



IL FUTURO  
DELL'EFFICIENZA ENERGETICA  
PARTE DA QUI

# CONTROLLO DEL FUMO E CALORE IN CASO DI INCENDIO

Vantaggi per le persone, per le merci e per le  
squadre di intervento

**Varese – 05 Novembre 2015**

# La gestione del fumo nei parcheggi interrati

Una prima valutazione dell'utilizzo di sistemi a getto per la  
ventilazione di autorimesse

**Ennio Merola**  
**Ing. Giovanni Milan**



# Sistemi di ventilazione meccanici per autorimesse: Obiettivi differenti

### Controllo del livello degli inquinanti

- Soluzione tipica per autorimesse aperte sui lati
- Portate di estrazione basate sulle dimensioni dell'autorimessa
- Nessuna richiesta per ventilazione in caso di emergenza

### Estrazione / espulsione del fumo

- Controllo del livello degli inquinanti generalmente richiesto
- Portate di estrazione basate sulle dimensioni dell'autorimessa
- Soluzione base che soddisfa la maggior parte delle richieste

### Controllo del fumo

- Controllo del livello degli inquinanti generalmente richiesto
- Portate di estrazione in base alle dimensioni previste dell'incendio
- Aiuto per l'accesso alle squadre di soccorso e per la fuoriuscita degli occupanti

E. Merola / G. Milan



### Gestione del fumo nelle autorimesse: cosa implica?

- La teoria trae origine da valutazione / analisi / esperienze sviluppate principalmente per la ventilazione nei tunnel
- “Extending the principles of impulse ventilation in tunnels to apply to smoke control in car parks”, H.P. Morgan, B. Vanhove, J-C. De smedt

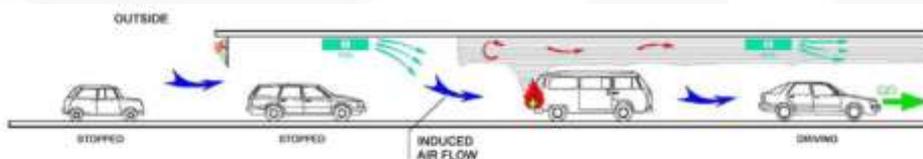


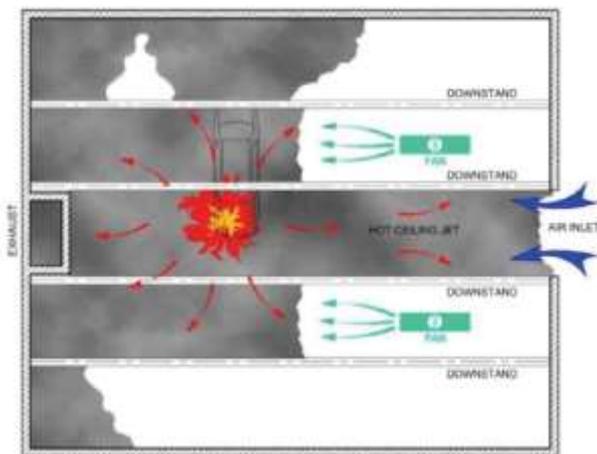
Fig. 1: Impulse ventilation system in a tunnel



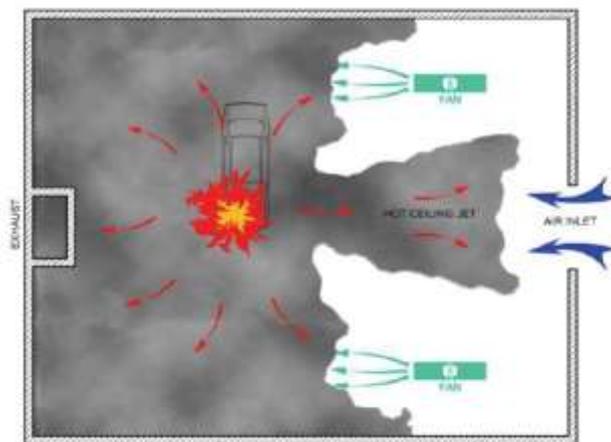
Fig. 2: The advance of the leading edge (or "nose") of a buoyant layer of hot gases

## Gestione del fumo nelle autorimesse: come calcolarlo?

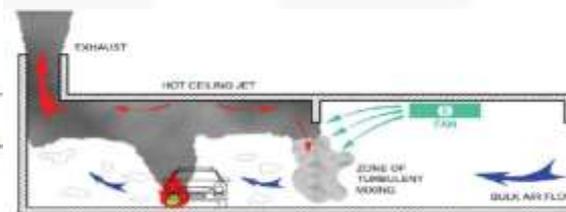
- Il metodo di calcolo adottato permette di determinare il flusso sviluppato orizzontalmente dal getto dei ventilatori considerando diverse tipologie di soffitto



Travi longitudinali



Soffitto piatto

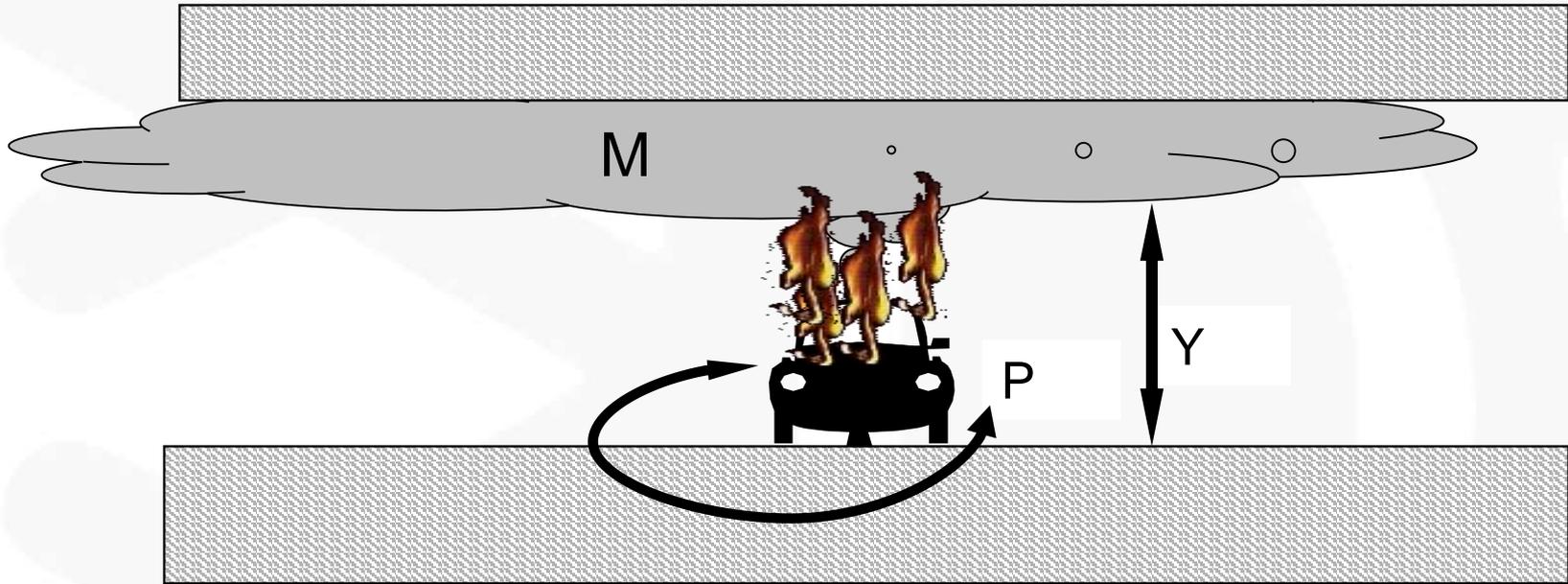


Travi trasversali

E. Merola / G. Milan



## Calcolo del volume di fumo prodotto: parametri essenziali



dove:

$$M = C_e P Y^{3/2}$$

M = Portata massica del fumo prodotto (kg/sec)

P = Perimetro dell'incendio (m)

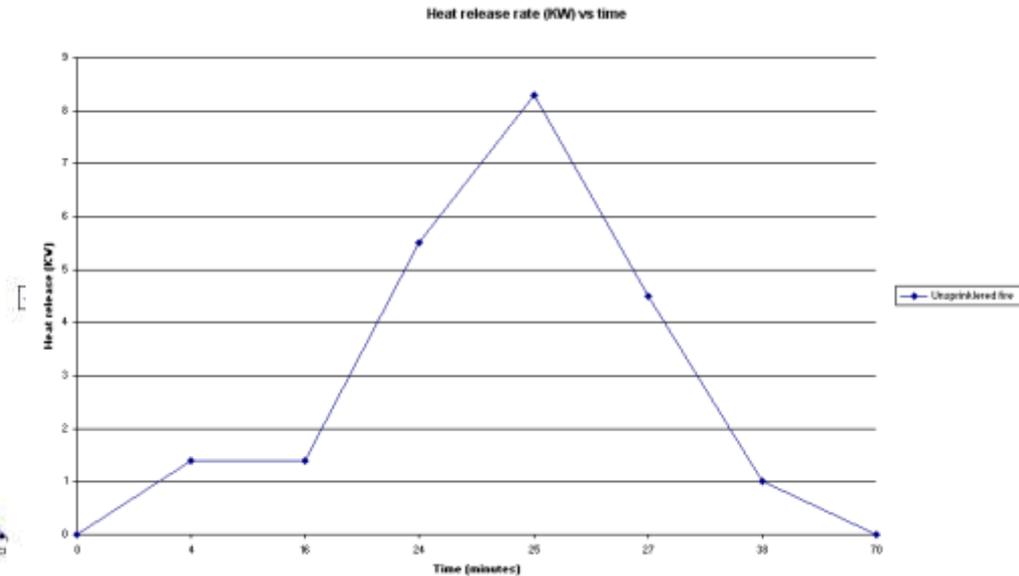
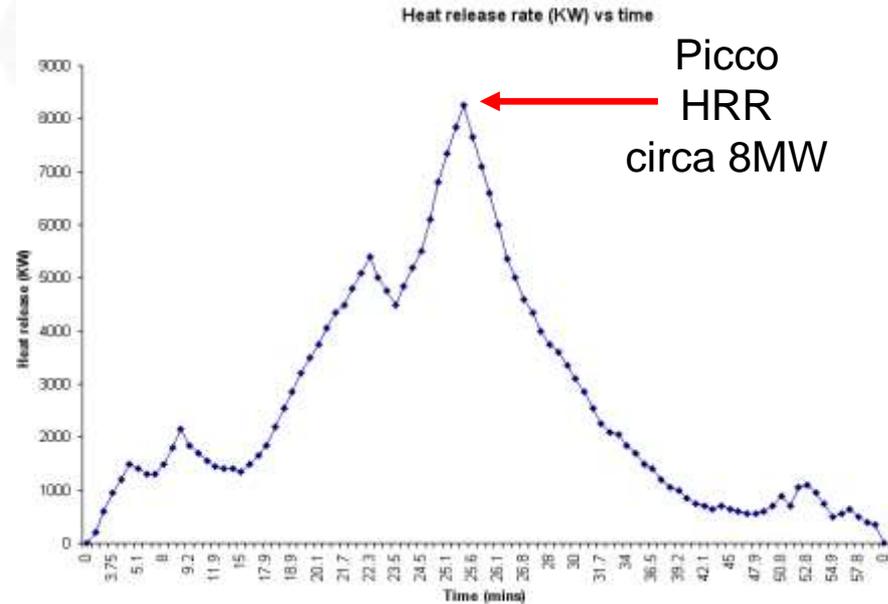
Y = Altezza dello strato libero (m)

$C_e$  = Costante

BRE 368

E. Merola / G. Milan

## Valore HRR tipico per autovettura

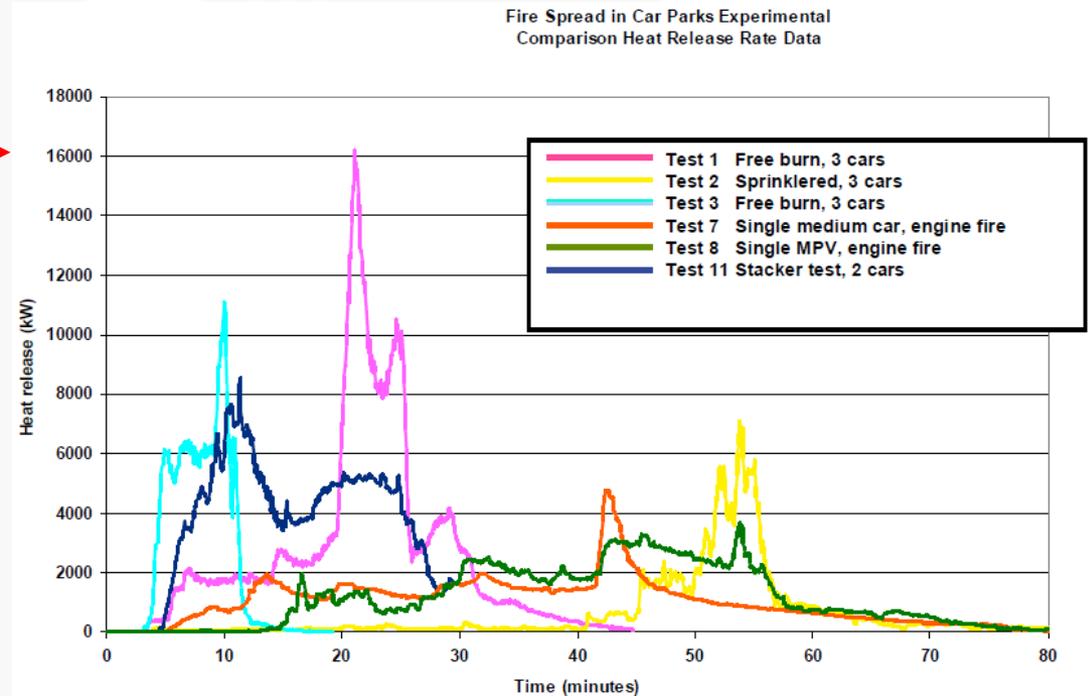


- Idealmente la valutazione del valore HRR dovrebbe basarsi su test reali
- I grafici mostrano I valori del picco di HRR ottenuti da test realizzati alla fine degli anni 1990 su due autorimesse non dotate di sistema sprinkler

E. Merola / G. Milan

## Studi recenti (BRE - UK 2010)

Picco HRR

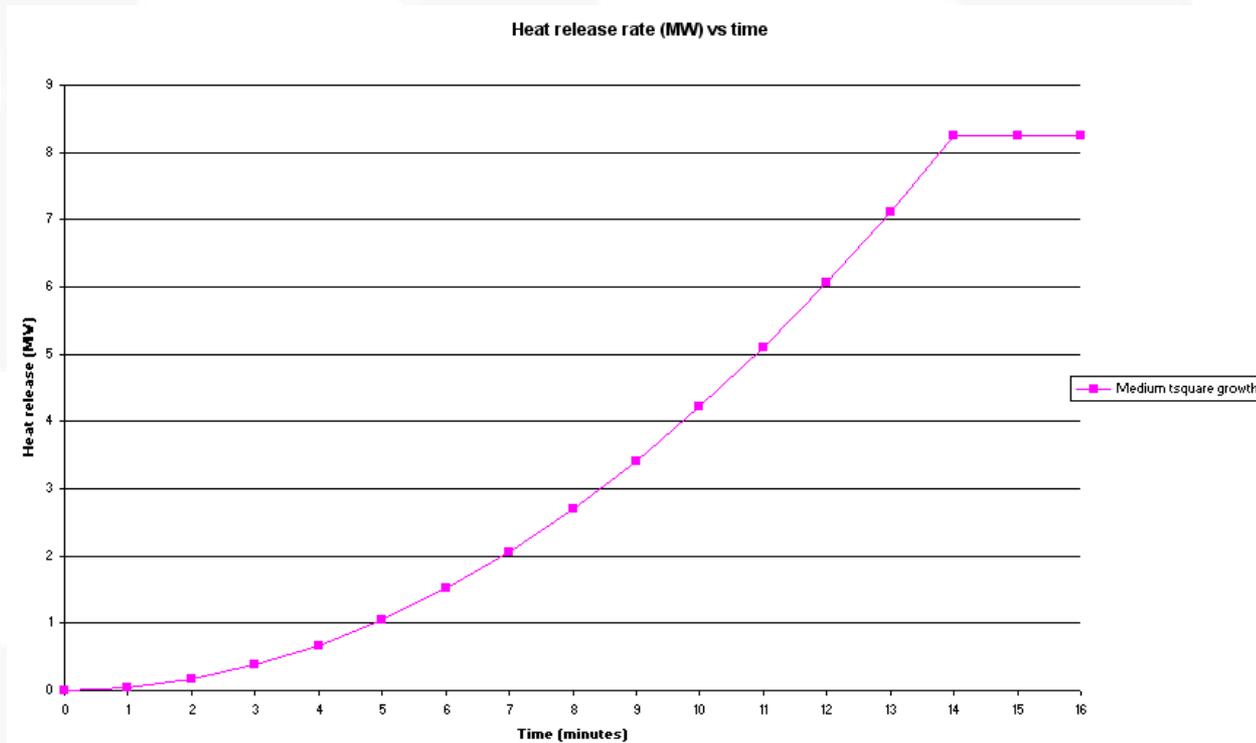


- Studi recenti del BRE in UK (Fire spread in car parks, 2010) mostrano che le dimensioni dell'incendio possono arrivare fino a **16MW in caso di assenza di sprinkler** (3 autovetture) – test 1
- Test eseguiti su incendi con sistema sprinkler hanno raggiunto picchi di circa 7MW ma solo dopo 50-60 min dall'incendio – test 2
- Il test 3, relativo a veicoli di dimensioni maggiori mostra un picco di 11MW dopo 10 min dall'incendio

E. Merola / G. Milan



## Semplificazione della curva HRR



- E' uso comune utilizzare per la curva HRR di rilascio termico un approccio semplificato esprimendo la sua variazione in funzione di  $t^2$  ipotizzando solitamente una crescita media [ $HRR = \alpha t^2$ ]

E. Merola / G. Milan



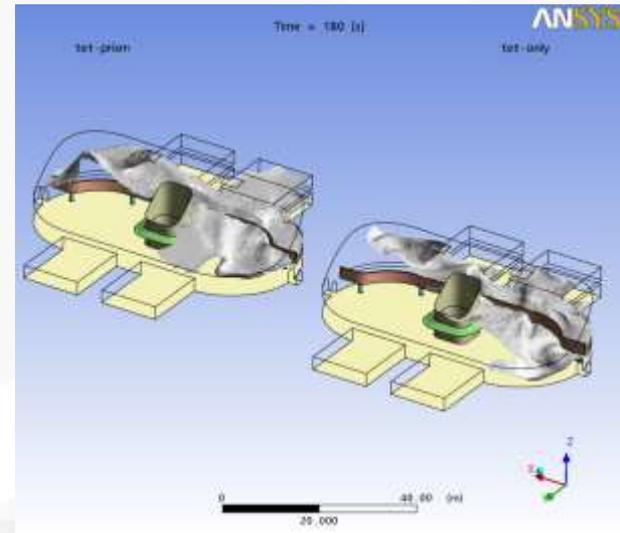
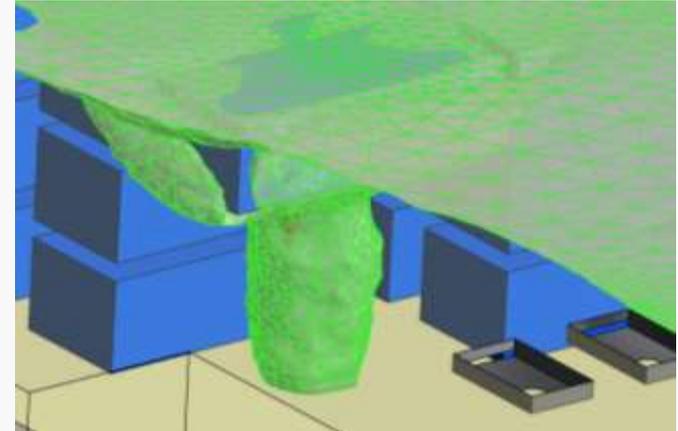
# Simulazione Fluidodinamica Computazionale (CFD)

- E' uno strumento di notevole aiuto per la validazione dei risultati

## B.4. CFD calculation results file

### B.4.1. Presentation and content of the file

- (1) The file should include at least the following parts :
  - the references of the software used and the information needed to examine its acceptability :
    - i. description ;
    - ii. turbulence model ;
    - iii. model of the convective heat flux introduction ;
    - iv. references of uses of the software ;
    - v. validation of the software compared to real instrumented fires.
  - the values (graphs or tables) of the data introduced, concerning the fire, the limit conditions, the wind data, ... needed to control the conformity to the standard by a third part body, with the same software or another, similar one ;
  - the calculations documents (see hereafter) ;
  - a chapter on "analysis" ;
  - a chapter on "conclusions" ;
  - annexes (eventually).
- (2) For each smoke and heat control zone, the file includes a schematic drawing of the model and of the localization of :
  - architectural limits and building dimensions ;
  - architectural and structural obstacles taken into account ;
  - escape routes and emergency staircases ;
  - access ramps and routes from outside ;
  - eventual access ramps inside the car park ;
  - air inlet points (natural and/or mechanical) ;
  - extraction points ;
  - jet fans ;
  - walls and eventual screens of smoke reservoirs.



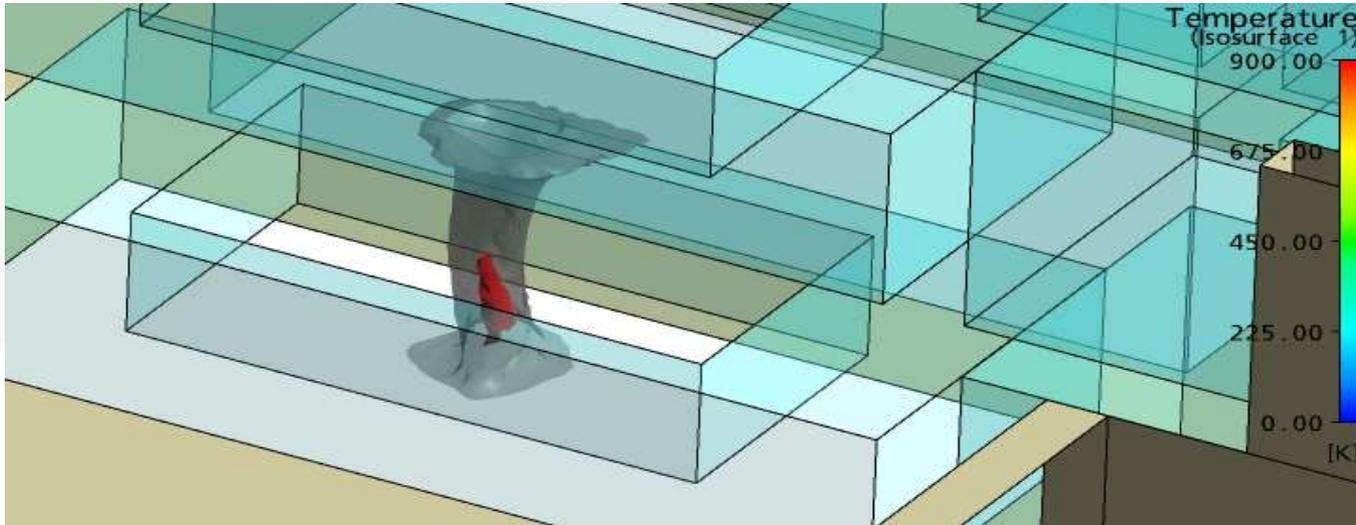
**Bisogna utilizzare codici di calcolo validati definendo con chiarezza valori e caratteristiche dei parametri utilizzati**

E. Merola - N. De

## Simulazione Fluidodinamica Computazionale (CFD)

- L'utilizzo corretto della simulazione CFD permette di identificare i problemi sin dalla fase iniziale del progetto
- Il CFD può aiutare il progettista nella comprensione di fenomeni complessi in caso di incendio
- E' importante definire la mesh corretta e le condizioni al contorno appropriate, da ciò dipende la bontà dei risultati ottenibili
- E' importante comprendere pienamente le eventuali carenze del software in modo da utilizzare la modellazione corretta (ad es. inserendo margini di errore corretti)

## Esempio di modello di combustione reattiva

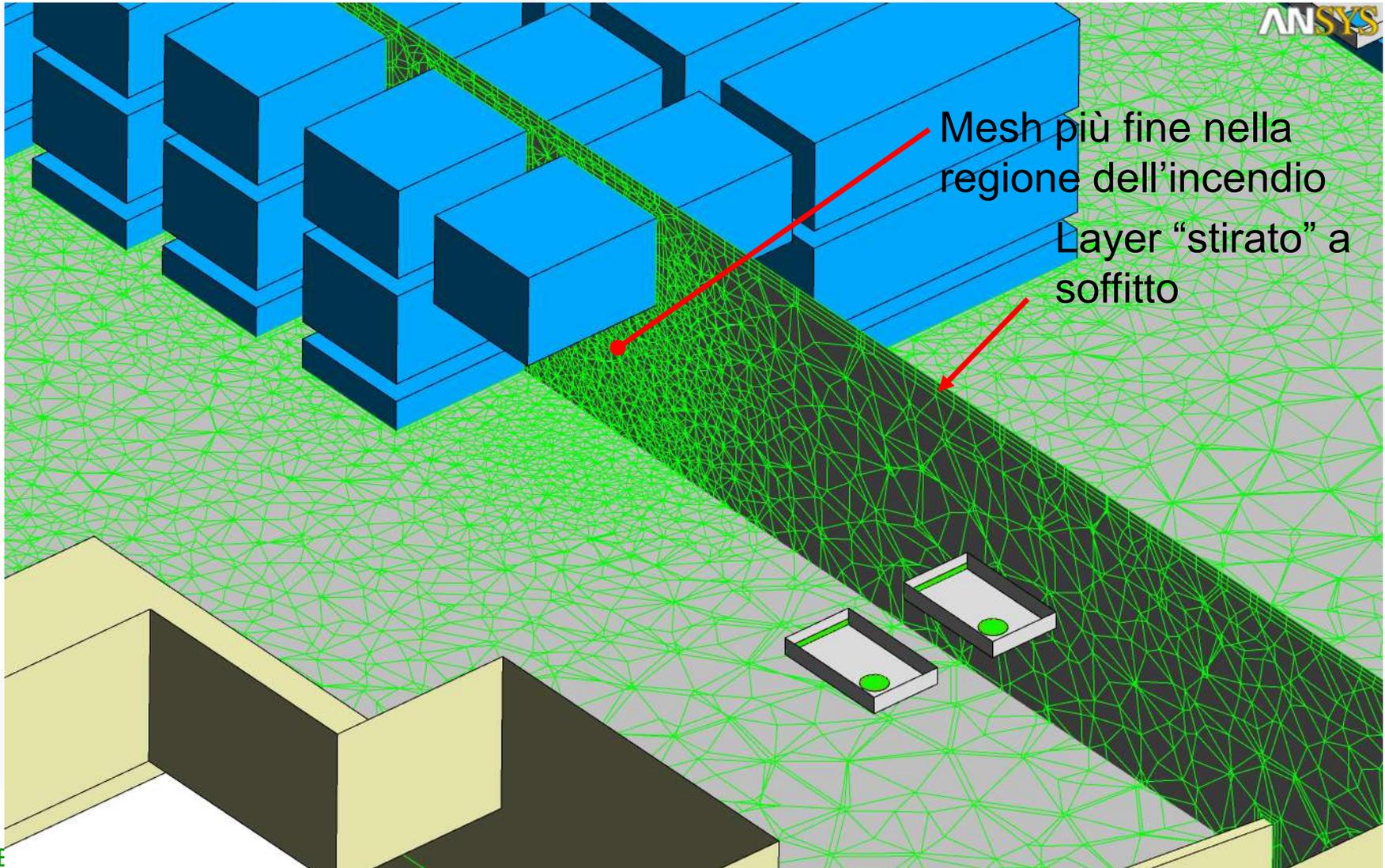


- Definito come una “area” sorgente di materiale combustibile
- I veicoli sono modellati sebbene in maniera semplificata
- Il programma di simulazione fluidodinamica CFD permette di calcolare la miscelazione dei gas prodotti dalla combustione con l’aria ed il grado di combustione
- Si può predire la distribuzione della combustione nella colonna di fumo

E. Merola / G. Milan



# Esempio di mesh computazionale





### Gestione del fumo nelle autorimesse: obiettivi differenti

- Garantire l'estrazione del fumo (durante e dopo l'incendio)
- Supportare l'accesso in sicurezza delle squadre di intervento in un punto in prossimità dell'incendio
- Proteggere le vie di fuga per garantire la fuoriuscita in sicurezza degli occupanti

**Differenti obiettivi implicano differenti criteri di  
accettabilità dei risultati**

## Criteri di accettabilità dei risultati – Fuoriuscita degli occupanti

<i>Elemento</i>	<i>Criterio di accettazione</i>	<i>Validazione</i>
Visibilità	10 metri, visibilità minima	Criterio riconosciuto internazionalmente per aree ove gli occupanti dovrebbero avere familiarità con l'ambiente stesso. Definito nella norma BS 7974 come un criterio di accettazione valido.  Riportato nella Fire Engineering Guidelines, Fire Code Reform Centre, Sydney, Australia, 1996. Supportato dalla ricerca di Jin, T., Chapter 2-4, SFPE Handbook, 3 <sup>rd</sup> edition, NFPA, Quincy, Mass, USA 2002.
Temperatura	60°C temperatura dell'aria nello strato più basso	
Irraggiamento	2.5 kW/m <sup>2</sup> massimo	

Table 1: Means of escape tenability acceptance criteria

<i>Element</i>	<i>Acceptance Criteria</i>	<i>Validation</i>
Visibility	▪ 10 m minimum visibility	Internationally recognised criteria for areas where the occupants would be familiar with their surroundings.
Temperature	▪ 60° C air temperature to lower layer	
Radiation	▪ 2.5 kW/m <sup>2</sup> maximum radiation from hot layer at a height of 2.5m.	Referenced in BS 7974 as a valid acceptance criteria.  Referenced in Fire Engineering Guidelines, Fire Code Reform Centre, Sydney, Australia, 1996.  Supported by the research of Jin, T., Chapter 2-4, SFPE Handbook, 3rd edition, NFPA, Quincy, Mass, USA 2002.

## Criteri di accettabilità dei risultati – Accesso dei Vigili del Fuoco

<i>Elemento</i>	<i>Criterio di accettazione</i>	<i>Validazione</i>
Visibilità	10 metri, visibilità minima	Criterio normalmente accettato per squadre di intervento dei Vigili del Fuoco dotati di indumenti protettivi e di erogatori di ossigeno, ricavato da “Australasian Fire Authorities Council Fire Brigade Intervention Model”, per un periodo di dieci minuti.
Temperatura	120 °C temperatura dell’aria nello strato più basso	
Irraggiamento	3.0 kW/m <sup>2</sup> massimo	

Table 2: Fire fighter tenability

Element	Acceptance Criteria	Validation
Visibility	■ 10 m minimum visibility	Accepted tenability criteria for Fire fighters in protective clothing and breathing apparatus taken from the Australasian Fire Authorities Council Fire Brigade Intervention Model for a period of ten minutes.
Temperature	■ 120° C air temperature to lower layer	
Radiation	■ 3.0 kW/m <sup>2</sup> maximum at 2.5 m temperature above floor level.	



## Limiti del sistema canalizzato

### Problematiche con sistema tradizionale



E. Merola / G. Milan



## Sistema di ventilazione a getto per autorimesse



Ventilatore a getto assiale

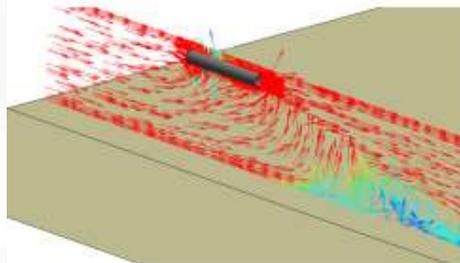
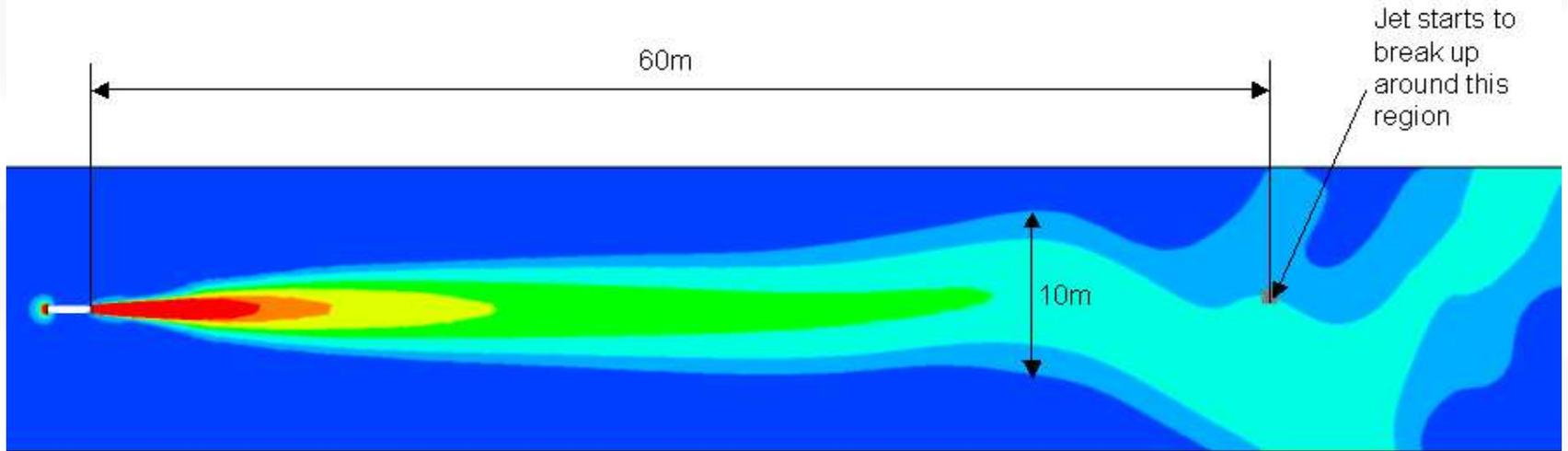
Ventilatore a getto ad induzione



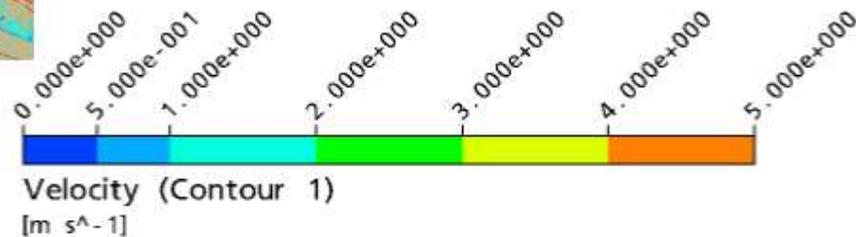


# Sistema di ventilazione a getto

Sistema di ventilazione a getto per autorimesse:



Velocity vectors through fan centreline – showing entrainment from low level

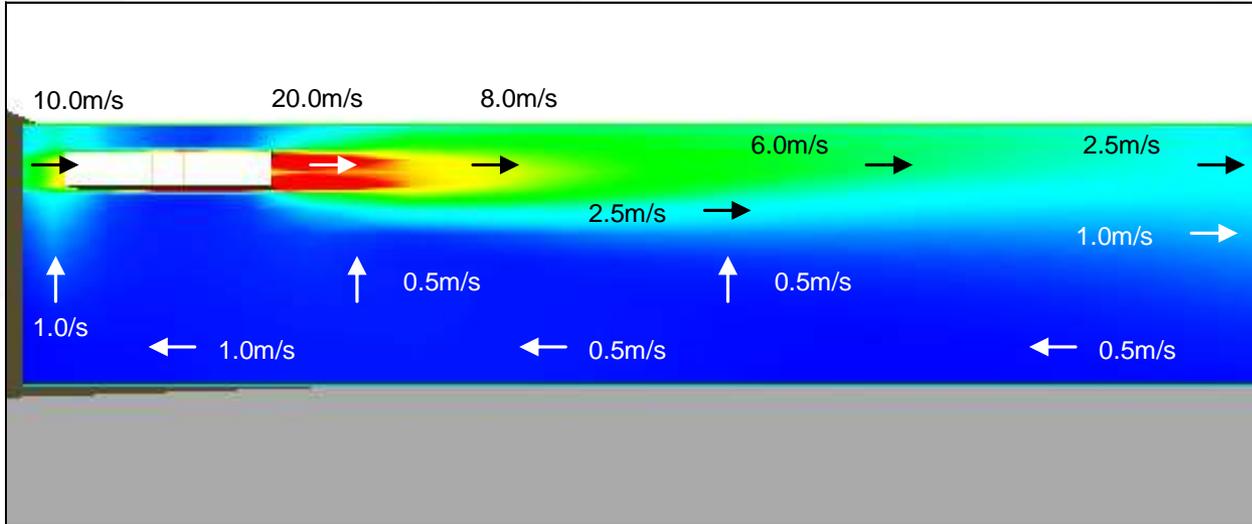


Ventilatore a getto – profili di velocità dell'aria

E. Merola / G. Milan

## Simulazione Fluidodinamica Computazionale (CFD)

CFD VENTILATORE A GETTO - PROFILI DI VELOCITA'



- I ventilatori a getto movimentano l'aria dal basso verso l'immissione del ventilatore e la espellono a soffitto dirigendola verso i punti di estrazione
- Creazione di un vero e proprio flusso d'aria continuo, paragonabile al flusso in un canale
- I ventilatori a getto movimentano lo strato inferiore a livello terreno, rimuovendo gli inquinanti e ventilando anche gli strati superiori ad altezza soffitto

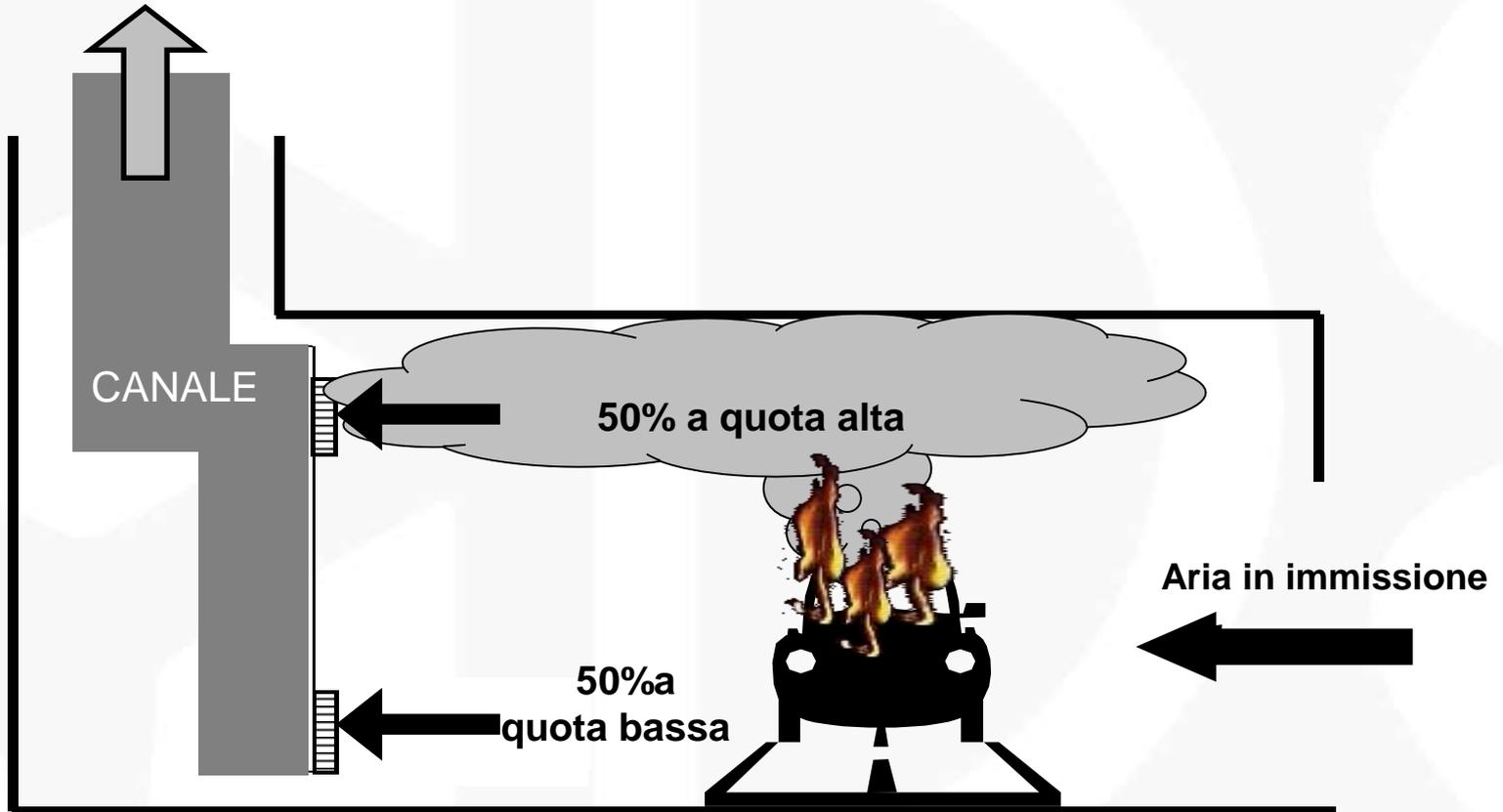
**La ventilazione è doppia : a livello inferiore e superiore. Si può garantire una maggiore efficienza del sistema di ventilazione rispetto alla soluzione canalizzata**

E. Merola / G. Milan



## Sistemi di ventilazione canalizzati per autorimesse

Ventilatori di espulsione



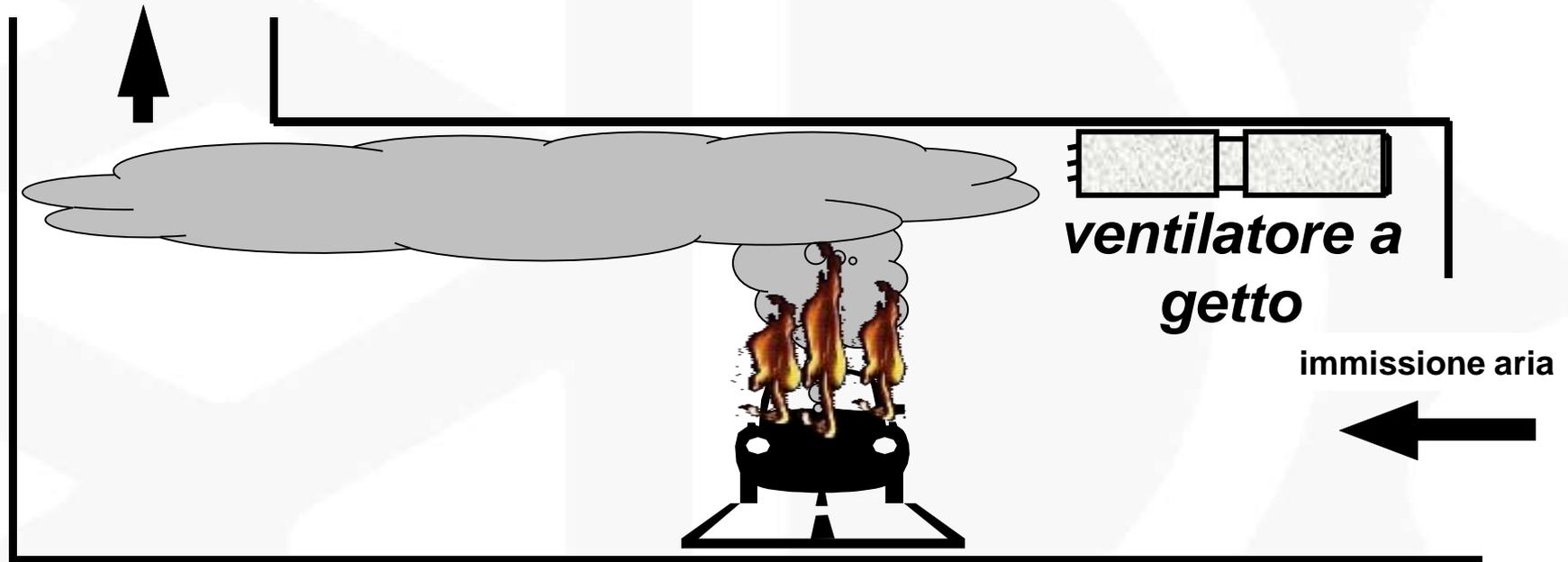
Solo il 50% del canale estrae il fumo a livello alto

E. Merola / G. Milan



## Sistemi di ventilazione a getto per autorimesse

Ventilatori di espulsione



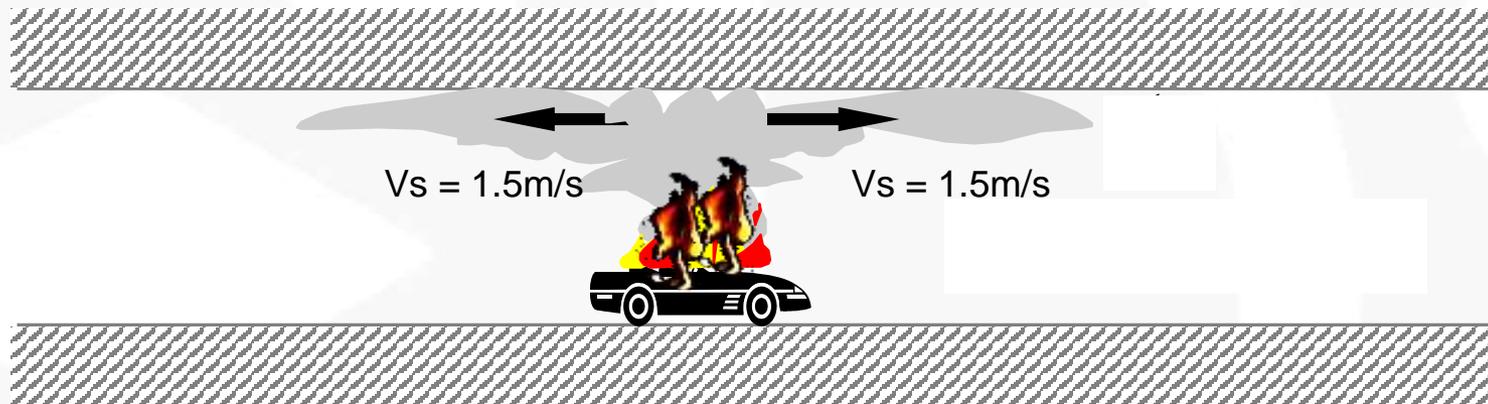
100% del fumo viene estratto a livello alto

E. Merola / G. Milan



# Sistemi di ventilazione a getto per autorimesse

VELOCITÀ DEL FUMO ( $V_s$ )



dove: tunnel: 10m (w) x 5m (h)

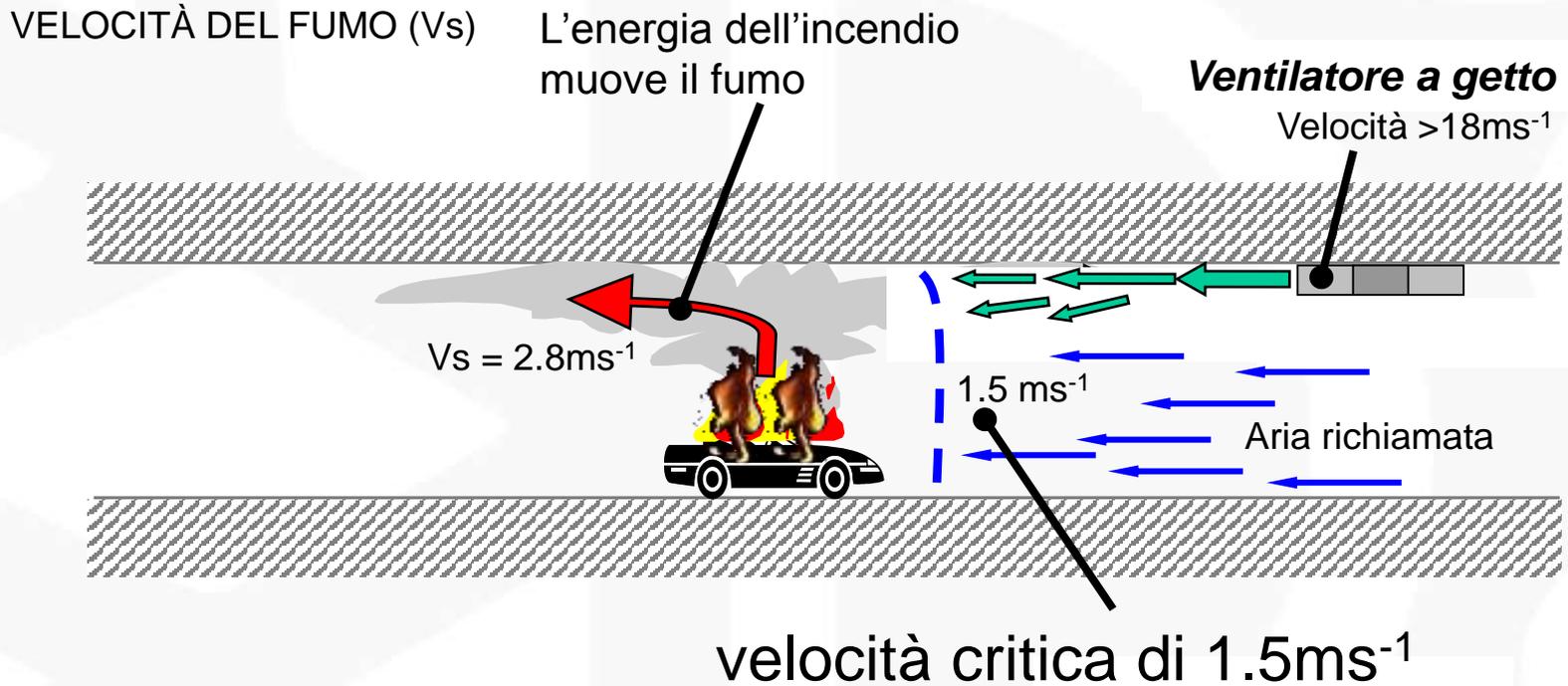
carico incendio autovettura 8MW

\* Basato sul metodo di Heselden per la previsione della velocità del fumo

E. Merola / G. Milan



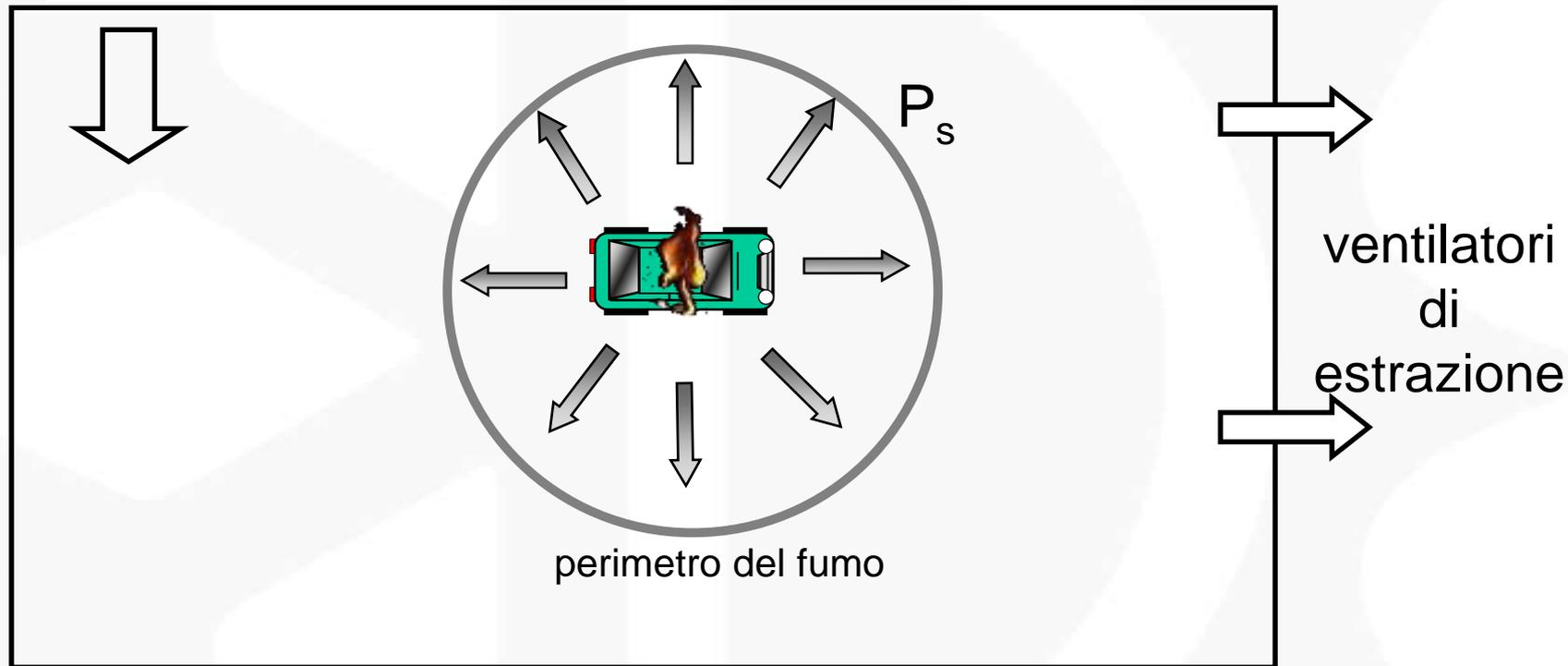
## Sistemi di ventilazione a getto per autorimesse





## Sistemi di ventilazione a getto per autorimesse

aria in ingresso  
dalla rampa



Per le autorimesse la teoria dei tunnel viene adattata assumendo  $P_s$  come “perimetro del fumo”

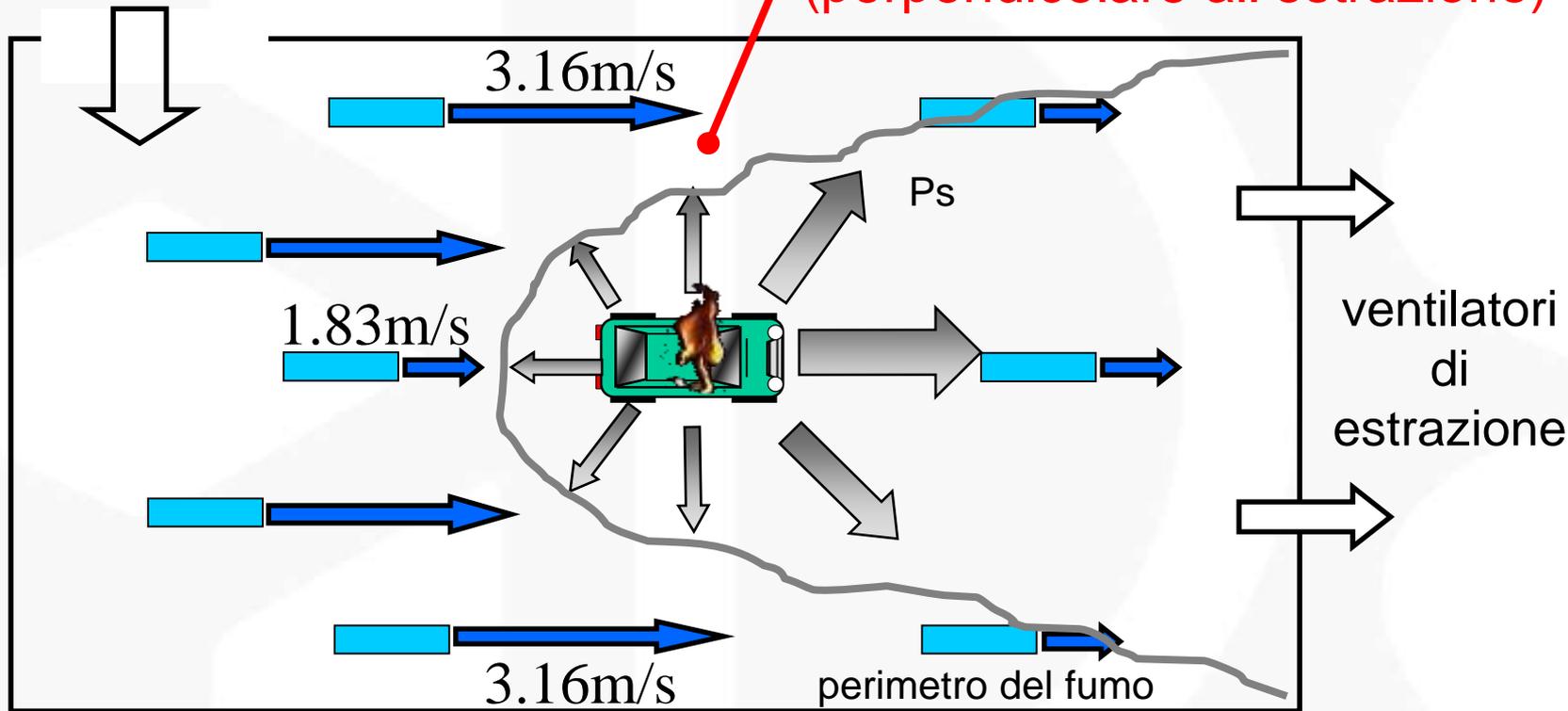
E. Merola / G. Milan



# Sistemi di ventilazione a getto per autorimesse

aria in ingresso  
dalla rampa

velocità maggiore necessaria  
(perpendicolare all'estrazione)



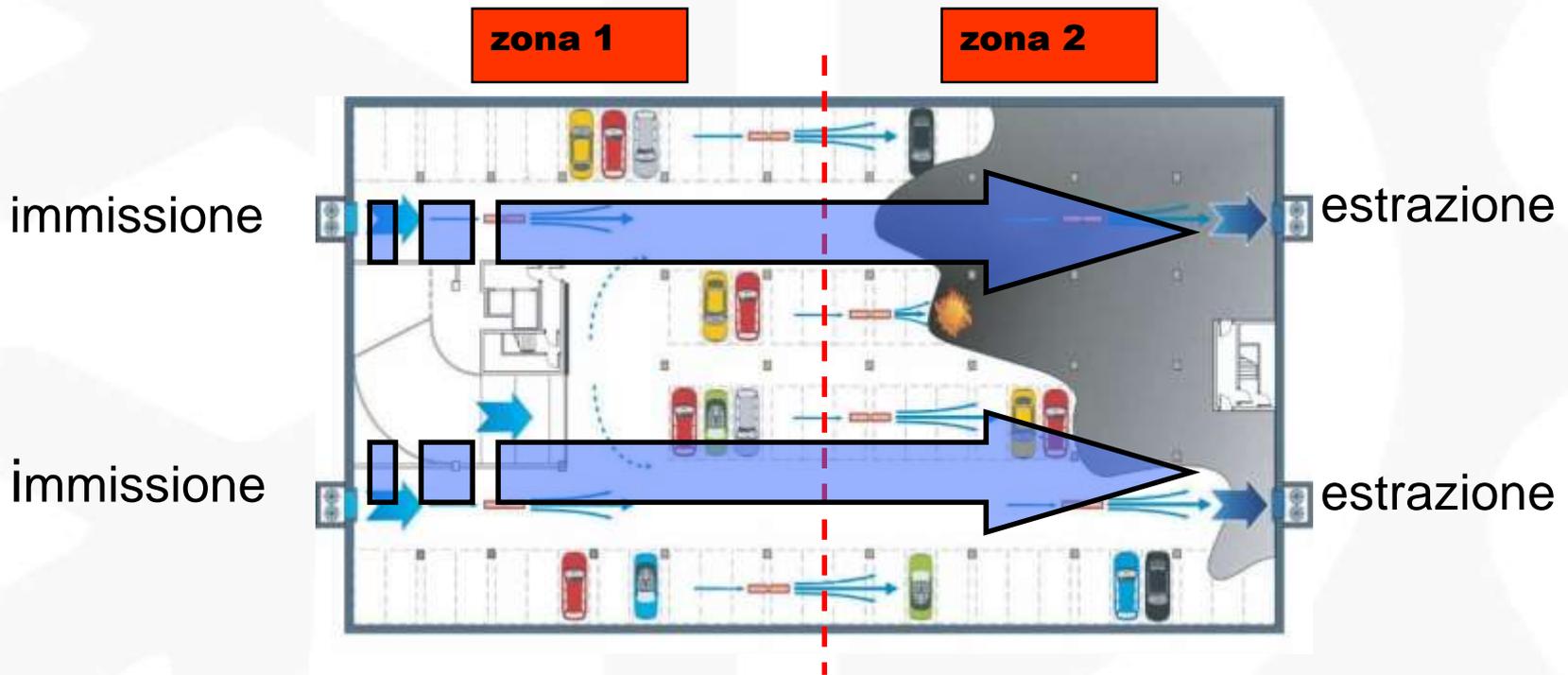
controllo delle velocità

3.16m/s richiesta – per tutti i ventilatori

E. Merola / G. Milan

## Sistemi di ventilazione a getto per autorimesse

Controllo della portata – la velocità critica controlla il fumo

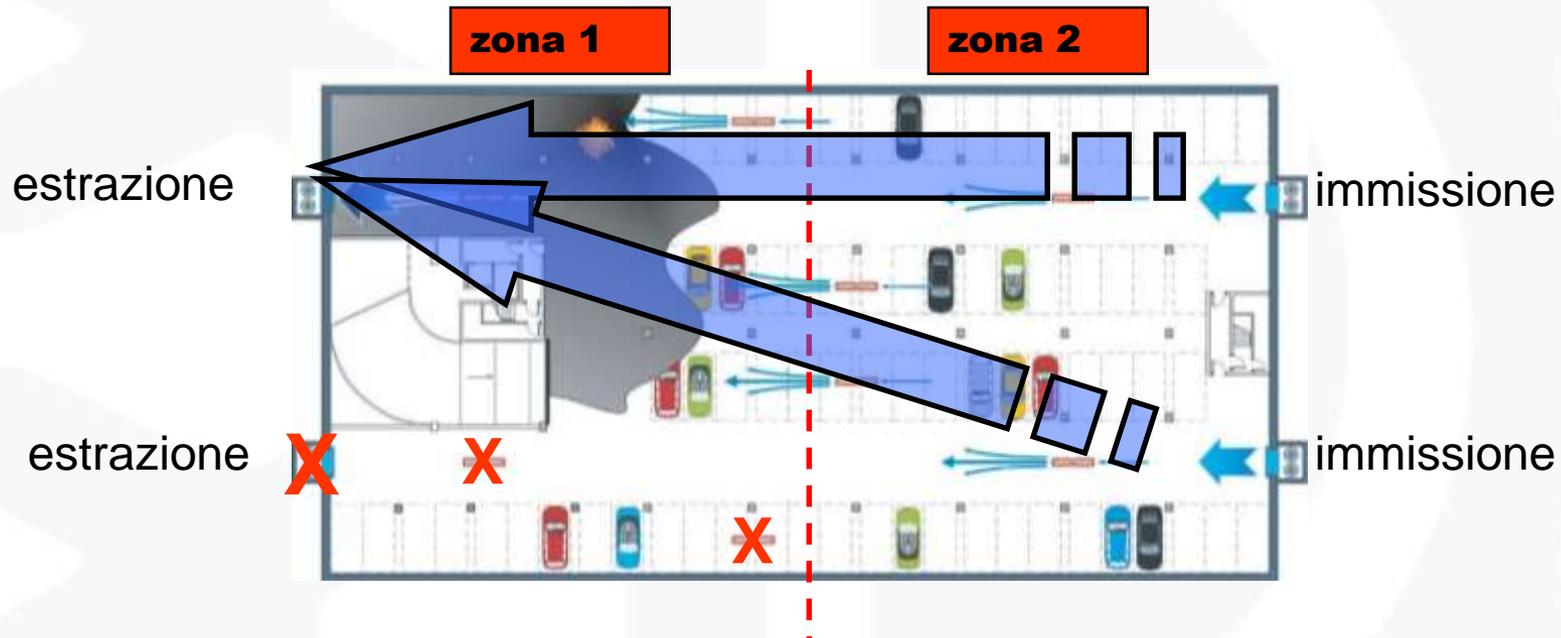


E. Merola / G. Milan



## Sistemi di ventilazione per autorimesse

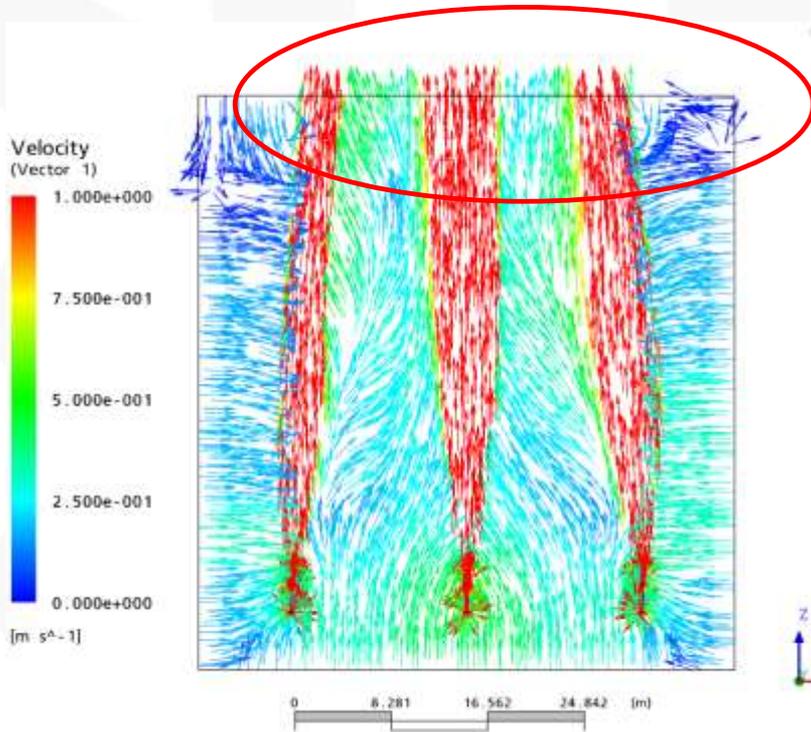
incendio in zona 1: estrazione ed immissione sono invertiti



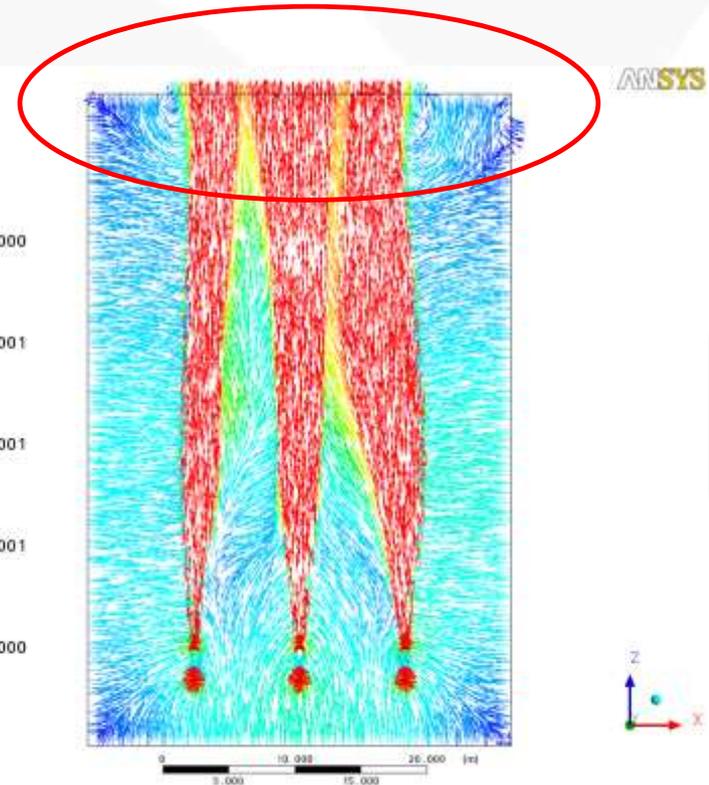
Solo alcuni ventilatori attivati per meglio controllare la diffusione del fumo

Il fumo è reindirizzato per minimizzarne la diffusione

# Simulazione CFD – Distanza laterale eccessiva



Getti dei ventilatori separati



I getti dei ventilatori si combinano per creare un nucleo centrale con  $v=1$  m/s.

E. Merola / G. Milan

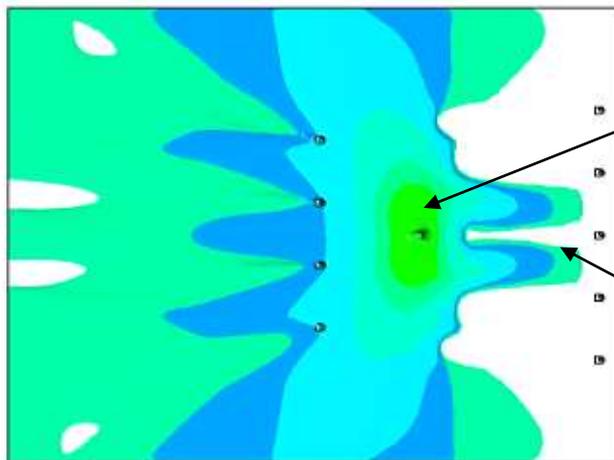
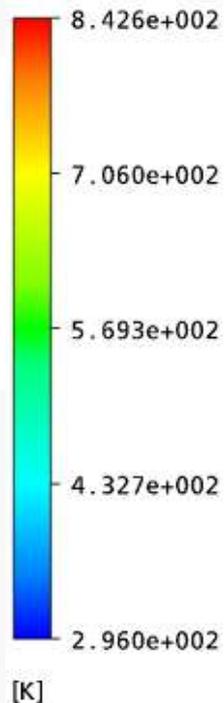


# Effetto della distanza laterale tra ventilatori sulla propagazione del fumo

Dirigere il flusso d'aria

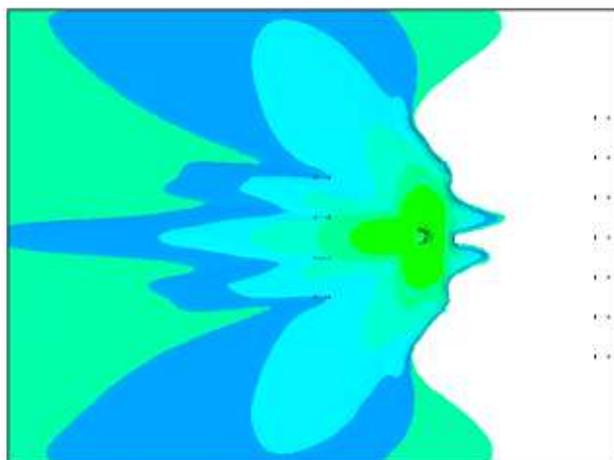
ANSYS

Temperature  
(Isosurface 6)



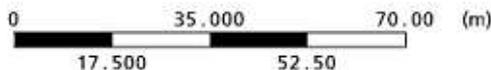
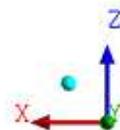
Sede dell'incendio

Distanza laterale di 15m



Aumento della propagazione di fumo a monte dell'incendio a causa di una incorretta distanza laterale

Distanza laterale di 8 m



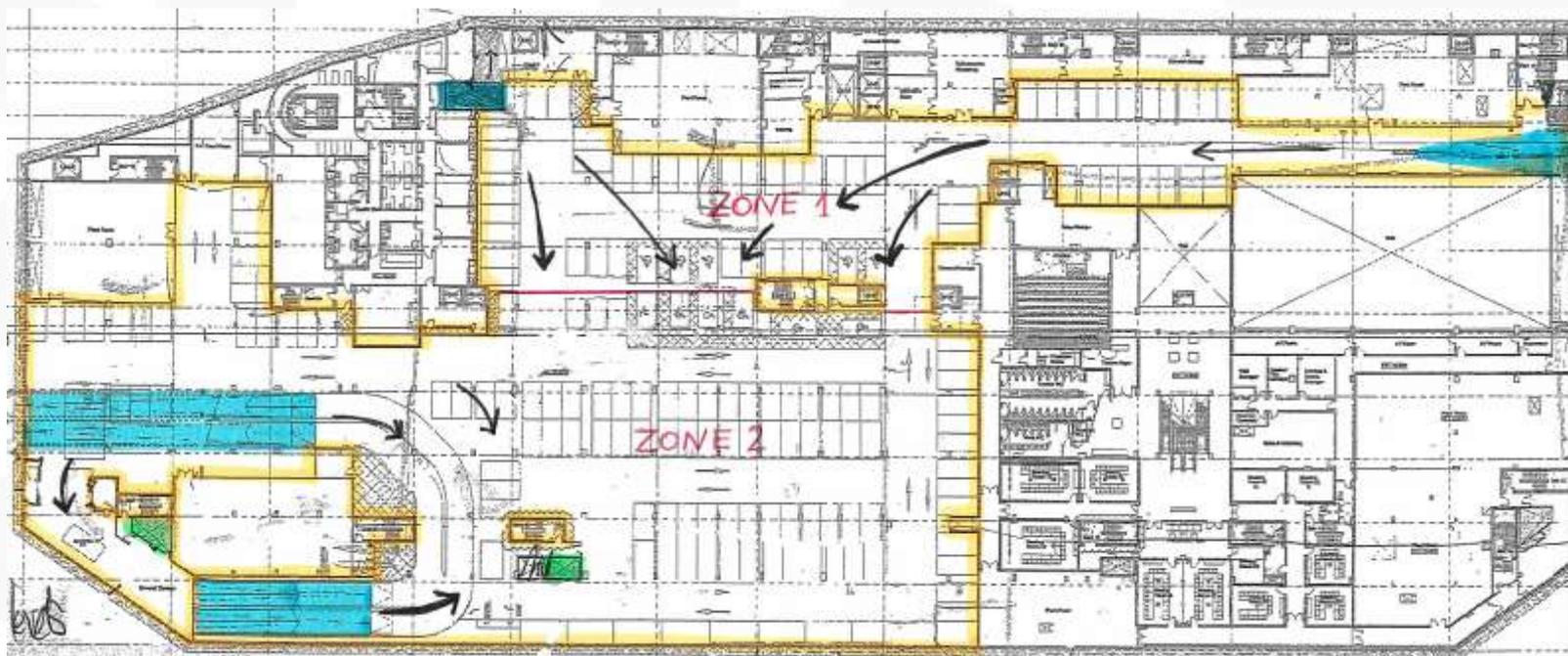
## Ventilatori a getto: caratteristiche costruttive

- Profilo totalmente simmetrico della girante per ventilatori assiali: 100% della spinta in entrambe le direzioni
- Motori a doppia velocità per garantire funzionamento dual purpose: bassa velocità (ventilazione standard), alta velocità (ventilazione in caso d'incendio)
- Ventilatori certificati HT secondo la UNI EN 12101-3
- Motori eventualmente regolabili con inverter



E. Merola / G. Milan

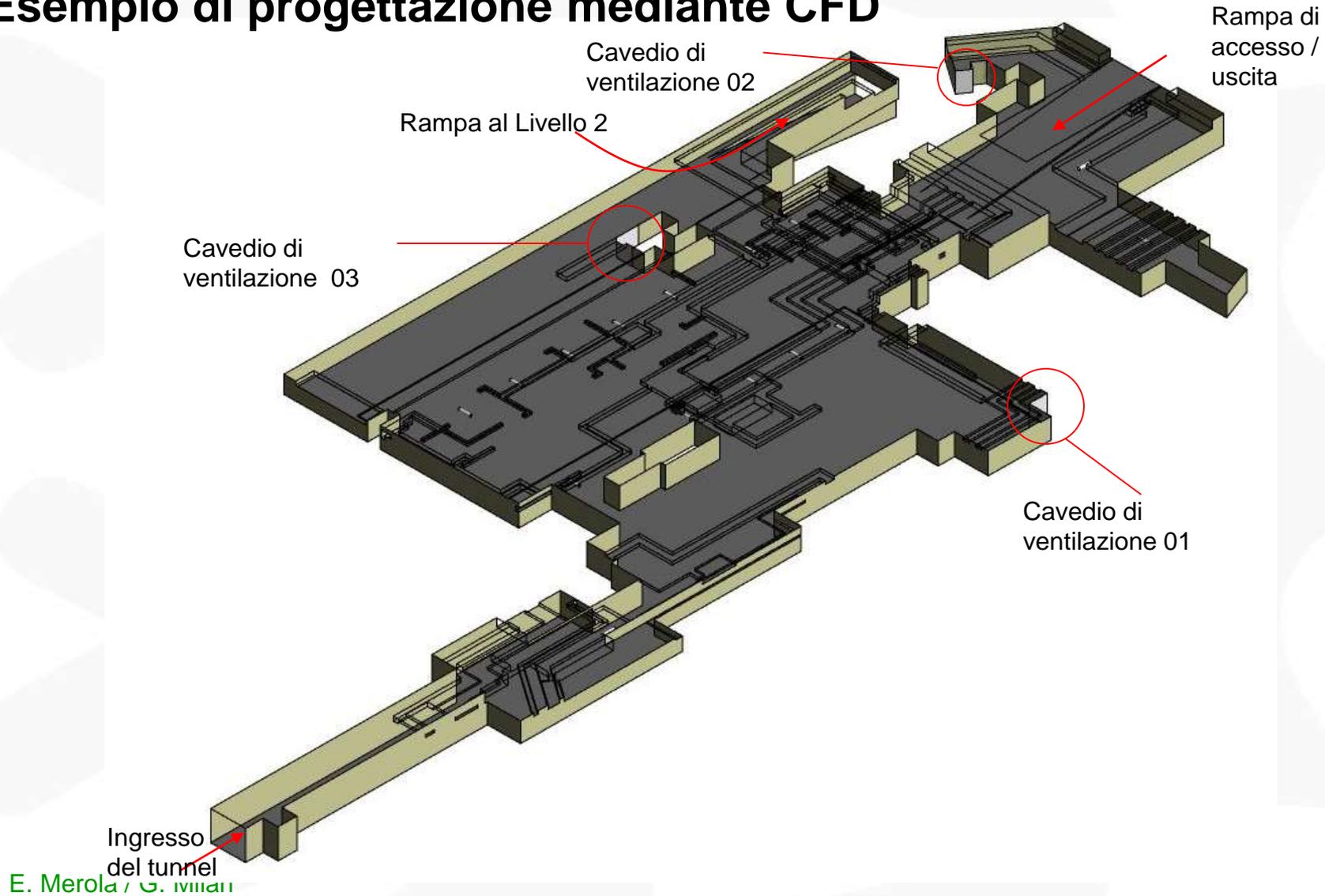
## Esempio di progettazione mediante CFD



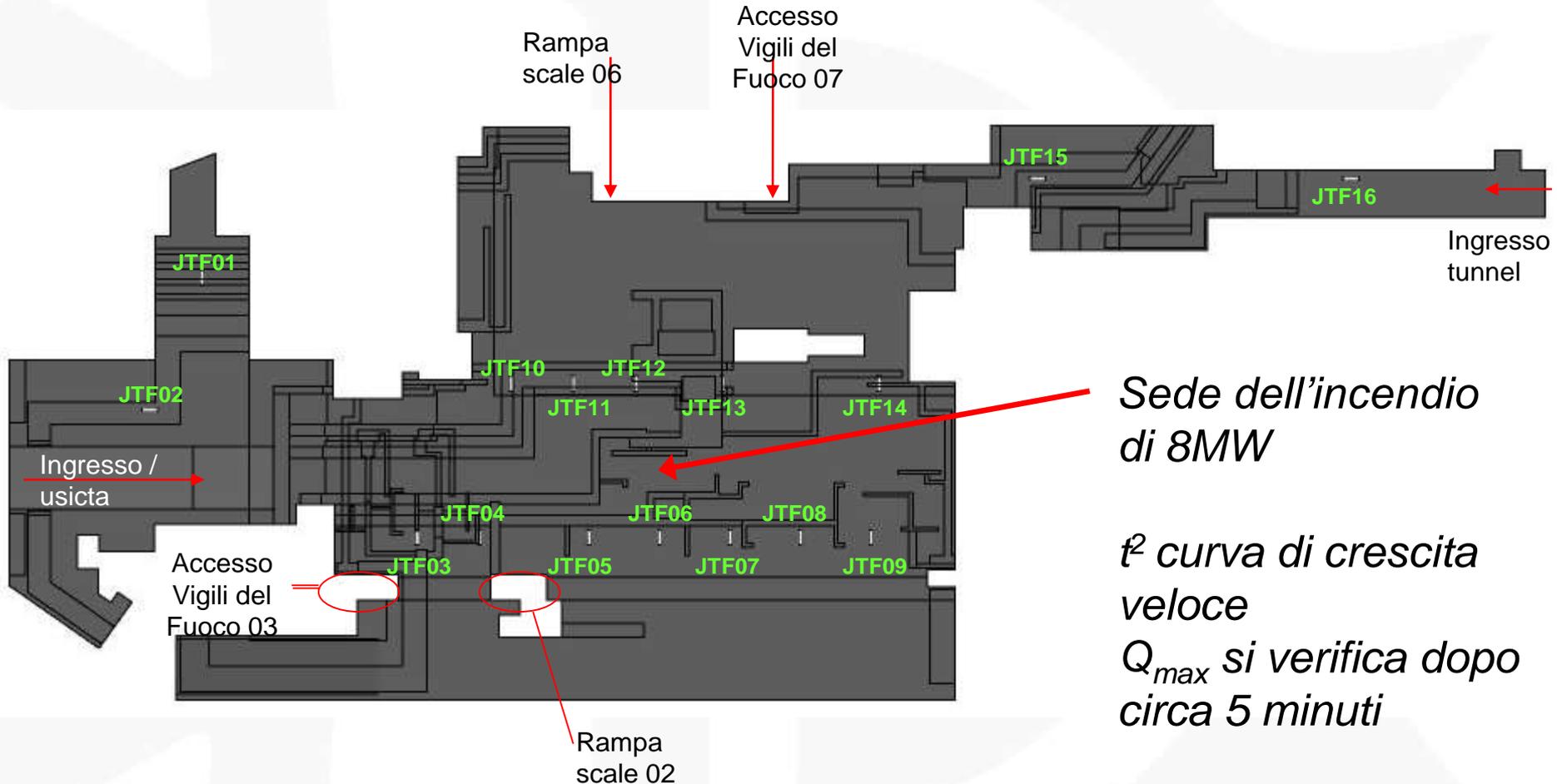
- Sistema di ventilazione progettato per il controllo del fumo al fine di permettere l'accesso dei Vigili del Fuoco alla sede dell'incendio

E. Merola / G. Milan

# Esempio di progettazione mediante CFD

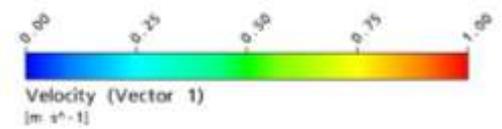
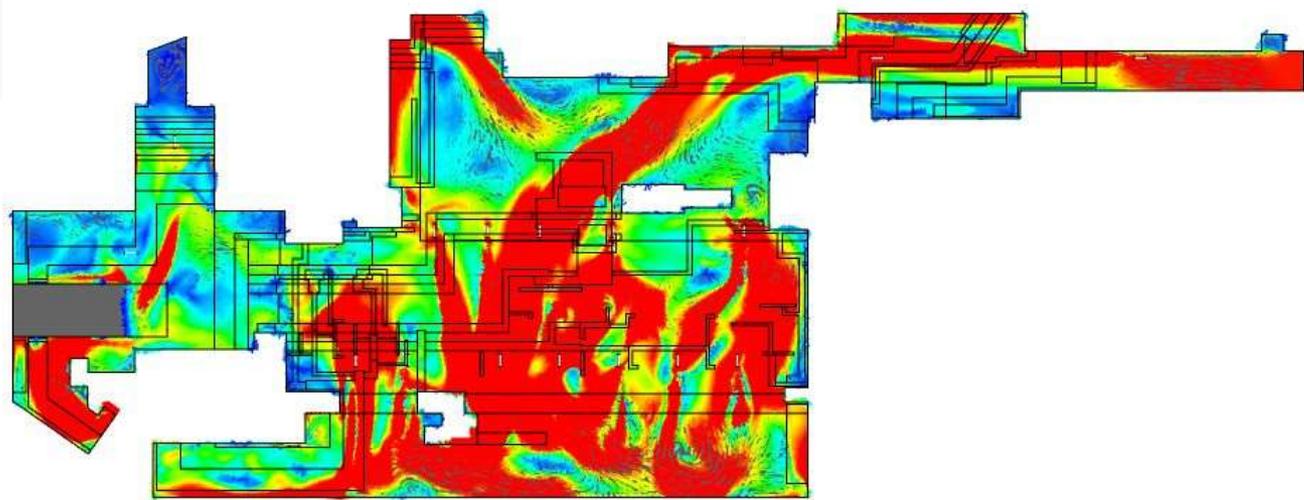


# Esempio di progettazione mediante CFD - modello

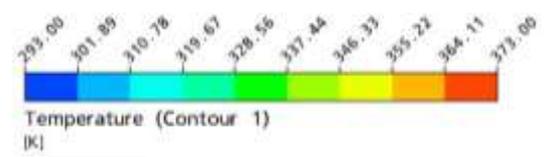
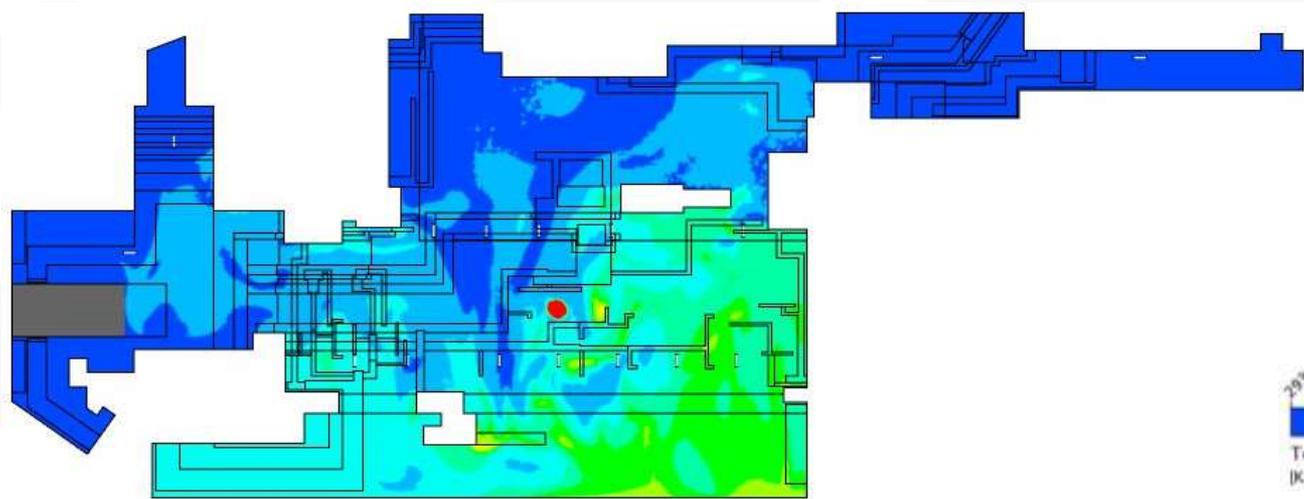


E. Merola / G. Milan

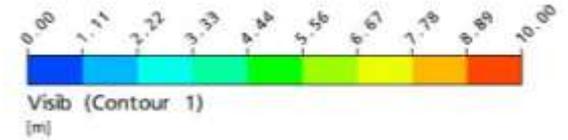
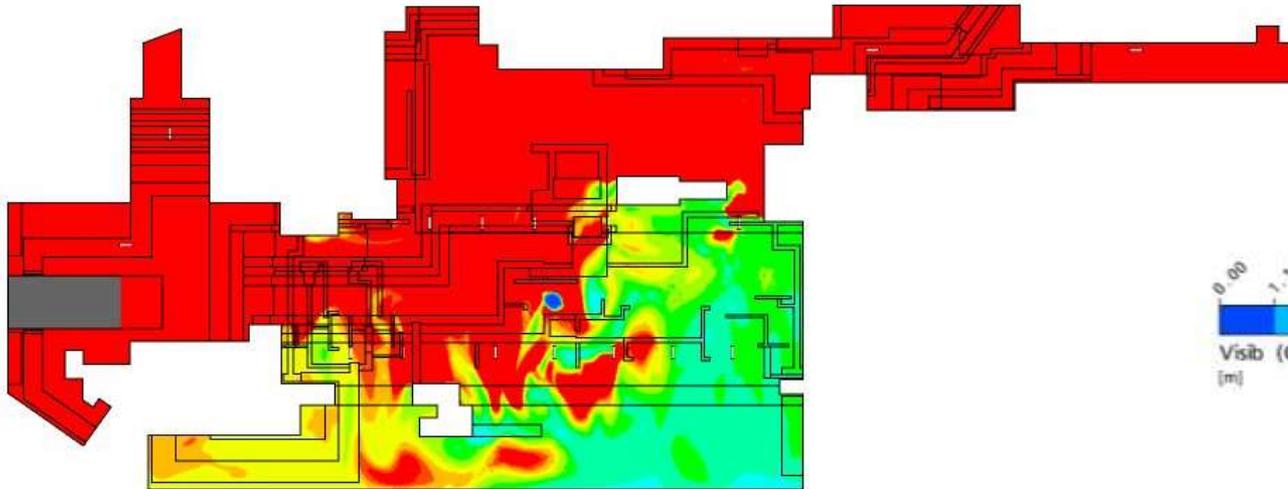
# Risultati – profili di velocità e temperatura



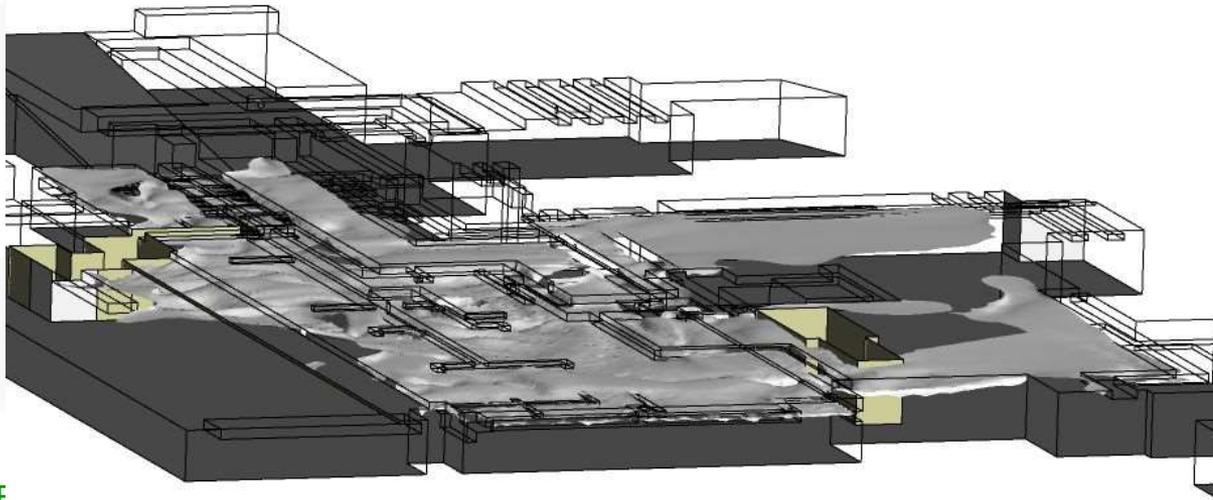
t = 360 secondi



# Risultati – Visibilità e visualizzaizone del fumo



t = 360 secondi



E



## Prova in campo – fumi freddi



E. Merola / G. Milan



## Conformità al D.M. 1/2/1986: sistemi con ventilatori a getto

Si trasmette il quesito pervenuto attraverso il Comando VV.F. di Milano relativo ad un sistema di ventilazione meccanica senza la realizzazione di canalizzazioni a soffitto proposto dalla società Metropolitana Milanese.

Al riguardo si ritiene che detto sistema non sia in contrasto con quanto previsto dal DM 1.2.86 per gli impianti di ventilazione meccanica, con riferimento alle condizioni normali di funzionamento.

Per quanto riguarda la funzione aggiuntiva di estrazione fumo e calore in caso di incendio si condivide la necessità posta dal Comando di valutare opportunamente le modalità di attivazione dei ventilatori in modo che non vi siano interferenze con il funzionamento dell'eventuale impianto sprinkler.

Infine, con riferimento all'interpretazione dei punti 3.9.2 e 3.9.3 del decreto in argomento, si ritiene che ai fini dell'individuazione della tipologia di impianto di ventilazione meccanica da installare possano essere esclusi i posti auto dei piani fuori terra di tipo aperto.

**I sistemi di ventilazione a getto per autorimesse non sono in contrasto con quanto previsto dal D.M. 1/2/1986**



# Sistema canalizzato vs Sistema a getto

## Sistema canalizzato

- *Maggiori dimensioni del sistema di estrazione*
- *Controllo non sempre ottimale della distribuzione del flusso d'aria*
- *Maggiori perdite di carico*
- *Costi elevati di installazione*
- *Maggiore rumorosità*
- *Notevole ingombro a soffitto dei canali*
- *Non reversibilità del sistema in generale*

## Sistema a getto

- *Ridurre il dimensionamento del sistema di estrazione*
- *Controllo ottimale della distribuzione del flusso d'aria*
- *Diminuzione delle perdite di carico*
- *Costi ridotti di installazione*
- *Minore rumorosità*
- *Pulizia a soffitto (ingombro limitato dei ventilatori)*
- *Reversibilità del sistema*
- *Costi di manutenzione contenuti*





# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

*Le opinioni espresse dagli Autori non rispecchiano necessariamente quelle dell'Associazione*

E. Merola / G. Milan

