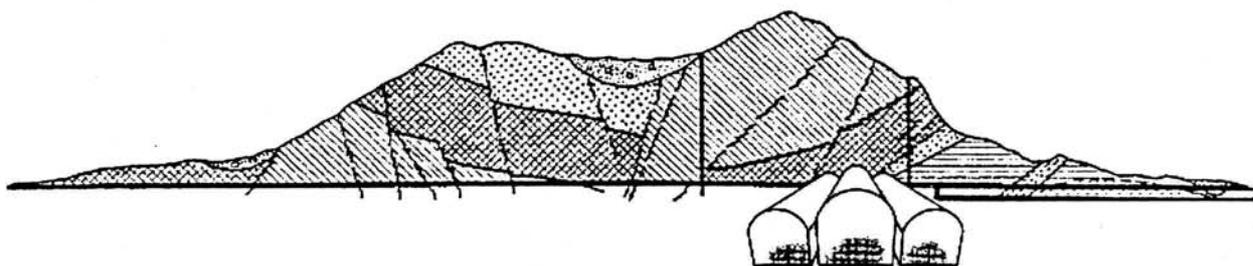




Società Italiana Gallerie  
Italian Tunnelling Society

IGI

Istituto Grandi Infrastrutture



Convegno Europeo su

**La sicurezza per l'esercizio  
delle gallerie autostradali,  
stradali, ferroviarie  
e metropolitane**

## IL RUOLO DELLA STRUTTURA NEI RIGUARDI DELLA SICUREZZA D'ESERCIZIO DELLE GALLERIE"

Prof. Ing. Pietro Lunardi, Presidente della Società Italiana Gallerie.

Sono trascorsi più di novant'anni da quando fu aperto il primo grande traforo ferroviario alpino e quasi quaranta dall'apertura di quello autostradale del Frejus. Nel frattempo abbiamo avuto modo di maturare una considerevole esperienza in tema di miglioramento della sicurezza d'esercizio di questo genere di opere: si è constatato, tra le altre cose, che detta sicurezza, nell'eventualità di un incendio o di qualsiasi altra emergenza, non è una cosa che è possibile programmare e includere nella galleria come, per esempio, un sistema telefonico d'emergenza. Essa dipende, invece, dalla combinazione di diversi fattori:

- le caratteristiche strutturali dell'opera (numero di forni, camini di ventilazione, ecc.);
- gli impianti fissi;
- l'addestramento e il comportamento del personale di servizio per le emergenze e delle altre persone coinvolte nell'evento, compresi gli utenti nel tunnel: in altre parole l'adeguatezza delle misure di prevenzione in atto.

Con riferimento a detti fattori, analizziamo brevemente come si dovrebbe affrontare il problema della sicurezza d'esercizio di una grande galleria: per farlo è utile iniziare a vedere come lo stesso è stato affrontato in passato.

Dovendo mettere in comunicazione tra loro, attraverso una strada o una ferrovia, due diverse località A e B, è noto come, in teoria, si abbiano infinite possibilità di percorsi: il tracciato finale è il risultato di un lavoro di ottimizzazione tra esigenze spesso contrastanti. Per compiere la scelta, normalmente si opera individuando, innanzitutto, alcuni parametri significativi di confronto, in relazione ai quali, poi, si procede alla comparazione dei tracciati considerati.

In particolare, se le due località da congiungere sono separate da una montagna che sembra tecnicamente ed economicamente vantaggioso superare in galleria, il confronto dovrà prendere in considerazione, tra gli altri, i seguenti parametri:

- la lunghezza dei diversi possibili percorsi in sotterraneo;
- il tipo di formazioni geologiche che verrebbero attraversate da ciascun percorso e il grado di difficoltà ad attraversarle;
- l'entità delle coperture in gioco, dalle quali dipende l'intensità dei campi di tensione che si affronteranno.

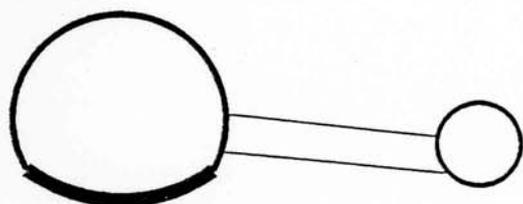
Si tratta, come è evidente, di parametri che influiscono in maniera determinante sui tempi e sui costi di costruzione dell'opera, ciò anche in funzione dello stato dell'arte delle tecnologie disponibili al momento. Dalla scelta del tracciato che ne deriva rimangono automaticamente definiti: la lunghezza del traforo, la sua copertura, e, di conseguenza, le caratteristiche costruttive. Sono, infatti, la lunghezza del traforo e l'andamento delle coperture che, con le

# EVOLUZIONE DEGLI SCHEMI PROGETTUALI PER LE GRANDI GALLERIE

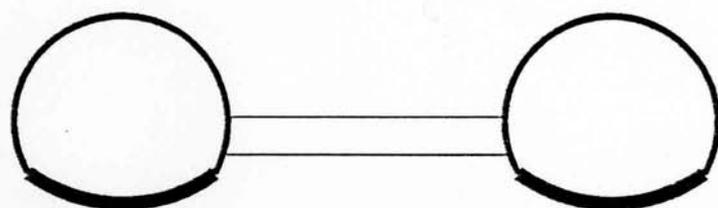
1) MONOFORNICE



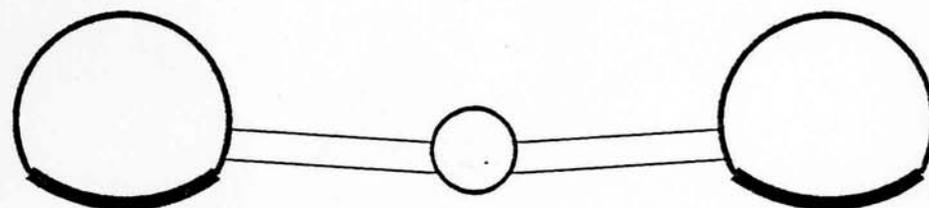
2) MONOFORNICE CON CUNICOLO DI SERVIZIO



3) DOPPIO FORNICE CON BY-PASS DI COLLEGAMENTO



4) DOPPIO FORNICE CON CUNICOLO DI SERVIZIO



MAGGIORI GALLERIE FERROVIARIE NEL MONDO

ANNO	GALLERIA	UBICAZIONE	FERROVIA	LUNGHEZZA	TIPOLOGIA
In costr.	S. Gottardo	Italia/Svizzera	Alptransit	56.900 m	3
1985	Seikan	Giappone	Linea ferroviaria Tokyo-Sapporo (Shinkansen lines)	53.850 m	2
In prog.	Alpetunnel	Italia/Francia	Linea ferroviaria Torino-Lione	52.000 m	3
1994	Eurotunnel	Francia/Inghilterra	Sottopasso ferroviario de La Manica	47.500 m	4
In costr.	Lötschberg	Svizzera	Alptransit	34.600 m	3
1905	Sempione	Italia/Svizzera	Trafo ferroviario del Sempione	19.820 m	3
In costr.	Vereina	Svizzera	Linea del Vereina	19.000 m	1
In costr.	Vaglia	Italia	Nuova linea ferroviaria A.V. "Firenze-Bologna"	18.647 m	2
1934	dell'Appennino	Italia	Linea ferroviaria "Direttissima" Bologna-Firenze	18.507 m	1
1982	Furka	Svizzera	Linea ferroviaria Briga-Amsteg	15.400 m	1
1881	S. Gottardo	Italia/Svizzera	Trafo ferroviario del S. Gottardo	14.944 m	1
In costr.	Firenzuola	Italia	Nuova linea ferroviaria A.V. "Firenze-Bologna"	14.340 m	1
1960	Hokoriku	Giappone		13.871 m	1
1870	Frejus	Italia/Francia	Trafo ferroviario del Frejus (Cenisio)	13.636 m	1
1988	Prato Tires	Italia	Linea ferroviaria Verona-Brennero	13.200 m	1
1827	New Cascade	Stati Uniti		12.400 m	1
In costr.	Pianoro	Italia	Nuova linea ferroviaria A.V. "Firenze-Bologna"	10.706 m	1
1884	Arlberg	Austria/Svizzera	Linea ferroviaria Sant'Antoine-Langen	10.239 m	1
In costr.	Raticosa	Italia	Nuova linea ferroviaria A.V. "Firenze-Bologna"	10.380 m	1
	S. Lucia	Italia	Linea ferroviaria Salerno-Nocera	10.265 m	1
1889	Giovi	Italia	Linea ferroviaria Novi-Genova	8.300 m	1

MAGGIORI GALLERIE AUTOSTRADALI NEL MONDO

ANNO	GALLERIA	UBICAZIONE	AUTOSTRADA	LUNGHEZZA	TIPOLOGIA
1979	Gottardo	Italia/Svizzera	Trafo autostradale del San Gottardo	16.900 m	2
1960	Frejus	Italia/Francia	Trafo autostradale del Frejus	12.895 m	1
1965	M. Bianco	Italia/Francia	Trafo autostradale del M. Bianco	11.600 m	1
1980	Gran Sasso	Italia	Autostrada Roma-L'Aquila-Teramo	10.173 m	3
1980	Seelisberg	Svizzera	Autostrada Chiasso-Basilea	9.300 m	3
In costr.	Galleria di Base	Italia	Autostrada A1, variante di valico tra Bologna e Firenz	8.600 m	3
1964	Gran San Bernardo	Italia/Svizzera	Trafo autostradale del Gran San Bernardo	6.600 m	1
1985	Cels	Italia	Autostrada Torino-Bardonecchia	5.250 m	3
	San Domenico	Italia	Autostrada Torano-Avezzano-Pescara	4.550 m	3
1970	San Rocco	Italia	Autostrada Roma-L'Aquila-Teramo	4.181 m	3
1985	Prapontin	Italia	Autostrada Torino-Bardonecchia	4.000 m	3
	Petraro	Italia	Autostrada Messina-Palermo	3.330 m	3
1993	Villeneuve	Italia	Autostrada Torino-Aosta	3.230 m	3
1978	Capo Calavà	Italia	Autostrada Messina-Palermo	3.150 m	3

Tipologie:

- (1) Monofornice
- (2) Monofornice con cunicolo di servizio
- (3) Doppio fornice con by-pass di collegamento
- (4) Doppio fornice con cunicolo di servizio

Fig. 2

esigenze di traffico, condizionano, ad esempio, la scelta del numero di fornice della galleria. Nascono, così, gallerie ferroviarie ed autostradali bidirezionali e monodirezionali a doppio fornice o monofornice, provviste o meno di cunicolo di servizio (fig. 1).

Se si esamina la fig. 2, dove sono riportate le caratteristiche di alcuni dei trafori ferroviari e stradali più importanti del mondo, emerge chiaramente che:

1. gli unici trafori stradali monofornice a traffico bidirezionale sono quelli del M. Bianco, del Frejus, del Gran San Bernardo e del S. Gottardo, tutti prodotti di progetti degli anni '50-'60, elaborati a fronte di esigenze di traffico assai più modeste rispetto a quelle attuali;
2. con il passare degli anni la lunghezza di opere analoghe è almeno triplicata, per effetto dei progressi tecnologici e progettuali.

Occorre infatti ricordare come, in passato, le capacità tecniche fossero assai più limitate di quelle odierne e la difficoltà ad affrontare lo scavo di un'importante galleria, specialmente in condizioni tenso-deformative difficili, assai più marcata. Ciò portava, come conseguenza, a penalizzare le scelte in sotterraneo in genere e, quando non era possibile farne a meno, a concentrarsi sulle problematiche costruttive subordinando ad esse quelle più attinenti alla sicurezza.

È interessante esaminare, a questo proposito, come furono strutturati alcuni grandi trafori del passato e commentare le scelte progettuali attinenti con le esigenze della sicurezza (fig. 3).

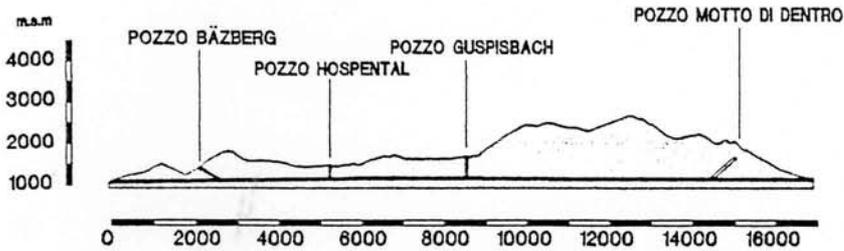
Il traforo autostradale del S. Gottardo, che unisce l'Italia alla Svizzera è una galleria monofornice, con traffico bidirezionale, di circa 16.900 m di lunghezza. Si tratta della più lunga galleria stradale esistente al mondo fino a questo momento. Il progetto, relativamente recente, risale agli anni '70. La copertura massima è dell'ordine di 1500 m, ma oltre metà del tracciato sotterraneo si snoda sotto coperture comprese tra i 400 e i 600 m; ciò ha reso possibile l'esecuzione di ben quattro pozzi di ventilazione equamente distribuiti lungo il percorso. Unico tra tutti i grandi trafori alpini, è provvisto di un cunicolo di sicurezza che corre parallelamente alla canna principale, a circa 30 m di distanza. Occorre dire, però, ch'esso non fu progettato espressamente per rispondere ad esigenze di sicurezza, bensì come cunicolo pilota del futuro secondo fornice, da affiancare al primo, quando le esigenze di traffico lo richiederanno.

Il traforo autostradale del Frejus è un progetto degli anni '60. Si tratta di un'unica canna di circa 12.895 m di lunghezza in cui si svolge un traffico bidirezionale. La presenza di un tale traffico e la notevole lunghezza del traforo fecero escludere sin dall'inizio il ricorso ad una ventilazione di tipo longitudinale. Anche in questo caso la copertura massima è dell'ordine dei 1700 m, tuttavia l'andamento del profilo altimetrico e la presenza di profondi valloni in superficie permisero la realizzazione di due pozzi di ventilazione intermedi. L'intero sviluppo della galleria è perciò idealmente diviso in sei tratte praticamente uguali, ognuna servita da una propria centrale di ventilazione. Le centrali, quindi, sono sei, di cui due agli imbocchi e due doppie in caverna, poste a circa 4.300 m da questi. I pozzi di ventilazione sono ubicati in corrispondenza di queste ultime centrali.

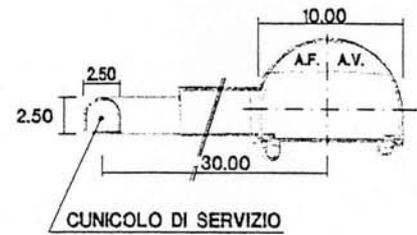
Il progetto del traforo autostradale del Gran Sasso (10.173 m di lunghezza, 1400 m di copertura massima) è degli anni '80. Si tratta di una galleria a due canne poste mediamente a 50 m d'interasse, ciascuna dedicata ad una singola corrente di traffico. Ciò ha permesso di ottenere una buona ventilazione longitudinale forzata anche in assenza di camini o pozzi di ventilazione intermedi, la cui costruzione sarebbe stata impossibile a fronte delle elevate coperture esistenti lungo gran parte del percorso centrale. I due fornice sono collegati tra loro da by-pass ogni 500 m circa, i quali costituiscono altrettante vie di fuga provvidenziali in caso d'incendio. I by-pass sono muniti di porte tagliafuoco che impediscono il passaggio dei fumi da una canna all'altra, elevando notevolmente la sicurezza d'esercizio della galleria.

### TRAFORO AUTOSTRADALE DEL SAN GOTTARDO

( L=16.900 m. )



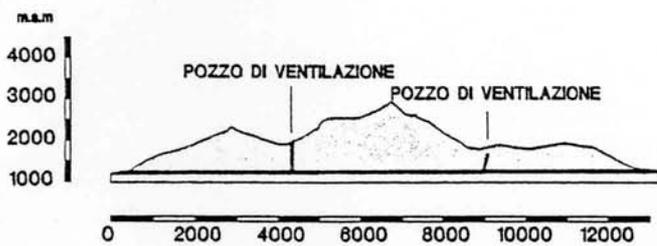
### SEZIONE TRASVERSALE



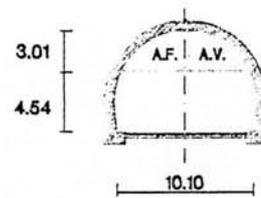
A.F.- ARIA FRESCA  
A.V.- ARIA VIZIATA

### TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS

( L=12.895 m. )



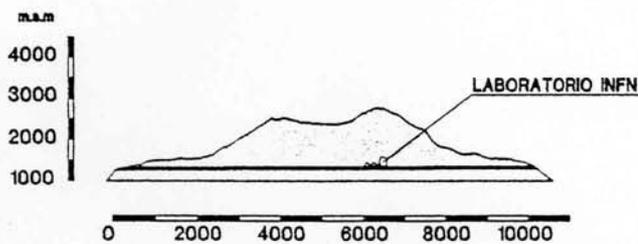
### SEZIONE TRASVERSALE



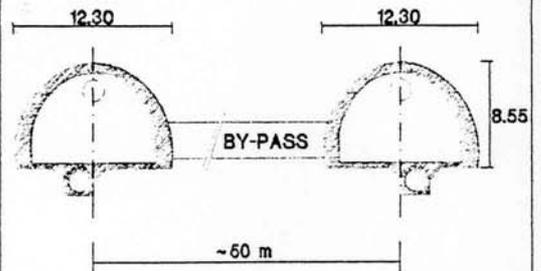
A.F.- ARIA FRESCA  
A.V.- ARIA VIZIATA

### TRAFORO AUTOSTRADALE DEL GRAN SASSO

( L=10.173 m. )

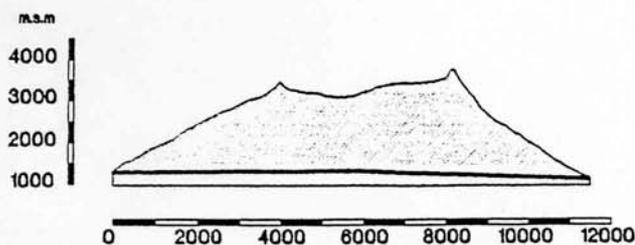


### SEZIONE TRASVERSALE

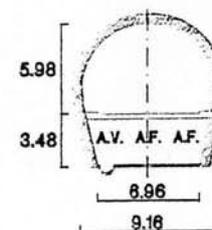


### TRAFORO AUTOSTRADALE DEL MONTE BIANCO

( L=11.600 m. )



### SEZIONE TRASVERSALE



A.F.- ARIA FRESCA  
A.V.- ARIA VIZIATA

P. LUNARDI - MILANO

Se, infine, prendiamo in esame il Traforo del M. Bianco (monofornice con traffico bidirezionale, realizzato negli anni '60, 11.600 m di lunghezza, coperture dell'ordine di 2.000 m per larga tratta del traforo) notiamo l'assenza di pozzi di ventilazione intermedi che suppliscano all'assenza della seconda canna. Il forte spessore di copertura, la presenza di ghiacciai per il 60 % del tracciato e le ingenti quantità di acqua in seno alla montagna non permisero, infatti, la costruzione di camini verticali di aerazione, la cui realizzazione, d'altra parte, sarebbe ancor oggi problematica. Per questo motivo gli impianti si trovano unicamente all'esterno sui due piazzali d'imbocco, con canali di ventilazione che percorrono la galleria al di sotto della soletta stradale. L'impianto di ventilazione, potenziato nel 1980, ha svolto egregiamente il suo lavoro anche a fronte dei moderni elevati flussi di traffico ed ha consentito, in passato, di ben controllare casi ordinari d'incendio. Quanto si è verificato il 24 marzo 1999 è stato un evento eccezionale, che ha portato nel giro di pochi secondi la temperatura nella parte centrale del tunnel ad oltre 500°. Anche la presenza di una galleria di servizio avrebbe potuto risolvere ben poco.

Da questa succinta analisi di alcuni dei maggiori tunnel alpini e appenninici esistenti risulta evidente quanto già accennato: e cioè il fatto che anteriormente agli anni '70-'80, vuoi perché preoccupati da difficoltà di carattere tecnico dovute alle carenze tecnologiche dell'epoca, vuoi perché alle prese con esigenze di traffico assai più ridotte rispetto alle attuali, veniva dedicata scarsa attenzione ai problemi di sicurezza d'esercizio delle gallerie, che quindi nascevano sovente, almeno da questo profilo, strutturalmente inadeguate.

A questa inadeguatezza si è cercato di por rimedio, man mano che si evidenziavano i problemi, attraverso:

- l'installazione di impianti fissi di sicurezza, progettandoli e realizzandoli per ogni singola opera come un abito che viene tagliato su misura per l'individuo da vestire;
- la prevenzione.

Tra i primi rammentiamo:

- la ventilazione (sia essa longitudinale, semitrasversale, in mandata o in aspirazione, che però veniva progettata esclusivamente per diluire i gas di scarico degli autoveicoli in circolazione);
- i sistemi antincendio: idranti, estintori, segnalatori termosensibili, ecc.;
- l'illuminazione;
- i rifugi pressurizzati;
- le vie di fuga;
- la segnaletica;
- gli impianti televisivo e telefonico interni.

La prevenzione, d'altra parte, si attuava soprattutto attraverso la regolamentazione del traffico e dei carichi trasportati (limiti di velocità, introduzione di norme per il trasporto di merci pericolose, ecc.).

Gli ultimi tragici avvenimenti hanno però evidenziato l'insufficienza delle misure intraprese, soprattutto quando l'emergenza è stata determinata da un incendio importante.

Oggi, quindi, siamo di fronte a un duplice problema riguardo alla sicurezza d'esercizio delle gallerie. Infatti:

- un problema è elevare quanto più possibile la sicurezza delle gallerie già esistenti, anche a fronte di carenze di struttura ormai difficilmente eliminabili;
- altro problema è realizzare in futuro gallerie sicure anche a fronte dei moderni elevati flussi di traffico.

Per risolverli entrambi occorre agire in maniera differenziata sui fattori che, abbiamo visto, determinano il livello di sicurezza di una galleria: le caratteristiche strutturali dell'opera, gli impianti fissi di cui è dotata, i piani di prevenzione.

Vediamo allora che per le gallerie da realizzare occorrerà agire soprattutto sulla struttura, adottando, ogni volta che è possibile:

- tipologie a doppio fornice con gallerie di by-pass munite di porte tagliafuoco o, quanto meno, tipologie monofornice con galleria di servizio, in modo da poter sempre assicurare il deflusso delle persone attraverso vie sicure;
- un numero di camini di ventilazione adeguato a garantire non solo la diluizione dei gas di scarico dei veicoli circolanti nel tunnel, ma anche flussi d'aria adeguati in caso d'incendio.

A questo proposito, dato per scontato che l'assunto di base sia comunque quello di armonizzare al massimo le due esigenze, è importante rendersi conto che, qualora l'antinomia sicurezza-ambiente dovesse risultare insanabile, la priorità va data alla salvaguardia della vita umana.

Ovviamente, per le gallerie predisposte strutturalmente alla sicurezza sin dal momento della progettazione, agli impianti fissi e alla prevenzione potrà essere affidato un compito più limitato: quello di perfezionamento di una sicurezza d'esercizio intrinseca, di base già esistente.

Nel caso delle gallerie già in esercizio, d'altra parte, non essendo normalmente possibile mutarne la struttura, si dovrà agire massicciamente proprio su detti impianti e sulla prevenzione.

In particolare, riguardo ai primi potrà, ad esempio, essere fatto ricorso alle tecnologie più moderne per controllare il traffico in entrata alla galleria (per esempio realizzando stazioni termometriche di controllo dei veicoli in grado di segnalare, in tempo per poterli fermare, il passaggio di mezzi surriscaldati in maniera anomala).

Riguardo invece alla prevenzione, si dovrà curare più di quanto sia stato fatto sino ad oggi:

- l'educazione dell'utente, affinché usufruisca dell'infrastruttura galleria in maniera corretta, cosciente e responsabile;
- la regolamentazione del traffico e dei carichi trasportati (distanziando gli accessi, introducendo corretti limiti di velocità e facendoli rispettare, ripensando e aggiornando i regolamenti in materia di merci tossiche, infiammabili o esplosive, ecc.).

Naturalmente, per ottenere un più accettabile grado di sicurezza nelle gallerie, siano esse gallerie già esistenti o da costruire, è imperativo mettere a punto una normativa specifica adeguata, al momento del tutto inesistente nel nostro Paese: una normativa che detti poche regole, ma pratiche, efficaci e semplici da far rispettare. È stata recentemente istituita dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici una "Commissione per la sicurezza dell'esercizio delle gallerie", che sta già lavorando per perseguire questo importante obiettivo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Cuaz F., "Sicurezza ed esercizio nelle gallerie stradali profonde", Atti del Convegno Europeo su "Gallerie profonde: progetto, realizzazione ed esercizio", Verona 4-5 marzo 1999
- [2] Virano M., "Uscire dal tunnel", relazione introduttiva al Convegno "Uscire dal tunnel", Saint Vincent 22 maggio 1999
- [3] Lombardi G., "Galleria stradale del San Gottardo: problemi di pressione delle rocce durante la costruzione", *Gallerie e grandi opere sotterranee*, n. 2, marzo 1977
- [4] "Il traforo autostradale del Frejus", Ed. COGEFAR S.p.A., Milano 1982
- [5] Lunardi P., Catalano P., "Il traforo autostradale del Gran Sasso", Ed. COGEFAR S.p.A., Milano 1979
- [6] "Il traforo del Monte Bianco 1965 / 1990", Arca Edizioni S.p.A., Milano 1990
- [7] Lunardi P., "Alcune considerazioni sulla sicurezza d'esercizio delle gallerie", Atti del Convegno "Protezione dal rischio d'incendio nelle gallerie stradali e ferroviarie", Roma 21-22 giugno 1999