



7a Conferenza Nazionale Poliuretano Espanso rigido  
PROGETTARE l'efficienza, COSTRUIRE il cambiamento  
Roma 7 Maggio 2026

DIPARTIMENTO  
INGEGNERIA CHIMICA  
MATERIALI AMBIENTE

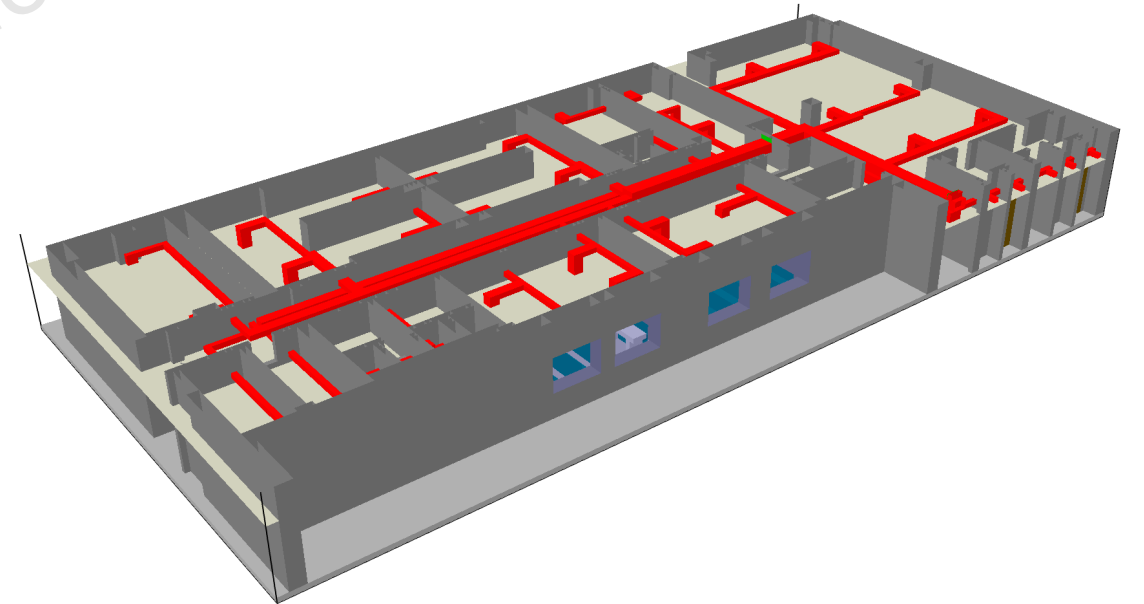


SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# L'approccio ingegneristico alla prevenzione incendi e la caratterizzazione della reazione al fuoco dei materiali

*Prof. Mara Lombardi*

*Ing. Alessandro Leonardi*



# DM 30/08/2015

## Codice di prevenzione incendi

Con il Codice di prevenzione incendi si è resa accessibile la **progettazione prestazionale** che è alla base dell'approccio ingegneristico alla prevenzione incendi introdotto in Italia con il DM 07/05/2007



## Testo coordinato dell'allegato I del DM 3 agosto 2015 Codice di prevenzione incendi

### G.2.1

### Principi e caratteristiche del documento

1. Il presente documento riporta metodologie di progettazione della sicurezza antincendio finalizzate al raggiungimento degli *obiettivi primari* della prevenzione incendi.
2. Le soluzioni progettuali previste dalle metodologie di progettazione della sicurezza antincendio del presente documento allineano il panorama normativo italiano ai principi di prevenzione incendi internazionalmente riconosciuti.
3. L'impostazione generale del presente documento è basata sui seguenti principi:
  - d. *flessibilità*: ad ogni prestazione di sicurezza antincendio richiesta all'attività corrisponde sempre la proposta di molteplici soluzioni progettuali prescrittive o prestazionali. Sono inoltre definiti metodi riconosciuti affinché il progettista possa concepire autonomamente e dimostrare la validità della specifica soluzione progettuale alternativa, nel rispetto degli obiettivi di sicurezza antincendio;

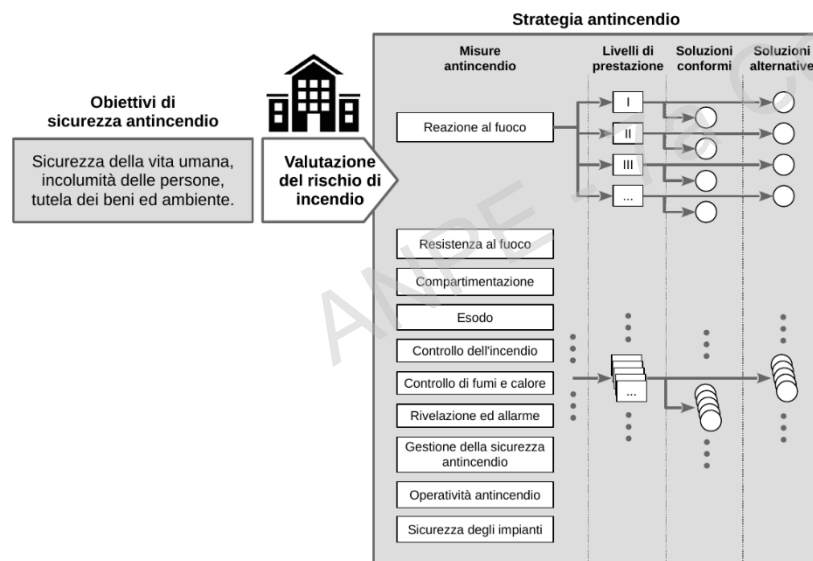


Illustrazione G.2-1: Schematizzazione della metodologia generale

# DM 30/08/2015

## Codice di prevenzione incendi

Le soluzioni progettuali per ciascuna misura che compone la strategia antincendio, sono portate a termine garantendo un livello di prestazione congruo con lo specifico profilo di rischio.

### G.2.6.5

#### Individuazione delle soluzioni progettuali

1. Per ogni *livello di prestazione* di ciascuna misura antincendio sono previste diverse *soluzioni progettuali*. L'applicazione di una delle *soluzioni progettuali* garantisce il raggiungimento del *livello di prestazione* richiesto.
2. Sono definite tre tipologie di *soluzioni progettuali*:
  - a. *soluzioni conformi*;
  - b. *soluzioni alternative*;
  - c. *soluzioni in deroga*.

Nota Le definizioni di *soluzioni conformi*, *soluzione alternativa* e *soluzione in deroga* si trovano nel capitolo G.1.

3. Qualora disponibili, nelle pertinenti *regole tecniche verticali* possono essere descritte eventuali *soluzioni progettuali* complementari o sostitutive di quelle dettagliate nella sezione *Strategia antincendio*, oppure semplici prescrizioni aggiuntive per la specifica tipologia d'attività.
4. Il progettista può sempre scegliere la soluzione progettuale più adatta alla tipologia d'attività.

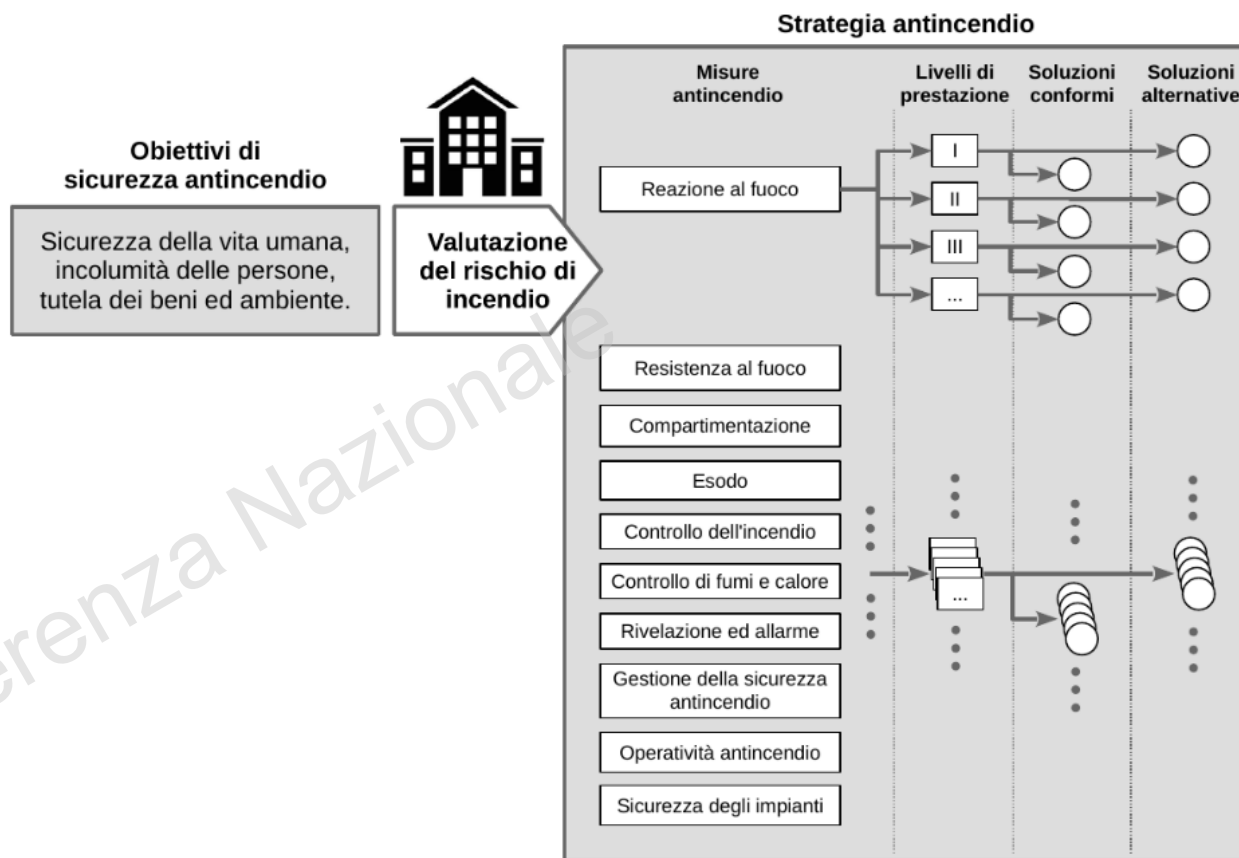


Illustrazione G.2-1: Schematizzazione della metodologia generale

# DM 30/08/2015

## Codice di prevenzione incendi

Nello sviluppo della strategia antincendio si richiede di sviluppare soluzioni progettuali alternative delle misure di prevenzione e protezione con l'utilizzo di quattro metodologie fra le quali l'**Ingegneria della sicurezza antincendio**

### G.2.6.5.2 Applicazione di soluzioni alternative

1. Il progettista può fare ricorso alle *soluzioni alternative* proposte nei pertinenti paragrafi della sezione *Strategia antincendio* e delle *regole tecniche verticali*, oppure può proporre specifiche *soluzioni alternative* con i metodi di cui al comma successivo.
2. Il progettista che fa ricorso alle *soluzioni alternative* è tenuto a dimostrare il raggiungimento del collegato *livello di prestazione*, impiegando uno dei *metodi di progettazione della sicurezza antincendio* ammessi per ciascuna misura antincendio tra quelli del paragrafo G.2.7.
3. Al fine di consentire la valutazione di tale dimostrazione da parte del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco, è ammesso l'impiego di soluzioni alternative solo nelle *attività con valutazione del progetto*.

Nota La definizione di *attività con valutazione del progetto* si trova nel capitolo G.1 ed include, oltre alle attività con valutazione *ordinaria*, anche quelle con possibilità della valutazione *in deroga*.

Metodi	Descrizione e limiti d'applicazione
Applicazione di norme o documenti tecnici	Il <i>progettista</i> applica norme o documenti tecnici adottati da organismi europei o internazionali, riconosciuti nel settore della sicurezza antincendio. Tale applicazione, fatti salvi gli obblighi connessi all'impiego di prodotti soggetti a normativa comunitaria di armonizzazione e alla regolamentazione nazionale, deve essere attuata nella sua completezza, ricorrendo a soluzioni, configurazioni e componenti richiamati nelle norme o nei documenti tecnici impiegati, evidenziandone specificatamente l'idoneità, per ciascuna configurazione considerata, in relazione ai profili di rischio dell'attività.
Soluzioni progettuali che prevedono l'impiego di prodotti o tecnologie di tipo innovativo	L'impiego di prodotti o tecnologie di tipo <i>innovativo</i> , frutto della evoluzione tecnologica, è consentito in tutti i casi in cui l'idoneità all'impiego possa essere attestata dal <i>professionista antincendio</i> , in sede di verifica ed analisi sulla base di una valutazione del rischio connessa all'impiego dei medesimi prodotti o tecnologie, supportata da pertinenti certificazioni di prova riferite a: <ul style="list-style-type: none"><li>• norme o specifiche di prova nazionali;</li><li>• norme o specifiche di prova internazionali;</li><li>• specifiche di prova adottate da laboratori a tale fine autorizzati.</li></ul>
Ingegneria della sicurezza antincendio	Il <i>professionista antincendio</i> applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio, secondo procedure, ipotesi e limiti indicati in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3 oppure in base a principi tecnico-scientifici riconosciuti a livello nazionale o internazionale.
Prove sperimentali	Il <i>professionista antincendio</i> esegue prove sperimentali in scala reale o in scala adeguatamente rappresentativa, finalizzata a riprodurre ed analizzare dal vero i fenomeni (es. chimico-fisici e termodinamici, esodo degli occupanti, ...) che caratterizzano la problematica oggetto di valutazione avente influenza sugli obiettivi di prevenzione incendi. Le prove sperimentali sono condotte secondo protocolli standardizzati oppure condivisi con la Direzione centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco. Le prove sono svolte alla presenza di rappresentanza qualificata del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco, su richiesta del responsabile dell'attività. Le prove devono essere opportunamente documentate. In particolare i rapporti di prova dovranno definire in modo dettagliato le ipotesi di prova ed i limiti d'utilizzo dei risultati. Tali rapporti di prova, ivi compresi filmati o altri dati monitorati durante la prova, sono messi a disposizione del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco.

Tabella G.2-1: Metodi di progettazione della sicurezza antincendio

# DM 30/08/2015

## Codice di prevenzione incendi

Le **soluzioni alternative** che si basano sulla ingegneria della sicurezza antincendio devono seguire le fasi riportate nel capitolo **M.1**

### M.1.1

#### Premessa

1. 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*.

Il progettista definisce lo *scopo* della progettazione, quindi specifica gli *obiettivi di sicurezza antincendio* che intende garantire e li traduce in *soglie di prestazione* quantitative. Successivamente identifica gli *scenari d'incendio di progetto*, i più gravosi eventi che possono ragionevolmente verificarsi nell'attività.

Dopodiché, grazie a strumenti di modellazione analitici o numerici, descrive o calcola gli effetti degli *scenari d'incendio di progetto* in relazione alla *soluzione progettuale* ipotizzata per l'attività. Se gli effetti così calcolati conservano un adeguato *margin*e di sicurezza rispetto alle *soglie di prestazione* precedentemente stabilite, allora la soluzione progettuale analizzata è considerata accettabile.

### M.1.9

#### Criteri di scelta e d'uso dei modelli e dei codici di calcolo

1. Il professionista antincendio può optare tra i modelli di calcolo che le conoscenze tecniche di settore mettono a disposizione, sulla base di valutazioni inerenti la complessità del progetto.
2. Il professionista antincendio che adotta modelli di calcolo sofisticati, deve possedere una particolare competenza nel loro utilizzo, nonché un'approfondita conoscenza sia dei fondamenti teorici che ne sono alla base che della dinamica dell'incendio.

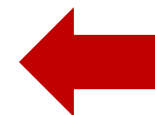
#### Fasi della metodologia

##### Prima fase: analisi preliminare

- Definizione del progetto
- Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio
- Definizione delle soglie di prestazione
- Individuazione degli scenari di incendio di progetto

##### Seconda fase: analisi quantitativa

- Elaborazione delle soluzioni progettuali
- Valutazione delle soluzioni progettuali
- Selezione delle soluzioni progettuali idonee



##### Documentazione di progetto

##### Sommario tecnico

##### Relazione tecnica

##### Requisiti aggiuntivi per la gestione della sicurezza antincendio

##### Criteri di scelta e d'uso dei modelli e dei codici di calcolo

##### Riferimenti

# DM 30/08/2015

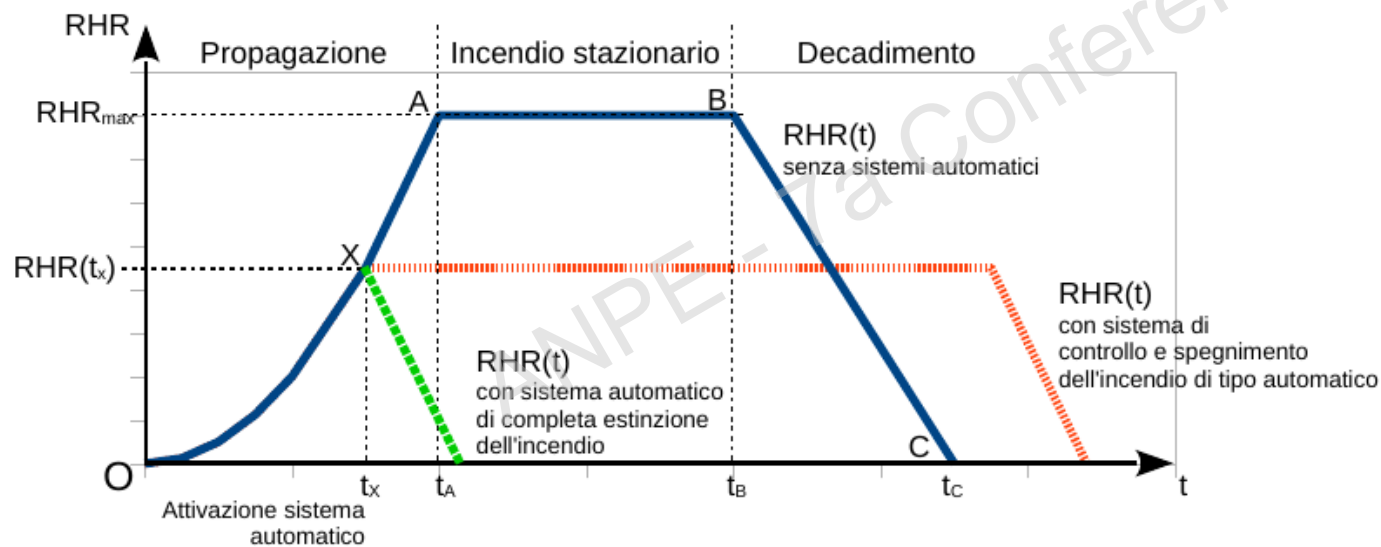
## Codice di prevenzione incendi

Per calcolare il **livello di prestazione garantito** occorre riprodurre mediante modelli fisico matematici l'evoluzione dell'incendio.

M.2.6

### Stima della curva RHR

1. La definizione quantitativa delle varie fasi dell'incendio qui riportata si riferisce alla curva qualitativa dell'illustrazione M.2-1.
2. La presente metodologia può essere utilizzata per:
  - a. costruire le curve naturali con un modello di incendio numerico avanzato di cui al capitolo S.2, per la valutazione della capacità portante in condizioni d'incendio delle opere da costruzione;
  - b. valutare la portata di fumo emessa durante l'incendio per la progettazione dei sistemi SEFC.



Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio $t_G$	150 s (fast)	75 s (ultra-fast)
$RHR_{max}$ totale $RHR_{max}$ per $m^2$ 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 $\Delta H_c$	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 RHR in irraggiamento (Radiative fraction)	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all' $RHR_{max}$  totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico di 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] "C/VM2 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 A, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con  $\Phi = 1,25$  (underventilated fire)  
[6] In alternativa alle rese  $Y_{CO2}$  e  $Y_{H2O}$ , si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico  $CH_2O_{0,5}$ .

Tabella M.2-2: Focolari predefiniti

# DM 30/08/2015

## Codice di prevenzione incendi

I modelli avanzati consentono di valutare l'evoluzione dell'incendio mediante la caratterizzazione dei materiali presenti nello scenario.

```
&MATL ID = 'LEGNO'  
  EMISSIVITY >> = 1.0  
  DENSITY >> = 450.  
  SPECIFIC_HEAT_RAMP = 'CPV'  
  CONDUCTIVITY_RAMP = 'KS'  
  N_REACTIONS> = 1  
  A>>> = 1E20  
  E >> >> = 1.6E5  
  N_S >> >> = 1  
  NU_MATL >> >> = 0.5  
  NU_SPEC>> >> >> = 0.5  
  SPEC_ID >> >> = 'WOOD'  
  HEAT_OF_REACTION= 1000  
  MATL_ID >> >> = 'CHAR'  
  HEAT_OF_COMBUSTION = 17000/  
&RAMP ID = 'KS', T = 20., F = 0.13 /  
&RAMP ID = 'KS', T = 500., F = 0.29 /  
&RAMP ID = 'CPV', T = 20., F = 1.2 /  
&RAMP ID = 'CPV', T = 500., F = 3.0 /  
  
&MATL ID = 'CHAR'  
  EMISSIVITY >> = 1.0  
  DENSITY >> = 180.  
  SPECIFIC_HEAT_RAMP = 'CPC'  
  CONDUCTIVITY_RAMP = 'KSC'/  
&RAMP ID = 'KSC', T = 20., F = 0.077 /  
&RAMP ID = 'KSC', T = 900., F = 0.16 /  
&RAMP ID = 'CPC', T = 20., F = 0.68 /  
&RAMP ID = 'CPC', T = 400., F = 1.5 /  
&RAMP ID = 'CPC', T = 900., F = 1.8 /
```

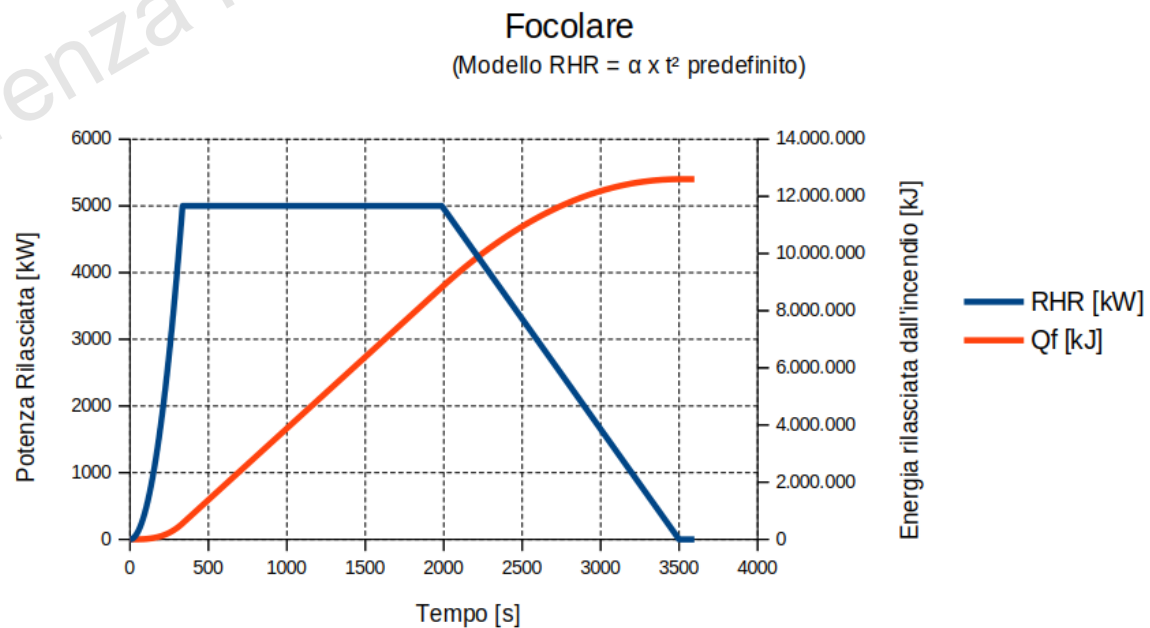
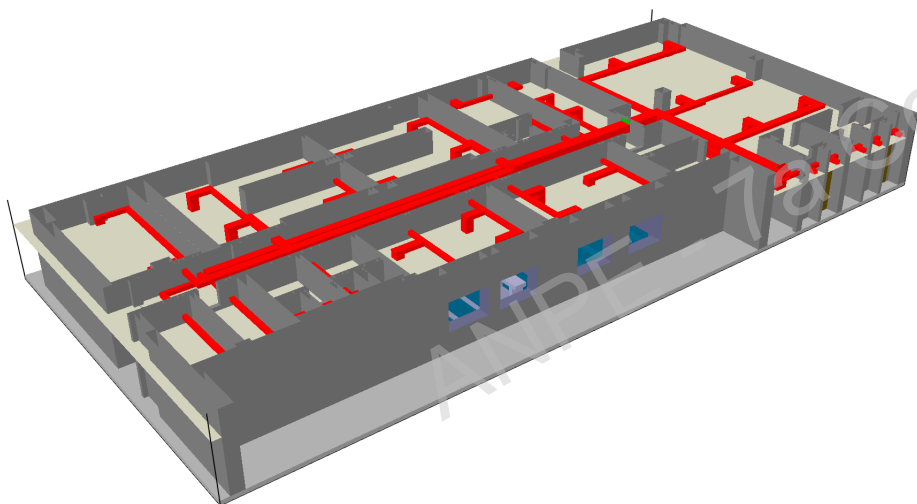
```
&SURF ID = 'Controsoffitto',  
  RGB = 200,200,180,  
  MATL_ID = 'CEILING TILE MAT',  
  HRRPUA = 100.0,  
  RAMP_Q = 'GB',  
  BACKING = 'EXPOSED',  
  THICKNESS = 0.013,  
  IGNITION_TEMPERATURE = 400.0 /  
&RAMP ID='GB', T= 0.0,F=0.0 /  
&RAMP ID='GB', T= 1.0,F=0.5 /  
&RAMP ID='GB', T= 2.0,F=1.0 /  
&RAMP ID='GB', T=10.0,F=1.0 /  
&RAMP ID='GB', T=20.0,F=0.0 /  
&RAMP ID='GB', T=30.0,F=0.0 /  
  
&SURF ID = 'BRICK1'  
  RGB = 126,126,126  
  MATL_ID = 'BRICK MAT'  
  BACKING = 'EXPOSED'  
  THICKNESS = 0.10 /  
  
&SURF ID = 'VETRO'  
  RGB = 0,0,220  
  MATL_ID = 'GLASS'  
  BACKING = 'EXPOSED'  
  TRANSPARENCY= 0.20  
  THICKNESS = 0.0018 /  
  
&SURF ID = 'Impianti Mandata'  
  RGB = 255,0,0  
  MATL_ID = 'ALUMIN'  
  THICKNESS = 0.0013 /  
  
&SURF ID = 'Impianti Ripresa'  
  RGB = 255,0,0  
  MATL_ID = 'ALUMIN'  
  THICKNESS = 0.0013 /  
  
&SURF ID = 'Impianti Mandata1'  
  RGB = 190,0,0  
  MATL_ID = 'PUR'  
  MOISTURE_FRACTION = 0.0002  
  HEAT_OF_VAPORIZATION = 1000  
  THICKNESS = 0.0125  
  BURN_AWAY = .TRUE.  
  BACKING = 'EXPOSED'  
  EMISSIVITY = 0.66/
```

# DM 30/08/2015

## Applicazione ad un caso progettuale

Ambito di un'attività ospedaliera costituito dalle sale formazione anestesisti

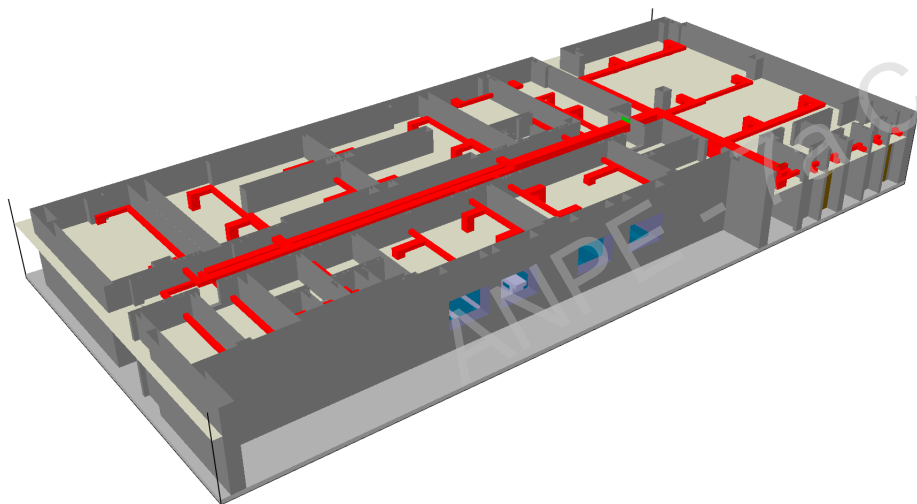
Focolare predefinito – Dati incendio di progetto			
m	1	$A_v [m^2]$	5,6
$h_{eq} [m]$	1,4	$Q_f [kJ]$	12.600.000
$RHR_{max} [kW]$	5.000	$t_a [s]$	150
$RHR_{picco} [kW]$	5.000	$A_s [m^2]$	50
$t_a [s]$	335	$RHR_{PUA} [kW/m^2]$	250
$t_b [s]$	1.988	Fattore Controllante	Ventilazione
$t_c [s]$	3.500	$q_f [MJ/m^2]$	252
$RHR_{pred} [kW]$	5.000	Attività civile	X
		Altre attività	



# DM 30/08/2015

## Applicazione ad un caso progettuale

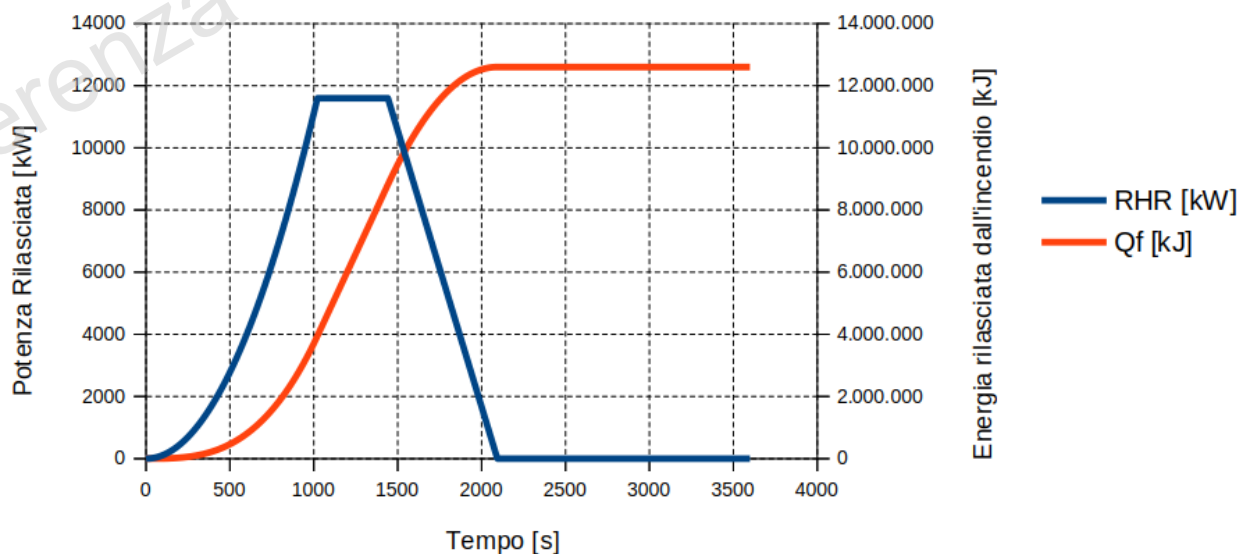
Ambito di un'attività ospedaliera costituito dalle sale formazione anestesisti



Dati incendio di progetto		
m	1	$A_v$ [m <sup>2</sup> ] 5,6
$h_{eq}$ [m]	1,4	$Q_r$ [kJ] 12.600.000
$RHR_{max}$ [kW]	11.596	$t_a$ [s] 300
$RHR_{picco}$ [kW]	11.596	$A_s$ [m <sup>2</sup> ] 50
$t_a$ [s]	1.022	$RHR_{PUA}$ [kW/m <sup>2</sup> ] 250
$t_b$ [s]	1.442	<b>Fattore Controllante</b> Ventilazione
$t_c$ [s]	2.094	$q_r$ [MJ/m <sup>2</sup> ] 252

Focolare

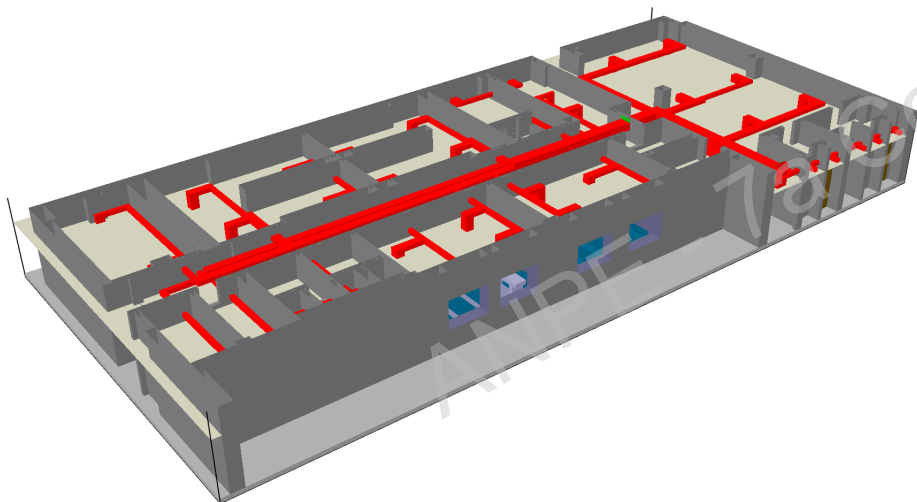
(Modello  $RHR = \alpha \times t^2$ )



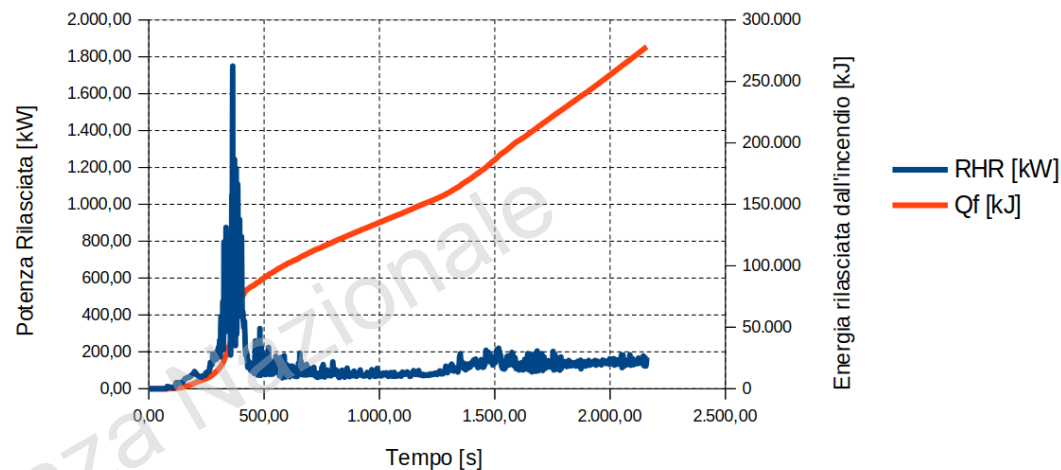
# DM 30/08/2015

## Applicazione ad un caso progettuale

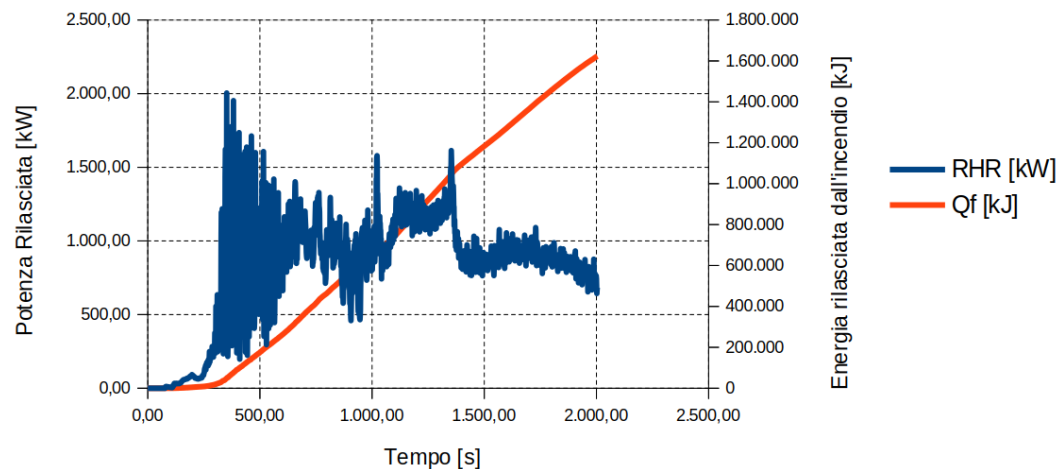
### Ambito di un'attività ospedaliera costituito dalle sale formazione anestesisti



Focolare  
(Calcoli CFD - Incendio naturale finestre e porte chiuse)



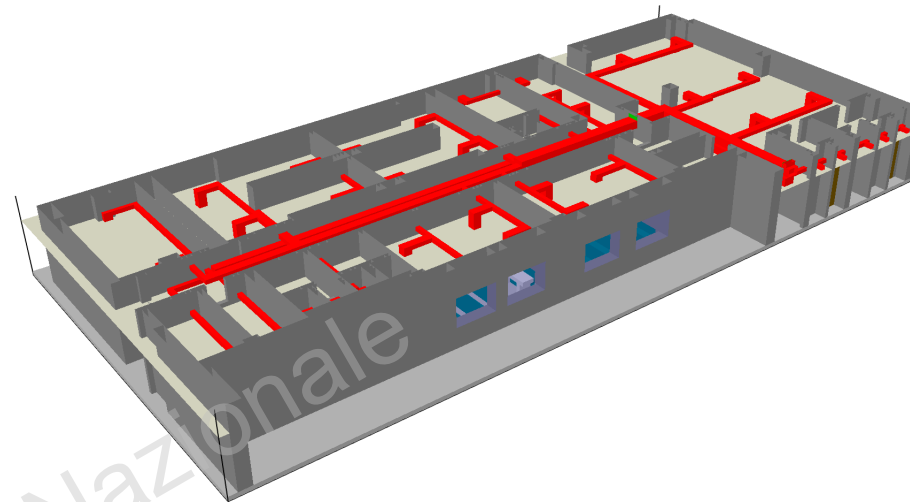
Focolare  
(Calcoli CFD - Incendio naturale porte aperte infissi EI60)



# DM 30/08/2015

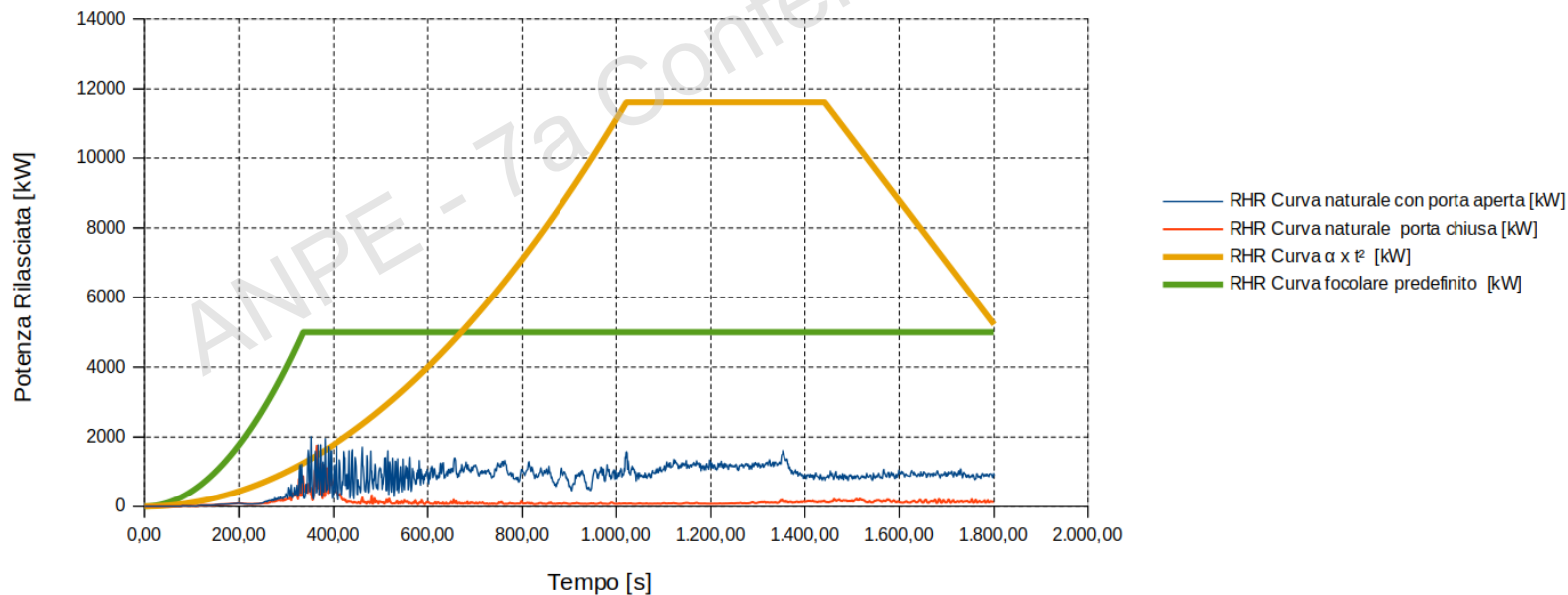
## Applicazione ad un caso progettuale

### Ambito di un'attività ospedaliera costituito dalle sale formazione anestesisti



### Focolare

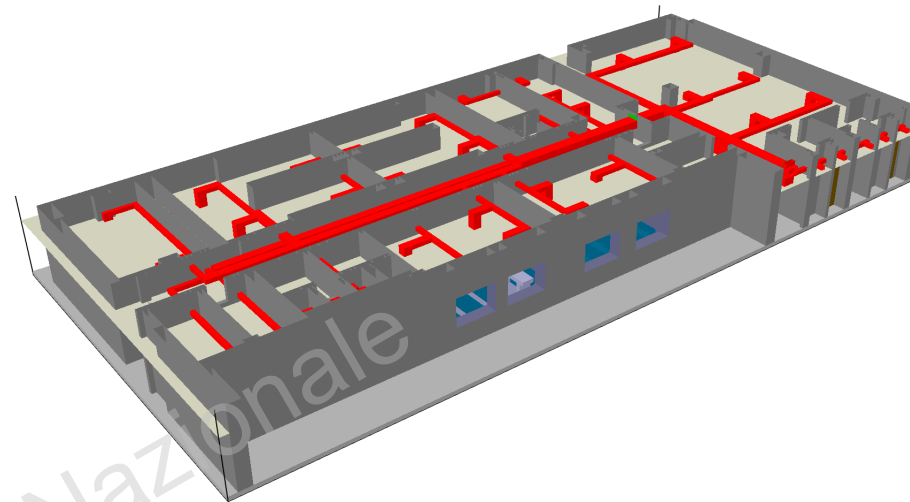
(Comparazione 0-1.800 s curve d'incendio)



# DM 30/08/2015

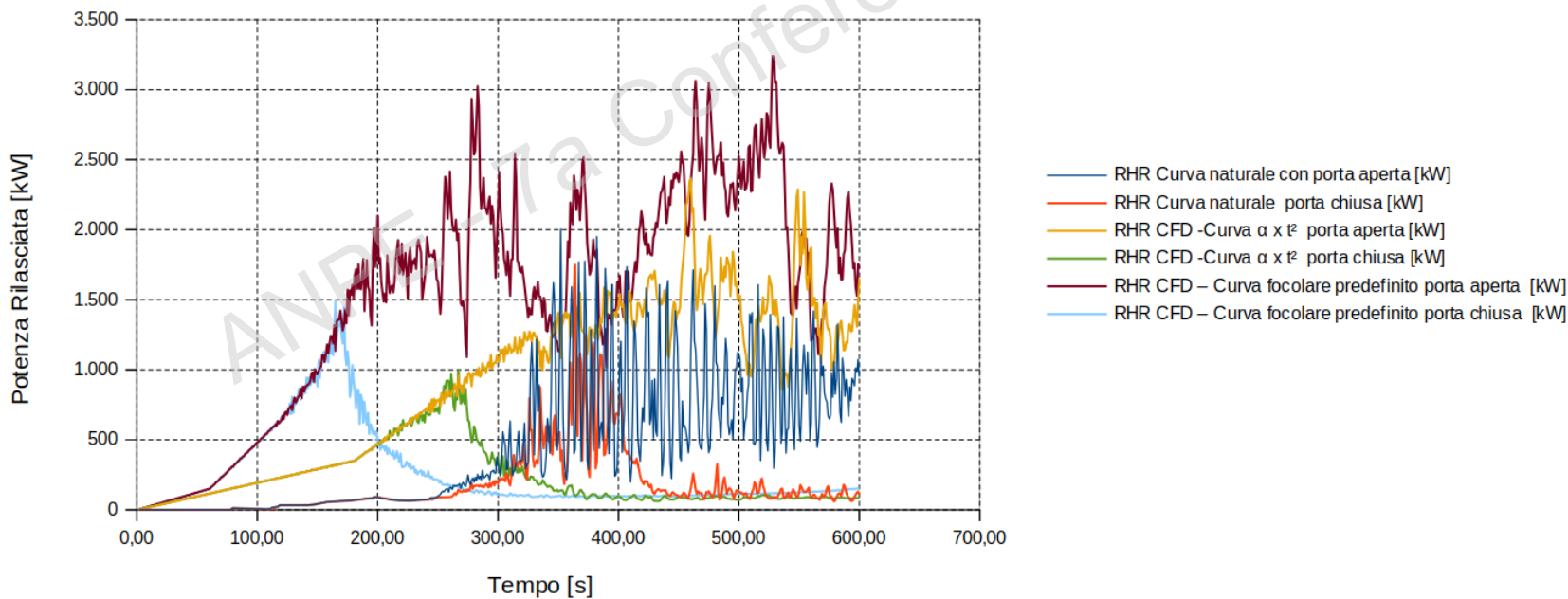
## Applicazione ad un caso progettuale

### Ambito di un'attività ospedaliera costituito dalle sale formazione anestesisti



### Focolare

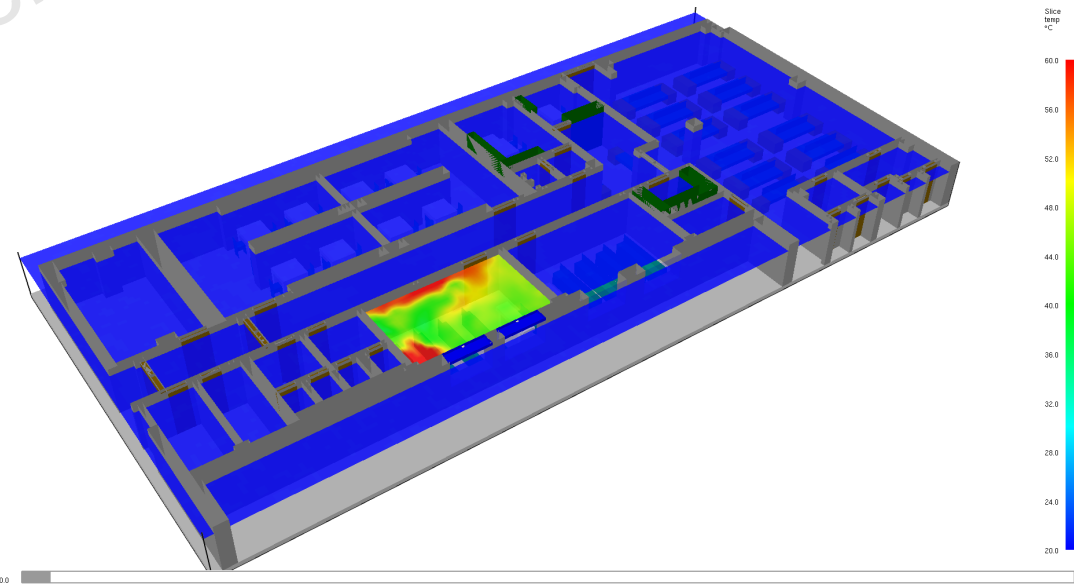
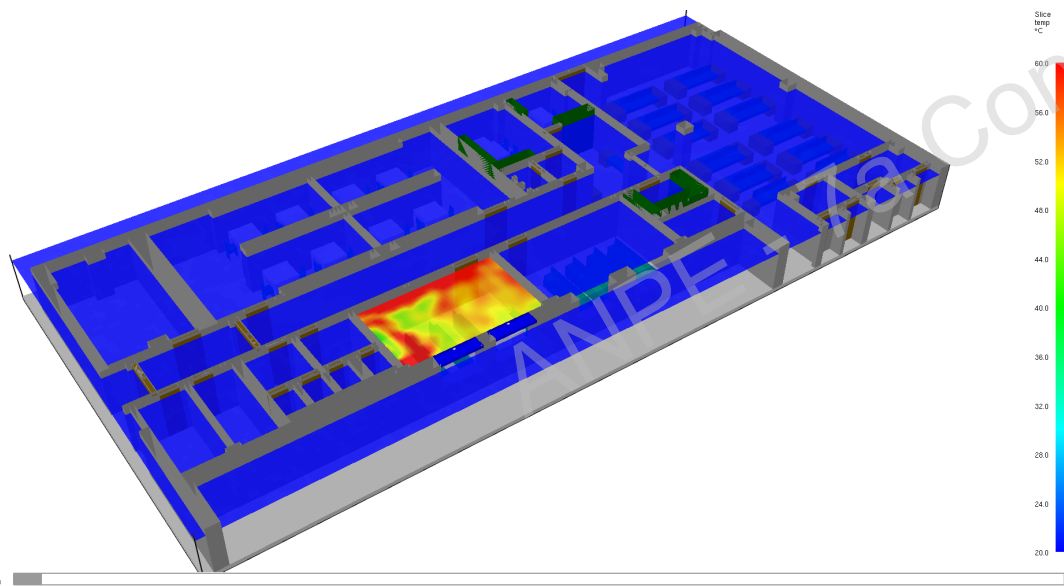
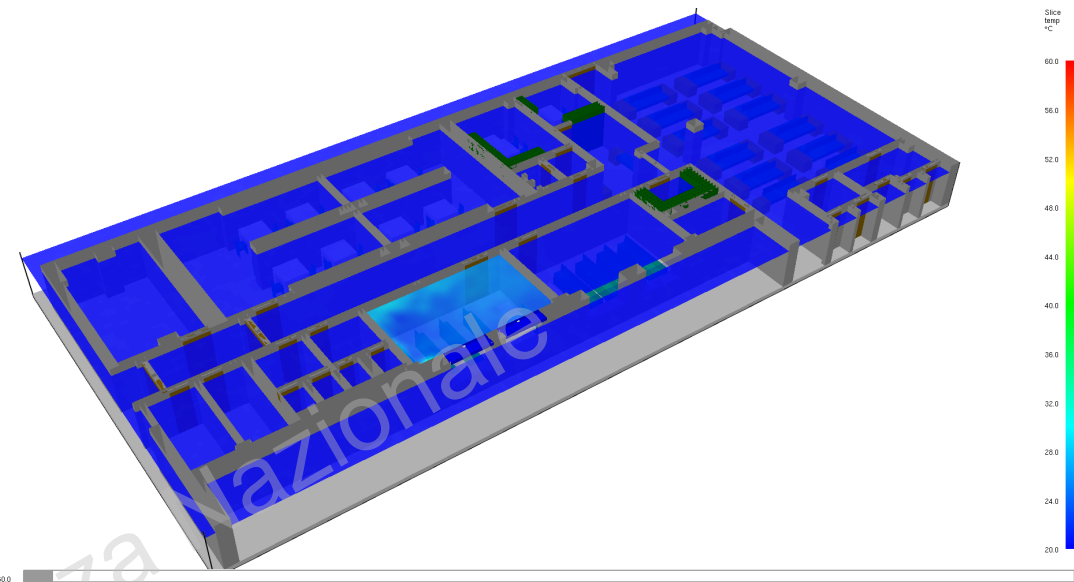
(Comparazione CFD 0-600 s curve d'incendio)



DM 30/08/2015

Applicazione ad un caso progettuale

Ambito di un'attività ospedaliera costituito dalle sale formazione anestesisti



# Conclusioni

- **Il risultato prestazionale è credibile solo se sono credibili gli input materiali.** In un approccio prestazionale, grandezze come temperature, visibilità, concentrazione di specie tossiche, tempi di raggiungimento delle condizioni critiche e *tenability* dipendono direttamente dal modo in cui i materiali partecipano all'incendio. Se i materiali sono descritti in modo generico, anche il risultato del modello assume un valore meramente formale, non realmente rappresentativo dello scenario.
- **La classificazione di reazione al fuoco non esaurisce la caratterizzazione necessaria per la modellazione.** La classe di reazione al fuoco è essenziale sul piano regolatorio e comparativo, ma nei modelli prestazionali occorrono anche parametri fisico-combustivi: curva di rilascio termico, tasso di perdita di massa, potere calorifico, temperatura di innesco, produzione di fumo, resa di CO/CO<sub>2</sub>, comportamento alla pirolisi, modalità di propagazione superficiale e contributo del materiale nella configurazione reale di posa.
- **La verosimiglianza dipende dalla configurazione d'uso, non solo dalla natura del materiale.** Lo stesso materiale può avere un comportamento al fuoco diverso in funzione di spessore, stratigrafia, supporto, rivestimenti, giunti, intercapedini, ventilazione, confinamento e modalità di installazione. Pertanto, la caratterizzazione deve riferirsi al materiale “come installato”.

# Conclusioni

- **Senza dati materiali tracciabili, il modello simula uno scenario nominale.** La progettazione prestazionale richiede che ogni assunzione sia documentata, giustificata e coerente con lo scenario di incendio scelto. L'assenza di dati sperimentali o bibliografici affidabili sui materiali introduce un'incertezza che può alterare in modo significativo la valutazione delle condizioni di sicurezza.
- **La caratterizzazione dei materiali è anche una condizione di controllabilità tecnica del progetto.** Solo se i parametri utilizzati sono espliciti è possibile svolgere analisi di sensitività, verificare la robustezza delle soluzioni alternative e distinguere tra risultati realmente cautelativi e risultati apparentemente favorevoli ma dipendenti da ipotesi non dimostrate.



Nell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio, la **caratterizzazione dei materiali** costituisce il **presupposto tecnico** che consente di trasformare la simulazione da esercizio numerico a **rappresentazione plausibile dello scenario di incendio.**



7a Conferenza Nazionale Poliuretano Espanso rigido  
PROGETTARE l'efficienza, COSTRUIRE il cambiamento  
Roma 7 Maggio 2026

DIPARTIMENTO  
INGEGNERIA CHIMICA  
MATERIALI AMBIENTE



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**Grazie per l'attenzione**

*Prof. Mara Lombardi*

*Ing. Alessandro Leonardi*

