

Cristiano Vergani  
Responsabile R & D  
Deparia Engineering S.r.l.  
E-mail: [cvergani@geocities.com](mailto:cvergani@geocities.com)

## **Ventilazione nelle gallerie in caso di incendio**

*L'incendio nel traforo del Monte Bianco, con le sue gravissime conseguenze, ci dimostra che ancora molto resta da fare per garantire un adeguato livello di sicurezza all'interno delle gallerie stradali: uno degli aspetti più delicati riguarda la ventilazione forzata, necessaria per un corretto ricambio dell'aria, ma da dosare con attenzione in caso di incendio.*

Decine di vittime, danni economici ingentissimi (per ora neppure quantificabili con precisione), chiusura del traforo per almeno 6 mesi: questo il terribile bilancio dell'incendio che a fine marzo ha devastato lo storico tunnel stradale tra Italia e Francia. Costruita nel 1965, la galleria di 11.600 metri che unisce Entreves a Chamonix è stata progettata e realizzata per sostenere un volume di traffico molto inferiore a quello sopportato negli ultimi anni, con punte di oltre 2000 veicoli pesanti al giorno. Colonne interminabili di autotreni a non più di cinque metri di distanza l'uno dall'altro, lanciati a 80 km all'ora su corsie larghe quattro metri e mezzo. Una situazione di costante pericolo, più volte denunciata a vari livelli, sia in Italia che in Francia; carenze in merito alla sicurezza in generale, mancanza di coordinamento tra le due distinte società di gestione, italiana e francese, nonché tra i rispettivi servizi antincendio; normative inadeguate ed insufficienti; questi gli ingredienti di una miscela esplosiva destinata prima o poi ad esplodere, come è puntualmente avvenuto. L'incendio si è sviluppato all'incirca nel mezzo del tunnel, in territorio francese, a partire da un TIR belga carico di margarina. Sembra che almeno un altro dei mezzi pesanti coinvolti tra-

sportasse merci altamente infiammabili: di fatto, nel volgere di pochissimi minuti, le fiamme si sono alzate violentissime ed un fumo denso ed acre ha invaso la galleria, trasformata in una trappola senza scampo. La temperatura è rapidamente salita a valori estremamente elevati (le prime stime dicono oltre i 1200° C), mantenendosi su questi livelli per moltissimo tempo, rendendo purtroppo vane le speranze di salvezza delle persone riparate all'interno dei rifugi anti-incendio, progettati per resistere non più di due ore.

Un rapporto del Servizio Dipartimentale degli incendi e della sicurezza (Sdis) dell'Alta Savoia avrebbe espresso in passato "riserve e raccomandazioni" in merito all'evacuazione delle persone e all'intervento dei mezzi di soccorso in caso di incidente nel tunnel, ritenendo insufficienti le strutture di sicurezza ed inadeguato l'impianto di ventilazione al fine evacuare rapidamente il fumo di un incendio. Su quest'ultimo aspetto riteniamo utile soffermarci, in quanto la ventilazione delle gallerie comporta una serie di problemi peculiari di difficile soluzione: infatti, è essenziale ventilare adeguatamente per garantire una efficace diluizione degli inquinanti e del fumo in caso di incendio ma, allo stesso tempo, si devono assolutamente evitare eccessi di ventilazione in situazioni critiche. Esaminando le conseguenze di alcuni gravi incendi verificatesi nel recente passato, oltre a quello del traforo del Monte Bianco (Eurotunnel sotto la Manica, 1996; tunnel stradale giapponese di Nihonzaka, 1979; stazione King Cross della metropolitana londinese, 1987), le perizie hanno constatato danni molto più ingenti di quelli previsti dai correnti modelli sperimentali. Questo fatto sta portando ad una profonda revisione degli standard che riguardano le misure di sicurezza ed i criteri stessi di progettazione delle gallerie, impianti di ventilazione compresi. In ambito europeo, numerosi sono i gruppi di lavoro impegnati nella verifica, tramite complessi test, della dinamica degli incendi nei tunnel (Eureka – EU 499 Firetun project). In particolare si stanno cercando di definire le regole che porteranno all'emanazione di una nuova specifica normativa europea. Uno degli aspetti più critici è proprio rappresentato dall'influenza della ventilazione sulla dinamica degli incendi: infatti, da un lato è necessa-

rio evacuare i fumi nel modo più efficace possibile, dall'altro bisogna evitare di alimentare eccessivamente le fiamme per contenere lo sviluppo di calore e limitare, per quanto possibile, la propagazione dell'incendio tra i veicoli incolonnati. Nella figura 1 è possibile vedere lo schema di un semplice modello sperimentale usato per determinare la distanza minima obbligatoria da tenere tra veicolo e veicolo per limitare il rischio di propagazione. In ogni incendio, il calore sviluppato dipende dalla volatilizzazione del combustibile (che a sua volta dipende dalla temperatura locale) e dalla disponibilità di ossigeno: se l'incendio avviene in uno spazio a ventilazione forzata, lo sviluppo di calore sarà in funzione della velocità dell'aria. Fino a poco tempo fa, si riteneva che un veicolo pesante in fiamme all'interno di un tunnel potesse avere un tasso di emissione di calore pari a 20 MW e su questo valore si sono basati per molti anni progettisti di gallerie ed esperti di sicurezza: studi più recenti hanno innalzato questo valore fino a 130 MW. Ne consegue che gli standard e le raccomandazioni tecniche attuali non sono adeguate a garantire un sufficiente livello di sicurezza. Per maggior chiarezza, nelle figure 2 e 3 sono riportati rispettivamente lo schema di un test di incendio in galleria ed il grafico del tasso di emissione del calore in funzione della velocità dell'aria. In questo esperimento è stato incendiato un veicolo pesante con il pieno di gasolio, carico di due tonnellate di mobili coperti da un telo in materiale plastico, rilevando quindi l'emissione di calore a diverse velocità dell'aria. Come si può vedere dal grafico e dalla tabella 1, dopo 15 minuti il calore emesso ha raggiunto un massimo di 120,1 MW: a questo punto la ventilazione è stata fermata e il calore è sceso a circa 60 MW; riavviando la ventilazione forzata al 50% della velocità iniziale, il calore è risalito fino ad un nuovo massimo di 128,3 MW. Il tasso di emissione di calore è stato rilevato analizzando la composizione dei gas di combustione (rapporto  $CO/CO_2$ ). Nelle figure 4 e 5 troviamo invece descritto un test simile ma eseguito in assenza di ventilazione forzata, utilizzando un veicolo fittizio costituito da un accumulo di materiali equivalenti come massa e potenzialità combustibile ad un autoarticolato (2212 kg di legname miscelato a 310 kg di plastica, co-

perto da 332 kg di pneumatici). In questo caso l'emissione di calore è stata molto più contenuta, fermandosi a 17 MW. E' evidente perciò come l'entità della ventilazione forzata sia in grado di influenzare pesantemente il massimo sviluppo di calore. Le figure 6 e 7 si riferiscono ad un test effettuato con dei modelli in scala 1:3 allo scopo di simulare un incidente sovrapponibile a quello nel tunnel sotto la Manica nel 1996: l'incendio di un convoglio formato da un locomotore, una carrozza passeggeri, un carrello vuoto, un carrello con un autoarticolato ed un carrello di coda con una motrice a bordo. Il fuoco è stato appiccato all'autoarticolato, ventilando inizialmente il tunnel di prova ad una velocità di  $3,7 \text{ ms}^{-1}$ . In queste condizioni il calore emesso è stato di 10 MW (valori corrispondenti a  $6,3 \text{ ms}^{-1}$  e 156 MW se normalizzati per le dimensioni reali). Dopo 15 minuti la ventilazione è stata ridotta a  $1,5 \text{ ms}^{-1}$  e il calore è sceso a 7,4 MW (rispettivamente  $2,5 \text{ ms}^{-1}$  e 115 MW normalizzati). Dopo ulteriori 10 minuti la velocità dell'aria è stata portata a  $1 \text{ ms}^{-1}$ , con un calore emesso pari a 4,3 MW (pari a  $1,7 \text{ ms}^{-1}$  e 67 MW).

L'analisi dei dati forniti da questi test dimostra che, a parità di condizioni, il tasso di ventilazione nei tunnel è un fattore determinante per modulare l'intensità degli incendi: il proseguimento delle ricerche permetterà di individuare nuove metodologie per il controllo automatico della ventilazione delle gallerie, in modo da mantenere, se possibile, una velocità dell'aria sufficiente all'evacuazione del fumo ma, allo stesso tempo, in grado di contenere l'emissione di calore in modo da evitare la propagazione delle fiamme da un veicolo all'altro, sempre che si riesca a far mantenere le necessarie distanze di sicurezza.

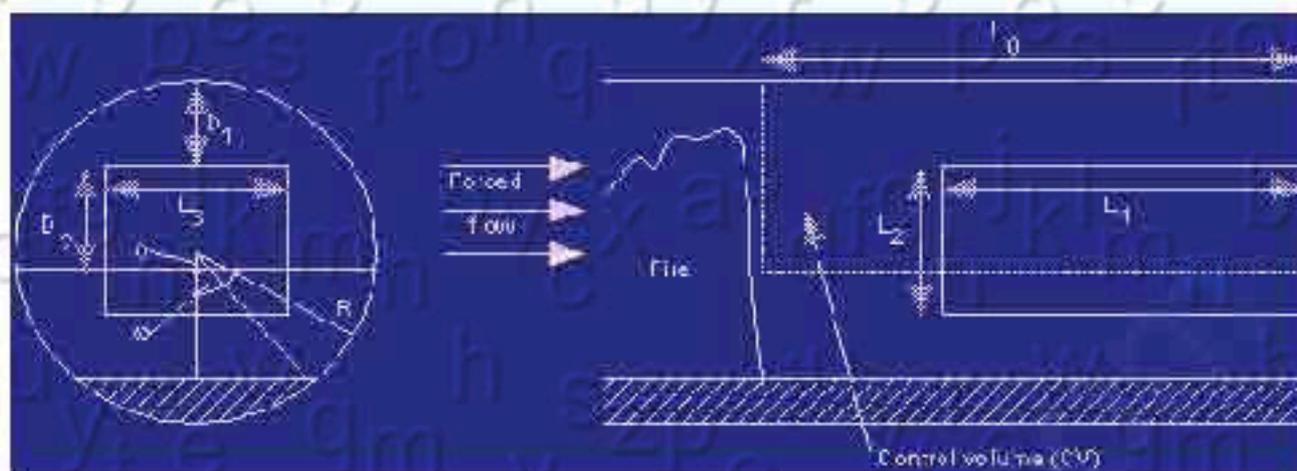


Figura 1

Modello sperimentale usato per studiare la propagazione degli incendi da veicolo a veicolo all'interno di un tunnel: il rischio di propagazione segue una legge non-lineare e dipende dalla distanza dal fronte delle fiamme, dalla velocità dell'aria di ventilazione e dall'energia termica sviluppata dall'incendio. Test di questo tipo servono a stabilire quale debba essere la distanza minima obbligatoria da tenere tra i veicoli incolonnati.

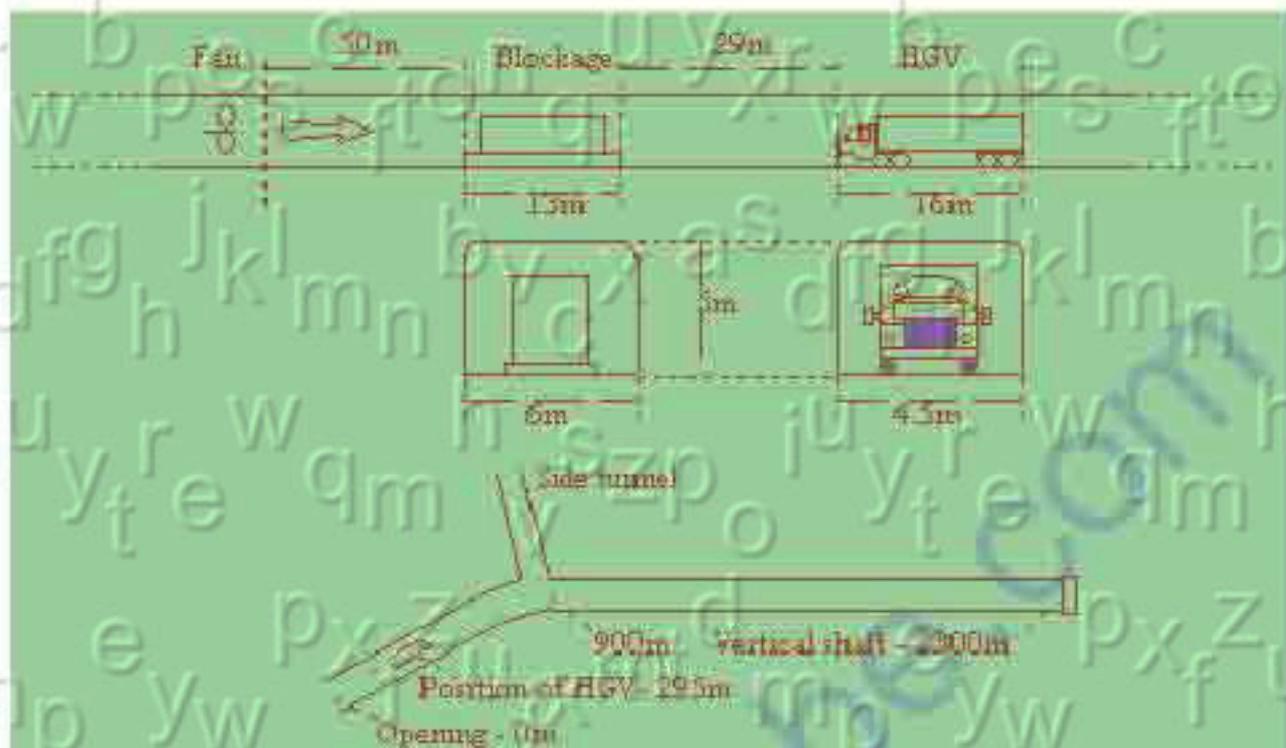


Figura 2

Schema di un test basato sull'incendio di un autoarticolato: una trentina di metri davanti al veicolo è stato posto un blocco di volume equivalente, per simulare gli effetti perturbanti sul flusso d'aria che derivano dagli incolonnamenti.

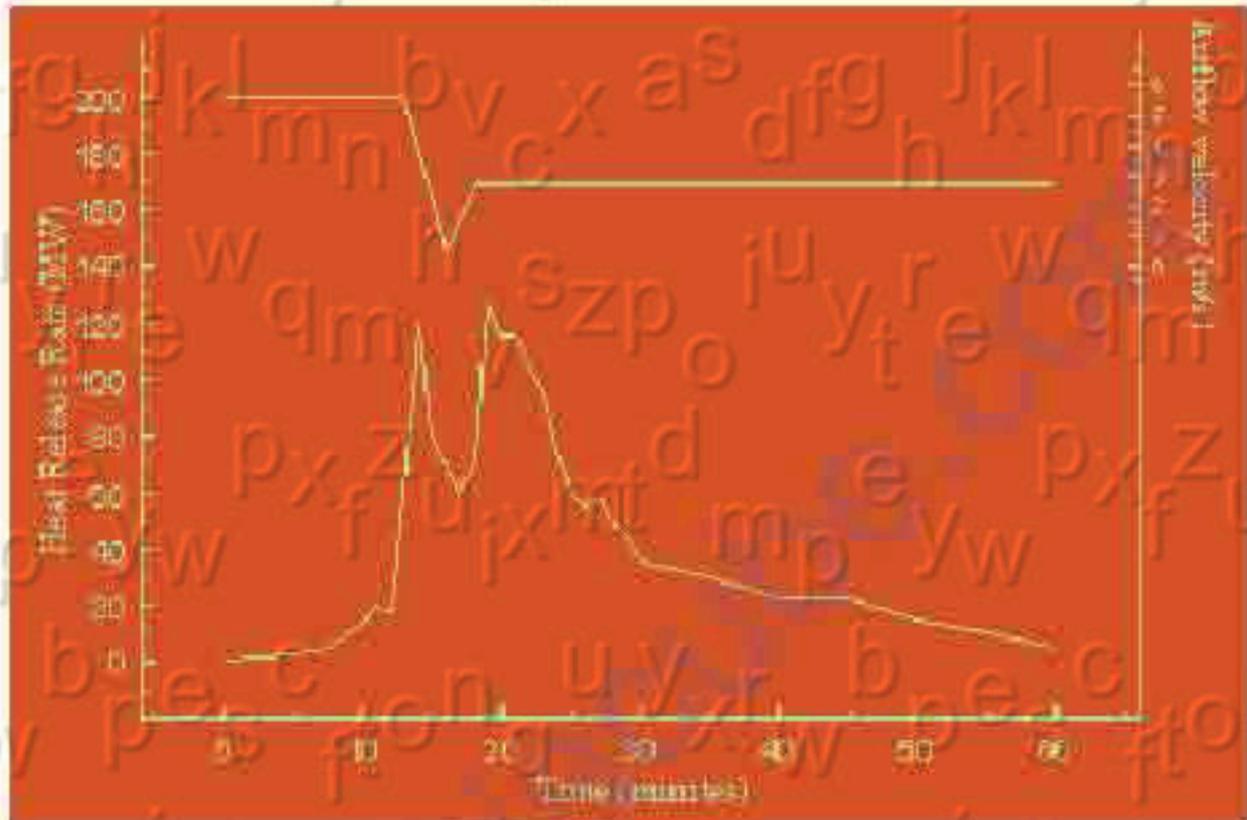


Figura 3

Andamento dell'emissione di calore in funzione della velocità dell'aria di ventilazione: come si può vedere, alte velocità portano ad uno sviluppo di calore estremamente intenso.

<b>Evento</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>HRR (Heat release rate - MW)</b>	<b>Flusso d'aria (ms<sup>-1</sup>)</b>
Fuoco in cabina	0:00	n.m.	6,0
Esplosione finestrina	2:30	2	6,0
Esplosione parabrezza	9:00	10	6,0
Fiamme uscenti dalla cabina	10:00	15	6,0
I mobili iniziano a bruciare	12:00	20	6,0
Ventilazione fermata	13:30	100	6,0
Intero carico in fiamme	14:00	120	In diminuzione
Riparte ventilazione	16:30	60	0,5
Massima intensità incendio	20:00	128	2,9
Inizio della riduzione delle fiamme	30:00	40	2,9
Incendio virtualmente estinto	60:00	n.m.	2,9

Tabella 1

Andamento temporale degli eventi nell'esperimento illustrato nelle figure 2 e 3

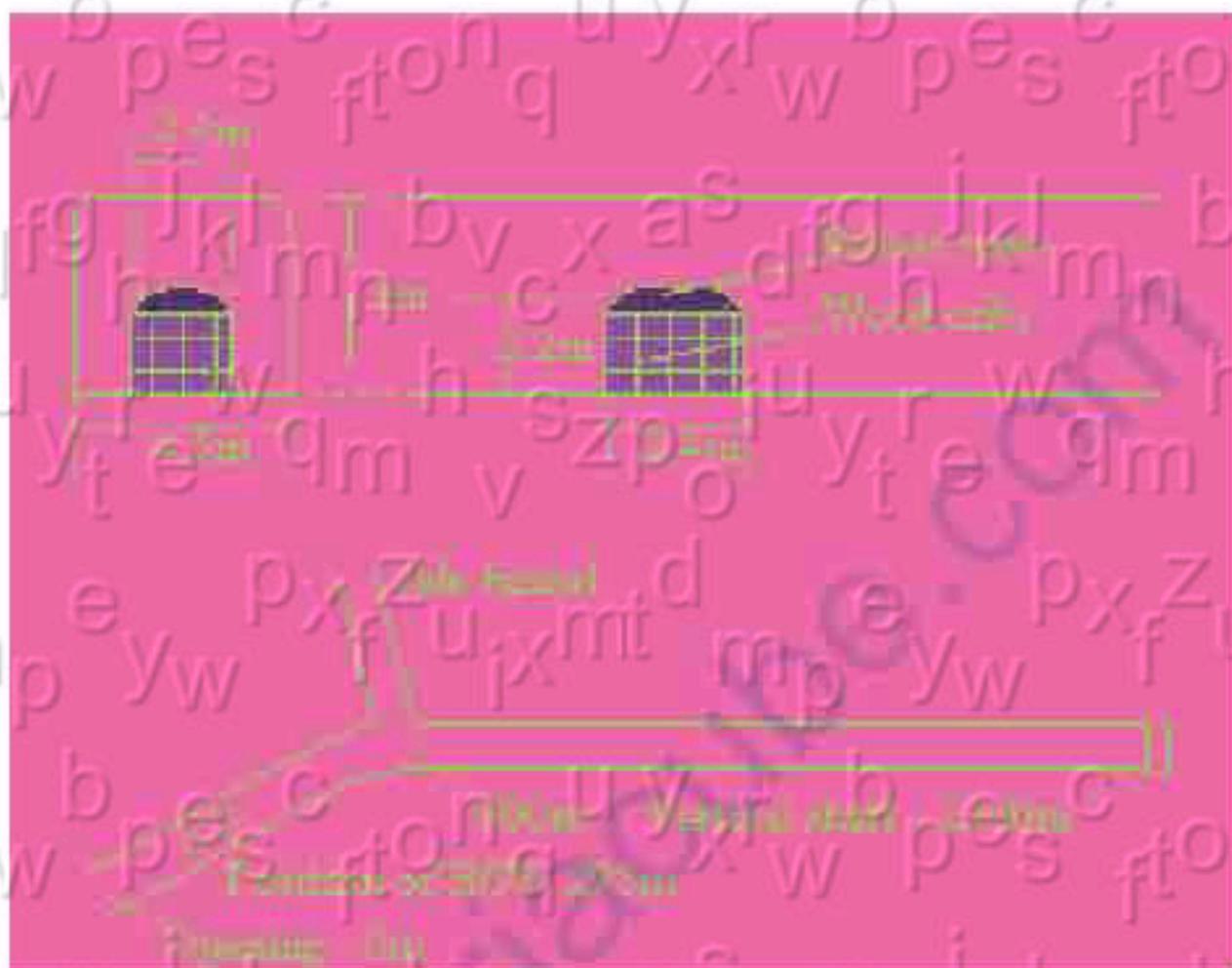


Figura 4

In questo test, al posto di un vero autoarticolato, è stato usato un "simulacro" formato da una massa di materiali equivalenti come capacità di combustione.

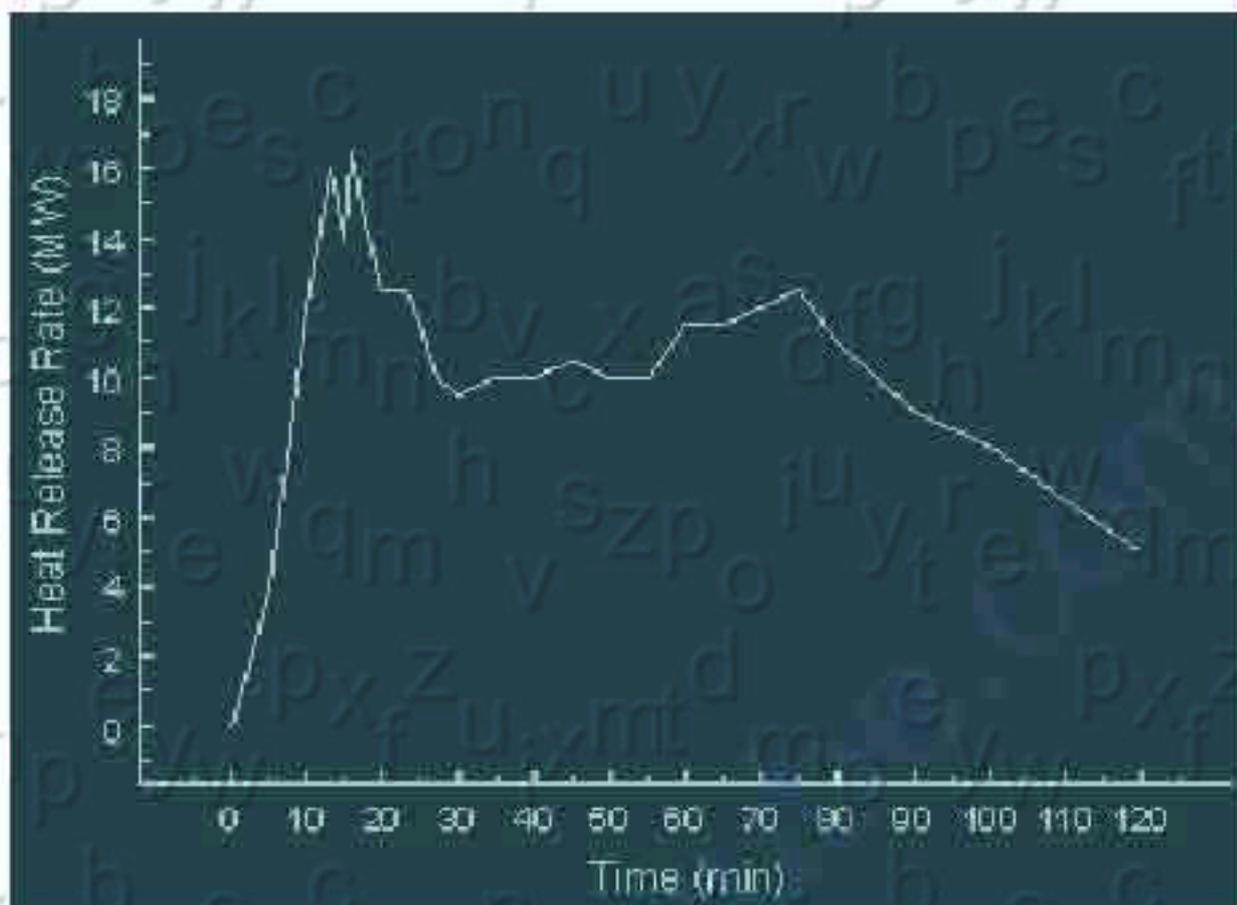


Figura 5

Questa volta, il test è stato condotto con una velocità dell'aria costante a  $0,5 \text{ ms}^{-1}$ ; in questo modo lo sviluppo di calore è stato molto contenuto, al di sotto dei 17 MW.

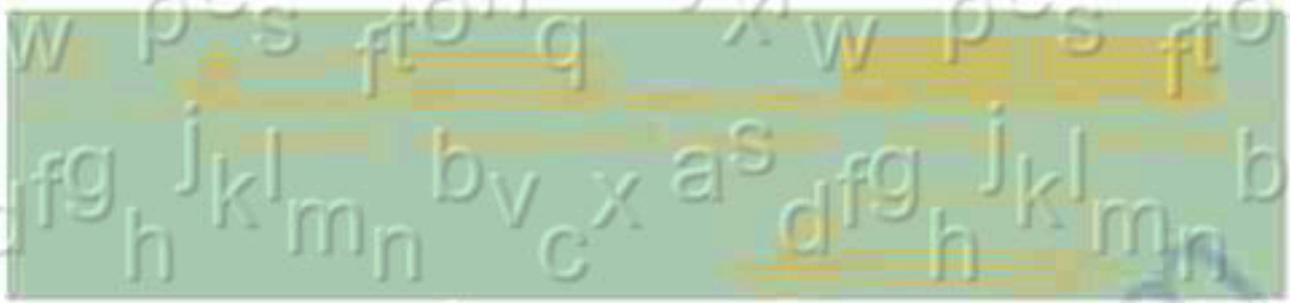


Figura 6

Convoglio in scala 1:3 costruito per simulare un incendio simile a quello che si sviluppò il 18 novembre del 1996 nell'Eurotunnel sotto la Manica.

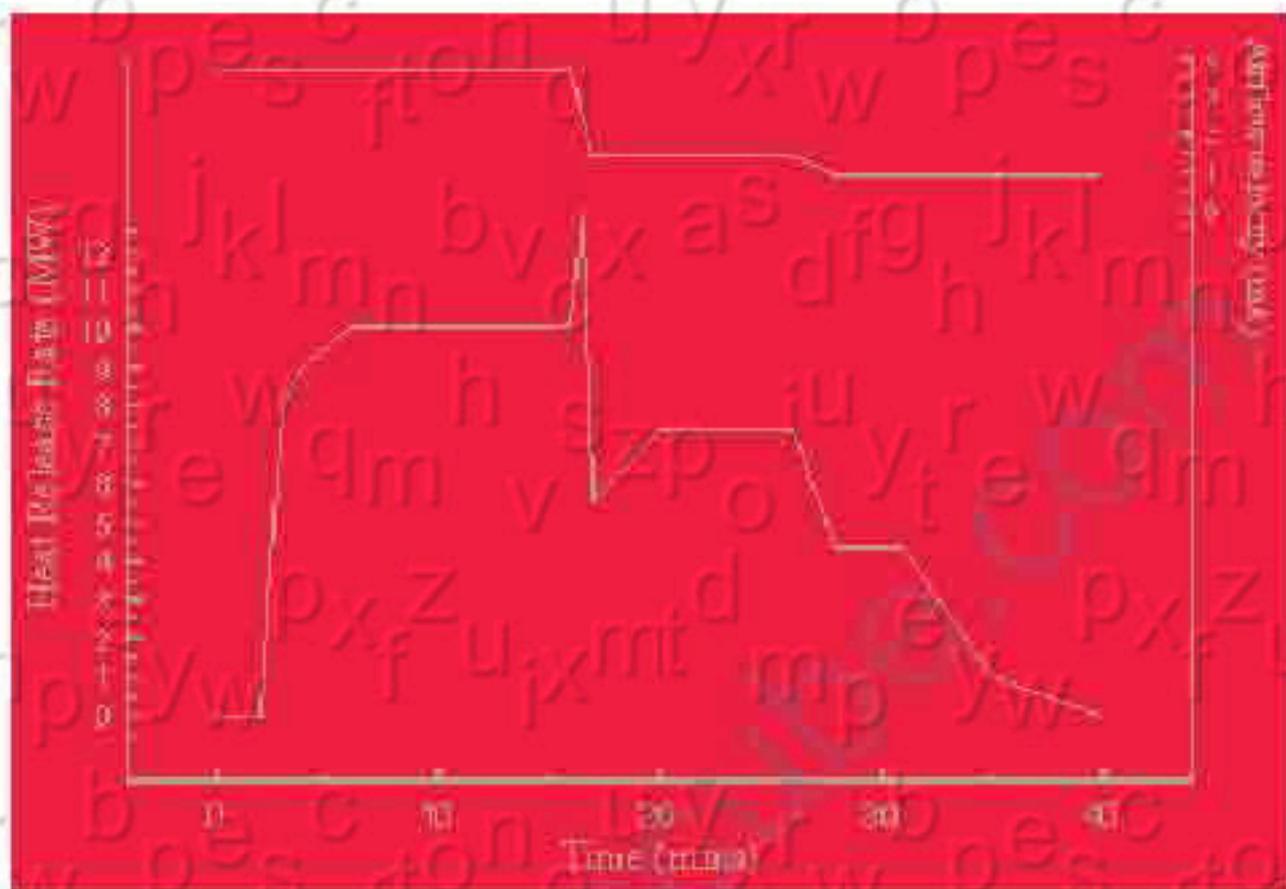


Figura 7

Andamento dell'emissione di calore e della velocità dell'aria nell'incendio test del convoglio ferroviario della fig.6: i valori normalizzati per un convoglio di dimensioni reali sono riportati nel testo.

### **La ventilazione nelle gallerie**

In genere, per lunghezze inferiori a 300-400 m si ricorre solo alla ventilazione naturale, dovuta ai gradienti termici e di pressione tra le imboccature: per lunghezze superiori e nel caso di gallerie subacquee la ventilazione artificiale diventa indispensabile. La ventilazione si può effettuare secondo tre diversi sistemi fondamentali: *longitudinale*, *trasversale* e *semitrasversale*. Nel sistema longitudinale, l'aria entra attraverso i portali e tramite pozzi collocati a meno di 800 m l'uno dall'altro. L'aria viziata viene estratta per mezzo di potenti ventilatori assiali dotati di pale a passo variabile. Con questo sistema la velocità dell'aria può assumere valori molto elevati, pericolosi in caso di incendio. Nel sistema trasversale, invece, l'aria fresca viene trasportata da una condotta posta nella parte inferiore della galleria ed immessa per mezzo di bocchette disposte al piano stradale; l'aria viziata viene evacuata da una condotta situata in calotta. Si tratta di un metodo efficace ma molto costoso. Il terzo metodo consiste nell'utilizzo di condotte sotto il piano stradale, sia per l'apporto di aria fresca che per l'evacuazione dell'aria viziata: richiede ampie sezioni ed è adatta per lunghezze non troppo estese. Nel traforo del Monte Bianco l'impianto di ventilazione è stato concepito secondo quest'ultimo metodo ed è sempre stato considerato di riferimento per la sua razionalità ed efficacia. Bisogna però tenere presente che il dimensionamento del progetto originale faceva riferimento a livelli e tipologie di traffico molto diversi da quelli che poi effettivamente il traforo ha dovuto sopportare più di trent'anni dopo.

### **Bibliografia**

#### **Siti di consultazione su Internet**

[www.railways.detr.gov.uk/ctsa/18nov96/index.htm](http://www.railways.detr.gov.uk/ctsa/18nov96/index.htm) la particolareggiata ed interessante relazione ufficiale sull'incendio nell'Eurotunnel del 1996;

[www.piarc.lcpc.fr/cgd/c05-gene.htm](http://www.piarc.lcpc.fr/cgd/c05-gene.htm) il sito ufficiale del Committee on Road Tunnel della World Road Association, per conoscere le nuove linee di ricerca in materia;

[www.mrtunnel.com](http://www.mrtunnel.com) un super esperto di tunnel a disposizione

[www.woods-fans.com](http://www.woods-fans.com) il sito di un costruttore con grande esperienza nella ventilazione delle gallerie stradali.