

# INTERAZIONI TRA FUMI E SISTEMI SPRINKLER

## Analisi fluidodinamica durante un incendio

Simone Favrin<sup>a</sup>, Alessandro Parente<sup>b</sup>, Marco Derudi<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Politecnico di Milano, Dip. di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica “G. Natta”, Milano, Italy

<sup>b</sup> Université Libre de Bruxelles, Service d'Aéro-Thermo-Mécanique, Bruxelles, Belgium

[simone.favrin@polimi.it](mailto:simone.favrin@polimi.it), [alparent@ulb.ac.be](mailto:alparent@ulb.ac.be), [marco.derudi@polimi.it](mailto:marco.derudi@polimi.it)

### INTRODUZIONE

Gli incendi in galleria costituiscono uno degli scenari incidentali di maggior rischio e sono stati oggetto di ampi studi in letteratura, volti ad indagarne lo sviluppo o l'influenza di vari parametri, come ad esempio l'effetto delle ostruzioni sulla velocità critica di ventilazione. Uno sviluppo minore è invece riscontrabile per quanto riguarda l'utilizzo e gli effetti di impianti di tipo sprinkler per migliorare la sicurezza dei tunnel stradali. Un esempio recente è costituito dallo studio di Zheng e Ingason [1], in cui l'impiego di *sprinkler* è stato testato su una riproduzione in scala di una galleria stradale.

Questo studio si propone di indagare l'interazione tra i fumi e i sistemi antincendio fissi ad acqua in galleria, problema che risulta essere tutt'ora non completamente risolto.

### 1 MATERIALI E METODI

#### 1.1 Fluid Dynamic Simulator

Per condurre l'analisi è stato utilizzato il *software* Fire Dynamic Simulator (FDS), sviluppato dal National Institute of Standards and Technology (NIST) [2]. FDS è un solutore LES, in grado di affrontare problemi tipici della prevenzione incendi. Tra le sue caratteristiche peculiari, va ricordata la necessità di descrivere la geometria con una griglia strutturata, l'assenza di interfaccia grafica per il *preprocessing* e la presenza di un visualizzatore grafico per il *postprocessing*, Smokeview, molto utile nella fase di analisi delle simulazioni.

### 2 IL CASO STUDIO

#### 2.1 Il tunnel “APTE”

Il caso studio che è stato utilizzato è descritto nel lavoro sperimentale di Apte et al. (1991) [3], caso che è stato oggetto di varie analisi e convalide di modelli di fluidodinamica computazionale, come quelle di Wang [4] o di Tavelli et al. (2013) [5]. In Figura 1 viene riportato lo scenario sperimentale, con evidenziate le posizioni degli *sprinkler* aggiunti in questo studio.

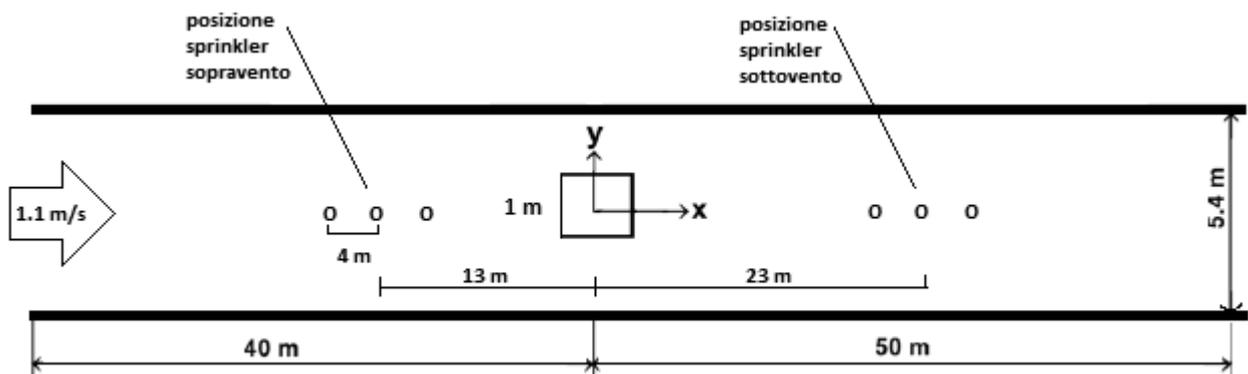


Fig. 1. Schema del test 'Apte', modificato con l'introduzione di due gruppi di Sprinkler

Si tratta di un tunnel minerario (dimensioni caratteristiche 90.0 m x 5.4 m x 2.4 m) in cui sono state svolte delle prove per valutare gli effetti della ventilazione longitudinale sulla dinamica di un incendio da pozza, con potenze variabili tra 2 e 2.5 MW. In particolare nel lavoro di Apte et al. [3] era stato evidenziato lo sviluppo marcato di un fenomeno di *backlayering*.

Il termine *backlayering* indica un fenomeno per cui si ha una retrodiffusione di fumo e gas caldi in direzione opposta a quella della ventilazione forzata; è un fenomeno tipico degli incendi nei tunnel e ha grandi implicazioni nella gestione delle emergenze di questi eventi.

Partendo dalla convalida del modello FDS contenuta nel lavoro di Tavelli et al. [5], si è potuto modificare la configurazione originale e sviluppare un caso ‘*ad hoc*’ per osservare l’interazione degli impianti fissi antincendio con i fumi prodotti dall’incendio. Si è deciso di osservare l’interazione in due differenti aree della galleria; una in cui si ha sviluppo del fenomeno del *backlayering* (sopravento), l’altro nella parte in cui la ventilazione trasporta i fumi (sottovento).

## 2.2 Impostazioni delle simulazioni e prove svolte

Poiché lo scopo del lavoro era osservare l’interazione tra fumi e impianto antincendio nelle due diverse aree, si è selezionata una velocità della ventilazione che fosse sufficientemente ridotta da permettere lo sviluppo della retrodiffusione. Il valore utilizzato è stato di 1.1 m/s per una potenza termica sviluppata dall’incendio pari a 2 MW. In Figura 2 è riportato il dominio implementato in FDS con una visualizzazione parziale della griglia di calcolo, strutturata coerentemente con la convalida di Tavelli et al. [5].

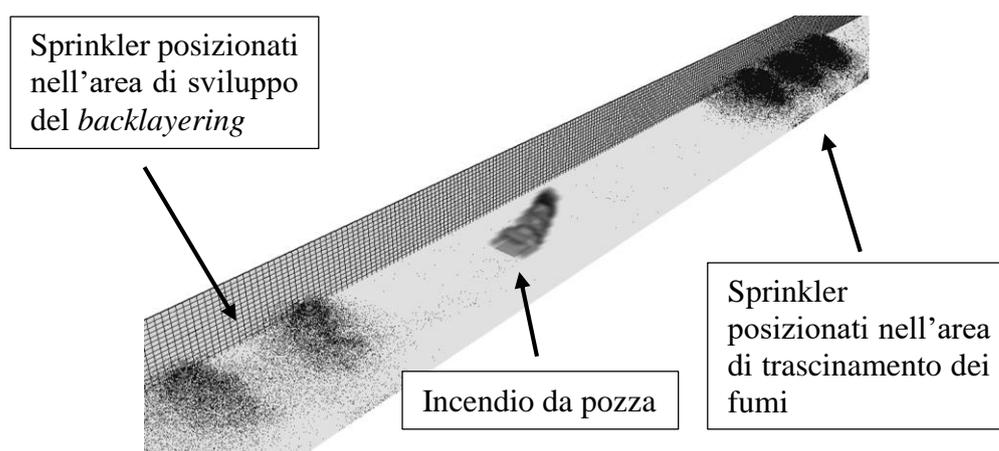


Fig. 2. Modellazione del caso studio in FDS

Durante questa analisi, si sono svolte tre differenti prove, la prima senza alcuna attivazione dei sistemi antincendio (‘Dry’), una seconda con una densità di acqua adeguata a controllare gli effetti di un incendio e impedire un’eventuale diffusione delle fiamme (‘Wet’) e l’ultima con una portata di acqua doppia rispetto al caso precedente (‘Wet2’). In quest’ultimo test, la portata utilizzata corrisponde a circa 2.4 lpm/m<sup>2</sup> che per incendi di modeste dimensioni è considerata come idonea all’estinzione [6]. I test condotti sono riassunti in Tabella 1.

Tabella 1. Test effettuati

| Test   | Potenza totale | Velocità ventilazione | Portata sprinkler        |
|--------|----------------|-----------------------|--------------------------|
| ‘DRY’  | 2 MW           | 1.1 m/s               | - lpm (litri per minuto) |
| ‘WET’  | 2 MW           | 1.1 m/s               | 60 lpm                   |
| ‘WET2’ | 2 MW           | 1.1 m/s               | 120 lpm                  |

### 3 RISULTATI E DISCUSSIONE

Nelle figure successive sono riportati e discussi gli andamenti di alcune variabili caratteristiche per la valutazione delle condizioni di sicurezza per gli eventuali occupanti del tunnel. I risultati riportati sono ottenuti lungo l'asse del tunnel, ad 1.6 metri di altezza dal piano stradale e sono stati mediati sul tempo per 50 s, una volta raggiunto lo stato stazionario.

#### 3.1 Visibilità

La prima variabile analizzata è la visibilità, che costituisce un aspetto fondamentale per garantire una corretta evacuazione delle persone dall'ambiente in caso di incendi.

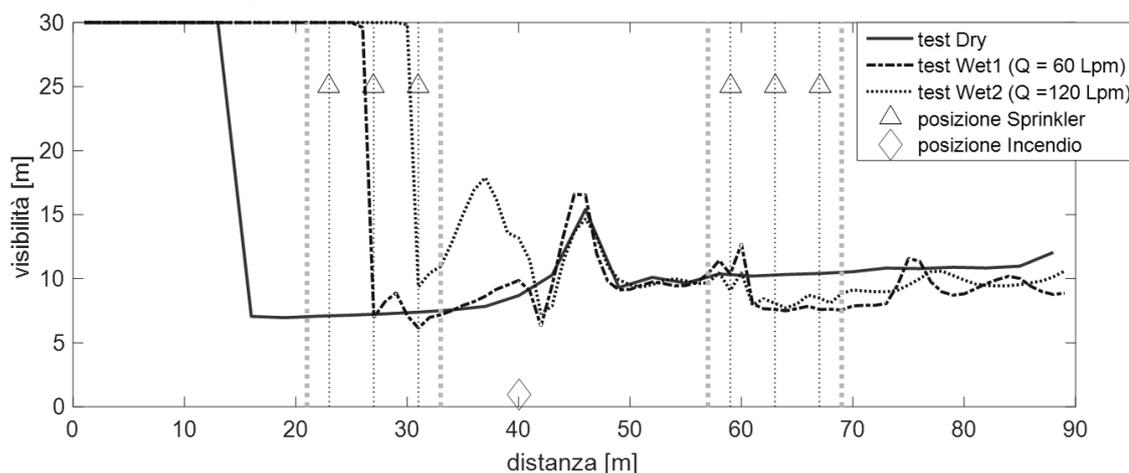


Fig. 3. Visibilità lungo l'asse del tunnel ad 1.60 m dal suolo

Gli andamenti riportati in Fig. 3 mostrano chiaramente come gli sprinkler introducano effetti differenti nelle due aree di interesse: nella zona antistante l'incendio, in cui si sviluppa la retrodiffusione, i sistemi ad acqua hanno un effetto di barriera ed impediscono lo sviluppo completo del *backlayering*, che nel caso 'Dry' ha un'estensione di oltre 25 m, mentre la differente circolazione dell'aria causata dalla portata di acqua scaricata arrestano la propagazione dei fumi in pochi metri dall'inizio dell'area coperta. Nell'area a valle dell'incendio invece l'introduzione degli sprinkler causa una parziale riduzione della visibilità, generata dall'alterazione della stratificazione naturale dei fumi.

#### 3.2 Temperatura

I risultati di Figura 4 evidenziano innanzitutto l'efficienza degli *sprinkler* nel ridurre la temperatura lungo tutto il tunnel e in secondo luogo confermano l'aumento di miscelazione tra aria e i fumi indotta dagli *spray* d'acqua, osservabile nelle oscillazioni che caratterizzano i risultati dei test con *sprinkler* attivi.

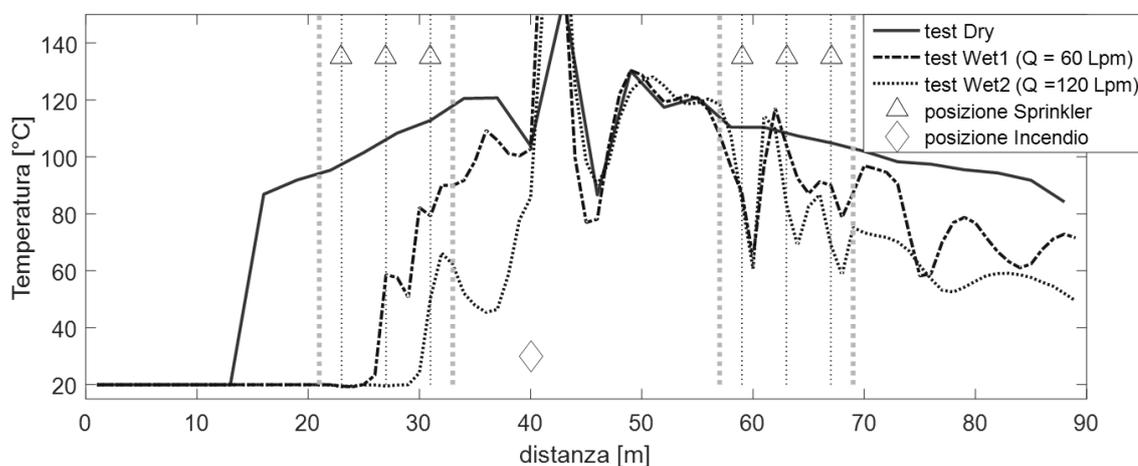


Fig. 4. Andamento della temperatura lungo l'asse del tunnel ad 1.60 m dal suolo

### 3.3 Concentrazione di Ossigeno

Garantire concentrazioni di ossigeno adeguate durante le fasi di evacuazione è un punto cruciale che può ridurre sensibilmente il tempo che si ha a disposizione per permettere l'allontanamento delle persone coinvolte nell'incendio.

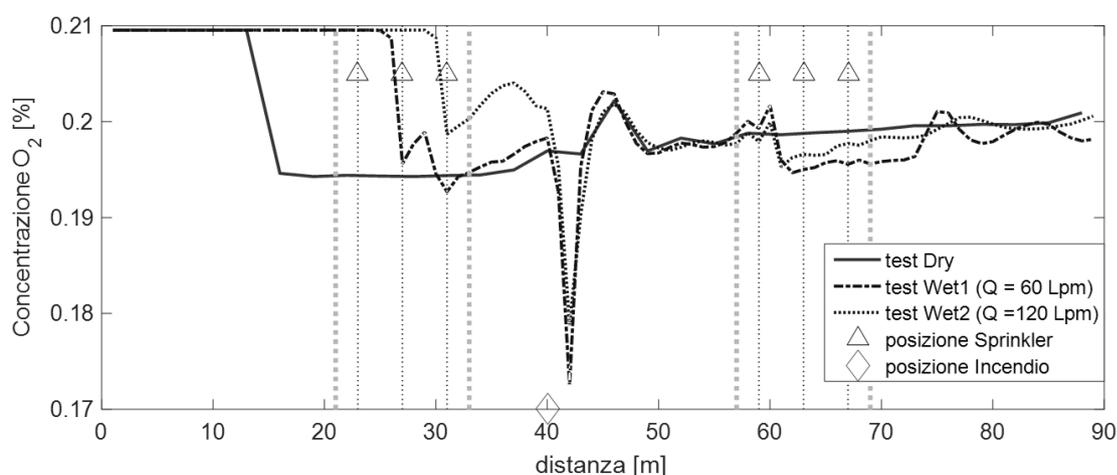


Fig. 5. Andamento della concentrazione di ossigeno lungo l'asse del tunnel ad 1.60 m dal suolo

In Figura 5 si può osservare come anche le concentrazioni di ossigeno siano migliori nell'area del *backlayering* grazie all'effetto schermante degli *sprinkler*, mentre nella parte di trascinamento dei fumi la miscelazione indotta causa una riduzione della concentrazione media misurata.

## 4 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

L'analisi condotta ha evidenziato come i gli effetti degli *sprinkler* sui fumi prodotti da un incendio si registrino maggiormente nella parte sopravento del tunnel, in corrispondenza della zona di sviluppo del fenomeno di *backlayering*. In particolare, l'introduzione degli *sprinkler*, anche con portate modeste di acqua, arresta la retrodiffusione dei fumi, aumentando l'area di evacuazione sicura. L'effetto introdotto in questa area sembra essere proporzionale alla portata di acqua scaricata.

Conclusioni differenti emergono per la parte di galleria sottovento alle fiamme, in cui l'introduzione degli *sprinkler* sviluppa effetti noti in letteratura come un incremento di miscelazione tra fumi e aria con una conseguente riduzione dei livelli di ossigeno e di visibilità. In questa parte dello scenario i risultati sembrano essere indipendenti dalla portata di acqua irrorata dagli impianti antincendio.

Sviluppi futuri comprenderanno prove più dettagliate al fine di valutare la possibilità di ridurre i ratei di ventilazione sfruttando l'effetto di barriera prodotto dagli *sprinkler*, garantendo ugualmente un contenimento degli effetti di *backlayering*.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Y. Zheng Li e I. Jaukur, «Model scale tunnel fire tests with automatic sprinkler,» *Fire Safety Journal*, 61, 298-313, 2013.
- [2] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk e K. Overholt, *Fire Dynamics Simulator, User's Guide, Sixth Edition*, NIST Special Publication 1019, 2013.
- [3] V. Apte, A. Green e J. Kent, «Pool Fire Plume Flow in a Large-Scale Wind Tunnel,» *Proceedings of the 3rd International Symposium on Fire Safety Science*, 425-434, 1991.
- [4] H. Wang, «Prediction of soot and carbon monoxide production in a ventilated tunnel fire by using a computer simulation,» *Fire Safety Journal*, 44, 394-406, 2009.
- [5] S. Tavelli, M. Derudi, A. Cuoci e A. Frassoldati, «Numerical Analysis of Pool Fire Consequences in Confined Environments,» *Chemical Engineering Transactions*, 31, 127-132, 2013.
- [6] K. Harris e P. Brinckerhoff, «Water application rates for fixed fire fighting systems in road tunnels,» in *Proceedings of 4<sup>th</sup> International Symposium on Tunnel Safety*, Frankfurt am Main, 352-363, 2010.