



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

DIPARTIMENTO
INGEGNERIA CHIMICA
MATERIALI AMBIENTE

INAIL



CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI

ORGANIZZANO IN COLLABORAZIONE CON:



CNA
PPC

CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI ARCHITETTI
PARADIGMI
& CONSERVATORI



CNPI
CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI
PER LA PREVENZIONE
DEGLI INCENDI



Consiglio Nazionale
Ingegneri & Architetti

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI

La progettazione antincendio
Applicazioni pratiche

Studio curva HRR(t) e modellazione
termica in un deposito di lavorati in legno

Nicolò Sciarretta

email: nicolo.sciarretta@uniroma1.it

METODI

Capitolo M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale

Incendio

1. A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione dell'incendio consiste nella caratterizzazione quantitativa del focolare, in quanto sorgente di *energia termica* e di *prodotti della combustione*, secondo i seguenti parametri ove rilevanti ai fini della tipologia dell'analisi:
 - a. localizzazione del focolare;
 - b. tipologia di focolare: covante o con fiamma;
 - c. quantità, qualità e distribuzione spaziale del materiale combustibile;
 - d. fonti d'innesco;
 - e. curva RHR (*rate of heat release*), quale potenza termica prodotta dal focolare al variare del tempo RHR(t);
 - f. generazione dei prodotti della combustione presi in considerazione (es. CO e particolato).
2. Ai fini della caratterizzazione quantitativa del focolare il professionista antincendio può:
 - a. impiegare dati sperimentali ottenuti da misura diretta in laboratorio secondo metodologia scientifica consolidata;
 - b. usare dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise. Il professionista antincendio *cita sempre* con precisione tali fonti e *verifica la corrispondenza* del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario di incendio di progetto, utilizzando un approccio ragionevolmente conservativo;
 - c. impiegare delle *metodologie di stima*. Nel paragrafo M.2.6 si descrivono alcune metodologie di stima mutuata dalla letteratura citata al paragrafo M.2.8.
3. In alternativa, può impiegare i focolari predefiniti di cui al paragrafo M.2.7 nell'ambito delle limitazioni ivi specificate.

METODI

Capitolo M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale

Incendio

1. A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione dell'incendio consiste nella caratterizzazione quantitativa del focolare, in quanto sorgente di *energia termica* e di *prodotti della combustione*, secondo i seguenti parametri ove rilevanti ai fini della tipologia dell'analisi:
 - a. localizzazione del focolare;
 - b. tipologia di focolare: covante o con fiamma;
 - c. quantità, qualità e distribuzione spaziale del materiale combustibile;
 - d. fonti d'innescio;
 - e. curva RHR (*rate of heat release*), quale potenza termica prodotta dal focolare al variare del tempo RHR(t);
 - f. generazione dei prodotti della combustione presi in considerazione (es. CO e particolato).
2. Ai fini della caratterizzazione quantitativa del focolare il professionista antincendio può:
 - a. impiegare dati sperimentali ottenuti da misura diretta in laboratorio secondo metodologia scientifica consolidata;
 - b. usare dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise. Il professionista antincendio *cita sempre* con precisione tali fonti e *verifica la corrispondenza* del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario di incendio di progetto, utilizzando un approccio ragionevolmente conservativo;
 - c. impiegare delle *metodologie di stima*. Nel paragrafo M.2.6 si descrivono alcune metodologie di stima mutuata dalla letteratura citata al paragrafo M.2.8.
3. In alternativa, può impiegare i focolari predefiniti di cui al paragrafo M.2.7 nell'ambito delle limitazioni ivi specificate.

METODI

Capitolo M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale

Incendio

1. A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione dell'incendio consiste nella caratterizzazione quantitativa del focolare, in quanto sorgente di *energia termica* e di *prodotti della combustione*, secondo i seguenti parametri ove rilevanti ai fini della tipologia dell'analisi:
 - a. localizzazione del focolare;
 - b. tipologia di focolare: covante o con fiamma;
 - c. quantità, qualità e distribuzione spaziale del materiale combustibile;
 - d. fonti d'innescio;
 - e. curva RHR (*rate of heat release*), quale potenza termica prodotta dal focolare al variare del tempo RHR(t);
 - f. generazione dei prodotti della combustione presi in considerazione (es. CO e particolato).
2. Ai fini della caratterizzazione quantitativa del focolare il professionista antincendio può:
 - a. impiegare dati sperimentali ottenuti da misura diretta in laboratorio secondo metodologia scientifica consolidata;
 - b. usare dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise. Il professionista antincendio *cita sempre* con precisione tali fonti e *verifica la corrispondenza* del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario di incendio di progetto, utilizzando un approccio ragionevolmente conservativo;
 - c. impiegare delle *metodologie di stima*. Nel paragrafo M.2.6 si descrivono alcune metodologie di stima mutuata dalla letteratura citata al paragrafo M.2.8.
3. In alternativa, può impiegare i focolari predefiniti di cui al paragrafo M.2.7 nell'ambito delle limitazioni ivi specificate.

METODI

Capitolo M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale

Incendio

1. A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione dell'incendio consiste nella caratterizzazione quantitativa del focolare, in quanto sorgente di *energia termica* e di *prodotti della combustione*, secondo i seguenti parametri ove rilevanti ai fini della tipologia dell'analisi:
 - a. localizzazione del focolare;
 - b. tipologia di focolare: covante o con fiamma;
 - c. quantità, qualità e distribuzione spaziale del materiale combustibile;
 - d. fonti d'innescio;
 - e. curva RHR (*rate of heat release*), quale potenza termica prodotta dal focolare al variare del tempo RHR(t);
 - f. generazione dei prodotti della combustione presi in considerazione (es. CO e particolato).

2. Ai fini della caratterizzazione quantitativa del focolare il professionista antincendio può:
 - a. impiegare dati sperimentali ottenuti da misura diretta in laboratorio secondo metodologia scientifica consolidata;
 - b. usare dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise. Il professionista antincendio *cita sempre* con precisione tali fonti e *verifica la corrispondenza* del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario di incendio di progetto, utilizzando un approccio ragionevolmente conservativo;
 - c. impiegare delle *metodologie di stima*. Nel paragrafo M.2.6 si descrivono alcune metodologie di stima mutuata dalla letteratura citata al paragrafo M.2.8.

3. In alternativa, può impiegare i focolari predefiniti di cui al paragrafo M.2.7 nell'ambito delle limitazioni ivi specificate.

METODI

Capitolo M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale

Incendio

1. A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione dell'incendio consiste nella caratterizzazione quantitativa del focolare, in quanto sorgente di *energia termica* e di *prodotti della combustione*, secondo i seguenti parametri ove rilevanti ai fini della tipologia dell'analisi:
 - a. localizzazione del focolare;
 - b. tipologia di focolare: covante o con fiamma;
 - c. quantità, qualità e distribuzione spaziale del materiale combustibile;
 - d. fonti d'innesco;
 - e. curva RHR (*rate of heat release*), quale potenza termica prodotta dal focolare al variare del tempo RHR(t);
 - f. generazione dei prodotti della combustione presi in considerazione (es. CO e particolato).

2. Ai fini della caratterizzazione quantitativa del focolare il professionista antincendio può:
 - a. impiegare dati sperimentali ottenuti da misura diretta in laboratorio secondo metodologia scientifica consolidata;
 - b. usare dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise. Il professionista antincendio *cita sempre* con precisione tali fonti e *verifica la corrispondenza* del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario di incendio di progetto, utilizzando un approccio ragionevolmente conservativo;
 - c. impiegare delle *metodologie di stima*. Nel paragrafo M.2.6 si descrivono alcune metodologie di stima mutuata dalla letteratura citata al paragrafo M.2.8.

3. In alternativa, può impiegare i focolari predefiniti di cui al paragrafo M.2.7 nell'ambito delle limitazioni ivi specificate.

METODI

Capitolo M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale

Incendio

1. A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione dell'incendio consiste nella caratterizzazione quantitativa del focolare, in quanto sorgente di *energia termica* e di *prodotti della combustione*, secondo i seguenti parametri ove rilevanti ai fini della tipologia dell'analisi:
 - a. localizzazione del focolare;
 - b. tipologia di focolare: covante o con fiamma;
 - c. quantità, qualità e distribuzione spaziale del materiale combustibile;
 - d. fonti d'innesco;
 - e. curva RHR (*rate of heat release*), quale potenza termica prodotta dal focolare al variare del tempo RHR(t);
 - f. generazione dei prodotti della combustione presi in considerazione (es. CO e particolato).

CASO STUDIO B



2. Ai fini della caratterizzazione quantitativa del focolare il professionista antincendio può:

a. impiegare dati sperimentali ottenuti da misura diretta in laboratorio secondo metodologia scientifica consolidata;

b. usare dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise. Il professionista antincendio *cita sempre* con precisione tali fonti e *verifica la corrispondenza* del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario di incendio di progetto, utilizzando un approccio ragionevolmente conservativo;

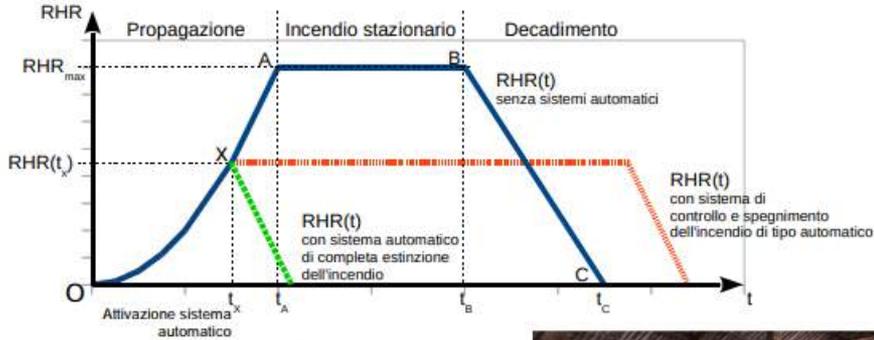
CASO STUDIO A



c. impiegare delle *metodologie di stima*. Nel paragrafo M.2.6 si descrivono alcune metodologie di stima mutuata dalla letteratura citata al paragrafo M.2.8.

3. In alternativa, può impiegare i focolari predefiniti di cui al paragrafo M.2.7 nell'ambito delle limitazioni ivi specificate.

CASO STUDIO A : Stima della curva RHR



$$E_{tot} = 335 \text{ MJ/PEZZO} \times 268 \text{ PEZZI} \approx 90.000 \text{ MJ}$$

$$17,5 \text{ MJ/Kg} \times 9.000 \text{ Kg} \approx 155.000 \text{ MJ}$$

$$20 \text{ MJ/Kg} \times 268 \text{ Kg} \approx 6.000 \text{ MJ}$$

$$30 \text{ MJ/Kg} \times 268 \times 3 \text{ Kg} \approx 27.000 \text{ MJ}$$

.....

Illustrazione M.2-1: Fasi dell'incendio

$$RHR = \alpha \cdot t^2$$

Appendice E dell' Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2



1

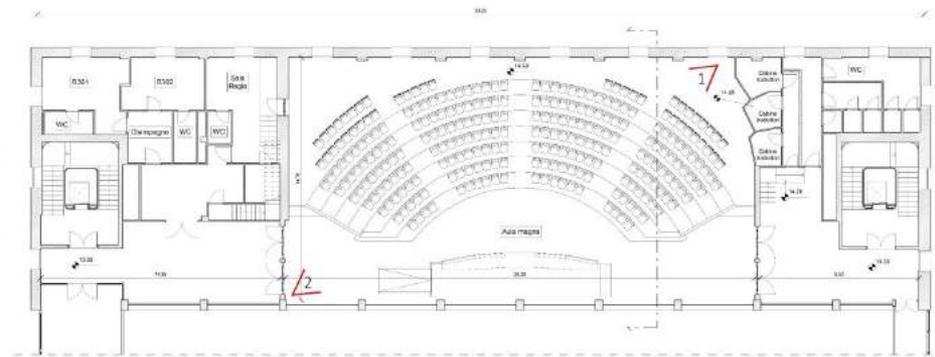
2

Tipo di incendio atteso	Tempo di sviluppo della potenza di 1.000 kW t_k (s)	$\alpha = \frac{1.000}{t_k^2} \left(\frac{\text{kW}}{\text{s}^2} \right)$
ULTRAFAST	75	0,1777
FAST	150	0,0444
MEDIUM	300	0,0111
SLOW	600	0,0277

AULA SCOLASTICA



ISTITUTO SUPERIORE ANTINCENDI
Palazzina B Aula Magna



Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavoratori in legno

INAIL



CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI

M.2.6 Stima della curva RHR



Area n.1+ Area n.2: 70 % E_{tot}

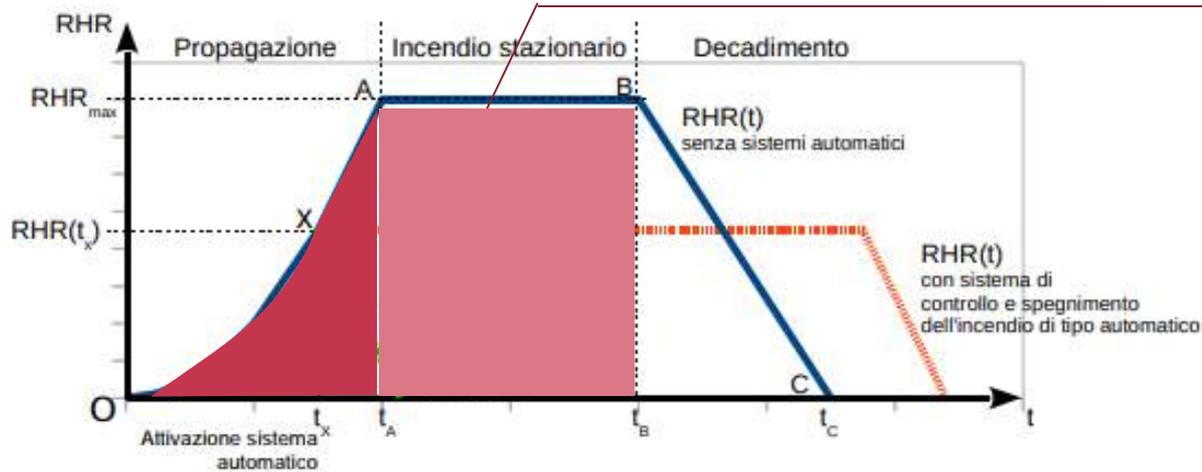


Illustrazione M.2-1: Fasi dell'incendio

$$RHR_{max} = 0,10 m H_u A_v \sqrt{h_{eq}}$$

m fattore di partecipazione alla combustione di cui al capitolo S.2 del presente documento.

H_u potere calorifico inferiore del legno pari a 17500 kJ/kg.

A_v area totale delle aperture verticali su tutte le pareti del compartimento [mq]

M.2.6 Stima della curva RHR

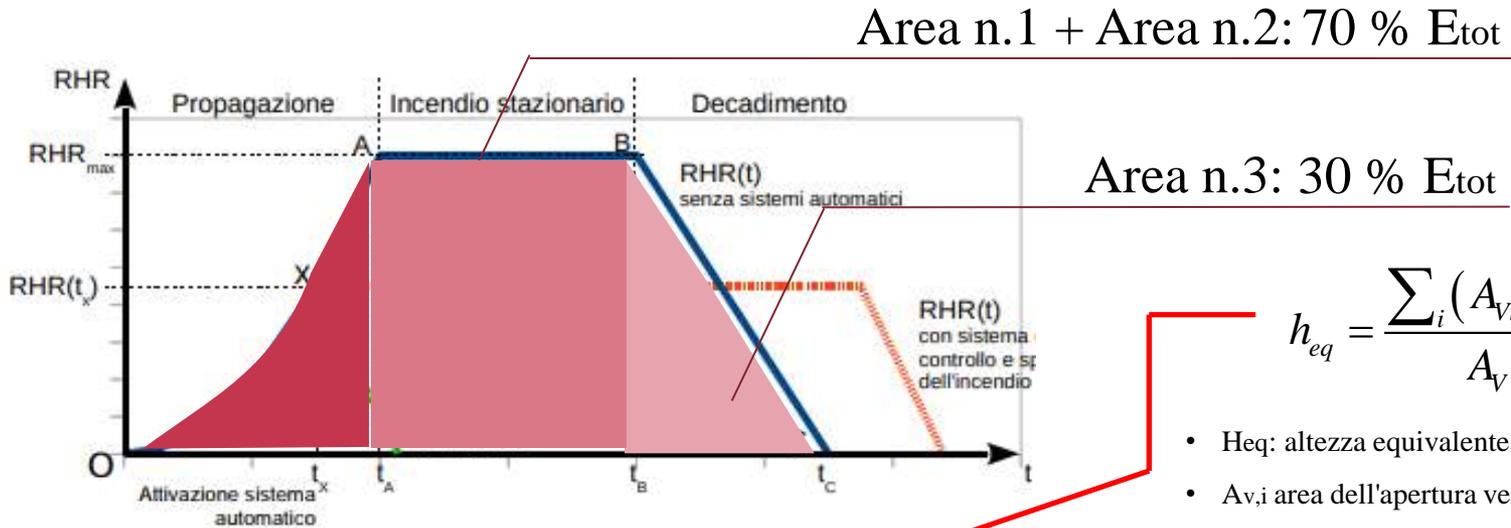


Illustrazione M.2-1: Fasi dell'incendio

$$RHR_{max} = 0,10 \text{ m} \cdot H_u \cdot A_v \cdot \sqrt{h_{eq}}$$

- M: fattore di partecipazione alla combustione di cui al capitolo S.2 (0,8 – 1,0).
- H_u: potere calorifico inferiore del legno pari a 17500 kJ/kg.
- A_v: area totale delle aperture verticali su tutte le pareti del compartimento [mq]

$$h_{eq} = \frac{\sum_i (A_{vi} \cdot h_i)}{A_v}$$

- H_{eq}: altezza equivalente delle aperture verticali
- A_{v,i} area dell'apertura verticale i-esima [mq]
- h_i altezza dell'apertura verticale i-esima [m]



ANALISI SPERIMENTALI E TECNICHE SIMULATIVE (CFD)



M.2.6.5

Qualora la definizione della **fase di propagazione della curva RHR(t)** basata esclusivamente sul tempo caratteristico t_{α} **fosse ritenuta non rappresentativa della reale evoluzione** dell'incendio durante la fase di propagazione, in particolare negli edifici civili, **si renderà necessaria una più dettagliata definizione della curva di crescita dell'incendio**, con specifica attenzione alla propagazione dell'incendio e dei prodotti della combustione, che rappresentano i fenomeni di maggiore interesse **per i problemi di salvaguardia della vita**.



UNI EN 1716



ASTM E914



ISO 5660-1:1993



ISO 5659-2

ANALISI SPERIMENTALI E TECNICHE SIMULATIVE (CFD)

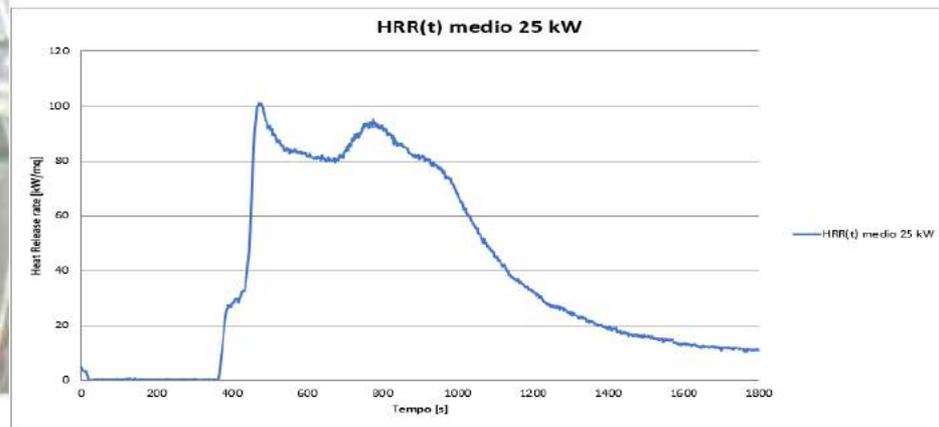
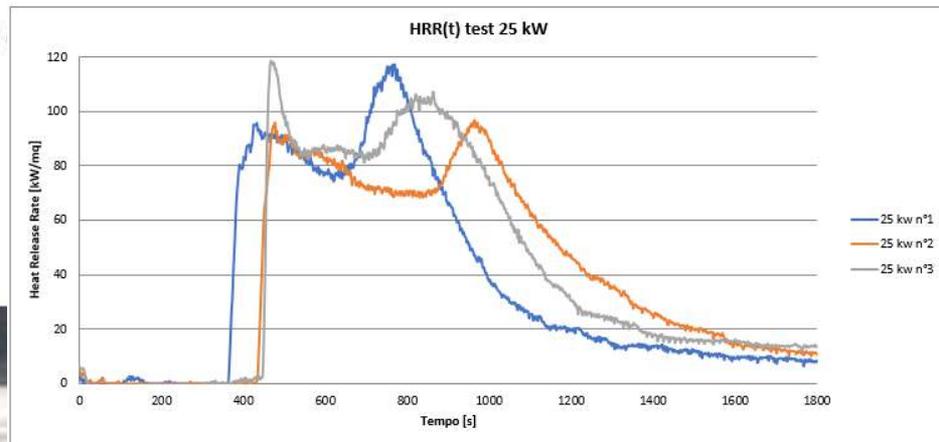
RISULTATI: CONO CALORIMETRICO (ISO 5660-1:1993)

La procedura di prova prevede che il test venga effettuato 9 / 12 volte a tre irradiamenti: 25 kW/mq, 35 kW/mq e 50 kW/mq.

Dimensioni dei campioni:

Superficie: 99 mm x 99 mm

Spessore massimo: 7 mm



ANALISI SPERIMENTALI E TECNICHE SIMULATIVE (CFD)

RISULTATI: CONO CALORIMETRICO (ISO 5660-1:1993)

La procedura di prova prevede che il test venga effettuato 9 / 12 volte a tre irradiamenti: 25 kW/mq, 35 kW/mq e 50 kW/mq.

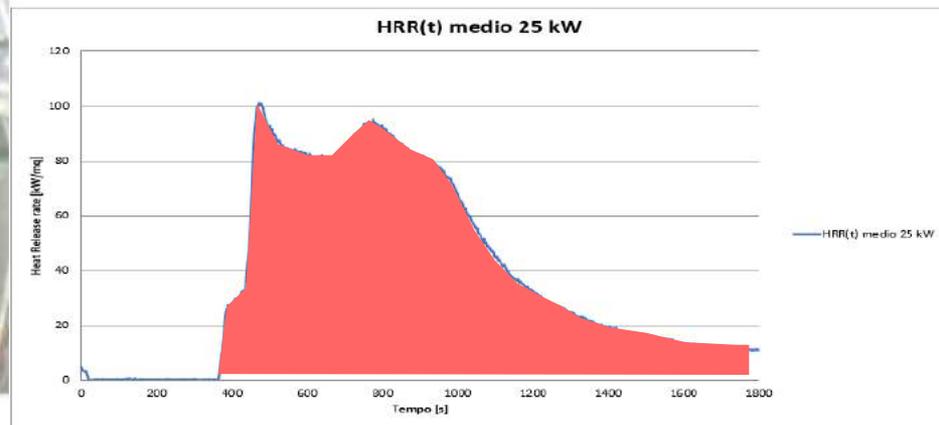
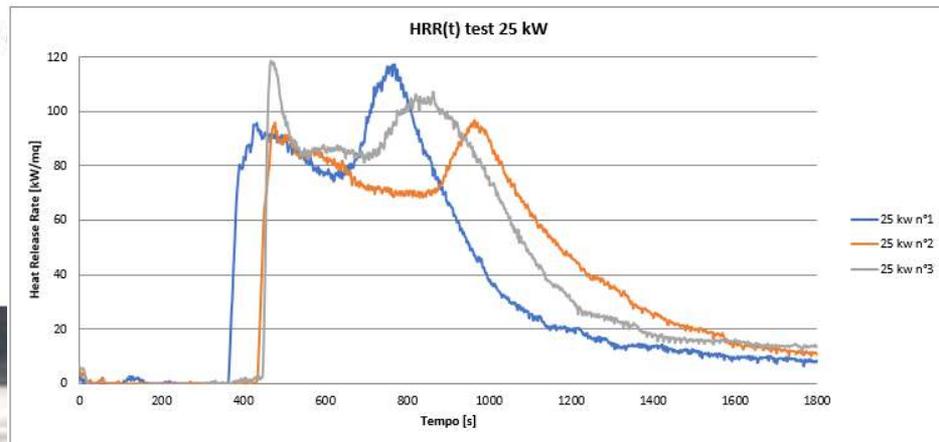
Dimensioni dei campioni:

Superficie: 99 mm x 99 mm

Spessore massimo: 7 mm



Temp. accensione: 454,8 ° C / tempo inn.: 403,5 sec



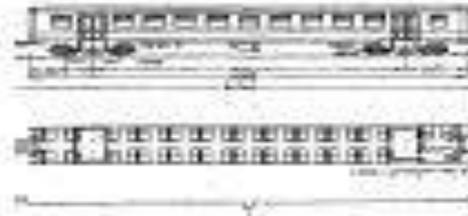


Performance- based approach to Fire Safety Engineering: Likely Fire Curve vs. Experimental Fire Curve



Rail Coach (Bare 100) - Formal, physical and geometrical properties

The purpose of this study is to obtain the ISO fire curve "as per" by making a simulation of natural fire in realistically rail coach by imposing a minimum effective power. The simulated ISO curve, appropriately translated, allows to estimate a Likely Fire Curve (LFC).



Description of Simulation Layout

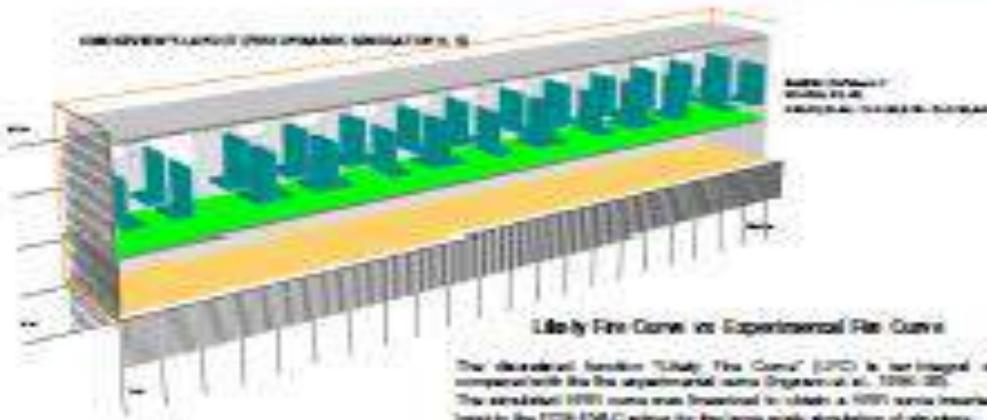
GROUP OF RAIL COACHES (SIMULATION OPENING, FLOORING AND PERIM.)



Visual assessment of Rayburner point

The selected images highlight the variation of the temperature and thermal radiation flux and their spatial layout of natural flames below the average height of the openings and the layout of the isotherms 300°C of the height of natural (intermittently placed at 2 m). (Talamona et al., 2022)

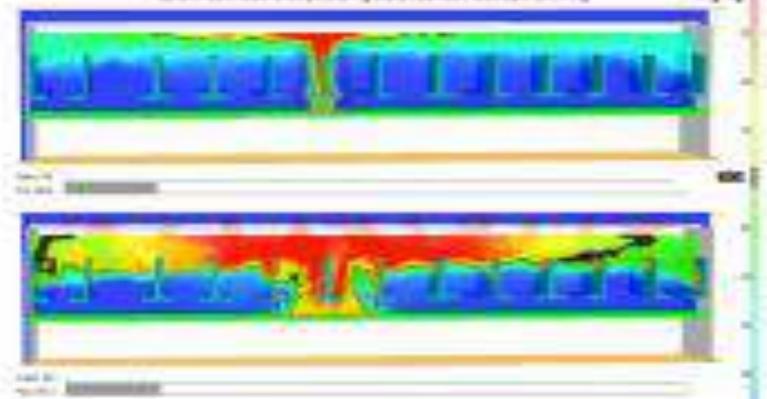
CONCRETE LAYOUT (PRE-DYNAMIC SIMULATION)



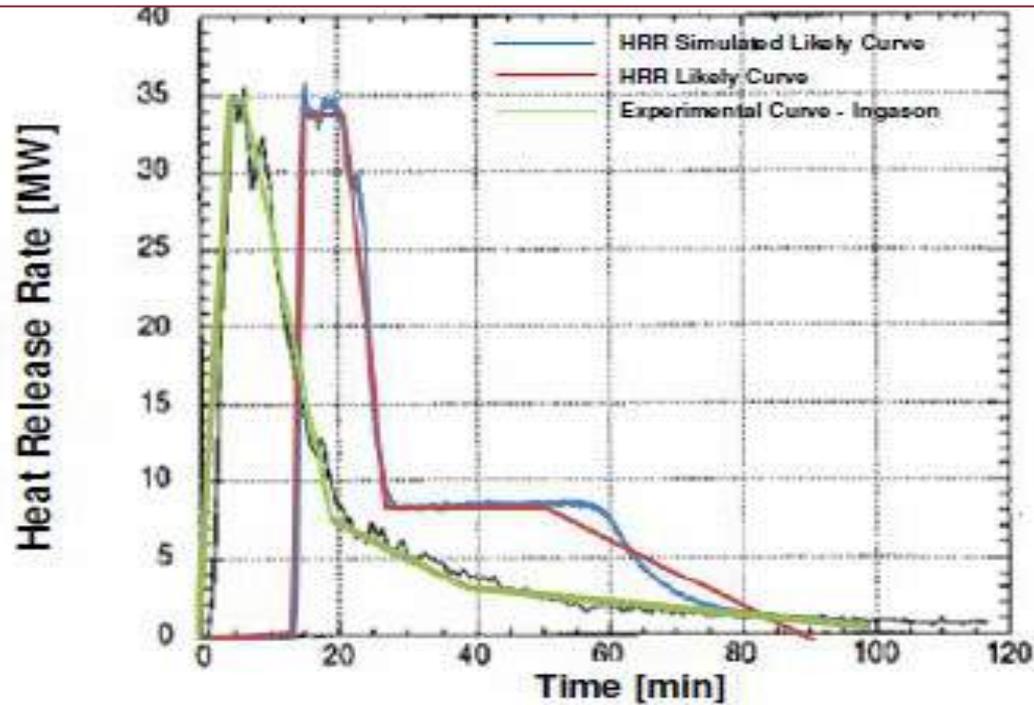
Likely Fire Curve vs. Experimental Fire Curve

The simulated fire curve "Likely Fire Curve" (LFC) is an integral curve comparable to the experimental curve (Talamona et al., 2022, 20). The simulated ISO curve was translated to obtain a ISO curve inserted as input in the FCR EN13637 software for the large scale simulation of structures.

ALL TEMPERATURE LAYOUT (PRE-DYNAMIC SIMULATION)



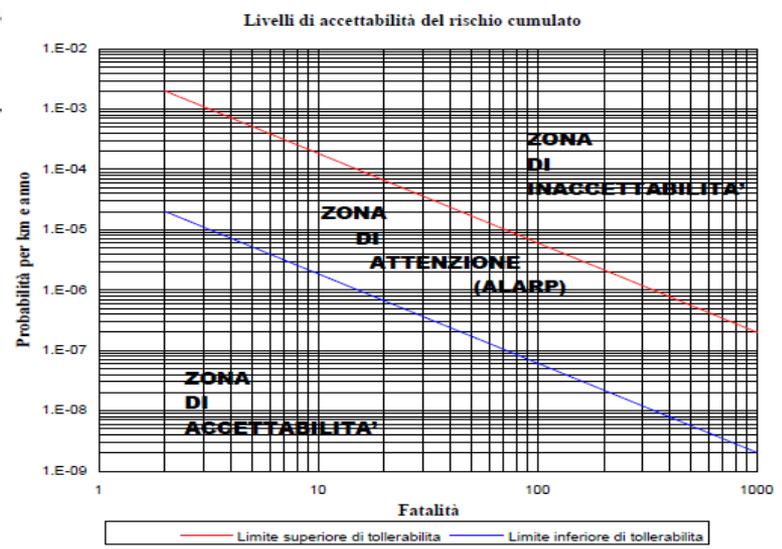
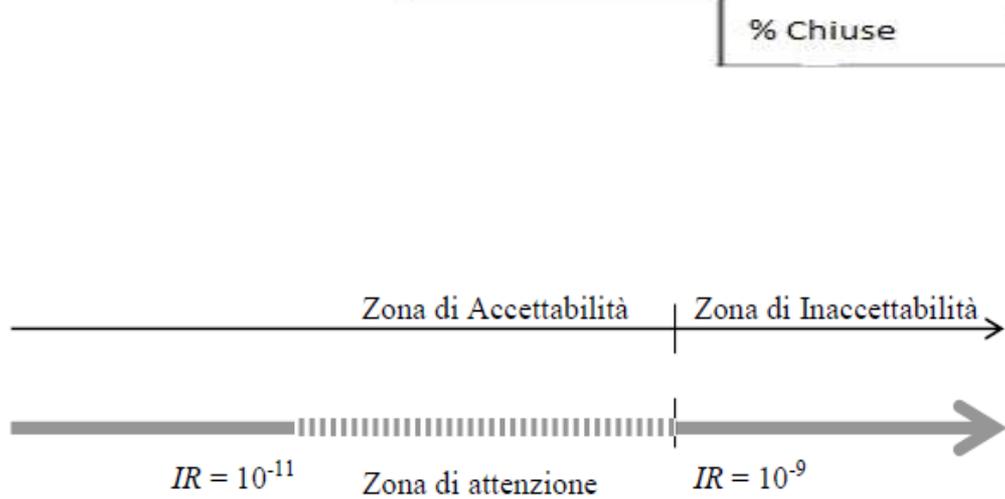
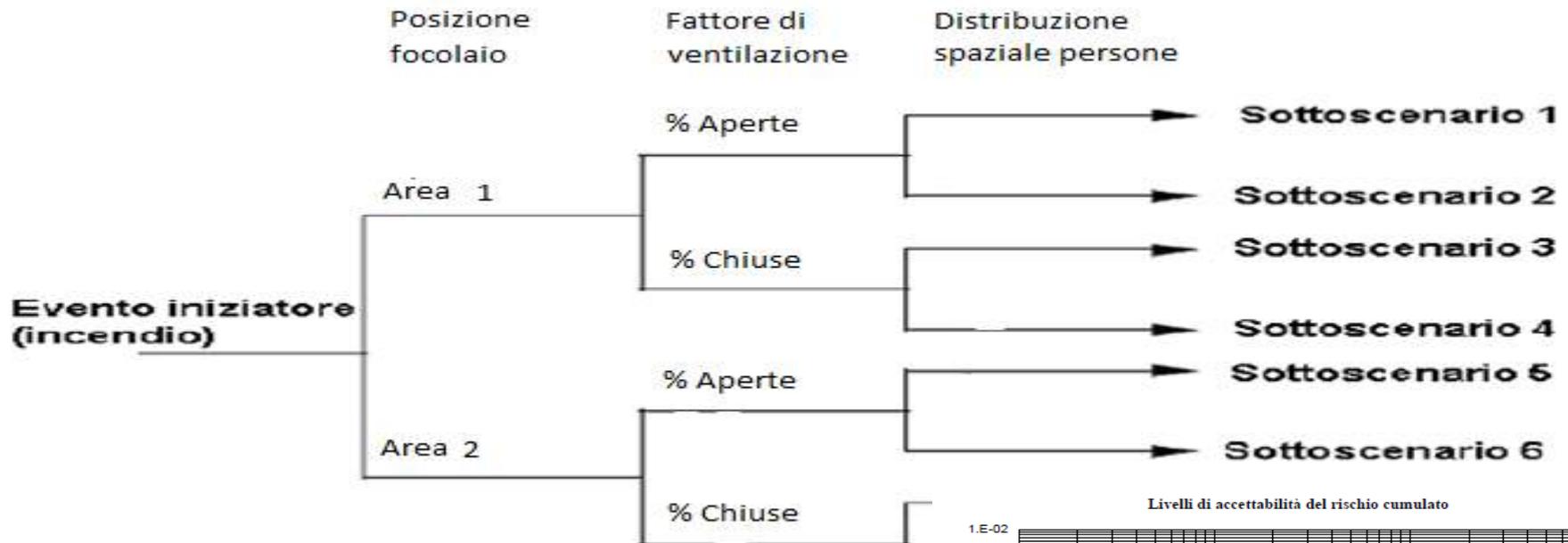
ANALISI SPERIMENTALI E TECNICHE SIMULATIVE (CFD)



Modello d'innesco costituito da un piastra radiante:

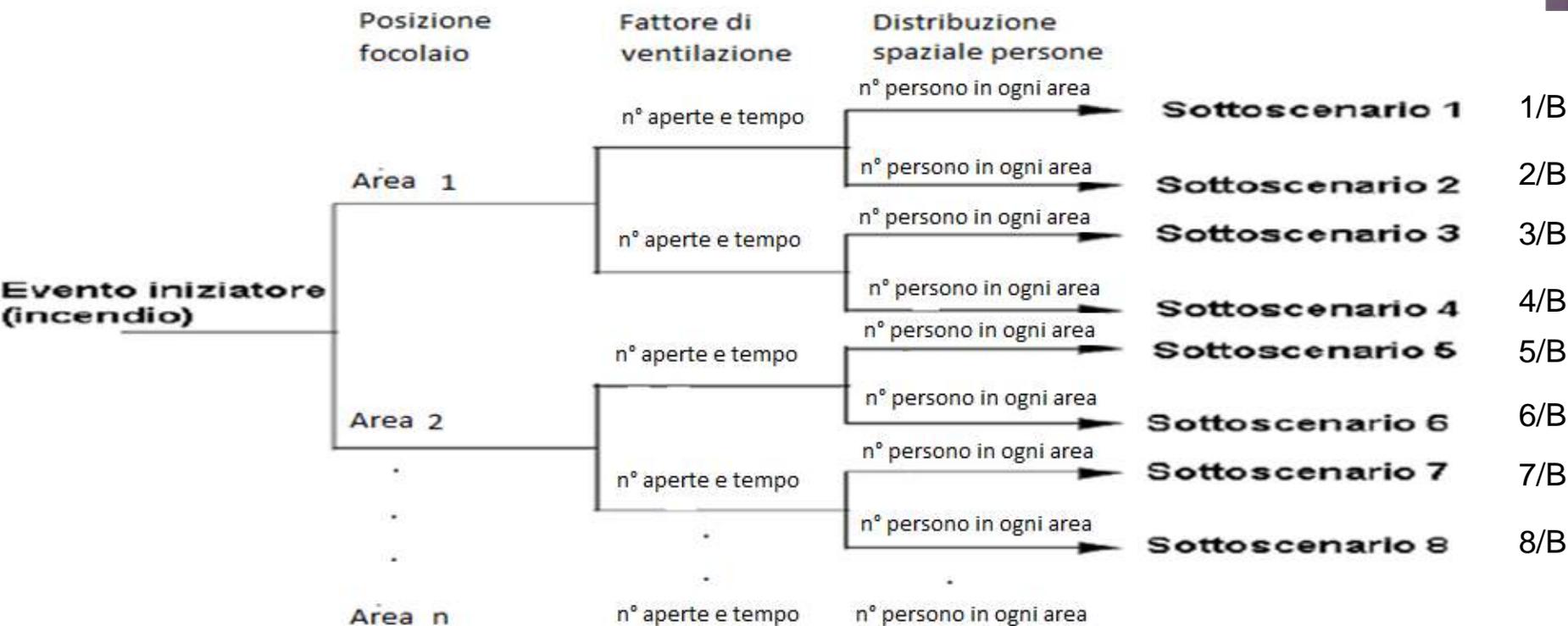
- dimensioni: 0.10 x 0.10 [m];
- temperatura: 875 ° C;
- tempo di esposizione: ≈14 min.

MODELLO «STATICO» DI ANALISI DEL RISCHIO QUANTITATIVA



Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavorati in legno

MODELLO DI ANALISI DEL RISCHIO QUANTITATIVA «DINAMICA»



B.I.M.



B.M.S.



G.S.A.

Building Information Modeling

Building Management System

Gestione sicurezza Antincendio

APP SPERIMENTALE PER DETERMINAZIONE DINAMICA DEGLI SCENARI D'INCENDIO IN FDS



```
Prompt dei comandi - python pgm51_elab_all_tbl_scenario.py
C:\scenario_pgm>python pgm51_elab_all_tbl_scenario.py
--> Stato connessione DB: OK

--> Scenario in elaborazione: adr_dyn_2piani_20171031_1652_base
--> Occorrenze trovate: 517
--> Occorrenze in elaborazione: 517

Fire Dynamics Simulator

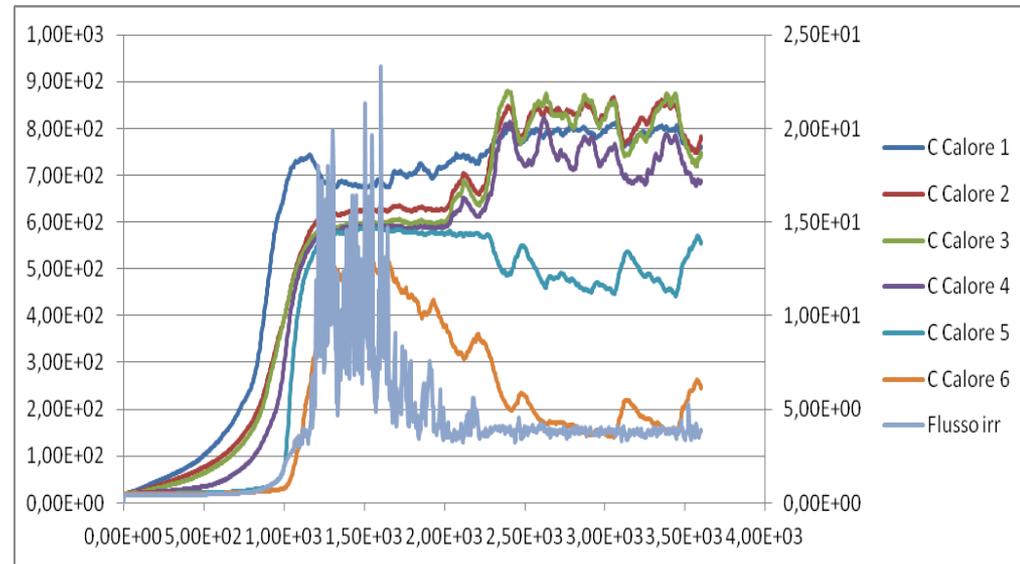
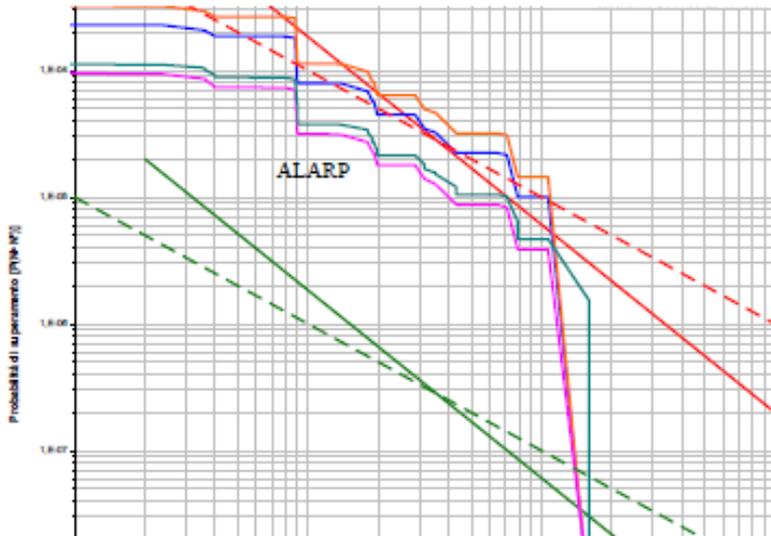
Compilation Date : Thu, 03 Dec 2009

Version: 5.4.3; MPI Disabled; OpenMP Disabled
SVN Revision No. : 5210

Job TITLE      : adr_dyn_2piani_20171031_1652_base.fds creato con applicativo Naminial - CPI win FSE
2.0 per FDS versione 5.4.3
Job ID string  : adr_dyn_2piani_20171031_1652_base

Time Step: -40, Simulation Time: 0.10 s
Time Step: -30, Simulation Time: 0.20 s
Time Step: -20, Simulation Time: 0.30 s
Time Step: -10, Simulation Time: 0.40 s
Time Step: -9, Simulation Time: 0.41 s
Time Step: -8, Simulation Time: 0.42 s
Time Step: -7, Simulation Time: 0.43 s
Time Step: -6, Simulation Time: 0.44 s
Time Step: -5, Simulation Time: 0.45 s
Time Step: -4, Simulation Time: 0.46 s
Time Step: -3, Simulation Time: 0.47 s
Time Step: -2, Simulation Time: 0.48 s
```

- Numero vittime
- Tossicità degli ambienti
- Sollecitazione termica
- Rischio individuale
- Rischio sociale (F-N)



Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavoratori in legno