



La recente emanazione dei Decreti sulla sicurezza delle opere in sottterraneo stradali e ferroviarie manifesta crescente attenzione e sensibilità dell'ambiente politico e dell'opinione pubblica nei confronti di tale problematica

SICUREZZA STRUTTURALE IN GALLERIE STRADALI E FERROVIARIE ATTRAVERSO SISTEMI DI PROTEZIONE PASSIVA CONTRO IL FUOCO

Valter Campagnoli*
Maurizio Molli**

Partendo dall'inquadramento normativo italiano, si descrivono i requisiti essenziali dei rivestimenti protettivi atti al conferimento di una classe di resistenza al fuoco agli elementi strutturali di tunnel e di gallerie.

La finalità della presente memoria è anche quella di sensibilizzare e di indirizzare i soggetti coinvolti nell'ambito della progettazione, della costruzione e della gestione delle opere in sottterraneo alla corretta scelta di soluzioni tecniche sostenibili.

Figura 1



L'inquadramento normativo italiano

Come noto, l'allora Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con il Ministero dell'Interno hanno emanato il D.M. 28.10.2005 avente la finalità di garantire un adeguato livello di sicurezza nella fruizione delle gallerie ferroviarie, mediante l'adozione di misure appropriate di prevenzione e di mitigazione degli scenari incidentali. Il Decreto fornisce le linee guida per affrontare tutti gli aspetti progettuali del problema, definendo inoltre i soggetti e le nuove figure coinvolte nell'attuazione, nel mantenimento e nel controllo della sicurezza.

In particolare, per quanto riguarda la resistenza al fuoco, il D.M. prescrive che le strutture delle opere in sottterraneo di lunghezza superiore a 2.000 m dovranno avere caratteristiche di resistenza non inferiore a R120 da valutare con la curva di incendio da idrocarburi UNI 11076.

L'anno successivo, a recepimento della Direttiva europea 2004/54/EU "Minimum safety requirements in road tunnels on the Trans European road network (TERN)", è stato emanato il D.Lvo. 264 del 5 Ottobre 2006, con finalità analoghe a quelle riscontrate nell'ambito del provvedimento legislativo per la sicurezza delle gallerie ferroviarie. In merito alla resistenza al fuoco delle strutture l'art. 2.7 riporta quanto segue: "La struttura principale di tutte le gallerie in cui un cedimento locale della struttura possa avere conseguenze catastrofiche, come ad esempio le gallerie sommerse o le gallerie che possono

causare il cedimento di importanti strutture adiacenti, deve assicurare un livello sufficiente di resistenza al fuoco".

L'approccio al problema della resistenza al fuoco delle strutture è affrontato in termini differenti, mentre per le gallerie ferroviarie esiste una chiara prescrizione, per i tunnel stradali il Legislatore predilige l'aspetto prestazionale basato sull'Analisi del Rischio.

Un altro importante documento in ambito di safety engineering nelle opere in sottterraneo, redatto a cura della Direzione Centrale di Progettazione dell'ANAS, è costituito dalle "Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali". Il documento, pur non avendo una valenza normativa, rappresenta lo standard dell'Ente Gestore della più importante ed estesa rete stradale italiana. Le Linee Guida, allineando il concetto di resistenza al fuoco delle strutture nelle gallerie stradali a quanto prescritto dal Decreto sui tunnel ferroviari, danno la seguente indicazione: "La struttura di tutte le gallerie in cui un cedimento locale della struttura possa avere conseguenze catastrofiche, come ad esempio le gallerie sommerse o le gallerie che possono causare il cedimento di importanti strutture adiacenti, deve assicurare un livello sufficiente di resistenza al fuoco definito mediante analisi di rischio e non inferiore a un tempo di 120 minuti per un incendio caratterizzato dalla curva nominale degli idrocarburi di cui al Capitolo 4 del D.M. 14.09.2005 "Norme tecniche per le costruzioni".



Lo scenario di incendio all'interno di un tunnel e la Norma UNI 11076

Un aspetto importante della protezione al fuoco nell'ambito delle strutture in sotterraneo è la determinazione a priori dello scenario di incendio da ipotizzare nell'analisi del rischio (fuoco celluloso - curva ISO 834 o da idrocarburi - Norma UNI 11076), stabilendo di conseguenza la curva standard più appropriata. Come riportato in Figura 2 e Figura 3,

Classificazione T1

La temperatura media registrata dalle termocoppie posizionate a 25 mm dall'intradosso del supporto non deve superare la temperatura iniziale di 200°C, mentre la temperatura massima non deve superare la temperatura iniziale di 250°C. La temperatura media registrata dalle termocoppie posizionate sull'interfaccia fra rivestimento protettivo e supporto non deve superare la temperatura iniziale di 330°C, mentre la temperatura massima non deve superare la temperatura iniziale di 380°C.

Classificazione T2

La temperatura media registrata dalle termocoppie posizionate a 25 mm dall'intradosso del supporto non deve superare la temperatura iniziale di 250°C, mentre la temperatura massima non deve superare la temperatura iniziale di 290°C. La temperatura media registrata dalle termocoppie posizionate sull'interfaccia fra rivestimento protettivo e supporto non deve superare la temperatura iniziale di 380°C, mentre la temperatura massima non deve superare la temperatura iniziale di 420°C.

Classificazione T3

La temperatura media registrata dalle termocoppie posizionate a 25 mm dall'intradosso del supporto non deve superare la temperatura iniziale di 300°C, mentre la temperatura massima non deve superare la temperatura iniziale di 350°C. La temperatura media registrata dalle termocoppie posizionate sull'interfaccia fra rivestimento protettivo e supporto non deve superare la temperatura iniziale di 430°C, mentre la temperatura massima non deve superare la temperatura iniziale di 460°C.

Figura 5 - Estratto della Norma UNI 11076:2003

Incendio in ambiente civile
<ul style="list-style-type: none"> matrice cellulosa grande dispersione termica a seguito di ampi volumi di aria coinvolta e alto fattore di ventilazione bassa potenza (3-30 MW) lunga fase di pre-flashover (da 5 a 20 minuti) temperature massime di 800-900°C

Figura 2

Incendio nei tunnel
<ul style="list-style-type: none"> matrice varia (mix di idrocarburi, materie plastiche, prodotti cellulorici, ecc) dispersione termica quasi nulla a seguito di basso fattore di ventilazione enorme potenza (da 50 a 300 MW) brevissima fase di pre-flashover (2-3 minuti) temperature estremamente elevate (1.200-1.400°C)

Figura 3

zionata a una profondità di 25 mm. In base al livello prestazionale raggiunto in termini di temperature rilevate viene attribuita al protettivo una classificazione (T1-T2-T3) come riportato in Figura 5.

dal confronto delle caratteristiche principali in termini di transitorio termico, di temperatura massima e di potenza termica emessa appare chiaro come e quanto siano differenti le due tipologie di incendio, condizione questa che si traduce in sollecitazioni di carattere termico notevolmente superiori nel caso di incendio da idrocarburi; per questo motivo le indicazioni normative e gli standard progettuali prediligono l'utilizzo della più severa curva UNI 11076, come scenario di incendio a base della Analisi del Rischio.

In Italia è proprio la Norma UNI 11076:2003 "Modalità di prova per valutazione del comportamento all'incendio di protettivi applicati a soffitti di opere sotterranee" che permette la qualificazione dei rivestimenti da utilizzare quali protettivi all'interno di opere in sotterraneo, testati secondo curva di incendio analoga alla RWS olandese per una durata di due ore.

La Norma, stabilendo una procedura standardizzata ben definita in termini di svolgimento e di definizione dell'elemento di prova (soletta in c.c.a. normalizzata + protettivo), verifica le temperature all'interfaccia fra rivestimento protettivo e soletta e sull'armatura posi-

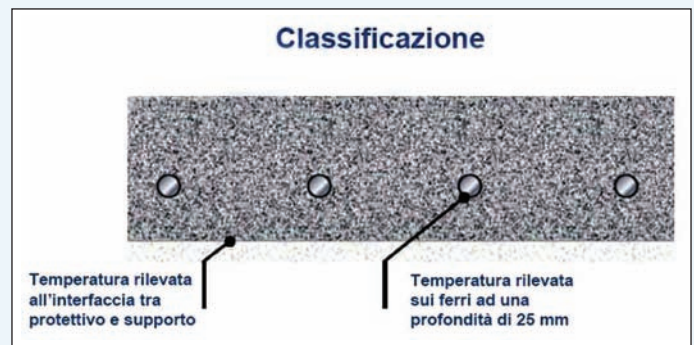


Figura 6 - Modalità di verifica delle temperature raggiunte

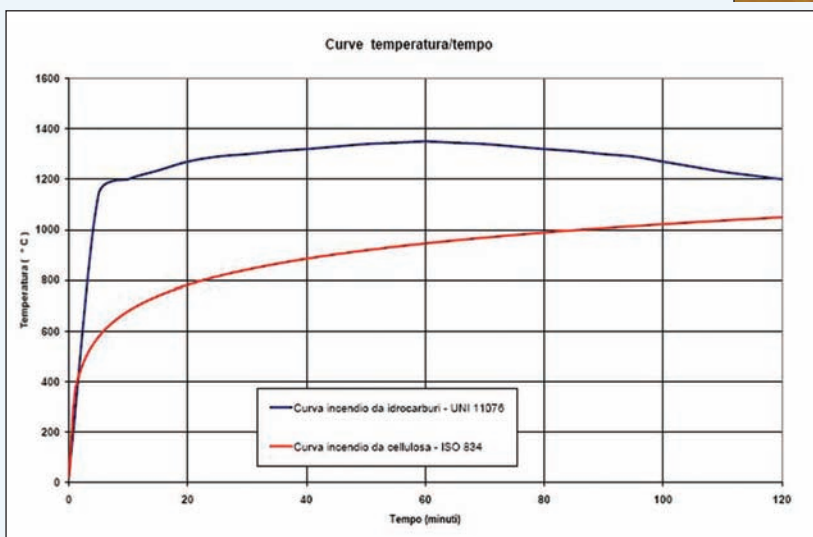


Figura 4 - Il confronto tra le curve normalizzate di incendio

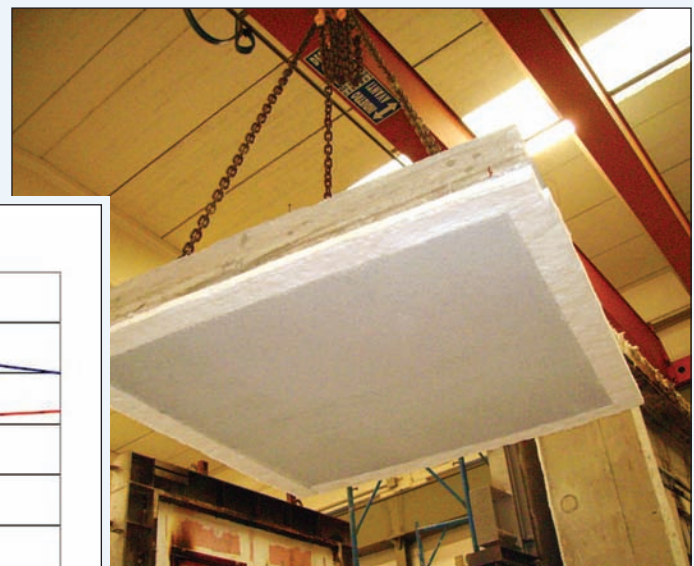


Figura 7 - L'elemento di prova della Norma UNI 11076:2003

La Norma stabilisce inoltre che la classe prestazionale raggiunta vada attribuita al prodotto di rivestimento comprensivo di tutti gli accessori di montaggio (fissaggi, armature, giunti, adesivi, finiture e quant'altro).



Gli aspetti coinvolti nella progettazione della resistenza delle strutture

Il principio fondamentale alla base della safety engineering nelle opere in sotterraneo è la salvaguardia delle vite umane, da perseguire attraverso misure di prevenzione, di protezione e di procedure operative per la gestione delle emergenze.

In generale anche altri sono gli aspetti da prendere in considerazione nella progettazione della sicurezza della galleria e in particolare della resistenza delle strutture. In questa ottica non va sottovalutata la necessità della protezione contro il fuoco degli elementi strutturali del tunnel; in quanto eventi catastrofici e lunghi periodi di ripristino della funzionalità dell'opera potrebbero avere infatti un impatto fortemente negativo dal punto di vista economico e dell'opinione pubblica.

A conferma della problematica sopra riportata basta citare due casi emblematici più volte richiamati quando si parla di conseguenze degli incendi nei tunnel:

- ◆ Tunnel del Monte Bianco: costo dell'intervento di ripristino della normale funzionalità a seguito dell'incidente del 1999 circa 190 milioni di Euro; costo stimato di 400-450 milioni di Euro per la collettività causato dalla mancata fruizione del collegamento stradale per tre anni;
- ◆ Tunnel della Manica: totale dei costi di ripristino e delle perdite commerciali indotte dal periodo di inutilizzo circa 600 milioni di Euro.



Figura 8 - Il crollo della volta di un tunnel a seguito di incendio

Gli aspetti da prendere in considerazione, dal punto di vista della limitazione degli eventuali costi e tempi di riparazione delle volte nelle gallerie, devono riguardare due problematiche strettamente connesse tra loro, inerenti il danneggiamento del substrato in calcestruzzo.

Da una parte va ovviamente scongiurata la possibilità di un crollo della struttura, dall'altra va limitato o annullato il fenomeno dello spalling del calcestruzzo. Conseguenza di tale fenomeno, dovuto alla formazione di elevati gradienti termici e di sovrappressioni all'interno della matrice cementizia sottoposta a incendio, è il distacco che può essere esplosivo di consistenti parti di materiale.



Figura 9 - Lo spalling nel calcestruzzo

Il compito del Progettista che si occupa della resistenza strutturale è quello di partire dal corretto scenario di incendio, di determinare nello spazio e nel tempo il trasferimento del calore all'interno della matrice cementizia e, in ultima analisi, di valutare la perdita di resistenza del calcestruzzo armato. Da qui la necessità di strumenti

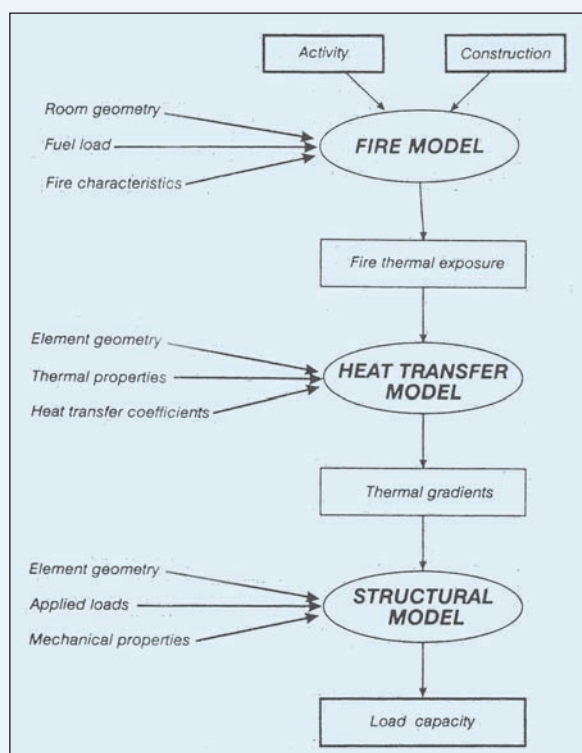


Figura 10 - Diagramma di flusso per il calcolo della capacità portante di una struttura esposta al fuoco

informatici sempre più potenti, in grado di modellizzare tutti i fenomeni e i fattori che influenzano in condizioni di incendio la resistenza della volta di una galleria, tra i quali - come detto - riveste particolare importanza il fenomeno dello spalling.

Una volta fatte le sue valutazioni, il Progettista è in grado di determinare quale comportamento debba garantire il calcestruzzo armato, oltre che di indicare la necessità e la prestazione richiesta al rivestimento protettivo, valutata in accordo con le classi della Norma UNI 11076 (T1-T2-T3).



La soluzione Cafco

Per prevenire e scongiurare il fenomeno dello "spalling", e garantire i massimi livelli di sicurezza, Cafco ha messo a punto un sistema di protezione passiva basato sulle proprietà isolanti dell'intonaco Cafco Fendolite MII.



Figura 11 - La soluzione tecnica Cafco Fendolite MII

È uno speciale intonaco premiscelato termoisolante a base di cemento e vermiculite espansa presente sul mercato da oltre 25 anni.

Londra, presenta una lunghezza di 650 m, una superficie complessiva di 68.000 m² ed è caratterizzato dall'applicazione del rivestimento a contatto delle travi di c.c.a. precompresso e dalla realizzazione di contropareti su rete metallica autoportante.

Le caratteristiche di Fendolite MII

- ◆ Spessori adottati: 25-48 mm;
- ◆ quantità utilizzata : circa 2.000 t;
- ◆ armatura a soffitto: rete di acciaio;
- ◆ curva temperatura/tempo adottata: "Hydrocarbon" RWS con resistenza al fuoco di due ore;
- ◆ applicazione con intonacatrici;
- ◆ prodotti complementari: Cafco Aqualite; Cafco LRTC 100.

L'analisi dettagliata delle soluzioni tecniche utilizzate nell'ambito dell'intervento Holmesdale è stata ampiamente trattata

nell'articolo pubblicato sul fascicolo n° 64 a pag. 42 di "Strade & Autostrade", al quale si rimanda per maggiori dettagli.

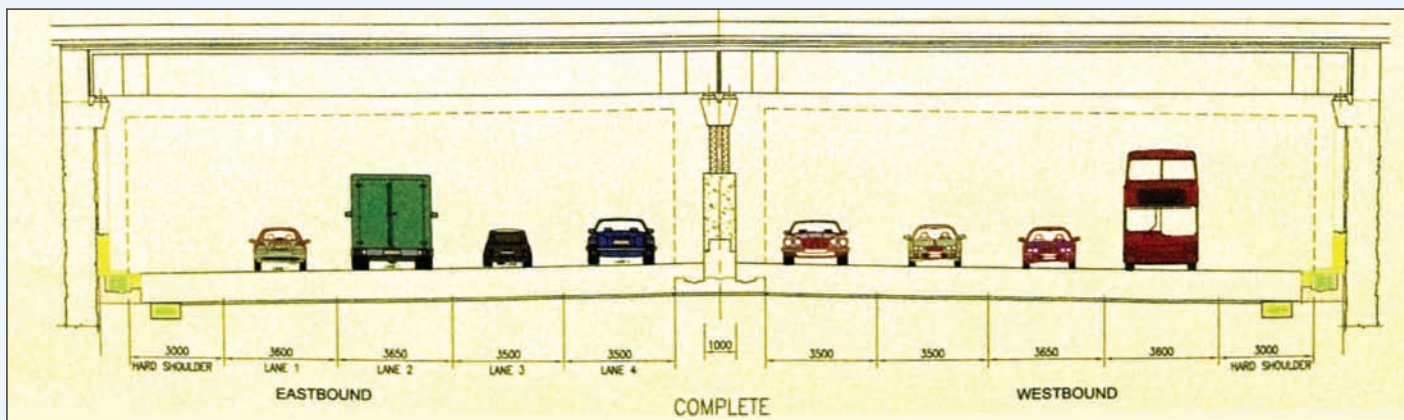


Figura 12 - Il tunnel Holmesdale

Oltre 10 milioni di m² di strutture in calcestruzzo e acciaio sono state protette con Fendolite MII nelle gallerie e in impianti di processo petrolchimici.

Cafco Fendolite MII è stato sottoposto al severo programma di prove sperimentali, specifico per i tunnel, studiato e messo a punto dall'Istituto olandese TNO, denominato RWS Rijkswaterstaat standard che è assunto come riferimento da molti Paesi dell'Unione Europea e prevede una curva di esposizione al fuoco (temperatura/tempo) più severa di quella da idrocarburi normalmente utilizzata nel settore industriale chimico e petrolchimico.

Il prodotto è anche qualificato in Italia quale protettivo da utilizzare nei tunnel e nelle gallerie secondo lo standard imposto dalla Norma UNI 11076. È stato inoltre sottoposto con ottimi risultati al programma di prove sperimentali promosso dal GEIE, denominato Gasafe Programme, avente lo scopo di valutare l'efficacia dei rivestimenti protettivi resistenti al fuoco applicati su serbatoi di stoccaggio GPL, sotto l'azione combinata di una lancia termica alternata a getti idrici antincendio. Garantisce la monoliticità e la compattezza del sistema di protezione applicato, supportate dalle caratteristiche del prodotto quali l'alta densità, la resistenza all'impatto, alla compressione e all'erosione.

Tra le più importanti referenze europee, il tunnel autostradale a due fornici denominato Holmesdale. Situato sulla tangenziale a Nord di

Conclusioni

Il Legislatore, con i Decreti di recente emanazione e in accordo con le Direttive europee, ha fornito gli strumenti e ha definito i soggetti coinvolti nel processo di rilancio della sicurezza nei tunnel.

In precedenza, per quanto riguarda la resistenza al fuoco con la Norma del 2003, l'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) era già stato in grado di proporre la metodologia utile alla qualificazione dei prodotti da utilizzare nel campo della resistenza passiva. Adesso spetta a noi operatori del settore - ognuno con il suo ruolo specifico (dalle Pubbliche Amministrazioni ai Produttori) - utilizzare al meglio i mezzi a nostra disposizione al fine di perseguire, con la massima concertazione, l'obiettivo comune della sicurezza.

Il Servizio di Assistenza Tecnica della Perlite Italiana Srl mette a disposizione la propria esperienza e competenza per supportare Progettisti, Imprese, Committenti, Gestori dei tunnel, Responsabili della Sicurezza per formulare la migliore soluzione tecnico-economica e contribuire al miglioramento della sicurezza nelle gallerie. ■

* Direttore Commerciale di Perlite Italiana Srl

** Responsabile Servizio di Assistenza Tecnica di Perlite Italiana Srl