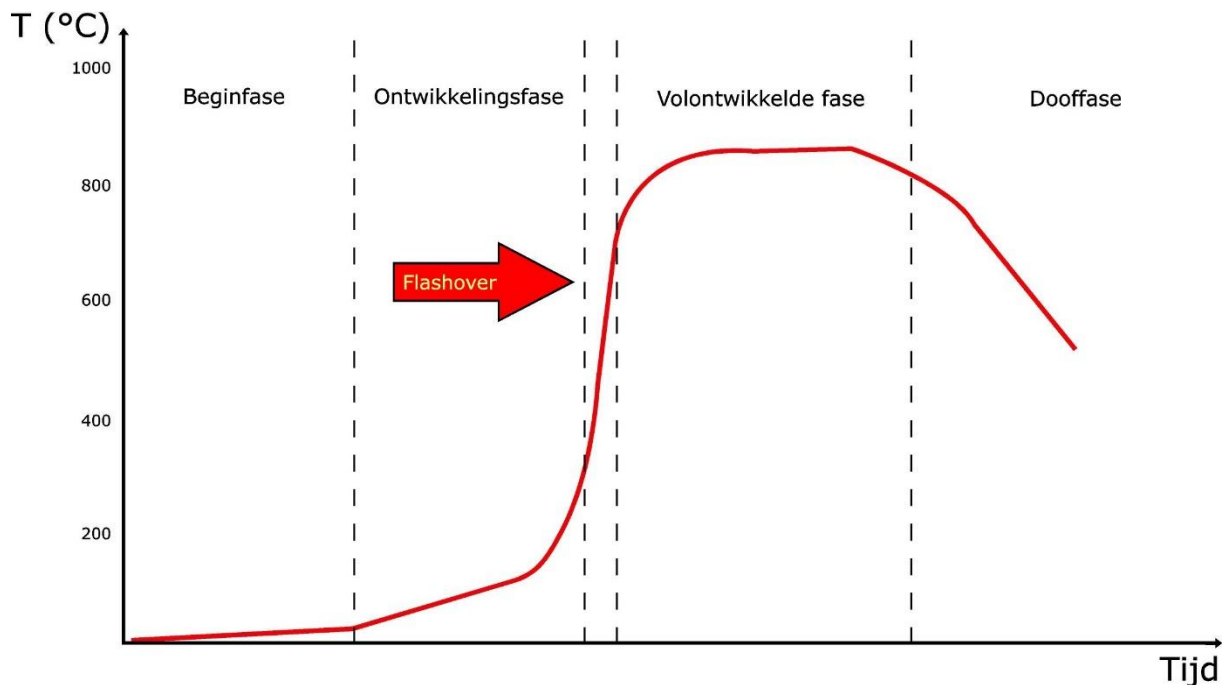


# Una rivisitazione delle curva di crescita dell'incendio

## 1 Introduzione

- Ogni vigile del fuoco conosce la curva di crescita dell'incendio in quanto è parte della formazione di base. Dove in passato vi era una sola curva di crescita, ora ve ne sono due. Una di esse è la cosiddetta vecchia curva, definita con il termine di "incendio ventilato" (vedi figura 1). Questo articolo prende in esame questa curva. Essa rappresenta lo sviluppo di un incendio in un locale che presenta le seguenti condizioni:
- carico di incendio adeguato sia in termini di quantità che di distribuzione all'interno del locale;
- ventilazione adeguata.



**Figura 1** la curva di crescita di un incendio ventilato (figure: Karel Lambert)

Accade spesso che un incendio si spenga da solo perché l'oggetto iniziale che prende fuoco non è in grado di produrre un rateo di rilascio del calore sufficientemente elevato per accendere un altro oggetto combustibile nelle vicinanze. In questi casi avviene spesso vi sia molto fumo, ma quasi niente calore. Pertanto, sarebbe disponibile un carico d'incendio sufficiente per consentire al fuoco di evolversi in un flashover, ma la disposizione dello stesso impedisce che ciò accada. Il fuoco si spegne pertanto nella fase iniziale.

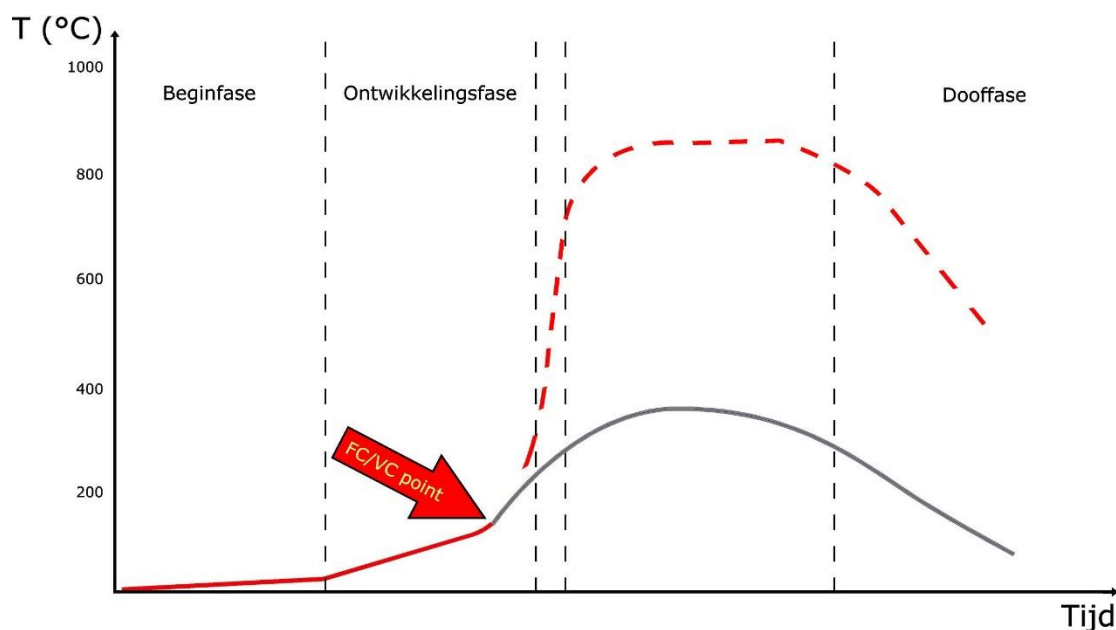
Proprio recentemente, i vigili del fuoco di Oostkamp si sono trovati in un tale incendio rispondendo ad una chiamata per incendio abitazione con persone all'interno bloccate al primo piano dell'edificio. All'arrivo, l'intero piano terra era invaso dal fumo bloccando di fatto la via di fuga degli occupanti. Inoltre, le finestre del primo piano erano tutte a vetro

singolo. L'incendio sembrava essere ventilato e le squadre di vigili del fuoco ipotizzarono che la rottura delle stesce potrebbe comportare il pericolo di un flashover indotto dalla ventilazione. Iniziarono quindi un attacco interno usando linee di attacco da 45 mm. Durante l'avanzata della linea di attacco, si accorsero che il fumo nel soggiorno non era affatto caldo. Il fumo freddo può essere una conseguenza di un fuoco sotto ventilato. A causa della mancanza d'aria, la velocità di rilascio del calore è molto bassa (vedi figura 2). Ciò significa che viene accumulato pochissimo calore. Con l'ausilio della termocamera, furono in grado di trovare la sede dell'incendio. La fonte era un hoverboard in carica. L'oggetto era situato accanto ad un armadio in rovere di legno massiccio. L'armadio era ovviamente annerito e bruciato, ma l'HRR dell'hoverboard in fiamme era insufficiente per accendere completamente l'armadio di legno. L'hoverboard era ormai completamente bruciato producendo una notevole quantità di fumo, ma pochissimo calore. Con l'uso di un ventilatore, il fumo venne ventilato dall'edificio e la famiglia poté uscire. Anche se il fumo non era caldo, i livelli di tossicità erano decisamente elevati rendendo impossibile attraversarlo senza un APVR.

Tuttavia, questo scenario avrebbe potuto essere completamente diverso. Dall'altro lato del soggiorno vi era la scatola di cartone in cui veniva solitamente riposto l'hoverboard. Questa scatola di cartone era in piedi accanto a un grande divano a tre posti. Supponiamo per un minuto che l'hoverboard fosse stato posizionato all'interno o sopra la scatola. Con ogni probabilità, il divano sarebbe stato coinvolto dall'incendio. Il divano era in grado di generare un HRR tale per provocare un flashover nel soggiorno. All'arrivo, i vigili del fuoco si sarebbero trovati di fronte ad un incendio completamente sviluppato al piano terra. La temperatura del fumo proveniente da un tale incendio e che fluiva al primo piano, sarebbe stata 10 volte maggiore. Possiamo solo fare delle supposizioni, se le porte della camera da letto avrebbero protetto la famiglia per un tempo sufficientemente lungo da consentire l'arrivo dei soccorsi.

L'unica variabile che differisce in questi due casi è il posizionamento dell'hoverboard (l'oggetto che brucia inizialmente) al momento dell'accensione. Tutto il resto del contenuto del soggiorno rimane lo stesso. Ma in uno scenario vi sono solo importanti danni da fumo, l'altro porta a una casa bruciata con potenzialmente alcune vittime. Affinché un incendio ventilato raggiunga il flashover, è necessario che sia presente combustibile sufficiente nella posizione corretta.





**Figura 2** Quando l'aria è insufficiente, l'incendio passa dalla linea rossa a quella grigia. Quest'ultimo si chiama incendio sotto ventilato. (Figura: Karel Lambert)

Quando la ventilazione è insufficiente non consentendo che si verifichi il flashover, allora abbiamo a che fare con un incendio sotto ventilato. L'incendio rimarrà piccolo fino a quando non si spegne da solo o fino a quando non vengono create aperture di ventilazione extra. Questo incendio avrà una curva diversa, illustrata nella figura 2.

Questo articolo riguarda invece l'incendio ventilato, come mostrato nella Figura 1. Questa curva è conosciuta dalla maggior parte dei vigili del fuoco come una curva della temperatura. Questo tipo di curva illustra lo sviluppo della temperatura in funzione del tempo. Diverse domande possono essere poste su questa affermazione: *quale temperatura è esattamente illustrata dalla curva? O in altre parole: in quale punto dobbiamo posizionare un termometro in modo tale che le temperature misurate siano quelle mostrate dal grafico di cui sopra?* Molti vigili del fuoco non possono rispondere a questa domanda.

*Conosci la risposta corretta? Questo articolo indirizzerà il lettore direttamente di volta in volta. Prova a riflettere sulla domanda prima di leggere la sezione successiva. Il testo conferma la tua risposta? Bene! In caso contrario, pensa al motivo per cui la tua risposta non è corretta. In entrambi i casi, avrai imparato qualcosa.*

## 2 Il rateo di rilascio dell'energia di un incendio

Ogni incendio produce un determinato rilascio di energia. Questo può essere descritto come segue: immagina un divano a tre posti. Supponiamo che il divano si accenda a causa di una sigaretta dimenticata. Sulla seduta del divano brucia un'area di un quarto di metro quadrato. Le fiamme si elevano per circa 50 cm dal divano. *Riesci a vedere l'immagine nella tua mente?*

Il calore delle fiamme si muoverà in gran parte verso l'alto riscaldando lo strato di fumo. Parte del calore viene invece irradiata verso il divano provocando il riscaldamento dello stesso. L'alta temperatura del divano (carico d'incendio) farà iniziare a pirolizzare parte del

divano. Ciò significa che il divano sta perdendo parte della sua massa. Se il divano fosse su di una bilancia, vedremmo che il suo peso diminuisce lentamente. Il termine scientifico per questo è Tasso di perdita di massa (in kg / s). Più caldo il combustibile, maggiore la produzione di gas della pirolisi (e più veloce sarà la perdita di massa). I gas di pirolisi non sono altro che combustibile gassoso. Le fiamme vengono alimentate da essi. Le fiamme bruciano i gas di pirolisi utilizzando l'ossigeno presente nell'aria circostante.

Una stufa a gas si aziona aprendo un rubinetto. Il gas in uscita viene acceso da una scintilla. Agendo sul rubinetto, si ottiene una fiamma più o meno grande. In un vero incendio, il calore che investe il combustibile è come se fosse il rubinetto della stufa. Più caldo è il combustibile, più gas di pirolisi vengono rilasciati nell'unità di tempo. Maggiore è la quantità di gas di pirolisi al secondo, maggiore è il rateo di rilascio del calore.

La sezione precedente si applica solo agli incendi controllati dal combustibile dove vi è aria (ossigeno) in abbondanza. Il tasso di rilascio di calore dell'incendio dipenderà dalla quantità di gas di pirolisi (il tasso di perdita di massa). Quando un incendio viene controllato dalla ventilazione, significa che non c'è aria sufficiente per bruciare tutti i gas di pirolisi. Parte di questi gas si aggiunge quindi allo strato di fumo. Ciò significa che le particelle non bruciate si stanno accumulando nello strato di fumo. Il rateo di rilascio dell'energia è limitato dall'aria disponibile. Ciò è mostrato nella figura 2 dove l'incendio passa dalla linea rossa a quella grigia. Tuttavia, si verifica anche nella figura 1. Poco prima che la curva si estenda orizzontalmente, l'incendio passa ad essere controllato dalla ventilazione. Entrambe le curve hanno una sezione controllata dalla ventilazione.

Il grafico nella figura 1 potrebbe anche essere descritto come grafico tempo - rateo di rilascio dell'energia. Questo grafico mostra come il rateo di rilascio dell'energia progredisce in funzione del tempo. La Figura 1 mostra lo stadio iniziale. Lo stadio iniziale è controllato dal combustibile ed è caratterizzato da un HRR molto limitato. L'incendio rimane controllato dal combustibile durante la fase di crescita ma diviene controllato dalla ventilazione durante il flashover (l'incendio completamente sviluppato è controllato dalla ventilazione). La sezione orizzontale del grafico durante la fase d'incendio completamente sviluppato è una conseguenza diretta del fatto che solo una quantità limitata di aria può entrare nel locale attraverso le aperture di ventilazione.



### 3 Quali informazioni possiamo trarre dalla curva dell'incendio?

Diamo un'occhiata all'incendio mostrato in figura 3. È chiaramente completamente sviluppato. Il fuoco si sta diffondendo attraverso due finestre una accanto all'altra. Entrambe le finestre hanno la stessa altezza e superficie.

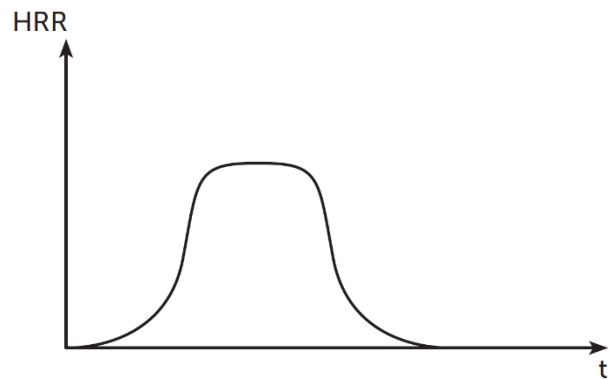
Supponiamo che queste finestre si affaccino su di un soggiorno e che la porta del soggiorno sia chiusa. Le due finestre sarebbero quindi le uniche aperture di ventilazione per l'incendio nella foto. Il soggiorno contiene una grande quantità di combustibile: divani, tavolino da caffè, armadi pieni di libri, una TV, ... È chiaro che l'intera stanza è in fiamme. L'HRR dell'incendio è limitato dalla quantità di aria che entra nel locale. È un tipico esempio di incendio controllato dalla ventilazione.

Questo incendio inizialmente era piccolo. Per semplicità, in questo ragionamento assumiamo che entrambe le finestre fossero aperte all'inizio. Supponiamo che il fuoco sia iniziato su un divano a tre posti. All'inizio vi è un rilascio di energia limitato. Man mano che l'incendio cresce, l'HRR aumenta.



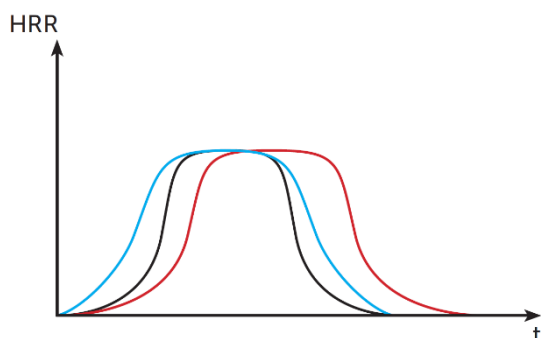
**Figura 3** Una vista di un incendio completamente sviluppato che fuoriesce da due finestre. (Photo: [www.nufoto.nl](http://www.nufoto.nl))

La Figura 4 mostra come l'HRR aumenta col passare del tempo. Il fuoco iniziale è piccolo, cresce, raggiunge il flashover e diviene completamente sviluppato (la linea orizzontale). Dopo un po' di tempo, la quantità di combustibile si riduce notevolmente. Ciò significa che a causa del tasso di perdita di massa, rimarrà pochissimo combustibile. Una grande quantità di esso è stata trasformata in gas di pirolisi. È ragionevole presumere che la fase di decadimento inizierà quando il 70% del carico di combustibile è stato bruciato. La quantità di gas di pirolisi rilasciata (al secondo) diminuisce perché non rimane quasi più combustibile. Ad un certo punto vi sarà nuovamente sufficiente aria che fluisce attraverso le aperture per bruciare tutti i gas di pirolisi. Il fuoco sarà nuovamente controllato dal combustibile. Man mano che la pirolisi diminuisce ulteriormente, anche l'HRR diminuisce. Dopo un po' di tempo il fuoco si spegne da solo. La produzione di gas di pirolisi è diventata così piccola che una combustione con fiamma non può più essere sostenuta. Il carburante rimanente continua a bruciare, ma col passare del tempo tutto si raffredda e il fuoco si spegne completamente.



**Figura 4** Rateo di rilascio del calore in funzione del tempo in un incendio ventilato. (Drawing: Karel Lambert)

Supponiamo che il fuoco sia iniziato in un altro soggiorno, in una casa costruita esattamente allo stesso modo con le stesse dimensioni del primo soggiorno. Supponiamo che il carico di combustibile sia identico e che i pezzi (divano, tavolo, ...) siano nello stesso posto. Anche il fuoco inizia esattamente con la medesima modalità, una sigaretta sul divano. Tutto è identico al primo scenario tranne che per una cosa: c'è solo una finestra invece di due. La superficie delle finestre è la metà di quella dell'incendio precedente. Qual è l'effetto sull'HRR? L'incendio crescerà più lentamente di quando c'erano due finestre? O progredirà più velocemente?



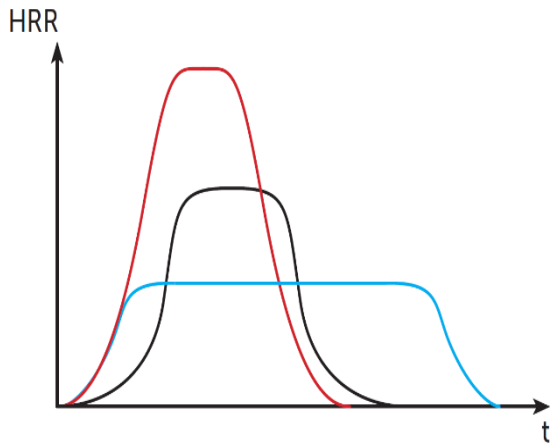
**Figura 5** Due possibili variazioni di un grafico HRR per un incendio con una anziché due finestre. (Figure: Karel Lambert)

La Figura 5 ha una linea nera che mostra la progressione dell'incendio con due finestre aperte.

La curva blu indica un incendio che sta progredendo più velocemente.

La curva rossa rappresenta un incendio che procede più lentamente. Quale delle due è quella corretta? Sono forse errate entrambe?

*Prova a pensare ad argomenti a supporto della tua posizione.*

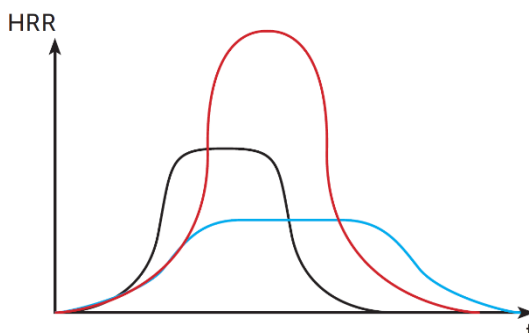


**Figura 6** Altri due possibili esiti per l'HRR dell'incendio quando c'è solo una finestra invece di due. (Figure: Karel Lambert)

È anche possibile trovare due grafici che progrediscono entrambi più velocemente, ma hanno un HRR più alto o più basso. La Figura 6 mostra questi due grafici. La linea nera rappresenta ancora il fuoco nel soggiorno con le due finestre aperte. La linea blu illustra un incendio che si sta sviluppando più velocemente, ma che smette anche rapidamente di crescere e continua a bruciare a un HRR inferiore permanendo in questa fase per un tempo maggiore.

La linea rossa illustra un incendio che si sviluppa più velocemente e, per di più, raggiunge un HRR più elevato. Questo fa sì che bruci per meno tempo. Una di queste due curve è la rappresentazione corretta dell'incendio in un salotto con una finestra aperta?

*Ancora una volta, pensa agli argomenti a supporto del tuo ragionamento.*

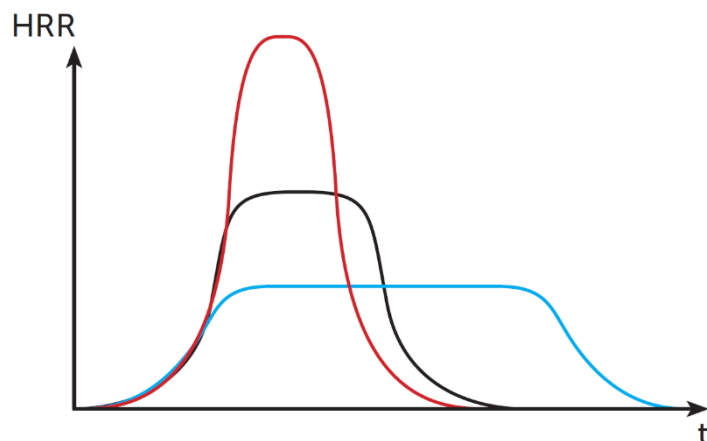


**Figura 7** Due possibili variabili per lo stesso incendio. (Figure: Karel Lambert)

La figura 7 mostra una variazione della 6. Questa volta la linea rossa e blu rappresentano gli incendi che si sviluppano più lentamente del fuoco nel soggiorno con due finestre aperte (la linea nera). Proprio come nella figura 6, la linea blu ha un HRR inferiore rispetto alla linea nera. La linea rossa raggiunge un HRR più elevato rispetto alla linea nera. Una di queste righe è forse quella corretta?

*Sta a te pensare in modo critico e formulare una risposta.*

Le figure 5, 6 e 7 rappresentano tutte incendi che si sviluppano più velocemente o più lentamente di quello rappresentato dalla linea nera. Tuttavia, potrebbe facilmente accadere che la crescita non sia influenzata dalla mancanza di una seconda finestra aperta. La Figura 8 mostra due di queste possibilità. La linea blu è esattamente la stessa della linea nera nelle fasi iniziali. Ciò significa che il fuoco sta crescendo esattamente allo stesso modo. Tuttavia, diventa meno intenso (picco HRR inferiore) in una fase successiva. Anche la linea rossa



ha la stessa crescita della linea nera, ma finisce con un HRR di picco più alto rispetto all'incendio con due finestre aperte. Forse la curva corretta è qui? O forse c'è un'altra possibilità che non è ancora emersa.

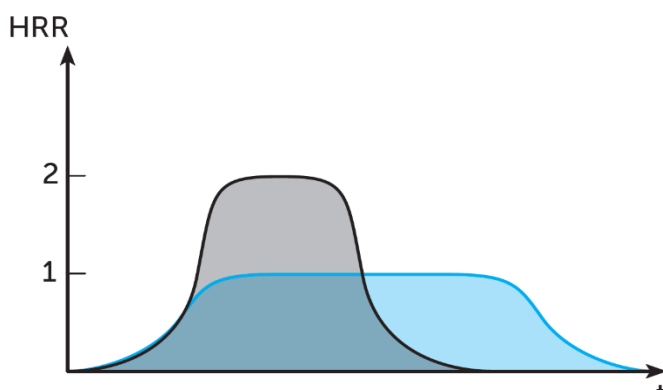
*Pensa alla tua risposta e al perché pensi che sia corretta.*

#### 4 L'effetto di una finestra invece che due.

La linea nera mostra come l'HRR di un incendio progredisce in relazione al tempo, per un incendio in un salotto con due finestre aperte. La prima parte della linea rappresenta lo stadio iniziale e quello di crescita. L'incendio in queste fasi è controllato dal combustibile. Ciò significa che c'è abbastanza aria per bruciare i gas di pirolisi che vengono prodotti. Se le dimensioni delle aperture di ventilazione dovessero essere aumentate, ciò non influirebbe sulla crescita dell'incendio. Dopotutto, c'è già aria sufficiente. Ridurre le dimensioni dell'apertura di ventilazione non avrà alcun effetto nemmeno nelle fasi iniziali dell'incendio. Finché c'è aria sufficiente che fluisce attraverso l'apertura per bruciare i gas di pirolisi che si stanno formando, l'incendio è controllato dal combustibile e questo significa che non vi è alcun effetto con una maggiore ventilazione.

Un incendio controllato dal combustibile non brucia più velocemente o più lentamente nella fase iniziale avendo una finestra aperta anziché due. Le linee dei due fuochi (due finestre e una finestra) sono congruenti.

Anche il fuoco nel soggiorno con una finestra aperta passerà al flashover. Abbastanza aria entra nella stanza attraverso la finestra aperta, per consentire al fuoco di crescere. Tieni presente che la superficie della finestra aperta deve rimanere più grande di una certa dimensione minima. Il fuoco nel soggiorno deve essere in grado di crescere fino a un determinato HRR per raggiungere il flashover nella stanza. Supponiamo che le due finestre nella figura 3 siano sostituite da una finestra di 1/4 della superficie della finestra originale, quindi il fuoco verrebbe probabilmente controllato dalla ventilazione prima che possa verificarsi il flashover. Quindi abbiamo avuto a che fare con un incendio sotto ventilato. La Figura 2 potrebbe essere una possibile illustrazione di questo scenario.



**Figura 9** La curva blu produce solo la metà del valore HRR massimo del grafico nero. Per questo motivo il combustibile viene consumato più lentamente e il grafico è circa il doppio. (Figure: Karel Lambert)

Quando la superficie delle finestre nel soggiorno del secondo scenario è la metà di quella del primo, allora solo la metà della quantità di aria sarà in grado di fluire. Ciò significa che l'HRR prodotto dal secondo incendio è la metà di quello del primo. La linea blu nella figura 8 illustra la risposta corretta. L'altezza delle linee orizzontali (picco HRR) è determinata dalla superficie totale delle finestre aperte. Determinano la quantità di aria che può fluire in un dato momento e quindi determinano quale sarà l'HRR



massimo. L'altezza della parte orizzontale della linea blu deve essere esattamente la metà di quella della linea nera. Se si aprissero quattro finestre anziché due, la linea rossa nella figura 8 sarebbe quella corretta. Dovrebbe essere raggiunto un HRR esattamente il doppio delle dimensioni dell'incendio nero.

Infine, è importante rendersi conto che la superficie sotto le linee rappresenta il carico di combustibile. Questo è il motivo per cui la linea blu nella figura 8 è più lunga della linea nera (e quella rossa è più stretta). Quando l'HRR è solo metà di quello della linea nera, solo la metà del combustibile viene bruciata in un dato momento. Ciò significa che il carico di combustibile durerà il doppio del tempo. Un esempio perfetto per illustrare questo è una stufa a legna. Un numero variabile di ciocchi di legno può essere messo nella stufa per alimentare il fuoco. Ma quando la presa d'aria viene dimezzata, il calore prodotto dalla stufa diminuirà (poiché il HRR è stato dimezzato). La quantità di legna nella stufa durerà il doppio.

Questo può essere chiaramente visto nella figura 9. L'area della superficie contrassegnata in grigio deve essere uguale a quella contrassegnata in blu. Dopotutto rappresentano esattamente lo stesso carico di combustibile. Nel fuoco "nero" c'è una quantità doppia di aria disponibile e quindi il combustibile viene consumato ad un rateo doppio. Questo porta a un incendio che dura solo la metà del tempo (ma è due volte più intenso).

## 5 Bibliografia

- [1] *Lambert Karel, Baaij Siemco (2018) brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast, 2nd edition, Sdu*
- [2] *Lambert Karel (2009-2019) CFBT-instructor course for the Attack cell, CFBT-BE*
- [3] *McDonough John (2009-2019) personal talks*
- [4] *Grimwood Paul (2008-2019) personal talks*

Karel Lambert

