

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 **X X**
(propagazione dell'incendio o propagazione del crollo)

Duomo di Modena

1

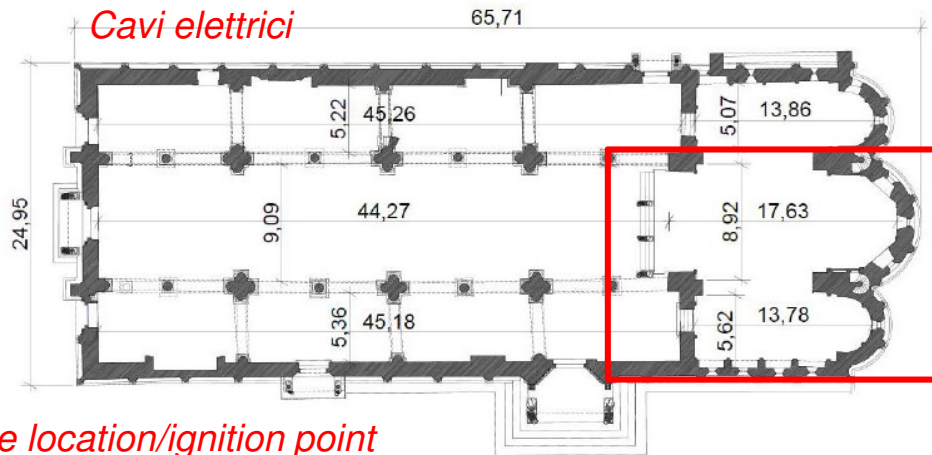
Definizione di scenari di incendio

Scenario 1: punto d'innesco e vulnerabilità specifiche

Innesco



Cavi elettrici



*Fire location/ignition point
(sottotetto)*

*Vulnerabilità specifiche
(coro ligneo sottostante)*



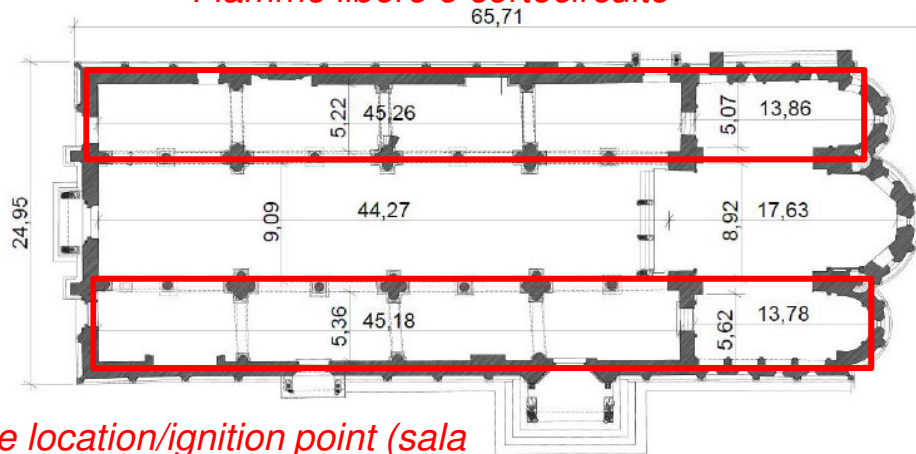
Coro ligneo intarsiato del [1461-1465](#) opera degli esponenti di una dinastia di provetti [ebanisti](#), i fratelli [Cristoforo](#) e [Lorenzo Canozzi](#), detti *da Lendinara*. Dotati di una tecnica raffinata dimostrano negli stalli intarsiati abilità compositiva e notevoli doti prospettive derivate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

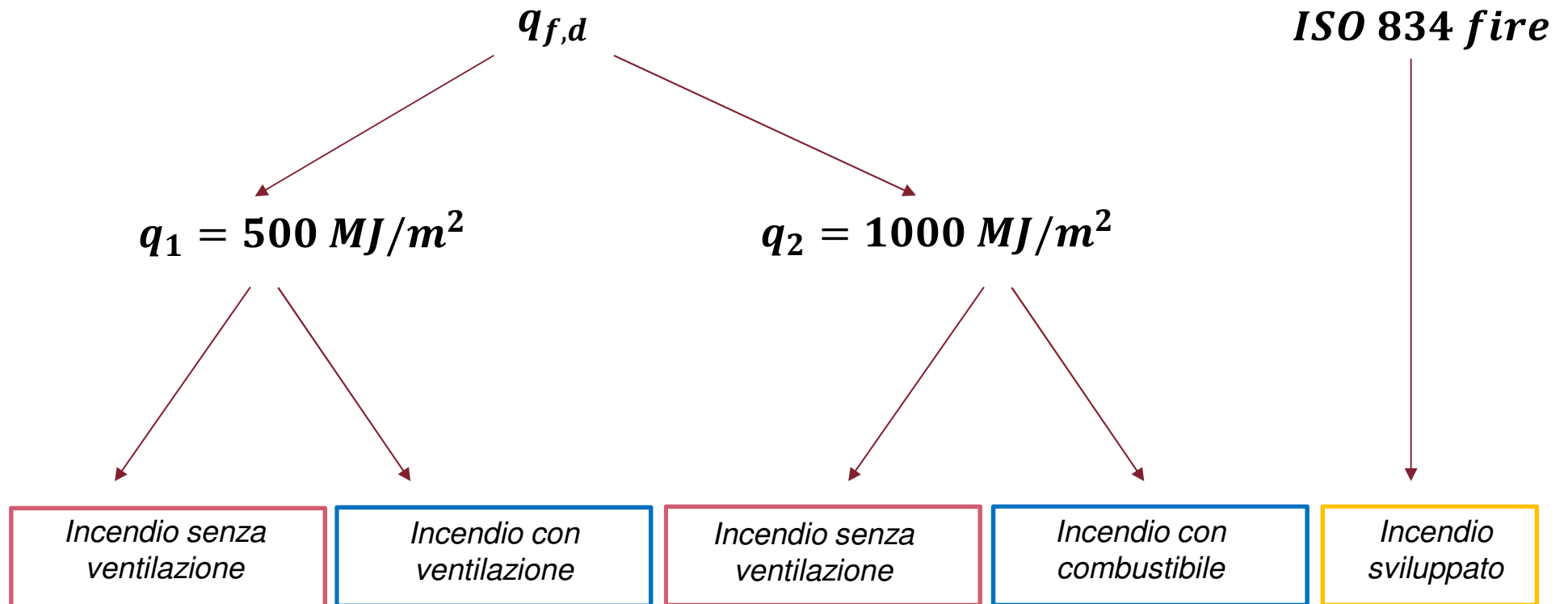


'Arcangelo San Michele, parte del Giudizio Universale (fascia centrale), dell'affresco di Cristoforo da Lendinara, Cappella Bellincini, Duomo di Modena

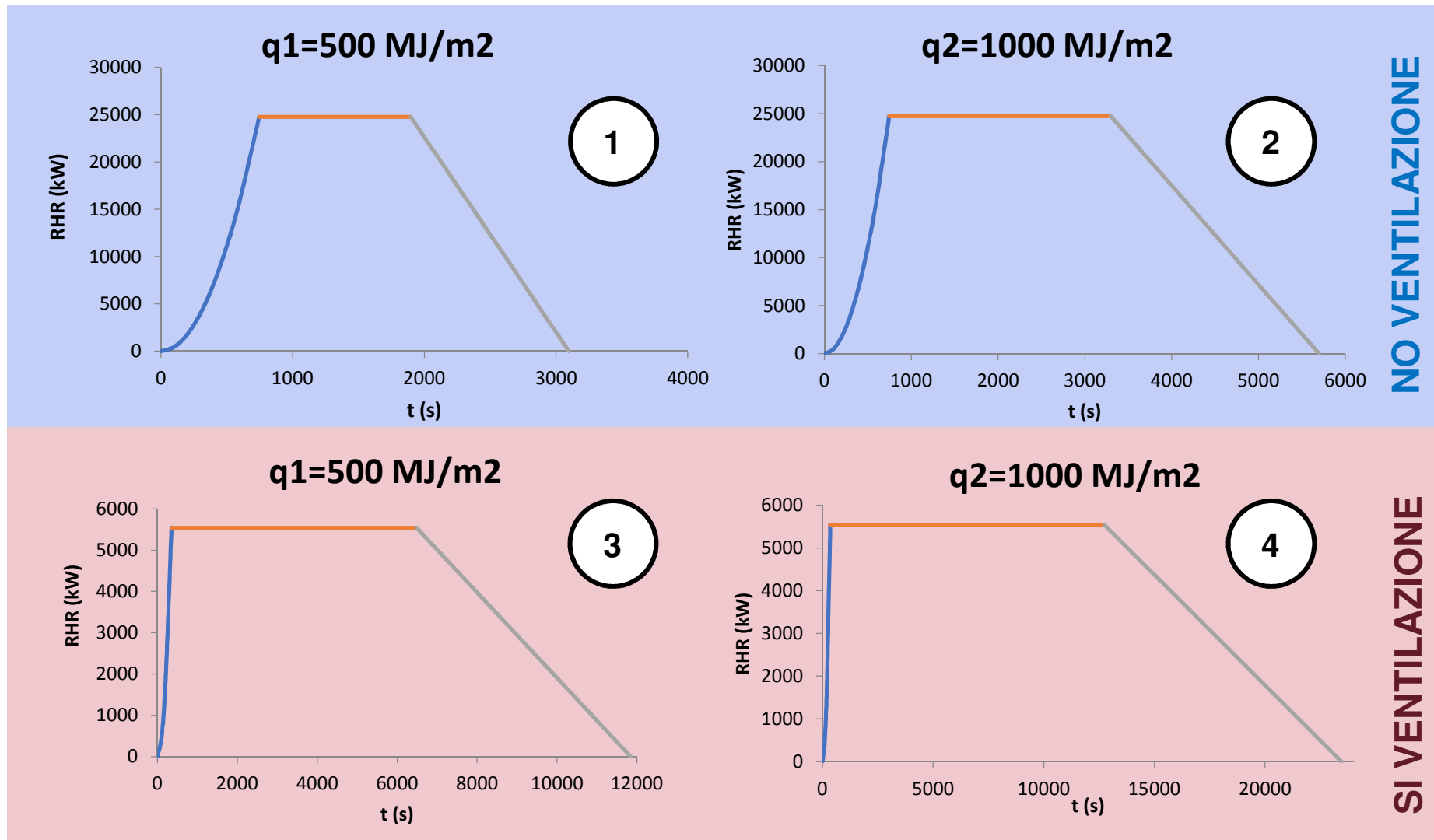
La Cappella Bellincini nel Duomo di Modena con l'affresco di Cristoforo da Lendinara



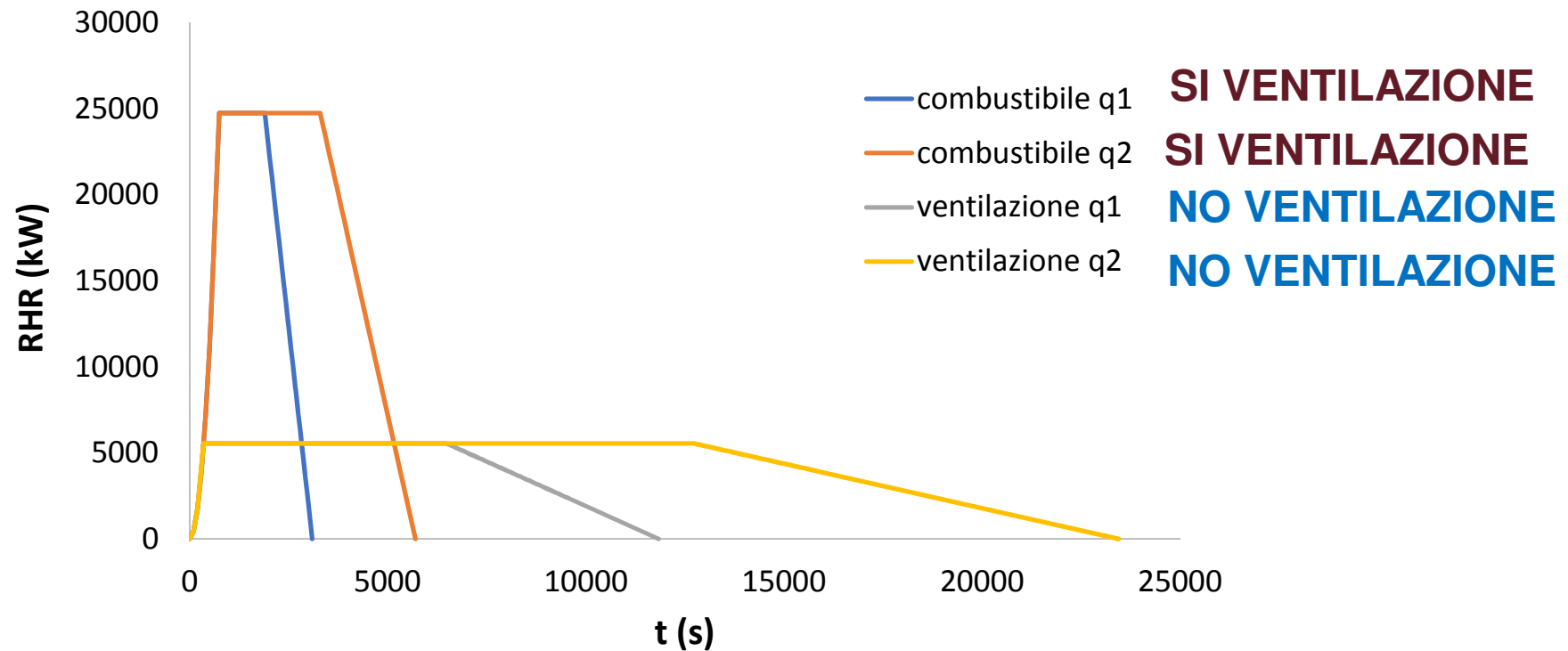
Carico di incendio



Carico di incendio-RHR



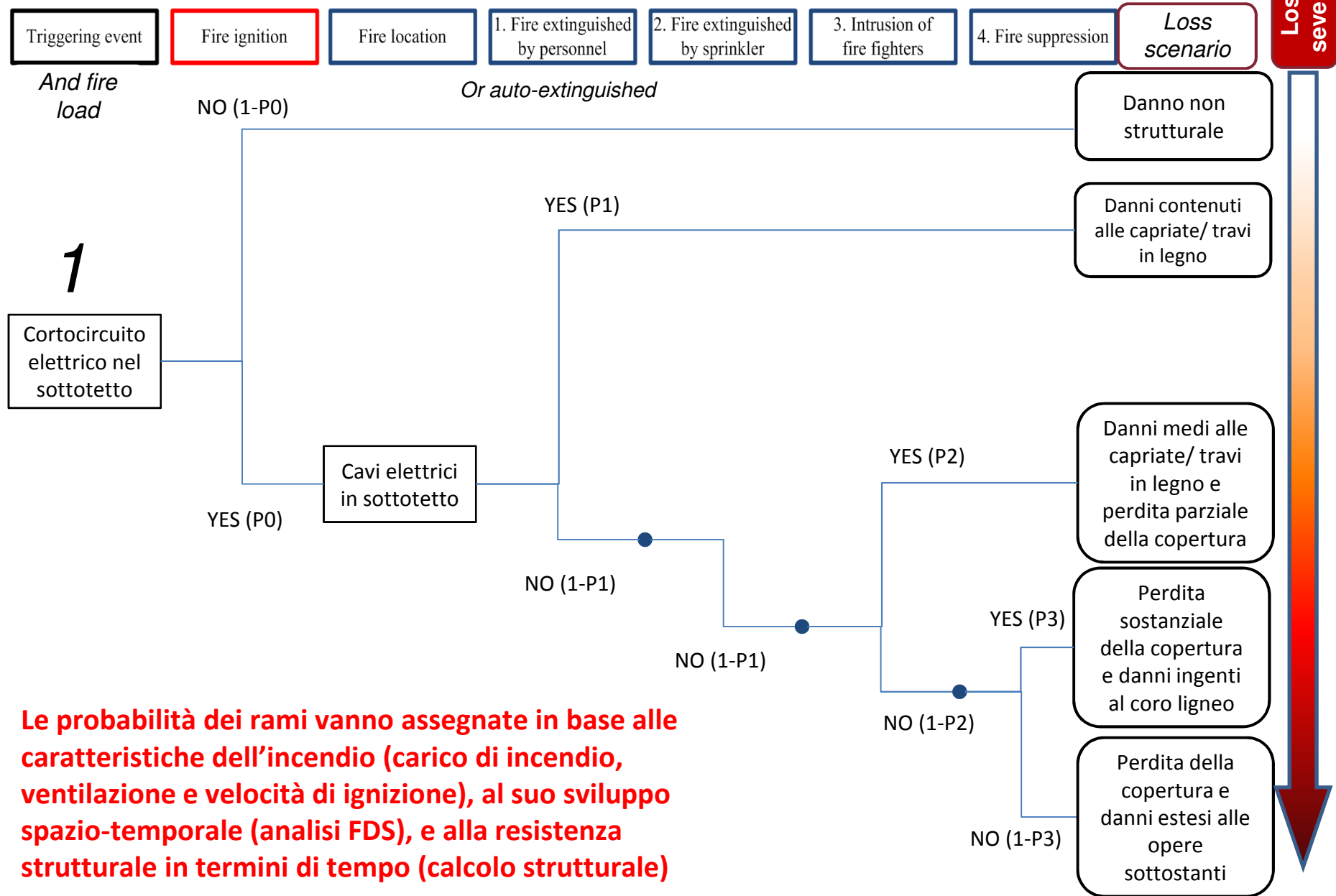
Carico di incendio-RHR



2

Valutazione del rischio senza misure di mitigazione

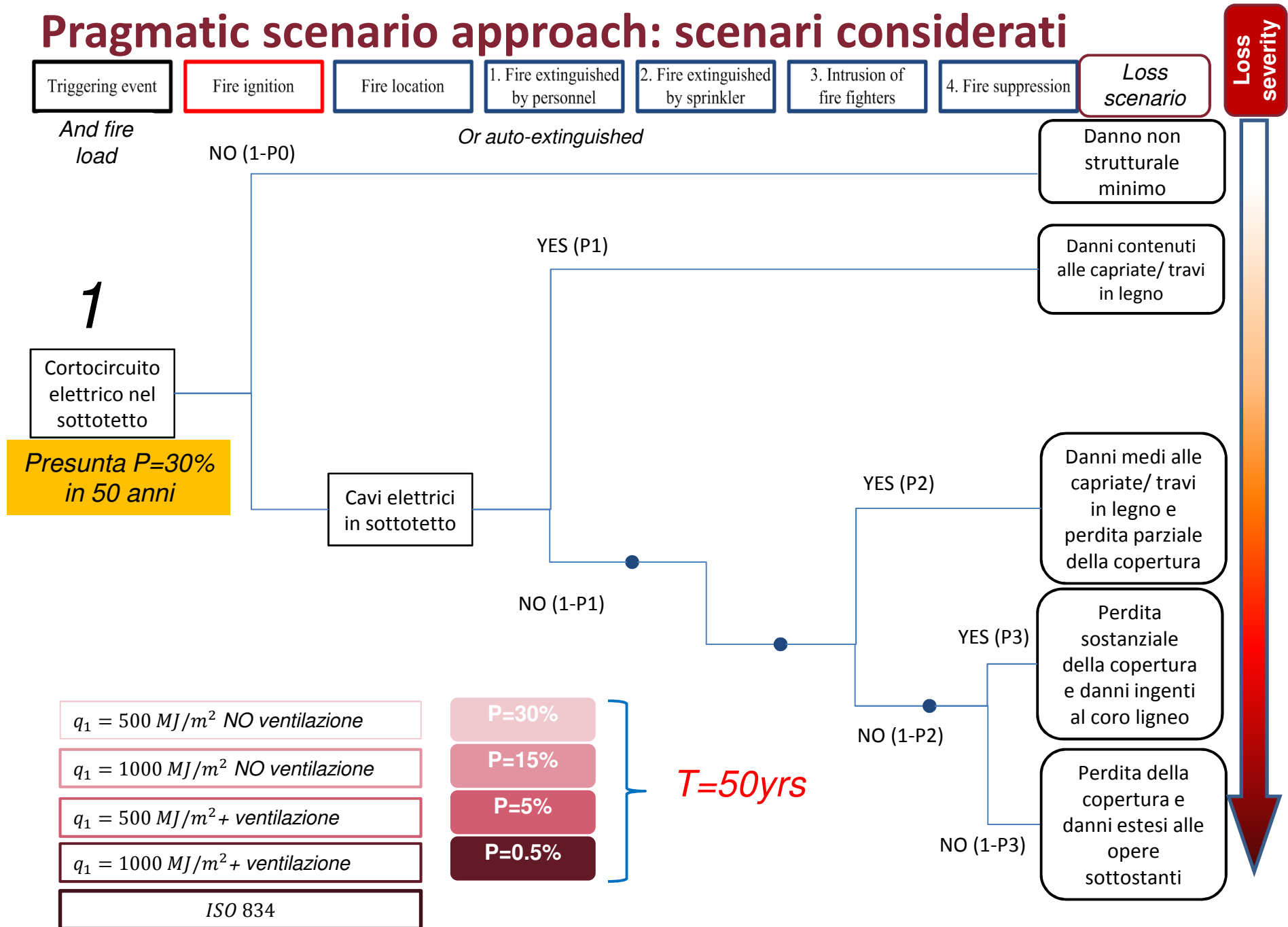
Scenari d'incendio



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)

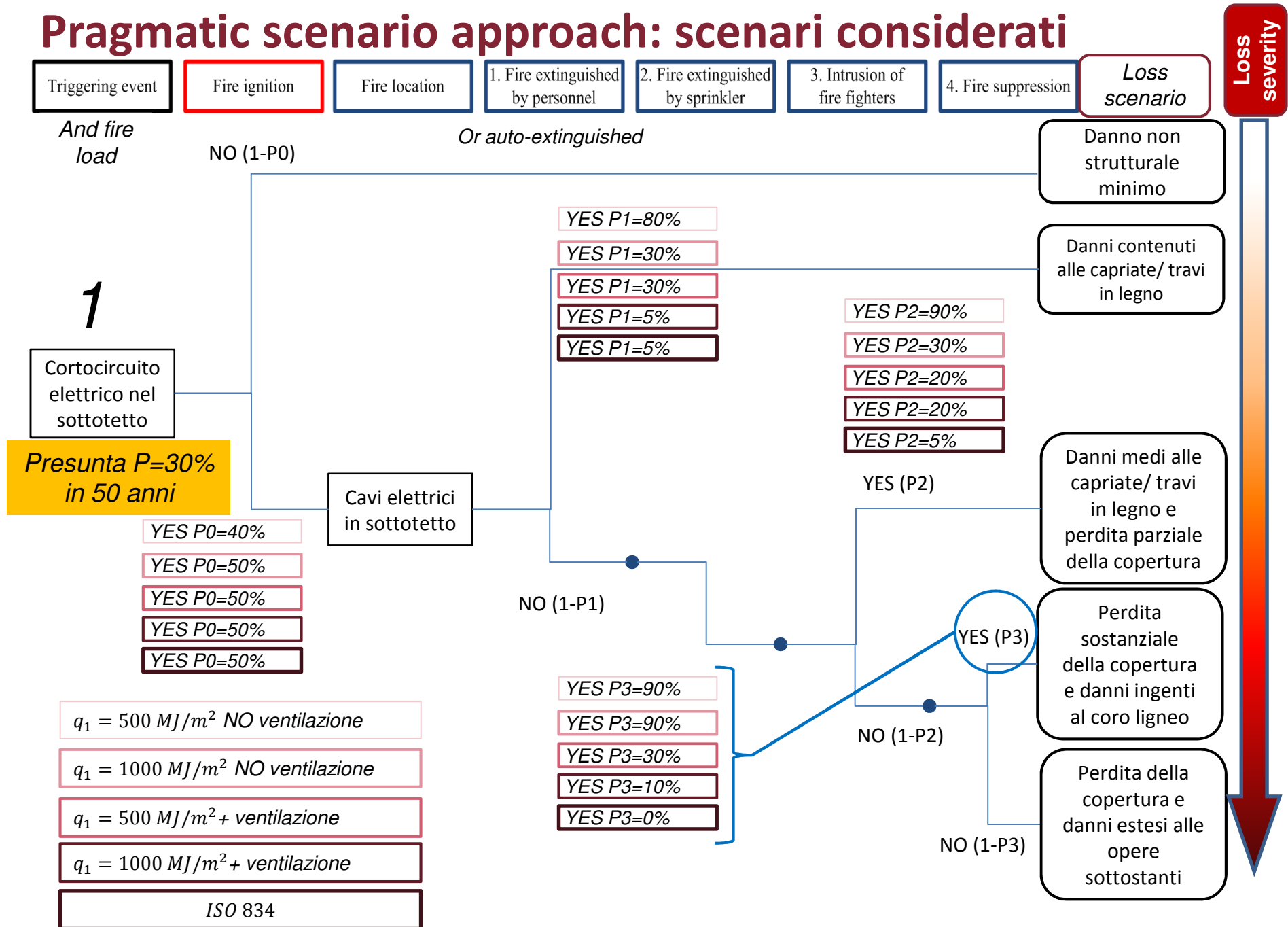
Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

Pragmatic scenario approach: scenari considerati



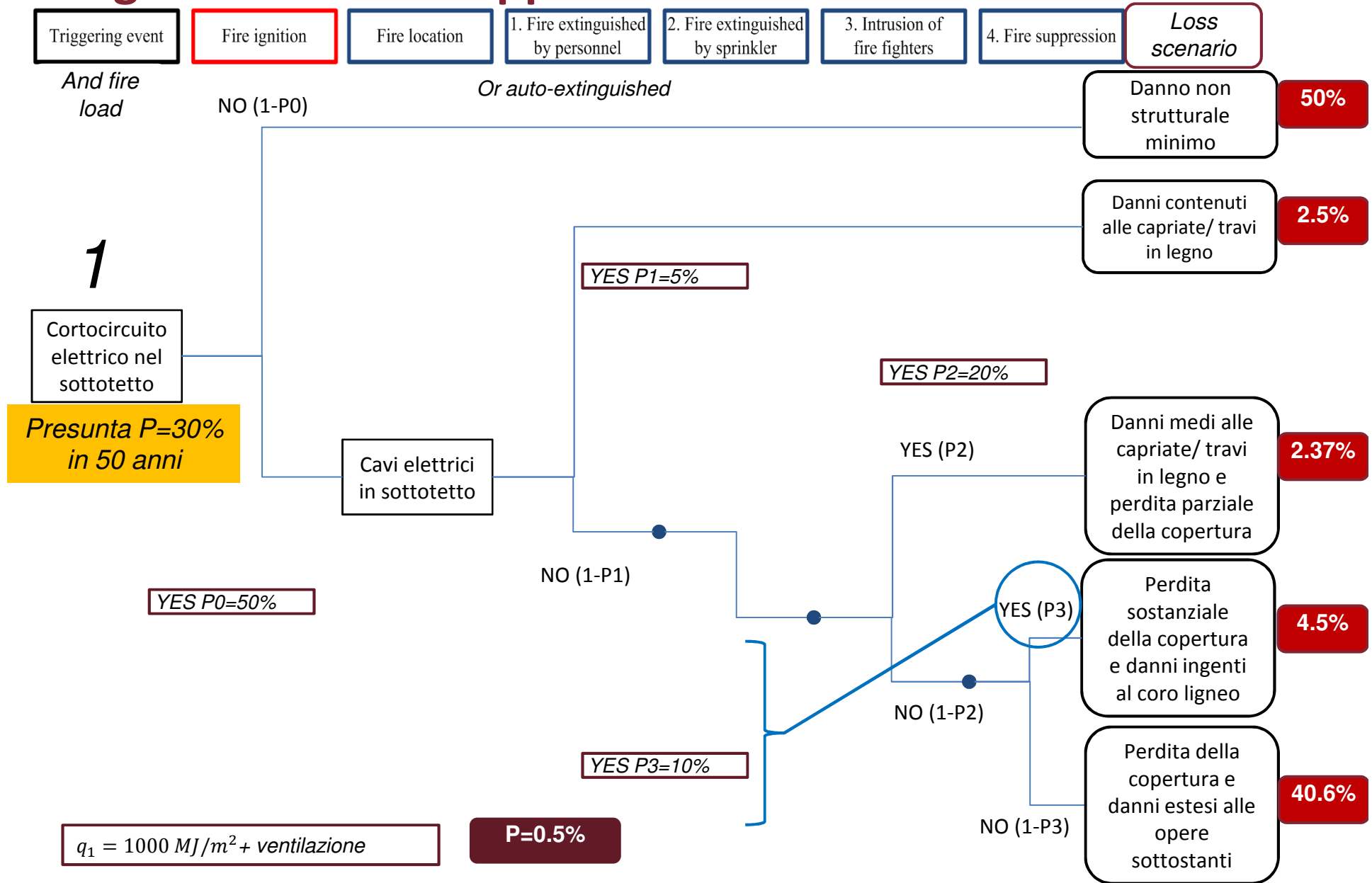
Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

Pragmatic scenario approach: scenari considerati



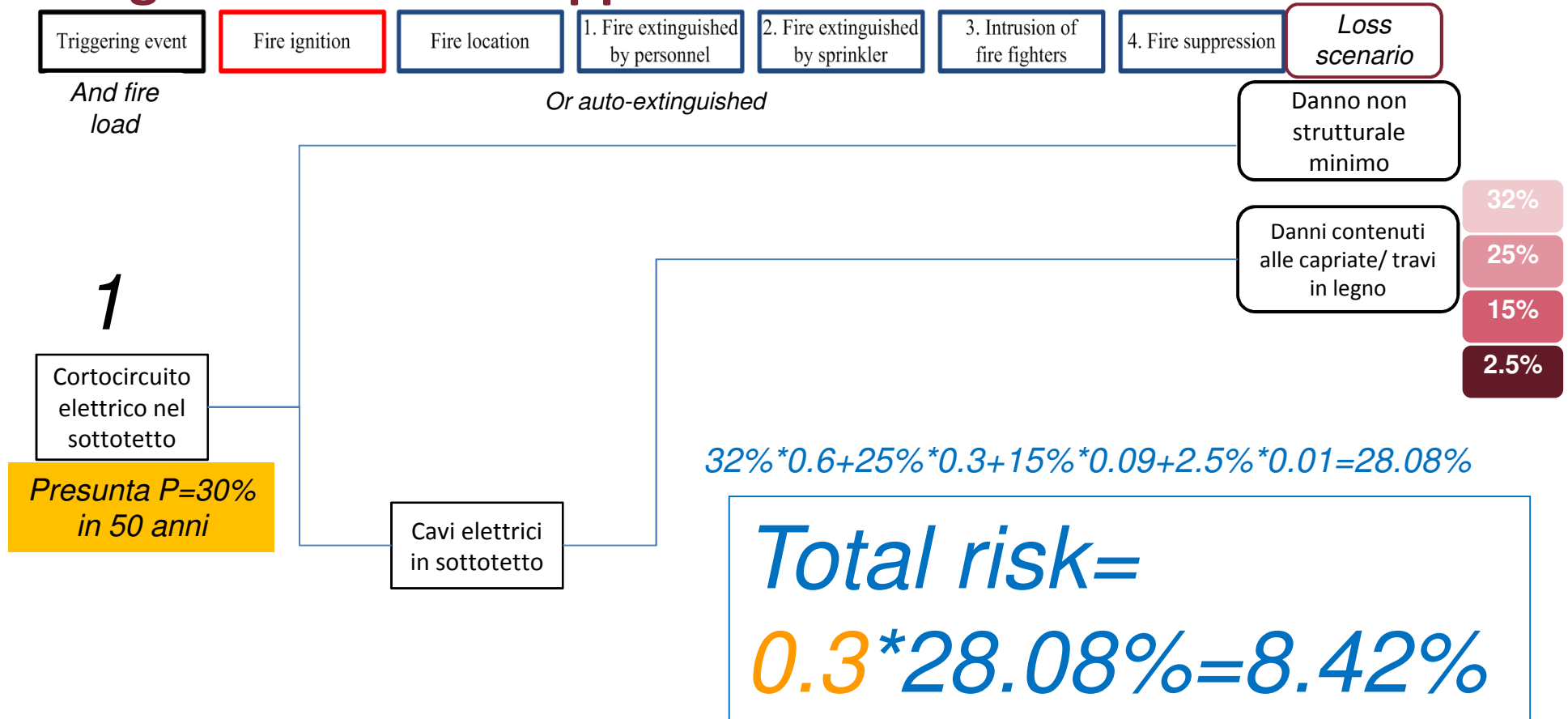
Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

Pragmatic scenario approach: scenari considerati



Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

Pragmatic scenario approach: rischio totale

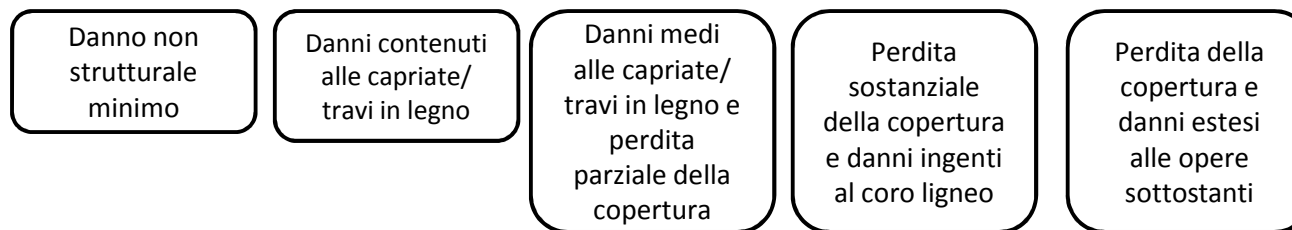
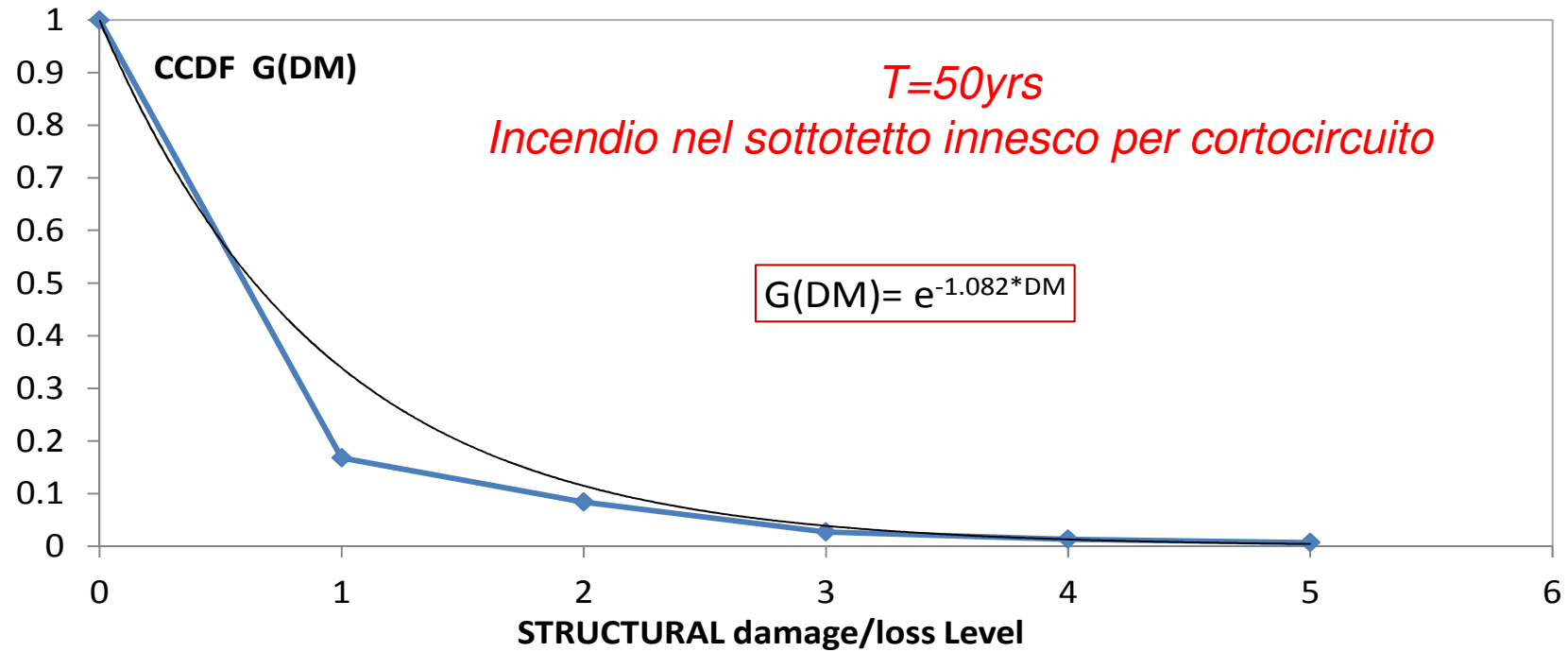


$q_1 = 500 \text{ MJ/m}^2$ NO ventilazione
$q_1 = 1000 \text{ MJ/m}^2$ NO ventilazione
$q_1 = 500 \text{ MJ/m}^2 +$ ventilazione
$q_1 = 1000 \text{ MJ/m}^2 +$ ventilazione
ISO 834

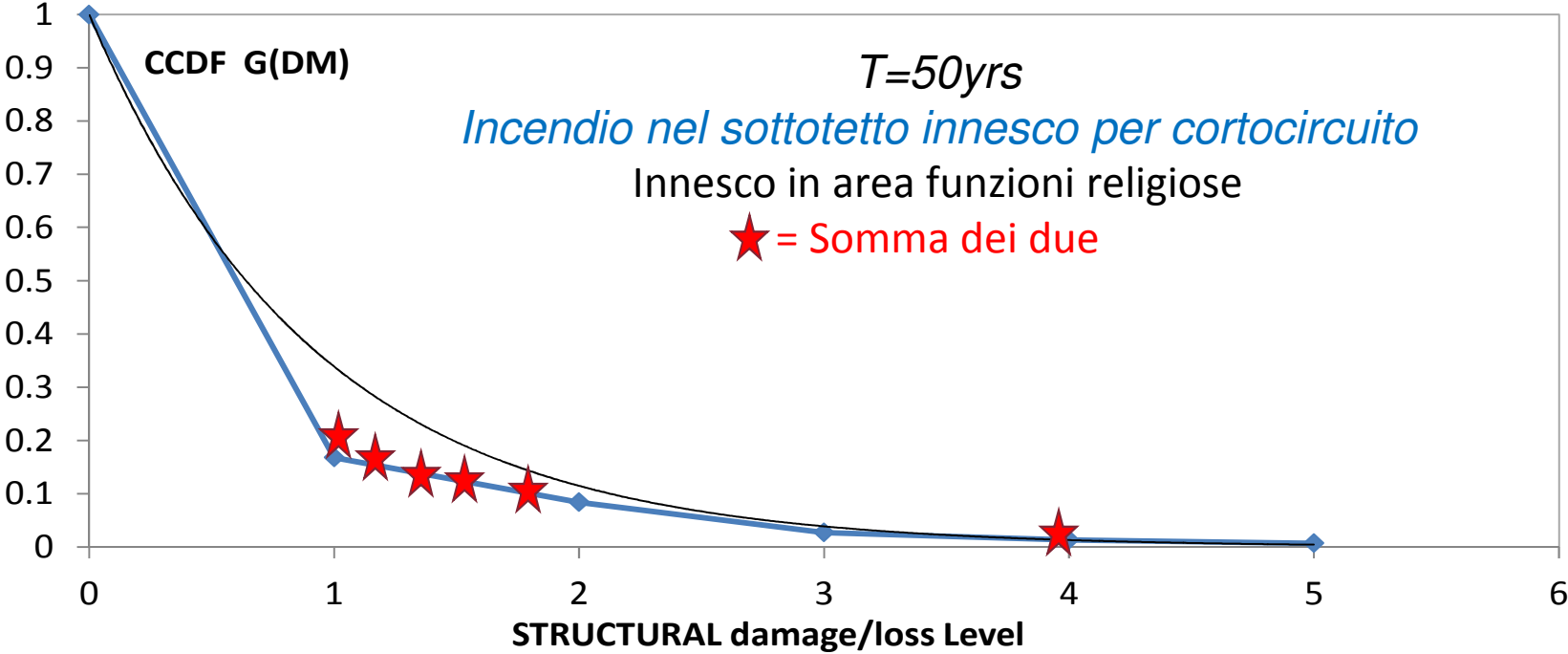
P=60%
P=30%
P=9%
P=1%

$T=50\text{yrs}$

Risk curve associated to the Scenario 1



Risk curve associated to the Scenario 1+ Scenario 2



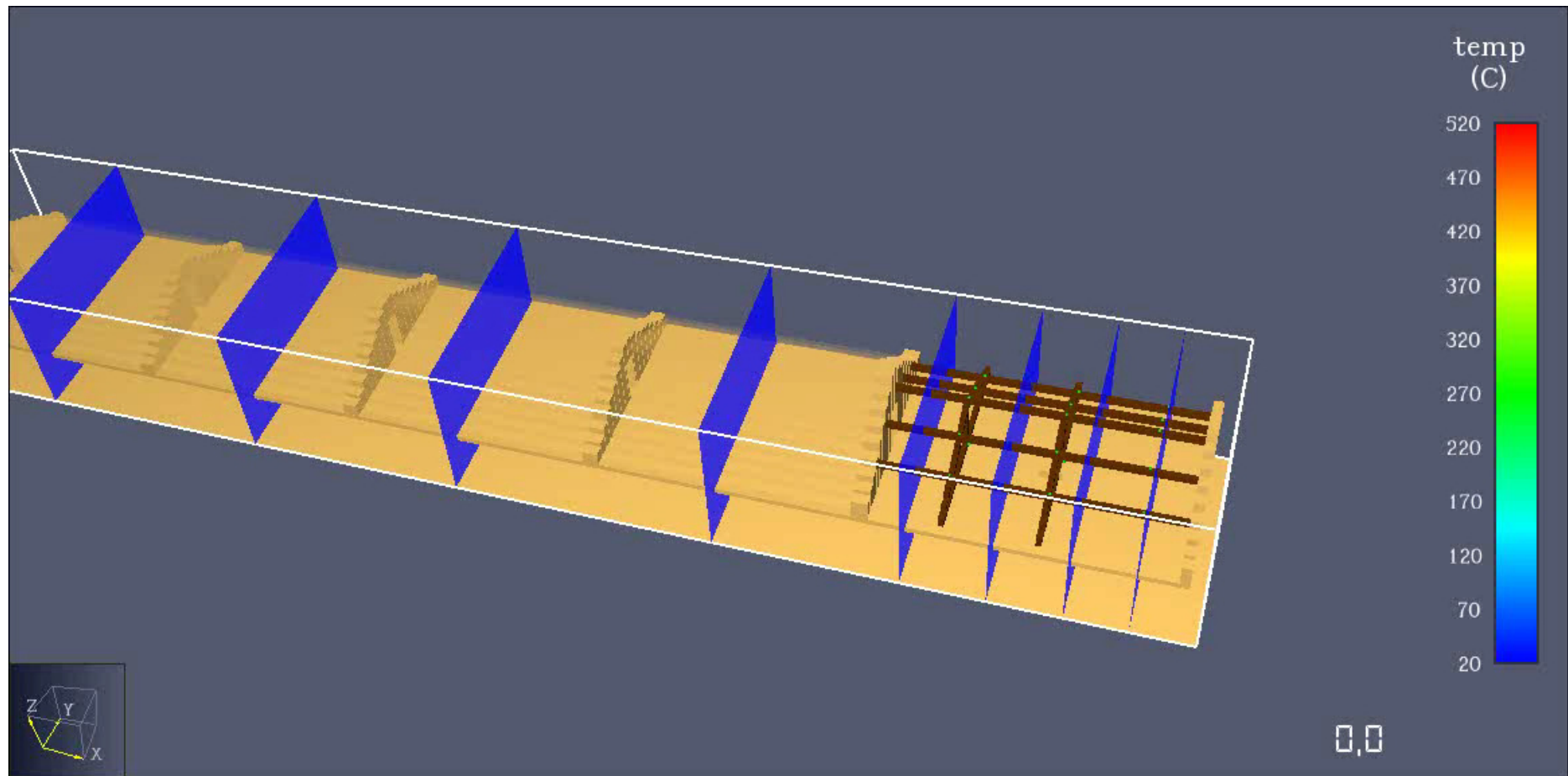
- Danno non strutturale minimo
- Danni contenuti alle capriate/travi in legno
- Danni medi alle capriate/travi in legno e perdita parziale della copertura
- Perdita sostanziale della copertura e danni ingenti al coro ligneo
- Perdita della copertura e danni estesi alle opere sottostanti

3

Misure di mitigazione del rischio

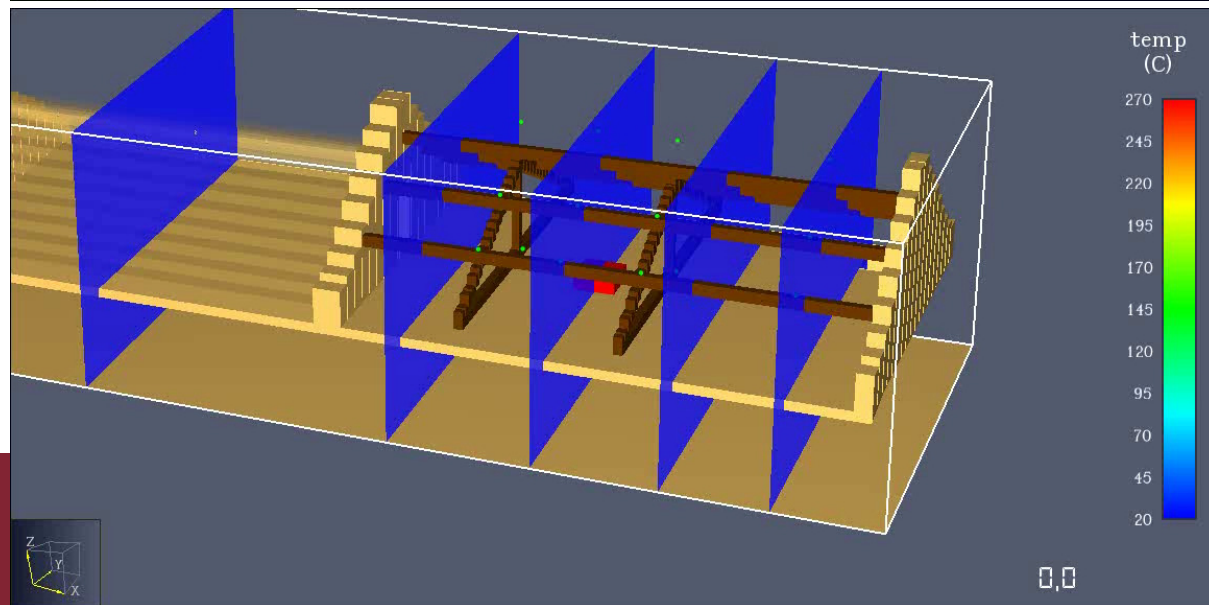
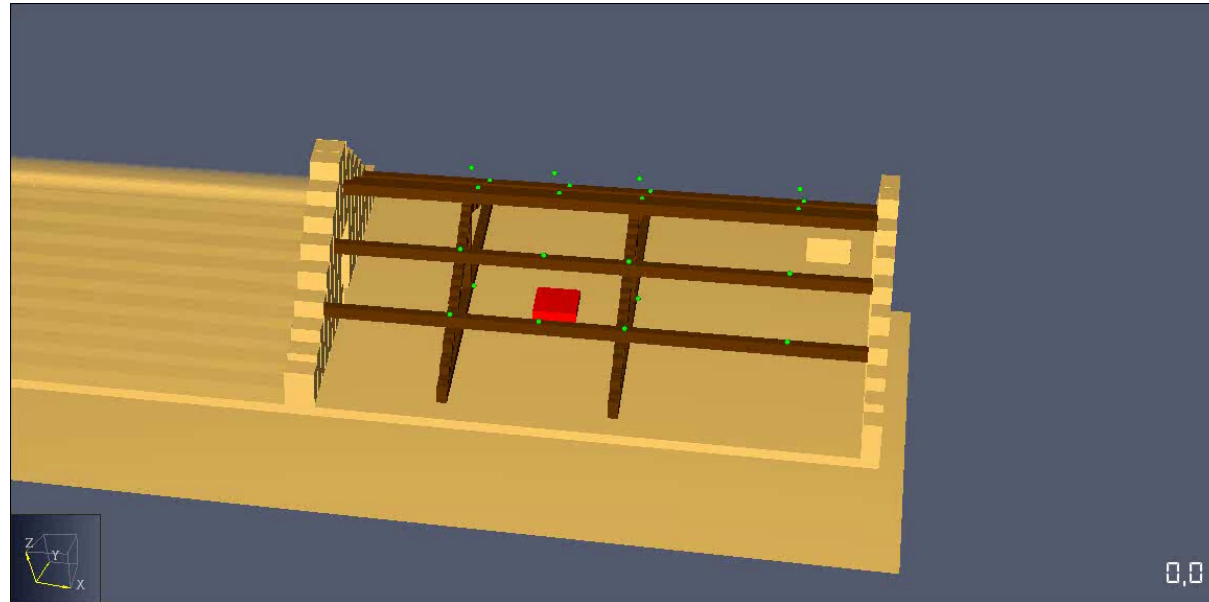
Individuazione delle misure di mitigazione (I): dinamica (a)

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

- *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 **X X**
(propagazione dell'incendio o propagazione del crollo)

Misure di mitigazione attuabili

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

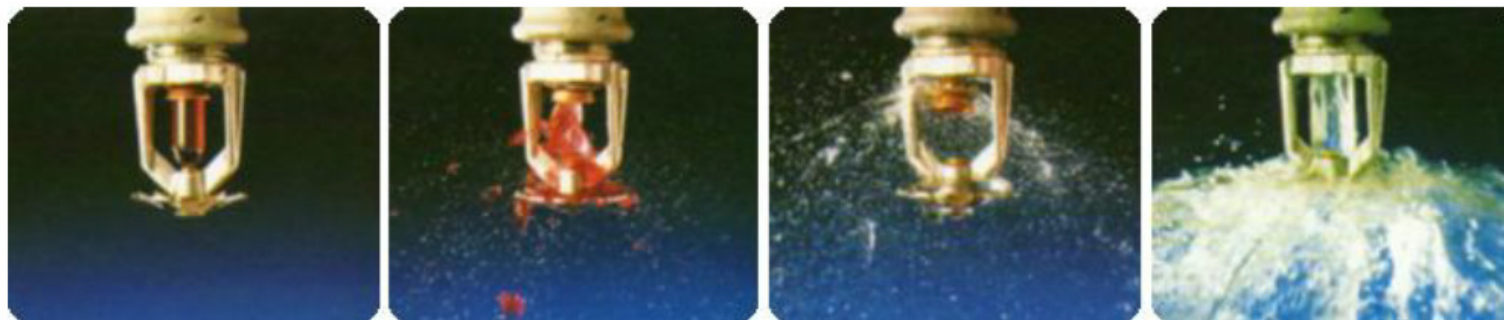
Sistema di spegnimento automatico con Sprinkler

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.

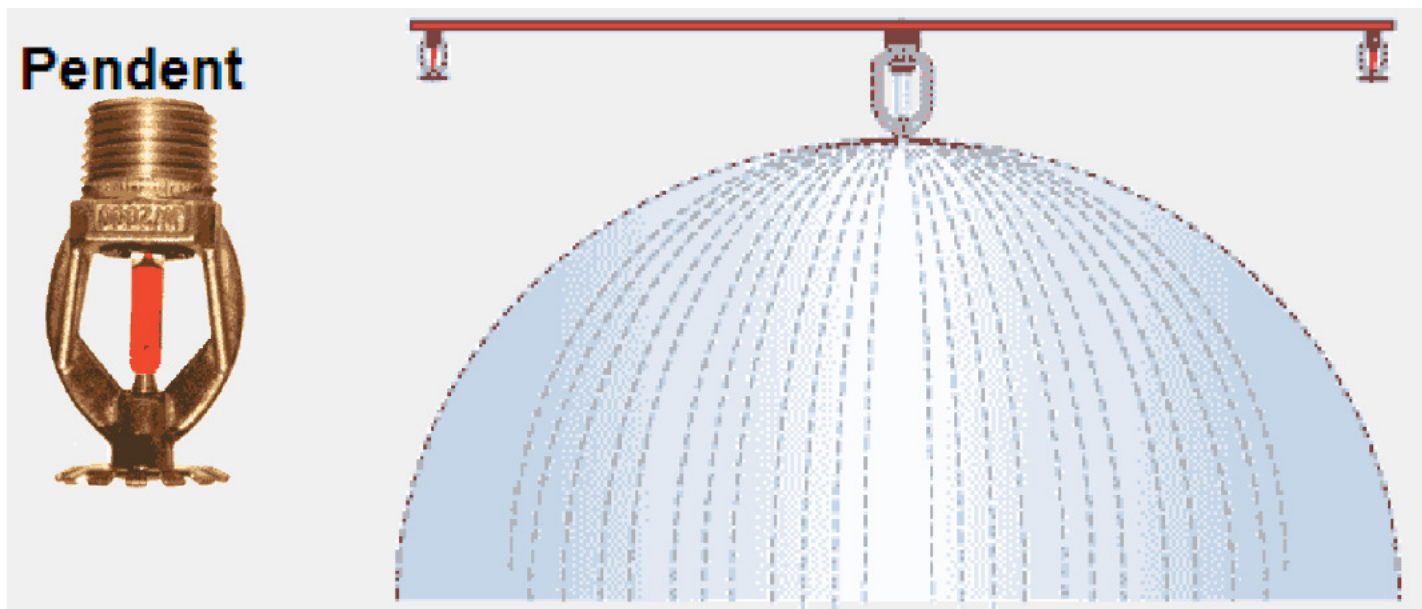
Impianti di spegnimento automatico: funzionamento diffusori



- 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.



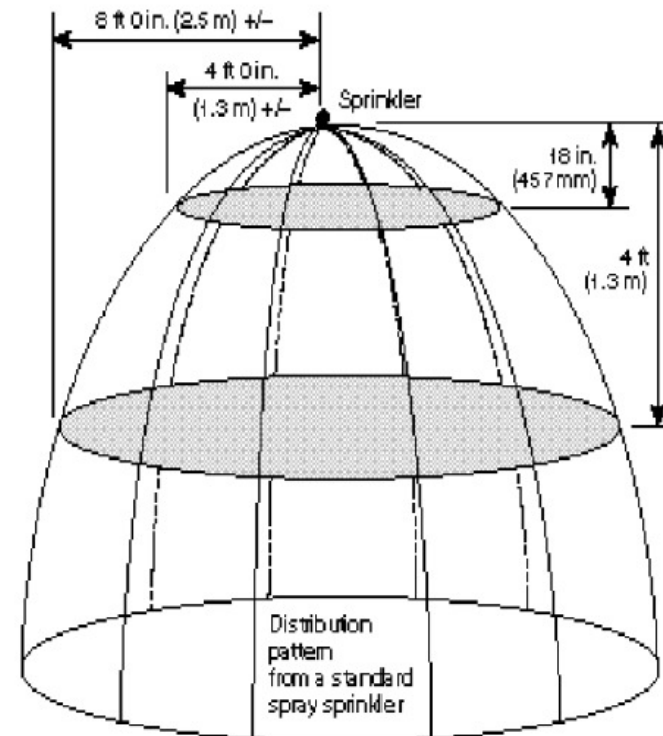
Impianti di spegnimento automatico: funzionamento diffusori



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

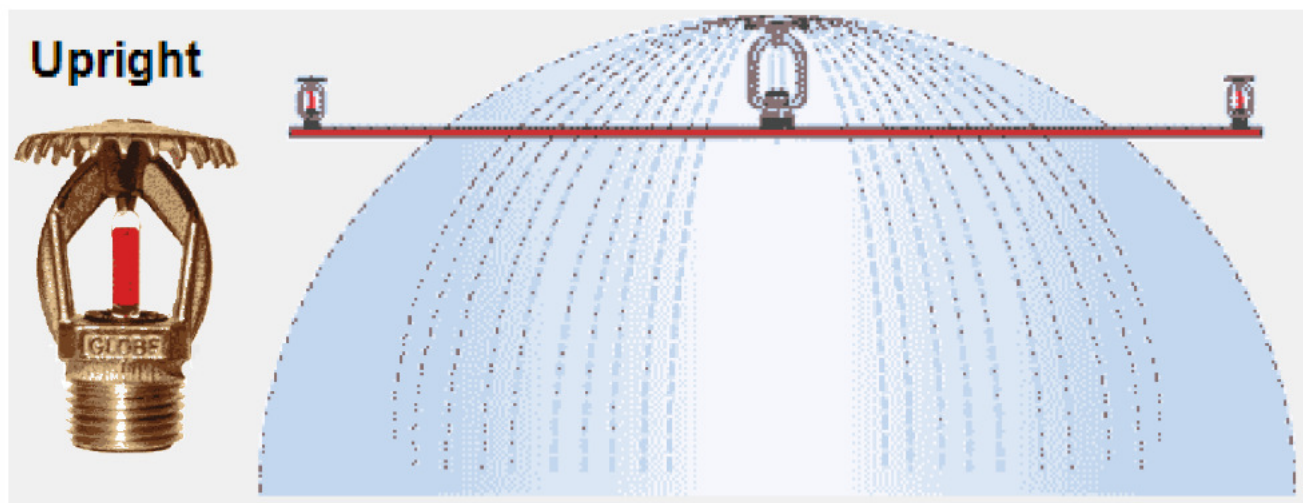
Impianti di spegnimento automatico: funzionamento diffusori

- 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.



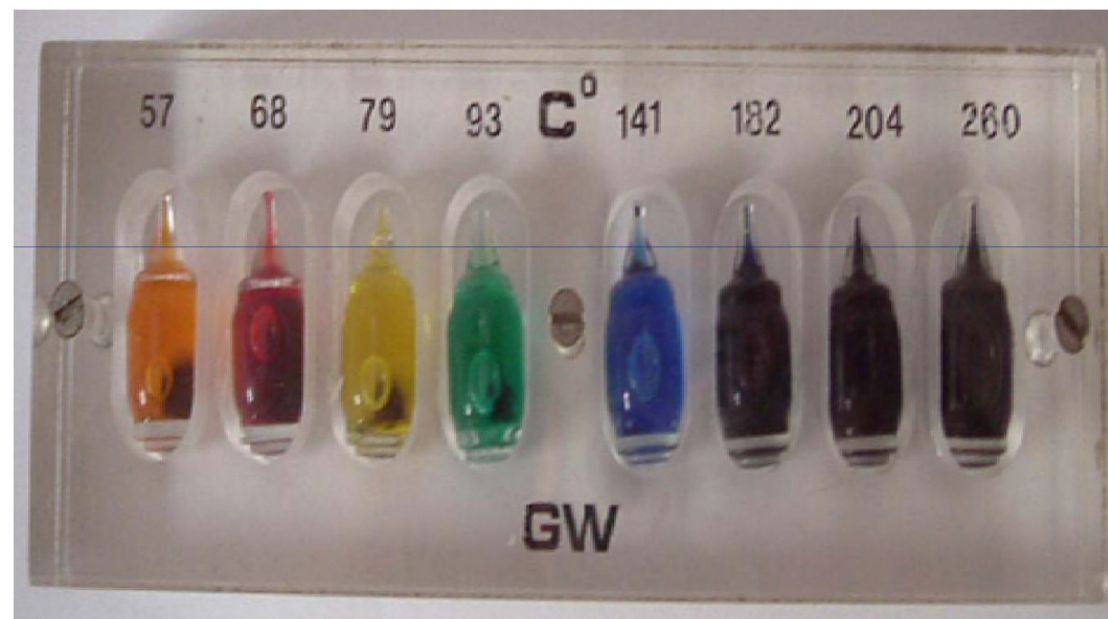
SCIENZA E TECNICA DELLA PREVENZIONE INCENDI
A.A. 2013 - 2014

Impianti di spegnimento automatico: funzionamento diffusori

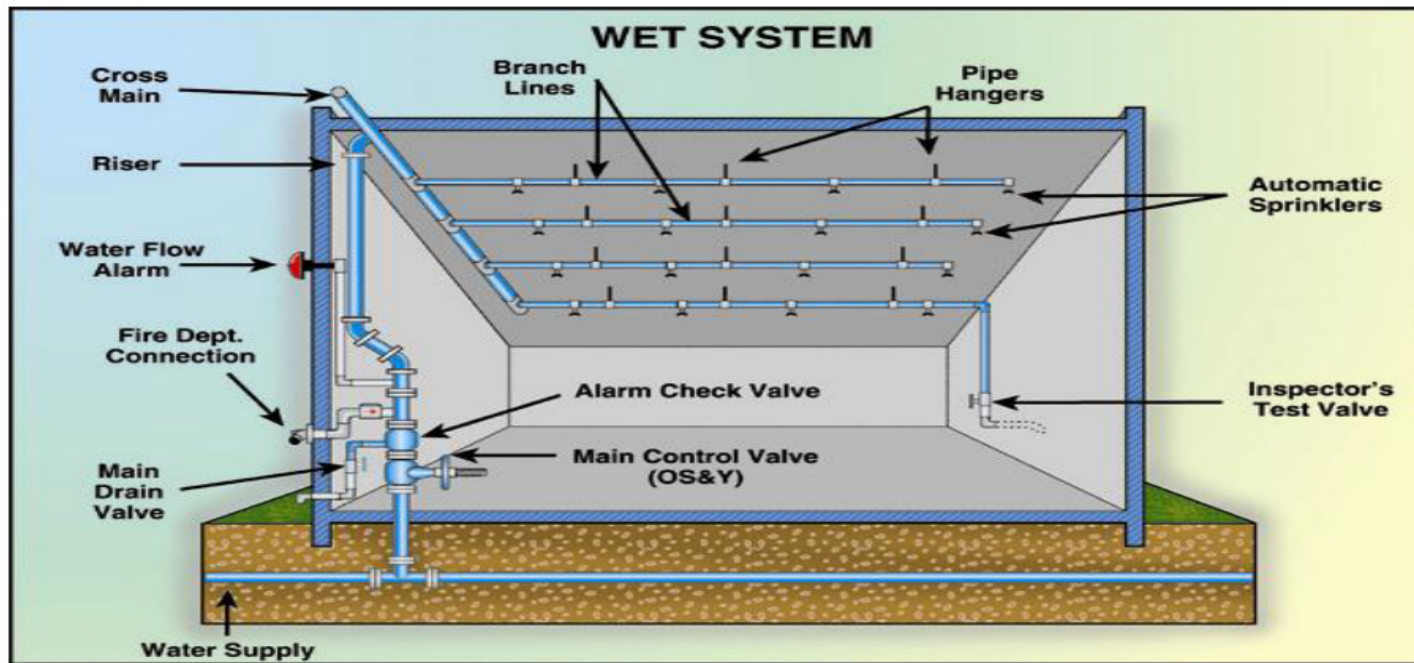


a getto pieno: erogatore che produce un getto d' acqua di forma paraboloidica diretto verso il pavimento su un'area definita, mentre parte dell'acqua bagna il soffitto;

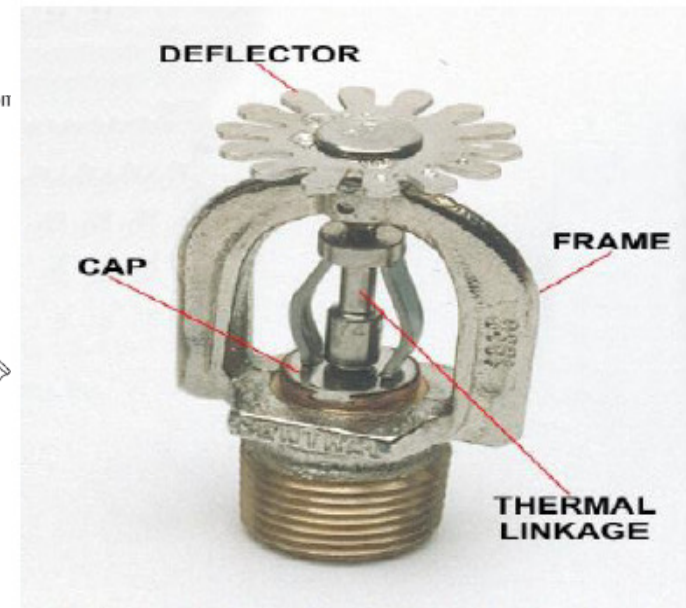
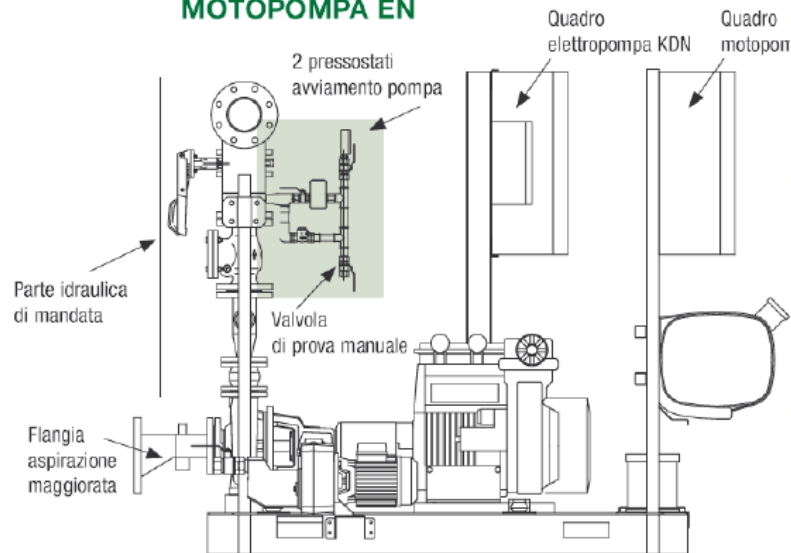
Impianti di spegnimento automatico: diffusori



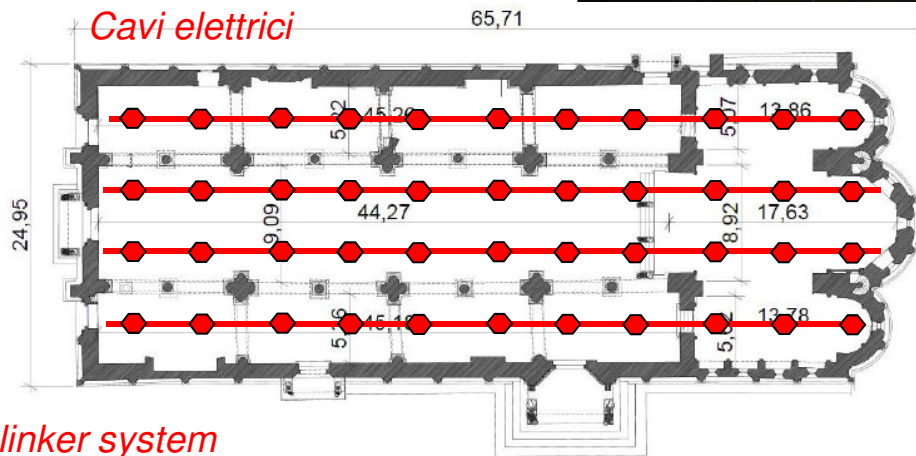
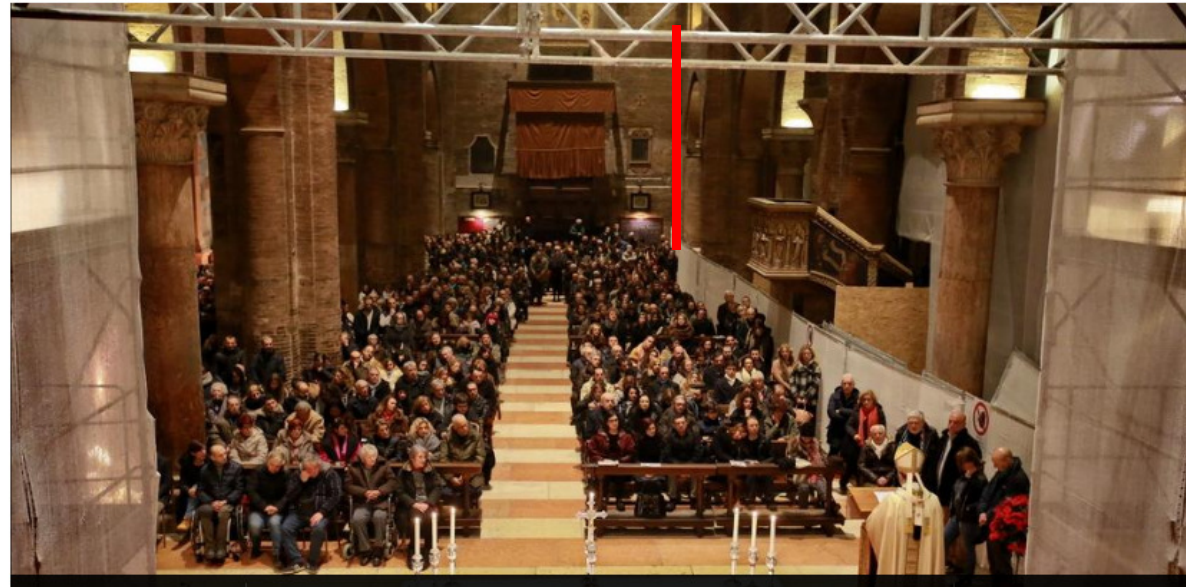
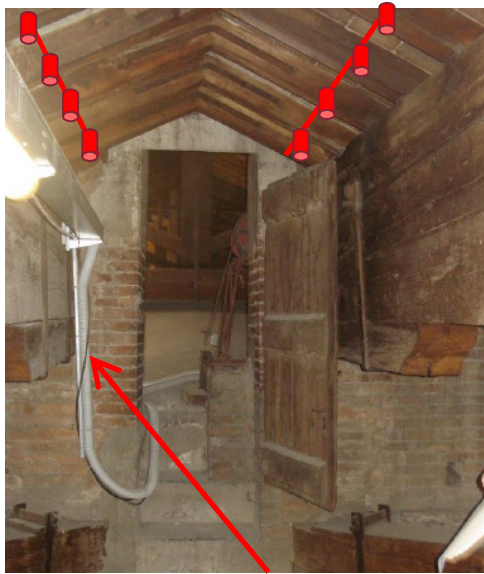
Impianti di spegnimento automatico: componenti



GRUPPO ELETTROPOMPA EN MOTOPOMPA EN



Impatto visivo (impianto sprinkler in sottotetto)

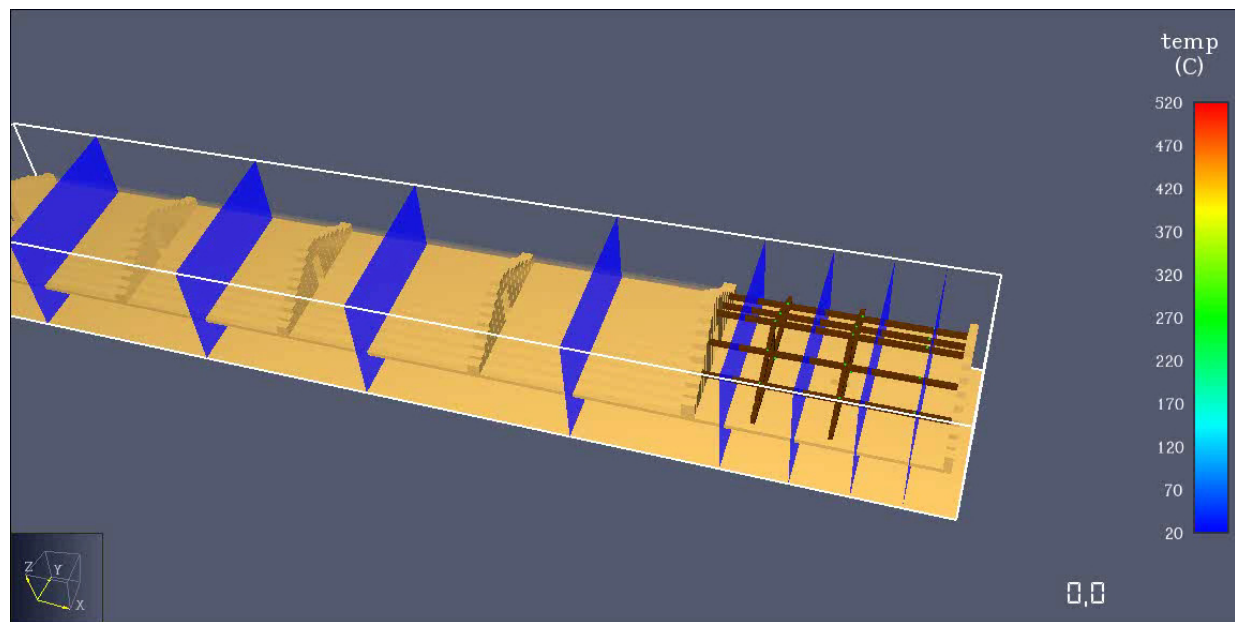


Sprinkler system

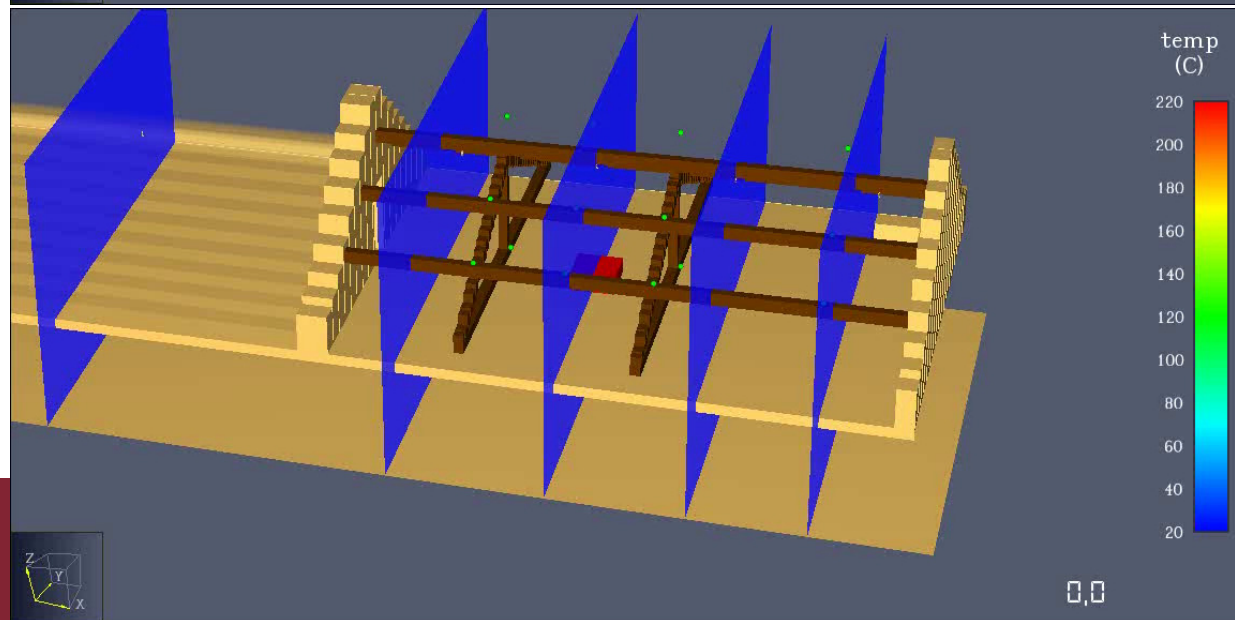
Effetto degli impianti di spegnimento automatico: dinamica (a)

Caso ad alto carico di incendio con ventilazione

No sprinkler



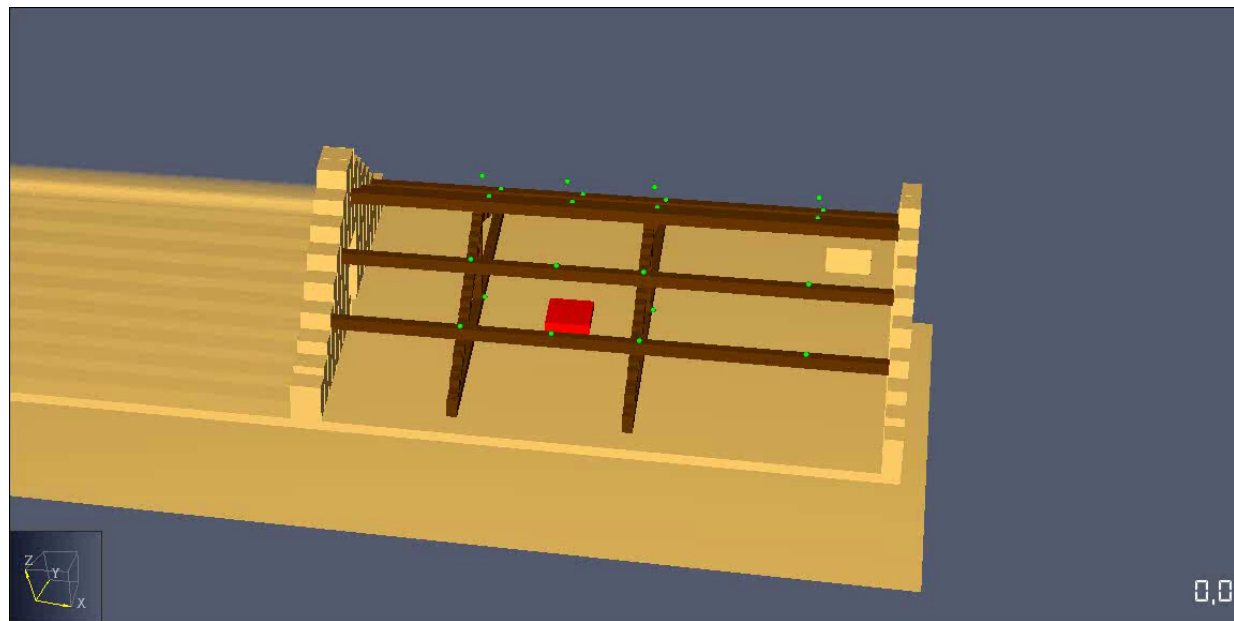
Sprinkler



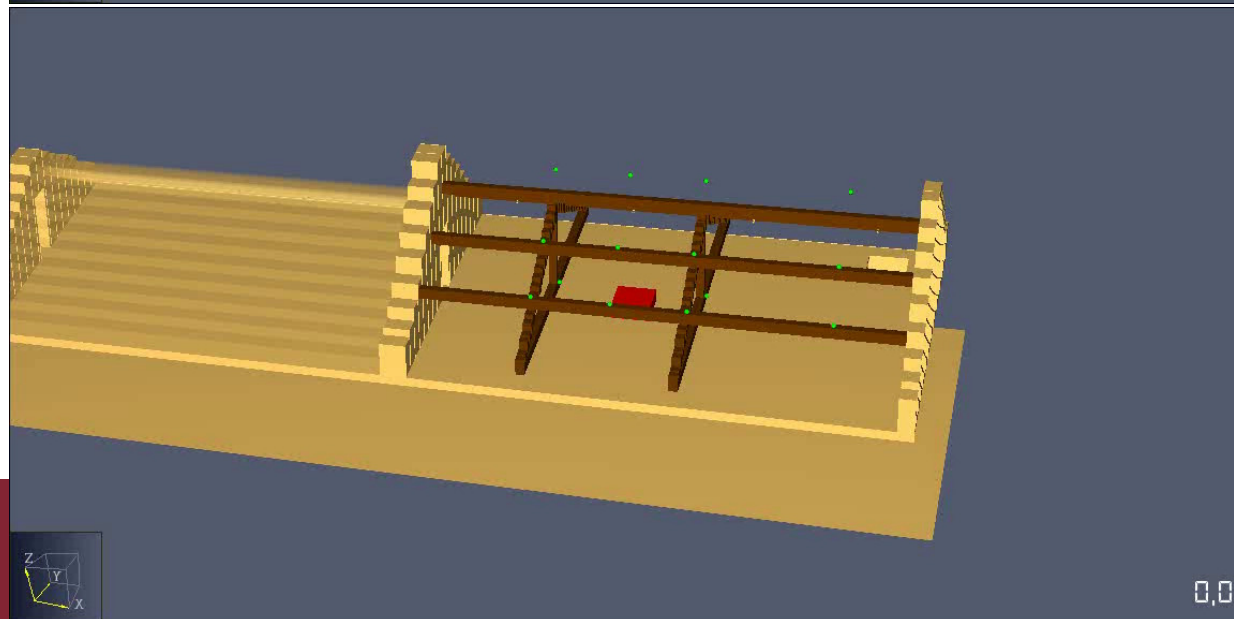
Effetto degli impianti di spegnimento automatico: dinamica (b)

Caso a basso carico di incendio con scarsa ventilazione

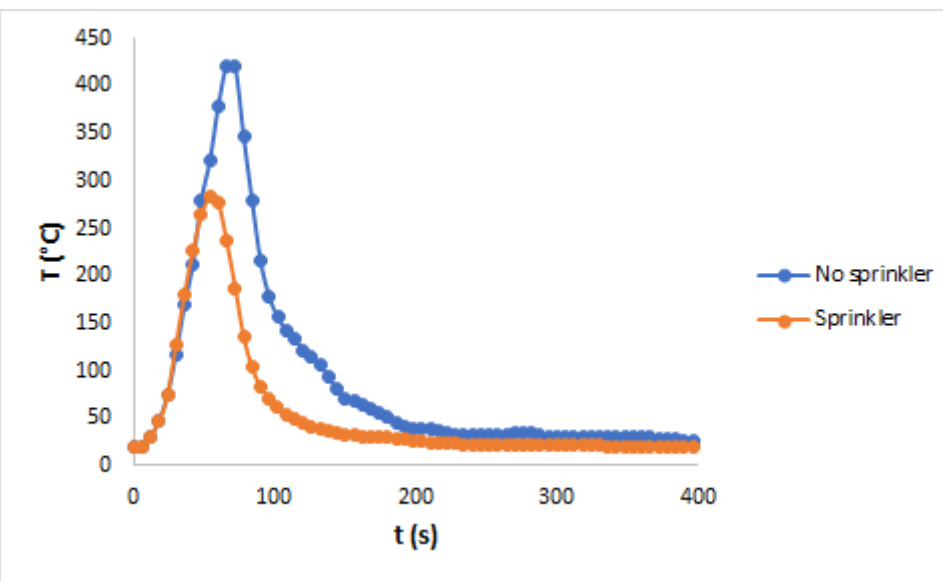
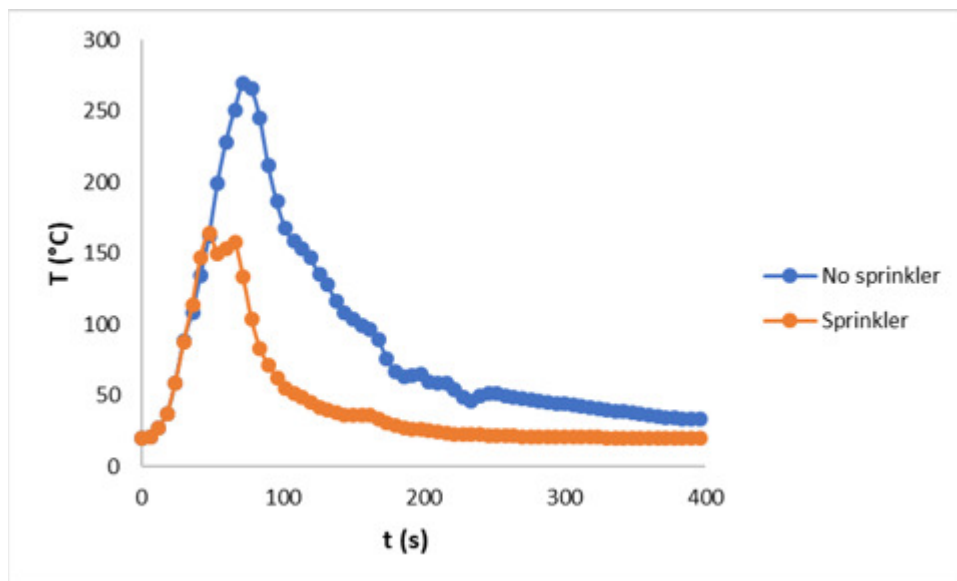
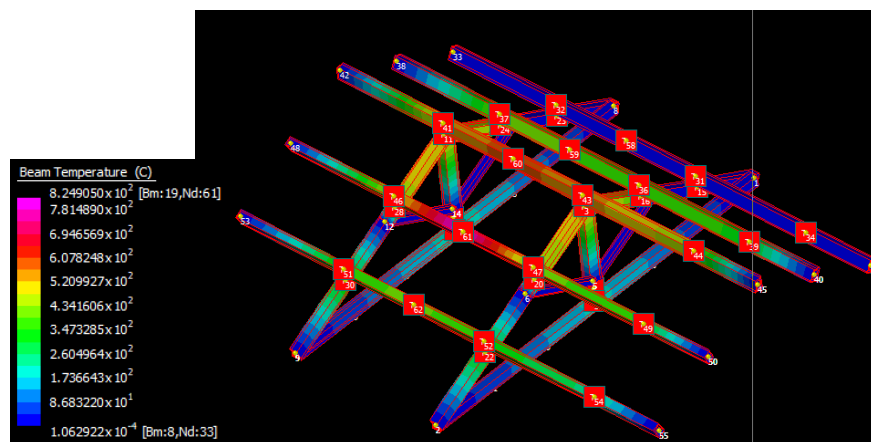
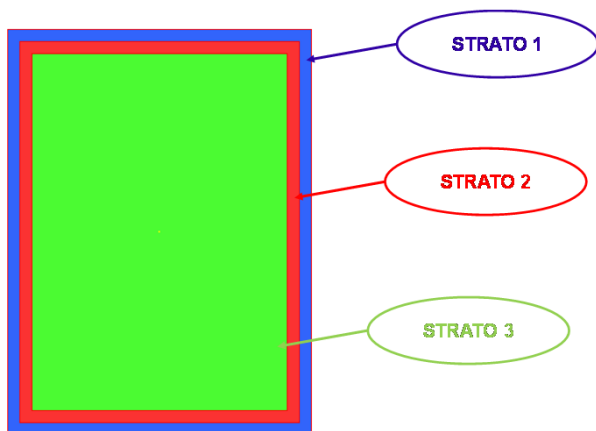
No sprinkler



Sprinkler

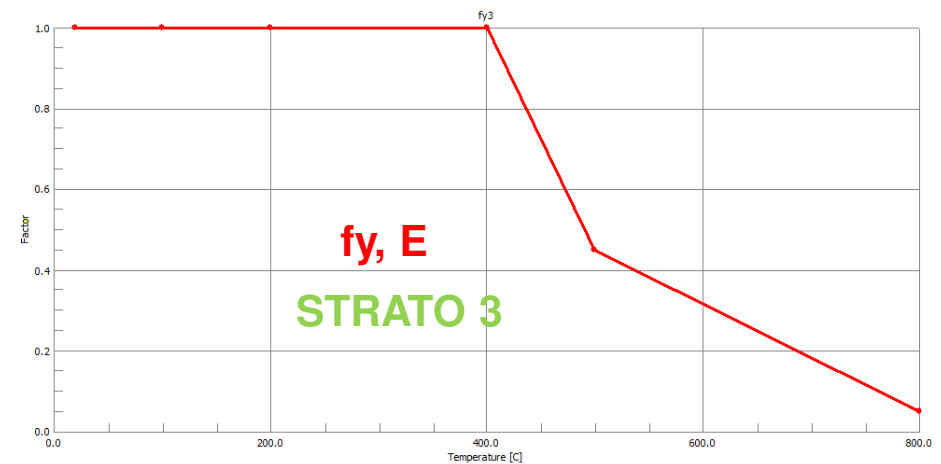
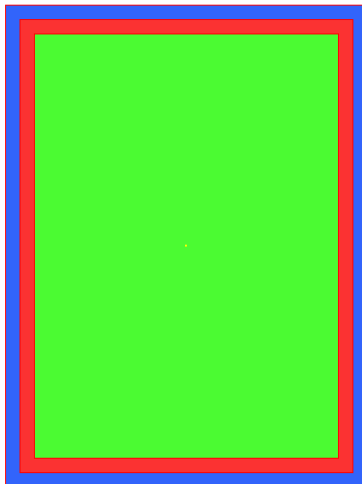
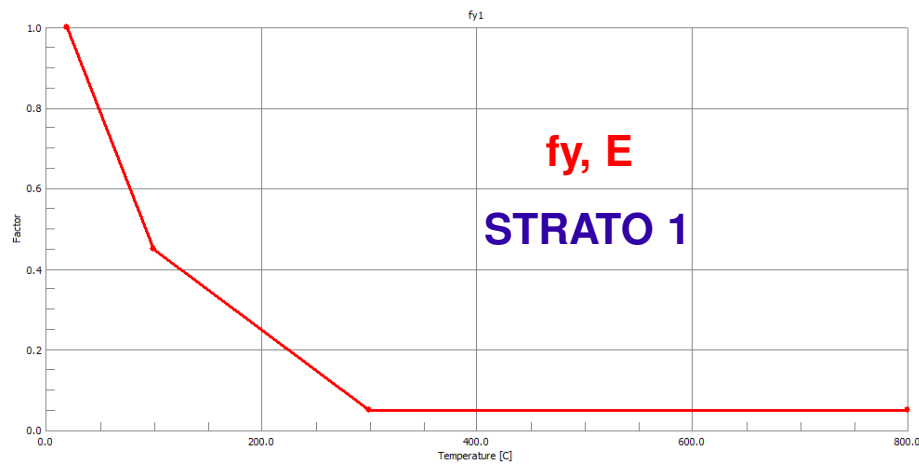


Effetto degli impianti di spegnimento automatico: riduzione azione (temperature)



Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

Curva naturale di incendio: resistenza ed elasticità ridotte

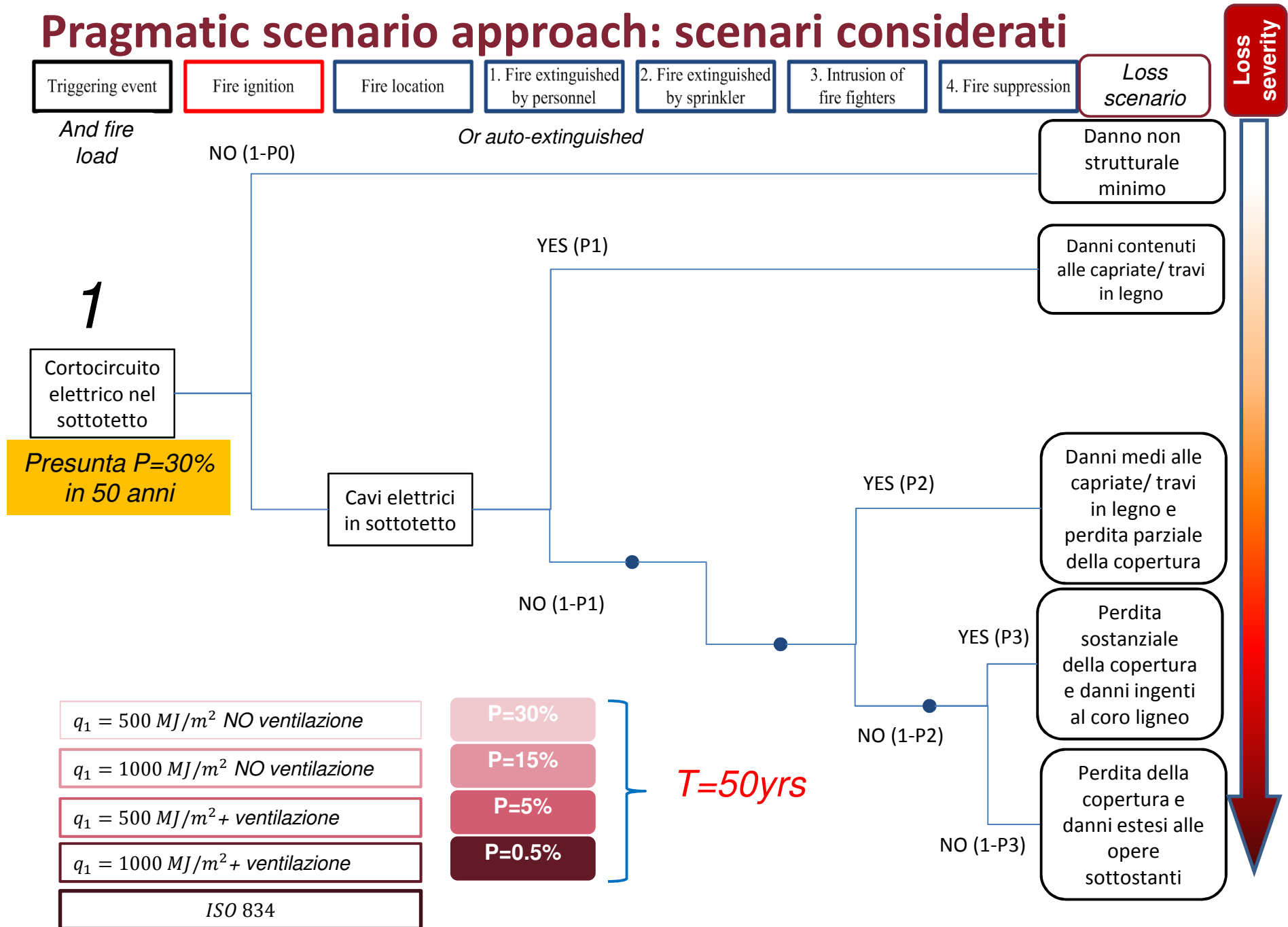


3

Misure di mitigazione del rischio

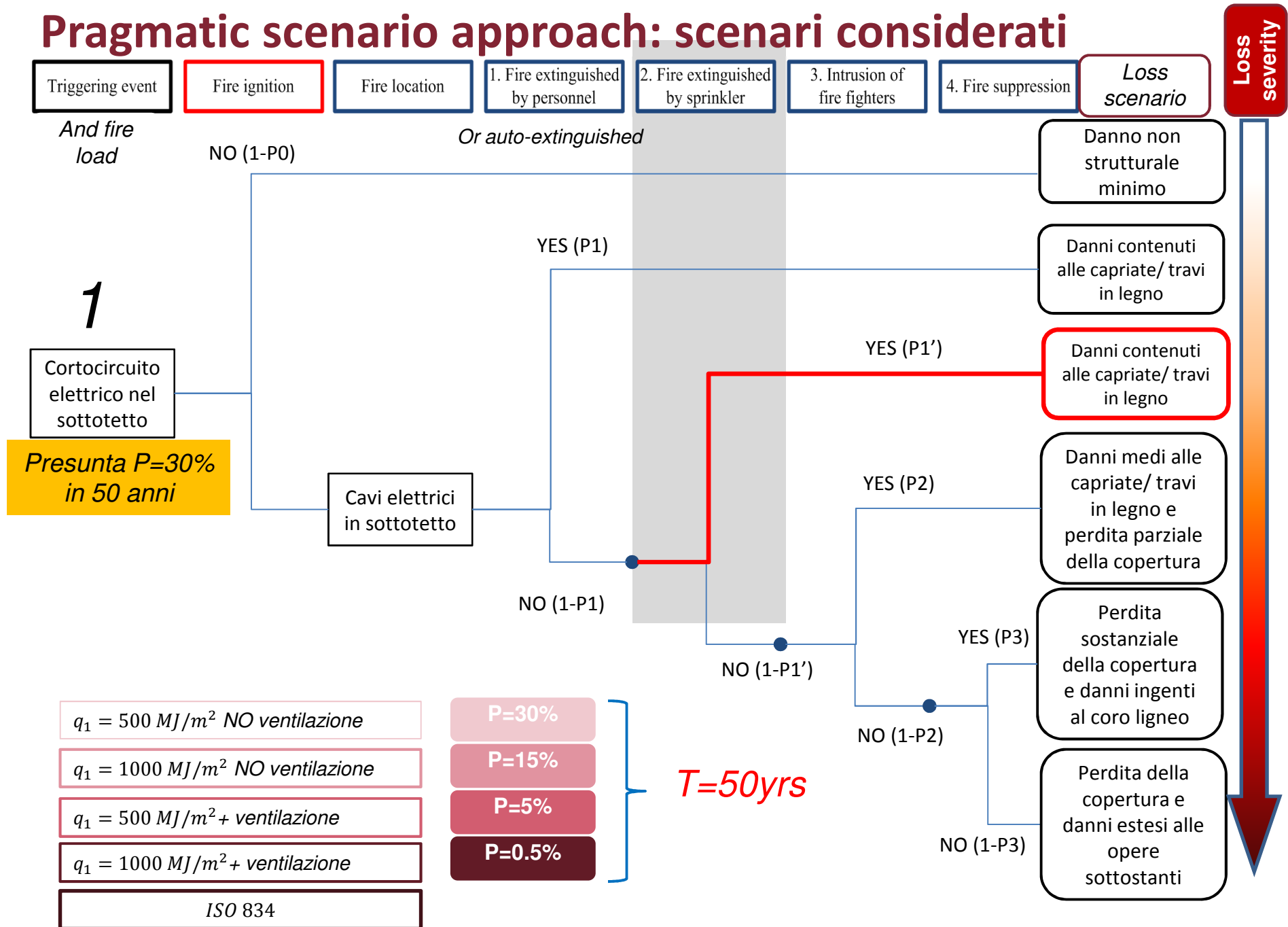
Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

Pragmatic scenario approach: scenari considerati



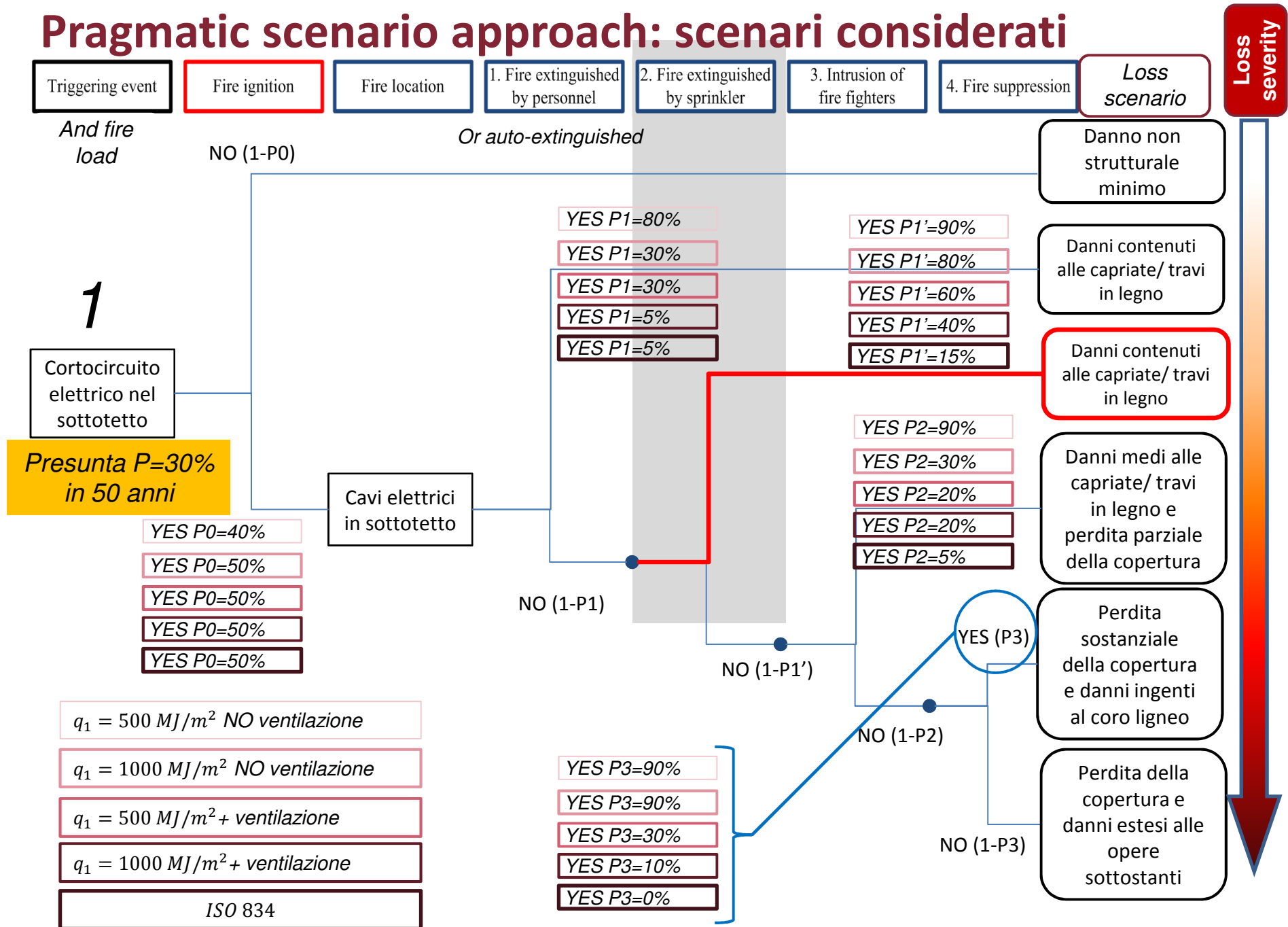
Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

Pragmatic scenario approach: scenari considerati

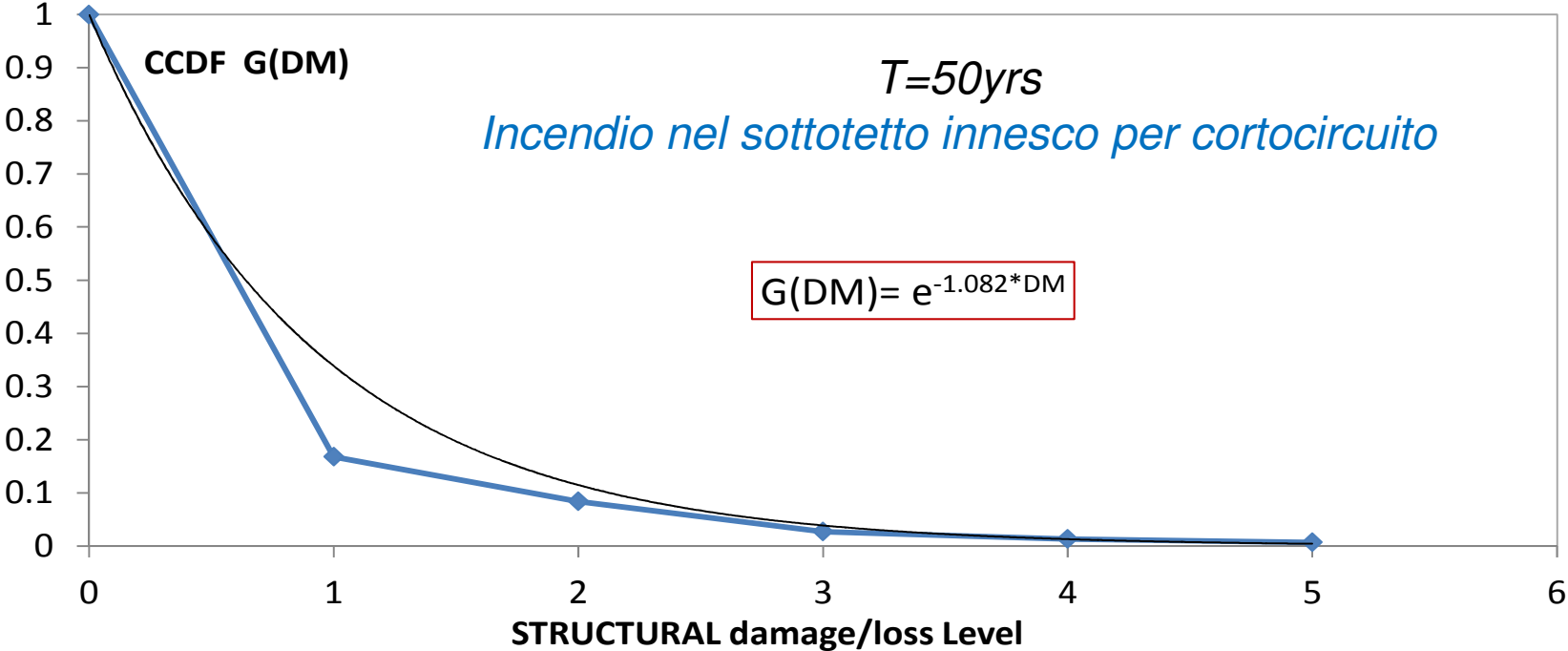


Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

Pragmatic scenario approach: scenari considerati

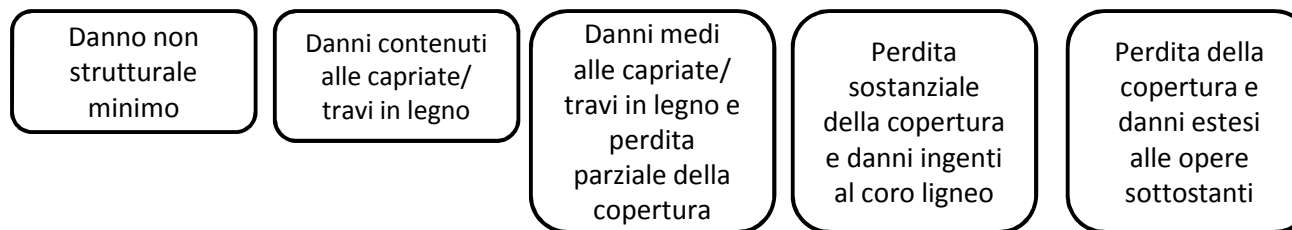
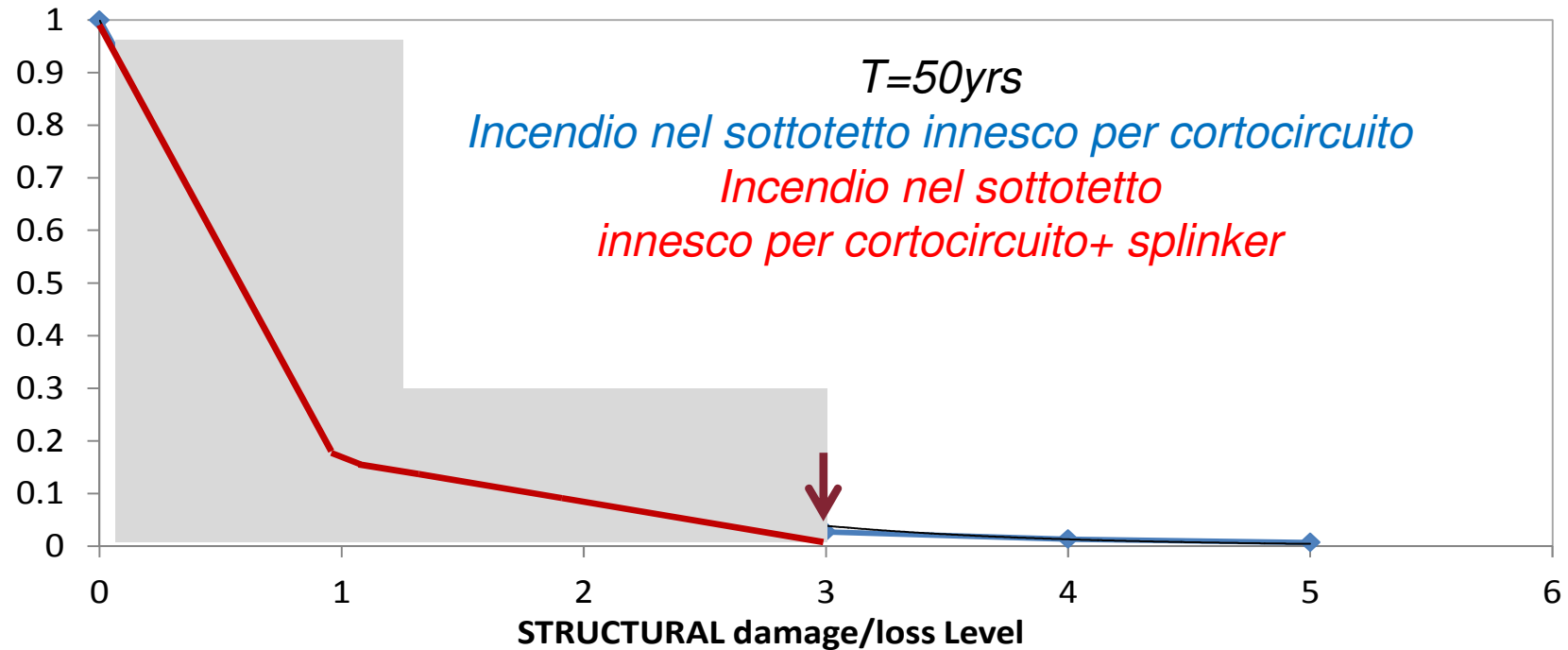


Risk curve associated to the Scenario 1



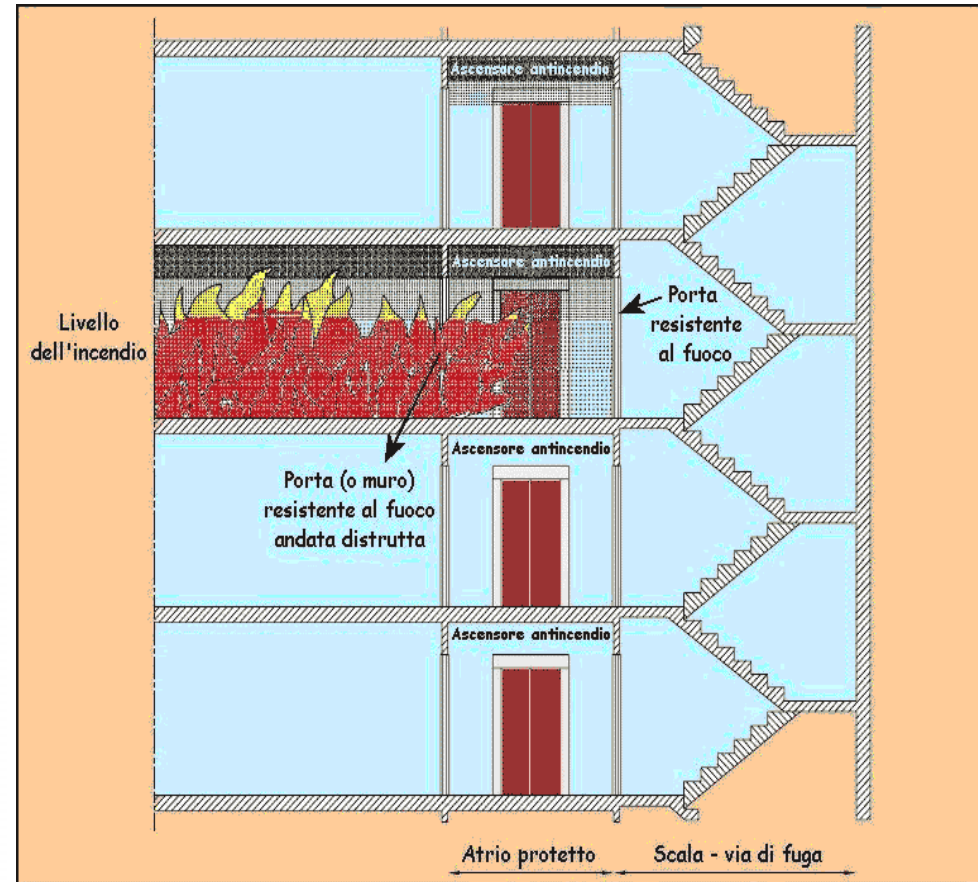
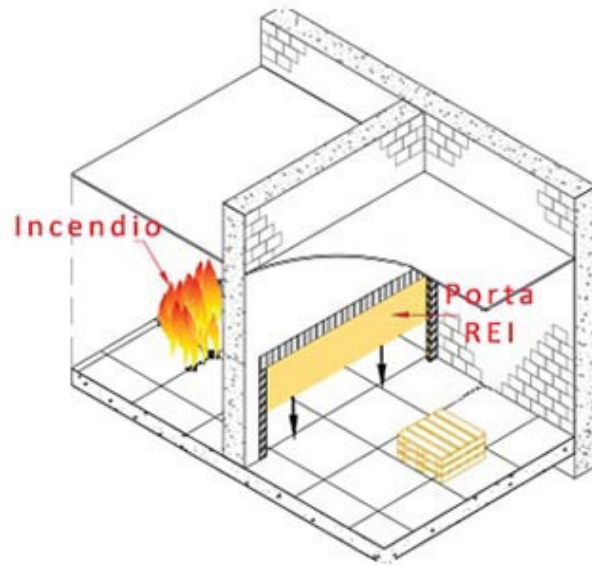
- Danno non strutturale minimo
- Danni contenuti alle capriate/travi in legno
- Danni medi alle capriate/travi in legno e perdita parziale della copertura
- Perdita sostanziale della copertura e danni ingenti al coro ligneo
- Perdita della copertura e danni estesi alle opere sottostanti

Risk curve associated to the Scenario 1+ impianto sprinkler

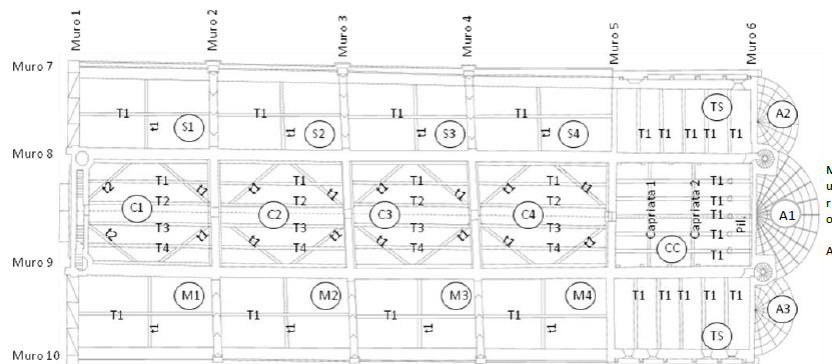
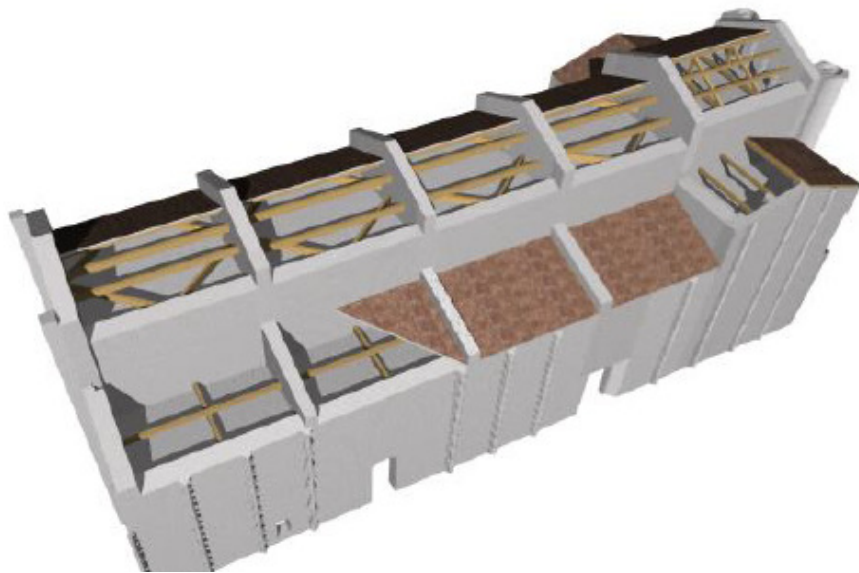


Compartimentazione nella zona copertura

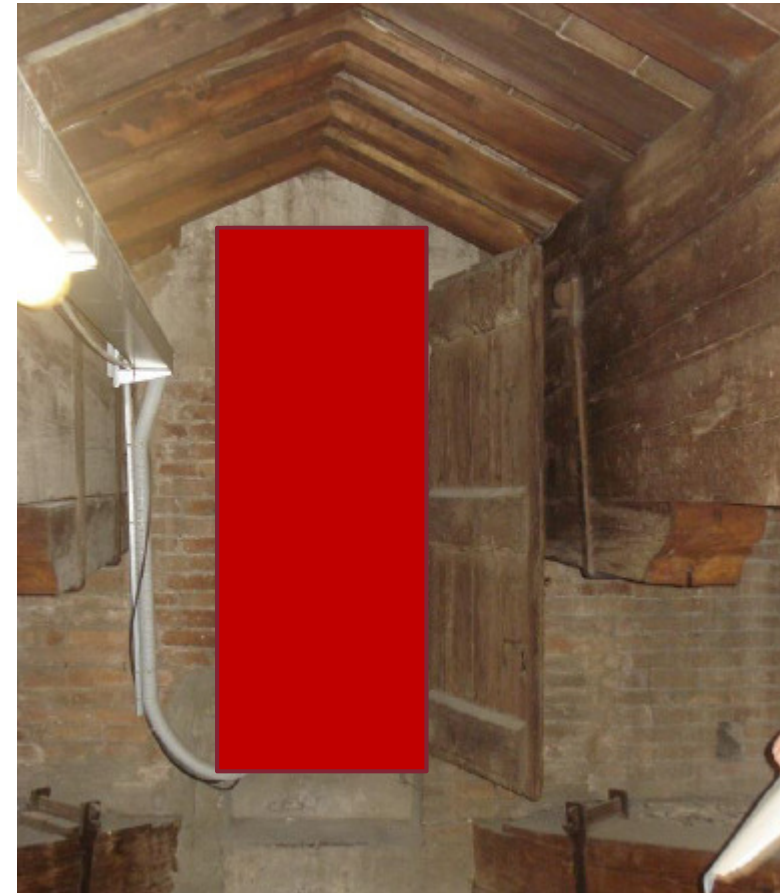
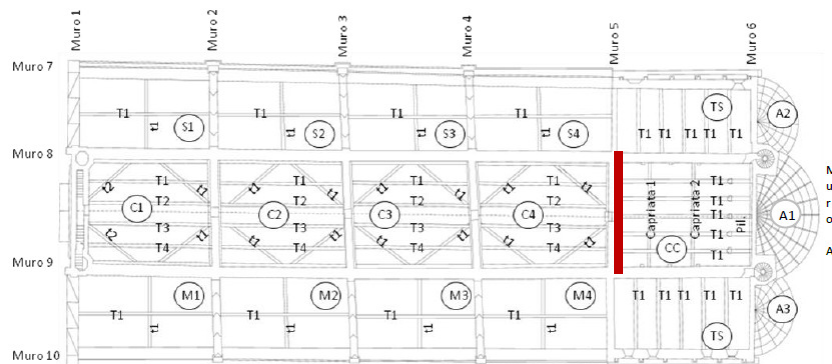
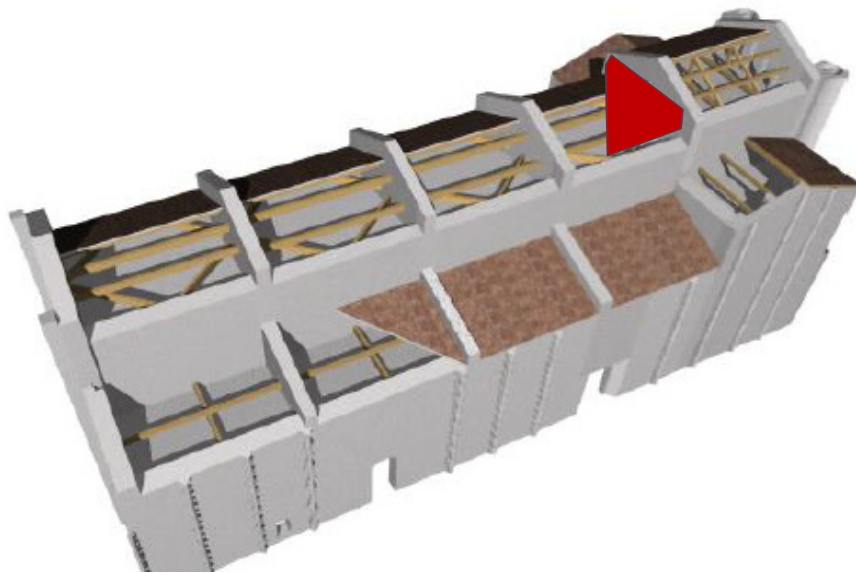
Compartimentazione



Compartimentazione in sottotetto

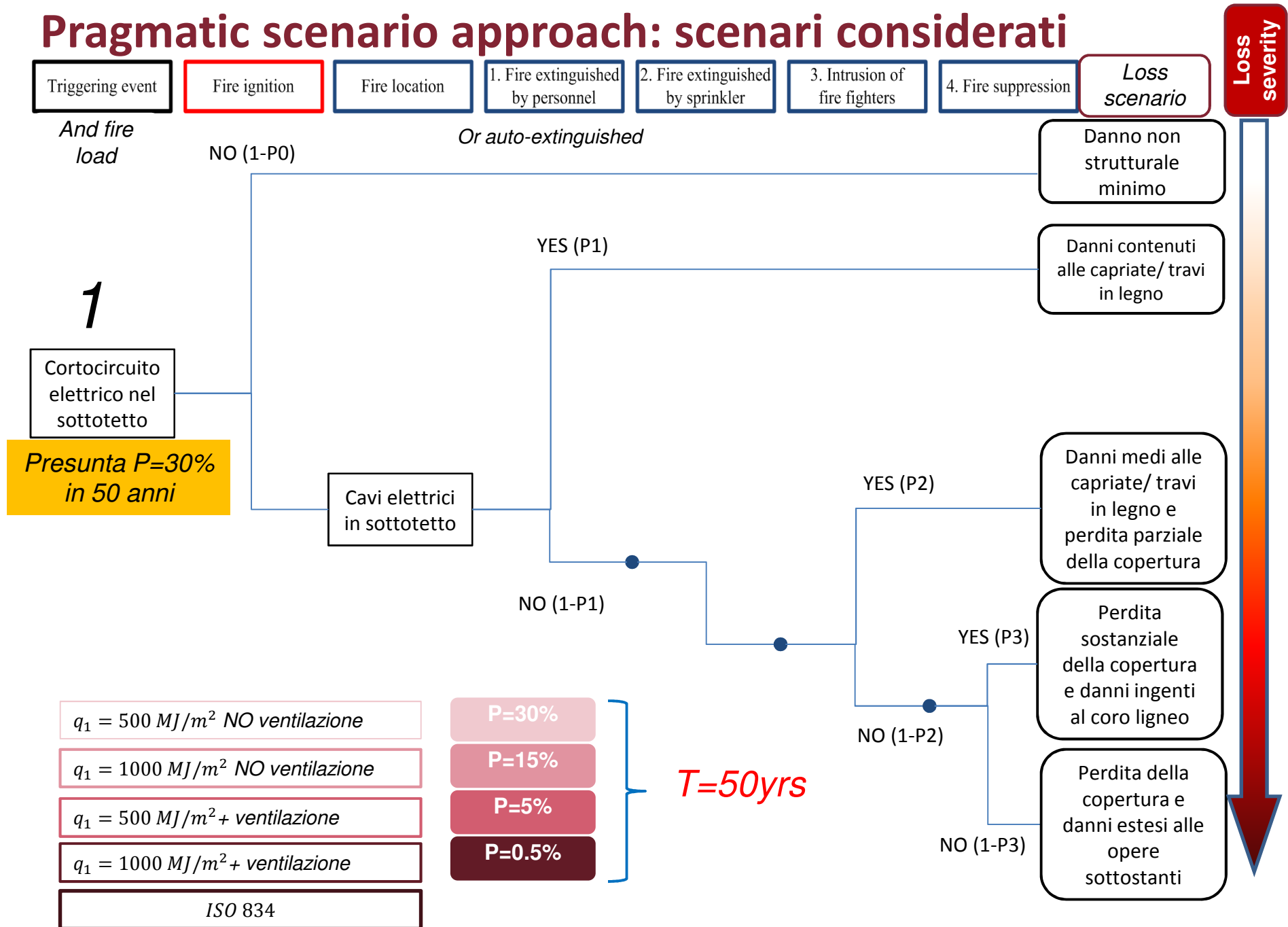


Compartimentazione in sottotetto



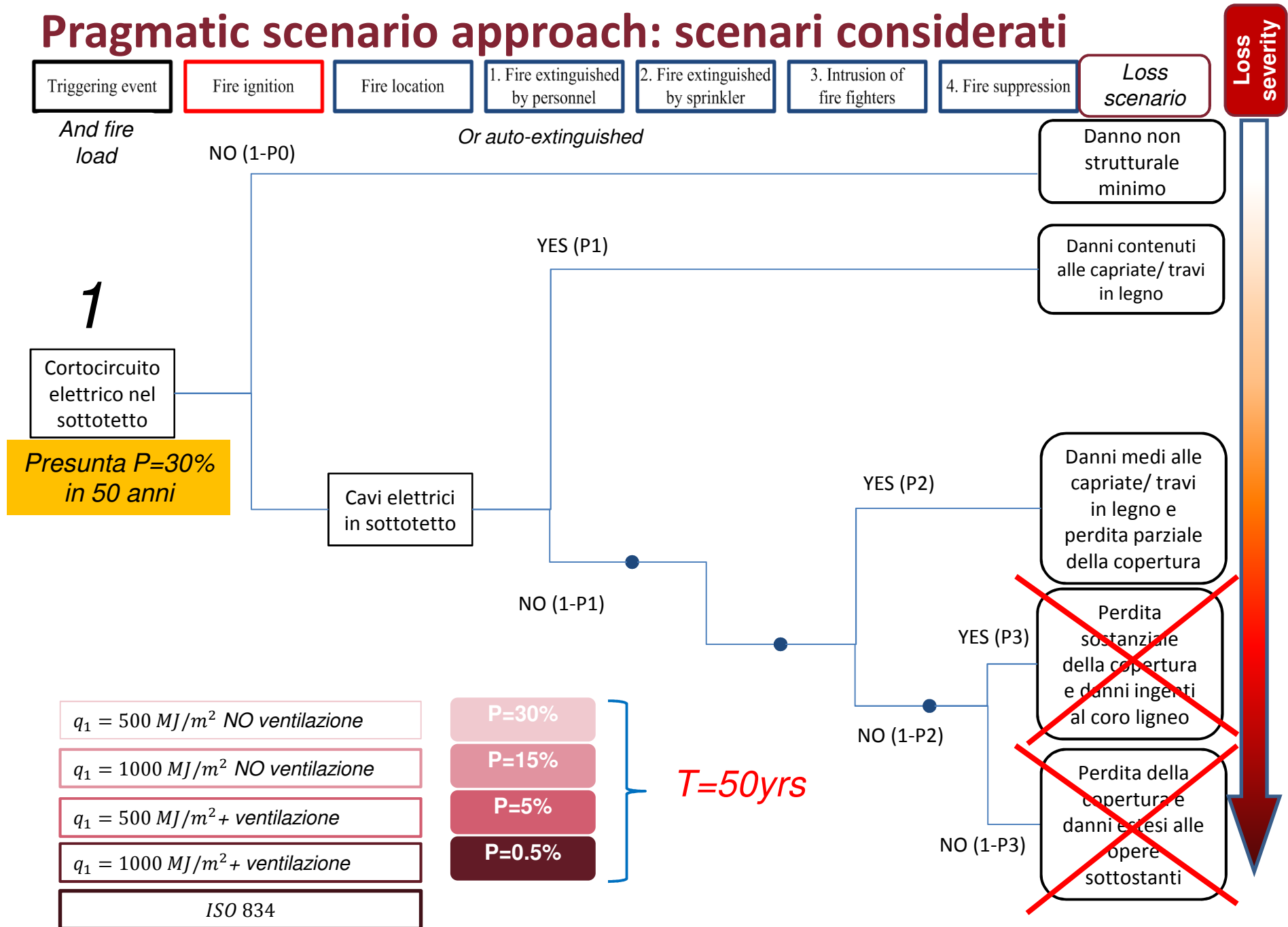
Analisi di uno scenario di incendio nel Duomo di Modena

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.**