

# ***Presentazione di un Caso di Studio sviluppato secondo l'approccio ingegneristico***



**Luca Nassi**

*luca.nassi@vigilfuoco.it*

Roma, 6 novembre 2007

## Cosa si intende per ingegneria antincendio??

- Il progetto degli edifici coinvolge un insieme di aspetti estetici, tecnologici ed economici
- I progettisti affrontano gli argomenti di sicurezza antincendio attraverso una serie di *Regole Tecniche Prescrittive*.
- Le regole tecniche derivano in qualche modo dalla nostra *esperienza e conoscenza degli incendi passati*
- Questo rappresenta in effetti una *correlazione* tra risultati noti di un incendio ed anche i fattori conosciuti che hanno portato all'evento (es. *più compartimentazione-> meno danni etc.*)

## Cosa hanno che non vanno i codici prescrittivi??

- *Assolutamente nulla, sono fondamentali nella maggior parte dei casi (sono più facili da utilizzare sia per chi controlla che per chi progetta)*
- In alcuni casi però.....
  - Edifici storici
  - Edifici innovativi
  - Protezione di particolari aspetti
  - *Posso avere diverse soluzioni. Qual è la migliore??*

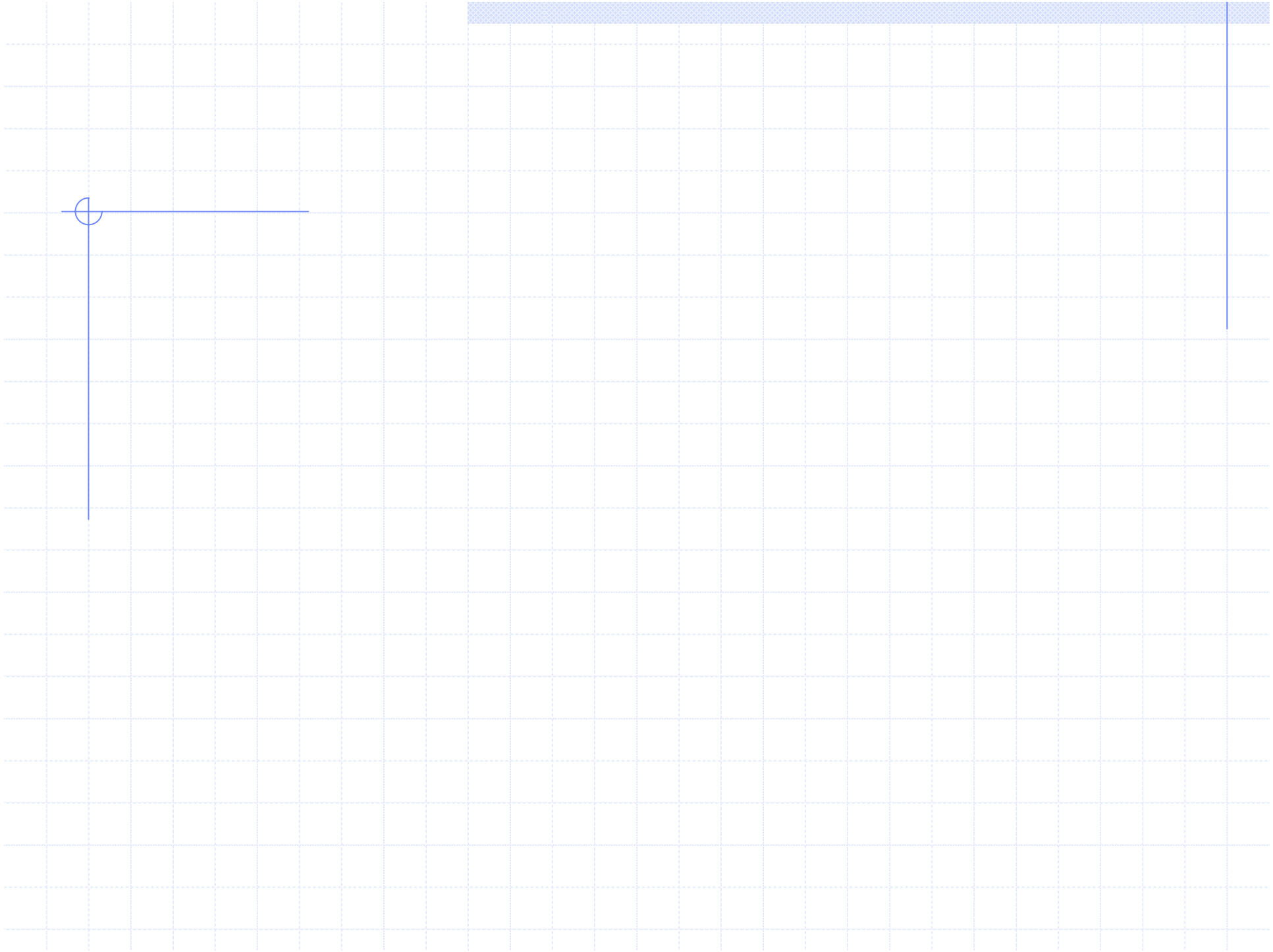
# Il Santa Maria della Scala a Siena





## Descrizione del Complesso

- ◆ imponente volume su pendio con una dimensione di circa 40.000 m<sup>2</sup> netti per circa 450.000 m<sup>3</sup> e 9 livelli con accessi da Piazza del Duomo (IV livello) e dal livello basamentale .
- ◆ Le strutture edilizie sono tutte in muratura, con muri portanti di grosso spessore ed ampie volte in laterizio. Fanno eccezione i soli impalcati di solaio di alcuni locali realizzati in legno;





## Cenni Storici

- ◆ Le prime documentazioni sul complesso risalgono al 1090;
- ◆ si trattava di uno “spedale” che offriva rifugio ai pellegrini che nel Medioevo si recavano a Roma, tappa obbligata prima di proseguire sulla via Francigena.

Disegno per l'abitazione del  
S. Spirito a S. Spirito

### CHIESA DELLO

### S. PEDALE

Consiglio delle  
Cattedrali

Habitazione del  
S. Spirito e  
Cattedrali



Disegno per l'abitazione del S. Spirito  
 si fece al tempo di N. S. S. Spirito di S. Spirito  
 D. S. Spirito da l'abitazione del S. Spirito  
 nel 1700 e non si è più fatto.





## Cenni Storici

- ◆ Nel corso di un millennio il complesso si è ampliato, inglobando nei secoli orti, giardini, cortili, addirittura una strada. Fino al 1990 ha continuato ad ospitare l'ospedale cittadino.
- ◆ In quegli anni, svuotato dalle ultime cliniche, è iniziato un complesso lavoro di ristrutturazione che, ad oggi, ha restituito alcune aree già adibite ad attività museali oltre a “ripulire” tutto l'ambiente dalle infinite stratificazioni edilizie.



## Cenni Storici

- Una delle parti principali dell'edificio originale è il **Pellegrinaio** che risale alla seconda metà del 14° secolo, decorato un secolo dopo dal Vecchietta, Domenico di Bartolo and Priamo della Quercia con un importante ciclo di affreschi sulla storia dell'Ospedale.





## Il Recupero

Lo scopo del recupero è quello di restaurare l'edificio storico e di trasformarlo in un complesso museale integrato (Gallerie di Arte, Museo Archeologico, mostre temporanee, un centro di restauro e servizi come bar, ristoranti, negozi)



## Il Recupero

I lavori di restauro sono iniziati nel 1998, seguendo questi principi:

- Fu deciso di condurre I lavori di recupero lasciando il Museo aperto, per permettere alla Città ed al pubblico di frequentare l'edificio durante Il lungo restauro.
- Per mostrare al pubblico l'importanza dei lavori e le principali caratteristiche sono possibili tours guidati dei cantieri.

# Attività soggette a controllo V.V.F.

- ◆ Il complesso risulta soggetto a controllo come edificio pregevole per arte e storia con inserite all'interno ampie aree museali , locali di pubblico spettacolo (spazi per concerti, congressi ecc.) , negozi di superficie totale superiore a 400 m<sup>2</sup>, ristoranti.

## Identificazione dei punti nodali del complesso

---

- ◆ Al piano basamentale l'accesso avviene attraverso una "strada interna"
- ◆ su questa strada affacciano vari locali di tipo museale, il futuro ristorante, i futuri negozi ed il Museo Archeologico

◆ Relativamente alla possibile propagazione del fumo all'interno dell'edificio e della conseguente possibile non disponibilità di vie di esodo, sono stati studiati alcuni punti nodali del complesso difficilmente schematizzabili con l'uso di norme e tra questi proprio la "strada interna" ed i "cunicoli".





# Obiettivi di prevenzione incendi con riferimento alla Direttiva Europea Prodotti da Costruzione, requisito essenziale “sicurezza in caso di incendio”.

- ◆ La capacità portante dell'opera deve essere garantita per un periodo di tempo determinato;
- ◆ 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 o di essere soccorsi altrimenti;
- ◆ Deve essere presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso.

# **Ipotesi di progetto sulla base degli obiettivi prefissati**

- ◆ le vie di esodo (ed in particolare la strada interna) devono risultare libere dal fumo per una altezza almeno di 1,80/2,00 m , in modo da assicurare comunque l'esodo come un luogo sicuro (con l' esclusione, ovviamente, del locale dove si sviluppa l'incendio per il quale è comunque ipotizzabile un rapido esodo, anche grazie alla presenza di un impianto di rilevazione incendi esteso a tutti gli ambienti).

In un locale con presenza di pubblico risulta necessario assicurare condizioni interne, in caso di incendio, che consentano alle persone di lasciare rapidamente l'edificio e quindi sicuramente:

- Temperature limitate
- Basse concentrazioni di gas
- Sufficiente ossigeno
- Visibilità non limitata dai fumi

# Cenni sul CFAST

- ◆ Si tratta di un modellatore del tipo detto a zone (zone model) nel quale ogni ambiente viene suddiviso in due zone : zona superiore interessata dai fumi e zona inferiore non inquinata ("upper layer" e "lower layer").
- ◆ Questa semplificazione ipotizza costanti le caratteristiche dell'aria (fumi, gas, ossigeno, ecc.) in ciascun strato (layer) e quindi ben si presta ad una "approssimata" comprensione dei fenomeni

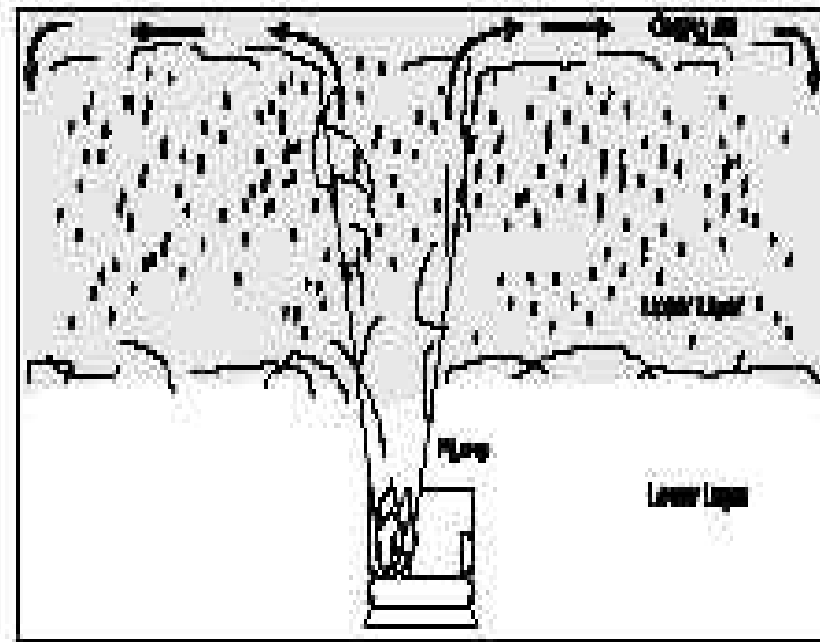
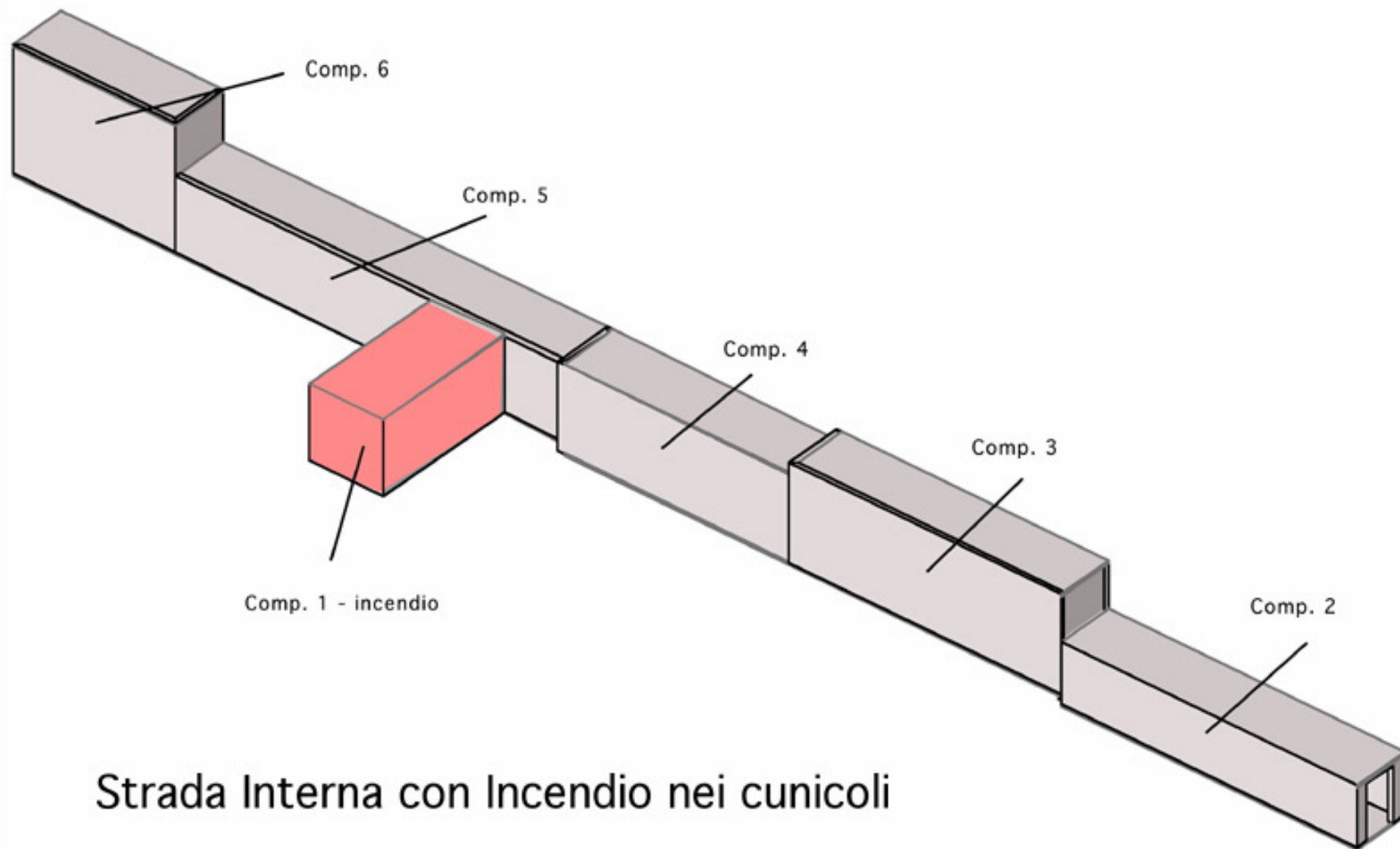


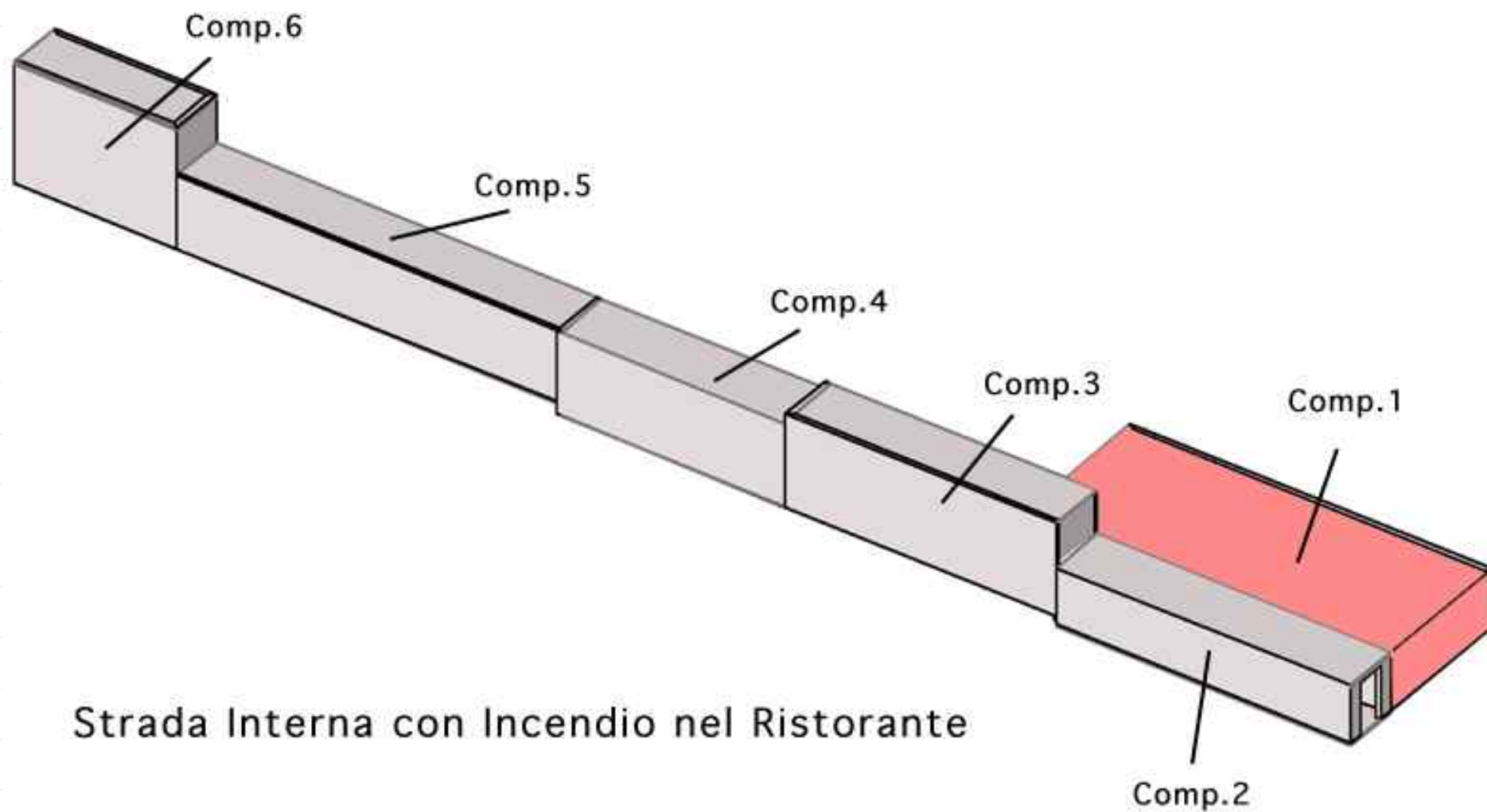
Figure 1. Zone Model Terms.

## **Esempio: Strada interna con incendio nei cunicoli e nel ristorante**

- ◆ Lo schema adottato simula l'andamento in salita della strada interna discretizzando i salti di quota; l'intradosso della copertura della strada interna rispetta la realtà, così come le dimensioni delle aperture di comunicazione presenti (altezza di imposta dell'apertura, geometria ecc.).
- ◆ Nel caso delle aperture verso l'esterno presenti nella parte più alta della strada è stata rispettata l'altezza media di imposta (si tratta di archi) e la superficie.
- ◆ L'incendio avviene in un compartimento che simula il ristorante, trascurando a favore di sicurezza il volume delle altre sale comunicanti.



Strada Interna con Incendio nei cunicoli



Strada Interna con Incendio nel Ristorante



A:\RIST.DAT

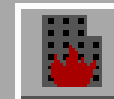
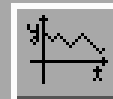
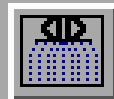
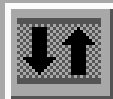
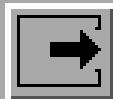
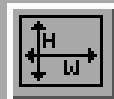
TITLE: STRADA INTERNA E RISTORANTE

GRAPHICS: Use existing

STRUCTURE:

COMPARTMENTS

1 1H	2 3H	3 2H	4 2H	5 2H	6 2H
---------	---------	---------	---------	---------	---------



ENVIRONMENT:



CEILING JET: All

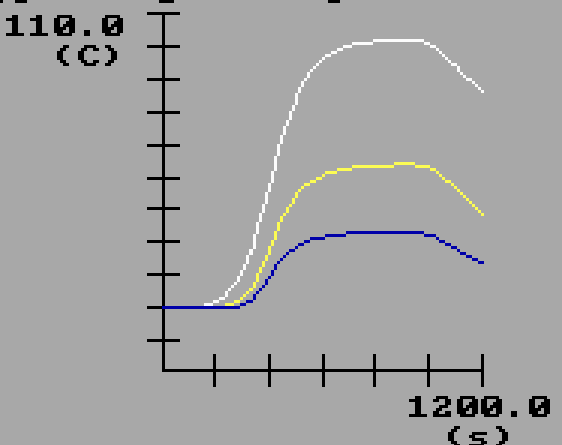


TITLE:  
 GRAPH:  
 STRUCT:  
 COMPART:

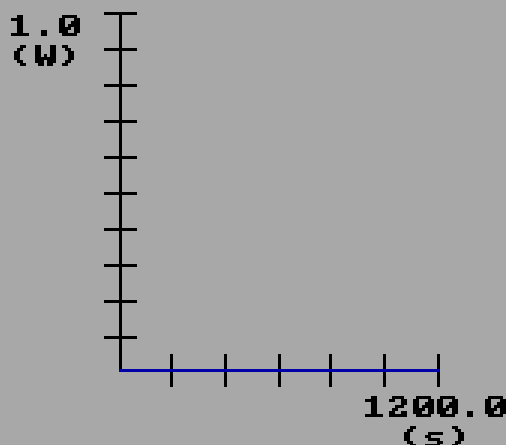
1  
 1H

ENVIR  

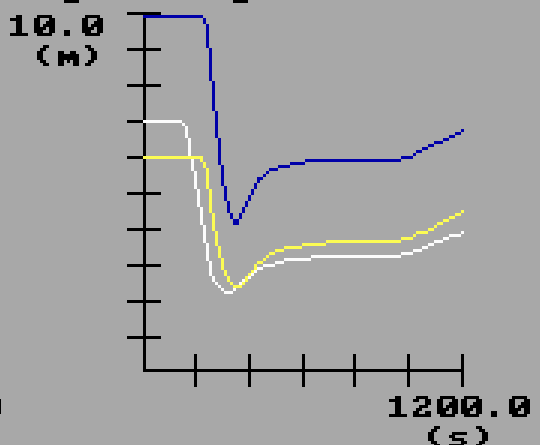

Upper Layer Temperature



Heat Release Rate




Layer Height



— Compartment 4  
 — Compartment 5  
 — Compartment 6

**Current status of simulation**

100%  Display Time(s): **1200.0**

	Compartment		
	4	5	6
Upper layer temperature(C):	86.6	48.7	33.3
Lower layer temperature(C):	22.6	23.0	21.6
Heat Release Rate(W):	0.0	0.0	0.0
Layer height(m):	3.9	4.48	6.77
O2 fraction:	0.218	0.225	0.228
CO2 fraction:	0.001167	0.00491	0.00226
CO fraction:	0.00035	0.00015	0.00007

Close    Graph    Print Report    Print Graph





In questo caso non era possibile soddisfare completamente le regole tecniche di tipo prescrittivo esistenti per le varie attività presenti nel complesso; da qui la necessità di una Deroga... Attraverso una *analisi prestazionale* è stato possibile dimostrare che il progetto proposto permetteva il rispetto di specifici obiettivi antincendio (attraverso la verifica dei criteri di prestazione)



# Approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio

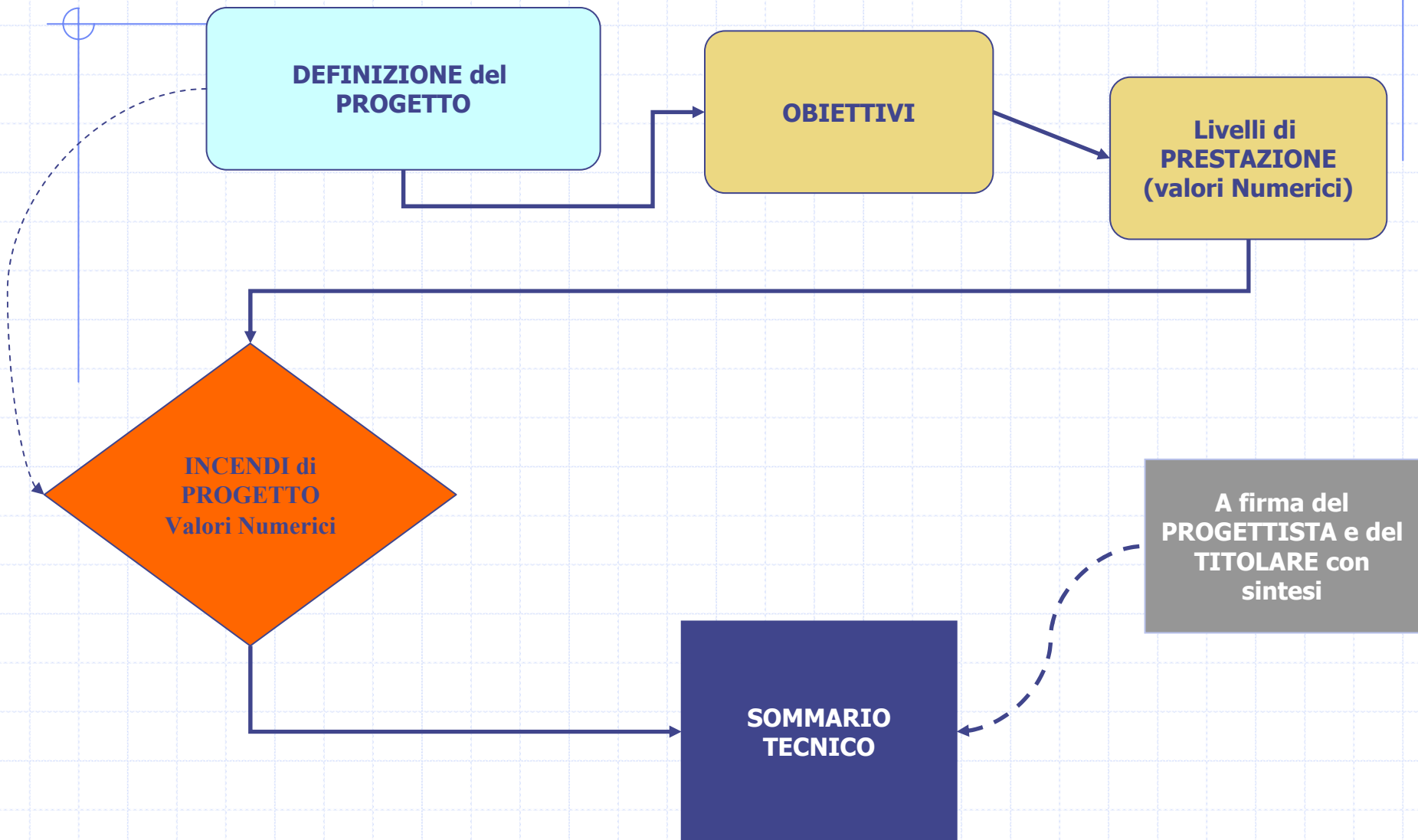
Allegato tecnico



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

- ◆ Analisi preliminare (I fase)
- ◆ Analisi quantitativa (II fase)
- ◆ SGSA

# Analisi preliminare (I fase)



# Analisi preliminare (I fase)

## ◆ Definizione del progetto

◆ Chiarire cosa vuole essere realizzato dal progetto

◆ evidenziare le difformità rispetto a norme tecniche (o a standard di riferimento) – *perché uso l'approccio ingegneristico??*

◆ Realizzare una “*Fotografia*” di quello che è in progetto

# Analisi preliminare (I fase) - *Obiettivi*

◆ **Obiettivi di prevenzione incendi** con riferimento alla Direttiva Europea Prodotti da Costruzione, requisito essenziale “sicurezza in caso di incendio”.

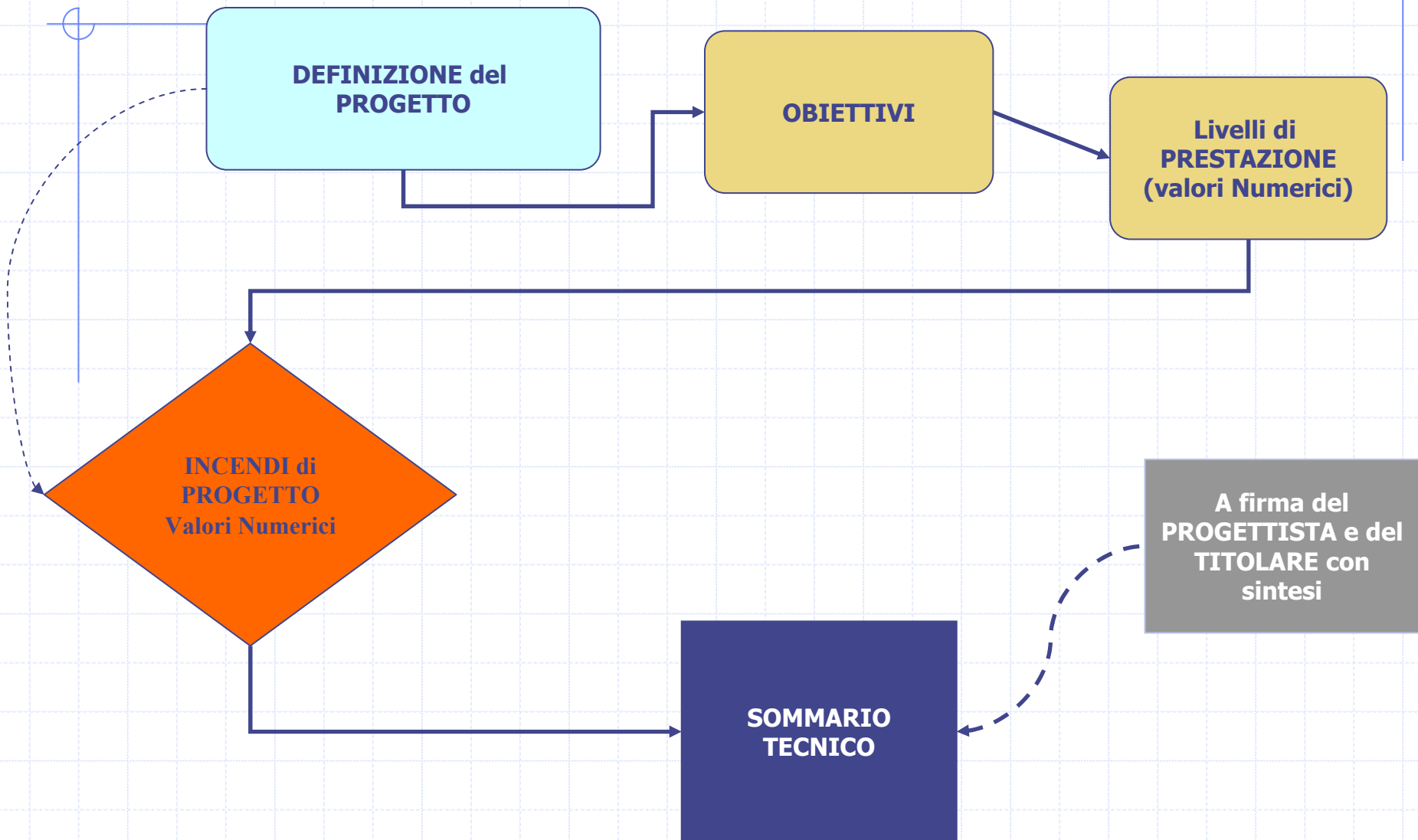
- La capacità portante dell'opera deve essere garantita per un periodo di tempo determinato;
- La produzione e la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere deve essere limitata;
- La propagazione del fuoco alle opere vicine deve essere limitata;
- Gli occupanti devono essere in grado di lasciare l'opera o di essere soccorsi altrimenti;
- Deve essere presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso.



- *Vogliamo proteggere:*
- Solo le persone???
- Anche l'edificio ???
  - *Tutto??*
  - *Una Parte???*
- Anche i Contenuti ?????
  - *Affreschi ???*
  - *Statue ???*
  - *Quadri ???*
  - *Libri???*
  - .....
- Anche la prosecuzione dell'attività ???
- .....



# Analisi preliminare (I fase)



# Analisi preliminare (I fase)

## ◆ Individuazione dei **livelli di prestazione**

- ◆ In relazione agli obiettivi di sicurezza individuati, il progettista deve indicare quali sono i *parametri significativi* presi a riferimento per garantire il soddisfacimento degli stessi obiettivi.
- ◆ I *parametri* possono includere, ad esempio, temperature massime dei gas, livelli di visibilità, livelli di esposizione termica per le persone o per i materiali, ecc..

# Analisi preliminare (I fase)

- ◆ Individuazione dei **livelli di prestazione**
- ◆ Successivamente i *livelli di prestazione* devono essere quantificati (valori numerici rispetto ai quali verificare i risultati attesi dal progetto)
- ◆ Tali valori possono essere desunti dalla letteratura tecnica condivisa tra cui si citano, ad esempio, le norme ISO/TR 13387, BS 7974, il decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 9/05/2001, ecc.



- ◆ ISO/TR 13387 consists of the following parts, under the general title **Fire safety engineering**:
- ◆ Part 1: Application of fire performance concepts to design objectives
- ◆ Part 2: Design fire scenarios and design fires
- ◆ Part 3: Assessment and verification of mathematical fire models
- ◆ Part 4: Initiation and development of fire and generation of fire effluents
- ◆ Part 5: Movement of fire effluents
- ◆ Part 6: Structural response and fire spread beyond the enclosure of origin
- ◆ Part 7: Detection, activation and suppression
- ◆ Part 8: Life safety — Occupant behaviour, location and condition



# Analisi preliminare (I fase)

## ◆ Esempi di **livelli di prestazione**

- Temperatura: Il livello di temperatura massima ammissibile può variare in funzione degli obiettivi antincendio (esodo degli occupanti, permanenza del personale addetto per il tempo necessario alla messa in sicurezza degli impianti, intervento dei soccorritori...)

# Analisi preliminare (I fase)

## ◆ Esempi di **livelli di prestazione**

- Livelli di irraggiamento prodotto dall'incendio, dai prodotti della combustione (fumi, gas), dalle strutture (pareti, solai); il contributo dell'irraggiamento diventa significativo per temperature dell'elemento emettitore superiori a 350-400 °C

# Analisi preliminare (I fase)

## ◆ Esempi di livelli di prestazione – BS 7974

Table G.3 — Tenability limits for radiative and convective heat

Mode of heat transfer	Intensity	Tolerance time
Radiation	$<2.5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$	$>5 \text{ min}$
	$2.5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$	30 s
	$10 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$	4 s
Convection	$<60 \text{ }^\circ\text{C}$ 100 % saturated	$>30 \text{ min}$
	$100 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}^{\text{a}}$	8 min
	$110 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}$	6 min
	$120 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}$	4 min
	$130 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}$	3 min
	$150 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}$	2 min
	$180 \text{ }^\circ\text{C}$ $< 10 \text{ \% H}_2\text{O}$	1 min

<sup>a</sup> v/v



# Analisi preliminare (I fase)

## ◆ Esempi di **livelli di prestazione**

- Livelli di visibilità: la visibilità ammessa lungo le vie di esodo deve essere definita per un certo periodo temporale. La tipologia dei segnali (riflettenti, luminosi) e la loro posizione può influenzare i valori ammissibili;

# Analisi preliminare (I fase)

## ◆ Esempi di **livelli di prestazione**

- Specie Tossiche. In generale la valutazione sulle specie tossiche riguarda l'esodo delle persone. Nella ISO /TR 13387 ed nel BS 7974 si ritrovano utili indicazioni.

# Analisi preliminare (I fase)

## Esempi di livelli di prestazione – BS 7974

Table G.1 — Smoke tenability limits

Smoke density and irritancy $D \cdot m^{-1}$ (extinction coefficient)	Approximate visibility diffuse illumination	Reported effects
None	Unaffected	Walking speed 1.2 m/s
0.5 (1.15) non-irritant	2 m	Walking speed 0.3 m/s
0.2 (0.5) irritant	reduced	Walking speed 0.3 m/s
0.33 (0.76) mixed	3 m approx.	30 % people turn back rather than enter
Suggested tenability limits for buildings with: — small enclosures and travel distances; — large enclosures and travel distances.		$D \cdot m^{-1} = 0.2$ (visibility 5 m) $D \cdot m^{-1} = 0.08$ (visibility 10 m)

# Analisi preliminare (I fase)

## Esempi di livelli di prestazione – ISO TR 13387

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{[CO]}{35\,000 \text{ ppm} \cdot \text{min}} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp([HCN]/43)}{220 \text{ min}} \Delta t$$

**6.1.3** In cases where the CO<sub>2</sub> concentration exceeds 2 % by volume, the concentration terms [CO] and [HCN] in Equation (2) at each time increment shall be multiplied by a frequency factor,  $V_{CO_2}$ , to allow for the increased rate of asphyxiant uptake due to hyperventilation [5].

$$V_{CO_2} = \exp \frac{[\%CO_2]}{5} \quad (3)$$

NOTE This equation is derived from an empirical fit to human hyperventilation, corrected for uptake inefficiencies in the lung. It is accurate to within  $\pm 20\%$ .

# Analisi preliminare (I fase)

## Esempi di livelli di prestazione – ISO TR 13387

$$FEC = \frac{[HCl]}{F_{HCl}} + \frac{[HBr]}{F_{HBr}} + \frac{[HF]}{F_{HF}} + \frac{[SO_2]}{F_{SO_2}} + \frac{[NO_2]}{F_{NO_2}} + \frac{[acrolein]}{F_{acrolein}} + \frac{[formaldehyde]}{F_{formaldehyde}} + \sum \frac{[irritant]}{F_{Ci}} \quad (4)$$

$F_{HCl}$  1 000 ppm

$F_{HBr}$  1 000 ppm

$F_{HF}$  500 ppm

$F_{SO_2}$  150 ppm

$F_{NO_2}$  250 ppm

$F_{acrolein}$  30 ppm

$F_{formaldehyde}$  250 ppm

# Analisi preliminare (I fase)

## ◆ **Definizione:**

◆ Del progetto

◆ degli obiettivi di sicurezza antincendio

◆ dei livelli di prestazione

◆ **Degli scenari di incendio di progetto**

# Analisi preliminare (I fase)

- ◆ Individuazione degli **scenari di incendio di progetto**
- ◆ Gli ***scenari di incendio***, che rappresentano la schematizzazione degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione alle caratteristiche del focolaio, dell'edificio e degli occupanti, ***svolgono un ruolo fondamentale nell'ambito del processo di progettazione prestazionale.***

# Analisi preliminare (I fase) – **Scenari di Incendio di progetto**

- ◆ L'identificazione degli elementi di rischio d'incendio che caratterizzano una specifica attività, se condotta in conformità a quanto indicato dal D.M. 4 maggio 1998 e dal D.M. 10 marzo 1998, permette di definire gli scenari d'incendio, intesi quali proiezioni dei possibili eventi di incendio.



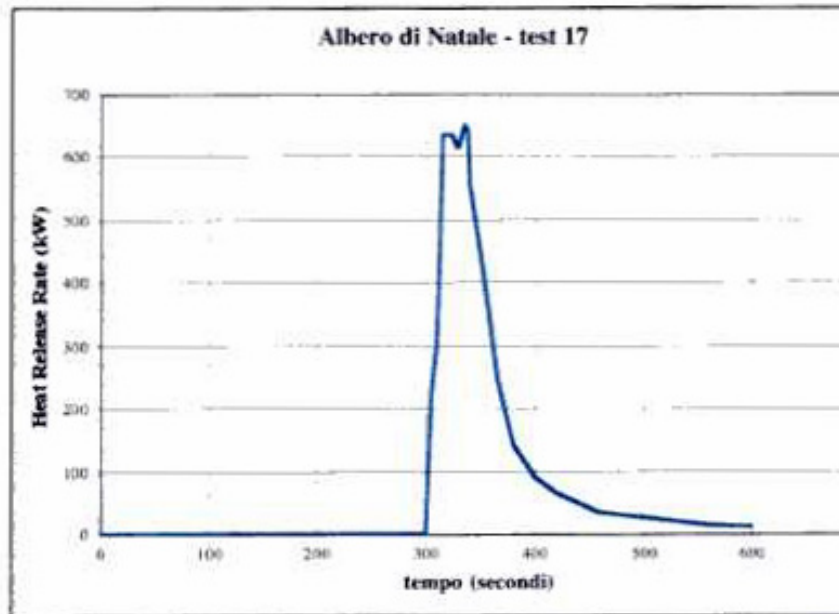
# Incendi *Standard*, o Curve HRR sperimentali



## Albero di Natale (Christmas tree - test 17)

(fonte: V. Babrauskas - "Burning Rates" - The SFPE Handbook of Fire Protection Engin

- massa totale: **7 kg**
- valore massimo **HRR**: **650 kW**
- energia totale rilasciata: **41 MJ**



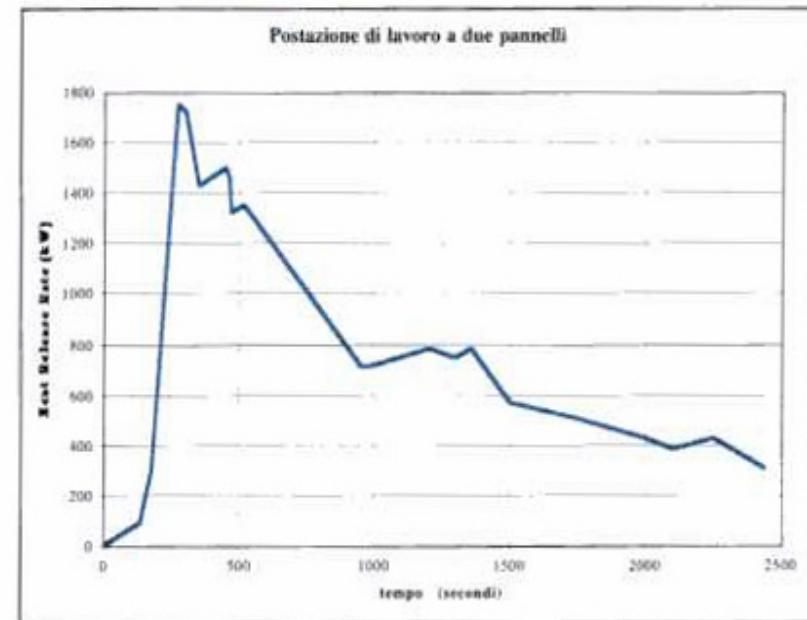
tempo (secondi)	0	300	305	310	315	320	325	327	329	335
HRR (kW)	0	0	225	305	400	615	620	610	610	650

tempo (secondi)	340	350	355	365	380	400	420	460	560	600
HRR (kW)	555	450	370	245	140	90	65	35	15	10

## Postazione di lavoro a due pannelli (two panel workstation)

(fonte: "Fire on the Web" - <http://fires.nist.gov/fire/fires/fires.html>)

- valore massimo **HRR**: **~ 1750 kW**
- energia totale rilasciata: **~ 1745 MJ**



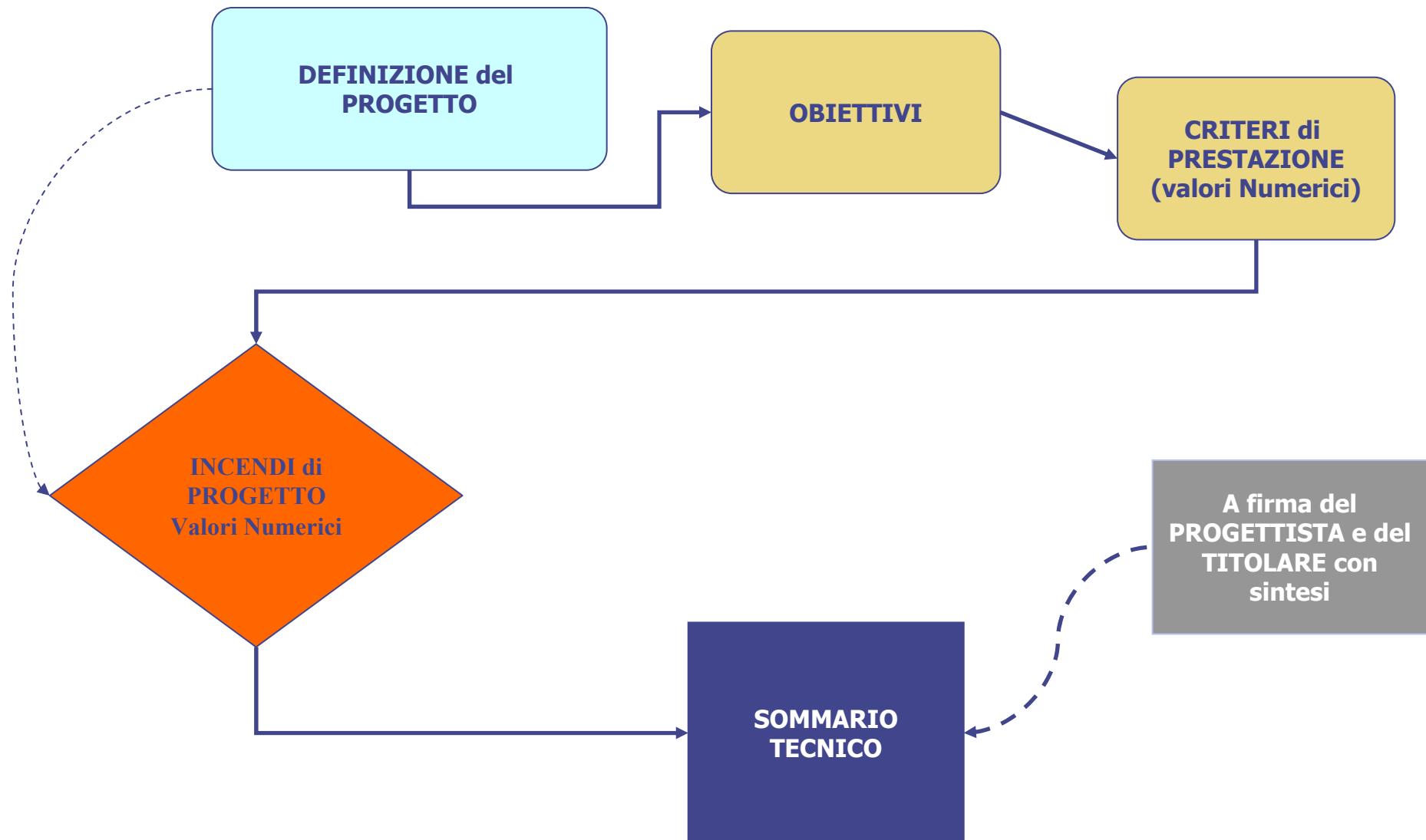
tempo (secondi)	0	135	180	275	305	350	450	465	470	520	950
HRR (kW)	0	95	305	1750	1720	1430	1500	1450	1325	1350	715

tempo (secondi)	1000	1200	1300	1360	1500	1750	2000	2100	2250	2440	-
HRR (kW)	720	780	750	780	570	505	425	385	425	305	-

# Analisi preliminare (I fase) – **Scenari di Incendio di progetto**

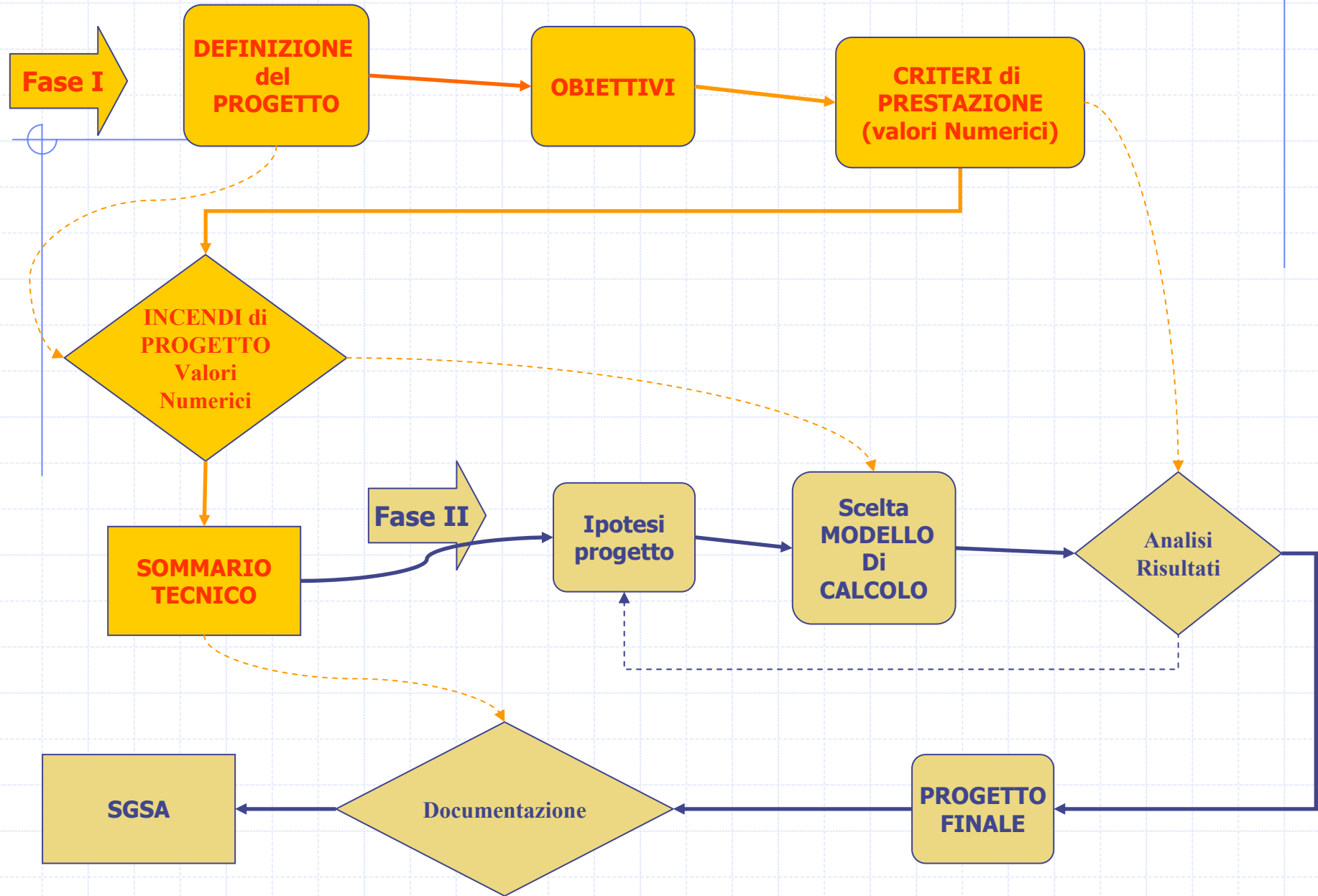
- *stato, tipo e quantitativo del combustibile;*
- *configurazione e posizione del combustibile;*
- *rateo di crescita del fuoco e picco della potenza termica rilasciata (HRR max);*
- *rateo di sviluppo dei prodotti della combustione;*
- *caratteristiche dell'edificio (geometria del locale, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato delle porte e delle finestre, eventuale rottura di vetri, ecc.);*
- *condizioni delle persone presenti (affollamento, stato psico-fisico, presenza di disabili, ecc.).*

# Analisi preliminare (I fase)



# Analisi quantitativa (II fase)

- ◆ Ipotesi di progetto per i punti analizzati con l'ingegneria antincendio
- ◆ Scelta del Modello di calcolo
- ◆ Risultati delle elaborazioni che caratterizzano l'incendio (individuazione principali parametri)
- ◆ Individuazione del Progetto Finale



# I modelli di calcolo

- *Negli ultimi 20 anni si è assistito ad una notevolissimo sviluppo nella comprensione dei fondamenti scientifici di come il fuoco (e le persone coinvolte) si comportano.*
- Cioè si sta cominciando ad avere una comprensione dell'incendio da:

*Storico-empirica a Predittiva*

# I modelli Automatici di Simulazione dell'incendio

- Modellazione matematica in Ingegneria
  - Anche nella Sicurezza – dimensionamento impianti di spegnimento sprinkler, a gas, idranti ecc..
  - Rischi di Incidenti Rilevanti
- Oggi Hardware sempre più potente - Sistemi Software



# I modelli Automatici di Simulazione dell'incendio

- ◆ Probabilistici
- ◆ Deterministici

# I modelli Probabilistici

- Nascono da:
  - Analisi di dati sperimentali
  - Analisi Storica di Incendi realmente avvenuti

*Si scelgono relazioni matematiche che corrispondano ai dati a disposizione*

*(tipico per esplosioni di gas e polveri)*

# I modelli Deterministici

- Rappresentano lo sviluppo di un incendio correlando espressioni matematiche basate sulla fisica e sulla chimica –
- Modelli *di campo* – equazioni di *Navier-Stokes*

# La Modellazione dell'incendio

- Inizi della Modellazione per la fase di pre-flashOver nella metà degli anni '70 con la pubblicazione delle equazioni fondamentali pubblicate da *Quintiere*
- Primi Modelli *a zone* furono RFIRES di Pape e Waterman (1981) e HARVARD di Emmonds e Mitler (1985)

# La Modellazione dell'incendio

- Nel 1985 Walton introduce ASET-B primo modello scritto per PC IBM-compatibili
- Molti software nati per *mainframe* sono oggi stati convertiti per PC

# La Modellazione dell'incendio

- Non esiste in generale un modello “*Migliore*”
- La decisione di adottare un software invece di un altro dovrebbe essere basata sulla comprensione delle *assunzioni di base* e *limitazioni* di quel particolare modello



- ◆ ISO/TR 13387 consists of the following parts, under the general title Fire safety engineering:
- ◆ Part 1: Application of fire performance concepts to design objectives
- ◆ Part 2: Design fire scenarios and design fires
- ◆ **Part 3: Assessment and verification of mathematical fire models**
- ◆ Part 4: Initiation and development of fire and generation of fire effluents
- ◆ Part 5: Movement of fire effluents
- ◆ Part 6: Structural response and fire spread beyond the enclosure of origin
- ◆ Part 7: Detection, activation and suppression
- ◆ Part 8: Life safety — Occupant behaviour, location and condition



# La Modellazione dell'incendio

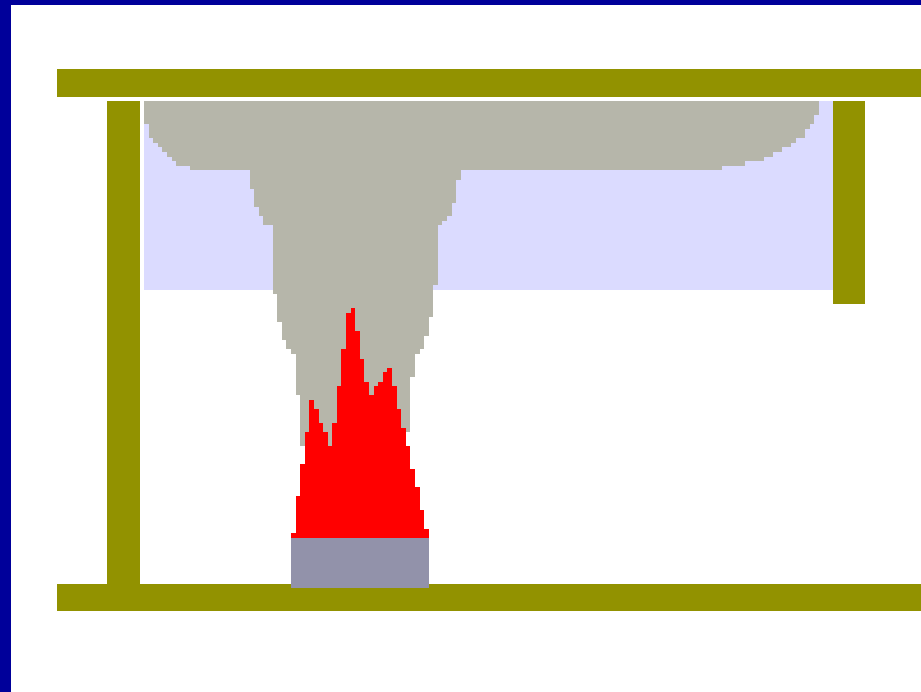
- Uno dei parametri chiave per la scelta di un modello è la **validazione**. (*oltre alla verifica...*)
- Il confronto dei risultati delle *simulazioni effettuate* con il modello con dati sperimentali è particolarmente importante per determinare l'applicabilità di quel software ad una particolare situazione. L'utilizzatore, prima di scegliere, dovrebbe valutare attentamente gli studi di *validazione* esistenti per un particolare modello.



# Reasons for Movement towards Performance Based Code

---

- Engineering tools and methods becoming available
  - Zone model



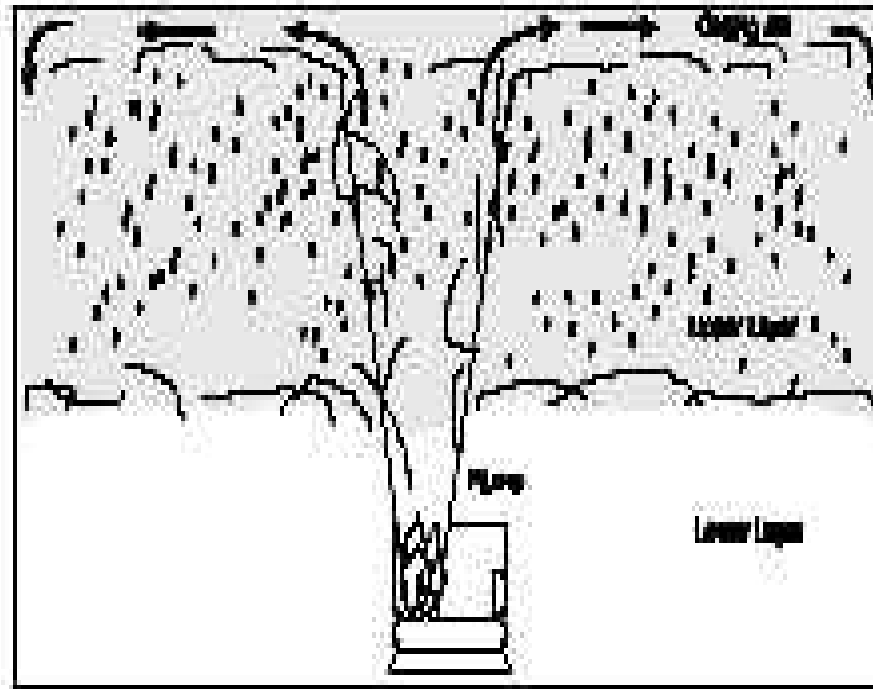
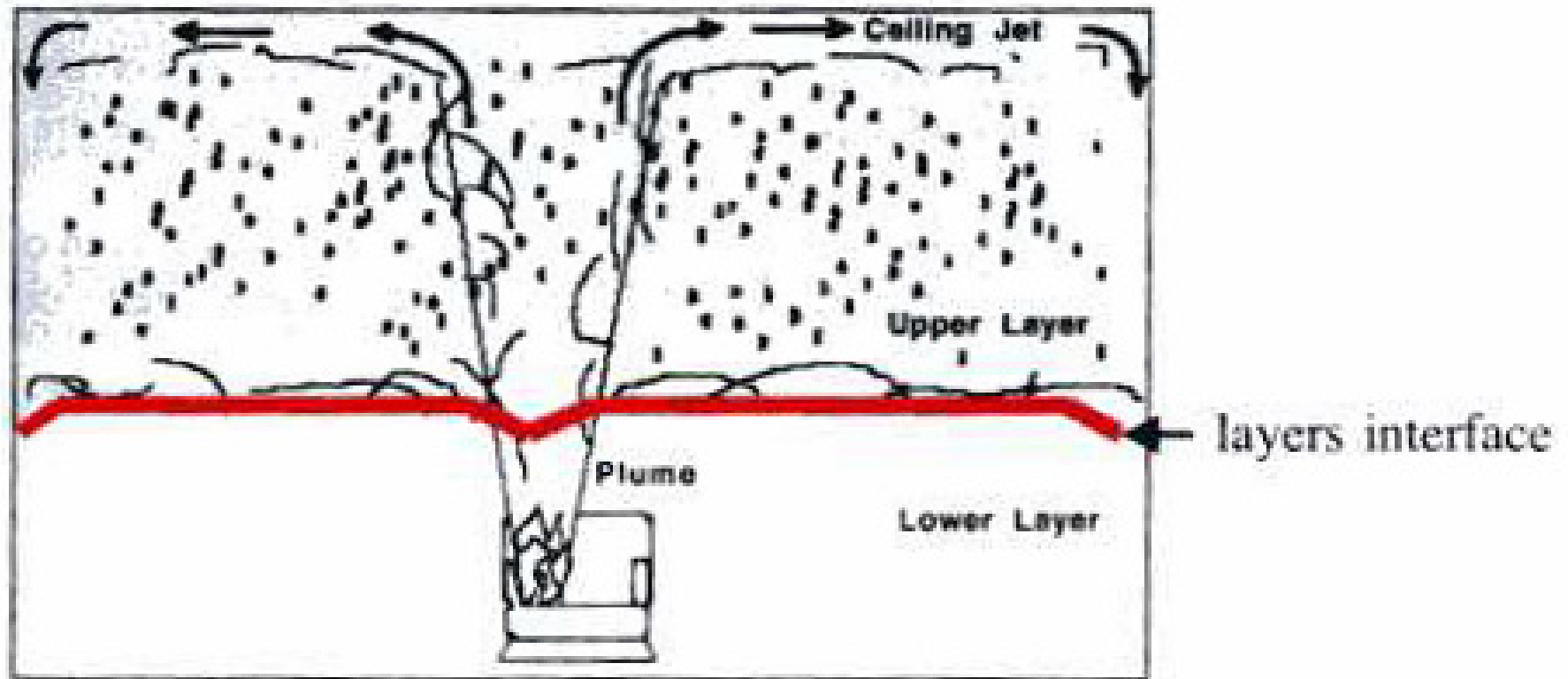


Figure 1. Zone Model Terms.

# Le zone: *Upper and Lower Layer*



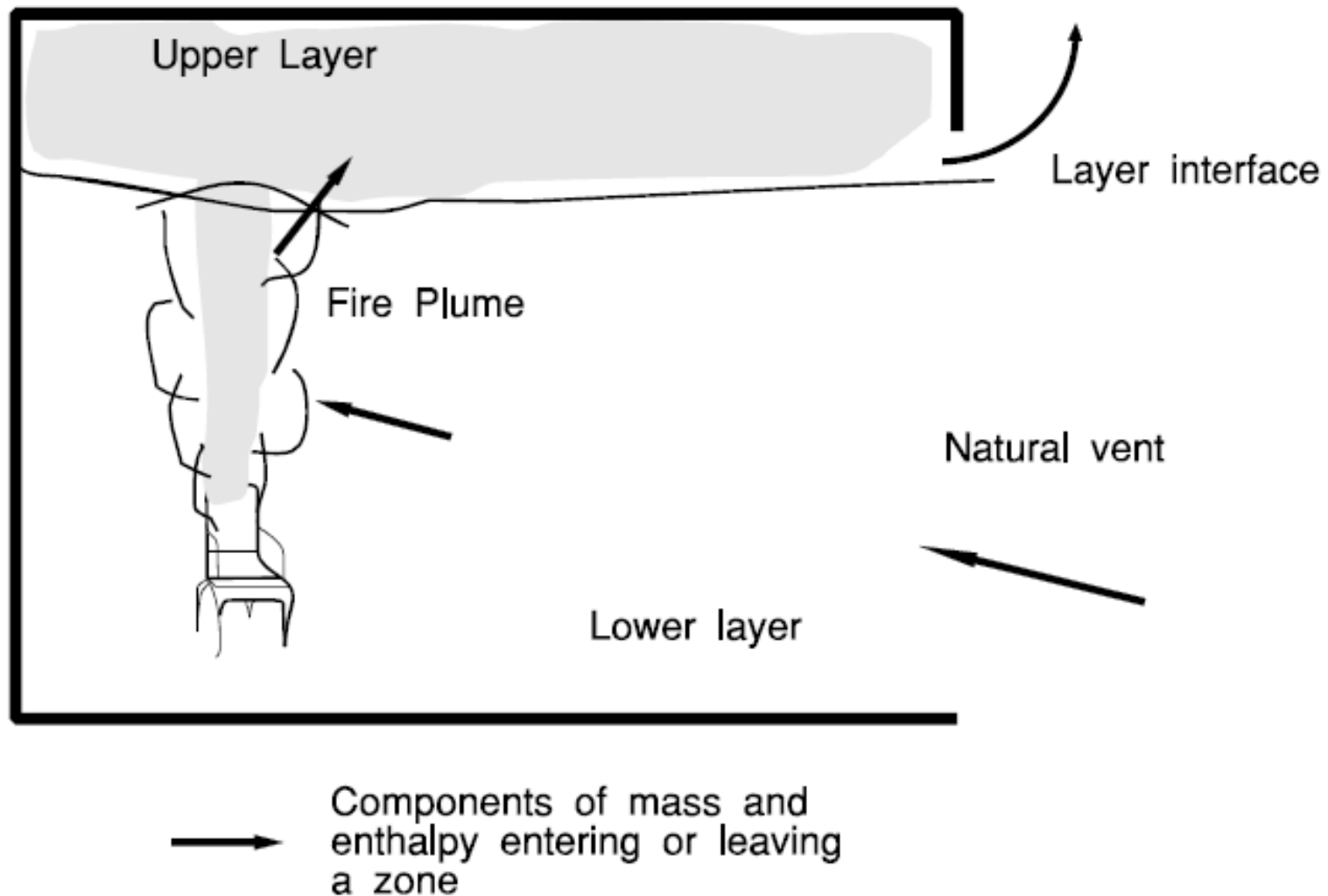
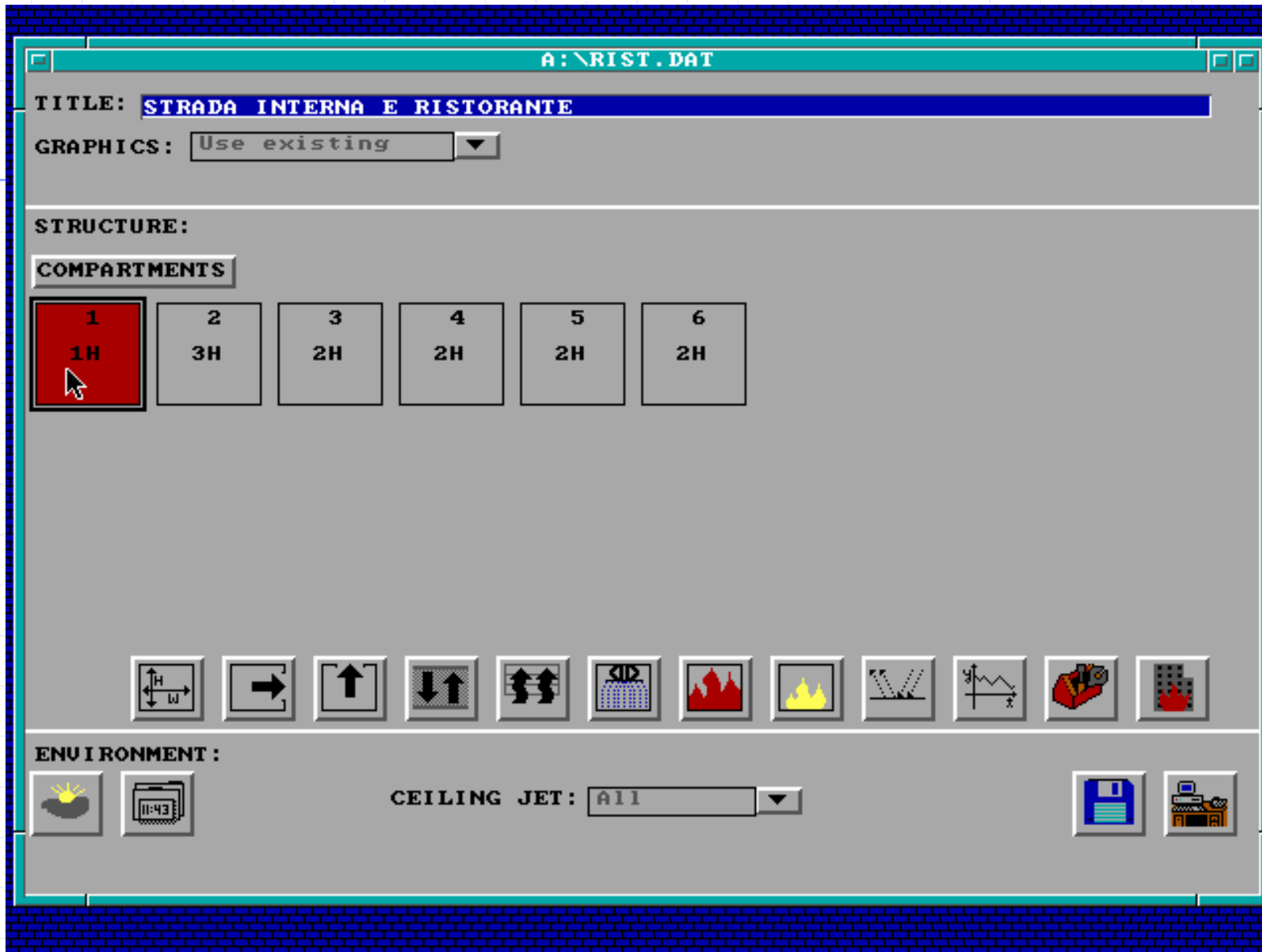
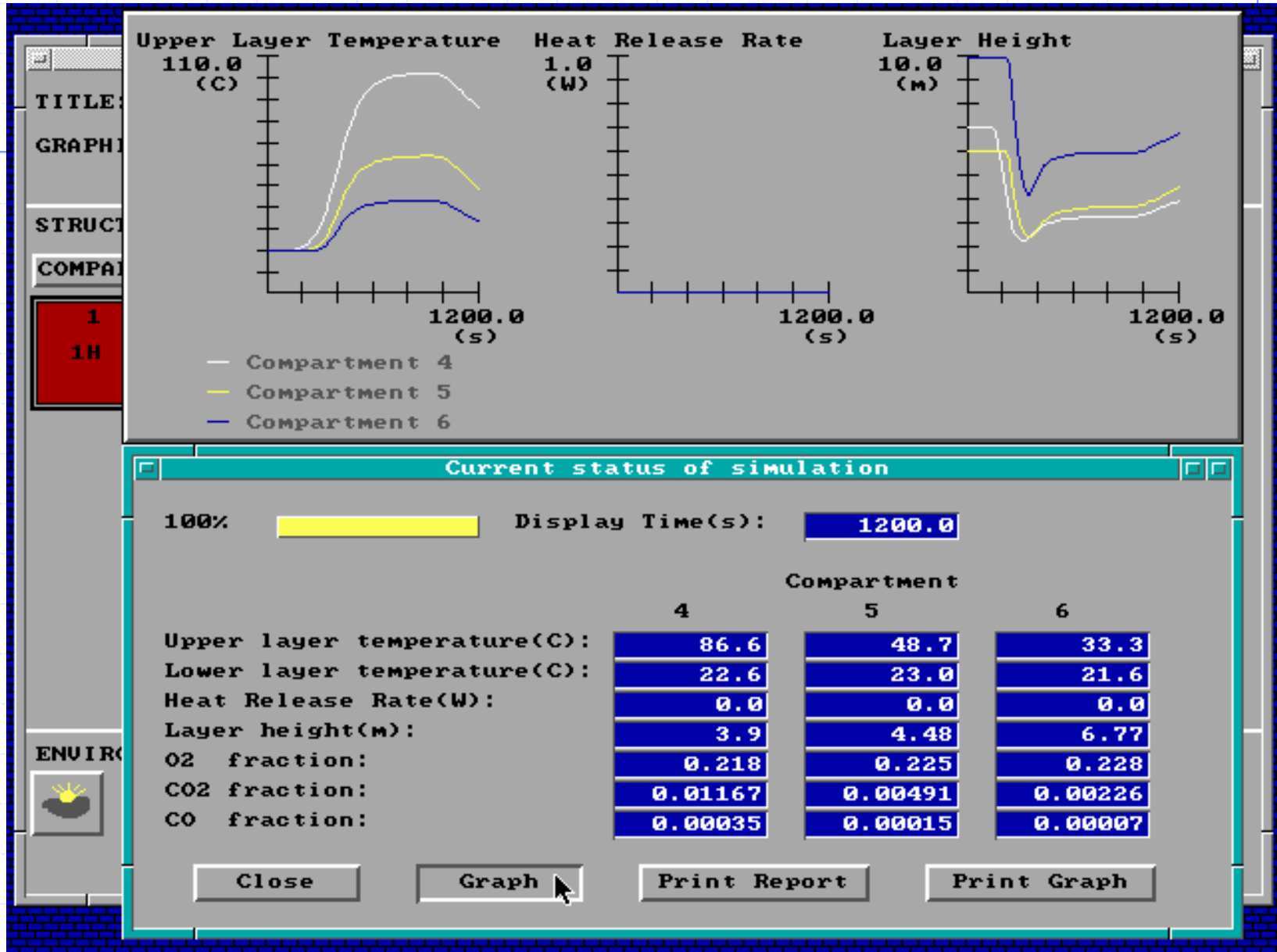


Figure 2. Schematic of control volumes in a two-layer zone model.






RunModel

Current Time Step: 0.04259 s

Simulation Time: 160 s

Progress: 

Compartment	Upper Layer Temperature (°C)	Lower Layer Temperature (°C)	Interface Height (m)	Pyrolysis Rate (kg/s)	Fire Size (kW)	Pressure (Pa)	Ambient Target Flux (kW/m <sup>2</sup> )
1	27.5	20.5	1.2	0.00022	3.28	-0.0375	0.013
2	82.8	21.6	1.2	0.00375	111.1	-0.172	0.139
3	816.4	292.1	0.23	0.122	3566	-5.64	54.49
4	78.9	22.8	1.3	0.00292	55.16	-0.194	0.141
5	211.5	30.8	1.2	0.01432	270.5	-0.639	0.828
6	121.4	20.9	1.8	0.00083	29.73	-0.0409	0.123
7	286.4	48.6	0.98	0.03361	633.9	-1.44	2.076
8	816.4	292.1	0.23	0.122	3566	-5.64	54.49
9	424.6	59.9	0.78	0.05685	1026	-2.04	4.735
Outside					0		

Close

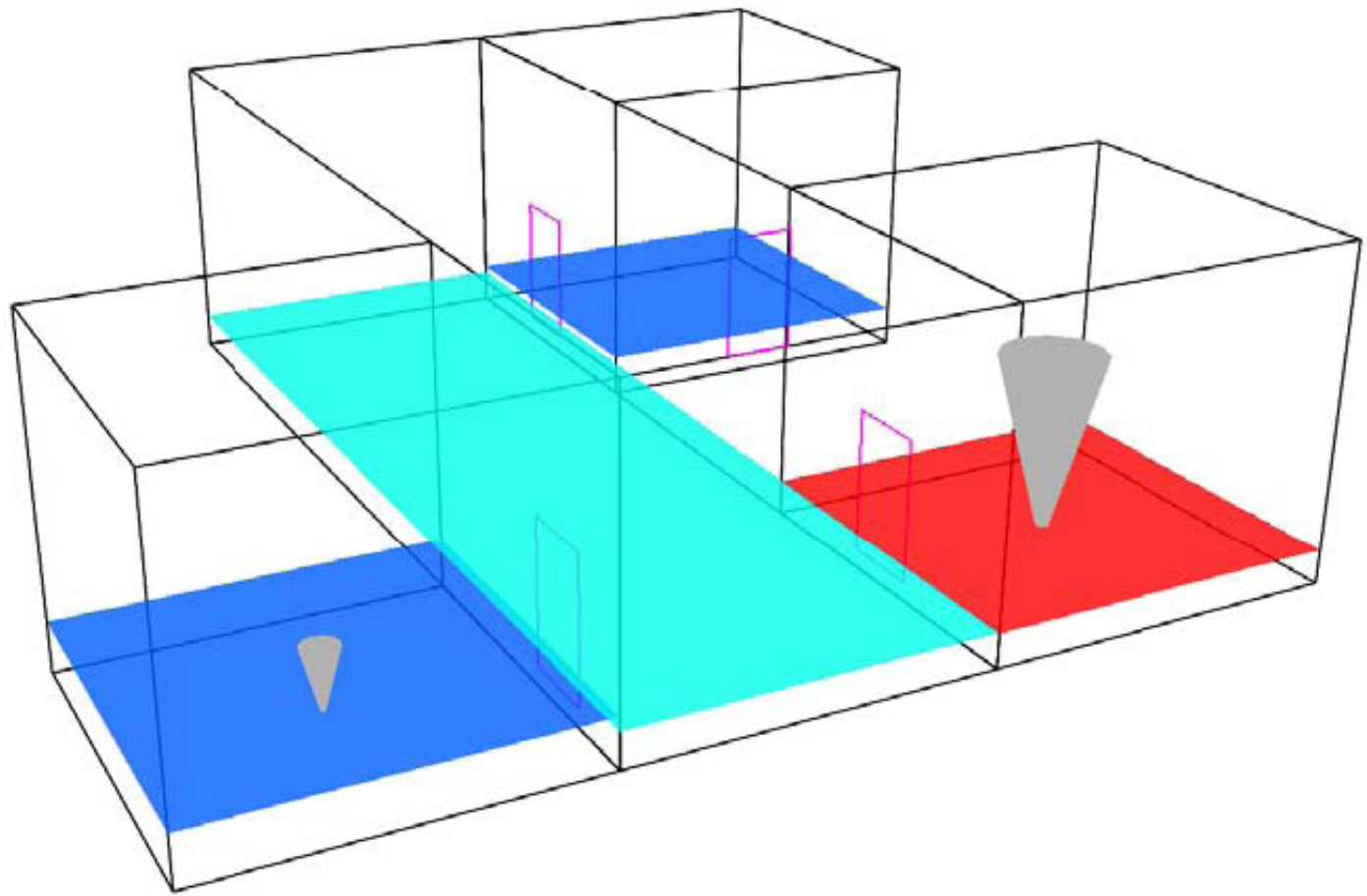
Stop

Update

Zone

Temp

C



775

727

680

632

586

537

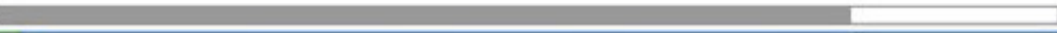
490

442

395

347

300





## Per modelli a zone:

La definizione del *Computational Domain* e le condizioni al contorno o *Boundary Conditions* (tipo di frontiere, la base dati dei materiali - con le loro caratteristiche termofisiche - adoperati nella modellazione,

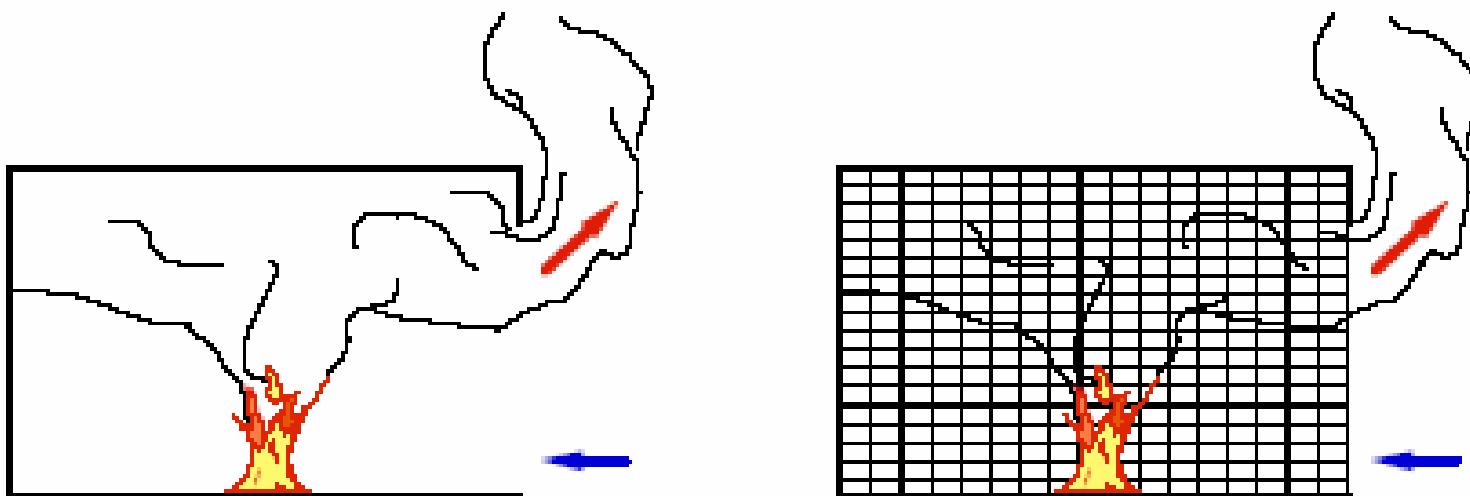
eventuale presenza di vento, la dinamica della ventilazione (cioè istante di inizio attivazione e istante di raggiungimento del valore di regime o dell'apertura completa), velocità dell'eventuale aria di estrazione e/o immissione, condizioni di rottura dei vetri, ecc.)

il *modello di combustione* (Volumetrico, modelli approssimati di combustione), la curva della potenza termica rilasciata (HRR) in funzione del tempo, la produzione di particolato (soot yield) ed eventualmente di specie tossiche,

il *modello di irraggiamento*, le caratteristiche di eventuali impianti sprinkler e i loro effetti nel corso della simulazione, il tempo reale previsto di simulazione.

---

# Zone to Field Models

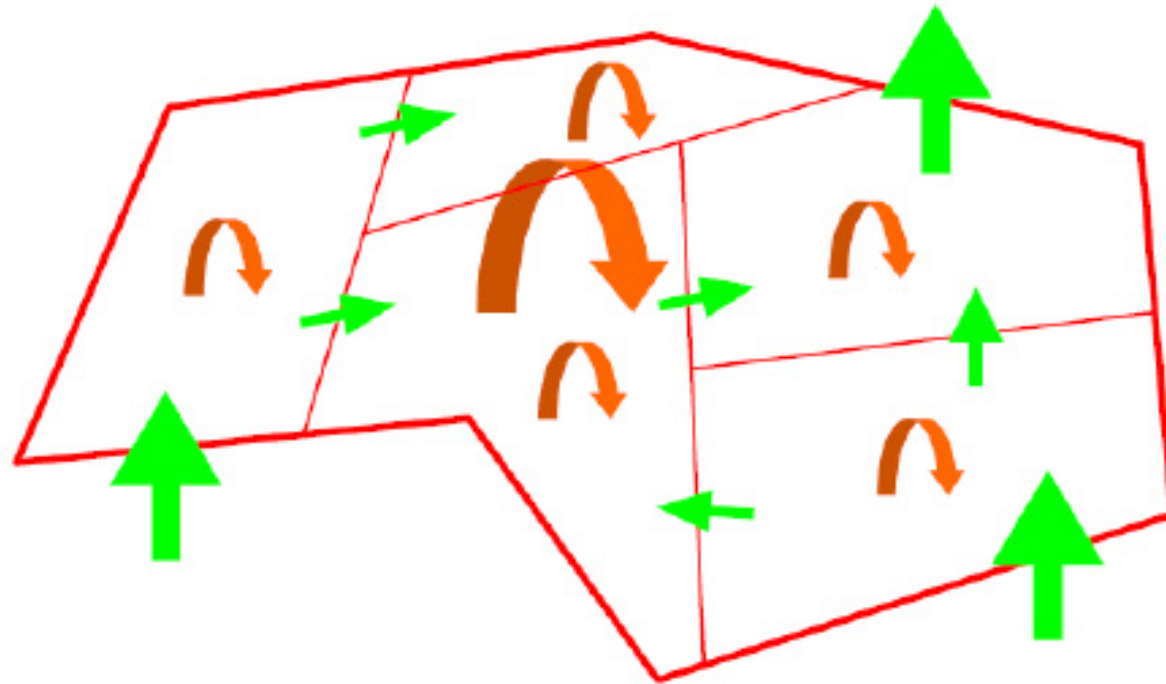


**NIST**

National Institute of Standards and Technology  
Technology Administration, U.S. Department of Commerce

---

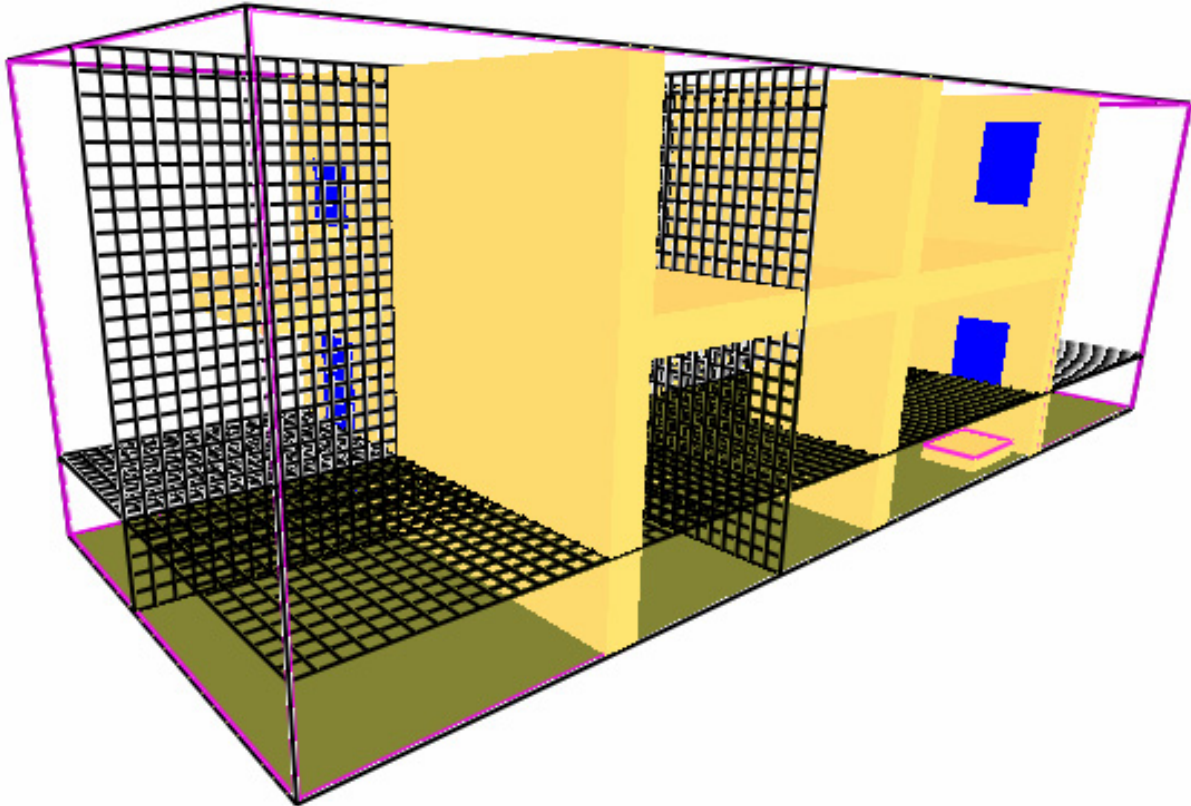
Equazioni di bilancio valgono per ogni volumetto



Si parla di CFD „serio“ quando  $N > 100'000$ . Tipicamente (anno 2007)  
 $N = 1'000'000$

*Figura 8 – CFD – Nella discretizzazione del Volume si impone il rispetto delle equazioni di bilancio per ciascuna cella.*





## *I modelli di campo. Le Boundary conditions e la definizione dei materiali*

Questa parte riguarda la definizione delle condizioni presenti ai confini del volume modellato, i confini stessi del modello e dei materiali che lo compongono (murature, solai ecc..)

Dovranno essere fornite come dati di *input* le grandezze necessarie a stimare il calore assorbito, a meno di considerare le superfici di pareti e solai di tipo adiabatico.

Verranno poi fornite le condizioni delle superfici di ventilazione come porte, finestre, definendo il grado di apertura, la permeabilità (*leakage*), il tipo di vetro ecc.

Alcune condizioni potranno essere dipendenti dall'azione dell'incendio, come ad esempio la rottura dei vetri di una finestra per il raggiungimento di certe temperature, l'apertura di sistemi EFC per l'intervento dell'impianto di rivelazione o l'apertura di porte per l'esodo dei presenti o per l'intervento dei soccorsi.

## *I modelli di campo Modello di Turbolenza*

I flussi turbolenti presentano una ampia variabilità in termini di dimensioni e di durata. Questo rende la modellazione dei flussi turbolenti molto complessa. Sono stati proposti molti approcci che possono essere classificati in tre categorie.

- *Direct Numerical Simulation* (DNS). Tutti i moti turbolenti sono risolti utilizzando direttamente le equazioni di *Navier Stokes*. Questo richiede un altissimo numero di celle (con dimensioni dell'ordine dei millimetri), fatto che rende impraticabile, allo stato attuale, questo metodo nel campo dell'ingegneria antincendio.
- *Large Eddy Simulation* (LES). Solo i vortici di dimensioni confrontabili con la dimensione delle celle vengono modellati con le equazioni di *Navier Stokes*. Quelli più piccoli sono trascurati o approssimati.
- *Reynolds Averaged Navier-Stokes* (RANS). Le equazioni di *Navier Stokes*

vengono mediate nel tempo. L'obiettivo non è tanto quello di prevedere esattamente i moti turbolenti ma di stimarne le caratteristiche mediate in un tempo tale da permettere di cogliere la completezza del fenomeno su di una scala paragonabile con la dimensione delle celle. Questo approccio risulta estremamente più costoso del precedente LES ma conduce a risultati migliori e dovrebbe essere utilizzato in ambienti complessi (geometrie complesse, presenza di volte, superfici curve, ecc.) I modelli RANS a loro volta includono altri sub-modelli come il  $K-\epsilon$  o il più recente SST.

### *I modelli di campo. Il modello di Irraggiamento*

Tipicamente l'irraggiamento comincia a svolgere un ruolo importante per temperature al di sopra dei 350-400°C. La scelta di questo *sub-modello* è quindi legata agli obiettivi della simulazione; in uno studio effettuato ad esempio per verificare le condizioni di esodo dei presenti e quindi a temperature molto basse, potrà addirittura essere possibile trascurare questo termine. Più spesso il quantitativo del calore rilasciato dall'incendio verrà ridotto di una frazione, per tenere conto del calore ceduto per irraggiamento ai materiali presenti (mura, solai, oggetti).

In altri casi, come ad esempio nel calcolo della resistenza strutturale all'incendio, potrà essere necessario considerare questo contributo. A questo proposito, oltre al metodo della frazione di calore persa, esistono altri approcci di complessità crescente come il *Six flux modelling*, il *Discrete Transfer Modelling*, la *Monte Carlo Simulation*.

## *I modelli di campo. Il “time step” e la convergenza della simulazione*

Le simulazioni dovendo in generale rappresentare grandezze variabili nel tempo, sono di tipo *transiente*, cioè dipendenti dalla grandezza tempo.

Come il volume viene suddiviso in celle, discretizzando la realtà, anche il tempo viene suddiviso in passi discreti.

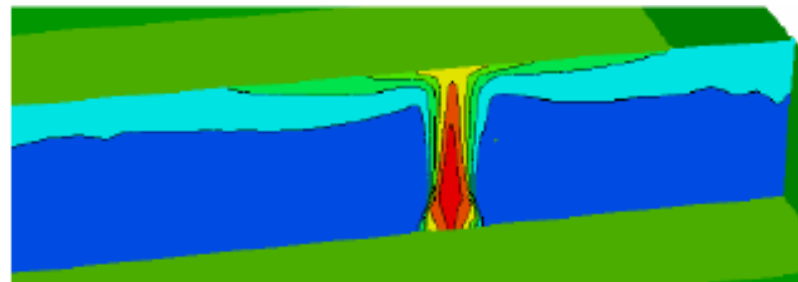
Questi hanno bisogno di essere piccoli a sufficienza, in modo da poter rappresentare in modo corretto le principali caratteristiche dei flussi. Il *time step* deve anche essere coerente con la dimensione della *mesh*; più piccole saranno le celle in cui è suddiviso l'ambiente e minore sarà la durata del passo temporale di calcolo, in modo da poter aiutare una corretta soluzione delle equazioni algebriche risolte in modo discreto ed ottenere risultati affidabili. La soluzione delle equazioni differenziali discretizzate consiste in pratica in un processo iterativo, che necessita di un certo numero di successive iterazioni (*sweep*) per poter convergere. E' critico mantenere il controllo della *convergenza* delle soluzioni, in modo da poter valutare l'affidabilità dei risultati ottenuti.



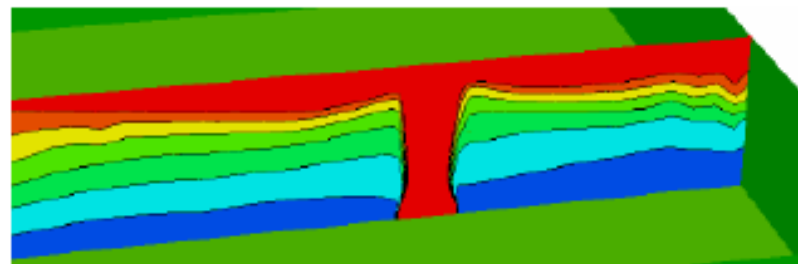
## Parametri per l'approccio prestazionale

### Produzione fumi

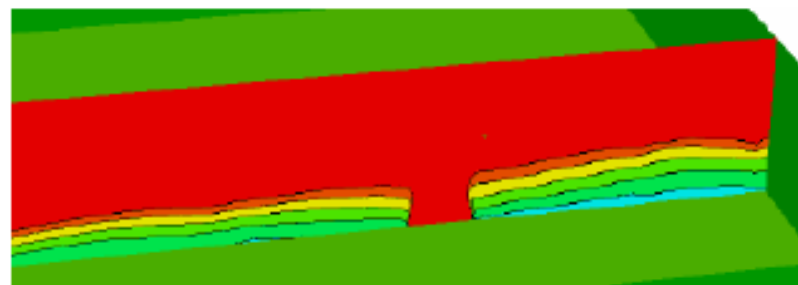
Bassa (ad.es. Legna)

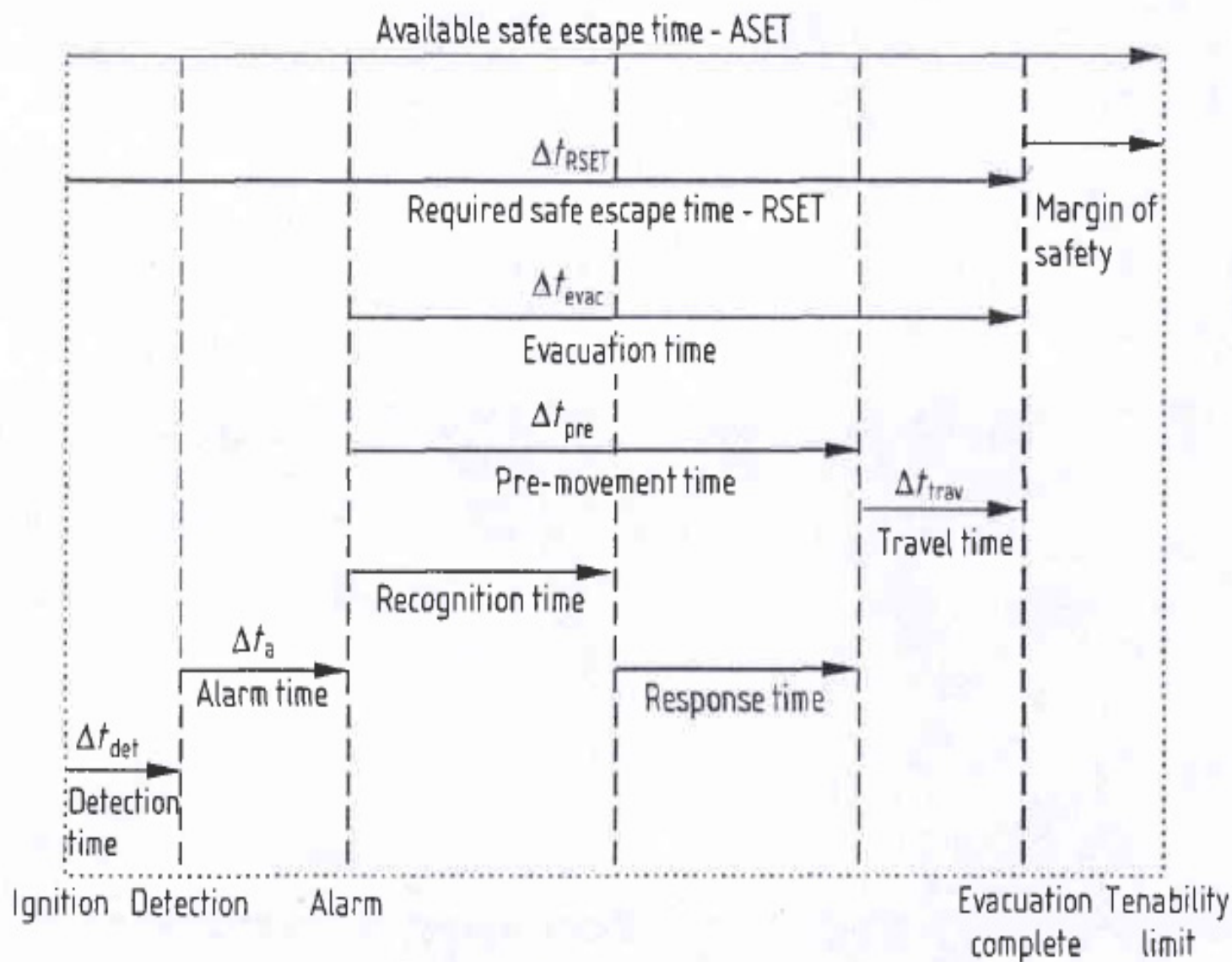


Media (ad.es. Spugna morbida di PU; calore di combustione: 25 kJ/g, resa di fumo: 2%)

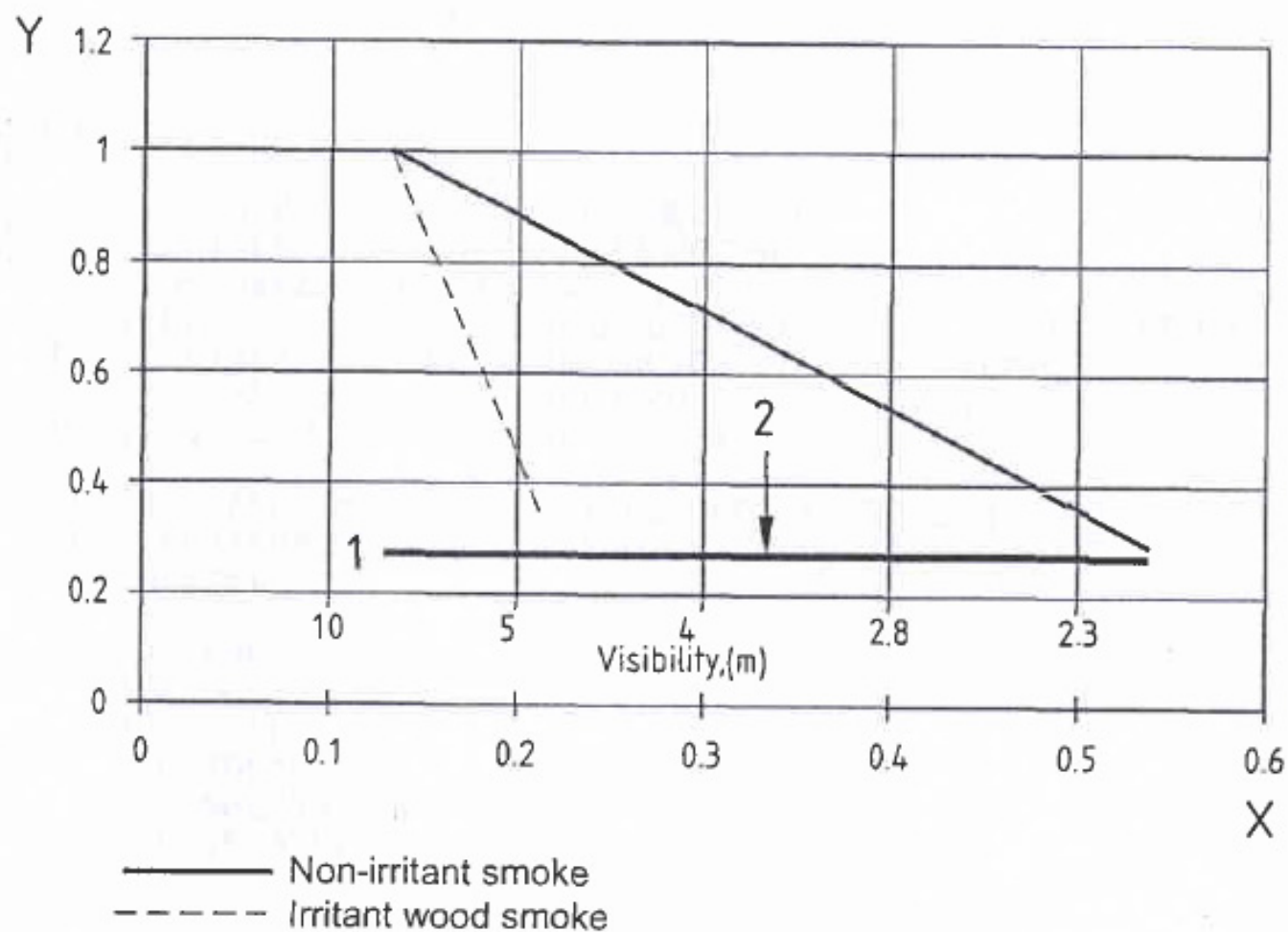


Alta (ad.es. Spugna rigida di PU)





**Figure 1 — Simplified schematic of processes involved in escape time compared to available safe escape time**



**Key**

X Smoke/D·m<sup>-1</sup>

Y Walking speed/m·s<sup>-1</sup>

1 Walking speed in darkness

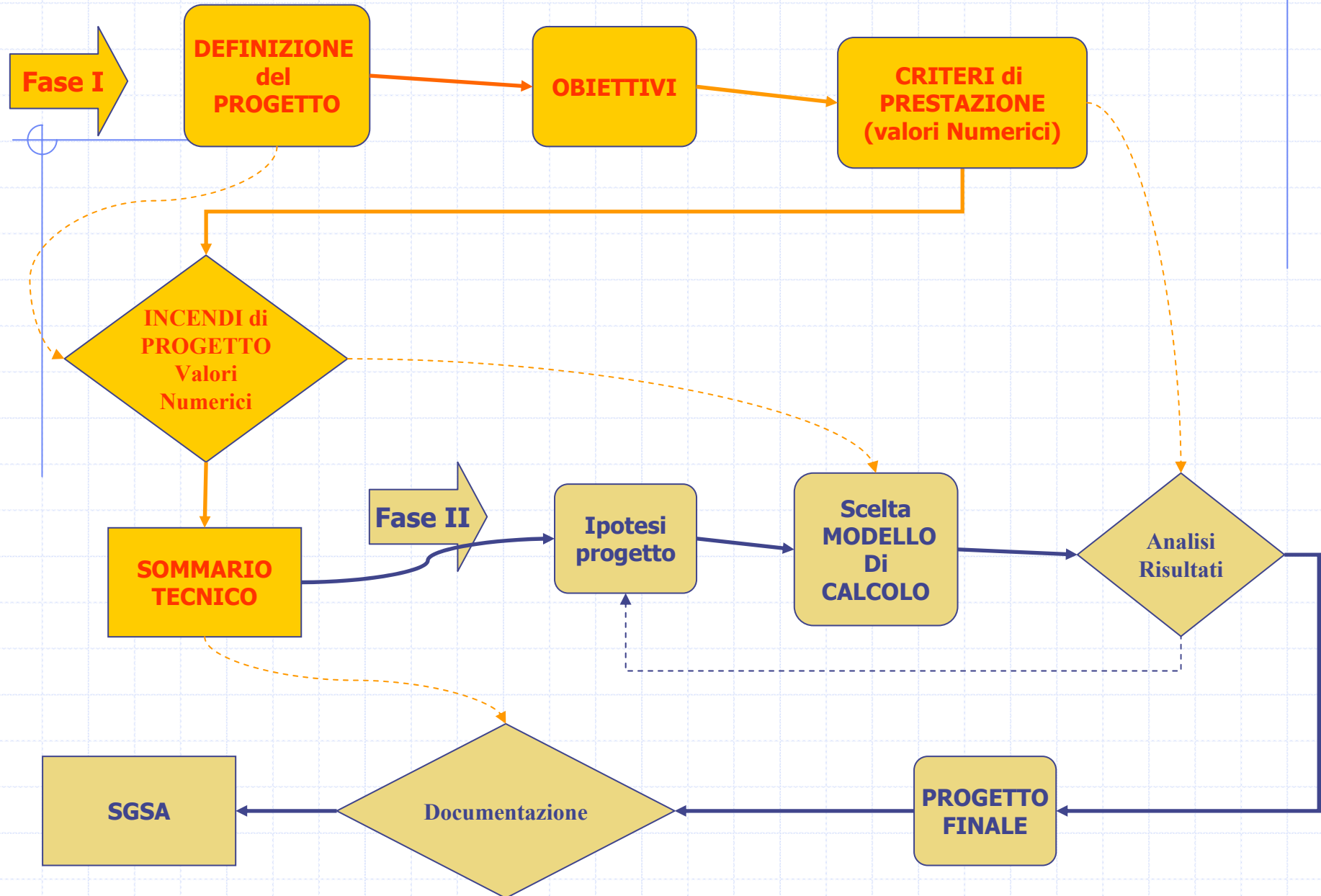
2 30 % of people turn back rather than enter

**Figure G.1 — Walking speeds in non-irritant and irritant smoke**

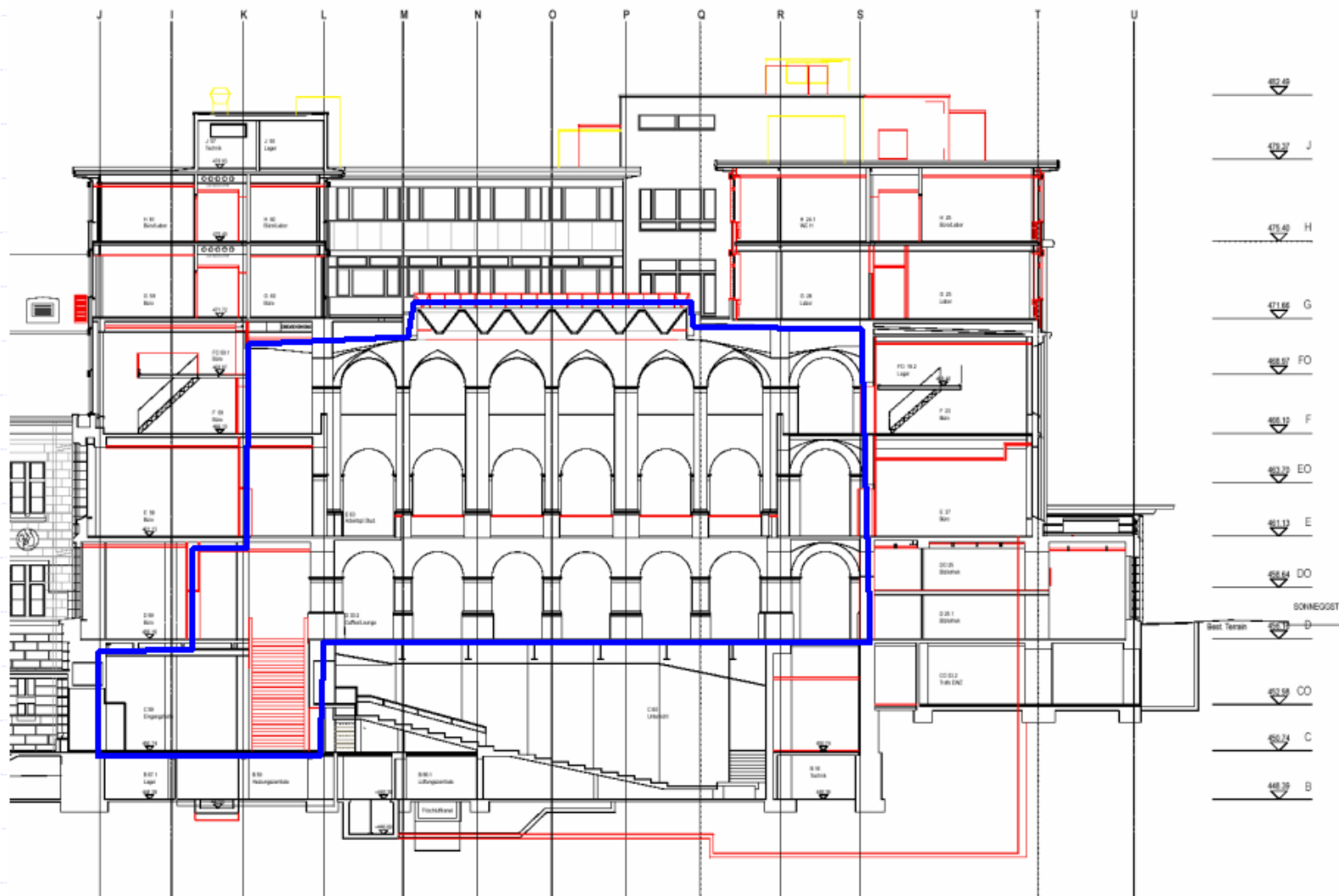
Per quanto riguarda i modelli di simulazione di esodo:

è necessario caratterizzare gli individui presenti in termini di dimensioni medie normalizzate, velocità, coefficienti di handicap da applicare ad eventuali persone con disabilità, lunghezze e larghezze delle vie di esodo, descrizione dei percorsi orizzontali e suborizzontali (scale), tempi di percezione e reazione nei confronti dell'incendio (pre-allarme e pre-movimento).

# Riassumendo..



# Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich – Atrium - Built in 1916 ([www.afc.ch](http://www.afc.ch))



# SGSA

All'Estero (*per quanto ne so*) nei progetti svolti con i metodi prestazionali non vengono richieste particolari misure *Gestionali*

*Il DM 9/5/07 introduce l'obbligo di un SGSA*

# SGSA

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



# SGSA

Conseguentemente è necessario che venga posto in atto 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.*

# SGSA

Nell'ambito del *sistema di gestione della sicurezza antincendio* devono essere valutati ed esplicitati i provvedimenti presi relativamente ai seguenti punti:

- *Organizzazione del personale;*
- *Identificazione e valutazione dei pericoli derivanti dall'attività;*
- *Controllo operativo;*
- *Gestione delle modifiche;*
- *Pianificazione di emergenza;*
- *Controllo delle prestazioni;*
- *Controllo e revisione.*

# Riassumendo..

