



FIRE INVESTIGATION NEL TUNNEL DEL MONTE BIANCO

M. Mangione

Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Roma

C. Crosti

Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Roma

SOMMARIO

L'incendio nel tunnel del Monte Bianco, ove persero la vita 39 persone, è stato il più grave nella storia dei tunnel transalpini. Tale evento disastroso ha spinto, negli anni successivi, a compiere migliorie nel settore della sicurezza antincendio nelle gallerie, ponendo molta attenzione agli aspetti di prevenzione, definendo criteri di progettazione innovativi e metodologie gestionali più efficaci.

Lo scopo di questo articolo è quello di esporre delle fasi metodologiche di *Fire Investigation* atte ad individuare le cause scatenanti, pregresse e latenti, che hanno determinato tale evento accidentale.

L'illustrazione di questa attività investigativa rappresenta un caso applicativo di quanto esposto nell'articolo *Structural Fire Investigation e ingegneria forense*.

L'iter investigativo associato a determinate operazioni, in parte codificate, svolte anche attraverso l'ausilio di indagini computazionali (*computational investigation*), può aiutare a determinare nel dettaglio le cause e migliorare il livello di sicurezza antincendio di tali strutture. Le indagini svolte hanno messo in evidenza i difetti meccanici dell'automezzo e le carenze nella gestione dell'emergenza.

Non si tratta dunque di uno scenario imprevedibile (*black swans*) ma di uno scenario probabile.

ABSTRACT

The Mont Blanc tunnel fire was the most severe in the history of the trans-Alpine tunnels, where 39 people lost their lives. This disastrous event, which took two days of action, prompted, in subsequent years, to make improvements in the field of fire safety in tunnels, paying attention to the aspects of prevention and leading to the definition of design criteria and more effective innovative management methods.

The purpose of this article is to expose the various methodological steps of *Fire Investigation* aimed at identifying all the causes, past and latent, which determined that accidental event.

The illustration of this investigative activity in a case of application of the above article

Structural Fire Investigation and forensic engineering.

The investigative process associated with certain transactions, codified in part, carried out through the use of *computational investigations*, can help determine in detail the causes and improve the level of fire safety of such structures.

The investigations have shown mechanical defects of the vehicle and deficiencies in emergency management.

An unpredictable scenario (*black swans*) is out of question, as it is a very possible scenario.

1. INTRODUZIONE

Il 24 marzo 1999 un camion belga, che trasportava 9 tonnellate di margarina e 10 di farina, entra nel traforo del monte Bianco. Il camion era composto da una motrice di fabbricazione *Volvo* e da un semirimorchio frigorifero con isolamento termico in poliuretano espanso con annesso un serbatoio di capacità 600 l di gasolio. Il camion a circa metà del tunnel prende fuoco.

Dietro di esso sono entrati, dall'imbocco francese, 13 autocarri, un furgone e 9 autovetture, che si sono arrestati a circa 500 m dietro il camion in fiamme, mentre ulteriori 4 autocarri, proseguendo la marcia, sono riusciti a sorpassare il camion incendiato, fuoriuscendo dall'imbocco italiano. I restanti automezzi, rimasti a valle del camion, sono stati avvolti dai fumi dell'incendio che, per effetto delle correnti d'aria, hanno rapidamente invaso la galleria verso l'ingresso francese.

I conducenti di tali mezzi (trentasette) e personale intervenuto in soccorso (due) sono deceduti.

Sul versante italiano invece, alla vista del mezzo in fiamme, 8 autocarri e 9 autovetture si sono fermati a circa 300 m: le autovetture sono riuscite ad invertire la marcia mentre gli autocarri sono rimasti bloccati ed i conducenti, unitamente all'autista del camion belga, sono stati portati in salvo dal personale del traforo sul lato italiano.

2. FASI INVESTIGATIVE

Nel presente articolo viene illustrata una **struttura metodologica investigativa** (figura 1), applicabile in tutti i casi di incendi confinati, di ausilio per le attività di *fire investigation*.

Essa codifica l'intera attività in cinque fasi specifiche, ad ognuna delle quali sono state associate determinate operazioni investigative che consentono di addivenire alla determinazione delle cause dell'incendio (*reporting*).

Tale schematizzazione porta a definire una nuova progettualità investigativa che nasce principalmente dal recepimento delle informazioni iniziali, per poi passare al repertamento della scena, sia esterno che interno, e finire con i necessari controlli e simulazioni dell'evento.

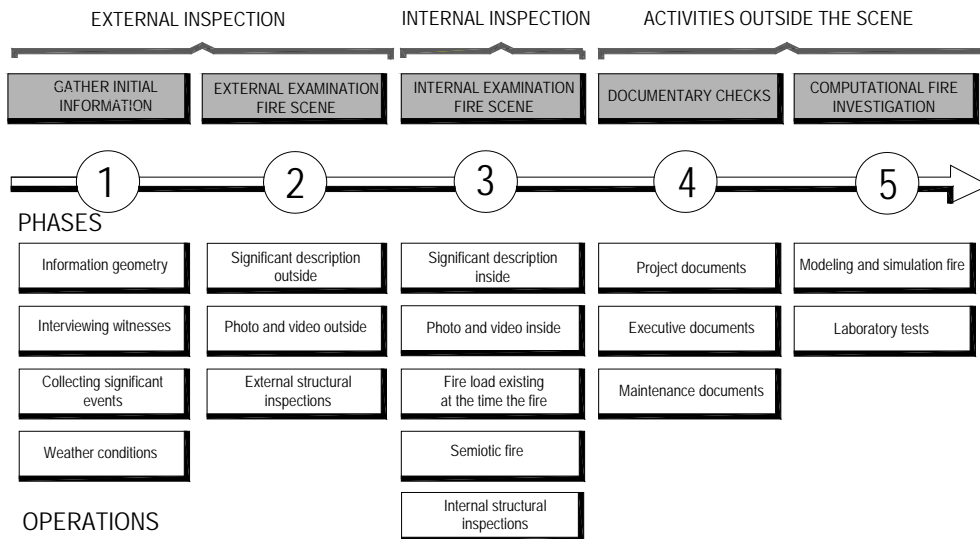


Figure 1. Investigative step.

Per meglio esplicitare le cinque fasi e le operazioni annesse sono state analizzate e, quindi collocate nella precedente struttura, le attività investigative effettuate a suo tempo per la ricerca delle cause d’incendio nel tunnel del monte Bianco.

La **prima fase** (*gather initial information*), riportata in figura 2, inizia con l’identificazione dei principali parametri geometrici che compongono la scena, (*information geometry*).

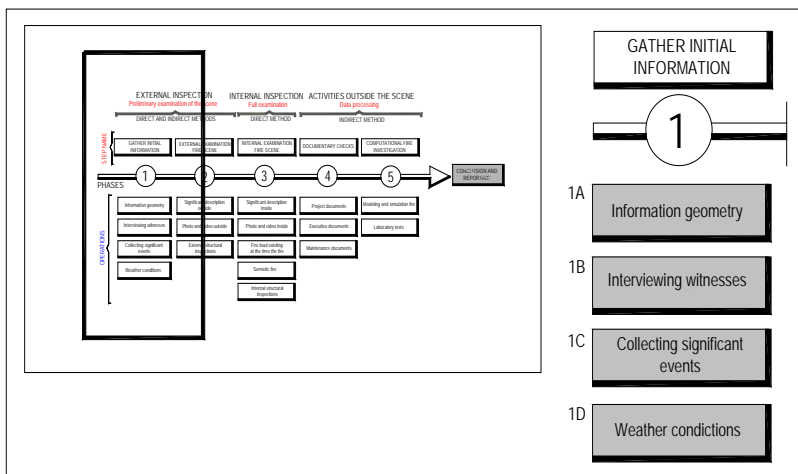


Figure 2. Phase 1: Gather initial information.

Avere un'idea della struttura (materiali, tipologia, ecc.) da analizzare è determinante per capire gli effetti dell'incendio e il grado di accuratezza delle indagini investigative da espletare. Al fine di rendere chiara l'attività investigativa si riportano, in figura 3, i parametri geometrici salienti:

- lunghezza del traforo: 11.600 m;
- larghezza delle due corsie a doppio senso di marcia: 7 m;
- marciapiedi di larghezza pari a 80 cm su entrambi i lati delle corsie;
- n. 36 piazzole di sosta e posizionate ogni 300 m. (da 1 a 18 in Francia e da 19 a 36 in Italia) su ogni lato della carreggiata che rendono possibile le inversioni di marcia;
- altezza interna in mezzzeria: 4,35 m;
- differenza quota Francia/Italia: 107 m (quota 1274 m ingresso francese e 1381 m versante italiano);
- piano stradale del tunnel di forma convessa per facilitare il deflusso dell'acqua.

Una volta acquisite le informazioni sulla scena si passa alla raccolta preliminare delle informazioni per iniziare a ricostruire l'accaduto.

Dalle prime testimonianze (*interviewing witnesses*) è stato subito accertato che il camion belga è stato oggetto di un rapido *flash over* che ha coinvolto l'intero veicolo e il suo contenuto. Il camion, prima di arrestarsi a metà del tunnel, ha percorso, con fiamme visibili a bordo, un lungo tratto del traforo inducendo, alcuni autisti dei veicoli che lo seguivano, ad effettuare un sorpasso azzardato per raggiungere velocemente l'uscita italiana.

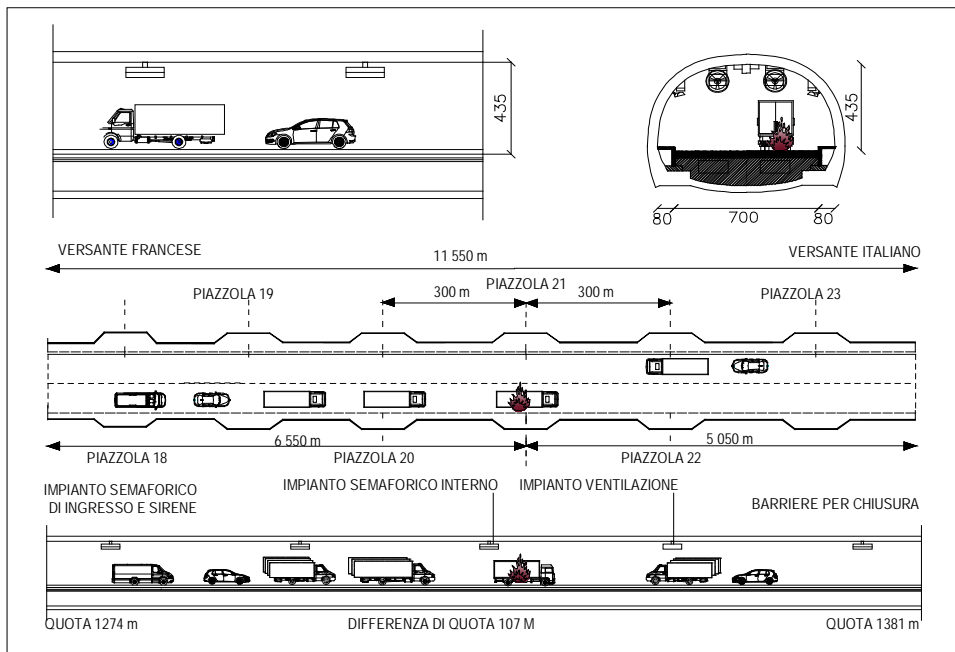


Figura 3. Geometria del tunnel.

La sequenza temporale, illustrata in figura 4, ci permette di ricostruire, e collocare su un asse temporale, le informazioni raccolte (*collecting significant events*):

- [A] **10:45** il camion belga transita dalla barriera di pedaggio ed entra nel traforo del monte Bianco;
 - [B] **10:50** il camion, proveniente dalla Francia e diretto in Italia, s'incendia;
 - [C] **10:51** l'opacimetro n. 4 (km 4.450 - piazzale 14) segnala il primo allarme, fumo ben oltre i limiti consentiti;
 - [D] **10:52** l'opacimetro n. 5 (km 5.635 - piazzale 18) segnala il secondo allarme;
 - [E] **10:53** il camion in fiamme si è fermato al km 6.550 e la propagazione dell'incendio è immediata (dopo tre minuti). Il punto in cui si è arrestato il mezzo in fiamme è nella corsia vicino la piazzola n. 21, distante 300 m dalla piazzola di emergenza n. 20 (appena oltrepassata) nel senso Francia/Italia e circa 300 m dalla successiva piazzola n. 22.
- Una colonna di automezzi (camion ed autovetture), che era entrata nel tunnel sulla scia dell'autocarro, è rimasta intrappolata senza possibilità di tornare indietro occupando un tratto lungo 500 m circa;
- [F] **10:54** un utente segnala dal piazzale 22, al posto di controllo italiano, fumo denso in galleria. Allo stesso minuto un'autovettura proveniente dall'imbocco italiano è costretta a fermarsi al km 6,850 (piazzola n. 22). Questa autovettura, ed altre che la seguivano, operando un'inversione di marcia, sono riuscite a riguadagnare l'uscita verso l'Italia. Gli autisti di 8 camion, non potendo invertire il senso di marcia, hanno parcheggiato in colonna a partire dal piazzale n. 22 e si sono avviati a piedi verso l'imbocco italiano; così pure l'autista del camion in fiamme che ha abbandonato il mezzo sulla corsia di marcia;
 - [G] **10:55** viene bloccato l'ingresso al traforo sul lato francese ma vengono mantenuti i semafori "verdi" all'interno del tunnel;
 - [H] **11:04** tre minuti e mezzo dopo l'ingresso dell'ultimo veicolo (11:01 circa), i semafori all'interno del traforo diventano finalmente rossi.

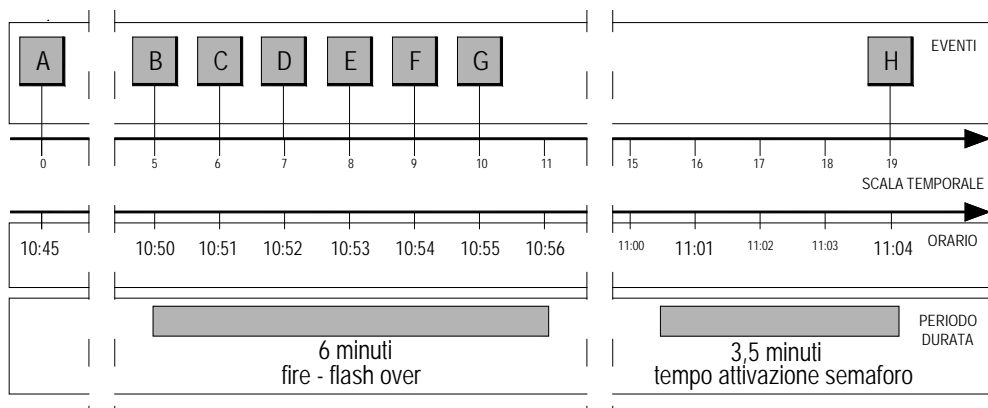


Figura 4. Timeline degli eventi significativi.

Conoscere le condizioni ambientali (*weather condiction*s) è fondamentale per le attività investigative. La ventilazione del traforo ha condizionato tutta la dinamica dell'incendio ed è un dato fondamentale per espletare tutte le valutazioni di *Fire Investigation*.

La differenza di quota altimetrica fra l'imbocco francese (1.274 m) e quello italiano (1.381 m) pari a 107 m, avrebbe dovuto teoricamente produrre una variazione di pressione (effetto camino) con un flusso di aria dalla Francia verso l'Italia. Invece durante l'evento, per effetto delle particolari condizioni ventose, il flusso dell'aria con velocità di 3÷5 m/s, era invertito apportando ossigeno per circa 50-70 m³/s nell'area dell'incendio.

La direzione del flusso d'aria, all'interno del tunnel, ha veicolato i fumi tossici verso l'uscita francese e ciò spiega da un lato la presenza delle vittime sul versante francese e dall'altro la possibilità che hanno avuto tutti gli autisti, presenti sul lato italiano, a mettersi in salvo.

La seconda fase, rappresentata nella figura 5, illustra la disamina della scena dall'esterno nei momenti immediatamente successivi all'evento.

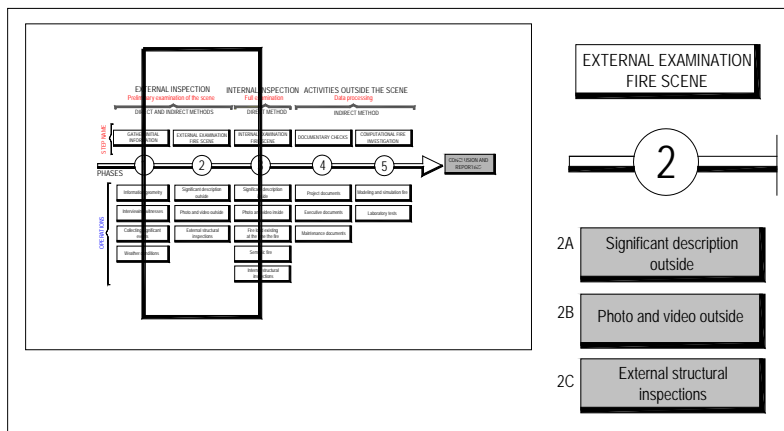


Figura 5. Phase 2: External examination fire scene.

Le condizioni della scena sono alquanto complesse. Un incendio in galleria molto lunga (11 km), soprattutto quando esso è localizzato in prossimità della mezzeria risulta molto difficile da gestire in termini di soccorso e di sicurezza. L'incendio ha generato, in pochi minuti, dei fumi che hanno invaso circa 500 m di traforo, cioè dal km 6.540 al km 6.040 lato francese. Questi fumi tossici, propagandosi verso l'imbocco francese, hanno causato la morte rapida per intossicazione di tutte le persone occupanti gli automezzi incolonnati dietro il camion. Nel caso in argomento una prima ricostruzione della scena dall'esterno (*significant descriptive outside*) ritrae il traforo chiuso al traffico con barriere sul lato italiano e impianto semaforico rosso sull'ingresso del versante francese con notevole fuoriuscita di fumi per effetto della combustione sul camion belga di 10 t farina e 9 di margarina. Si riportano le foto esterne all'imbocco francese (*figura 6*) ove è significativa la notevole coltre di nube tossica.

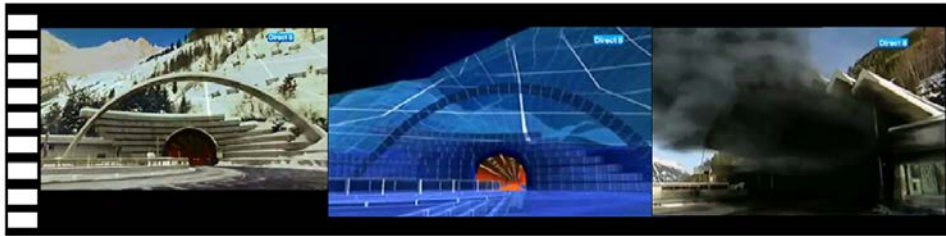


Figura 6. Fotogramma relativo alla vista esterna del tunnel *ante e post* incendio.

Non si possono identificare danni esterni, ma solo interni (*external structural inspections*). La disamina della scena all'interno è rappresentata dalla **terza fase** (figura 7). La temperatura raggiunta nel tratto di galleria interessato dalle fiamme, di lunghezza pari a ~ 1.200 m, ha superato i 1.200° C. Gli effetti sono riportati in figura 8.

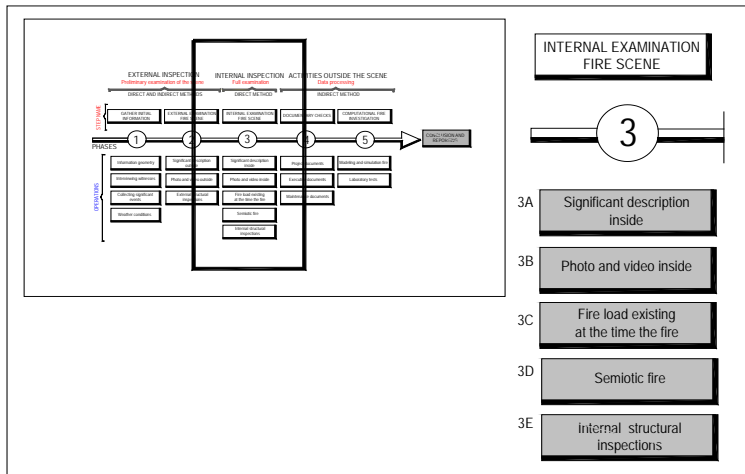


Figura 7. Phase 3: Internal examination fire scene.



Figura 8. Fotogramma degli effetti dell'incendio.

Dalle precedenti testimonianze si è potuto capire che la combustione, partita dal cassone frigorifero del camion belga, ha sviluppato fumi tossici che in brevissimo tempo hanno saturato la galleria, provocando la morte per intossicazione delle persone che occupavano gli automezzi in colonna dietro il camion. La motrice ha preso fuoco in prossimità del serbatoio di alluminio liberando violentemente il carburante in fiamme mentre il semirimorchio frigorifero ha cominciato a bruciare 4-5 minuti dopo l'arresto del camion. Le 9 t di margarina si sono sciolte e bruciate, al pari dell'olio e la loro combustione deve essere durata oltre 1 ora (figura 9).

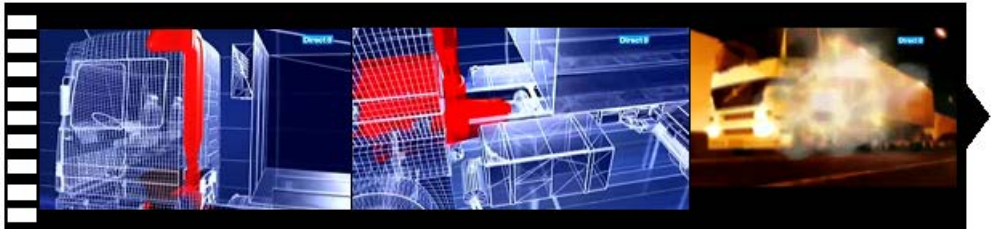


Figura 9. Fotogramma del carico d'incendio e inizio dell'innesco.

Si ipotizzano quindi seri danni strutturali dovuti all'*explosive spalling* nella volta del tunnel quantificabili solo dopo la messa in sicurezza della struttura.

Una preliminare valutazione dello stato delle strutture dopo l'evento è stata effettuata con indagini e rilievi affidati a imprese specializzate (*semiotic fire*). Tale attività si è concretizzata in misurazioni, rilievi, prove georadar, carotaggi sul calcestruzzo di rivestimento della volta, prove di laboratorio, analisi chimico-biologiche e prove puntuali.

Sono stati inoltre eseguiti interventi di smantellamento di parti compromessi.

Il traforo è stato sostanzialmente messo *a nudo*, ossia gradualmente svuotato di impianti ed arredi preesistenti e ridotto a semplici strutture di rivestimento costituiti dai canali sottostanti il piano viabile e la sovrastante soletta (*internal structural inspections*).

L'incendio ha comportato gravi danni strutturali alle volte del tunnel osservate per un tratto di oltre 900 m e danni agli impianti per un importo pari al 25% della spesa globalmente sostenuta dalla Società Italiana per il Traforo del Monte Bianco per la realizzazione del tunnel. I danni si sono rilevati a buona parte del rivestimento in calcestruzzo (*spalling*) e sulle lastre di cemento sotto la pavimentazione per effetto della elevata potenza termica sviluppatasi.

La **fase quarta**, rappresentata in figura 10, riguarda invece il controllo documentale ed impiantistico di cui era dotata la struttura *ante incendio* nonché la gestione della manutenzione e dell'emergenza. Conoscere il corredo impiantistico e la sua protezione attiva/passiva è necessario per le successive valutazioni investigative.

Da tali controlli è stato studiato il funzionamento dell'impianto di ventilazione, semaforico e di videosorveglianza mentre è stato appurato che l'impianto rilevazioni fumi (solo lato italiano) era non funzionante poiché in manutenzione all'atto dell'incendio.

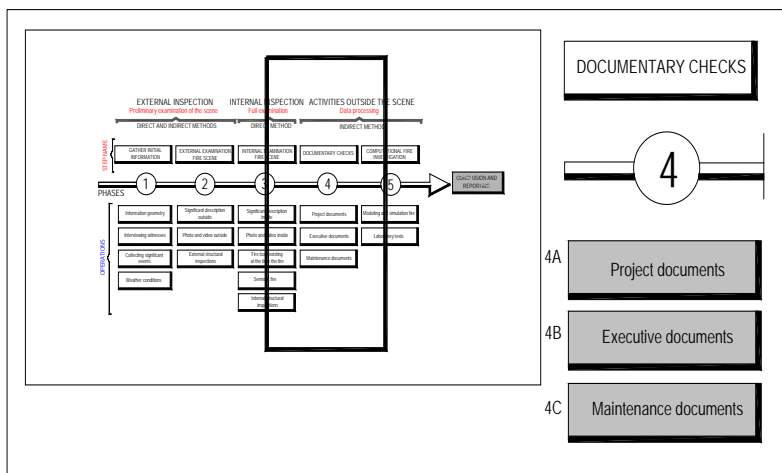


Figura 10. Phase 4: documentary checks.

Al fine di trarre le giuste valutazioni appare opportuno eseguite spesso delle modellazioni computerizzate (*computational fire investigation*) per comprovare scientificamente le esatte cause e concause dell'incendio. La **quinta fase**, meglio schematizzata nella figura 11, introduce le operazioni di modellazione e test specifici.

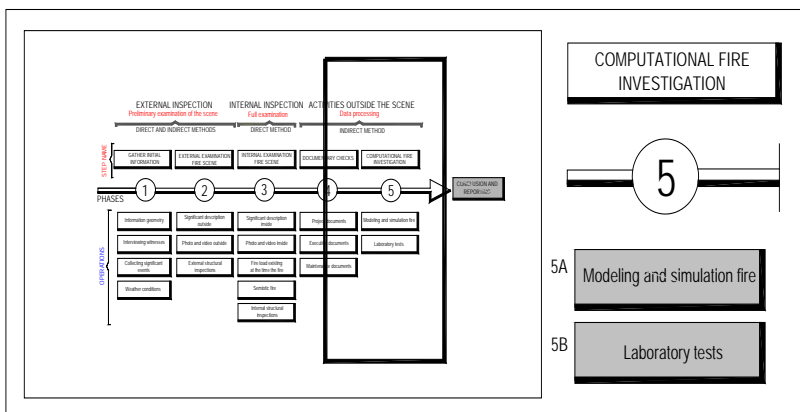


Figura 11. Phase 5: Computational fire investigation.

Nel caso in esame è stato eseguito una modellazione fluidodinamica del tunnel che ha consentito di paragonare i risultati ottenuti in due diverse situazioni ipotizzate (potenza dell'incendio di 50 e 75 MW). Da tale simulazione è emerso che:

- al crescere della potenza dell’incendio aumenta la velocità del fronte dei fumi;
- il passaggio dell’impianto di ventilazione da una configurazione all’altra, non modifica, per i primi 3’ ÷ 5’, la velocità di propagazione dei fumi;
- in entrambi i casi considerati 500 m sono completamente saturi ed il fronte dei fumi, a secondo dei casi esaminati, supera rispettivamente di 130 m o di 370 m la fine della coda dei veicoli.

E’ stato altresì eseguita un’analisi termofluidodinamica che ha preso in esame una lunghezza di 1.200 m di tunnel nei 10’ successivi all’incendio (figura 12). Le diverse simulazioni numeriche sviluppate riguardano il “caso reale” ed il “caso consegne”. L’analisi condotta porta alle seguenti conclusioni:

- in meno di 2’ i fumi hanno saturato circa 300 m giungendo dal piazzale n. 21 al 20;
- dopo altri 3’ il fronte arriva al piazzale n. 19;
- la saturazione dei primi 400 m dietro il camion belga avviene dopo 4’.

I risultati del ritardo del segnale di allarme, legato alla principale difficoltà per gli operatori di localizzare l’incendio, sono stati riportati nella tabella 1.

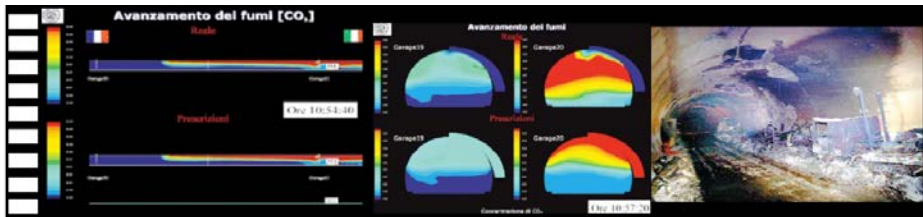


Figura 12. Fotogramma della simulazione sull’avanzamento dei fumi.

PARAMETRI DELLA SIMULAZIONE	DESCRIZIONE	ANDAMENTO FUMI	RISULTATO
1: SEGNALAZIONE ALLARME 30" DOPO LA PRIMA SEGNALAZIONE CON SEMAFORI NEL TRAFORO ROSSI (opacimetro n. 4 - ore 10.51)	Il camion belga si sarebbe fermato al semaforo collocato a circa 5.800 m. dalla testata francese e avrebbe preso fuoco (tra i garage n. 18 e 19). Gli altri veicoli presenti nel Traforo (in quel momento complessivamente 12) si sarebbero fermati all'altezza dei semafori rossi, ad una distanza considerevole dal camion belga	11:10	nessuna vittima
2: SEGNALAZIONE ALLARME 30" DOPO IL SECONDO ALLARME (opacimetro n. 5 - ore 10.52),	il camion belga avrebbe in ogni caso raggiunto la progressiva chilometrica 6.550 (garage n. 21), come è successo nella realtà, ma i veicoli che seguivano (aumentati nel frattempo da 12 a 19) si sarebbero fermati all'altezza dei semafori rossi senza raggiungere l'area dell'incendio	I fumi avrebbero raggiunto i primi veicoli solo dopo 16' e 40" circa dall'allarme.	pochissime vittime
3: IMPIANTO SEMAFORICO ROSSO ALLE 10:55 (i veicoli che seguivano il camion belga sarebbero aumentati nel frattempo da 19 a 24)	I primi 2 veicoli sarebbero stati in ogni caso coinvolti nell'incendio, ma non gli altri. I veicoli successivi si sarebbero fermati all'altezza del semaforo situato a 700 m. circa dall'area dell'incendio.	Sarebbero stati avvolti dai fumi alle 11.01 circa, vale a dire 6' dopo il blocco del traffico	poche vittime
CASO REALE IMPIANTO SEMAFORICO ROSSO ALLE 11:04			37 vittime

Tabella 1. Simulazione sui tempi di avviso di allarme e relative conseguenze.

Sono stati altresì condotti test di laboratorio per dimostrare la possibilità che un incendio possa avvenire nel vano motore del camion e sull'infiammabilità della margarina (figura 13).

Le indagini investigative hanno messo in evidenza i difetti che presentavano i motori marca *Volvo* della stessa serie del camion in argomento, già oggetto in precedenza, di campagne di richiamo in Francia.



Figura 13. Fotogramma del test su veicolo *Volvo* e margarina.

3. REPORTING

Le cause dell'incendio ottenute sono state riportate nel seguito.

– **Difetti costruttivi del mezzo (causa scatenante).**

Le indagini investigative e le simulazioni hanno dimostrato la concreta possibilità che un mozzicone possa entrare attraverso la presa d'aria, arrivare al filtro, incendiarlo e propagare l'incendio attraverso il condotto, in plastica, di aspirazione dell'aria. È stato altresì dimostrato che una fuga d'olio dal coperchio del bilanciere sul lato destro del motore, cadendo sul turbo, provoca un incendio nel vano motore.

– **Condotta negligente del conducente del veicolo (concausa).**

Dalla procura di Bonneville sarebbero stati individuati i conducenti dei veicoli che hanno incrociato il camion belga fumante nel tunnel, prima che si fermasse alla piazzola n. 21 e, con i fari, avrebbero tentato di segnalare all'autista l'incendio a bordo.

L'autista del camion, trascurando le segnalazioni dei tir che incrociava, non si è fermato in una piazzola di sosta ma ha continuato la sua corsa sperando di riuscire ad arrivare fino all'uscita italiana. Il suo comportamento ha reso ineluttabile l'evento.

– **Carenza nella gestione dell'emergenza (causa latente)**

Le simulazioni hanno comprovato tale causa latente che ha comportato un aggravio delle conseguenze. Nello specifico sono emerse le seguenti criticità:

▪ **ritardata segnalazione di arresto all'ingresso del tunnel.**

Un tempestivo intervento di segnalazione avrebbe drasticamente ridotto non solo il numero delle vittime ma anche l'entità dei danni materiali. Possiamo dunque affermare che la messa al rosso dei semafori, nella parte francese del traforo, nell'intervallo di tempo intercorso tra la segnalazione del primo allarme (ore 10.51) e la chiusura del Traforo, avrebbe ritardato l'arrivo del fronte dei fumi sui primi veicoli coinvolti da un minimo di 6 ad un massimo di 19 minuti.

- **errate valutazioni nella gestione della ventilazione.**

La ventilazione è stata mantenuta nello stesso verso invece di essere invertita. L'operatore ha riferito che lo aveva fatto volutamente, perché pensava che fosse il modo migliore per proteggere le persone dal fumo.

4. CONSIDERAZIONI FINALI

Tale disastro ha accresciuto la consapevolezza sulle gravi conseguenze riscontrabili nelle gallerie in termini di vittime, danni alla struttura e impatto sull'economia dei trasporti a seguito di incendio.

L'attività investigativa, esplicitata in apposite fasi ed operazioni, ha fatto emergere in maniera chiara la causa scatenante, concause e errori pregressi e le simulazioni dell'incendio hanno giocato un ruolo importante nel trarre le dovute conclusioni. La modellazione degli incendi, sia in fase progettuale che in fase investigativa, facendo emergere deficit progettuali e punti critici, rappresenta un mezzo di ausilio nelle attività di *fire investigation*.

Oggi gli strumenti informatici stanno portando a definire nuove frontiere della *computational fire investigation* ove, con utilizzo di strumenti sofisticati, si ottengono risultati soddisfacenti e scientificamente provabili in sede forense.

La *structural fire investigation* può quindi contribuire all'evoluzione della progettazione strutturale antincendio e all'innovazione delle tecniche investigative sotto il profilo squisitamente ingegneristico.

5. RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia per l'ausilio fornito nella stesura del presente articolo:

- lo *staff di ricerca* del Prof. Ing. F. Bontempi docente presso il Dipartimento di Strutture e Geotecnica dell'Università *La Sapienza* di Roma;
- gli Ingg. A. Leonardi, titolare dello studio d'ingegneria antincendio *Propenta* di Roma, e G. Longobardo, Ingegnere dei VV.F di Roma.

BIBLIOGRAFIA

Bontempi F.: *Corso di progettazione strutturale antincendio*, Università *La Sapienza*, Roma, A.A. 2014/2015.

Corbo L., Ferro V., Lunardi P.: *Relazione sull'incidente occorso il 24 marzo 1999 nel traforo del Monte Bianco*, 14 giugno 1999. Per gentile concessione dell'Ing. A. Leonardi studio *Propenta*.

Münchener Rück Italia S.p.A.: *Lecture 9, 24 e 25 settembre 2003 Seminario Sinistri*, dicembre 2003.

NFPA 921: *Guide for Fire and Explosion Investigations*.

NFPA 1033: *Standard for Professional Qualification for Fire investigator*.