



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SALERNO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

*Corso di dottorato di ricerca in
Rischio e sostenibilità
nei sistemi dell'ingegneria civile, edile e ambientale*

Curriculum - Tecnologie avanzate, infrastrutture e protezione del territorio per lo sviluppo sostenibile

XXXIV Ciclo (a.a. 2020 - 2021)

ABSTRACT

**Approccio metodologico per l'analisi della
sicurezza nelle gallerie stradali con riferimento
agli effetti termici sulla struttura**

Isidoro Russo

Tutor
Prof. Ing. **Ciro Caliendo**

Coordinatore del dottorato
Prof. Ing. **Fernando Fraternali**

Abstract

I maggiori rischi per gli utenti in caso di incendio in galleria derivano dalle alte temperature generate dal veicolo in fiamme, dal fumo che riempie progressivamente la galleria riducendo la visibilità per l'evacuazione delle persone, dalla produzione di monossido di carbonio e sostanze tossiche che, associate al consumo di ossigeno, possono causare l'intossicazione e, di conseguenza, la perdita di coscienza e l'anossia. Tuttavia, oltre alle conseguenze sulla salute umana, vanno considerati anche gli effetti negativi sulla struttura della galleria dovuti alle alte temperature, così come i costi diretti per riparare le strutture danneggiate e i costi indiretti associati alla temporanea chiusura della galleria e all'uso di percorsi alternativi.

La direttiva 2004/54/EC, adottata in Italia nel 2006, richiede, oltre ad un'analisi quantitativa del rischio volta a identificare il livello di sicurezza per gli utenti in caso di incendio in galleria, la valutazione della resistenza al fuoco della struttura del tunnel nei casi in cui il suo collasso locale potrebbe causare conseguenze catastrofiche, come ad esempio, per importanti strutture adiacenti o gallerie immerse.

La maggior parte delle gallerie esistenti sono in calcestruzzo armato o non armato, mentre le nuove gallerie sono soprattutto realizzate in calcestruzzo armato. Quando le strutture in calcestruzzo sono soggette a temperature elevate e in rapido aumento, potrebbero verificarsi distacchi più o meno violenti di materiale. Questo fenomeno, noto come *spalling*, potrebbe portare, nel caso di calcestruzzo armato, alla rottura del copriferro; quindi, una zona più o meno estesa di calcestruzzo potrebbe presentare le armature in acciaio direttamente esposte alle alte temperature. In queste circostanze, poiché l'acciaio ha una ridotta resistenza al fuoco rispetto al calcestruzzo, le armature in acciaio potrebbero non essere più in grado di svolgere la loro funzione di assorbire le sollecitazioni di trazione, contribuendo così al collasso strutturale, anche se localizzato. Questo, oltre a ridurre il livello di sicurezza per gli utenti della galleria non ancora evacuati e ad ostacolare le squadre di soccorso, potrebbe causare il crollo degli edifici ubicati sopra la volta del tunnel o infiltrazioni d'acqua.

Alla luce delle considerazioni di cui sopra, al fine di raggiungere l'ottimale progettazione della resistenza al fuoco delle gallerie, è molto importante essere in grado di prevedere quantitativamente lo *spalling*. A questo proposito, lo scopo principale della presente tesi è stato quello di sviluppare dei modelli predittivi, ovvero un metodo analitico, in grado di valutare il danno indotto dal fuoco in funzione sia della geometria della galleria che dello scenario di incendio. A tal fine, la modellazione fluidodinamica (CFD) è stata accoppiata all'approccio statistico. In questo studio, tra i diversi codici disponibili, il Fire Dynamics Simulator (FDS) è stato utilizzato come strumento di simulazione CFD, mentre il pacchetto statistico LIMDEP è stato applicato come strumento di simulazione statistica.

Il primo passo per settare il suddetto metodo analitico finalizzato alla previsione dello spalling è stato quello di sviluppare, data la lacuna, un nuovo modello 3D CFD in grado di stimare il danno indotto dal fuoco. Una volta che questo modello è stato validato confrontando i suoi risultati con quelli forniti da un modello concorrente presente nella letteratura internazionale, sono state tratte opportune conclusioni relative al caso studio investigato.

Sulla base del suddetto modello 3D CFD sviluppato, il secondo passo per raggiungere lo scopo prefissato è stato quello di identificare le variabili che influenzavano maggiormente il danno indotto dal fuoco. A tal fine, sono state fatte alcune ipotesi e sono state effettuate diverse simulazioni preliminari. A questo proposito, poiché la ventilazione longitudinale all'interno della galleria, la velocità di rilascio del calore, l'area della sezione trasversale della galleria e la pendenza longitudinale del tunnel sono risultate essere le variabili che maggiormente influenzavano lo spalling, esse sono state assunte come variabili indipendenti dei modelli predittivi proposti. In particolare, questi modelli predittivi sono modelli univariati Binomiali Negativi (NB) con parametri fissi. Invece, le variabili dipendenti erano la profondità massima dello spalling, il tempo di inizio dello spalling e la massima lunghezza della galleria interessata dallo spalling.

Alla luce di questo, sono stati sviluppati alcuni modelli predittivi. I risultati hanno mostrato che il metodo analitico proposto è in grado di fornire una previsione da buona a eccellente della profondità massima dello spalling, del tempo di inizio dello spalling e della massima lunghezza della galleria interessata dallo spalling.

Pertanto, l'autore è fiducioso che i modelli predittivi proposti rappresentino, data la lacuna, un importante avanzamento delle conoscenze nel campo dell'ingegneria della sicurezza antincendio delle gallerie. Infatti, i risultati ottenibili da questi modelli predittivi potrebbero servire non solo alla comunità scientifica internazionale ma anche agli ingegneri stradali e alle agenzie di gestione delle gallerie (TMA) al fine di stimare come il danno indotto dal fuoco varia con la ventilazione longitudinale, la velocità di rilascio del calore, l'area della sezione trasversale della galleria e la pendenza longitudinale.

Infine, per mitigare i danni indotti dal fuoco, sono stati utilizzati alcuni rivestimenti come malte cementizie, pannelli e una vernice intumescente. A questo proposito, i risultati hanno mostrato che tutti i rivestimenti impiegati sono stati in grado di prevenire lo spalling, riducendo così il rischio di collasso strutturale. In particolare, considerando il criterio del rapporto tra prestazioni termiche e spessore di applicazione, il miglior rivestimento utilizzato in questo studio è stata la vernice intumescente.