



ERMCO

MIGLIORARE LA SICUREZZA ANTINCENDIO IN GALLERIA: La soluzione delle pavimentazioni in calcestruzzo

LE PAVIMENTAZIONI STRADALI IN CALCESTRUZZO AUMENTANO LA SICUREZZA IN GALLERIA



© photo-daylight.com, Diritti di riproduzione gratuiti per tutte le pubblicazioni edite dai Membri di CEMBUREAU, inclusi i siti web

La galleria Cointe (collegamento E25-E40) a Liegi, Belgio: uso della pavimentazione stradale in calcestruzzo per aumentare la sicurezza in galleria

In Europa ci sono più di 15.000 Km di gallerie dedicate al trasporto. Le gallerie sono vitali per il sistema delle infrastrutture viarie: in Svizzera, ad esempio, quasi il 50% delle autostrade progettate per il completamento della rete stradale entro il 2015 passerà in galleria. Le gallerie però non sono usate solo per attraversare le montagne: in maniera sempre crescente esse vengono progettate per sottopassare i centri abitati, per alleviare il traffico di superficie, come ad esempio a Stoccolma e Parigi, o sono anche usate sott'acqua come le gallerie di Oresund e della grande Cinta in Scandinavia.

Le gallerie stradali e ferroviarie possono presentare rischi per gli utenti. Una appropriata scelta progettuale e dei materiali può ridurre tali rischi.

Recenti incendi di grosse dimensioni in gallerie europee (vedi tabella) hanno dimostrato la necessità di un appropriata scelta di materiali costruttivi allo scopo di assicurare alti standard di sicurezza e elevati livelli di servizio. Questi incendi sono inevitabilmente di grande intensità e comportano danni strutturali ed anche perdite di vite umane. Le temperature raggiunte da questi incendi superano anche i mille gradi °C. Le fiamme si sono sviluppate rapidamente e hanno raggiunto una durata anche di 53 ore.

RECENTI INCENDI DISASTROSI IN GALLERIE EUROPEE

Incendio	Tipo di galleria	Anno	Durata e temperatura	Vittime	Veicoli coinvolti
San Gottardo Svizzera	Stradale (1 canna) 16.3 km	2001	24 ore 1200°C	11 morti	10 automobili 23 camion
Gleinalm Austria	Stradale (1 canna) 8.3 km	2001	37 minuti	5 morti	2 automobili
Kitzsteinhorn Austria	Funicolare su binario 3.2 km	2000	Sconosciute	155 morti	1 treno navetta
Tauern Austria	Stradale (1 canna) 6.4 km	1999	14 ore 1200°C	12 morti	26 automobili 14 camion
Monte Bianco Italia-Francia	Stradale (1 canna) 11.6 km	1999	53 ore 1000°C	39 morti	10 automobili 23 camion
Palermo Italia	Stradale	1999	Sconosciute	5 morti	19 automobili 1 pulman
Eurotunnel Channel	Ferroviario 52 km	1996	10 ore 1100°C	2 feriti	1 treno

Fonte: varie pubblicazioni

Questi disastri hanno messo in discussione questo tipo di opere, per quanto riguarda i problemi connessi alla sicurezza e all'ambiente. I lavori di riparazione e la conseguente chiusura delle gallerie hanno altresì comportato ulteriori conseguenze di ordine sia economico che ambientale.

L'opinione pubblica e i mass media si sono interessati a queste vicende ed hanno spinto gli amministratori ad intraprendere, spesso affrettatamente, delle misure alternative tanto che alcuni importanti aspetti non sono stati affrontati in maniera adeguata. La principale preoccupazione degli amministratori è di migliorare le condizioni per il salvataggio delle persone coinvolte in incidenti in galleria, concentrandosi sulla "auto-evacuazione" degli utenti e sui tempi di intervento rapido.

In questo contesto poca attenzione è stata dedicata ai materiali utilizzati per la costruzione stradale. La normativa è incentrata essenzialmente sulla sicurezza strutturale, sulla robustezza e la stabilità della galleria ma non considerano la superficie stradale, spesso realizzata con conglomerato bituminoso tradizionale.

È invece importante tenere anche in considerazione la qualità della pavimentazione stradale. In caso di incendio in gallerie trafficate, una pavimentazione stradale incombustibile e atossica contribuisce alla sicurezza delle persone (siano esse utenti che componenti delle squadre di soccorso), protegge la struttura e le attrezzature della galleria ed aiuta a preservare l'ambiente.

I vantaggi della costruzione in calcestruzzo della pavimentazione stradale sono significativi: il calcestruzzo è incombustibile e in caso di incendio non emette sostanze tossiche, così fornendo in caso di grave incendio la massima sicurezza. Inoltre, le miscele cementizie si sono evolute e sono oggi in grado di soddisfare tutti gli standard di stabilità e sicurezza per la costruzione dei tunnel stessi.

In alcuni casi i gestori di tunnel e le autorità legislative competenti sono state invitate a richiedere l'uso di pavimentazioni in calcestruzzo in tutte le gallerie di nuova costruzione. Ne è un esempio il decreto dell'Austria del settembre 2001, che richiede la realizzazione della pavimentazione in calcestruzzo per le nuove gallerie più lunghe di un chilometro. (vedi riquadro sulle attuali leggi nazionali)

Le autorità di prevenzione incendi raccomandano che "le pavimentazioni stradali dovrebbero essere incombustibili, non emettere fumi tossici ed essere di colore chiaro per migliorare la visibilità. Il calcestruzzo dovrebbe quindi essere preferito al tradizionale conglomerato bituminoso, che brucia ed emette gas tossici".

Cit. dal Congresso CTIF (International Committee of Fire Prevention & Extinction) "Le gallerie sono sufficientemente sicure?", Regensdorf, Svizzera, 8 Novembre 2002.

LE PAVIMENTAZIONI IN CALCESTRUZZO NELLE GALLERIE E NEI SOTTOPASSI

Migliorare la sicurezza nelle gallerie richiede pavimentazioni stradali incombustibili e atossiche, in grado di assicurare la massima sicurezza, la comodità e la protezione ambientale.



© photo-daylight.com, Diritti di riproduzione gratuiti per tutte le pubblicazioni edite dai Membri di CEMBUREAU, inclusi i siti web

Galleria Kinkempois (collegamento E25-E40), Liegi, Belgio, con pavimentazione in calcestruzzo

I vantaggi delle pavimentazioni in calcestruzzo nelle gallerie e nei sottopassaggi sono:

- **Maggiore sicurezza per persone e cose**
- **Maggiore durata della pavimentazione, delle attrezzature e della struttura**
- **Ridotta manutenzione**
- **Contributo alla protezione ambientale e sviluppo sostenibile**

Questi fattori chiave dovrebbero essere presi in considerazione già nella fase progettuale della galleria con un approccio globale, allo scopo di massimizzare la sicurezza per le persone e le cose ed aumentare la protezione ambientale e ottimizzare le prestazioni.

➤ **Maggiore sicurezza per persone e cose**

Le pavimentazioni in calcestruzzo incombustibili ed atossiche contribuiscono alla sicurezza nelle gallerie

Le misure attive (ventilazione, estrazione dei fumi, allarmi, localizzazione) sono fattori che contribuiscono alla sicurezza antincendio nelle gallerie. Comunque, anche le migliori misure passive, come l'uso di materiali completamente resistenti al fuoco come le pavimentazioni in calcestruzzo, dovrebbero essere prese in considerazione.

In caso di incendio, le pavimentazioni in calcestruzzo hanno buone caratteristiche di prestazione, facilitando l'evacuazione degli utenti e l'arrivo delle squadre di soccorso (vigili del fuoco e servizi d'emergenza).

- **La pavimentazione in calcestruzzo è incombustibile e atossica**

Grazie alla sua composizione totalmente minerale, il calcestruzzo è un materiale inerte, stabile e resistente al fuoco.

Il calcestruzzo è perciò classificato come materiale ad alto fattore di sicurezza in caso di incendio in quanto in nessun modo contribuisce allo sviluppo del fuoco.

In caso di incendio la pavimentazione in calcestruzzo assicurerebbe buone condizioni per l'evacuazione delle

persone e per l'intervento delle squadre di soccorso e dei pompieri, in quanto la pavimentazione in calcestruzzo non brucia.

La pavimentazione in conglomerato bituminoso brucia alla temperatura di circa 500° (ben al di sotto delle temperature che si registrano negli incendi in galleria), e alimenta l'incendio. In caso di incendio, l'aumento di temperatura causato dal conglomerato bituminoso che brucia può danneggiare le attrezzature della galleria e i sistemi di sicurezza, compromettendo sia l'evacuazione delle persone che l'intervento delle squadre di soccorso.

Il Laboratorio della Cergy Pontoise University (Francia) ha effettuato delle prove comparative sul comportamento alle alte temperature (secondo la curva di fuoco ISO 834) su campioni di conglomerato bituminoso e calcestruzzo usati per le pavimentazioni stradali (v. figg. 1 e 2)

I risultati di questi studi¹ sul comportamento termico e la tossicità ad alte temperature (analisi chimica dei fumi e dei gas emessi durante la combustione del conglomerato bituminoso) mostrano che **il conglomerato bituminoso ha un alto valore calorifico**.

- La superficie di conglomerato bituminoso si infiamma tra 428C° e 530C°, dopo 8 minuti di riscaldamento.
- I primi vapori emessi vengono percepiti a 5 minuti dall'inizio del riscaldamento. I gas emessi sono tossici ed alcuni (CO₂) sono soffocanti e cancerogeni.
- Il conglomerato bituminoso perde le sue caratteristiche meccaniche (solo gli aggregati sono ancora presenti ma non sono più legati dal bitume) e non è più in grado di garantire il servizio.

Comparativamente,

- Il calcestruzzo non brucia e non emette fumi.
- Il calcestruzzo non cambia la sua conformazione alle alte temperature e mantiene molte delle sue caratteristiche meccaniche.

Fonti: Characterisation of asphalt exposed to high temperature: Application to fire case of asphalt pavement, *Albert Nournowe, Cergy Pontoise University, 2003. (versione inglese)*

Revêtement de chaussée en enrobé hydrocarboné ou en béton en situation d'incendie, Albert Nournowe, EPU Editions Publibook Université, Paris, 2003. (versione francese)

¹ Characterisation of asphalt exposed to high temperature: Application to fire case of asphalt pavement, *Albert Nournowe, Cergy Pontoise University, 2003. (versione inglese)*

Revêtement de chaussée en enrobé hydrocarboné ou en béton en situation d'incendie, Albert Nournowe, EPU Editions Publibook Université, Paris, 2003. (versione francese)

Le figure 1 e 2 mostrano i risultati della prova di riscaldamento in forno per un'ora di campioni prismatici in conglomerato bituminoso (a sinistra) e calcestruzzo (a destra) alla temperatura di 750°C secondo la curva ISO.



Figura 1: Confronto fra i provini in conglomerato bituminoso (sinistra) e in calcestruzzo (destra) dopo riscaldamento a 750°C

Fonte: *Characterisation of asphalt exposed to high temperature: Application to fire case of asphalt pavement*, Albert Noumowe, Cergy Pontoise University, 2003.

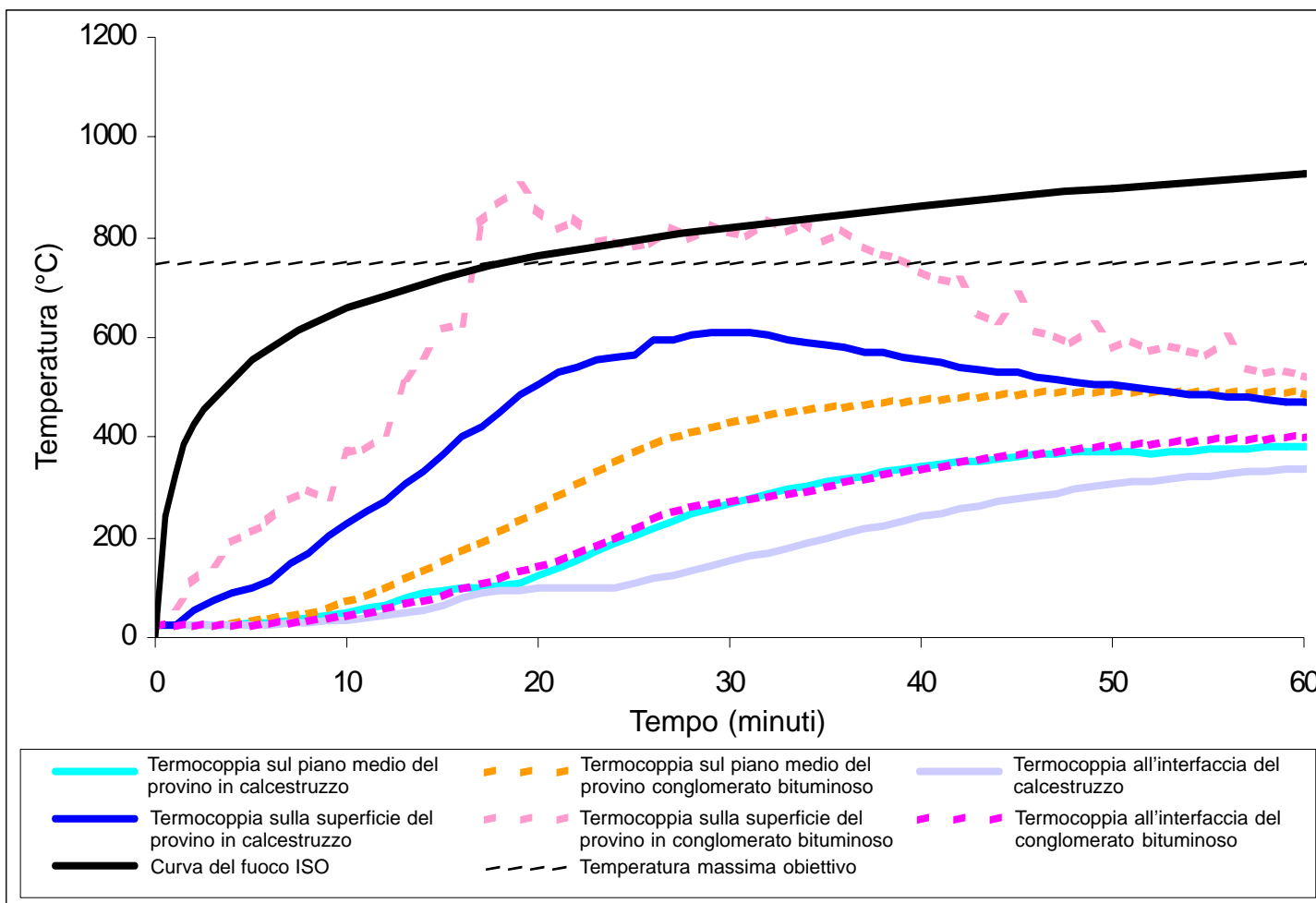


Figura 2: Confronto delle curve di temperatura del calcestruzzo e del conglomerato bituminoso per un periodo di un'ora

Fonte: *Characterisation of asphalt exposed to high temperature: Application to fire case of asphalt pavement*, Albert Noumowe, Cergy Pontoise University, 2003.

Ad esempio, una pavimentazione stradale costituita di uno strato in misto bitumato di 25 cm e un manto di 5 cm in conglomerato bituminoso ha un potenziale calorifico approssimativo di 1.600 MJoules per mq ed un veicolo

leggero (ad esempio una autovettura media) produce durante la sua completa combustione 18.000 MJoules (vedi tabella seguente).

Tipo	Potenziale calorico in MJ Energia rilasciata durante l'incendio
1 m ² di pavimentazione in conglomerato bituminoso	1 600
1 automobile media	18 000
1 mezzo pesante medio (compreso il carburante)	125 000

Nell'incendio del Traforo del Monte Bianco del marzo 1999, la pavimentazione stradale in conglomerato bituminoso fu danneggiata per 1.200 metri: la sua combustione ha rilasciato una energia calorifica addizionale equivalente all'incendio di 85 autovetture o 12 TIR.

Fonti: *Rapport du 30 juin 1999 de la mission administrative d'enquête technique sur l'incendie survenu le 24 mars 1999 au tunnel routier du Mont Blanc, Ministère de l'Intérieur - Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement.*

Tunnel du Mont Blanc - Températures atteintes dans la chaussée et comportement au feu de la chaussée, Document interne, Laboratoire Central des Ponts & Chaussées, France, Décembre 2000.

Rapport d'activité 2001 du LCPC, Laboratoire Central des Ponts & Chaussées, France, 2002.

Etudes spécifiques des dangers, Guide méthodologique du CETU, Centre d'Etudes des Tunnels, Dossier Pilote des Tunnels, Edition 2002.

● **Le pavimentazioni in calcestruzzo non emettono sostanze pericolose**

Mentre le pavimentazioni stradali in conglomerato bituminoso:
emettono fumi e gas inquinanti e tossici (biossido e monossido di carbonio ecc.) e sostanze pericolose;

rilasciano fuliggine che riduce la visibilità dei parabrezza ed intasa i filtri dei veicoli di soccorso.

di conseguenza:

- l'evacuazione delle persone è rallentata e/o compromessa;
- l'intervento delle squadre di soccorso e dei pompieri è rallentato e/o compromesso.

● **Il calcestruzzo non cambia la sua conformazione alle alte temperature e mantiene molte delle sue caratteristiche meccaniche**

Mentre:

Le pavimentazioni stradali in conglomerato bituminoso perdono le loro proprietà meccaniche.

Dopo che il bitume è bruciato solo gli aggregati sono ancora presenti ma non sono più tenuti insieme dal legante. A causa di ciò, il materiale non può più adempiere il suo scopo principale ed inoltre ostacola i servizi di soccorso.

● **Le pavimentazioni stradali in calcestruzzo contribuiscono alla sicurezza degli utenti, grazie alla migliore visibilità, all'attenzione dei guidatori ed alla ridotta distanza di frenata**

Qualsiasi opera sotterranea dovrebbe essere considerata come potenzialmente rischiosa per gli utenti stradali. Allo scopo di migliorare la sicurezza stradale, alcune discontinuità dovrebbero essere create tra l'esterno e l'interno di una galleria.

Chiarezza e luminosità sono caratteristiche intrinseche del calcestruzzo:

- la luminosità delle pavimentazioni stradali in calcestruzzo assicura migliore visibilità per gli utenti.
- la luminosità delle pavimentazioni stradali in calcestruzzo richiede minore illuminazione elettrica, così riducendo il consumo energetico ed i costi di investimento iniziale e di manutenzione.

La variazione del manto stradale ottenuta scegliendo superfici idonee, sollecita i conducenti ad essere attenti mediante le percezioni sonore.

Grazie ad un grip più elevato, gli spazi di frenata sulle superfici in calcestruzzo sono minori, rispetto a quelli sul conglomerato bituminoso.

In conclusione, combattere gli incendi in galleria è reso considerevolmente difficile a causa dell'accesso limitato, dalla quantità di fumi e dall'enorme irradiazione di calore. I vigili del fuoco raccomandano, pertanto, l'uso in galleria di materiali resistenti al fuoco (v. citaz. da CTIF a p.2).

➤ **Maggiore durata della pavimentazione stradale, delle attrezzature e delle strutture**

Le pavimentazioni stradali in calcestruzzo danno ai gestori delle gallerie la garanzia della salvaguardia dell'opera.

La limitatezza dei danni alle pavimentazioni in calcestruzzo riduce i tempi di riparazione e facilita quindi il rapido ritorno all'operatività della galleria.

I danni alle cose sono dovuti agli alti carichi di fuoco. Qualsiasi aggiunta di materiale combustibile al carico di fuoco comporta ulteriori danneggiamenti alla galleria ed alle sue attrezzature. La chiusura per lunghi periodi della galleria può inevitabilmente portare ad una considerevole congestione di traffico ed accresce il rischio di incidenti.

➤ **Ridotta manutenzione**

Le pavimentazioni stradali in calcestruzzo garantiscono la durata delle caratteristiche meccaniche (nessuna deformazione permanente), superfici uniformi e presa sulla strada.

L'uso delle pavimentazioni stradali in calcestruzzo porta quindi i seguenti vantaggi:

- riduzione delle manutenzioni/riparazioni periodiche, quindi meno lavori stradali, minori chiusure della galleria con itinerari differenti che causano danni ambientali.
- Diminuzione dei lavori stradali in presenza di traffico e quindi riduzione del numero di operai a rischio di incidente sul cantiere.

Con le pavimentazioni in calcestruzzo:

- ⇒ Riduzione del rischio di incidenti
- ⇒ Diminuzione dei costi di manutenzione
- ⇒ Protezione ambientale

➤ **Contributo alla protezione ambientale ed allo sviluppo sostenibile**

Le pavimentazioni stradali in calcestruzzo hanno una lunga vita di servizio, riducono l'uso di materie prime e quindi contribuiscono allo sviluppo sostenibile.

In servizio, le pavimentazioni stradali in calcestruzzo richiedono poche manutenzioni e riparazioni e riducono il consumo di energia (illuminazione elettrica). Il risultato è di limitare l'inquinamento nella galleria e di ridurre l'impatto ambientale causato dai diversi itinerari, in caso di chiusura.

Il calcestruzzo è resistente al carburante automobilistico: una perdita accidentale di carburante non danneggia la pavimentazione ed i prodotti pericolosi possono essere direttamente evacuati mediante canaline di scolo costruite per tale scopo.

Al termine del periodo di servizio, la pavimentazione in calcestruzzo può essere riciclata per la produzione di aggregati per gli strati bitumati delle pavimentazioni stradali o per nuovo calcestruzzo.

La durata del calcestruzzo assicura l'uniformità della superficie della pavimentazione e del grip producendo un migliore comportamento ambientale (nei confronti dell'aria, del suolo, delle persone ecc.) mediante:

- ⇒ Ridotto uso di materiali fossili e ridotto consumo di energia
- ⇒ Migliore qualità dell'aria
- ⇒ Ridotto inquinamento

Le pavimentazioni stradali in calcestruzzo incombustibili non emettono fuliggine che si attacca alle pareti e deve essere periodicamente rimossa, e rappresenta un ulteriore carico ambientale.

GALLERIE FERROVIARIE

Nel quadro della politica di trasporto intermodale ("trucks on train"), lo sviluppo delle ferrovie è una priorità dei Trans-European Transport Networks (TENs-T) promossi dalla Commissione UE.

Una semplice soluzione è la posa in opera di binari su una pavimentazione in calcestruzzo incombustibile e atossica, che permette alle squadre di soccorso un accesso più rapido e più vicino al luogo del disastro che su una massicciata di aggregati, in quanto è difficile garantire a gallerie molto lunghe o in luoghi impervi le necessarie misure preventive.

IL CONTRIBUTO ALLA SICUREZZA NELLE GALLERIE DELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI IN CALCESTRUZZO

La sicurezza di una galleria dipende da una serie di fattori.

Le misure infrastrutturali preventive e operative di difesa antincendio, e le operazioni effettive di spegnimento, comprendono la scelta di opportuni materiali (incombustibili) da impiegare.

Bisogna dare il maggior numero possibile di garanzie di sicurezza e quindi evitare quei materiali (per le strutture o le

attrezzature) che potrebbero esser pericolosi a causa della loro combustione o produzione di fumi o gas infiammabili.

La soluzione in calcestruzzo per le pavimentazioni in galleria migliora la sicurezza e riduce i costi totali.

Il calcestruzzo è un materiale intrinsecamente sicuro in caso di incendio ed in nessun caso contribuisce allo sviluppo del fuoco.

BIBM, CEMBUREAU e ERMCO

- **Richiedere misure regolamentari da prendere allo scopo di garantire la sicurezza nelle gallerie.**
- **Emanare norme per le pavimentazioni stradali incombustibili e atossiche** indicando le tecniche e i materiali più idonei per garantire la sicurezza delle persone e delle cose, la protezione ambientale e in grado di soddisfare le esigenze economiche.

Il decreto austriaco (vedi riquadro sulle attuali regolamentazioni nazionali) può essere usato come base di riferimento.

Le attuali regolamentazioni nazionali

Il *decreto austriaco* del settembre 2001 relativo alle direttive progettuali delle gallerie "Projektierungrichtlinien RVS 9.234" richiede l'uso di pavimentazioni in calcestruzzo per le gallerie di nuova costruzione di lunghezza superiore ad un chilometro.

In *Slovacchia*, il Ministero dei trasporti e l'amministrazione slovacca delle strade chiedono, dal 2001, l'uso delle pavimentazioni stradali in calcestruzzo nelle nuove gallerie.

In *Spagna*, le amministrazioni pubbliche raccomandano l'uso delle pavimentazioni stradali in calcestruzzo nelle gallerie.

Gli obiettivi da raggiungere con una regolamentazione sulla sicurezza antincendio in galleria (così come sono definiti dall'AIPCR¹) sono:

- salvare le vite facilitando l'evacuazione,
- agevolare il soccorso e le operazioni di spegnimento,
- prevenire le esplosioni,

- limitare i danni nella galleria (attrezzature, luoghi sicuri, opere di ingegneria civile).

Mediante (come definito dal gruppo di esperti in Sicurezza delle gallerie Stradali del TRANS/AC²):

- prevenzione del rischio
- riduzione del danno

¹ Rapporto del Comitato AIPCR "Gallerie stradali" (C5) su "Controllo di incendi e fumi nelle gallerie stradali" 05.05B pubblicato nel 1999.

² *Raccomandazioni del Gruppo di Esperti sulla Sicurezza nelle Gallerie stradali* – Rapporto finale, TRANS/AC.7/9, United Nations Economic and Social Council, 10 dicembre 2001.

© Copyright: CEMBUREAU/BIBM/ERMCO
Aprile 2004

Tutti i diritti riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta, memorizzata o trasmessa in alcuna forma o con alcun mezzo, elettronico, meccanico, fotocopia, registrato o in altro modo, senza il preventivo permesso scritto dell'Editore.



Rue d'Arlon 55 - BE-1040 Brussels
Tel.: + 32 2 234 10 11 — Fax: + 32 2 230 47 20
E-mail: secretariat@cembureau.be
Internet: www.cembureau.be



Rue Volta 12 - BE-1050 Brussels
Tel.: + 32 2 735 60 69 — Fax: + 32 2 734 77 95
E-mail: mail@bIBM.org
Internet: www.bIBM.org

ERMCO

Rue Volta 8 - BE-1050 Brussels
Tel.: + 32 2 645 52 12 — Fax: + 32 2 735 14 67
E-mail: secretariat@ermco.org
Internet: www.ermco.org