



Namirial



Scelta della griglia computazionale in FDS: predimensionamento e analisi di sensibilità

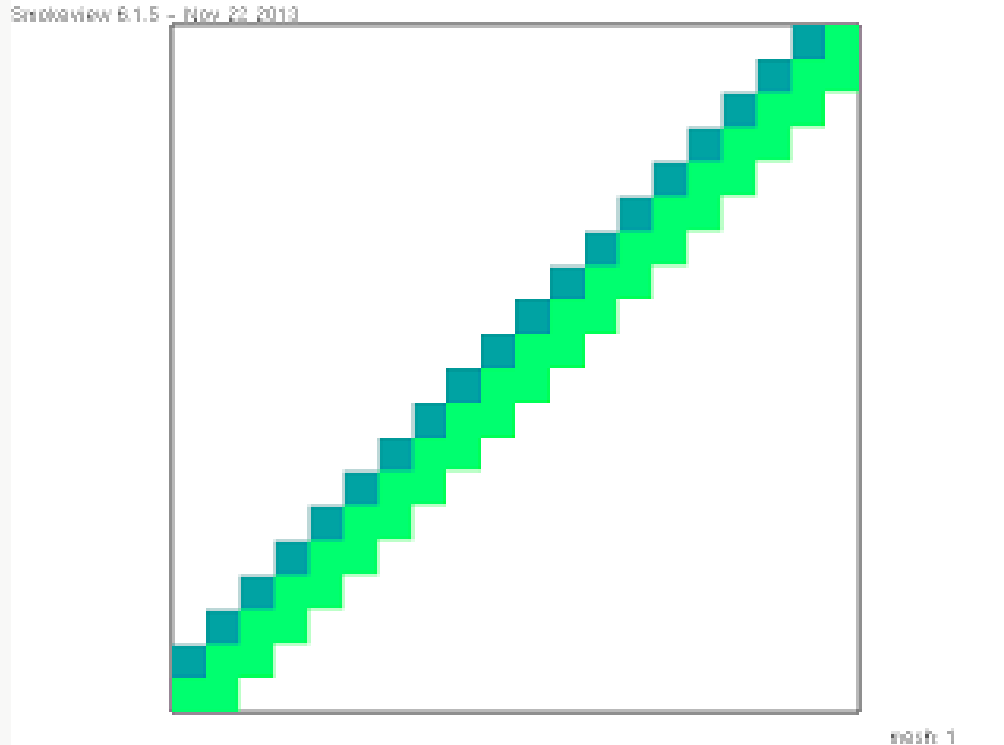
Relatore: Ing. Francesco Saverio Ciani

COLORFUL FLUID DYNAMICS → COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Un risultato “bello bello in modo assurdo” è anche accurato?




COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS



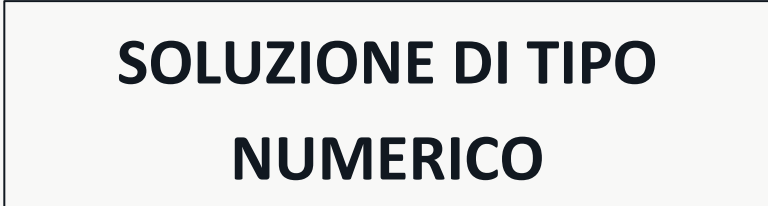

SCELTA DELLA GRIGLIA COMPUTAZIONALE

- Discretizzazione e metodi numerici;
- Convergenza, consistenza e stabilità;
- Accuratezza:
 - Validazione;
 - Confronto con calcoli analitici semplificati;
- Turbolenza;
- Predimensionamento;
- Irraggiamento;
- Metriche di qualità della griglia a posteriori.

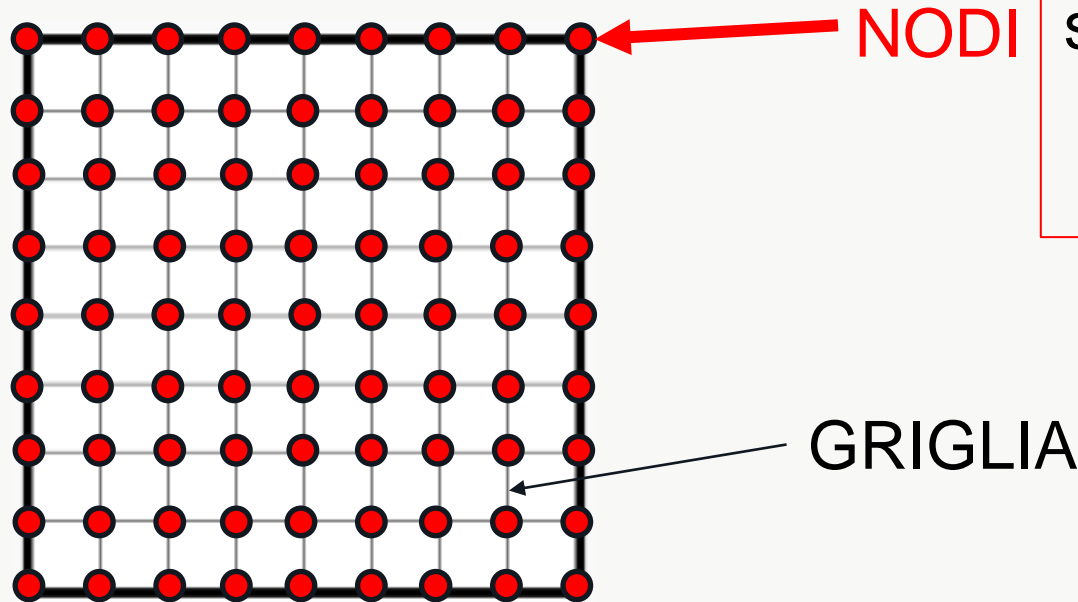
COSA SIGNIFICA UTILIZZARE UN METODO NUMERICO

EQUAZIONI DIFFERENZIALI  SOLUZIONE IN FORMA CHIUSA

Se non è possibile ottenere una soluzione in forma chiusa?

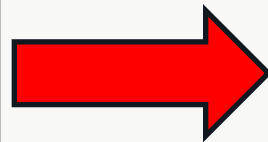
 SOLUZIONE DI TIPO
NUMERICO  SOLUZIONE DISCRETA

SOLUZIONE DI TIPO NUMERICO



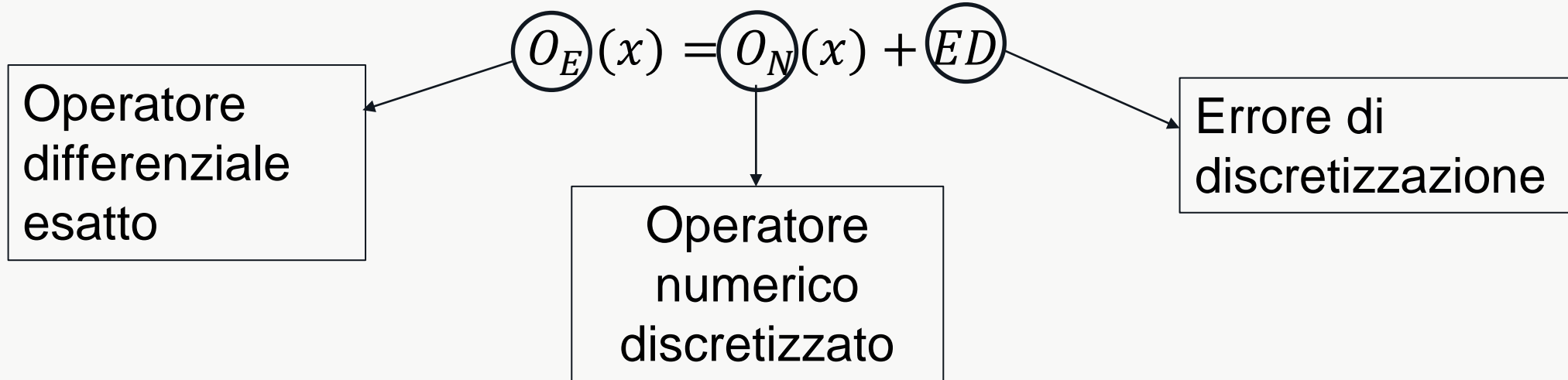
Ci accontentiamo di trovare soluzioni solo in questi punti ciò che succede tra i nodi è la griglia

**EQUAZIONI
DIFFERENZIALI**



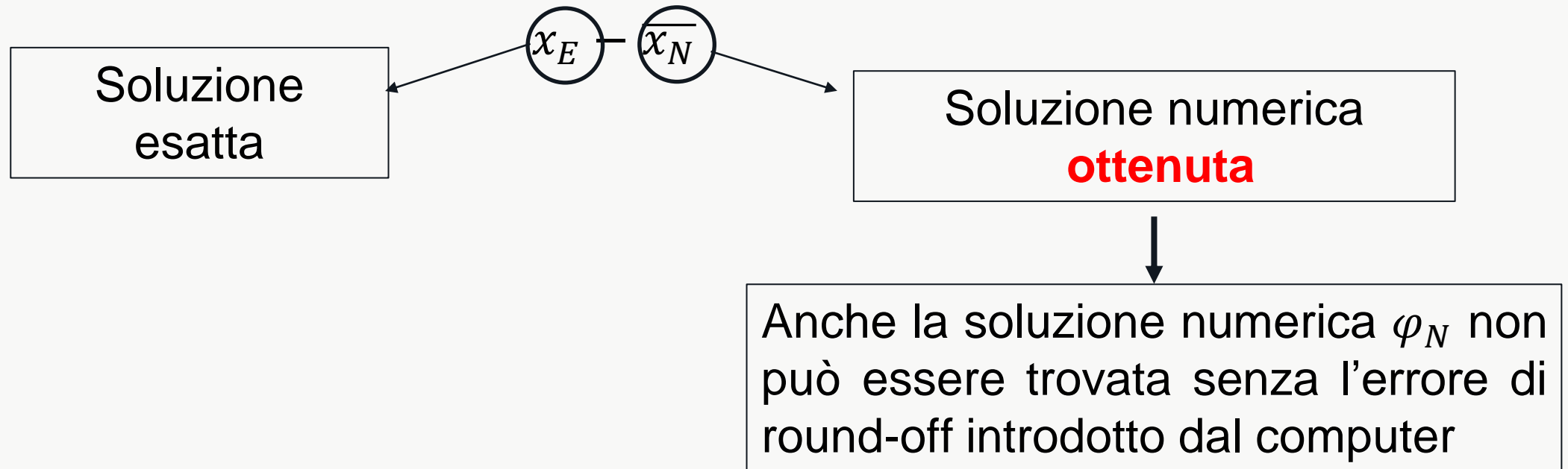
EQUAZIONI ALGEBRICHE

STIMA ACCURATEZZA



STIMA ACCURATEZZA

Concentriamoci su x , l'errore legato alla soluzione numerica è dato da



ERRORE TOTALE

Si può decomporre l'errore totale in:

$$x_E - \bar{x}_N = \underbrace{(x_E - x_N)}_{\text{ERRORE DI DISCRETIZ.}} + \underbrace{(x_N - \bar{x}_N)}_{\text{ERRORE DI RISOLUZ.}}$$

Con le differenze finite lo studio dell'errore si affronta in forma chiusa.

CONVERGENZA

La soluzione numerica del sistema di equazioni algebriche che approssima l'equazione differenziale si dice convergente se l'errore di discretizzazione si riduce a zero.

$$x_E - \bar{x}_N = \underbrace{(x_E - x_N)}_{\text{ERRORE DI DISCRETIZ.}} + \underbrace{(x_N - \bar{x}_N)}_{\text{ERRORE DI RISOLUZ.}}$$

Conosciamo la soluzione esatta?

CONSISTENZA

Il sistema di equazioni algebriche ottenuto con la discretizzazione è detto consistente con l'equazione differenziale di partenza se per $\Delta x \rightarrow 0$, in ogni punto della griglia, il sistema di equazioni algebriche equivale all'equazione differenziale.

È garanzia di **reversibilità**

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \rightarrow \frac{T_{j+1} - T_j}{\Delta x} = 0 \quad \rightarrow \quad \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{T_{j+1} - T_j}{\Delta x} = 0 \rightarrow \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

STABILITA'

La soluzione di un sistema di equazioni algebriche è detta stabile se una perturbazione (errore di arrotondamento) tende a decadere.

L'errore di arrotondamento non si propaga in modo incontrollato generando risultati inaccettabili.

Le soluzioni esplicite tendono ad essere instabili.

NUMERO DI COURANT FRIEDIRCHS LEWY

Per le equazioni differenziali che rappresentano la convezione in un caso monodimensionale otteniamo:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = U \frac{\partial \varphi}{\partial x}$$

Per questo caso il parametro di stabilità è il numero di Courant C (Courant Friedrichs Lewy)

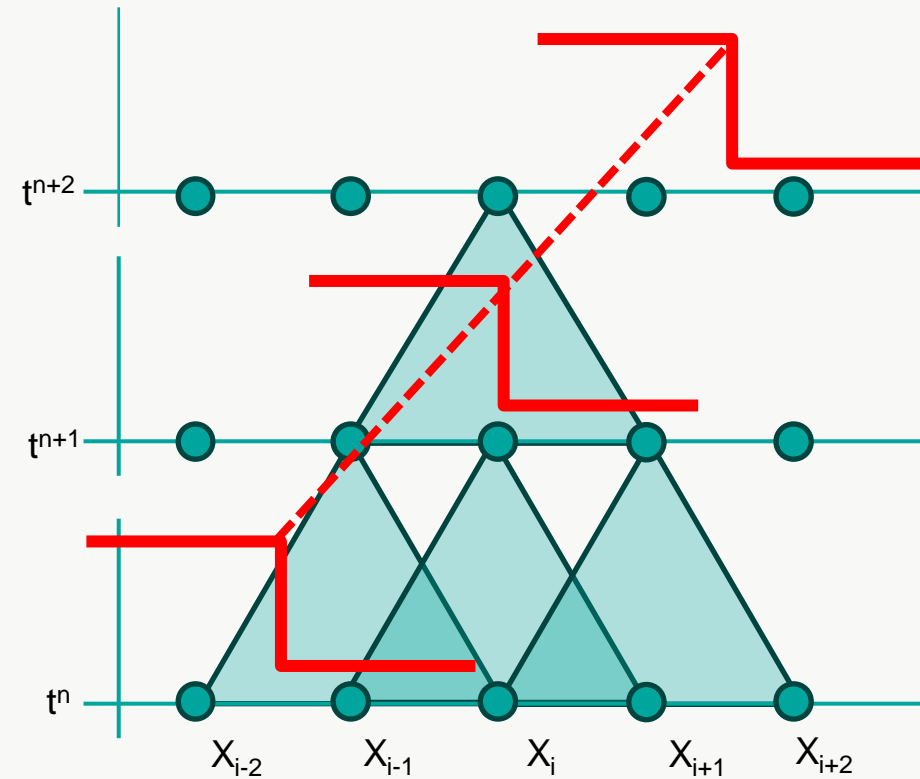
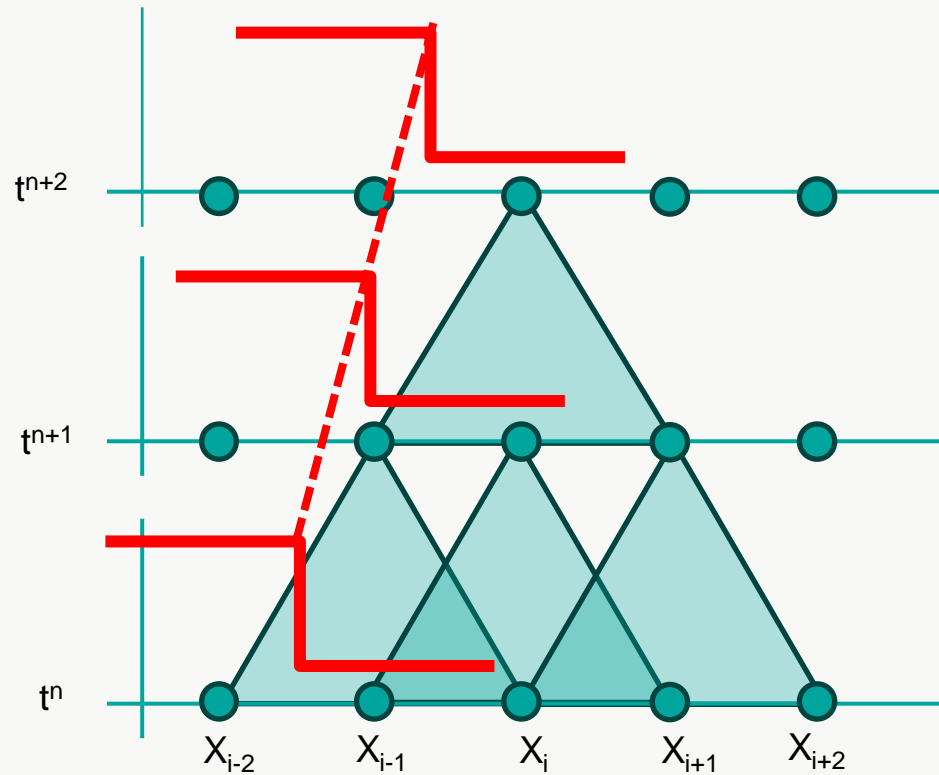
$$C = \frac{U \Delta t}{\Delta x} < C_{MAX}$$

C_{MAX} è 1 se lo schema è esplicito



Richard Courant (1888-1972)

METODO ESPLICITO



Fonte slide: Arnold L. 1° Summer school Fire Modelling, Aachen

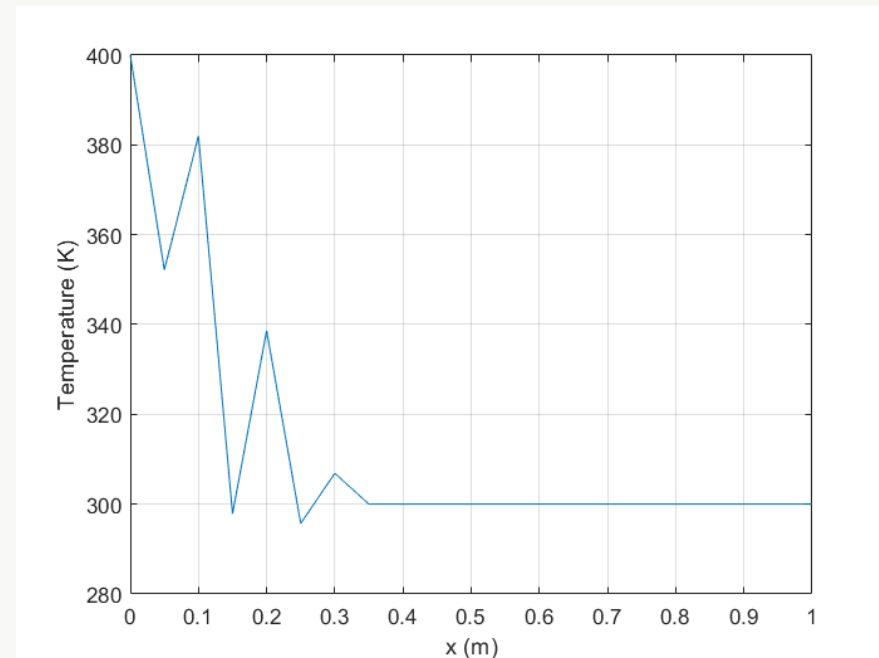
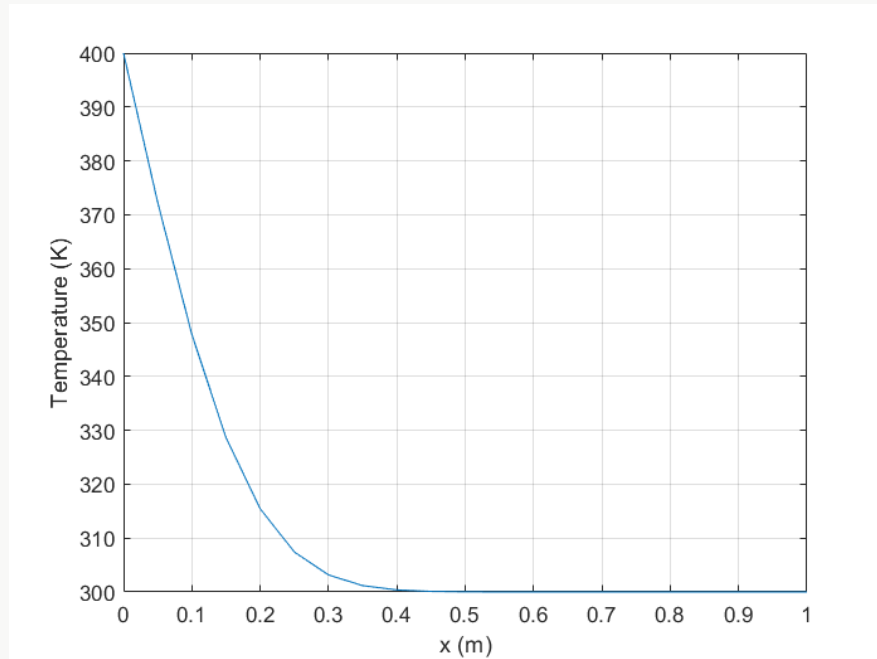
CONFRONTO CODICE CON SCHEMA TEMPORALE IMPLICITO ED ESPLICITO



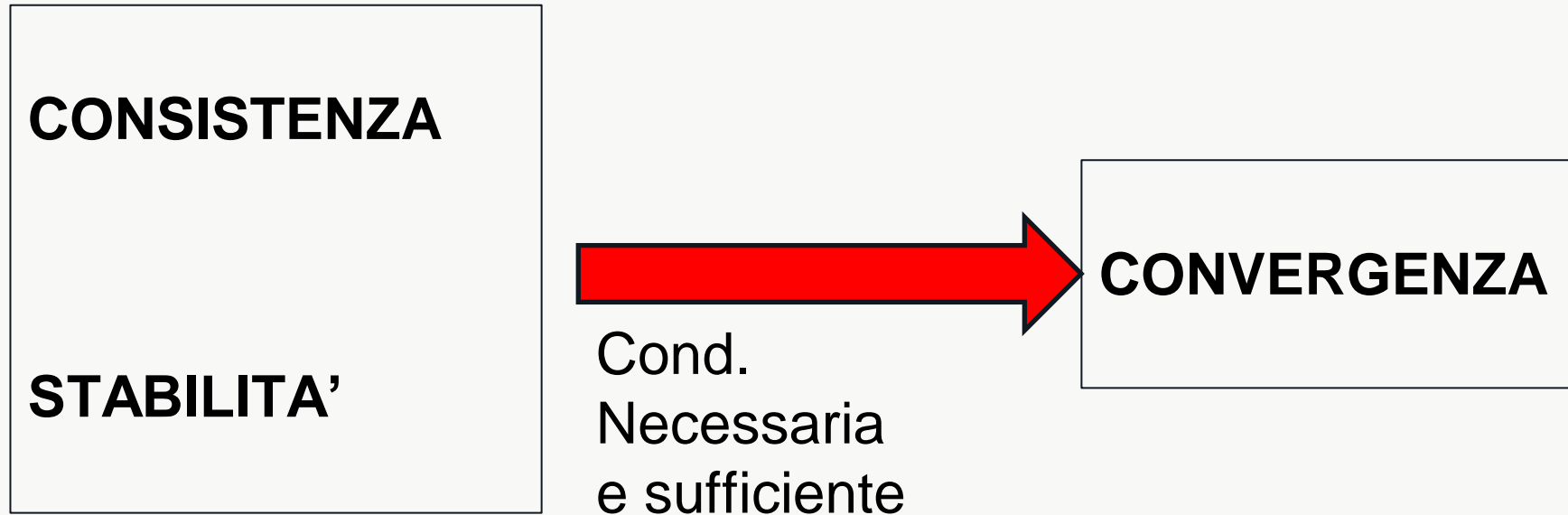
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

$T = 400 \text{ K}$

$T = 300 \text{ K}$



TEOREMA DI LAX



ACCURATEZZA

L'accuratezza è più o meno quello che mi pare!

1. Confronto con una soluzione esatta di un sottocaso particolarmente semplice del problema in esame;
2. Ricerca di una soluzione grid-independent;
3. Confronto con i risultati sperimentali;
4. Confronto con la soluzione analitica.

VERIFICA E VALIDAZIONE

VERIFICA: La verifica è un processo per controllare la correttezza della soluzione delle equazioni governanti. La verifica non implica che le equazioni governanti siano appropriate; significa solo che le equazioni vengono risolte correttamente

VALIDAZIONE: La validazione è un processo per determinare l'appropriatezza delle equazioni governanti come modello matematico dei fenomeni fisici di interesse. Tipicamente, la validazione comporta il confronto dei risultati del modello con misurazioni sperimentali. Le differenze che non possono essere spiegate in termini di errori numerici nel modello o incertezze nelle misurazioni sono attribuite alle assunzioni e semplificazioni del modello fisico.

IMPOSTAZIONE DEL PROBLEMA MATEMATICO

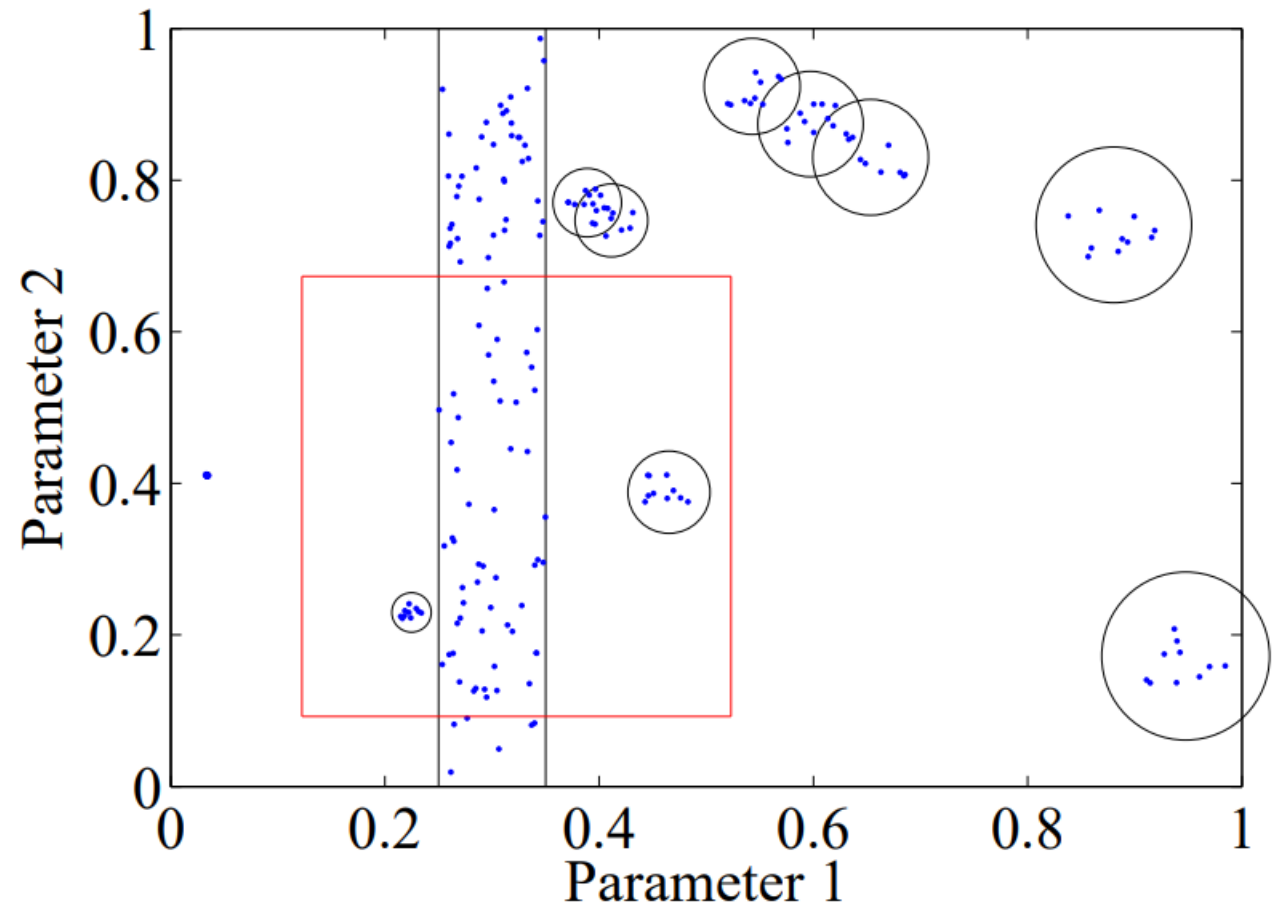


ERRORE TOTALE

QUALITY ASSESSMENT IN THE FIRE DYNAMICS SIMULATOR: A BRIDGE TO RELIABLE SIMULATIONS

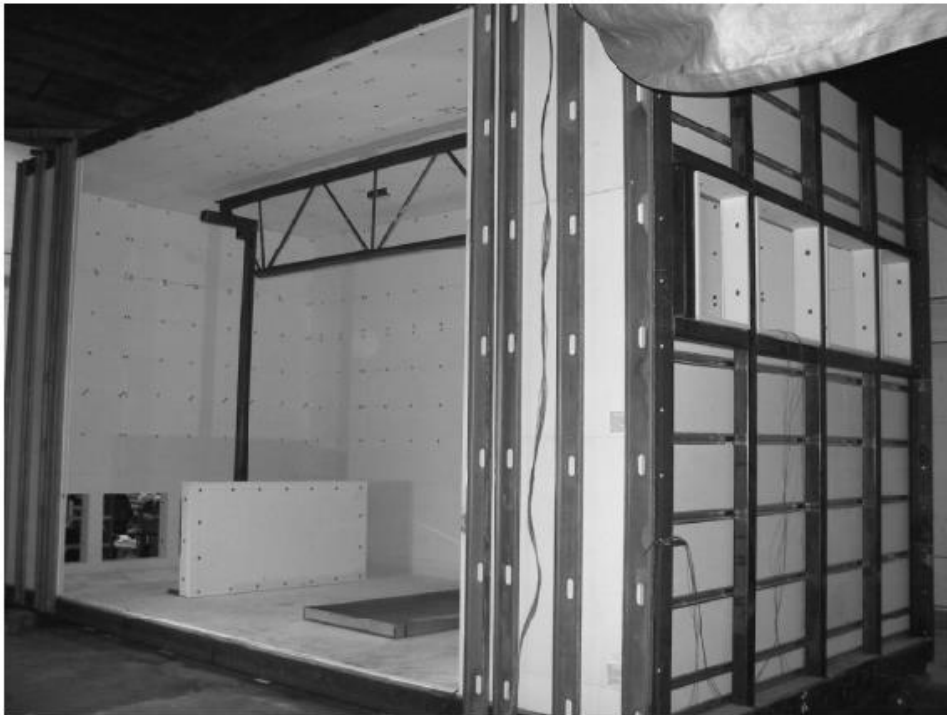
Randall J. McDermott
National Institute of Standards and Technology
Gaithersburg, Maryland, USA
e-mail: randall.mcdermott@nist.gov

È un metodo simile al k-means nel
machine learning



Validation Guide

Figure 1. Photograph of the test compartment, courtesy Anthony Hamins, NIST.



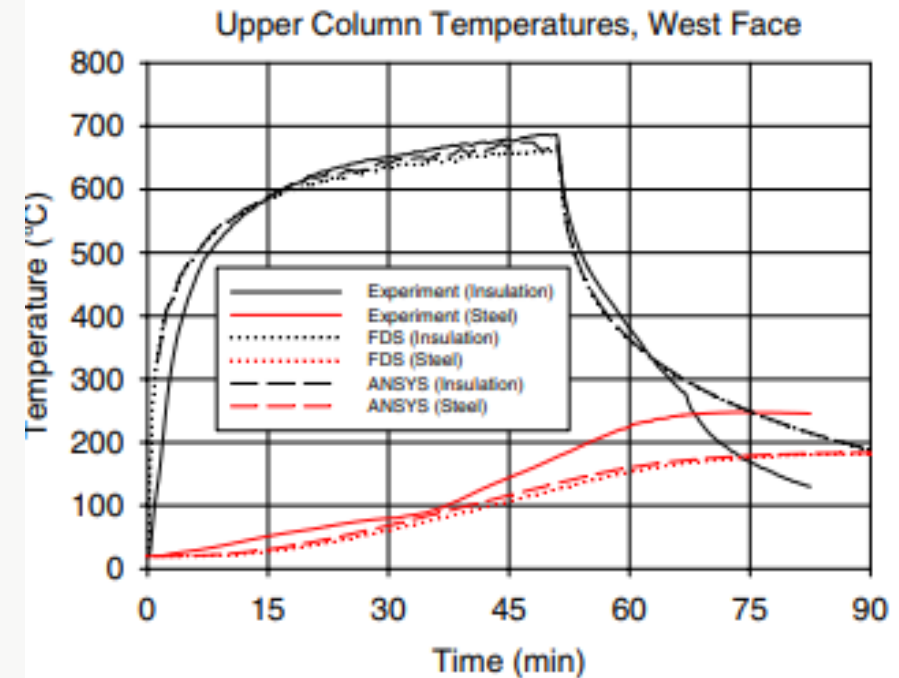
ADIABATIC SURFACE TEMPERATURE FOR CALCULATING HEAT TRANSFER TO FIRE EXPOSED STRUCTURES

Ulf Wickström

Swedish National Testing and Research Institute (SP), Borås, Sweden

Dat Duthinh and Kevin McGrattan

National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, Maryland, USA

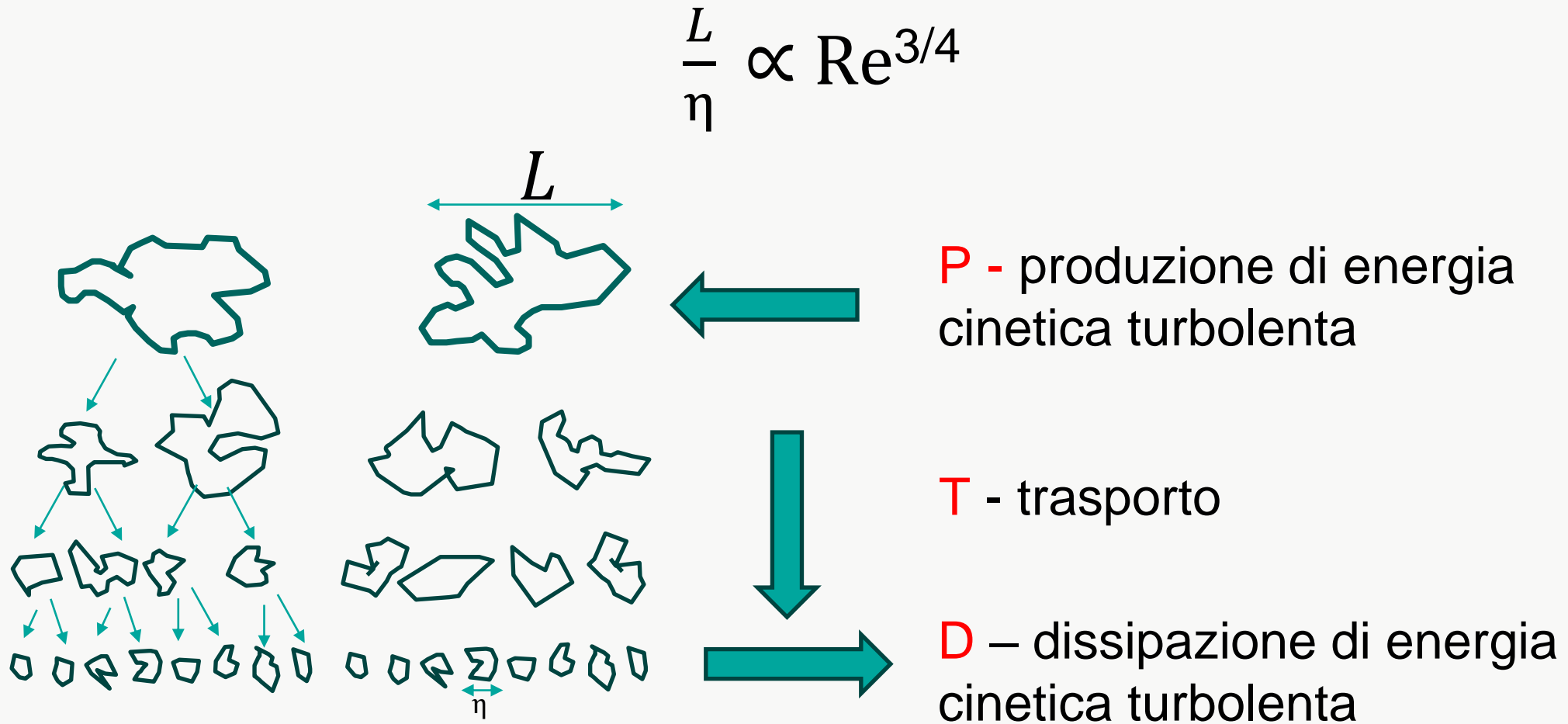


TURBOLENZA (Leonardo da Vinci)

«Nota il moto del livello dell'acqua, il quale fa a uso de' capelli, che ànno due moti, de' quali l'uno attende al peso del vello, l'altro al liniamento delle volte; così l'acqua à le sue volte revertiginose, delle quali una parte attende al impeto del corso principale, l'altra attende al moto incidente e riflesso.»



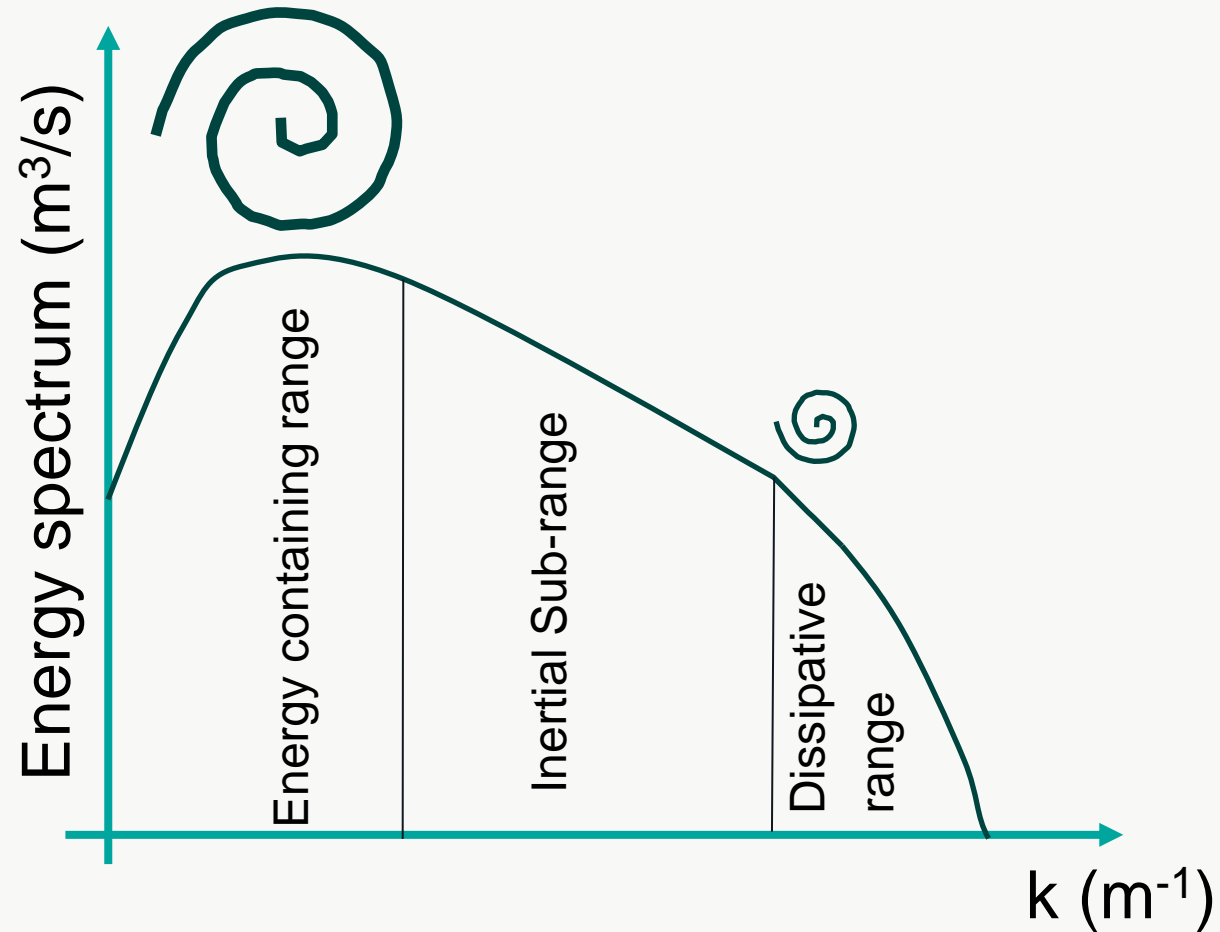
CASCATA DI ENERGIA



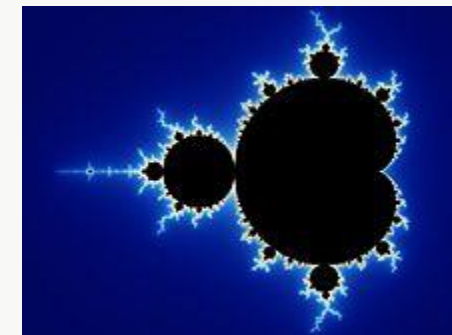
DIFFERENZE TRA GRANDI VORTICI E STRUTTURE FINI DELLA TURBOLENZA

GRANDI STRUTTURE	PICCOLI VORTICI
<ul style="list-style-type: none">• prodotti dal moto medio;• dipendenti da geometria;• strutture coerenti• non omogenei• non isotropi;• lunga durata;• diffusivi	<ul style="list-style-type: none">• prodotti dai grandi vortici;• universali;• randomici;• omogenei• isotropi;• breve durata;• dissipativi

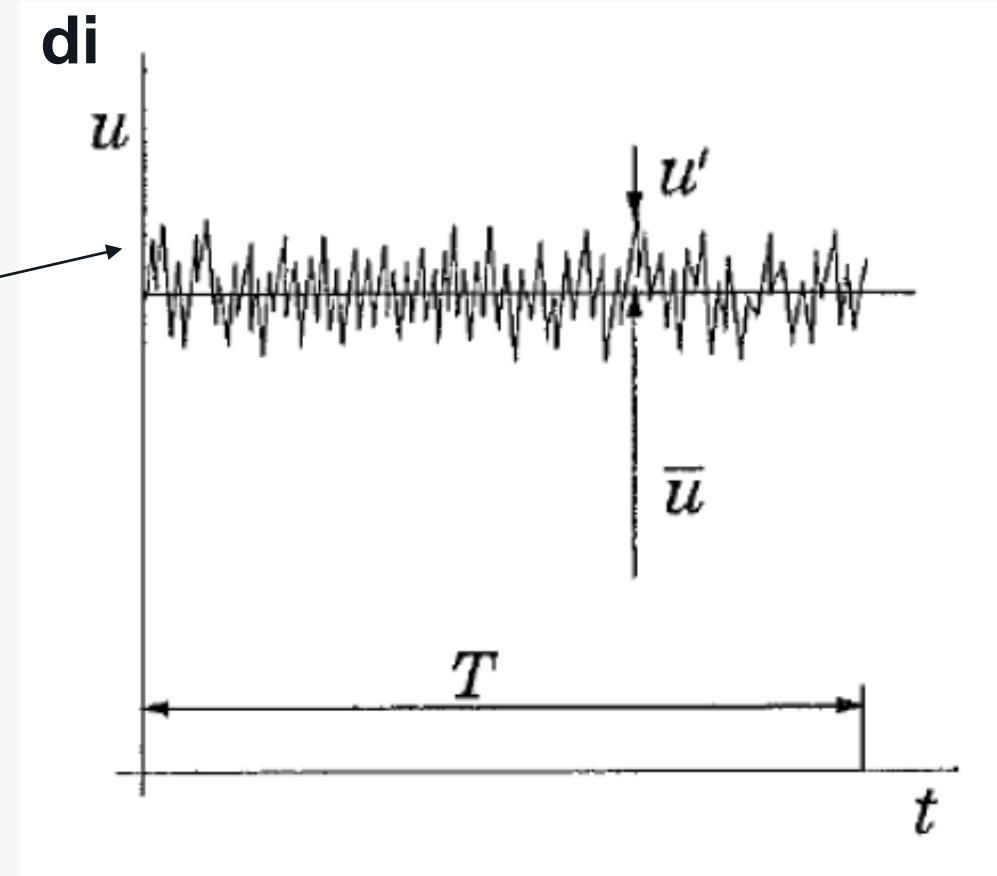
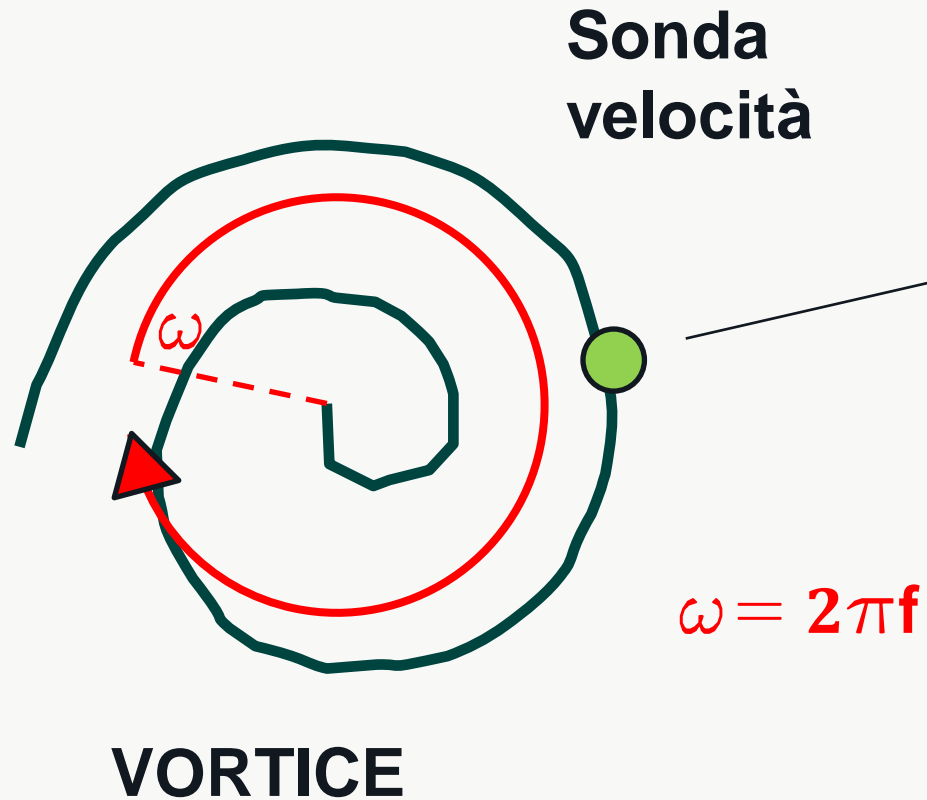
SPECTRAL ANALYSIS IN TURBULENT FLOWS



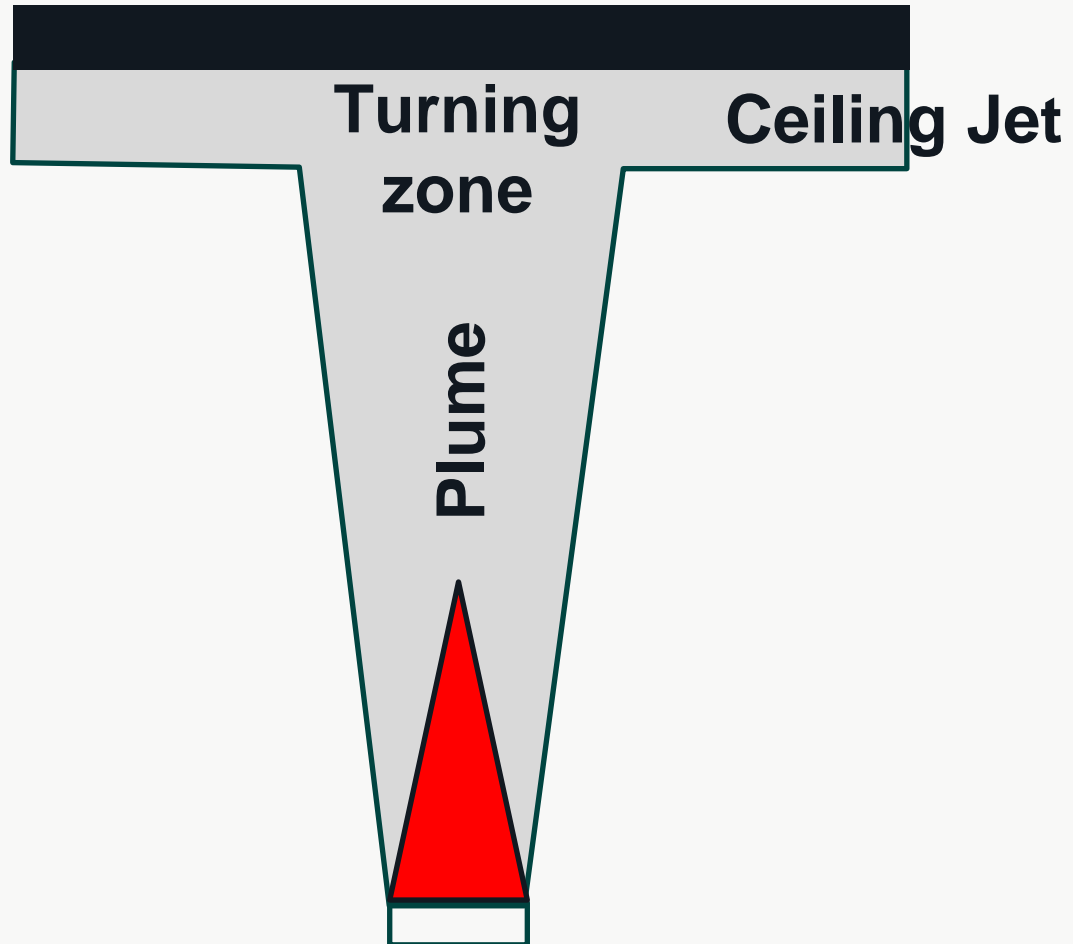
Andrey Nikolaevich Kolmogorov
(1903 - 1987)



ANALISI SPETTRALE

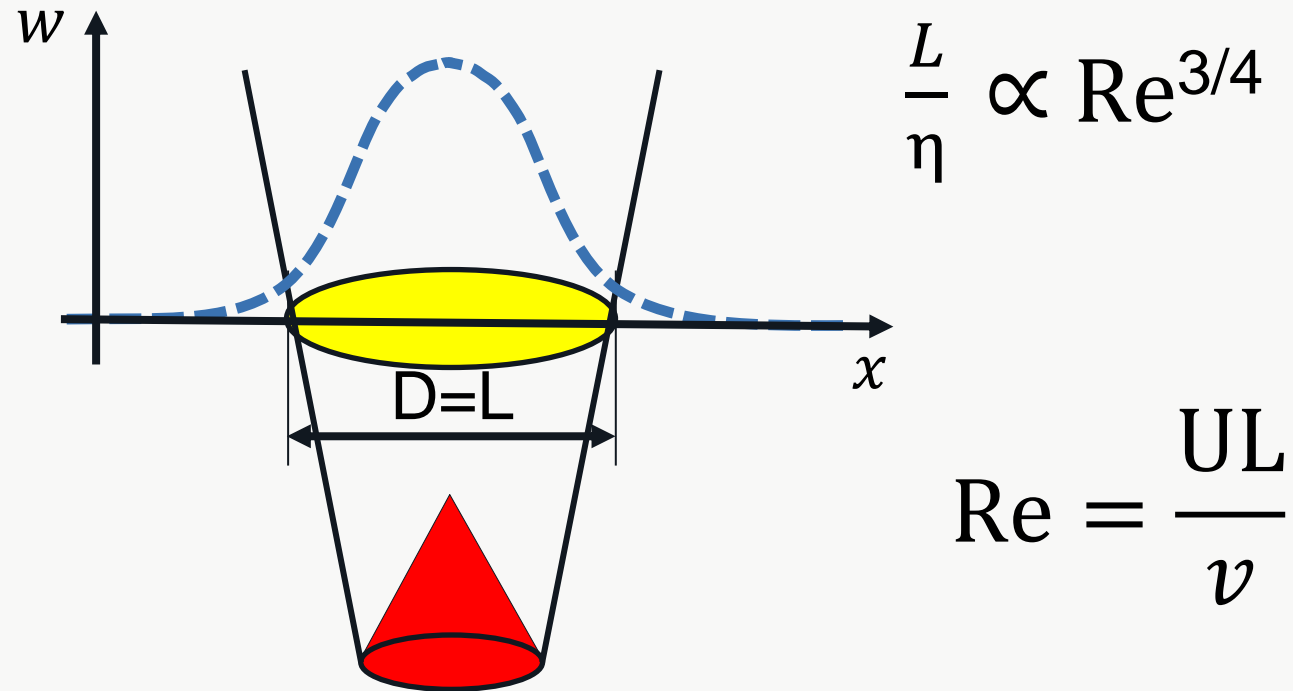


MOTI LEGATI AL FUOCO

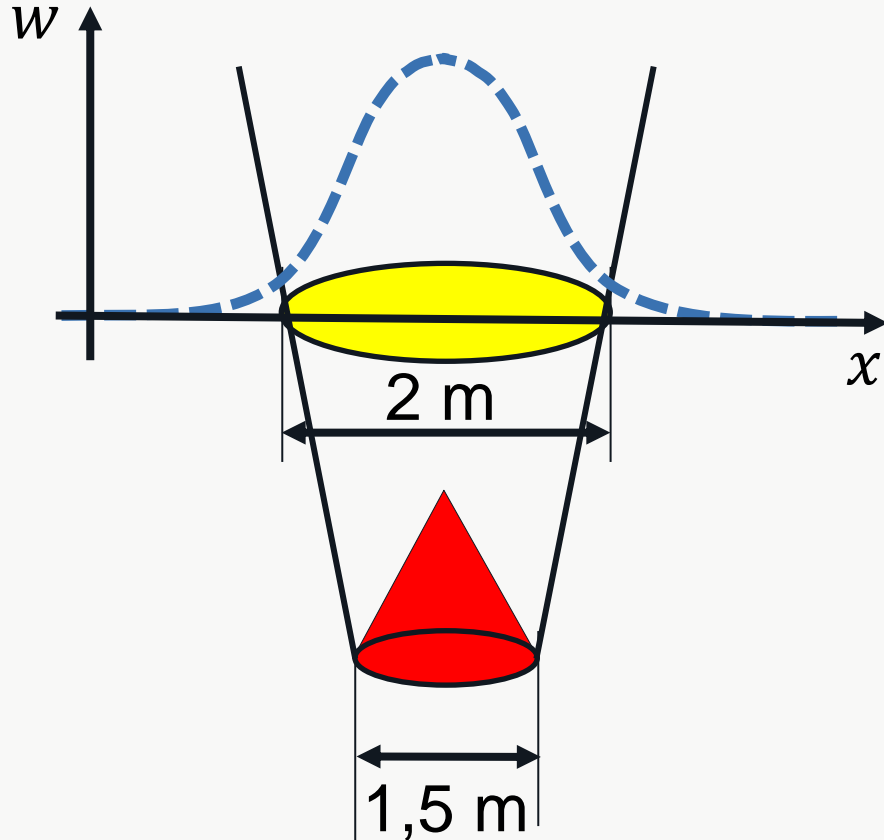


- Il **plume** mostra tipicamente una tronco-conica che parte dalla fonte dell'incendio.
- La regione del plume in cui il flusso interagisce con il soffitto, è chiamata «**turning zone**».
- Man mano che il flusso si allontana dall'area di impatto, inizia il **ceiling jet**.

PLUME



PLUME



$$L = 2\text{ m}$$

$$U = 2\text{ m/s}$$

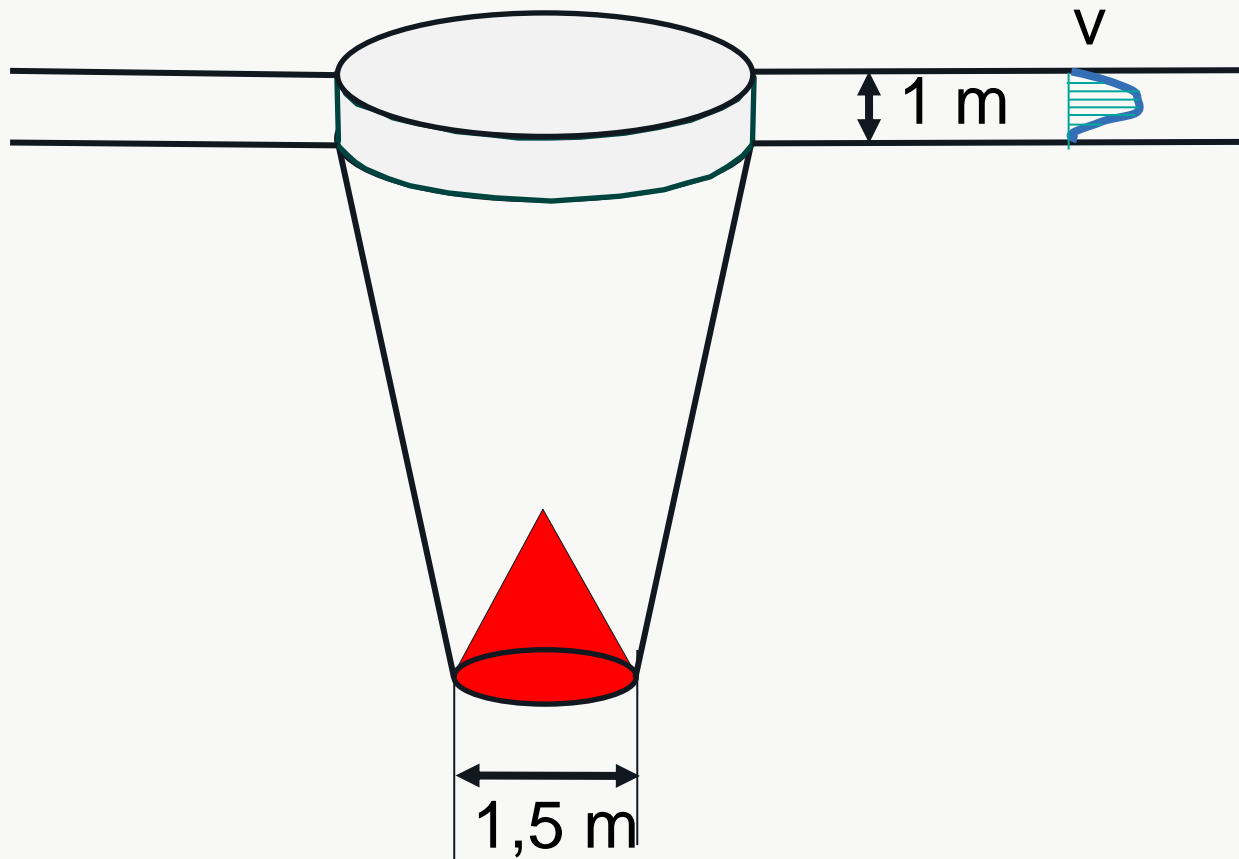
$$\nu = 2.2 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$$

$$\frac{L}{\eta} \propto \text{Re}^{3/4}$$

$$\text{Re} = 1,8 \cdot 10^5$$

$$\eta = 2,3 \cdot 10^{-4}\text{ m}$$

CEILING JET



$$L = 1 \text{ m}$$

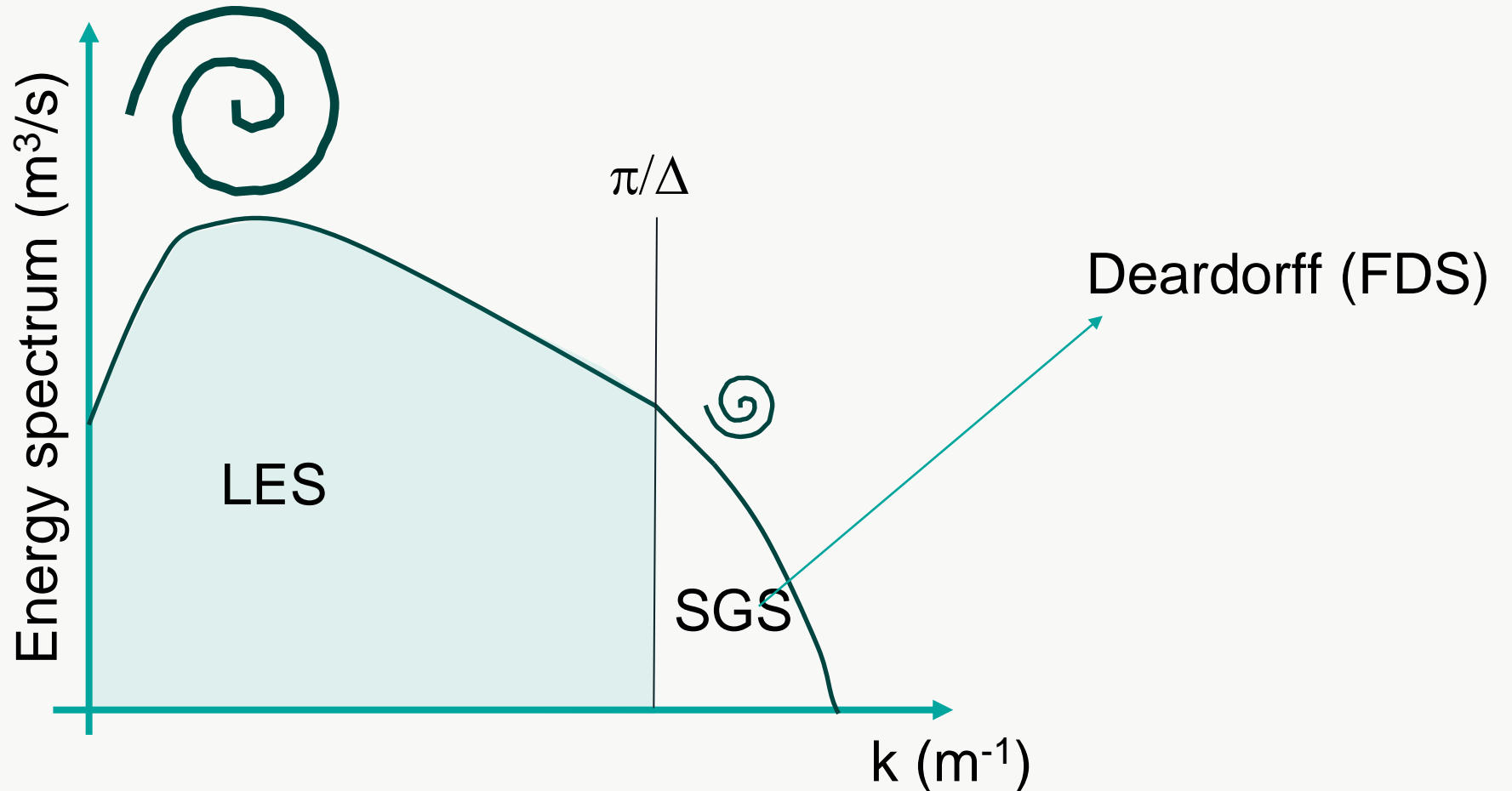
$$U = 2 \text{ m/s}$$

$$\nu = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

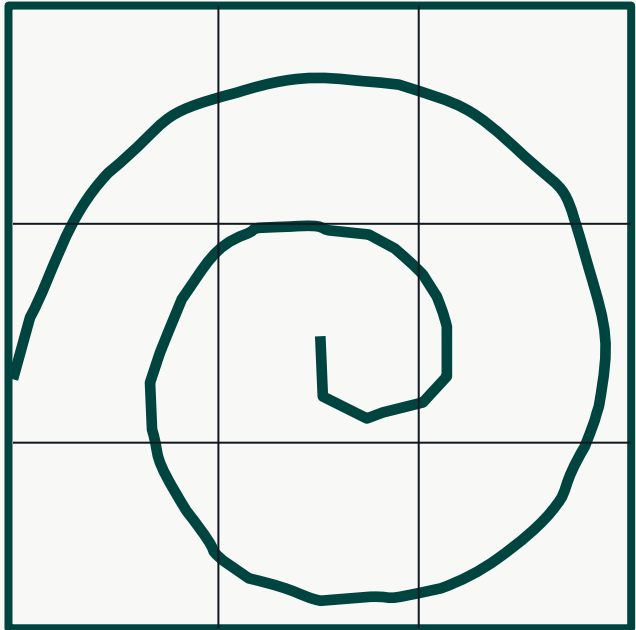
$$\frac{L}{\eta} \propto Re^{3/4}$$

$$\eta = 1,8 \cdot 10^{-4}$$

ANALISI SPETTRALE NEL CONTESTO LES

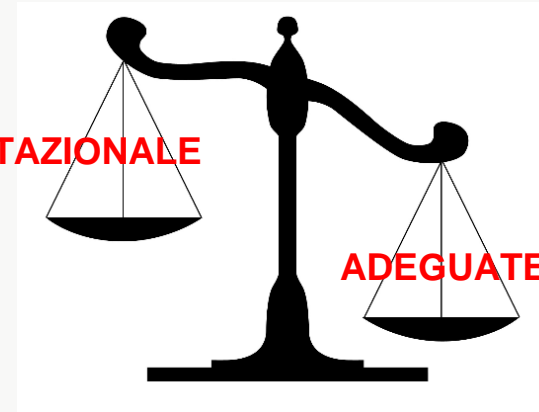


SCELTA DELLA GRIGLIA



VORTICE

**TEMPO
COMPUTAZIONALE**



ADEGUATEZZA MESH

PREDIMENSIONAMENTO – METODO A PRIORI

Risoluzione della griglia = f (D*)

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_{\infty} T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5}$$

\dot{Q} = total heat release rate of the fire

D*/ δx = 4-16 (FDS Validation Guide)

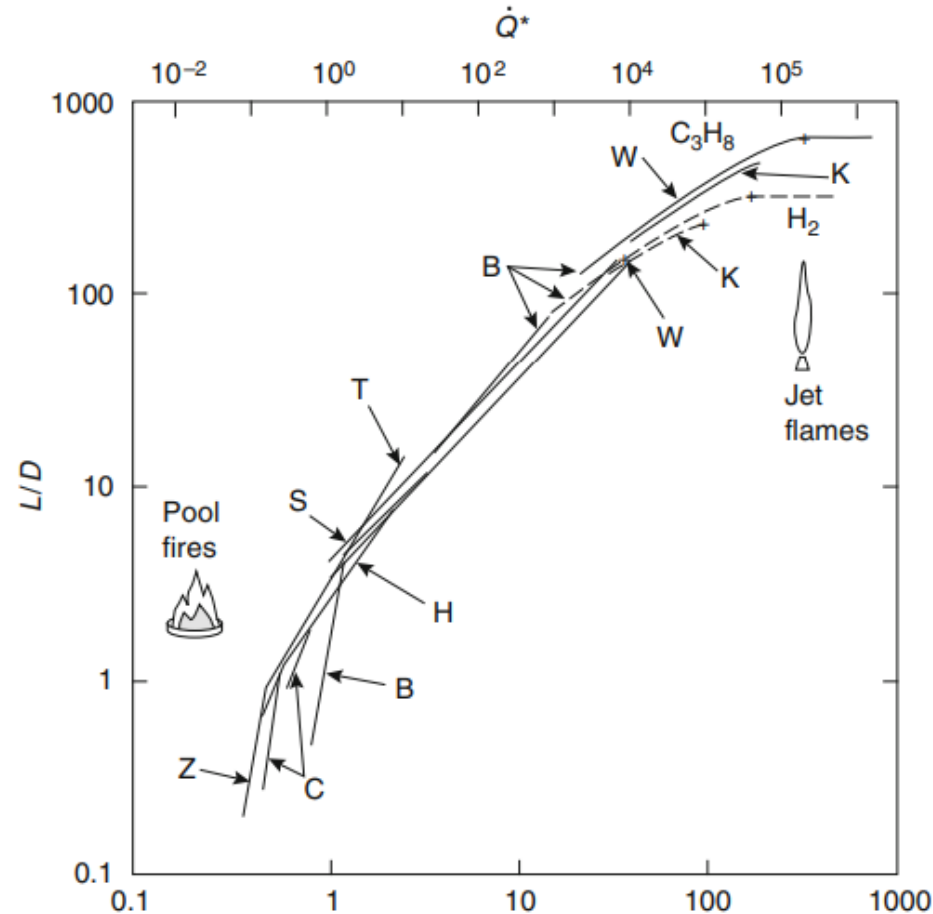
↑ ↑
Coarse Fine

NON-DIMENSIONAL HEAT RELEASE RATE

$$\begin{aligned} Fr &= \frac{U^2}{gD} \\ \downarrow \\ U &= \frac{\dot{Q}}{\Delta H_c \rho (\pi D^2 / 4)} \\ \downarrow \\ Fr &= \frac{\left(\frac{\dot{Q}}{\Delta H_c \rho (\pi D^2 / 4)} \right)^2}{gD} \rightarrow \sqrt{Fr} = \dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{gD} D^2} \end{aligned}$$

HESKESTAD FLAME HEIGHT CORRELATION (1995)

Fig. 13.3 Flame height correlations compiled by McCaffrey [24]. Capital letters without subscripts correspond to various researchers as follows: *B* Becker and Liang [25], *C* Cox and Chitty [26], *H* Heskestad [27], *K* Kalghatgi [28], *S* Steward [29], *T* Thomas [30], *W* Hawthorne et al. [31], and *Z* Zukoski [32]. Capital letters with subscripts represent chemical formulae

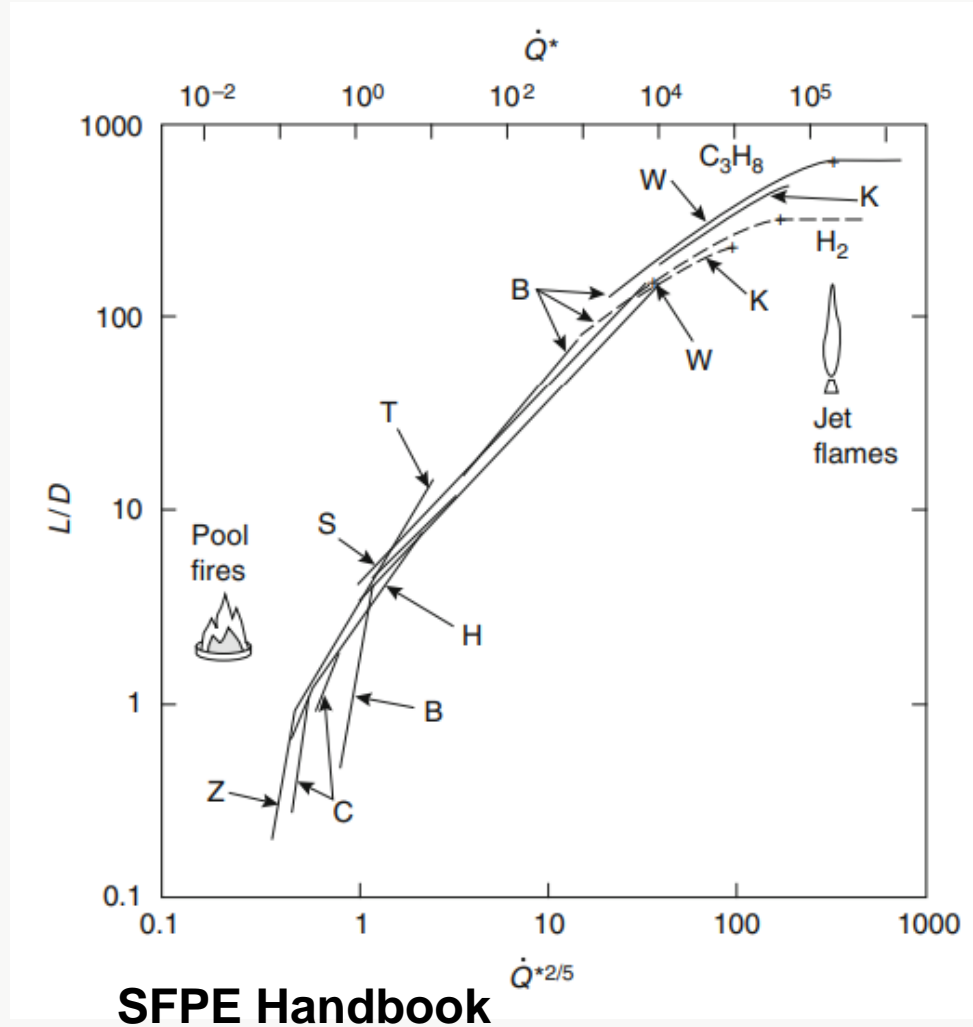


$$\frac{L_f}{D} = 3.7 (Q^*)^{2/5} - 1.02$$

$$Q^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g} D^{5/2}}$$

Heskestad, G. (2016). *Fire Plumes, Flame Height, and Air Entrainment*. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 396–428.

DIMENSIONLESS HEAT RELEASE RATE



$$Q^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g} D^{5/2}}$$



~ 1

$$Q^* \approx \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g} D^{5/2}}$$



$$D = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5}$$

$D^*/\delta x = 4-16$ NUREG 1824, 2007

DIMENSIONLESS HEAT RELEASE RATE

$$Q^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g} D^{5/2}}$$

↓

~1

$$Q^* \approx \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g} D^{5/2}}$$

↓

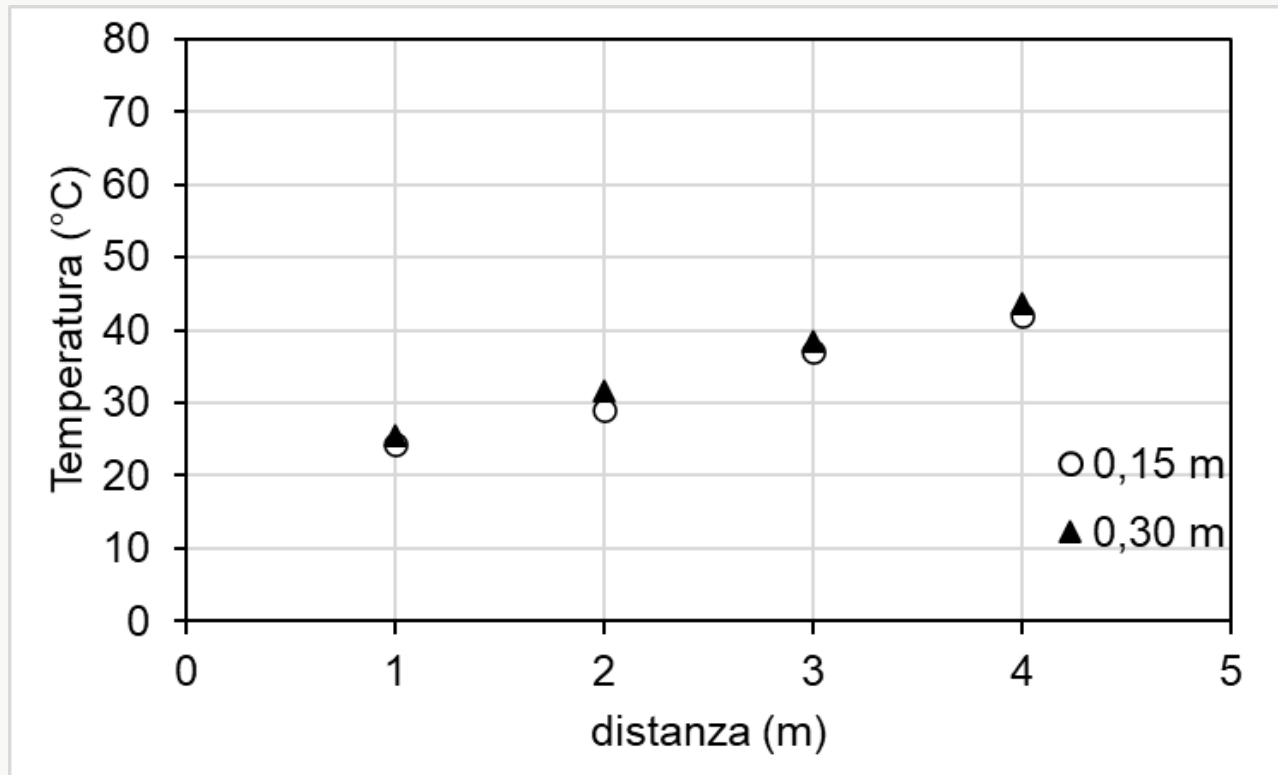
$$D = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5}$$

Table 6-1: Summary of the Fire Experiments in Terms of Commonly Used Metrics

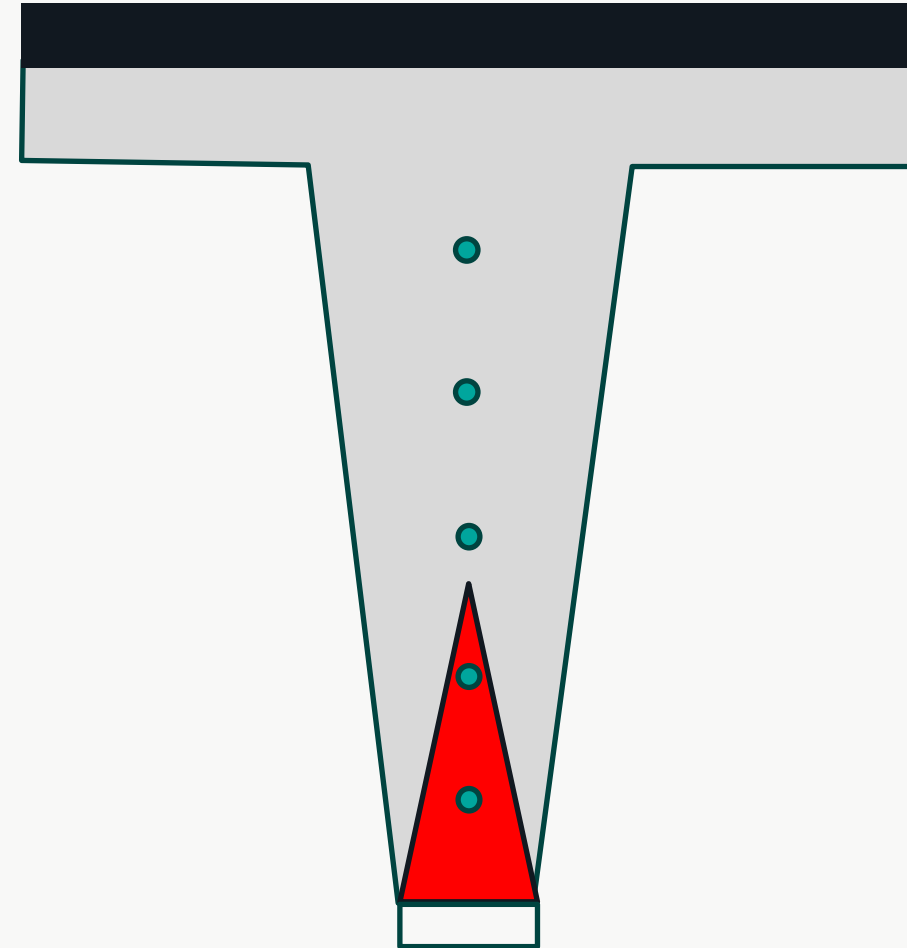
Test Series	\dot{Q} (kW)	Q^*	D (m)	D^* (m)	δx (m)	$\frac{D^*}{\delta x}$	H (m)	$\frac{H}{D^*}$
ICFMP BE #2	1800--3600	1.0	1.2-1.6	1.2-1.6	0.13	9-12	19	12-16
ICFMP BE #3	400--2300	0.4-1.9	1.0	0.7-1.3	0.10	7-13	3.8	3-5
ICFMP BE #4	3500	2.6	1.1	1.6	0.10	16	5.7	3.6
ICFMP BE #5	400	0.6	0.8	0.7	0.10	7	5.6	8
FM/SNL	500	0.5	0.9	0.7	0.05	14	6.1	9
NBS Multi-Room	100	1.3	0.34	0.4	0.10	4	2.4	6

$D^*/\delta x = 4-16$ NUREG 1824, 2007

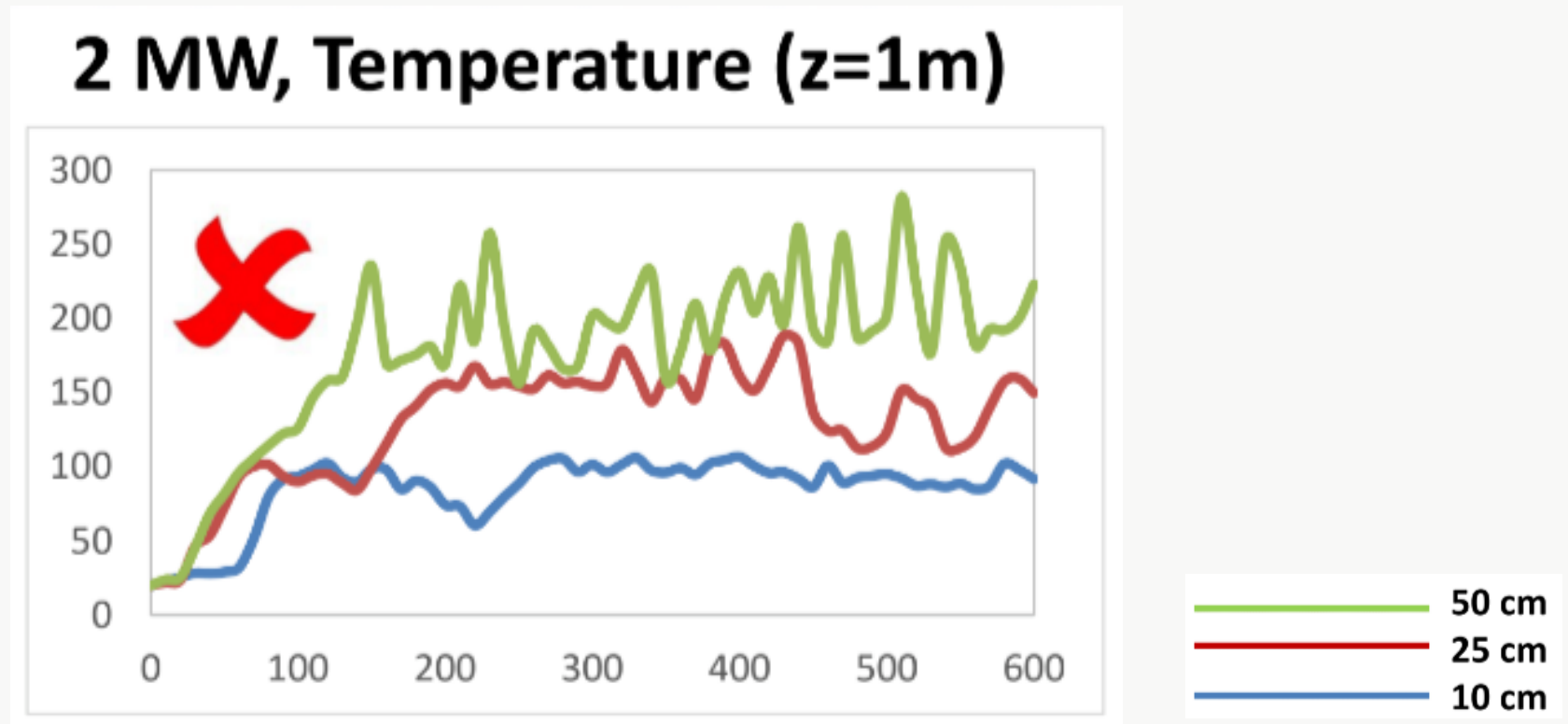
ANALISI DI SENSIBILITA'



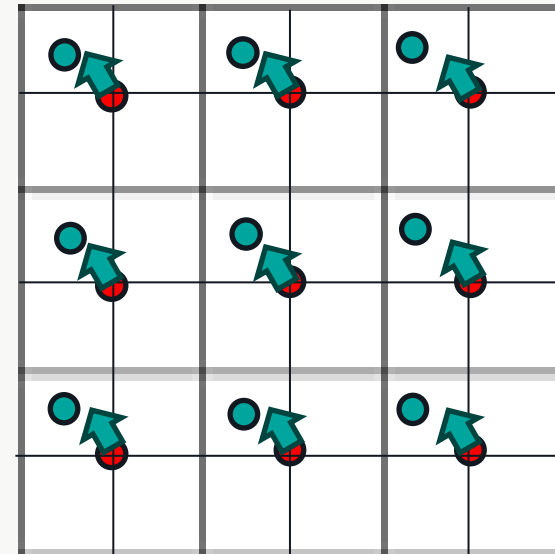
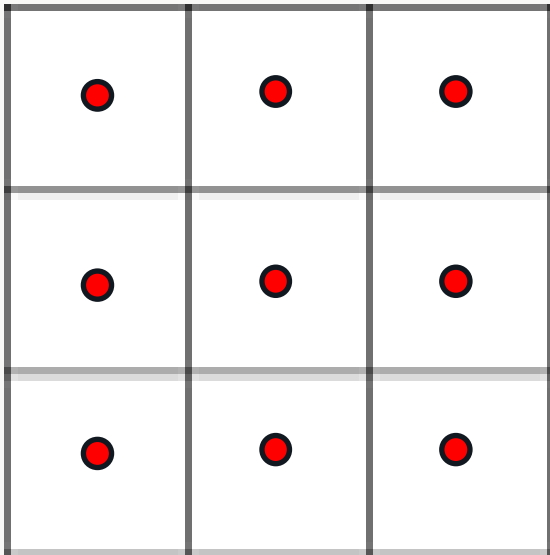
confronto tra griglia da 0,15 m e da 0,3 m



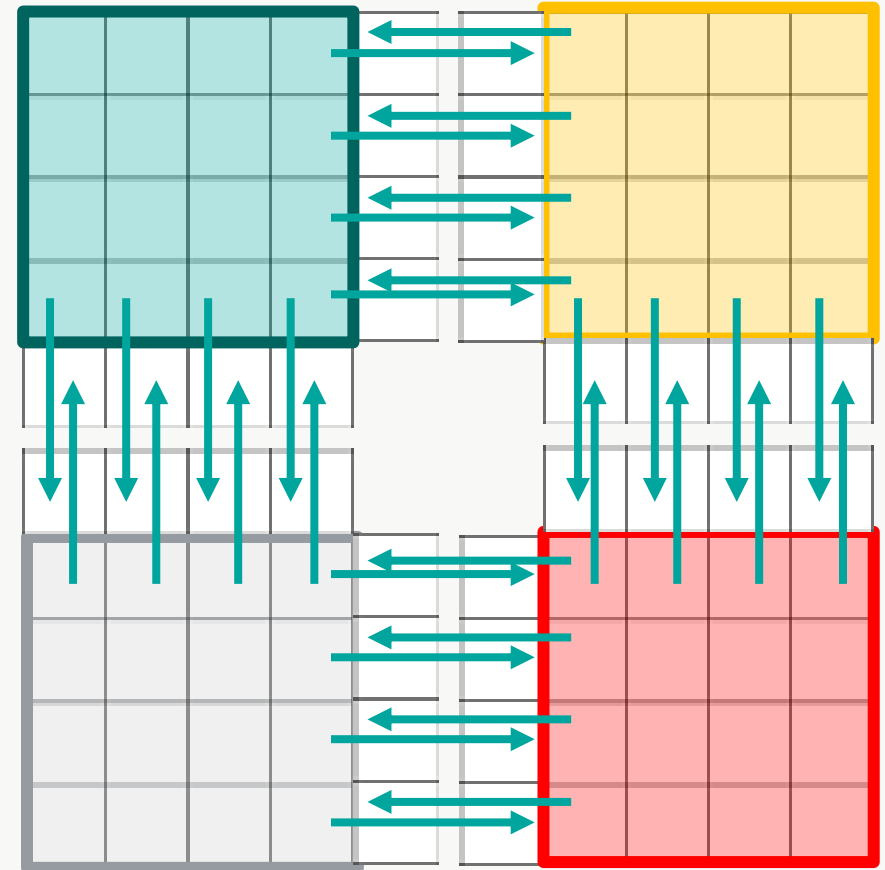
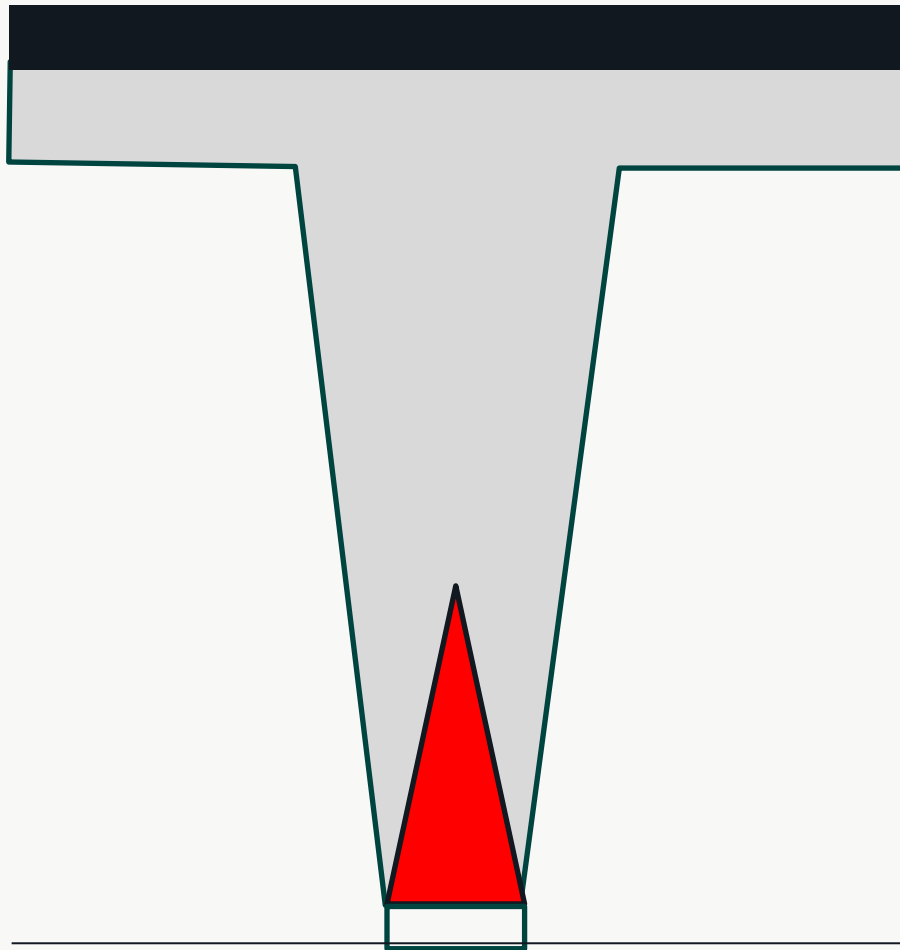
ANALISI DI SENSIBILITA'



ANALISI DI SENSIBILITA'



Utilizzo di mesh multiblocco

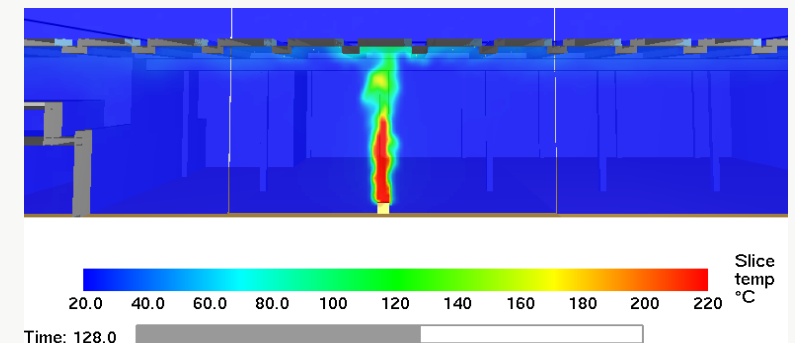
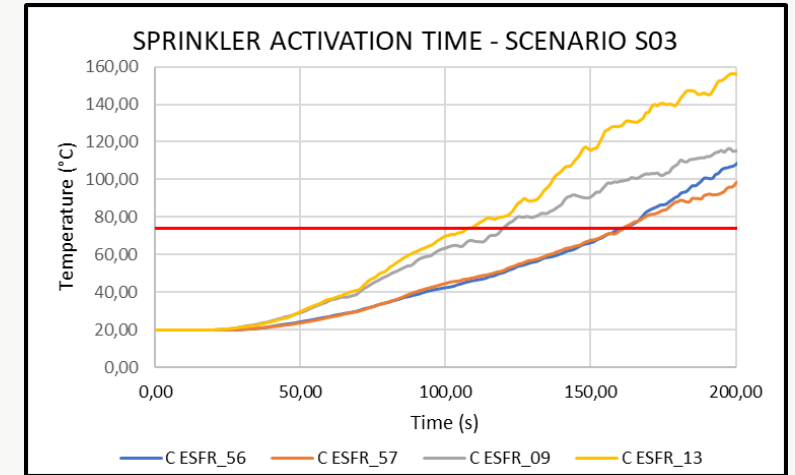
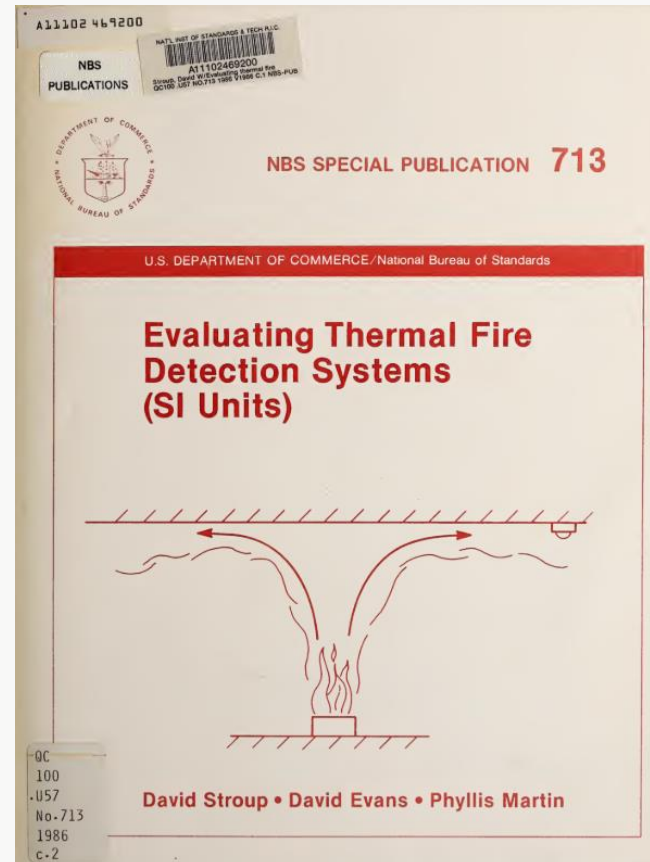


CONFRONTO CON MODELLI ANALITICI

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{U^{1/2}}{RTI} (T - T_s)$$



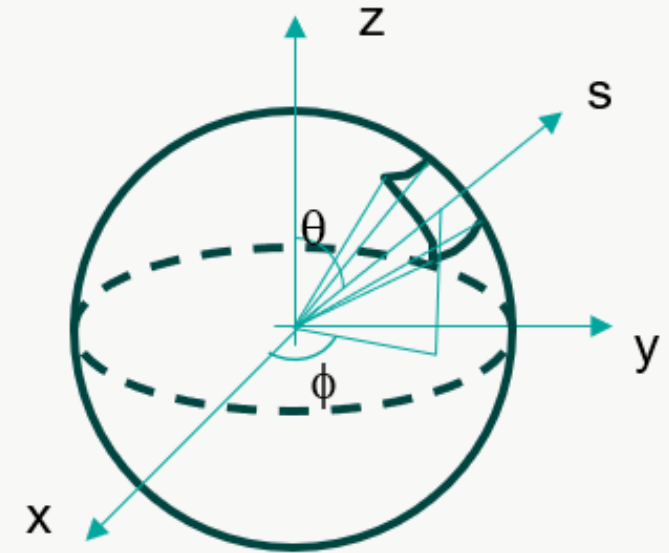
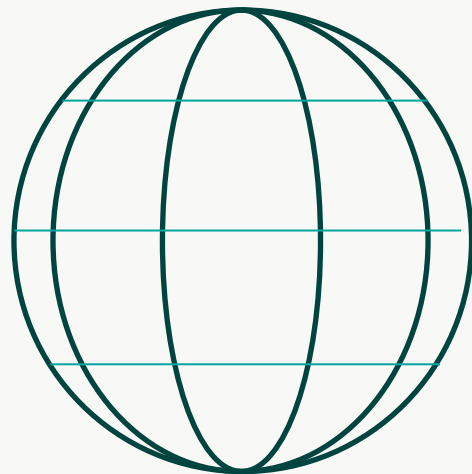
DETECT - T2



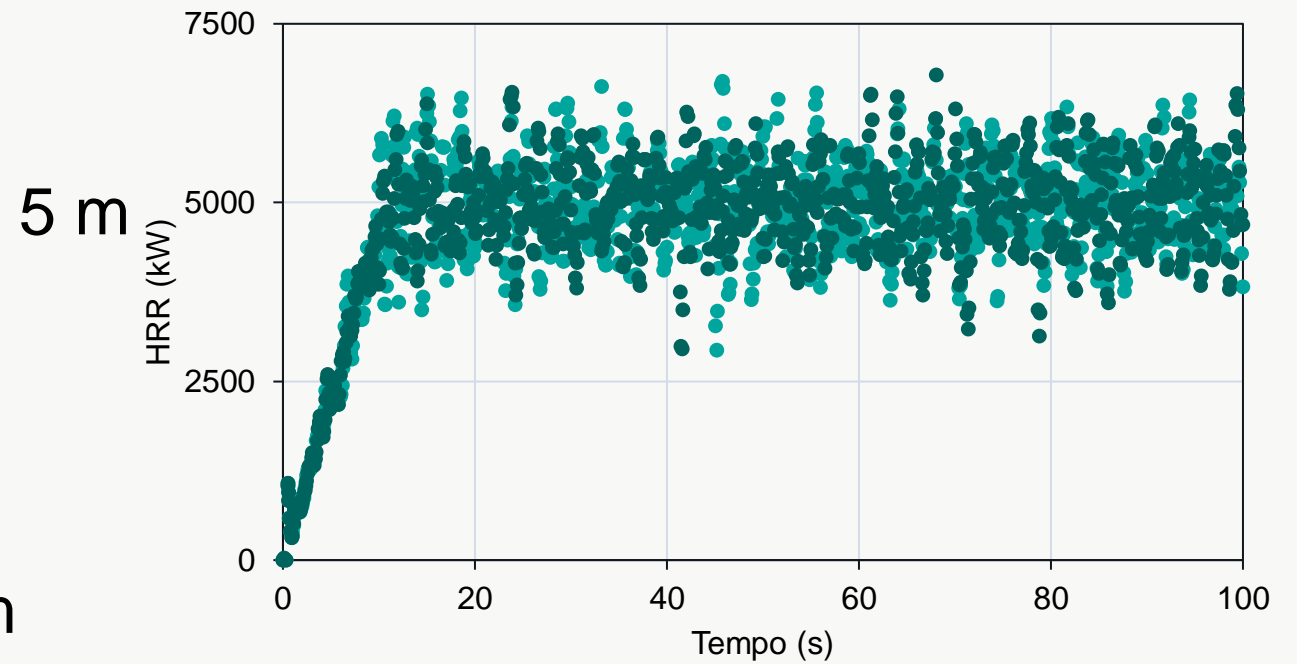
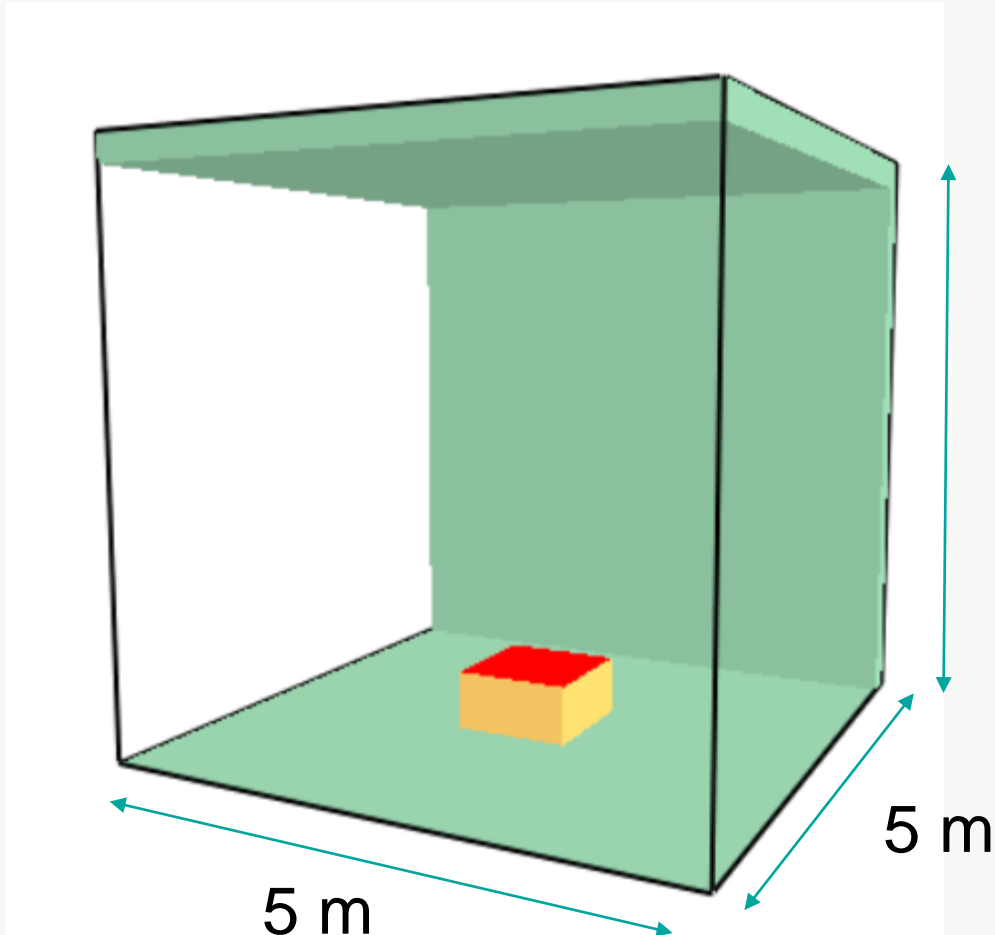
SCHEMI DI DISCRETIZZAZIONE ANGOLARE

La strategia di FDS per l'irraggiamento consiste nel discretizzare in angoli in tutte le direzioni. Di default gli angoli di controllo sono 100.

```
&RADI NUMBER_RADIATION_ANGLES=100/
```

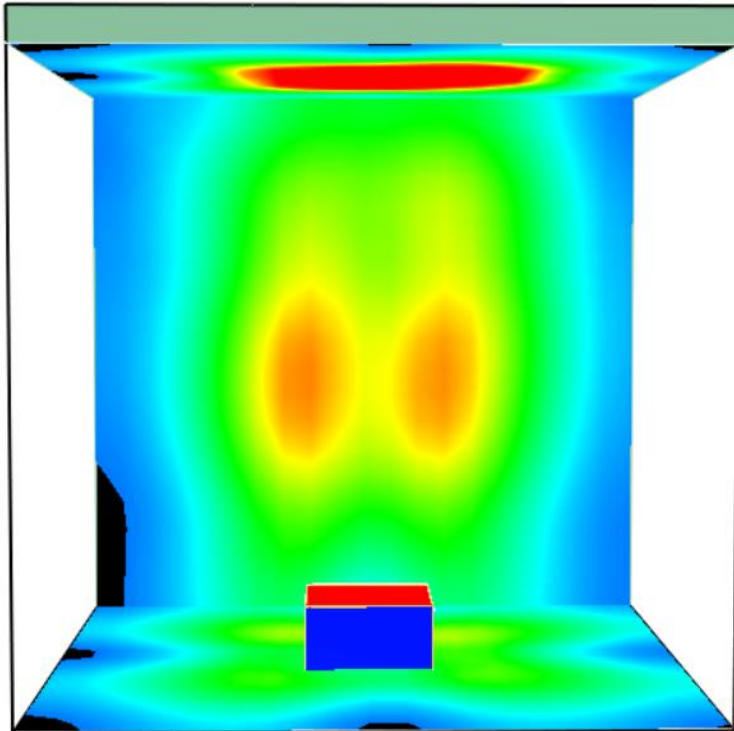


SCHEMI DI DISCRETIZZAZIONE ANGOLARE

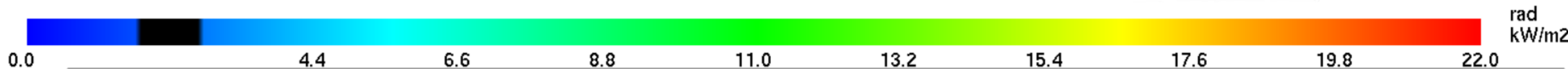
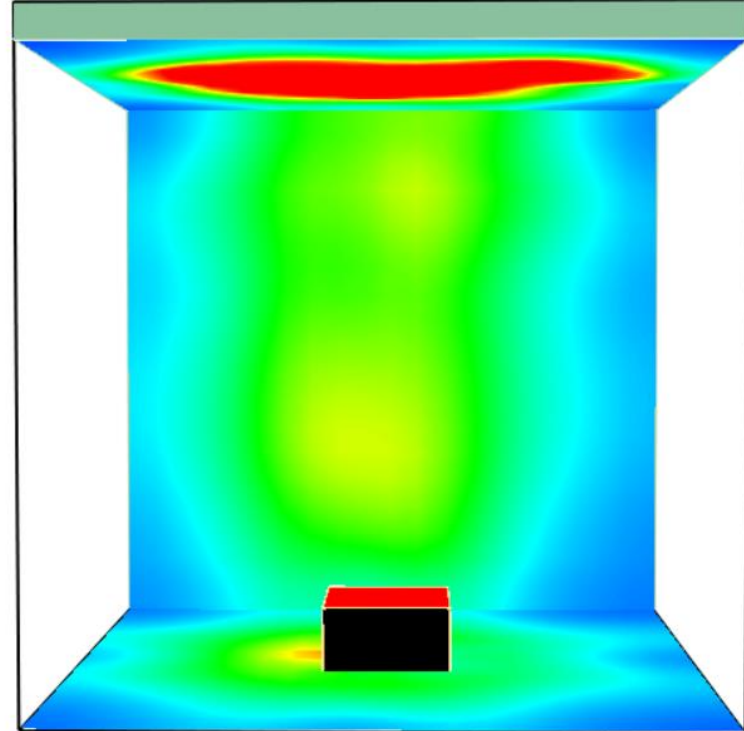


SCHEMI DI DISCRETIZZAZIONE ANGOLARE

&RADI NUMBER_RADIATION_ANGLES=25/

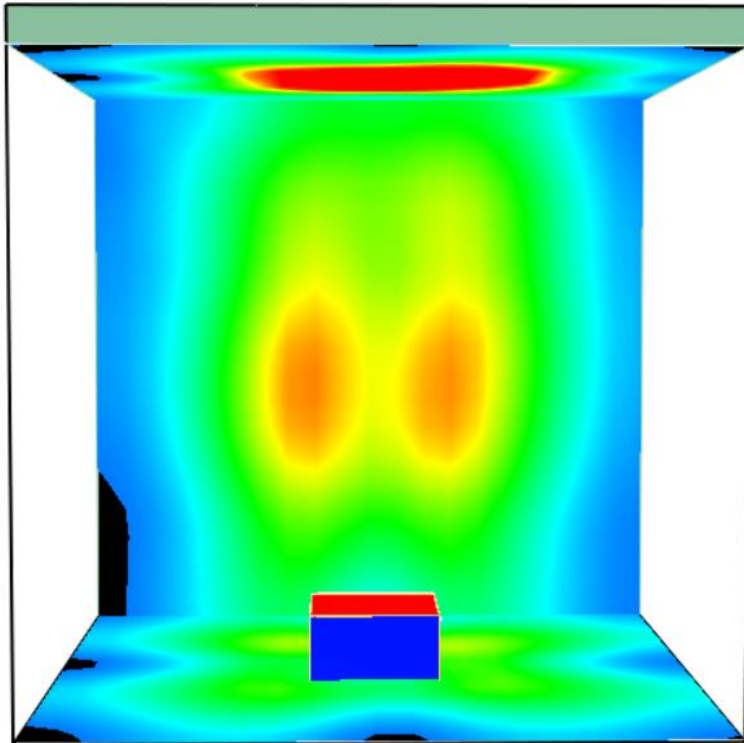


&RADI NUMBER_RADIATION_ANGLES=50/

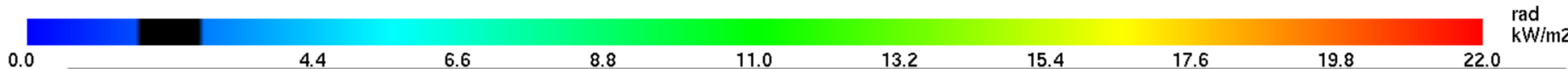


SCHEMI DI DISCRETIZZAZIONE ANGOLARE

&RADI NUMBER_RADIATION_ANGLES=25/

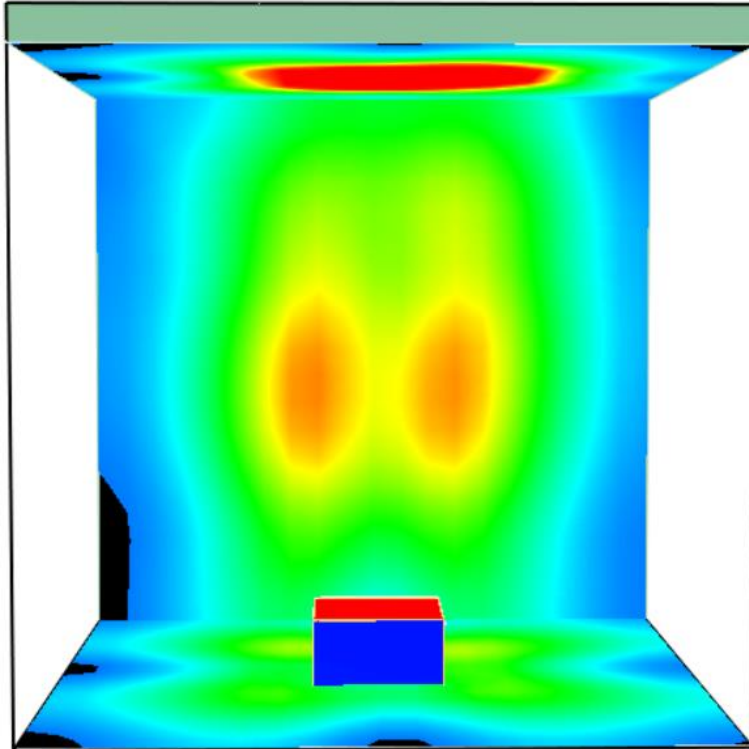


C'è un problema ben noto con il risolutore delle radiazioni a volumi finiti ad angolo discreto, talvolta chiamato "star pattern". È dovuto alla bassa risoluzione angolare nel risolutore delle radiazioni.

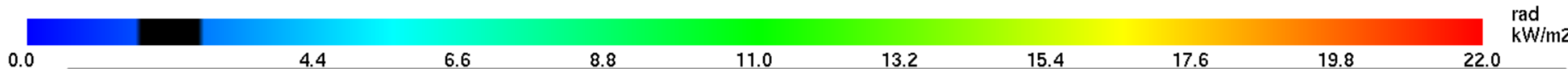


SCHEMI DI DISCRETIZZAZIONE ANGOLARE

&RADI NUMBER_RADIATION_ANGLES=25/



C'è un problema ben noto con il risolutore delle radiazioni a volumi finiti ad angolo discreto, talvolta chiamato "star pattern". È dovuto alla bassa risoluzione angolare nel risolutore delle radiazioni.



Metriche di qualità della griglia a posteriori.

22.10.28 A Posteriori Mesh Quality Metrics

The quality of a particular simulation is most directly tied to grid resolution. Three output quantities are discussed here for measuring errors in the velocity and scalar fields. It should be noted that the link between these metrics and true simulation quality is still in the research phase. In other words, a good quality score is not sufficient to assure a good simulation (at the present time).

Measure of Turbulence Resolution

A scalar quantity referred to as the *measure of turbulence resolution* [83] is defined locally as:

$$M(\mathbf{x}) = \frac{\langle k_{\text{sgs}} \rangle}{\langle \text{TKE} \rangle + \langle k_{\text{sgs}} \rangle} \quad (22.54)$$

Angled brackets denote suitable time-averages.

The turbulent kinetic energy (TKE) must be post processed because we cannot compute the fluctuation until we know the mean. Use the following DEVCs to output the three velocity components:

```
&DEVC ... , QUANTITY='U-VELOCITY' /  
&DEVC ... , QUANTITY='V-VELOCITY' /  
&DEVC ... , QUANTITY='W-VELOCITY' /
```

Metriche di qualità della griglia a posteriori.

Grid resolution = f (measure of turbulence resolution)

$$MTR = \frac{k_{sgs}}{k_{sgs} + k_{LES}}$$

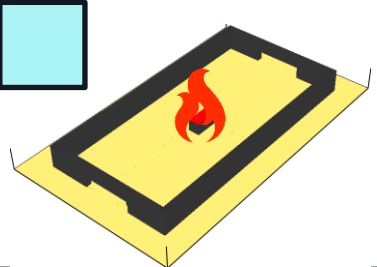
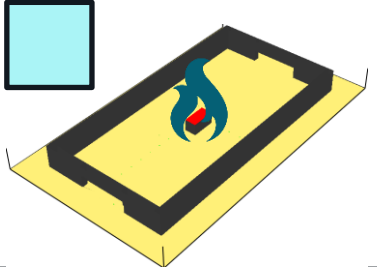
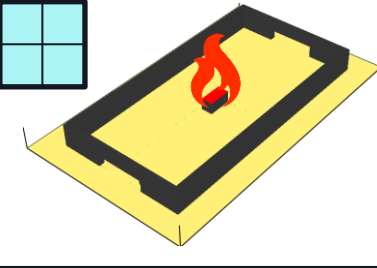
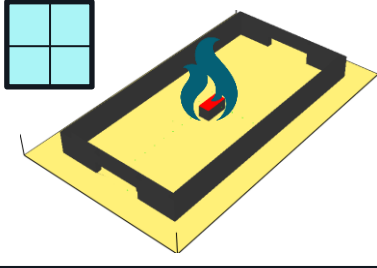
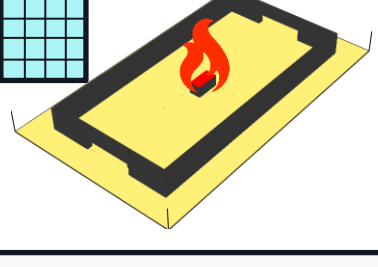
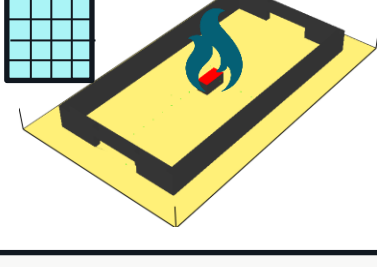

K_{sgs} is the modeled energy (subgrid)

K_{LES} is the calculated energy (LES)

$$MTR < 0.2$$

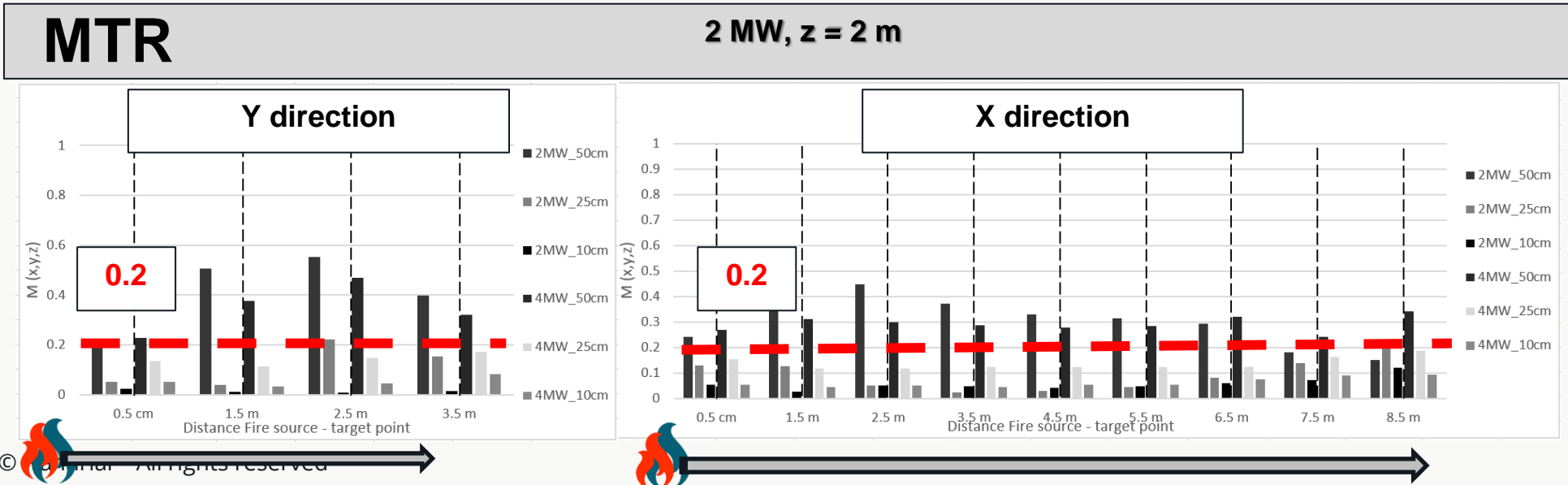
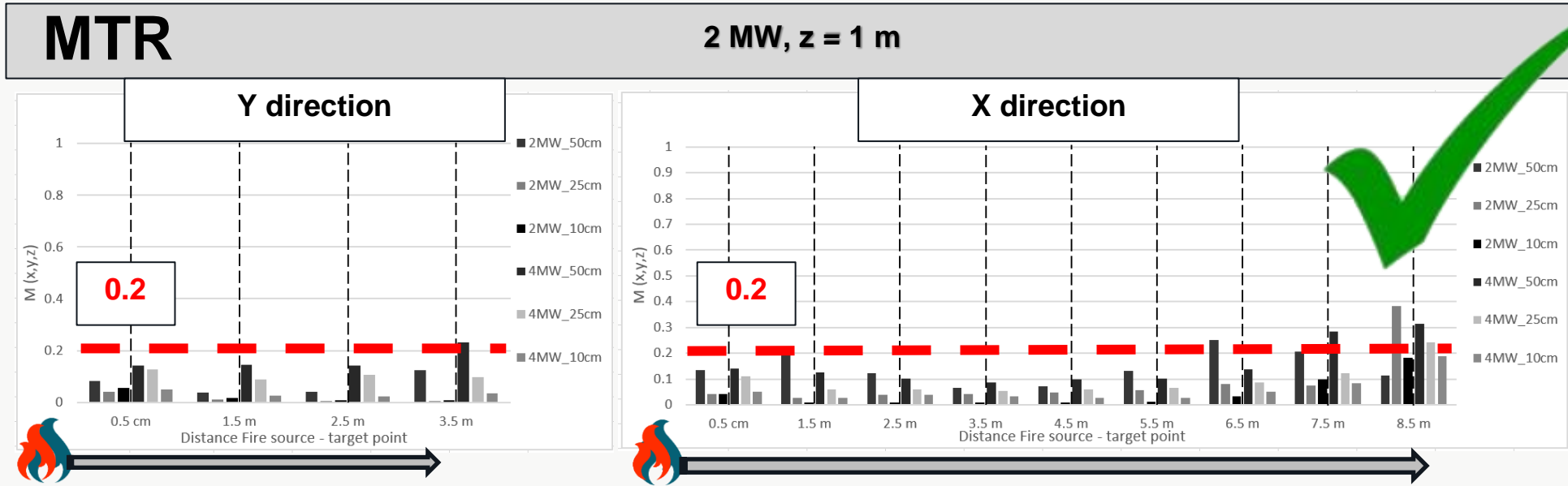
(Pope, 2004)

CASO DI STUDIO COMPARTIMENTO (20 m x 10 m x 3 m)

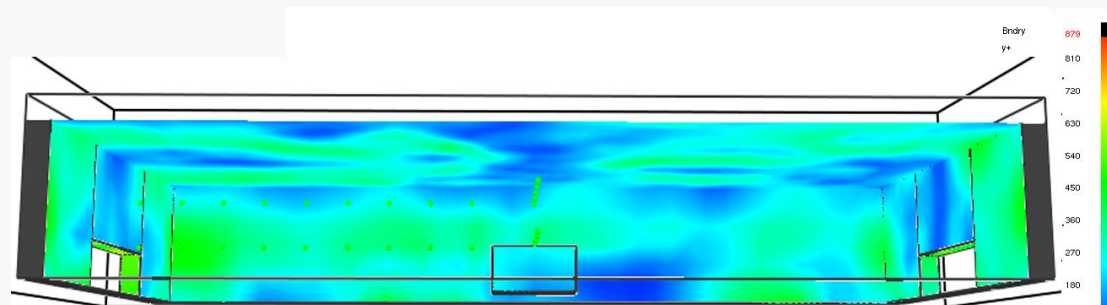
		Heat release rate of the burner	
		2 MW	4 MW
Grid spacing size	50 cm		
	25 cm		
	10 cm		



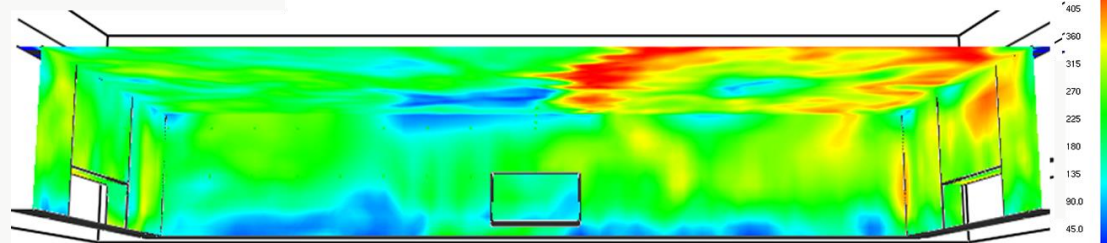
Scelta della griglia computazionale in FDS: predimensionamento e analisi di sensibilità



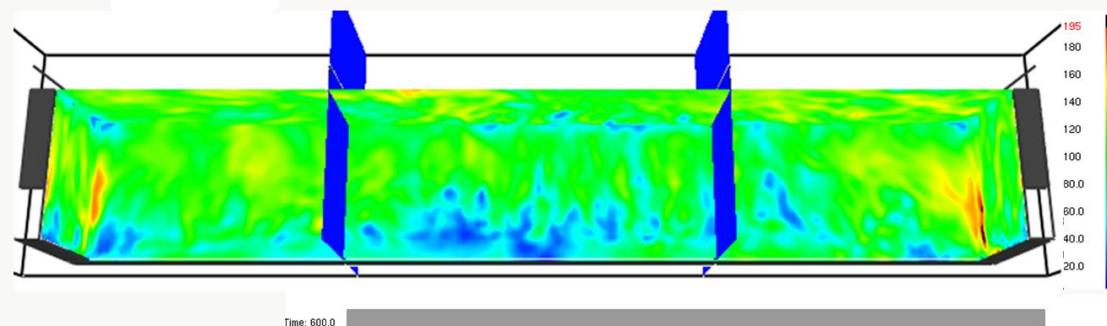
Scelta della griglia computazionale in FDS: predimensionamento e analisi di sensibilità



Grid size: 50 cm
Y+ max: 879



Grid size: 25 cm
Y+ max: 400

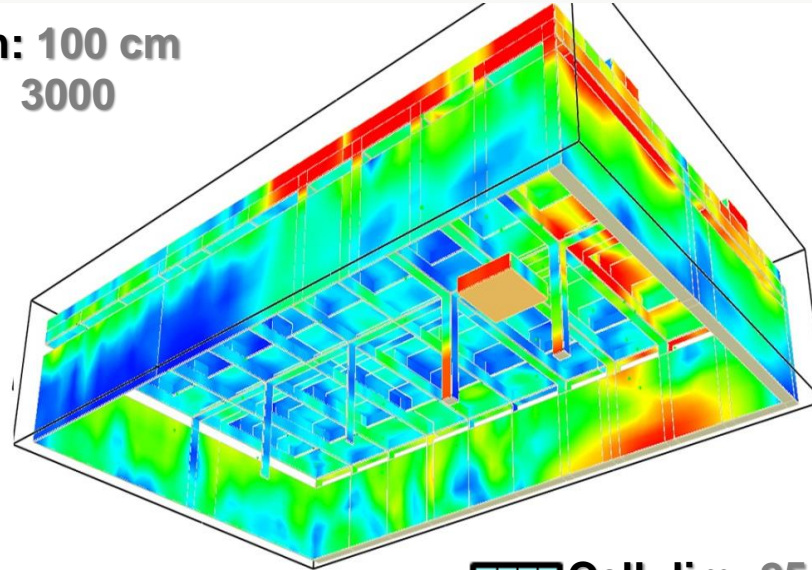


Grid size : 10 cm
Y+ max: 195

Time: 600.0

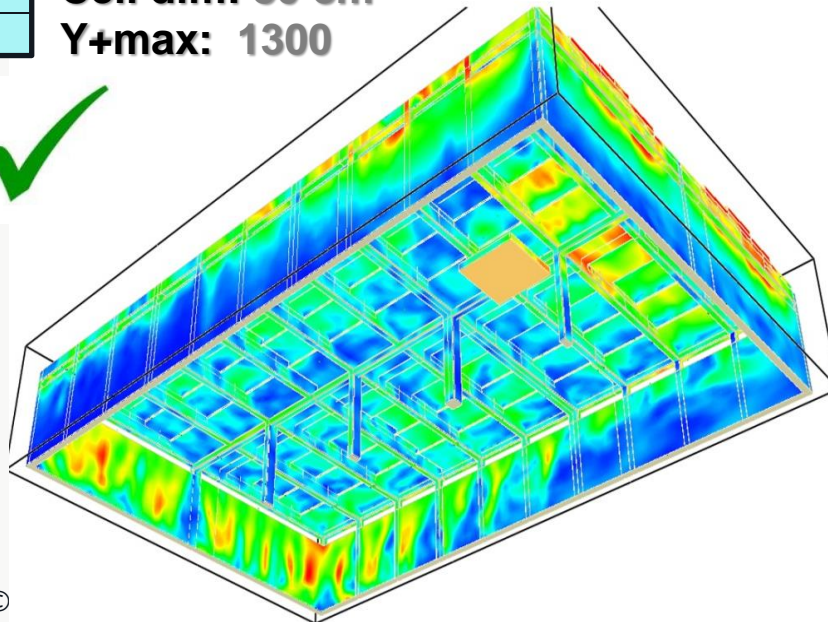
Scelta della griglia computazionale in FDS: predimensionamento e analisi di sensibilità

Cell dim: 100 cm
Y+max: 3000

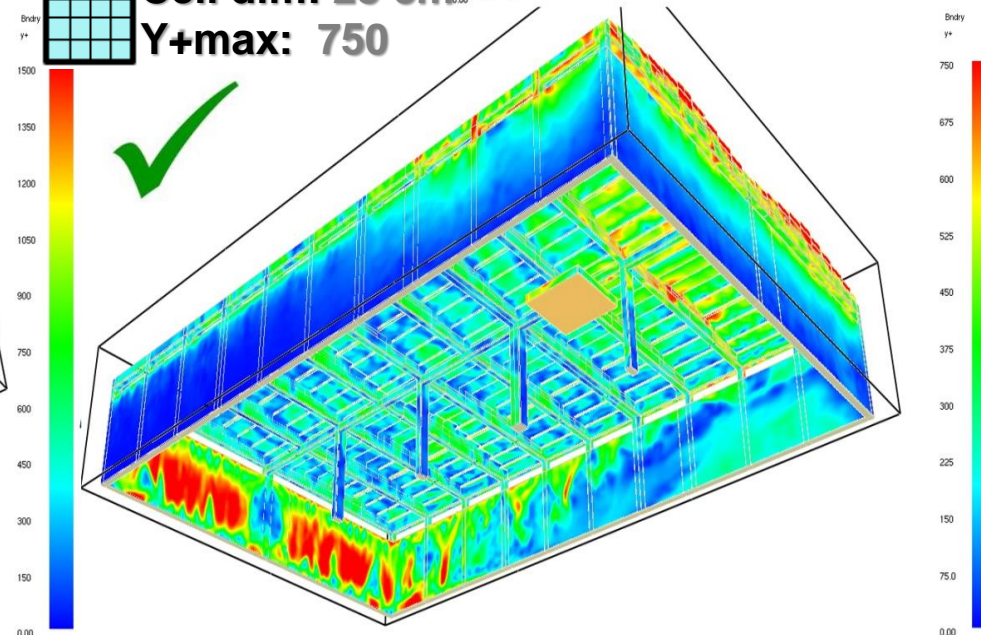


Y+ @ boundaries

Cell dim: 50 cm
Y+max: 1300



Cell dim: 25 cm
Y+max: 750





Namirial



Grazie per aver partecipato