

# Mitigation of the fire risk for the Duomo di Modena case study

*PRIN 2015 – Progetto MICHe  
Mitigating the Impacts of natural hazards on Cultural  
Heritage sites, structures and artefacts*



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**Unità di Ricerca UNIROMA1**

*Prof. Franco Bontempi  
Dr. Francesco Petrini  
Ing. Alessandra Aguinagalde*

*Francesco Petrini  
francesco.petrini@uniroma1.it*

*Firenze, 17 Dicembre 2019*

# Principali vulnerabilità all'incendio in edifici storici

- *Presenza massiccia di **elementi in legno** (o altri elementi vulnerabili al fuoco)*
  - **Contenuti di valore**
  - *Assenza di **protezione attiva***
  - *No **compartimentazioni***
  - *Deposito di **sostanze infiammabili** o non idoneità **impianti elettrici***
  - *Notevole **afflusso di persone** (chiese e musei)*
- 
- *Difficoltà di avvicinamento da parte dei **mezzi di soccorso***
  - **Coinvolgimento indiretto** per vulnerabilità di altre unità dell'aggregato edilizio (propagazione dell'incendio o propagazione del crollo)

Single  
facility  
scale

Local  
(Urban  
aggregate)  
scale

## Principali vulnerabilità all'incendio del Duomo di Modena

- *Presenza massiccia di elementi in legno* (o altri elementi vulnerabili al fuoco) **X X**
- **Contenuti di valore** **X X X X**
- *Assenza di protezione attiva* (presenza di rilevatori fumo) **X X X \**
- **No compartimentazioni** **X X X**
- *Deposito di sostanze infiammabili* o **non idoneità impianti elettrici** **X X**
- *Notevole afflusso di persone* (chiese e musei) **X X X**

---

- ~~*Difficoltà di avvicinamento da parte dei mezzi di soccorso*~~ **NO**
- **Coinvolgimento indiretto** per vulnerabilità di altre unità dell'aggregato edilizio  
(propagazione dell'incendio o propagazione del crollo) **X X**

## Duomo di Modena

# 1

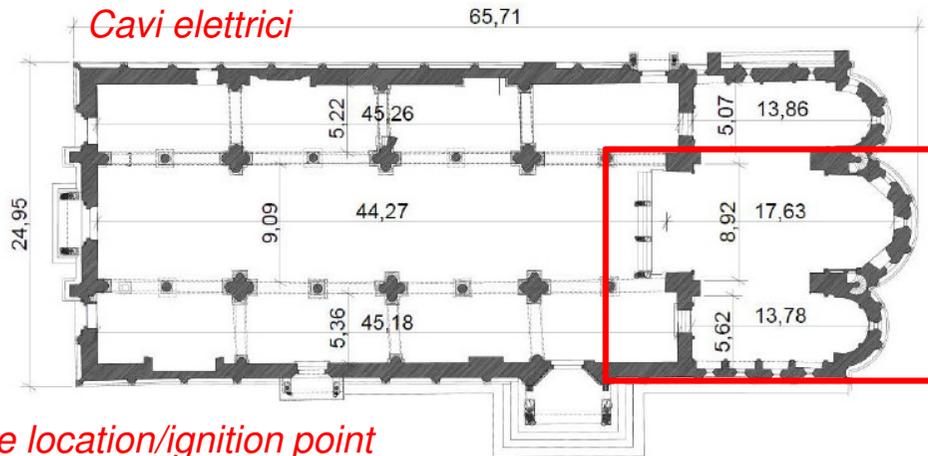
## Definizione di scenari di incendio

## Scenario 1: punto d'innesco e vulnerabilità specifiche

*Innesco*



*Cavi elettrici*



*Fire location/ignition point (sottotetto)*

*Vulnerabilità specifiche (coro ligneo sottostante)*



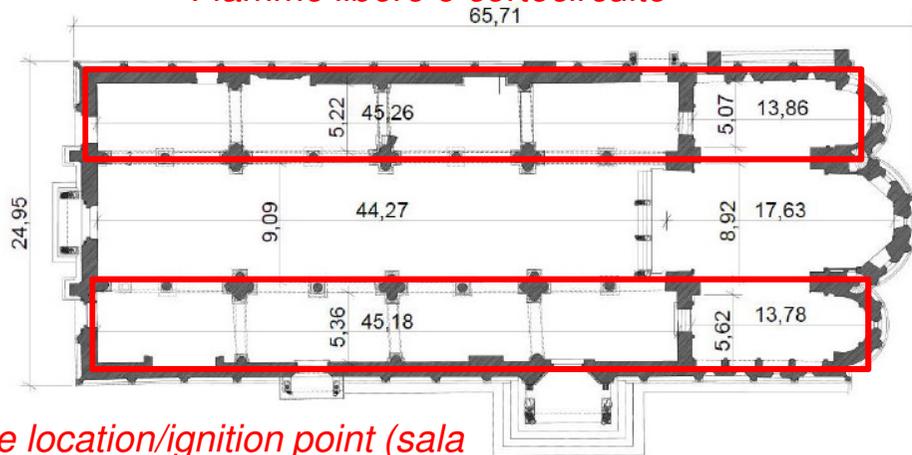
Coro ligneo intarsiato del [1461-1465](#) opera degli esponenti di una dinastia di provetti [ebanisti](#), i fratelli [Cristoforo](#) e [Lorenzo Canozzi](#), detti *da Lendinara*. Dotati di una tecnica raffinata dimostrano negli stalli intarsiati abilità compositiva e notevoli doti prospettive derivate dagli studi di [Piero della Francesca](#).

# Scenario 2: punto d'innescò e vulnerabilità specifiche

*Innesco*



*Fiamme libere o cortocircuito*



*Fire location/ignition point (sala funzioni)*

*Vulnerabilità specifiche  
(opere d'arte e affollamento)*

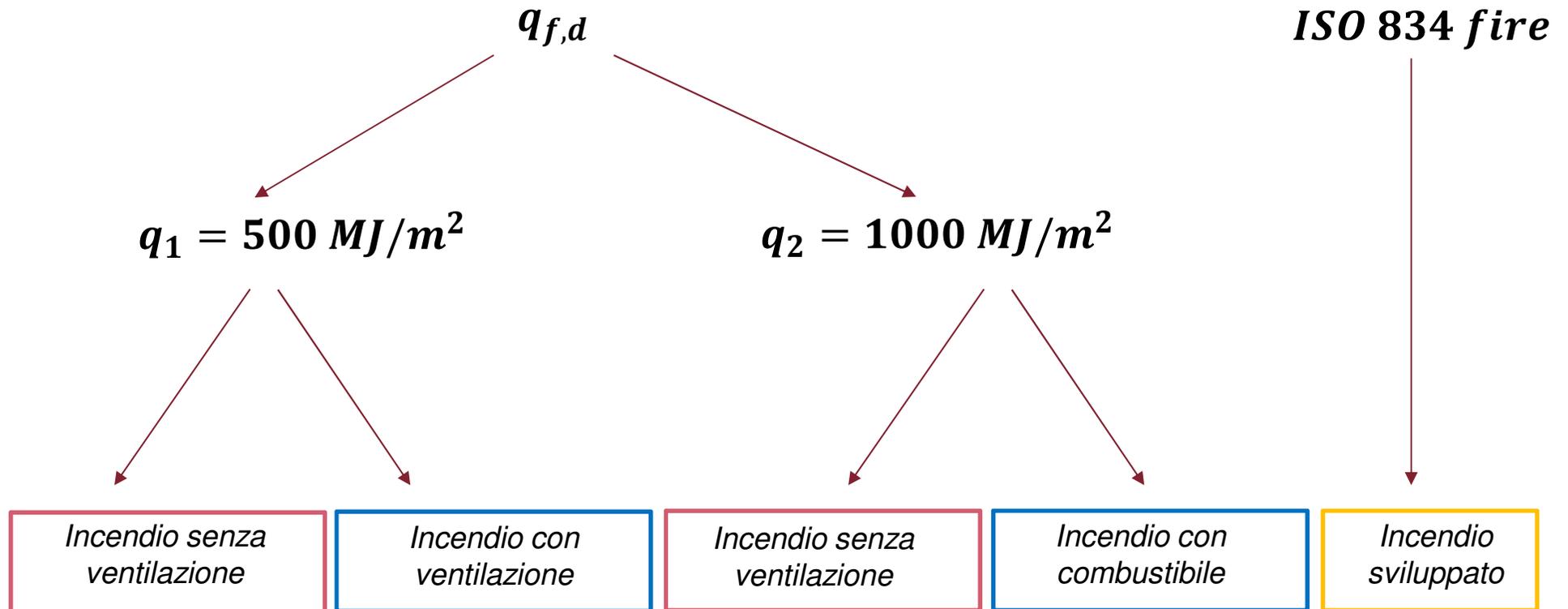


*'Arcangelo San Michele, parte del Giudizio Universale (fascia centrale), dell'affresco di Cristoforo da Lendinara, Cappella Bellincini, Duomo di Modena*

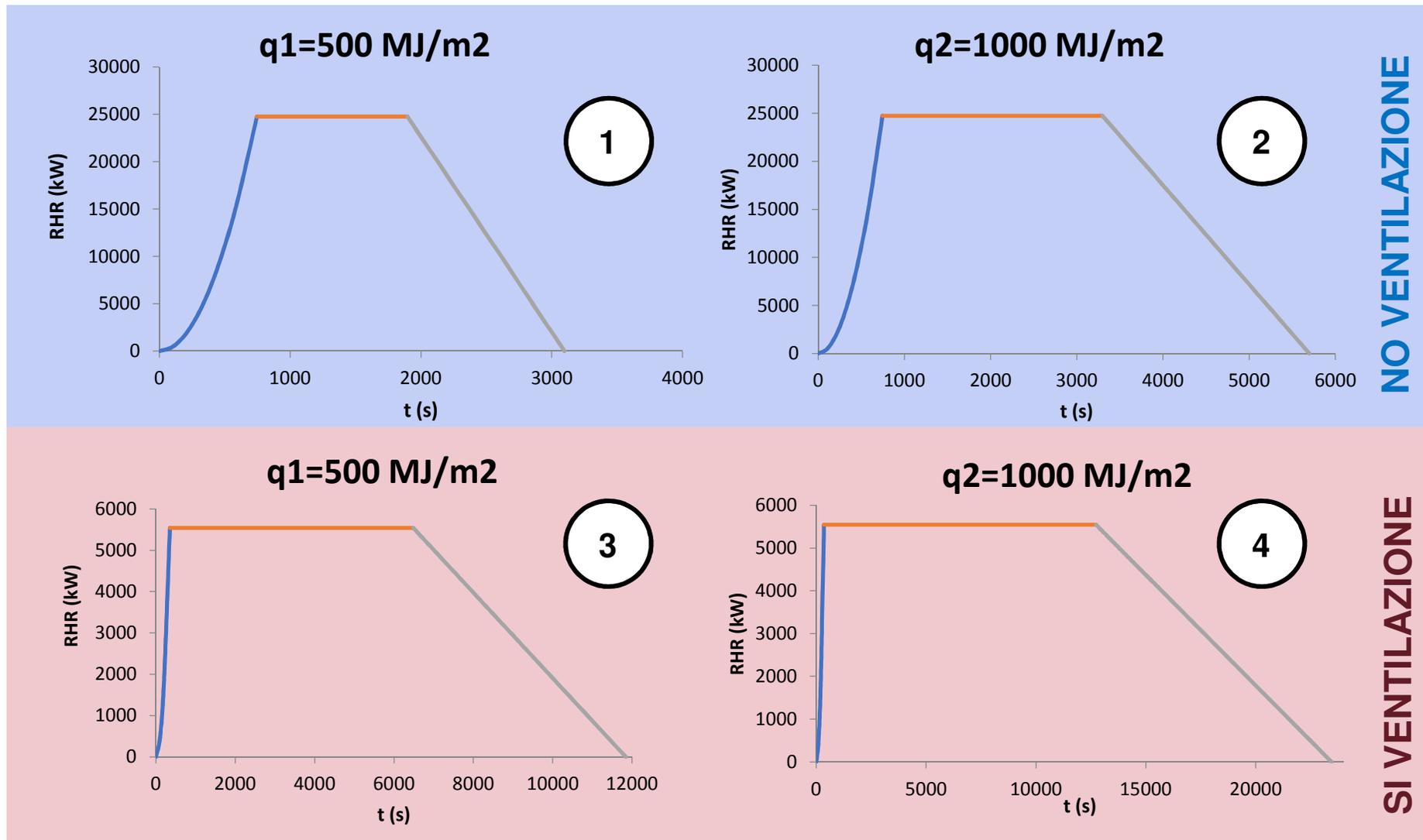
*La Cappella Bellincini nel Duomo di Modena con l'affresco di Cristoforo da Lendinara*



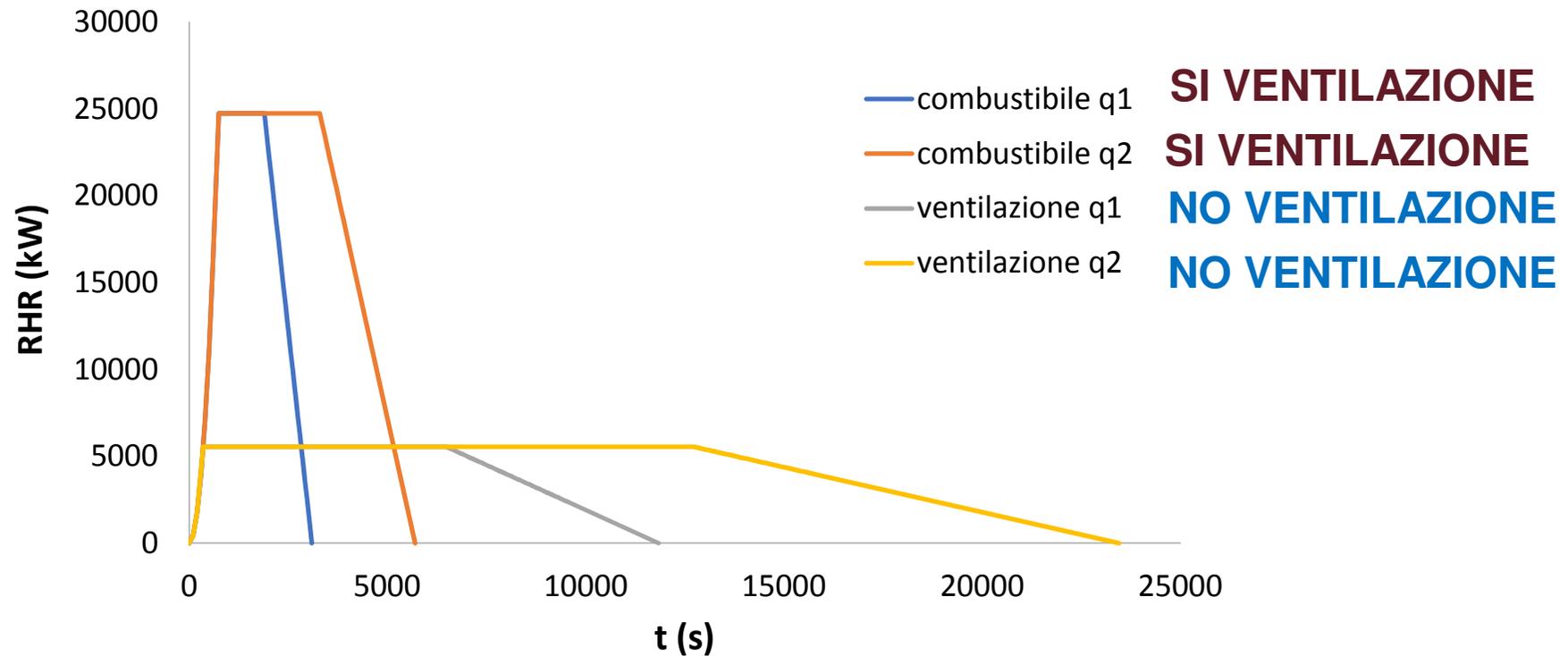
## Carico di incendio



## Carico di incendio-RHR



## Carico di incendio-RHR

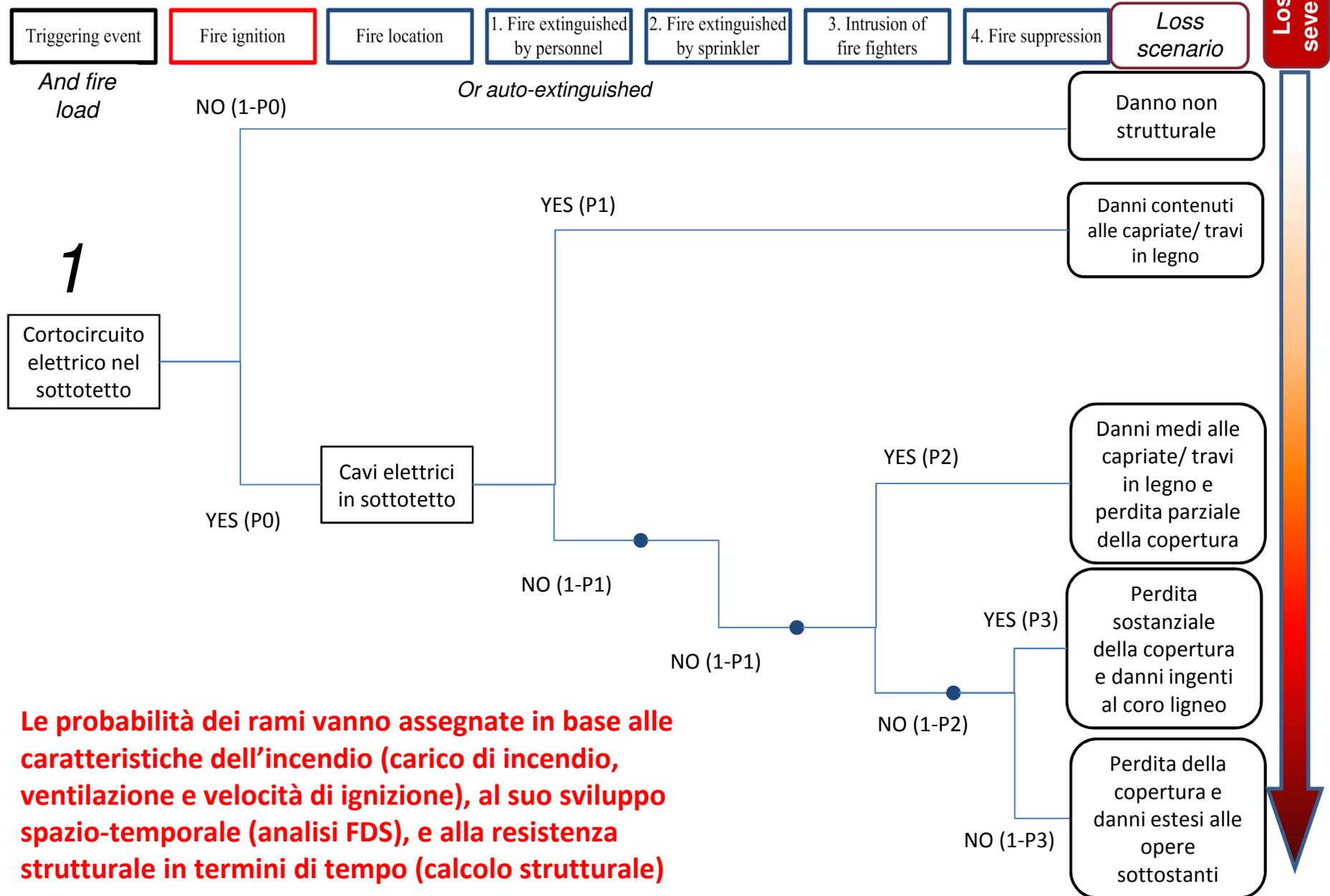


# 2

## Valutazione del rischio senza misure di mitigazione

# Analisi scenario di incendio nel Duomo di Modena

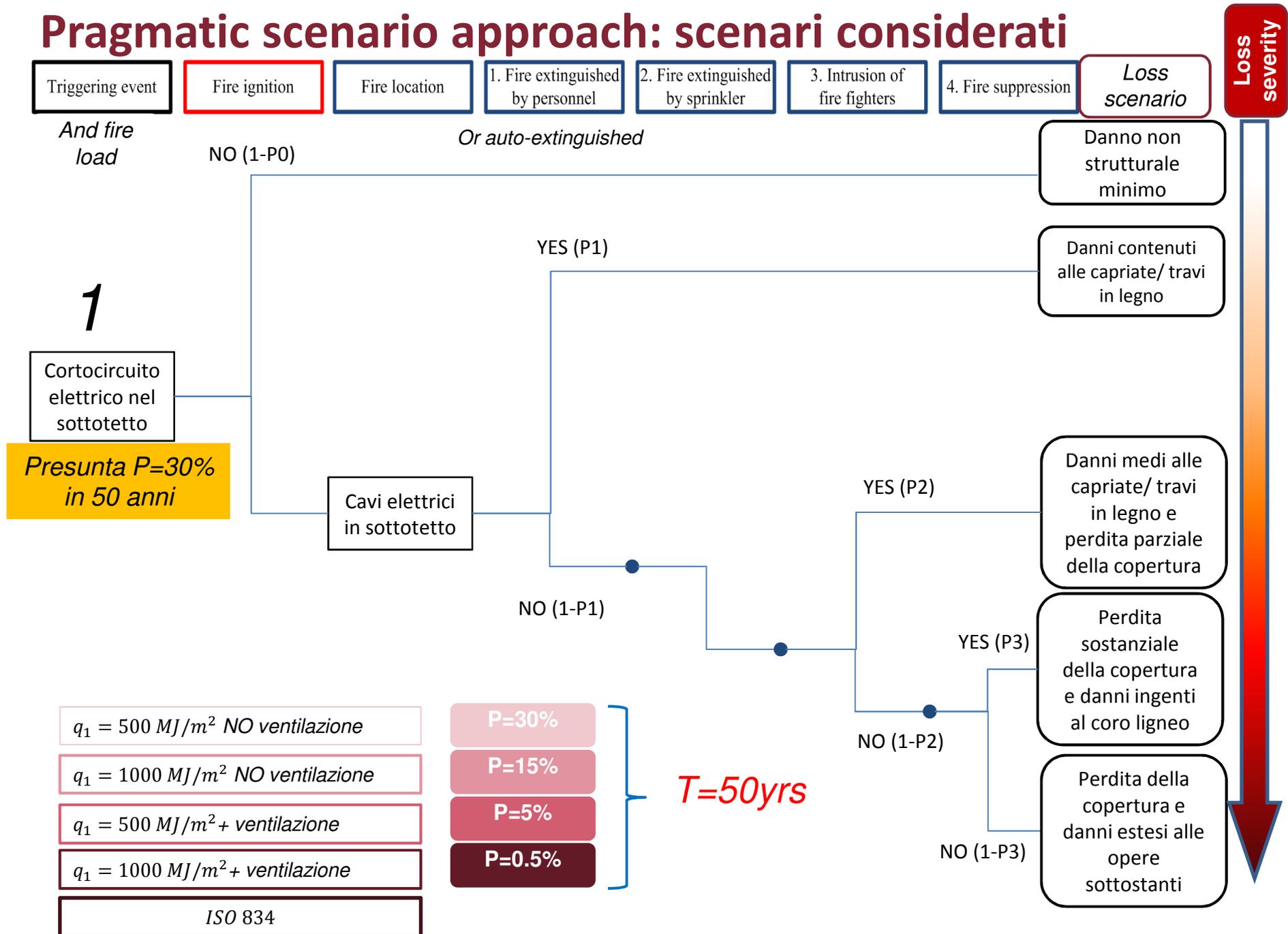
## Scenari d'incendio



Le probabilità dei rami vanno assegnate in base alle caratteristiche dell'incendio (carico di incendio, ventilazione e velocità di ignizione), al suo sviluppo spazio-temporale (analisi FDS), e alla resistenza strutturale in termini di tempo (calcolo strutturale)

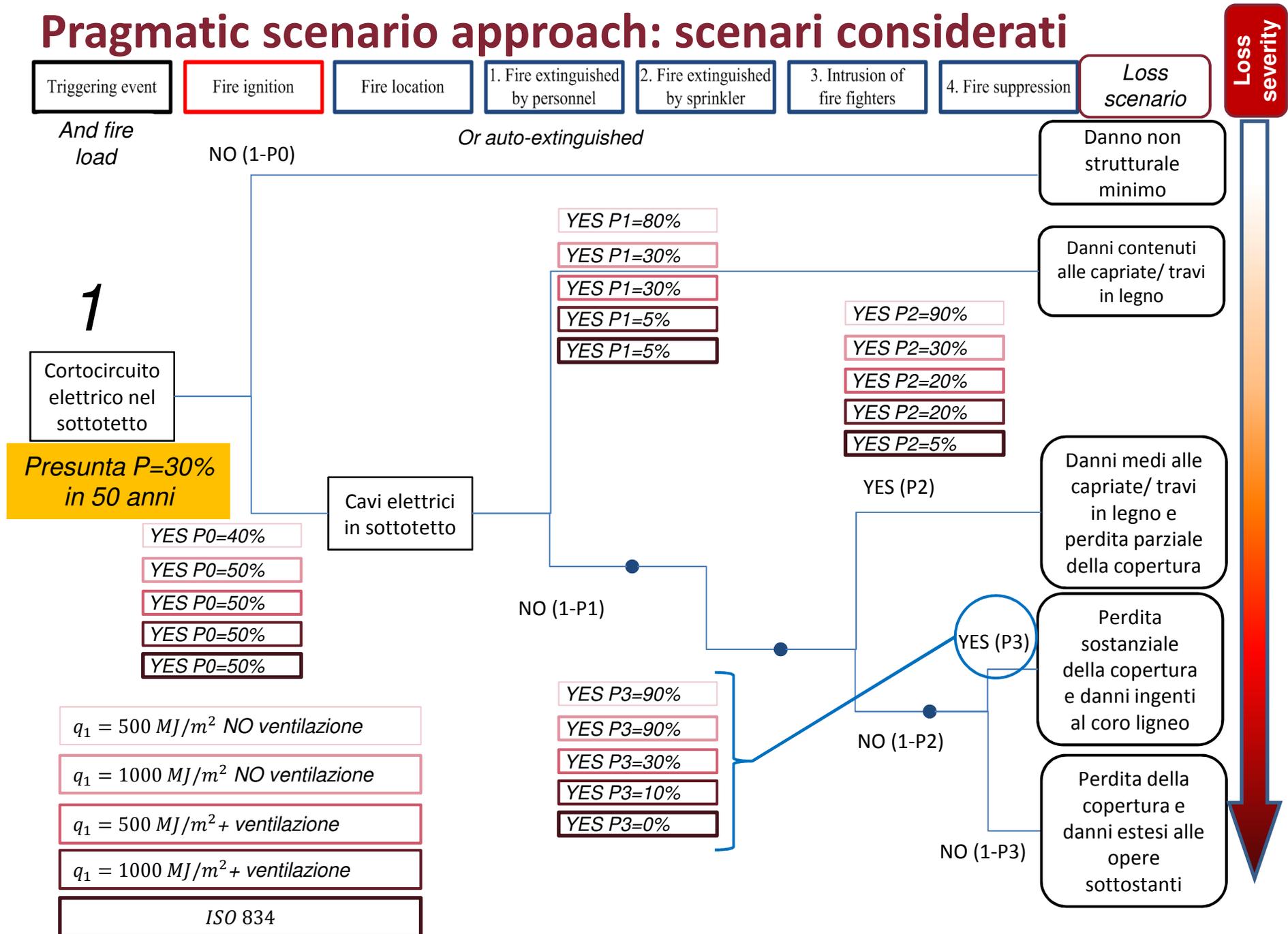
# Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

## Pragmatic scenario approach: scenari considerati



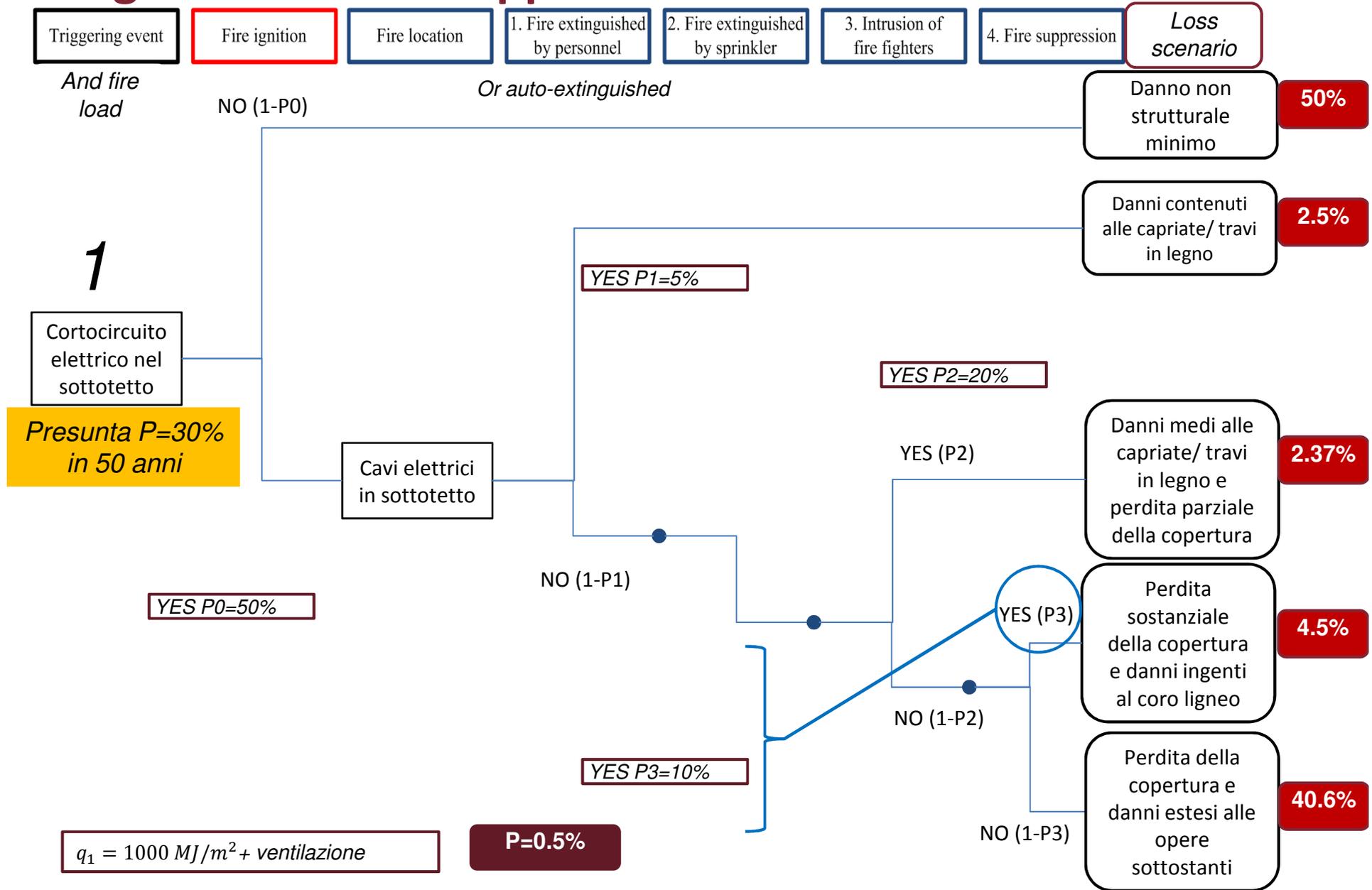
# Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

## Pragmatic scenario approach: scenari considerati



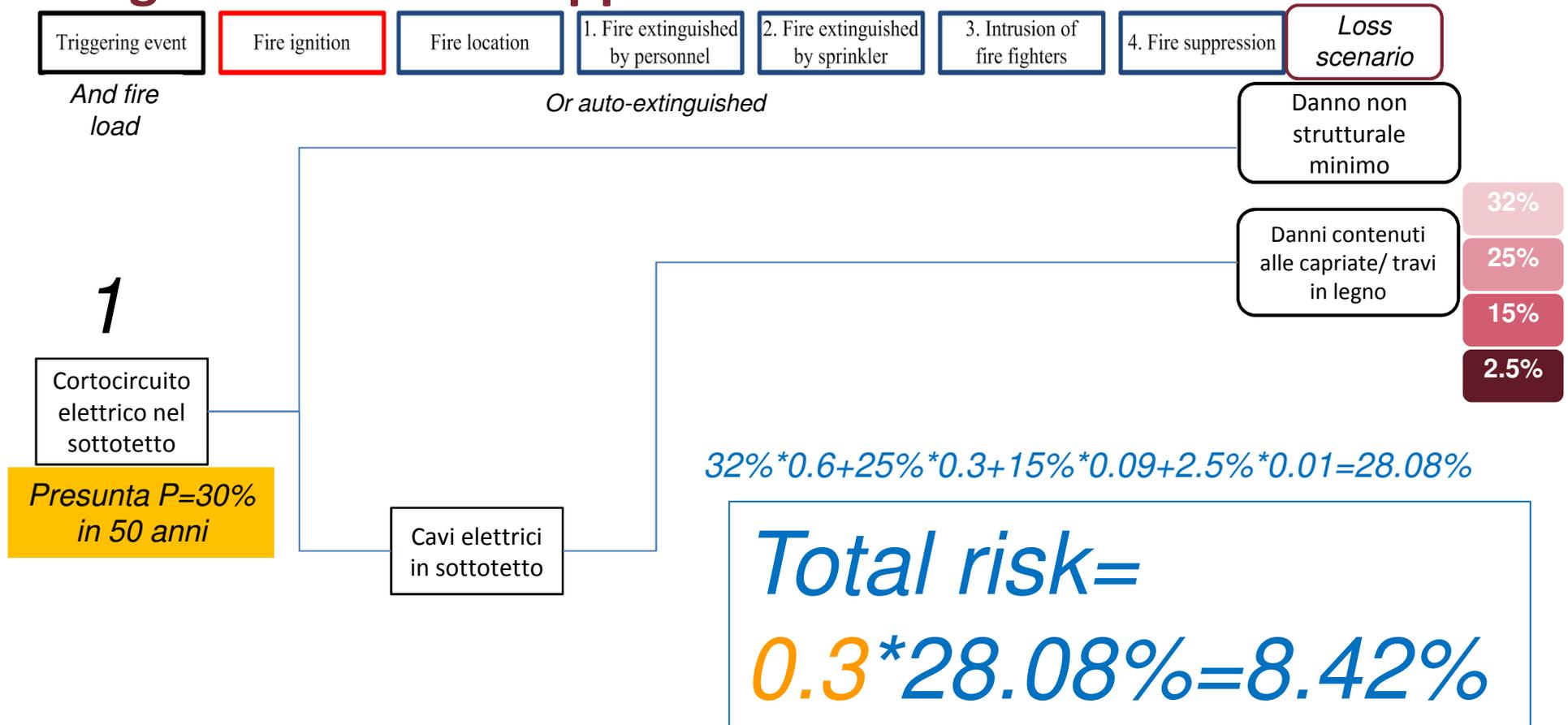
# Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

## Pragmatic scenario approach: scenari considerati



# Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

## Pragmatic scenario approach: rischio totale

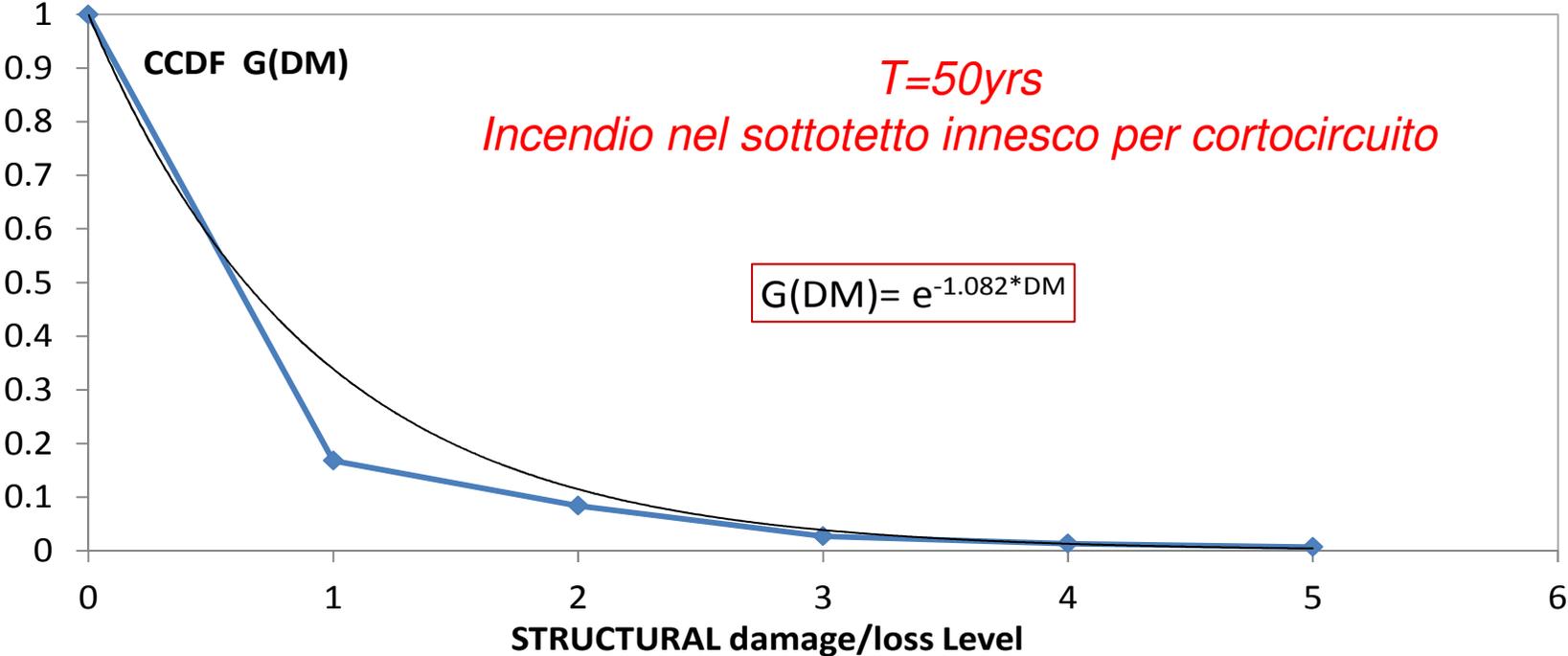


$q_1 = 500 \text{ MJ/m}^2$ NO ventilazione
$q_1 = 1000 \text{ MJ/m}^2$ NO ventilazione
$q_1 = 500 \text{ MJ/m}^2 +$ ventilazione
$q_1 = 1000 \text{ MJ/m}^2 +$ ventilazione
ISO 834

P=60%
P=30%
P=9%
P=1%

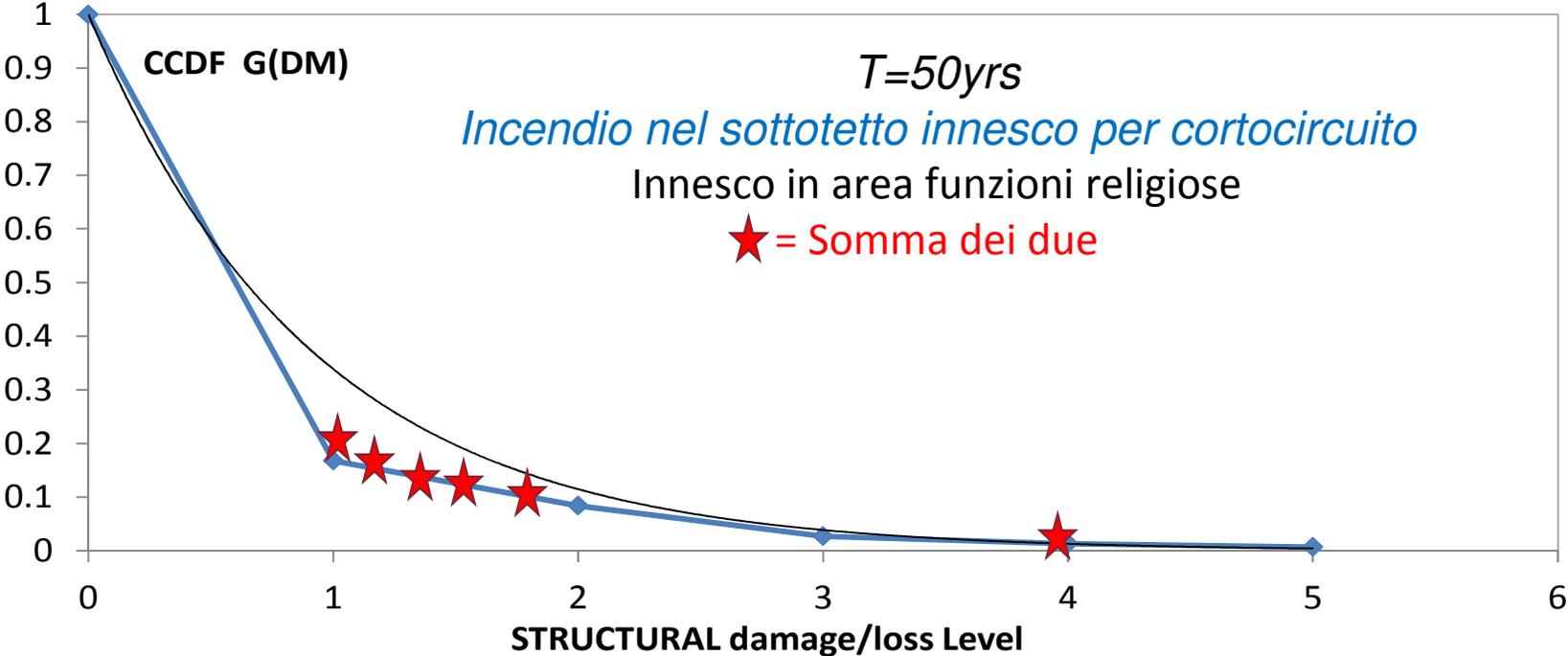
$T=50\text{yrs}$

# Risk curve associated to the Scenario 1



- Danno non strutturale minimo
- Danni contenuti alle capriate/travi in legno
- Danni medi alle capriate/travi in legno e perdita parziale della copertura
- Perdita sostanziale della copertura e danni ingenti al coro ligneo
- Perdita della copertura e danni estesi alle opere sottostanti

# Risk curve associated to the Scenario 1+ Scenario 2



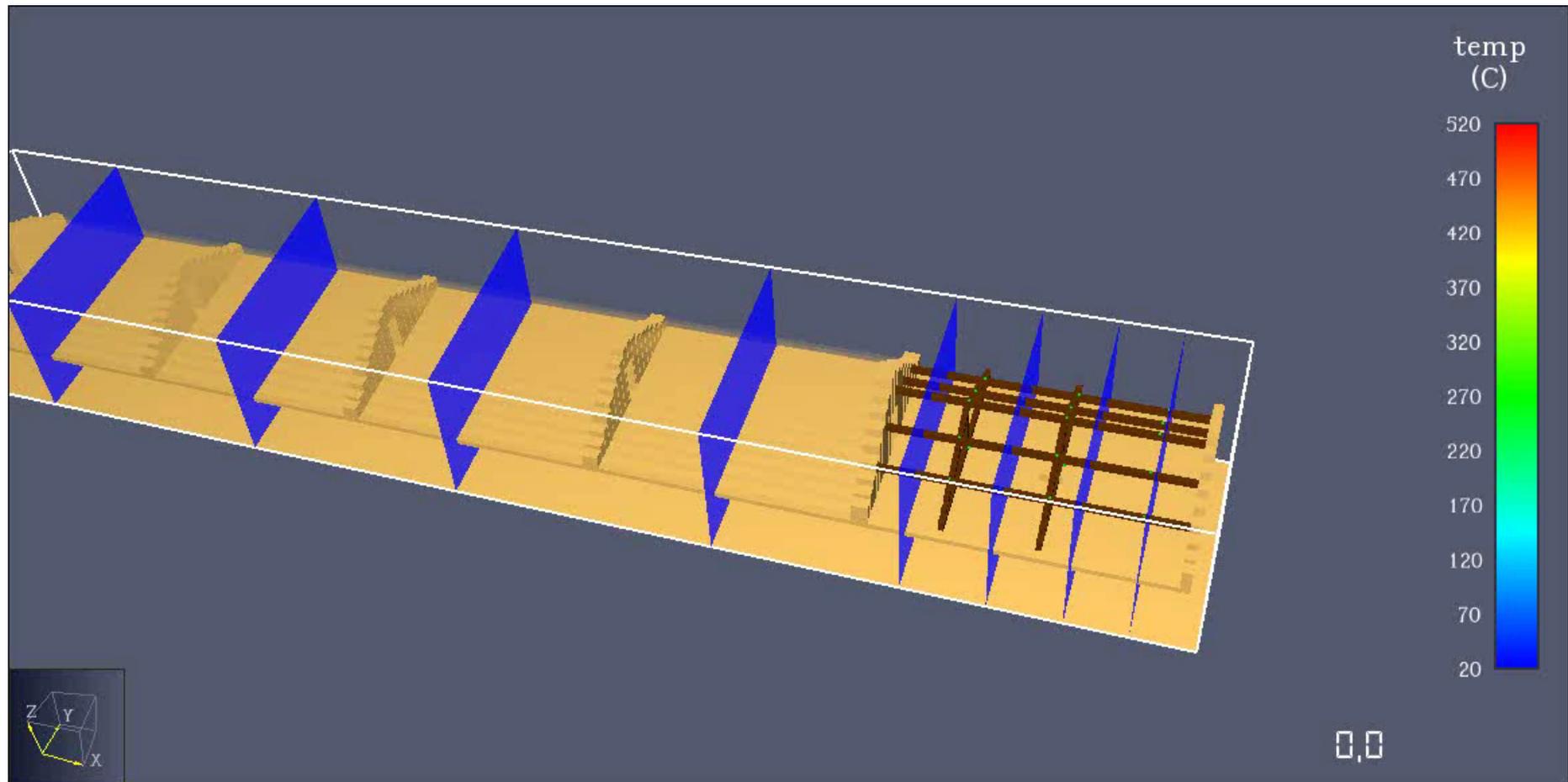
- Danno non strutturale minimo
- Danni contenuti alle capriate/travi in legno
- Danni medi alle capriate/travi in legno e perdita parziale della copertura
- Perdita sostanziale della copertura e danni ingenti al coro ligneo
- Perdita della copertura e danni estesi alle opere sottostanti

# 3

## Misure di mitigazione del rischio

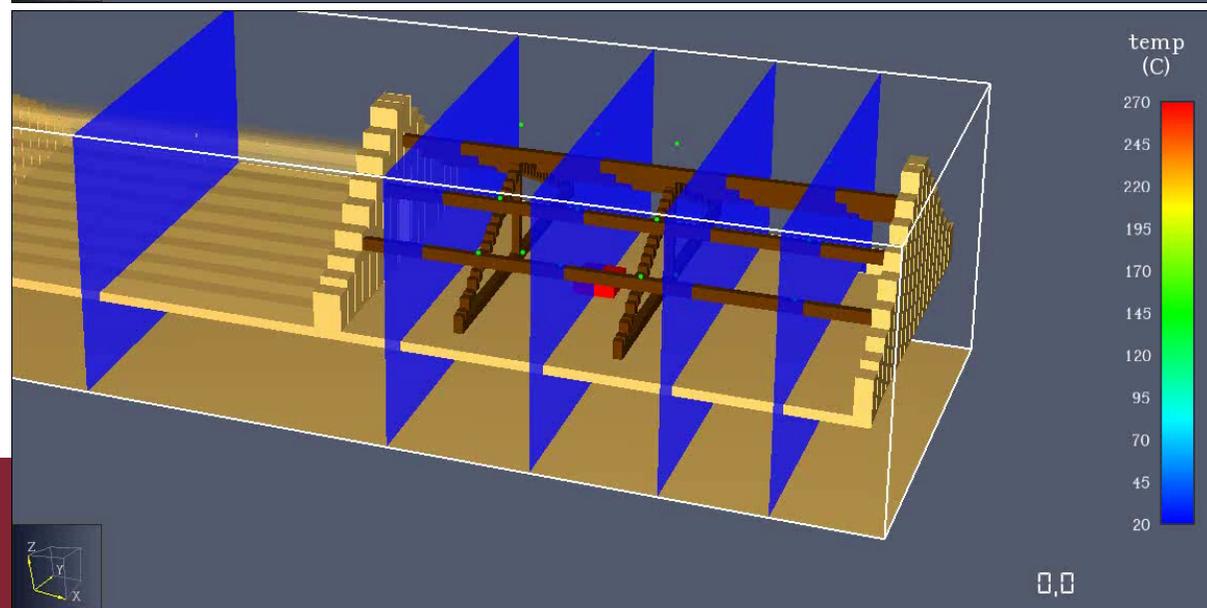
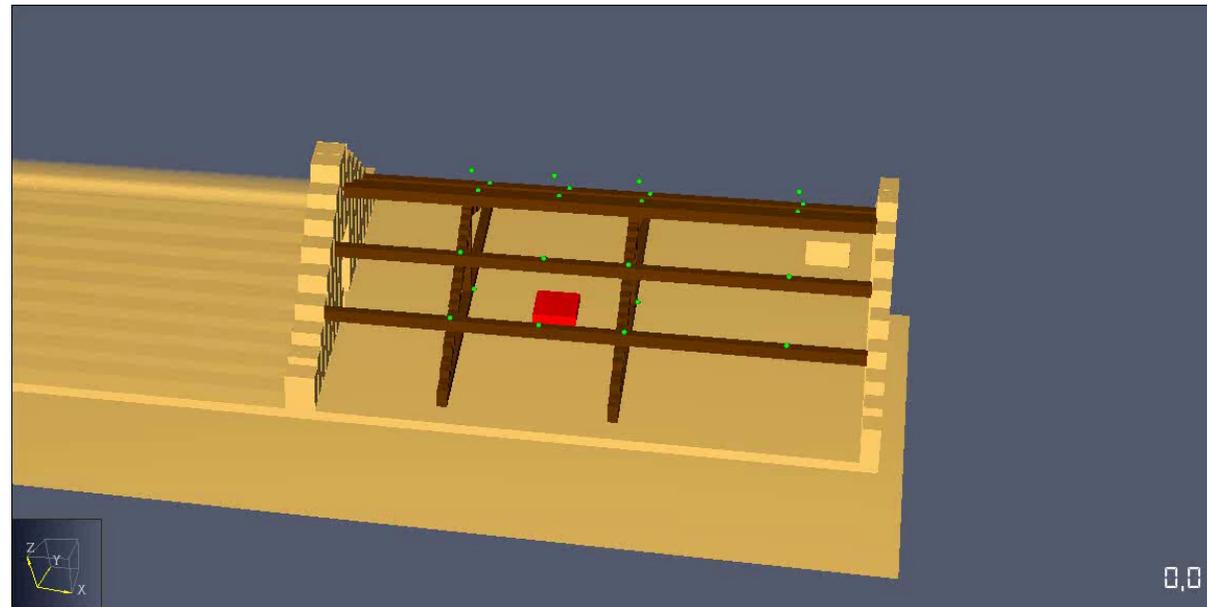
# Individuazione delle misure di mitigazione (I): dinamica (a)

## Caso ad alto carico di incendio con ventilazione



# Individuazione delle misure di mitigazione (I): dinamica (b)

## Caso a basso carico di incendio con scarsa ventilazione



## Individuazione delle misure di mitigazione (II): vulnerabilità

- |  |                |
|--|----------------|
| • <i>Presenza massiccia di</i> <b>elementi in legno</b> <i>(o altri elementi vulnerabili al fuoco)</i>   | <b>X X</b>     |
| • <b>Contenuti di valore</b>   | <b>X X X X</b> |
| • <i>Assenza di</i> <b>protezione attiva</b> <i>(presenza di rilevatori fumo)</i>  | <b>X X X \</b> |
| • <b>No compartimentazioni</b>   | <b>X X X</b>   |
| • <i>Deposito di</i> <b>sostanze infiammabili</b> <i>o</i> <b>non idoneità impianti elettrici</b>  | <b>X X</b>     |
| • <i>Notevole</i> <b>afflusso di persone</b> <i>(chiese e musei)</i>   | <b>X X X</b>   |
| • <del><i>Difficoltà di avvicinamento da parte dei mezzi di soccorso</i></del>   | <b>NO</b>      |
| • <b>Coinvolgimento indiretto</b> <i>per vulnerabilità di altre unità dell'aggregato edilizio</i><br><i>(propagazione dell'incendio o propagazione del crollo)</i> | <b>X X</b>     |

## Misure di mitigazione attuabili

- **Impianto di spegnimento automatico (sprinkler) in copertura**
- **Compartimentazione della zona copertura**

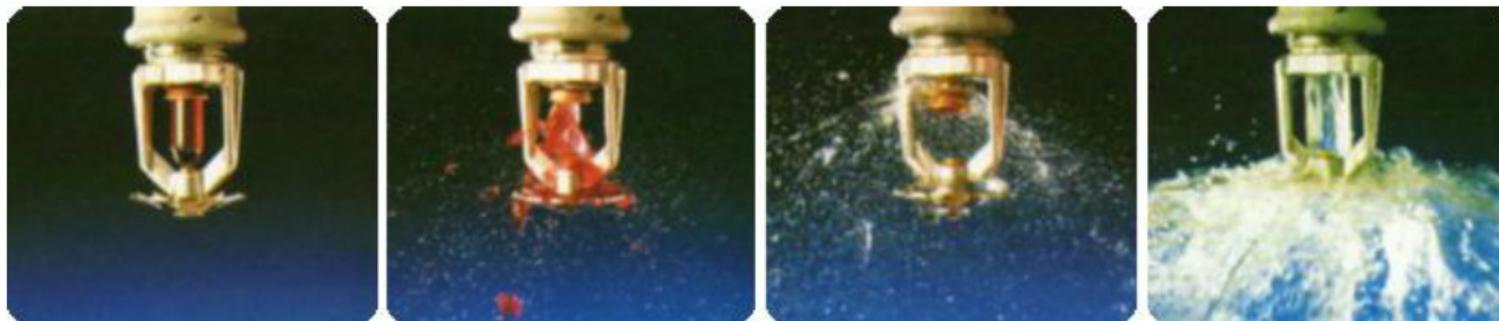
# Sistema di spegnimento automatico con Sprinkler

# Impianti di spegnimento automatico



- Gli impianti automatici a pioggia sono installati per rilevare e spegnere l'incendio nel suo stato iniziale, ovvero di mantenere sotto controllo lo sviluppo in modo da permettere lo spegnimento con altri mezzi.

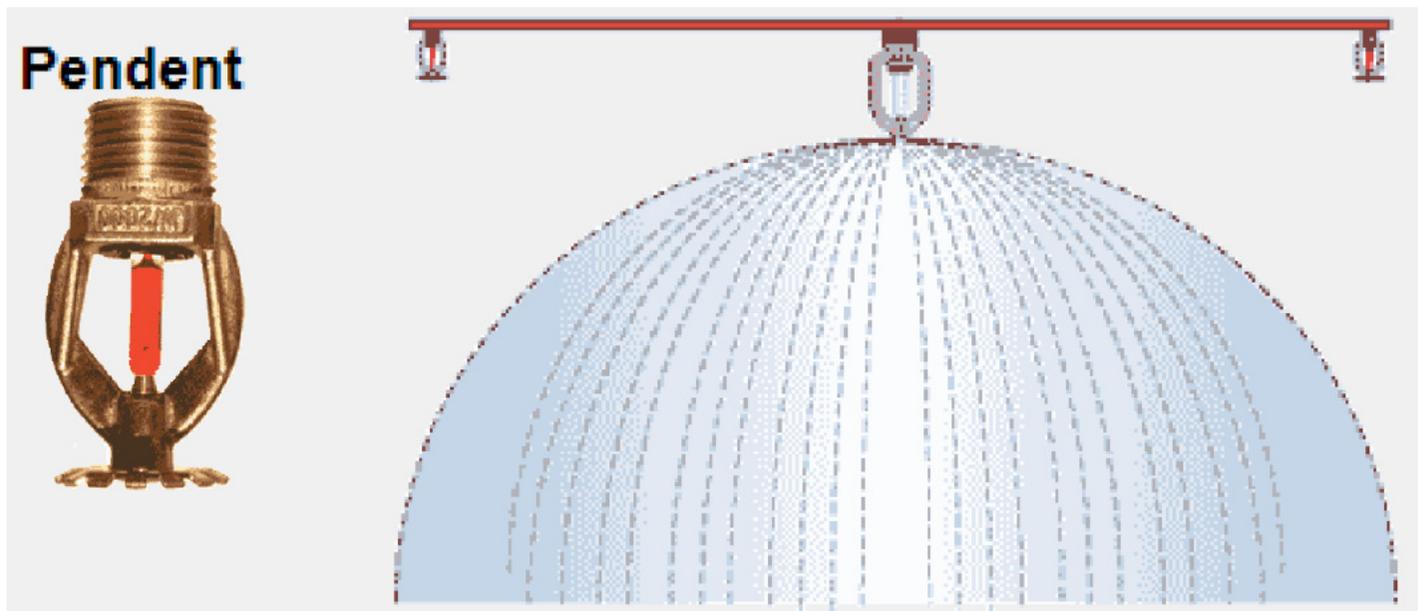
# Impianti di spegnimento automatico: funzionamento diffusori



- Dispositivo termosensibile costruito per attivarsi ad una determinata temperatura e procedere al bagnamento con un getto d'acqua di forma, consistenza e quantità di predeterminate caratteristiche, agente su di un'area specifica.



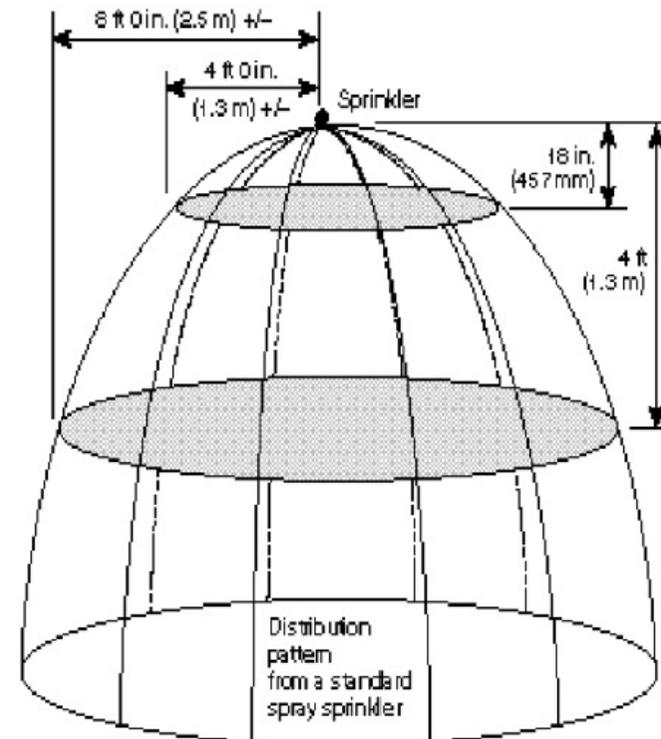
# Impianti di spegnimento automatico: funzionamento diffusori



**Spray:** erogatore che produce un getto d'acqua di forma paraboloidica diretto essenzialmente verso il pavimento, su un'area definita;

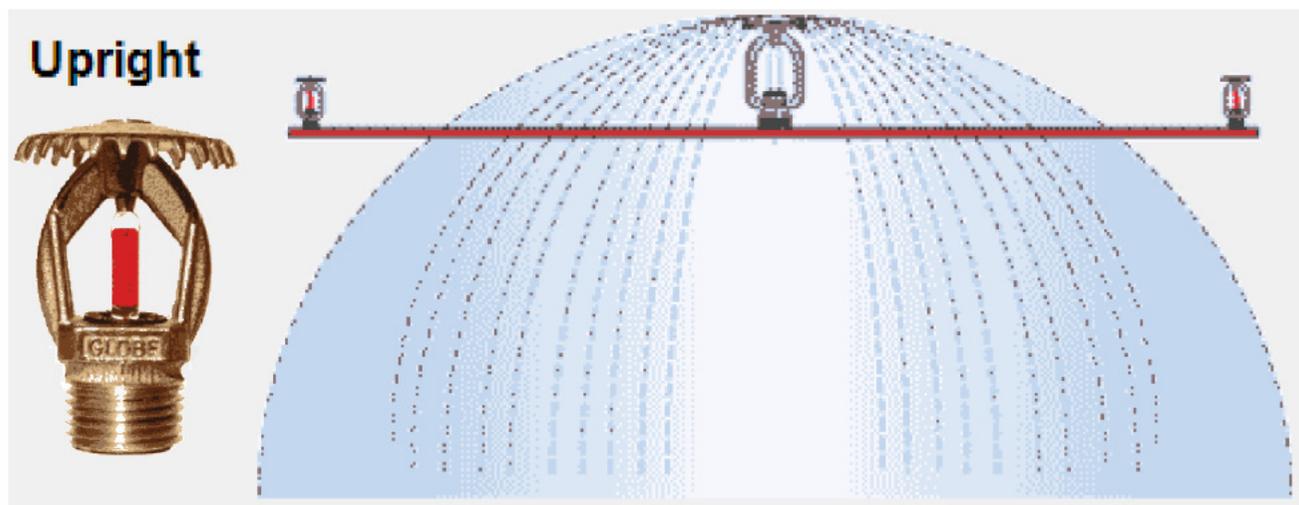
# Impianti di spegnimento automatico: funzionamento diffusori

- Dispositivo termosensibile costruito per attivarsi ad una determinata temperatura e procedere al bagnamento con un getto d'acqua di forma, consistenza e quantità di predeterminate caratteristiche, agente su di un'area specifica.



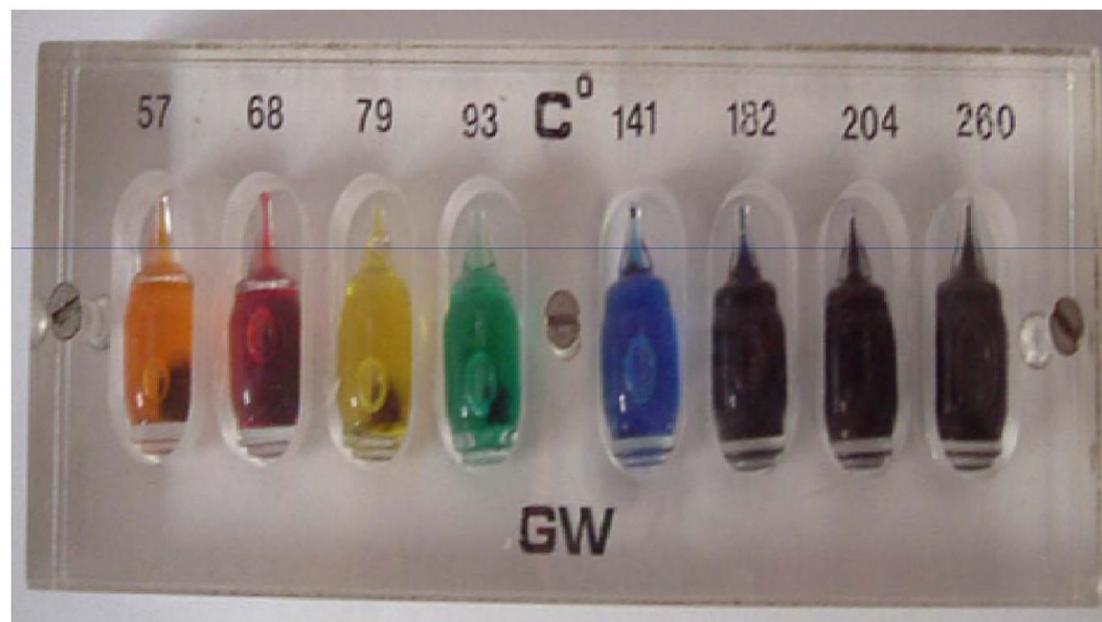
SCIENZA E TECNICA DELLA PREVENZIONE INCENDI  
A.A. 2013 - 2014

# Impianti di spegnimento automatico: funzionamento diffusori

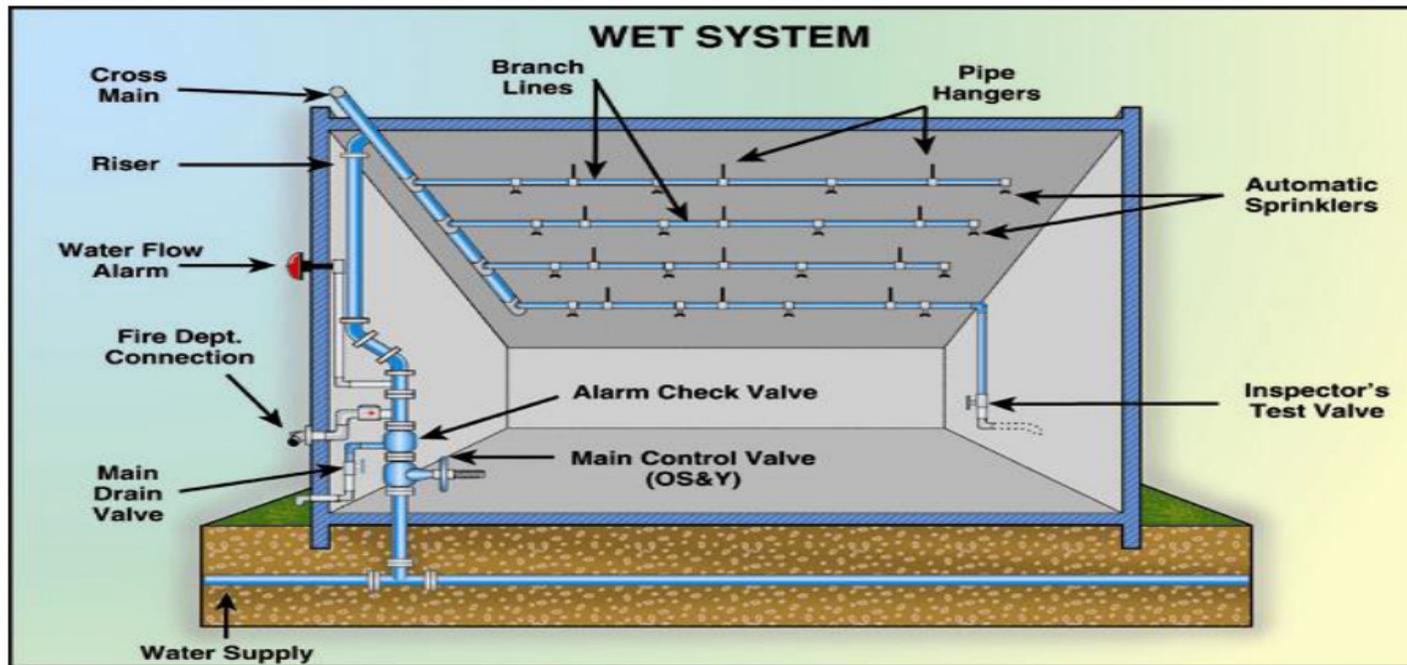


**a getto pieno:** erogatore che produce un getto d' acqua di forma paraboloidica diretto verso il pavimento su un'area definita, mentre parte dell'acqua bagna il soffitto;

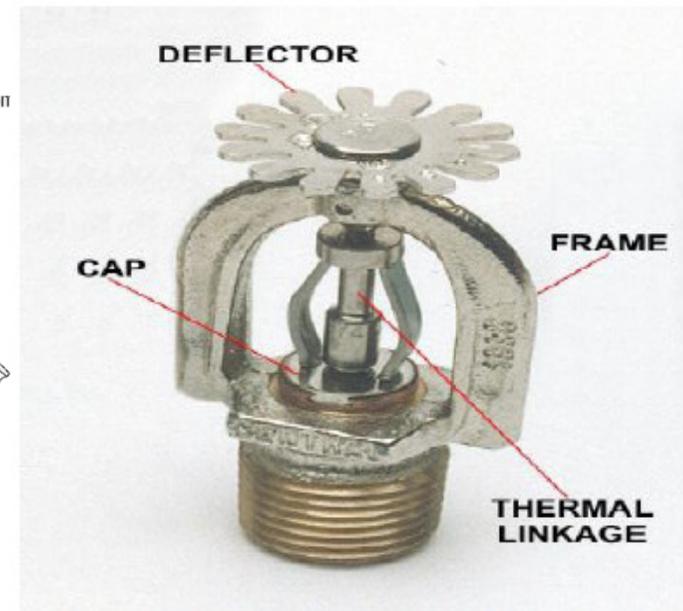
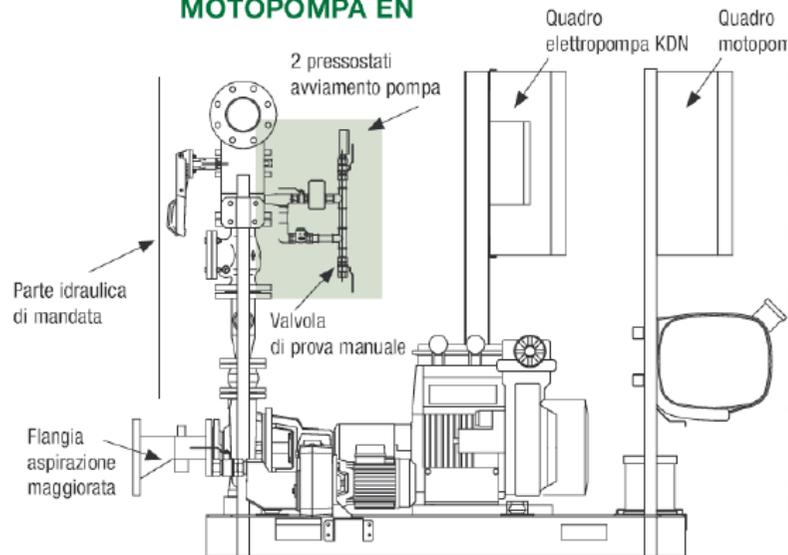
## Impianti di spegnimento automatico: diffusori



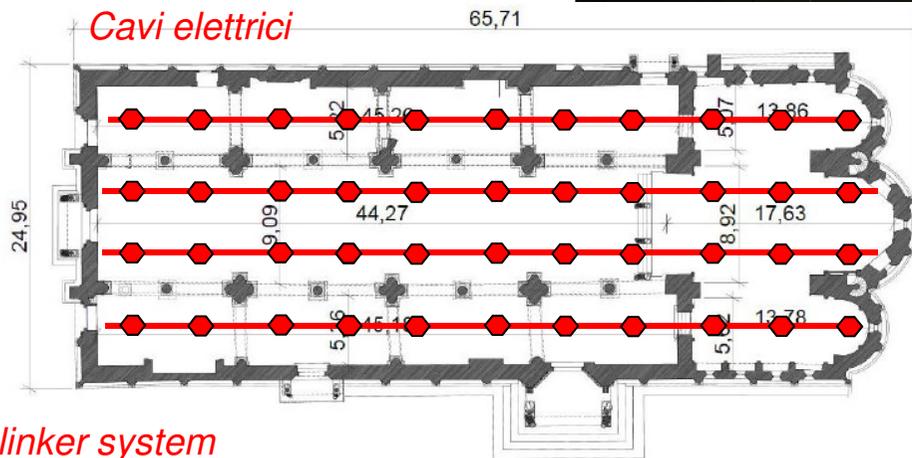
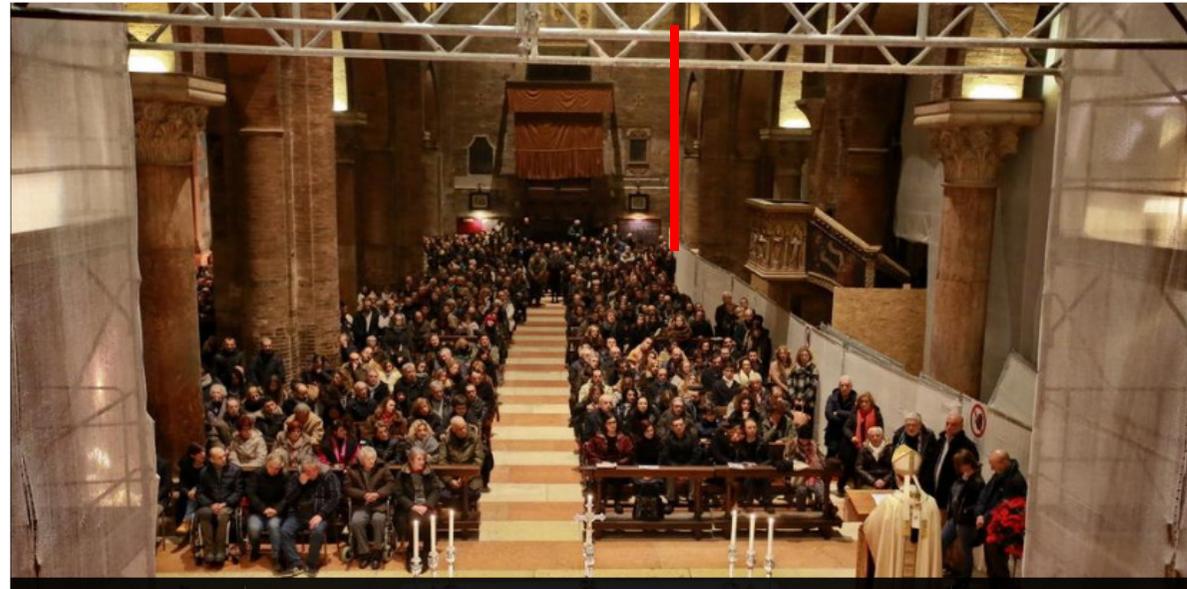
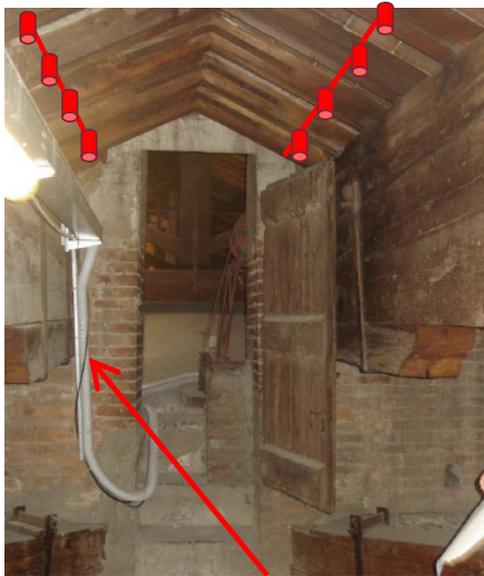
# Impianti di spegnimento automatico: componenti



## GRUPPO ELETTROPOMPA EN MOTOPOMPA EN



# Impatto visivo (impianto sprinkler in sottotetto)

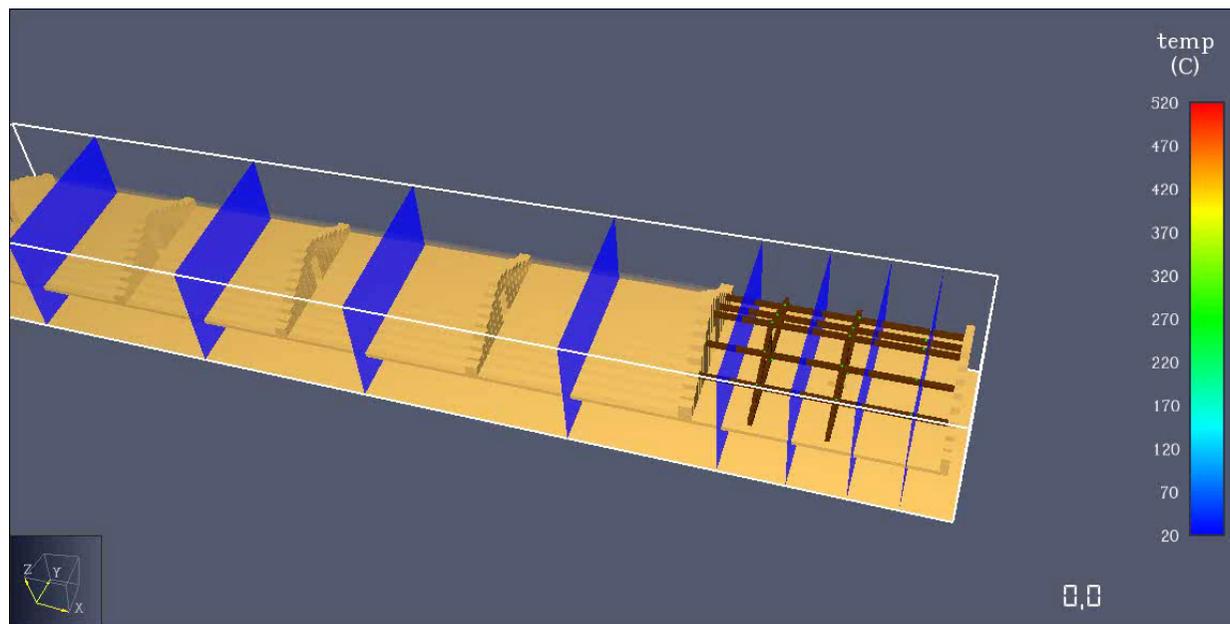


*Sprinkler system*

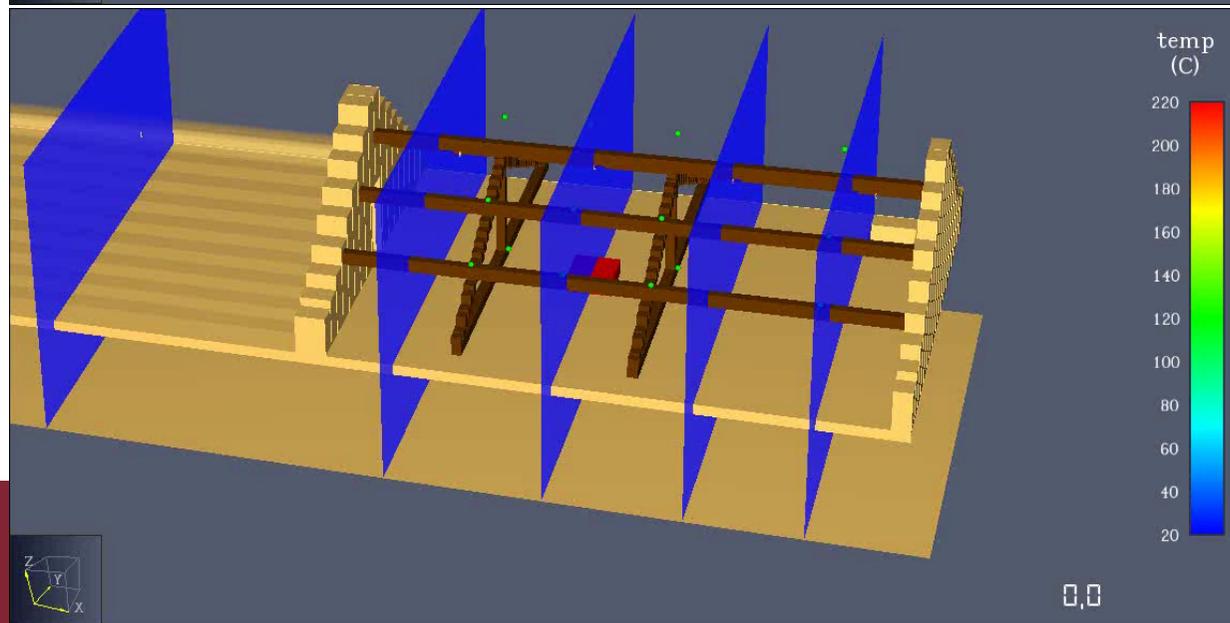
# Effetto degli impianti di spegnimento automatico: dinamica (a)

Caso ad alto carico di incendio con ventilazione

No sprinkler



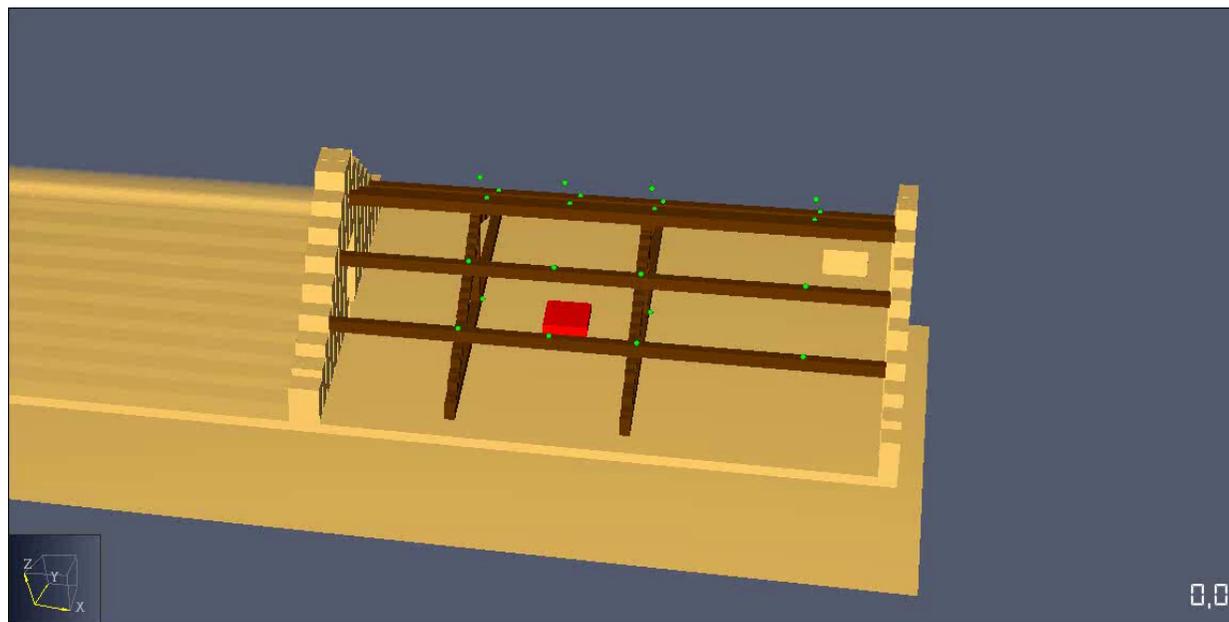
Sprinkler



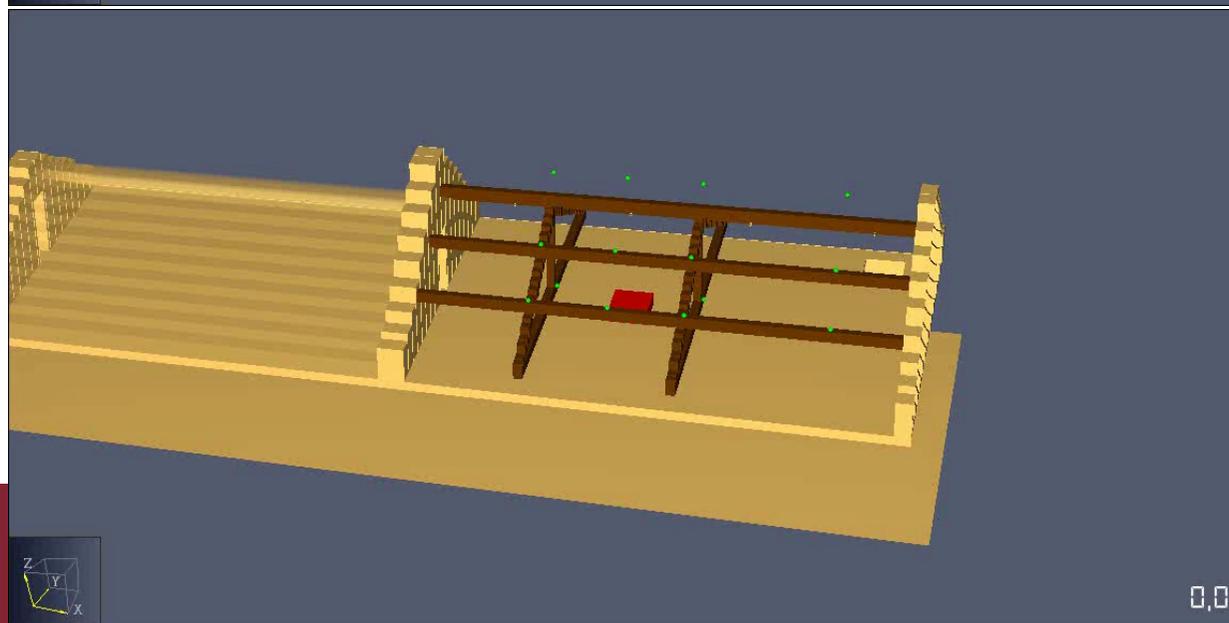
# Effetto degli impianti di spegnimento automatico: dinamica (b)

## Caso a basso carico di incendio con scarsa ventilazione

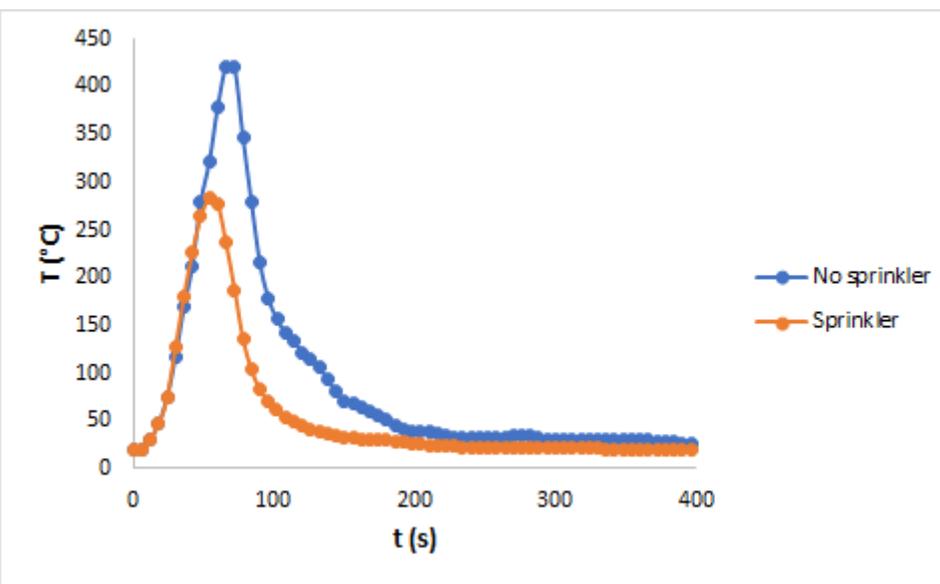
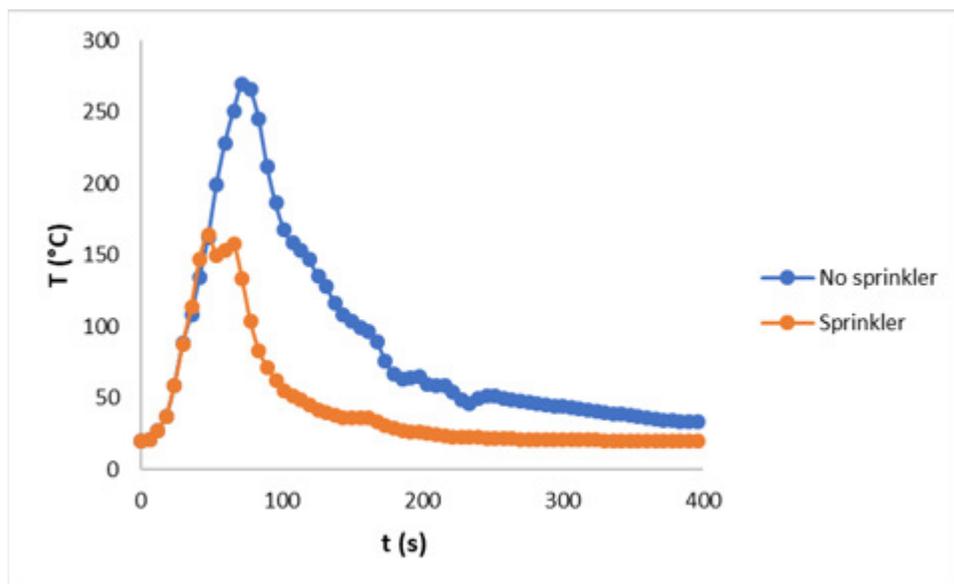
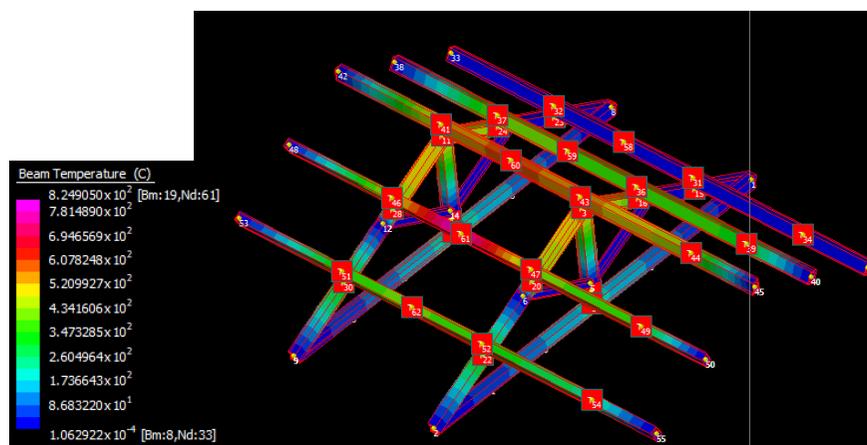
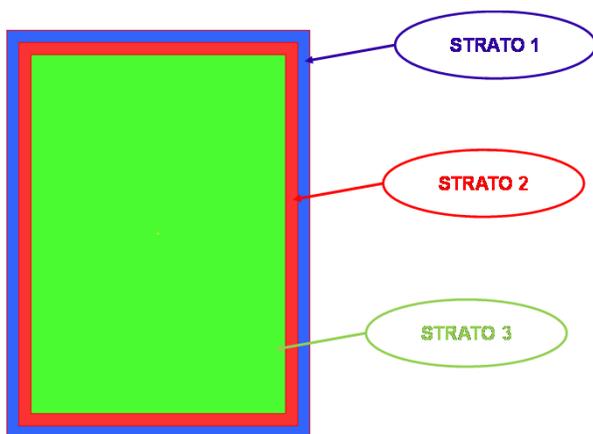
No sprinkler



Sprinkler

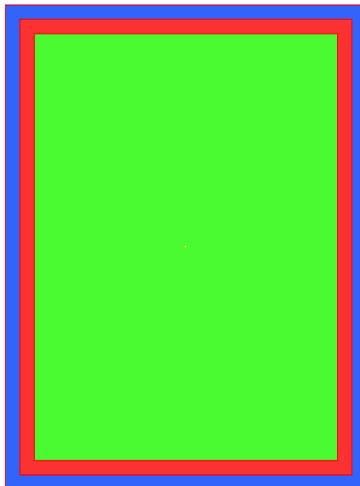
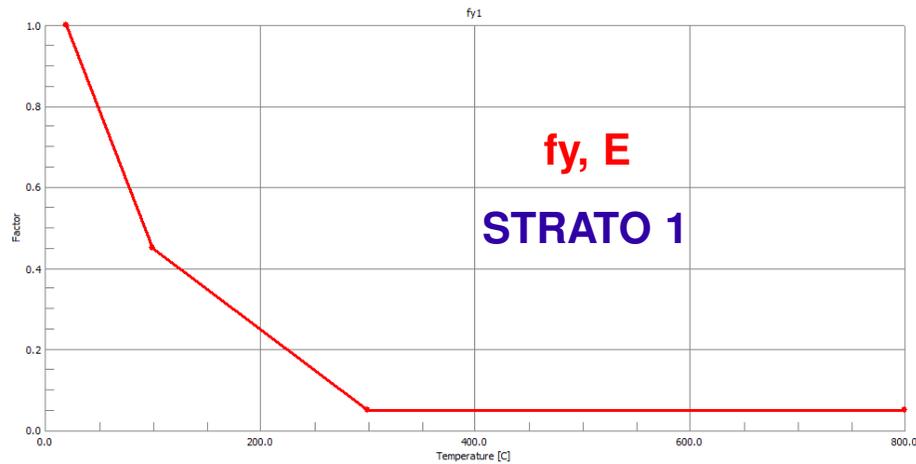


# Effetto degli impianti di spegnimento automatico: riduzione azione (temperature)



# Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

## Curva naturale di incendio: resistenza ed elasticità ridotte

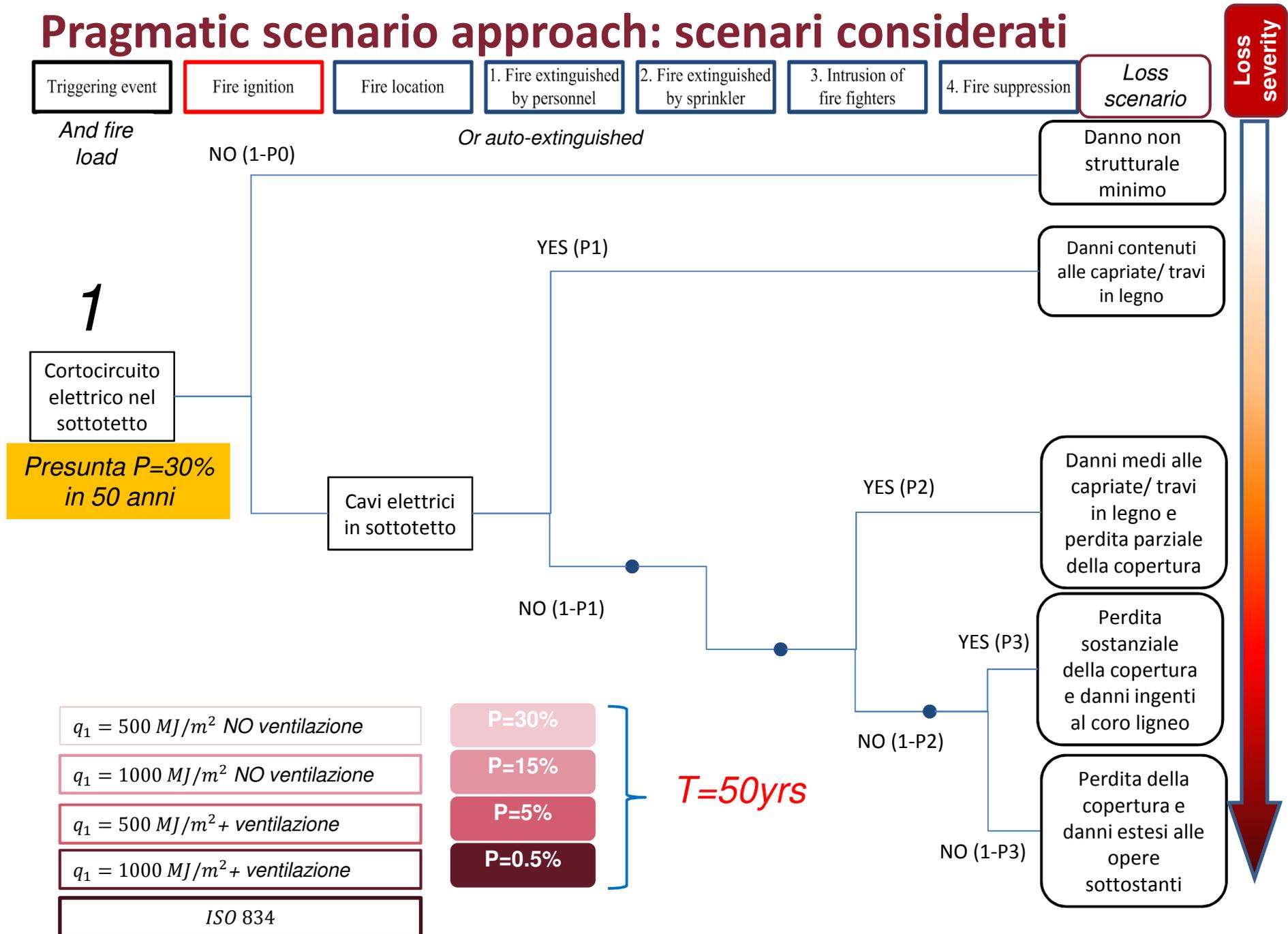


# 3

## Misure di mitigazione del rischio

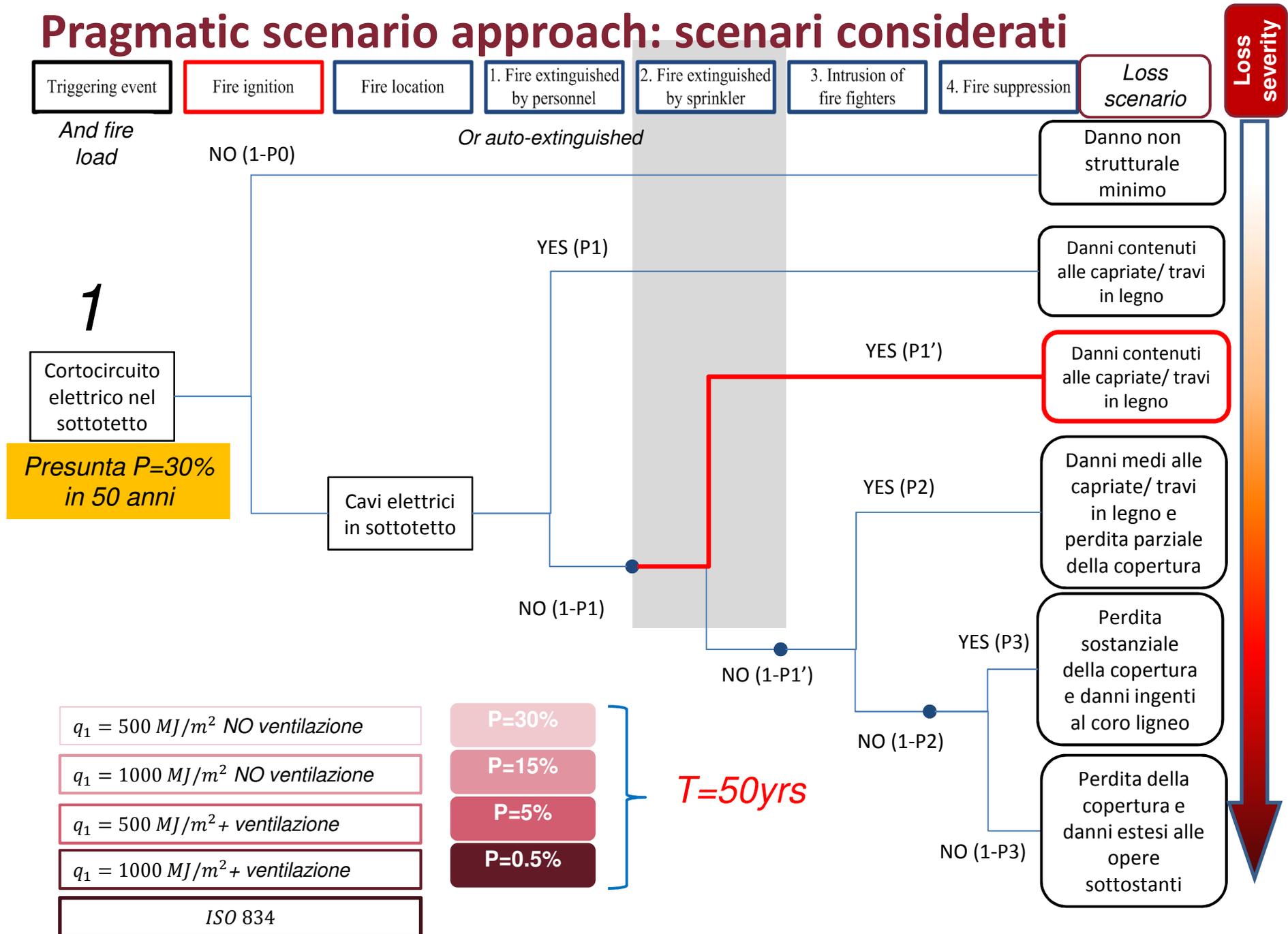
# Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

## Pragmatic scenario approach: scenari considerati



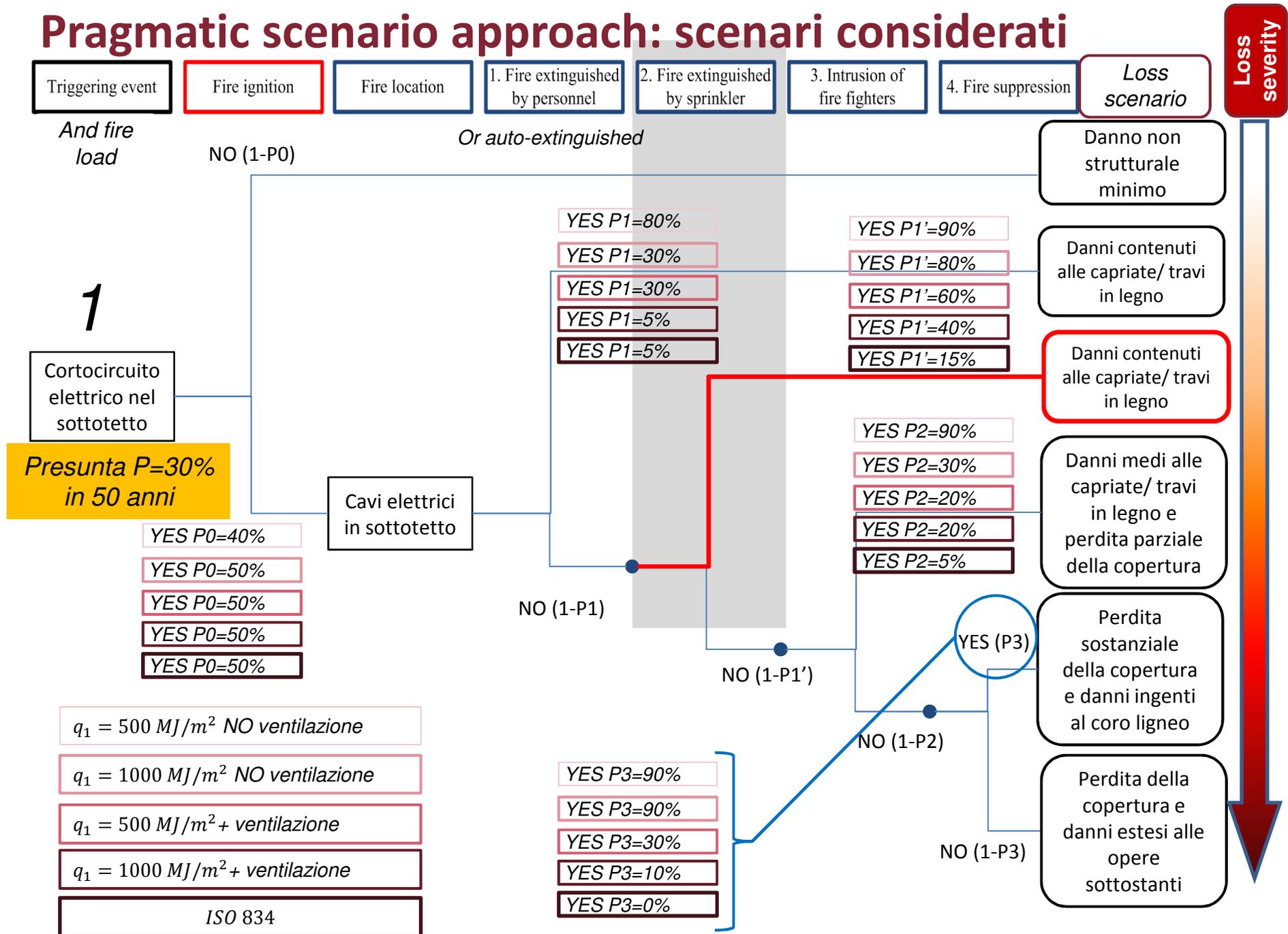
# Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

## Pragmatic scenario approach: scenari considerati

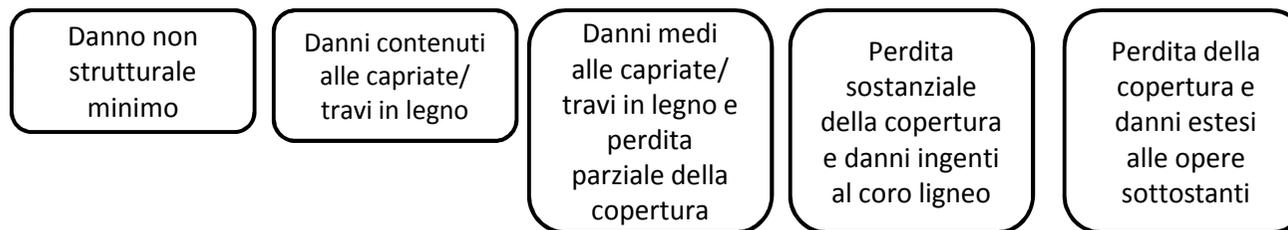
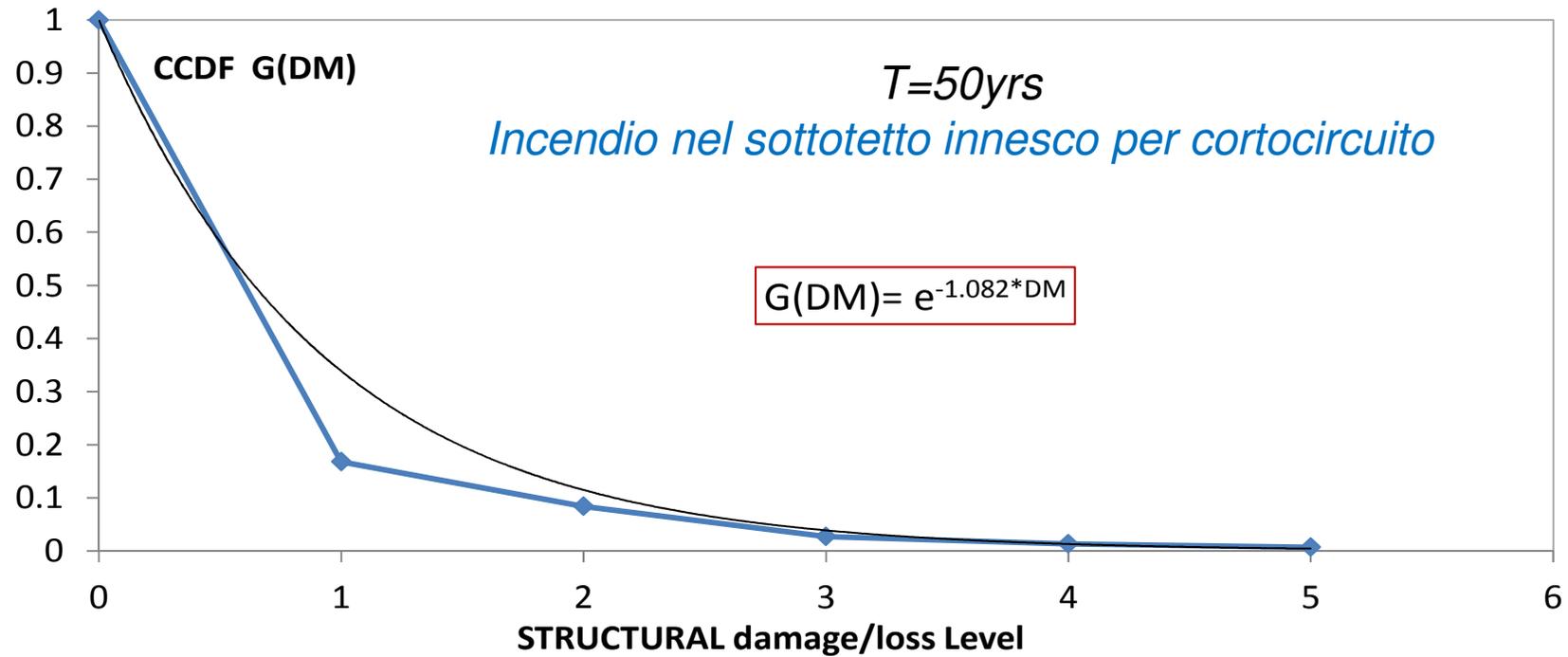


# Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

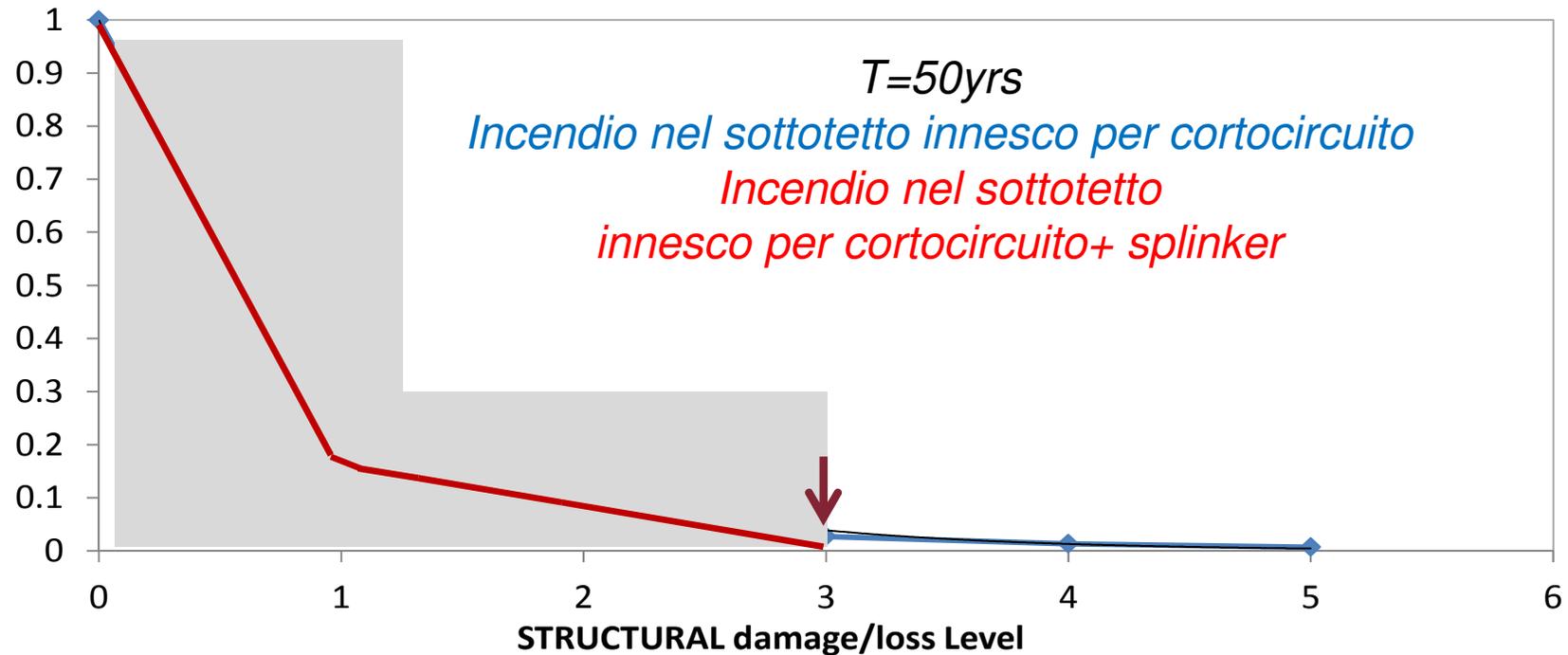
## Pragmatic scenario approach: scenari considerati



# Risk curve associated to the Scenario 1

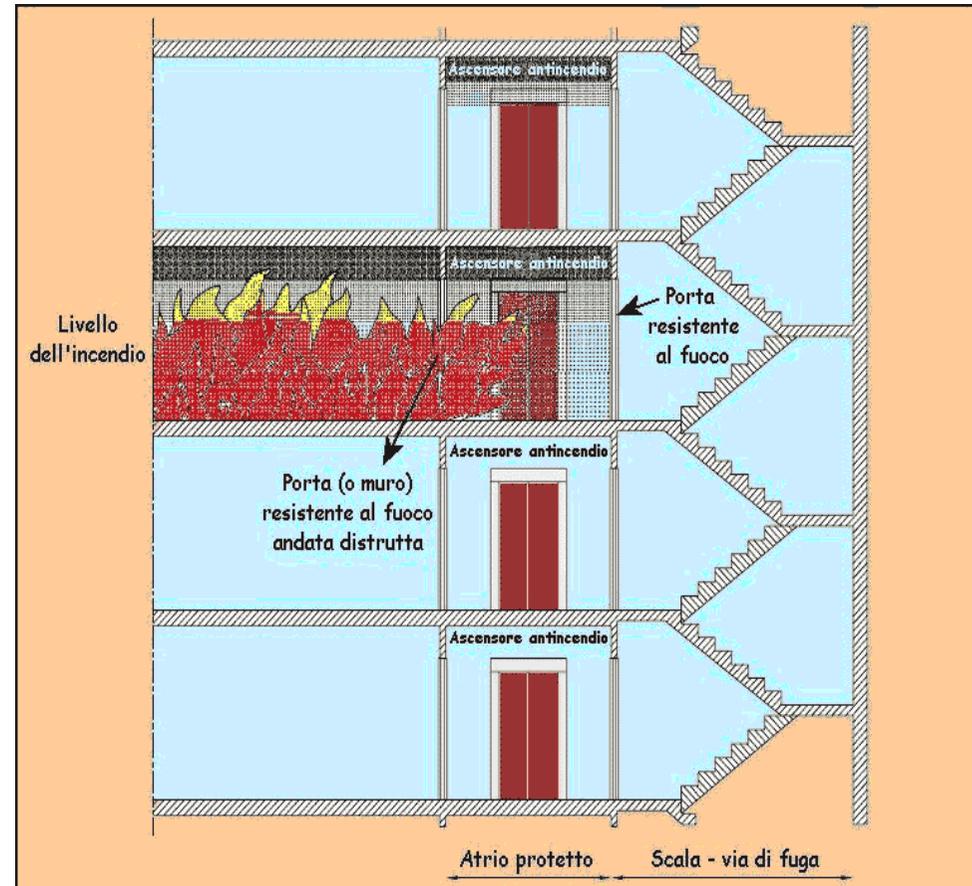
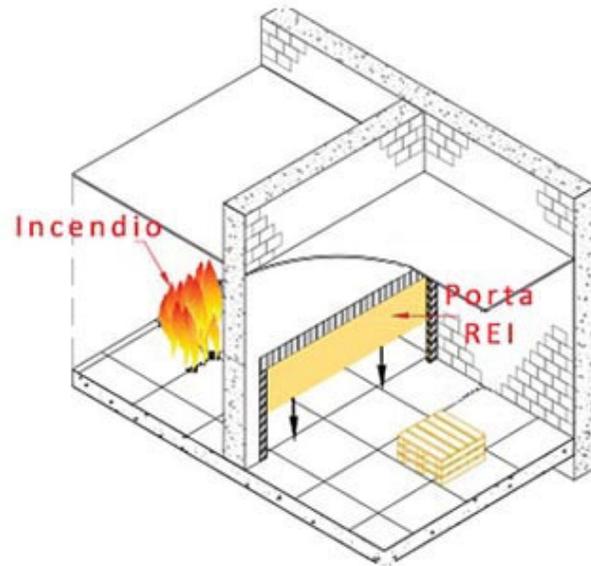


# Risk curve associated to the Scenario 1+ impianto sprinkler



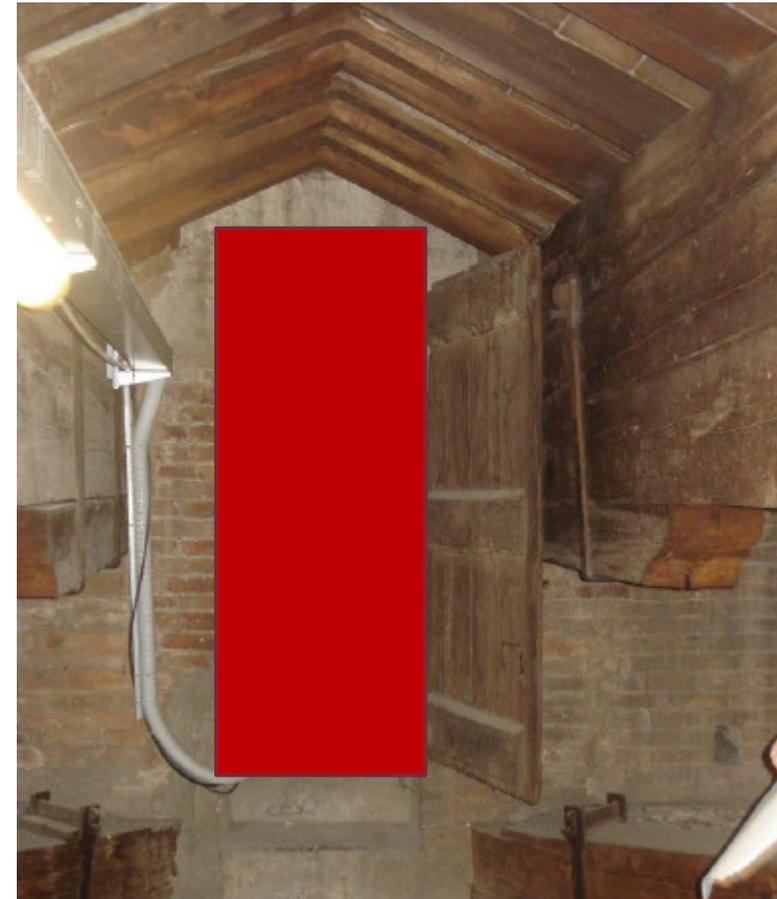
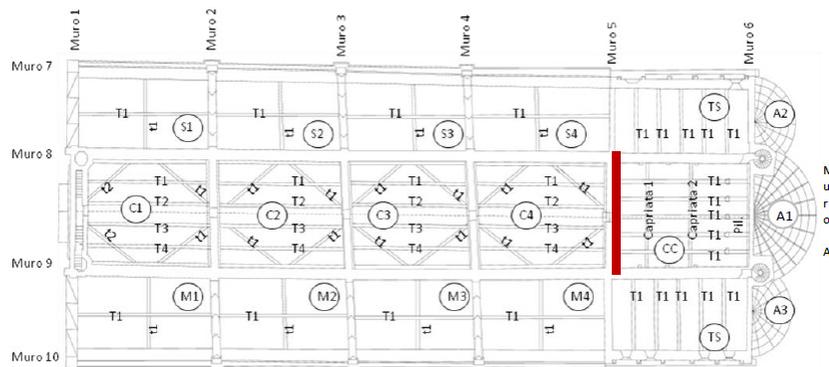
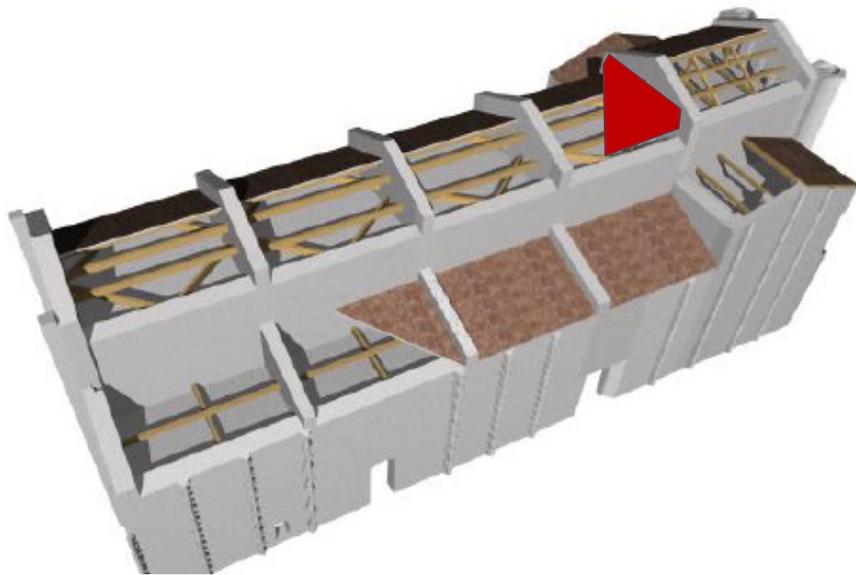
# Compartimentazione nella zona copertura

# Compartimentazione



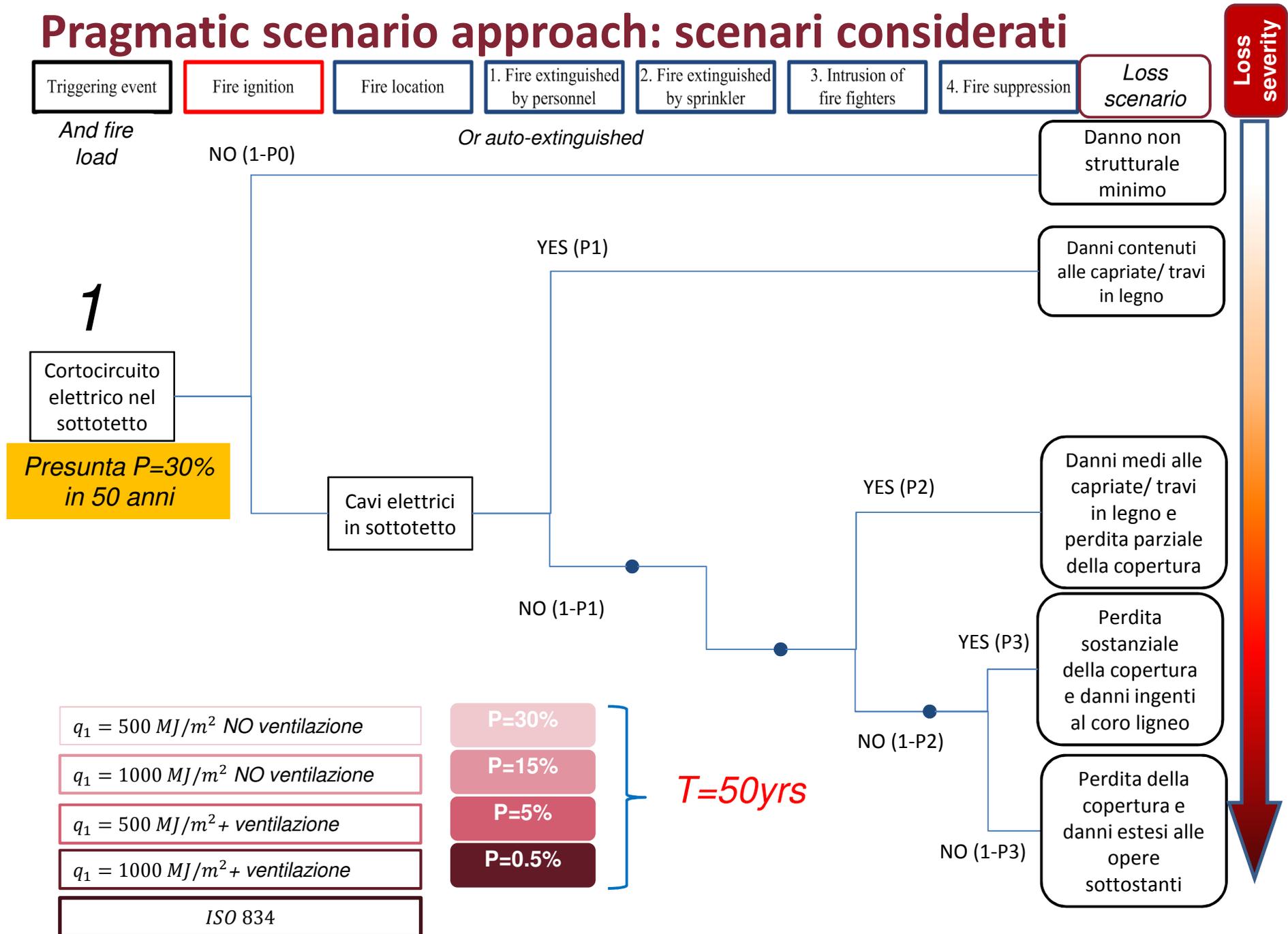


# Compartimentazione in sottotetto



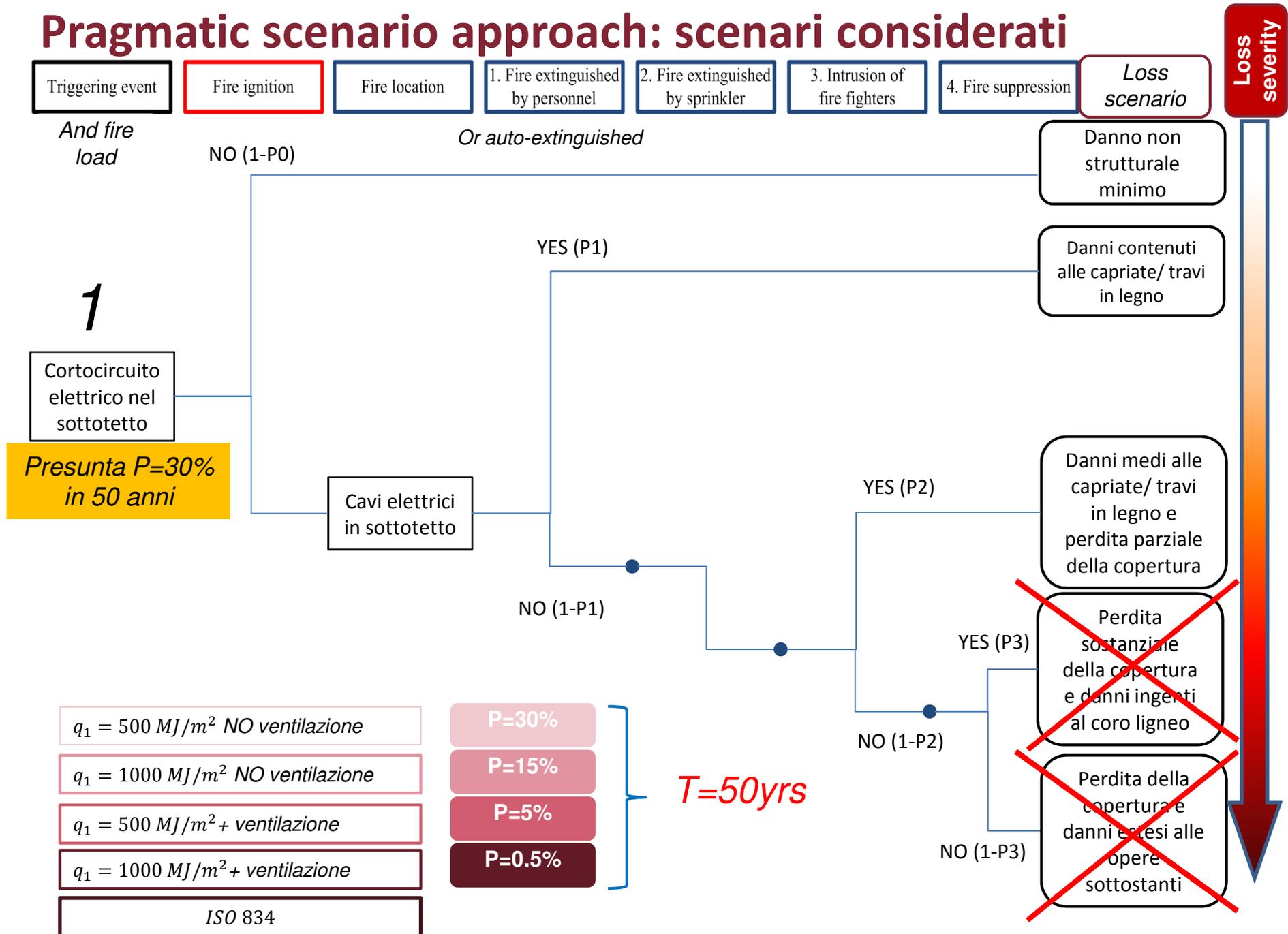
# Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

## Pragmatic scenario approach: scenari considerati



# Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

## Pragmatic scenario approach: scenari considerati



# Conclusioni

1. **Le misure di mitigazione hanno un significativo effetto nella riduzione del rischio prevalentemente per gli scenari più catastrofici** (code delle curve di rischio)
2. **Le analisi numeriche per l'attribuzione delle probabilità ai rami dell'albero degli eventi non possono prescindere dalle seguenti fasi:**
  - **Analisi dello sviluppo e propagazione dell'incendio** (analisi fluidodinamica)
  - **Analisi di risposta strutturale non lineare**
  - **Analisi di evacuazione occupanti** (ambienti suscettibili di affollamento)
3. **L'installazione dei sistemi di mitigazione attiva tipo impianto sprinkler implicano un impatto impiantistico/visivo rilevante sul bene culturale**
4. **L'installazione di sistemi di mitigazione passiva quale la compartimentazione ha un impatto visivo minore ma anche un effetto di mitigazione meno rilevante**
5. **L'installazione di un sistema combinato (sprinkler + compartimentazione) produce, per il caso studio, una mitigazione rilevante.**