>17</sup> Roytman, M. Ya., Principles of Fire Safety Standards for Building Construction, Construction Literature Publishing House, Moscow (1969). Traduzione inglese (TT 71-580002) ottenuta dal National Technical Information Service (1975).

<sup>18</sup> Hassani, S. K., Shields, T. J., and Silcock, G. W., An Experimental Investigation into the Behaviour of Glazing in Enclosure Fire, *J. Applied Fire Science* 4, 303-323 (1994/5).

<sup>19</sup> Shields, T. J., Silcock, G. W. H., and Flood, M. F., Performance of Single Glazing Elements Exposed to Enclosure Corner Fires of Increasing Severity, *Fire and Materials* 25, 123-152 (2001).

I risultati hanno visto il cedimento della superficie vetrata in corrispondenza del raggiungimento di una temperatura sulla faccia esposta alle azioni termiche compresa fra i 415 ed i 486 °C.

Ad una analisi più approfondita della distribuzione delle temperature superficiali si rilevò una varianza dei valori misurati molto elevata con oscillazioni comprese fra i 278 ed i 615 °C.

L'adozione di radiometri permise di verificare che la rottura delle superfici vetrate era associata a flussi termici di circa 35 kW/m<sup>2</sup> e che la temperatura più bassa della porzione di vetrata collassata era di 447 °C.

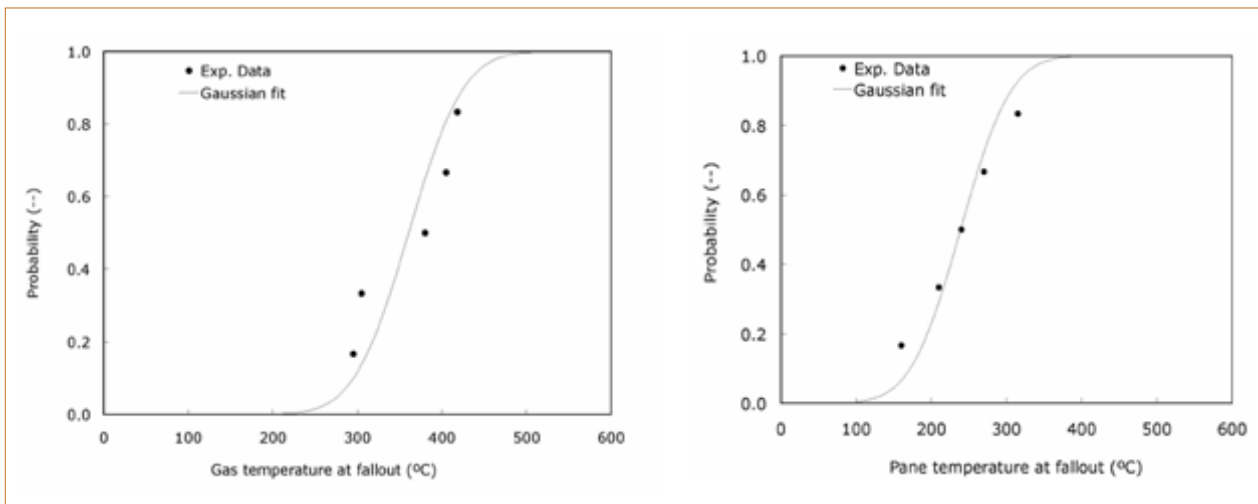
Per trovare dei dati probabilistici sulla possibile rottura di infissi in caso d'incendio occorre giungere al 1997, anno nel quale il Building Research Institute (BRI) del Giappone<sup>20</sup> produsse dati sulla base di una serie di prove sperimentali portate a termine esponendo uniformemente le superfici vetrate al cemento termico.

In tale studio, i ricercatori utilizzarono un apparato per la prova di tenuta delle porte ad alta temperatura su larga scala, simile a un grande forno a muffola<sup>21</sup>.

Sono stati studiati solo vetri per finestre a vetro singolo, di 3 mm di spessore.

Per questo tipo di vetro, tuttavia, sono stati eseguiti test sufficienti per poter tracciare un grafico di probabilità.

I risultati di questi ricercatori sono presentati in termini di probabilità di rottura del vetro, in funzione dell'aumento della temperatura rispetto alla temperatura ambiente.



GRAFICI DEI RISULTATI OTTENUTI

<sup>20</sup> Development of Evaluation Methods for Fire Prevention/Resistance, Building Research Institute of Japan [in Giapponese] (March 1997).

<sup>21</sup> Il forno a muffola è un forno utilizzato in chimica analitica e metallurgia, generalmente per lo svolgimento di prove di laboratorio; esso è in grado di raggiungere temperature dai 1000 ai 1800 gradi Celsius, a seconda della potenza dell'elemento scaldante e dell'efficienza del materiale refrattario con cui è costruita.

L'andamento è di tipo gaussiano ed individua, nella dispersione dei risultati, una temperatura media dei gas di 360 °C, con una deviazione standard di 50 °C, e a una temperatura media del vetro di 240 °C, con una deviazione standard di 50 °C.

Nel caso delle finestre con doppi vetri (o tripli vetri) le previsioni teorico-sperimentali portano ad affermare che esse resistano molto più a lungo a un incendio senza rompersi. Tale conclusione risiede nel fatto che le caratteristiche di assorbimento radiante spettrale del vetro delle finestre sono tali che vi sia una trasmissione molto elevata entro una certa regione di lunghezza d'onda che comprende le parti visibili e del vicino infrarosso dello spettro.

Al di fuori di questa regione, il vetro è essenzialmente opaco.

Pertanto, in una finestra con doppi vetri, la radiazione trasmessa attraverso il primo vetro viene trasmessa solo nelle regioni spettrali in cui anche il secondo vetro mostra un assorbimento quasi nullo.

La conseguenza è che il secondo vetro non si riscalda in modo apprezzabile mentre il primo vetro si sta riscaldando.

Questo comportamento significa che il secondo vetro probabilmente non si romperà mai in un incendio di breve durata, o si romperà molto più tardi in un incendio di lunga durata. Quanto affermato ha trovato conferma nei risultati sperimentali ottenuti da Shields, Silcock e Hassani<sup>22</sup> a cavallo degli anni 1997 ÷ 1998.

Il gruppo di ricerca ha esposto due tipologie di finestre con doppi vetri a incendi reali riprodotti all'interno di una stanza.

Lo spessore del vetro era di 6 mm.

L'incendio nella stanza ha raggiunto un picco di 750 °C e nessuna superficie vetrata è collassata.

Tuttavia, durante la fase di decadimento dell'incendio, in uno dei 3 test con la finestra di dimensioni maggiori (0,8 x 1,0 m) il collasso parziale con la rottura del vetro interno si è verificata dopo 21 minuti, quando la temperatura era ormai scesa a 500 °C.

Si fa notare che, malgrado ciò, il vetro esterno non è mai collassato, né si è verificata alcuna rottura nella finestra più piccola (0,8 x 0,5 m).

Gli stessi autori in seguito<sup>23</sup> hanno testato una stanza con una parete con dodici finestre con doppi vetri delle dimensioni di 1,5 x 1,5 m.

La documentazione a corredo delle prove effettuate è molto breve, ma indica che il cedimento totale della prima finestra si è verificato quando la temperatura del gas era di 350 °C; non è chiaro quali fossero le temperature per il cedimento delle finestre successive.

In un'altra campagna di prove<sup>24</sup> che coinvolgeva finestre con doppi vetri con lastre di 6 mm di spessore, gli autori hanno scoperto che era necessario un flusso termico di circa 70-110 kW/m<sup>2</sup> per causare il cedimento di entrambi i vetri e creare così un'apertura passante in una finestra alta 0,85 x 1,9 m.

<sup>22</sup> Shields, T. J., Silcock, G. W. H., and Hassani, S. K. S., The Behavior of Double Glazing in an Enclosure Fire, *J. Applied Fire Science* 7, 267-286 (1997/98).

<sup>23</sup> Shields, T. J., Silcock, G. W. H., and Hassani, S. K. S., The Behavior of Glazing in a Large Simulated Office Block in a Multi-Story Building, *J. Applied Fire Science* 7, 333-352 (1997/98).

<sup>24</sup> Shields, J., Silcock, G. W. H., and Flood, F., Behaviour of Double Glazing in Corner Fires, *Fire Technology* 41, 37-65 (2005).

Per quanto riguarda una finestra di più piccole dimensioni, ( 0,85 x 0,85 m), tuttavia, il cedimento è avvenuto molto tempo dopo che il picco del flusso termico era stato raggiunto e l'incendio si era sostanzialmente esaurito.

Il Loss Prevention Council del Regno Unito<sup>25</sup> ha studiato incendi in stanze, che fornivano esposizione al fuoco a un banco di prova per facciate a più piani.

Sono state esaminate finestre con doppi vetri, con ogni lastra da 6 mm di spessore. Utilizzando incendi di legna da 3 MW, si è scoperto che era necessario mantenere temperature di almeno 600 °C per 8-10 minuti prima che il vetro iniziasse a cadere in modo sufficiente da consentire lo sfogo dell'incendio verso l'esterno.

Tuttavia, quando i test sono stati ripetuti utilizzando una stanza completamente arredata, il vetro si è rotto 5 minuti dopo l'inizio dell'incendio.

In quel test, la temperatura era anch'essa di circa 600 °C al momento del cedimento, ma si è verificato immediatamente al suo raggiungimento.

I risultati portano quindi a concludere che le finestre con doppi vetri con vetro di 6 mm di spessore si romperanno a circa 600 °C e che, se il carico di combustibile è significativo, è possibile che il cedimento si verifichi essenzialmente nell'istante in cui si raggiungono per la prima volta i 600 °C.

Per quanto riguarda l'esposizione ad un flusso termico essenzialmente radiante, Cohen e Wilson<sup>26</sup> hanno riportato un'interessante serie di esperimenti che simulavano l'esposizione alle fiamme di un incendio boschivo.

Hanno esaminato vetri piccoli (0,61 x 0,61 m) e grandi (0,91 x 1,5 m), a vetro singolo e doppio. Hanno anche ripetuto i test con vetro temperato e con finestre a doppio vetro.

Per quanto riguarda gli effetti sulle finestre più piccole, raggiunto il flusso termico di 9,3 kW/m<sup>2</sup>, si sono verificati danni, ma nessun infisso ha avuto un collasso, con rottura del vetro.

Tale risultato si è ripetuto anche al raggiungimento di un flusso termico pari a 17,7 kW/m<sup>2</sup>. Per gli infissi di dimensioni maggiori, con flussi termici compresi fra 16,2 e 50,3 kW/m<sup>2</sup>, almeno uno su 3 campioni di prova ha mostrato la rottura totale delle superfici vetrate. Il vetro temperato, al contrario, durante le prove non ha mostrato cricche fino al raggiungimento di flussi termici pari a 29,2 kW/m<sup>2</sup>.

Gli autori hanno anche condotto test su finestre con doppi vetri, che hanno mostrato prestazioni migliori.

In esperimenti con finestre con doppi vetri di grandi dimensioni (non temperate), hanno scoperto che erano necessari flussi compresi tra 20 e 30 kW/m<sup>2</sup> per causare la caduta in entrambi i vetri.

Infine, per quanto concerne l'influenza dei telai sulla rottura degli infissi vetrati l'effettiva rottura del vetro è influenzata anche dal materiale del telaio.

Mowrer ha scoperto che le finestre con telaio in vinile tendevano a mostrare un ce-

<sup>25</sup> Fire Spread in Multi-Storey Buildings with Glazed Curtain Wall Facades (LPR 11: 1999), Loss Prevention Council, Borehamwood, England (1999).

<sup>26</sup> Cohen, J. D., and Wilson, P., Current Results from Structure Ignition Assessment Model (SIAM) Research, presented in Fire Management in the Wildland/Urban Interface: Sharing Solutions, Kananaskis, Alberta, Canada (2-5 October 1994).

dimento del telaio (ad esempio, il cedimento dell'intero assemblaggio) prima di una caduta significativa del vetro.

Sono stati osservati cedimenti del telaio in vinile quando i flussi di calore raggiungevano intervallo da 8 a 16 kW/m<sup>2</sup>.

Al contrario, McArthur ha scoperto che il vetro delle finestre con telaio in alluminio tendeva a durare più a lungo rispetto al vetro delle finestre con telaio in legno convenzionali.

### ***Sintesi dello stato dell'arte***

Il lavoro svolto fino ad oggi dei vari gruppi di ricerca ha dimostrato che esiste una base teorica solida che consente di prevedere con una accuratezza piuttosto elevata l'insorgere della prima lesione in una vetrata sottoposta all'azione dell'incendio. Questa base teorica non consente però di fornire dati utili per comprendere quando il cedimento dell'infisso diventi rilevante per l'evoluzione dell'incendio e per la conseguente propagazione dei prodotti della combustione.

La breve rassegna della letteratura scientifica sopra riportata mostra che è molto difficile prevedere quando un infisso si romperà in modo tale da consentire il transito dei prodotti dell'incendio e parallelamente l'ingresso dell'aria in un ambiente.

I dati prodotti però consentono di giungere alle seguenti conclusioni:

- I. la rottura degli infissi è causata dall'instaurarsi di stress meccanici originati da:
  - fenomeni di dilatazione termica differenziale interni alla matrice solida del vetro dovuta essenzialmente ai gradienti termici interni alla lastra;
  - gradienti termici esterni, ovvero generati dalle reazioni vincolari aggiuntive generate dalle dilatazioni termiche differenziali fra telaio e vetro;
- II. le osservazioni sperimentali correlano la rottura a due grandezze fisiche misurate ovvero:
  - la temperatura del vetro o del gas posto a contatto del vetro;
  - il flusso termico;
- III. ogni tipologia di vetro ed infisso ha una resistenza al fuoco differente.

Nell'ottica di restituire un quadro completo, si riportano di seguito per tipologia di vetro/infisso i valori critici di flusso termico e/o di temperatura.

<b>Rottura degli infissi</b>			
<b>Tipologia di infisso</b>	<b>Temperatura critica strato di fumi (°C)</b>	<b>Temperatura critica vetro (°C)</b>	<b>Flusso critico radiante (kW/m<sup>2</sup>)</b>
Tutti gli infissi vetrati secondo Roytman	300	-	-
Vetrata con vetro float 3 mm	360	240	20 ÷ 30
Vetrata con vetro float 4 ÷ 6 mm	450	415	35
Vetrata con vetro temperato	600 ÷ 700	450	43
Vetrata con vetro doppio	600	415	35

I dati precedenti vanno utilizzati tenendo in debito conto quale sia lo scopo delle valutazioni, in modo da procedere con ipotesi e valori che risultino ai fini dell'analisi in favore di sicurezza.

Inoltre, nella scelta, fattori come le dimensioni della finestra, il tipo di telaio, lo spessore del vetro, i difetti del vetro e il gradiente di temperatura verticale possono tutti presumibilmente avere un effetto sul cedimento dell'infisso.

Su tali fattori deve essere comunque presa in considerazione la sovrappressione dovuta alle reazioni di combustione che, tuttavia, negli incendi normali si dimostrano di bassa entità e quindi non foriera della rottura dei vetri.

Tutti questi fattori meritano ulteriori studi per ottenere indicazioni quantitative utili.

## **VERIFICA DELLE FACCIATE CON MODELLO CFD - CASO STUDIO**

Il caso oggetto del presente caso studio è nato dalla necessità di analizzare la possibile propagazione verticale dell'incendio nell'ambito della ristrutturazione di un edificio a destinazione mista, nel quale il committente ha previsto l'utilizzo esteso di facciate vetrate, soluzione tecnico architettonica, che, come evidenziato nel paragrafo precedente, risulta particolarmente delicata in caso d'incendio.

Il comportamento delle vetrate, spesso considerato critico in presenza di focolai, in realtà è fortemente influenzato dalla geometrie degli ambienti, dalla distribuzione e dalla tipologia di materiale combustibile coinvolto nello scenario e pertanto si presta ad approfondimenti, che consentano di derogare a quelle soluzioni, che sono consi-

derate conformi alle previsioni del normatore e che vedono la necessità di introdurre elementi di interruzione della continuità vetrata, la cui dimensione sia verticale che orizzontale superi il metro lineare.

La necessità di preservare l'impostazione progettuale ha spinto a sviluppare una *soluzione alternativa*, dimostrando mediante l'utilizzo dell'approccio ingegneristico come le particolari condizioni di posa siano comunque tali da garantire il raggiungimento dei livelli di prestazione imposti dalla prevenzione incendi, con particolare riguardo alle *chiusure d'ambito* di cui alla RTV V.13, con specifico riferimento all'arco temporale che vede interessati i processi di sfollamento.

### **Modellazione dell'incendio e cedimento degli infissi vetrati**

Quanto illustrato nel paragrafo precedente riporta dati sperimentali che, per quanto siano di valenza orientativa e generale, consentono comunque di prevedere la possibile rottura degli infissi vetrati, tenendo in considerazione almeno una delle seguenti tre grandezze fisiche:

- a. temperatura dello strato dei fumi;
- b. temperatura raggiunta dalle superfici vetrate;
- c. flusso radiante incidente sulle superfici vetrate.

Inoltre, si fa notare che, fissato lo scenario d'incendio, mediante l'utilizzo della modellazione fisico matematica, è oggi possibile calcolare l'evoluzione nel tempo di ciascuna delle grandezze fisiche precedenti.

È quindi evidente che, a seconda della tipologia d'infisso, è altresì possibile fissare un valore critico di rottura e quindi calcolare il tempo necessario affinché tale limite venga raggiunto.

Così procedendo, si riesce a prevedere con una buona approssimazione se la rottura dell'infisso avvenga e qual è il tempo necessario affinché ciò possa succedere.

A seconda del modello chimico-fisico scelto, l'elaborazione può avere un'affidabilità più o meno elevata e possono rendersi possibili valutazioni dinamiche degli effetti legati al cedimento degli infissi, riuscendo a prevedere non solo la rottura, ma anche la variazione che tale evento imprime sulla propagazione dei prodotti della combustione (energia, particolato e specie chimiche).

Se con l'utilizzo di modelli a zone, modelli affidabili solo per geometrie semplici e dimensioni contenute, si riesce a riprodurre l'evoluzione dell'incendio, calcolando agevolmente anche con semplici fogli di calcolo l'istante di rottura degli infissi, i più evoluti modelli fluidodinamici consentono di introdurre logiche di calcolo e simulazione, che consentono di andare oltre restituendo i risultati che il cedimento d'infisso può determinare.

In software simili ad FDS, la possibilità di calcolare l'evoluzione delle temperature anche delle componenti solide del dominio computazionale consente di introdurre condizioni logiche, che permettono di simulare la rottura di oggetti e strutture, potendoli rimuovere dinamicamente dallo scenario.

Questa possibilità permette di estendere il calcolo a nuove condizioni fluidodinamiche e fornire indicazioni di come l'evento possa modificare il naturale sviluppo dell'incendio. Per tale motivo, nell'esempio applicativo che si riporta di seguito, si è voluta spingere l'analisi a livello fluidodinamico, onde valutare le condizioni di propagazione del fronte di fiamma a seguito del cedimento di un infisso posto su di una facciata dotata di ampie superfici vetrate.

In particolare, l'attenzione è stata posta nel calcolare le sollecitazioni termiche generate dalla fuoriuscita dei fumi dall'infisso che ha ceduto all'azione dell'incendio e nella possibilità che queste ultime possano comportare l'avanzamento del fronte di fiamma sui piani superiori.

### **La modellazione CFD**

Sulla base di quanto disposto dal Codice, l'utilizzo della fluidodinamica d'incendio è prevista nell'ambito delle *soluzioni alternative*, che possono essere sviluppate mediante diversi approcci, fra i quali emerge l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio.

Quest'ultimo è disciplinato dal Cap. M.

Alla base di questo approccio, è prevista la necessità di verificare il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza in caso d'incendio mediante l'utilizzo di modelli fisico-chimici, in grado di calcolare gli effetti di un focolare sull'ambiente e se necessario sulle persone eventualmente esposte ai prodotti della combustione.

In particolare, per ogni obiettivo da raggiungere è necessario fissare dei livelli di prestazione per poi procedere allo sviluppo degli scenari che si identificano come più significativi, calcolandone gli effetti e confrontando le grandezze ottenute con i livelli di prestazione preposti all'analisi.

L'utilizzo della fluidodinamica d'incendio impone, una volta selezionati gli scenari d'incendio di progetto e completata l'analisi preliminare (parte fondamentale e più importante dell'approccio ingegneristico), di procedere secondo le seguenti fasi:

- definizione del dominio computazionale;
- scelta dei modelli fisici da utilizzare (combustione, irraggiamento, turbolenza, ecc.);
- definizione delle condizioni al contorno e delle caratteristiche dei materiali;
- discretizzare le equazioni matematiche con la scelta e l'applicazione di corrette mesh computazionali;
- selezionare il passo iterativo (cioè scegliere la scala dei tempi);
- attivare il risolutore e monitorare il processo iterativo (verifica della convergenza);
- analizzare la soluzione ottenuta.

La validità dei modelli d'incendio deve essere garantita da dati sperimentali attendibili. Numerosi enti di ricerca da anni conducono studi e sperimentazioni al fine di costruire, per i materiali da costruzione e di arredo più comuni, curve di sviluppo dell'incendio che esprimano, nell'ipotesi di incendio "non confinato" (unconstrained),

i valori di energia termica prodotta istante per istante, cioè il tasso di rilascio termico Heat Release Rate (HRR).

Altri parametri importanti da inserire nel modello sono:

- il picco del tasso di rilascio termico (peak HRR);
- il tempo necessario per raggiungere il peak HRR;
- il valore totale dell'energia rilasciata;
- l'opacità dei fumi prodotti.

I dati sperimentali sono forniti da una serie di prove ormai definite in sede internazionale, tra cui alcune ormai anche facenti parte di norme cogenti nazionali relative alle prove di reazione al fuoco:

- prova mediante cono calorimetrico (piccola scala);
- prova mediante apparecchiatura CEN 11952 *Single Burner Item* (scala ridotta);
- prova su scala intermedia (intermediate-scale test);
- prova in scala reale (real scale test).

L'accuratezza richiesta da una modellizzazione CFD dipende dallo scopo che si prefigge. Per alcune applicazioni può essere sufficiente conoscere qualitativamente solo la direzione del fumo emesso da un incendio.

Nel caso si voglia valutare un'attività ai fini delle procedure di esodo è importante invece estrarre informazioni quantitative, come flussi termici, stime di visibilità e concentrazione di sostanze tossiche.

È importante comprendere come la modellizzazione di incendi ha un limite intrinseco: quello dei fattori di scala.

In altre parole, simulazioni effettuate per uno scenario ben determinato - in termini di geometria, condizioni al contorno e materiali - non può essere estrapolato brutalmente a scenari uguali ma con scale diverse, in particolare più grandi.

Non esistono ancora dati sufficienti ed esperienze da permettere tali disinvolture progettuali.

Ogni scenario va identificato nelle sue particolarità, studiato accuratamente da tecnici esperti in Fire Engineering, sottoposto alla delicatissima procedura di meshing e quindi modellizzato.

Anche i risultati devono essere considerati con attenzione e prudenza, con la consapevolezza che il Fire Modeling ha ancora incertezze medie del 20% e pertanto i dati di una simulazione vanno sempre filtrati con un corretto fattore di sicurezza.

### **Il codice computazionale FDS Ver. 6.7.7**

Il codice FDS, come noto, è un software per applicazioni fluidodinamiche mirate in particolare al fenomeno incendio e basato sul metodo dei volumi finiti.

Il dominio da modellizzare è suddiviso in volumi di controllo o celle.

Le equazioni di conservazione della massa, della quantità di moto, dell'energia e delle specie chimiche sono discretizzate in equazioni algebriche che poi vengono risolte per ogni cella di controllo, fornendo il valore delle variabili di campo (temperature, pressioni, velocità, densità, ecc.).

È un software concepito per modellizzare flussi di fluidi e trasferimenti termici in geometrie anche complesse.

### **Descrizione dei fondamenti teorici di FDS**

Fire Dynamics Simulator è un codice computazionale fluidodinamico sviluppato dal NIST (National Institute of Standards and Technology), Ente del Ministero del commercio degli Stati Uniti, in oltre 30 anni di test e specificatamente indirizzato alla risoluzione di scenari d'incendio.

Il codice risolve numericamente una forma delle equazioni di Navier-Stokes, appositamente semplificata.

Infatti, le equazioni che descrivono il trasporto di massa, quantità di moto ed energia ed energia sono in grado di riprodurre una vasta varietà.

Le equazioni semplificate, sviluppate da Rehm e Baum, sono ormai state largamente adottate dalla comunità scientifica che si occupa di Fire Engineering e sono denominate "equazioni della combustione a basso numero di Mach".

Esse descrivono il moto a bassa velocità di un gas spinto dalla potenza termica e dalle forze di galleggiamento.

Queste equazioni sono risolte numericamente dividendo lo spazio fisico dove è simulato l'incendio in un grande numero di celle parallelepipediche.

Dentro ogni cella la velocità del gas, la temperatura ed altri parametri chimico-fisici sono assunti uniformi e variabili solo nel tempo.

L'accuratezza con cui la dinamica dell'incendio può essere simulata dipende dal numero di celle che possono essere incorporate nella simulazione.

Questo numero è limitato solo dalla potenza di calcolo disponibile.

Attualmente i normali singoli processori possono elaborare scenari con circa un milione di celle.

Si deve tener presente che i fenomeni simulati hanno grandezze spaziali diverse: infatti, i fenomeni di combustione avvengono in spazi dell'ordine di un millimetro, mentre la diffusione turbolenta dei gas ha scale tipiche comprese tra un centimetro e diverse decine di centimetri.

Infine, la scale degli edifici dove avviene l'incendio è dell'ordine di metri.

Pertanto, sorge il problema di arrivare ad una definizione di grandezza di cella che tenga conto di tutte queste scale, con la consapevolezza che si potranno catturare alcuni aspetti del fenomeno e non vederne altri.

Fire Dynamics Simulator può essere usato per modellare i seguenti fenomeni:

- trasporto a bassa velocità di calore e prodotti della combustione di un incendio;
- trasferimento termico per irraggiamento e convezione tra gas e superfici solide;
- propagazione delle fiamme e crescita dell'incendio;

- attivazione di sprinkler, rivelatori di calore e rivelatori di fumo;
- soppressione dell'incendio mediante water spray.

Il codice è diviso in sezioni che modellano distinti fenomeni fisici e le proprietà dei materiali.

### **Modello idrodinamico**

È la sezione che risolve le equazioni della combustione a basso numero di Mach. La turbolenza è trattata mediante l'algoritmo di Smagorinsky per la simulazione dei grandi vortici (LES – Large Eddy Simulation).

### **Modello di combustione**

Per molte applicazioni FDS usa il modello di combustione a frazione di miscela. Quest'ultima è una quantità scalare conservativa che è definita come la frazione di gas in un certo punto del campo di flusso che si origina dal combustibile. Il modello assume che la combustione è controllata dalla miscelazione e che la reazione tra combustibile ed ossigeno è infinitamente veloce. La frazione di massa di tutti i maggiori reagenti e dei prodotti può essere derivata dalla frazione di miscela mediante "relazioni di stato", espressioni empiriche basate su una combinazione di analisi semplificate e di misure sperimentali.

### **Trasporto per irraggiamento**

Il trasporto termico per irraggiamento è incluso nel codice mediante la soluzione di un'equazione di trasporto per un gas definito corpo grigio e senza diffrazione. L'equazione è risolta usando una tecnica simile al metodo dei volumi finiti usata per il trasporto convettivo.

Usando circa 100 angoli discreti, questo risolutore richiede circa il 15% della tempo totale di calcolo della CPU.

### **Geometria**

FDS approssima le equazioni sulla base di coordinate rettangolari.

L'utilizzatore deve costruire le sue geometrie descrivendo oggetti che sono forzati a conformarsi alle dimensioni di griglia prescelte.

Questo è un limite intrinseco del codice, in quanto la indisponibilità di mesh di tipo cilindrico o comunque non ortogonali si risolve in un notevole sforzo da parte dell'utilizzatore per la creazione di griglie adatte al fenomeno da descrivere ma con il vincolo che riescano a descrivere, adeguatamente, da un punto di vista grafico, gli oggetti dell'ambiente.

La limitazione si accentua in presenza di geometrie curve.

### **Condizioni al contorno**

A tutte le superfici sono assegnate delle condizioni termiche, oltre alla loro caratterizzazione mediante le proprietà chimico-fisiche.

## Sprinklers e rivelatori

L'attivazione di sprinkler e rivelatori di calore e fumo è modellata usando semplici correlazioni basate sull'inerzia termica, nel caso di sprinkler e rivelatori termici, e sul ritardo nella trasmissione della luce per i rivelatori di fumo.

Lo spray che viene erogato dagli sprinkler è modellato mediante particelle lagrangiane che rappresentano un campione delle gocce di acqua erogate.

*Si segnala come tali modelli possano essere utilizzati solo per scopi di ricerca in quanto non validati per progettazioni antincendio!*

*Come indicato nei documenti tecnici di FDS, la simulazione dell'effetto di un impianto sprinkler sulla mitigazione della Heat Release Rate (HRR) è principalmente limitata dall'incapacità del modello di "prevedere" in modo naturale l'estinzione dell'incendio senza l'introduzione di specifici parametri definiti dall'utente. Inoltre, tali parametri necessiterebbero di una campagna sperimentale di validazione.*

*A causa di tali complessità di modellazione, molti ingegneri della sicurezza antincendio utilizzano FDS esclusivamente per prevedere il tempo di attivazione dell'impianto Sprinkler. Una volta avvenuta l'attivazione, si applica spesso un "limite" manuale alla HRR, ipotizzando che il sistema mantenga il fuoco in condizioni stazionarie, invece di affidarsi al software per simulare il processo di soppressione così come indicato nel Codice nell'Illustrazione M.2-1: Fasi dell'incendio.*

## Validazione di FDS

Il modello computazionale FDS è attualmente il più utilizzato per le analisi fluidodinamiche d'incendio.

Ciò trae origine dall'enorme quantità di lavori scientifici, che hanno visto il raffronto fra le predizioni matematiche garantite da FDS ed i dati sperimentali.

L'accesso al software gratuito ha generato un processo virtuoso, che ha portato l'evoluzione del codice a livelli di affidabilità attualmente unici.

La validazione è stata portata avanti ed è perennemente in corso, secondo le modalità previste dalla norma ASTM E 1355.

Informazioni complete sulla validazione sono disponibili sul sito ufficiale del NIST nella sezione BFRL scaricando direttamente la pubblicazione "*Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation*".

Quest'ultima viene mantenuta aggiornata, illustra i lavori di validazione ed i relativi risultati raggiunti e dimostra ampiamente come detto modello garantisca la piena affidabilità nell'analisi di seguito descritta.

## INCENDIO DI PROGETTO

Per la scelta dell'incendio di progetto si è fatto riferimento al focolare predefinito di cui alla tab. M.2.2 per le attività di tipo civile e, pertanto, si è individuata la seguente evoluzione dell'incendio:

- Velocità caratteristica di crescita dell'incendio di tipo fast ( $t_a = 150$  s);
- Potenza massima rilasciata dall'incendio  $RHR_{max}$  pari a 5 MW;
- Potenza d'incendio specifica  $RHR_{max}/m^2$  pari a 490 kW/m<sup>2</sup>;
- Resa in CO 0.10 kg/kg in condizioni iniziali;
- Resa in particolato 0.07 kg/kg.

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio $t_a$	150 s ( <i>fast</i> )	75 s ( <i>ultra-fast</i> )
HRR <sub>max</sub> totale per m <sup>2</sup> di superficie del focolare	5 MW 250 - 500 kW/m <sup>2</sup> [1]	50 MW 500 - 1000 kW /m <sup>2</sup> [1]
Resa in particolato $Y_{soot}$	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio $Y_{CO}$	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo HC	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio $Y_{CO2}$	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua $Y_{H2O}$	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di HRR(t) in irraggiamento ( <i>Radiative fraction</i> )	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'HRR<sub>max</sub> totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico d'incendio uniformemente distribuito, ma che può essere un valore inferiore nel caso d'incendio localizzato.

[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report No.185 "Soot Yield Values for Modelling Purposes - Residential Occupancies", BRANZ, 2008

[3] "CIVM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code

[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4<sup>th</sup> ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da *polyurethane flexible foams*.

[5] Stec A, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con  $F = 1,25$  (*underventilated fire*)

[6] In alternativa alle rese  $Y_{CO2}$  e  $Y_{H2O}$ , si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico  $C_{H2}O_{0,5}$ .

Tab. M.2-2: Focolari predefiniti

In particolare, il focolare è stato definito suddividendolo nelle seguenti fasi:

- crescita (propagazione);
- incendio stazionario;
- decadimento.

Nel caso in esame, la curva d'incendio è stata riprodotta considerando le prime due fasi ovvero la propagazione e l'incendio stazionario, così come descritto di seguito:

### **Fase di crescita e propagazione dell'incendio**

La fase relativa alla crescita e propagazione dell'incendio è stata calcolata applicando la seguente espressione:

$$\text{RHR}(t) = 1000 \cdot t^2 / t_a^2$$

dove:

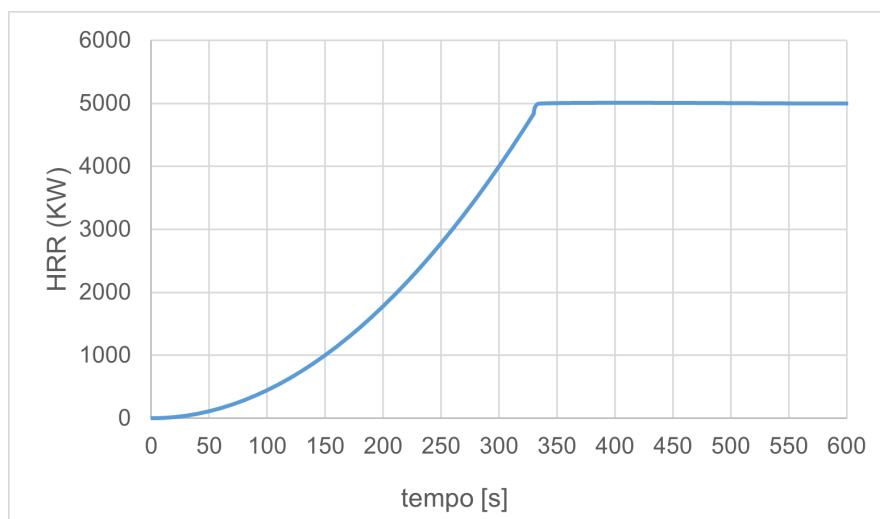
- RHR(t) è la potenza termica rilasciata dall'incendio (kW);
- t è il tempo (s);
- $t_a$  è il tempo caratteristico di crescita dell'incendio (150 s).

### **Fase dell'incendio stazionario**

La fase dell'incendio stazionario, avendo utilizzato il focolare predefinito nell'ambito delle attività civili, inizia quando la fase di propagazione ha raggiunto la magnitudo di 5000 kW ovvero dopo:

$$t = \sqrt{\frac{\text{RHR}(5000) \cdot t_a^2}{1000}} = 335,6 \text{ (s)}$$

Raggiunto tale istante, la magnitudo è stata mantenuta costante e pari a 5000 kW. La curva d'incendio così ottenuta è rappresentata nel grafico seguente.



ANDAMENTO DELLA CURVA HRR(T) PREDEFINITA (PARAMETRI TAB. M.2-2)

Scelto il focolare, che si è utilizzato come base per tutti gli scenari analizzati, si è proceduto alla ottimizzazione della griglia computazionale (Mesh) in termini dimensionali, così come meglio descritto nel paragrafo seguente.

## INDIVIDUAZIONE DEGLI SCENARI D'INCENDIO

L'elaborazione progettuale e la conseguente analisi prestazionale ha visto una intensa attività preliminare mirata ad individuare quegli scenari, che fossero più significativi dal punto di vista delle ricadute sulla sicurezza degli occupanti, con particolare riguardo a:

- magnitudo massima raggiungibile in ragione della distribuzione dei materiali combustibili, delle superfici di ventilazione e della geometria degli ambienti;
- conseguenze della propagazione verticale attraverso le chiusure d'ambito ;
- combinazione degli effetti della evoluzione dell'incendio con le dinamiche dell'esodo.

Le risultanze di questa fase preliminare hanno portato a concentrare l'analisi in un lasso temporale contenuto entro i 1800 s, perdendo di significato la descrizione avanzata dell'evoluzione dell'incendio oltre tale limite. Ciò premesso, al fine di verificare la possibile propagazione del fronte di fiamma attraverso la facciata, si sono individuati, come più critici, i seguenti due scenari d'incendio, che riguardano l'esercizio commerciale collocato ai piani terra e primo dell'edificio in esame:

- a. incendio che interessa gli scaffali espositori posti al piano terra in corrispondenza di uno degli angoli dell'edificio ed a ridosso delle vetrate;
- b. incendio che interessa gli scaffali espositori posti al piano primo in corrispondenza di uno dei fronti dell'edificio ed a ridosso delle vetrate.

La scelta dei piani bassi è legata alla propagazione del calore convettivo e radiante che, come noto, tende a svilupparsi in verticale, fuoriuscendo dagli infissi eventualmente danneggiati dal cimento termomeccanico, per poi interessare le porzioni di facciata sovrastanti.

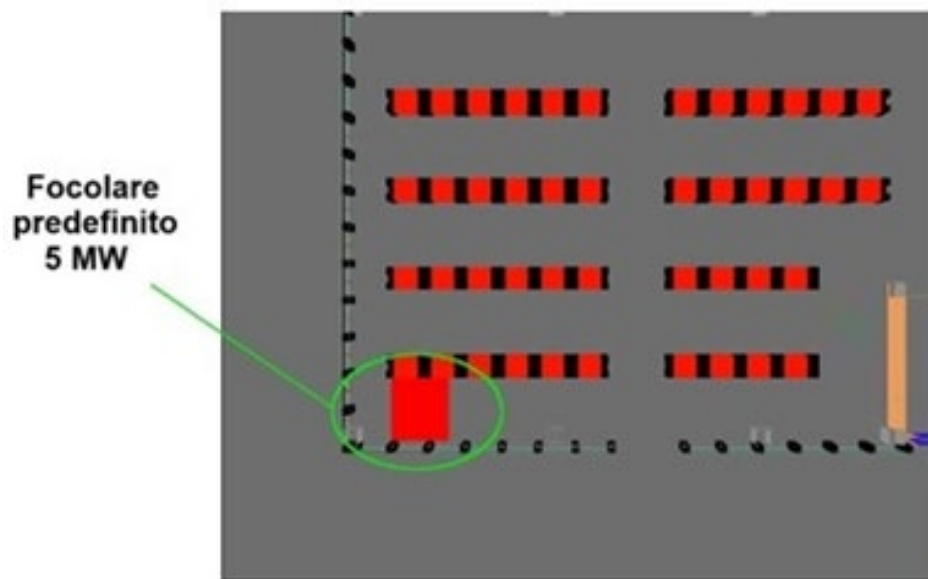
Tale fenomenologia fisica implica che il maggior effetto sia correlato a scenari che coinvolgono i piani bassi, piani dai quali il fronte di fiamma può interessare la maggiore superficie vetrata.

Tali scenari sono stati applicati sia all'ipotesi progettuale che prevede facciate vetrate prive di soluzioni di separazione, sia alla facciate vetrate nelle quali si è prevista una veletta EI30 all'intradosso del solaio lato vetrata dell'altezza di 50 cm.

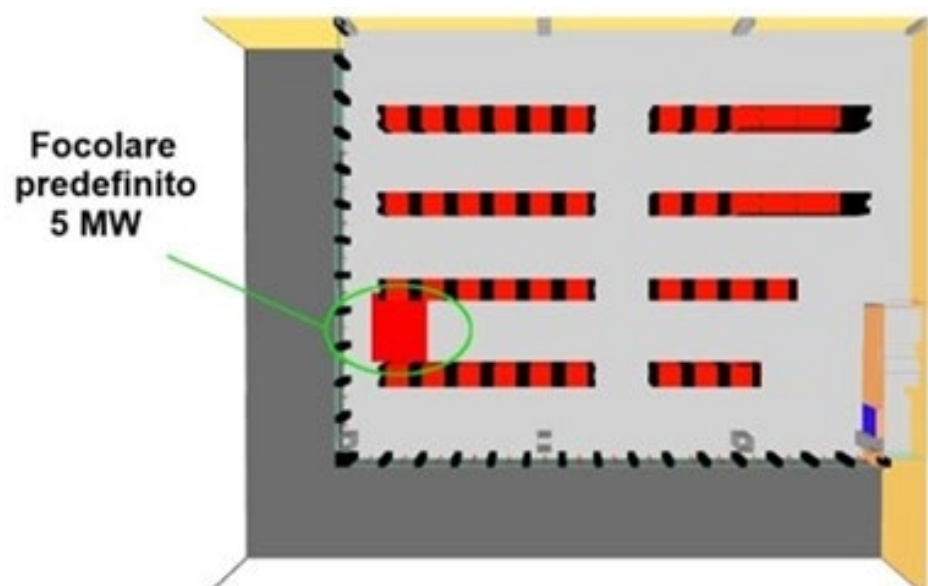
*Si segnala, ad ogni buon fine, che la scelta dei due scenari illustrati, ipotizzati come più gravosi, risponde anche agli scopi didattici della presente pubblicazione.*

Nelle figure seguenti si riportano, con una campitura in rosso, le posizioni dei due focolari d'incendio:

*Piano terra - spazio espositivo "open space"*



*Piano primo - spazio espositivo suddiviso in aree*



## TRIDIMENSIONALIZZAZIONE DELLA STRUTTURA

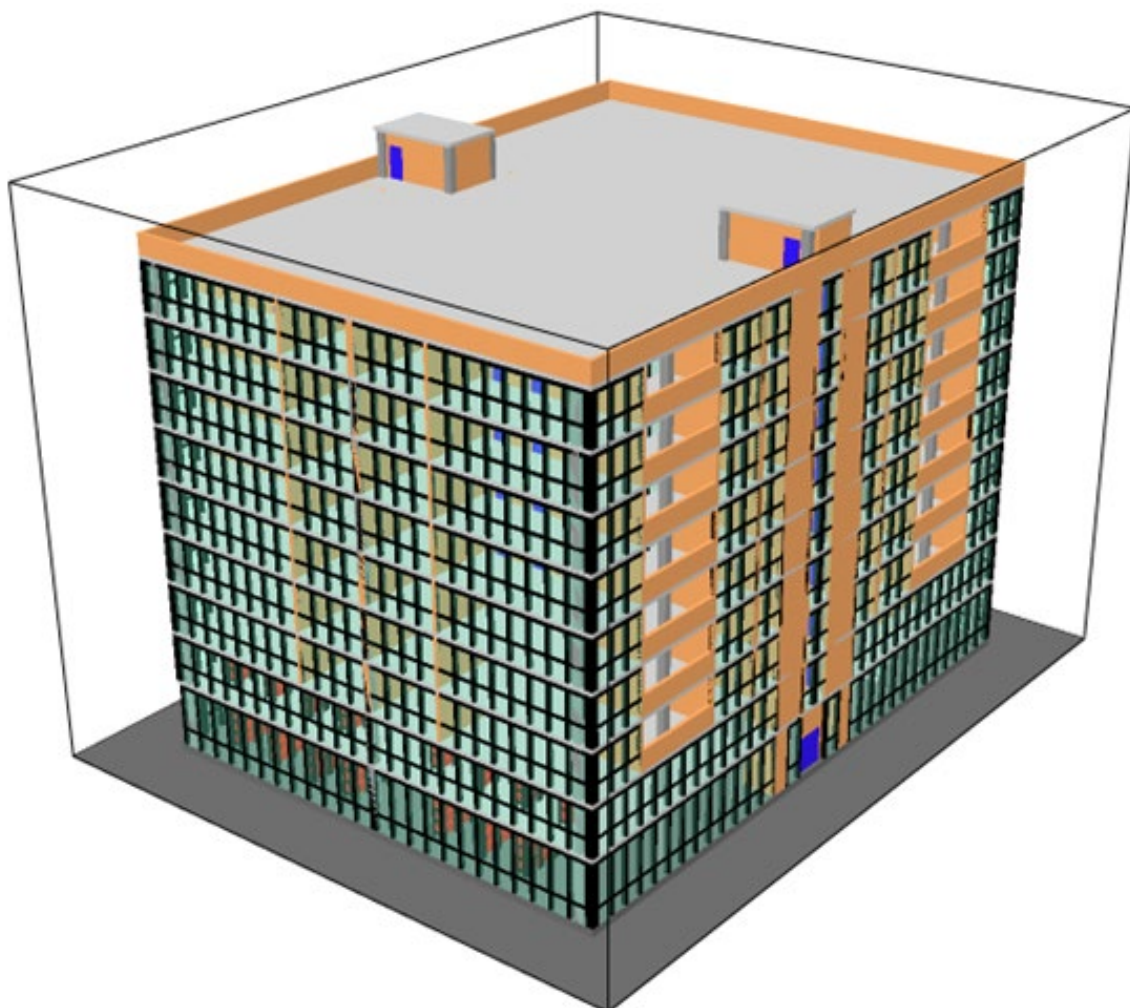
L'acquisizione della struttura riguarda tutto l'edificio in esame racchiuso in un volume fisico di 50 x 40 x 35 m ed è stata effettuata descrivendo lo spazio di simulazione mediante un'unica mesh computazionale caratterizzata da volumi di controllo isometrici (celle elementari) delle dimensioni di 0,25 x 0,25 x 0,25 m.

Le strutture portanti, le tramezzature e le tamponature sono rappresentate approssimando le dimensioni a multipli di 25 cm di spessore.

Le lastre di vetro sono state considerate bidimensionali (spessore di virtualizzazione posto pari a 0).

Si segnala che tali approssimazioni, insite nella definizione dello spazio computazionale, non hanno influito sulla determinazione del comportamento fisico dei materiali, che sono invece descritti attraverso le loro proprietà fisico - chimiche (spessore, densità, conducibilità termica, calore specifico, emissività, calore di combustione, temperatura d'innescio, ecc.).

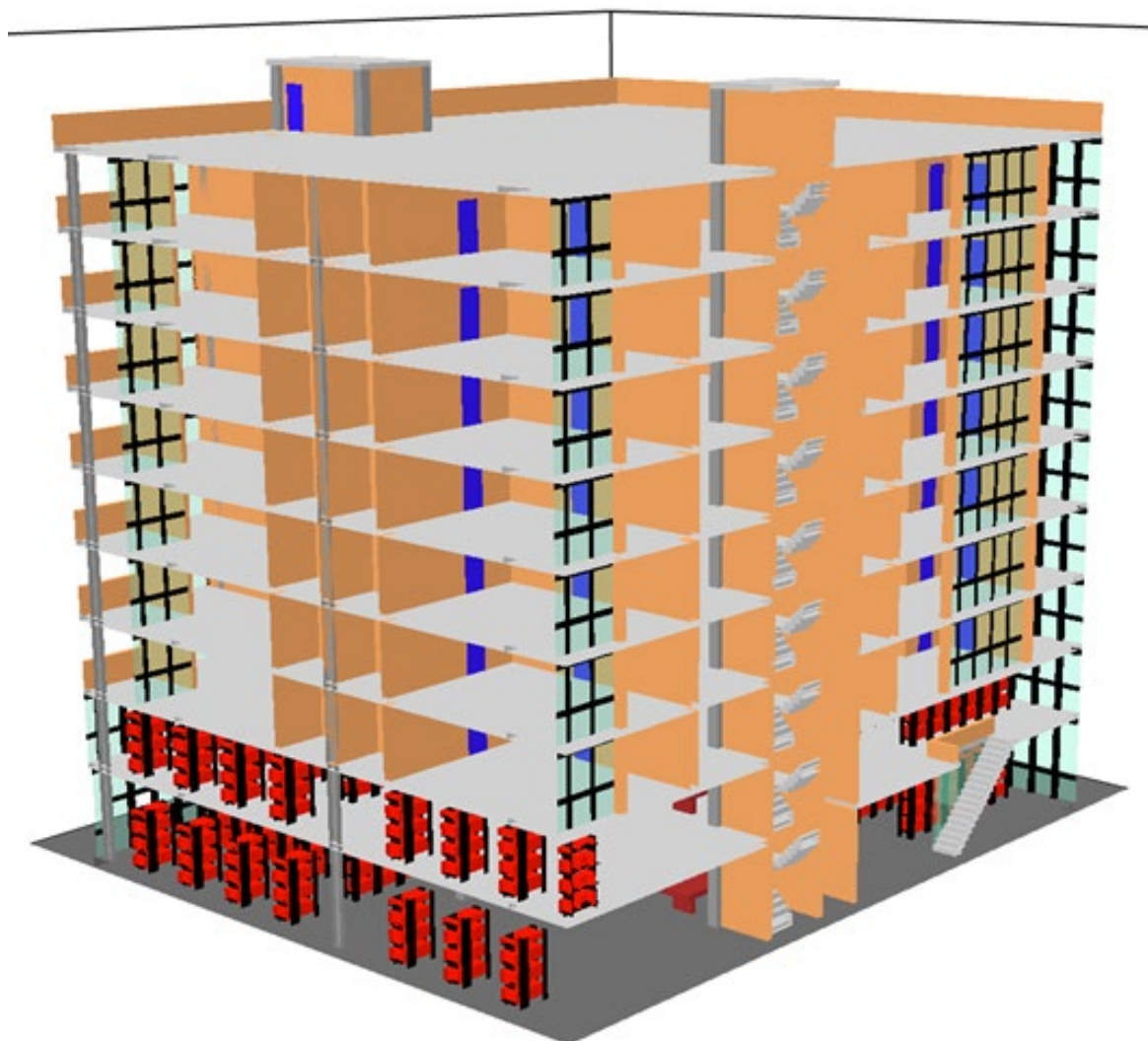
Di seguito un'immagine che illustra il risultato della modellazione tridimensionale della struttura:



ASSONOMETRIA DEL MODELLO FDS

Di seguito si riportano delle immagini comparative fra le planimetrie di progetto e il risultato dell'acquisizione tridimensionale:





ESPLOSO DEL MODELLO FDS

### ***Descrizione delle proprietà fisiche delle vetrate***

I pannelli di vetro sono stati rappresentati utilizzando gli spessori di progetto, che hanno visto la scelta di vetro stratificato dello spessore complessivo di 12 mm.

Le proprietà fisiche invece sono state desunte dai dati del produttore prescelto. Pertanto, le superfici modellate sono state definite imponendo le seguenti caratteristiche:

- spessore 12 mm;
- densità 2500 kg/m<sup>3</sup>;
- calore specifico = 0,84 kJ/kg;
- conducibilità termica = 0,76 W/(m K).

### ***Riproduzione rottura delle vetrate***

Come riportato in precedenza, il cedimento delle superfici vetrate è intimamente legato non solo all'evoluzione delle temperature all'interno dell'ambiente, ma anche dalla dimensione delle fiamme, dalla geometria dell'ambiente e dalle dimensioni delle vetrate.

Ciò ha portato a scartare il raggiungimento delle soglie critiche di temperatura dello strato di fumi e dell'irraggiamento come fattori che determinano la rottura dei vetri. Si è invece deciso di legare il cedimento dell'infisso alla temperatura raggiunta dal vetro, essendo quest'ultima calcolata dal modello CFD, tenendo conto di:

- le modalità di propagazione dell'energia prodotta dalla combustione (convettiva e radiante);
- le dimensioni e la geometria dell'ambiente;
- l'inerzia termica delle lastre di vetro;
- lo scambio termico delle lastre sia verso il telaio che verso l'aria esterna.

Tenendo presenti i dati sperimentali riportati in precedenza, ogni pannello vetrato è stato dotato di un sensore che raggiunta la temperatura critica di 450 °C, ha attivato la rimozione del singolo pannello, simulando il cedimento di tale porzione d'infisso.

### **Verifica della sensibilità delle Mesh computazionali**

Per gli scenari riprodotti si è studiata una dimensione delle celle elementari nella quale scompare il dominio computazionale.

La scelta è stata operata cercando di far convergere le esigenze computazionali, tenendo conto che la magnitudo massima è stata posta pari a 5 MW. L'obiettivo è stato quindi quello di garantire una dimensione che fosse compatibile con la magnitudo degli incendi, nei volumi interessati alle reazioni di combustione, ma anche con i tempi di elaborazione. Varie pubblicazioni<sup>27</sup> hanno dimostrato che una buona accuratezza nella simulazione delle reazioni di combustione che caratterizzano un incendio con modelli CFD comporta un rapporto ottimale fra il diametro caratteristico della fiamma "D" e la dimensione della cella elementare  $\delta x$  normalmente compreso fra 4 e 16.

Tenendo presente che il diametro caratteristico dell'incendio può essere calcolato applicando la seguente equazione:

$$D = \left( \frac{Q}{\rho_{\text{aria}} \cdot C_p \cdot T_{\text{aria}} \cdot \sqrt{g}} \right)^{2/5}$$

dove:

- D è il diametro caratteristico dell'incendio;
- Q è la potenza dell'incendio (5000 kW);
- $\rho_{\text{aria}}$  è la densità dell'aria a 20 °C (1,205 kg/m<sup>3</sup>);
- $C_p$  è il calore specifico dell'aria a 20 °C (1,005 kJ/kg K);
- $T_{\text{aria}}$  è la temperatura dell'aria (293,15 K);
- g è l'accelerazione di gravità (9,81 m/s<sup>2</sup>).

si ottiene un diametro caratteristico di circa 2 m.

<sup>27</sup> Vedi la "User Guide" di FDS

Fissando, per il volume che ospita le reazioni di combustione, la dimensione isometrica della cella in 0,25, m si ottiene un rapporto R fra le due grandezze pari a 8, valore ampiamente entro il limite di accettabilità per quanto concerne la sensibilità della Mesh computazionale.

## **RISULTATI OTTENUTI**

Gli scenari d'incendio descritti in precedenza sono stati applicati sia alla soluzione con vetrate prive di velette sia con l'introduzione delle velette.

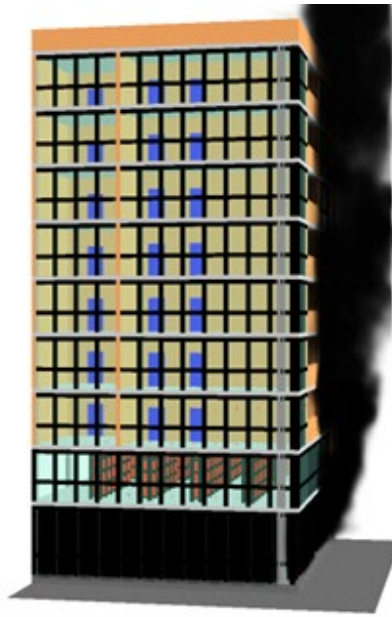
Tutte le simulazioni portate a termine hanno evidenziato il cedimento degli infissi sul piano interessato al focolaio ad istanti temporali fra loro coincidenti.

Le differenze si sono manifestate solo nell'azione termica esercitata sulle vetrate soprastanti, secondo quanto di seguito illustrato.

Pertanto, ciò dimostra il mantenimento della compartimentazione di piano e la mancata diffusione dell'incendio e dei suoi prodotti ai piani superiori, qualora non ci siano finestre aperte.

Ciò dipende chiaramente dal valore della temperatura di rottura ipotizzato sulla base degli studi illustrati in precedenza, per cui è fondamentale tener conto della tipologia di vetrate prossima e assimilabile a quelle degli esperimenti presi a riferimento per il valore di rottura dei vetri.

Come dimostrato dalle immagini seguenti, l'evoluzione dei fumi ha visto in tutte le simulazioni la relativa fuoriuscita dal piano interessato e la loro diffusione lungo la facciata, con un'espansione volumetrica pressoché identica.



Time 525 S

EVOLUZIONE DEI FUMI TRASCORSI 525 S



Time 668 S

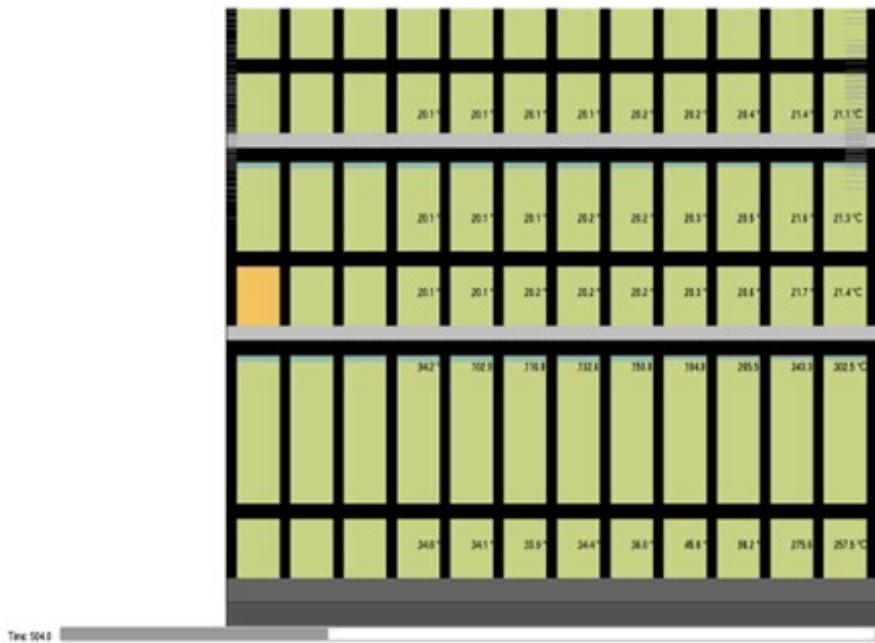
EVOLUZIONE DEI FUMI TRASCORSI 668 S

Le differenze calcolate riguardano esclusivamente i profili di temperatura all'esterno dell'edificio e, più precisamente, lungo la facciata.

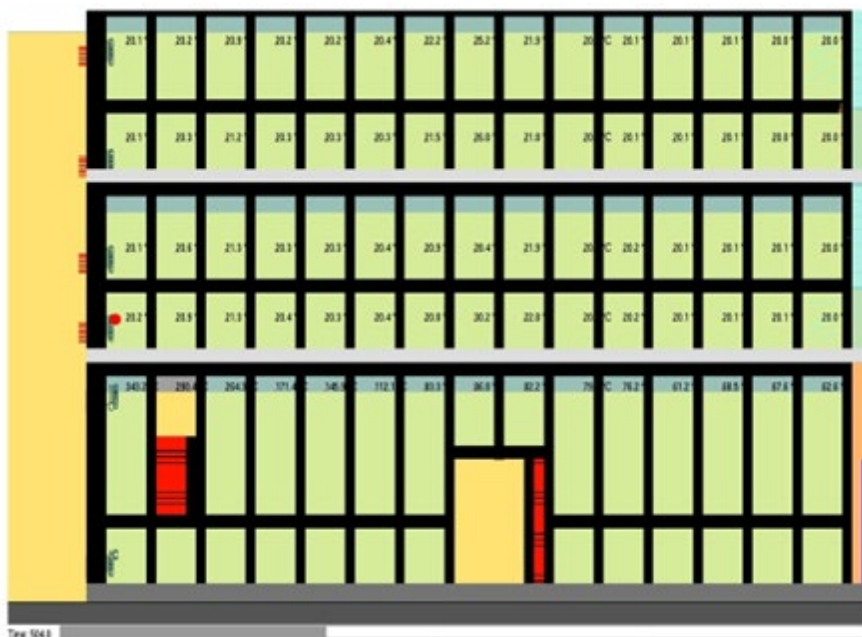
**Scenario con focolare posto al piano terra**

Sia nel caso delle vetrate dotate di veletta resistente al fuoco, sia nel caso privo di veletta, il raggiungimento della temperatura critica di rottura del pannello vetrato, ovvero i 450 °C, avviene in corrispondenza delle fiamme lambenti, dopo 500 s circa dall'inizio dell'incendio, come dimostrato dalle immagini seguenti.

Come si può notare, a seguito del raggiungimento di tale condizione, il modello ha rimosso il pannello, consentendo ai prodotti dell'incendio di fluire all'esterno interessando direttamente le altre porzioni della facciata.



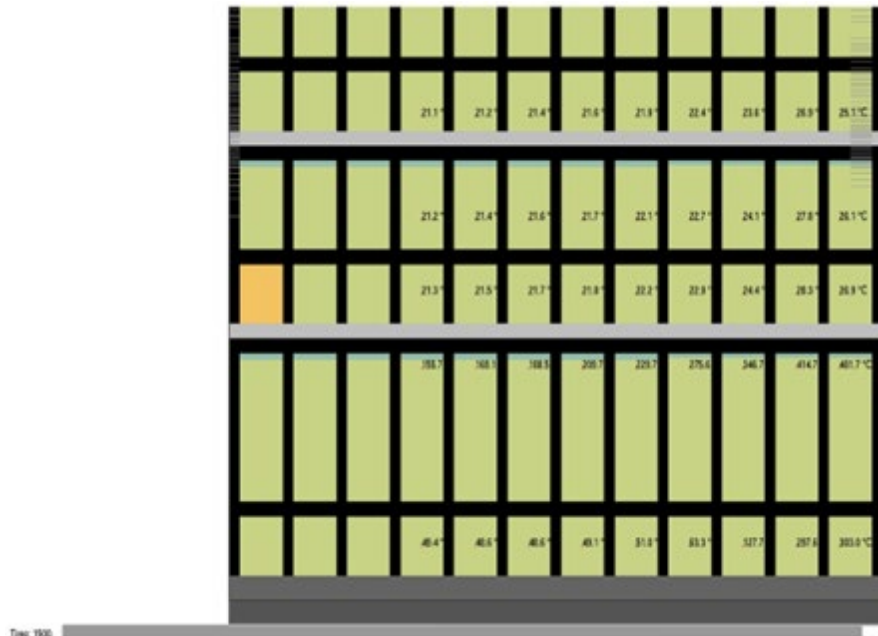
FACCIATA ADIACENTE IL FOCOLARE



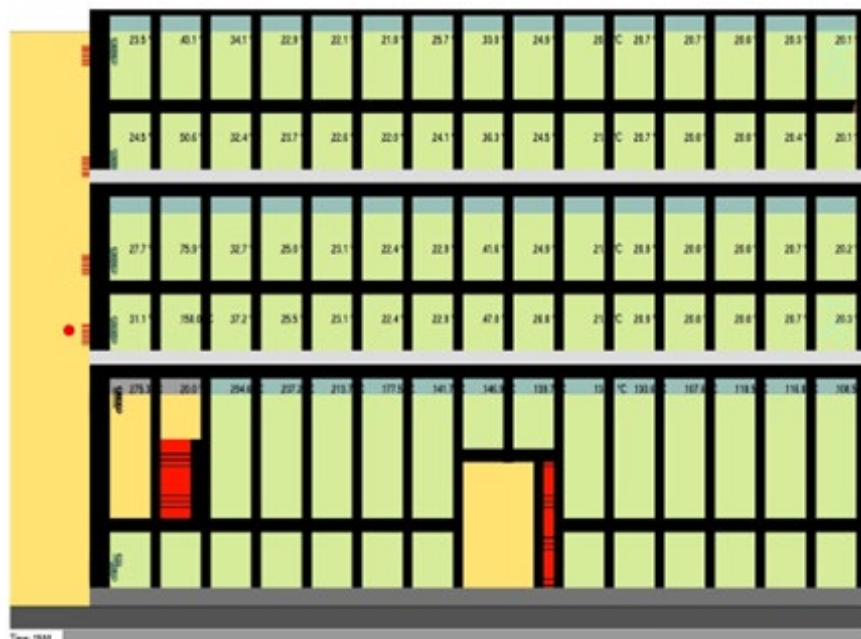
FACCIATA COINVOLTA DAL FOCOLARE

In entrambe le simulazioni il raggiungimento sulle superfici vetrate della temperatura critica si è ripetuto solo dopo 1500 s dall'inizio dell'incendio ed ha interessato solo l'infisso adiacente il primo.

Come nel caso precedente, il modello ha rimosso il pannello vetrato interessato aumentando conseguentemente il flusso dei prodotti dell'incendio all'esterno, come evidenziato dalle immagini seguenti.



FACCIATA ADIACENTE IL FOCOLARE

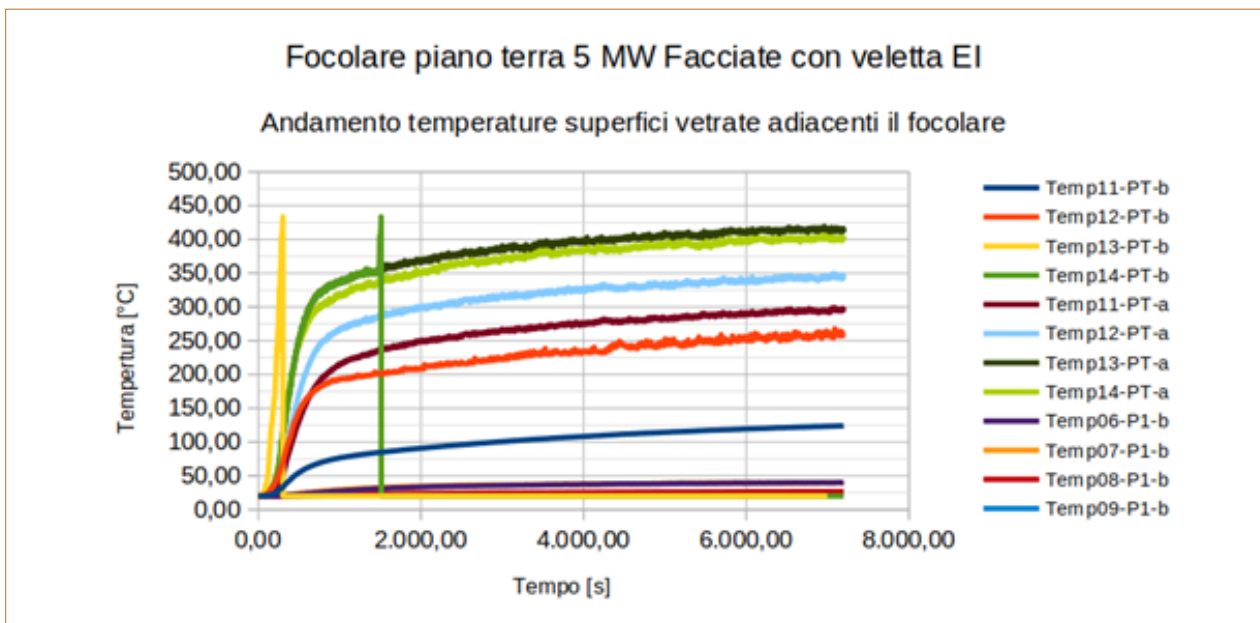
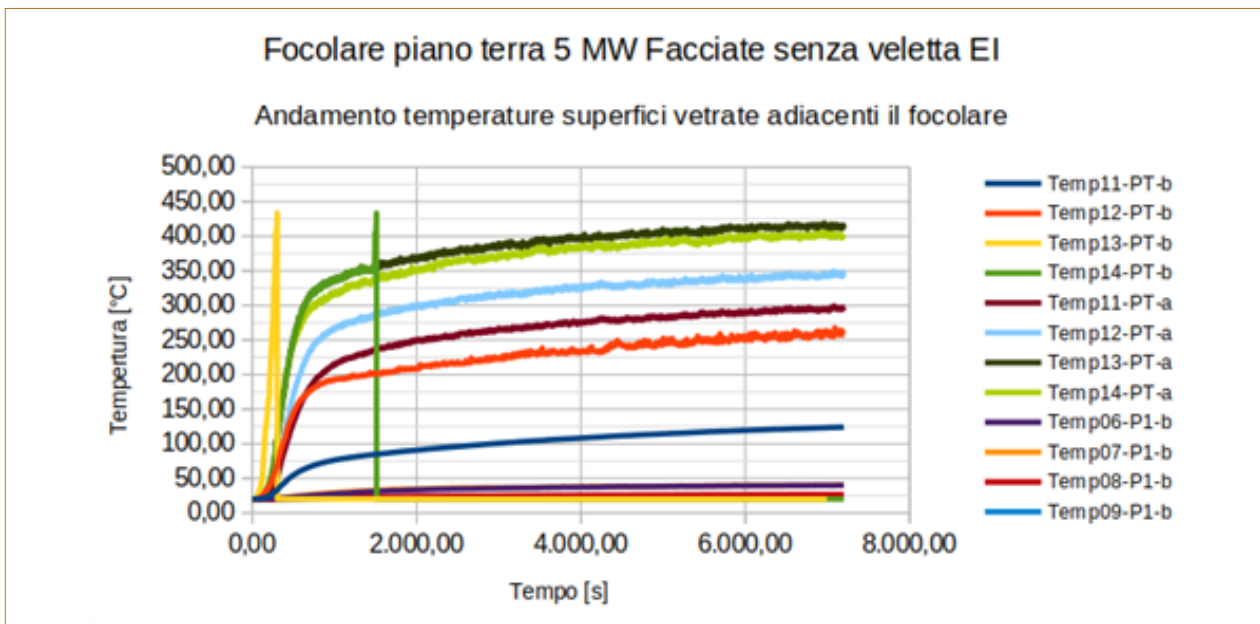


FACCIATA COINVOLTA DAL FOCOLARE

Dopo tale istante (1500 s), non si è osservato alcun superamento delle temperature critiche delle superfici vetrate, dimostrando come l'aggetto di 50 cm presente fra il piano terra ed il primo fosse già da solo in grado di evitare la propagazione verticale del fronte di fiamma.

Inoltre, l'integrità delle vetrate laterali, mantenuta fino a 7200 s, dimostra come l'azione dirompente di un incendio anche di rilevanti dimensioni (5 MW) si dimostri assolutamente localizzata e corrispondente a quelle superfici, che sono direttamente interessate dalle fiamme lambenti.

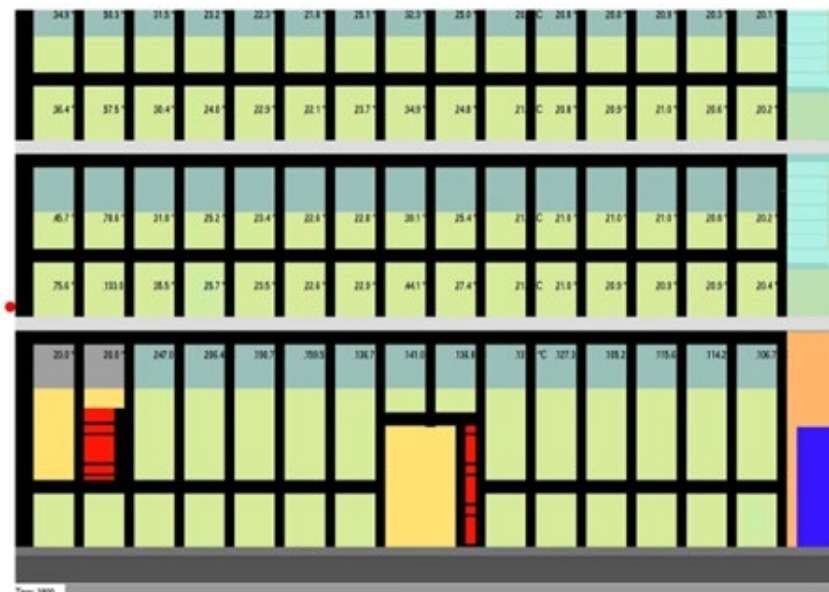
Nei grafici seguenti si riportano le temperature calcolate per le due simulazioni e relative alle porzioni vetrate adiacenti a quelle che hanno ceduto.



Come si può notare, a 500 e 1500 s si notano le due vetrature che cedono rappresentate dalle linee verticali gialle e verdi; le altre curve, invece, denotano l'andamento delle temperature fino a 7200 s che, per le superfici adiacenti la fiamma poste al piano terra, arrivano a raggiungere campi di temperatura compresi fra i 300 a 400 °C. Le superfici vetrate poste al piano primo invece raggiungono campi di temperatura compresi fra i 40 e i 250 °C, limite superiore coincidente con gli infissi posti direttamente al di sopra di quelli che hanno raggiunto le temperature critiche. Nelle immagini seguenti si riporta il dettaglio delle temperature generate dall'incendio nelle condizioni stazionarie, che, come si vede, non superano i 200 °C (colorazione più chiara) se non in limitatissimi punti.



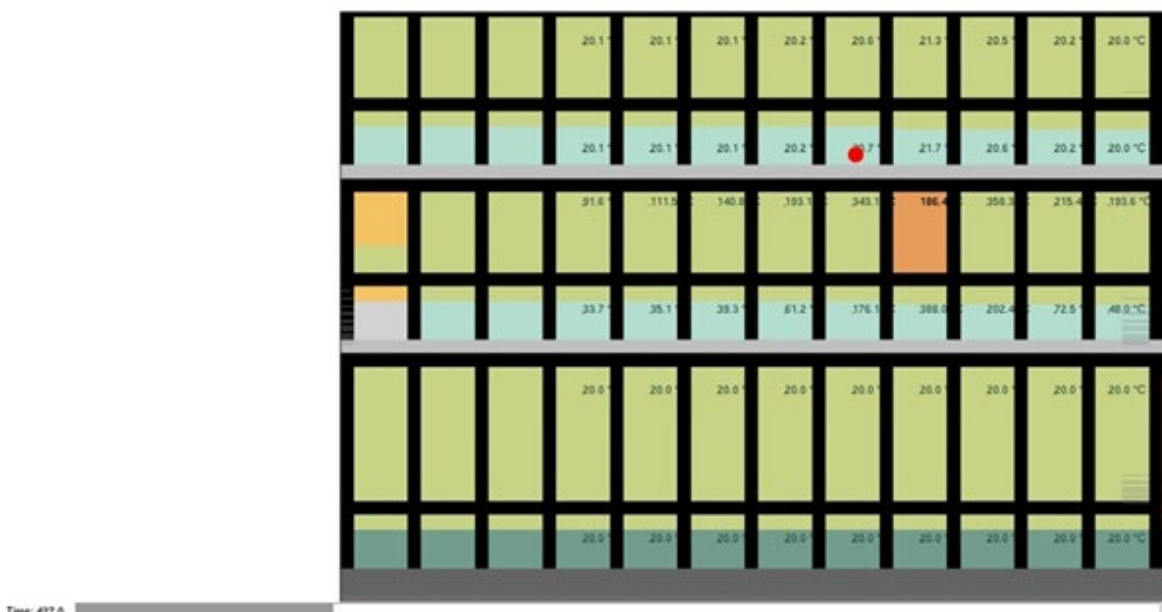
FACCIATA ADIACENTE IL FOCOLARE



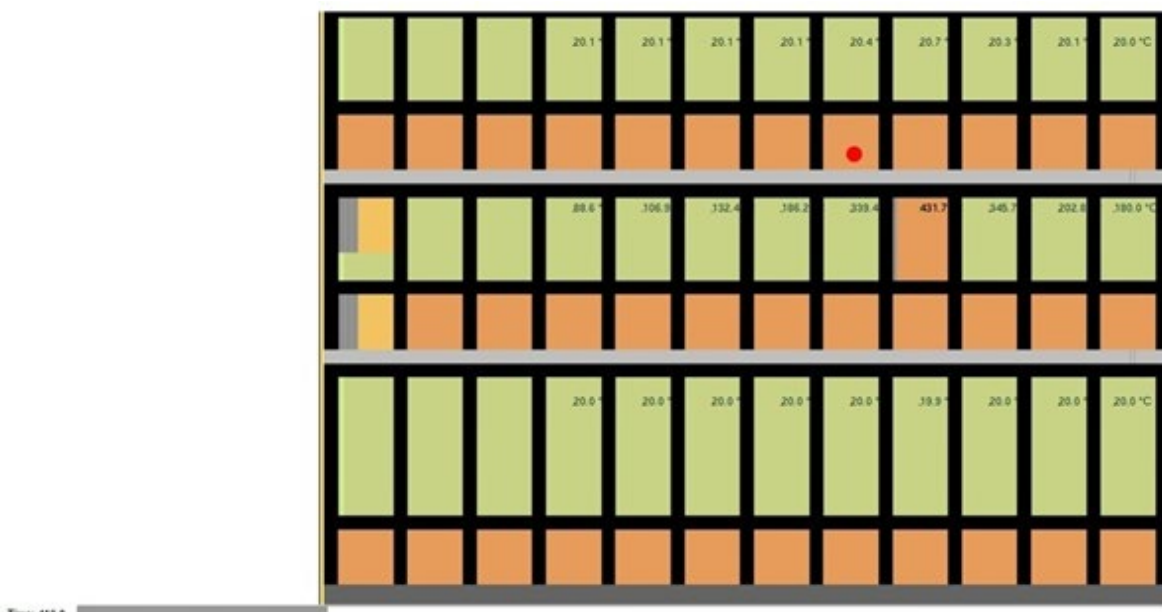
FACCIATA COINVOLTA DAL FOCOLARE

**Scenario con focolare posto al piano primo**

Sia nel caso delle vetrate dotate di veletta resistente al fuoco, sia nel caso privo di veletta, il primo raggiungimento della temperatura critica di rottura del pannello vetrato, ovvero i 450 °C, avviene in corrispondenza delle fiamme lambenti, dopo 410 s circa dall'inizio dell'incendio, come dimostrato dalle immagini seguenti. Come si può notare, a seguito del raggiungimento di tale condizione, il modello ha rimosso il pannello, consentendo ai prodotti dell'incendio di fluire all'esterno interessando direttamente le altre porzioni della facciata.



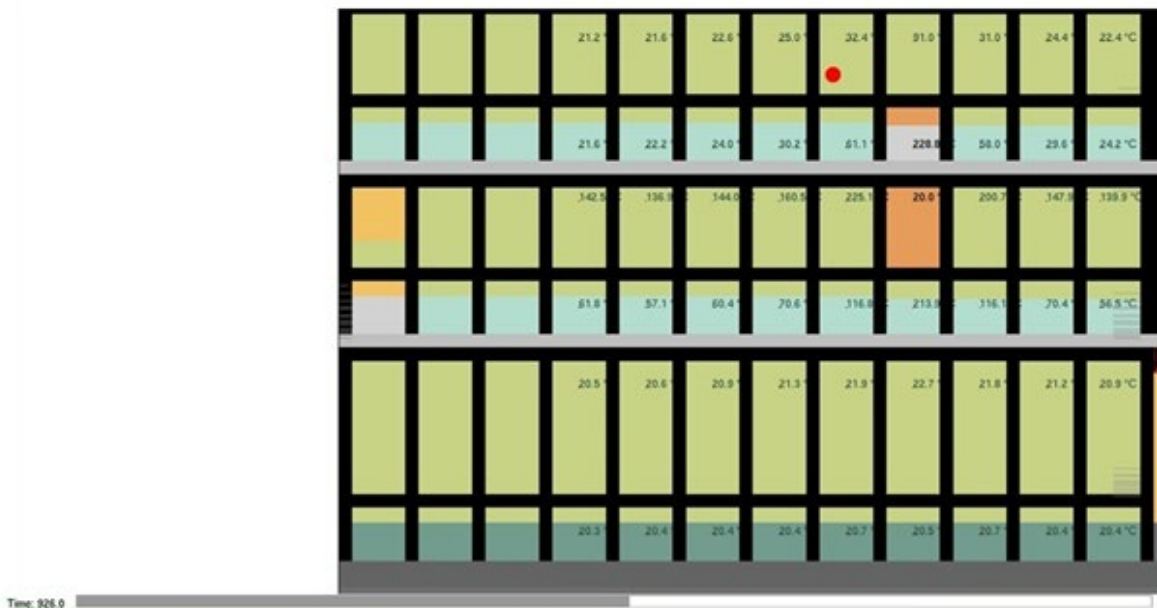
SCENARIO SENZA VELETTA EI



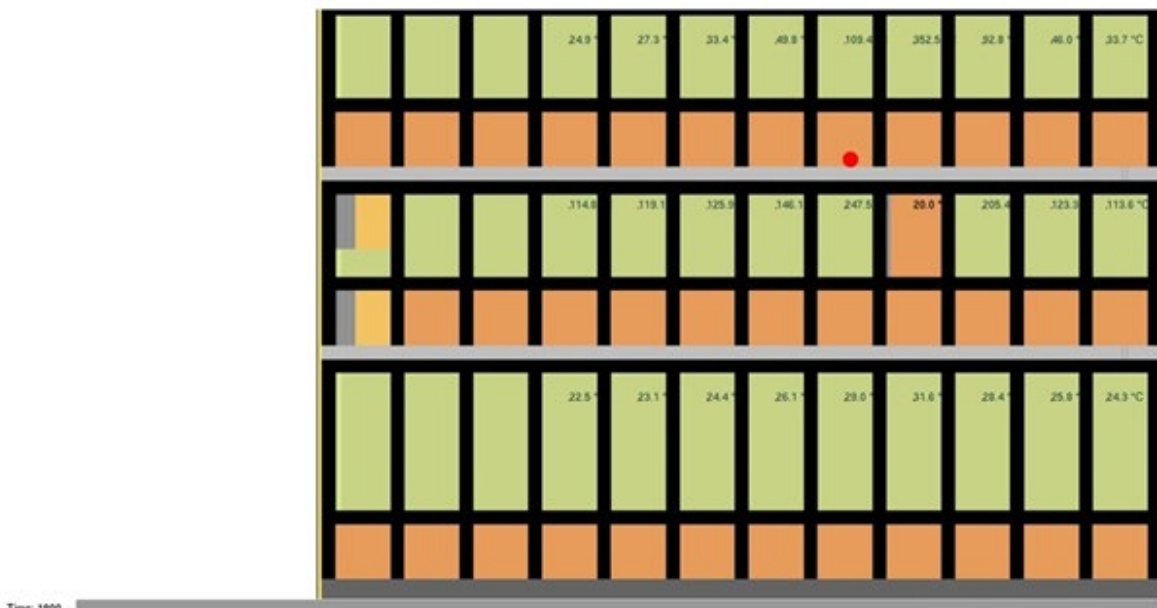
SCENARIO CON VELETTA EI

Nella simulazione che rappresenta la soluzione senza veletta EI, il raggiungimento sulle superfici vetrate della temperatura critica si è ripetuto dopo 1000 s dall'inizio dell'incendio ed ha interessato l'infisso posto al di sopra di quello che ha ceduto in precedenza.

Come nel caso precedente, il modello ha rimosso il pannello vetrato interessato, aumentando conseguentemente il flusso dei prodotti dell'incendio all'esterno, come evidenziato dalle immagini seguenti.



SCENARIO SENZA VELETTA EI

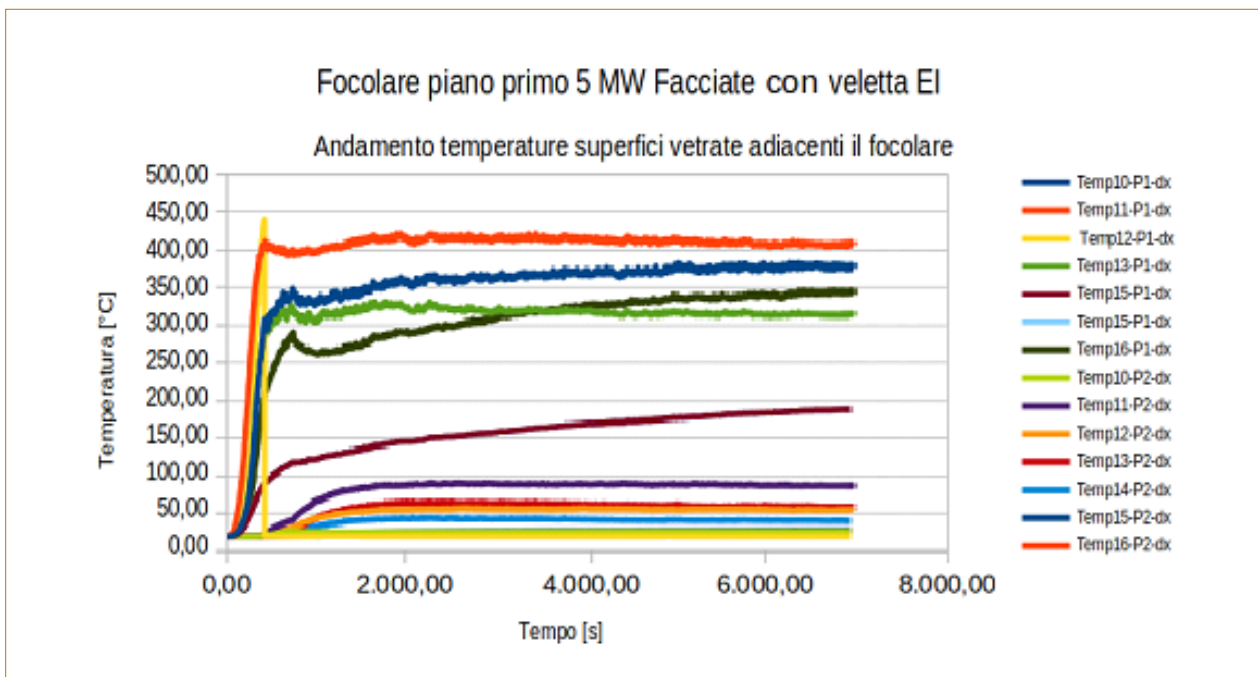
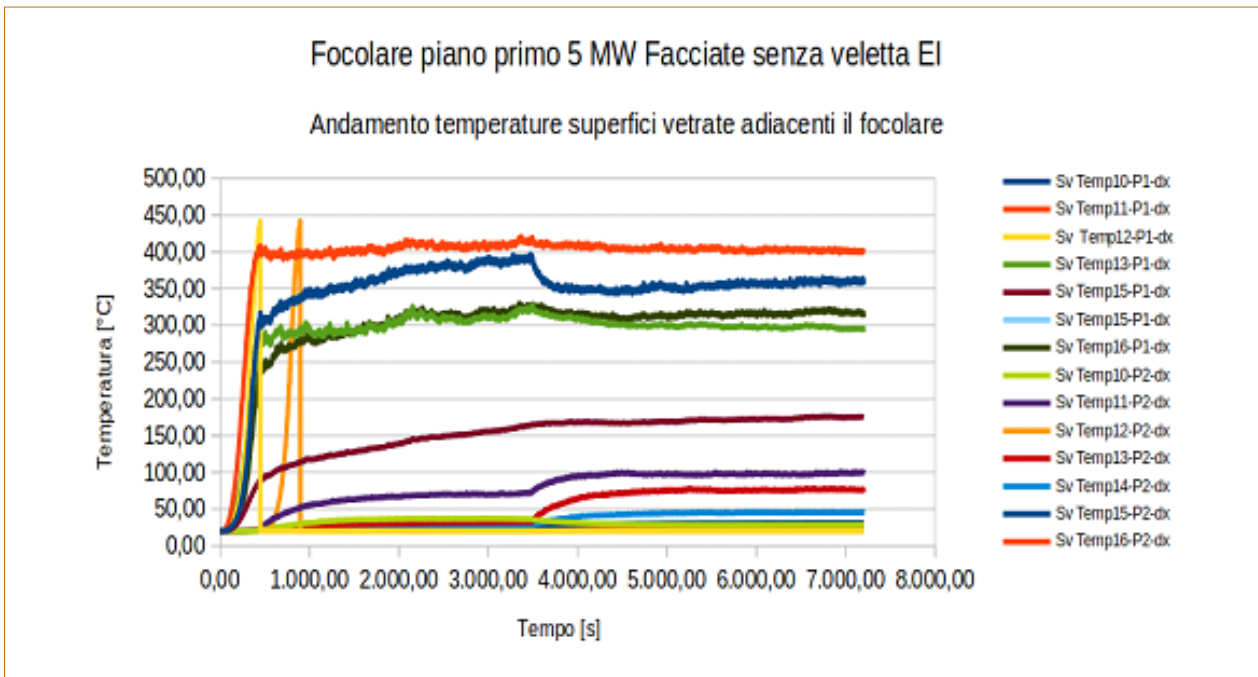


SCENARIO CON VELETTA EI

Dopo tale istante (1000 s), non si è osservato alcun superamento delle temperature critiche delle superfici vetrate.

Inoltre, l'integrità delle vetrate laterali, mantenuta fino a 7200 s, dimostra come l'azione dirompente di un incendio anche di rilevanti dimensioni (5 MW) si dimostri assolutamente localizzata e corrispondente a quelle superfici, che sono direttamente interessate dalle fiamme lambenti.

Nei grafici seguenti si riportano le temperature calcolate per le due simulazioni e relative alle porzioni vetrate adiacenti a quelle che hanno ceduto.



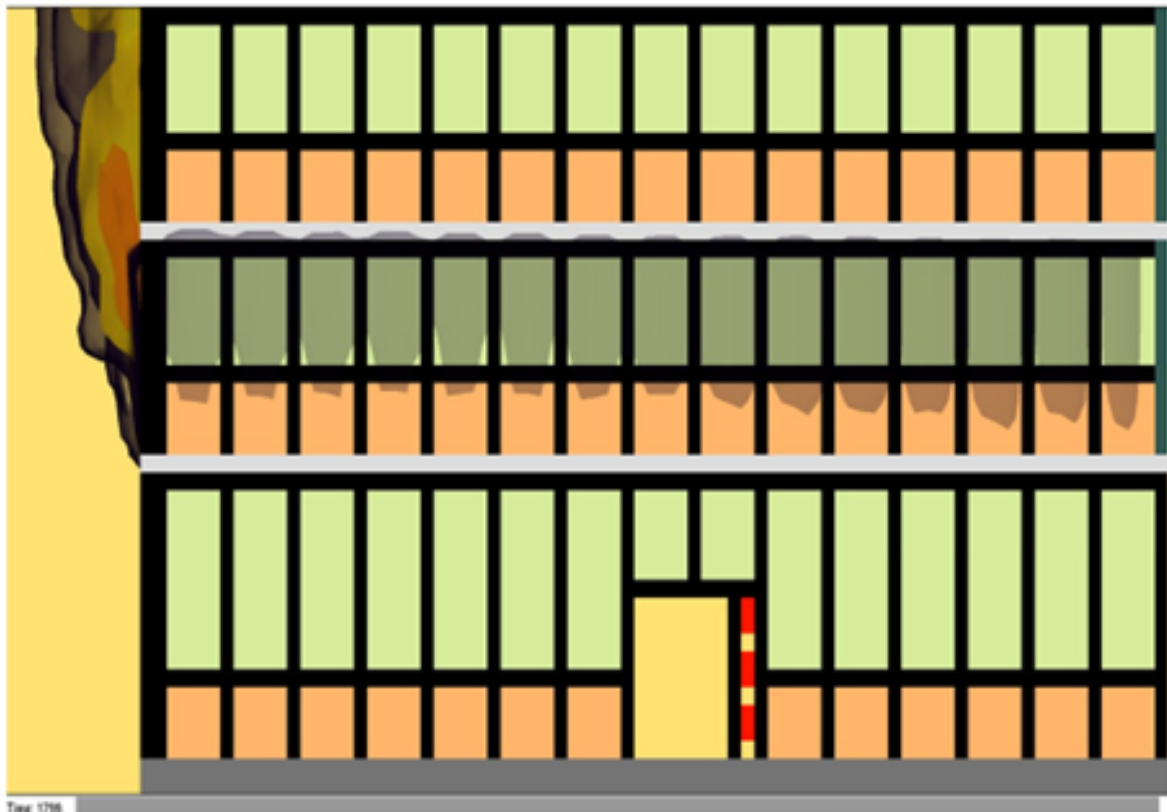
Come si può notare, **per lo scenario senza veletta EI**, a 410 e 1000 s si notano le due vetrature che cedono rappresentate dalle linee verticali gialle (*piano primo*) e arancione (*piano secondo*), le altre curve invece denotano l'andamento delle temperature fino a 7200 s che, per le superfici adiacenti la fiamma poste al piano primo, arrivano a raggiungere campi di temperatura compresi fra i 300 a 400 °C.

Le superfici vetrate poste al piano secondo invece raggiungono campi di temperatura compresi fra i 40 e i 150 °C, limite superiore coincidente con gli infissi posti direttamente al di sopra di quelli che hanno raggiunto le temperature critiche.

**Per lo scenario con velette EI**, invece, si nota a 400 s la vetratura che cede rappresentata dalla sola linea gialla, le altre curve invece denotano l'andamento delle temperature fino a 7200 s che, per le superfici adiacenti la fiamma poste al piano primo, arrivano a raggiungere campi di temperatura compresi fra i 300 a 400 °C.

Le superfici vetrate poste al piano secondo invece raggiungono campi di temperatura compresi fra i 40 e i 200 °C, limite superiore coincidente con gli infissi posti direttamente al di sopra di quello che ha raggiunto le temperature critiche.

Nelle immagini seguenti si riporta, **per lo scenario privo di veletta EI**, il dettaglio delle temperature generate dall'incendio nelle condizioni stazionarie, che, come si vede, superano i 200 °C (colorazione rossa) se non in limitatissimi punti.



Tav. 1736

FACCIATA ADIACENTE IL FOCOLARE

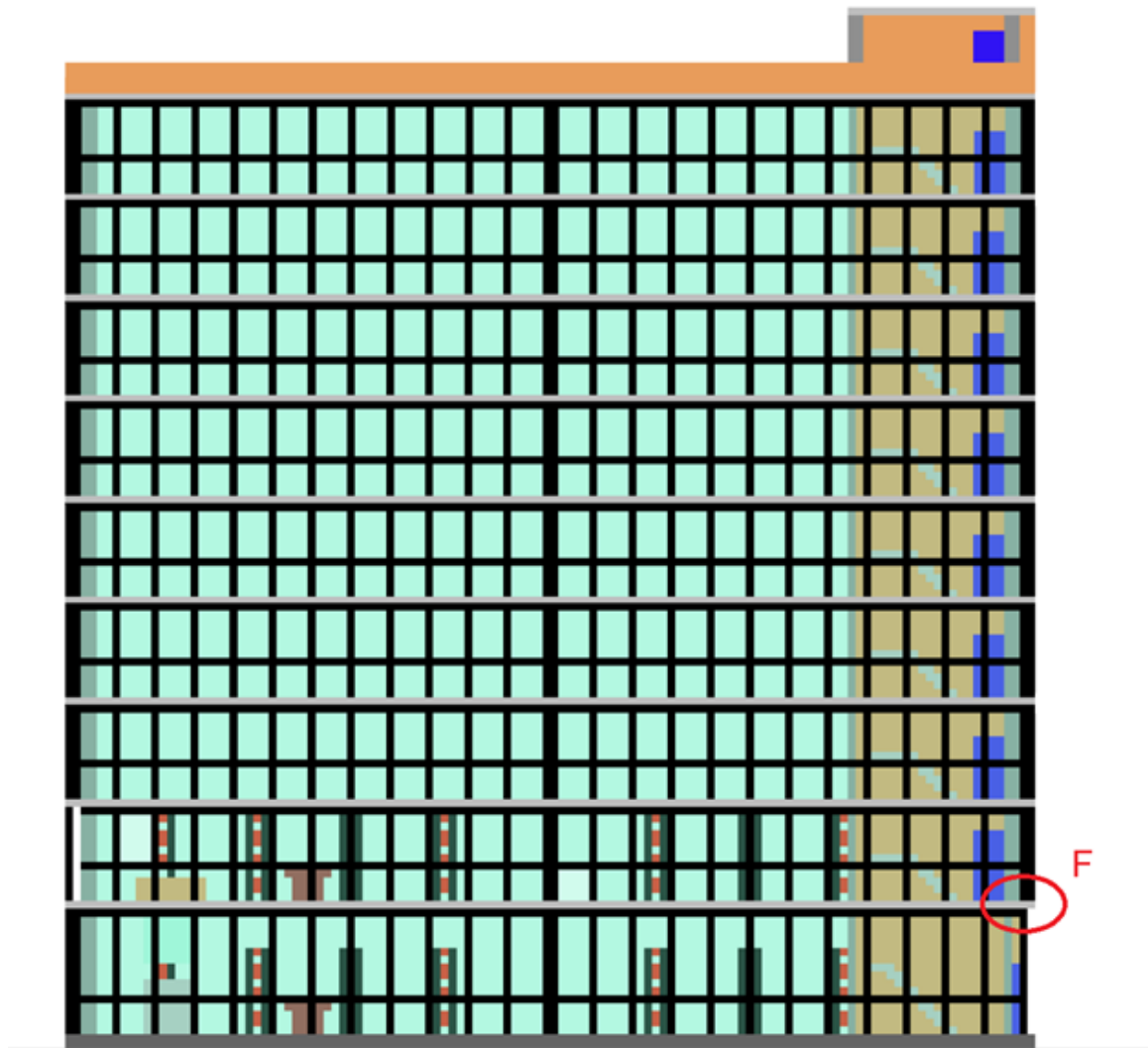


FACCIATA COINVOLTA DAL FOCOLARE

Le simulazioni effettuate hanno dimostrato che, introducendo una fascia di 75 cm ed adottando vetri stratificati di spessore pari a 12 mm, è possibile garantire il livello di prestazione imposto dalla *soluzione conforme*, evitando la propagazione verticale e laterale del fronte di fiamme garantendo, quindi, la compartimentazione fra piani e fra compartimenti adiacenti.

Si segnala che i risultati sono stati ottenuti sulla base delle risultanze dei lavori di ricerca illustrati nei paragrafi precedenti.

A latere, si rappresenta che, nell'ambito di un analogo progetto, le conclusioni ivi illustrate sono state verificate in via sperimentale, ricostruendo una vetrata e sottoponendola a diversi cimenti termici, compreso un incendio da idrocarburi della magnitudo di 5 MW con le fiamme direttamente lambenti le specchiature vetrate, senza che si sia registrato alcun collasso.



PARTICOLARE DELLA FASCIA DI SEPARAZIONE

*F* indica la fascia di separazione avente lunghezza pari a 75 cm.

## CONSIDERAZIONI A COMMENTO

### ■ Riepilogo sintetico del caso studio

Il caso studio riguarda la ristrutturazione di un edificio, focalizzando l'attenzione sulle problematiche antincendio delle *chiusure d'ambito* dello stesso.

L'edificio presenta, ai piani terra e primo, un'attività commerciale e uffici ai piani superiori (dal secondo all'ottavo).

Si è proceduto quindi all'analisi del comportamento delle facciate ("*structural glazing*") con l'impiego della FSE.

Le simulazioni effettuate hanno dimostrato che, introducendo una fascia di 75 cm ed adottando vetri stratificati di spessore pari a 12 mm, è possibile garantire il livello di prestazione imposto dalla *soluzione conforme*, evitando la propagazione verticale e laterale del fronte di fiamme, garantendo, quindi, la compartimentazione fra piani e fra compartimenti adiacenti.

Ciò è possibile utilizzando vetrate di tipologia assimilabile a quelle testate sperimentalmente, per le quali è possibile assumere un valore di rottura pari a 450 °C.

### ■ Commento dei risultati

Le simulazioni hanno consentito di analizzare la propagazione verticale e orizzontale dell'incendio lungo le facciate, l'efficacia delle fasce di separazione nel limitarne la propagazione, le conseguenze derivanti dal variare della posizione del focolare e il comportamento dei materiali costituenti le facciate.

Il punto chiave della dimostrazione è la possibilità di considerare come valore di temperatura di rottura dei vetri quello di 450 °C.

Ciò è stato possibile, dal momento che sono stati utilizzati, nella ristrutturazione, vetrate di tipologia e spessore assimilabili a quelle testate sperimentalmente, essendo la progettazione stata impostata consapevolmente fin dall'inizio con chiari obiettivi progettuali.

Tale esempio applicativo vuole, pertanto, focalizzare l'attenzione sui seguenti punti essenziali:

1. avendo chiaro sin dall'inizio il problema di sicurezza antincendio che si può verificare in caso di incendio di facciata, la progettazione ha identificato sin da subito la soluzione progettuale più adeguata per le vetrate della facciata dal punto di vista antincendio, in maniera integrata con le esigenze di carattere architettonico e funzionale, senza impattare per nulla su queste; la scelta della tipologia di vetrate adeguata per tutte le finalità di cui sopra è stata possibile grazie al maggior impegno professionale e alla maggiore competenza del progettista, che si è avvalso degli studi condotti da esperti del mondo della ricerca per la determinazione delle condizioni di rottura delle vetrate, a seguito delle quali si perde la compartimentazione per incendio di facciata;
2. il valore di rottura delle vetrate, pari a 450 °C, vale solo per alcune tipologie, non è di certo un valore assoluto; pertanto, impostare tale valore di rottura nel codice di fluidodinamica computazionale richiede una valutazione della tipologia di vetrate esistenti oppure una loro progettazione, scegliendo una tipologia congruente e assimilabile con quella dei test sperimentali; è bene che il progettista della sicurezza antincendio abbia ben chiaro questo punto, altrimenti l'attribuzione di un valore di rottura dei vetri senza una preventiva analisi potrebbe portare a false aspettative di sicurezza antincendio.

Infine, si evidenzia che le facciate possono avere configurazioni e tecnologie molto differenti tra di loro, in cui la propagazione dell'incendio di facciata può avvenire anche secondo meccanismi e modalità di propagazione molto differenti rispetto al presente caso studio, entrando in gioco i materiali di rivestimento, i dettagli costruttivi tra i vari piani, la configurazione geometrica, ecc.

L'indicazione che si può trarre dal presente caso studio è quella di analizzare, in maniera preventiva, tutti i fattori di rischio che concorrono alla propagazione di un incendio di facciata e all'adozione di misure progettuali che la limitino o la evitino.

Tali valutazioni e le conseguenti scelte vanno fatte prima degli interventi di ristrutturazione e non a posteriori: nel primo caso, le scelte progettuali potrebbero avere un impatto limitato o nullo, come nel caso studio in questione, mentre nel secondo potrebbero risultare addirittura insostenibili e infattibili.

Una progettazione integrata in termini architettonici, funzionali e di sicurezza antincendio è la strada maestra per ottenere buoni risultati sotto tutti i punti di vista e non dover trovarsi a fronteggiare problematiche insolubili o tecnicamente ed economicamente non fattibili.

## BIBLIOGRAFIA

- Decreto Ministeriale 18 ottobre 2019, Codice di Prevenzione Incendi, 2019 (sostituisce la versione del Codice di Prevenzione Incendi del 2015);
- Decreto Ministeriale 3 agosto 2015 Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139;
- Decreto del Presidente della Repubblica del 1 agosto 2011, n. 151 Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122;
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;
- Hietaniemi J., Probabilistic simulation of glass fracture and fallout in fire - VTT Building and Transport, 2005;
- AA.VV., Esempi applicativi del codice di prevenzione incendi, EPC 2017;
- AA.VV., Fire behaviour of etics with organic insulation: the skin is all! - IFireSS 2017 - 2nd International Fire Safety Symposium Naples, Italy, June 7-9, 2017;
- Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri, Il Codice di prevenzione incendi - Applicazioni pratiche, INAIL 2018;
- AA.VV., Codice di prevenzione incendi commentato III ed., EPC 2019;
- Sabatino R., Lombardi M., Ponticelli L. e altri, La resistenza al fuoco degli elementi strutturali, INAIL 2019;
- Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri, La protezione attiva antincendio, INAIL 2019;
- Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri, Metodi per l'ingegneria della sicurezza antincendio, INAIL 2019;
- Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri, Gestione della sicurezza e operatività antincendio, INAIL 2020;
- Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri, La progettazione dell'esodo, INAIL 2020;
- Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri, Compartimentazione antincendio, INAIL 2020;
- Dattilo F., Cavriani M. e altri, Addenda alla III edizione del Codice di Prevenzione Incendi commentato, EPC 2020;
- Wang, Y. , The Breakage Behavior of Different Types of Glazing in a Fire. In: Wu, GY., Tsai, KC., Chow, W.K. (eds) The Proceedings of 11th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology. AOSFST 2018. Springer, Singapore - 2020;
- Cancelliere P, Canzani P, Sassi S, Lucchini A, Messa S, Anselmi E., A new test method to determine the fire behavior of façades with etic system - Fire and Materials, 2020; 1-14;

- Mazzucchelli E.S. et al., Fire Safety Façade Design and Modelling: The Case Study of the Libeskind Tower, *Journal of facade design & engineering* volume 8 / number 1/2020);
- Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri, *Reazione al fuoco*, INAIL 2021;
- Sabatino R., Lombardi M., Cancelliere P. e altri, *Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio*, INAIL 2021;
- Sabatino R., Cancelliere P., Marino A. e altri, *Progettazione della sicurezza antincendio nei luoghi di lavoro*, INAIL 2022;
- Sabatino R., Cancelliere P., Marino A. e altri, *Prevenzione incendi per attività di ufficio*, INAIL 2022;
- Micunco, M., *Comportamento al fuoco delle facciate ventilate - Tesi di Laurea - Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi - A.A. 2021/2022;*
- Sabatino R., Cancelliere P., Marino A. e altri, *Prevenzione incendi per attività di autorimesse*, INAIL 2023;
- Sabatino R., Cancelliere P., Marino A. e altri, *Prevenzione incendi per attività ricettive turistico-alberghiere*, INAIL 2023;
- Sabatino R., Cancelliere P., Marino A. e altri, *Prevenzione incendi per attività scolastiche*, INAIL 2024;
- Sabatino R., Cancelliere P., Marino A. e altri, *Prevenzione incendi per attività commerciali*, INAIL 2024;
- Sabatino R., Cancelliere P., Marino A. e altri, *Prevenzione incendi per attività asilnido*, INAIL 2024;
- Giacalone C., *Sicurezza antincendio delle facciate - atti seminario Ance Como, 7 marzo 2024;*
- Castaldi R., Anselmi E., Weiss A., Pustorino S., *Progettazione antincendio delle facciate - XXIX Congresso del Collegio dei Tecnici dell'Acciaio, settembre 2024;*
- De Trizio A.M., I., *Analisi incendi di facciata in edifici civili di grande altezza con gli strumenti della Fire Safety Engineering - Tesi di Laurea - Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile - novembre 2024;*
- Copparoni, I., *Sicurezza antincendio delle facciate degli edifici: criticità, soluzioni e strategie progettuali - Tesi di Laurea - Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile - A.A. 2024/2025;*
- Sabatino R., Cancelliere P., Marino A. e altri, *Prevenzione incendi per attività musei, gallerie, esposizioni, mostre, biblioteche e archivi in edifici tutelati*, INAIL 2025;
- Sabatino R., Cancelliere P., Marino A. e altri, *Prevenzione incendi per altre attività in edifici tutelati*, INAIL 2025;
- Sabatino R., Cancelliere P., Marino A. e altri, *Prevenzione incendi nelle strutture sanitarie*, INAIL 2025;
- Kate T.Q. Nguyen, et Al., *Fire Performance of Open-State Cavity Barriers for Ventilated Façades*, DOI: 10.5772/intechopen.1007923.



## FONTI IMMAGINI

Immagine	Fonte
Copertina	Progettata utilizzando le risorse di Freepik.com
pag. 13	Autori
pag. 19	Autori
pag. 20	Autori
pag. 21	Autori
pag. 22	Autori
pag. 24a	Progettata utilizzando le risorse di Freepik.com
pag. 24b	Claudio Giacalone - Comandante VV.F. di Vercelli
pag. 26a	Claudio Giacalone - Comandante VV.F. di Vercelli
pag. 26b	Esra Lakot Alemdağ - Università Recep Tayyip Erdoğan
pag. 29	Autori
pag. 30	Claudio Giacalone - Comandante VV.F. di Vercelli
pag. 31	Autori
pag. 32a	Autori
pag. 32b	Autori
pag. 33a	Autori
pag. 33b	Autori
pag. 34a	Autori
pag. 34b	La Presse
pag. 35a	Claudio Giacalone - Comandante VV.F. di Vercelli
pag. 35b	Avvenire
pag. 35c	Claudio Giacalone - Comandante VV.F. di Vercelli
pag. 36a	Claudio Giacalone - Comandante VV.F. di Vercelli
pag. 36b	Claudio Giacalone - Comandante VV.F. di Vercelli
pag. 37	Network RAI
pag. 42	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41
pag. 45a	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41
pag. 45b	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41
pag. 48	Autori
pag. 50a	NFPA (National Fire Protection Association)
pag. 50b	<a href="https://www.cappottosicuro.it/">https://www.cappottosicuro.it/</a>

<b>Immagine</b>	<b>Fonte</b>
pag. 51	<a href="https://www.cappottosicuro.it/">https://www.cappottosicuro.it/</a>
pag. 53a	<a href="https://www.cappottosicuro.it/">https://www.cappottosicuro.it/</a>
pag. 53b	<a href="https://www.cappottosicuro.it/">https://www.cappottosicuro.it/</a>
pag. 54a	EFFECT™ Users Guide - NFPA
pag. 54b	EFFECT™ Users Guide - NFPA
pag. 55	EFFECT™ Users Guide - NFPA
pag. 56	<a href="https://www.rexpolgroup.it/solutions/rexpol-cappotto-dark/">https://www.rexpolgroup.it/solutions/rexpol-cappotto-dark/</a>
pag. 57	Autori
pag. 62a	Fire behaviour of ETICS with organic insulation
pag. 62b	Fire behaviour of ETICS with organic insulation
pag. 62c	Fire behaviour of ETICS with organic insulation
pag. 63a	Fire behaviour of ETICS with organic insulation
pag. 63b	Fire behaviour of ETICS with organic insulation
pag. 64	Autori
pag. 65	Autori
pag. 66a	Autori
pag. 66b	Autori
pag. 66c	Autori
pag. 67a	Autori
pag. 67b	Autori
pag. 67c	Autori
pag. 68	<a href="https://www.cappottosicuro.it/">https://www.cappottosicuro.it/</a>
pag. 69a	<a href="https://www.cappottosicuro.it/">https://www.cappottosicuro.it/</a>
pag. 69b	<a href="https://www.cappottosicuro.it/">https://www.cappottosicuro.it/</a>
pag. 70	<a href="https://www.cappottosicuro.it/">https://www.cappottosicuro.it/</a>
pag. 71	Mariangela Micunco
pag. 72a	Mariangela Micunco
pag. 72b	Mariangela Micunco
pag. 73	<a href="https://www.aimlimited.co.uk/solutions/open-state-cavity-barrier/">https://www.aimlimited.co.uk/solutions/open-state-cavity-barrier/</a>
pag. 77	Autori
pag. 78	Autori/Google Maps
pag. 79	Progettata utilizzando le risorse di Freepik.com
pag. 80	Autori
pag. 81	Autori

<b>Immagine</b>	<b>Fonte</b>
pag. 82	Autori
pag. 83	Autori
pag. 84	Autori
pag. 85	Autori
pag. 86	Autori
pag. 87	Autori
pag. 88	Autori
pag. 89	Progettata utilizzando le risorse di Freepik.com
pag. 90	Progettata utilizzando le risorse di Freepik.com
pag. 91	Progettata utilizzando le risorse di Freepik.com
pag. 94	Autori
pag. 96	Autori
pag. 98	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41
pag. 101	d.m. 18 ottobre 2019 - G.U. n. 256 del 31 ottobre 2019 - S.O. n. 41
pag. 105	<a href="https://benedict-and-riva.com/en/products/facades/">https://benedict-and-riva.com/en/products/facades/</a>
pag. 106	Autori
pag. 111	Autori
pag. 123	Autori
pag. 125a	Autori
pag. 125b	Autori
pag. 126	Autori
pag. 127	Autori
pag. 128	Autori
pag. 131a	Autori
pag. 131b	Autori
pag. 132a	Autori
pag. 132b	Autori
pag. 133a	Autori
pag. 133b	Autori
pag. 134a	Autori
pag. 134b	Autori
pag. 135a	Autori
pag. 135b	Autori
pag. 136a	Autori

<b>Immagine</b>	<b>Fonte</b>
pag. 136b	Autori
pag. 137a	Autori
pag. 137b	Autori
pag. 138a	Autori
pag. 138b	Autori
pag. 139	Autori
pag. 140	Autori
pag. 141	Autori







