

## **SISTEMI DI PROTEZIONE CONTRO L'INCENDIO NEI TUNNEL STRADALI I Test condotti da MARIOFF nel tunnel sperimentale dell'IF center in Norvegia**

Luciano Nigro – Responsabile per l'Italia della Società Marioff Srl – coordinatore gruppo di lavoro UNI water mist e membro gruppo di lavoro CEN/TC191/WG5 water mist.

### **Sommario:.**

*Dopo aver riassunto le caratteristiche principali degli incendi nei tunnel in genere e nei tunnel stradali in particolare si passa in rassegna quanto offerto attualmente dalla tecnologia antincendio per il controllo e l'eventuale estinzione degli incendi in spazi confinati come le gallerie.*

*I sistemi più noti sono elencati e ne sono evidenziati i limiti ed i pregi come risultanti in particolare dalla letteratura del settore.*

*Si passa poi a parlare di sistemi water mist per il controllo degli incendi nelle gallerie stradali e si riassumono i test che sono stati condotti nel corso del 2002 e del 2003 dalla società Marioff con il proprio sistema Hi-Fog<sup>R</sup> nel tunnel dell'IF center di Ringvol, in Norvegia.*

*I risultati delle prove eseguite sia con un sistema ad azionamento a diluvio, sia con un sistema ad azionamento a sprinkler sono mostrati, con particolare riferimento per la condizione di confronto a incendio libero.*

*I risultati mostrano la particolare efficacia del sistema nel controllo soprattutto della temperatura all'interno del tunnel anche con incendi di particolare potenza.*

### **Il problema degli incendi nei Tunnel.**

E' da alcuni anni, precisamente dal disastro avvenuto all'interno del Tunnel del Monte Bianco, che il problema del rischio d'incendio all'interno dei tunnel e dei tunnel stradali in particolare ha assunto particolare rilevanza, sia per la gravità degli eventi registrati, sia perché i tunnel si stanno sempre più dimostrando una componente chiave dello sviluppo dei trasporti specie nel continente Europeo, così ricco di rilievi montuosi e pure così bisognoso di collegamenti stradali e ferroviari.

Le caratteristiche dell'incendio in un tunnel, in particolare in un tunnel stradale, sono assolutamente peculiari e devono essere ben conosciute per poter ipotizzare l'applicazione di eventuali sistemi di controllo dell'incendio, adeguati al rischio da proteggere. A tale proposito sono molti i ricercatori che si stanno dedicando allo studio di questo fenomeno soprattutto con l'applicazione di vari modelli di simulazione dell'incendio di tipo evoluto (FDS, Fluent, ecc...) stante l'oggettiva difficoltà di studiare il fenomeno mediante prove pratiche in scala reale.

L'ambiente all'interno del quale l'incendio si può sviluppare, il tunnel appunto, è la principale peculiarità ma anche il tipo d'incendio e le sue caratteristiche di base sono affatto specifiche: il comportamento dell'oggetto interessato dall'incendio infatti è quello che differenzia in modo sostanziale il caso dell'incendio nei tunnel stradali da quello dei tunnel ferroviari. Nel caso del tunnel stradale è infatti assodata l'ipotesi che l'incendio, pur interessando veicoli in movimento,

riguarda in particolare, almeno per i casi di più grave entità, oggetti che sono fermi rispetto al tunnel stesso, sia perché si sono fermati avendo rilevato l'incendio, sia perché coinvolti in un incidente che è stato a sua volta la causa scatenante dell'incendio stesso.

Nel seguito si prenderà in considerazione il caso degli incendi nei tunnel stradali, e quindi legati all'evento che coinvolge uno o più veicoli che, per svariati motivi, sono fermi rispetto al tunnel e sono coinvolti nell'incendio, sebbene il caso dei tunnel ferroviari sia altrettanto importante, specie alla luce dei progetti di realizzazione di nuovi tunnel attualmente in corso.

### **Gli incendi nei tunnel stradali.**

I tunnel stradali sono al giorno d'oggi una parte integrante ed essenziale del sistema di trasporto in tutta Europa; si distinguono tunnel a singola canna, caratterizzati da un traffico bi-direzionale e tunnel a doppia canna, una per ogni senso di marcia; si parla poi di tunnel "brevis" e di tunnel "lunghe" avendo identificato nell'ordine di grandezza dei 1000 metri la lunghezza critica che rende il tunnel particolarmente pericoloso specie per la sicurezza delle persone coinvolte.

La prima caratteristica essenziale da tenere in considerazione è la ventilazione; l'ambiente tipico del tunnel è infatti un ambiente sempre caratterizzato da una notevole ventilazione, dovuta anche solo al semplice flusso dei veicoli, ma accentuata anche da differenze di quota fra ingresso ed uscita e da differenza di condizioni atmosferiche alle due estremità. Non va poi trascurata la presenza del sistema stesso di ventilazione, sempre esistente all'interno dei tunnel di significativa estensione, che necessariamente interferisce con lo sviluppo stesso dell'incendio.

E' noto che il caso più rilevante, per la sicurezza delle persone, è quello dei tunnel a doppio senso di marcia, nel quale sicuramente una parte degli occupanti, quella che si trova sotto vento rispetto all'incendio, verrà investita rapidamente dai fumi che ne renderanno particolarmente difficoltoso l'esodo verso l'uscita.

Nella tradizione dello studio dei sistemi di sicurezza dei tunnel stradali è stato preminente, come è logico, il problema della sicurezza degli occupanti, per i quali si sono predisposti i più svariati sistemi di facilitazione dell'esodo. Nei tunnel a doppia canna esiste una risorsa, data appunto dall'esistenza di una seconda canna, che rende generalmente possibile l'esodo sicuro, purché siano stati predisposti adeguati passaggi protetti fra le due canne e purché sia recepito dagli occupanti il concetto di esodo attraverso la canna parallela, cosa non sempre verosimile nelle condizioni di panico che si vengono a stabilire in caso d'incendio in un tunnel.

Nei tunnel a canna singola purtroppo non esiste una condizione agevole per l'esodo delle persone, e sono questi infatti i tunnel dove si sono registrate le tragedie più devastanti per numero di vittime che l'incendio ha comportato. Ciò è immediatamente comprensibile se si tiene conto della rapidità con cui i fumi si propagano nella direzione del vento, rapidità che è sempre superiore alla velocità con cui le persone sono in grado di percorrere il tunnel stesso verso l'uscita. Ecco perché è indispensabile predisporre vie di esodo raggiungibili entro non

oltre 100-200 metri, oltre le quali siano disponibili condizioni di sopravvivenza, se si vuole che gli occupanti abbiano una qualche possibilità di fuga.

Ma tutto questo non deve far trascurare il problema dell'incendio e del suo sviluppo, che se non controllato, può limitare ulteriormente le possibilità di esodo, e che in ogni caso produrrà danni strutturali rilevanti per il tunnel stesso.

Fra i punti essenziali di cui si deve tener conto nell'analisi del rischio di incendio nei tunnel stradali non devono essere trascurate le seguenti:

- L'incendio coinvolge spesso carburanti e materiali plastici a grande velocità di combustione e notevole sviluppo di fumo. L'incendio tipico di un'autovettura può raggiungere facilmente i 5 MW di potenza termica rilasciata ed i 20 m<sup>3</sup>/sec di generazione di fumo; quello di un autobus può superare i 50 MW di potenza ed i 60 m<sup>3</sup>/sec di fumo emesso.
- Per incendi che si verificano a più di qualche centinaio di metri dall'uscita, si può ipotizzare una combustione praticamente adiabatica con raggiungimento di temperature molto elevate. La dispersione di calore verso l'esterno è infatti molto ridotta e l'incendio anche se solo due autovetture può generare temperature in prossimità della zona di combustione di parecchie centinaia di gradi dopo solo alcuni minuti.
- Gli incendi che si verificano a più di qualche centinaio di metri dall'uscita avvengono con difficoltà di ricambio d'aria e quindi con tendenza a sviluppo di ossido di carbonio.

Le suddette condizioni impongono misure di salvaguardia delle persone molto efficaci, ma suggeriscono anche la necessità di attuare un controllo dell'incendio tale da ridurre la velocità di crescita e limitare la temperatura che si può raggiungere e quindi i danni alle strutture del tunnel, limitando il tempo complessivo di fuori-servizio.

Per i tunnel stradali, stante la tipologia di incendio possibile, si parlerà sostanzialmente di controllo dell'incendio o di sua soppressione, intendendo con questo una sostanziale riduzione delle dimensioni dell'incendio stesso, ed una eventuale estinzione dello stesso, in particolari condizioni.

### **Lo stato dell'arte**

Il dibattito relativo ai sistemi di protezione contro l'incendio nelle gallerie stradali è rimasto sostanzialmente sopito per molti decenni, con affidamento della sicurezza antincendio dei tunnel stessi al più alla rilevazione automatica dell'incendio ed alla presenza di estintori portatili e di idranti a muro all'interno nelle gallerie, escludendo a priori qualsiasi sistema fisso di protezione.

I recenti gravi danni riscontrati, oltre a suscitare un grande interesse verso il tema della sicurezza delle persone in caso d'incendio nei tunnel stradali, hanno anche suggerito l'esigenza di sviluppare una tecnologia valida per il controllo e l'eventuale estinzione degli incendi nei

tunnel, limitando certamente i danni materiali alle strutture e contribuendo alla salvaguardia delle persone presenti.

I sistemi di controllo ed eventuale estinzione che sono stati ad oggi esaminati sono sostanzialmente i seguenti:

- Sistemi automatici sprinkler ad acqua
- Sistemi automatici sprinkler ad acqua-schiuma
- Sistemi automatici a diluvio ad acqua e ad acqua schiuma
- Sistemi a schiuma a media / alta espansione
- Sistemi ad acqua finemente suddivisa “water mist”

#### Sistemi sprinkler ad acqua e ad acqua-schiuma.

Sono stati fra i primi ad essere presi in esame in modo concreto; l’NFPA 502 Standard for Road tunnel, bridges, and other limited access Highway – 2001 edition, nell’appendice D riporta la posizione della comunità scientifica americana sull’argomento, che è sostanzialmente poco favorevole, sebbene riporti l’esistenza di numerosi tunnel già protetti con questa tipologia di sistema soprattutto in Giappone.

I principali punti a sfavore della installazione di sprinkler ordinari nelle gallerie, anche se alimentati ad acqua schiuma, stanno ad avviso del gruppo di lavoro dell’NFPA 502, nella potenziale apertura di un gran numero di teste in aree anche non direttamente collegate con l’incendio a causa del movimento del calore nella direzione longitudinale che porta a falsare la corrispondenza fra testine che si aprono ed ubicazione del focolaio.

Viene comunque riconosciuta la potenzialità propria degli sprinkler, specie appunto se alimentati con acqua-schiuma, di controllare l’incendio soprattutto a livello di temperature massime raggiungibili.

#### Sistemi a diluvio ad acqua-schiuma.

Lo stesso NFPA 502 suggerisce, come valida alternativa agli sprinkler a teste chiuse, l’installazione di impianti a diluvio a zone, alimentati preferibilmente ad acqua-schiuma, in tutti quei tunnel nei quali è ammesso il passaggio di veicoli che trasportano liquidi combustibili. L’uso della schiuma è indispensabile per la protezione dei tunnel nei quali manchi un adeguato sistema di drenaggio di eventuali spandimenti di liquidi combustibili.

I sistemi a diluvio ad acqua-schiuma, sebbene siano generalmente riconosciuti fra i sistemi più adeguati al rischio d’incendio tipico dei tunnel, non hanno trovato significativa diffusione, anche negli Stati Uniti, poiché il loro azionamento deve essere necessariamente manuale, a seguito di intervento dei sistemi di rilevazione e conferma da parte degli operatori che possono

sorvegliare il tunnel con apposite telecamere, ed a causa della complessità ed onerosità dei sistemi che sono necessari per tunnel che superino alcune centinaia di metri..

### Sistemi a schiuma a media ed alta espansione

L'applicazione di schiuma a media o alta espansione è certamente adatta al controllo degli incendi nei tunnel stradali, ed alla loro completa estinzione. Si tratta infatti tipicamente di incendi di classe B o di classe A e B simultaneamente e quindi di tipologia tale da poter essere non solo controllati ma anche spenti efficacemente con l'uso della schiuma.

I sistemi a schiuma possono pertanto rappresentare una soluzione molto interessante per questa importante applicazione. Sarà necessario risolvere tutta una serie di problemi di carattere tecnologico per rendere questi sistemi semplici e funzionali in misura tale da poter essere applicati anche a gallerie di lunghezza di alcuni chilometri, che richiederanno un'installazione adeguatamente ingegnerizzata.

Non si deve trascurare comunque la problematica che si presenta in questi casi per la gestione degli impianti e delle scorte di schiumogeno con tutte le conseguenze che ciò comporta anche a livello di impatto ambientale.

### Sistemi ad acqua finemente suddivisa tipo "Water Mist".

Si tratta dei sistemi su cui si sta appuntando al momento un grande interesse da parte degli operatori di tutte le nazionalità, ed in particolare dei paesi alpini e scandinavi nei quali si concentrano un gran numero di tunnel.

Il concetto che sta alla base di questo interesse sta nella caratteristica propria dei sistemi water mist che sono in grado di asportare una grande quantità di calore con l'uso di quantità di acqua molto contenute. L'efficacia della suddivisione delle gocce e la conseguente possibilità di nebulizzazione rende infatti possibile la sottrazione di calore a livello di 1-2 Mw per Kg d'acqua erogato e per secondo, a seconda dell'efficienza del processo. Ne segue che anche un tipico incendio d'autocarro, che può raggiungere i 50 Mw, potrebbe essere contrastato con 25-50 litri al secondo di acqua se propriamente erogata.

Il sistema opererebbe quindi con acqua pura, risolvendo molti dei problemi precedentemente accennati, e potrebbe consentire la soppressione completa dell'incendio e l'eventuale spegnimento, se si dovessero avere coinvolti principalmente materiali di classe B.

I problemi per questi sistemi sono rappresentati dalla necessità di definirne le caratteristiche di progetto solo attraverso prove su scala reale. Come infatti impone la normativa NFPA 750 – unica al momento disponibile sull'argomento – la progettazione dei sistemi antincendio water

mist deve essere basata esclusivamente sui risultati conseguiti tramite prove d'incendio in scala reale.

Questa esigenza sta rendendo lo sviluppo di questi sistemi piuttosto lento, a causa dei notevoli costi coinvolti, ma già alcuni risultati sono stati conseguiti. Le prove che si stanno conducendo sono volte a definire le portate d'acqua da erogare, la tipologia dei sistemi ma anche la metodologia di attuazione dei sistemi stessi e la capacità dei sistemi di rilevazione di dare segnalazioni tempestive e corrette sul fenomeno. Non bisogna infatti dimenticare che la rilevazione precoce dell'incendio può essere un elemento determinante per la sicurezza in galleria, ma che anche la rilevazione il più possibile puntuale del fenomeno incendio in galleria non è semplice a causa del rapido movimento dei fumi al suo interno.

### **La campagna di prove condotta da Marioff in Norvegia.**

Come sopra accennato, uno dei principali ostacoli alla diffusione dei sistemi water mist in generale e dei sistemi di protezione delle gallerie in particolare è la difficoltà e l'onerosità della conduzione di prove in scala reale per la verifica delle condizioni operative dei sistemi.

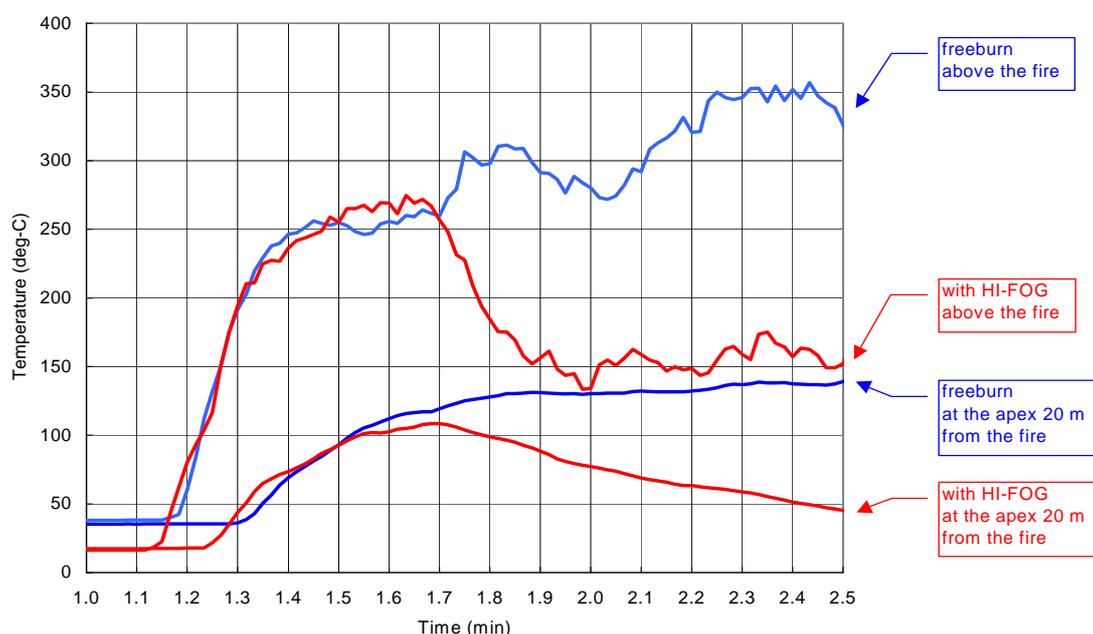
I sistemi water mist infatti non sono al momento attuale dimensionabili in base ai risultati ottenuti durante specifici test in scala reale riferiti alla tipologia di rischio ed alle dimensioni dell'area da proteggere.

La società Marioff, leader mondiale nel settore dei sistemi water mist con la propria tecnologia Hi-Fog<sup>R</sup>, ha quindi deciso di intraprendere una campagna di prove specifiche, che sono state condotte nel corso del 2002-2003 nel tunnel dell'IF center in Norvegia.

Il tunnel di prova: è costituito da un tunnel stradale tipico, di circa 100 metri di lunghezza, con un'altezza di 6 metri, a sezione semicircolare, ed una larghezza di 8 metri. Il tunnel è realizzato in calcestruzzo ed è attrezzato con evacuatori di fumo al centro della volta. Nel tunnel è installato un sistema di ventilazione meccanica che serve a simulare la presenza di un flusso d'aria con velocità di circa 1 m/s.

L'incendio simulato: non sono ancora stati definiti i casi specifici di incendio che devono essere considerati per la prova dei sistemi di spegnimento nei tunnel stradali; un gruppo di lavoro è attualmente in attività a livello europeo, con coordinamento svolto dalla Norvegia, per la definizione degli scenari di incendio da considerare. Al momento la Marioff ha ipotizzato di dover fronteggiare un incendio tipico legato al coinvolgimento di una autovettura e di una certa quantità di bancali di legno raffiguranti un ipotetico carico. La potenza massima valutabile per il focolaio così definito è di circa 18 MW. Il grafico che mostra l'andamento della temperatura nella condizione di Free Burn è riportato nel seguito.

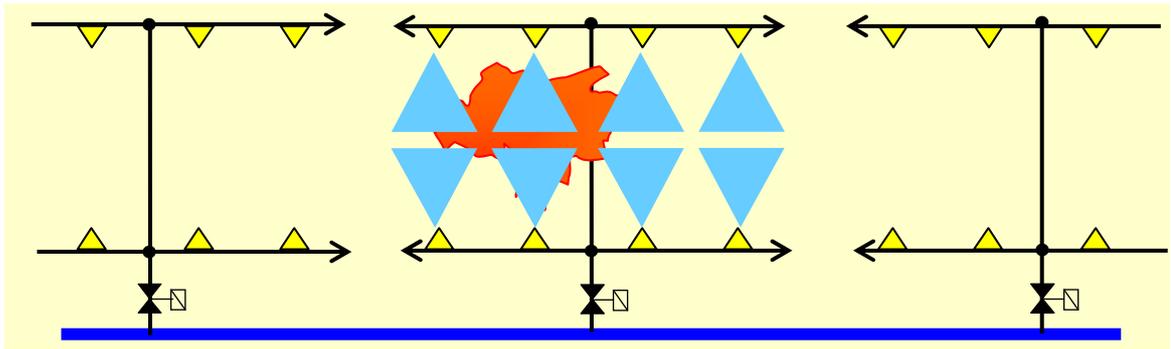
Le prove eseguite: le prove di incendio sono state condotte inizialmente per la condizione di free-burn e quindi con l'utilizzo di due diversi sistemi Hi-Fog<sup>R</sup> che sono intervenuti. In entrambi i casi la prova è stata protratta per un tempo limitato, in particolare per poco più di 4 minuti per il caso di free-burn data la temperatura che è stata raggiunta rapidamente dalla volta che avrebbe in caso di prosecuzione dell'incendio subito gravi danni, e per 15 minuti per i due casi di incendio con presenza del sistema di controllo. Le temperature sono mostrate qui di seguito



Il sistema Hi-Fog<sup>R</sup> a diluvio: nel caso dei sistemi a diluvio la galleria è suddivisa in zone di lunghezza variabile, all'interno delle quali sono installati una serie di ugelli aperti facenti capo ad una valvola automatica di attuazione. Il sistema viene azionato tramite un impianto di rilevazione, oppure tramite intervento manuale, e viene attivato in una o più zone a seconda della necessità.

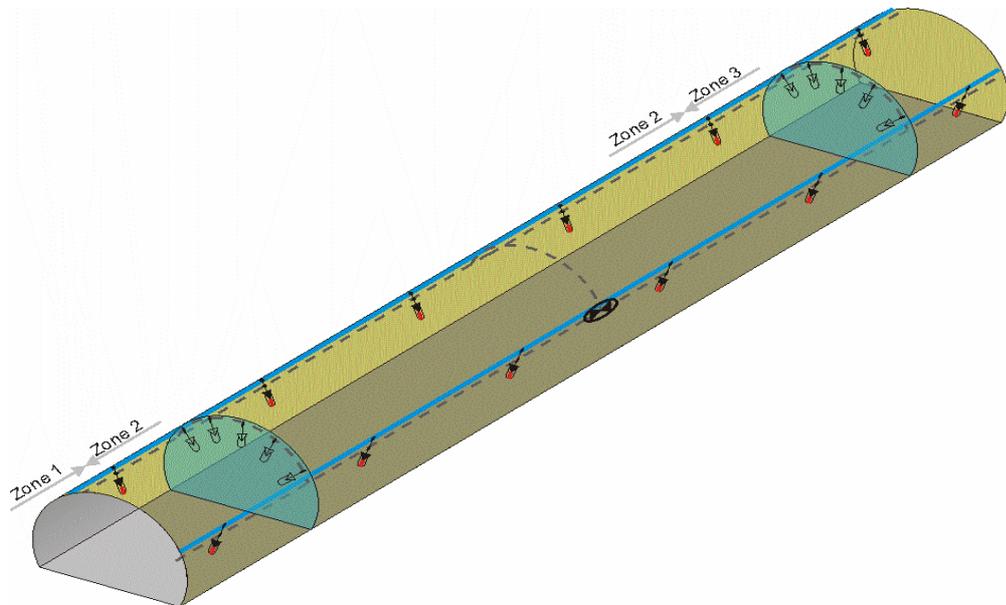
Il sistema così fatto risulta particolarmente efficace, con le portate pur ridotte che sono state utilizzate, e richiede la presenza di un sistema di rilevazione alquanto accurato per l'individuazione il più possibile precisa della posizione dell'incendio.

La figura che segue mostra una rappresentazione schematica del sistema come è stato inteso. La lunghezza delle zone di intervento ed il numero delle zone stesse che si ritiene possa intervenire simultaneamente deve essere definito dal progettista del sistema in funzione delle dimensioni del tunnel e della ventilazione presente.



tipico sistema a diluvio a zone

Il sistema Hi-Fog<sup>R</sup> a sprinkler è una versione alternativa al sistema di cui sopra; esso è basato sulla tecnologia sprinkler con intervento delle testine solo legato alla presenza della temperatura. Il sistema può operare correttamente in quanto sono stati inseriti, nella soluzione proposta da Marioff, una serie di schermi di raffreddamento dei fumi caldi che hanno lo scopo di individuare la posizione del principio d'incendio e soprattutto di impedire l'apertura impropria di testine che non sono coinvolte nell'incendio stesso. Il sistema consente il controllo dell'incendio in modo efficace, con un consumo d'acqua assolutamente limitato, e non richiede alcun intervento di sistemi di rilevazione esterni; per contro il sistema non può essere azionato manualmente a meno di ricorrere a speciali testine a comando elettrico singolo che però risulterebbero, in questo caso, di gestione particolarmente onerosa..



Il sistema tipico sprinkler

## **Conclusione.**

La sicurezza nelle gallerie stradali è oggi un'esigenza irrinunciabile della società civile; occorre salvaguardare al massimo l'incolumità delle persone, ma occorre anche salvaguardare le strutture che sono sempre più diventate assi portanti del sistema economico e sociale di un paese (si pensi all'interruzione per alcuni mesi di una delle nostre autostrade principali per avere una idea della gravità del problema!). Pertanto occorre definire al più presto dei parametri tali da consentire la protezione di questi ambienti in modo efficace.

Questo non potrà prescindere dalla possibilità, come detto, di organizzare tutta una serie di prove pratiche d'incendio e conseguente sviluppo e spegnimento da studiare con tutti i metodi disponibili e con tutte le energie che potranno essere messe a disposizione.

Le prove condotte dalla Marioff nel tunnel dell'IF Center non vogliono essere esaustive né definitive, ma con la serie di circa 30 ripetizioni che è stata condotta possono costituire un buon punto di partenza; è chiaro che deve essere presente una forte e motivata volontà non solo da parte dei costruttori ma anche e soprattutto da parte degli enti responsabili per la gestione e la sicurezza dei tunnel stradali per poter procedere su questo percorso che è comunque irrinunciabile se si continuerà, come pare, con la realizzazione di tunnel sempre più lunghi e significativi.

L'esigenza di protezione contro l'incendi di queste strutture è un dato di fatto ormai assodato (si proteggono i magazzini e le autorimesse, non si capisce perché non si debbano proteggere installazioni di tale importanza!), l'industria sta sviluppando sistemi sempre più concreti ed affidabili per rispondere ad una domanda che al momento sembra ancora fortemente esitante, almeno nel nostro paese.