

# Aperture di ventilazione & incendio

C'è molta confusione nei vigili del fuoco quando in un incendio si devono creare e/o utilizzare delle aperture di ventilazione. Abitualmente in Belgio, la ventilazione a pressione positiva (PPV) non viene utilizzata fino a quando l'incendio non è stato messo sotto controllo. Così facendo la ventilazione non influisce sul comportamento dell'incendio. In altri paesi si è soliti utilizzare la ventilazione durante l'incendio o anche prima dell'attacco interno. Questo modo di operare, in particolare prima dell'attacco, può influenzare il comportamento dell'incendio. È il caso anche quando viene utilizzata la ventilazione naturale. È importante che i vigili del fuoco comprendano che l'apertura della porta d'entrata equivale ad una ventilazione naturale. Questo di fatto comporta che anche l'approccio belga (senza PPV) può influenzare l'evoluzione dell'incendio.

## 1 Influenza sul comportamento dell'incendio

Per comprendere l'influenza che la realizzazione di aperture ha sull'evoluzione dell'incendio, si deve prima capire il comportamento dell'incendio stesso. Qui distinguiamo due diversi tipi di comportamento dell'incendio. Da un lato abbiamo l'incendio "ventilato" e dall'altra vi è il "sotto ventilato". Al fine di definire questi due termini, dobbiamo prima spiegare i due diversi regimi di combustione: controllata dal combustibile o dal comburente.

### 1.1 Regimi di combustione

All'inizio di un incendio vi è solo una piccola quantità di materiale coinvolta dalla combustione. L'aria disponibile è più che sufficiente per alimentare il piccolo incendio. Le caratteristiche del materiale combustibile e la sua distribuzione nel locale determineranno l'evoluzione. I parametri principali sono: la propagazione della fiamma, la velocità di propagazione delle fiamme sulla superficie, e L'HRR (rateo di rilascio dell'energia). Nella fase incipiente di un incendio, il combustibile controlla il progresso del fuoco. Ecco perché viene definito incendio "controllato dal combustibile".

Dopo un po' il fuoco diviene più grande. La temperatura aumenta mentre la concentrazione di ossigeno diminuisce. Si forma uno strato di fumo. Passato un po' di tempo, lo strato di fumo si accende (rollover). A causa di ciò il calore radiante verso il combustibile al di sotto dello strato fumo aumenta notevolmente. Ed ecco il Flashover. Perché questo scenario accada deve essere disponibile una quantità sufficiente di aria. Ciò significa che vi deve essere una porta o una finestra aperta. Un'altra possibilità è che una finestra (ad esempio quelle con un vetro solo) si rompa durante lo sviluppo dell'incendio.

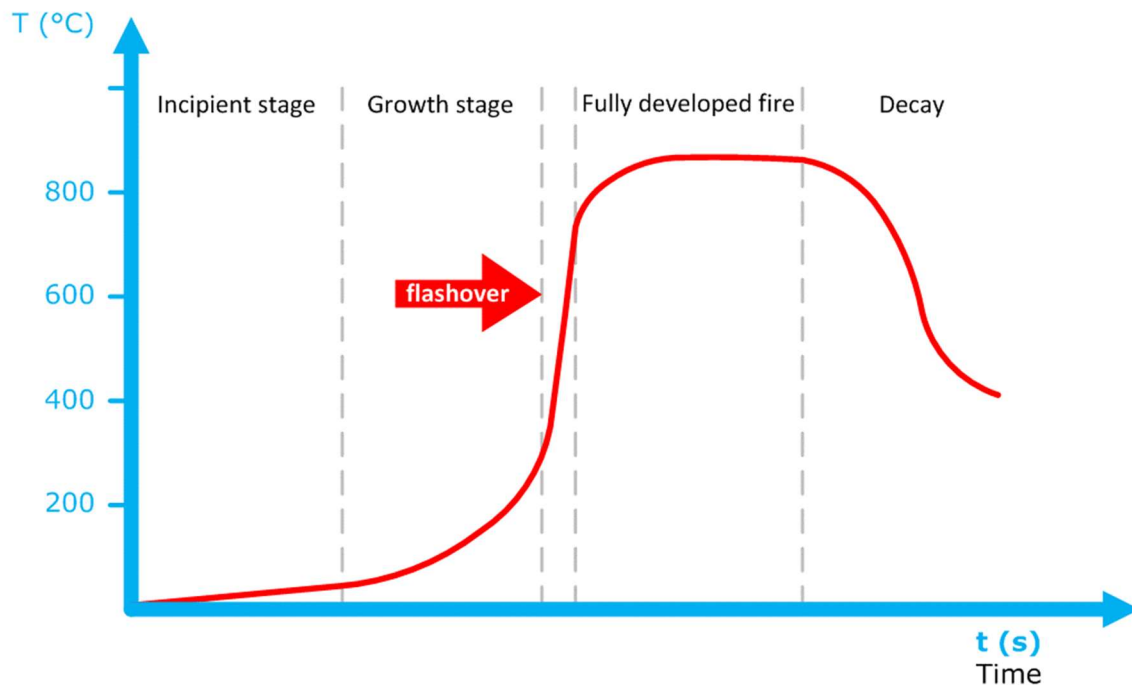
Dopo il flashover l'intero locale è in fiamme. L'incendio richiama ossigeno attraverso le aperture a disposizione. Generalmente si hanno fiamme che escono dall'edificio. Questo perché l'aria che ottiene dalle aperture è insufficiente. Dal momento che non c'è abbastanza ossigeno disponibile all'interno, mentre al di fuori ve ne è in abbondanza, una parte dei fumi brucia all'esterno. L'intensità dell'incendio non è determinata dal combustibile disponibile. È la ventilazione (l'ossigeno) che la determina. Per ogni chilogrammo di ossigeno che entrano nel compartimento possono essere rilasciati circa 13,1 mega joule (MJ) di energia. In pratica possono essere liberati 3 MJ di energia per metro cubo di aria. Quando un flusso d'aria di 1 m/s fluisce attraverso l'apertura di una porta (2 m<sup>2</sup>), può

alimentare un incendio della potenza di 6 MW. Dal momento che è la ventilazione ora il parametro che determina il proseguo dell'evoluzione, l'incendio è a "ventilazione controllata".

## 1.2 Due tipologie di sviluppo dell'incendio

### 1.2.1 L'incendio ventilato

L'incendio ventilato è costituito da 5 fasi. Il fuoco inizia dalla fase incipiente e si evolve nella fase di crescita. In entrambe le fasi il fuoco è controllato dal combustibile. Successivamente a queste due fasi si ha il flashover. In questa fase si ha la transizione da un regime controllato dal combustibile ad un regime controllato dalla ventilazione. La quarta fase è un incendio completamente sviluppato. Durante questa fase l'incendio è a ventilazione controllata. Quando il combustibile nel locale si esaurisce, anche la potenza del fuoco diminuisce. La richiesta di ossigeno scende di conseguenza. Ad un certo punto l'incendio torna ad essere controllato dal combustibile.



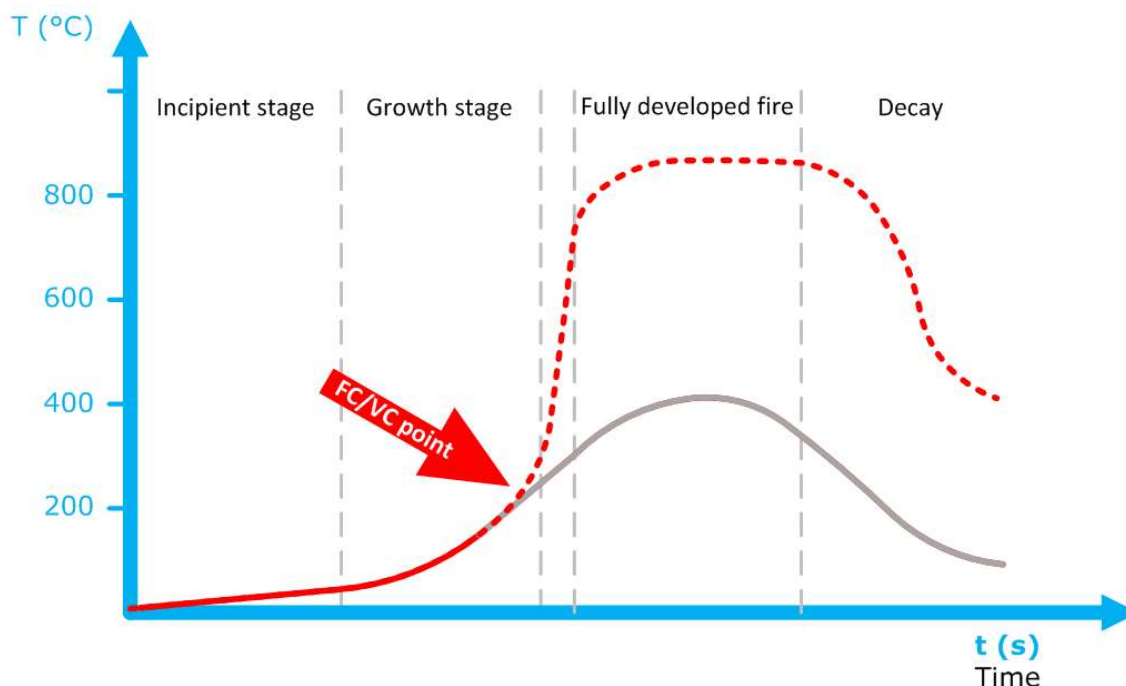
**Figura 1** Lo sviluppo dell'incendio ventilato (Graph: Karel Lambert)

L'incendio ventilato al principio è controllato dal combustibile, poi si ha la transizione ad incendio controllato dalla ventilazione e infine termina con un regime di controllo da parte del combustibile.

### 1.2.2 L'incendio sottoventilato

L'incendio sotto ventilato inizia allo stesso modo di quello ventilato. Nella fase incipiente il fuoco è controllato combustibile. Questo avviene anche durante la fase di crescita. La differenza si ha nella disponibilità di aperture di ventilazione. Quando ci sono poche o nessuna apertura di ventilazione, la concentrazione di ossigeno scende rapidamente. Il fuoco diviene a ventilazione controllata prima che si abbia l'irraggiamento che caratterizza la fase iniziale del flashover. L'incendio rimane a ventilazione controllata fino a quando non si esaurisce o finché non viene spento dai vigili del fuoco.

""Un incendio sottoventilato è un incendio che è diventato a ventilazione controllata prima del flashover.""



**Figura 2** Il comportamento dell'incendio sottoventilato: la linea rossa indica la parte che è in comune per entrambi i tipi di comportamento del fuoco. La linea rossa tratteggiata rappresenta il comportamento dell'incendio ventilato, mentre la linea grigia rappresenta il comportamento dell'incendio sottoventilato. (Graph: Karel Lambert)

Anche l'incendio ventilato all'inizio è controllato dal combustibile ma passa ad un regime di controllo da parte della ventilazione molto prima (prima del flashover). L'incendio rimane controllato dalla ventilazione sino a quando si spegne naturalmente o quando viene spento dalle squadre in intervento.

### 1.3 Influenza della ventilazione

Negli Stati Uniti è frequente ventilare durante le operazioni antincendio. Solitamente questo significa che vengono realizzate delle aperture di ventilazione aggiuntive. Ciò può essere ottenuto rompendo finestre (ventilazione orizzontale) e creando aperture nel tetto (ventilazione verticale). La maggior parte del tempo si ottiene quella che viene definita ventilazione naturale. Ciò significa che non vengono utilizzati ventilatori a pressione positiva. Su Youtube vi sono innumerevoli video di incendi dove la situazione è diventata fuori controllo a causa della ventilazione.

Negli Stati Uniti si fa risalire l'invenzione di questa tattica a Benjamin Franklin (1706-1790). Inventore e vigile del fuoco, egli ha messo a punto la tattica per liberarsi del fumo durante le operazioni antincendio. La tattica ha dato ottimi risultati per anni e anni. Questo perché l'incendio si comportava diversamente in passato. Il combustibile era composto principalmente da prodotti naturali mentre oggi il combustibile contenuto in un'abitazione è costituito principalmente da derivati del petrolio. Steve Kerber ha dimostrato che il tempo per il flashover è diminuito drammaticamente. Era di circa 30 minuti negli anni '50 mentre

ora è di soli 3-4'. Ciò significa che gli incendi sono controllati dal combustibile per un periodo molto più breve rispetto che in passato.

Ventilando un incendio controllato dal combustibile si ha un effetto molto limitato. Quello che sta avvenendo nella combustione è determinato dalle caratteristiche del combustibile. Questo spiega il motivo per il quale la ventilazione è stata una tattica standard negli Stati Uniti per così tanto tempo. Fino alla fine del 20° secolo è stata una tattica molto buona.

Negli edifici moderni l'incendio diventa controllato dalla ventilazione molto velocemente. Abbiamo visto che quando l'incendio diventa controllato dalla ventilazione prima del flashover si ha un incendio sottoventilato. È questo il tipo di incendio che ultimamente sta accadendo sempre di più. Quando viene realizzata un'apertura nella parete di una stanza in cui vi è un incendio sottoventilato il suo HRR aumenterà. Dal momento che realizzando un'apertura si apporta aria, la ventilazione che si instaura determina cosa avviene dopo. Ci sono diverse formule per calcolare la potenza massima che l'incendio può generare in funzione della superficie e dell'altezza dell'apertura. L'apertura di una porta che è 2 m di altezza e 0,9 m di larghezza, può causare che l'incendio aumenti sino ad una potenza di 3 o 4 MW. Rompere una finestra di 2 m di larghezza e 1,5 m di altezza, porterà ad un rilascio di energia di 4,7-5,5 MW.

Pertanto, la ventilazione deve essere utilizzata con molta cautela negli incendi sotto ventilati. L'HRR dell'incendio aumenta sempre dopo la realizzazione dell'apertura. I vigili del fuoco statunitensi stanno diventando sempre più consapevoli di ciò. Tra le altre cose questo ha portato all'introduzione del "uomo porta". Questo vigile del fuoco si assicura che la porta d'ingresso rimanga chiusa il più possibile. Applicando questo principio si limita l'HRR dell'incendio.

## **2 Efficienza delle aperture di ventilazione**

Un'altra questione importante che si pone è quella della dimensione delle aperture di ventilazione. È stato scritto parecchio su questo argomento nella letteratura antincendio. Negli Stati Uniti uno scarico di 4 x 4 ft (1,2 m per 1,2 m) è stato a lungo considerato lo standard. Si tratta di un foro di 1,44 m<sup>2</sup>. Recentemente è stato suggerito che questo non sia più sufficiente. Viene usata più frequentemente al giorno d'oggi un'apertura di 4 x 8 ft. Ciò equivale ad un area di 2,88 m<sup>2</sup>.

In Europa la creazione di aperture nel tetto non è una pratica comune. Noi di solito apriamo o rompiamo le finestre. In questi casi, la dimensione di scarico è il più delle volte dettata dalla dimensione delle finestre disponibili. È preferibile aprire una finestra piuttosto che romperla. Una finestra aperta che causa un flusso non voluto può essere richiusa, non è questo il caso quando si rompono le finestre.

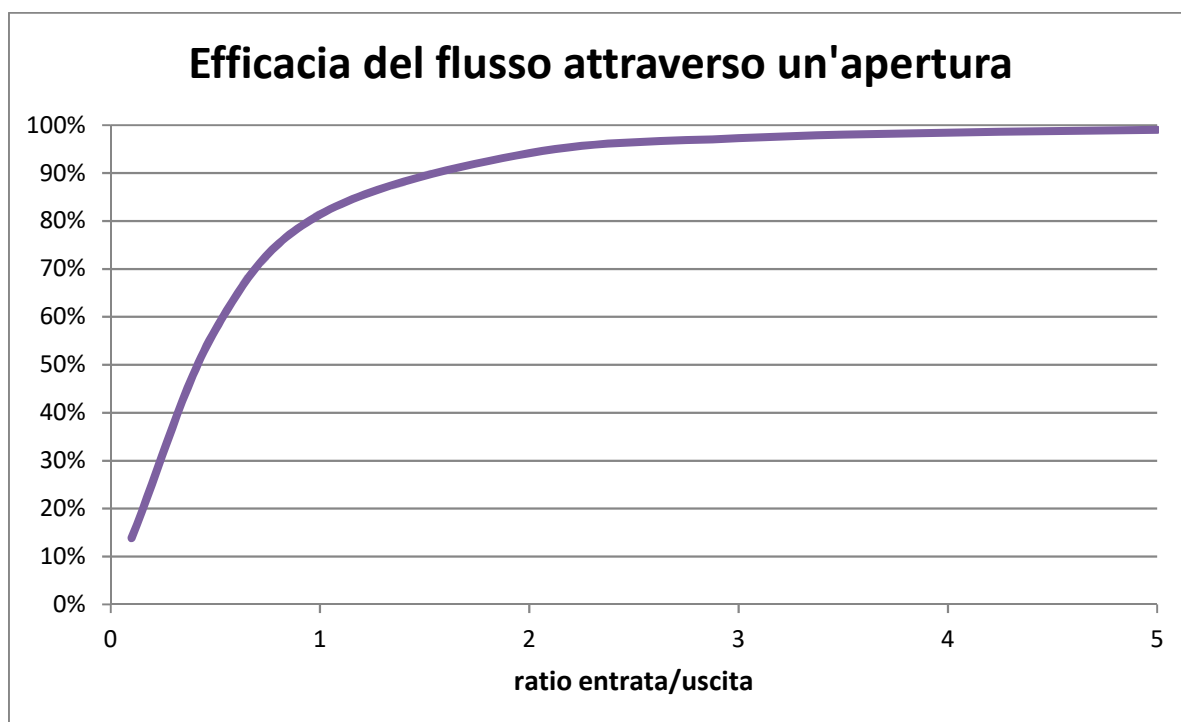
Per raggiungere la massima efficienza nella ventilazione deve esserci un rapporto definito tra le aperture d'entrata e d'uscita.

Per determinare questo rapporto ideale deve essere fatta una distinzione tra ventilazione naturale e a pressione positiva. I paragrafi che seguono si riferiscono a situazioni in cui un'apertura è completamente utilizzata come entrata dell'aria ed un'altra è completamente utilizzata come uscita dei gas della combustione. Questo di solito è il caso della ventilazione

verticale. Realizzare una ventilazione orizzontale è notevolmente più complesso. Si utilizza parecchio tempo per realizzare entrambe le aperture. Ogni apertura è soggetta ad un doppio flusso (entrata aria e uscita fumo). Essendo impossibile semplificare questo particolare fenomeno, nei prossimi paragrafi terremo le cose le più semplici possibile.

## 2.1 Ventilazione naturale.

Ventilare sostanzialmente significa trasportare una massa di fumo dall'interno verso l'esterno. Poiché non è possibile creare il vuoto, questa massa di fumo deve essere sostituita da una massa uguale di aria. Nel caso della ventilazione naturale, il fumo lascerà la costruzione a causa della galleggiabilità (buoyancy). Questa forza diretta verso l'alto, è il risultato della differenza di densità ( $\sim$  temperatura) tra l'aria e il fumo. Perché la ventilazione funzioni correttamente, deve entrare all'interno dell'edificio una quantità di aria fresca adeguata. La ricerca ha mostrato un'efficacia di circa il 90% quando l'ingresso è il doppio dell'uscita (questo per ogni apertura). Si riduce al 80% di efficacia quando il rapporto è di 1:1. (Vedi Figura 3).



**Figura 3** Efficienza del flusso rispetto al rapporto tra l'ingresso e l'uscita per il fumo con una temperatura di 300°C. Quando l'ingresso è il doppio dell'uscita, l'efficacia è del 94%. Quando l'ingresso ha la stessa dimensione dell'uscita, l'efficacia è ridotta al 81%.

Un esempio numerico può ulteriormente chiarire le cose. Supponiamo che in una stanza che deve essere ventilata ha una porta (2x1 m) e quattro finestre ognuna di 1 mq. Supponiamo che i fumi siano ad una temperatura di 300°C. Se viene aperta una finestra come scarico e la porta come ingresso, il rapporto ingresso / uscita è di 2. Questo porta ad un'efficacia del 94% (in relazione alla portata massima teorica) attraverso l'uscita (facendo uscire dall'edificio 2,67 kg di fumo al secondo). Se si aprisse una seconda finestra, il rapporto ingresso/uscita scenderebbe a 1. L'efficacia di ogni finestra diminuisce all'81%. Tuttavia, la superficie totale delle aperture di scarico è raddoppiata. Ciò significa che si è

1,61 volte maggiore rispetto alla portata massima teorica di una singola finestra. Molto migliore del 0,94 della capacità con una sola finestra (facendo uscire dall'edificio 4,81 kg di fumo al secondo). Quando tutte e quattro le finestre sono aperte, il rapporto ingresso/uscita scende a 0,5. L'efficacia per ogni finestra è ora del 57%. Tuttavia ora ci sono quattro finestre aperte. Ciò significa che viene raggiunto un valore di 2,28 volte la capacità teorica di una singola finestra (questo si traduce in 7,26 kg/s). Nel caso in cui vengano aperte ulteriori finestre, l'efficacia per ogni finestra scenderà ulteriormente. Se lo scarico è tre volte l'entrata, l'apertura di ulteriori finestre diviene inutile.

Riassumendo si può affermare che un rapporto di entrata/uscita di 2/1 per un'unica apertura fornisce la massima efficacia. L'apertura di più finestre porta ad una minore efficienza per finestra, ma anche ad una maggiore portata totale in uscita. Quando viene aggiunta una proporzione di 1/3, non è più utile aprire altre finestre. È importante tenere presente che quanto detto è valido per la ventilazione verticale. Quando la porta è completamente al di sotto dello strato di fumo e le finestre sono al di sopra del piano neutro. Inoltre le finestre sono utilizzate esclusivamente come scarico.

## 2.2 Ventilazione a pressione positiva

Per la ventilazione a pressione positiva, la proporzione fra ingresso e uscita deve essere diversa per ottenere un flusso ottimale. La proporzione è l'opposto di quella della ventilazione naturale. In altre parole, per un flusso ottimale lo scarico deve essere due volte più grande dell'entrata. Nell'esempio precedente significa che l'efficacia ottimale si ottiene quando tutte e quattro le finestre sono aperte. Il rapporto di ingresso/uscita è 1/2. Il flusso non è creato dalla differenza di temperatura tra i



**Figura 4** Posizionamento di due ventilatori in configurazione a V. (Photo: Frank Meurisse)

fumi e l'aria, ma dal ventilatore. È possibile aumentare l'effetto della ventilazione aprendo più finestre. Come nel caso della ventilazione naturale, è inutile scendere ad un rapporto inferiore di 1/3.

## 3 Vento

Nella sezione precedente, abbiamo esaminato l'efficacia del flusso di una sola apertura senza tener conto di eventuali condizioni locali. In realtà questo non è il modo corretto di fare le cose. Prima di realizzare qualsiasi apertura dobbiamo verificare se c'è del vento e in quale direzione stia soffiando.

In caso di ventilazione naturale, il vento avrà una grande influenza. È quindi imperativo cercare sempre di sfogare "a favore di vento". Ciò significa che l'ingresso deve essere creato sul lato sul quale soffia il vento (sopravento). Preferibilmente lo scarico deve essere realizzato sul lato opposto (lato sottovento). Anche quando lo scarico è realizzato su di un tetto inclinato, è preferibile seguire questa regola. Quando è impossibile farlo, deve essere ricercata la massima efficienza possibile per le aperture (vedi sopra).

Ventilazione a pressione positiva significa che la situazione è meno dipendente dal vento. Si può provare, con difficoltà, a ventilare contro vento. In tali situazioni lo scarico può essere piccolo. Questo porterà ad avere una sovrappressione più grande all'interno. Per un vento debole questo può essere sufficiente a vincerne la pressione. Questo può essere utile per le situazioni in cui non è possibile creare aperture sul lato sottovento. Tuttavia è importante rendersi conto che questa opzione è molto limitata. La ricerca ha dimostrato che i ventilatori che sono tipicamente in caricamento sui mezzi, possono creare una sovrappressione di 26 Pascal. Questa è analoga alla pressione accumulata da un vento che soffia a 20 chilometri all'ora. Ventilare contro vento funziona solo con vento a bassa velocità. Diverse fonti parlano di un soglia limite di 10 km/h. Per velocità del vento inferiore a questo, ventilare contro vento è possibile. Sopra questa velocità, l'efficacia scende molto rapidamente.

#### 4 Bibliografia

- [1] Lambert Karel, *New insights into ventilation, De brandweerman, May 2011*
- [2] Hartin Ed, [www.cfbt-us.com](http://www.cfbt-us.com)
- [3] Kerber Steve, *Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential Construction, 2011*
- [4] Kerber Steve, *Analysis of changing residential fire dynamics and its implications on firefighter operational timeframes, Fire Technology, vol. 48, p 865-891, 2012*
- [5] Merci Bart, *Active fire protection II: smoke and heat control, postgraduate studies in fire safety engineering, Universiteit Gent, 2010*
- [6] Svensson Stefan, *Fire Ventilation, Swedish Rescue Services Agency, 2000*
- [7] Christian Gryspeert, *personal communication, 2014*
- [8] Kerber Steve, Madrzykowski Dan & Stroup David, *Evaluating positive pressure ventilation in large structures: high-rise pressure experiments, NISTIR 7412, Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology, 2007*

Karel Lambert