

# Fire Safety Engineering: esempi applicativi prima e dopo il Codice di Prevenzione Incendi

***Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD***

*I Metodi della Fire Safety Engineering alla luce del Codice di Prevenzione Incendi 2015*  
*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - Associazione Italiana di Ingegneria Antincendio*  
***7 aprile 2016 - Politecnico di Milano***

# INGEGNERIA ANTINCENDIO: STATO DELL'ARTE

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# INGEGNERIA ANTINCENDIO: lo stato dell'arte..

## *A livello INTERNAZIONALE*


Dal 1988 il sottocomitato SC4 dell'ISO TC 92 ha elaborato una bozza degli standard internazionali del FSE, basata sul risultato delle più moderne ricerche antincendio.


Nel 1999 l'ISO ha pubblicato il **TR (Technical Report) 13387 "Fire Safety Engineering"** **diviso in otto parti successivamente aggiornate alla versione 2008.**


# ISO/TR 13387:2008

<b>SIGLA</b>	<b>TITOLO</b>
ISO/TR 13387-1	Fire Safety Engineering - Parte 1: applicazione dei concetti prestazionali antincendio agli obiettivi di progetto
ISO/TR 13387-2	Fire Safety Engineering - Parte 2: progetto degli scenari di incendio e progetto degli incendi reali
ISO/TR 13387-3	Fire Safety Engineering - Parte 3: analisi e verifica dei modelli matematici d'incendio
ISO/TR 13387-4	Fire Safety Engineering - Parte 4: base e sviluppo dell'incendio e generazione degli effluenti dell'incendio
ISO/TR 13387-5	Fire Safety Engineering - Parte 5: movimento degli effluenti dell'incendio
ISO/TR 13387-6	Fire Safety Engineering - Parte 6: risposta strutturale e propagazione del fuoco al di là dell'ambiente di sviluppo
ISO/TR 13387-7	Fire Safety Engineering - Parte 7: rilevazione, attivazione dei sistemi di spegnimento e spegnimento dell'incendio
ISO/TR 13387-8	Fire Safety Engineering - Parte 8: salvaguardia della vita umana - comportamento, localizzazione e condizioni di sicurezza degli occupanti l'edificio

# ISO/TR 13387:2009

Fransais | Русский Members area 

 Standards About us Standards Development News Store

Standards catalogue Online collections Graphical symbols  

Store > Standards catalogue > By TC > TC 92 Fire safety > SC 4

## ISO/TR 13387-1:1999

Fire safety engineering -- Part 1: Application of fire performance concepts to design objectives

[Preview ISO/TR 13387-1:1999](#)

General information	Revisions	Corrigenda / Amendments
<b>Edition:</b> 1 (Monolingual)	<b>ICS:</b> 13.220.01	
<b>Status:</b>  Withdrawn	<b>Stage:</b> 95.99 (2014-04-22)	
<b>TC/SC:</b> ISO/TC 92/SC 4	<b>Number of Pages:</b>	

### Related news

10 AUGUST 2009

New ISO standard for fire safety design of built environments will help save lives and cut costs

**Keep up to date with ISO**  
Sign up to our newsletter for the latest news, views and product information

 [Subscribe](#)

### Got a question?

[Check out our FAQs](#)

[Email customer services](#)

or call us on +41 22 749 08 88

09:00 – 12:30, 14:00 – 17:00 ([UTC+1](#)).

**Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD**

XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano

# Comitato ISO/TC 92/SC 4

## Standards and projects under the direct responsibility of ISO/TC 92/SC 4 Secretariat

↕ Standard and/or project	↕ Stage	↕ ICS
✓ ISO/TS 13447:2013 Fire safety engineering -- Guidance for use of fire zone models	60.60	13.220.01
✓ ISO 16730:2008 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods	90.92	13.220.01
✓ ISO/TR 16730-2:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 2: Example of a fire zone model	60.60	13.220.01
✓ ISO/TR 16730-3:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 3: Example of a CFD model	60.60	13.220.01
✓ ISO/TR 16730-4:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 4: Example of a structural model	60.60	13.220.01
✓ ISO/TR 16730-5:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 5: Example of an Egress model	60.60	13.220.01
✓ ISO 16732-1:2012 Fire safety engineering -- Fire risk assessment -- Part 1: General	60.60	13.220.01
✓ ISO/TR 16732-2:2012 Fire Safety Engineering -- Fire risk assessment -- Part 2: Example of an office building	60.60	13.220.01
✓ ISO/TR 16732-3:2013 Fire safety engineering -- Fire risk assessment -- Part 3: Example of an industrial property	60.60	13.220.01
✓ ISO/TS 16733:2006 Fire safety engineering -- Selection of design fire scenarios and design fires	90.93	13.220.01
✓ ISO 16734:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Fire plumes	90.60	13.220.01
✓ ISO 16735:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Smoke layers	90.20	13.220.01
✓ ISO 16736:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Ceiling jet flows	90.60	13.220.01
✓ ISO 16737:2012 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Vent flows	60.60	13.220.01
✓ ISO/TR 16738:2009 Fire-safety engineering -- Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people	60.60	13.220.01
✓ ISO 23932:2009 Fire safety engineering -- General principles	90.92	13.220.01
✓ ISO/TS 24679:2011 Fire safety engineering -- Performance of structures in fire	90.93	13.220.01

**Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD**

XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano

# NORMATIVA INTERNAZIONALE FSE – riferimenti generici

## I principali riferimenti sull'argomento sono i seguenti:

- ISO 23932:2009, FSE – General principles.
- BS 7974:2001 Application of FSE principles to the design of buildings – Code of practice.
- BS PD 7974-0:2002 Application of FSE principles to the design of buildings – Part 0: Guide to design framework and FSE procedures.
- SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection, 2<sup>nd</sup> ed., 2007.

# NORMATIVA INTERNAZIONALE FSE – riferimenti specifici

## **Identificazione degli scenari d'incendio:**

- ISO 16732-1 “Fire safety engineering - Fire risk assessment”, descrive l'applicazione alla valutazione del rischio di incendio delle metodologie proprie dell'analisi di rischio, come l'albero dei guasti e l'albero degli eventi;
- NFPA 551 “Guide for the evaluation of fire risk assessment”.

## **Selezione degli scenari di incendio di progetto:**

- ISO/TS 16733 “Fire safety engineering - Selection of design fire scenarios and design fires”;
- NFPA 101 “Life Safety Code”



# NORMATIVA INTERNAZIONALE FSE – riferimenti specifici

## **Stima della curva RHR:**

- Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2:2004 Parte 1-2: Azioni in generale – Azioni sulle strutture esposte al fuoco;
- NFPA 92:2012 “Standard for smoke control systems”;
- NFPA 92B “Smoke management systems in malls, atria, and large areas”;
- NFPA 555 “Guide on methods for evaluating potential for room flash over”.

## **Descrizione quantitativa del focolare:**

- “SFPE handbook of fire protection engineering”, NFPA, 5<sup>th</sup> ed., 2015

# NORMATIVA INTERNAZIONALE FSE – life safety

L'ISO ha pubblicato due documenti fondamentali per analisi degli aspetti più tecnici della progettazione della *life safety*:

- ISO 13571:2007 Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data;
- ISO/TR 16738:2009 Fire-safety engineering – Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people.

L'approccio anglosassone all'ingegneria della sicurezza antincendio è dettagliato globalmente nella norma **BS 7974:2001**; la *life safety* è il sottosistema 6 di tale procedura.

Il documento specifico di riferimento per la progettazione del sistema d'esodo è il *published document* **PD 7974-6:2004** *The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)*.

# INGEGNERIA ANTINCENDIO: REGOLA TECNICA ITALIANA

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# D.M. 9 maggio 2007 – STRUTTURA DEL DECRETO

D.M. 9 MAGGIO 2007



otto articoli: stabiliscono le procedure per adottare l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio

un allegato tecnico suddiviso in *cinque punti* che indicano il processo di valutazione e progettazione nell'ambito dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio (Fire Safety Engineering, FSE)

Tra i campi di applicazione (art. 2) troviamo:

- “insediamenti di tipo complesso o a tecnologia avanzata”
- “edifici di particolare rilevanza architettonica e/o costruttiva, ivi compresi quelli pregevoli per arte o storia o ubicati in ambiti urbanistici di particolare specificità”

Tra le varie possibilità, la metodologia può essere applicata in alternativa alla metodologia vigente:

- “nel caso di attività non regolate da specifiche disposizioni antincendio”
- “per la individuazione delle misure di sicurezza equivalenti nell'ambito del procedimento di deroga”


Processo di valutazione e progettazione nell'ambito dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio



- ✓ FASE I - analisi preliminare
- ✓ FASE II - analisi quantitativa
- ✓ SGSA - Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio

# D.M. 9 maggio 2007 – ALLEGATO TECNICO

## FASE I ANALISI PRELIMINARE redazione di un sommario tecnico

- ✓ DEFINIZIONE DEL PROGETTO —————| vincoli progettuali, pericoli di incendio,  
condizioni ambientali,  
caratteristiche degli occupanti
  
- ✓ DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI —————| finalità, ovvero: cosa si vuole proteggere?
  
- ✓ INDIVIDUAZIONE DEI LIVELLI  
DI PRESTAZIONE —————| quali parametri si vogliono prendere a riferimento  
per garantire il soddisfacimento degli obiettivi  
(es.: visibilità, qualità dell'aria, ecc.)
  
- ✓ INDIVIDUAZIONE DEGLI SCENARI  
DI INCENDIO DI PROGETTO —————| si valutano gli incendi realisticamente ipotizzabili  
(scegliendo i più gravosi)  
  
 scenari concordati con il  
Comando Prov.le dei VV.F.

# D.M. 9 maggio 2007 – ALLEGATO TECNICO

**FASE I**  
**ANALISI PRELIMINARE**  
redazione di un sommario tecnico

**PROGETTISTA**

**TITOLARE  
DELL'ATTIVITÀ**

Responsabile dell'individuazione degli scenari e dei parametri ipotizzati per l'elaborazione dei risultati

Responsabile della veridicità dei dati di input ipotizzati per l'elaborazione dei risultati

**FIRMA CONGIUNTA DEL SOMMARIO  
TECNICO DEL PROGETTO**

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# D.M. 9 maggio 2007 – ALLEGATO TECNICO

## FASE II ANALISI QUANTITATIVA

- ✓ IPOTESI DI PROGETTO ————— redatta a partire dal sommario tecnico
- ✓ SCELTA DEL MODELLO DI CALCOLO ————— uso del programma di simulazione ad elementi finiti (FDS : Fire Dynamics Simulator - SMV: Smokeview)
- ✓ RISULTATI DELLE ELABORAZIONI CHE CARATTERIZZANO L'INCENDIO ————— individuazione dei parametri numerici che servono a descrivere l'evoluzione dell'incendio ed a fornire le indicazioni per verificare il raggiungimento dei livelli di prestazione prefissati
- ✓ INDIVIDUAZIONE DEL PROGETTO FINALE ————— individuazione del Progetto Finale: al Comando provinciale VV.F. deve essere presentato il progetto che è stato verificato rispetto agli scenari di incendio prescelti e che soddisfa i livelli di prestazione individuati.

# D.M. 9 maggio 2007 – ALLEGATO TECNICO

## SGSA (Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio)

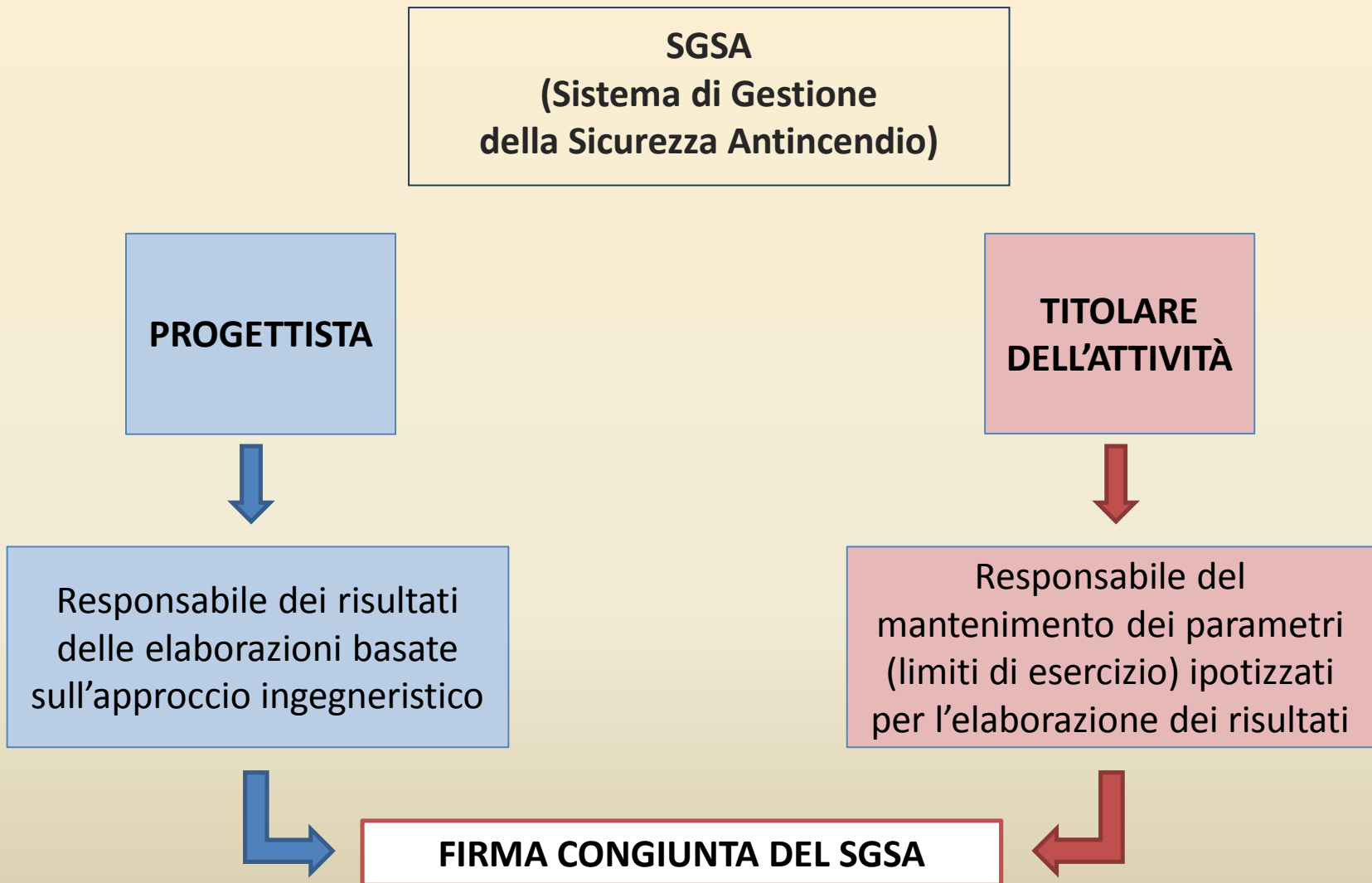
Affinché **non ci sia una riduzione nel tempo del livello di sicurezza prescelto**, la metodologia prestazionale, basandosi sull'individuazione delle misure di protezione effettuata su scenari di incendio valutati ad hoc, necessita di un attento **mantenimento di tutti i parametri posti alla base della scelta sia degli scenari che dei progetti**



Pertanto è necessario **un Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio** attraverso uno specifico documento, condiviso dall'organo di controllo fin dalla fase di approvazione del progetto e da sottoporre a verifiche ispettive periodiche da parte dei VV.F. in concomitanza con la visita tecnica (controlli di prevenzione incendi) e successivamente in occasione dei rinnovi.



# D.M. 9 maggio 2007 – ALLEGATO TECNICO



# D.M. 9 maggio 2007 – CIRCOLARI E LINEE GUIDA

**Lettera Circolare prot. n. 4921 del 17 luglio 2007:** Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio - D.M. 9 maggio 2007 - Primi indirizzi applicativi.

**Lettera Circolare prot. n. DCPST/427 del 31 marzo 2008:** Approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio – Trasmissione delle linee guida per l'approvazione dei progetti e della scheda rilevamento dati predisposte dall'Osservatorio.

Allegati:

- Scheda Rilevamento Dati
- Linee guida per la valutazione dei progetti

# OBIETTIVI DI SICUREZZA LIVELLI DI PRESTAZIONE

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# OBIETTIVI DI SICUREZZA

OCCORRE INDIVIDUARE LE CONDIZIONI PIÙ RAPPRESENTATIVE  
DEL RISCHIO AL QUALE L'ATTIVITÀ È ESPOSTA

...stabilire i **livelli di prestazione**

in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire



- ✓ La capacità portante dell'opera deve essere garantita per un periodo di tempo determinato e compatibile con il carico d'incendio
- ✓ La produzione e la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere deve essere limitata
- ✓ La propagazione del fuoco alle opere vicine deve essere limitata
- ✓ Gli occupanti devono essere in grado di lasciare l'opera
- ✓ Deve essere presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso

# LIVELLI DI PRESTAZIONE

- ✓ Le soglie di prestazione per la salvaguardia della vita determinano l'incapacitazione degli occupanti e dei soccorritori quando sottoposti agli effetti dell'incendio.
- ✓ Il professionista antincendio sceglie idonee soglie di prestazione per la specifica attività, in relazione a: scenari di incendio di progetto/caratteristiche degli occupanti coinvolti
- ✓ Il rispetto delle soglie di prestazione per la salvaguardia della vita deve essere verificato:
  - per gli occupanti: in tutte le zone dell'attività dove esiste contemporanea presenza di occupanti, stanziali o in movimento, e di effetti dell'incendio.
  - per i soccorritori:
    1. solo qualora essi abbiano un ruolo ben definito nella pianificazione d'emergenza dell'attività,
    2. in tutte le zone dell'attività dove esiste contemporanea presenza di soccorritori, stanziali o in movimento, e di effetti dell'incendio.

# LIVELLI DI PRESTAZIONE

## ESEMPIO LIVELLI DI PRESTAZIONE

per garantire che gli occupanti  
siano in grado di lasciare l'opera



- ✓ **temperatura** massima a cui si può essere esposti pari a  $xx$  °C
- ✓ livello di **visibilità** pari a  $xx$  m
- ✓ livelli di **irraggiamento termico** a cui le persone o gli elementi possono essere esposti pari a  $xx$  kW/m<sup>2</sup> (stazionari)

# LIVELLI DI PRESTAZIONE – D.M. 9 MAGGIO 2001

## MINISTERO LAVORI PUBBLICI

Campo di applicazione: “... in attuazione dell'articolo 14 del decreto legislativo 17 agosto 1999, n. 334, stabilisce requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti soggetti agli obblighi di cui agli articoli 6, 7 e 8 del decreto legislativo 17 agosto 1999, n. 334...”

### 6.2. Determinazione delle aree di danno

#### 6.2.1. Valori di soglia

Il danno a persone o strutture è correlabile all'effetto fisico di un evento incidentale mediante modelli di vulnerabilità più o meno complessi. Ai fini del controllo dell'urbanizzazione, è da ritenere sufficientemente accurata una trattazione semplificata, basata sul superamento di un valore di soglia, al di sotto del quale si ritiene convenzionalmente che il danno non accada, al di sopra del quale viceversa si ritiene che il danno possa accadere. In particolare, per le valutazioni in oggetto, la possibilità di danni a persone o a strutture è definita sulla base del superamento dei valori di soglia espressi nella seguente Tabella 2.

Tabella 2 – Valori di soglia

Scenario incidentale	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili	Danni alle strutture / Effetti domino
	1	2	3	4	5
Incendio (radiazione termica stazionaria)	12,5 kW/m <sup>2</sup>	7 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>	12,5 kW/m <sup>2</sup>
BLEVE/Fireball (radiazione termica variabile)	Raggio fireball	350 kJ/m <sup>2</sup>	200 kJ/m <sup>2</sup>	125 kJ/m <sup>2</sup>	200-800 m (*)
Flash-fire (radiazione termica istantanea)	LFL	½ LFL			
VCE (sovrapressione di picco)	0,3 bar (0,6 spazi aperti)	0,14 bar	0,07 bar	0,03 bar	0,3 bar
Rilascio tossico (dose assorbita)	LC50 (30min,hmm)		IDLH		

Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD

# METODO DI VALUTAZIONE – D.M. 3 AGOSTO 2015

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscureamento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m <sup>2</sup> : 5 m	ISO 13571-2012.
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100m <sup>2</sup> : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571-2012, limitando a 1,1% gli occupanti incapaci al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	--
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571-2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m <sup>2</sup>	ISO 13571-2012, per esposizioni maggiori di 30 minuti, senza modifica significativa dei tempi di esodo (2,5 kW/m <sup>2</sup> ).
		Soccorritori: 3 kW/m <sup>2</sup>	[1]
<p>[1] Ai fini di questa tabella, per <i>soccorritori</i> si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per <i>hazardous conditions</i>.</p>			

Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato



# METODO DI VALUTAZIONE – D.M. 3 AGOSTO 2015

Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata	Occupanti: 2 m	Ridotto da ISO TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: 1,5 m	[1]
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: 200°C	ISO TR 16738-2009, section 11.2
	Soccorritori: 250°C	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per *soccorritori* si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per *hazardous conditions*.

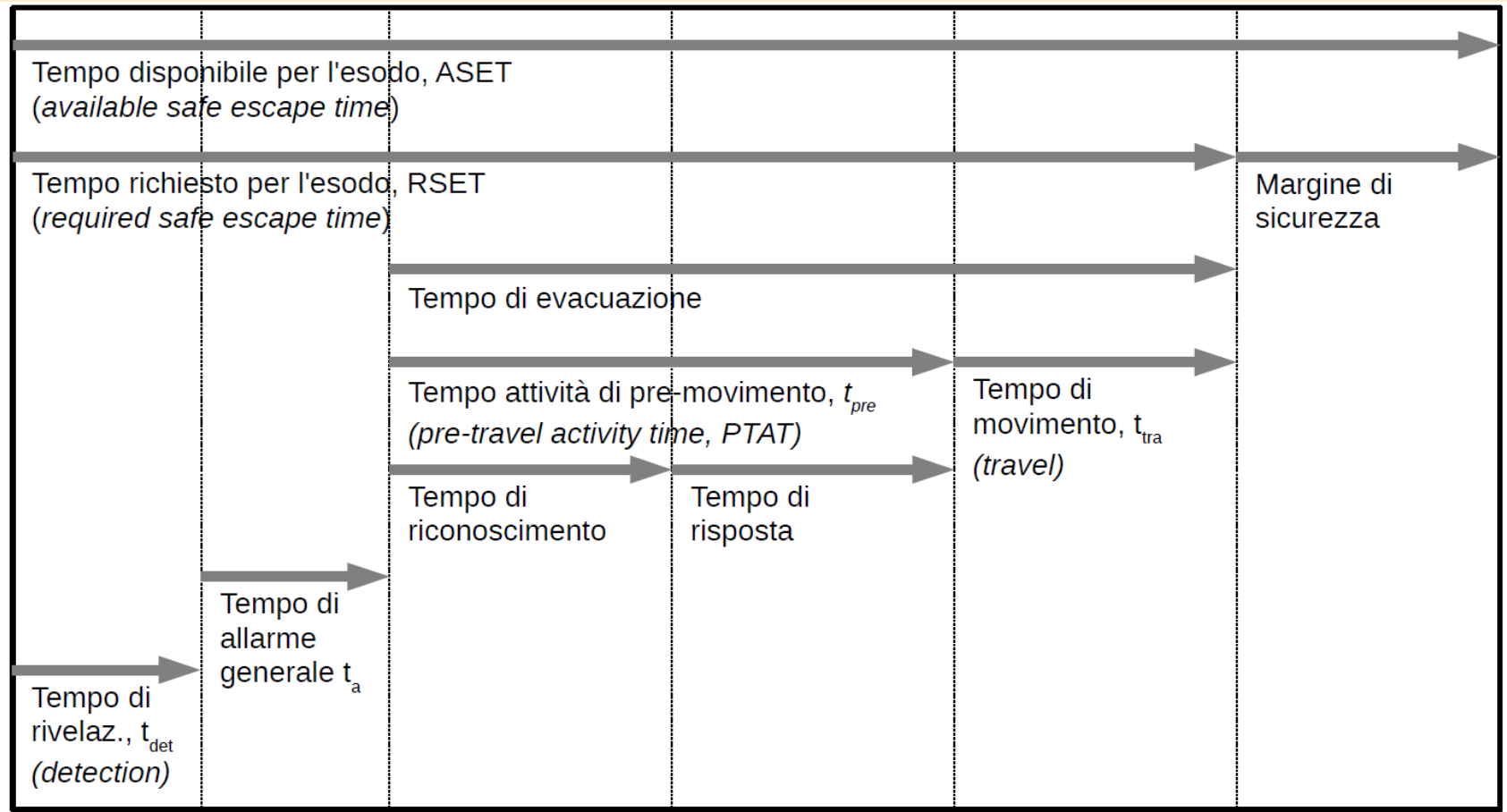
*Tabella M.3-3: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo semplificato*

# SALVAGUARDIA DELLA VITA CON LA PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# TEMPI DI ESODO – ASET e RSET



Il rapporto tra ASET ed RSET non può essere inferiore a **1,1**

# CALCOLO ASET

**ASET** - tempo a disposizione degli occupanti per mettersi in salvo, dipende da interazioni tra:

- **Incendio:** si innesca, si propaga e diffonde nell'edificio i suoi prodotti, fumi e calore.
- **Edificio:** resiste all'incendio per mezzo delle misure protettive attive e passive (impianti antincendio, compartimentazioni, sistemi di controllo di fumo e calore)
- **Occupanti:** esposti agli effetti dell'incendio in relazione a:
  - attività che svolgono
  - loro posizione iniziale, loro percorso nell'edificio
  - condizione fisica e psicologica

*Metodi di calcolo di ASET ammessi dalle norme:*

- a. metodo di calcolo **avanzato**
- b. metodo di calcolo **semplificato**

# CALCOLO ASET – metodo AVANZATO

norma **ISO 13571:2012** → ASET globale è il più piccolo tra ASET calcolati secondo 4 modelli:

- a. modello dei *gas tossici*
- b. modello dei *gas irritanti*
- c. modello del *calore*
- d. modello dell'oscuramento della *visibilità da fumo*

## *Modello dei gas tossici*

**Exposure dose:** (dose inalata) *misura* della dose di un gas tossico disponibile per inalazione, cioè presente nell'aria inspirata, calcolata per integrazione della curva concentrazione-tempo della sostanza per il tempo di esposizione.

**FED (Fractional Effective Dose):** *rapporto tra questa exposure dose e la dose del gas tossico che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto.*

Quando FED = 1 il soggetto medio è sicuramente incapacitato.

Esempio: dose incapacitante di CO, pari a 35000 ppm · min:

soggetto medio esposto a 3500 ppm per 10 min o 35000 ppm per 1 min → incapacitato.

In entrambi i casi la sua FED = 1 ; ASET<sub>CO</sub> è pari a 10 min o 1 min nel secondo caso

# CALCOLO ASET – metodo AVANZATO

## *Modello dei gas irritanti*

**FEC (Fractional Effective Concentration):** concentrazione di un gas irritante disponibile per inalazione / concentrazione dello stesso gas che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto

Se negli scenari di incendio di progetto non vi sono materiali combustibili possibili sorgenti di gas irritanti (es. sostanze o miscele pericolose, cavi elettrici in quantità significative...) la verifica del modello dei gas irritanti può essere omessa.

## *Modello calore*

Modello del calore irraggiato + convettivo: approccio basato sulla FED (simile a gas tossici)

$$X_{\text{FED}} = \sum_{t1}^{t2} \left( \frac{1}{t_{\text{Irad}}} + \frac{1}{t_{\text{Iconv}}} \right) \Delta t$$

$t_{\text{Irad}}$  e  $t_{\text{Iconv}}$ : tempi di incapacitazione per calore radiante e calore convettivo

Calcolati in funzione della condizione di abbigliamento dei soggetti, relazioni reperibili nella norma ISO 13571:2012.

# CALCOLO ASET – metodo AVANZATO

## Modello calore - irraggiamento

Norma ISO 13571:2012:

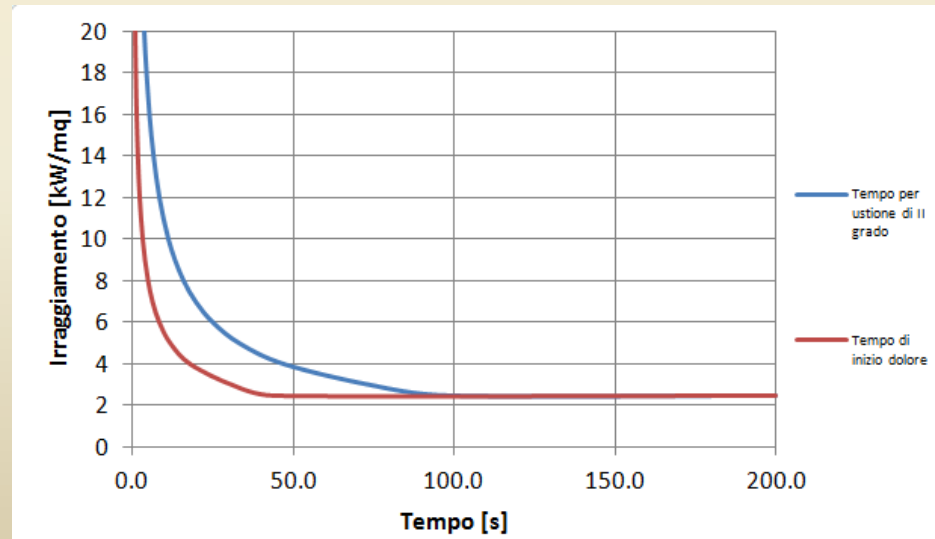
Con Irraggiamento minore di 2,5 kW/m<sup>2</sup> si può resistere più di 30 min. Sopra a tale valore:

- tempo  $t_{\text{Irad}}$  [min] per ustioni di secondo grado dovute a calore radiante  $q$  [kW/m<sup>2</sup>]:

$$t_{\text{Irad}} = 6,9 q^{-1,56}$$

- tempo  $t_{\text{Irad}}$  [min] per sperimentare dolore dovuto a calore radiante  $q$  [kW/m<sup>2</sup>]:

$$t_{\text{Irad}} = 4,2 q^{-1,9}$$



Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD

# CALCOLO ASET – metodo AVANZATO

## Modello calore - convezione

Norma ISO 13571:2012:

Ipotesi: esposizione a flusso di calore per convezione con aria contenente meno del 10% in volume di vapore acqueo

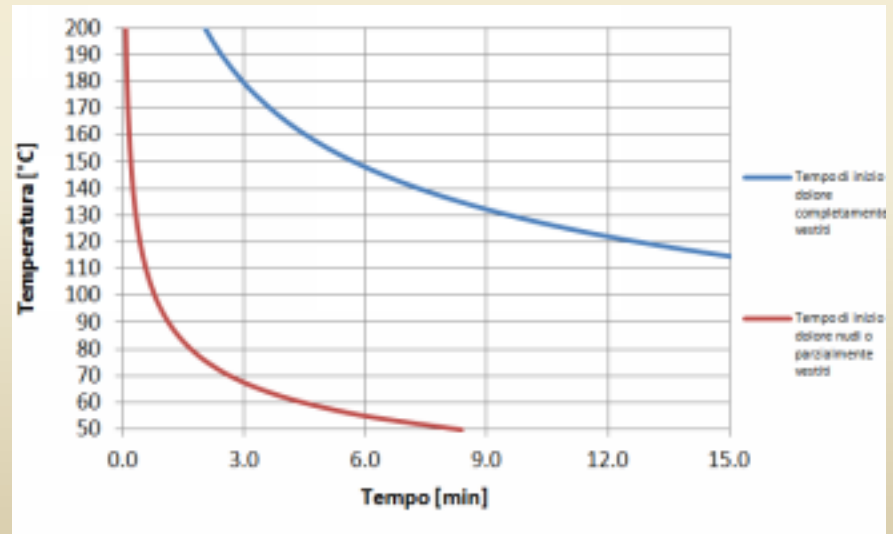
- tempo  $t_{\text{Iconv}}$  [min] per sperimentare dolore per flussi convettivi alla temperatura  $T$  [°C]:

- soggetti completamente vestiti:

$$t_{\text{Iconv}} = (4,1 \times 10^8) T^{-3,61}$$

- soggetti nudi o con vestiti leggeri:

$$t_{\text{Iconv}} = (5 \times 10^7) T^{-3,4}$$



Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD



# CALCOLO ASET – metodo AVANZATO

## *Modello dell'oscuramento della visibilità da fumo*

Basato sul concetto del minimo contrasto percettibile (minima differenza di luminosità visibile tra un oggetto e lo sfondo)

Correlazione sperimentale tra visibilità  $L$  e massa volumica dei fumi  $\rho_{\text{smoke}}$

$$C = \sigma \rho_{\text{smoke}} L$$

dove:

$L$  = visibilità [m]

$C$  = costante adimensionale pari a 3 per cartellonistica di esodo riflettente non illuminata o 8 per cartellonistica retroilluminata

$\sigma$  = coefficiente massico di estinzione della luce pari a  $10 \text{ m}^2/\text{g}$  [ $\text{m}^2/\text{g}$ ]

$\rho_{\text{smoke}}$  = massa volumica dei fumi (*smoke aerosol mass concentration*) [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

I codici di calcolo fluidodinamico (es. FDS) calcolano come dato di output la  $\rho_{\text{smoke}}$  e calcolano la visibilità  $L$  per ogni punto degli ambienti simulati (inserendo opportunamente  $C$ )

# CALCOLO ASET – metodo AVANZATO

## *Soglia di prestazione per FED e FEC*

I valori di FED e FEC pari ad **1** sono associati ad effetti incapacitanti dell'esodo calibrati su occupanti di media sensibilità agli effetti dei prodotti dell'incendio.

Per tenere conto delle categorie più deboli o più sensibili della popolazione, che risulterebbero incapacitate ben prima del raggiungimento di FED o FEC uguale a 1, si considera ragionevole impiegare il valore **0,3** come *soglia di prestazione* per FED e FEC, lasciando però al professionista antincendio l'onere di selezionare e giustificare il valore più adatto alla tipologia di popolazione coinvolta.

# CALCOLO ASET – metodo SEMPLIFICATO

**ISO/TR 16738:2009** prevede la possibilità di utilizzare l'ipotesi semplificativa della esposizione zero (*zero exposure*), applicabile solo se la potenza del focolare rapportata alla geometria dell'ambiente è sufficiente a garantire la **formazione dello strato di fumi caldi superiore**

Non si approccia con metodo AVANZATO, ma si usano *soglie di prestazione molto conservative*:

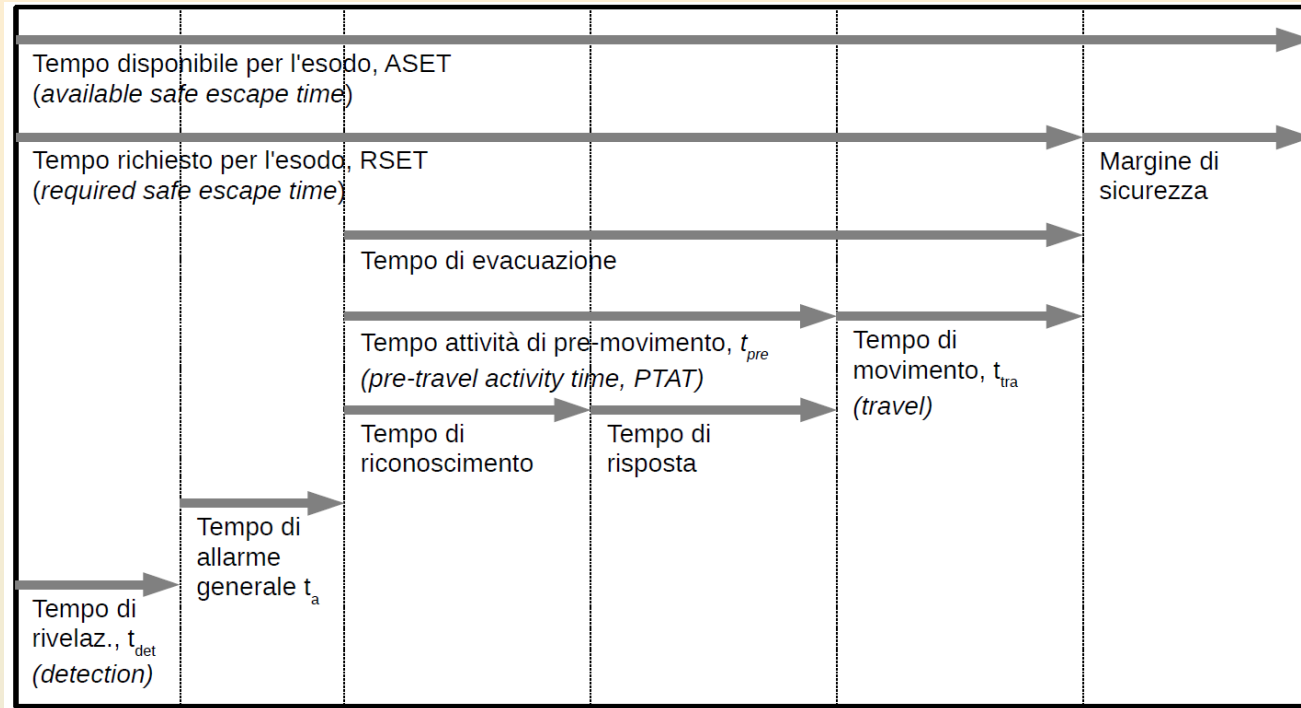
- altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2,5 m, al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata (spesso ridotto in letteratura a 2 m)
- temperatura media dello strato di fumi caldi non superiore a 200°C

Questi criteri permettono agli occupanti la fuga in aria indisturbata, non inquinata dai prodotti della combustione ed un valore dell'irraggiamento dai fumi cui sono esposti inferiore a 2,5 kW/m<sup>2</sup>:

- automaticamente soddisfatti tutti i modelli del metodo AVANZATO
- analisi notevolmente semplificata: non occorre eseguire calcoli di esposizione degli occupanti a tossici, irritanti, calore e oscuramento della visibilità.

**Sufficiente valutare analiticamente o con modelli numerici a zone o di campo l'altezza dello strato dei fumi *pre-flashover* nell'edificio.**

# CALCOLO RSET



RSET: tempo tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'edificio raggiungono un luogo sicuro.

Riferimento: ISO/TR 16738:2009.

$t_{det}$ : tempo di rivelazione (detection)

$t_a$ : tempo di allarme generale

$t_{pre}$ : tempo attività di pre-movimento (pre-travel activity time, PTAT)

$t_{tra}$ : tempo di movimento (travel)

$$RSET = \Delta t_{det} + \Delta t_a + \Delta t_{pre} + \Delta t_{tra}$$

# CALCOLO RSET

Dipende dalle interazioni del sistema incendio-edificio-occupanti: la fuga degli occupanti è fortemente condizionata dalle geometrie dell'edificio ed è rallentata dagli effetti dell'incendio.

Al fine del calcolo di RSET il professionista antincendio deve sviluppare lo *scenario comportamentale di progetto più appropriato per il caso specifico, perché* l'attività di pre-movimento e le velocità dell'esodo dipendono dalla tipologia di popolazione considerata e dalle modalità d'impiego dell'edificio.

I parametri variano notevolmente se gli occupanti sono svegli ed hanno familiarità con l'edificio, come in un edificio scolastico, o dormono e non conoscono la struttura, come in una struttura alberghiera.

Come per ASET, ciascun occupante possiede un proprio valore anche di RSET.

# CALCOLO RSET: tempo di rivelazione – tempo di allarme generale

*Tempo di rivelazione  $t_{det}$ : determinato dalla tipologia di sistema di rivelazione e dallo scenario di incendio*

È il tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio.

Calcolato analiticamente o con apposita modellizzazione numerica degli scenari d'incendio e del sistema di rivelazione.

*Tempo di allarme generale  $t_a$ : tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti (allarme generale)*

- pari a zero, quando la rivelazione attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio;
- pari al ritardo valutato dal professionista, se la rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.

Riferimento per la determinazione di questo tempo: *BS 7974-6:2004 “Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and conditions”, tre diversi livelli di allarme*

# CALCOLO RSET: tempo di allarme generale

*BS 7974-6:2004 "Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and conditions", tre diversi livelli di allarme:*

**Livello A1:** È presente un sistema automatico di rilevazione incendi. Il tempo in questo caso tra la rilevazione dell'incendio e la diffusione dell'allarme a tutti gli occupanti può essere considerato nullo.

**Livello A2:** È sempre presente un sistema automatico di rilevazione, ma in questo caso alla rilevazione non segue l'immediata diffusione dell'allarme: il segnale di rilevazione è trasmesso in una sala controllo (sistema di pre-allarme). Tale tempo dovrebbe comunque oscillare tra i 2 e i 5 minuti.

**Livello A3:** Non è presente un sistema di rilevazione, ma è presente un sistema di allarme ad attivazione manuale in prossimità del locale con l'incendio. La valutazione in questo caso è meno precisa e condizionata molto dallo scenario di incendio in particolare focalizzando l'attenzione sulle caratteristiche delle persone presenti: (età, formazione antincendio posseduta, responsabilità che si ha nell'ambiente...ecc).

# CALCOLO RSET: tempo di pre-movimento

*Tempo di attività pre-movimento*  $t_{pre}$ : oggetto di valutazione complessa, è il tempo necessario agli occupanti per svolgere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio verso il luogo sicuro. La letteratura indica che questa fase occupa spesso la maggior parte del tempo totale di esodo.

$t_{pre}$  = tempo di *riconoscimento (recognition)* + tempo di *risposta (response)*.

Durante il *tempo di riconoscimento* gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo prima dell'allarme generale, finchè riconoscono l'esigenza di rispondere all'allarme.

Nel *tempo di risposta* gli occupanti cessano le loro attività normali e si dedicano ad attività speciali legate allo sviluppo dell'emergenza:

- raccolta di informazioni sull'evento,
- arresto e messa in sicurezza delle apparecchiature,
- raggruppamento del proprio gruppo (lavorativo o familiare),
- lotta all'incendio,
- ricerca e determinazione della via d'esodo appropriata (*wayfinding*)
- *altre attività a volte anche errate ed inappropriate*



# CALCOLO RSET: tempo di pre-movimento - D.M. 3 AGOSTO 2015

Parametri di descrizione dell'attività tratto da ISO TR 16738	Tempi di attività di pre-movimento ISO TR 16738	
	$\Delta t_{pre (247)}$ primi occupanti in fuga	$\Delta t_{pre (990)}$ ultimi occupanti in fuga
<b>Esempio 1: albergo di media complessità</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>occupanti: <i>Ciii, sleeping and unfamiliar</i>;</li> <li>sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>;</li> <li>gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>.</li> </ul>	20'	40'
<b>Esempio 2: grande attività produttiva</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>occupanti: <i>A, awake and familiar</i>;</li> <li>sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout complesso</i>;</li> <li>gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>.</li> </ul>	1' 30"	3' 30"
<b>Esempio 3: residenza sanitaria assistenziale</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>occupanti: <i>D, sleeping and unfamiliar</i>;</li> <li>sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti;</li> <li>complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>;</li> <li>gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>;</li> <li>presenza di addetti in quantità sufficiente a gestire l'evacuazione dei diversamente abili.</li> </ul>	5'	10'

Tabella M.3-1: Esempi di valutazione del tempo di pre-movimento, tratto da ISO TR 16738

Il professionista antincendio può impiegare valori diversi da quelli indicati in letteratura, purché adeguatamente giustificati, anche in riferimento a prove di evacuazione riportate nel registro dei controlli.

# CALCOLO RSET: tempo di movimento

*Tempo di movimento  $t_{tra}$ : tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento*

Calcolato in riferimento ad alcune variabili:

- a. la distanza degli occupanti o gruppi di essi dalle vie d'esodo;
- b. le velocità d'esodo (dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente costruito e gli effetti dell'incendio. È dimostrato che la presenza di fumi e calore rallenta notevolmente la velocità d'esodo);
- c. la portata delle vie d'esodo, dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli ed ostacoli.

Nella realtà, quando gli occupanti di edifici densamente affollati fuggono lungo le vie d'esodo, si formano lunghe file nei restringimenti, inoltre secondo lo sviluppo degli scenari di incendio di progetto presi in esame, alcuni percorsi possono diventare impercorribili o bloccati.

Il calcolo del  $t_{tra}$  deve tenere conto di questi fenomeni.

# CALCOLO RSET: tempo di movimento

Attualmente si impiegano comunemente due famiglie di modelli per il calcolo del tempo di movimento: *modelli idraulici e modelli agent based*.

**I modelli idraulici** predicono con ragionevole precisione alcuni aspetti del movimento degli occupanti, ma non includono fattori importanti del comportamento umano, come la familiarità con l'edificio, le interazioni persona-persona e l'effetto del fumo sul movimento.

Altri tipi di modelli (es. *cellular, agent-based*) sono oggetto di intensa ricerca scientifica e di sperimentazione; attualmente esistono ancora solo validazioni parziali dei risultati. Pertanto i risultati devono essere valutati con cautela.

# SCENARI DI INCENDIO PER LA PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# SCENARI DI INCENDIO - D.M. 3 AGOSTO 2015

## Durata degli scenari d'incendio di progetto

1. Deve essere descritta tutta la sequenza di evoluzione dell'incendio, a partire dall'evento iniziatore per un intervallo di tempo che dipende dagli obiettivi di sicurezza da raggiungere come riportato in tabella M.2-1.

Obiettivo di sicurezza antincendio	Durata minima degli scenari di incendio di progetto
Salvaguardia della vita	Dall'evento iniziatore fino al momento in cui tutti gli occupanti dell'attività raggiungono o permangono in un luogo sicuro. Se il luogo sicuro è prossimo o interno all'opera da costruzione, devono essere valutate eventuali interazioni tra il mantenimento della capacità portante dell'opera da costruzione ed il luogo sicuro.
Mantenimento della capacità portante in caso d'incendio	Dall'evento iniziatore fino all'arresto dell'analisi strutturale, in fase di raffreddamento, al momento in cui gli effetti dell'incendio sono ritenuti non significativi in termini di variazione temporale delle caratteristiche della sollecitazione e degli spostamenti

Tabella M.2-1: Durata minima degli scenari d'incendio di progetto

# SCENARI DI INCENDIO - D.M. 3 AGOSTO 2015

## 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.

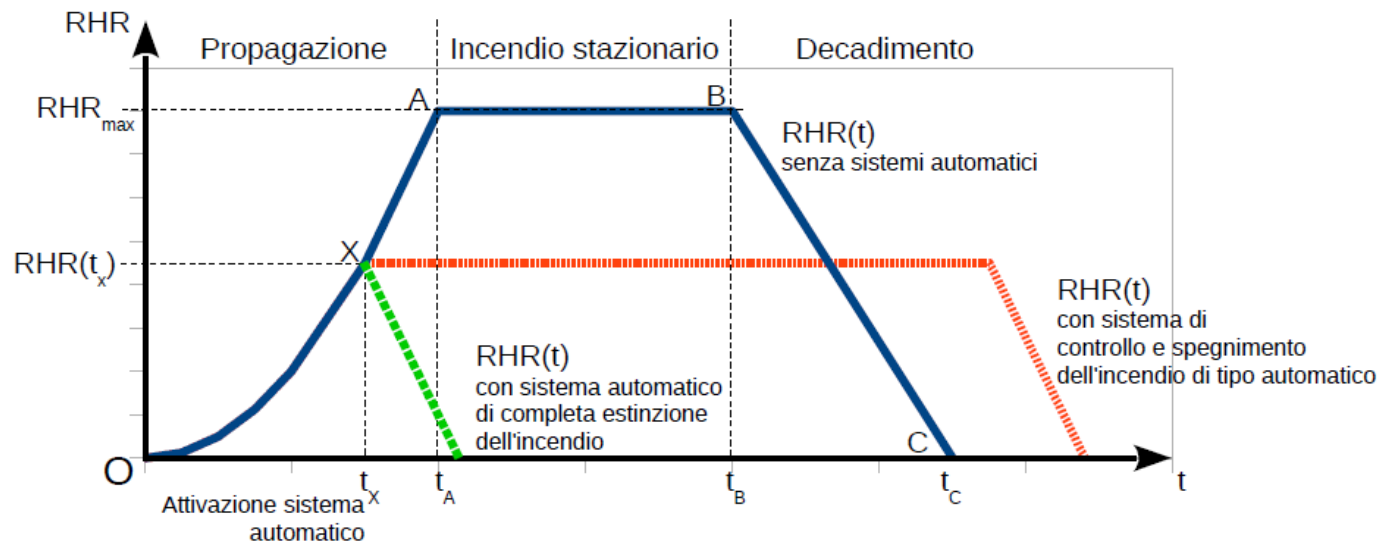


Illustrazione M.2-1: Fasi dell'incendio

# SCENARI DI INCENDIO - D.M. 3 AGOSTO 2015

## Focolare predefinito

1. Qualora si intenda omettere le valutazioni in merito alla descrizione quantitativa del focolare di cui al paragrafo M.2.4, possono essere impiegati i *focolari predefiniti* descritti quantitativamente secondo il metodo indicato nel paragrafo M.2.6, impiegando i valori dei parametri di cui alla tabella M.2-2.
2. È escluso l'impiego dei focolari predefiniti nei casi in cui si valuti che i focolari attesi risultino più gravosi di quelli previsti in tabella M.2-2.

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio $t_c$	150 s (fast)	75 s (ultra-fast)
RHR <sub>max</sub> totale	5 MW	50 MW
RHR <sub>max</sub> per m <sup>2</sup> di superficie del focolare	250-500 kW/m <sup>2</sup> [1]	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 $Y_{CO_2}$	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua $Y_{H_2O}$	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR(t) in irraggiamento (Radiative fraction)	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'RHR<sub>max</sub> 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] "CVM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code

[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4<sup>a</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  $Y_{CO_2}$  e  $Y_{H_2O}$ , si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico  $CH_2O_{0,5}$ .

Tabella M.2-2: Focolari predefiniti

# CASI STUDIO CON FDS

## prima del D.M. 3 AGOSTO 2015

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*



# INTRODUZIONE – CASO STUDIO CON FDS

La procedura fissata dal Decreto 9 Maggio 2007  
“Processo di valutazione e progettazione nell’ambito  
dell’approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio”  
è stata applicata ad alcuni reparti dello stabilimento  
industriale di una acciaieria.

# CRITICITÀ

- elevata superficie dei reparti produttivi
- presenza di macchinari di notevoli dimensioni ed impatto
- Soluzione:
  - con la metodologia prevista dal Decreto 09.05.2007 superare l'approccio prescrittivo dettato dal D.M. 10.03.98 **per quanto riguarda i percorsi di esodo**

# ANALISI PRELIMINARE

- Differenze tra i reparti produttivi:
  - per la geometria delle aree interessate,
  - per i macchinari presenti,
  - per le possibili fonti di incendio che possono svilupparsi.

# OBIETTIVI DI SICUREZZA

OCCORRE INDIVIDUARE LE CONDIZIONI PIÙ RAPPRESENTATIVE  
DEL RISCHIO AL QUALE L'ATTIVITÀ È ESPOSTA

...stabilire i **livelli di prestazione**  
in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire



- ✓ La capacità portante dell'opera deve essere garantita per un periodo di tempo determinato e compatibile con il carico d'incendio
- ✓ La produzione e la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere deve essere limitata
- ✓ La propagazione del fuoco alle opere vicine deve essere limitata
- ✓ **Gli occupanti devono essere in grado di lasciare l'opera**
- ✓ **Deve essere presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso**

# METODO DI VALUTAZIONE

- ✓ Analizzare e valutare le aree con maggiore probabilità di insorgenza di un incendio
- ✓ Per ciascuna di esse determinare le caratteristiche ed i quantitativi dei materiali combustibili/infiammabili
- ✓ Ipotizzare i diversi scenari di incendio

## LIVELLI DI PRESTAZIONE

per garantire che gli occupanti  
siano in grado di lasciare l'opera



- ✓ **temperatura** massima a cui si può essere esposti pari a 50 °C
- ✓ livello di **visibilità** pari a 30 m
- ✓ livelli di **irraggiamento termico** a cui le persone o gli elementi possono essere esposti pari a 3 kW/m<sup>2</sup>

# CdF – CENTRO DI FINITURA

- Nuovo capannone  $S = 32.000$  mq destinato alla lavorazione a freddo di laminati piani.
- Diviso in due aree:
  - Area produttiva,
  - Area confezionamento.
- La lunghezza dei percorsi di esodo può raggiungere i 75 m

# CdF – CENTRO DI FINITURA



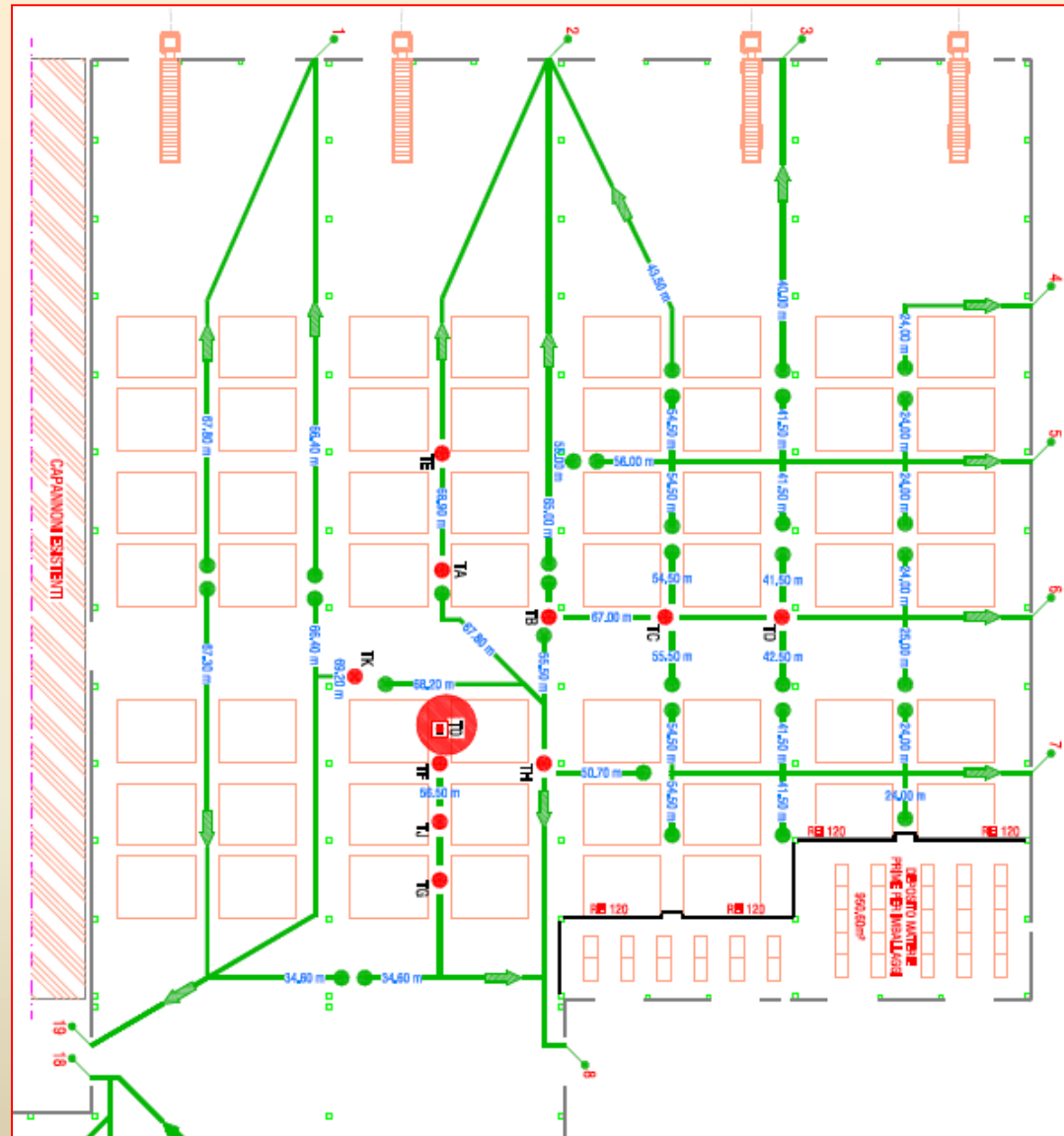
*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# CdF – CENTRO DI FINITURA



Area deposito e  
spedizioni



Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD

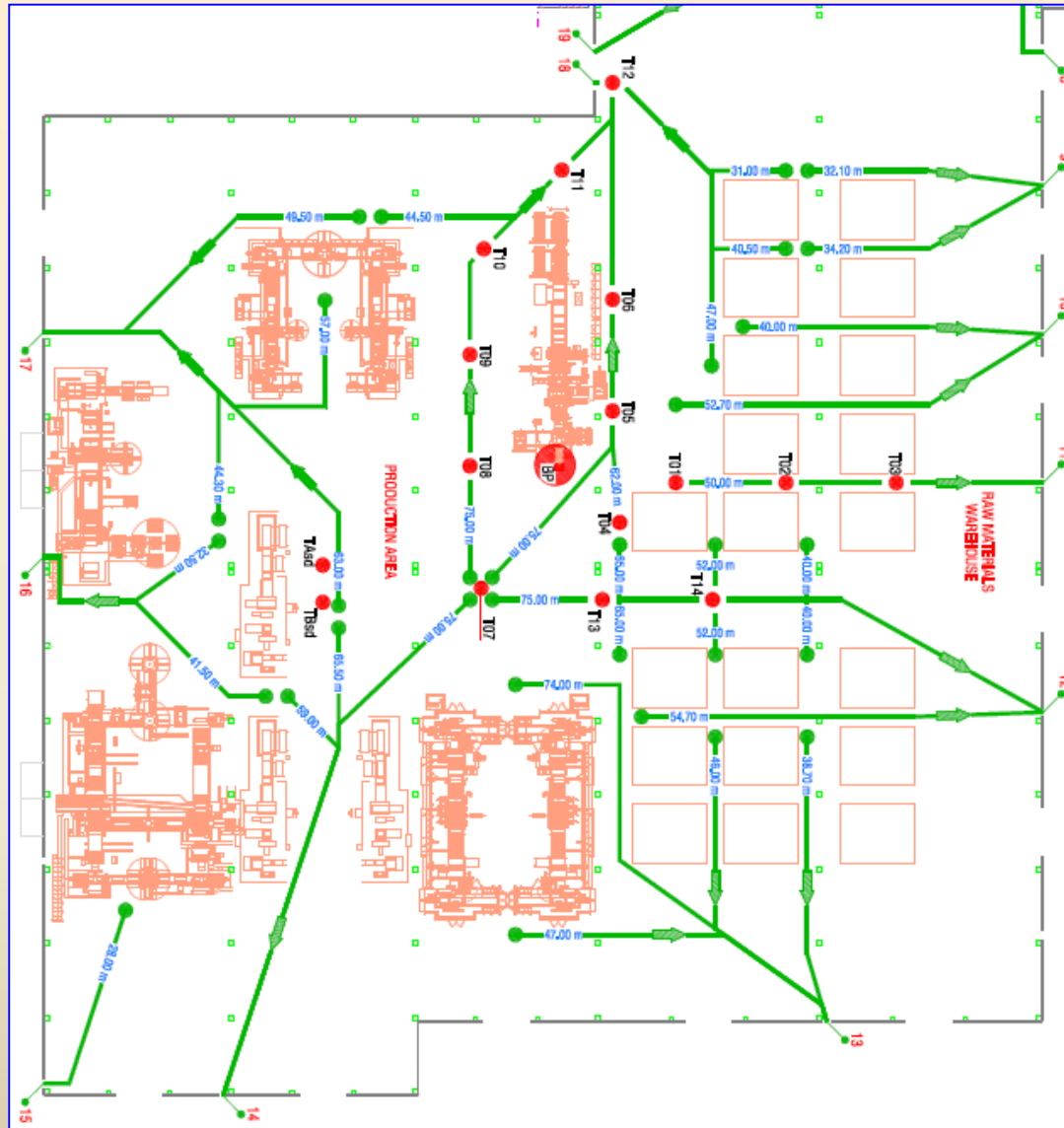
XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano



# CdF – CENTRO DI FINITURA



Area produttiva



Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD

XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano

# CdF – CENTRO DI FINITURA

- E' stata prevista una compartimentazione con doppia lama d'acqua tra le due aree, consentendo in ogni caso il passaggio dei carroponi.
- Le lame d'acqua sono azionate dal sistema di rilevazione incendi presente all'interno di ciascuna area.
- E' stata prevista la compartimentazione, con pareti non inferiori a REI 120, dei depositi di materie prime combustibili (carta, plastica, bancali di legno).

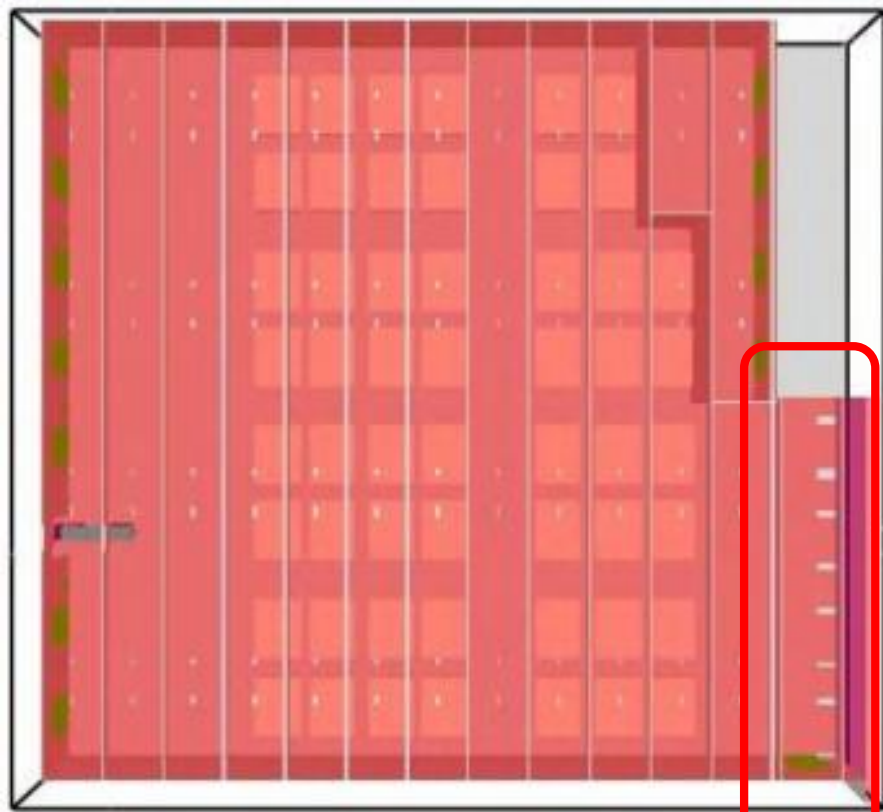
# CdF – CENTRO DI FINITURA

- Realizzato con elementi strutturali prefabbricati in cemento armato (travi e pilastri);
- Tamponature perimetrali realizzate in pannelli in cemento armato vibrato con interposto isolamento termico in poliuretano.

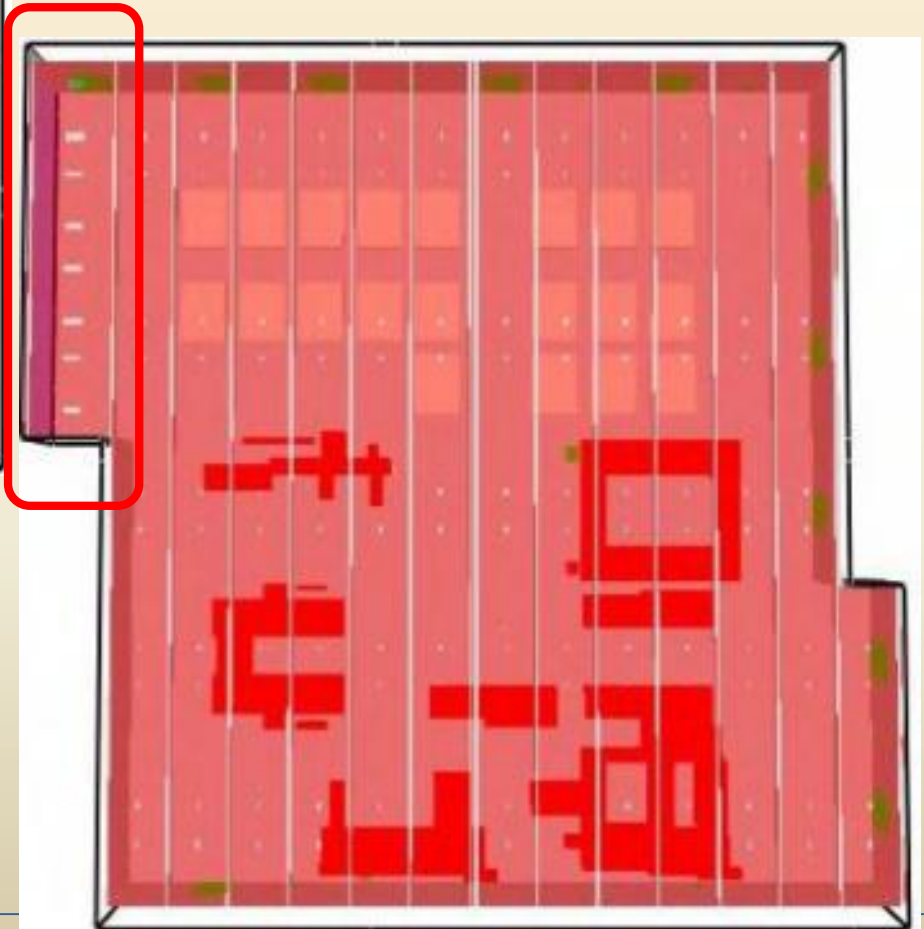
Previste aperture sulla copertura dell'intero capannone tramite torrini statici:

- nell'area lavorazione sono previste 124 aperture permanenti di aerazione, ciascuna di 0.6 mq;
- nell'area confezionamento sono previste 90 aperture permanenti di aerazione, ciascuna di 0.6 mq;
- nella zona posta a confine tra le due porzioni sono previste 8 aperture permanenti, ciascuna da 3.6 mq.

# CdF – CENTRO DI FINITURA



Area deposito e spedizioni



Area produttiva

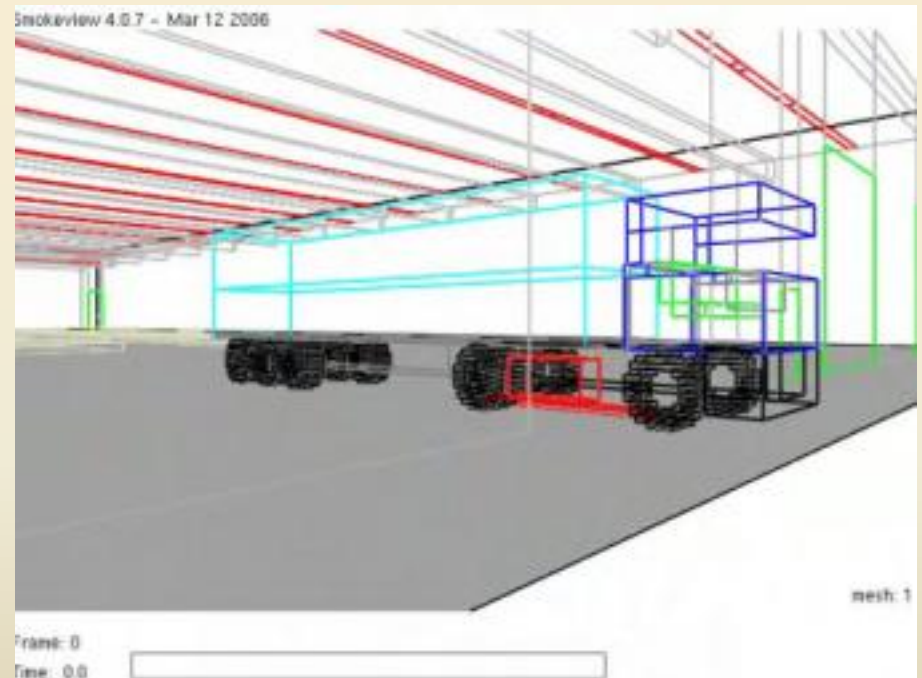
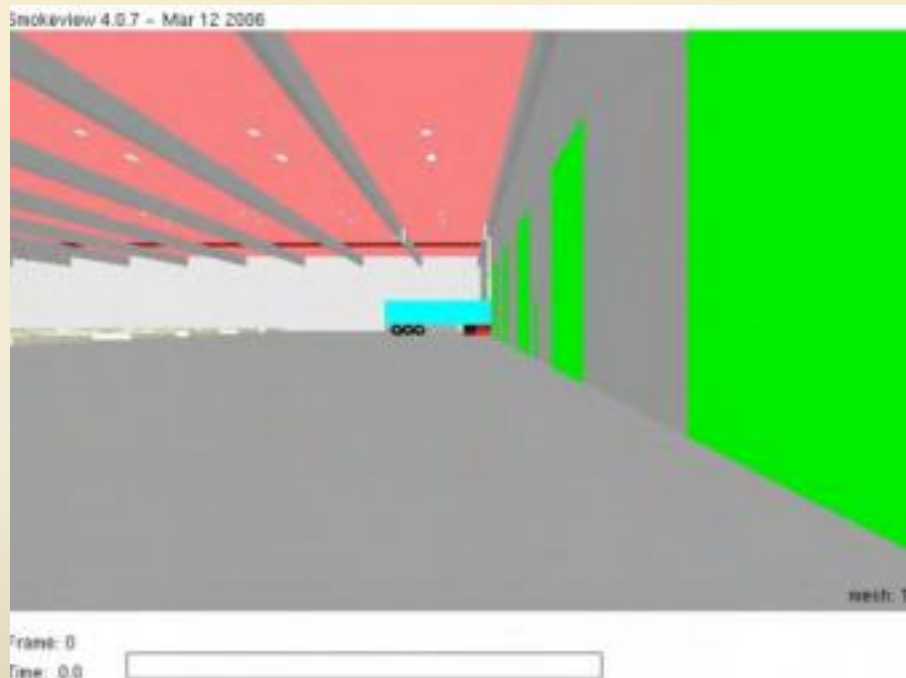
*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

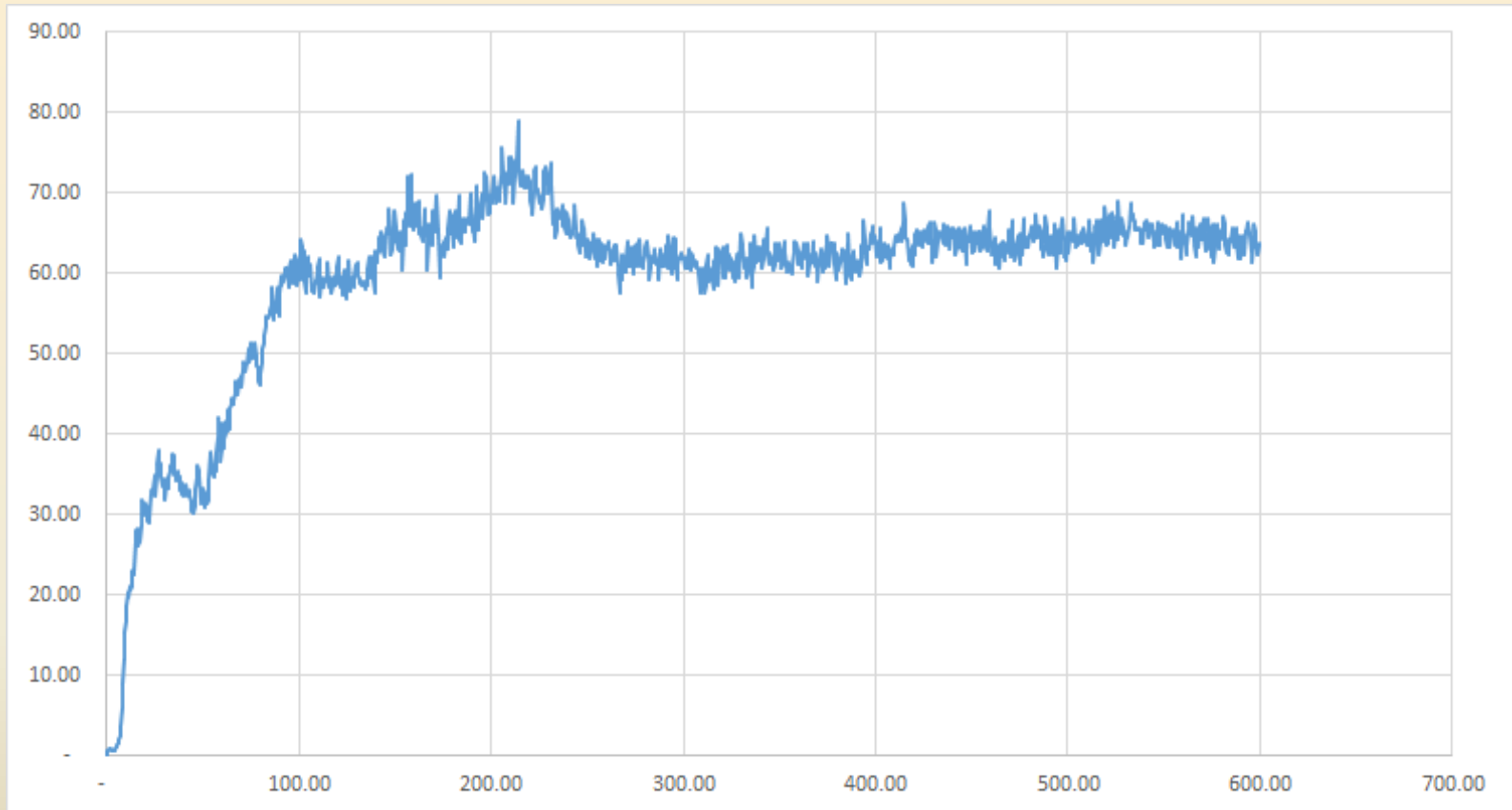
# CdF – CENTRO DI FINITURA

Sostanze potenzialmente pericolose:

- Autoarticolato
  - incendio di pneumatici, carburante e rivestimenti interni



# CDF – CENTRO DI FINITURA



Curva HRR [MW] nel tempo [s] - autoarticolato

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

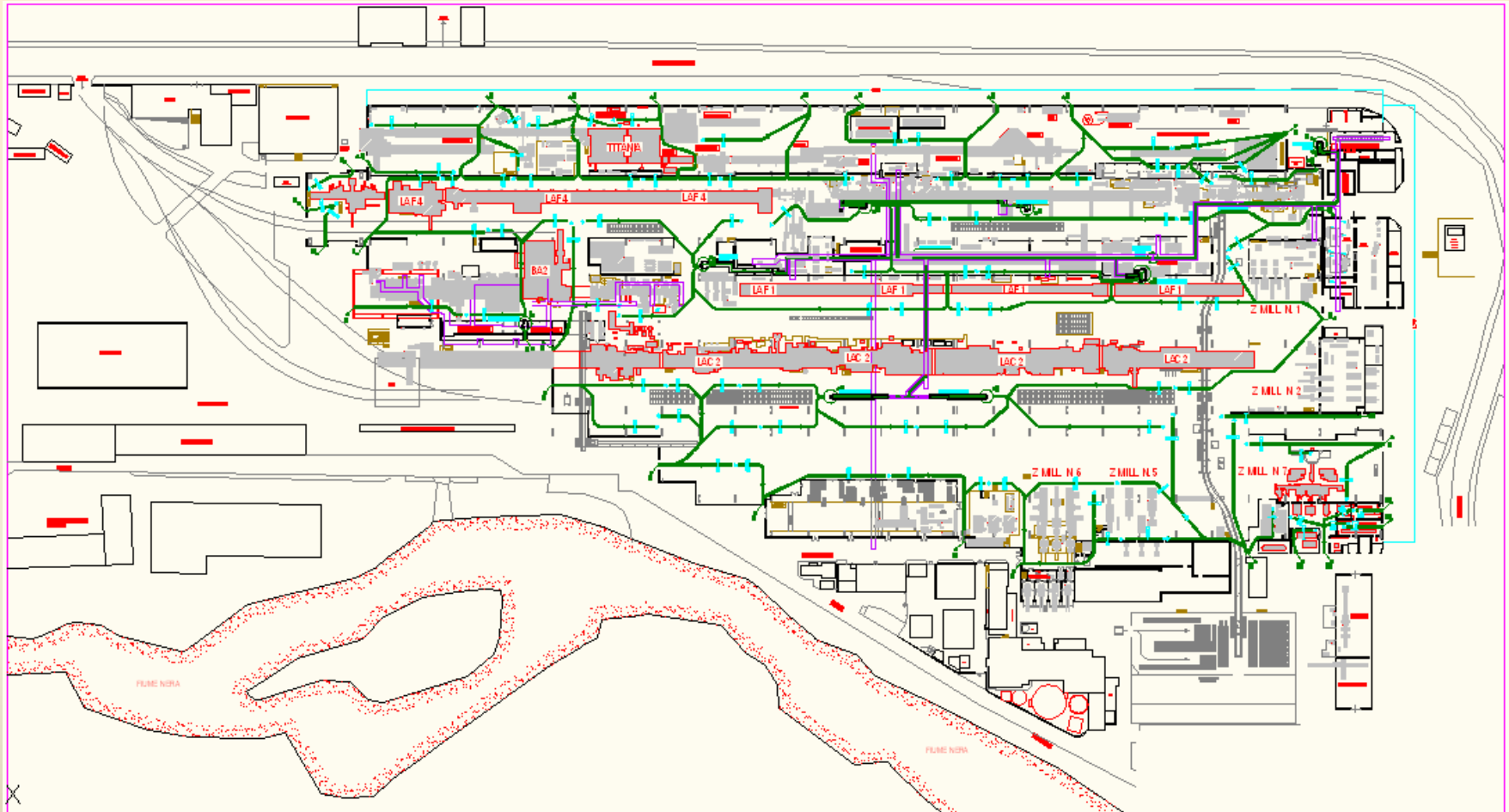
*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# PIX – REPARTO PRODUZIONE ACCIAIO INOX

- Superficie di circa 67.000 mq per una altezza esterna di circa 15 m.
- Installati i singoli impianti produttivi (linee e laminatoi) ed i relativi servizi (cabine, centrali oleodinamiche, officine, ecc.) che completano l'intero processo.
- Lunghezze massime dei percorsi di esodo fino a 90 m.



# PIX – REPARTO PRODUZIONE ACCIAIO INOX



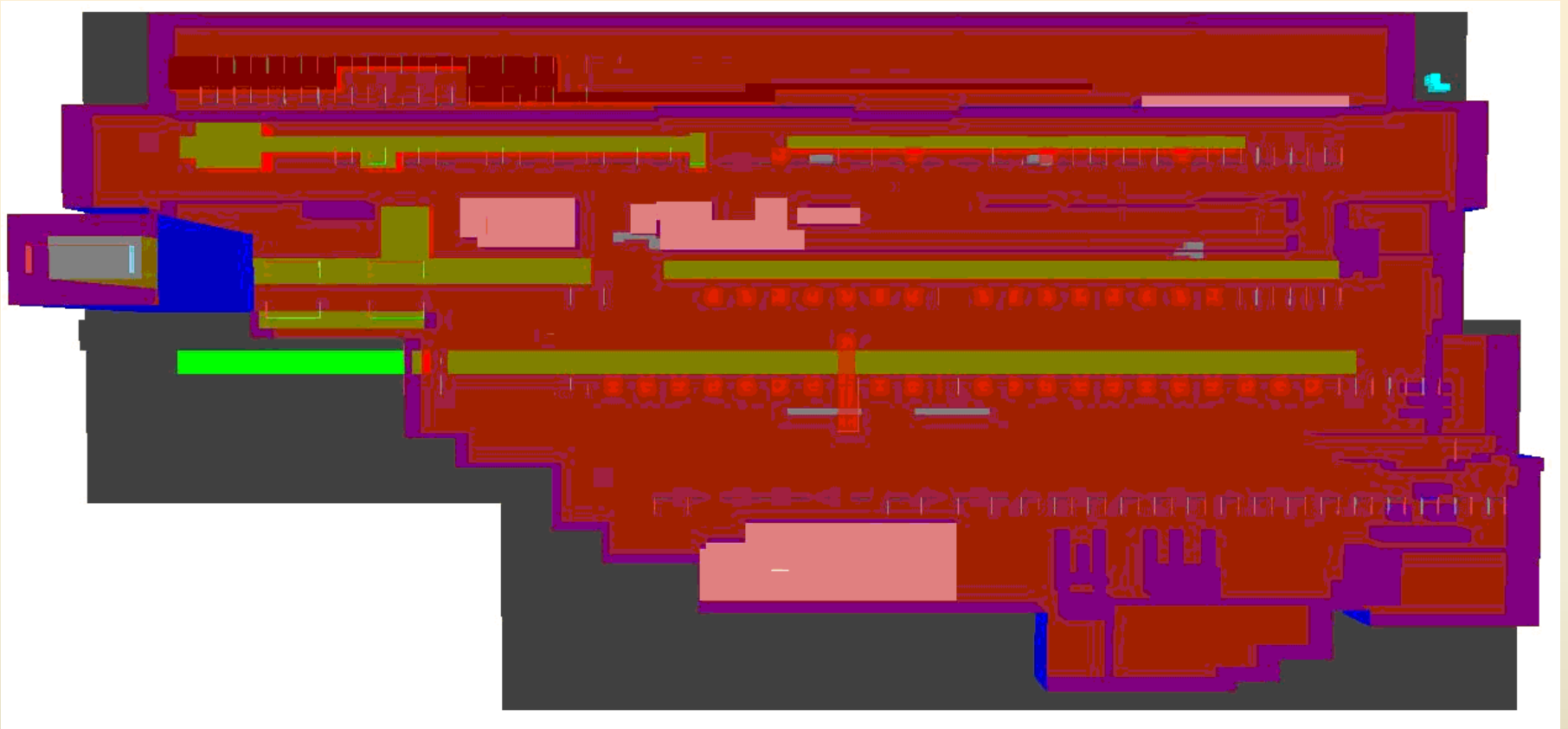
**Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD**

XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano

## Soluzioni:

- Realizzare percorsi di esodo protetti posti al piano interrato del capannone con accesso tramite filtri a prova di fumo.
- Compartimentare, con elementi non inferiori a REI 120, i locali posti al piano interrato.
- **Ricorrere all'approccio ingegneristico per dimostrare la compatibilità della superiore lunghezza con un esodo regolare delle persone all'interno del reparto.**

# PIX – REPARTO PRODUZIONE ACCIAIO INOX

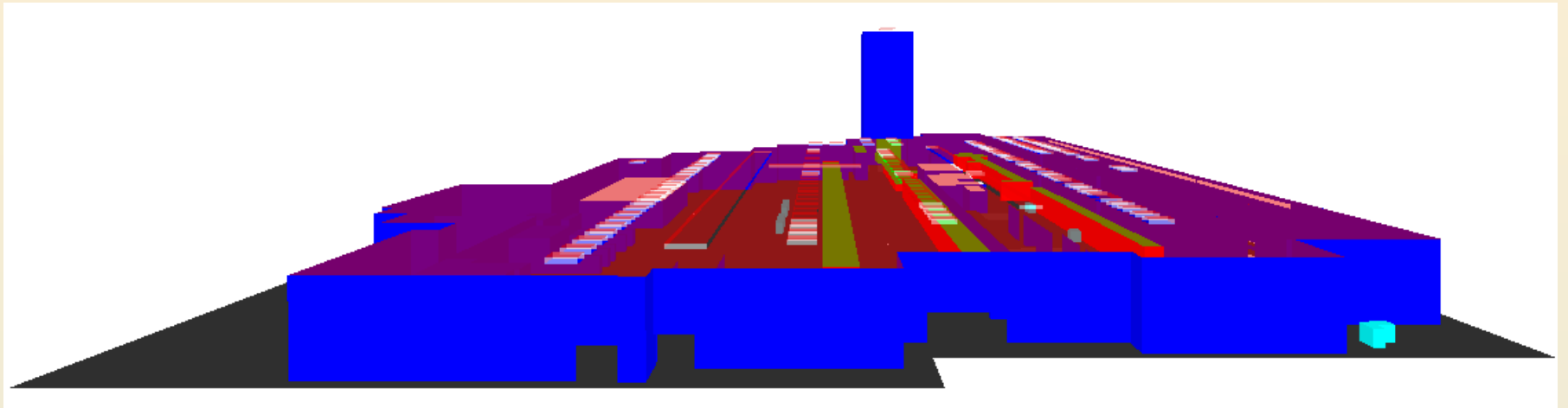


Vista dall'alto della modellazione FDS del reparto PIX

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# PIX – REPARTO PRODUZIONE ACCIAIO INOX

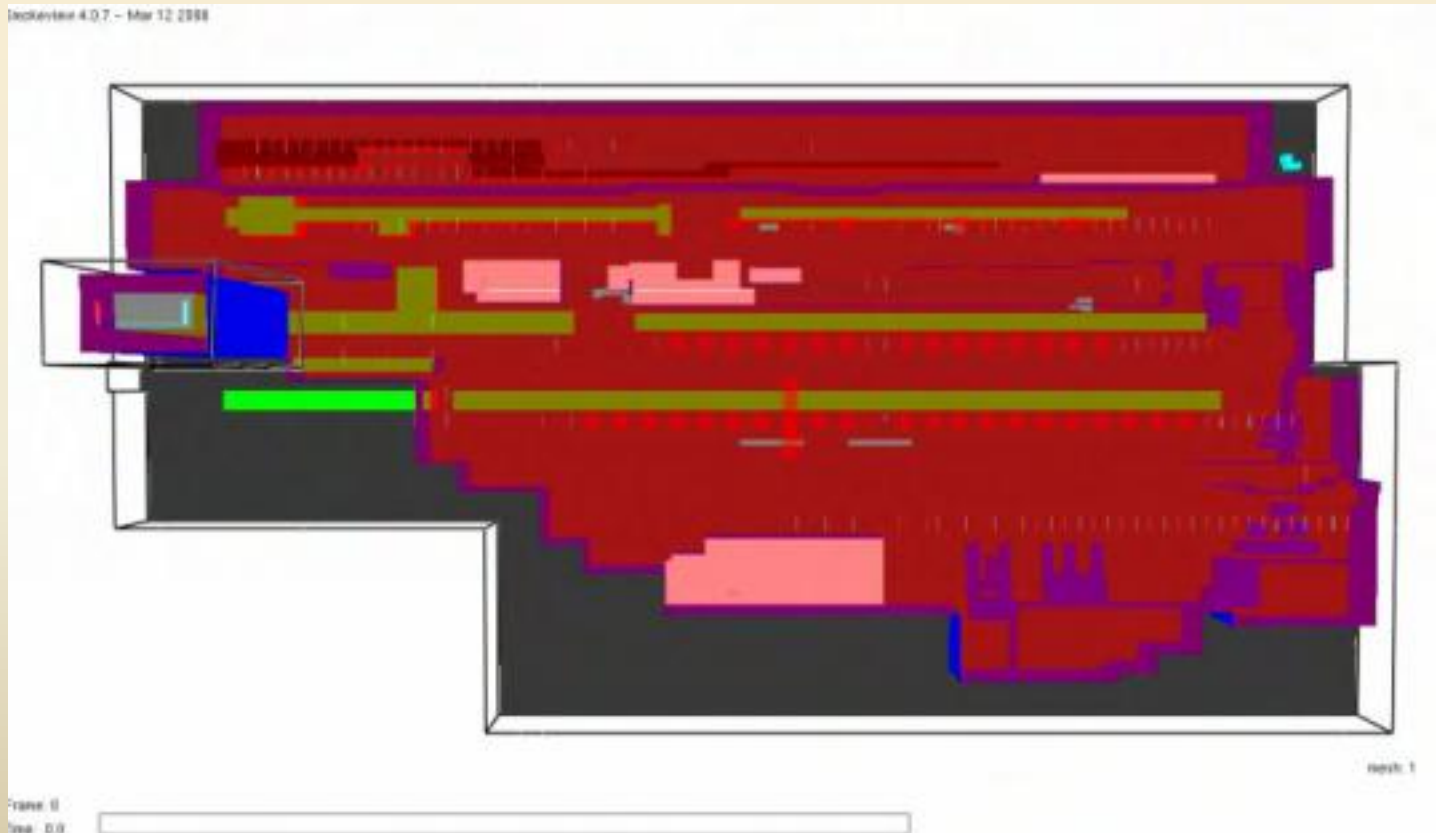


Vista di fianco della modellazione FDS del reparto PIX

# PIX – REPARTO PRODUZIONE ACCIAIO INOX

Sostanze pericolose:

- oli idraulici contenuti nelle centraline:
  - incendio di una pozza di olio nel bacino di raccolta



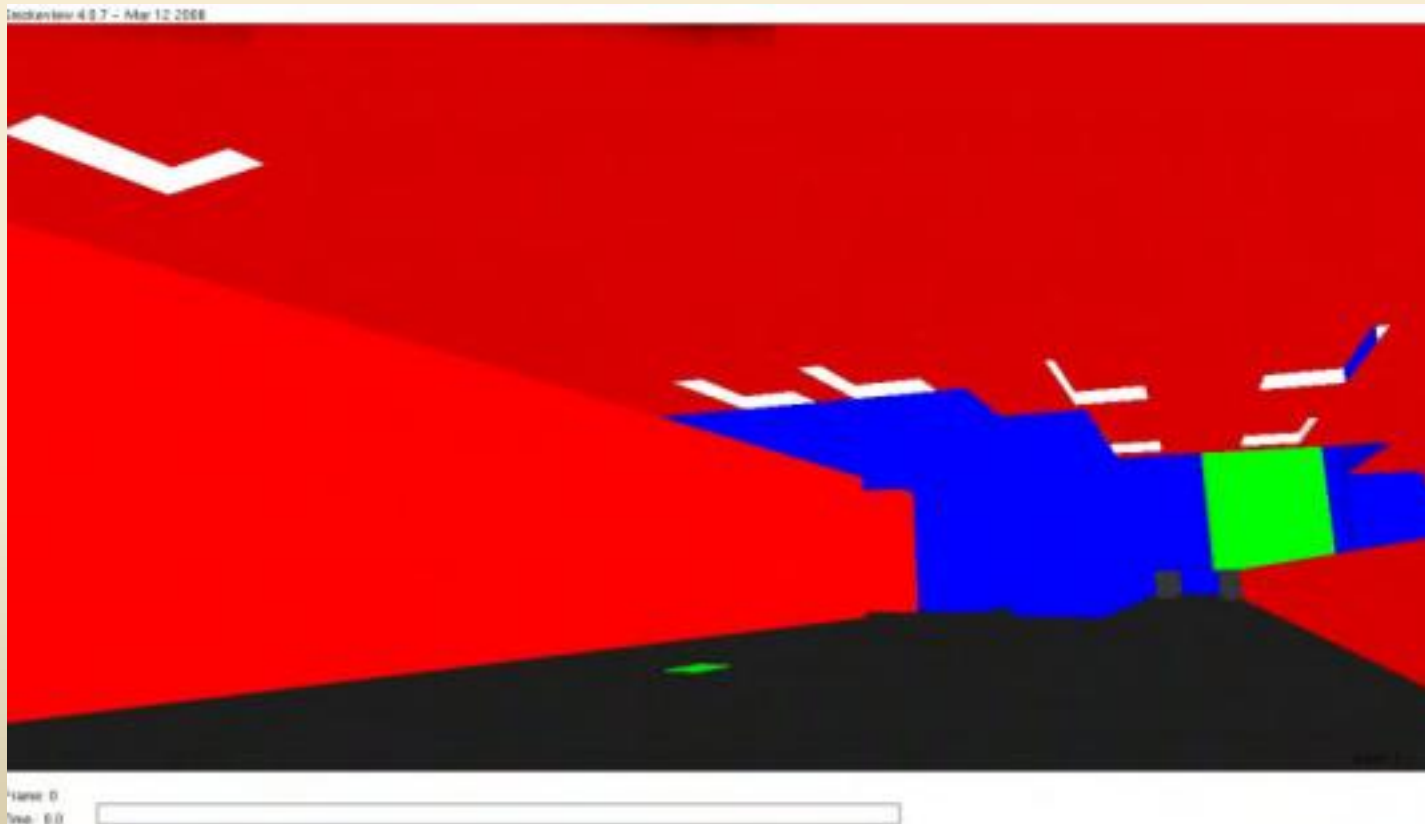
*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# PIX – REPARTO PRODUZIONE ACCIAIO INOX

Sostanze pericolose:

- oli idraulici contenuti nelle centraline:
  - incendio di una pozza di olio nel bacino di raccolta



*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# PIX – REPARTO PRODUZIONE ACCIAIO INOX

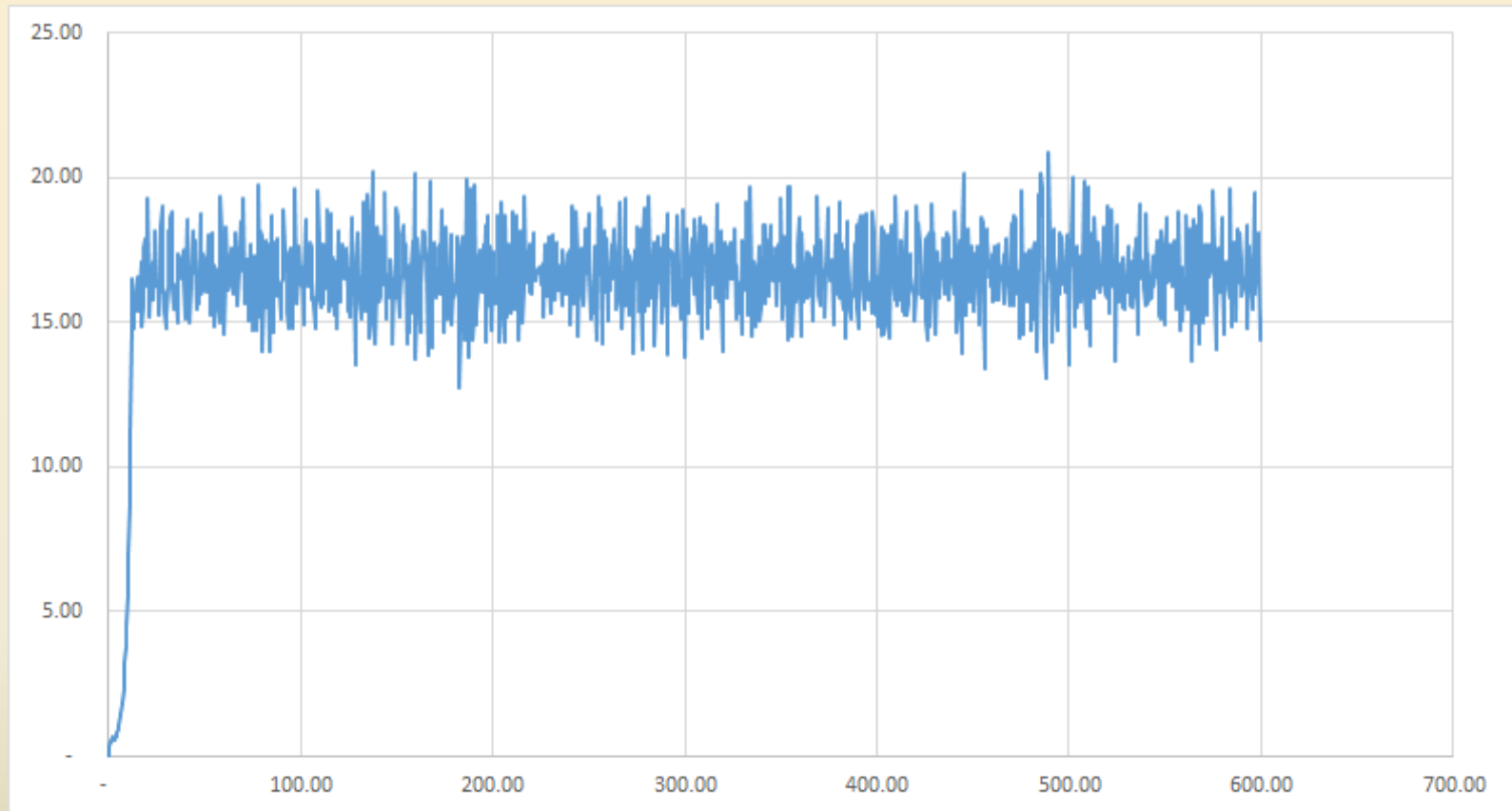


Scenario retrogabbia del laminatoio: vista dall'esterno del reparto PIX

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# PIX – REPARTO PRODUZIONE ACCIAIO INOX



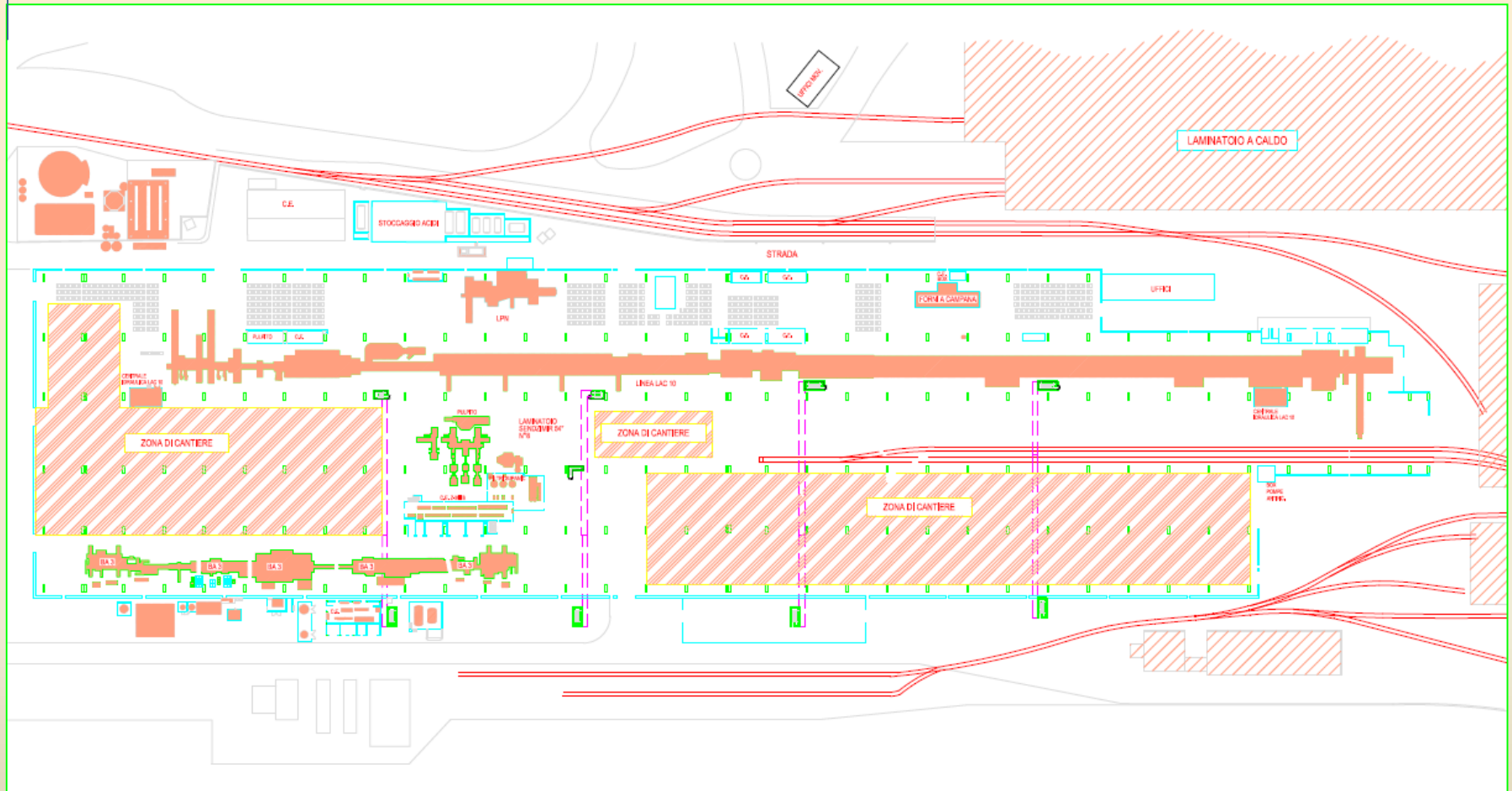
Curva HRR [MW] nel tempo [s] – olio nel retrogabbia del laminatoio

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*



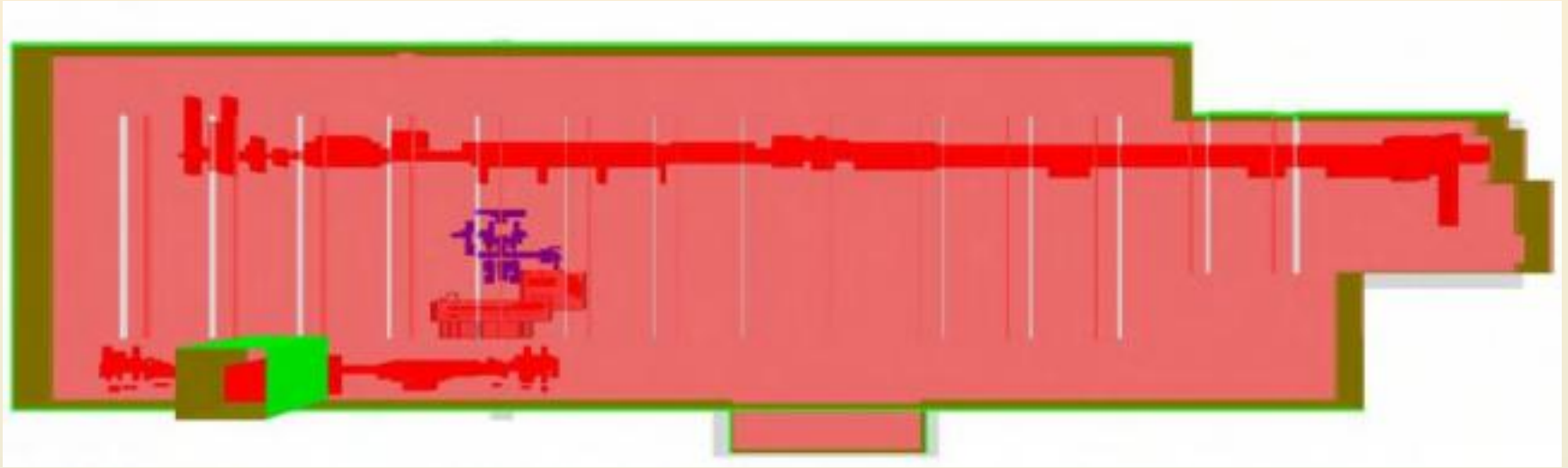
- Laminazione a freddo e processi di trattamento superficiale di lamiera in acciaio inossidabile per la formazione finale di bobine
- Capannone con superficie di circa 57.000 mq e altezza esterna di circa 20 m
- Aree con presenza di impianti produttivi e aree che al momento sono in fase di cantiere
- Percorsi che raggiungono i 70 m



Pianta dello stabilimento

- Realizzato con elementi strutturali (travi e pilastri) totalmente in carpenteria metallica; tamponature perimetrali e copertura in pannelli in lamiera,
- compartimentazione, non inferiore a REI 120, con i locali posti al piano interrato,
- aperture di areazione costituite da porte e aperture alettate a nastro poste sulle pareti perimetrali,
- aperture poste uniformemente sulla copertura dell'intero capannone tramite torrini statici

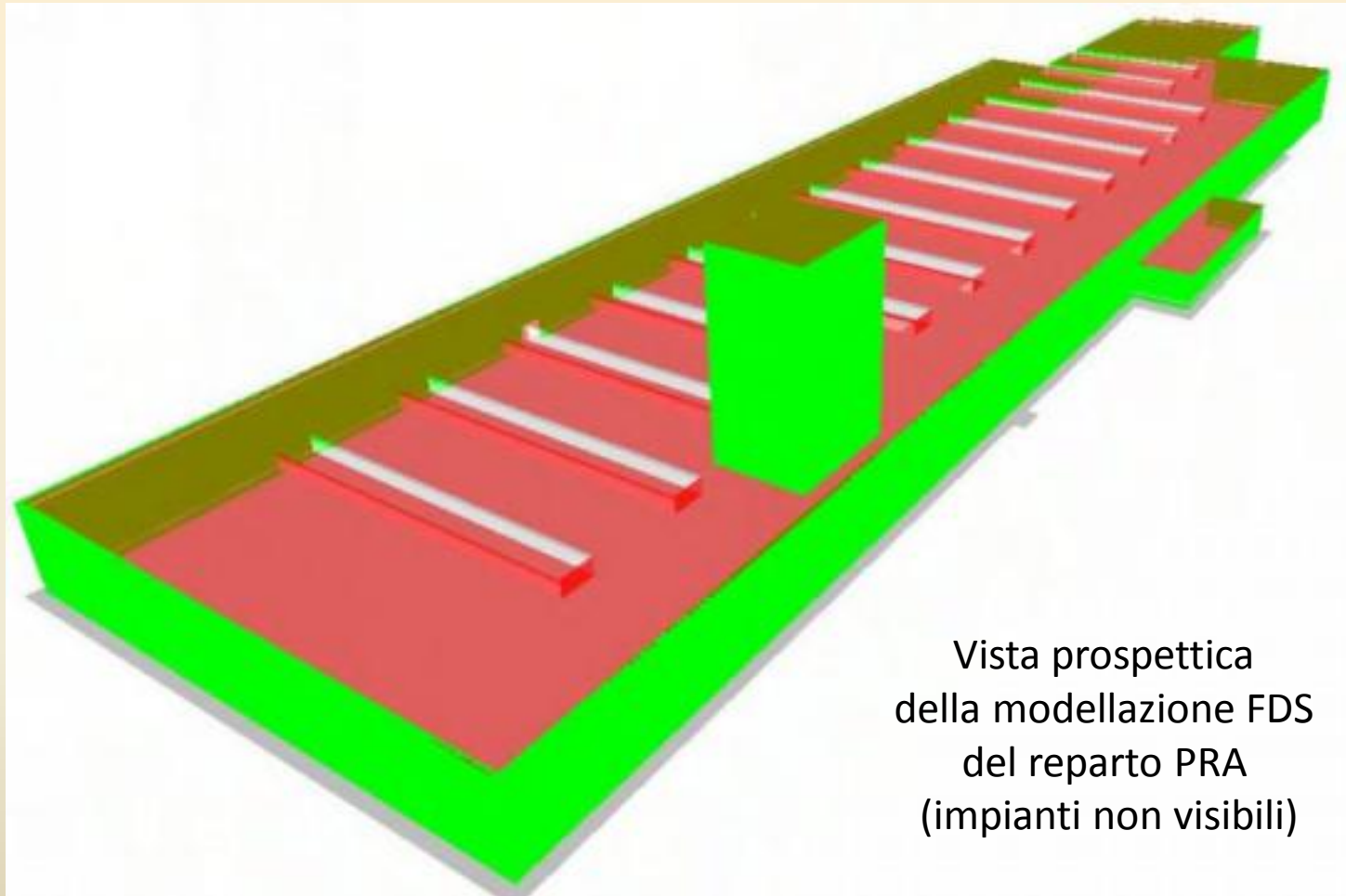
# REPARTO PRA



Vista dall'alto della modellazione FDS del reparto PRA

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

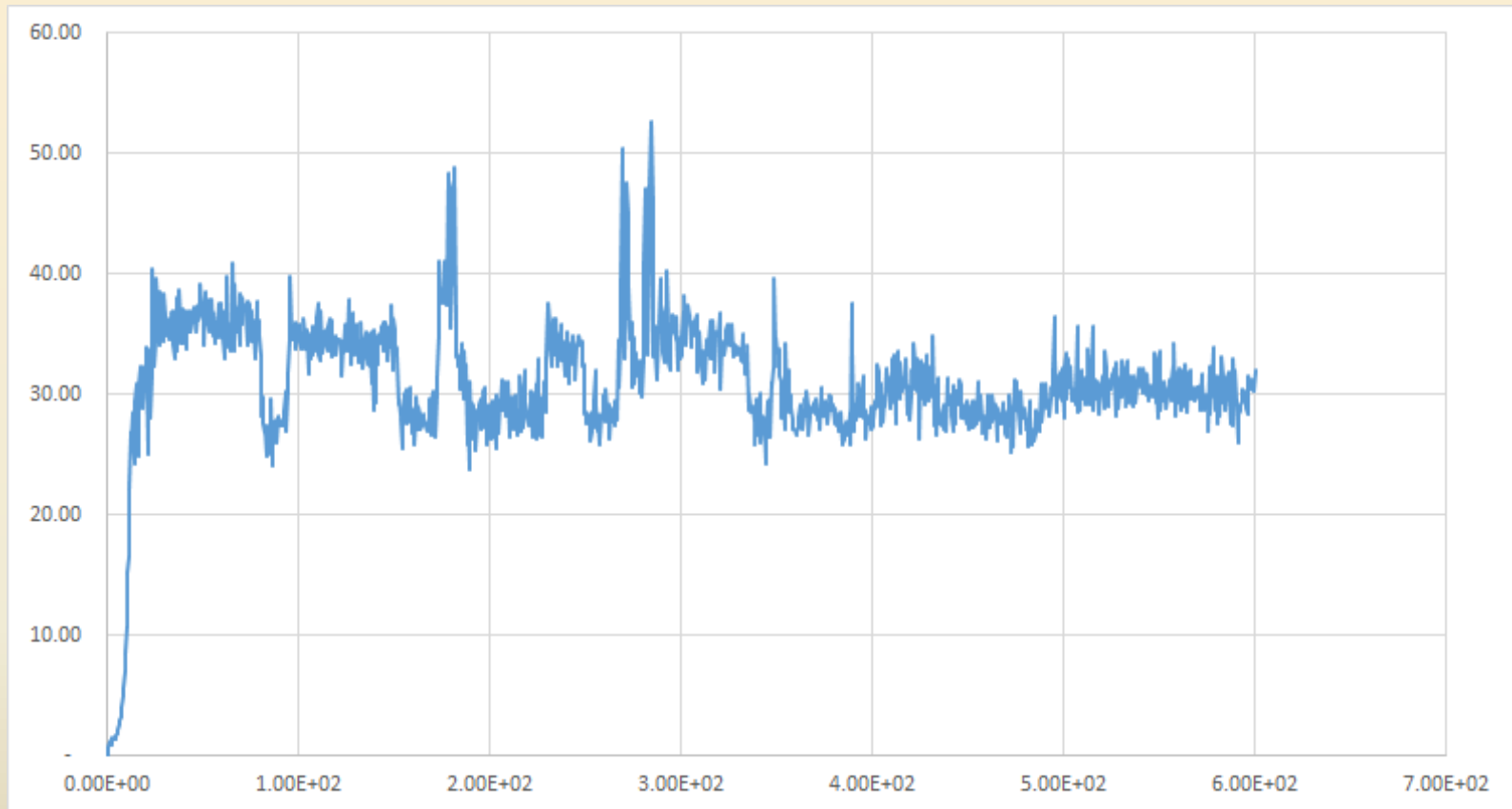
*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*



Vista prospettica  
della modellazione FDS  
del reparto PRA  
(impianti non visibili)

- Sostanze pericolose:
  - oli di laminazione e oli idraulici contenuti nelle centraline per la movimentazione di componenti meccanici dei macchinari:
    - Incendio di una pozza nel bacino di raccolta posto sotto alla centralina stessa.

# REPARTO PRA

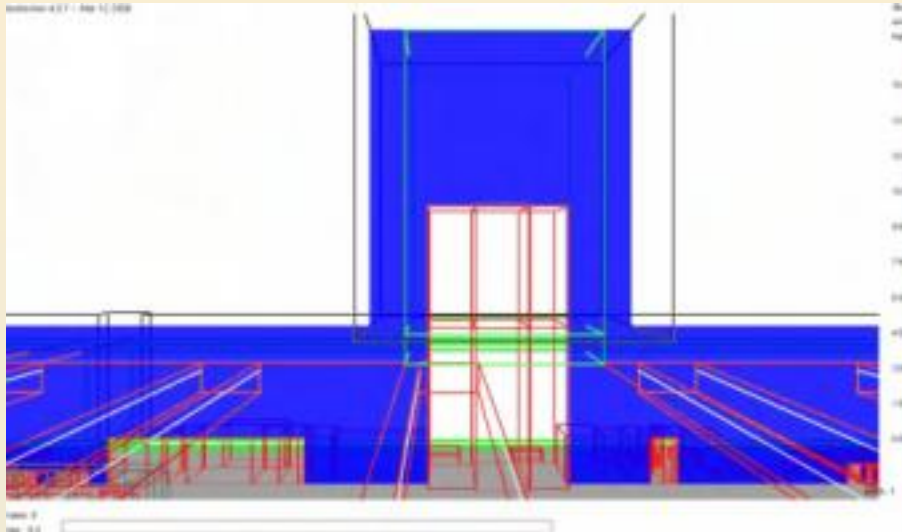


Curva HRR [MW] nel tempo [s] – olio nel retrogabbia del laminatoio

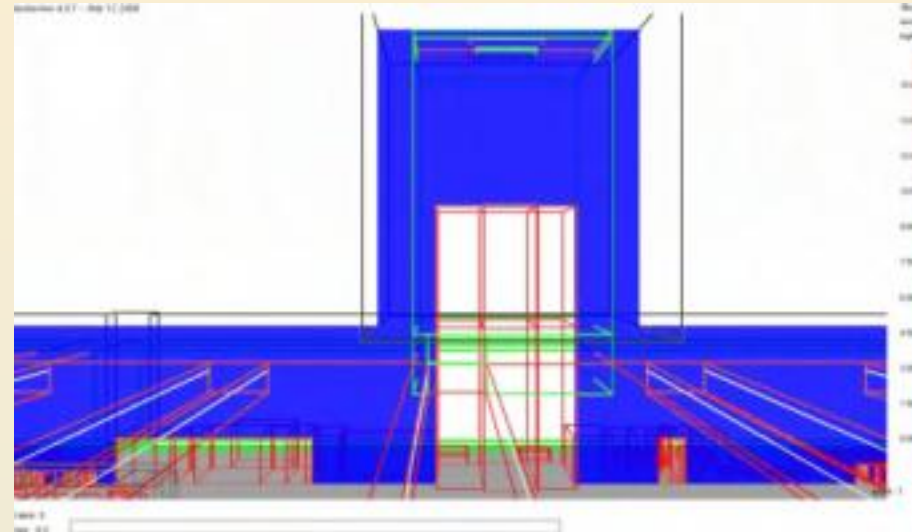
*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# INDICAZIONI PROGETTUALI



Densità dei fumi nella torre PRA  
senza torrino e veletta



Densità dei fumi nella torre PRA  
con torrino e veletta

Scenario supplementare con aggiunta di un **torrino** e di una **veletta di compartimentazione dei fumi** (posta ai piedi della torre)

**Densità di fumo presente all'interno della torre diminuisce**

(fumo bloccato in gran parte dalla veletta, rimanente evacuato da torrino).

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*



# INTRODUZIONE - MAGAZZINI

D.M. 9 Maggio 2007



“Processo di valutazione e progettazione  
nell’ambito dell’approccio ingegneristico  
alla sicurezza antincendio”

applicato ad alcuni magazzini  
di uno stabilimento industriale

- ✓ MAGAZZINO MATERIALE A
- ✓ MAGAZZINO MATERIALE B
- ✓ MAGAZZINO CENTRALE

# MAGAZZINI

- ✓ MAGAZZINO MATERIALE A
- ✓ MAGAZZINO MATERIALE B
- ✓ MAGAZZINO CENTRALE



## NECESSITÀ

incremento della capacità di stoccaggio dei magazzini

	PRIMA <sup>1</sup>	DOPO <sup>2</sup>	Incremento
	[t]	[t]	% <sub>m</sub>
Magazzino Materiale A 1	48,6	160,0	233,3
Magazzino Materiale A 2	70,2	160,0	99,4
Magazzino Materiale B	84,1	140,0	66,5
Magazzino Centrale - comparto A	174,9	390,8	123,4
Magazzino Centrale - comparto B	100,4	264,0	162,9
Magazzino Centrale - comparto C	217,0	541,3	149,4



## CRITICITÀ

carico di incendio specifico elevato

(calcolato secondo approccio prescrittivo D.M. 09.03.2007)



## SOLUZIONE

con la metodologia prevista dal D.M. 09.05.2007

superare l'approccio prescrittivo dettato dal D.M. 09.03.2007

**per assicurare la percorribilità delle vie di esodo e la sicurezza dei soccorritori**

# ANALISI PRELIMINARE

- ✓ MAGAZZINO MATERIALE A
- ✓ MAGAZZINO MATERIALE B
- ✓ MAGAZZINO CENTRALE



DIFFERENZE  
per tipologia di materiale presente  
modalità di stoccaggio



SIMILITUDINI  
impianti di protezione attiva e passiva  
elementi strutturali



magazzino materiale A



magazzino materiale B



magazzino centrale

# MAGAZZINO MATERIALE A

Magazzino destinato allo stoccaggio di balle di materiale denominato  
“materiale A”

Superficie = 1.040 m<sup>2</sup>

diviso in due compartimenti



**MATERIALE A 1**

S = 440 m<sup>2</sup>

materiale depositato = 162 t

**MATERIALE A 2**

S = 600 m<sup>2</sup>

materiale depositato = 140 t



balle di materiale A nel magazzino

# MAGAZZINO MATERIALE A – RESISTENZA AL FUOCO / AERAZIONE

## RESISTENZA AL FUOCO

- ✓ tamponature di compartimentazione con il reparto produttivo in muratura con resistenza al fuoco non inferiore a REI 120
- ✓ elementi strutturali (travi e pilastri) in cemento armato aventi caratteristiche di resistenza al fuoco non inferiori a REI 120
- ✓ pannelli di rivestimento del soffitto aventi caratteristiche di resistenza al fuoco non inferiori a REI 120

## SUPERFICI DI AERAZIONE

- ✓ distribuite uniformemente tramite (finestrature continue del tipo “a nastro”)
- ✓ evacuatori di fumo e calore (EFC) a soffitto, collegati a sistema di rilevazione fumi
- ✓ EFC: dimensione unitaria = 1,5 x 1,5 m (n°2 per MATERIALE A 1, n°4 per MATERIALE A 2)
- ✓ Umidità relativa nei depositi: 65%

# MAGAZZINO MATERIALE A – RILEVAZIONE, SPEGNIMENTO, ALLARME

## SISTEMA AUTOMATICO DI RILEVAZIONE INCENDI

rilevatori di fumo (del tipo puntiforme)  
i quali comandano...



- ✓ l'attivazione automatica del sistema a preazione dell'impianto sprinkler
- ✓ l'apertura degli EFC
- ✓ l'attivazione dell'allarme acustico e luminoso
- ✓ la chiusura automatica porte verso reparto e verso filtro a prova di fumo
- ✓ IPOTIZZATA: apertura automatica portone verso spazio scoperto
- ✓ impianto sprinkler (del tipo a preazione)

# MAGAZZINO MATERIALE A – FASE II (analisi quantitativa)

## IPOSTESI ALLA BASE DEI MODELLI

Murature e solai:

- ✓ colonne e tamponature: proprietà termiche specifiche
- ✓ solai: proprietà termiche del pannello di rivestimento REI 120

Persone presenti: elevato grado di familiarità con l'ambiente lavorativo

- ✓ velocità di esodo = 1,19 m/sec (affollamento max = 0,55 persone/m<sup>2</sup>)
- ✓ per percorrere max percorso di esodo (30 m) necessario tempo max = 35 s

Tempo di riferimento per valutare la percorribilità delle vie di esodo (occupanti):

$$\begin{aligned} & \mathbf{10\ s:} \text{ tempo di rilevazione dell'incendio} \\ & \quad + \\ & \mathbf{35\ s:} \text{ tempo max per percorrere percorso di esodo} \\ & \quad = \\ & \mathbf{45\ s} \end{aligned}$$

- ✓ incendi protratti a 100 s  
per valutare l'intervento degli sprinkler e ottenere la curva HRR (Heat Release Rate)

# MAGAZZINO MATERIALE A – FASE II (analisi quantitativa)

## IPOSTESI ALLA BASE DEI MODELLI

Ipotesi cautelativa:

gli sprinkler non spengono l'incendio, ma lo controllano, impedendone l'ulteriore propagazione

Pertanto negli scenari ove si osserva lo spegnimento dell'incendio nei 100 s, si estrapola la curva HRR (quantità in output dalle simulazioni a 100 s). La curva HRR viene poi corretta imponendo un andamento costante a partire dal suo picco massimo (dopo l'intervento degli sprinkler).

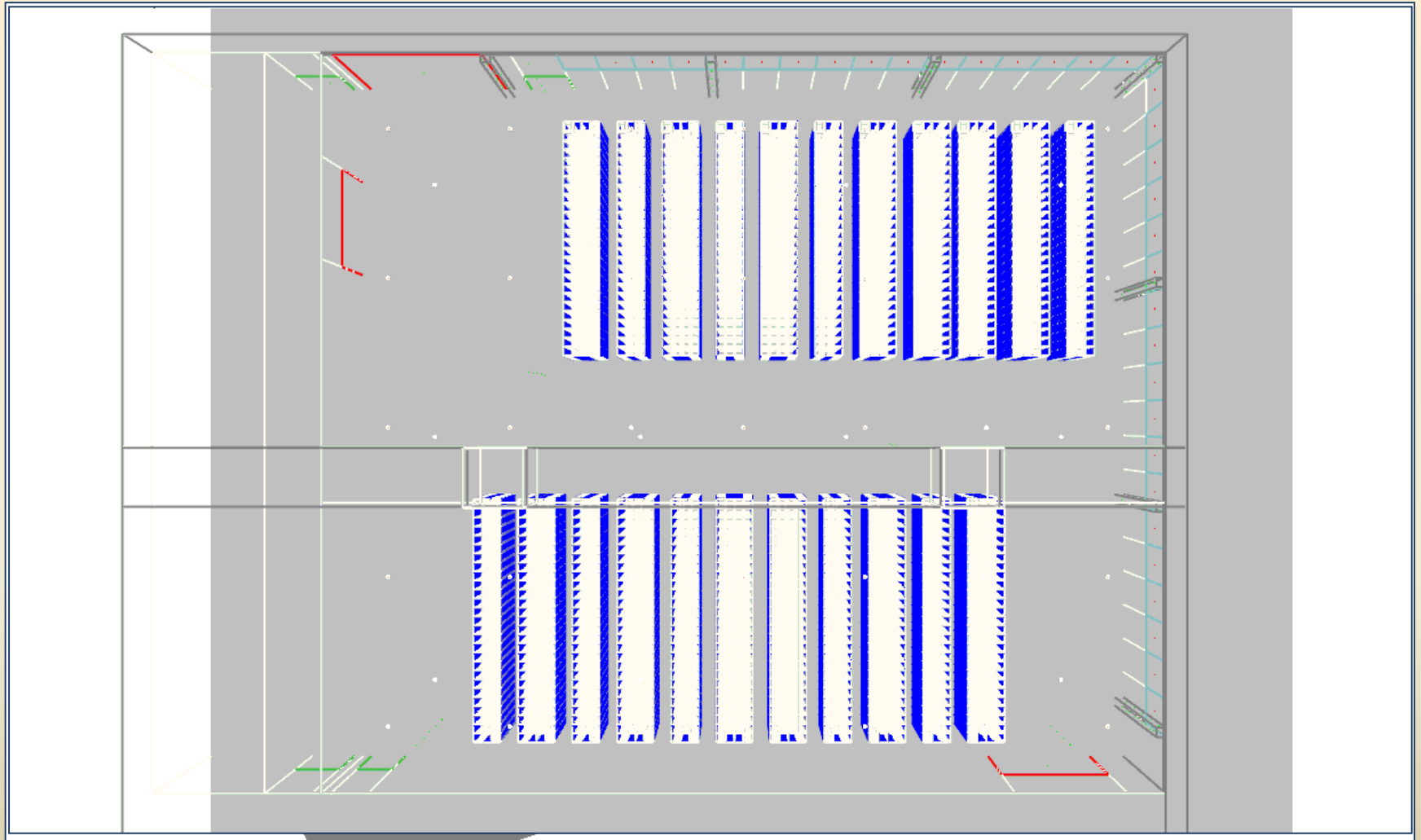
Tale curva "HRR corretta" viene fornita come input a una simulazione protratta cautelativamente per 300 s, al fine di valutare la sicurezza delle squadre di soccorso.

Tempi di riferimento:

$$\begin{aligned} & \mathbf{10\ s:} \text{ tempo di rilevazione dell'incendio} \\ & \quad + \\ & \mathbf{35\ s:} \text{ tempo max per percorrere percorso di esodo} \\ & \quad + \\ & \mathbf{200\ s:} \text{ tempo di intervento squadra antincendio (squadra interna di stabilimento)} \\ & \quad = \\ & \mathbf{245\ s} \end{aligned}$$



# MAGAZZINO MATERIALE A 1 – FASE II (analisi quantitativa)

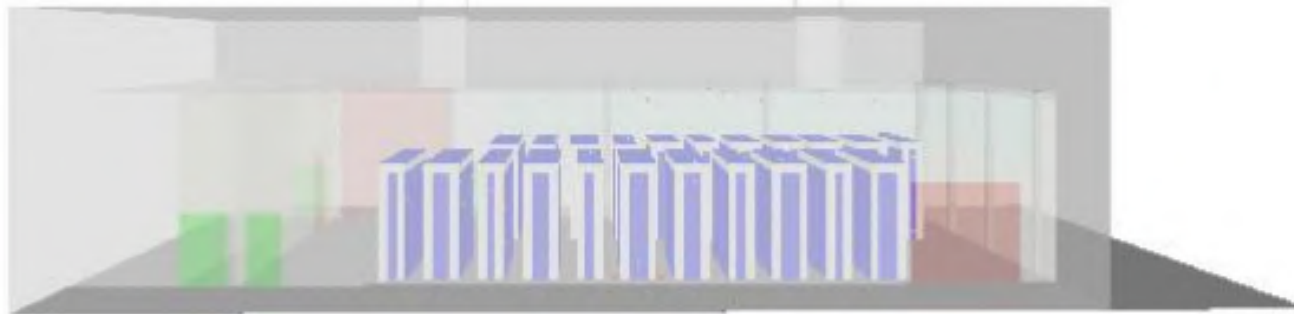


*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# MAGAZZINO MATERIALE A 1 – FASE II (analisi quantitativa)

Smokeview 5.5.8 - Sep 6 2010



mesh: 1

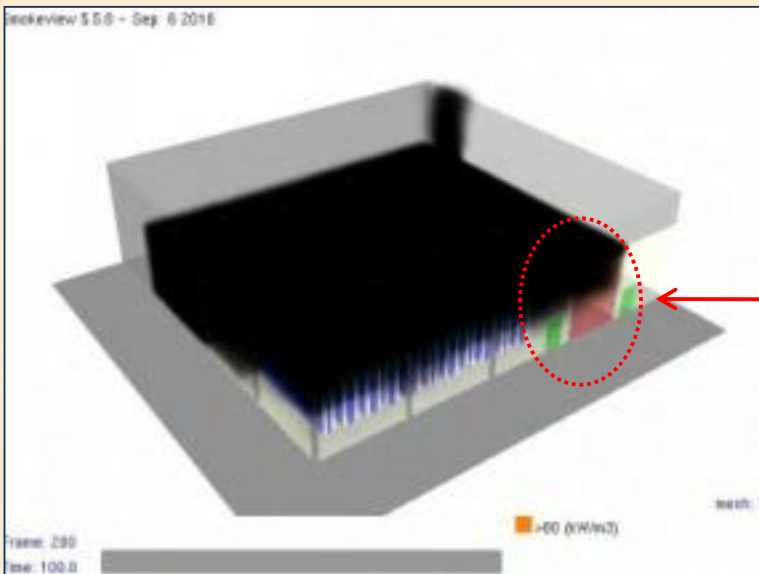
Frame: 199

Time: 100.0

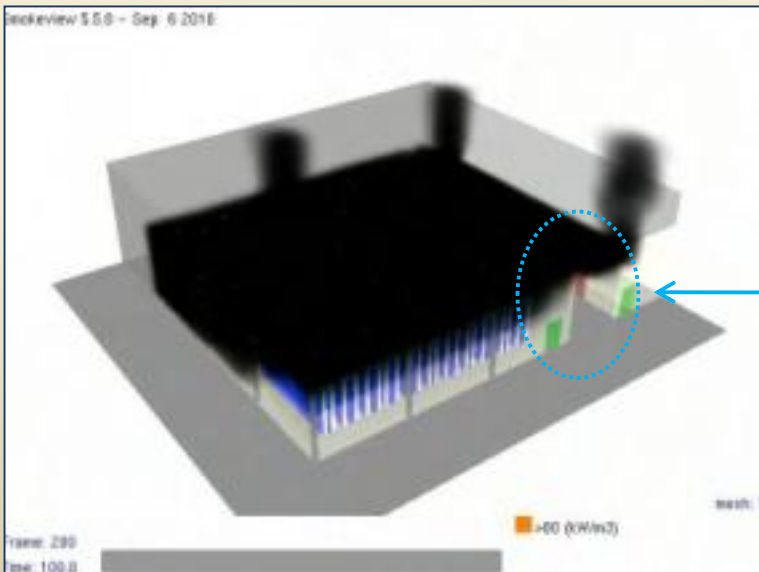
**Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD**

XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano

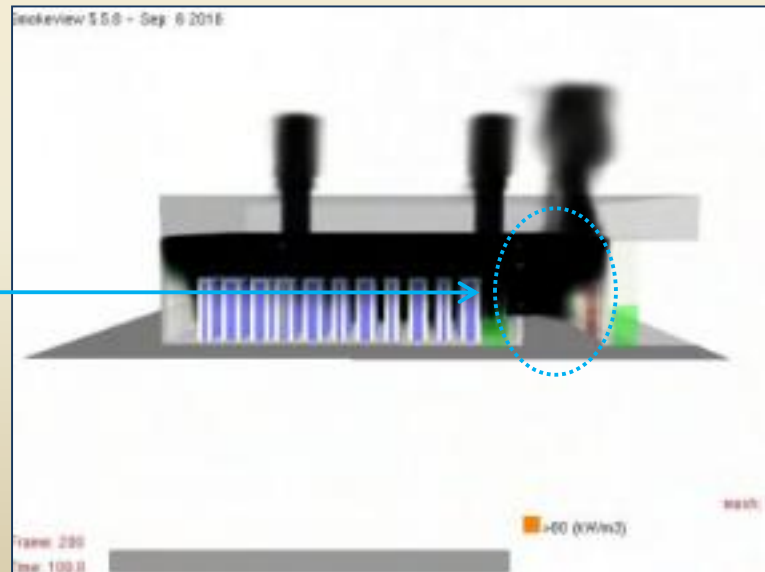
# MAGAZZINO MATERIALE A 1 – FASE II (analisi quantitativa)



**IPOSTESI**  
portone  
esterno  
**CHIUSO**

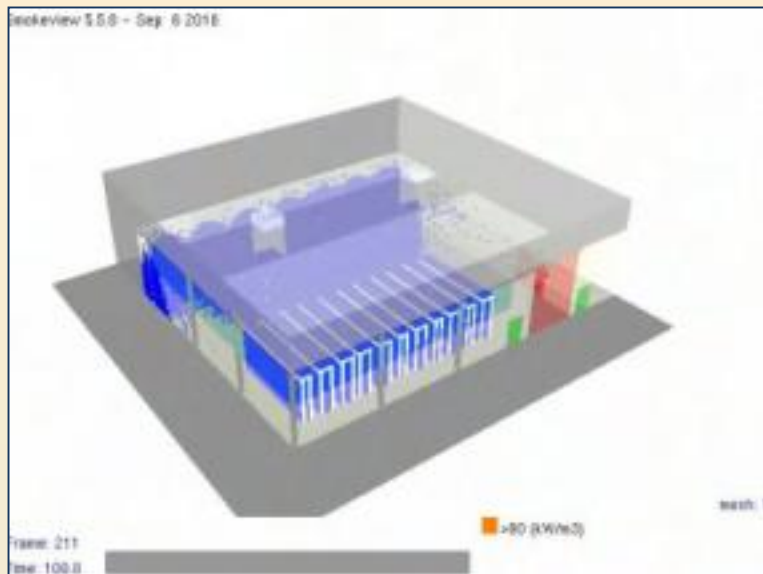


**IPOSTESI**  
portone  
esterno  
**APERTO**  
(con rilevazione)

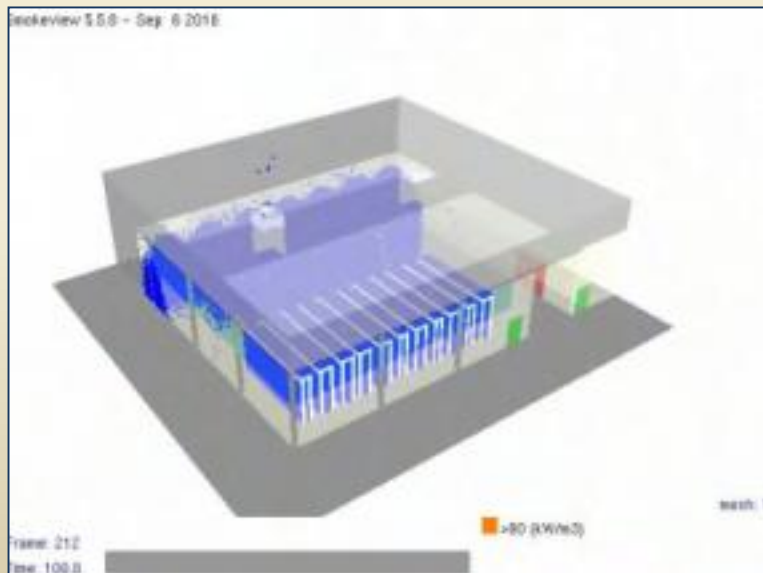
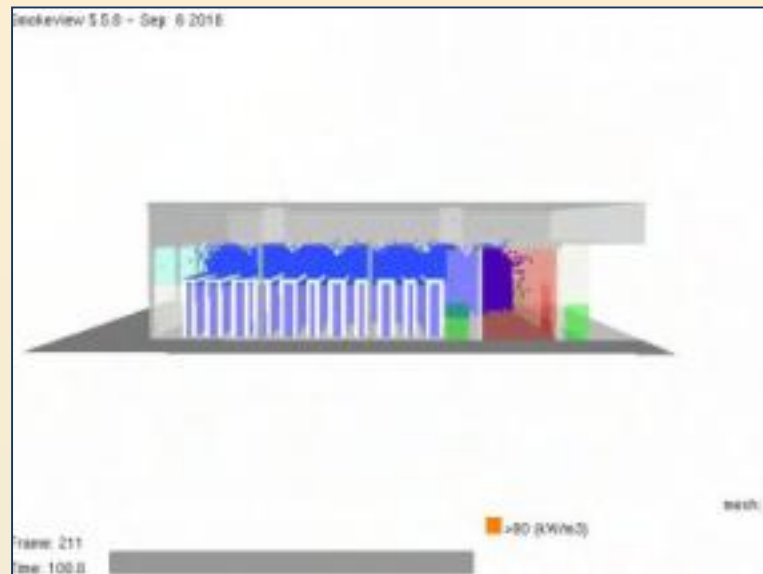


*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

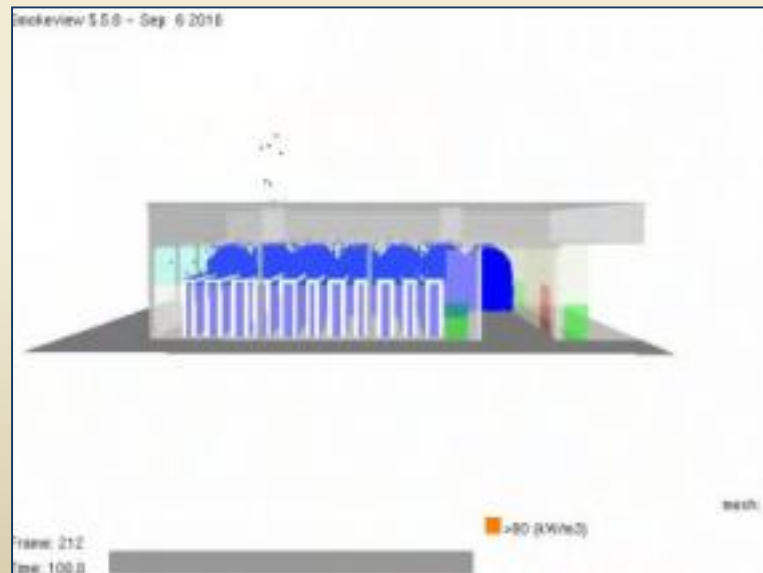
# MAGAZZINO MATERIALE A 1 – FASE II (analisi quantitativa)



**IPOSTESI**  
portone  
esterno  
**CHIUSO**



**IPOSTESI**  
portone  
esterno  
**APERTO**  
(con rilevazione)

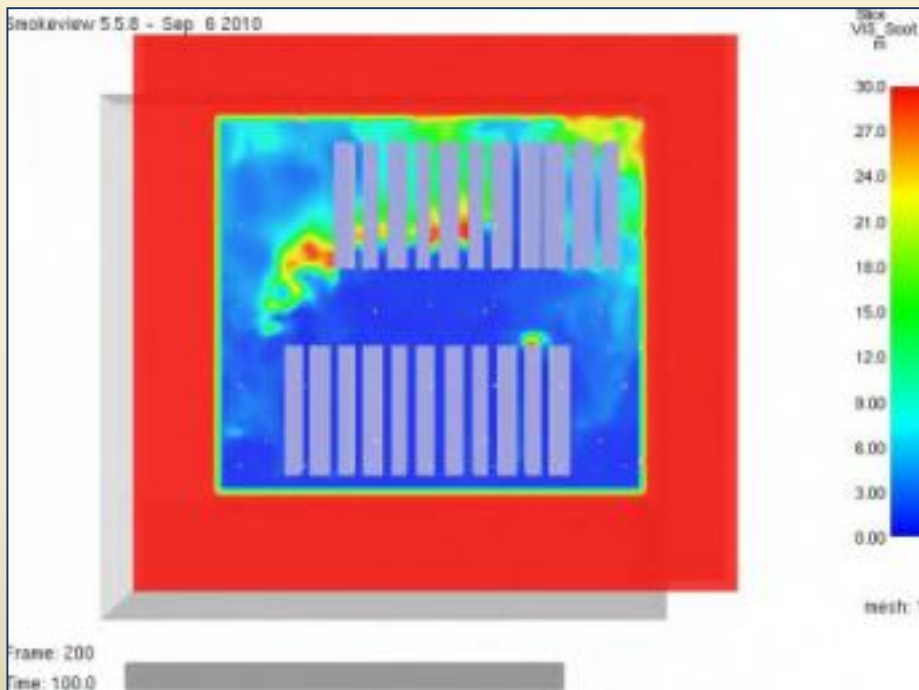


*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

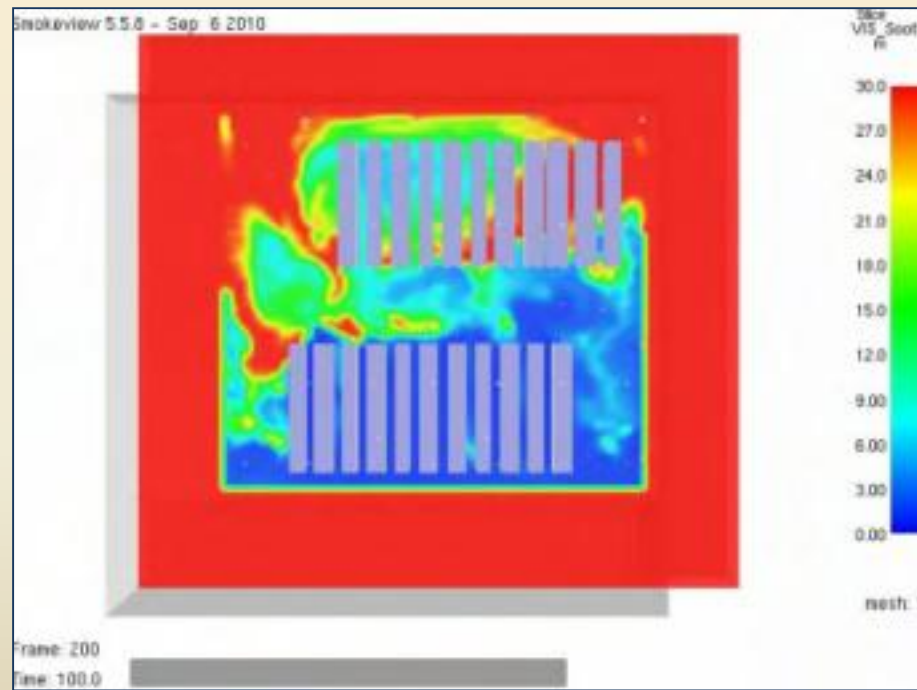
# MAGAZZINO MATERIALE A 1 – FASE II (analisi quantitativa)

VISIBILITÀ – vista in pianta (slicefile orizzontale a quota  $z = 2\text{m}$ )

portone verso esterno = CHIUSO

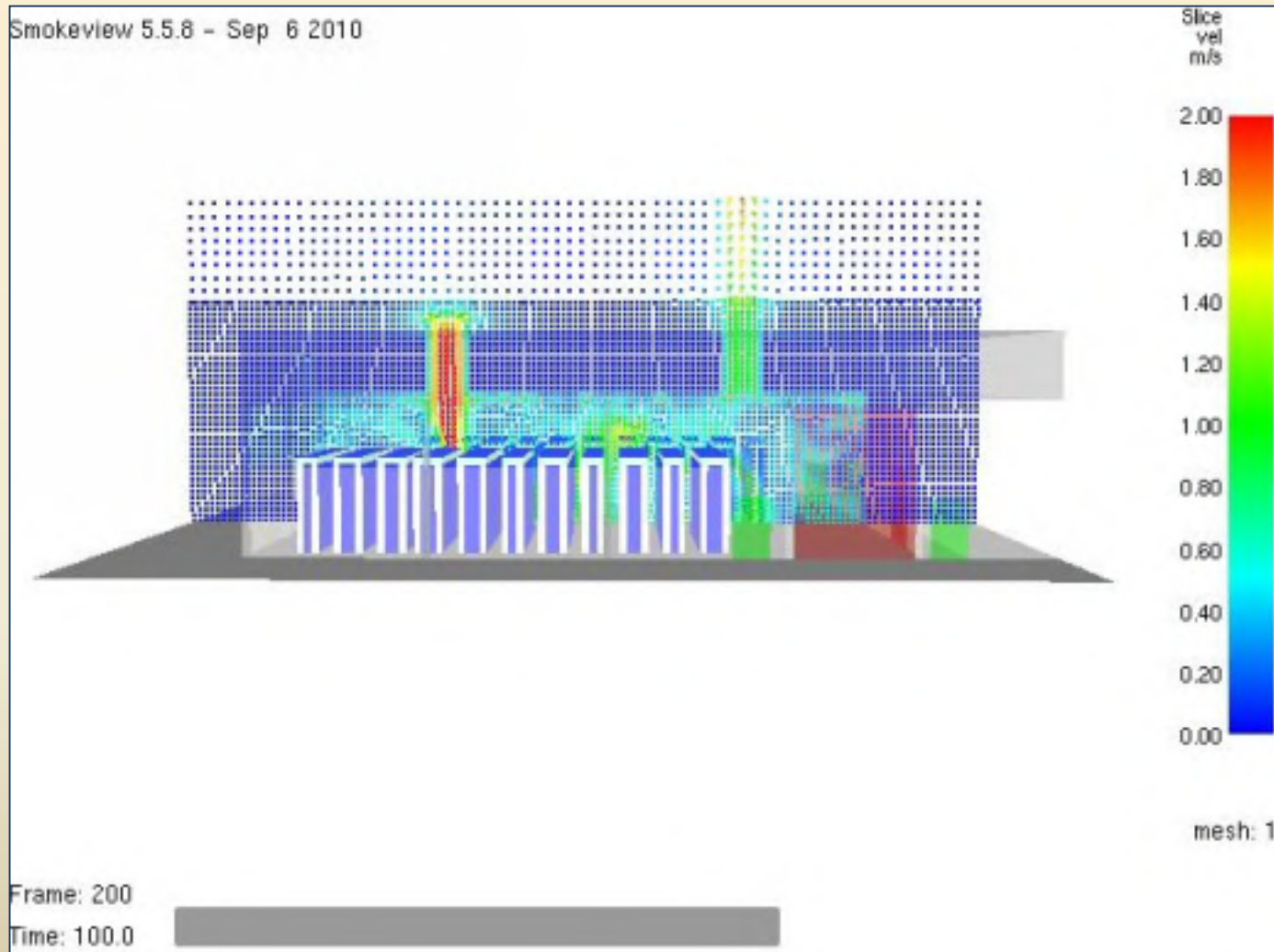


portone verso esterno = APERTO  
(mediante impianto rilevazione fumi)



# MAGAZZINO MATERIALE A 1 – FASE II (analisi quantitativa)

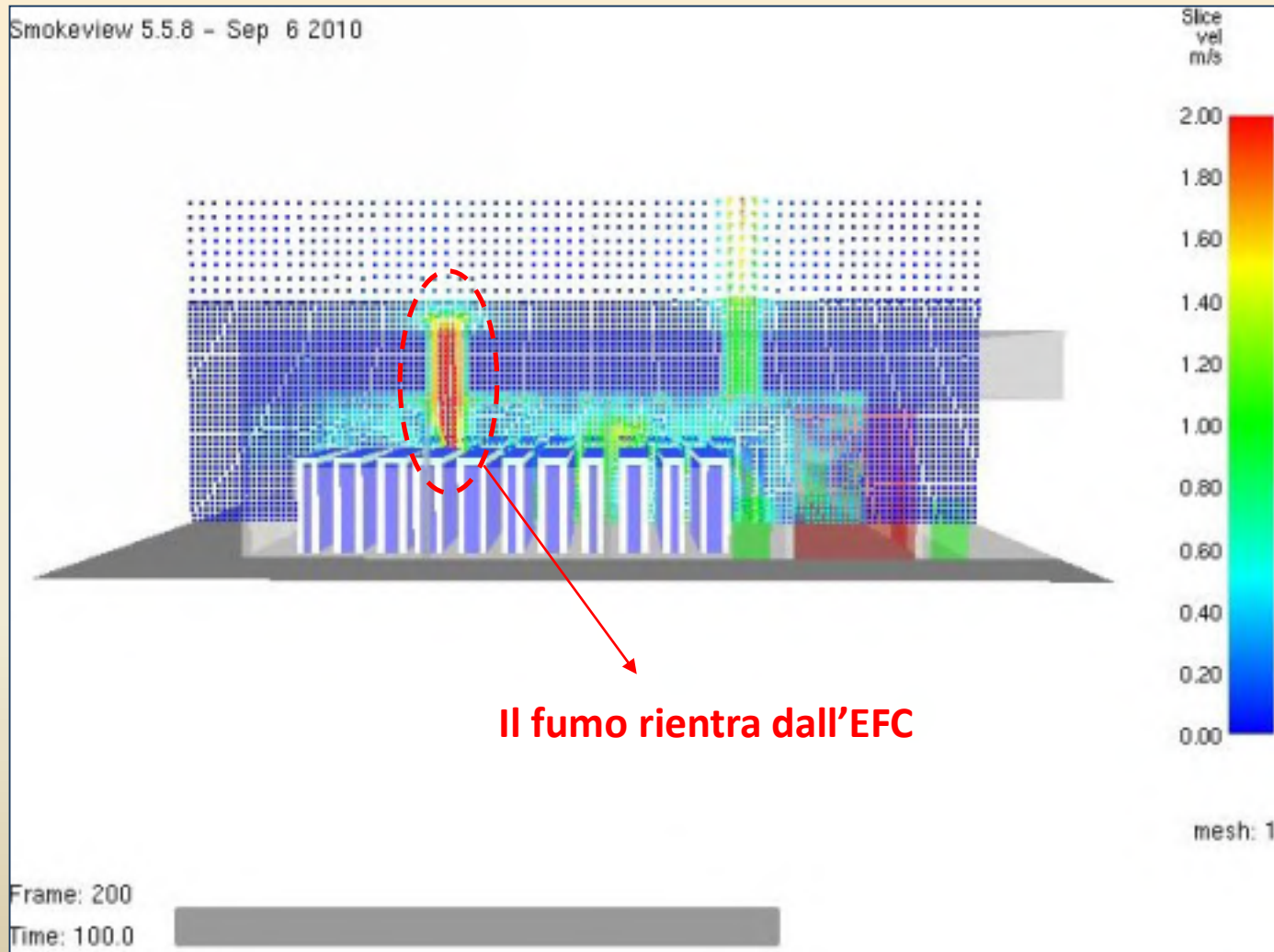
VELOCITÀ DELL'ARIA (piano verticale, mezzeria comparto – visualizzazione vettoriale)



**IPOTESI**  
portone  
esterno  
**CHIUSO**

# MAGAZZINO MATERIALE A 1 – FASE II (analisi quantitativa)

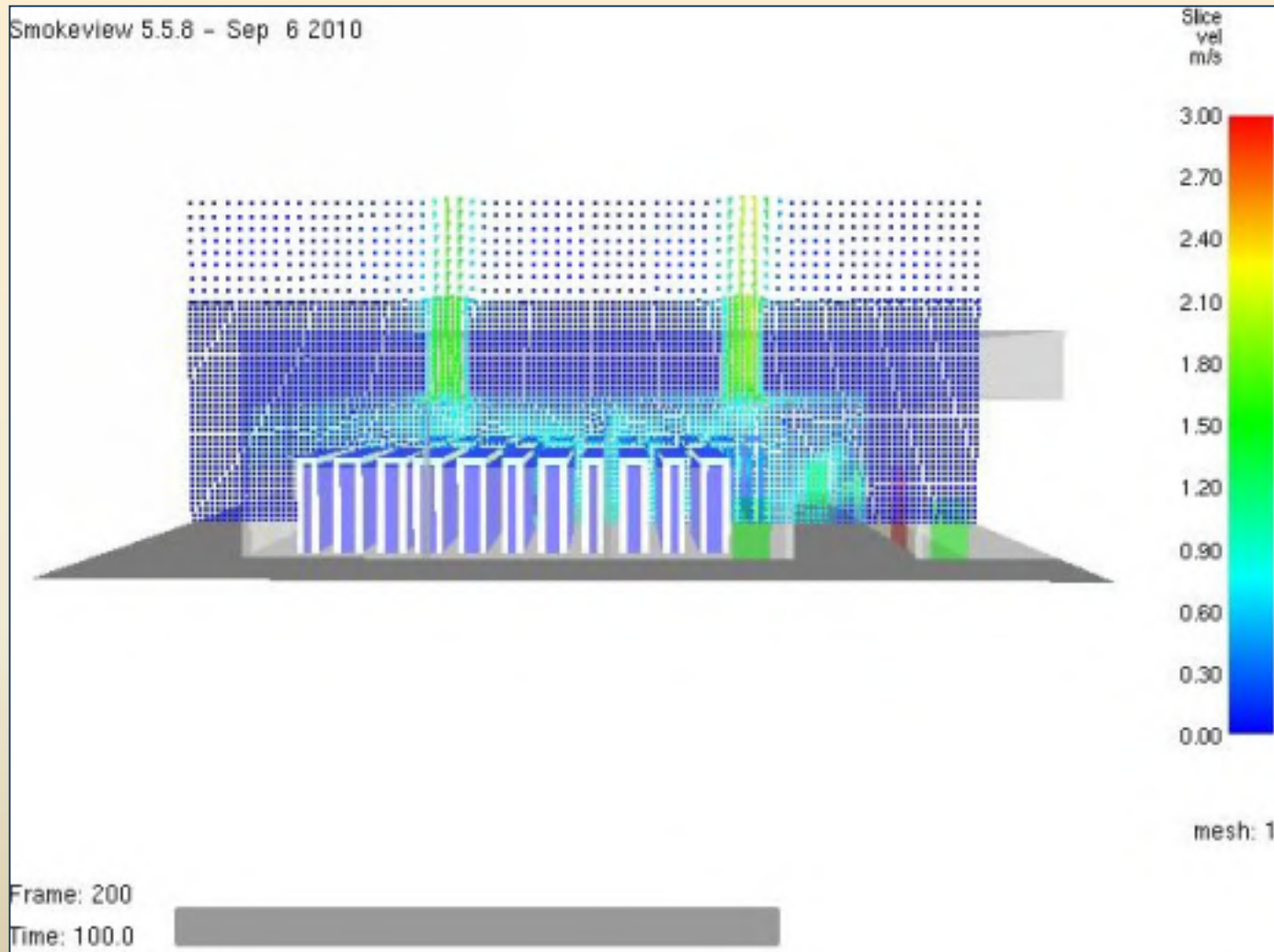
VELOCITÀ DELL'ARIA (piano verticale, mezzeria comparto – visualizzazione vettoriale)



**IPOTESI**  
portone  
esterno  
**CHIUSO**

# MAGAZZINO MATERIALE A 1 – FASE II (analisi quantitativa)

VELOCITÀ DELL'ARIA (piano verticale, mezzeria comparto – visualizzazione vettoriale)



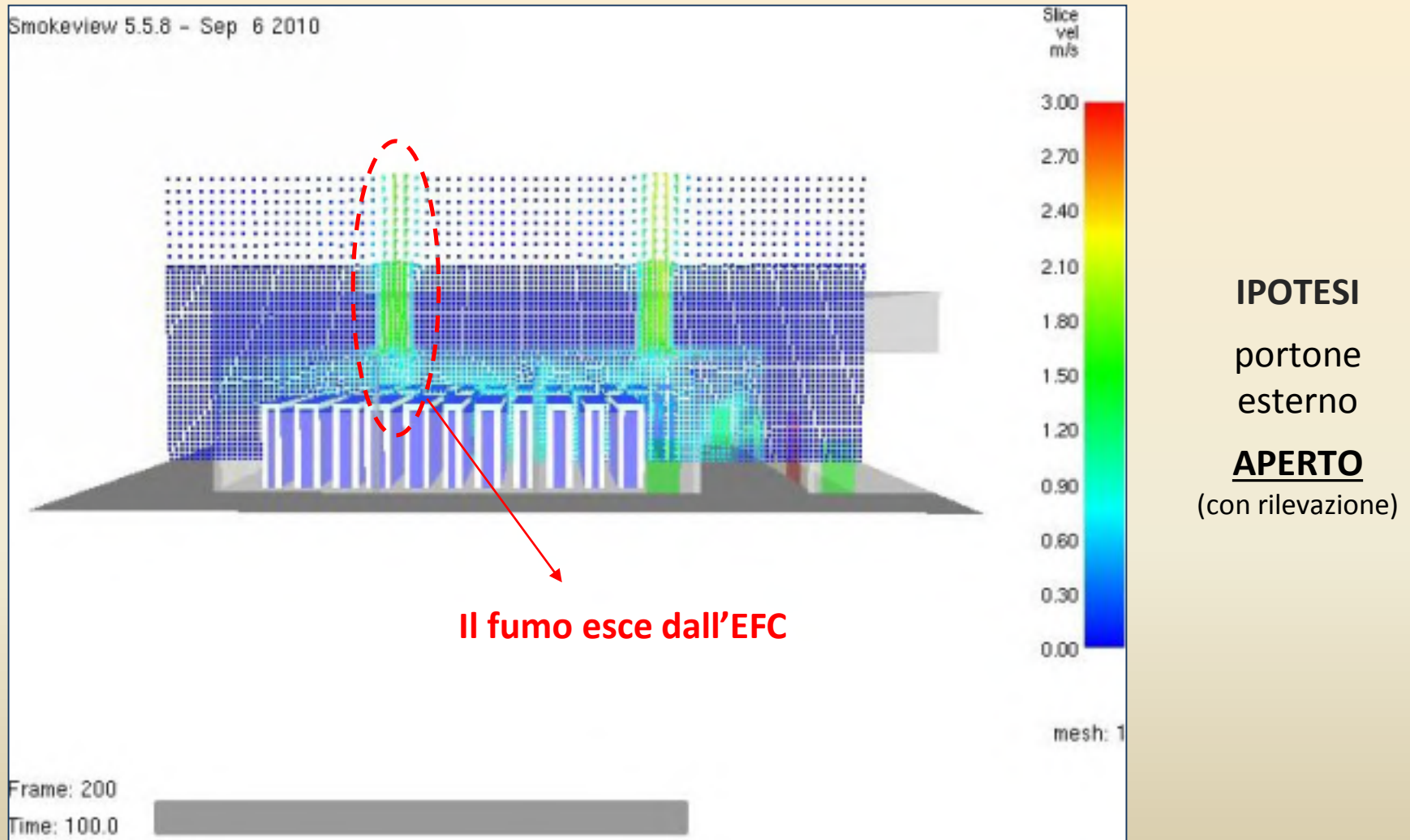
**IPOTESI**  
portone  
esterno  
**APERTO**  
(con rilevazione)

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*



# MAGAZZINO MATERIALE A 1 – FASE II (analisi quantitativa)

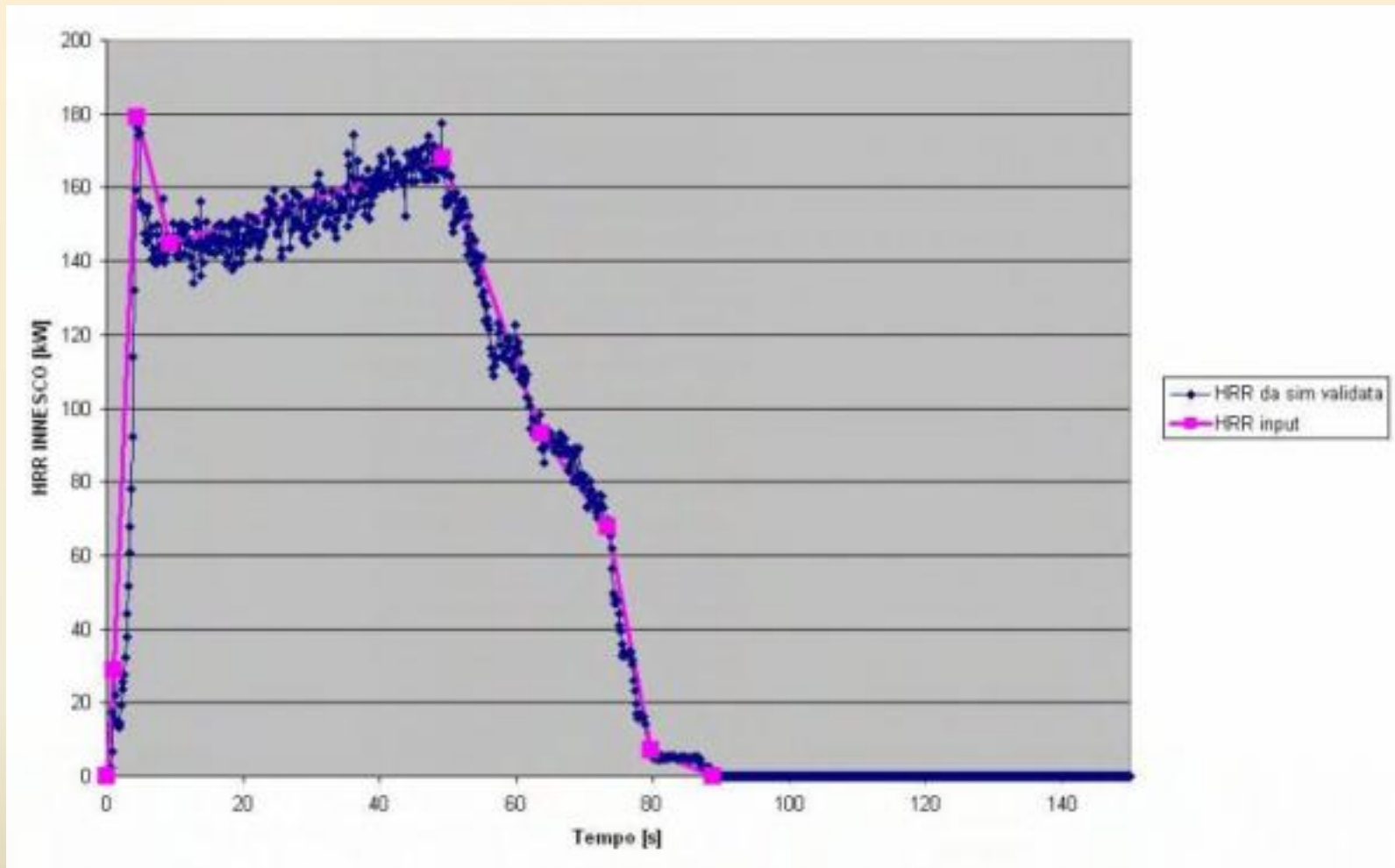
VELOCITÀ DELL'ARIA (piano verticale, mezzeria comparto – visualizzazione vettoriale)



Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD

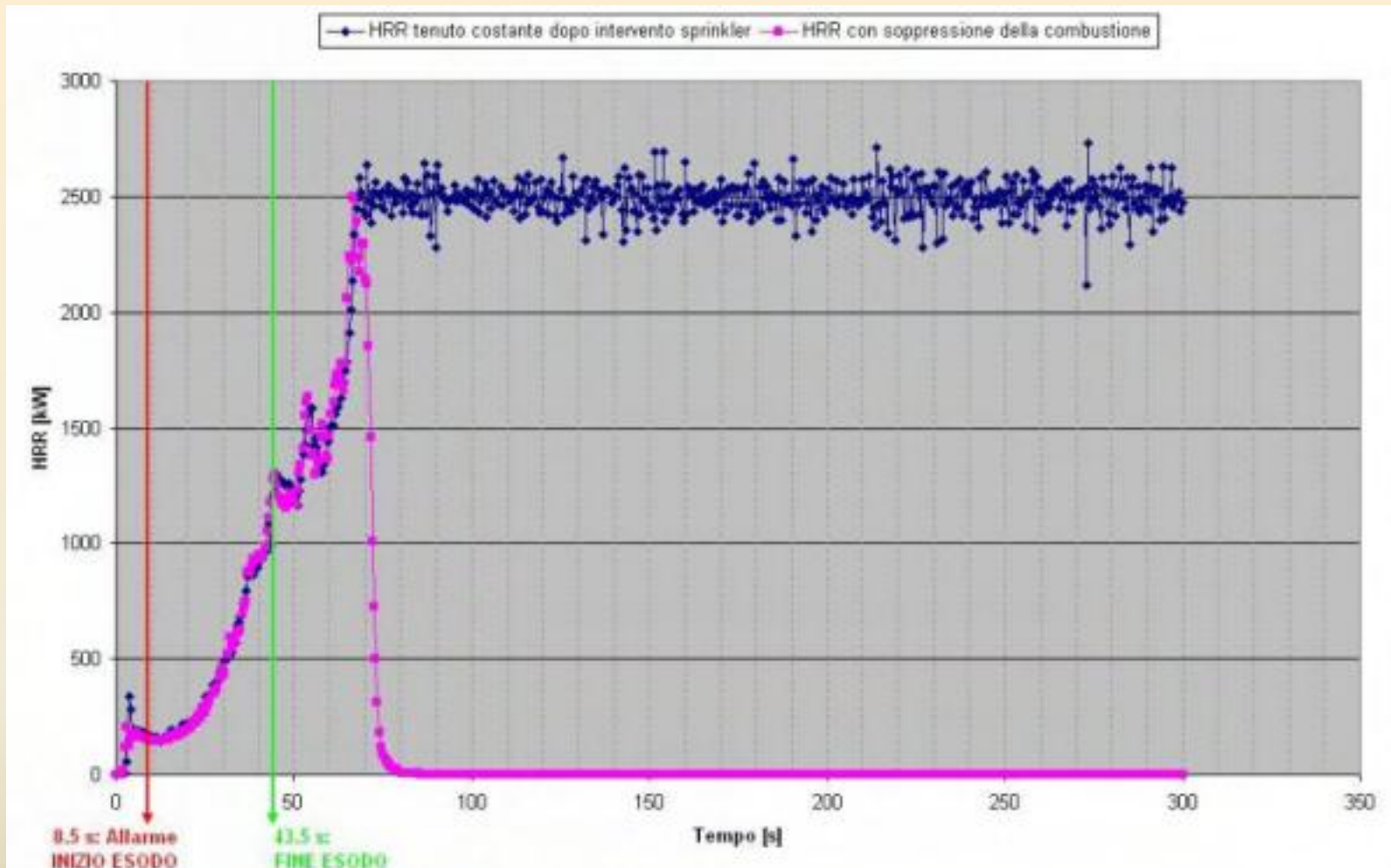
XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano

# MAGAZZINO MATERIALE A 1 – FASE II (analisi quantitativa)



Curva HRR [kW] nel tempo [s] – innesco per il materiale A

# MAGAZZINO MATERIALE A 1 – FASE II (analisi quantitativa)



Curva HRR [kW] nel tempo [s] – materiale A

# CASO STUDIO CON FDS dopo il D.M. 3 AGOSTO 2015

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# SCENARI DI INCENDIO - D.M. 3 AGOSTO 2015

## Focolare predefinito

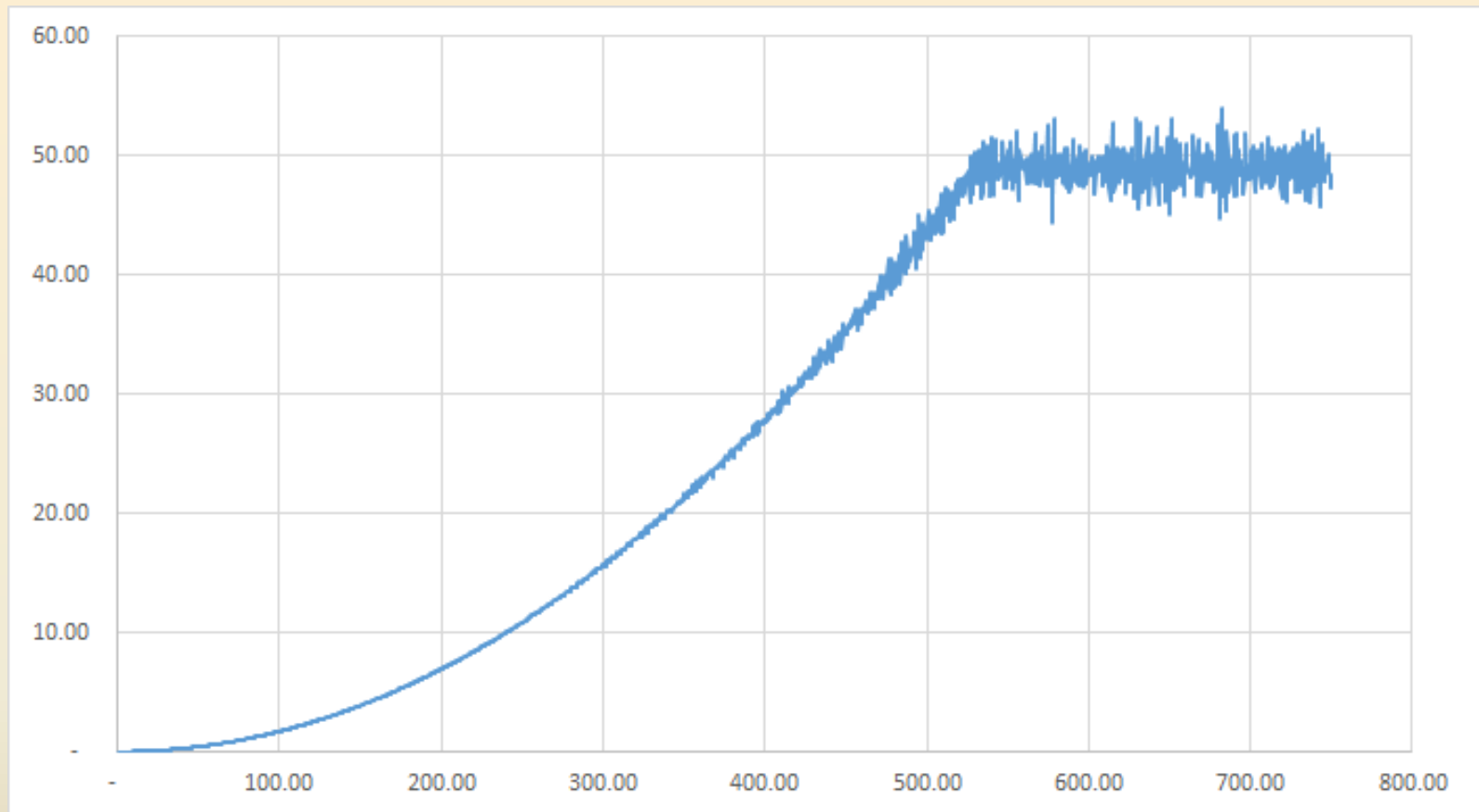
1. Qualora si intenda omettere le valutazioni in merito alla descrizione quantitativa del focolare di cui al paragrafo M.2.4, possono essere impiegati i *focolari predefiniti* descritti quantitativamente secondo il metodo indicato nel paragrafo M.2.6, impiegando i valori dei parametri di cui alla tabella M.2-2.
2. È escluso l'impiego dei focolari predefiniti nei casi in cui si valuti che i focolari attesi risultino più gravosi di quelli previsti in tabella M.2-2.

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio $t_c$	150 s (fast)	75 s (ultra-fast)
RHR <sub>max</sub> totale	5 MW	50 MW
RHR <sub>max</sub> per m <sup>2</sup> di superficie del focolare	250-500 kW/m <sup>2</sup> [1]	500 -1000 kW/m <sup>2</sup> [1]
Resa in particolato Y <sub>soot</sub>	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 <sub>CO</sub>	Pre flashover: 0,20 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 <sub>CO2</sub>	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y <sub>H2O</sub>	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR(t) in irraggiamento (Radiative fraction)	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'RHR<sub>max</sub> 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] "CVM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code  
 [4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4<sup>a</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<sub>CO2</sub> e Y<sub>H2O</sub>, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico CH<sub>2</sub>O<sub>0,5</sub>.

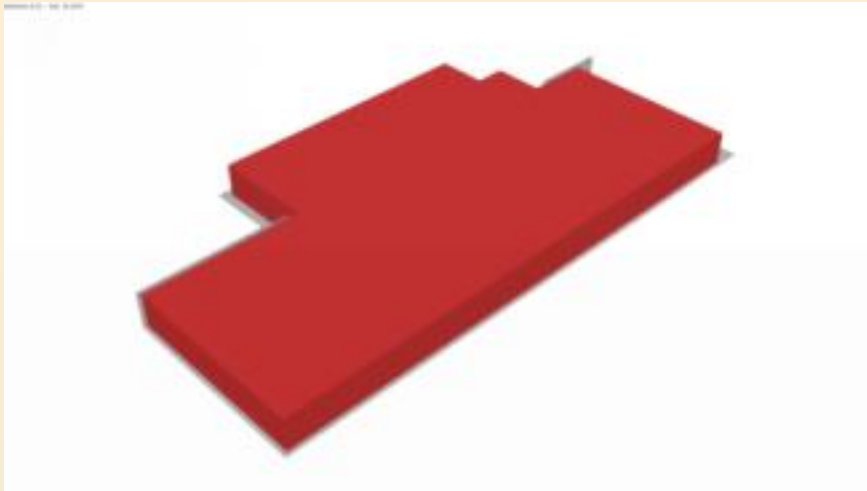
Tabella M.2-2: Focolari predefiniti

# SCENARI DI INCENDIO: Focolare predefinito – per altre attività



**Curva HRR [kW] nel tempo [s]: Focolare predefinito – per altre attività**  
**Velocità caratteristica di crescita dell'incendio: ultra-fast, 75 s per arrivare a 1 MW**  
**RHR<sub>max</sub> totale: 50 MW**

# SCENARI DI INCENDIO: Focolare predefinito – per altre attività

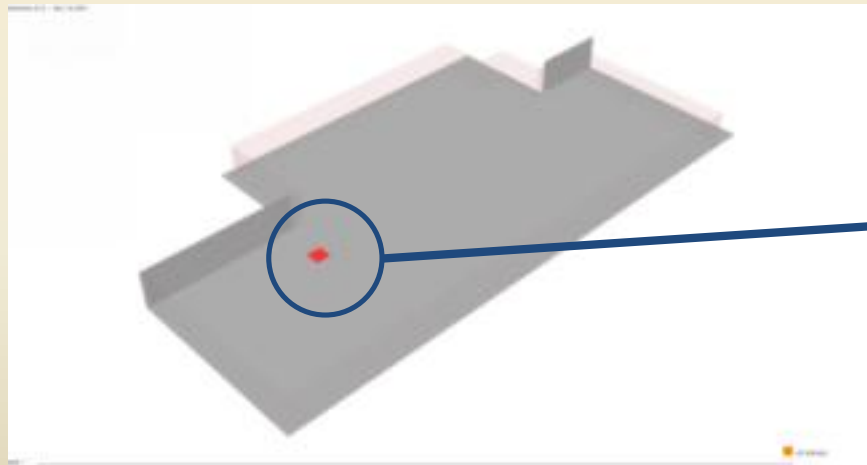


Fabbricato industriale

**senza aperture di ventilazione**

Altezza solaio: 16 m

Dimensioni massime: 256 x 138 m

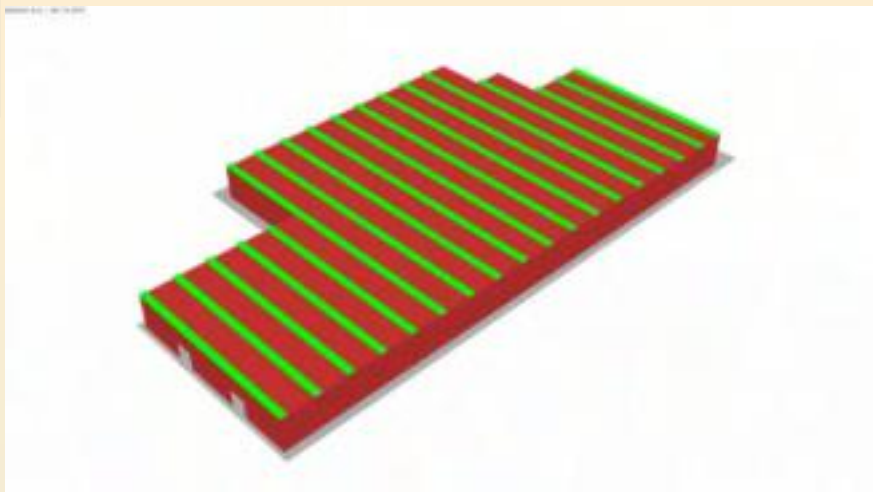


Bruciatore 7 x 7 m

→ circa 50 m<sup>2</sup>

HRRmax = 50 MW di picco  
pari a circa 1000 kW/m<sup>2</sup> di picco

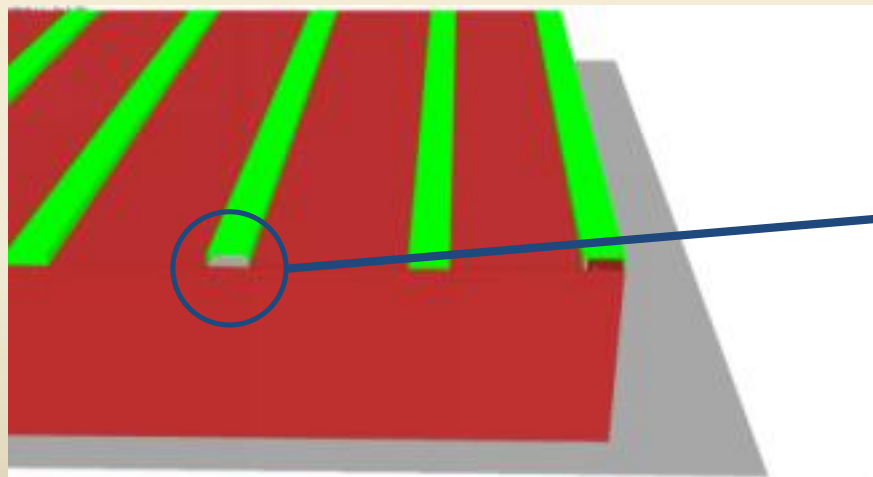
# SCENARI DI INCENDIO: Focolare predefinito – per altre attività



Fabbricato industriale

**con aperture di ventilazione**

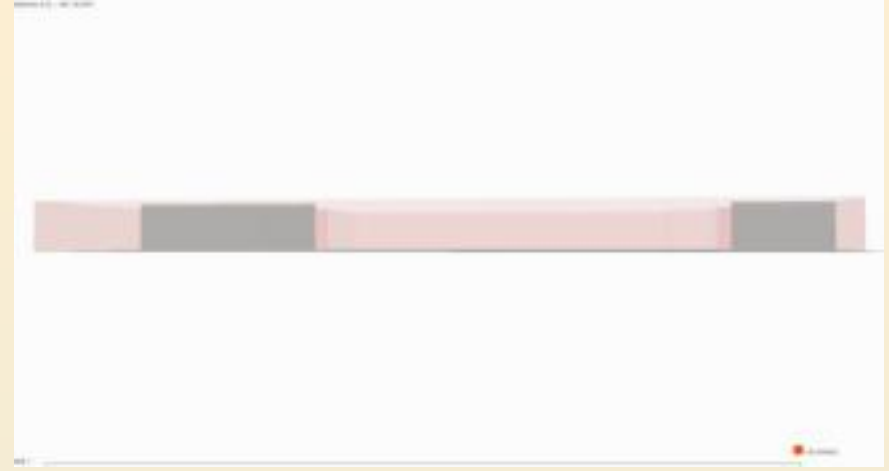
56 x 138 m



Stesso bruciatore  
aerazione alterna su torrini statici  
con area efficace pari a 3 m<sup>2</sup> cadauna



# SCENARI DI INCENDIO: Focolare predefinito – per altre attività



Fabbricato industriale **senza aperture di ventilazione** - Focolare predefinito – per altre attività

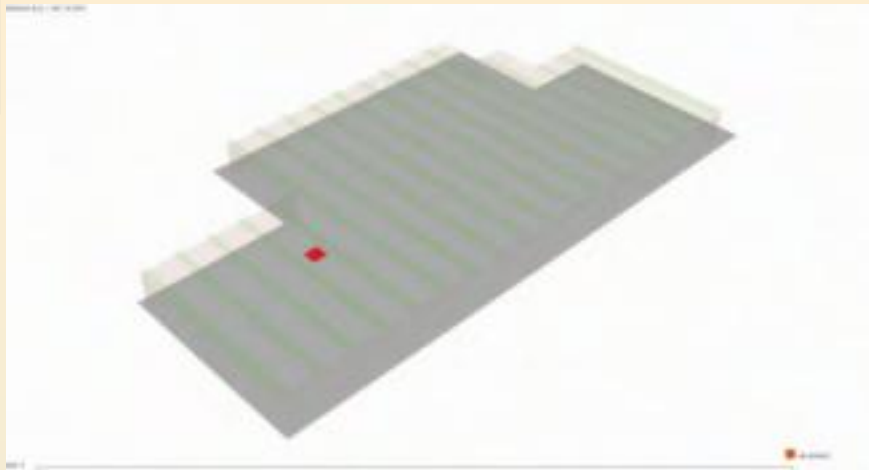
Altezza solaio: 16 m

Dimensioni massime: 256 x 138 m

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*

# SCENARI DI INCENDIO: Focolare predefinito – per altre attività



Fabbricato industriale **con aperture di ventilazione** - Focolare predefinito – per altre attività  
Altezza solaio: 16 m, aerazione alterna su torrini statici con area efficace pari a 3 m<sup>2</sup> cadauna  
Dimensioni massime: 256 x 138 m

# CONCLUSIONI

- ✓ L'approccio ingegneristico applicato a modelli in grande scala quali quelli della grande industria apre nuovi scenari e opportunità nei termini della sicurezza antincendio.
- ✓ Tali metodologie consentono al progettista valutazioni quantitative e qualitative finora impensabili con l'approccio prescrittivo: strumento valutativo, ineguagliabile e in taluni casi unico, per interventi mirati di protezione attiva e passiva ai fini antincendio.
- ✓ Si possono oltremodo verificare in tempo reale il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza, peraltro concordati e definiti congiuntamente nella prima fase di approccio al problema direttamente con il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco.
- ✓ **E' necessario valutare con attenzione se è opportuno utilizzare il focolare predefinito: si può usare solo se si valuta che i focolari attesi NON siano più gravosi di quelli previsti in tabella M.2-2!!**

# Riferimenti

**Ing. Vincenzo Cascioli, PhD**

Tel: 328-9720176

E-mail: [vincasci@gmail.com](mailto:vincasci@gmail.com)

*Ing. Vincenzo CASCIOLI, PhD*

*XVI CONVEGNO NAZIONALE AIIA - 7 aprile 2016 - Politecnico di Milano*