

MAURIZIO MARTELLI

Dott. Ing. - libero professionista
maurizio_m@inwind.it

LA SICUREZZA DEL TRASPORTO IN GALLERIA

1. PREMESSA

Prerogative connesse con il trasporto sono la sicurezza e la regolarità, caratteristiche queste che richiedono implicitamente, nel caso dei trasporti terrestri, l'affidabilità della rete. Ne deriva che rami e nodi devono venire concepiti a priori con caratteristiche di sicurezza che consentano elevati livelli di agibilità al sistema infrastruttura + veicolo. Recentemente tale importante argomento è stato esaminato in una dissertazione di laurea che ha riscosso apprezzamento in relazione all'originalità ed all'attualità del tema¹. Detta tesi riguarda, per l'apunto, l'affidabilità di una rete stradale o ferroviaria quando un ramo di questa sia interessato da una galleria. Essa, per rispettare il requisito, dovrà essere sin dall'inizio concepita e realizzata secondo una serie di criteri che la rendano il più possibile agibile e sicura. In quest'ottica, il lavoro ha affrontato tale impostazione che, prescindendo dagli aspetti eminentemente strutturali, considera elementi ritenuti di primaria importanza, quali gli impianti di ventilazione e gli altri impianti di servizio, che in una moderna galleria devono essere presenti ed opportunamente conformati. Il lavoro non è esaustivo ma mette un sasso nello stagno sull'argomento sicurezza attiva e passiva di tali strutture, aggiornandone i concetti progettuali a favore dell'affidabilità della rete.

In qualità di Relatore, ringrazio per la collaborazione, nei vari settori di competenza, l'Ing. Gabriele Golinelli, Ispettore Regionale dei Vigili del Fuoco - Emilia Romagna, il Dienca - Università di Bologna, nella figura dell'Ing. Giovanni Semprini, il Distart - Università di Bologna, nelle persone dell'Ing. Andrea Simone e dell'Ing. Francesco Maria Cellini.

Prof. Ing. Giancarlo Foresti

Docente di Terminali e Impianti dei Trasporti
Distart - Università di Bologna

2. INTRODUZIONE

I recenti e gravi incidenti avvenuti all'interno di gallerie di sistemi di trasporto, nonché il timore di atti terroristici, hanno rivolto l'attenzione dell'opinione pubblica verso la sicurezza dei tunnel. Il grafico di figura 1 riporta il numero di vittime annue per incidenti in galleria nel mondo a partire dal 1971; si nota un oggettivo incremento negli ultimi anni dovuto ad alcuni eventi di particolare entità.

Ciononostante, l'indice di mortalità in galleria rimane inferiore rispetto al resto del tracciato. Ad esempio, in base a dati di Autostrade Spa, rilevati nel periodo 1993 - 2000, in galleria si

contano mediamente 10 morti ogni 1000 sinistri, rispetto ai 17 morti ogni 1000 incidenti riscontrati sull'intera rete. Le ragioni di questa attenuata pericolosità sono da ricercare in parte nella maggiore attenzione prestata dall'utente nell'attraversare il tunnel rispetto al percorso esterno, in parte nella maggiore dotazione di impianti di sicurezza spesso presente in questo tipo di infrastruttura.

Questo studio parte dal **ruolo che le gallerie rivestono in un sistema di trasporto** e, attraverso **l'analisi dei problemi** che si possono verificare in esse, mira ad individuare gli accorgimenti da porre in opera per **aumentare la sicurezza e quindi l'affidabilità della rete** di cui fanno parte.

3. LE GALLERIE NEI SISTEMI DI TRASPORTO

Una rete di trasporto, da un punto di vista funzionale, è costituita da rami (o archi) e da nodi.

Una galleria, in quanto arco o facente parte di un arco, è dunque parte integrante della rete di trasporto, fino spesso a diventarne, per l'elevato contributo che può offrire in termini di capacità di deflusso e tempi di percorrenza, un **elemento caratterizzante ed essenziale**. Tale aspetto è messo in evidenza dalle gravi ricadute economiche che si verificano quando si ha una chiusura, anche solo temporanea, di una galleria di valico. Il problema viene sentito in modo particolare nel nostro Paese, dove sono in esercizio 1200 km di gallerie ferroviarie e 1160 km di gallerie stradali. Le motivazioni del ricorso così frequente alla soluzione *underground* sono numerose, ad iniziare dalla possibilità di realizzare tracciati ferroviari o autostradali, con basse pendenze ed elevati raggi di curvatura; tali vincoli, difficilmente potrebbero essere superati senza la costruzione di tunnel a causa dell'orografia del nostro territorio, che notoriamente è attraversato dall'Appennino e separato dal resto d'Europa dalle Alpi. Inoltre, le gallerie consentono di abbassare le quote di attraversamento dei valichi e proteggono l'infrastruttura delle linee, permettendone il trans-

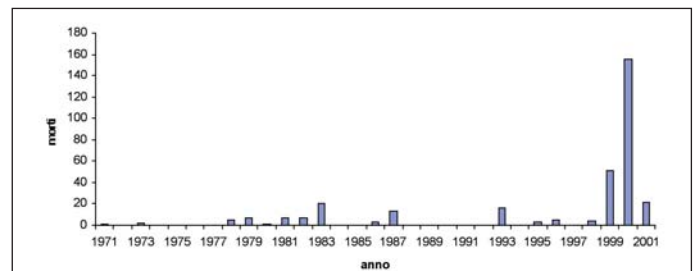


FIGURA 1
Decessi per incidenti in galleria nel mondo.

¹ http://www.lamc.ing.unibo.it/archivio/ab_tesi_martelli.pdf.

ito in quasi tutte le condizioni atmosferiche; tale prerogativa risulta in modo evidente, ad esempio, nel più importante passaggio stradale tra Italia e Francia, dove si dispone della continua transitabilità attraverso il Traforo del Frejus, che si trova ad un'altezza di 1300 m s.l.m, mentre il contiguo Passo del Moncenisio, a quota 2100 m, rimane chiuso nei mesi invernali. Sotto l'aspetto ambientale, poi, l'utilizzo di percorsi sotterranei permette di attenuare, in esercizio, l'impatto paesaggistico, mentre vi sono altre problematiche legate soprattutto alle fasi di costruzione.

3.1 Analisi del traffico sulle Alpi

Nel caso italiano, si può esemplificare l'importanza delle gallerie a servizio del trasporto analizzando i dati di transito delle merci attraverso l'arco alpino, traffico che oggi si attesta a circa 170 milioni di t annue, ed al quale si andrà ad aggiungere un 30 % quale incremento previsto nei prossimi 15 anni. Questo flusso si ripartisce, da un punto di vista modale, tra strada e ferrovia, ed entrambe dovranno avvalersi di infrastrutture di valico affidabili.

Attualmente i **valichi stradali** alpini sono per la maggior parte caratterizzati dalla presenza di un traforo monofornice (con una corsia per ogni senso di marcia), soggetto a regole di circolazione finalizzate a ridurre l'incidentalità (velocità v limitata a 70 km/h e distanza minima di sicurezza tra i veicoli d pari a 150 m). Ne consegue che essi presentano una capacità q pari² a 800 veicoli all'ora, di cui 200 pesanti, per ciascuno dei due sensi di marcia. A partire da questo dato, si può quindi stimare che i valichi stradali italiani possiedano complessivamente una capacità di trasporto, in condizioni di sicurezza, di 85 milioni di t di merce all'anno, valori solo leggermente inferiori al traffico attuale su gomma, che ammonta a 105 milioni di t, ed è pari ad oltre il 60 % del traffico totale.

Per quanto riguarda invece l'**offerta ferroviaria transalpina**, essa si articola in sette linee principali, aventi ciascuna una capacità *teorica* di 200 treni al giorno. In realtà, la presenza su alcune linee di tratti a binario semplice e la congestione di alcuni nodi, riduce la capacità *reale* totale a 1000 convogli ogni giorno, di cui 630 dedicati alle merci. Poiché la portata effettiva di ogni treno è mediamente di 400 t, ne segue che ogni anno transitano per ferrovia 65 milioni di t di merci. Le nuove infrastrutture in costruzione (Frejus, Gottardo, Brennero), con gallerie lunghe oltre 50 km, consentiranno un incremento pari a 150 milioni di t.

Si può quindi concludere che l'aumento di capacità di trasporto che si potrà avere dalle nuove linee alpine su ferro, se supportate da gallerie affidabili, dovrebbe permettere in futuro non solo di assorbire dalla strada quella parte di transiti (circa 20 milioni di t / anno) che essa non è più in grado di far circolare in sicurezza, ma anche di sostenere ulteriori incrementi di traffico. Tutto ciò, con un sistema di trasporto intrinsecamente più sicuro di quello su gomma.

4. ANALISI DEL RISCHIO NELLE GALLERIE - OBIETTIVO AFFIDABILITÀ

Un sistema di trasporto rappresenta la risposta tecnica alla domanda generata dalla collettività: il tecnico deve tener

² $q = K \cdot \frac{v}{d}$ dove q [veic/h], v [km/h], d [m], $K = 1$.

conto di quest'ultima per soddisfare la mobilità, servendosi di un sistema che per svolgere il proprio compito in sicurezza deve avvalersi di una **rete affidabile**.

Nel caso delle gallerie, si può ritenere che quest'obiettivo venga raggiunto se durante il percorso sotterraneo l'utente si trova in condizioni simili a quelle che avrebbe se percorresse tale tratto all'aperto, ossia chi transita nel tunnel deve raggiungere l'uscita in uno stato equivalente a quello che aveva prima di entrarvi. Per conseguire quest'obiettivo, il tecnico deve progettare valorizzando le caratteristiche positive del tunnel e contemporaneamente riducendo gli effetti negativi dovuti ad un ambiente confinato, tramite un insieme di dispositivi ed opere accessorie. Solo così operando la galleria potrà costituire un tratto di eccellenza delle rete, con caratteristiche anche superiori a quelle offerte in ambiente esterno.

Pertanto, se fino a qualche anno fa l'attenzione del progettista era principalmente rivolta alla sicurezza statico - strutturale, oggi un tecnico deve servirsi anche dell'**Analisi del Rischio** quale strumento da impiegare per una corretta progettazione. Questo metodo, nato per la realizzazione e il controllo delle centrali nucleari, permette di valutare in maniera completa la sicurezza di un sistema complesso; tale metodologia si basa sulla scomposizione del sistema in elementi semplici e nello studio delle relazioni che intercorrono tra essi, allo scopo di identificare "*cosa può andar male*" e quantificare l'entità dei fattori di rischio che l'opera presenta.

Il rischio viene misurato considerando il prodotto tra la probabilità di accadimento di un evento incidentale e l'entità del danno che ne consegue, secondo la formula

$$R = P \times D$$

dove R indica il **Rischio**, P la **Probabilità** e D il **Danno**.

4.1 Il caso di Kaprun

La relazione $R = P \times D$, è stata utilizzata per lo studio di uno degli incidenti più gravi degli ultimi anni, ossia l'incendio della funicolare austriaca di Kaprun, episodio divenuto emblematico in quanto coinvolse un impianto semplicissimo e apparentemente privo di rischio. Infatti, esso era costituito da una linea a binario unico percorsa alternativamente in verso opposto da due vetture, con posto di movimento intermedio. Il tragitto si sviluppava per 3800 m, di cui 3300 m in galleria. Tale impianto di trasporto era ritenuto uno dei più sicuri, in quanto univa i vantaggi dei sistemi a fune (assenza di motori a bordo) a quelli dei sistemi a guida vincolata. In più, la galleria proteggeva il sistema dagli agenti naturali (come intemperie o valanghe). Ciononostante, la mattina dell'11 novembre 2000, un violento e rapidissimo incendio in una vettura rimasta bloccata all'interno del tunnel, uccise 155 giovani sciatori.

Le inchieste individuarono l'origine dell'incendio in un trasudamento dell'olio infiammabile del circuito frenante idraulico delle carrozze, che nel tempo aveva impregnato il pavimento dell'abitacolo e raggiunto un piccolo riscaldatore elettrico, non previsto nel progetto ma installato a bordo successivamente. La mattina dell'incidente, il blocco accidentale della ventola del riscaldatore provocò il surriscaldamento della resistenza elettrica sino a raggiungere la temperatura di infiammabilità dell'olio innescandone l'incendio.

Se fosse stata preventivamente eseguita l'Analisi del Rischio, si sarebbero potute individuare alcune precauzioni per ridurre:

– la **probabilità** dell'evento, come

• il preciso rispetto delle indicazioni del progetto originale (che non prevedeva elementi di riscaldamento a bordo);



FIGURA 2
La funicolare di Kaprun all'interno della galleria dopo l'incendio.

- una più accurata manutenzione dell'impianto frenante (che avrebbe evitato la fuoriuscita del liquido infiammabile);
- un approfondito controllo della funzionalità del sistema (che avrebbe permesso di individuare tempestivamente le avarie);
- il **danno** conseguente l'incendio, poiché perizie successive individuarono nella ventilazione della galleria e nella mancanza di una via di fuga adeguata, elementi che esaltarono le conseguenze dell'incidente.

A proposito di vie di fuga, va ricordato che l'Associazione Mondiale della Strada (Aipcr), come valore di riferimento considera la velocità di sfollamento delle persone coinvolte in un incidente in presenza di fumo compresa tra 0,5 e 1 m/s. Tuttavia, nel caso di Kaprun, la via di fuga era costituita soltanto da una scala metallica stretta, ripida e non illuminata a fianco dei binari (vedi figura 2); tale circostanza, unitamente all'abbigliamento ingombrante e agli scarponi da sci che i passeggeri indossavano, ha fatto sì che l'uscita più vicina, distante 600 m dal luogo dell'incendio, sia stata raggiunta soltanto da 12 persone.

5. LA RIDUZIONE DEL RISCHIO

Da quanto finora esposto, si comprende come occorra elaborare, fin dai primi momenti della progettazione, una dettagliata "scaletta" dei **fattori di rischio** (R) presenti nell'opera. Per ognuno di questi, è indispensabile individuare le relative **soluzioni progettuali** volte ad aumentare la sicurezza operando contemporaneamente, secondo la già citata relazione $R = P \times D$, sulla riduzione di:

- **probabilità** (P) di accadimento dell'incidente (**sicurezza attiva**), attraverso l'adozione di elementi utili nelle condizioni ordinarie di circolazione, previsti nel Piano di Gestione e che fanno riferimento in particolare a:
 - geometria dell'infrastruttura;
 - impianti fondamentali;
 - sistemi di controllo.
- **danno** (D) conseguente l'evento incidentale (**sicurezza passiva**), tramite dispositivi che intervengano in condizioni straordinarie secondo quanto predisposto nel Piano di Emergenza, quali:
 - impianti fondamentali;

- sistemi di emergenza;
- servizi di soccorso.

È fondamentale sottolineare che se da un lato questa suddivisione aiuta a comprenderne la funzionalità, dall'altro tutti gli elementi presenti in galleria devono contribuire alla riduzione di entrambi i fattori del rischio, e in questa luce devono essere progettati e sono descritti in seguito, con riferimento al caso, più complesso, dei tunnel stradali.

5.1 La geometria dell'infrastruttura

Nell'impostazione di un progetto è opportuno scegliere:

- un tracciato che presenti pendenze limitate ($< 3\%$) e raggi di curvatura elevati (≥ 600 m), obiettivo reso possibile dal ridotto condizionamento dell'orografia del territorio sul percorso sviluppato in sotterraneo;
- una sezione trasversale del traforo che consenta di mantenere all'interno spazi e corsie pari a quelli che si trovano all'esterno, con in più gli spazi tecnici per gli impianti, marciapiedi di almeno 80 cm per ogni lato e piazzole attrezzate per la sosta di emergenza almeno ogni 1000 m. È sempre da preferire, quando possibile, la soluzione con due fornici a circolazione unidirezionale.

5.2 Gli impianti fondamentali

- **impianto elettrico**, tale da assicurare l'alimentazione del sistema anche in caso di emergenza;
- **impianto di illuminazione**, comprendendo in questa voce anche gli interventi di illuminamento passivi (colorazione chiara della pavimentazione e pannellatura delle pareti), idoneo a garantire una visibilità ottimale in condizioni ordinarie e l'individuazione dei dispositivi di soccorso in caso di emergenza;
- **sistema di drenaggio**, per permettere un'efficace intercettazione dei liquidi, soprattutto se pericolosi, limitandone la diffusione;
- **impianto di ventilazione**, che deve perseguire sia il mantenimento di un adeguato livello di visibilità in condizioni ordinarie sia, in caso di incendio, il controllo del calore e del fumo, che sono i fattori più pericolosi. Considerato che questo impianto è uno dei più importanti per la sicurezza del tunnel, pare opportuno approfondirne l'analisi.

5.3 La ventilazione

Ogni galleria è ventilata per azione naturale, il cui effetto è in genere variabile essendo strettamente correlato con le condizioni ambientali esterne. Per controllare il flusso d'aria, è quindi spesso necessario ricorrere ad una più affidabile ventilazione meccanica.

A questo proposito, è stato studiato il caso della già menzionata galleria della funicolare di Kaprun, priva di impianto di ventilazione meccanica e interessata da un importante flusso d'aria per **effetto camino**, naturalmente presente nelle gallerie per la differenza di densità e temperatura dell'aria tra gli imbocchi quando posti a quote o in condizioni meteorologiche diverse. Si è valutato che il dislivello di 1535 m esistente tra gli imbocchi, era in grado di generare una ventilazione naturale longitudinale con una velocità dell'aria pari anche a 12 m/s, valore notevolmente superiore a quello raccomandato dall'Associazione Mondiale della Strada, che infatti ammette

te un valore massimo di 3 m/s, con un limite di 8 m/s oltre il quale si moltiplica l'effetto di alimentazione dell'incendio da parte della corrente d'aria.

Tale ventilazione naturale può venire modificata con l'adozione di sistemi di **ventilazione meccanica**, che si distinguono principalmente in trasversali e longitudinali.

Il primo sistema (figura 3) è più adatto alle gallerie lunghe e a circolazione bidirezionale, in quanto l'aria viene immessa ed estratta lungo la galleria tramite bocche poste trasversalmente ad essa alimentate da condotti paralleli all'asse del tunnel. L'efficacia di questa tecnica in caso d'incendio, è massima se l'impianto è progettato in modo da prevedere la possibilità di suddividere in tronchi indipendenti la lunghezza della galleria, al fine di concentrare la potenza di aspirazione nel settore interessato dall'incendio, mentre in tutti gli altri settori del tunnel continuerà ad essere immessa aria fresca per salvaguardare gli occupanti e garantire il confinamento dell'incendio in un solo tratto, almeno per un certo periodo di tempo. L'esperienza mostra tuttavia che questo sistema, a causa della sezione necessariamente limitata dei condotti di aerazione, non consente un'aspirazione completa del fumo prodotto da un incendio anche se di dimensioni medie. Inoltre, è molto difficile il controllo di un parametro fondamentale quale la velocità longitudinale dell'aria.

Il secondo sistema (figura 4), quello della ventilazione longitudinale, in genere è adottato nelle gallerie a circolazione unidirezionale. Con l'ausilio di ventilatori assiali, si instaura all'interno del tunnel una corrente d'aria longitudinale che spinge

il fumo nel verso di circolazione, lasciando quindi libero dal gas il tratto a monte dell'incendio. È chiaro che la salvaguardia delle persone è garantita solo se si è in grado di assicurare una rapida evacuazione degli utenti che si trovano nel tratto della galleria a valle dell'incendio. Questo sistema solitamente è efficace se impiegato in gallerie fino a 4500 m, ma può essere utilizzato anche in tunnel più lunghi se essi vengono suddivisi (figura 5) in una successione di tronchi autonomi dal punto di vista della ventilazione tramite camini di ventilazione intermedi, come nella galleria stradale di Base della Variante di Valico tra Bologna e Firenze, in costruzione.

5.4 Sistemi di controllo

Per garantire elevati livelli di sicurezza, è determinante prevedere un piano organizzativo che consenta un **corretto esercizio** e una **costante manutenzione** dell'infrastruttura, ovvero l'adozione di un Piano di Gestione del tunnel; la sua efficacia è maggiormente garantita se la società che lo esegue gode della **Certificazione di Qualità** e ha sede operativa in un **Centro di controllo e comando** in prossimità della galleria.

Il Piano si dovrà avvalere di tutti quei dispositivi atti a realizzare un efficace **controllo del flusso dei veicoli**, come ad esempio un sistema automatizzato basato su impianti televisivi a circuito chiuso. L'obiettivo è mantenere all'interno della struttura una circolazione ordinata, facendo rispettare regole

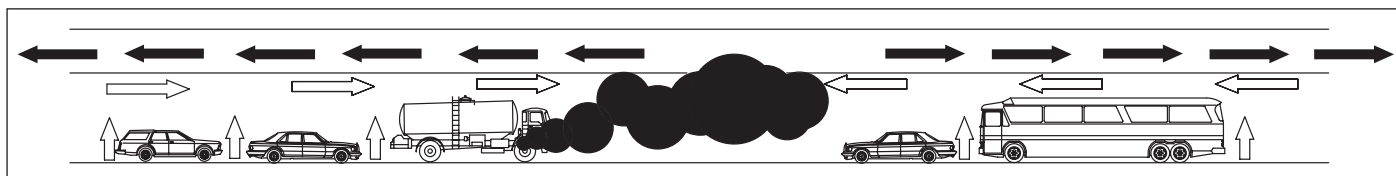


FIGURA 3
Ventilazione meccanica trasversale, circolazione bidirezionale.

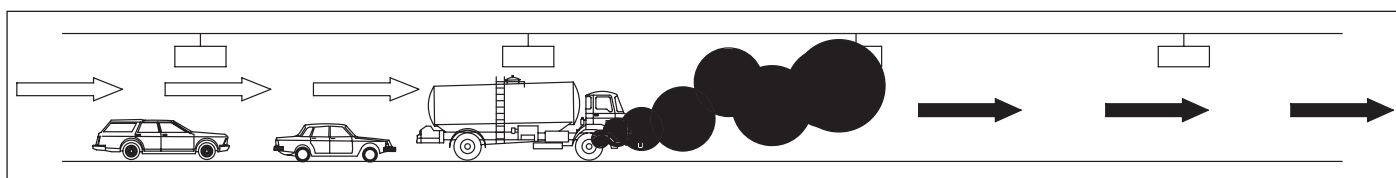


FIGURA 4
Ventilazione meccanica longitudinale, circolazione monodirezionale.

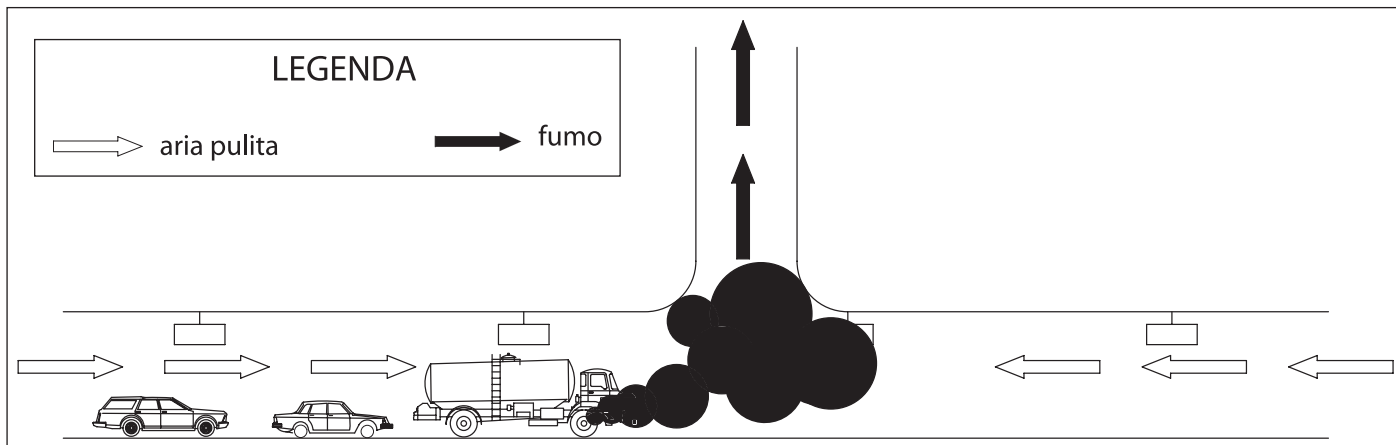


FIGURA 5
Ventilazione meccanica longitudinale integrata con camini di estrazione intermedi, circolazione monodirezionale.

più restrittive rispetto all'esterno, specie nei casi di trasporto di merci pericolose. I dispositivi che permettono di intervenire sul flusso sono, in aggiunta alla segnaletica ordinaria, **semafori, barriere telecomandate e pannelli a messaggio variabile**, da predisporre lungo i percorsi di accesso e ogni 500 m all'interno del tunnel; essi, in caso di anomalie, devono consentire di gestire in sicurezza sia i veicoli già all'interno della galleria, sia quelli che si trovano ancora all'esterno, impedendo loro l'accesso o addirittura intercettandoli nel primo nodo a monte del tunnel e deviandoli verso percorsi alternativi sicuri.

5.5 Sistemi di emergenza

In caso di emergenza, si rivela determinante la presenza di:

- **impianti di rilevamento allarmi** (ad attivazione automatica e manuale), che dovranno essere opportunamente segnalati e distanziati;
- **impianti di comunicazione** da e per l'utenza (telefoni, radio, altoparlanti), in quanto il rapido ed efficace scambio di informazioni è elemento essenziale per una corretta gestione dell'emergenza;
- **impianti antincendio** di base, come estintori e idranti, mantenuti efficienti e posti in modo ben visibile ad intervalli non superiori a 150 m. Potrebbero inoltre essere installati anche sistemi di lotta contro il fuoco più sofisticati ed a elevato grado di automazione; tuttavia, tali dispositivi sono in genere molto costosi e non godono ancora dell'unanime consenso circa l'efficacia del loro intervento;
- predisposizione di **vie di fuga** verso l'esterno, protette da un'opportuna azione dell'impianto di ventilazione e accessibili con percorsi non superiori a 300 m; queste vie costituiscono anche un efficace accesso per i soccorsi. Sono da evitare i luoghi sicuri non collegati con l'esterno.

Si sottolinea infine che il Piano di Emergenza deve puntare sull'organizzazione di un **servizio di soccorso** in grado di intervenire in tempi sufficientemente rapidi da raggiungere l'evento nella fase embrionale, quando è ancora controllabile.

6. CONCLUSIONE

Le considerazioni fin qui esposte, permettono di individuare alcuni punti fermi circa **le problematiche di sicurezza proprie dei tratti in sotterraneo di una rete di trasporto**.

È stato presentato un primo approccio ad una nuova metodologia di progettazione e gestione delle gallerie, che si basa sull'Analisi del rischio e si avvale degli ammonimenti scaturiti dalle recenti tragedie. L'adozione delle indicazioni che derivano da questa nuova impostazione progettuale e che si sono descritte nei paragrafi precedenti, permette di raggiungere una maggiore affidabilità del sistema attraverso **l'incremento della sicurezza attiva e passiva**.

Una rassicurante voce concorde all'applicazione di questa metodologia, viene dalla **Direttiva** presentata dalla **Commissione Europea** il 30 dicembre 2002³ ed in fase di approvazione. Essa si applicherà alle gallerie di lunghezza superiore a 500 m sia in fase di progettazione sia, a differenza della maggior parte delle normative nazionali, già in esercizio; individuerà gli interventi minimi da realizzare tramite una classificazione basata su geometria, traffico e lunghezza della

galleria. L'Italia dovrà adeguarsi entro 15 anni dalla data di approvazione.

In conseguenza di ciò:

- **a breve e medio termine**, sarà opportuno mettere in opera, per le strutture già in esercizio, tutti gli interventi a favore di sicurezza attuabili senza interferire in maniera significativa con la circolazione, che già si svolge spesso in condizioni critiche. Un esempio significativo, può essere rappresentato dalla Galleria ferroviaria dell'Appennino, tra Bologna e Firenze (inaugurata più di settanta anni fa e che ancora oggi costituisce un ramo portante del sistema di trasporto italiano), dove è impossibile ipotizzare lavori che necessitino di una interruzione del traffico per un tempo maggiore di qualche ora. In questi casi, un provvedimento che può essere di immediata efficacia è la redazione di un Piano di Emergenza e di un Piano di Gestione secondo i criteri fin qui esposti. D'altra parte, le più recenti normative confermano che per garantire una significativa riduzione del rischio in galleria è indispensabile lo sviluppo di nuovi **studi e ricerche**, costituite da sperimentazioni reali e virtuali e da periodiche esercitazioni. Infatti, molti dei fenomeni presi in esame sono oggetto di analisi specifiche solo da pochi anni e quindi in parte ancora sconosciuti nella loro evoluzione.

- **a lungo termine** si dovrà, anche grazie ai risultati tecnologici degli studi nel frattempo effettuati, ripensare alla configurazione della rete, rivalutando il ruolo delle gallerie nelle varie modalità di trasporto, come nel caso dei valichi alpini. Questo dovrà portare da un lato alla costruzione di nuove infrastrutture progettate secondo i concetti già richiamati, dall'altro alla valutazione se sia possibile effettuare interventi radicali sulle infrastrutture meno recenti (fino anche ad un'eventuale progressivo abbandono di quelle inadeguabili), in modo da poter contare in futuro su una rete maggiormente affidabile e sicura in tutti i suoi rami.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- Francesco Maria Cellini, "Sistema di sicurezza per l'esercizio ferroviario in Galleria". Tesi di laurea, 1999.
- Ministero dei Trasporti e della Navigazione, "Conto Nazionale dei Trasporti 2000". Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 2001.
- N. Pacilio, A. Sacripanti, "Tunnel Intelligenti: gallerie dinamiche e analisi di rischio variabile nel tempo". Enea Progetto FIT (da Fire in Tunnels a Functionally Intelligent Tunnels), 2001.
- E. Engel, J. Nejez, "Kaprun: chiarita la causa dell'incendio". ISR - International Seilbahn-Rundschau (Rivista internazionale delle funivie), Bohmann Wien 5/2001.
- Didier Lacroix e Comité AIPCR des Tunnels routiers, "Maîtrise des incendies et des Fumées dans les tunnels routiers". AIPCR, 1999.
- Dipartimento della Protezione Civile, Consiglio Nazionale delle Ricerche, "Protezione contro il rischio di incendio nelle gallerie ferroviarie e stradali". Atti della seconda conferenza, 1999.
- B. B. Daly, "Manuale di Aeraulica - Tecnica della ventilazione". Woods Italiana, 1997.
- Leonardo e Emanuela Corbo, "Manuale di prevenzione incendi nell'edilizia e nell'industria". Il Sole 24 Ore, 2001.
- R. Rigacci, P. Albino, M. Cavriani, G. Chimenti, "Sistemi antincendio nelle gallerie". Le Strade 1-2/2000.
- A. Nicolardi, "La Direttissima Bologna - Firenze". Ponte Nuovo, 1985.

³ http://www.europa.eu.int/comm/transport/themes/land/french/lt_7_fr.html