



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
THE MILAN ORDER OF ENGINEERS



ANRA

Associazione Nazionale dei Risk Manager
e Responsabili Assicurazioni Aziendali



UNICMI



FIRE SAFETY ACADEMY

3 GIUGNO 2019

Officine del Volo
Via Mecenate 76/5
20138 Milano



FIRE SAFETY
ACADEMY



Il comportamento al fuoco delle facciate continue

Prof. Ing. Paolo Rigone
Direttore Tecnico UNICMI

1. Interazione tra incendio e curtain walling
2. Requisiti di protezione al fuoco secondo la UNI EN 13830 – *Curtain walling Product Standard*
3. Resistenza al fuoco della facciata continua
4. Reazione al fuoco della facciata continua

1. Interazione tra incendio e curtain walling

La protezione al fuoco della facciata

L'attenzione principale è data alla **zona di interfaccia tra solaio** strutturale dell'edificio e **linea interna della facciata**: normalmente un giunto di qualche centimetro d'aria separa la facciata dal solaio per consentire le tolleranze di posa; tale giunto deve correttamente essere progettato e risolto in modo da impedire il passaggio di fiamme e fumo dal piano inferiore a quello superiore, dovuto al tiraggio indotto dall'effetto camino.*

La **dimensione dell'intercapedine varia in funzione delle modalità secondo le quali viene ancorato nella soletta l'organo di attacco del curtain wall.*

*Se l'ancoraggio è frontale la faccia interna del curtain wall dista in media **10 cm** dalla testa del solaio, lo spazio può essere ridotto a **5 cm** nel caso di ancoraggio sopra-solaio, oppure su nicchia sotto-solaio.*



Il ruolo dell'intercapedine nella diffusione dell'incendio

...l'effetto delle cavità tra solaio e rivestimento
...l'effetto dell'impiego di materiali combustibili



I fattori che condizionano lo sviluppo dell'incendio

I fattori che condizionano lo sviluppo dell'incendio dipendono essenzialmente dalle **proprietà dei materiali** coinvolti, in particolare:

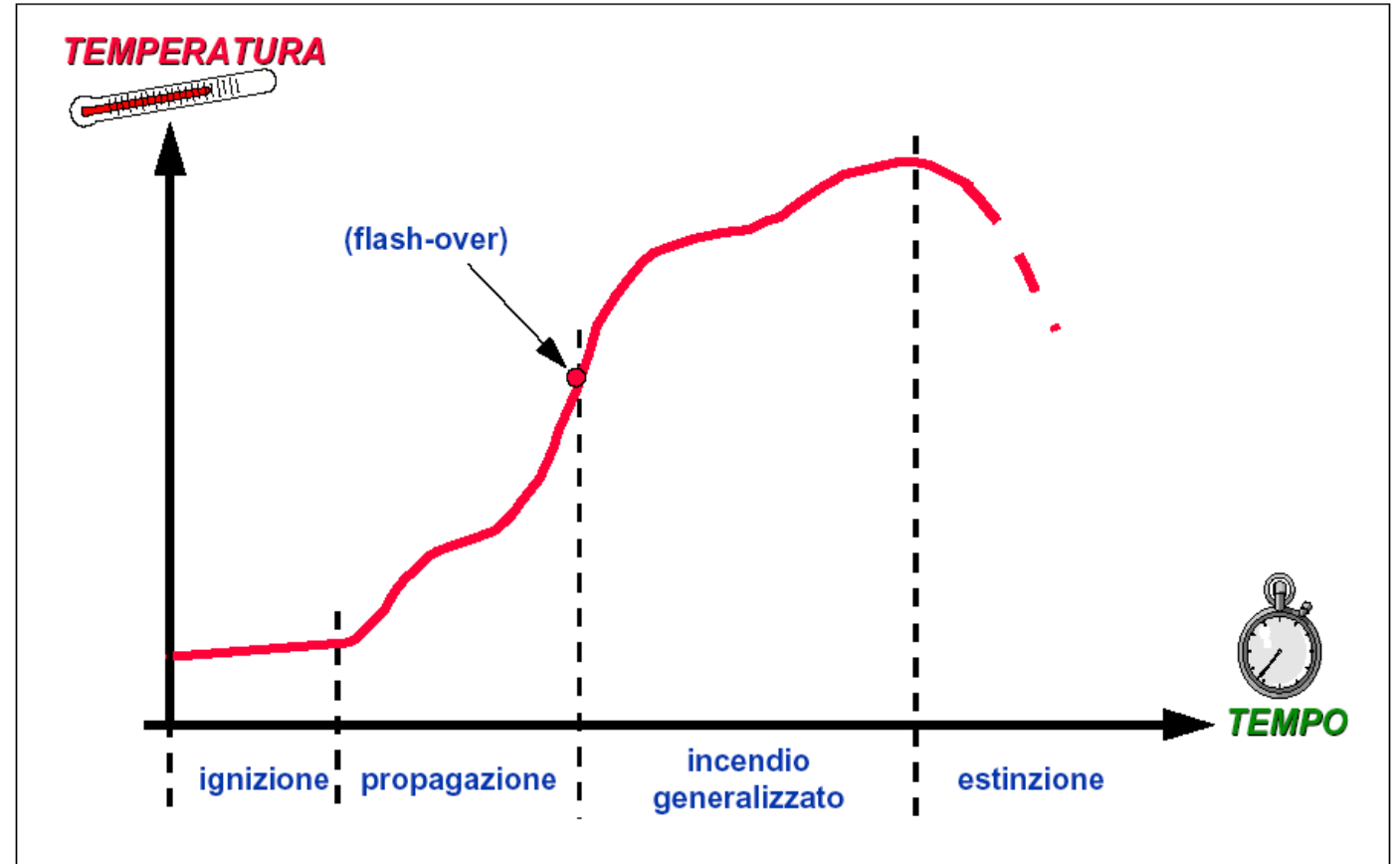
- calore specifico;
- conduttività termica;
- calore latente di fusione o di altri cambiamenti di stato;
- gas e fumi prodotti durante la combustione;
- calore di combustione;
- grado di compattazione del materiale.



L'incendio

Il fenomeno chimico-fisico dell'incendio è solito essere scomposto in quattro distinte fasi:

1. ignizione o di accensione;
2. crescita e sviluppo (propagazione);
3. incendio generalizzato (incendio generalizzato);
4. estinzione.



Le fasi di incendio

La **prima fase** è quella di accensione durante la quale, a causa dell'azione della sorgente d'innesco un materiale combustibile assorbe calore determinando un aumento della propria temperatura la quale sale fino a quando (temperatura di decomposizione) la reazione di combustione può proseguire da sola senza la necessità di apporti energetici esterni. Questo lasso di tempo può avere durata breve, nell'ordine di frazioni di secondo, oppure lunga, anche alcune ore. Il calore generato dalla combustione in parte viene ceduto all'ambiente circostante ed in parte riscalda (per convezione, irraggiamento e conduzione) gli oggetti adiacenti alzandone la temperatura fino a raggiungere eventualmente la temperatura di autoaccensione (ignizione indiretta).

Le fasi di incendio

La **seconda fase** coincide con la propagazione del fuoco agli altri oggetti adiacenti l'innesco dell'incendio. Se il calore fornito non è sufficiente ad innalzare la loro temperatura fino al valore che coincide con la fase gassosa della combustione (emissione di gas infiammabili) ne consegue una graduale estinzione dell'incendio; al contrario, se il bilancio energetico è positivo, l'incendio si sviluppa a velocità crescente. Di fondamentale importanza è il ruolo della ventilazione per l'apporto di comburente, infatti, in seguito alla rottura dei vetri o per l' "effetto camino" la combustione si sviluppa rapidamente, raggiungendo e superando i 500°C, temperatura alla quale avviene il fenomeno di flash-over.

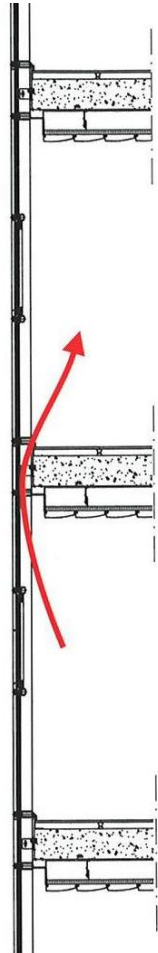
Le fasi di incendio

La **terza fase** di un incendio inizia con il fenomeno del flash-over che determina un rapido aumento della temperatura dell'aria oltre i 600 °C e causando quindi l'autoaccensione di quasi tutti i materiali combustibili presenti. Durante questa fase la temperatura dell'aria sale ulteriormente, stratificandosi dall'alto verso il basso e raggiungendo e superando i 1000 °C. La potenza termica generata viene ceduta ai gas di combustione per oltre il 60%, mentre un 10% viene irradiato dalle finestre ed il rimanente 30% viene accumulato da parte degli elementi strutturali e di chiusura che delimitano gli spazi.

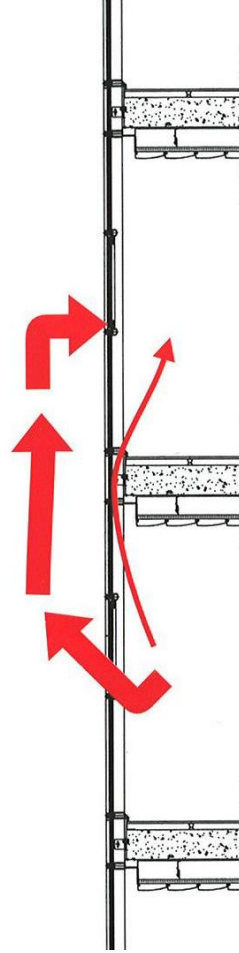
Propagazione dell'incendio e curtain walling

- possibile propagazione verticale dell'incendio **(conduzione e convezione) nell'intercapedine** esistente tra piano della facciata e bordo dei solai, imputabile ad un'insufficiente resistenza al fuoco ed a una scarsa tenuta al fumo in corrispondenza dell'attacco della struttura del curtain walling alle partizioni orizzontali dell'edificio;
- possibile propagazione verticale dell'incendio per **conduzione** all'interno del **pannello sottofinestra** della facciata;
- possibile propagazione verticale del fuoco, **esternamente al piano della facciata**, dovuta al fatto che le fiamme, una volta avvenuta la **rottura dei vetri** per l'aumento della temperatura, si propagano dal piano dove è situato il focolaio iniziale a quelli successivi risalendo lungo l'esterno del curtain walling per poi rientrare all'interno dell'edificio a distanza di uno o più interpiani.

Propagazione dell'incendio e curtain walling



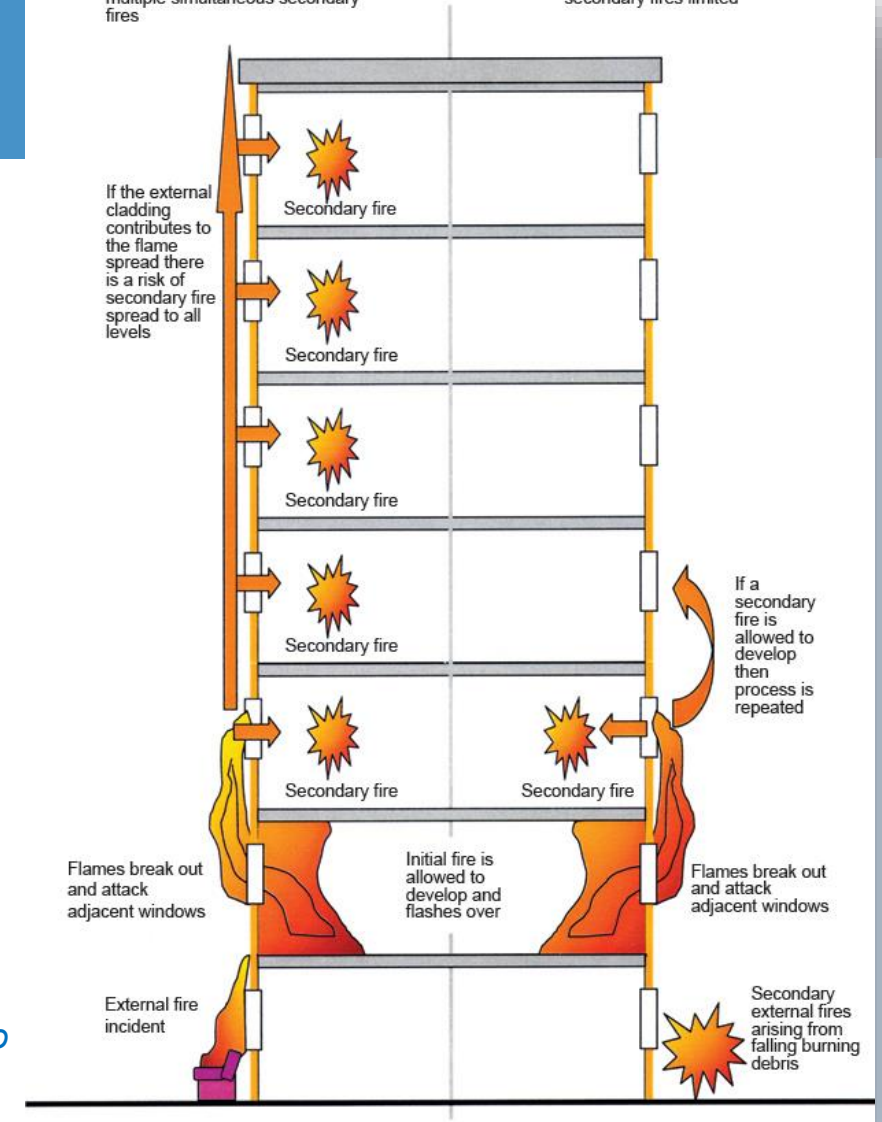
Propagazione attraverso il giunto del solaio



Propagazione attraverso l'esterno per rottura delle vetrazioni

Rapid Fire Spread
Cladding system contributes to flame spread resulting in risk of multiple simultaneous secondary fires

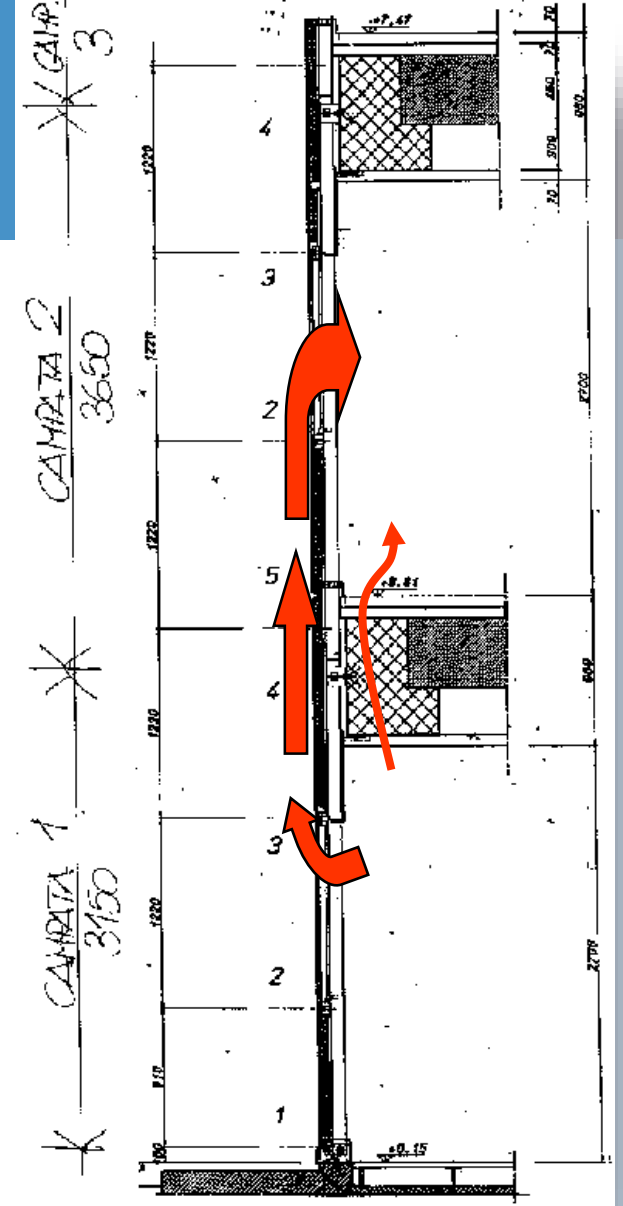
Restricted Fire Spread
Cladding system does not contribute to flame spread. Risk of secondary fires limited



Interazione tra incendio e curtain walling

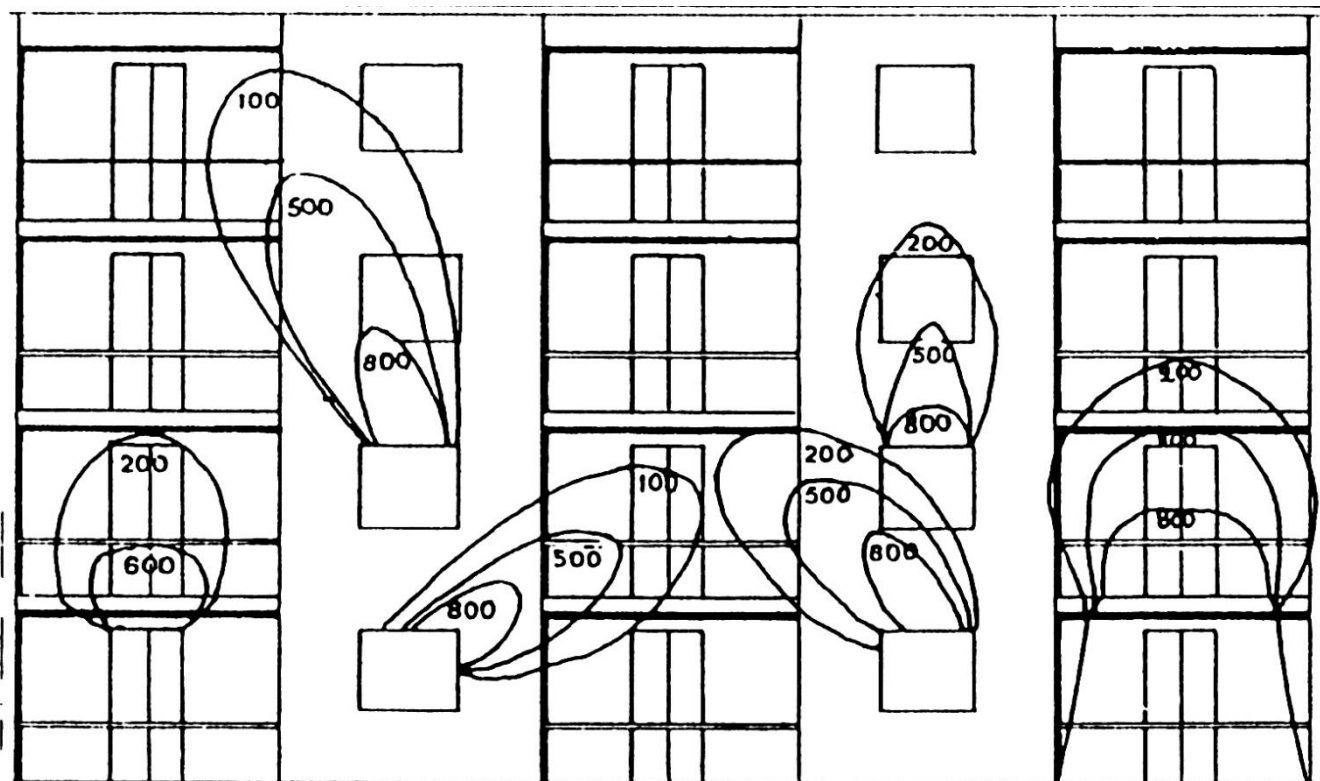
Da un punto di vista esigenziale-prestazionale le **funzioni della facciata continua** in relazione alla propagazione dell'incendio sono molto articolate ed in particolare il ruolo del *curtain walling* può essere riconducibile alle seguenti caratteristiche funzionali:

- essere luogo di **attacco esterno**;
- essere luogo di **attacco interno**;
- essere **tramite di propagazione** dell'incendio;
- costituire **elemento di alimentazione** della combustione;
- essere **via di accesso per i soccorsi** e per gli strumenti necessari allo spegnimento dell'incendio;
- costituire una eventuale **via di evacuazione**;
- essere un **barriera protettiva per gli utenti** e gli ambienti dell'edificio nel caso di attacco esterno.

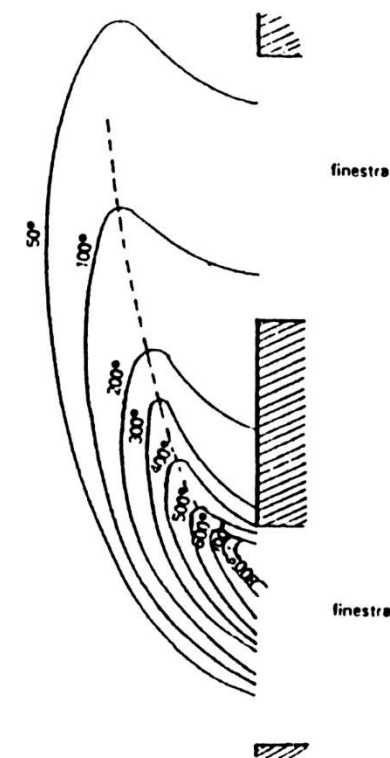


Interazione tra incendio e curtain walling

La **forma** e le **dimensioni** delle partiture trasparenti sono determinanti nei confronti sia dell'altezza sia della temperatura che le fiamme che fuoriescono possono raggiungere.



prospetto



sezione

Interazione tra incendio e curtain walling

Nonostante la **temperatura** possa in prossimità della facciata raggiungere e superare i **300 °C**, (temperatura prossima a quella di fusione dell'alluminio) l'analisi dei danni riportati ha mostrato che, anche negli incendi più severi, **difficilmente l'orditura principale del curtain walling**, sebbene fortemente deformata, **viene compromessa fino al punto di collassare**.

La maggior parte dei **vetri** va incontro a **rottura dopo circa 10 - 15 minuti** dalla propagazione dell'incendio, per via del calore sviluppatosi all'interno degli ambienti e per la sovrappressione dovuta all'effetto camino. La rottura delle lastre di vetro permette il **passaggio continuo di aria relativamente fredda** in grado di abbassare anche di un centinaio di gradi la temperatura in prossimità della facciata.



Interazione tra incendio e curtain walling

Indipendentemente da questo comportamento al fuoco tutto sommato “positivo”, in alcuni Paesi europei le normative antincendio prevedono che i **pannelli sottofinestra** debbano essere **vincolati alla struttura orizzontale** dell’edificio oltre che all’orditura del curtain wall in quanto un loro distacco non garantirebbe più gli occupanti dal rischio di eventuali cadute e limiterebbe fortemente la possibilità di accosto delle scale mobili da parte delle squadre di vigili del fuoco.

Inoltre i **pannelli spandrel** svolgono una funzione “parafiamma” limitando la propagazione delle fiamme e dei fumi da un piano a quello successivo e pertanto devono avere **un’altezza minima di protezione** (variabile tra 100 ed 120 cm. a secondo dei Paesi).

Il **punto più debole** del curtain wall ai fini della compartimentazione degli ambienti rimane comunque la propagazione dell’incendio attraverso lo **spazio esistente tra testa del solaio e piano della facciata**.

2. Requisiti di protezione al fuoco secondo la UNI EN 13830 – Curtain walling Product Standard

I requisiti stabiliti dalla norma di prodotto – Requisito 1

▪ **Propagazione del fuoco (ai piani superiori)**

Capacità della facciata continua di limitare la propagazione di fuoco e fumo a parti adiacenti della stessa costruzione per un certo periodo di tempo in relazione a una o più delle caratteristiche sotto elencate.

La facciata continua deve limitare la trasmissione del fuoco e fumo attraverso i vuoti tra solaio e facciata.

I test sulla facciata continua per l'attestazione del requisito:

- test in *configurazione parziale* della facciata secondo **UNI EN 1364-4**.

I risultati devono essere classificati secondo **UNI EN 13501-2**.

I requisiti stabiliti dalla norma di prodotto – Requisito 2

▪ **Resistenza al fuoco**

E' la misura della capacità di un elemento da costruzione di conservare per un determinato tempo, sotto l'azione di un incendio standard (curva standardizzata temperatura-tempo), una o più prestazioni di natura statica, termica o chimico-fisica, che sono individuate, in conformità alla UNI EN 13501-2, dal Decreto 9 marzo 2007 e dal Decreto 16 Febbraio 2007.

I **test** sulla facciata continua per l'attestazione del requisito:

- Test in *configurazione completa* della facciata in accordo alla **UNI EN 1364-3**;
- Test in *configurazione parziale* in accordo alla **UNI EN 1364-4**.

I **risultati** devono essere espressi in accordo alla EN 13501-2.

I requisiti stabiliti dalla norma di prodotto – Requisito 3

- **Reazione al fuoco (dei componenti)**

Risposta dei componenti della facciata continua in merito al contributo all'incendio a cui sono esposti, sotto specifiche condizioni.

Il **test** di reazione al fuoco deve essere fatto in conformità ai metodi previsti per la classe di reazione al fuoco stabilita dal produttore, mentre i **risultati** devono essere classificati secondo **UNI EN 13501-1**.

I materiali appartenenti alla classe A1 senza ulteriori test sono elencati nella EC Decisione 96/603/EC.

3. Resistenza al fuoco della facciata continua

Resistenza al fuoco: EN 13501-2

- **E = integrità**: attitudine di un elemento a non lasciar passare né produrre – quando è sottoposto all'azione del fuoco su un lato – fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto;
- **I = isolamento**: attitudine di un elemento a limitare la trasmissione del calore;
- **W = irraggiamento**: attitudine di un elemento a limitare la propagazione dell'incendio per irraggiamento.

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

- “i→o” elemento sottoposto a prova da interno a esterno
- “o→i” elemento sottoposto a prova da esterno a interno
- “o↔i” elemento sottoposto a prova da entrambi i lati

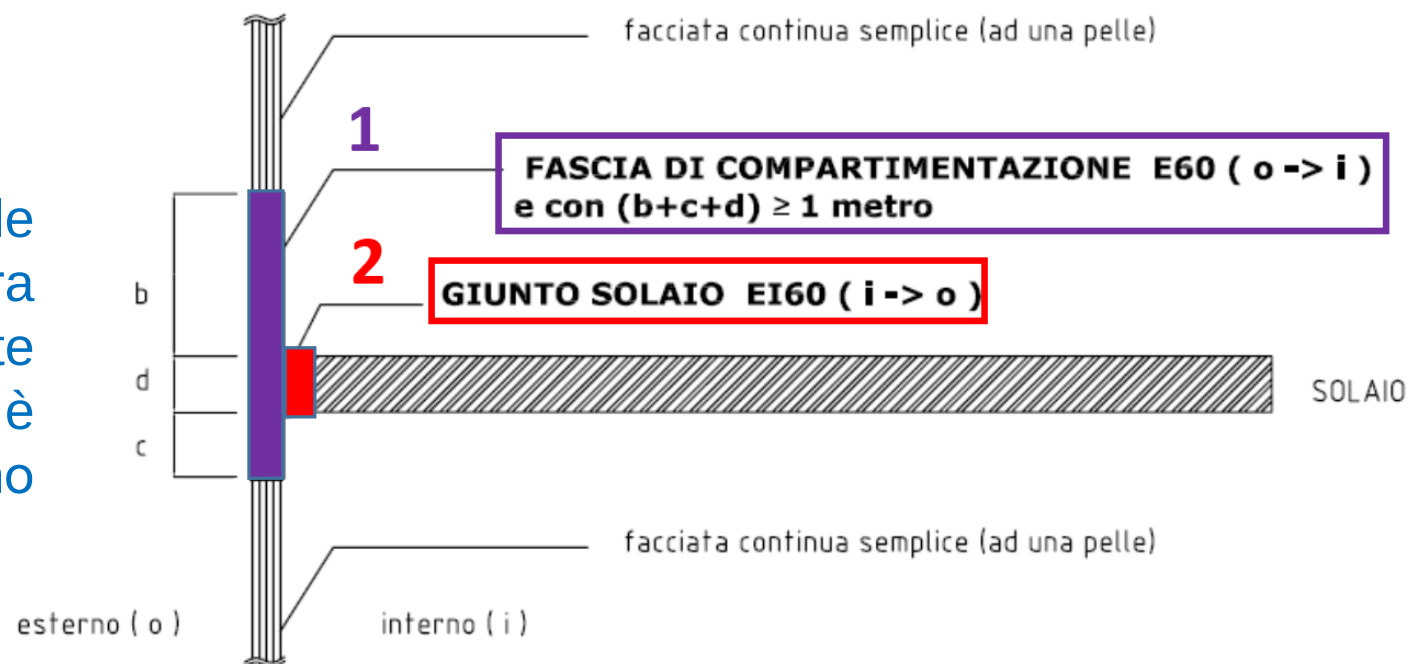
Resistenza al fuoco: circ. VVF 5043

Prescrizione 1.

La facciata continua presenta, a ciascun piano, **una fascia di 1 metro di altezza** ($b+c+d$) con funzione di compartimentazione e composta da uno o più elementi di classe di resistenza al fuoco **E60-ef** ($o \rightarrow i$), dove «ef» significa “fuoco esterno” and ($o \rightarrow i$) è l'esposizione al fuoco dall'interno all'esterno.

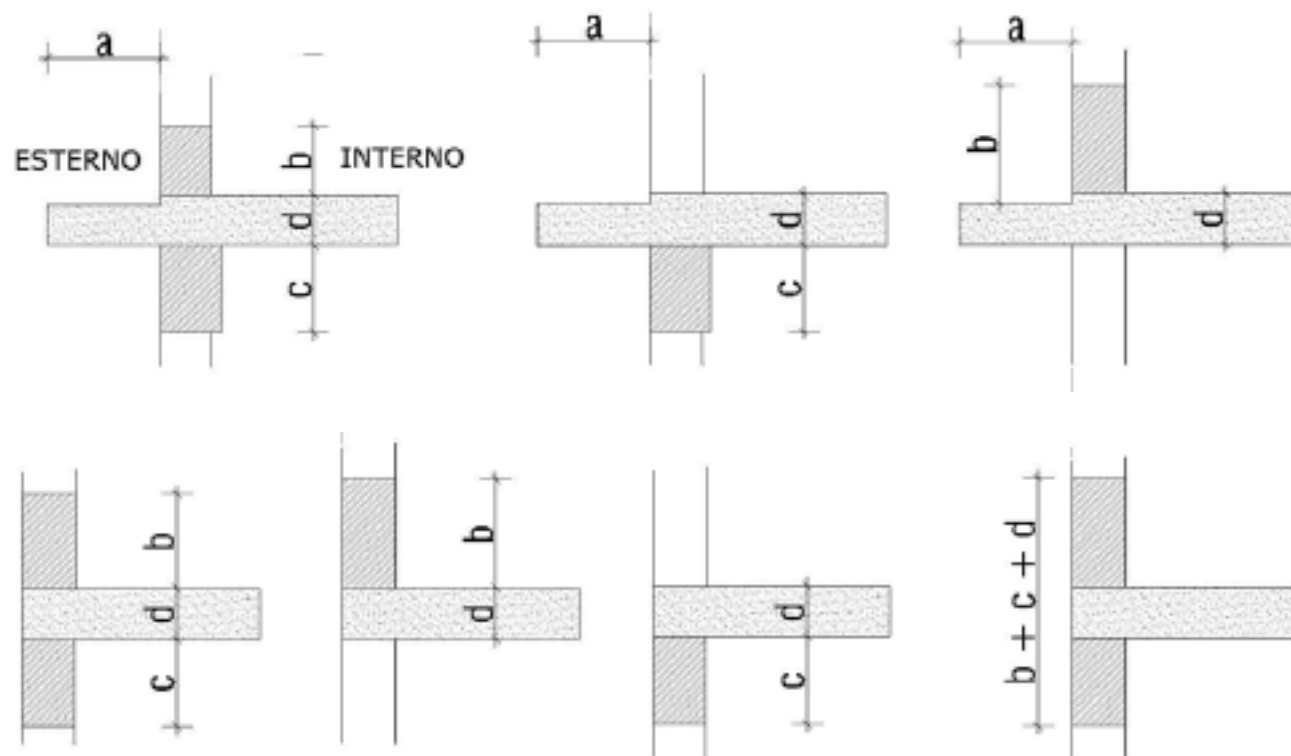
Prescrizione 2.

Il giunto tra facciata e solaio strutturale (separazione verticale tra compartimenti) è classificato resistente al fuoco **EI60** ($i \rightarrow o$), dove ($o \rightarrow i$) è l'esposizione al fuoco dall'interno all'esterno.



Resistenza al fuoco: circ. VVF 5043

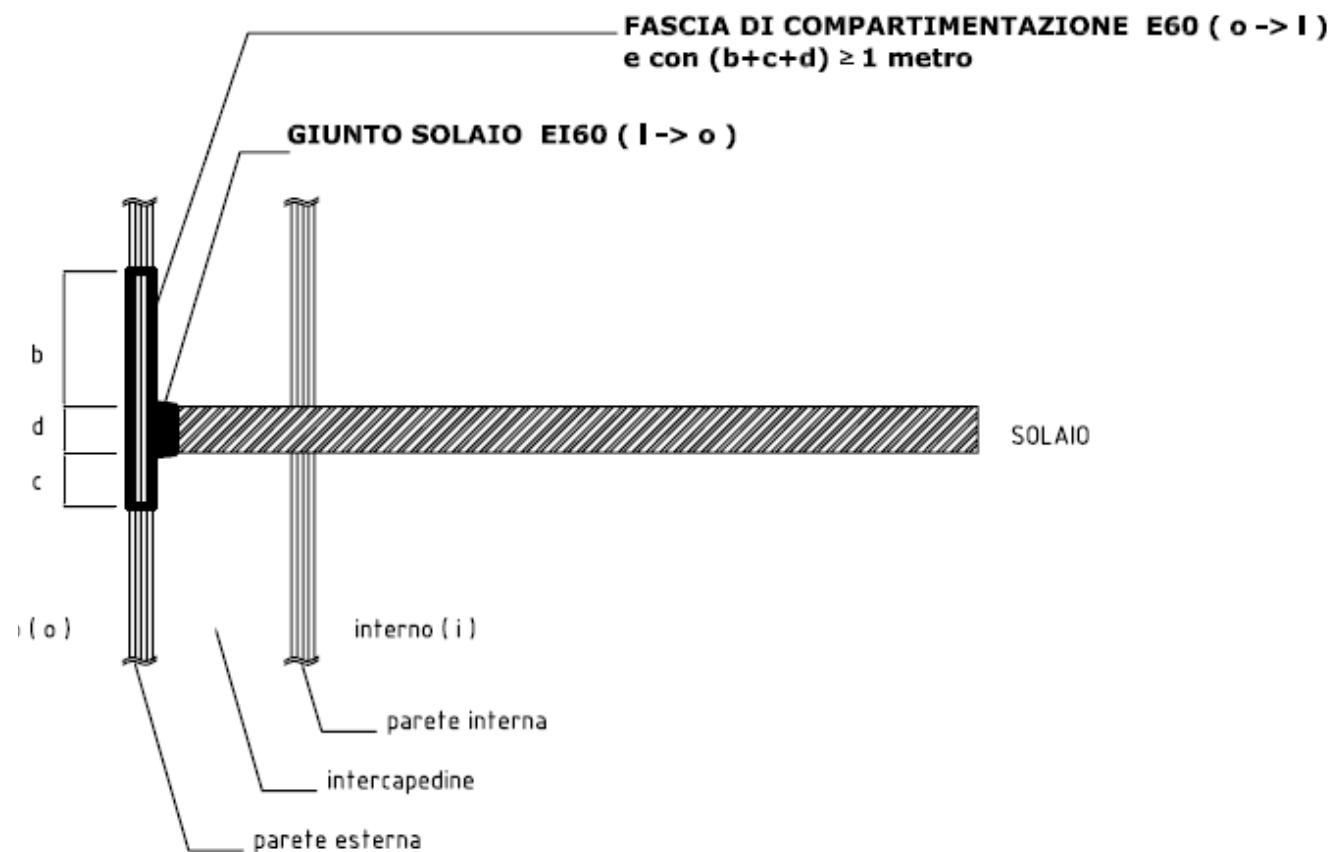
Prescrizione 1. legata alla geometria della facciata



Resistenza al fuoco: circ. VVF 5043

Prescrizione 1.

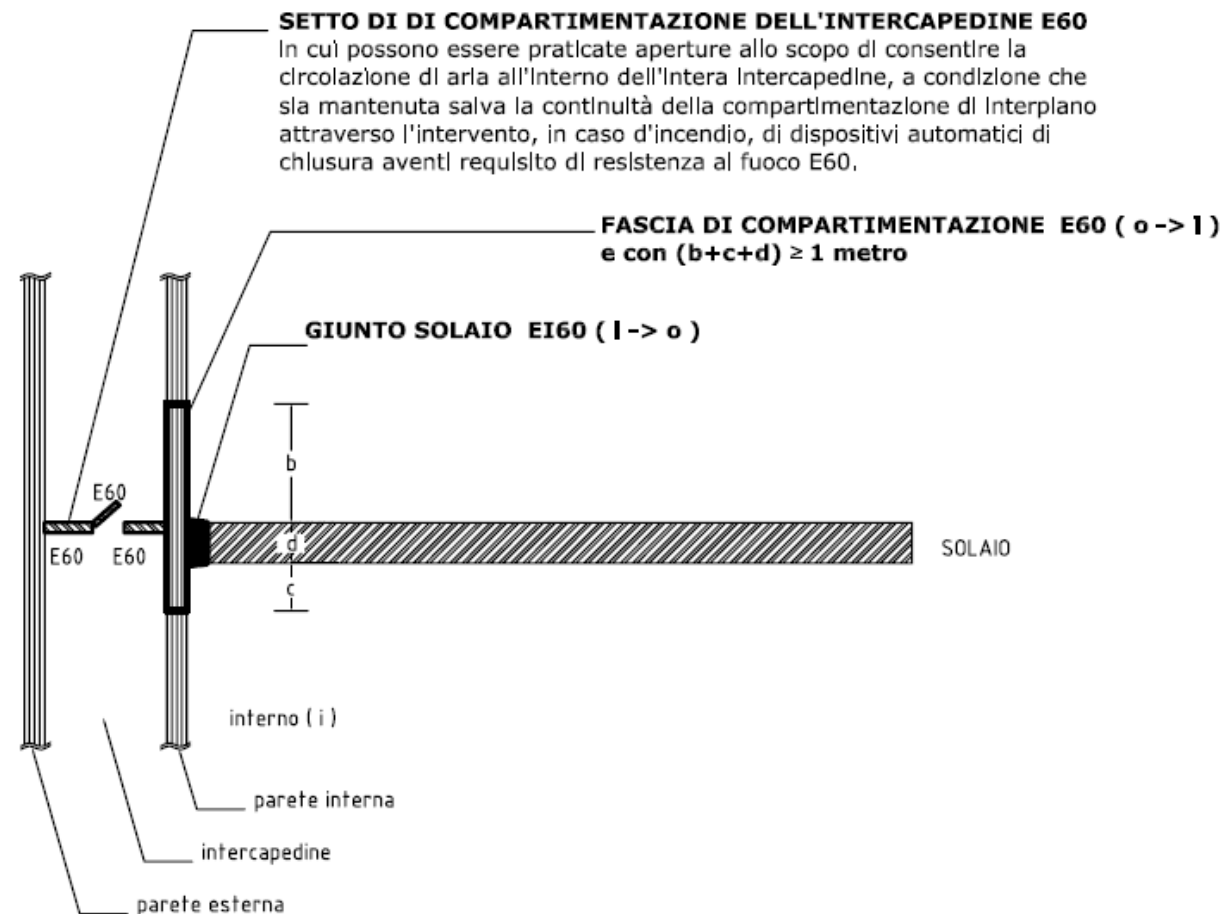
linee speciali per facciate a doppia pelle



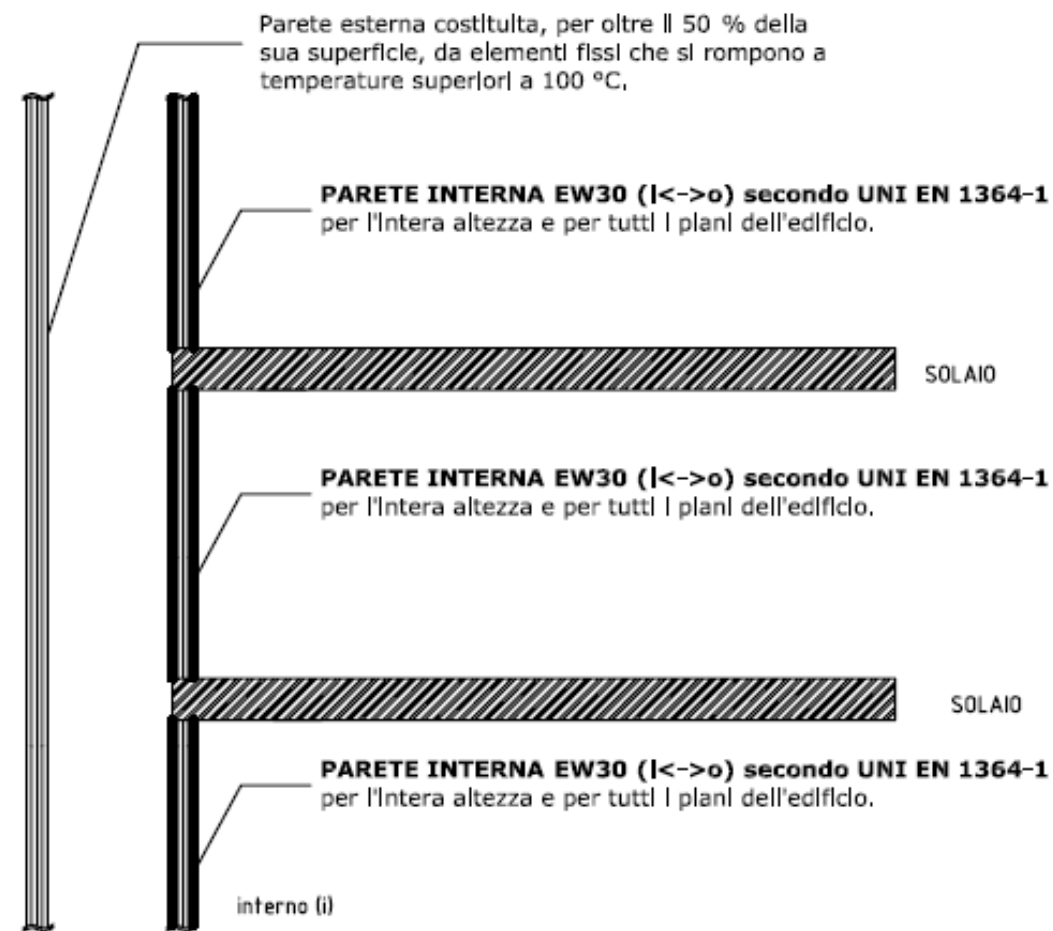
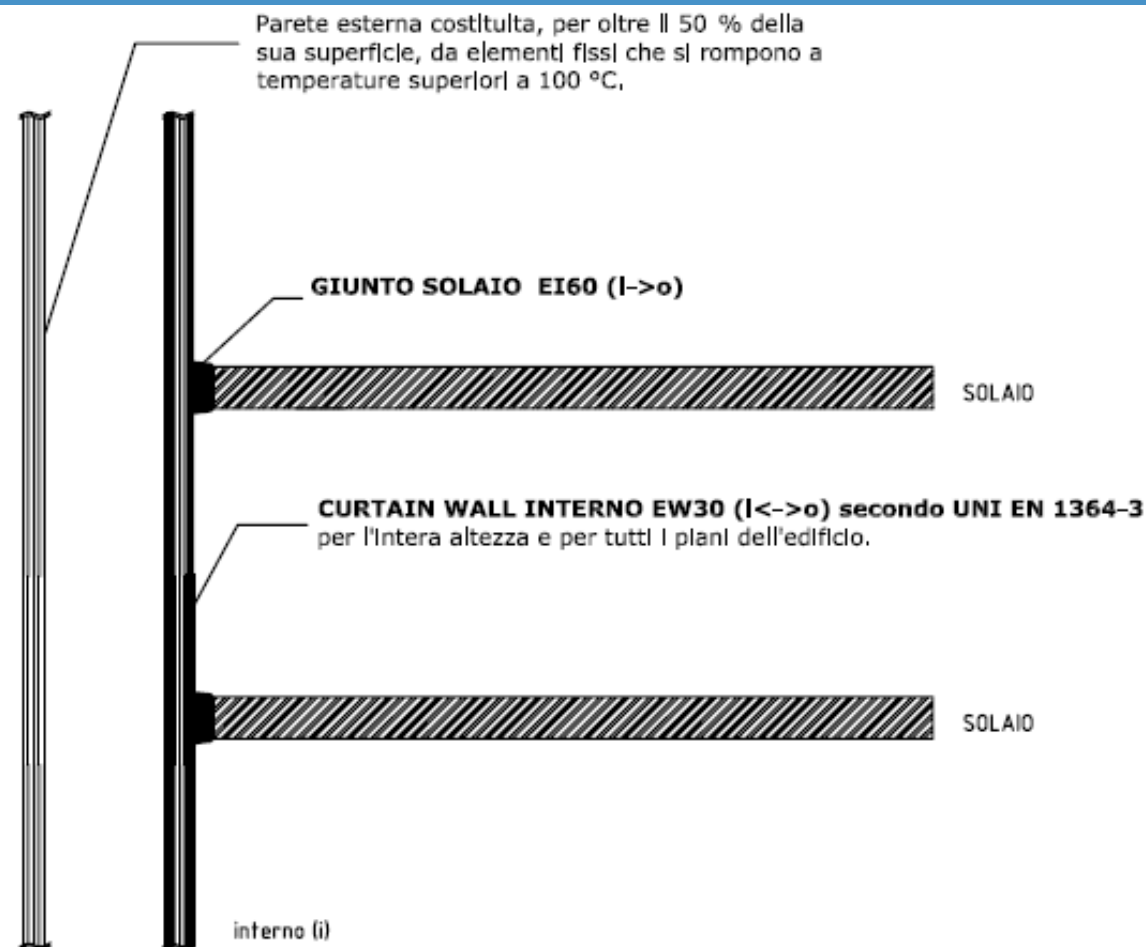
Resistenza al fuoco: circ. VVF 5043

Prescrizione 1.

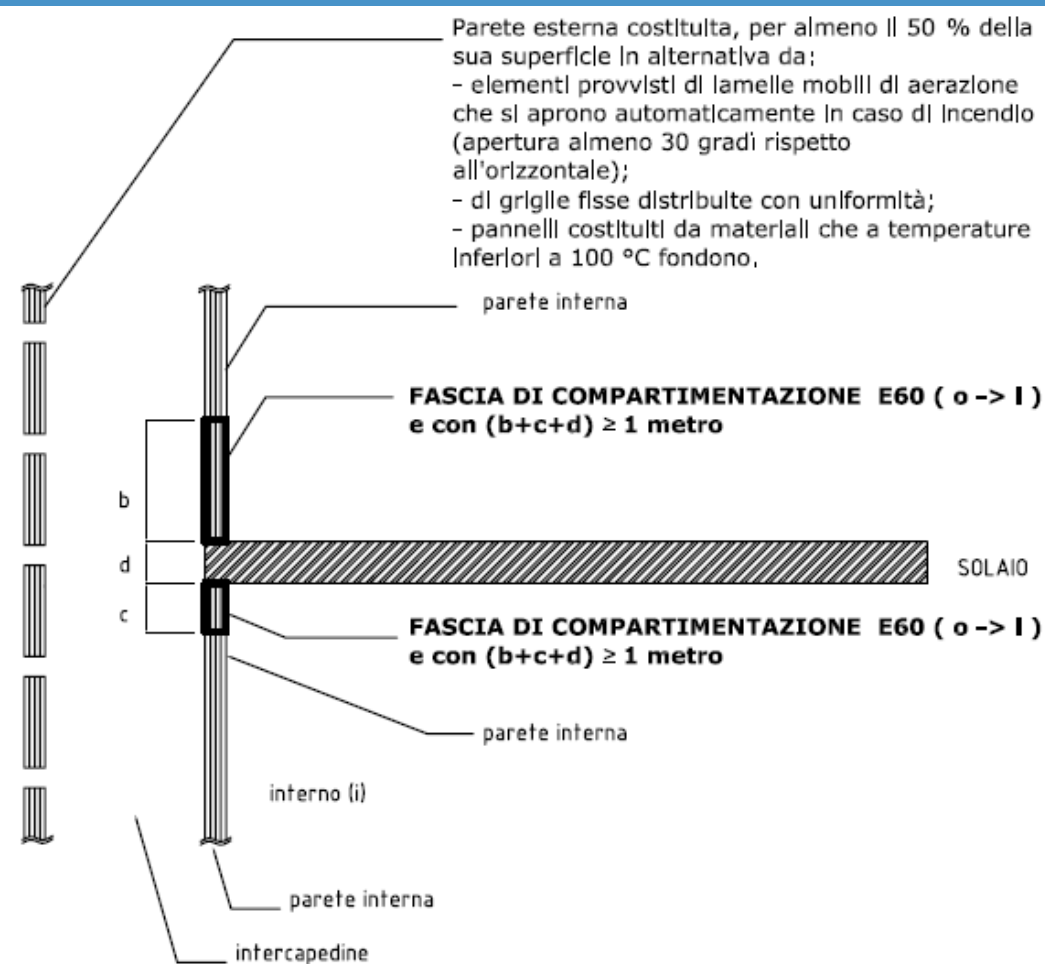
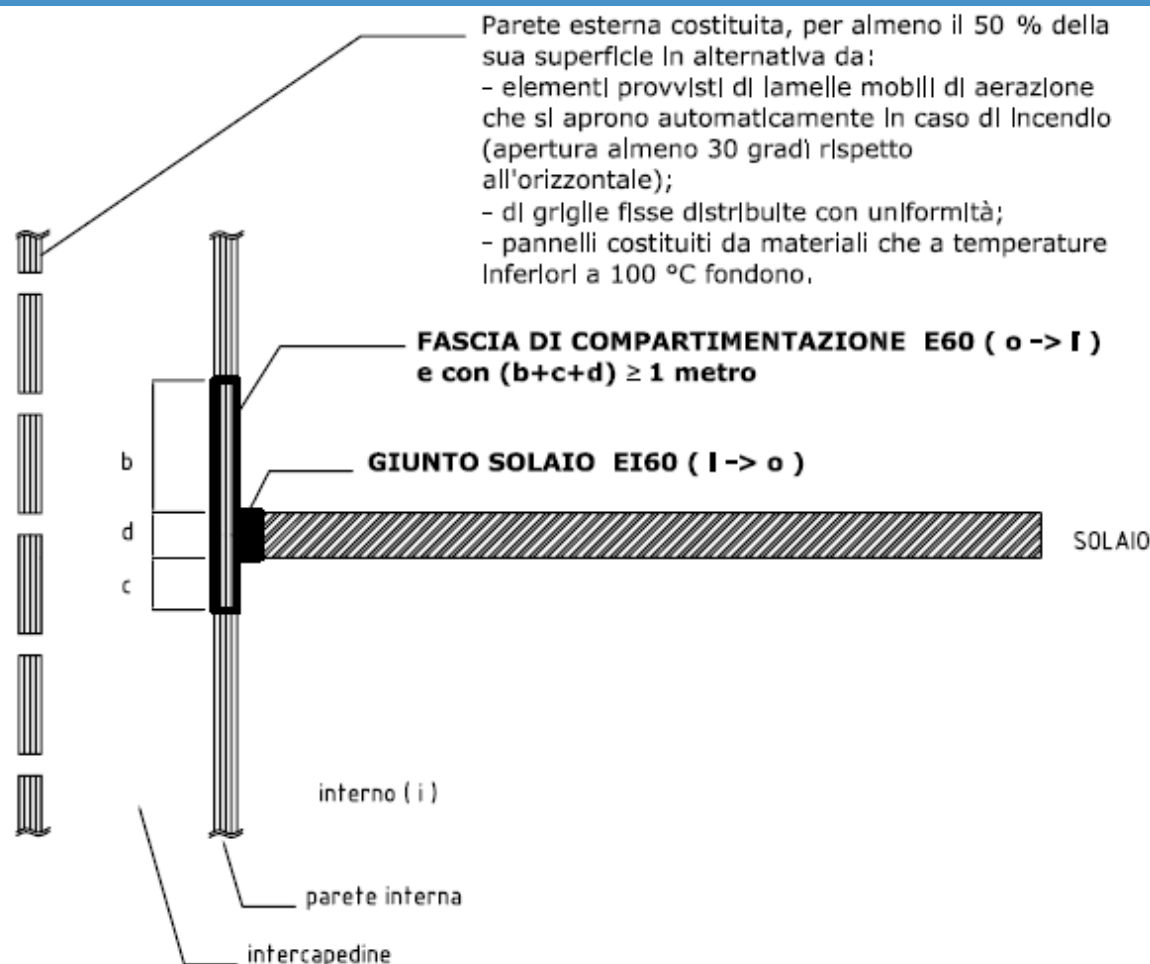
linee speciali per facciate a doppia pelle



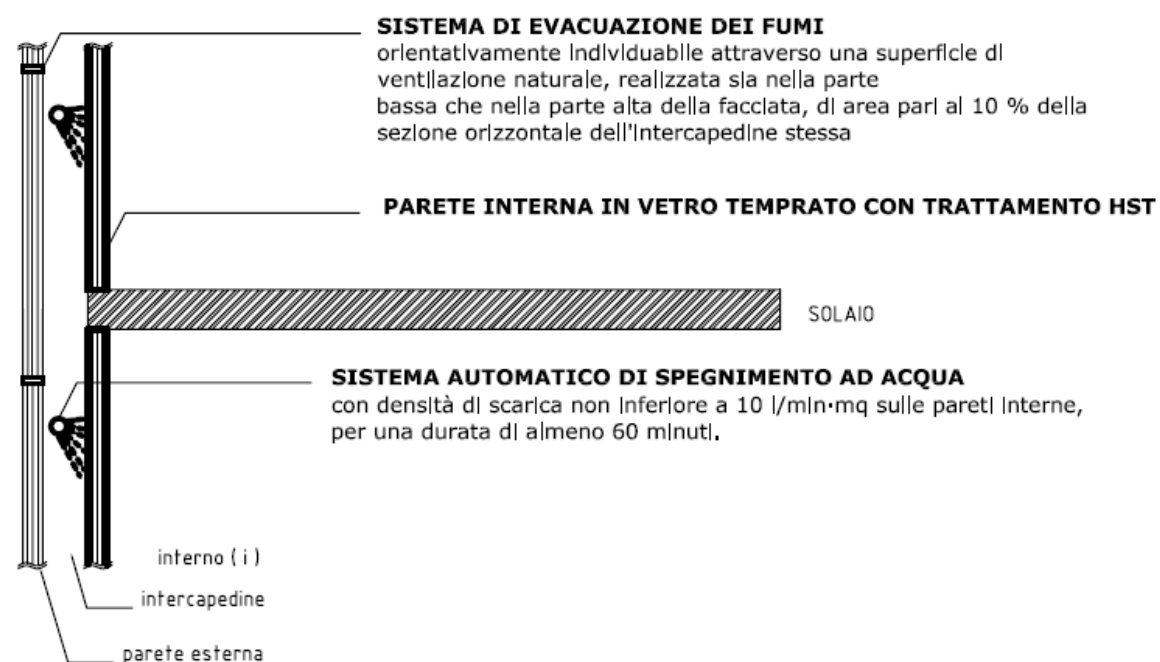
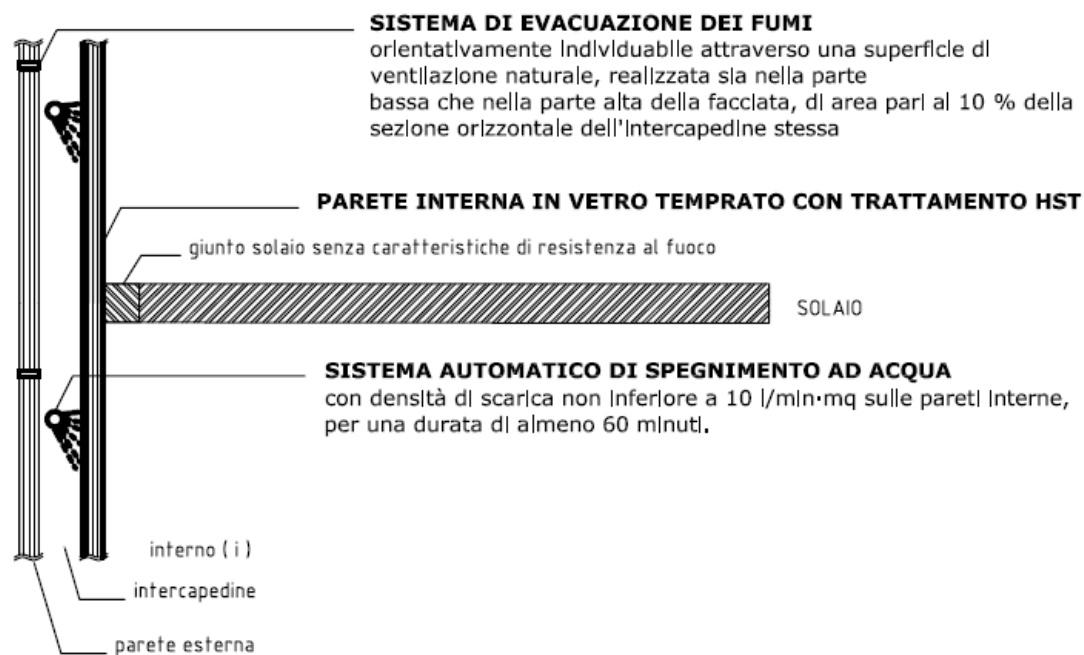
Resistenza al fuoco: circ. VVF 5043



Resistenza al fuoco: circ. VVF 5043

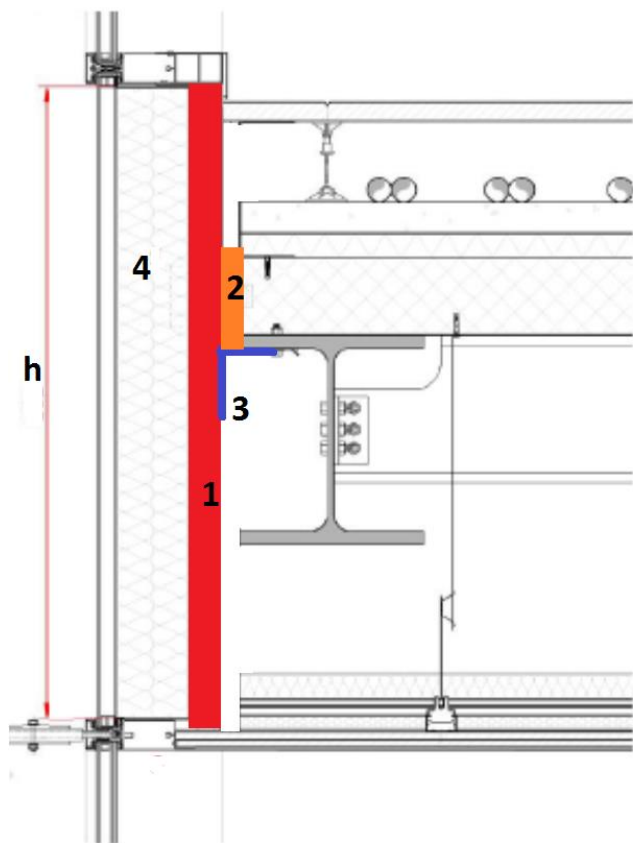


Resistenza al fuoco: circ. VVF 5043

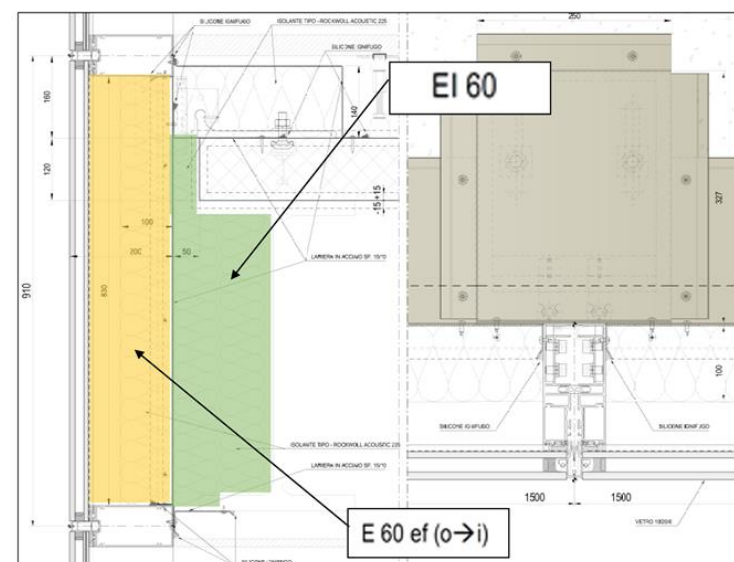
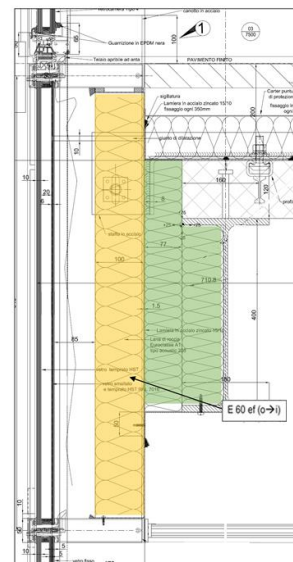


Resistenza al fuoco: circ. VVF 5043

Prescrizione 2. Dettaglio solaio-facciata

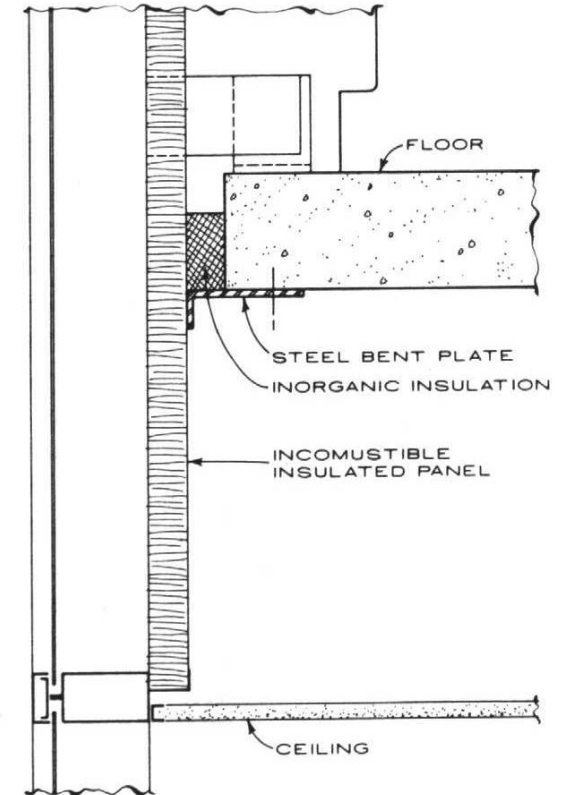
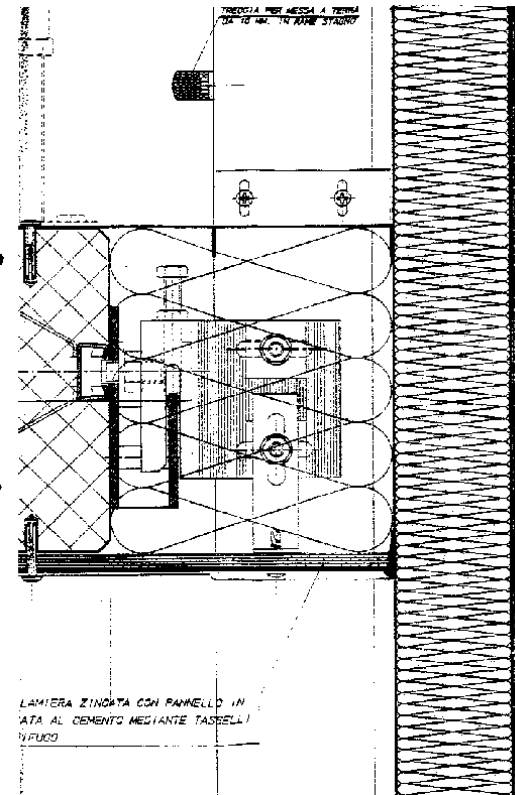


- 1 Pannello resistente al fuoco (calcio-silicato)
- 2 Materiale isolante nello spazio tra solaio e facciata, in corrispondenza della staffa di fissaggio della facciata
- 3 Lamiera in acciaio con sigillatura termoespandente
- 4 Pannello spandrel (isolamento termico)
- 5 $h > 100 \text{ cm}$



Resistenza al fuoco: criteri progettuali

- ✓ Setto tagliafuoco in materiale incombustibile ed ancorato all'intradosso della soletta stessa e non alla facciata continua
- ✓ Impiego di materiali incombustibili: lana di roccia, lana di vetro, espansi rigidi a base di resine poliuretaniche
- ✓ Attenzione deve essere data alla protezione del lato interno del pannello sottofinestra



NOTA: Le prescrizioni della circ. 5043 non sono necessarie se l'altezza antincendio dell'edificio è minore di 12 metri o se la facciata è dotata di sistema di estinzione automatizzato (sprinkler).

Resistenza al fuoco: i test sulla facciata continua

Configurazione parziale:

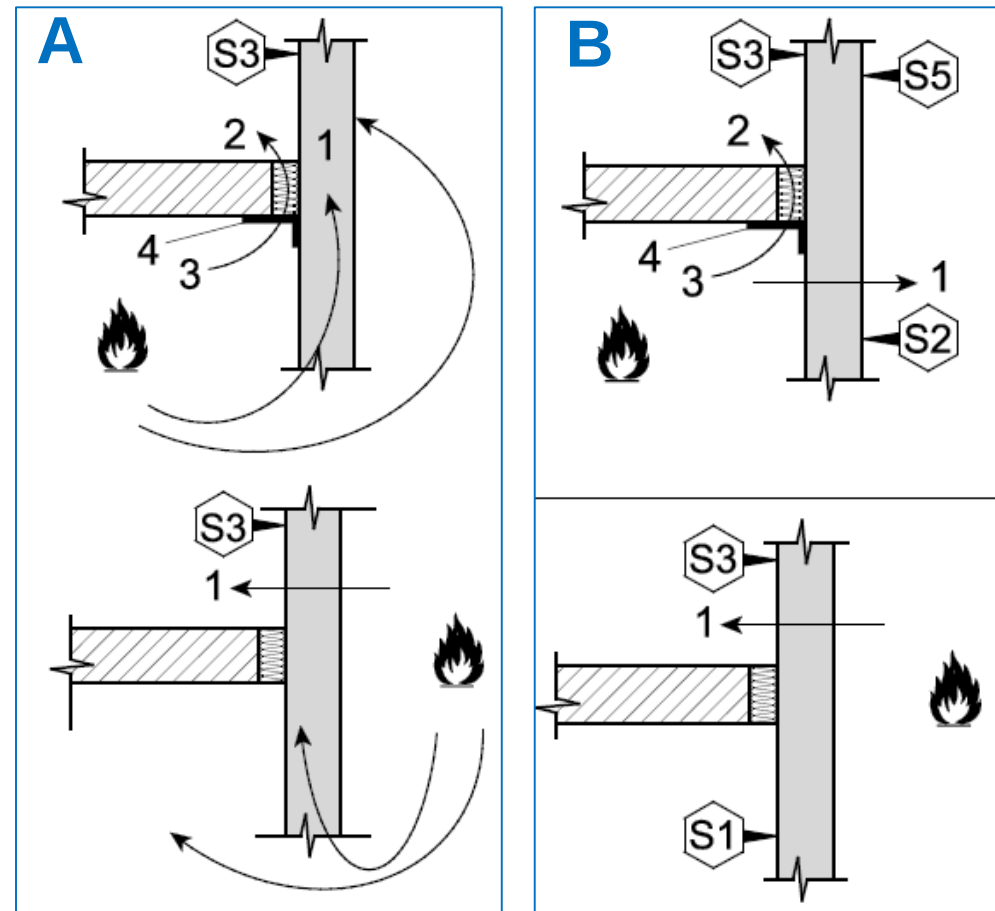
UNI EN 1364-4 Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 4: Curtain walling - **Part configuration**

Curtain walling Tipo A:

curtain walling without fire resistant glazing outside the spandrel area – fire resistant only in the spandrel area

Curtain walling Tipo B:

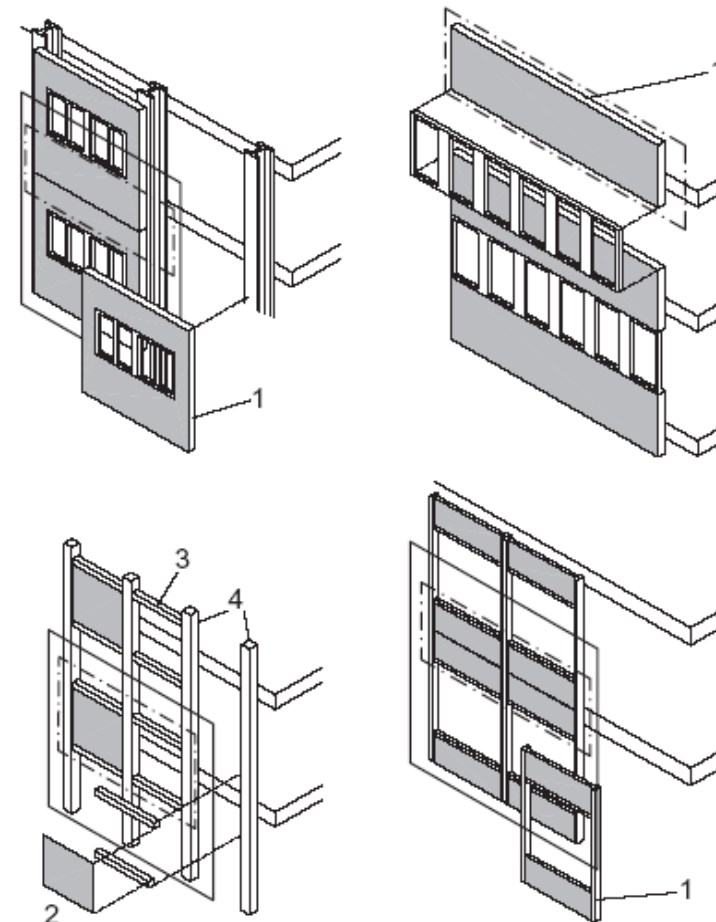
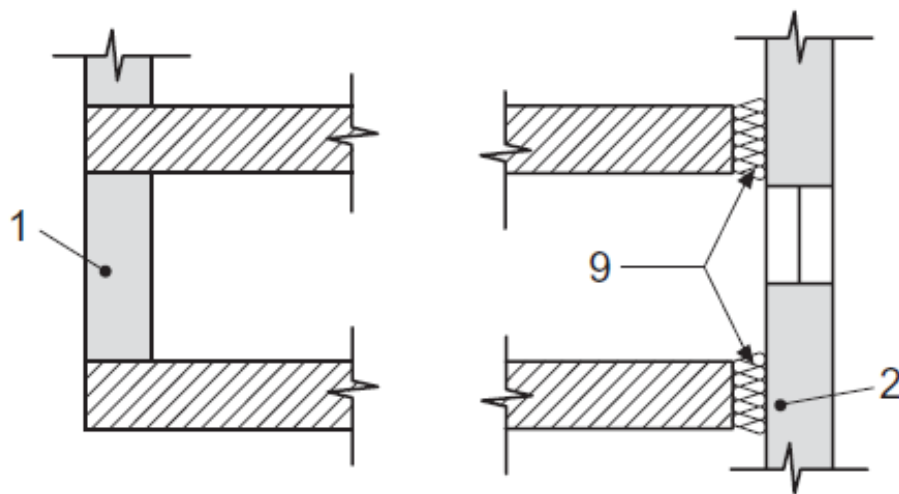
curtain walling with fire resistant glazing outside the spandrel area - fully fire resistant curtain walling



Resistenza al fuoco: i test sulla facciata continua

Assemblaggio completo:

UNI EN 1364-3 Fire resistance tests for non-loadbearing elements
Part 3: Curtain walling - Full configuration (**complete assembly**)



4. Reazione al fuoco della facciata continua

Reazione al fuoco

Approcci differenti nel testare e certificare i materiali a seconda dei paesi:

- ruolo primario dei **test** sui materiali e componenti;
- le prescrizioni presenti nelle **norme tecniche** dei diversi paesi europei molto spesso **non sono equivalenti tra loro**;
- «**non combustibile**», «**classe 0**», «**classe A1**» non sono la stessa cosa;

Reazione al fuoco – approccio europeo

Esprime il grado di partecipazione al fuoco dell'elemento:

Classi **A1, A2, B, C, D, E, F**

dove:

A1= materiale non combustibile

F= nessuna prestazione

+ *classificazione aggiuntiva*:

s1, s2, s3 per la produzione di fumi

d0, d1, d2 per il gocciolamento di particelle infuocate

Materiali classificati A1 secondo Annesso 2 del DM 10/03/2005:

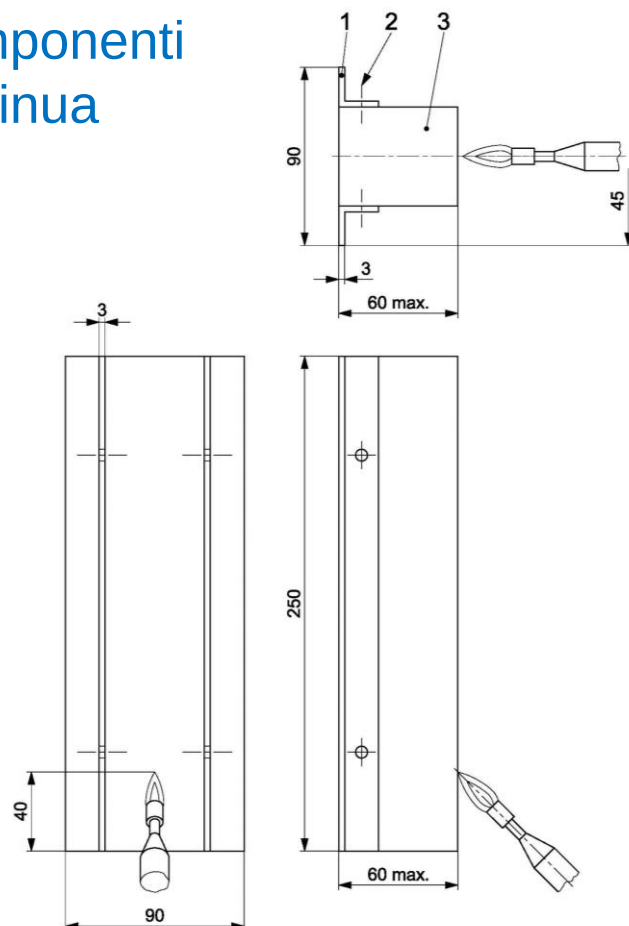
Argilla espansa, perlite espansa, vermiculite, lana di roccia, vetro, calcestruzzo, ferro, acciaio e acciaio inox, rame e sue leghe, zinco e sue leghe, **alluminio e sue leghe**, piombo, gesso.

Reazione al fuoco – EN 13830

Requisiti per i componenti della facciata continua

Key

- 1 steel profile
- 2 fixing screw
- 3 profile



The relevant components are:

- Profile (frame, mullion or transom);
- Infill (for example glazing, panels);
- Sealing between infill and profile (if relevant to national minimum requirements on materials, e.g. Euroclass E);
- Organic coating/top layers (if relevant and not part of the profile or infill testing).

For gaskets and sealings class E according to EN 13501-1 is sufficient even if the whole product has a higher classification.

E.2 EN ISO 11925-2:2010 (Single flame test)

E.2.1 Profile

The test specimen shall be:

- a representative section of a profile (minimum wall thickness of the sight surface, material) of a length of 250 mm. It may be closed at the top and the bottom;
- or
- made of material used for the profiles (sheet: 250 mm x 90 mm x minimum wall thickness of the sight surface).

Maximum depth of test specimen is 60 mm. Weather stripping shall not be included.

The test arrangement is shown in Figure E2. The test has to be performed with surface flame attack only (surface flame exposure). Components with different top layer materials are to be tested on interior and exterior surface.

Reazione al fuoco: circ. VVF 5043

I **prodotti isolanti** presenti in una facciata - se posti a ridosso dei vani finestra e portafinestra per una fascia di larghezza 0,60 metri o se posti alla base di una facciata fino a 3 metri fuori terra – devono avere classe di resistenza al fuoco minima **B-s3-d0**.

Devono poi garantire gli stessi requisiti di reazione al fuoco previsti per gli isolanti (classe di reazione al fuoco B-s3-d0):

- i materiali di tenuta (**guarnizioni, sigillanti**) se occupano complessivamente una superficie maggiore del 10% dell'intera superficie di facciata;
- gli altri componenti se occupano complessivamente una superficie maggiore del 40% dell'intera superficie di facciata.

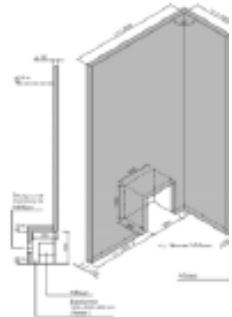
Per gli elementi in **vetro** non viene richiesta alcuna prestazione di reazione al fuoco.

Reazione al fuoco: circ. VVF 5043

Gli **elementi metallici** (staffe, perni, viti, ecc.) che attraversano prodotti isolanti che non rispettano i suddetti requisiti di reazione al fuoco richiesti dalla Circolare devono essere separati dal contatto diretto.

Nel caso in cui le facciate siano composte da materiali fragili che in caso di incendio possono dare luogo a rotture e distacchi di parti non minute la nuova Guida Tecnica raccomanda che gli sbarchi e le vie di esodo sia protetti dalla caduta delle parti di facciata.

Reazione al fuoco – l'approccio tedesco

Germany Switzerland	E DIN 4102-20	Complementary test of the cladding systems (each part of the system has to be low flammable according to DIN 4102-1 or DIN EN 13501-1) for classification as low flammable as a system.	Complementary test of the cladding systems (each part of the system has to be low flammable according to DIN 4102-1 or EN 13501-1) for classification as low flammable as a system.	Medium scale	Two wings (i.e. corner) configuration 
Germany	Technical regulation A 2.2.1.5	Test for ETICS with EPS insulation, shows fire performance of the system when a fire outside the building occurs. A burning waste container is represented by a 200 kg wood crib.	Test for ETICS with EPS insulation, shows fire performance of the system when a fire outside the building occurs. A burning waste container is represented by a 200 kg wood crib.	Full scale	Two wings (i.e. corner) configuration 

Reazione al fuoco – confronto tra norme tecniche EN e BS

British Standard	Transposition to Euroclass
Non-Combustible	A1, or considered as A1 without the need for further testing,
Limited Combustibility	A2 - s3, d2. or better
Class 0	B - s3, d2 or better
Class 1	C - s3, d2 or better
Class 3	D - s3, d2 or better

National class England & Wales	National Standards England & Wales	Euroclass	European Test Standard
Non Combustibility	BS 476 part 4	A1	BS EN 1182 & BS EN 1716
Limited Combustibility	BS 476; part 11	A2	BS EN 1182, or BS EN 1716 & BS EN 13823
0	BS 476; part 6 & BS 476; part 7	B	BS EN 13823 & BS EN 11925- 2
1 & 2	BS 476; part 7	C	BS EN 13823 & BS EN 11925- 2

National class England & Wales	National Standards England & Wales	Euroclass	European Test Standard
3	BS 476; part 7	D	BS EN 13823 & BS EN 11925- 2
4	BS 476; part 7	E	BS EN 11925- 2
Unclassifiable	No Test	F	No performance

Reazione al fuoco – l'approccio americano ASTM/NFPA

ASTM E84/NFPA 255

The flame front distances at every 0.6 m or time intervals not more than 30 s are measured. The data collected are plotted against time to obtain the flame spread time-distance curve. The total area A_T under the curve, ignoring any flame front recession, is used to determine the Flame Spread Index, FSI:

$$\text{FSI} = 0.515 A_T \text{ for } A_T \leq 29.7 \text{ min-m} \quad (1)$$

$$\text{FSI} = 4900/(195 - A_T) \text{ for } A_T > 29.7 \text{ min-m} \quad (2)$$

Standard Building Code [17], Class A materials have an FSI of 25 or less; Class B materials have an FSI ranges from 26 to 75 while for Class C, it varies from 76 to 200. Smoke density for all the three classes should not be greater than 450. These three categories are referred to as Classes I, II and III in both Uniform Building Code [18] and BOCA National Building Code [19].

Grazie per l'attenzione

