



“Sistemi di controllo del fumo e calore oltre le norme 9494”

Milano, 1 OTTOBRE 2015

Ing. Roberto Barro



**BUILDING SOLUTIONS
ENGINEERING & LAW**

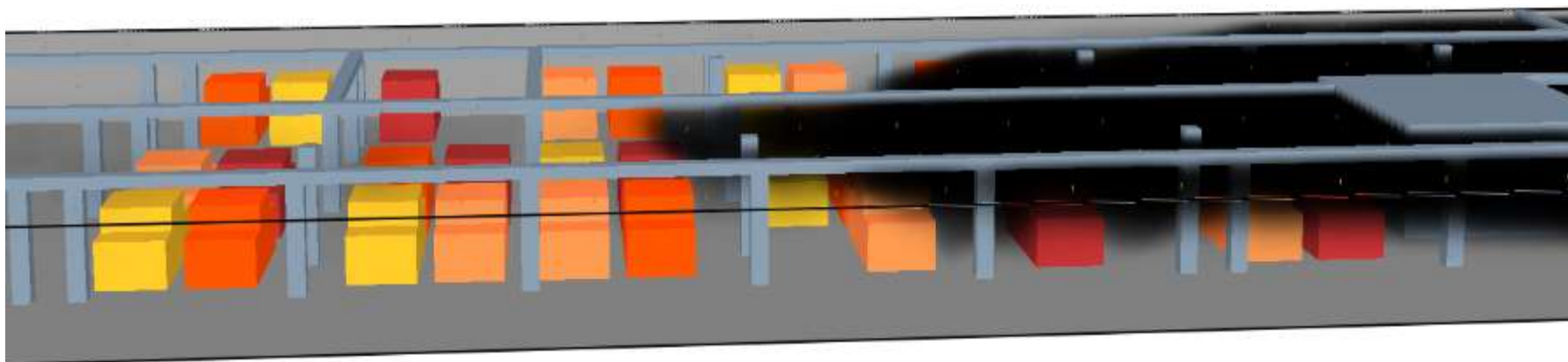


PERCHÉ OLTRE LE NORME UNI 9494?



Si applica in ambienti di:

- altezza h pari ad almeno 3 m,





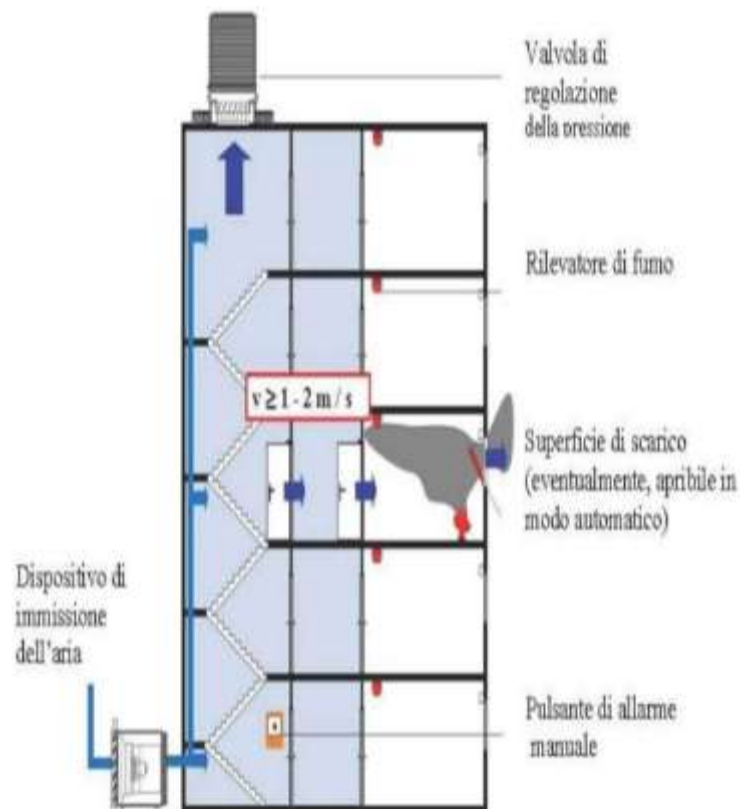
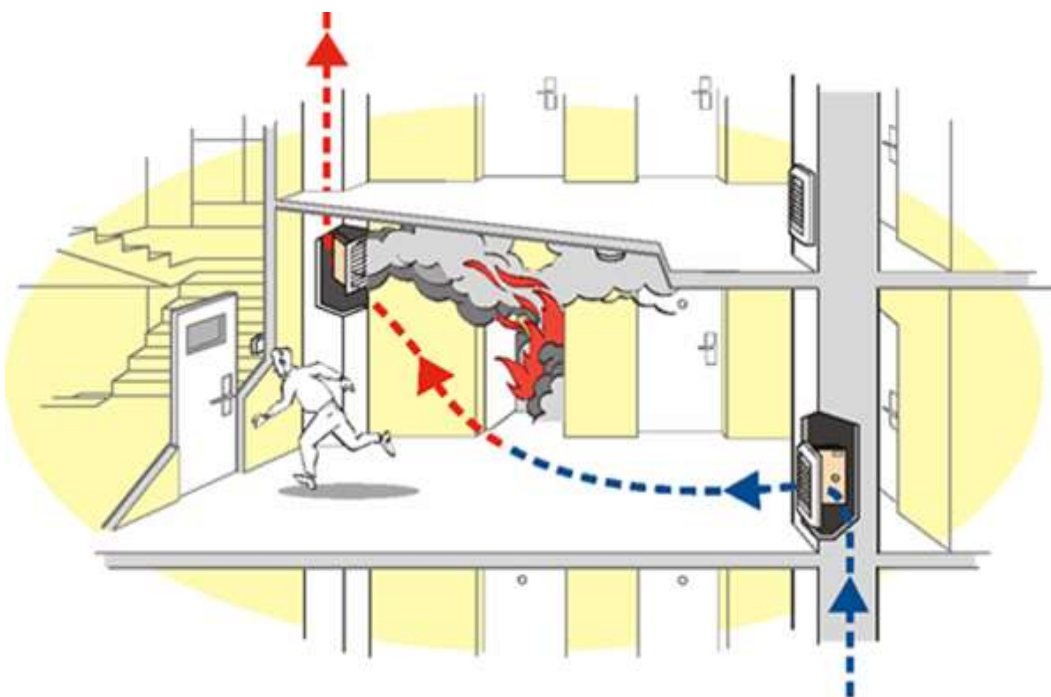
Si applica in
 Ambienti
 aventi superficie
 compresa tra 600
 e 1600 m²





non si applica ai seguenti casi:

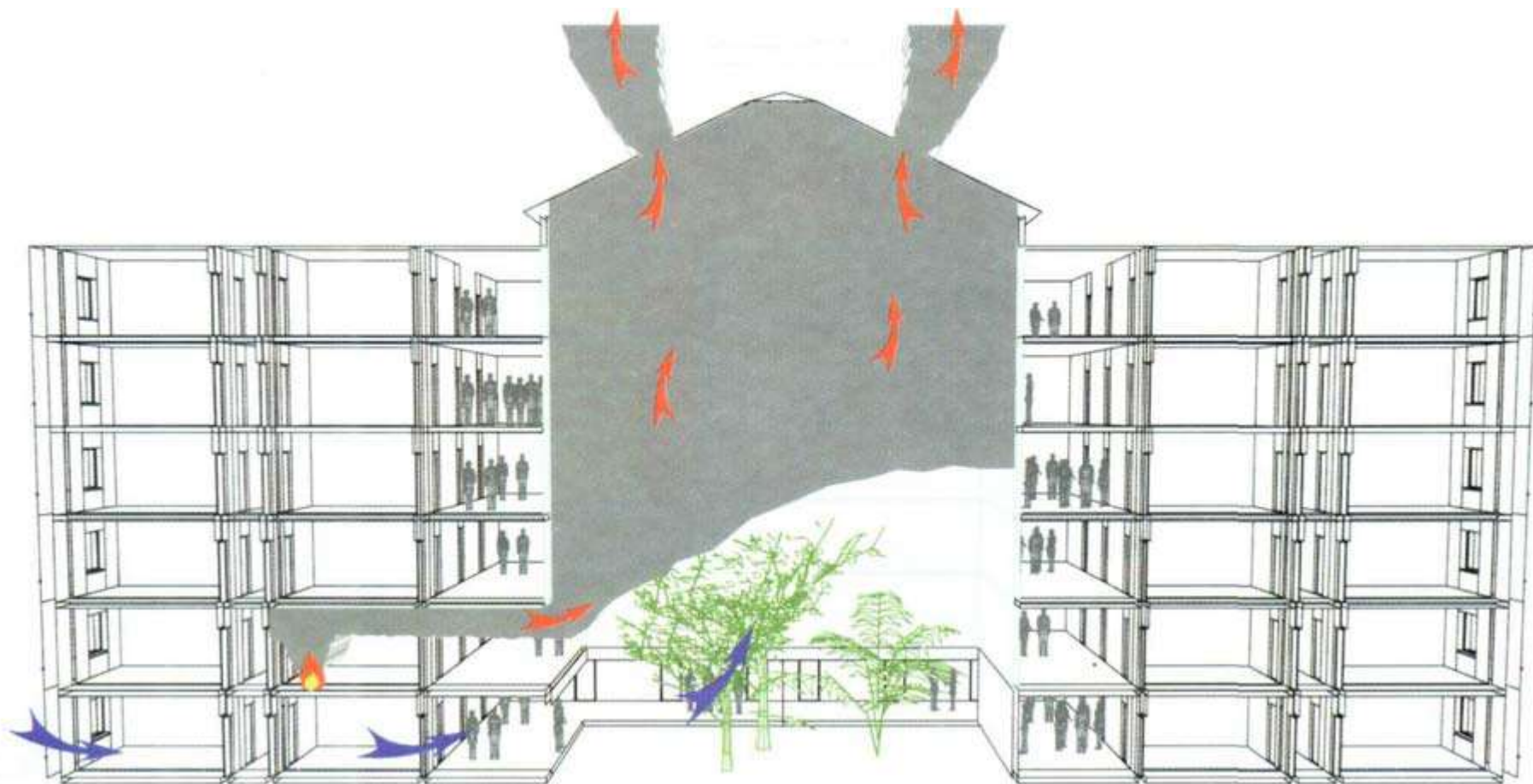
- corridoi;
- corridoi con scale;





non si applica per:

Ambienti a doppia altezza; ad esempio Atrii o mall:





Per rimanere nel campo di applicazione occorre siano verificate le seguenti ipotesi di dimensionamento:

- tempo convenzionale previsto di sviluppo dell'incendio fino all'inizio delle operazioni di estinzione di 10 min.;
- rilascio termico dell'incendio ≤ 300 kW o 600 kW.

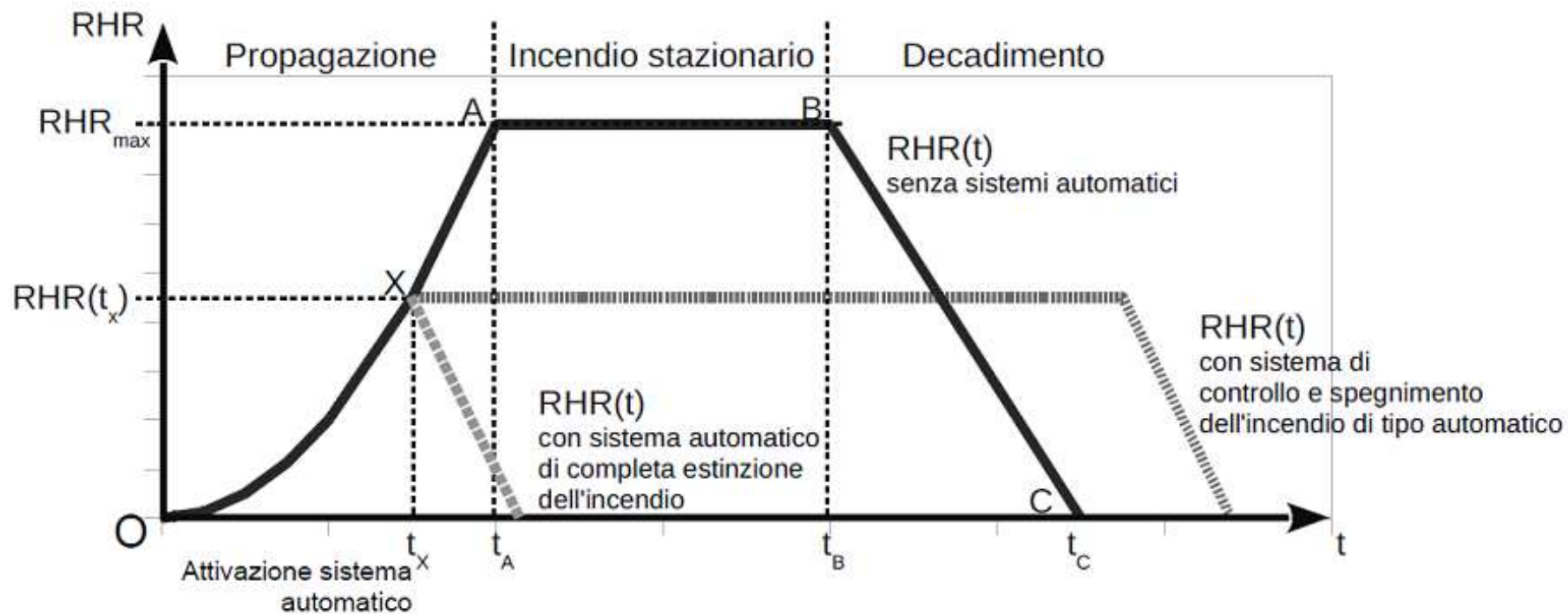
L'orizzonte temporale è piuttosto lungo, fino a VENTI MINUTI, e si considera un incendio in REGIME STAZIONARIO, con caratteristiche prefissate, la cui dimensione dipende dal tempo di intervento delle squadre di soccorso.



L'impianto sprinkler consente di abbassare di un livello il gruppo di dimensionamento.

L'immagazzinamento di materiali con altezza maggiore di 1,5 m aumenta di un livello di gruppo di dimensionamento.

Nel gruppo di dimensionamento 5 l'altezza delle merci non può superare 1,5 m.





Da NFPA 92

t-square fire

$$Q(\text{kW}) = \alpha t^2$$

ULTRAFast ($\alpha = 0,1778$),
 FAST ($\alpha = 0,0444$),
 MEDIUM ($\alpha = 0,0111$),
 SLOW ($\alpha = 0,00278$)

**Nel caso di un incendio
 FAST dopo 300 s
 si ha $Q = 4 \text{ MW}$**

ULTRAFast $Q = 16 \text{ MW}$

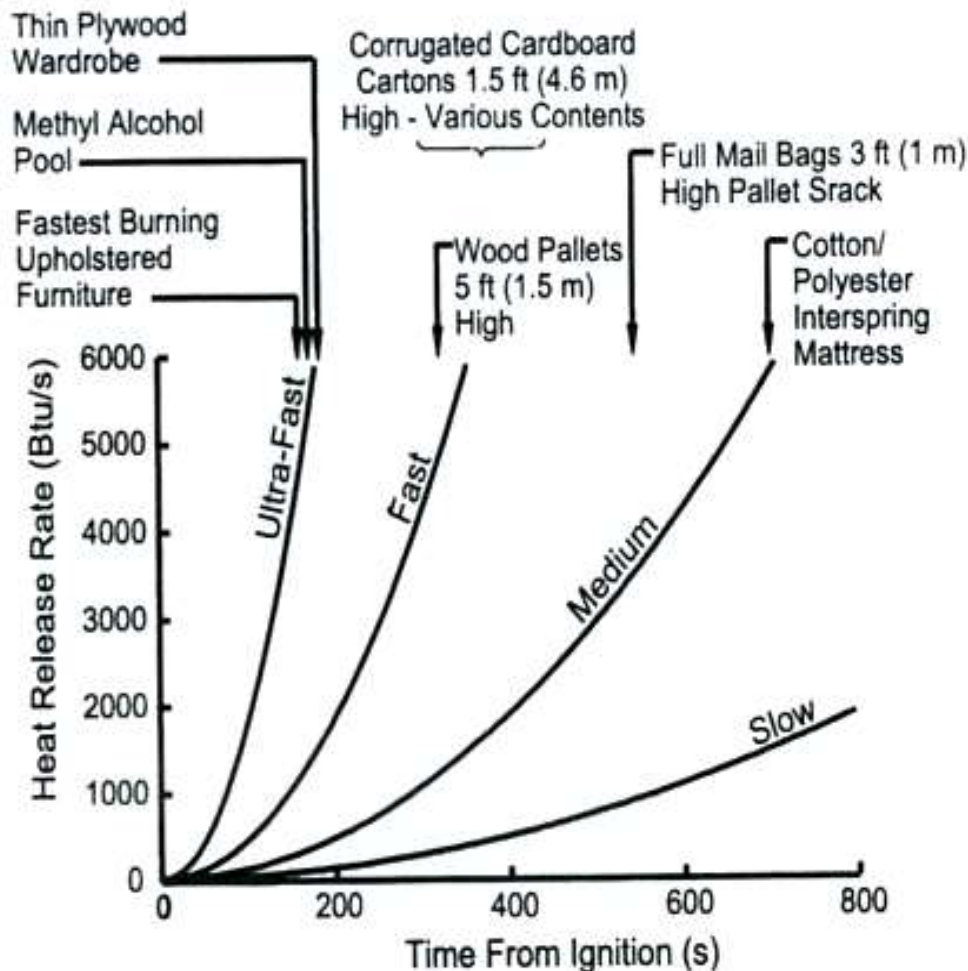


Figure 2.28 Relation of t-squared fires to some fire tests (adapted from Nelson [1987]).



Le modalità di gestione del fumo si suddividono in 2 grandi categorie :

➤ Naturale

➤ Meccanico

I sistemi meccanici possono essere di diverse tipologie:

1) Controllo verticale;

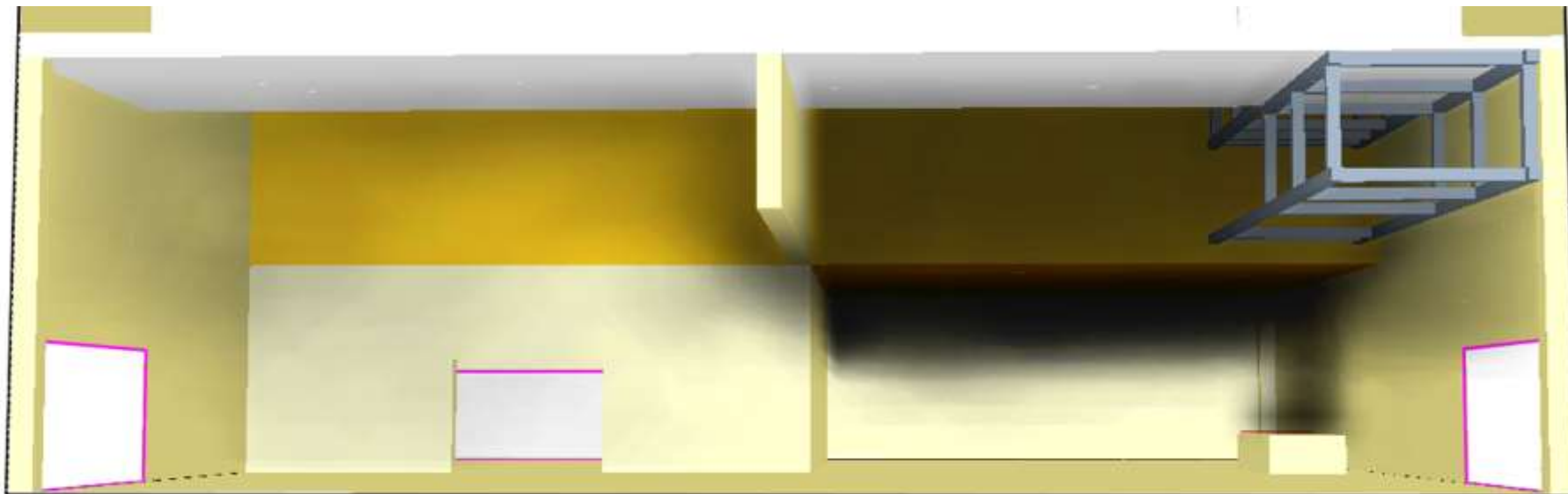
2) Controllo orizzontale;

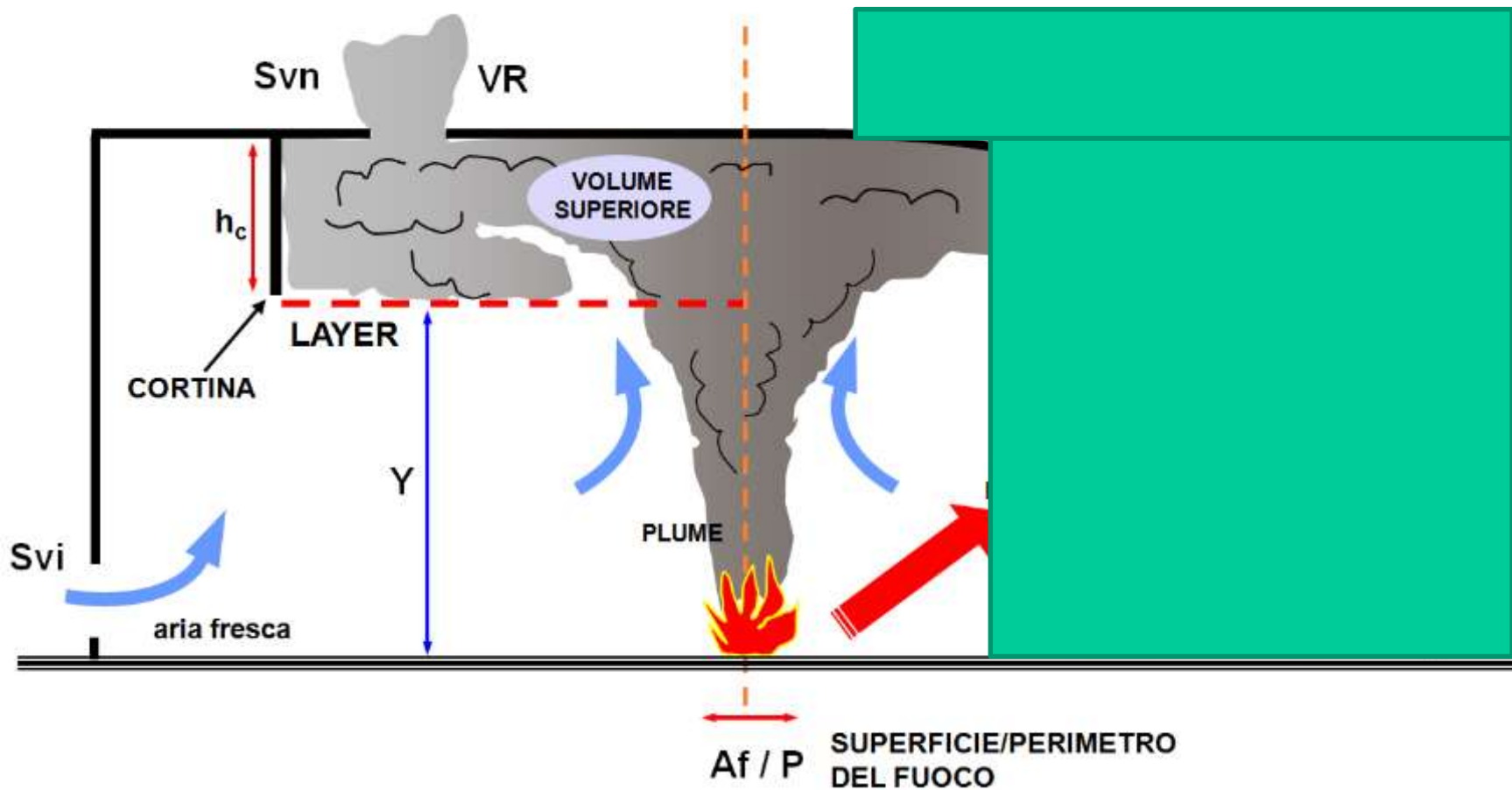
3) Pressurizzazione

di conseguenza molteplici possono essere i problemi affrontabili e altrettante le possibili soluzioni



Nel caso della norma UNI 9494, si considera un controllo del fumo che può essere definito «VERTICALE»:







Andare oltre la norma UNI 9494 significa quindi semplicemente cercare delle soluzioni per quei casi che **NON POSSONO** essere affrontati con la suddetta norma.

Le vie percorribili sono sostanzialmente due:

- 1.L'impiego di altre normative o standard;
- 2.L'approccio ingegneristico.



Il decreto 3 agosto 2015 (... Codice di Prevenzione Incendi)

STRATEGIA ANTINCENDI

Capitolo S.8 Controllo di fumi e calore

Si attua attraverso la realizzazione di:

- a. aperture di smaltimento di fumo e calore d'emergenza per allontanare i prodotti della combustione durante le operazioni di estinzione dell'incendio da parte delle squadre di soccorso;
- b. sistemi per l'evacuazione di fumo e calore (SEFC) per l'evacuazione controllata dei prodotti della combustione durante tutte le fasi dell'incendio



S.8.2 Livelli di prestazione

Livello di prestazione	Descrizione
I	Nessun requisito
II	Deve essere possibile smaltire fumi e calore dell'incendio da piani e locali del compartimento durante le operazioni di estinzione condotte dalle squadre di soccorso
III	<p>Deve essere mantenuto nel compartimento uno strato libero dai fumi che permetta:</p> <ul style="list-style-type: none"> la salvaguardia degli occupanti e delle squadre di soccorso, la protezione dei beni, se richiesta. <p>Fumi e calore generati nel compartimento non devono propagarsi ai compartimenti limitrofi.</p>

Tabella S.8-1: Livelli di prestazione per controllo di fumo e calore



Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	<p>Compartimenti dove siano verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • non adibiti ad attività che comportino presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto; • superficie lorda di ciascun compartimento non superiore a 25 m²; • carico di incendio specifico q_f non superiore a 600 MJ/m²; • non si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose in quantità significative; • non si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
II	Compartimento non ricompreso negli altri criteri di attribuzione.
III	In relazione alle risultanze della valutazione del rischio nell'ambito e in ambiti limitrofi della stessa attività (es. attività con elevato affollamento, attività con geometria complessa o piani interrati, elevato carico di incendio specifico q_f , presenza di sostanze o miscele pericolose in quantità significative, presenza di lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio, ...).

Tabella S.8-2: Criteri di attribuzione dei livelli di prestazione



S.8.1.1 Smaltimento di fumo e calore d'emergenza

1. A differenza dei SEFC, correttamente dimensionati, lo smaltimento di fumo e calore d'emergenza non ha la funzione di creare un adeguato strato libero dai fumi durante lo sviluppo dell'incendio, ma solo quello di **facilitare** l'opera di estinzione dei soccorritori.
2. Lo smaltimento di fumo e calore d'emergenza è operato per mezzo di aperture di smaltimento dei prodotti della combustione verso l'esterno dell'edificio. Tali aperture coincidono generalmente con quelle già ordinariamente disponibili per la funzionalità dell'attività (es. finestre, lucernari, porte, ...).



S.8.5 Smaltimento di fumo e calore d'emergenza

S.8.5.3 Dimensionamento

Tipo	Carico di incendio specifico q_f	Superficie utile minima delle aperture di smaltimento S_{sm}	Requisiti aggiuntivi
SE1	$q_f \leq 600 \text{ MJ/m}^2$	$A / 40$	-
SE2	$600 < q_f \leq 1200 \text{ MJ/m}^2$	$A \cdot q_f / 40000 + A / 100$	-
SE3	$q_f > 1200 \text{ MJ/m}^2$	$A / 25$	10% di S_{sm} di tipo Sea o SEb o SEc
<p>A -superficie lorda del piano del compartimento [m^2]; S_{sm} -superficie utile delle aperture di smaltimento [m^2]</p>			

Tabella S.8-4: Tipi di dimensionamento per le aperture di smaltimento

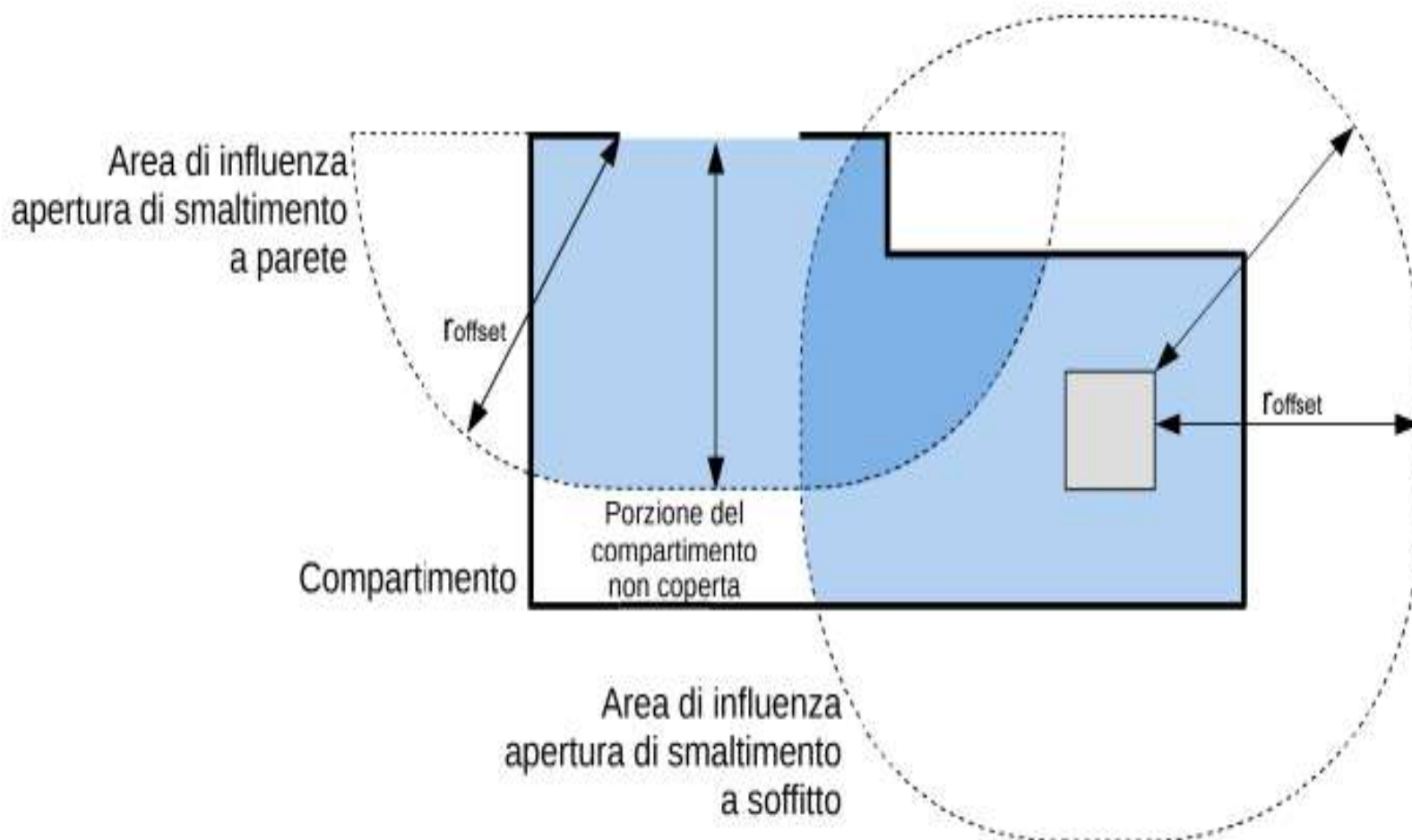


Illustrazione S.8-1: Verifica dell'uniforme distribuzione in pianta delle aperture di smaltimento



INTERNATIONAL CODE COUNCIL

SECTION “SMOKE CONTROL SYSTEMS”

... smoke control systems that are intended to provide a tenable environment **for the evacuation or relocation of occupants**. These provisions are not intended for the preservation of contents, the timely restoration of operations or for assistance in fire suppression or overhaul activities.

SECTION “SMOKE AND HEAT REMOVAL”

Where required by this code or otherwise installed, smoke and heat vents, **or mechanical smoke exhaust systems**, and draft curtains shall conform to the requirements of this section.



Mechanical smoke exhaust.

Exhaust fans shall be uniformly spaced within each draft-curtained area and the maximum distance between fans shall not be greater than 30 m.

Fans shall have a maximum individual capacity of 14.2 m³/s.

The aggregate capacity of smoke exhaust fans shall be determined by the equation:

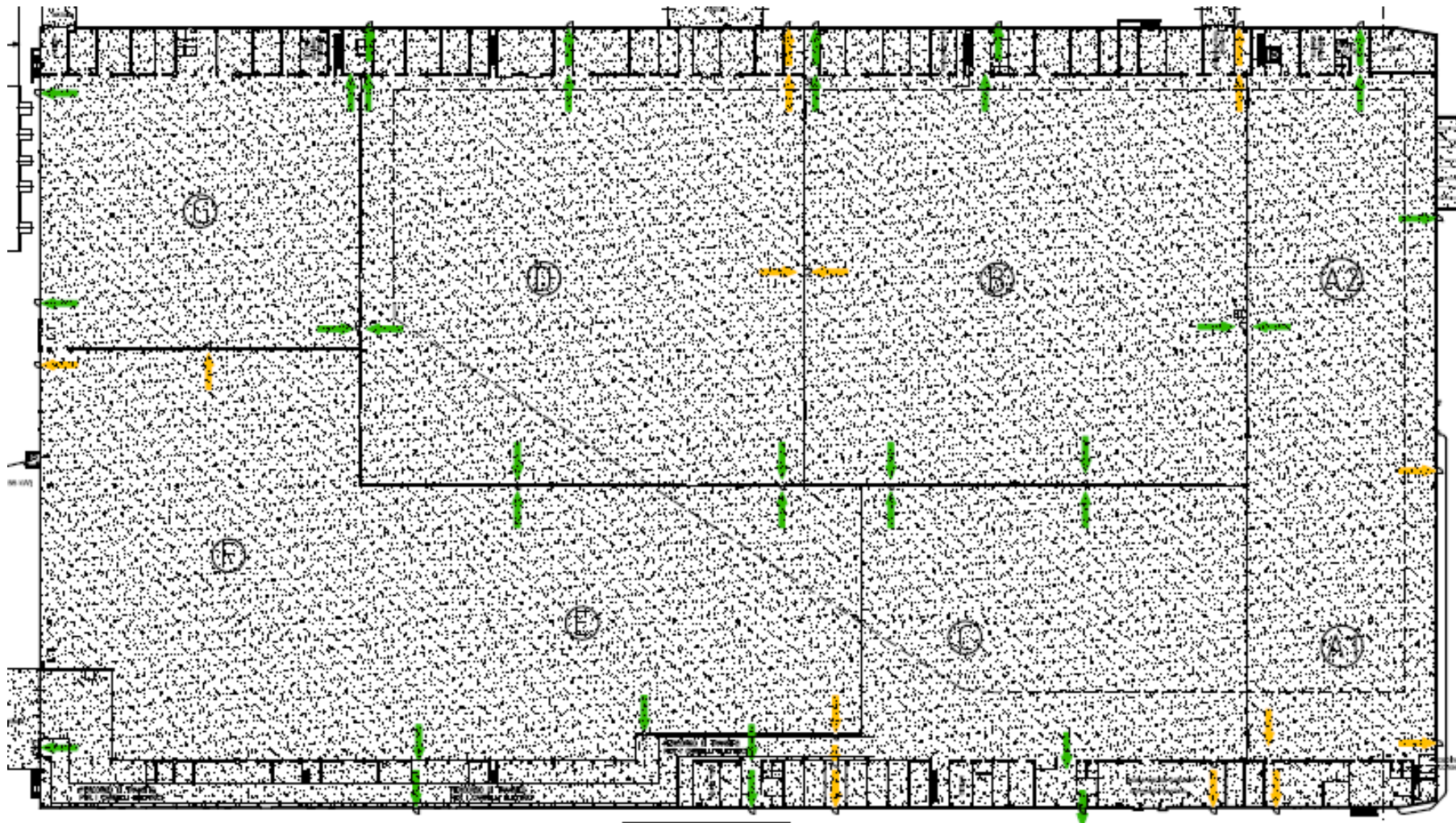
$$C = A \times K$$

where:

C = Capacity of mechanical ventilation required, in m³/s.

A = Area of roof vents provided in m² (from specific table)

K = dimensional coefficient





S.8.4.2 Soluzioni conformi per il livello di prestazione III

1. Deve essere installato sistema di evacuazione di fumi e calore (SEFC), naturale (SEFC) o forzato (SEFFC), progettato, installato e gestito in conformità alla vigente **regolamentazione e alle norme e documenti tecnici adottati dall'ente di normazione nazionale.**

Nota L'elenco, **non esaustivo**, delle norme e documenti tecnici adottati dall'ente di normazione nazionale è reperibile nel paragrafo S.8.8.



S.8.8 Riferimenti

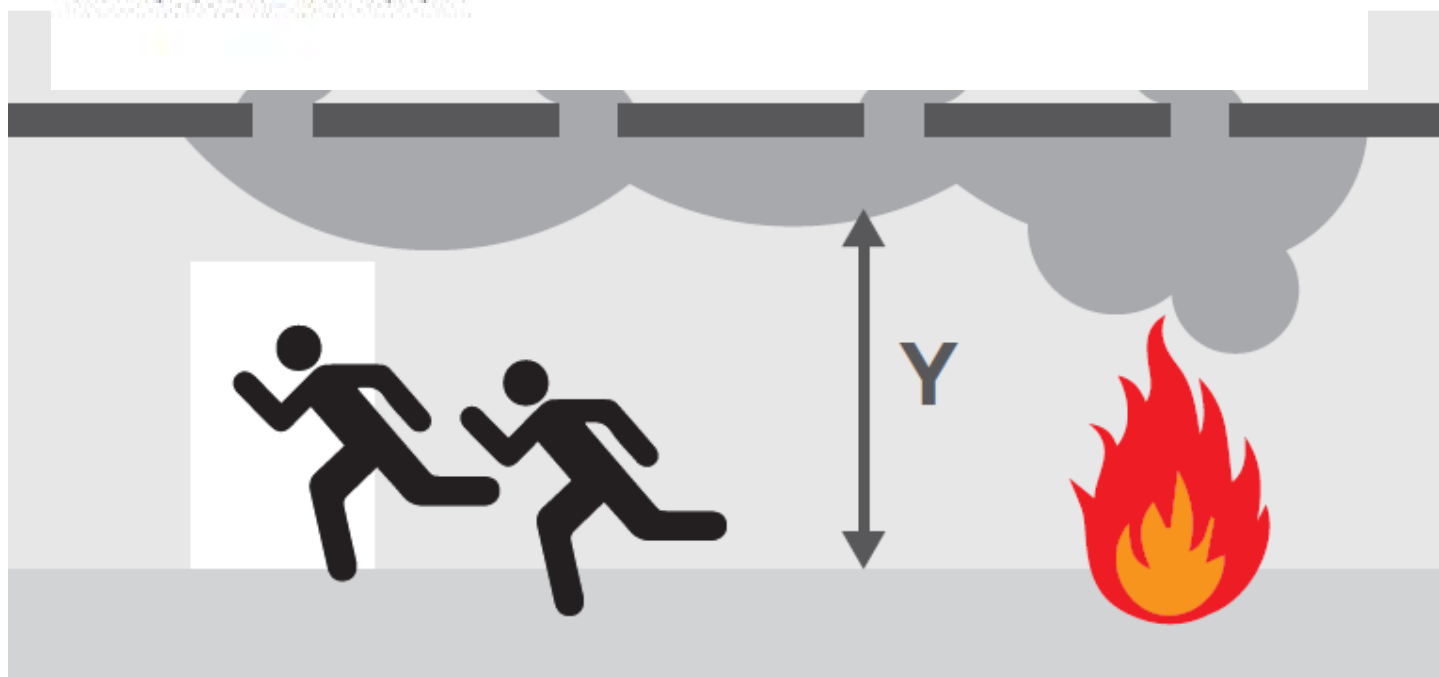
1. Si indicano i seguenti riferimenti bibliografici:

- a. Serie delle norme UNI 9494;
- b. NFPA 92 – Standard for smoke control systems, National Fire Protection Association, Quincy (Massachusetts), USA;
- c. NFPA 92B – Standard for smoke management systems in malls, atria, and large spaces, National Fire Protection Association, Quincy (Massachusetts), USA.
- d. CEN TR 12101-5-Smoke and Heat Control Systems - Part 5 Guidelines on Functional Recommendations and Calculation Methods for Smoke and Heat Exhaust Ventilation Systems



NFPA 92 e 92b

6.1.2.2* Unsteady Fires. Where all of the following conditions occur, the descent of the height of the initial indication of smoke shall be calculated for *t*-squared fires using Equation 6.1.2.2a or 6.1.2.2b:

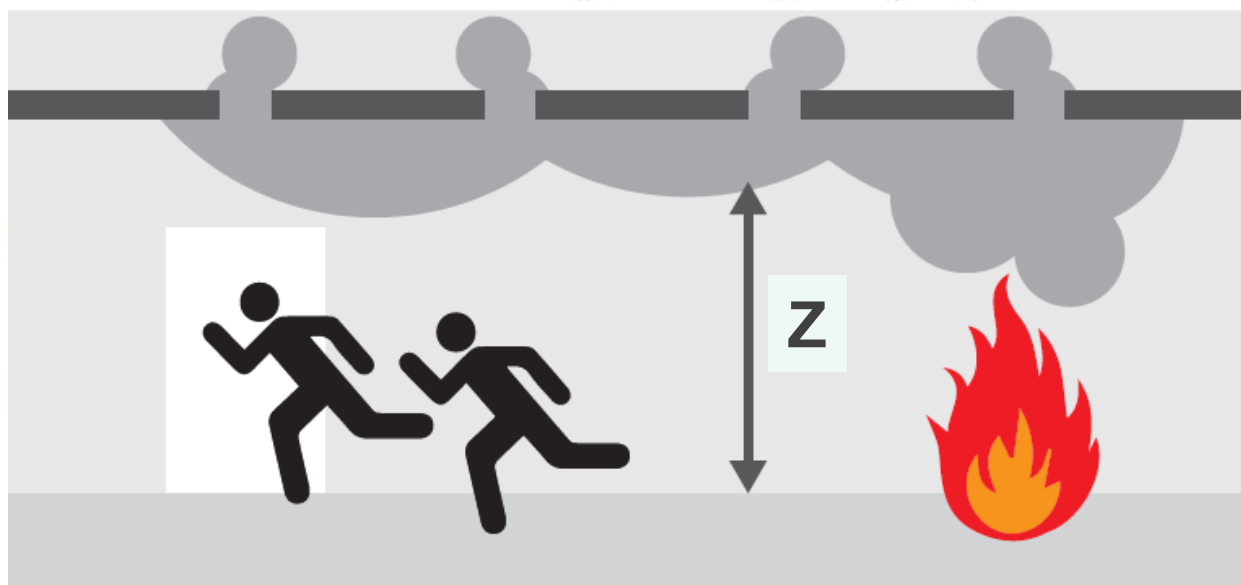






- (1) Uniform cross-sectional areas with respect to height
- (2) A/H^2 ratios in the range from 0.9 to 23
- (3) $z/H > 0.2$
- (4) Unsteady fires
- (5) No smoke exhaust operating

$$\frac{z}{H} = 0.91 \left(\frac{t}{t_g^{2/5} H^{4/5} \left(\frac{A}{H^2} \right)^{3/5}} \right)^{-1.45} \quad (6.1.2.2b)$$





Il dato di partenza per il dimensionamento è la quantità di fumo prodotta dall'incendio:

Per tale scopo, l'equazione più semplice (proposta ad esempio in CEN/TR 12101-5 e in BRE 368), è la seguente

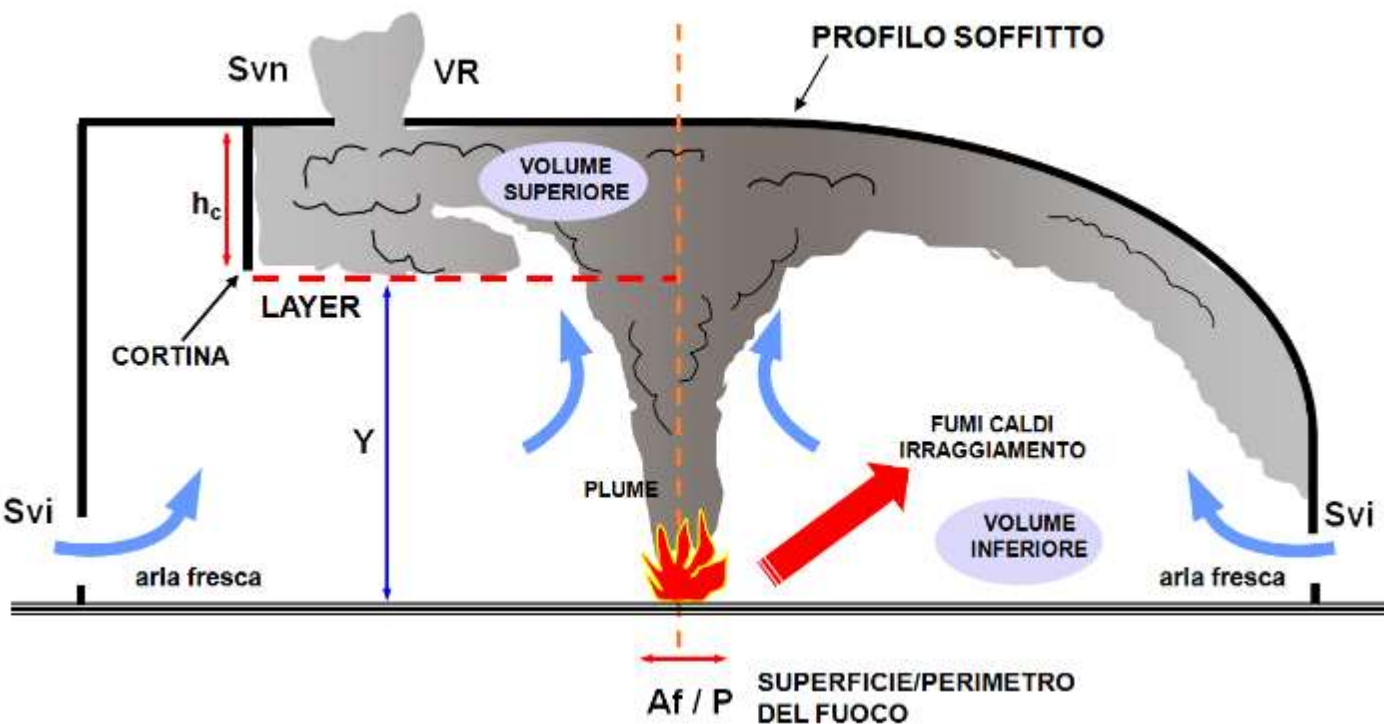
$$M_f = C_e P Y^{3/2} \quad (... \text{ART. 2087 c.c.} ... E=mc^2)$$

$C_e = 0.19$ for **la**
offices, atrium fl

$C_e = 0.21$ for l
is close to the t

$C_e =$ for **small**
(prior to flasho

$C_e = 0.38$ (un
specific case o
much taller tha





L'equazione è applicabile alle colonne di fumo che si sviluppino al di sopra di fuochi grandi “large fire”, per i quali vale la seguente relazione:

$$Y \leq 10\sqrt{A_f}$$

emette in evidenza un concetto fondamentale: **la quantità di fumo prodotto dall'incendio dipende principalmente dall'area dell'incendio e, in particolare, dal perimetro dello stesso.**



Applicando l'equazione ad esempio per:

- Singolo locale, di grandi dimensioni, con soffitto vicino al fuoco;
- altezza del locale: 5 m,
- altezza dello strato libero da fumo richiesta: $Y = 2$ m
- area dell'incendio: 10 m^2 (UNI 9494)
- rilascio termico dell'incendio: 300 kW/m^2 (UNI 9494)
- $C_e = 0.21$

Si ottiene:

$$M_f = C_e P * Y^{3/2}$$

$$M_f = 0,21 * 11,26 * (2)^{3/2} = 6,69 \text{ kg/s}$$



Applicando la seguente relazione per determinare la temperatura dei fumi (NFPA 98b):

$$\Theta = \frac{Q_c}{M * c}$$

Con Q_c pari al 70% della Potenza rilasciata si ha

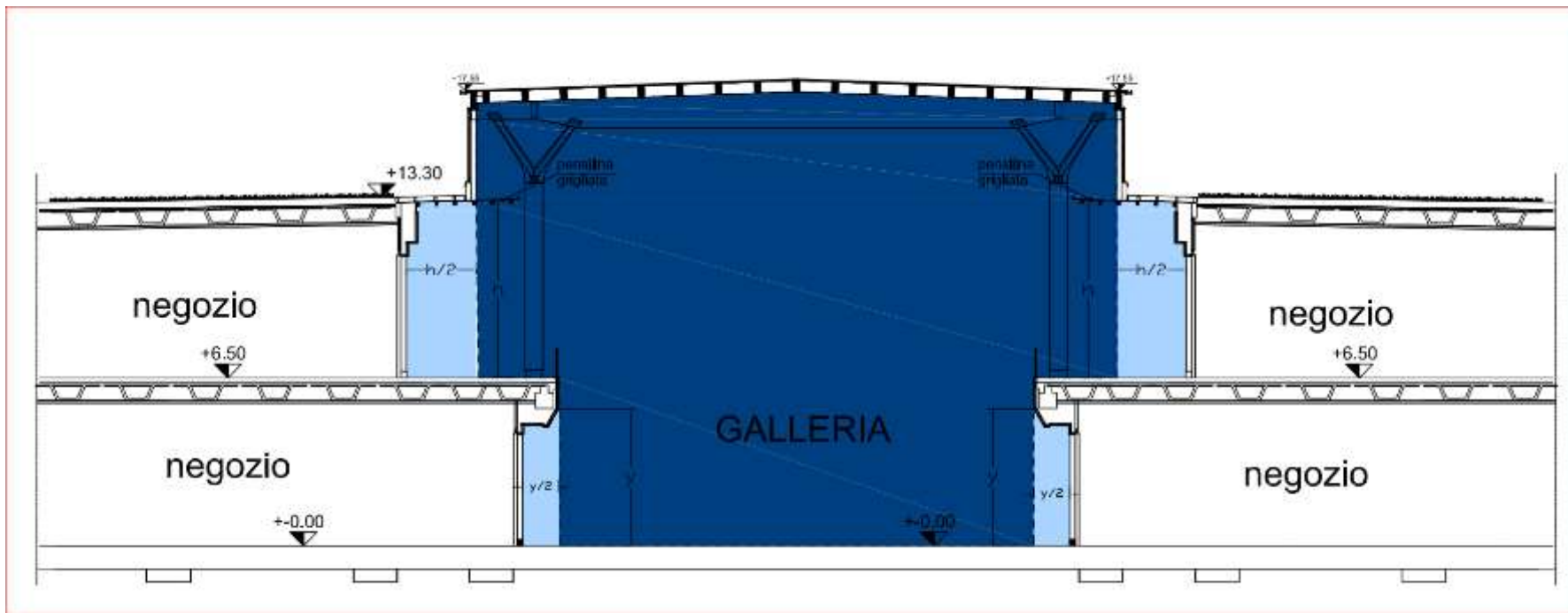
$$\Theta = (300 * 10 * 0,70) / 6,69 * 1 = 314 \text{ } ^\circ\text{C}$$

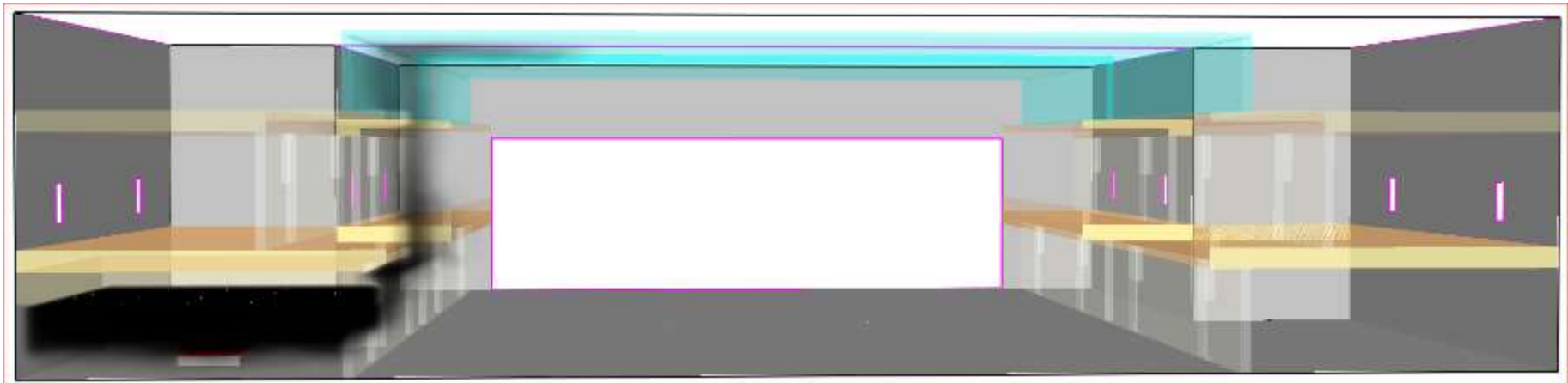
$$Q = 6,69 / (1,2 * 0,5) = 11,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

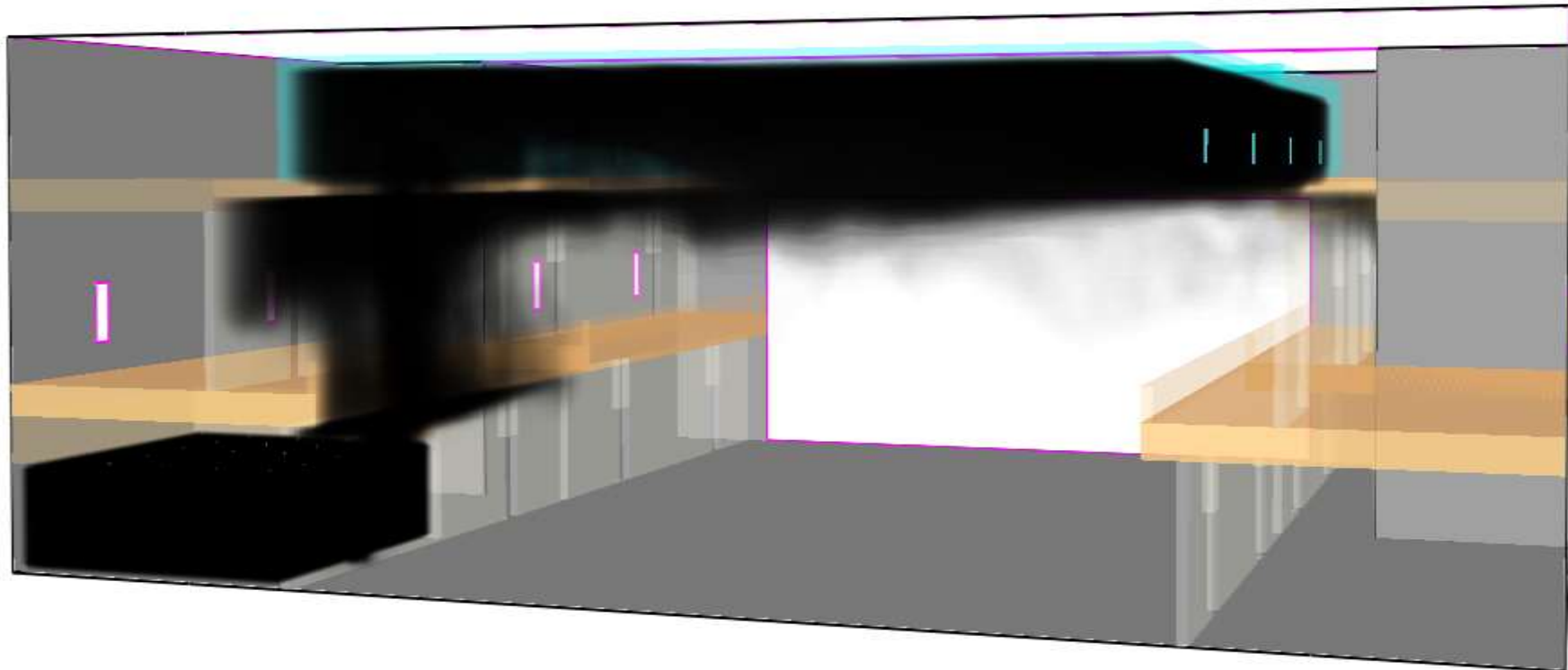
(circa 40.000 m³/h, paragonabile a UNI 9494)



ATRII (MALL)









Per questa situazione lo Standard NFPA 92b propone, ad esempio, la seguente equazione:

$$m = 0.36(QW^2)^{1/3}(z_w + 0.25H)$$

Dove:

m = massa di fumo prodotta [kg/sec]

Q = potenza rilasciata dal fuoco [kW]

W = larghezza del plume sotto il balcone [m]

Z_w = distanza tra la parte inferiore del balcone e lo strato di fumo [m], (< 15 m)

H = altezza del balcone dalla base del fuoco [m]

Con riferimento alle seguenti figure:



ANNEX A

92B-19

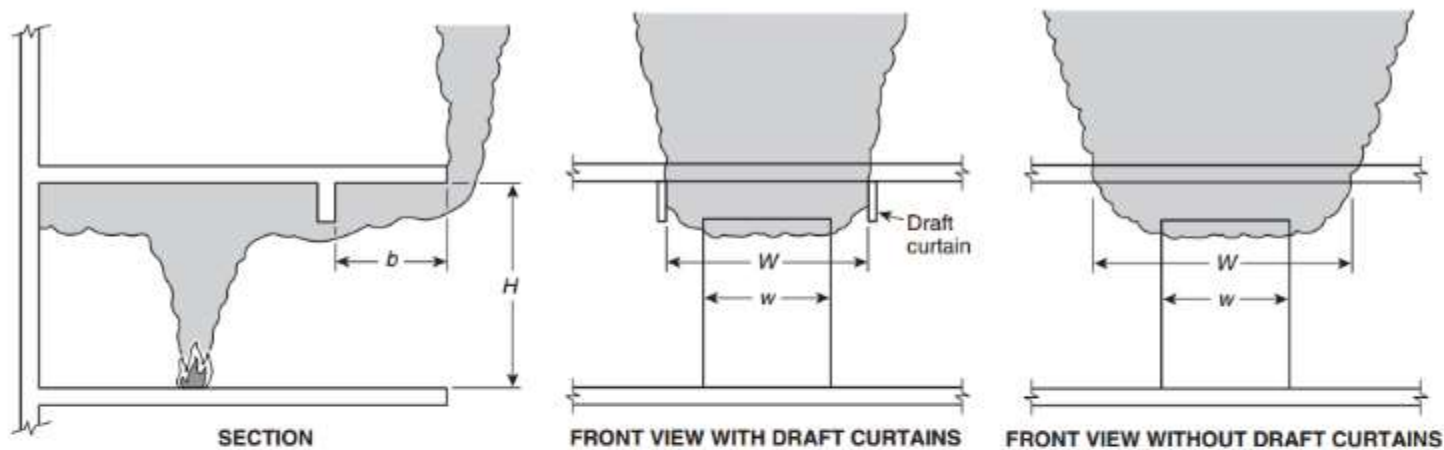
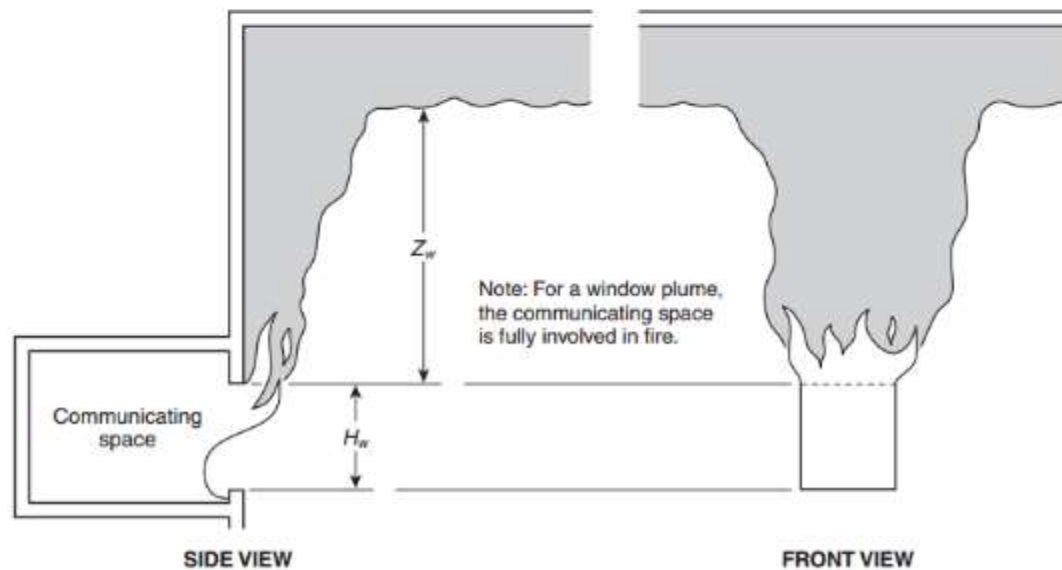


FIGURE A.3.3.12.2 An Approximation of a Balcony Spill Plume.





Lo Standard BRE 368 sviluppa in maniera più articolata lo studio di questo caso, proponendo diverse metodologie di calcolo. Ad esempio quella di “Poreh et al” definita sulla base di una serie di dati sperimentali.

Il procedimento di calcolo si basa su una serie di equazioni che servono per determinare:

1. la quantità di fumo prodotta dall'incendio all'interno del locale che si affaccia sull'atrio;
2. lo spessore dello strato di fumo all'interno del locale;
3. la quantità di fumo prodotta dal “nuovo” plume che si crea a partire dal bordo dell'apertura o del balcone che si affacciano verso l'atrio (“spill edge”).



$$m = \frac{C_e * PWh^{3/2}}{\left[W^{2/3} + \frac{1}{C_d} \left(\frac{C_e P}{2} \right)^{2/3} \right]^{3/2}} \quad D_b = \frac{0.36}{C_d} \left[\frac{M_B T_l}{\Theta_l^{0.5} W_B T_0^{0.5}} \right]^{2/3} \quad C = 0.3 C_m \rho_0 W^{2/3}$$

$$M_l = Q_C^{1/3} C \left[h_b + D_b + \frac{M_W}{C Q_C^{1/3}} \right]$$

M_l = quantità dei fumi che entra nel serbatoio a soffitto della mall
all'altezza h_b [kg/s]

Q_c = quantità di calore convettivo [kW]

C = costante [$\text{kgms}^{-1}\text{kW}^{-1/3}$]

h_b = altezza di risalita del plume, dal balcone allo strato fumo nell'atrio
[m]

D_b = profondità dello strato di fumo sotto il balcone (m)

M_w = massa dei fumi sotto il balcone [kg/s]

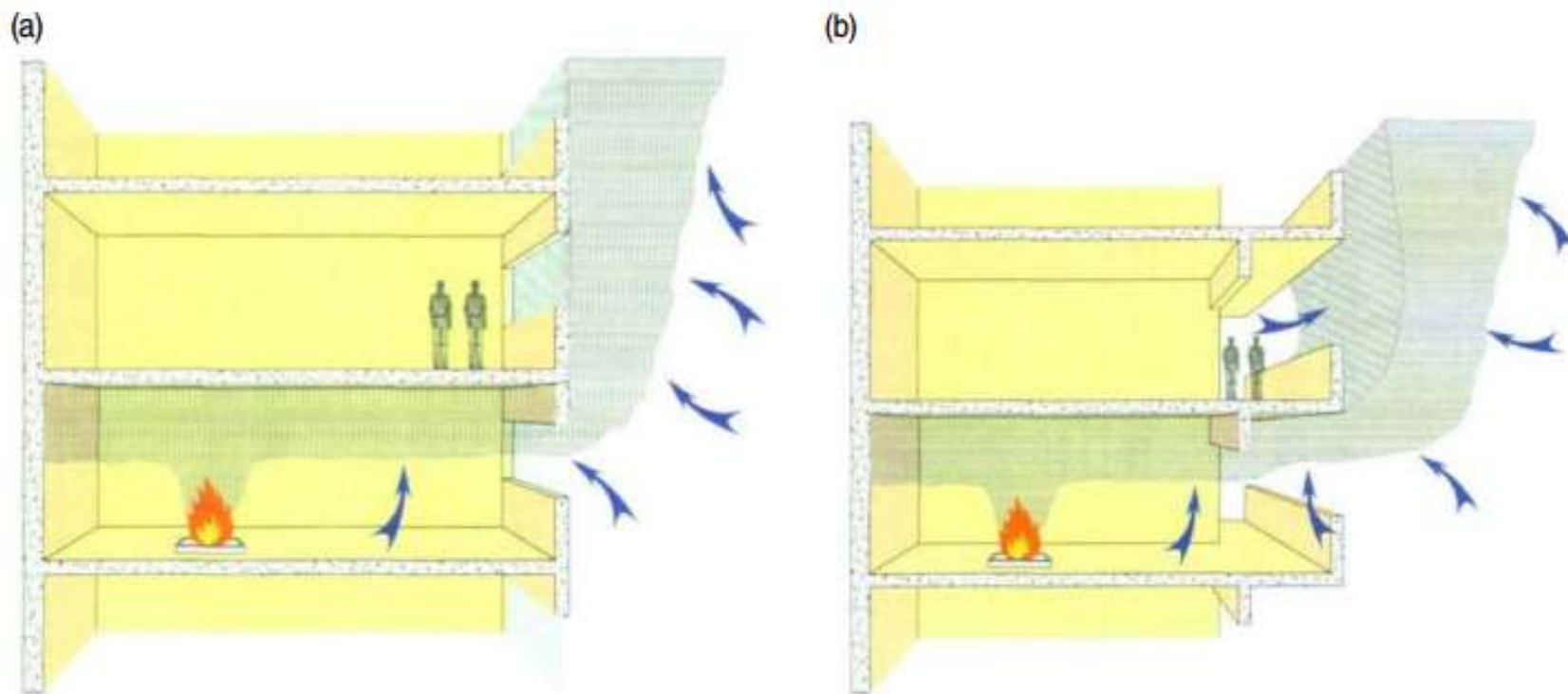
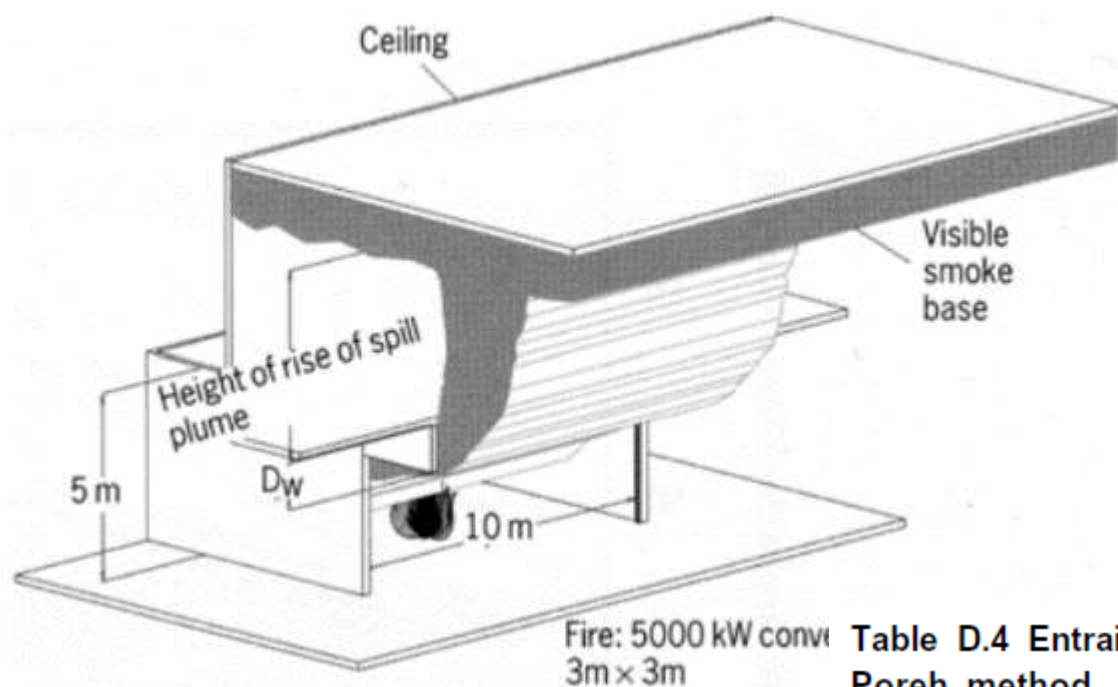


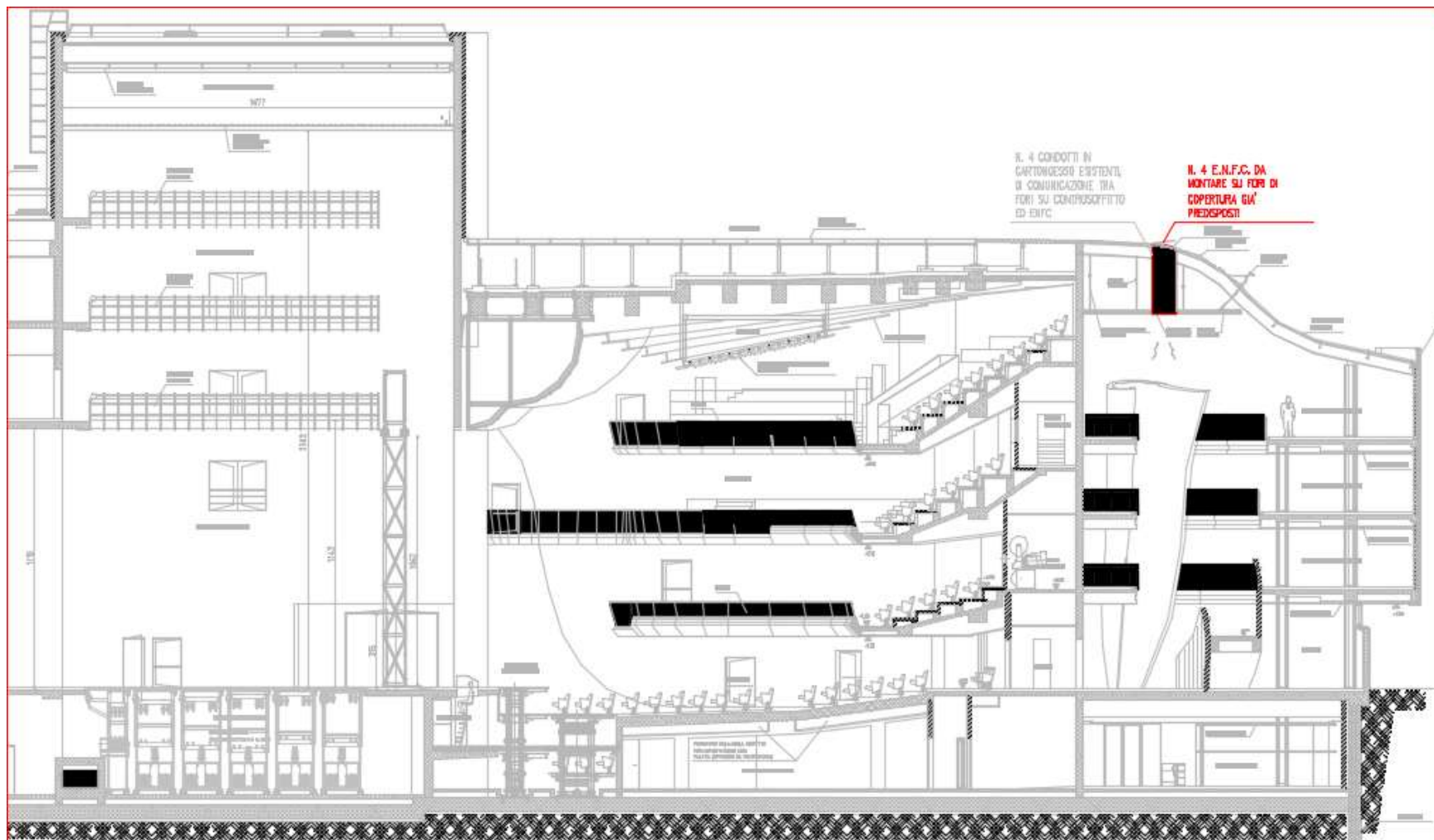
Figure 24 (a) adhered plume, (b) free plume

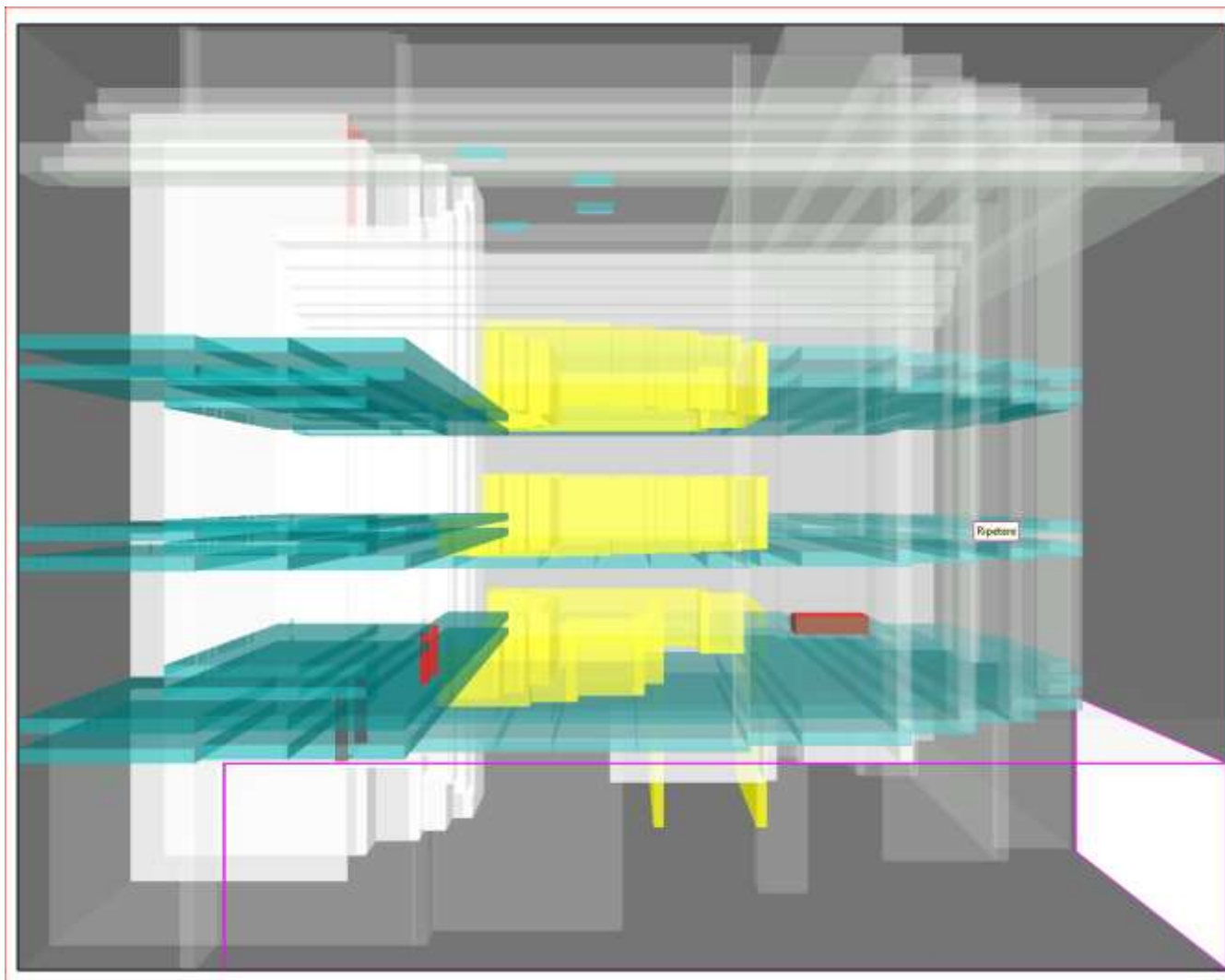


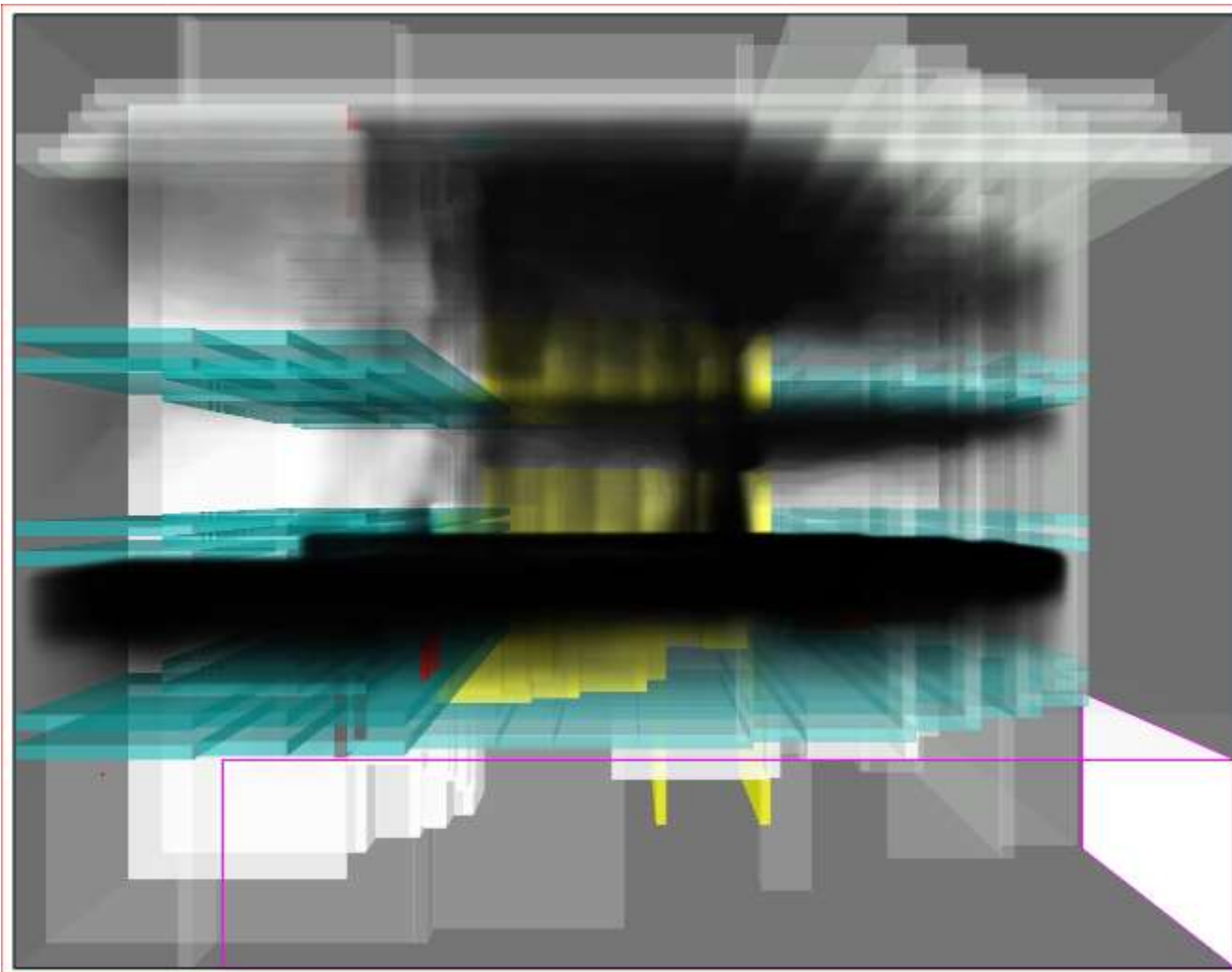
Fire: 5000 kW conv
3m x 3m

Table D.4 Entrainment into the example spill plume:

Poreh method Height of visible smoke base above spill edge (m)	Mass flow rate of smoky gases entering smoke layer (kg/s)
2	69
4	94
6	119
8	144
10	170







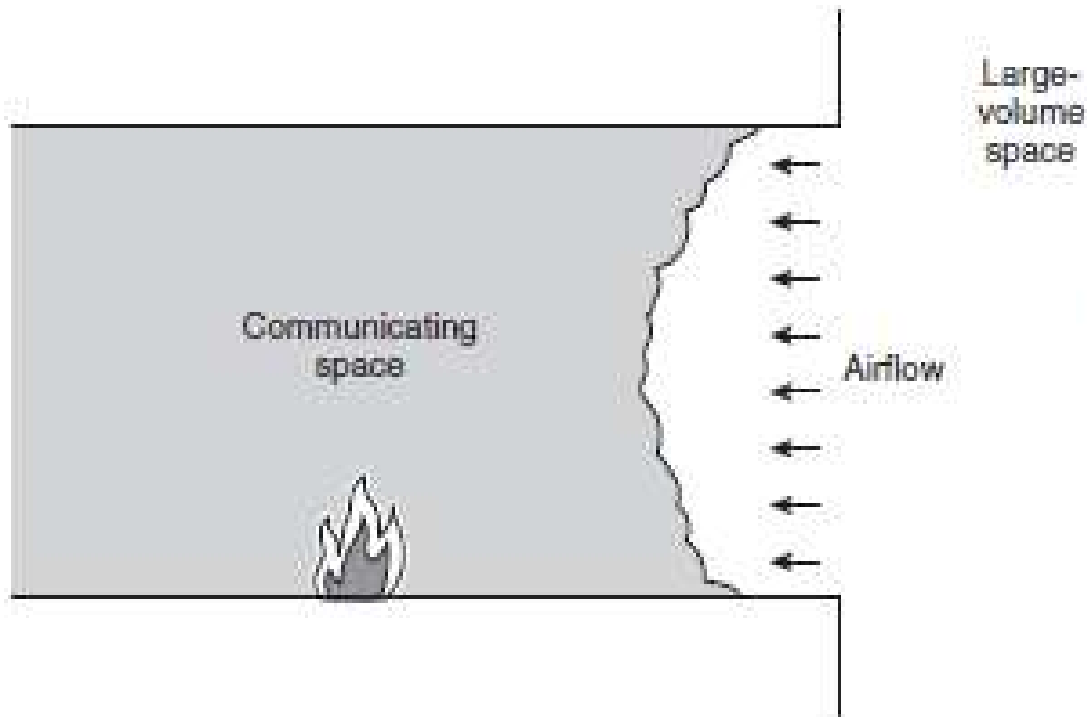


Cambiamo tipologia ...

“IL CONTROLLO ORIZZONTALE DEI FUMI”



NFPA 92 e 92b



$$v_e = 0.64 \left(gH \frac{T_f - T_o}{T_f} \right)^{1/2}$$

Con $\Delta T = 150^\circ\text{C}$

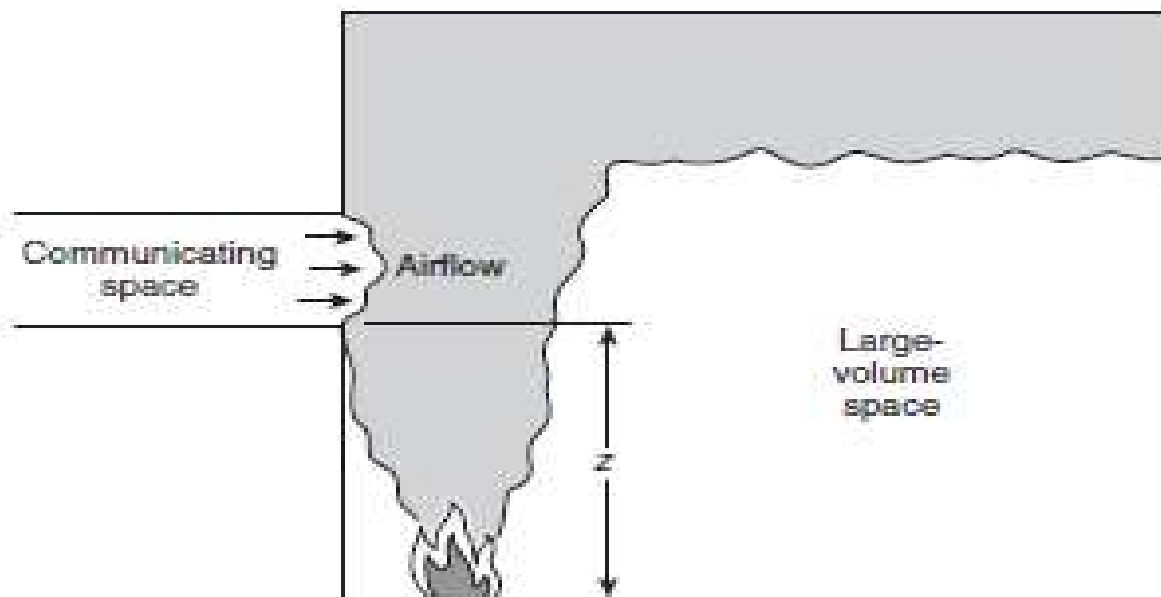
$H = 3 \text{ m}$

$V_e = 2,1 \text{ m/s}$

Se $L = 3 \text{ m}$

$Q = 67000 \text{ m}^3/\text{h}$

FIGURE 5.5.1 Use of Airflow to Prevent Smoke Propagation from a Communicating Space to a Large-Volume Space.



Note: The term z is the distance from the base of the fire to the bottom of the opening.

FIGURE 5.5.2 Use of Airflow to Prevent Smoke Propagation from the Plume Within the Large-Volume Space to a Communicating Space Located Below the Smoke Layer Interface.

$$v_e = 0.057 \left(\frac{Q}{z} \right)^{1/3} \quad (5.5.2b)$$

where:

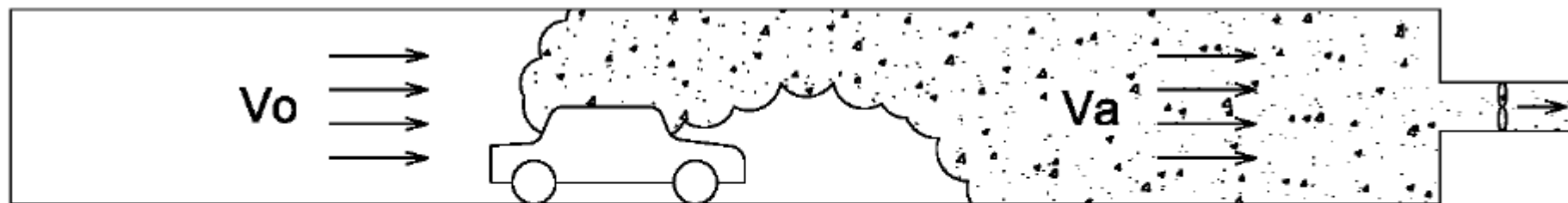
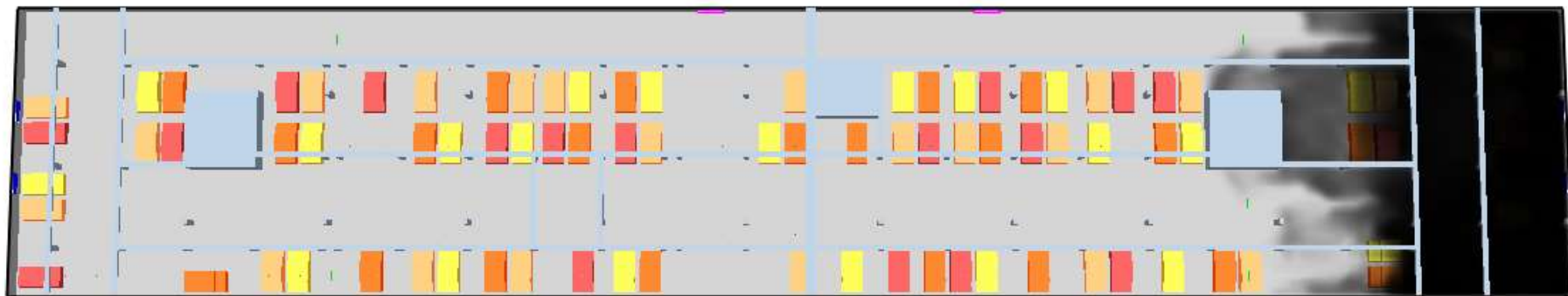
v_e = limiting average air velocity (m/sec)

Q = heat release rate of the fire (kW)

z = distance above the base of the fire to the bottom of the opening (m)



LE AUTORIMESSE



$$V_o / V_a = T_o / T_a = (t_o + 273) / (t_a + 273)$$



CEN TC191 SC1 WG9 N212

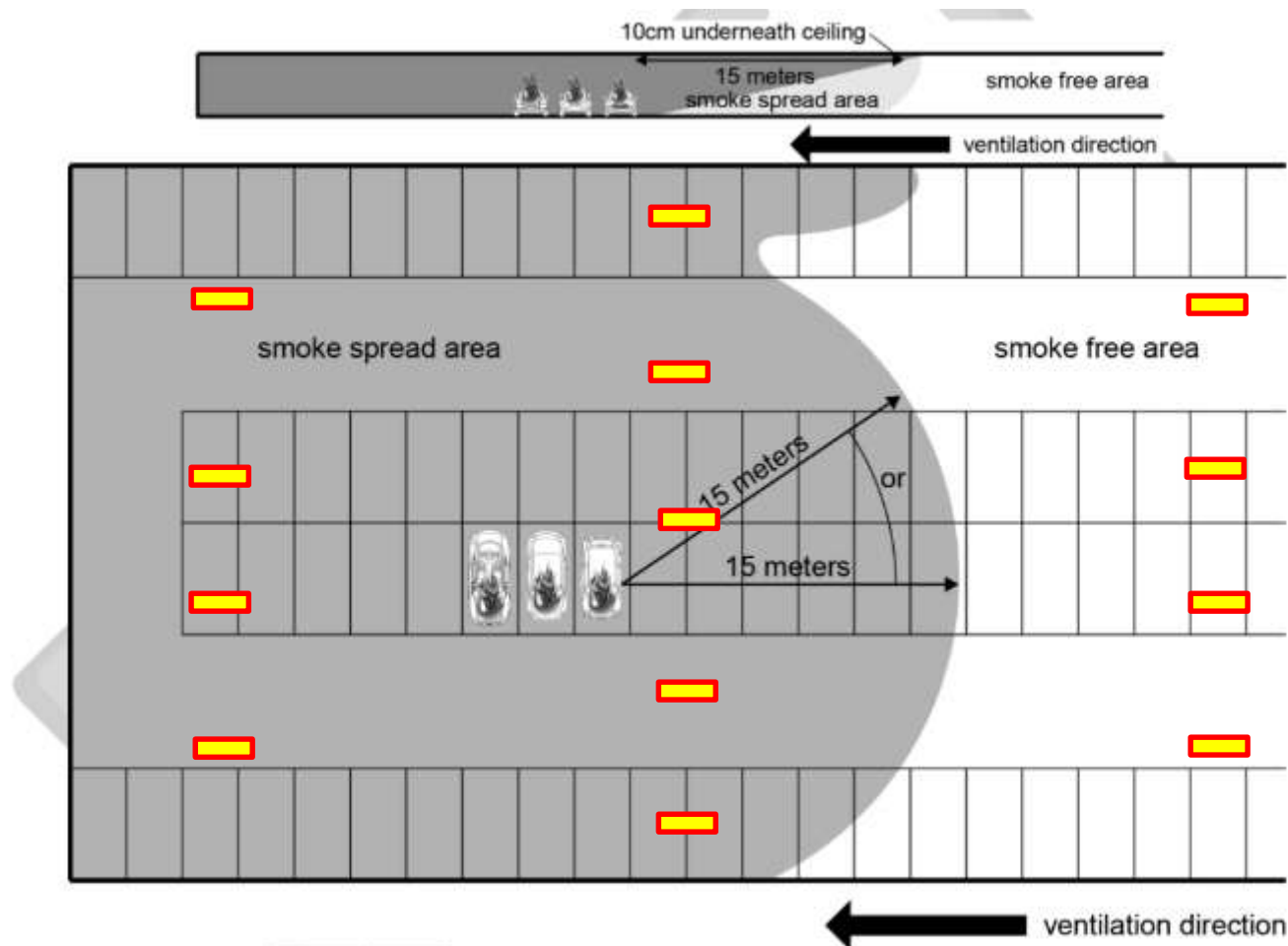


Figure 1 : Access sufficiently clear of smoke



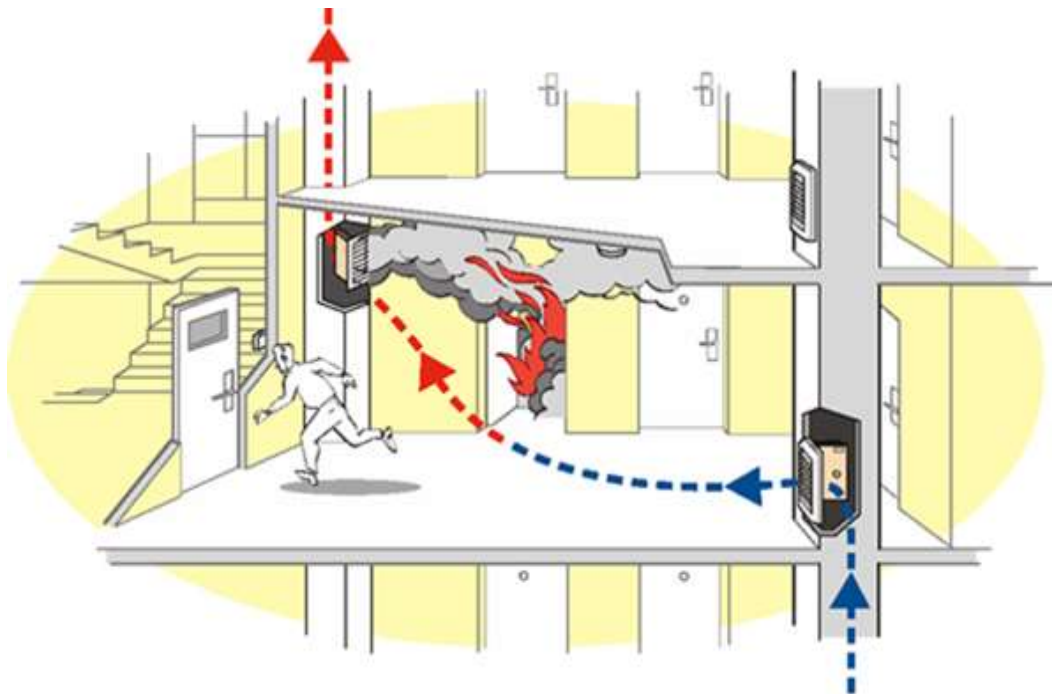
(3) The design flow rate Q_d of the installation for each control zone is the largest value between the following air flow rates :

- The minimal flow rate Q_{min} defined as follows :
 - Indoor car park without sprinklers, or with sprinklers but without floor slope:
 $Q_{min} = 120.000 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Indoor car park with sprinklers and floor slope: $Q_{min} = 100.000 \text{ m}^3/\text{h}$
- The reference flow rate Q_{ref} calculated as follows :
 - The reference width W_{ref} of the control zone is given by $W_{ref} = S/d$, where S is the area of the control zone determined without consideration of the lock-up garages, and d is the horizontal distance defined in (2).
 - The reference height h_{ref} is the free height for the passage of the air flow in the control zone. It is defined as $h_{ref} = h_{ceil}$, the height of the ceiling above floor.
 - The reference velocity v_{ref} is the requested velocity given in Table C.1, with reference to the width $W = W_{ref}$.
 - $Q_{ref} = v_{ref} \cdot W_{ref} \cdot h_{ref}$

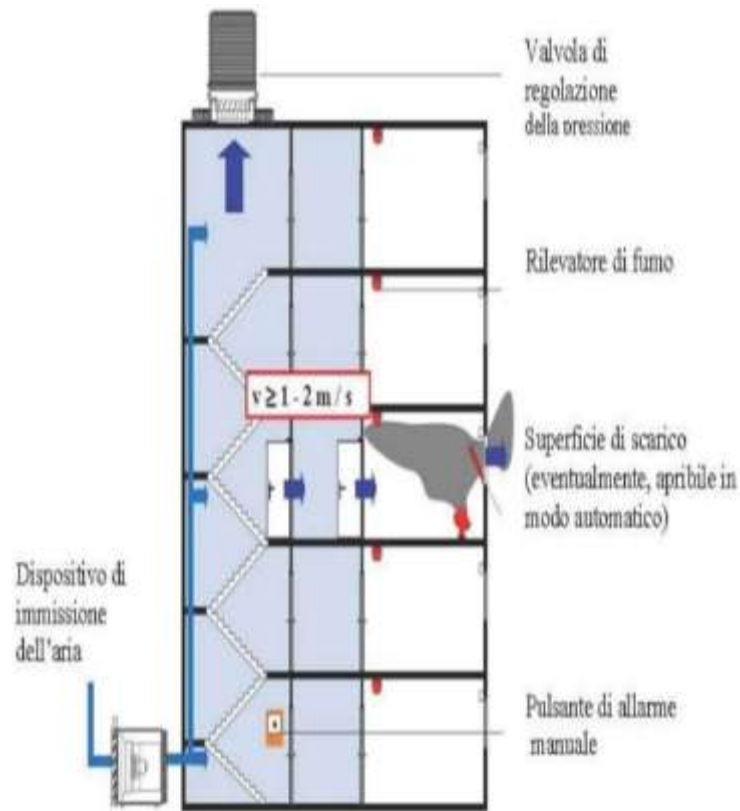


E infine un accenno ai

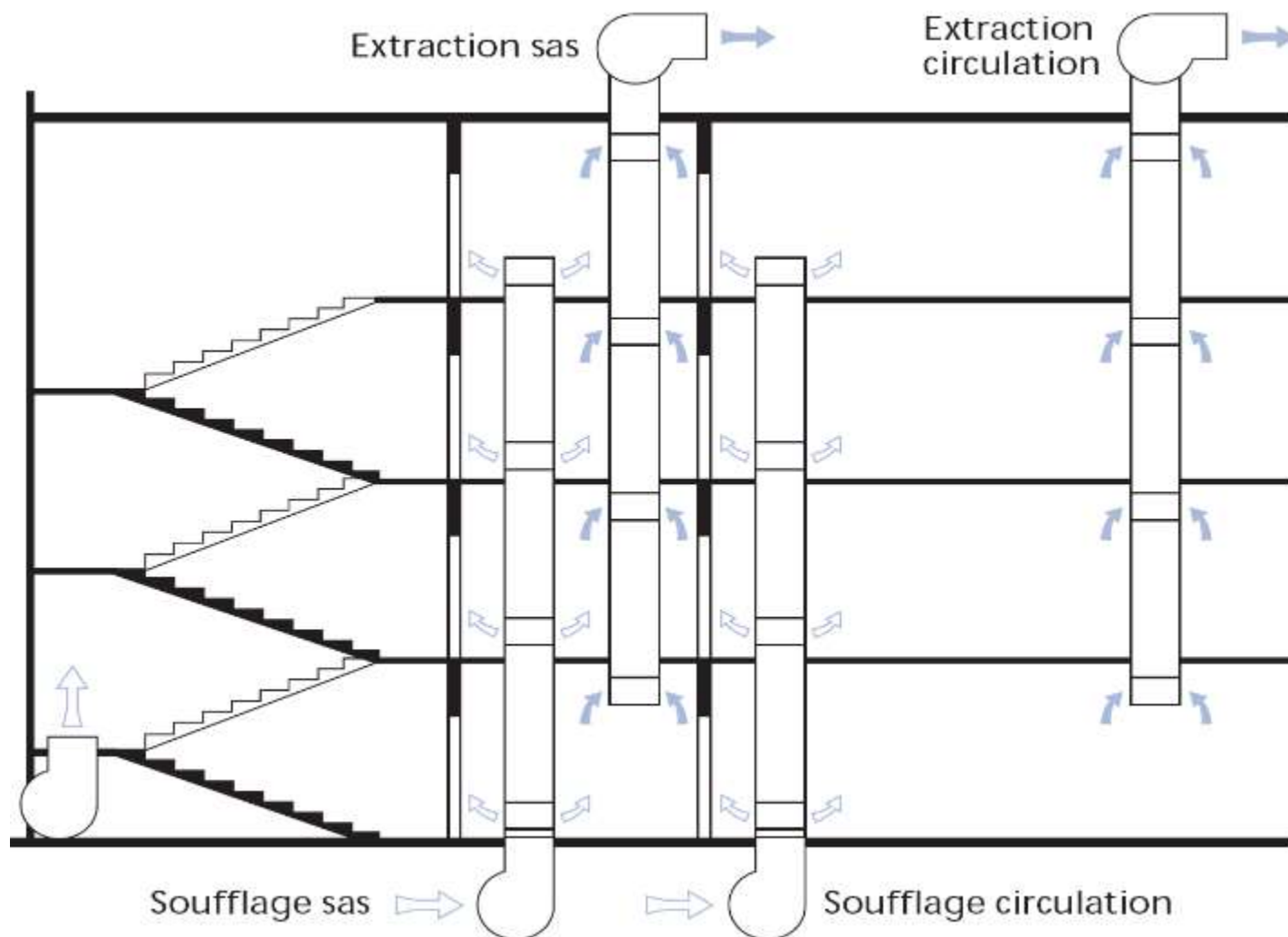
“SISTEMI DI PRESSURIZZAZIONE”



IT 246 desenfumage

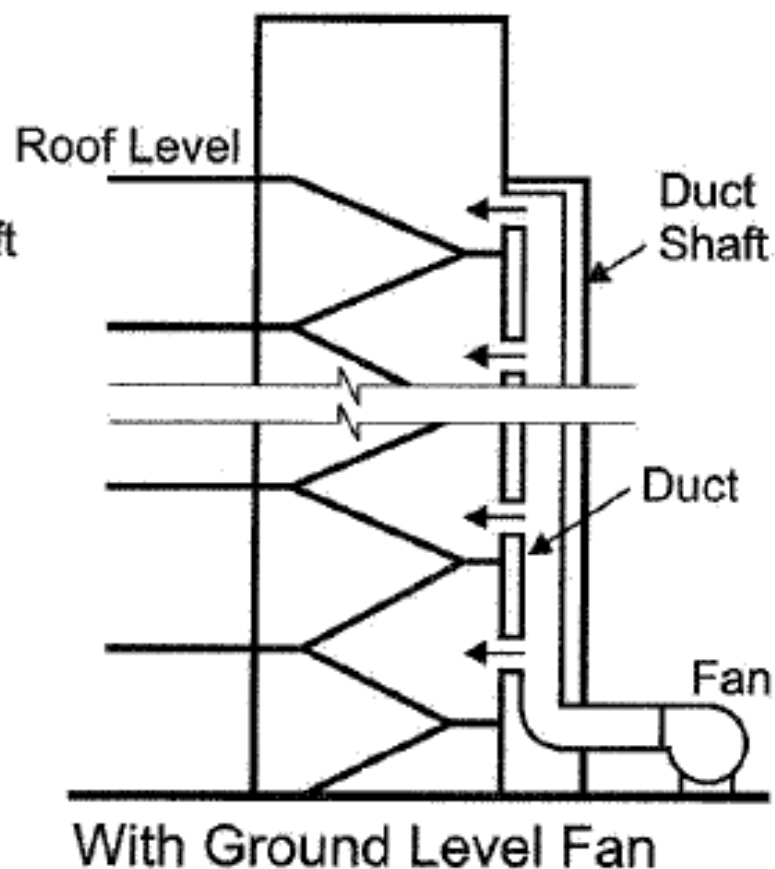
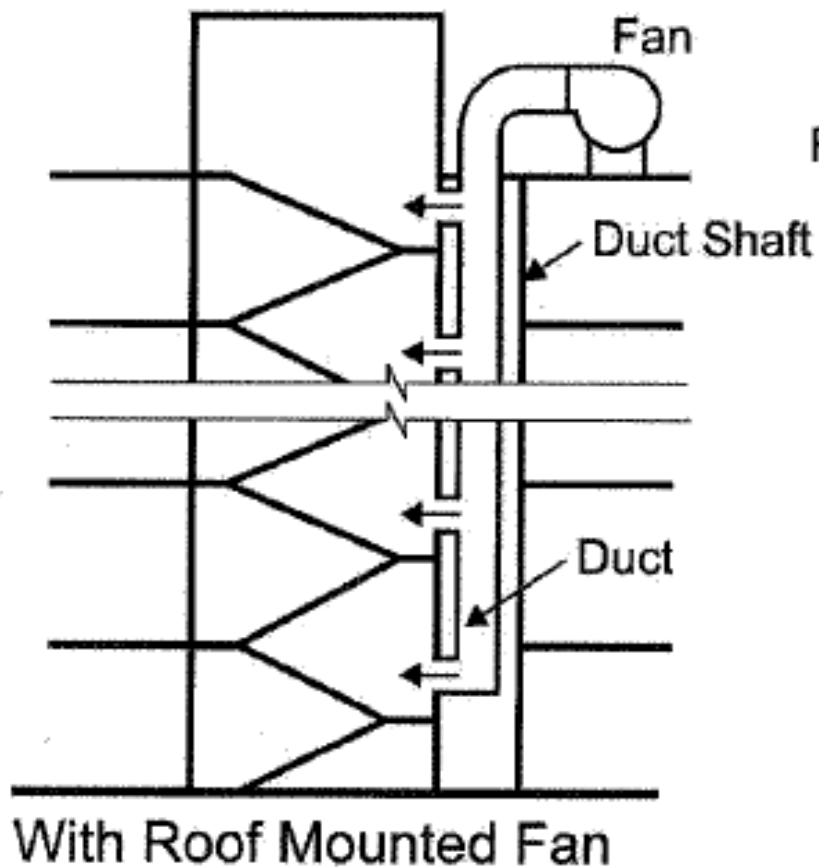


UNI EN 12101- 6



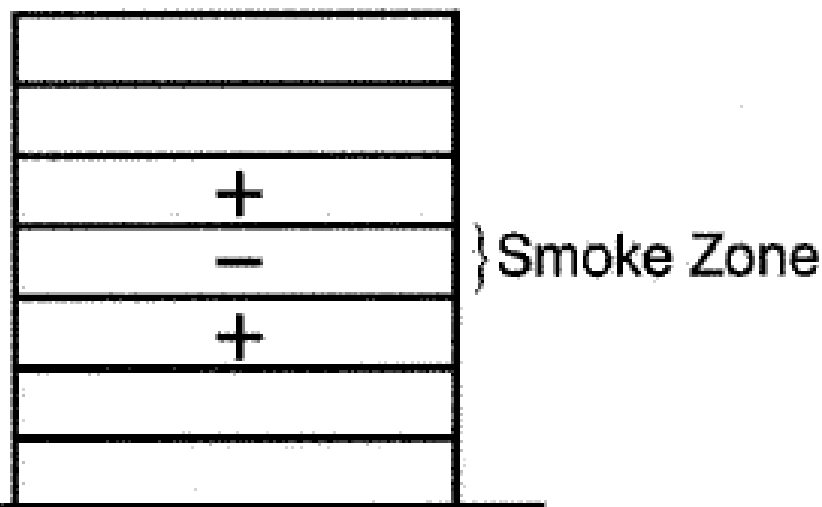


Multiple Injection Systems

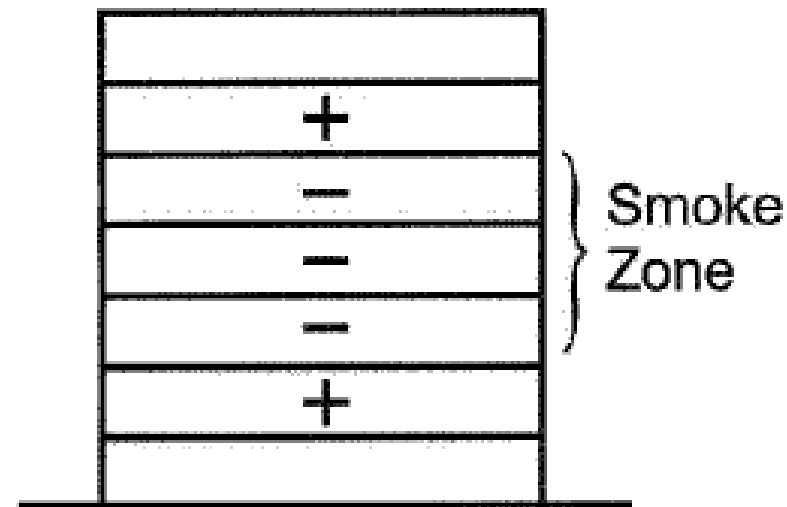




Zoned Smoke Control



Smoke Zone is One Floor



Smoke Zone is 3 Floors

Notes:

1. “+” is for surrounding zone, and “-” is for smoke zone.
2. Typically the smoke zone is exhausted. The surrounding zones may be exhausted, pressurized, or neither.



“Sistemi di controllo del fumo e calore oltre le norme 9494”

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

A DISPOSIZIONE PER DOMANDE ...

Ing. Roberto Barro



**BUILDING SOLUTIONS
ENGINEERING & LAW**