

# Cos'è la corrente di convezione?

## 1 Introduzione

Il modello SAHF è stato ideato dall'australiano Shan Raffel nei primi anni 2000. Dopo essersi confrontato con i colleghi e grazie all'influenza dell'americano Ed Hartin, il modello è stato successivamente modificato in B-SAHF. Questo modello è stato anche definito "leggere l'incendio". È uno strumento utile per determinare quale tipo d'incendio si sta affrontando. B-SAHF sta per Building, Smoke, Air track, Heat e Flames (edificio, fumo, corrente di convezione, energia e fiamme *ndt*). L'obiettivo di questo articolo è quello di prendere in esame la "corrente di convezione".

## 2 Corrente di convezione

2.1 Per quale ragione il fumo scorre?

### 2.1.1 Galleggiabilità o principio di Archimede

La teoria del movimento dei fluidi è molto complicata. Vi sono coinvolti molti parametri fisici. Proviamo a descrivere cosa succede in un incendio.

Durante un incendio un ruolo cruciale è giocato dal focolaio d'incendio. Il focolaio produce fumo ed energia. Il fumo prodotto è più caldo dell'aria circostante. Tutti sanno che quando un elemento viene riscaldato si espande. Per i solidi e i liquidi l'espansione è piuttosto limitata. Al contrario, per i gas (fumo) l'aumento della temperatura provoca una massiccia espansione. A causa di questa espansione, la densità del gas diminuisce. Ciò significa che il peso di 1 metro cubo di gas diminuisce. Il fumo alla temperatura di 315°C ha densità pari alla metà della densità dell'aria a 20°C. L'incremento della temperatura provoca una significativa diminuzione della densità.

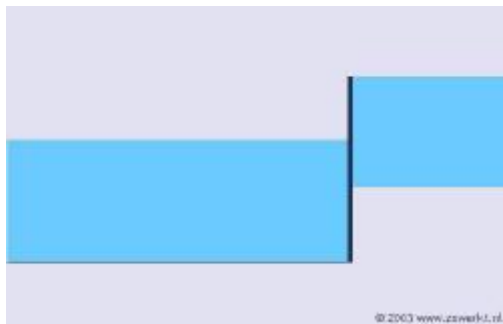
Qual è quindi l'importanza che riveste la differenza di densità? Per capire questo è necessario aiutarsi con un esempio. Pensiamo ad una vasca piena d'acqua con una pallina da ping pong trattenuta sul fondo. Nel momento in cui viene rilasciata essa salirà sino alla superficie. La ragione della risalita della palla risiede nella differenza di densità. L'acqua esercita una forza verso l'alto sulla palla. Questo grazie al principio di Archimede. La forza verso l'alto è direttamente proporzionale al volume della palla e alla differenza di densità tra la palla e l'acqua. Dal momento che la pallina da ping pong è molto più leggera dell'acqua in cui si trova, si muoverà verso l'alto.

A causa del fatto che il fumo ha una densità inferiore all'aria circostante, il fumo tende a salire. Mentre il fumo sale, l'aria si miscela ad esso abbassandone la temperatura. A causa della riduzione di temperatura, anche la differenza di densità diminuisce e conseguentemente anche la galleggiabilità. Nel momento in cui il fumo si è raffreddato (al punto che la sua temperatura è uguale a quella dell'aria circostante), si avrà un ristagno. Si può osservare questo fenomeno nei locali pieni di persone che stanno fumando.

A differenza della pallina da ping pong, non abbiamo a che fare con una singola particella di fumo, ma piuttosto con un flusso continuo di fumo. E a differenza della vasca non c'è la superficie dell'acqua. Qui il confine dell'aria è costituito dal soffitto. Il fumo non potrà quindi salire all'infinito. Tornando alla vasca pensiamo di dover rilasciare dozzine di palline da ping pong dal fondo di un acquario. Dopo un po' le palle che arrivano sulla sommità spingono da parte quelle che sono già lì. La stessa cosa accade nel caso di un flusso di fumo. Il fumo sale fino al soffitto, quindi si divide per fluire orizzontalmente lungo il soffitto.

### 2.1.2 Differenza di pressione

Un altro modo per prendere in esame la corrente di convezione consiste nell'osservare la differenza di pressione tra due aree. Un esempio che è d'aiuto è quello della diga. Una



**Figura 1** Rappresentazione schematica di una diga.

diga è costruita per consentire un livello d'acqua più alto su di un lato e uno più basso sull'altro. A causa di ciò anche la pressione su di un lato è maggiore che sull'altro. Al di sotto della superficie può essere aperto un condotto per permettere all'acqua di fluire da un lato all'altro. L'acqua fluirà sempre dall'area di alta pressione verso l'area di bassa pressione. Il flusso instaurato cercherà di annullare la differenza di pressione e se non interrotto continuerà finché non sarà parificata. Maggiore è la differenza di pressione, maggiore sarà il flusso.

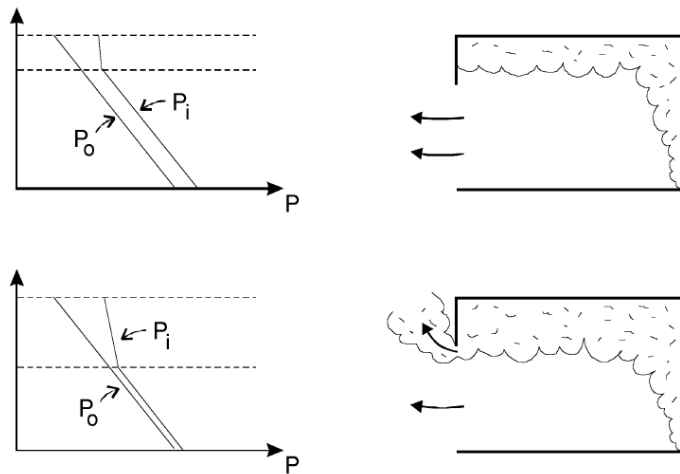
Lo stesso fenomeno si verifica anche quando si tratta di gas. L'autorespiratore (APVR) è un esempio che può aiutare i vigili del fuoco a comprendere il fenomeno. All'interno della bombola, l'aria viene conservata ad una pressione decisamente superiore a quella dell'aria circostante. Quando viene aperta la valvola, il contenuto fuoriesce dall'apertura sospinto dalla differenza di pressione. L'aria esce in velocità con un rumore piuttosto forte. Ciò è dovuto alla grande differenza di pressione tra l'aria all'interno della bombola e la pressione atmosferica all'esterno. La graduale fuoriuscita dell'aria farà diminuire la pressione all'interno. La velocità dell'aria in uscita diminuirà e il rumore anche. Tuttavia, il flusso d'aria continuerà finché la pressione interna dell'aria non sarà uguale alla pressione esterna. Se in un incendio si crea una sovrappressione in una determinata area, quando per qualche motivo si crea un'apertura si determina un flusso d'aria (corrente di convezione). La natura cerca sempre una sorta di equilibrio eliminando la differenza di pressione.

## 2.2 Cosa può avvenire successivamente?

Gli sviluppi successivi sono in funzione delle dimensioni dell'incendio. Se il fuoco cresce e si espande, conseguentemente anche la quantità di energia rilasciata aumenta. In tal caso aumenta anche la quantità di fumo prodotto.

Karlsson & Quintiere descrivono lo sviluppo dell'incendio nel loro libro "Enclosure Fire Dynamics". La descrizione è piuttosto schematica, ma è d'aiuto per comprendere cosa avviene nella realtà. Nel testo vengono descritti quattro diversi profili di pressione che si creano dalla fase incipiente a quella di incendio completamente sviluppato. Durante la

fase incipiente il fumo causa una sovrappressione all'interno del compartimento. Il fumo che viene prodotto ha la naturale tendenza ad aumentare di volume. Questo processo è ostacolato dall'aria presente tutt'attorno. Ciò provoca un leggero eccesso di pressione. Se si dovesse realizzare un'apertura, la pressione verrebbe alleviata.



A Figura 2, **A** descrive la situazione nella fase iniziale dell'incendio. Il focolaio iniziale sta producendo del fumo che si innalza per formare uno strato al di sotto del soffitto.

B Il fuoco creerà un leggero eccesso di pressione. A causa di ciò parte dell'aria più fredda all'interno della stanza sarà costretta ad uscirne. A sinistra del disegno, un diagramma mostra il profilo di

**Figura 2** Profili di pressione A e B. (Graph: Karlsson & Quintiere)

L'asse orizzontale indica la pressione (la pressione maggiore spostandosi verso destra). L'asse verticale indica l'altezza. La linea con l'etichetta  $P_o$  rappresenta la pressione dell'aria esterna. La pressione dell'aria è costituita dal peso dell'aria che grava sulla terra. Più in alto si sale, più rarefatta diventa ("aria sottile" come viene definita nell'alpinismo himalayano *ndt*) e la pressione dell'aria diminuisce. L'inclinazione della linea è ovviamente esagerata, ma questo ha lo scopo di illustrare il fenomeno più chiaramente. La pressione all'interno del compartimento è rappresentata dalla linea denominata  $P_i$ . Il grafico mostra che la pressione all'interno è leggermente superiore a quella esterna. La linea  $P_i$  si trova più verso il lato destro. Ciò che risulta chiaro è che questa linea è in gran parte parallela alla linea  $P_o$ . L'aria all'interno della stanza ha più o meno la stessa temperatura dell'aria esterna. In tal caso anche la pressione diminuisce in modo uguale a seconda dell'altezza. Nel punto in cui  $P_i$  tocca lo strato di fumo all'interno della stanza, la linea devia. La temperatura dello strato di fumo è molto più alta della temperatura dell'aria circostante. La densità del fumo è quindi inferiore. Ciò significa che il fumo pesa meno dell'aria circostante.

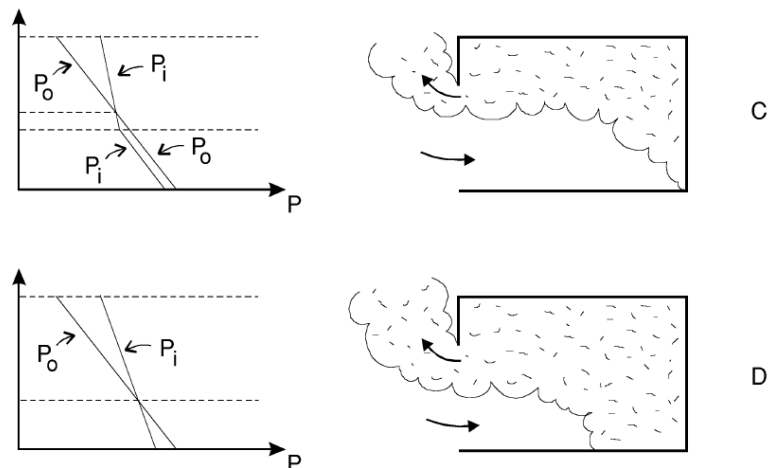
Man mano che il fuoco cresce, avvengono diverse cose. Lo strato di fumo si abbassa. Ciò significa che anche il punto in cui  $P_i$  devia sarà posizionato più in basso. La sovrappressione diminuisce perché l'aria viene espulsa dall'apertura della porta. La linea  $P_i$  scorrerà verso sinistra e sarà posizionata più vicino alla linea  $P_o$  (che rappresenta ancora la pressione dell'aria esterna). Questa linea rimarrà invariata durante l'intero sviluppo dell'incendio.

Successivamente si crea un secondo profilo di pressione nel momento in cui lo strato di fumo scende al di sotto dell'altezza dell'apertura della porta. Questo profilo di pressione si chiama profilo B e dura solo per pochi istanti. In questa fase, l'aria fredda e il fumo caldo passano attraverso l'apertura della porta. Ciò provoca la rapida caduta della sovrappressione all'interno della stanza. Questa è una situazione transitoria che è necessaria solo per consentire la comprensione dello sviluppo successivo.

### 2.3 La fase di sviluppo e quella di incendio generalizzato

L'incendio ha raggiunto la fase di sviluppo. Lo strato di fumo è già sceso parecchio. La temperatura del fumo è aumentata di molto. Il focolaio d'incendio (motore della combustione) consuma una notevole quantità di aria. L'aria all'interno della stanza non è più sufficiente per alimentare le fiamme. Ne viene quindi aspirata dall'altra dall'esterno per alimentare le esigenze della combustione. Si creano quindi le condizioni per il profilo di pressione C.

La linea  $P_i$  (pressione dell'aria all'interno) si sposta ulteriormente verso sinistra. La linea si è spostata così tanto che la pressione dell'aria esterna a livello del suolo è ora maggiore della pressione dell'aria all'interno.



**Figura 3** Profili di pressione C e D (Graph: Karlsson & Quintiere)

A causa dello strato di fumo che scende ancor di più, la deviazione della linea avviene ancor più vicino al livello del suolo rispetto al profilo B. Ora è possibile distinguere chiaramente due distinte zone. Si ha la zona al di sotto dello strato di fumo in cui la temperatura equivale approssimativamente alla temperatura esterna. In questa zona entrambe le linee saranno parallele. La pressione dell'aria diminuirà in modo uguale a seconda dell'altitudine perché la densità è la stessa. A causa del fatto che la pressione interna è inferiore alla pressione esterna, si sta formando un flusso di aria dall'esterno verso l'interno. Questa è la corrente di convezione (air track) che alimenta l'incendio.

La seconda zona è formata dallo strato di fumo. All'interno dello strato di fumo la linea  $P_i$  devia. Ciò significa che la differenza tra la pressione interna e la pressione esterna sta diminuendo. Ad un certo punto la linea che rappresenta la pressione interna ( $P_i$ ) si interseca con la linea che rappresenta la pressione esterna ( $P_o$ ). A questo punto la pressione interna è uguale alla pressione esterna. Questo è definito piano neutro. Tipicamente il piano neutro si trova a circa 10 cm al di sopra della base dello strato di fumo. Questa distinzione ha poca importanza per i vigili del fuoco. In pratica il fondo dello strato di fumo serve da buona indicazione per il piano neutro.

Sopra il piano neutro, entrambe le linee continuano lungo i rispettivi percorsi. Ciò causa una nuova differenza di pressione tra l'interno e l'esterno. La pressione all'interno della stanza è maggiore della pressione esterna. Questa differenza di pressione aumenta in relazione all'altitudine. Più è spesso lo strato di fumo al di sopra del piano neutro, maggiore è la differenza di pressione. Questo non avviene al di sotto del piano neutro. Qui la differenza di pressione rimane costante per tutta l'altezza. Sopra il piano neutro si crea un flusso di fumo. La velocità alla quale questo flusso si muove, aumenta quando il fumo diventa più caldo e quando sale più in alto rispetto al piano neutro. Nel profilo di pressione C vi è un flusso verso l'interno ( $P_o$ ) (corrente di convezione) di aria fresca sottostante e un flusso verso l'esterno di fumo. Questo profilo si manterrà fino al

flashover. Il tempo necessario affinché il flashover accada, dipende dal carico d'incendio e dalle caratteristiche specifiche del compartimento. Come menzionato nei precedenti articoli, questo lasso di tempo si è notevolmente ridotto negli ultimi decenni. L'intervallo di tempo per il verificarsi del flashover richiede in genere da 3 a 4 minuti. L'esperienza ci ha mostrato che, il posizionamento del combustibile all'interno del compartimento e/o la mancanza di ossigeno per effetto di aperture troppo esigue, possono entrambi ritardare il flashover.



**Figura 4** Flusso bi-direzionale in un incendio al chiuso. Il fumo esce dalla parte superiore dell'apertura della porta. L'aria scorre verso l'interno dalla base. (Photo: Nico Speleers)

rappresenta questa pressione non ha più una deviazione. La temperatura all'interno della stanza è molto più alta di quella esterna. Ciò significa che la densità all'interno è molto inferiore a quella esterna. Questo a sua volta fa sì che la pressione diminuisca meno velocemente in base all'altezza. Il punto in cui le 2 linee di pressione si intersecano ora indica il piano neutro. In questo punto la pressione interna è uguale alla pressione esterna. Al di sotto di esso l'aria scorrerà verso l'interno mentre al di sopra, il fumo (e le fiamme) fluiranno verso l'esterno.

Dopo il flashover non ci sono più due zone separate con temperature diverse. Il compartimento è considerato una singola zona con all'incirca la stessa temperatura nell'intero locale. Non esiste più uno strato di fumo definito. La base delle aperture è ancora utilizzata per l'apporto dell'aria fresca, ma lo strato di fumo che era chiaramente distinguibile durante la fase di sviluppo, ora ha riempito completamente il compartimento. Inoltre, il fumo ora è completamente in fiamme. La Figura 3, D mostra il profilo di pressione di questa fase. La pressione dell'aria esterna  $P_o$  è (naturalmente) invariata. Il profilo di pressione all'interno ha assunto una nuova forma. Considerando che la temperatura interna è all'incirca uguale in tutto il locale, la linea che

### 3 Nella pratica?

Il paragrafo precedente descrive le differenze di pressione e come si innesca la corrente di convezione. Sono stati poi descritti i diversi profili di pressione che si possono avere in un incendio di compartimento. È possibile applicare queste conoscenze mentre si "legge" un incendio reale. Il percorso seguito dal fumo dalla sede del focolaio principale verso l'esterno è chiamato "flow path". Una buona osservazione della corrente di convezione combinata con le conoscenze sullo sviluppo degli incendi portano ad avere a portata di mano una grande quantità di informazioni sull'incendio in atto (È importante ricordare che ci si riferisce a piccoli compartimenti. Questo significa locali al di sotto di 70 m<sup>2</sup> con altezza del soffitto che non deve superare i 4 metri).

### 3.1 Altezza dello strato di fumo

L'altezza dello strato di fumo ci può dare delle informazioni sulla fase di sviluppo dell'incendio. Se ci dovesse essere solo uno strato di fumo al soffitto, è probabile che si sia ancora nella fase iniziale, anche se non si può esserne certi al 100%. Questo perché potrebbe esservi un'apertura di scarico da qualche parte nella parte sommitale. Questo influenza la normale stratificazione del fumo.

Se invece lo strato di fumo ha raggiunto uno spessore di circa 1 metro, significa che il fuoco ha raggiunto la fase di sviluppo. Recenti studi hanno dimostrato che il tempo necessario affinché un incendio ventilato raggiunga il flashover è compreso tra i due e i quattro minuti. Mentre l'incendio si sviluppa ulteriormente verso il flashover, lo strato di fumo scenderà ulteriormente.

Quando lo strato di fumo si è abbassato ad 1 metro dal livello del pavimento, l'incendio si sarà avvicinato molto al flashover. L'evoluzione dell'altezza dello strato di fumo (e del piano neutro che si trova un po' più in alto) è un buon indicatore che può essere utilizzato per valutare sia la velocità con cui un incendio si espande che il rischio di un flashover.

### 3.2 Velocità dei flussi

L'inizio di questo articolo spiega come si crea un flusso a causa della differenza di temperatura. Maggiore è il delta di temperatura, più veloce sarà il flusso. Quando il fumo inizia a scorrere molto velocemente, la turbolenza diventa chiaramente visibile. Osservando la velocità del flusso è possibile valutare l'intensità del fuoco. Un fuoco intenso produrrà più calore. Questo calore porterà ad una maggiore differenza di temperatura. Questo a sua volta provocherà un flusso più veloce. È quindi possibile dedurre se un incendio è ben sviluppato o meno dalla velocità del flusso. Questo è anche un'indicazione di quale fase di sviluppo sia l'incendio.

### 3.3 Dov'è l'incendio?

La corrente di convezione ci può essere d'aiuto per individuare la posizione dell'incendio. Il fumo fluisce via dall'incendio. Osservando il fumo è possibile determinare (magari con l'uso di una termocamera) in quale direzione scorre il fumo. Se si seguisse il fumo fino a monte, si potrebbe risalire alla sede del focolaio.

Si può determinare anche l'esatto contrario: quando una porta viene aperta in una stanza e il fumo non si muove, questo probabilmente significa che la stanza è (era) non collegata al locale che contiene il fuoco.

Ovviamente è anche necessario tener conto della possibilità di non essere stati nel flow path prima di aprire la porta. Solo dopo aver aperto la porta si innescherà il movimento. Questo flusso potrà fornire delle utili informazioni sulla posizione del fuoco senza dimenticare però che questa corrente di convezione appena creata fornirà al fuoco una quantità maggiore di ossigeno.

#### 4 Bibliografia

- [1] *Enclosure fire dynamics*, Bjorn Karlsson & James Quintiere, 2000
- [2] *Binnenbrandbestrijding*, Koen Desmet & Karel Lambert, 2008 & 2009
- [3] Shan Raffel, [www.cfbt-au.com](http://www.cfbt-au.com)
- [4] Ed Hartin, [www.cfbt-us.com](http://www.cfbt-us.com)