SYMPOSIUM DAY

Padova, 22 Novembre 2017

Scopi e possibilità di applicazione della Fire Safety Engineering nella progettazione delle facciate.

Esempi applicativi.

Ing. Samuele Sassi

FSC ENGINEERING SRL
FIRE & STRUCTURE CONSULTING

POLITECNICO MILANO 1863

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

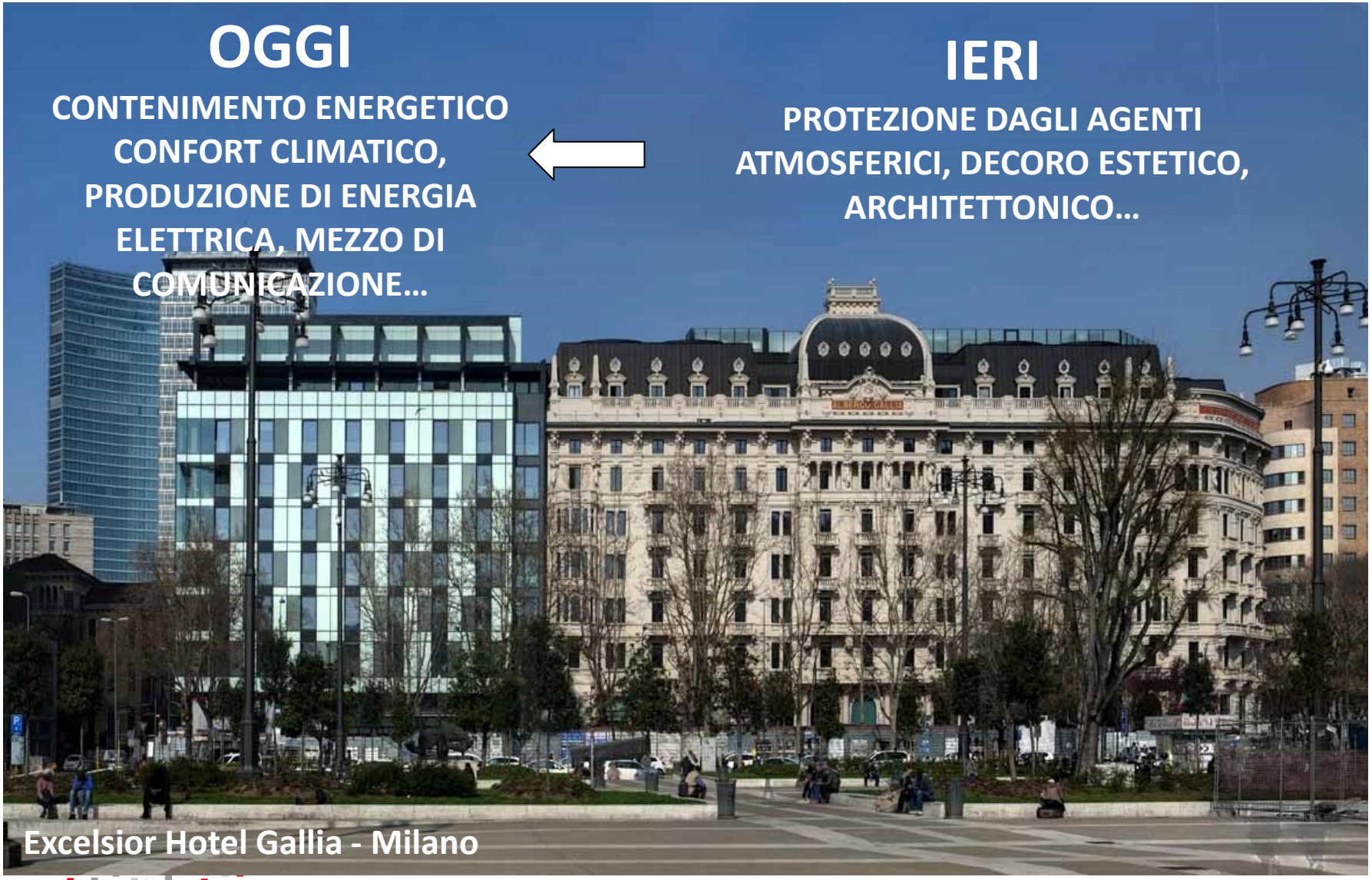
Comando Provinciale VVF Di Padova

OGGI

CONTENIMENTO ENERGETICO CONFORT CLIMATICO, PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA, MEZZO DI COMUNICAZIONE…

IERI

PROTEZIONE DAGLI AGENTI ATMOSFERICI, DECORO ESTETICO, ARCHITETTONICO…

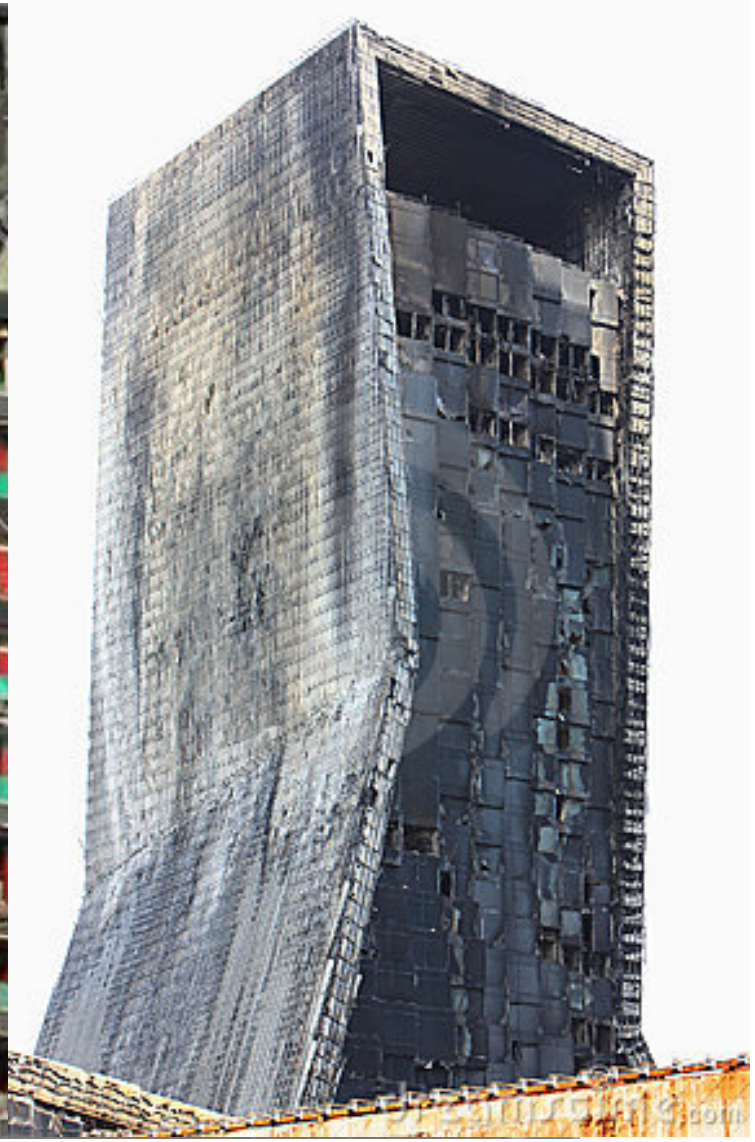


Excelsior Hotel Gallia - Milano

DALLE SERRE AL TERZIARIO

Dagli anni ‘90 la facciata continua ha assunto un ruolo che va oltre quello di semplice chiusura, ma che si pone come una sorta di “filtro selettivo” tra ambiente interno ed esterno, sviluppando soluzioni come la facciata doppia, a recupero del calore, fotovoltaica, fino ad arrivare alle facciate utilizzate come veicolo di comunicazione nei “media building”.

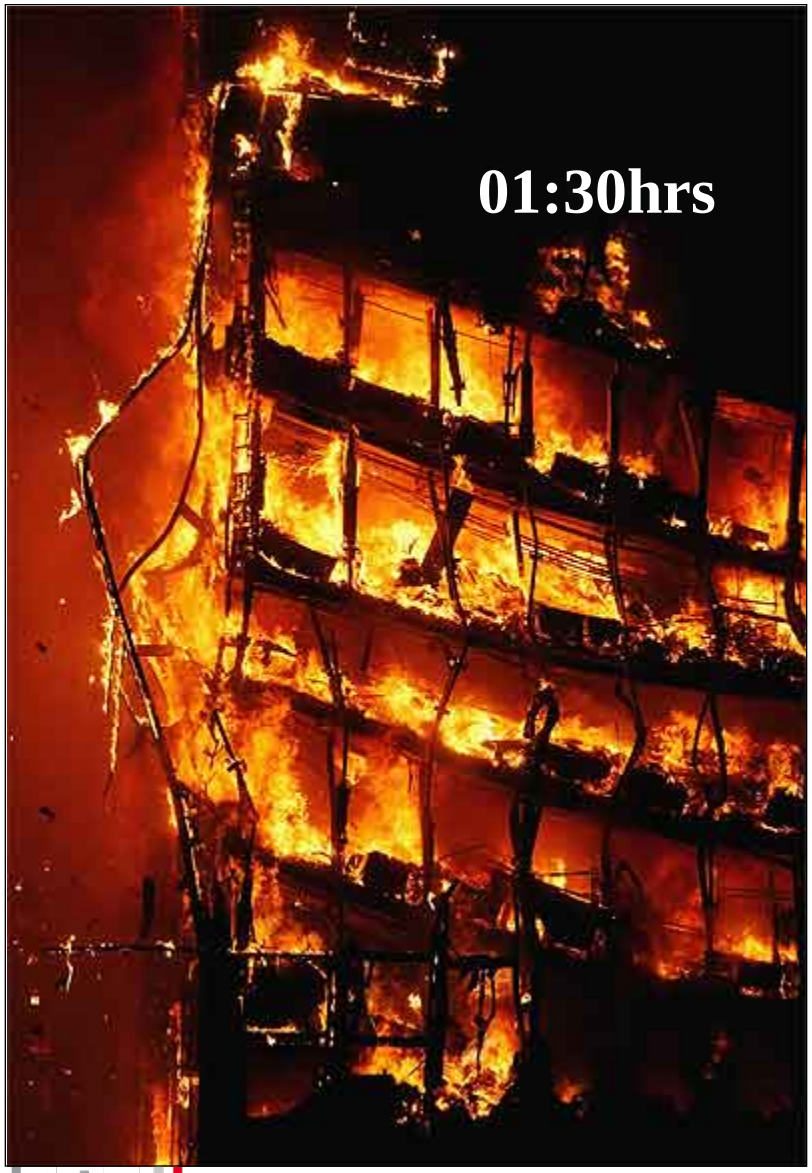
Main Building of
New CCTV Headquarter
TVCC Building of
New CCTV Headquarter
Sketch Map of Fire on TVCC Building



Shanghai 2010 - Torre residenziale 28 piani
42 morti e circa 90 feriti intossicati dal fumo, incendio sviluppato su impalcature installate per lavori di ristrutturazione del palazzo

Torre Windsor

Torre Windsor

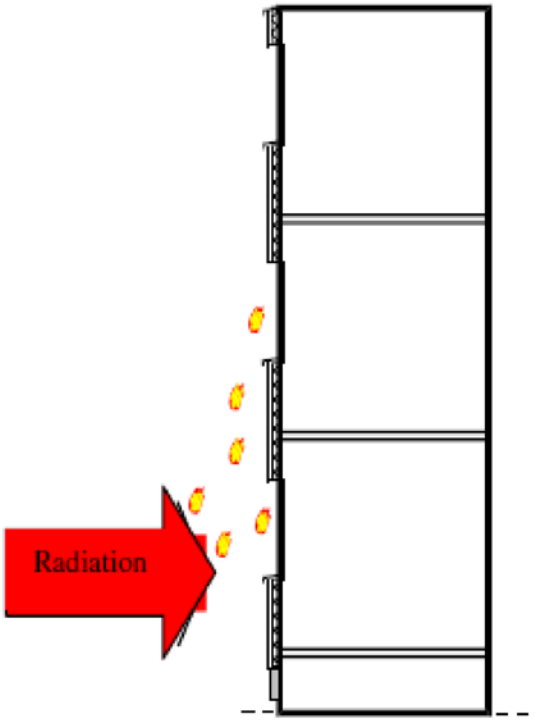


Torre Windsor
Facciata vetrata dopo incendio

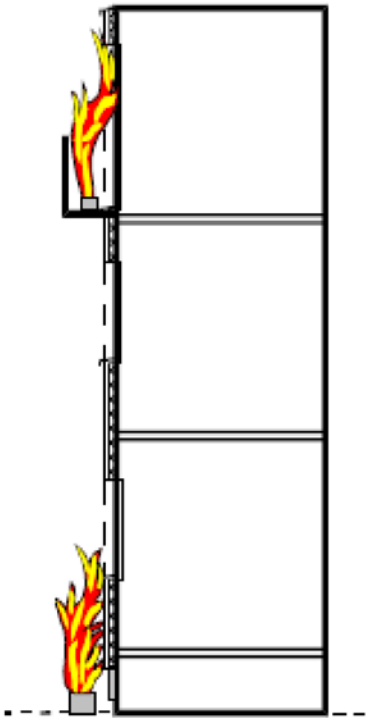
INCENDI IN FACCIATE

- Propagazione dell'incendio in facciata
- Produzione di fiamme e fumi
- Compartimentazione di piano
- Propagazione ad edifici adiacenti
- Rottura dei vetri
- Collasso delle strutture di facciata
- Fruibilità delle vie di fuga e degli spazi aperti adiacenti all'edificio
- Difficoltà di intervento delle squadre di soccorso

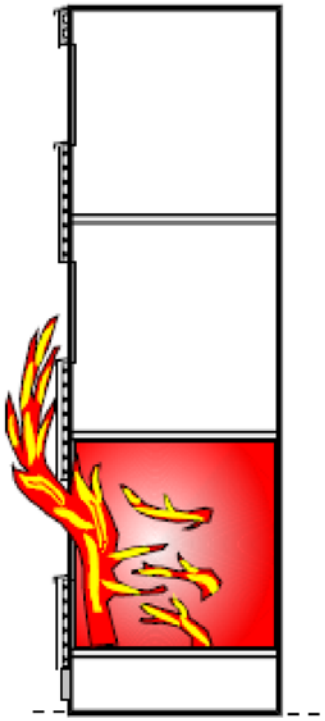
SICUREZZA AL FUOCO DELLE FACCIATE



a) Fire of an adjacent building



b) Fire outside a building



c) Fire inside a building

SICUREZZA AL FUOCO DELLE FACCIATE

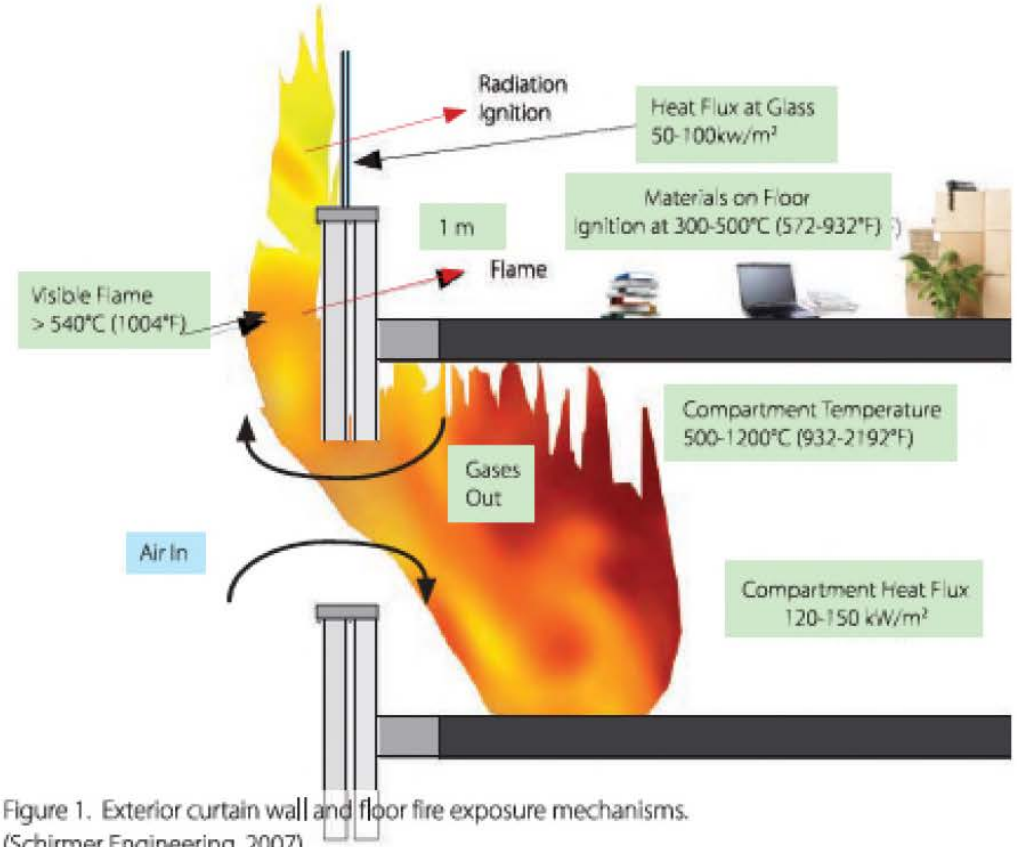


Figure 1. Exterior curtain wall and floor fire exposure mechanisms. (Schirmer Engineering, 2007)

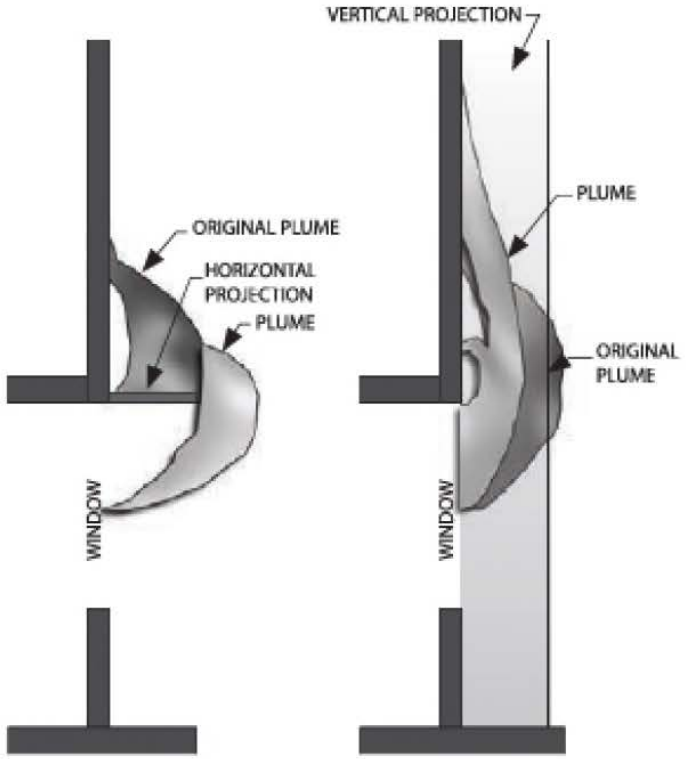
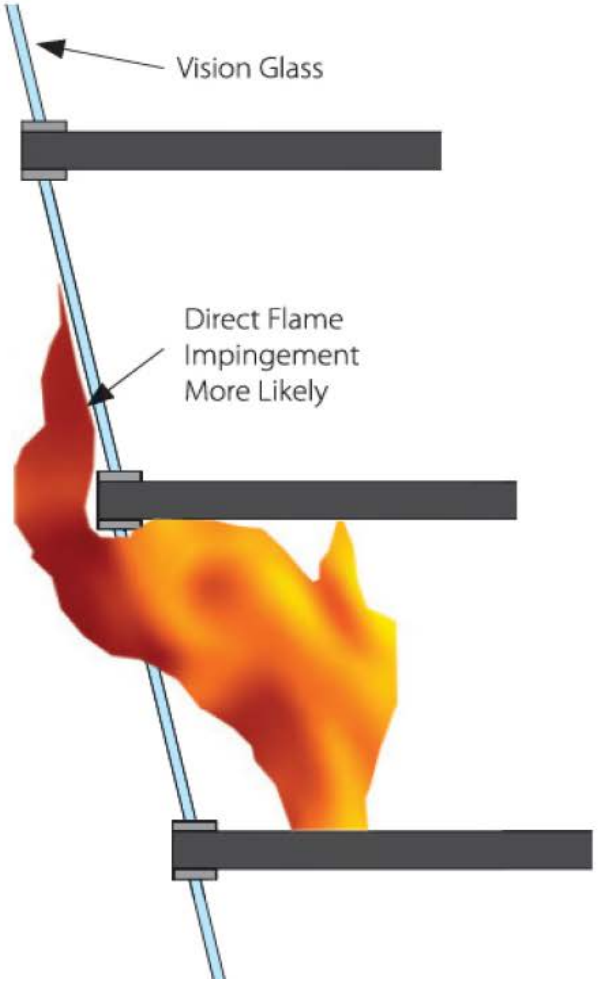


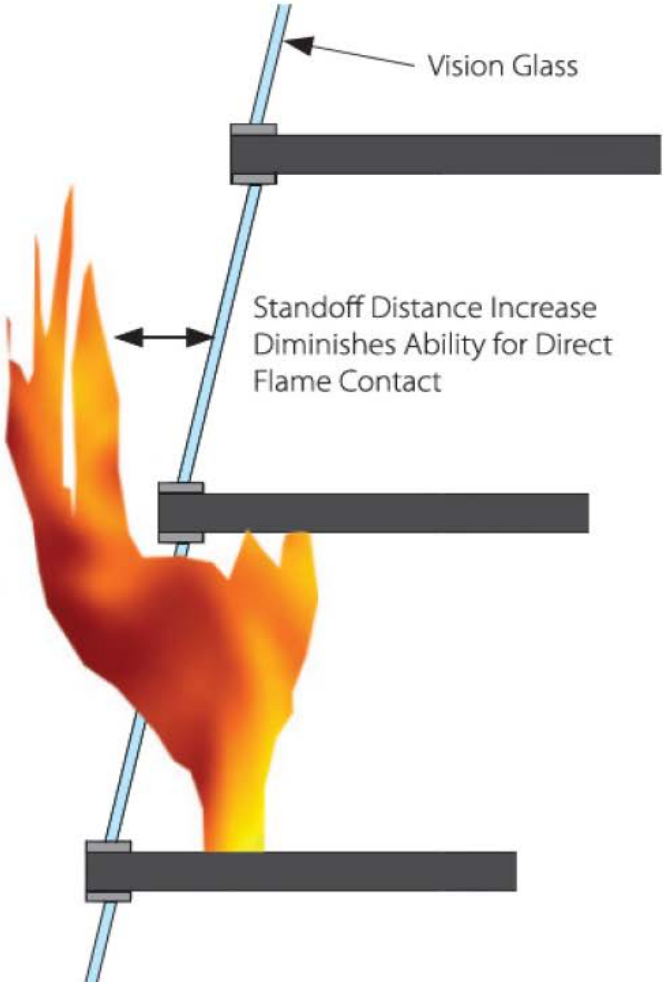
Figure 2. Impact of horizontal and vertical projections on window plume. (Oleszkiewicz Nov.1990, Fire Technology, p. 366)

SICUREZZA AL FUOCO DELLE FACCIATE

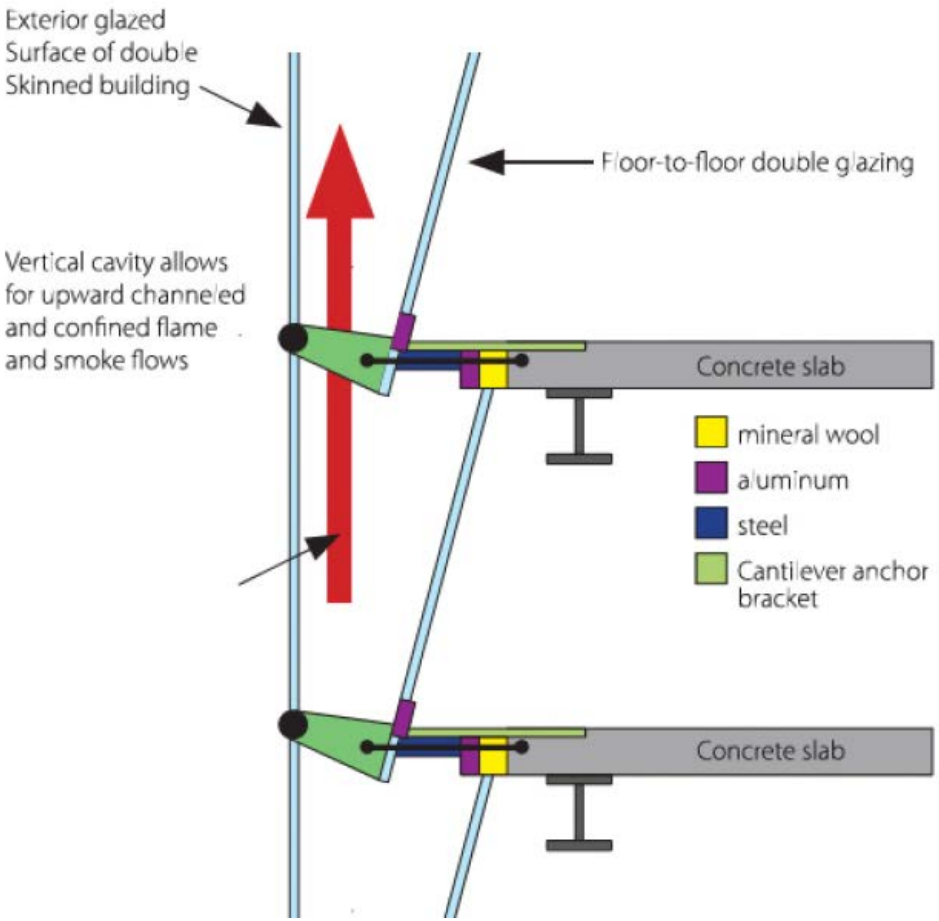
Inclined forward Curtain Wall Supported on Slab Edge

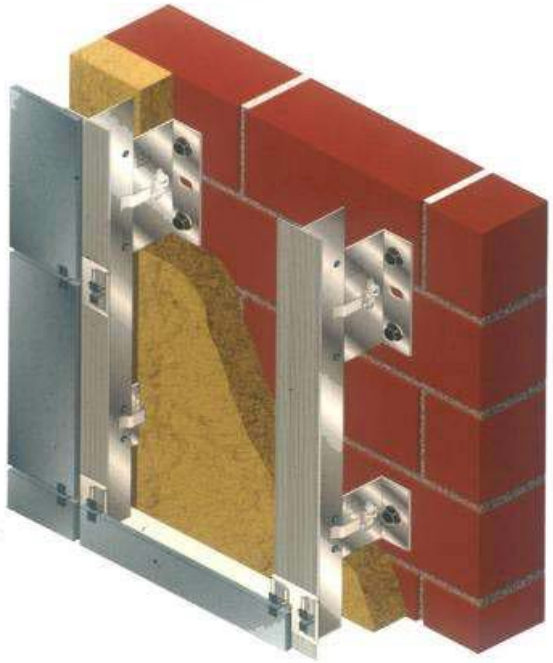


Inclined backward Curtain Wall Supported on Slab Edge



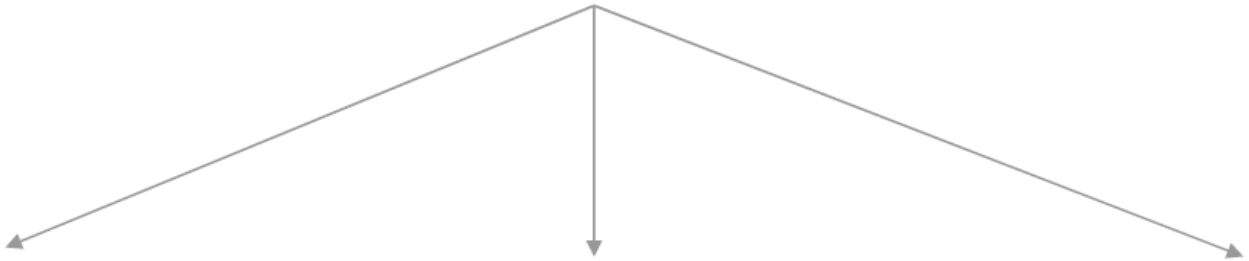
SICUREZZA AL FUOCO DELLE FACCIATE





SICUREZZA AL FUOCO DELLE FACCIATE

OBBIETTIVI



- Limitare la propagazione di un incendio all'interno dell'edificio per effetto dello sviluppo delle fiamme e della diffusione dei prodotti della combustione
- Limitare la probabilità di incendio di una facciata e la sua propagazione a edifici limitrofi e/o nelle aree circostanti
- Evitare e/o limitare la caduta di parti della facciata che possano compromettere l'esodo o la sicurezza dei soccorritori

APPROCCIO METODOLOGICO

- applicazione della guida tecnica
- Ricorso agli strumenti e metodi della FSE (Fire Safe Engineering): approccio ingegneristico e/o prestazionale

NORMATIVE PER LA PROGETTAZIONE

EUROPA	- Instruction technique n° 249 relative aux facades (FRANCIA) - Proposition de modification de l'arreté royal du 7 julliet 1994 en matiére de spécification techniques pour les facades (BELGIO) - VKF Edifici a doppia pelle nota esplicativa antincendio 1004 «Misure di protezione antincendio per edifici a doppia pelle» Edizione 2001 (SVIZZERA)
AMERICA	- Building Construction and Safety Code NFPA 5000 (USA) - International Building Code 713.4 (USA)
ITALIA	- Guida Tecnica Italiana "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili"

OBBIETTIVI

a. limitare la probabilita' di propagazione di un incendio originato all'interno dell'edificio a causa di fiamme o fumi caldi che fuoriescono [...] da cavità verticali della facciata, interstizi eventualmente presenti tra la testa del solaio e la facciata o tra la testa di una parete di separazione antincendio e la facciata, con conseguente coinvolgimento di altri compartimenti sia che essi si sviluppino in senso orizzontale che verticale, all'interno della costruzione e inizialmente non interessati dall'incendio;

b. limitare la probabilita' di incendio di una facciata e la sua successiva propagazione, a causa di un fuoco avente origine esterna [...];

c. evitare o limitare, in caso d'incendio, la caduta di parti di facciata (frammenti di vetri o di altre parti comunque disgregate o incendiate), che possono compromettere l'esodo in sicurezza degli occupanti l'edificio e l'intervento delle squadre di soccorso.

GUIDA TECNICA "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" – ed. 2013

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

2.2 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 cls, vetro-camera, 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.

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

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

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

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

GUIDA TECNICA "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" – ed. 2013

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

Tale tipologia di facciata è generalmente composta da un 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.

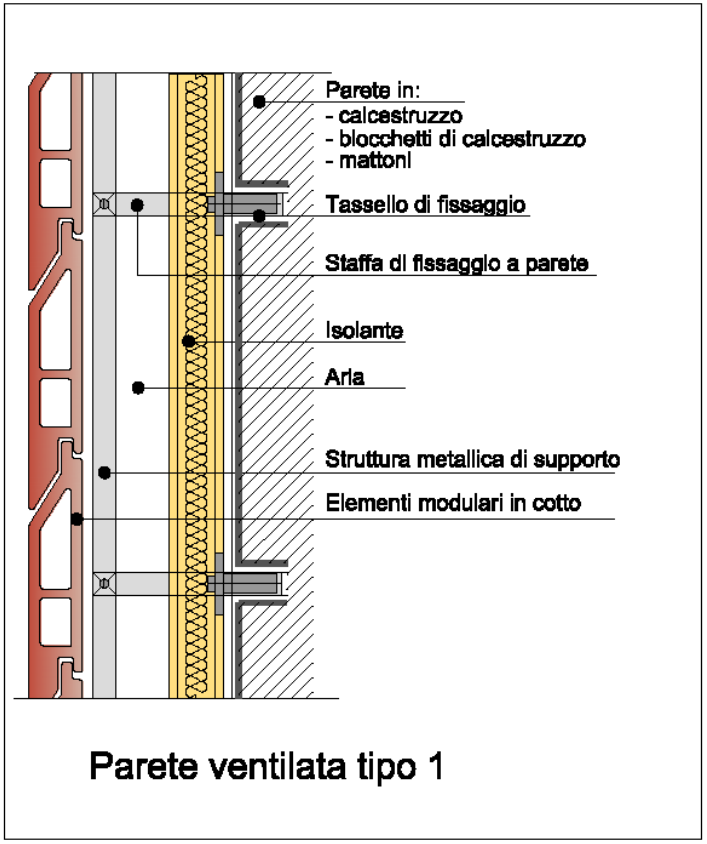
2.4 Curtain wall (facciata continua): facciata esterna non portante, indipendente dall'ossatura strutturale dell'edificio e generalmente fissata davanti alla testa dei solai e dei muri trasversali. Una facciata continua include telai, pannelli, superfici vetrate, sigillature, sistemi di fissaggio, giunti,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

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….

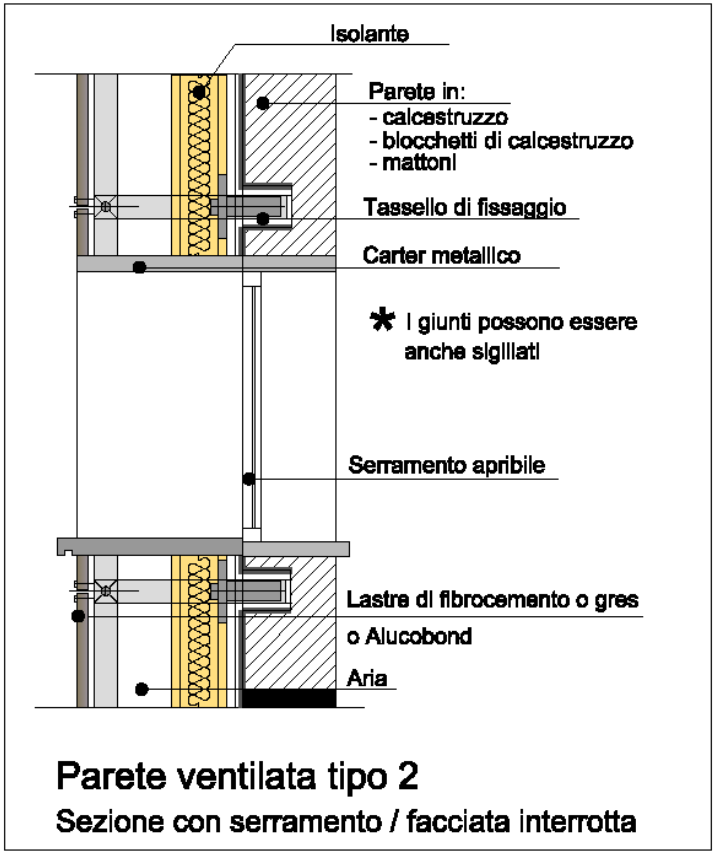
2.5 Parete aperta: parete esterna costituita, per almeno il 50 % della sua superficie da giunti, griglie fisse o mobili (che si aprono automaticamente in caso di incendio di almeno 60 gradi rispetto alla posizione di chiusura) distribuiti in modo sufficientemente uniforme, o infine, da pannelli realizzati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

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

TIPOLOGIE DI FACCIATE A DOPPIA PARETE NON ISPEZIONABILE



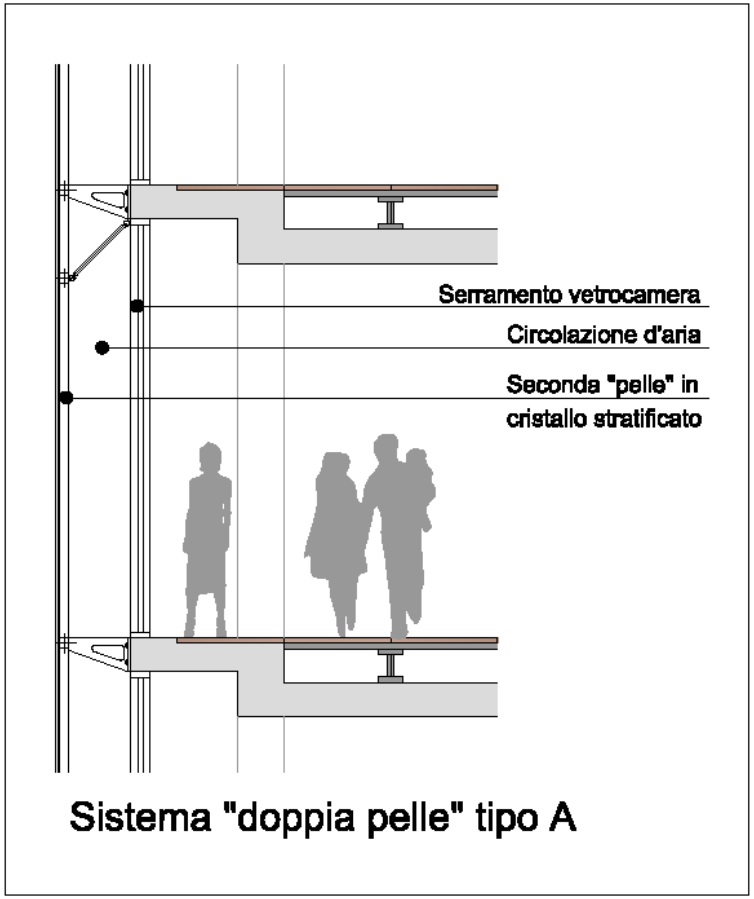
Parete ventilata tipo 1



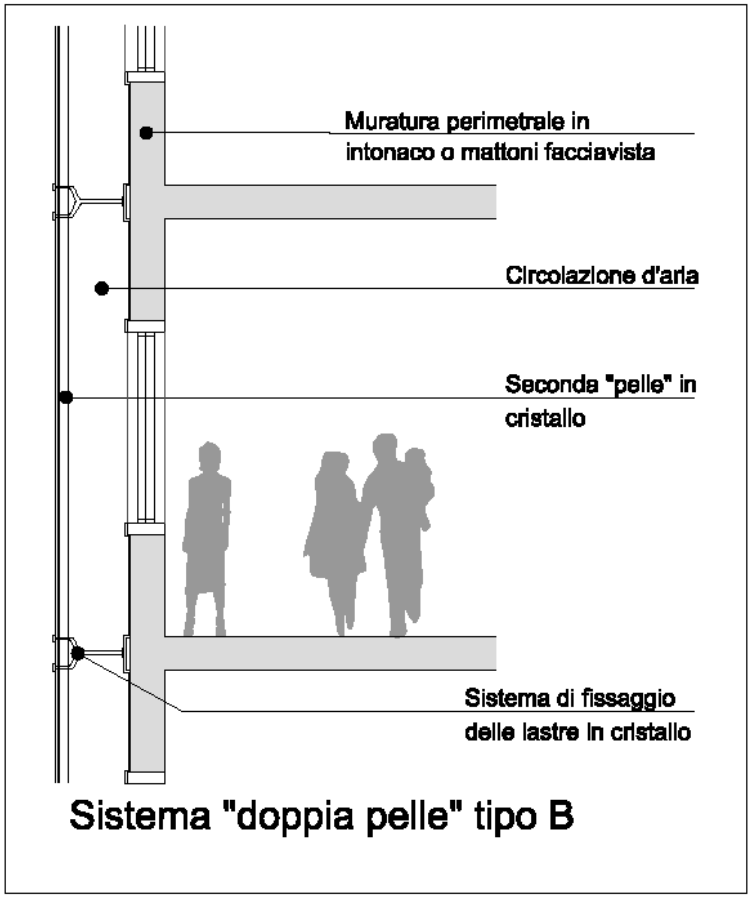
Parete ventilata tipo 2

Sezione con serramento / facciata interrotta

TIPOLOGIE DI FACCIATE A DOPPIA PARETE ISPEZIONABILE



Sistema "doppia pelle" tipo A



Sistema "doppia pelle" tipo B

GUIDA TECNICA "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" – ed. 2013

3 REQUISITI DI RESISTENZA AL FUOCO E COMPARTIMENTAZIONE

3.1 Regole generali

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

3.2 Facciate semplici e curtain walls

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

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

Isoterme esterne

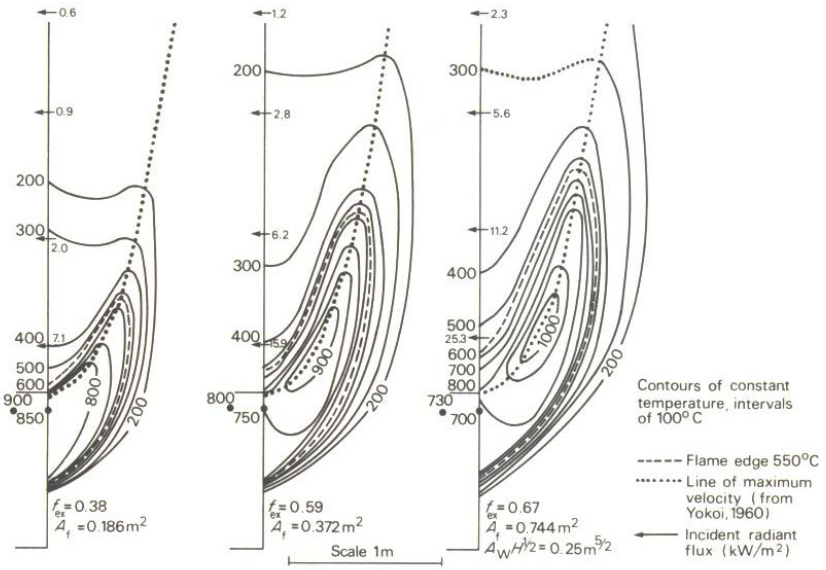


Figure 10.14 Effect of fuel area on external flame temperature profiles (Bullen and Thomas, 1979). (Reproduced by permission of The Controller, HMSO. © Crown Copyright.)

Fig. 6.1.c - Andamento delle linee isotermiche sulla facciata di un edificio

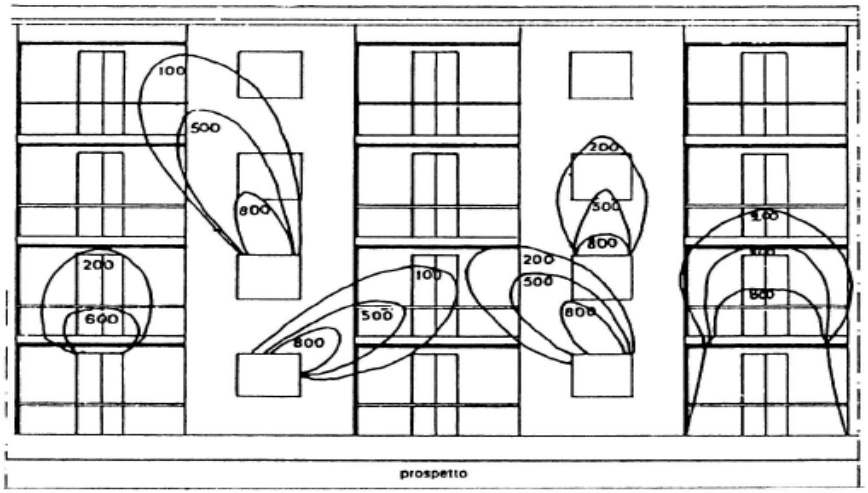
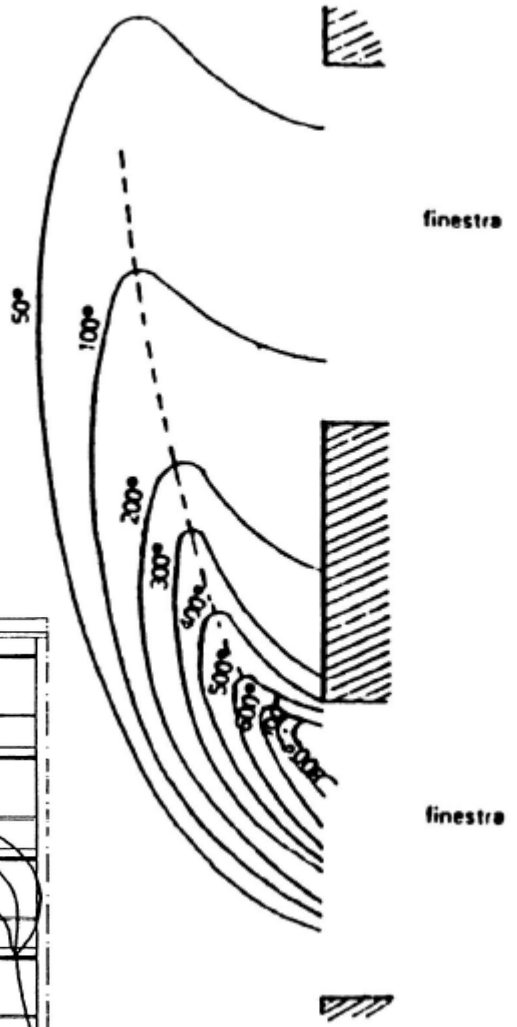
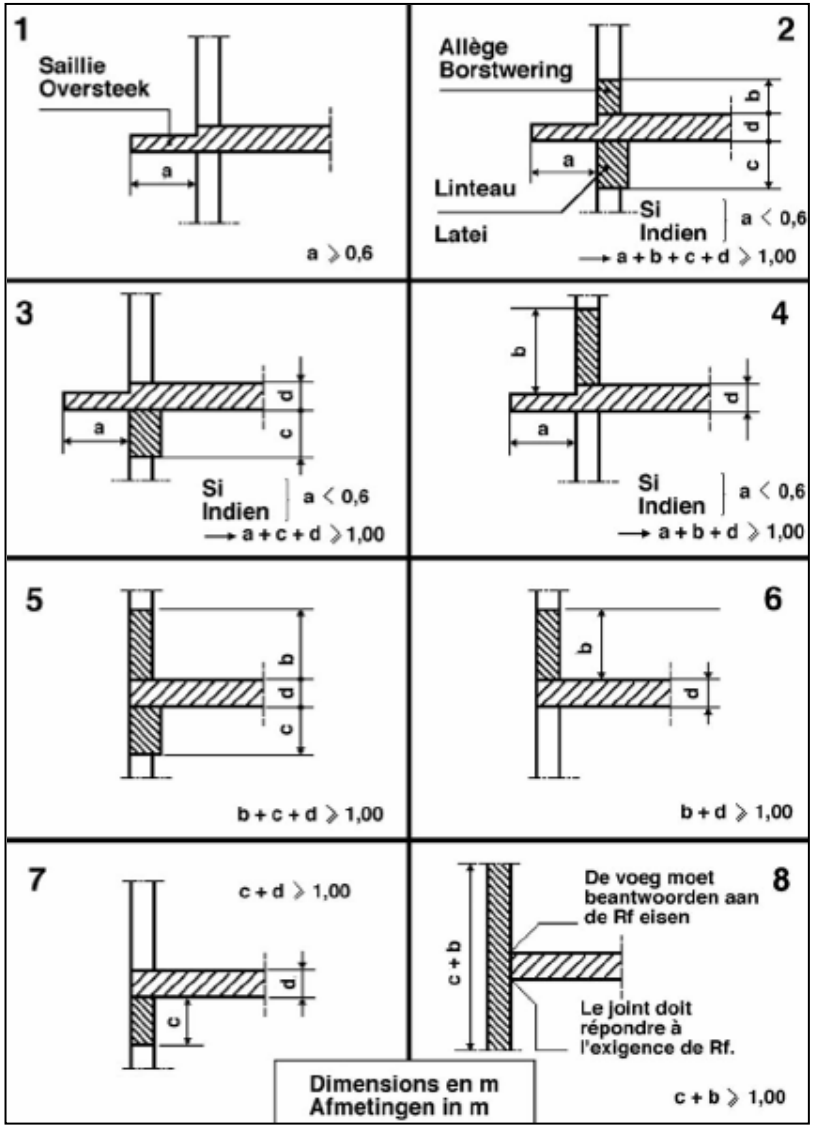


Fig. 6.1.d - Linee isotermiche in corrispondenza delle a



FACCIATE SEMPLICI

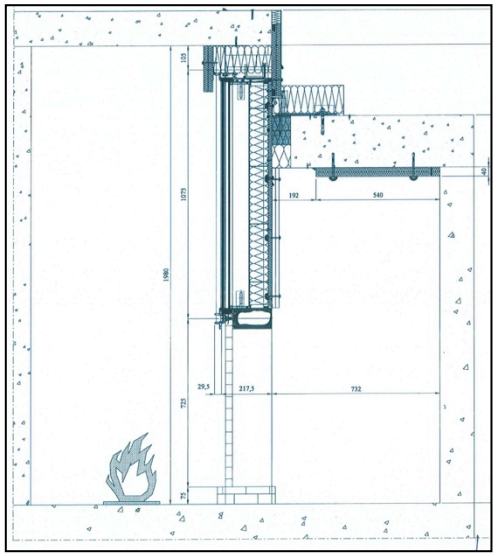
FASCIA MARCA PIANO RESISTENTE AL FUOCO



ESEMPI PRATICI

Porta Nuova Garibaldi - Milano

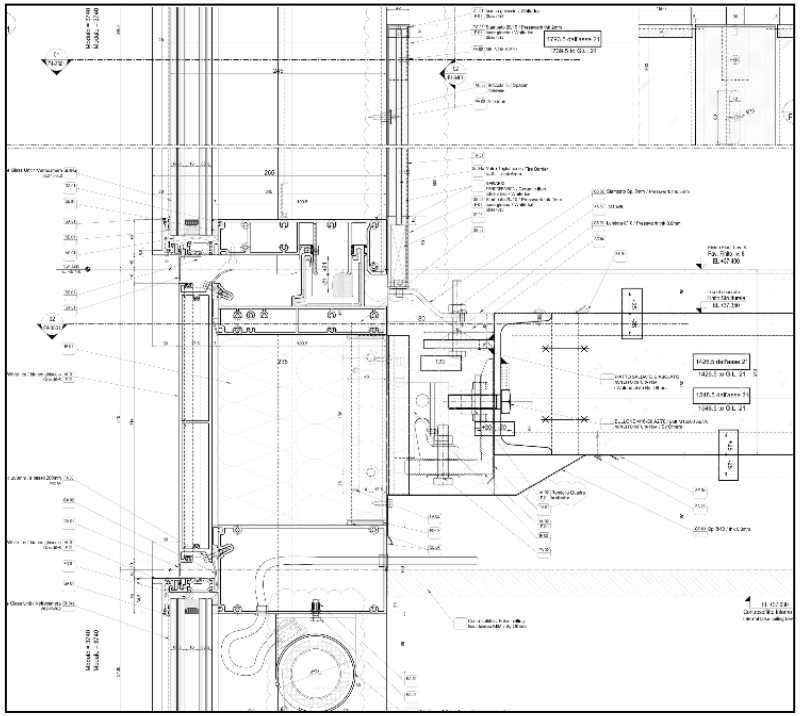
Pannello parafiamma cieco



ESEMPI PRATICI

Torre Intesa San Paolo (Torino)

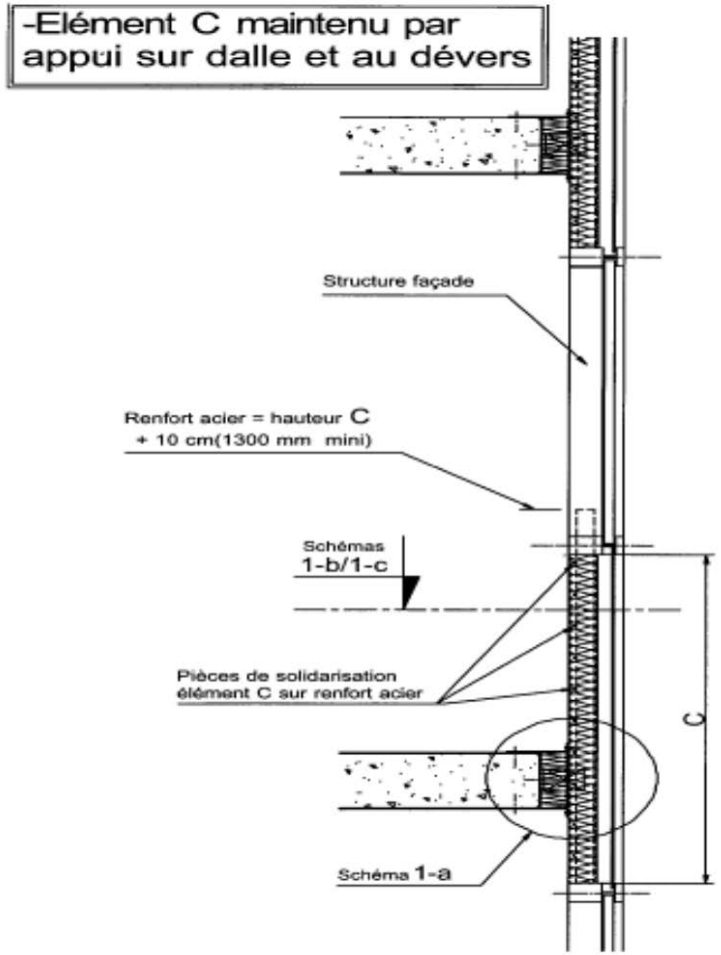
Pannello parafiamma



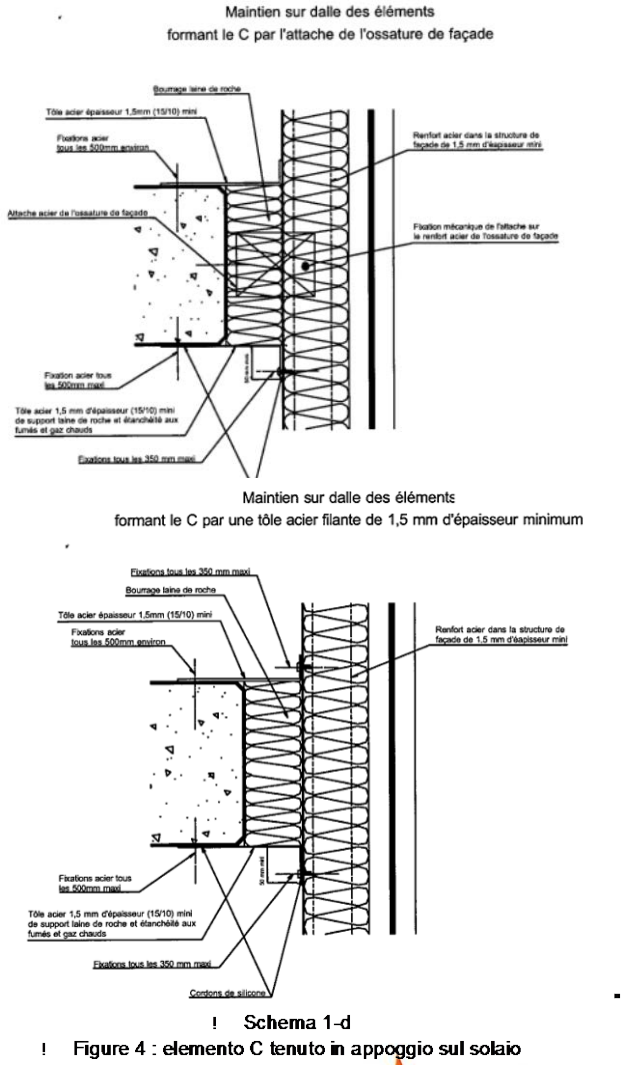
ESEMPI PRATICI

Pannello parafiamma cieco – Soluzioni tipo

Caso A: Gli elementi che formano il C sono fissati, da un lato, all'ossatura del muro-tenda (curtain wall) mentre dall'altro, alla struttura stessa dell'edificio (figura 4).



! Figure 4-a



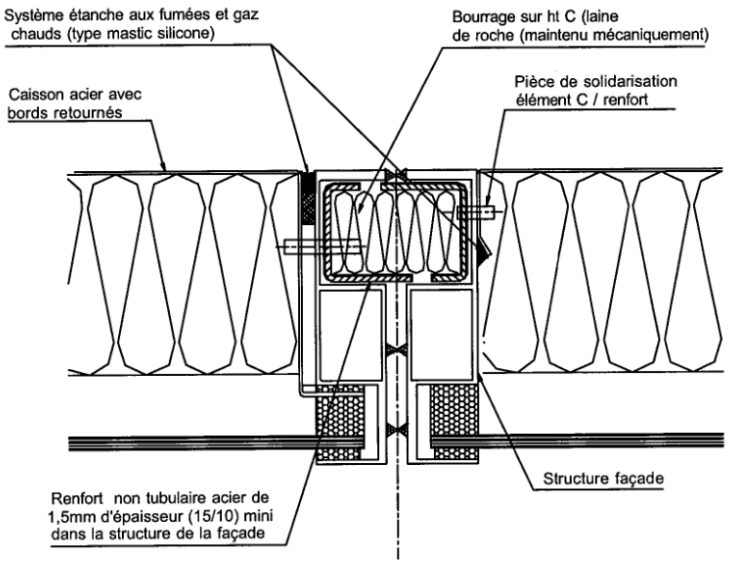
! Schema 1-d

! Figure 4 : elemento C tenuto in appoggio sul solaio

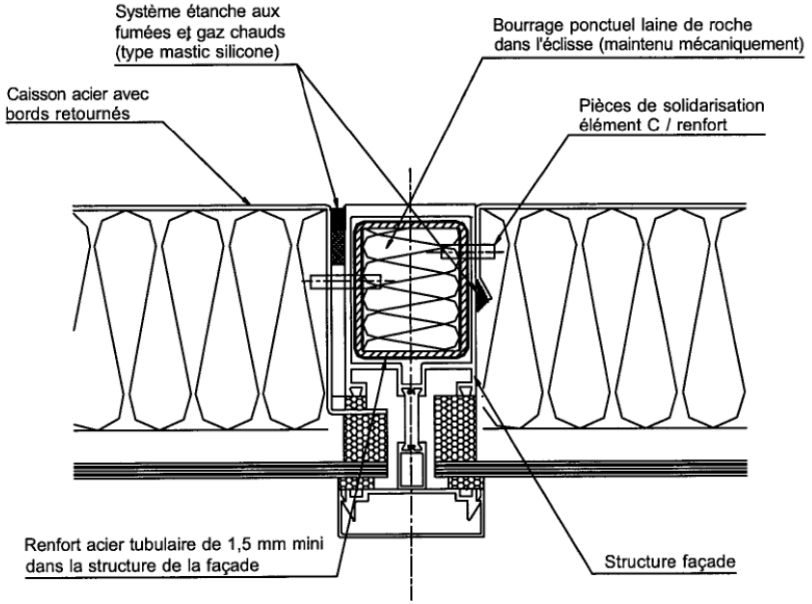
ESEMPI PRATICI

Pannello parafiamma cieco – Soluzioni tipo

Caso A: Gli elementi che formano il C sono fissati, da un lato, all'ossatura del muro-tenda (curtain wall) mentre dall'altro, alla struttura stessa dell'edificio (figura 4).



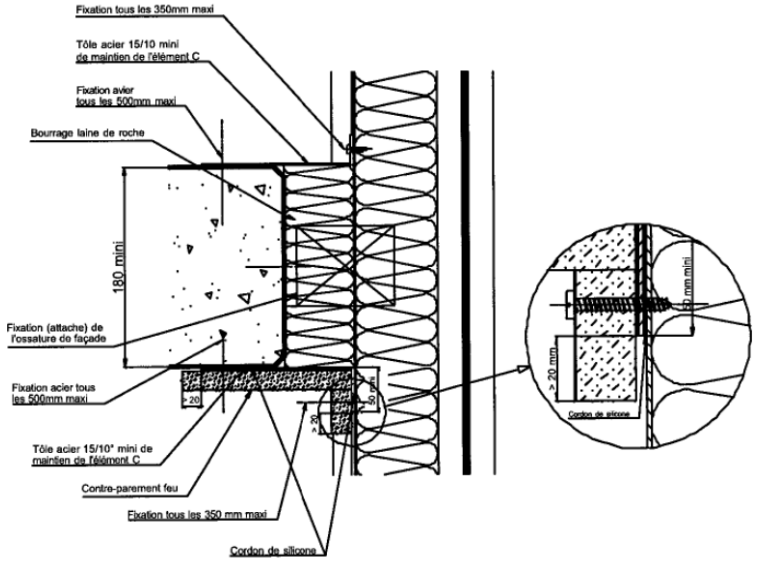
! Schéma 1-b



ESEMPI PRATICI

Pannello parafiamma cieco – Soluzioni tipo

CASO B: Gli elementi che formano il C sono tenuti insieme per incastro (raccordati) sia sulla parte superiore che inferiore del solaio (soletta). Per garantire quest'incastro, la distanza tra le lastre d'acciaio collocate su ambo i lati del solaio deve essere maggiore o uguale a 180 mm (schema 2-a).

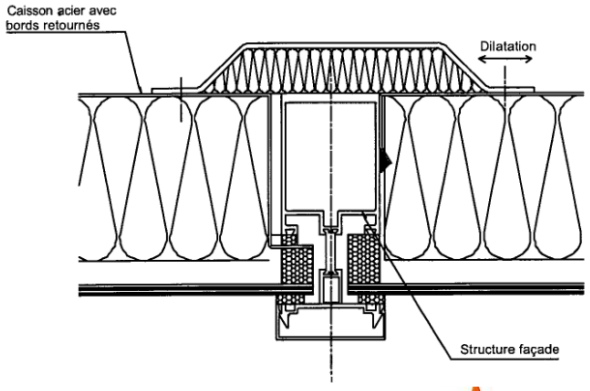


essus du nez de dalle, elle peut être en alumir
incendie n'entraîne pas la chute de plus de
s l'épaisseur de la dalle, elle doit être en acier e
laine minérale de roche* de densité 70 kg/m^3 e

tion, fixées mécaniquement à la tôle :
de roche de masse volumique minimale de 70kg

minimale 18 mm
d'épaisseur minimale 18 mm

oit avoir une masse volumique minimale de 70 kg/r



Schema 2-b

GUIDA TECNICA "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" – ed. 2013

3.3 Facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili

3.3.1 Parete esterna chiusa

Nel caso di facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili con parete esterna chiusa, se l'intercapedine è dotata in corrispondenza di ogni vano per finestra e/o porta-finestra e in corrispondenza di ogni solaio di elementi di interruzione non combustibili e che si mantengono integri durante l'esposizione al fuoco, la parete interna deve obbedire alle stesse regole delle facciate semplici. Non sono richiesti gli elementi orizzontali di interruzione in corrispondenza dei solai se nell'intercapedine è presente esclusivamente materiale isolante classificato almeno Bs3d0 ovvero se la parete interna ha, per l'intera altezza e per tutti i piani, una resistenza al fuoco EI30.

3.3.2 Parete esterna aperta

Nel caso di facciate a doppia parete ventilate non ispezionabili con parete esterna aperta, la parete interna dovrà presentare analoghi requisiti di resistenza al fuoco delle facciate semplici, se nell'intercapedine è presente esclusivamente materiale isolante classificato almeno Bs3d0 ovvero dovrà avere, per l'intera altezza e per tutti i piani, una resistenza al fuoco EI30 se nell'intercapedine è presente materiale isolante con classificazione di reazione al fuoco inferiore.

GUIDA TECNICA "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" – ed. 2013

4. REAZIONE AL FUOCO

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

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

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

- prodotto isolante C-s3-d2 se protetto con materiali almeno di classe A2;
- prodotto isolante di classe non inferiore ad E se protetto con materiali almeno di classe A1 aventi uno spessore non inferiore a 15 mm.
- soluzioni protettive ulteriori possono essere adottate purché supportate da specifiche prove di reazione al fuoco su combinazione di prodotti (supporti, isolanti, protettivi) rappresentativi della situazione in pratica che garantiscano una classe di reazione al fuoco non inferiore ad 1 ovvero B-s3-d0.

Limitatamente alle pareti ventilate non ispezionabili le protezioni sopra definite possono non essere applicate se la parete rispetta le prescrizioni di cui al precedente punto 3.3.

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

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

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

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

GUIDA TECNICA "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" – ed. 2013

3.4 Facciate a doppia parete ventilate ispezionabili

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

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

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

3.4.2 Parete esterna chiusa - Intercapedine priva di interruzioni

Nel caso di facciate a doppia parete ventilate ispezionabili con parete esterna chiusa, se l'intercapedine è priva di interruzioni orizzontali, la parete interna dovrà avere, per l'intera altezza e per tutti i piani, una resistenza al fuoco EW30 (i↔o). Nel caso in cui la parete interna sia di tipo Curtain Walls è inoltre richiesto che l'elemento di giunzione della facciata ai solai e ai muri trasversali dei compartimenti sia di classe di resistenza al fuoco EI60.

GUIDA TECNICA "Requisiti di sicurezza antincendio delle facciate negli edifici civili" – ed. 2013

3.4.3 Parete esterna aperta

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

3.4.4 Misure Alternative

In alternativa alle prescrizioni 3.4.1, 3.4.2 e 3.4.3 è possibile dotare la facciata di un sistema automatico di spegnimento ad acqua, posizionato all'interno delle due pareti e dimensionato in modo da garantire una densità di scarica non inferiore a 10 l/min·m2 sulle pareti interne della facciata che potranno avere superfici vetrate purché in vetro temperato con trattamento HST (Heat Soak Test).

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

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

Lo spazio intermedio o "corridoio d'aria", inoltre, dovrà essere provvisto di sistema di evacuazione dei fumi, orientativamente individuabile attraverso una superficie di ventilazione naturale, realizzata sia nella parte bassa che nella parte alta della facciata, di area pari al 10 % della sezione orizzontale dell'intercapedine stessa.

OBBIETTIVI

a. limitare la probabilita' di propagazione di un incendio originato all'interno dell'edificio a causa di fiamme o fumi caldi che fuoriescono [...] da cavità verticali della facciata, interstizi eventualmente presenti tra la testa del solaio e la facciata o tra la testa di una parete di separazione antincendio e la facciata, con conseguente coinvolgimento di altri compartimenti sia che essi si sviluppino in senso orizzontale che verticale, all'interno della costruzione e inizialmente non interessati dall'incendio;

b. limitare la probabilita' di incendio di una facciata e la sua successiva propagazione, a causa di un fuoco avente origine esterna [...];

c. evitare o limitare, in caso d'incendio, la caduta di parti di facciata (frammenti di vetri o di altre parti comunque disgregate o incendiate), che possono compromettere l'esodo in sicurezza degli occupanti l'edificio e l'intervento delle squadre di soccorso.

4. Esodo degli occupanti e sicurezza delle squadre di soccorso

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

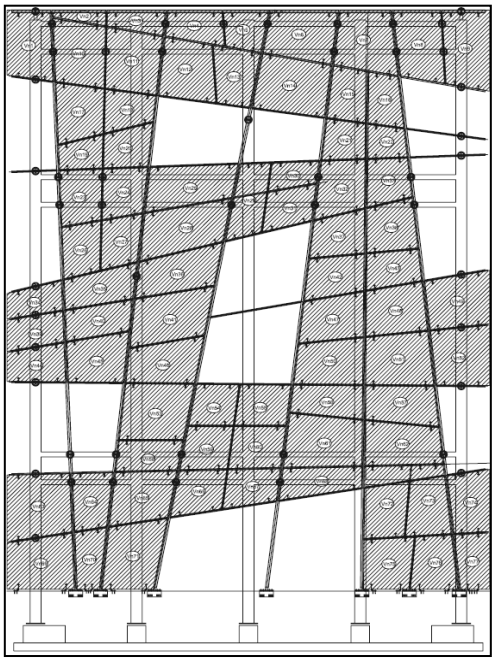
Il dimensionamento e/o la progettazione del sistema di esodo dovrà necessariamente tenere conto della difficoltà di accesso all’edificio dall’esterno, in caso di incendio, da parte delle squadre di soccorso.

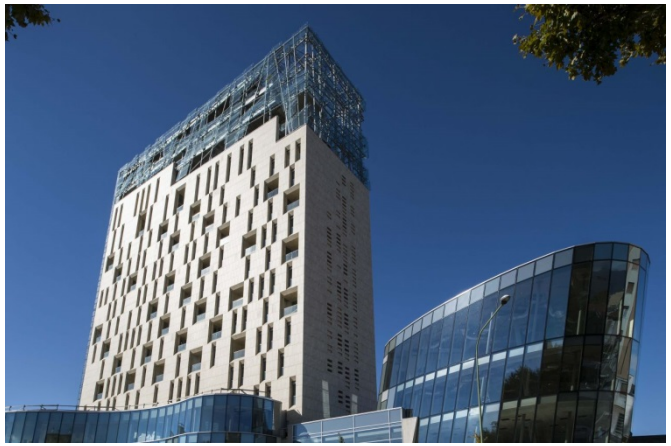
E’ tuttavia possibile inserire in zone ben individuabili dalle squadre di soccorso dei serramenti facilmente apribili dall’esterno, nel rispetto dei requisiti di accessibilità di mezzi VVF.

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

ESEMPI PRATICI

BRESCIA SKYLINE 18





VERIFICA TRAVERSO					
PROFILO	Tubo 150 x 100 x 5		** Classe :	1	
area colonna - A =	2400	mm^2			
tensione di snervamento a 20°C - f_y =	235	N/mm^2			
coeff. di sicurezza del materiale - $\gamma_{M,fi}$ =	1.0				
N_{ED} =	3.52	kN			
sollecitazione di progetto $M_{y,fi,ED}$ =		kNm			
sollecitazione di progetto $M_{z,fi,ED}$ =	3.49	kNm			
W_y =	116.73	cm^3			
W_z =	88.34	cm^3			
Asse di Inerzia					
	y			z	
I_y =	7192022	mm^4	I_z =	3840188	mm^4
raggio di inerzia - i_y =	55	mm	i_z =	40	mm
β =	1		β =	1	
L_0 =	2.71		L_0 =	2.71	
lunghezza di libera inflessione - $L_{fi,y}$ =	2.71	m	$l_{fi,z}$ =	2.71	m
fattore di imperfezione - α =	0.650				
snellezza adimensionale a t = 0 - λ =	0.532			0.728	
temperatura acciaio - θ_a =	680.0	°C			
$k_{y,\theta}$ =	0.278				
$k_{E,\theta}$ =	0.166				
snellezza adimensionale a caldo - λ_θ =	0.689			0.943	
coefficiente φ_{fi} =	0.961			1.251	
coefficiente di instabilità χ_{fi} =	0.613			0.483	
sollecitazione di progetto $N_{fi,Ed}$ =	3.52	kN			
$k_{y,\theta}$ =	0.278				
μ_y =	-0.583		μ_z =	-1.748	
$\chi_{y,fi}$ =	0.613		$\chi_{z,fi}$ =	0.483	
k_y =	1.000		k_z =	1.000	
Verifica presso flesssione	0.652	< 1.0			
Margine di sicurezza	153%				

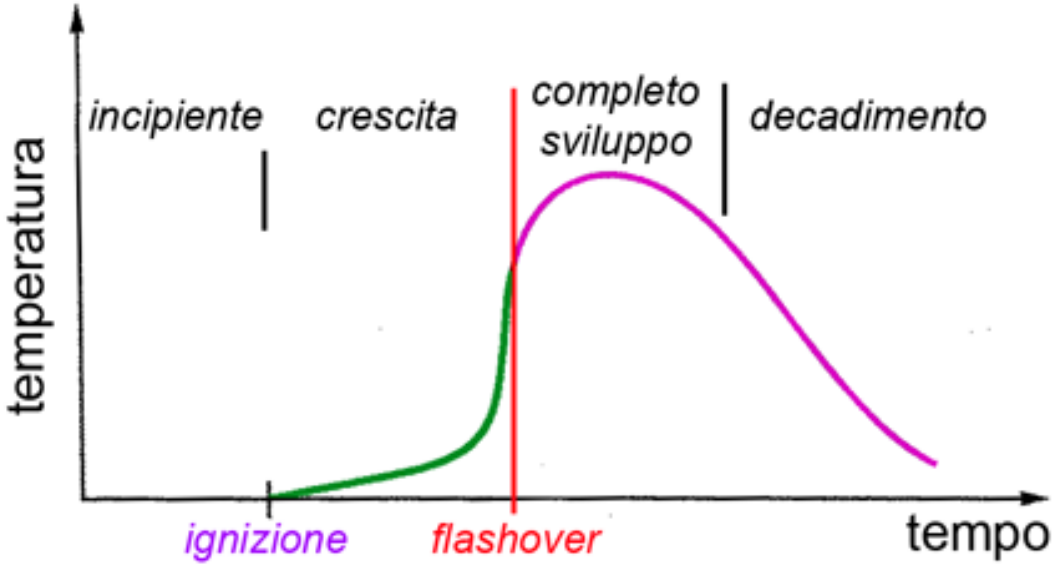
SYMPOSIUM DAY

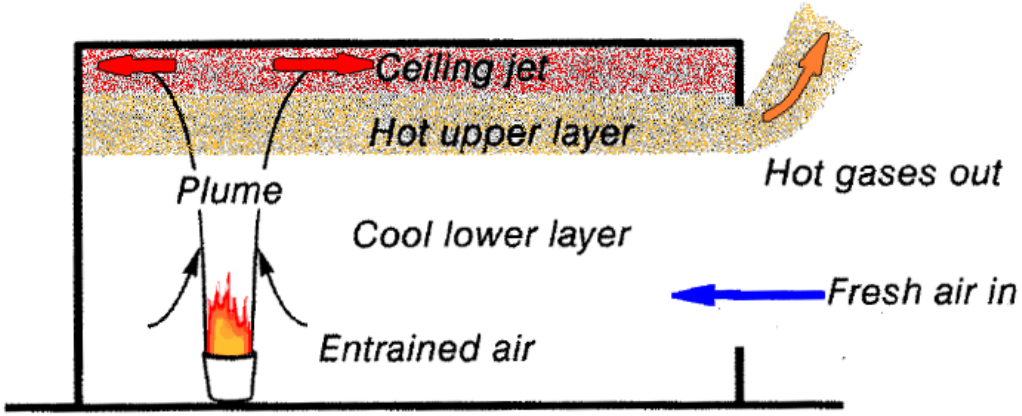
Ing. Samuele Sassi

FSC ENGINEERING SRL
FIRE & STRUCTURE CONSULTING

le fasi di un incendio

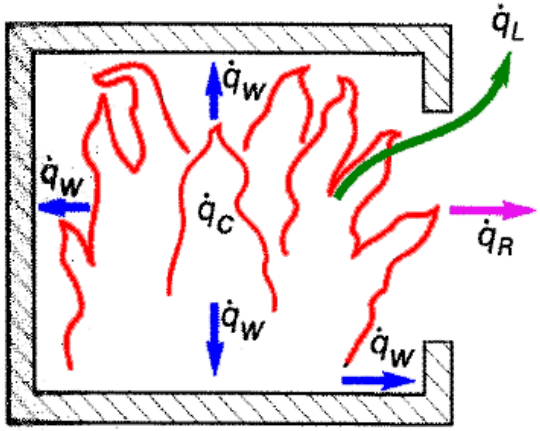
ignizione





fase di crescita

modello a due zone

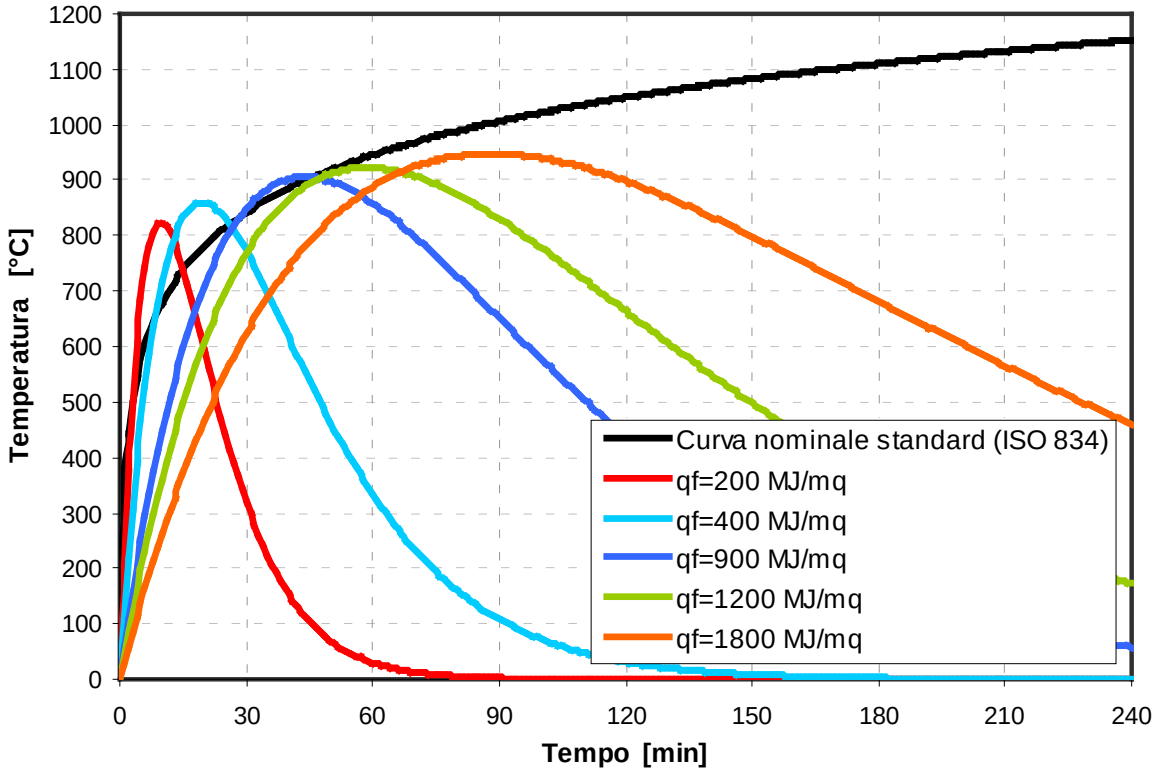


completo sviluppo

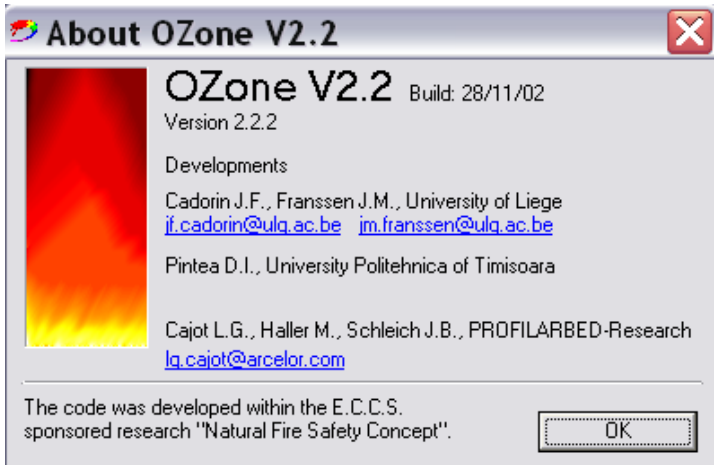
modello a una zona

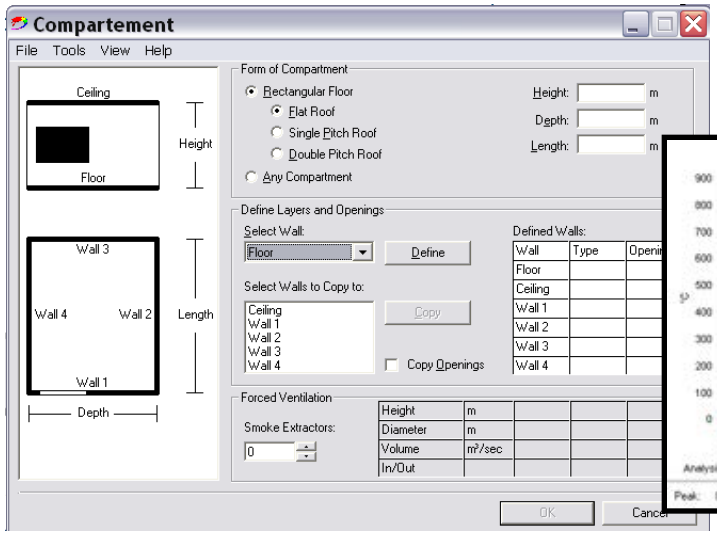
I metodi semplificati di tipo parametrico danno lo sviluppo della temperatura media del compartimento in funzione del carico di incendio, della ventilazione, dell'area in pianta e delle caratteristiche termofisiche delle pareti.

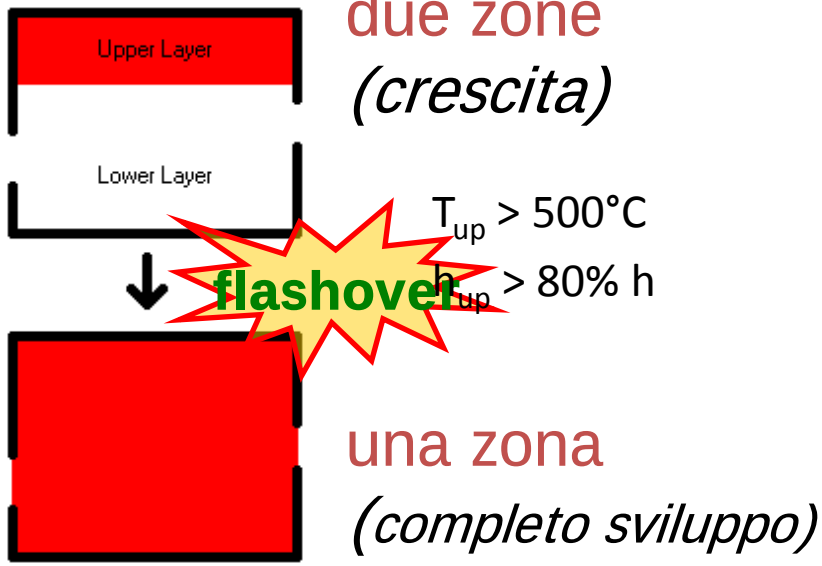
Le curve di tipo parametrico sono valide per compartimenti antincendio fino a 500 mq, di altezza massima 4 m e con aperture solo sulle pareti laterali
(EN 1991-1.2 – Appendice A).



modelli avanzati - *a una o due zone*

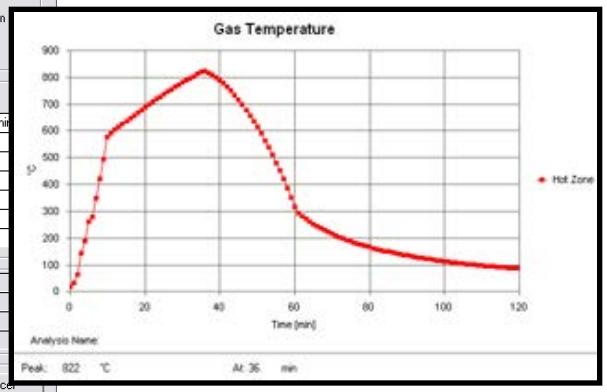




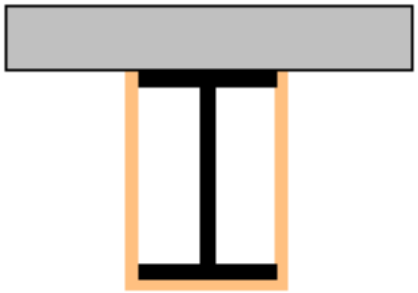


due zone
(crescita)

una zona
(completo sviluppo)



curva d'incendio



verifica di elementi in acciaio

modelli avanzati

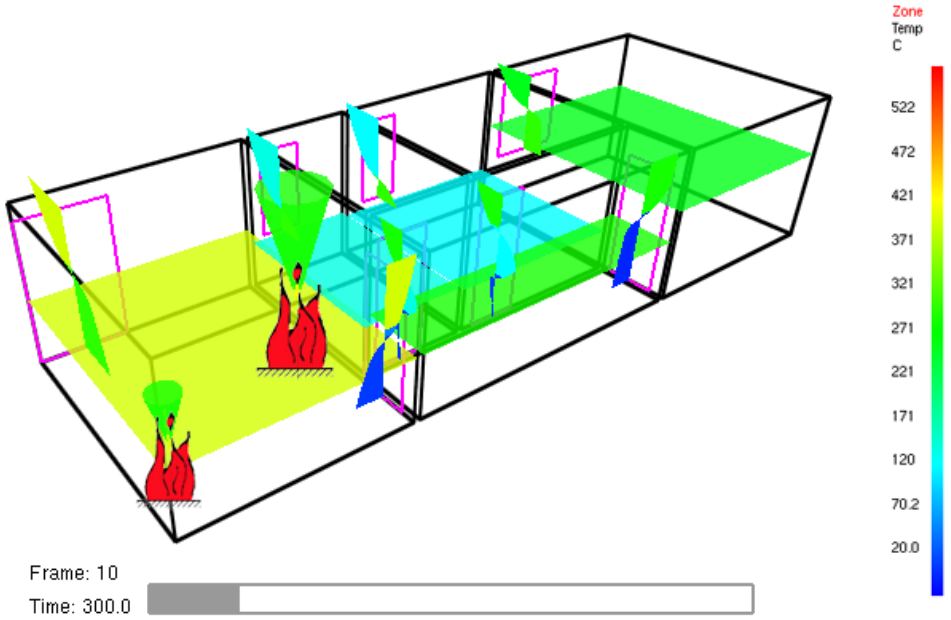
modello a due zone per più comparti interconnessi

CFAST 6.0.10.61027

Building and Fire Research Laboratory
National Institute of Standards and Technology
Gaithersburg, MD 20899

http://cfast.nist.gov

viene usato per calcolare
la composizione, la dinamica e
la temperatura dei fumi
e dei gas nella fase
che precede il flashover



volumi: 1-1000 m^3
fino a 30 comparti interconnessi
considera la presenza di sprinklers

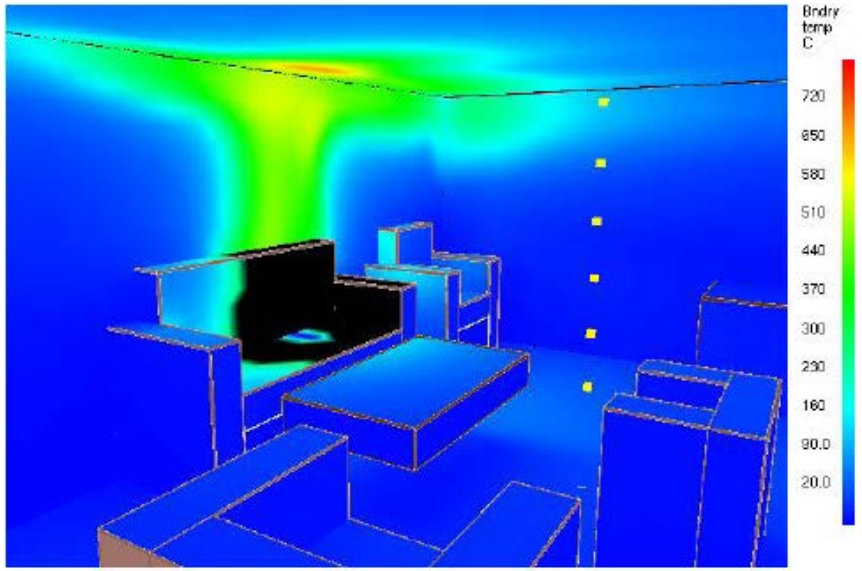
più indicato per la verifica
della sicurezza degli occupanti
e dell'efficacia dei sistemi
di controllo attivo
che per il calcolo strutturale

modelli avanzati
Computational Fluid Dynamics

divisione del comparto in celle

soluzione numerica
delle equazioni differenziali

vengono fornite in ogni punto
le variabili termodinamiche
e aerodinamiche



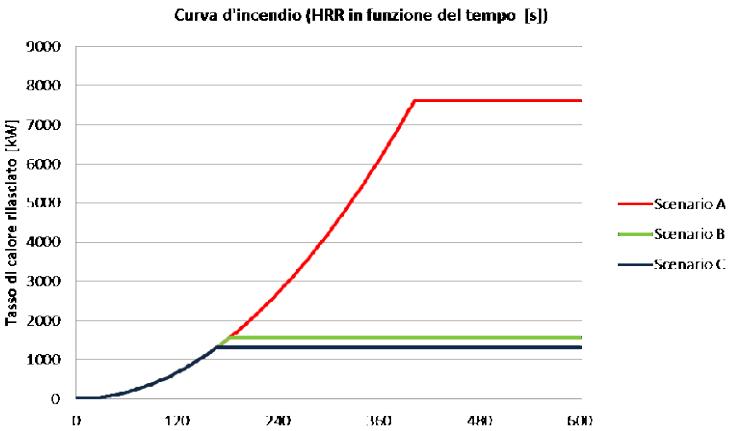
equazioni di conservazione

della massa
della quantità di moto
dell'energia

ESEMPI PRATICI

Torre Intesa San Paolo (Torino)

Greenhouse



$$R = \left(\frac{Q}{12\pi q''}\right)^{1/2}$$

where:

R = separation distance from target to center of fuel package (ft)

Q = heat release rate from fire (Btu/sec)

q'' = incident radiant heat flux required for nonpiloted ignition (Btu/ft²-sec)

Figure 3.2.2.2(a) Separation distance, *R*.

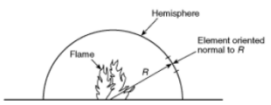
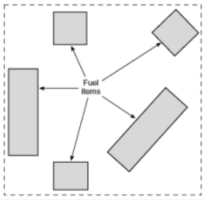


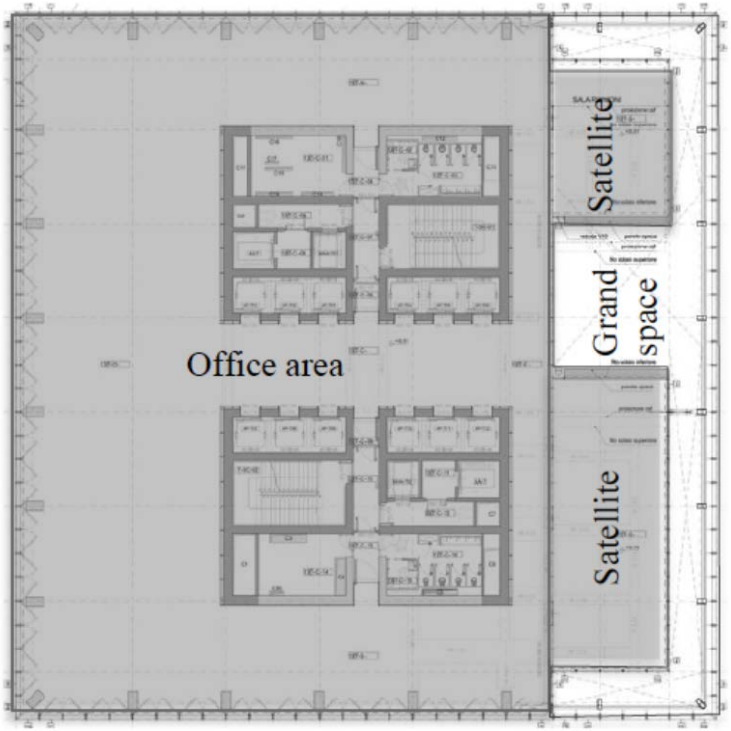
Figure 3.2.2.2(b) Fuel items.



	Scenario A	Scenario B	Scenario C
Tasso di calore rilasciato [kW]	7589 kW	1563 kW	1316 kW
Esposizione in sicurezza per gli occupanti			
Irraggiamento termico incidente	2.5 kW/m^2	2.5 kW/m^2	2.5 kW/m^2
Distanza minima R dal centro della fiamma completamente sviluppata	8,97m	4,07 m	3,73 m
Esposizione in sicurezza per vetri standard			
Irraggiamento termico incidente	9 kW/m^2	9 kW/m^2	9 kW/m^2
Distanza minima R dal centro della fiamma completamente sviluppata	4,72m	2,14m	1,96m
Esposizione in sicurezza per vetri temperate			
Irraggiamento termico incidente	43 kW/m^2	43 kW/m^2	43 kW/m^2
Distanza minima R dal centro della fiamma completamente sviluppata	2,16m	1,0 m	0,90 m

ESEMPI PRATICI

Torre Regione Piemonte

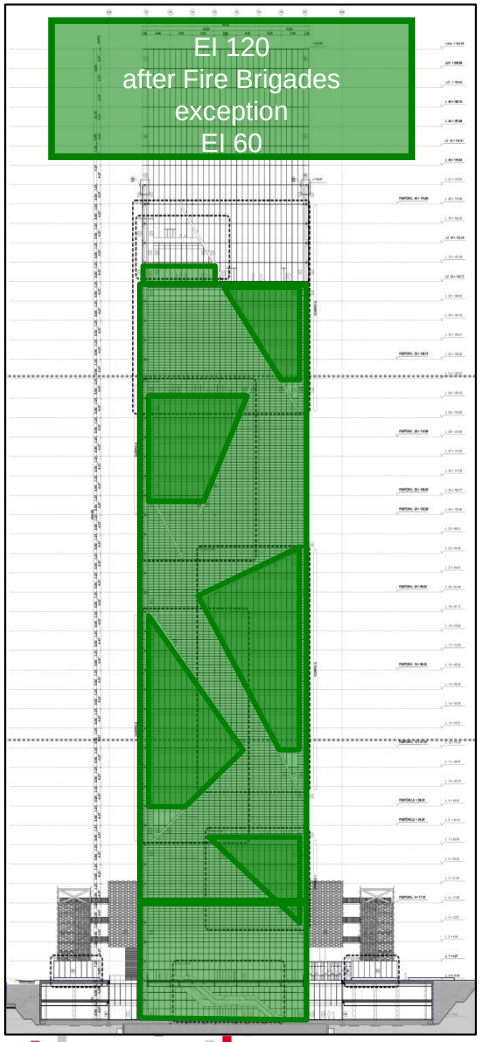


- **Resistenza al fuoco delle strutture del grande vuoto**
- **Resistenza al fuco delle facciate di confine con il GV**
- **Problemi di manutenzione**
- **Problemi di eccessivo riscaldamento vetri EI**

Torre Regione Piemonte

Torre Regione Piemonte

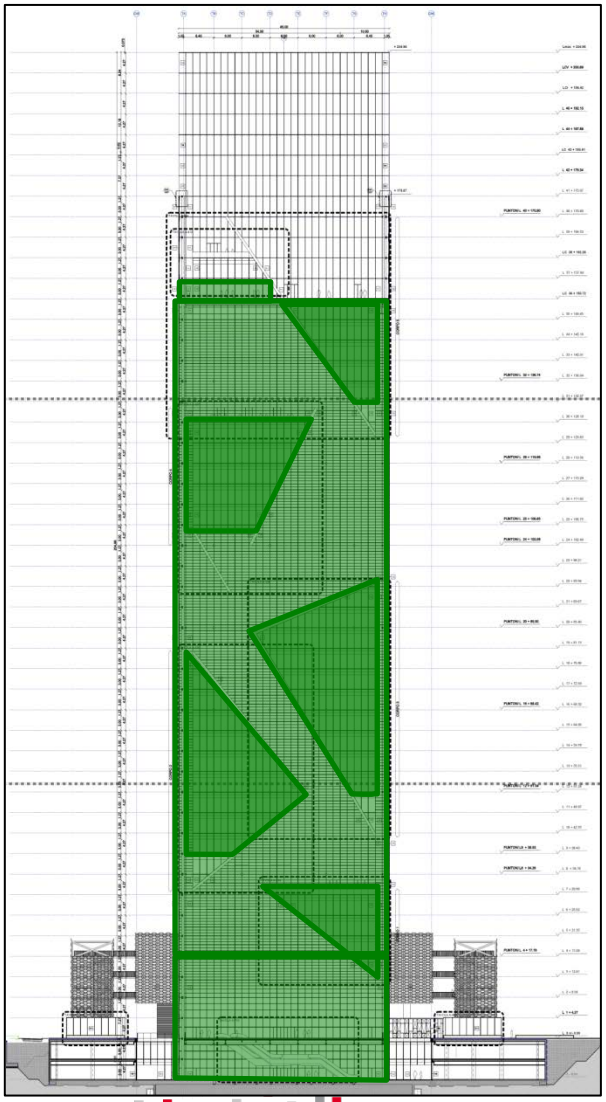
Requisiti di resistenza al fuoco tramite approccio prescrittivo



- Facciata EI 120
(EI 60 dopo richiesta di deroga)
- Protezione con vernice intumescente delle strutture del “Grande Vuoto”
- Lama d’acqua intorno al perimetro dei “Satelliti”

Torre Regione Piemonte :

Problemi costruttivi con approccio prescrittivo

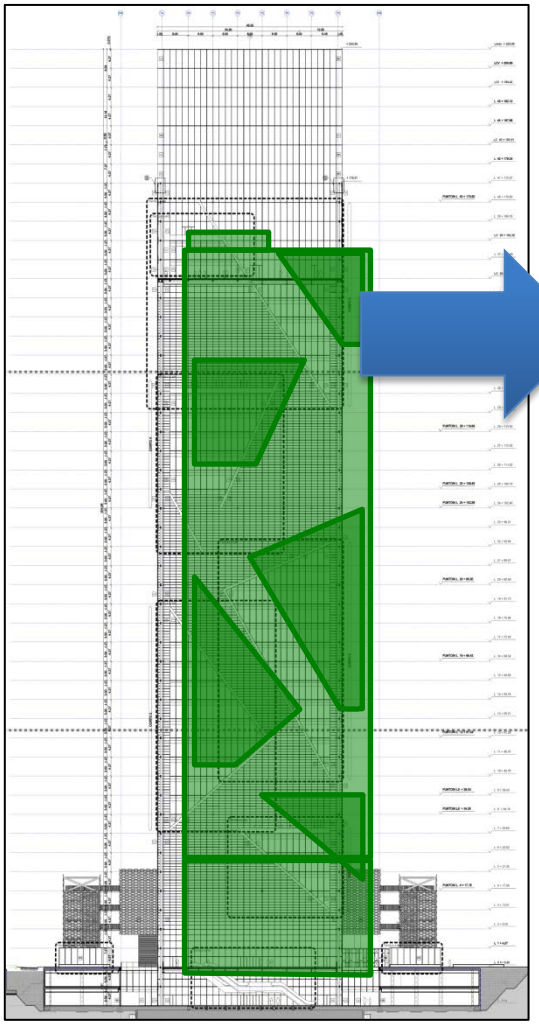


- Reazione dei vetri resistenti al fuoco secondo particolari condizioni termiche in casa estivo
- manutenzione dei vetri resistenti al fuoco (no possibiltà di ponteggi, ecc.)
- manutenzione della vernice intumescente da applicare alle strutture del “Grande Vuoto”
- Problemi strutturali legati all’eccessivo perso delle lame d’acqua sui “Satelliti”

???

Torre Regione Piemonte

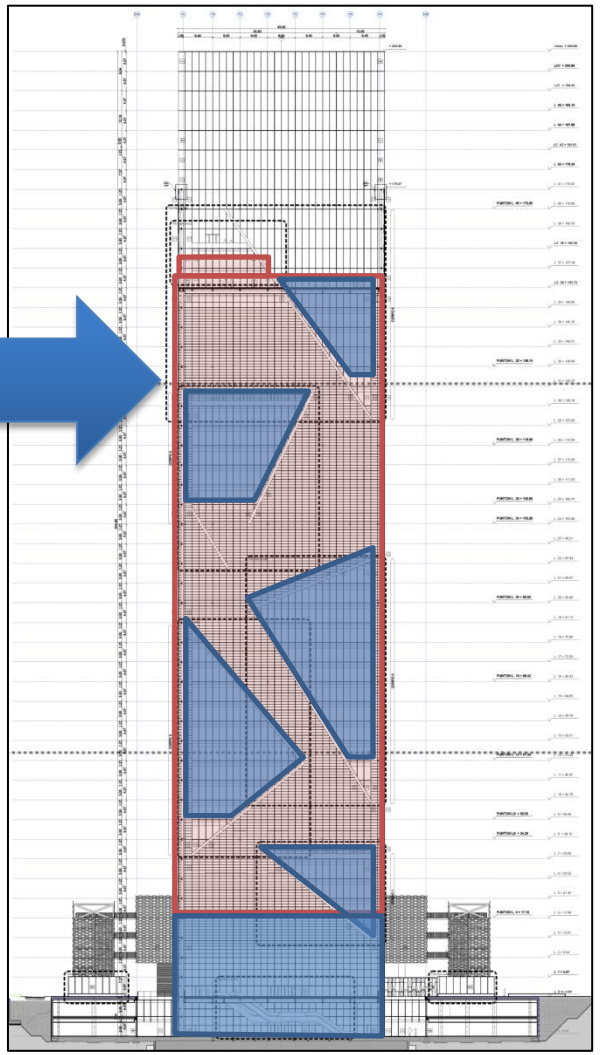
FSE soluzioni



Soluzioni??

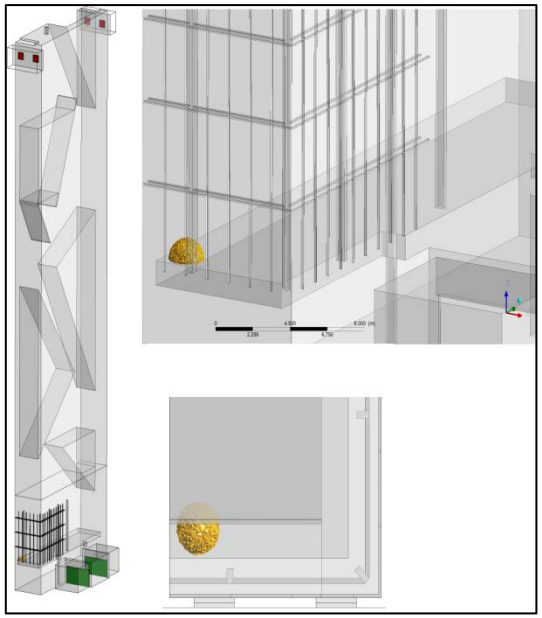
- Utilizzo di particolari vetri resistenti al fuoco senza gel intumescente (EW 60 i->o)
- Utilizzo della vernice intumescente solo dove necessario
- No fuoco all'interno dei satelliti (water mist)

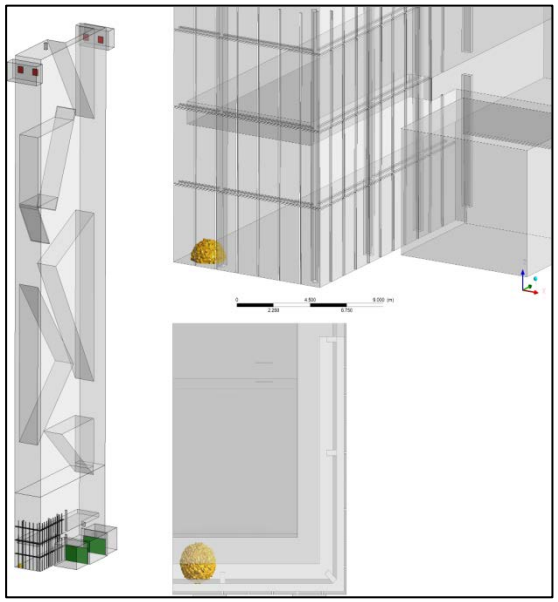
FSE



Torre Regione Piemonte

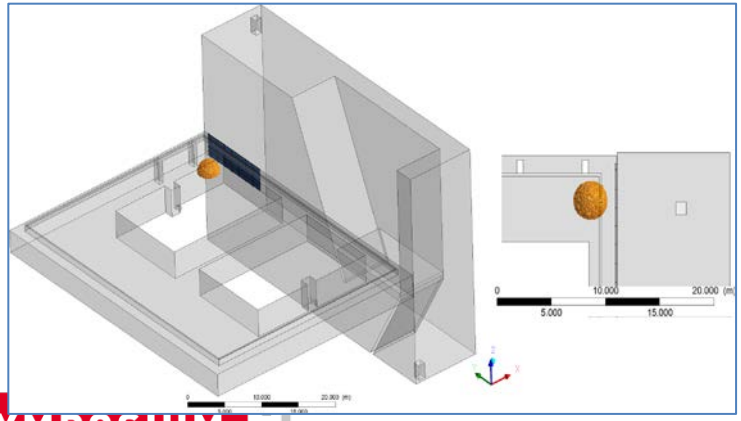
Design Fire Scenarios

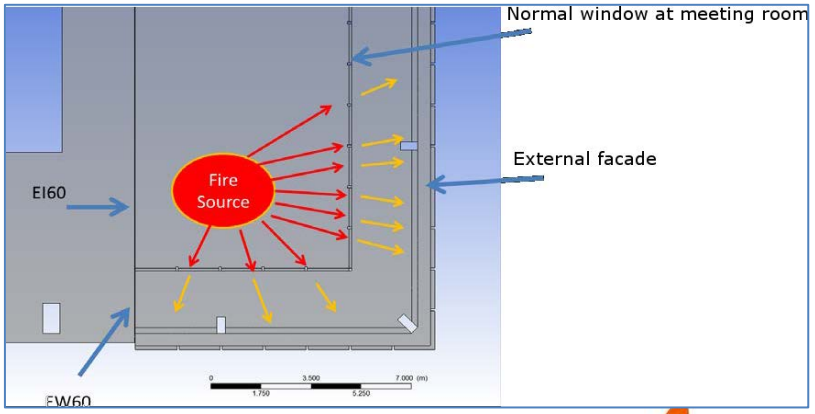




- Fire:

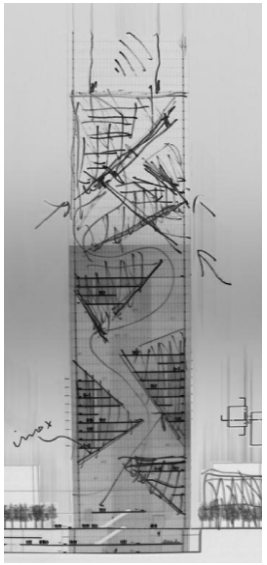
1 – Fire at leve 0 Grand Space
2 – Fire at level -2 Grand Space
3&4 – Fire iside the office level
5&6 – Fire inside the Satellite

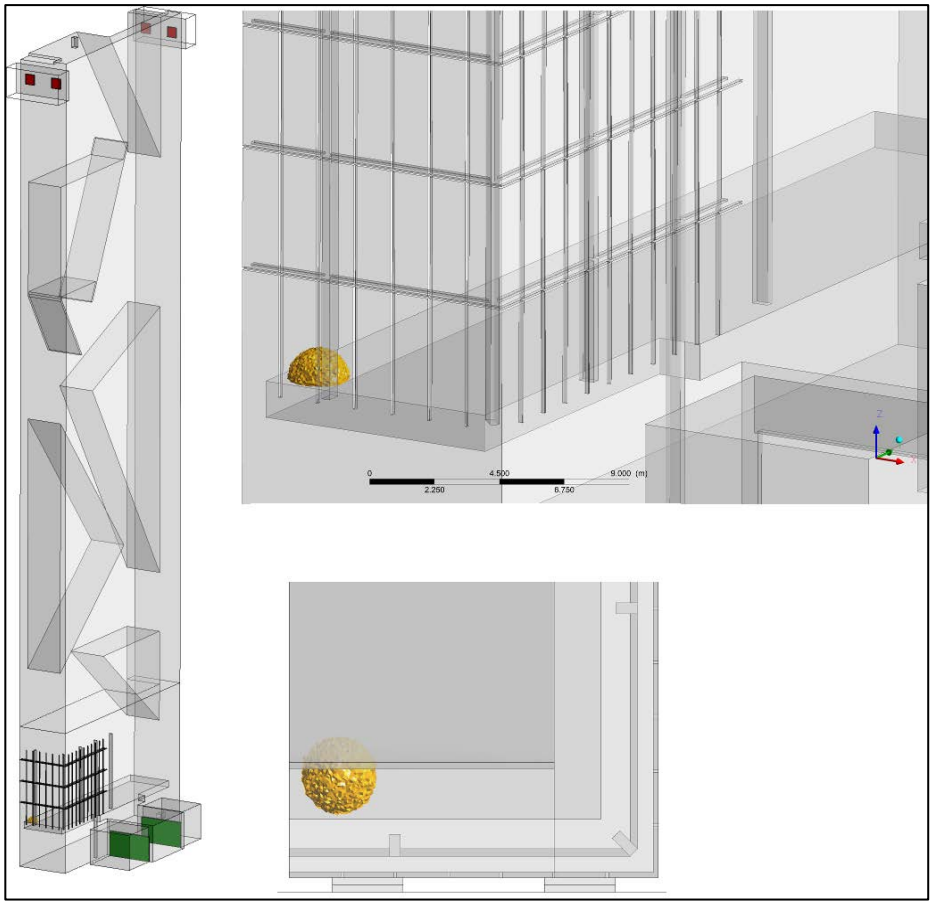


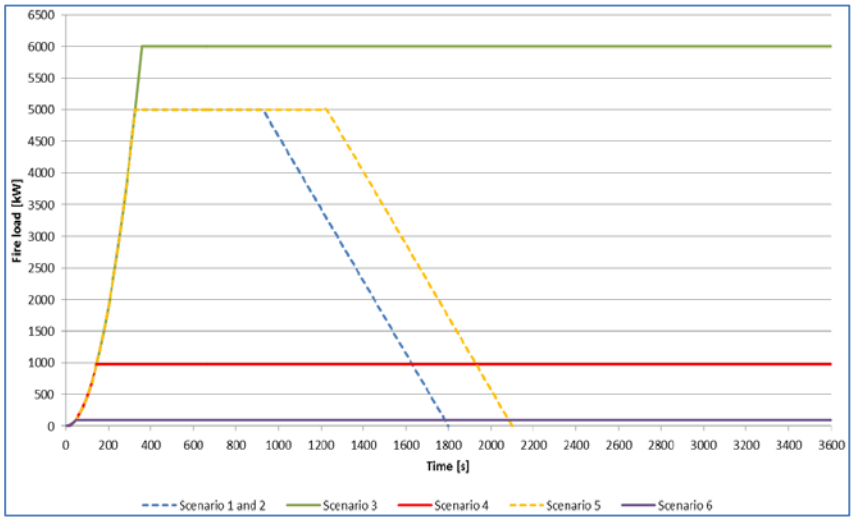


ESEMPI PRATICI

Torre Regione Piemonte – Scenario fuoco all'interno del grande vuoto livello 0

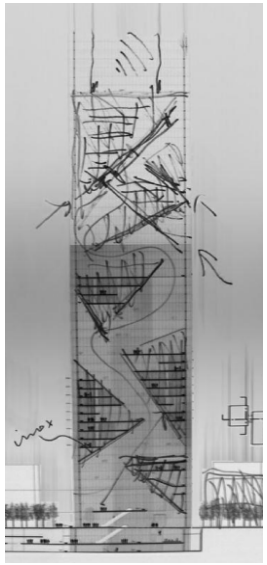


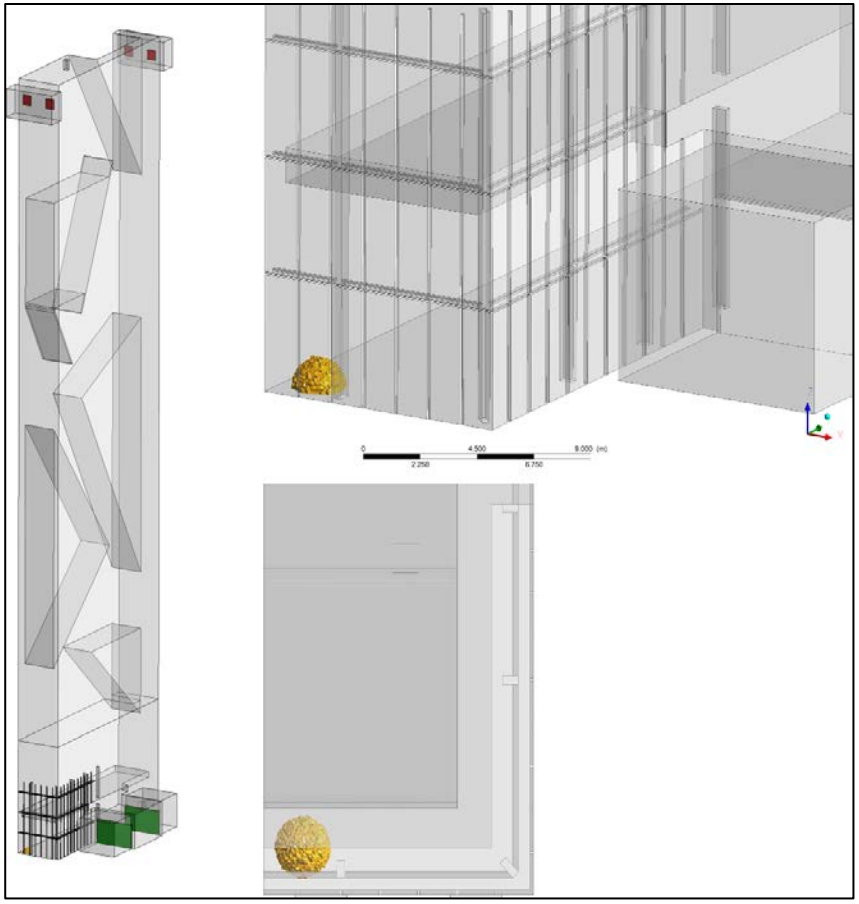


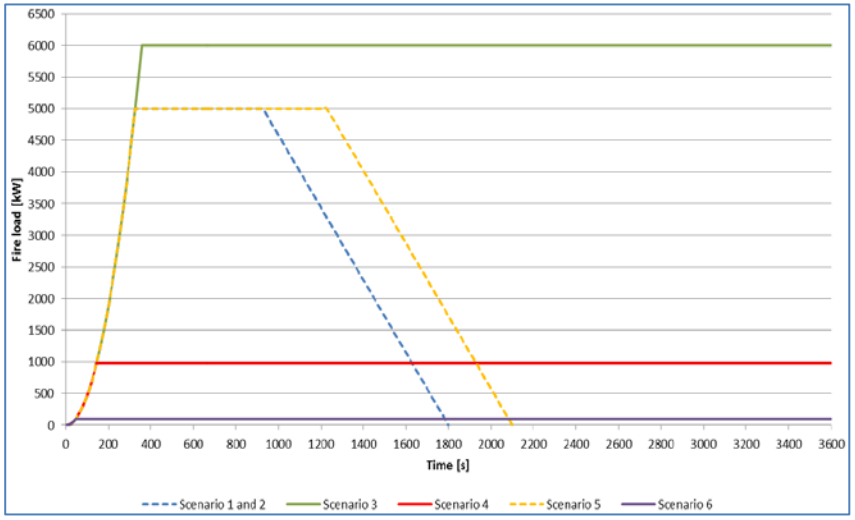


ESEMPI PRATICI

Torre Regione Piemonte – Scenario fuoco all'interno del grande vuoto livello -2

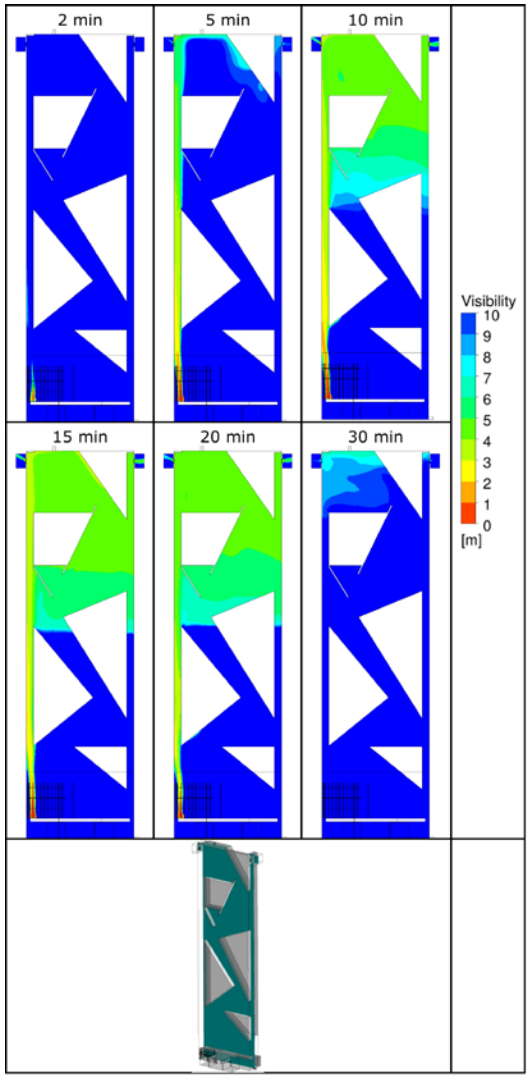


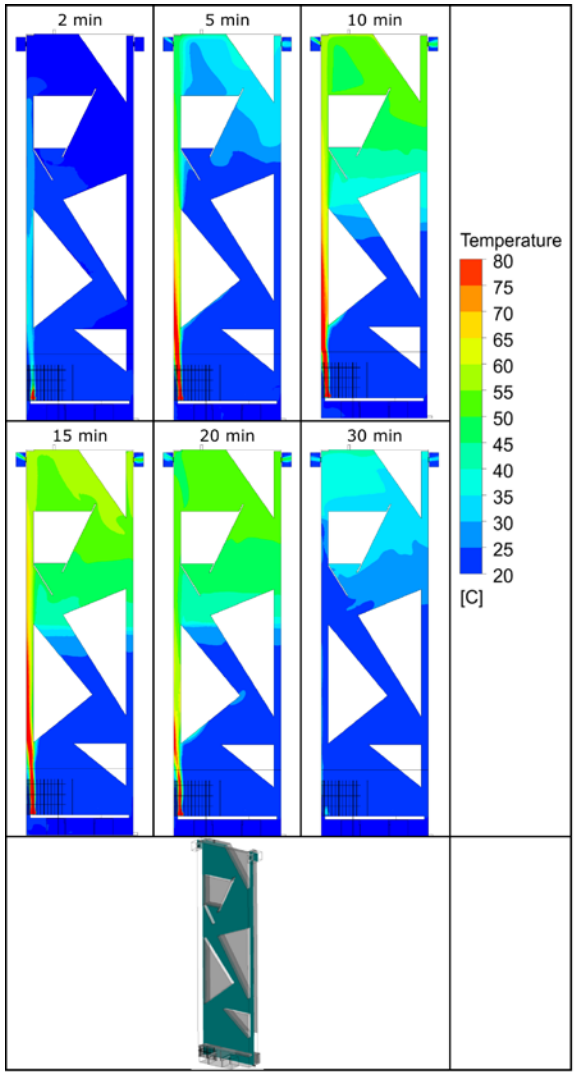


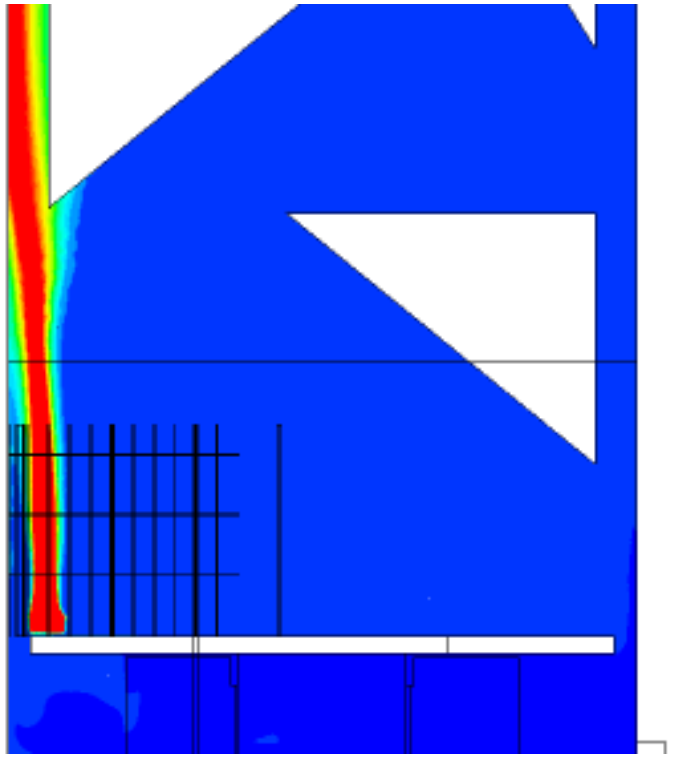


Torre Regione Piemonte

Fire Scenario 1 – Fire inside the Grand Space at level 0

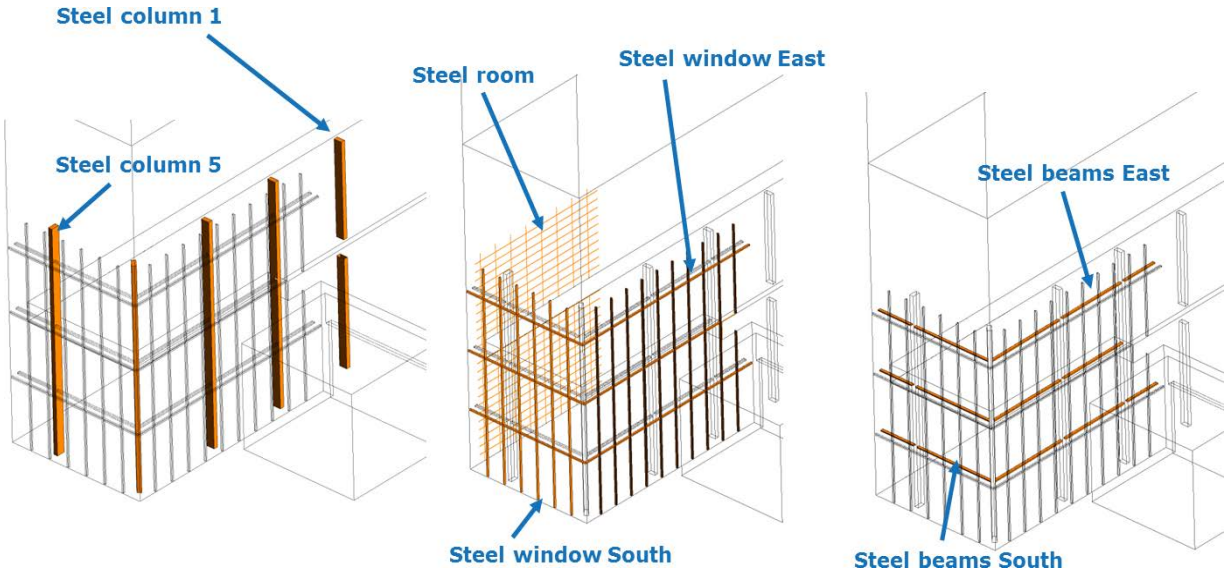


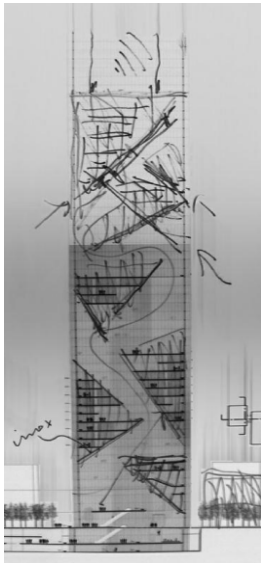


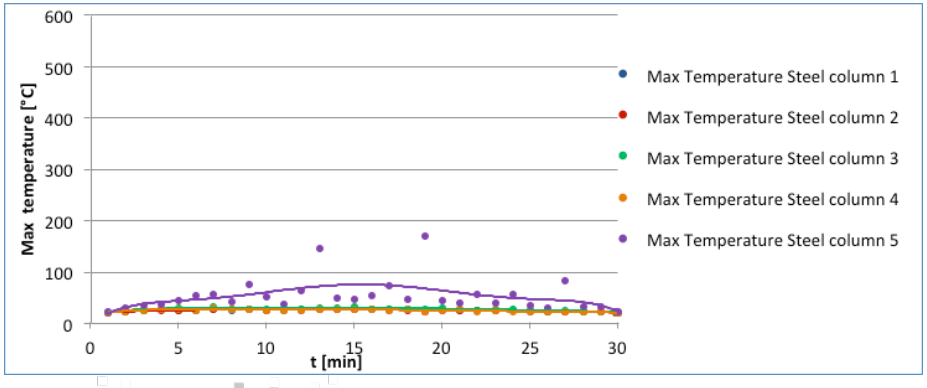


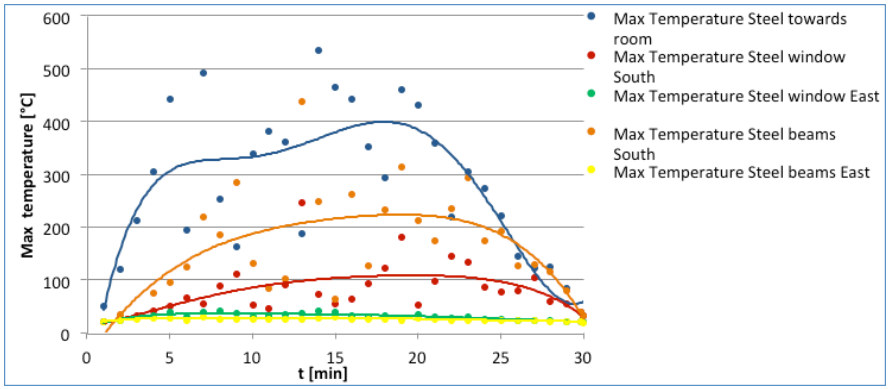
ESEMPI PRATICI

Torre Regione Piemonte – Scenario fuoco all'interno del grande vuoto livello 0



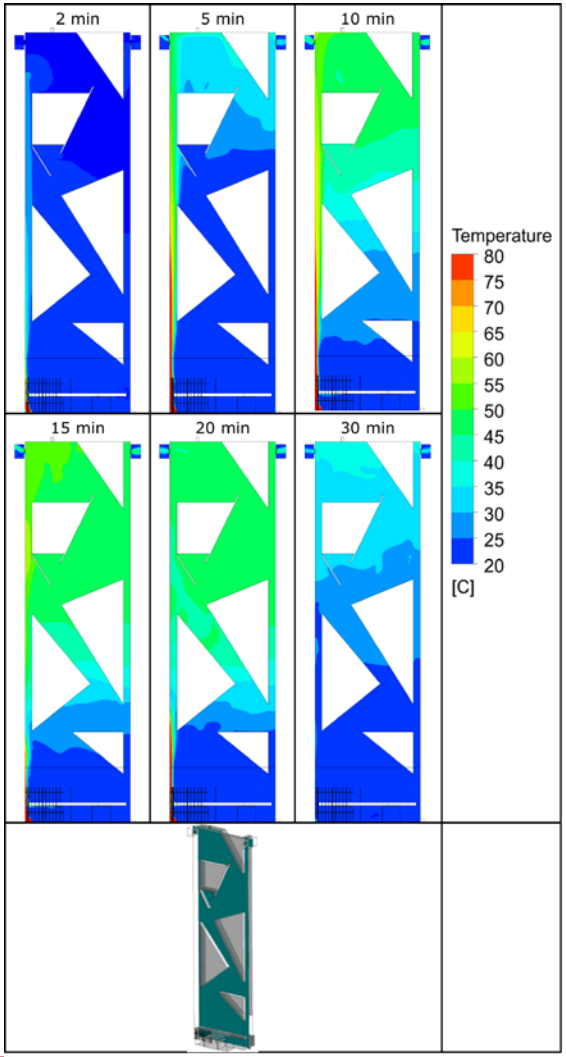


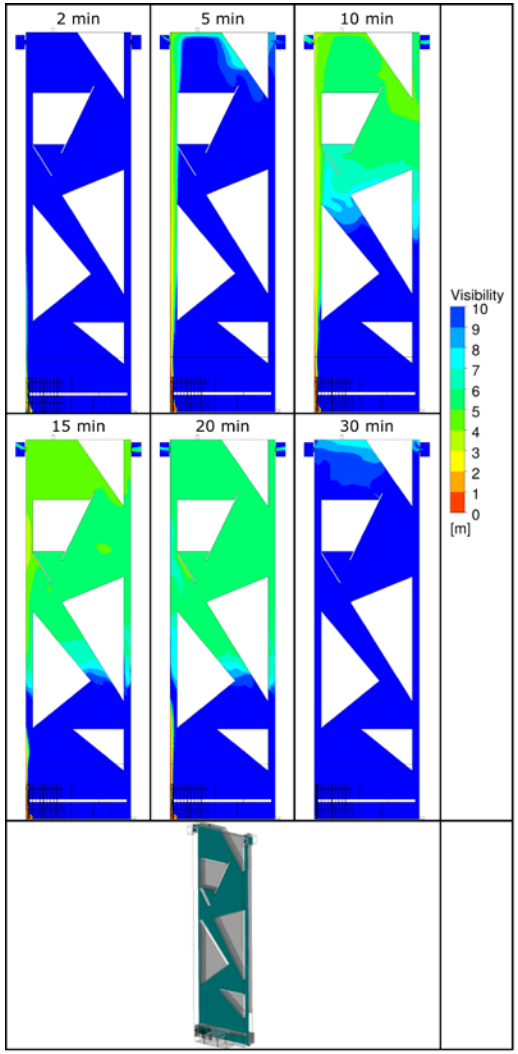


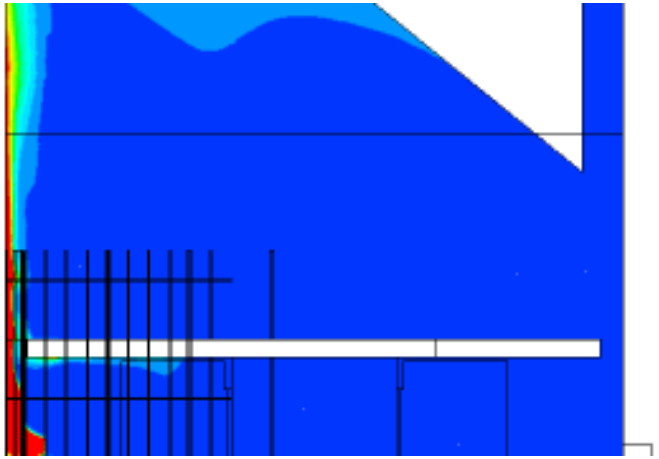


Torre Regione Piemonte

Fire Scenario 2 – Fire inside the Grand Space at level -2

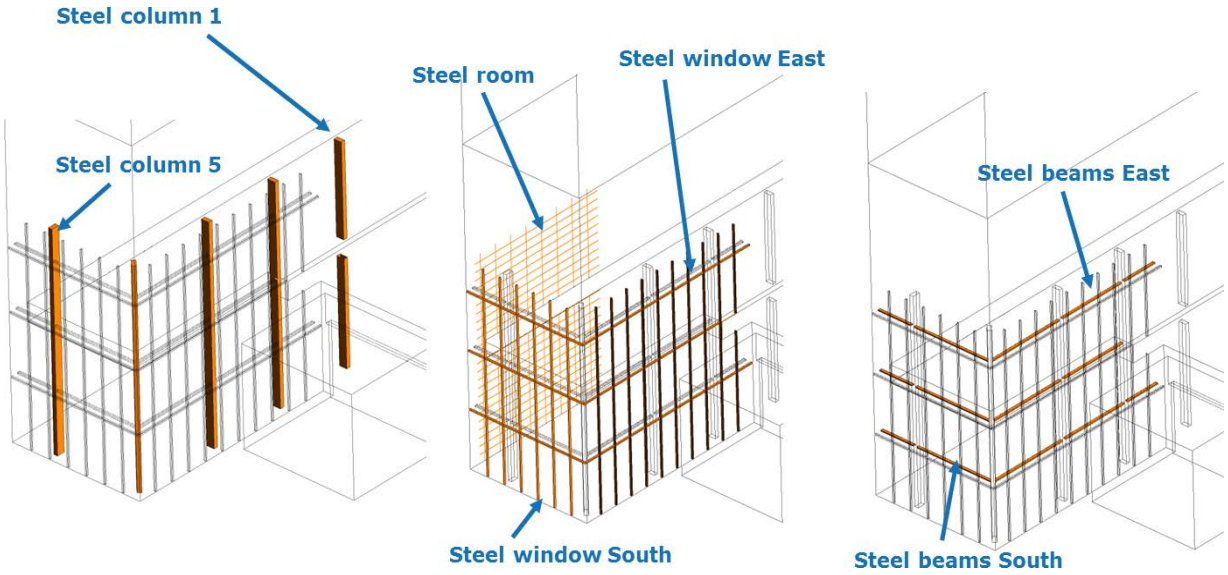


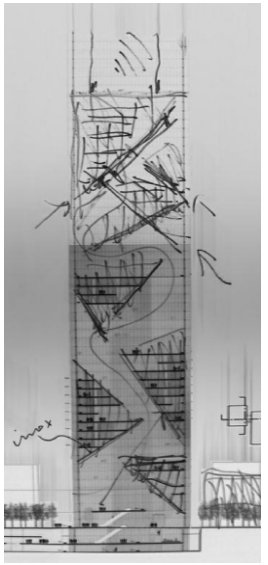


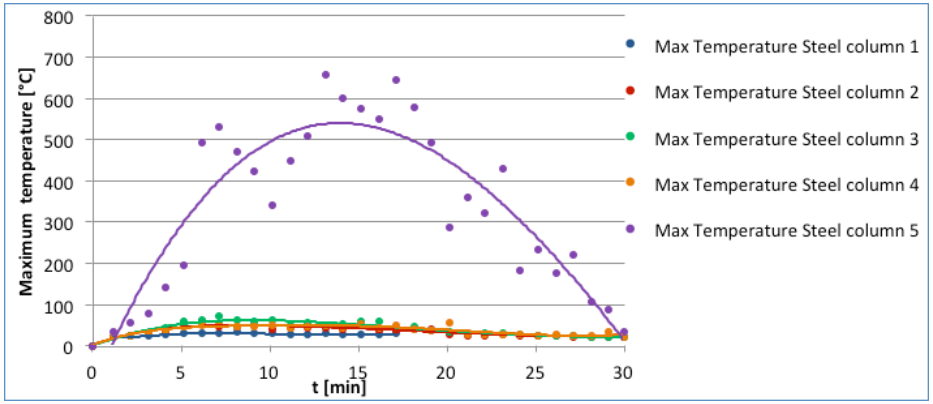


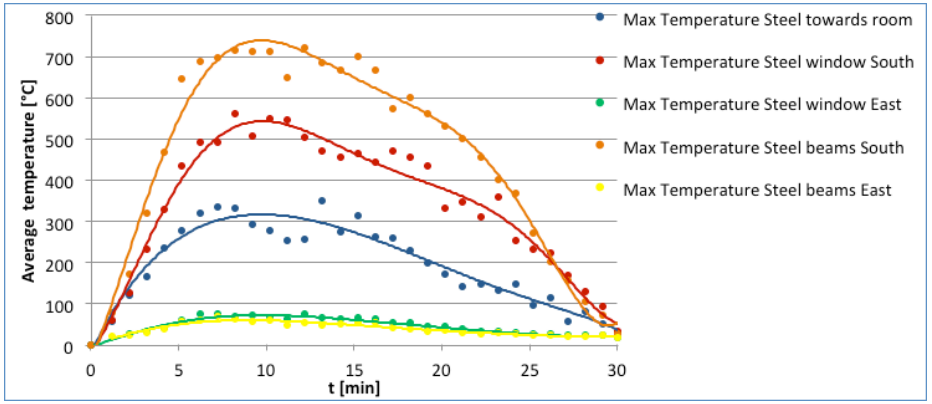
ESEMPI PRATICI

Torre Regione Piemonte – Scenario fuoco all'interno del grande vuoto livello -2



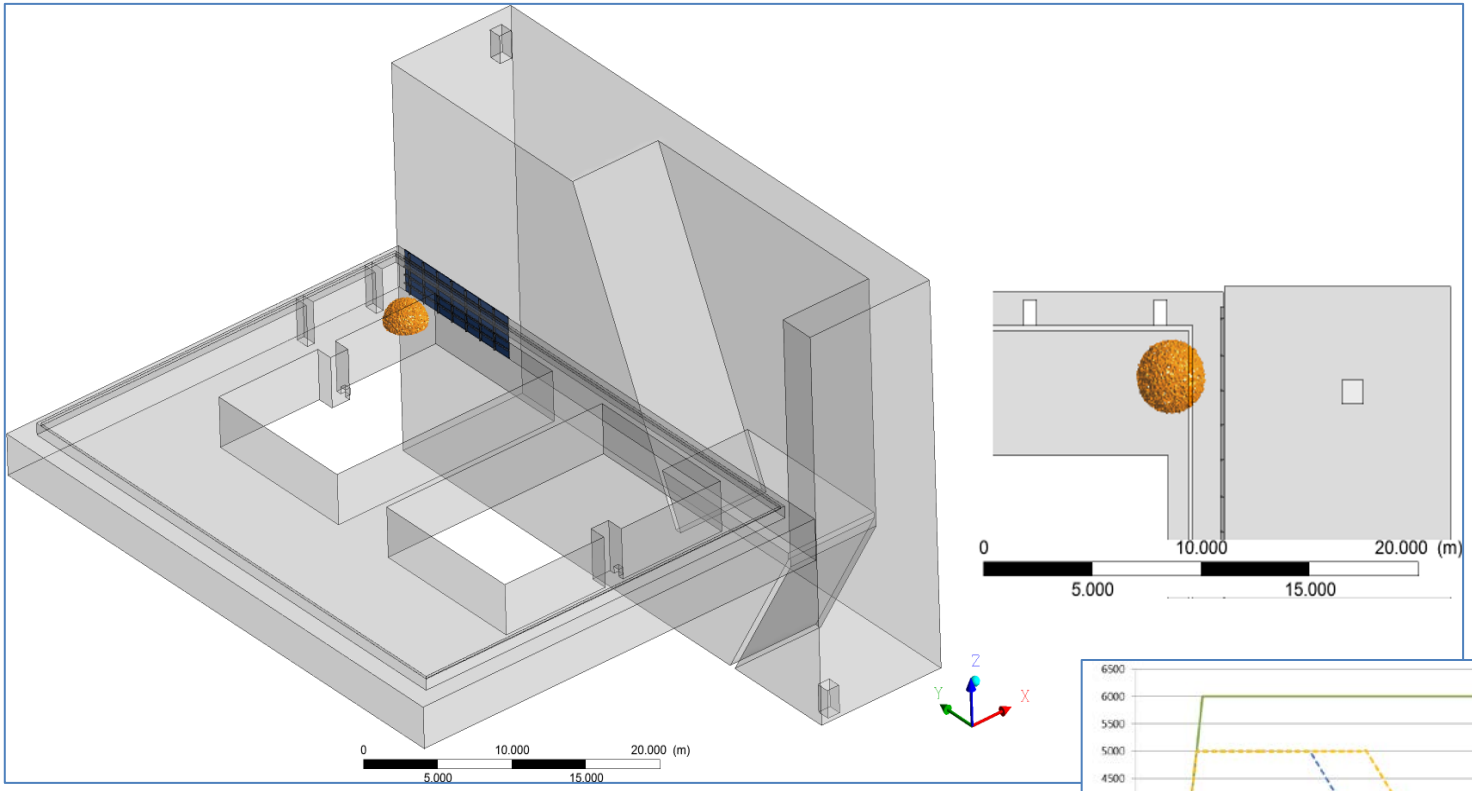


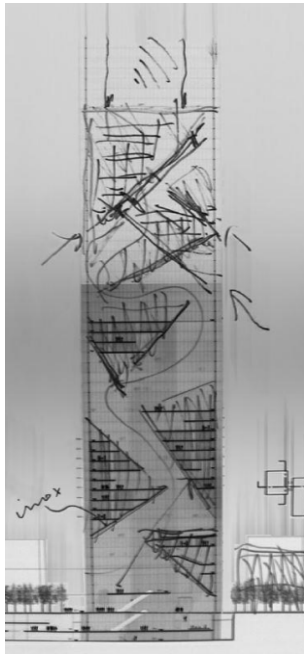


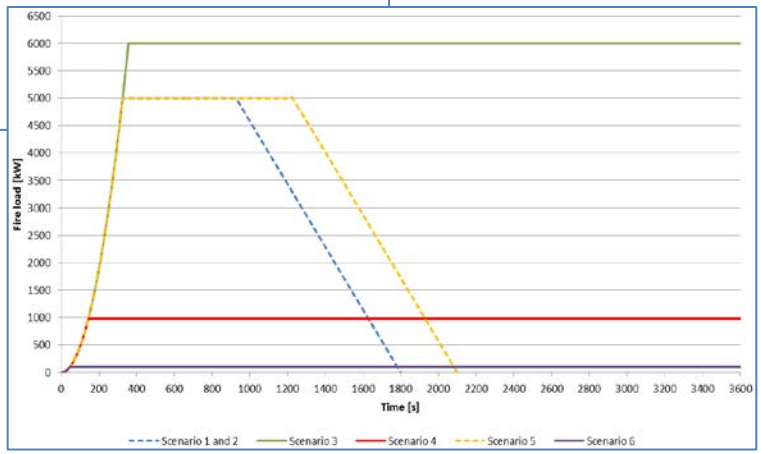


ESEMPI PRATICI

Torre Regione Piemonte – Scenario fuoco al piano tipo



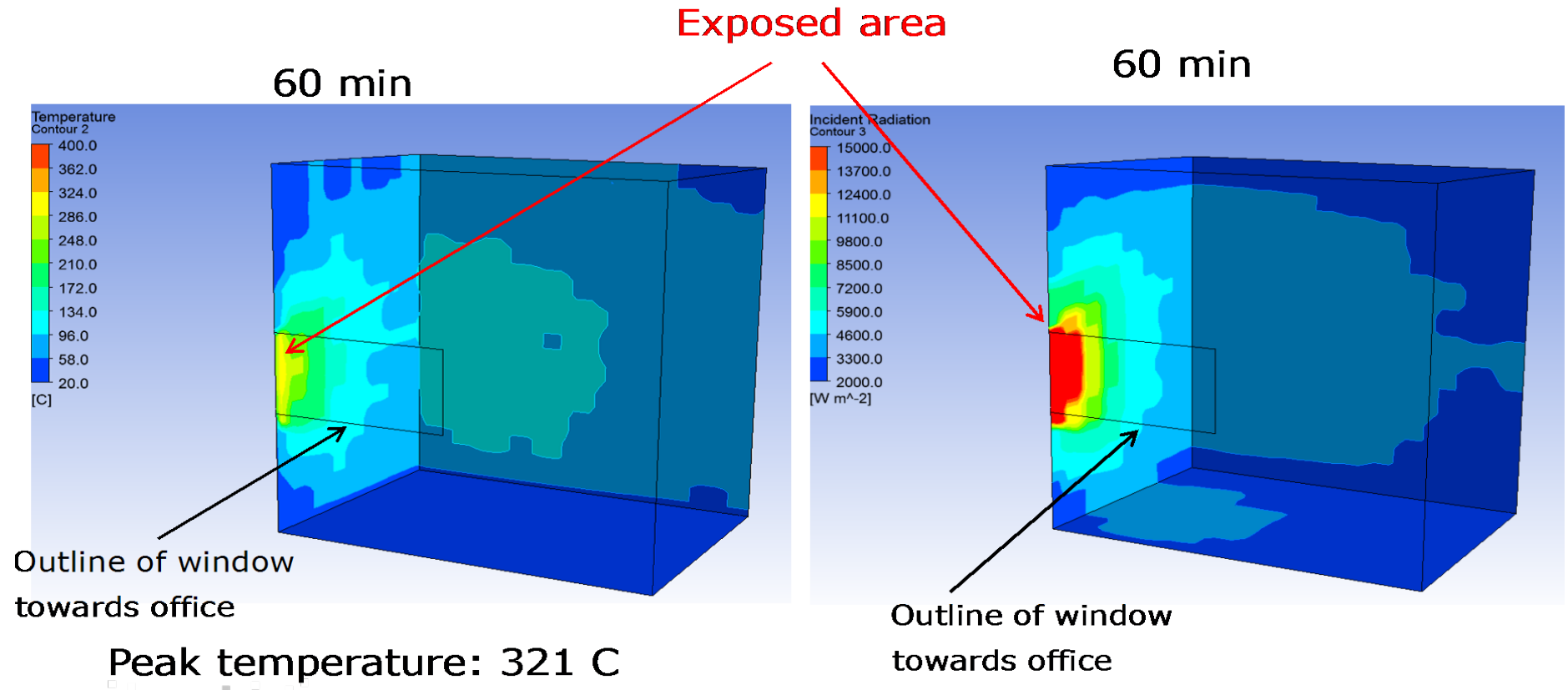




Torre Regione Piemonte

Fire Scenario 3 & 4 – Fire inside the office

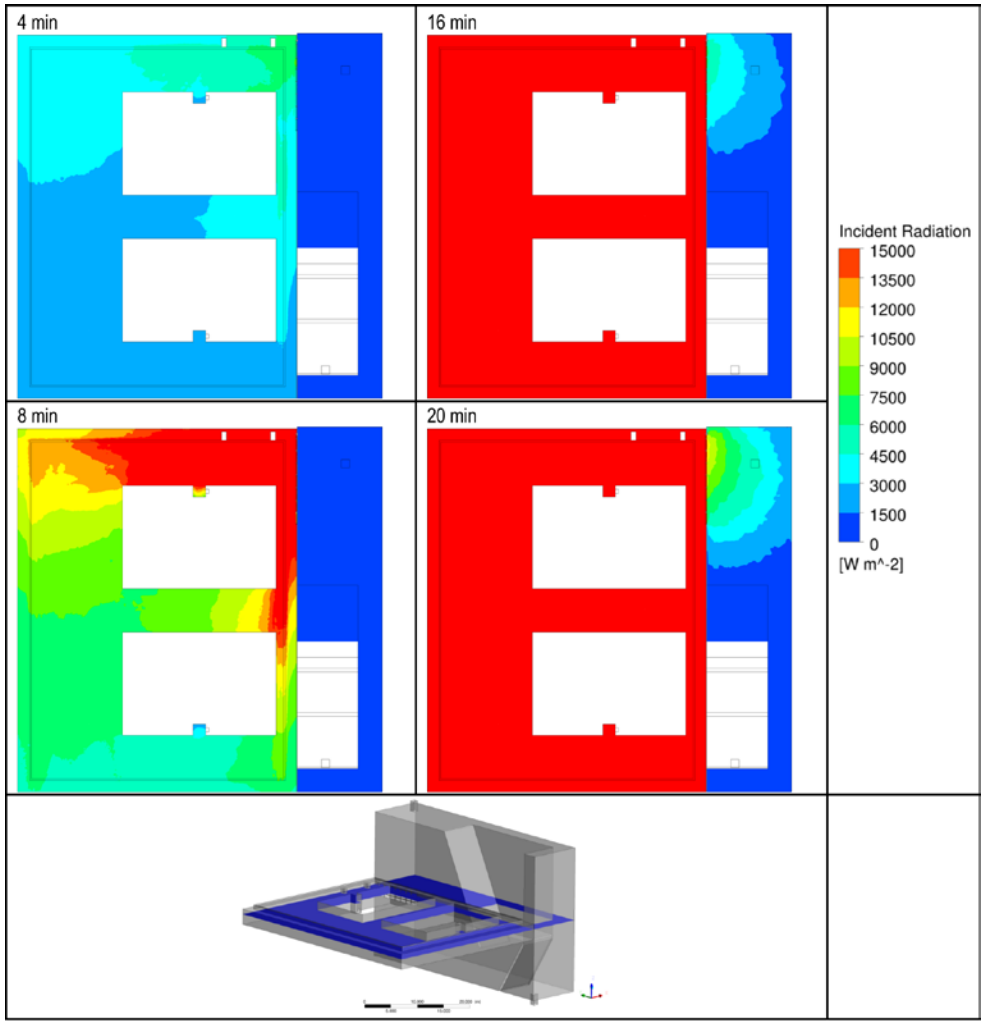
FIRE AFTER 60 MIN.
ONLY EXTERNAL FAÇADE IN ATRIUM IS SHOWN

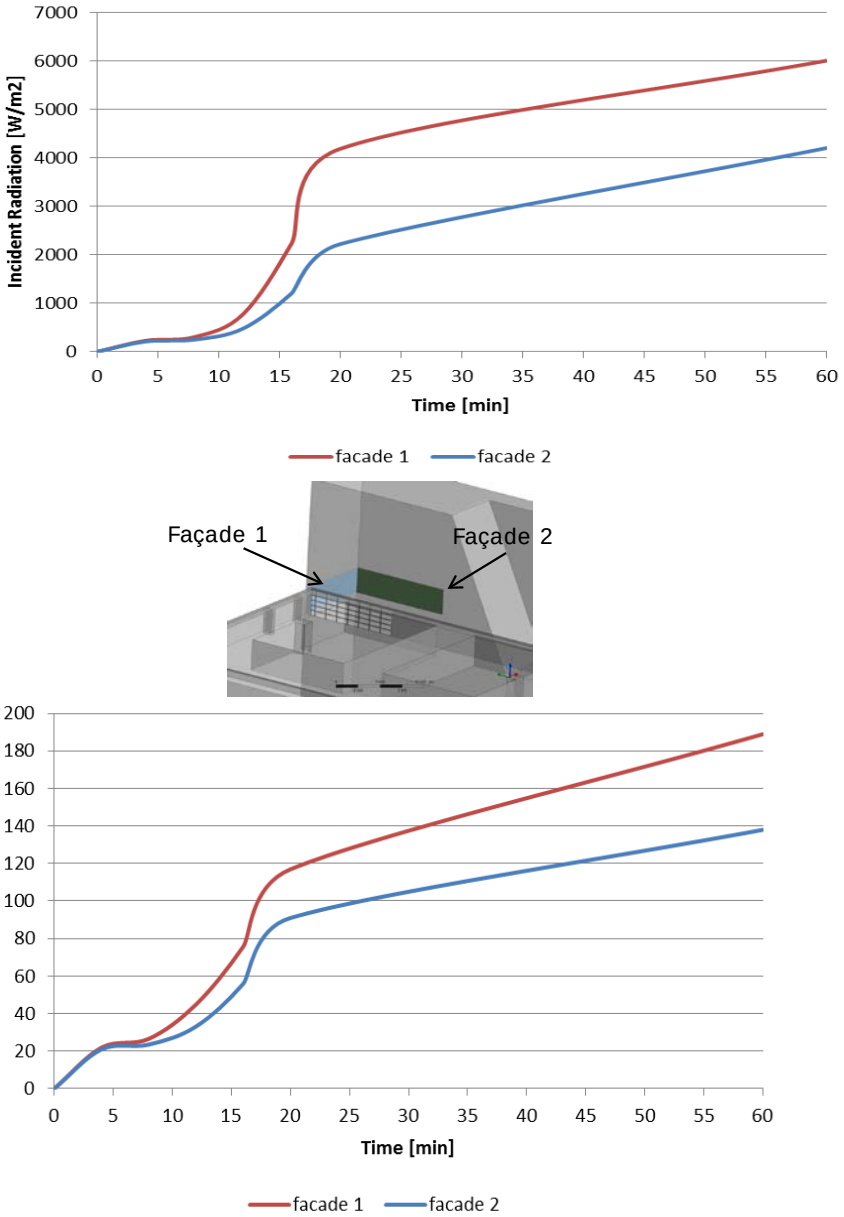


Peak temperature: 321 C inside exposed area

ESEMPI PRATICI

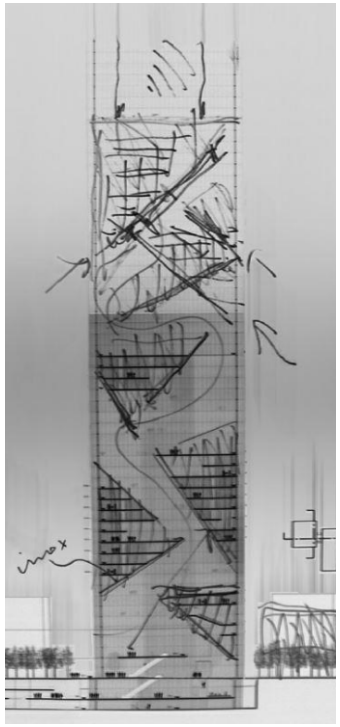
Torre Regione Piemonte – Scenario fuoco al piano tipo

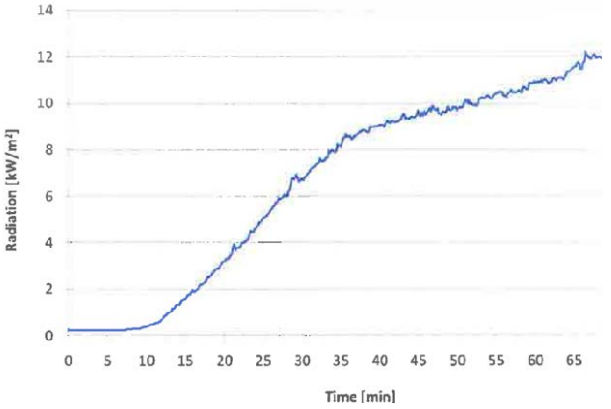




ESEMPI PRATICI

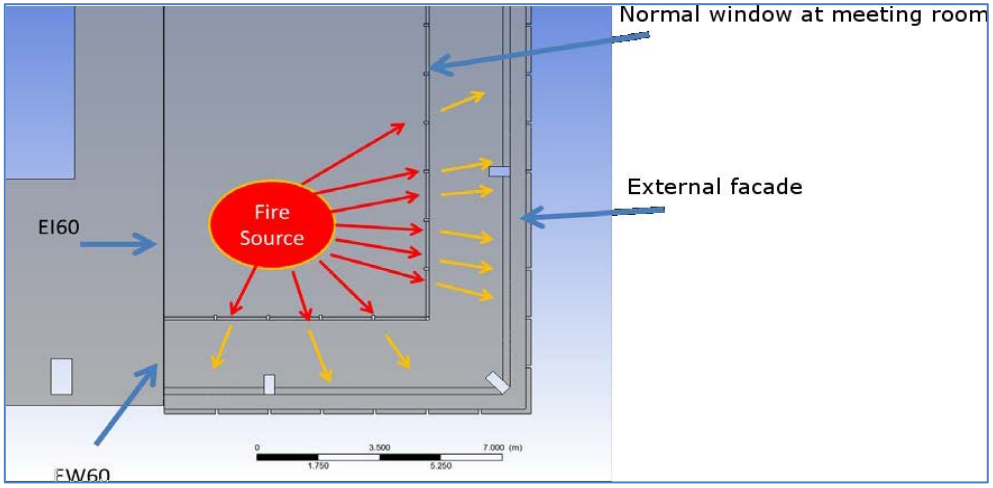
Torre Regione Piemonte

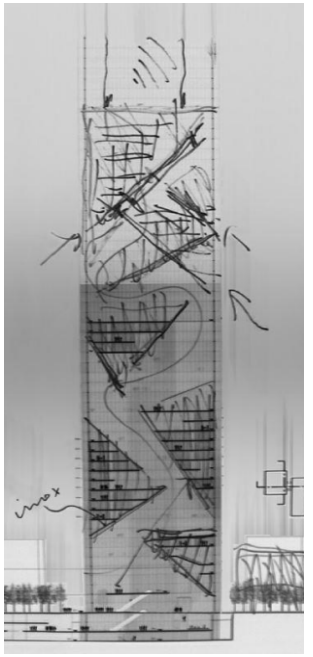


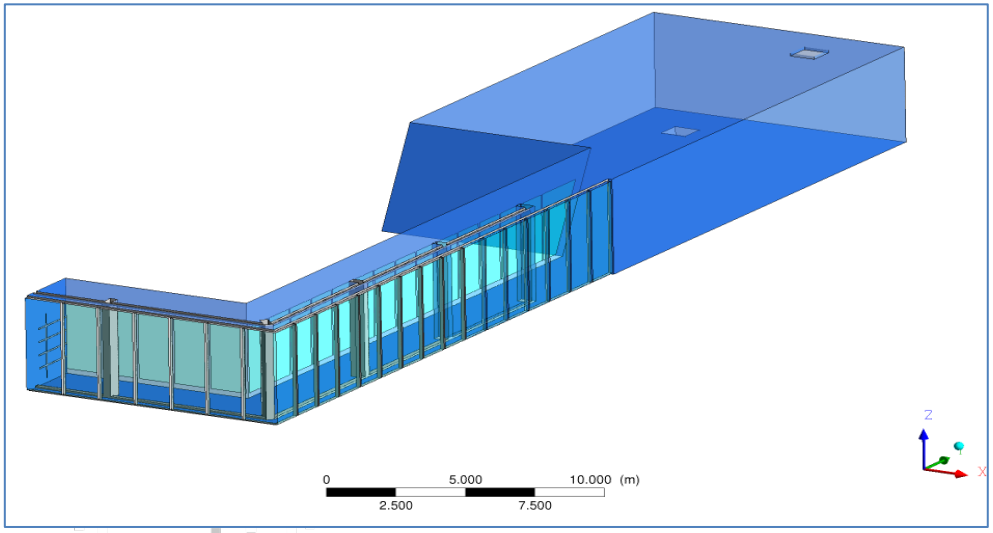


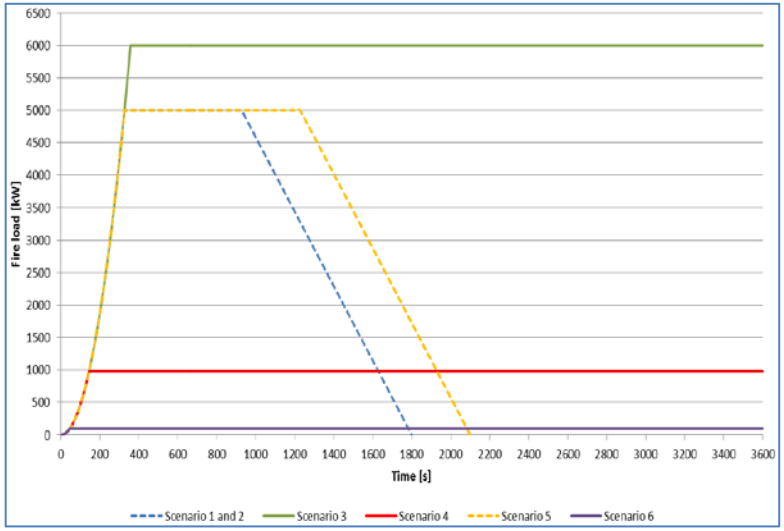
ESEMPI PRATICI

Torre Regione Piemonte – Scenario fuoco all'interno di un satellite



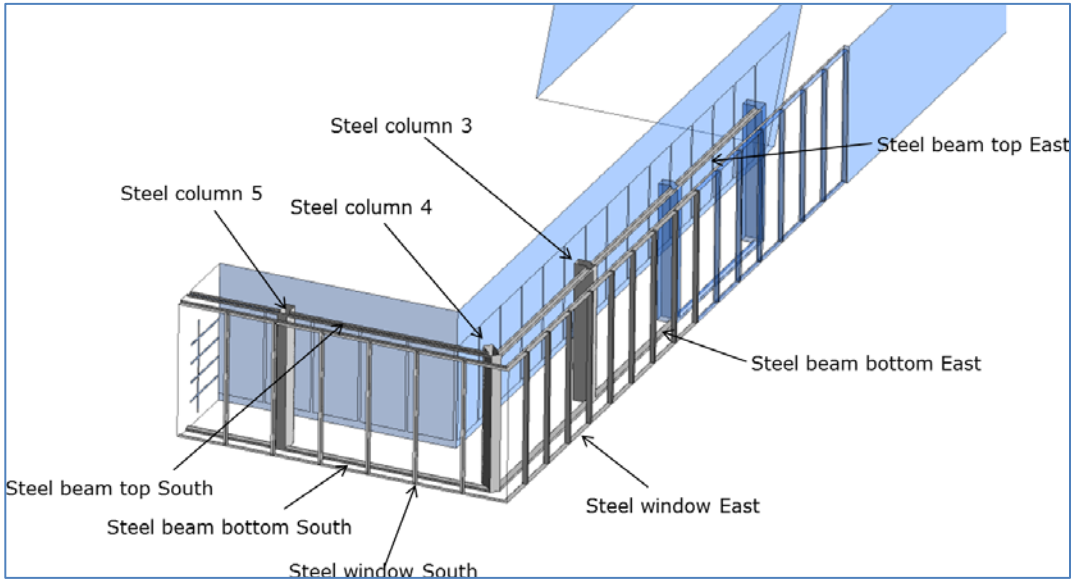


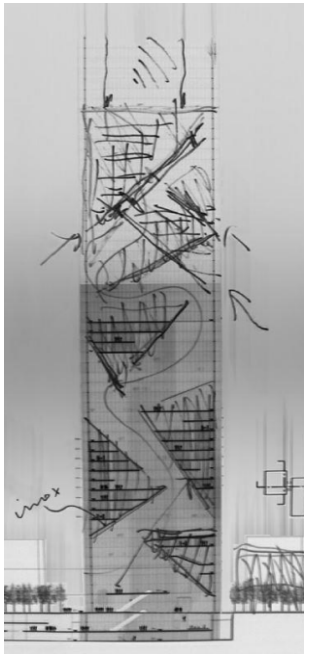


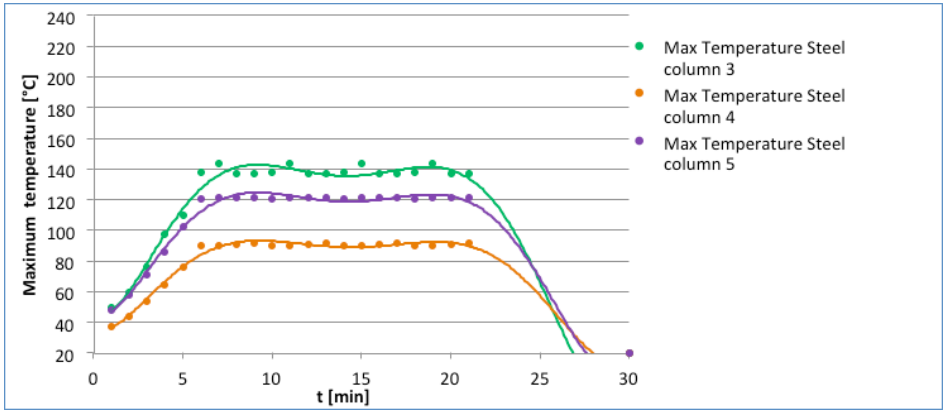


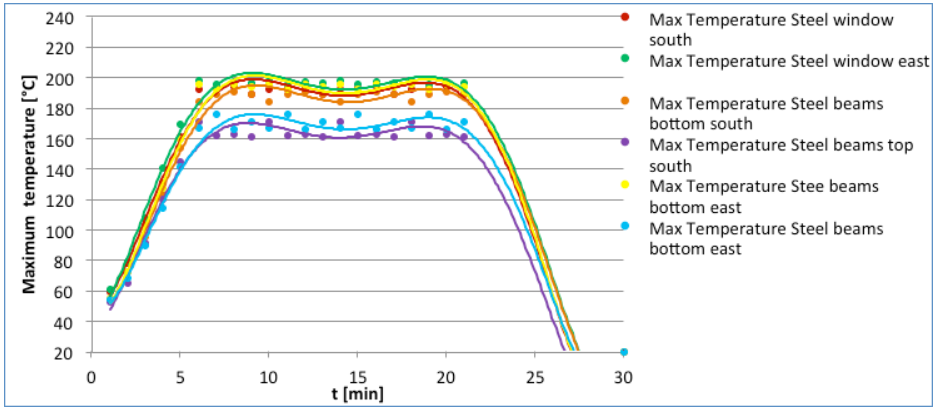
ESEMPI PRATICI

Torre Regione Piemonte – Scenario fuoco al piano tipo



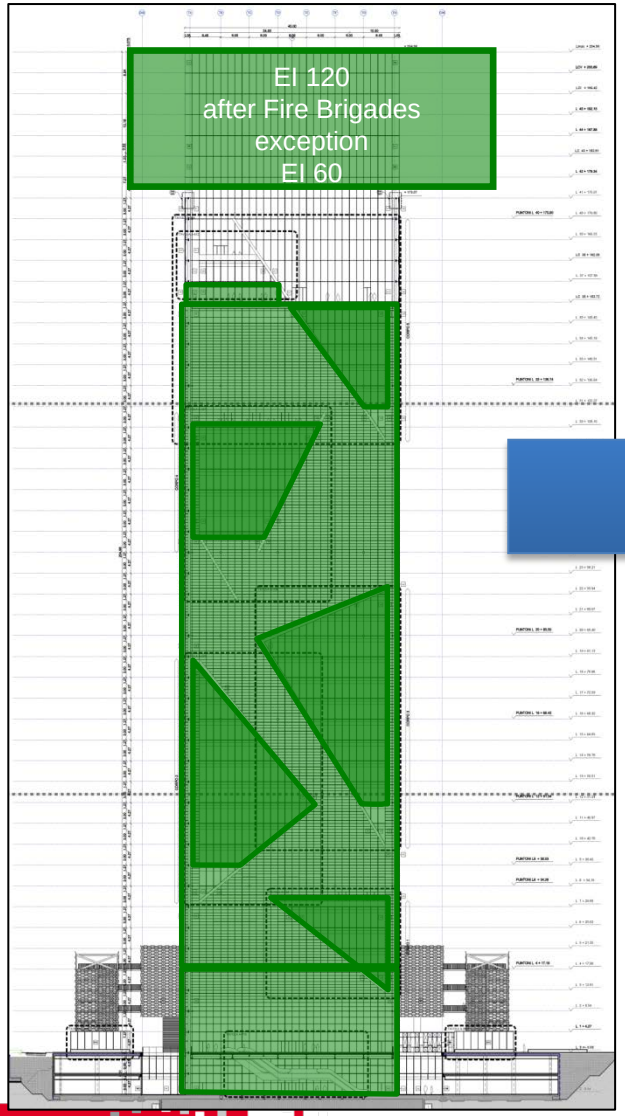


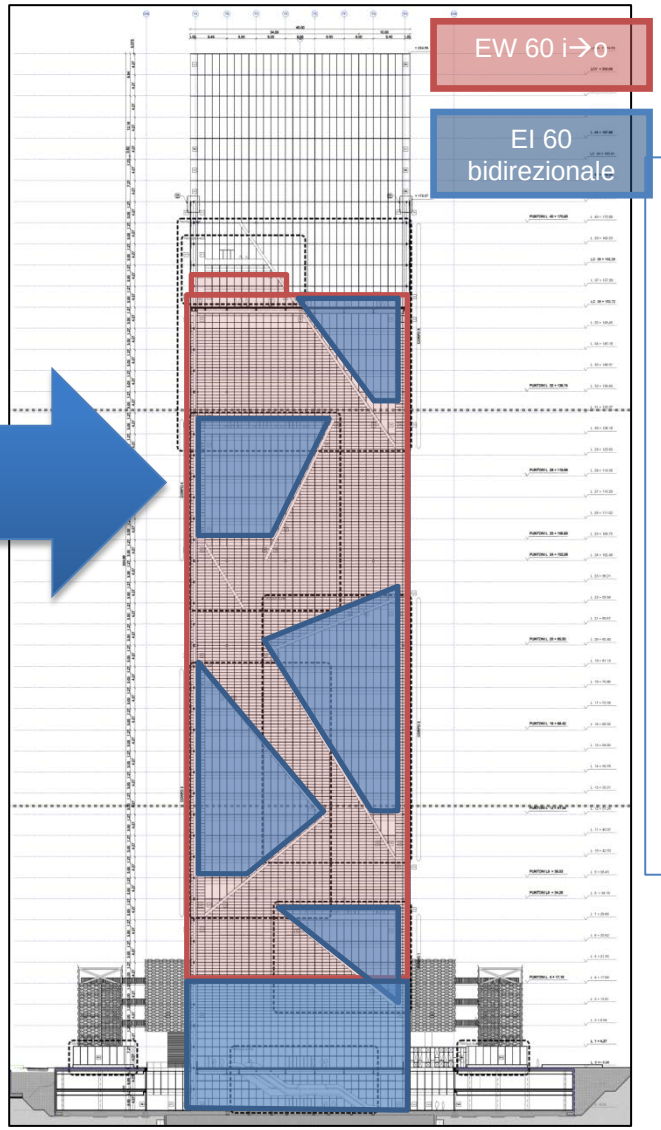




Torre Regione Piemonte

Prescriptive solution VS FSE solution





- NO reazione dei vetri resistenti al fuoco
- NO manutenzione dei vetri resistenti al fuoco
- NO manutenzione della vernice intumescente
- NO problemi strutturali legati al peso delle lame d'acqua
- RISPARMIATI MILIONI DI EURO

GRAZIE PER L'ATTENZIONE