

Il software **ARE-Mod**: il modello sviluppato per l'analisi del rischio in galleria

■ Alice Quaglia

L'abstract

L'articolo descrive l'importanza ed il funzionamento del software Are-mod (modello analisi rischio estesa), ideato e sviluppato nel 2007 dal Dipartimento di Strade della Facoltà di Ingegneria Civile di Firenze.

Tramite il software, combinato a fogli e grafici excel, è possibile determinare - qualora si verifichi un incendio in galleria - l'andamento nel tempo e nello spazio delle concentrazioni letali di sostanze tossiche, e valutare attraverso un modello di evacuazione degli utenti la loro effettiva salvabilità.

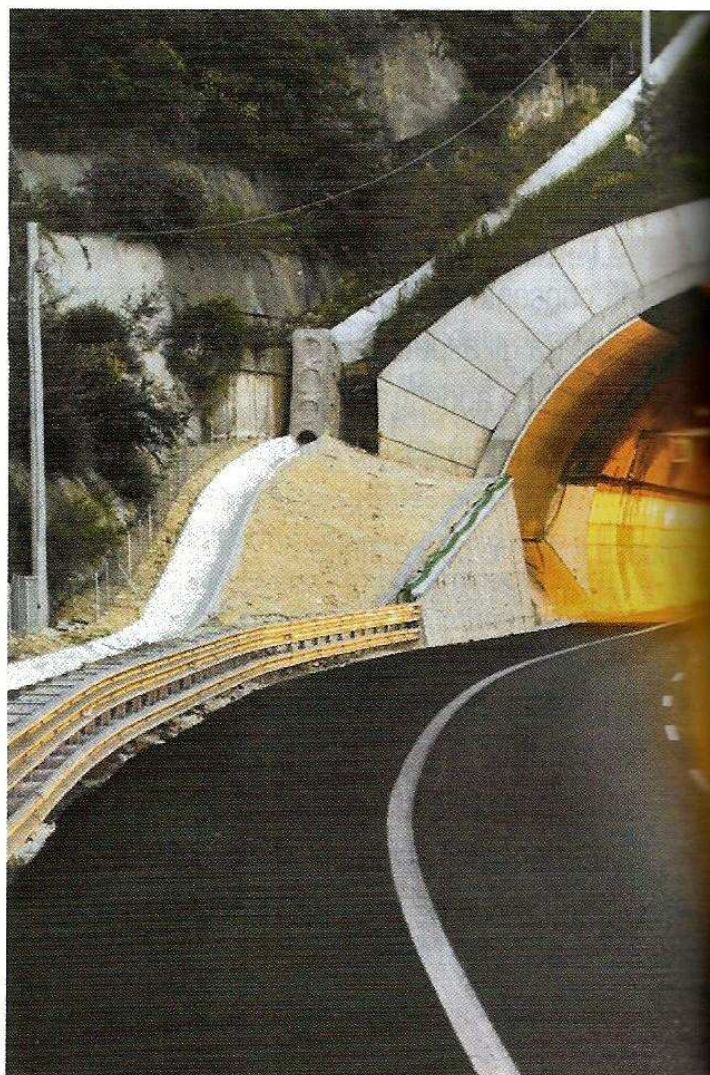
Nella prima parte dell'articolo si spiegano i fondamenti teorici del software (le prescrizioni della norma ISO 13571 "Componenti dell'incendio che attentano alla vita - linee guida per la stima del tempo disponibile alla fuga usando i dati dell'incendio"); nella seconda parte, invece, si spiega come funziona il software e come servirsi dei dati da esso elaborati per valutare la sicurezza.

Il problema della sicurezza in galleria - stradale o ferroviaria- è da sempre oggetto di vivo interesse e studio da parte dell'ingegneria dei trasporti.

Le gallerie stradali e ferroviarie sono infatti ambienti quasi chiusi, limitati sia in larghezza che in altezza, le cui aperture principali sono rappresentate dalle zone di entrata e di uscita.

Un ambiente con queste caratteristiche è dunque molto pericoloso, sia per il disagio creato dagli spazi esigui, sia perchè limitato risulta essere conseguentemente il ricambio d'aria.

Gli spazi limitati, infatti, comportano che, qualora una situazione di emergenza renda impossibile l'attraversamento o l'uscita dalla galleria a bordo del veicolo, gli utenti si ritro-



vino in un ambiente attraverso il quale è difficile fuggire o comunque allontanarsi dalle zone più pericolose. La scarsa ventilazione, invece, fa sì che all'interno della galleria ci sia un'alta concentrazione e ristagno di fumi e sostanze tossiche, e questo anche in condizioni "normali".

Tutto questo porta ad un'unica conclusione: gli eventi generatori di rischi (guasti/malfunzionamenti delle attrezzature, incidenti, incendi...) possono produrre danni maggiori nelle gallerie di quelli che possono essere prodotti nelle altre infrastrutture.

L'università degli Studi di Firenze ha a questo proposito ideato e sviluppato nel 2007 il software ARE-mod ("modello analisi rischio estesa"), a suo tempo oggetto di pubblicazioni e congressi nazionali ed internazionali, il quale consente di eseguire l'analisi della sicurezza in galleria qualora al suo interno si

verifichi un evento (principalmente un incendio, provocato da incidenti o malfunzionamenti) che causi la fuoriuscita ed emissione di sostanze tossiche.

Per poter comprendere il funzionamento del software e soprattutto l'utilità dei risultati dei suoi algoritmi, risulta essenziale conoscerne i fondamenti teorici.

Si ipotizza che in un punto qualsiasi di una galleria si sviluppi - per varie ragioni - un incendio, e che in conseguenza a questo si propaghino all'interno del tunnel delle sostanze inquinanti.

Attraverso i dati elaborati dai software di simulazione incendio (uno di questi è ad esempio il software francese Camatt, il cui funzionamento è stato descritto nell'articolo pubblicato nel numero di luglio 2014 di questa stessa rivista), si è in grado di conoscere la situazione - in termini di fumo e di con-



centrazione di sostanze tossiche - in ogni punto della galleria e per ogni istante.

Per poter valutare la salvabilità degli utenti che si trovano al suo interno occorre a questo punto chiedersi se queste concentrazioni di fumo e sostanze tossiche che evolvono nel tempo - e che pertanto vengono inevitabilmente inalate dalle persone che si trovano nel tunnel - sono sufficientemente basse da consentire l'uscita in sicurezza delle stesse, oppure sono così elevate da impedirlo.

Nel valutare gli effetti di una sostanza sull'organismo, i parametri fondamentali sono la concentrazione ed il tempo di esposizione: l'effetto prodotto sul corpo umano da una sostanza tossica è infatti funzione della concentrazione e dell'intervallo di tempo nel quale essa agisce.

L'ammontare totale di una sostanza o di un agente fisico che viene assunto da un organismo viene definito dose. Nel caso in cui la concentrazione c di un inquinante si mantenga costante nel tempo, si può dunque approssimare grossolanamente: $D = c \cdot t$.

E a determinati valori di dose corrispondono specifici effetti.

Ovviamente esistono sostanze che sono più tossiche - cioè più nocive per la salute- di al-

tre. Questo dipende dalla loro composizione chimica. In altre parole, a parità di tempo di esposizione e concentrazione, certe sostanze inducono sintomi e danni maggiori rispetto ad altre.

Ma, in generale, se si confrontano due sostanze con uguale tossicità, accade che:

- A parità di tempo di esposizione, la sostanza presente in minor concentrazione produce effetti meno gravi
- A parità di concentrazione, la sostanza a cui si è stati esposti per minor tempo produce effetti meno gravi.

Si può così concludere che una sostanza tossica è una sostanza che produce danni sulla salute delle persone che entrano in contatto con essa, ma non in qualsiasi circostanza: solo nella circostanza in cui o la sua concentrazione o il suo tempo di esposizione superino un certo valore oltre il quale si ha un pericolo per la salute. Ovvero nel momento in cui $D = c \cdot t$ supera una certa soglia.

Questo accade se diventano eccessivi o c (concentrazione) o t (tempo di esposizione), oppure la combinazione dei due.

In realtà questa formula - presentata in questa forma - non è del tutto corretta. Infatti, basandosi su di essa, si è portati a credere che tempo di esposizione e concentrazione di una sostanza tossica influiscano sui danni che essa provoca con identico peso. La logica conclusione sarebbe dunque che una sostanza tossica presente in grandi concentrazioni ma a cui si viene esposti per pochissimo tempo provochi gli stessi effetti della medesima sostanza tossica presente in modeste concentrazioni, ma a cui si viene esposti per un periodo di tempo lunghissimo. Dai dati sperimentali sappiamo invece che questo non è vero: sia concentrazione che tempo di esposizione sono importanti per definire i danni provocati da una sostanza tossica, ma per la maggior parte delle sostanze (come ad esempio il monossido di carbonio o i suoi derivati, principale sostanza prodotta in caso di incendio) un'alta concentrazione per un breve periodo di tempo

Alice Quaglia - Si laurea in Ingegneria Civile - indirizzo trasporti - nel 2011 all'Università degli Studi di Firenze.

Completa un tirocinio formativo di due mesi svolto presso il laboratorio di strade della Facoltà di Ingegneria di Firenze, riguardante l'analisi della sicurezza in galleria stradale o ferroviaria in caso di incendio e la valutazione delle conseguenze dell'esposizione degli utenti a fumi tossici ed alta temperatura.

In relazione alla tematica della sicurezza stradale ed antincendio, nel 2004 ricopre il ruolo di docente tenendo alcune lezioni di formazione - in lingua inglese - sulla "sicurezza antincendio sul posto di lavoro" presso l'Istituto Universitario Europeo di Fiesole (FI), e nel 2011 realizza uno studio completo sulla sicurezza di una galleria autostradale con possibile attrezzabilità di by-pass attraverso il software Camatt, Are-mod (sviluppato dall'Università degli Studi di Firenze) e QRA, per conto del C.S.I.A. (Centro Studi di Ingegneria ed Architettura), con sede a Roma.

Nel 2014 ha pubblicato l'articolo "Gallerie stradali: il software Camatt per l'analisi della sicurezza" sulla rivista "Antincendio" (numero di luglio 2014) edita dall'EPC periodici.

ha effetti più gravi di un lungo tempo di esposizione con concentrazioni modeste. In generale, quindi, non tutte le sostanze tossiche si comportano allo stesso modo, ovvero non per tutte le sostanze concentrazione e tempo di esposizione sono ugualmente importanti. Ne sono un esempio i gas irritanti, per i quali è sufficiente un contatto istantaneo per provocare danni al corpo umano. Per altre sostanze, invece, ciò che determina i danni provocati è anche il tempo di esposizione.

Di conseguenza la formula $D = c \cdot t$ deve essere opportunamente corretta per alcune sostanze, introducendo coefficienti che ridimensionano il peso del contributo di concentrazione e tempo.

Sulla base di queste considerazioni, la norma ISO 13571 ("Componenti dell'incendio che attentano alla vita - linee guida per la stima del tempo disponibile alla fuga usando i dati dell'incendio") fornisce due formule che permettono di valutare la sicurezza di un ambiente quando ci sia diffusione di sostanze tossiche. Poiché nell'incendio si presentano diverse specie tossiche contemporaneamente, tali equazioni consentono di tenere conto dell'effetto della contemporaneità di esposizione e rendono possibile la stima dello stato in cui si trovano gli occupanti in precisi intervalli di tempo, fino al momento in cui tale esposizione può impedire agli occupanti di portare a termine la loro fuga.

La norma introduce dunque i seguenti due indici, legati alla manifestazione di specifici effetti fisiologici su soggetti esposti:

- 1) FEC (*Concentrazione effettiva frazionaria*): rapporto tra la concentrazione di un irritante e quella che ci si aspetta produca un effetto specifico ad un soggetto esposto di media suscettibilità.
- 2) FED (*Dose effettiva frazionaria*): rapporto tra la dose di esposizione ad un asfissiante tossico e la dose di esposizione di un asfissiante che ci si aspetta produca un effetto specifico ad un soggetto esposto di media suscettibilità. Non è raro tro-

vare quest'indice indicato anche come FID ("Fractional Incapacitating Dose").

Vengono utilizzati due diversi indici - uno per le sostanze irritanti ed uno per le sostanze asfissianti tossiche - perché, come accennato precedentemente, per i gas che hanno un effetto irritante sulle vie aeree e sugli occhi delle persone tale effetto è governato dalla concentrazione alla quale gli individui sono esposti, mentre nel caso di agenti tossici l'effetto sul corpo umano dipende anche dal tempo di esposizione.

Trascurando la questione dei gas irritanti e focalizzando invece l'attenzione unicamente sui gas asfissianti, la dose effettiva frazionaria permette di determinare gli incrementi discretizzati nel tempo delle dosi dovute alle singole specie tossiche. Le condizioni di non sostenibilità di un ambiente si realizzano quando la dose accumulata delle dosi frazionarie supera un dato valore di soglia.

$$X_{FED} = \sum_{i=1}^n \sum_{t_i}^{t_i} \frac{C_i}{(C \cdot t)_i} \Delta t$$

Formula 1 - Calcolo della dose effettiva frazionaria di un agente asfissiante (FED)

In questa formula C_i è la concentrazione media, espressa in micro-litri per litro, di un gas asfissiante in un preciso intervallo di tempo, Δt è il ben preciso intervallo di tempo, e $(C \cdot t)_i$ è la specifica dose di esposizione, espressa in minuti per microlitri per litro, che può impedire la fuga sicura degli occupanti.

Partendo da questa relazione generale, la norma permette di applicare tale relazione anche alla presenza contemporanea di CO (monossido di carbonio) e di HCN (acido cianidrico), utilizzando i rispettivi valori di soglia. Nelle condizioni di incendio più comuni, infatti, si ritiene che CO e HCN siano gli unici

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{[CO]}{35000 \text{ ppm} \cdot \text{min}} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{e^{([HCN]/43)} C_i}{220 \text{ min}} \Delta t$$

Formula 2 - Calcolo della dose effettiva frazionaria (FED) nel caso di presenza contemporanea di monossido di carbonio e acido cianidrico

prodotti della combustione con caratteristiche asfissianti che esercitano un effetto significativo sul tempo disponibile per l'esodo (Formula 2).

Per la CO viene utilizzata come soglia la dose di inabilitazione $Ct = 35000 \text{ ppm} \cdot \text{min}$, che corrisponde ad una percentuale di COHb nel sangue pari a 30 nelle persone con un volume respiratorio di 20 l/min.

Per l'acido cianidrico, invece, non potendo fare ricorso ad un valore costante in quanto per questa sostanza è molto più rilevante il tempo di esposizione, viene utilizzata una espressione esponenziale, derivata da esperimenti di laboratorio. La formula è dunque ottenuta tenendo conto sia della concentrazione, sia del tempo di esposizione.

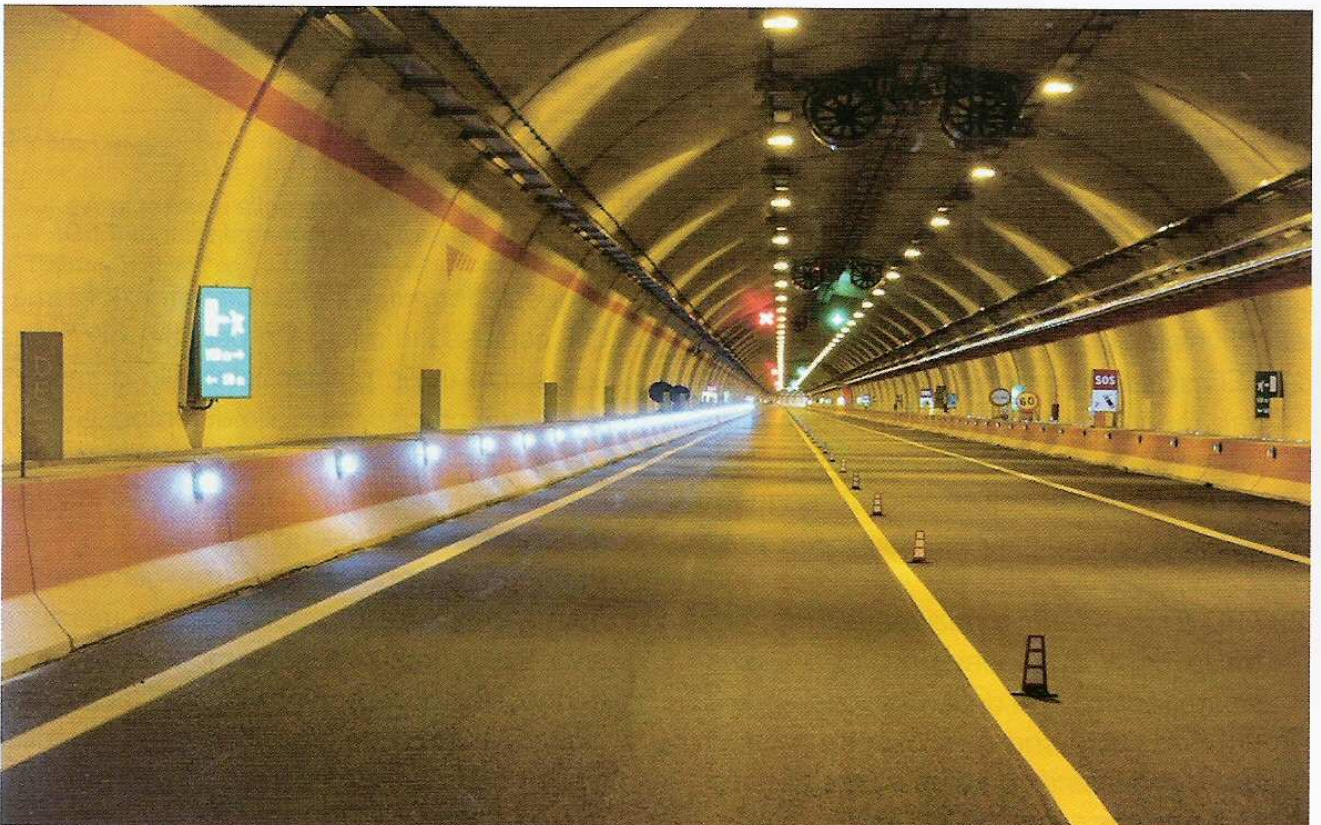
Il valore 1, per questo indice, è dunque as-

sociato ad effetti che renderebbero occupanti di media suscettibilità incapaci di effettuare la loro fuga. Il tempo nel quale l'indice FED arriva al valore unitario rappresenta pertanto il tempo disponibile per la fuga.

Confrontare il tempo disponibile per la fuga così determinato con il tempo effettivamente necessario per eseguirla (valutato attraverso software o modelli di evacuazione) permette di valutare la sicurezza dell'ambiente in cui si sviluppa l'incendio.

Nel caso in cui tale paragone riveli che il tempo disponibile per la fuga sia insufficiente, sarà poi possibile scegliere una varietà di strategie di protezione.

È alla luce di tutte queste considerazioni che è stato sviluppato il software Are-mod: tramite il software, combinato a fogli e grafici



excel, è possibile determinare - introducendo le caratteristiche aerauliche dell'incendio - l'andamento nel tempo e nello spazio di $FED = 1$, e attraverso un modello di evacuazione degli utenti in galleria la loro effettiva salvabilità.

Con il software Are, infatti, le condizioni di sopravvivenza sono definite secondo le norme ISO 13571 in funzione del valore raggiunto dall'indicatore FED. Il valore $FED=1$ individua la soglia di sopravvivenza.

Come dati di input, Are-mod chiede di conoscere prima di tutto le caratteristiche dell'incendio (note attraverso modelli di simulazione), insieme alle caratteristiche della galleria in cui l'incendio si sviluppa.

Questi dati possono essere inseriti all'interno della tabella che appare all'apertura del programma (Tabella 1). Alcuni di questi valori si trovano invece già inseriti nella tabella come parametri di default.

All'apertura del programma, insieme a questa appaiono altre tre tabelle, che richiedono rispettivamente l'inserimento dell'intervallo e passo temporale di analisi, delle progressive e le caratteristiche della curva di potenza termica dell'incendio. Il programma assume che l'istante 0 sia quello di scoppio dell'incendio e la progressiva 0 quella in cui esso è posizionato all'interno della galleria.

Il software è programmato anche per segnalare se tra i dati di input sono presenti errori

> Parametri

Area tunnel (m ²)	AREA
Perimetro tunnel (m)	PPRMTRO
CO liberato per grammo di combustibile bruciato (g/g)	YCO
Massa molecolare aria (g/mole)	MSSARIA
Massa molecolare CO (g/mole)	MSSCO
Velocità dell'aria (m/s)	UVNTO
Calore effettivo rilasciato (MJ/Kg)	HC
Coeff. stochiometrico del calore	RO
Calore specifico dell'aria (KJ/Kg °C)	CP
Densità dell'aria nel tunnel (Kg/m ³)	RHO
Concentrazione ossigeno slm (O ₂ /aria totale)	STNDRD
Massa molecolare O ₂ (g/mole)	MSSAO2
HCN liberato per grammo di combustibile bruciato (g/g)	YHCN
Massa molecolare HCN (g/mole)	MSSACN
Calore trasferito per convezione (porzione rispetto a 1)	ALFAC
Calore trasferito per irraggiamento (porzione rispetto a 1)	ALFAR
Coeff. complessivo perdita di calore (KW/m ² °C)	HPERDTA
Temperatura ambiente (°C)	TAMBNTA
Grado di vestizione passeggeri (1-normale, 2-poco)	GRDOCPRTURA
Passo di analisi per i tempi (s)	PSSTMPI
Passo di analisi per le progressive (m)	PSSPRGRSSVE

Tabella 1 - Dati di input del modello Are

FID Totale

T (s) / X (m)	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	0,1613	7,58E-05	7,58E-05	0	0	0
2	0,5723	0,00015	1,52E-04	7,59E-05	7,58E-05	0
3	1,2829	0,01916	0,00023	1,52E-04	1,52E-04	7,59E-05
4	2,3308	0,0489	0,0003	0,00023	0,00023	1,52E-04
5	3,747	0,09033	0,00038	0,0003	0,0003	0,00023
6	5,5584	0,14439	0,00046	0,00038	0,00038	0,0003
7	7,7889	0,1188	0,00053	0,00046	0,00046	0,00038
8	10,46	0,29356	0,00061	0,00053	0,00053	0,00046
9	13,591	0,39008	0,00069	0,00061	0,00061	0,00053
10	17,201	0,50207	0,01632	0,00069	0,00069	0,00061
11	21,307	0,6301	0,03501	0,00077	0,00077	0,00069
12	25,925	0,77472	0,05622	0,00084	0,00084	0,00077
13	31,069	0,93642	0,08003	0,00092	0,00092	0,00084
14	36,755	1,1157	0,10652	0,001	0,001	0,00092
15	42,996	1,31301	0,113575	0,00108	0,00108	0,001
16	49,804	1,52878	0,16779	0,00115	0,00115	0,00108
17	57,194	1,76345	0,20272	0,00123	0,00123	0,00115
18	65,176	2,01741	0,24059	0,00131	0,00131	0,00123
19	73,763	2,29105	0,28147	0,00139	0,00139	0,00131
20	82,965	2,58474	0,32541	0,00147	0,00147	0,00139
21	92,794	2,89885	0,37247	0,011547	0,00155	0,00147
22	103,26	3,23373	0,4227	0,03185	0,00162	0,00155
23	114,37	5,58971	0,47616	0,04931	0,0017	0,00163
24	126,14	3,96712	0,5329	0,06785	0,00178	0,00171
25	138,58	4,36629	0,59296	0,0875	0,00186	0,00179
26	151,7	4,78753	0,65641	0,10827	0,00194	0,00187
27	165,49	5,23114	0,72327	0,13019	0,00202	0,001194
28	179,99	5,69742	0,79361	0,15325	0,0021	0,00202
29	195,19	6,18665	0,86746	0,17749	0,00218	0,0021
30	211,09	6,69912	0,94487	0,20292	0,00226	0,00218
31	227,72	7,23511	1,02589	0,22954	0,00234	0,00227
32	245,08	7,79489	1,11054	0,25738	0,00242	0,00235
33	263,17	8,37872	1,19889	0,28644	0,0025	0,00243
34	282,01	8,98686	1,29095	0,31675	0,00258	0,00251
35	301,6	9,61956	1,38679	0,34831	0,00267	0,00259
36	321,94	10,2771	1,48642	0,38114	0,01518	0,00267
37	343,06	10,9597	1,5809	0,41524	0,03064	0,00275
38	364,95	11,6676	1,69726	0,45064	0,04668	0,00283

Tabella 2 - Esempio di composizione dei risultati del modello Are su foglio excel

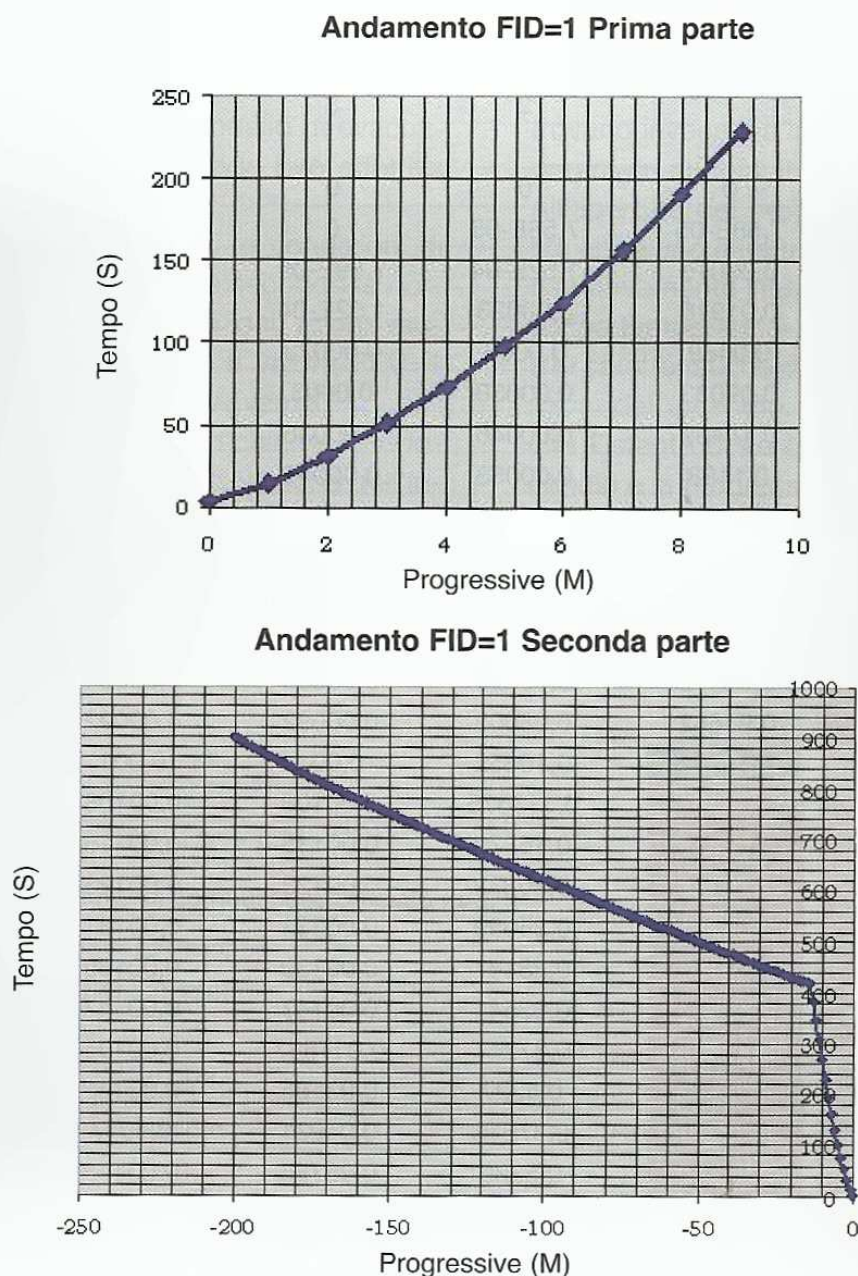


Figura 1 - Grafici excel dell'andamento nel tempo e nello spazio di FID=1.

od incongruenze che rendono impossibile il calcolo dei dati di output.

Are-mod è un software molto semplice, e tra i suoi dati di input permette di inserire un unico valore di velocità di propagazione dei fumi per poter eseguire i suoi calcoli. Come si sa invece dall'analisi sperimentale (e come è possibile determinare anche attraverso i software di simulazione), durante l'incendio la velocità di propagazione dei fumi può al contrario assumere valori molto diversi, ed

anche cambiare direzione a causa delle sovrappressioni presenti nell'ambiente in cui esso si sviluppa.

Per questo motivo, il software deve - nella maggioranza dei casi - essere avviato più volte facendo riferimento non a tutto l'arco temporale dell'incendio, ma a più brevi istanti temporali, nei quali si utilizza il valore medio delle velocità raggiunte nell'intervallo di tempo considerato. Nella pratica non è necessario ricorrere a più di due-tre intervalli

temporali, ottenendo comunque risultati attinenti alla situazione reale. Soprattutto quando la velocità cambia direzione è necessario spezzare l'intervallo temporale e considerare le due situazioni separatamente. I risultati dei vari intervalli temporali vengono poi "ricomposti" insieme, in modo da avere così una buona approssimazione della realtà.

Il software, così fornito dei suoi dati di input, viene dunque avviato. Il risultato dei suoi calcoli sono dei documenti formato .txt che mostrano l'andamento - in ogni istante e per ogni progressiva di osservazione - della concentrazione delle principali sostanze prodotte dall'incendio (anidride carbonica, monossido di carbonio, acido cianidrico, ossigeno), delle temperature e degli indici FED di ciascuna sostanza tossica e del calore prodotto.

Di questi, il documento più importante ai fini dell'analisi della sicurezza è sicuramente

quello che mostra il "FED totale", cioè l'andamento nel tempo e nello spazio dell'indice FED di tutte quante le sostanze inquinanti prodotte e della temperatura.

I dati contenuti nei documenti .txt sono i dati di output finali forniti da Are-mod.

Questi risultati, ottenuti facilmente ed automaticamente tramite gli algoritmi del software, possono poi essere posizionati in una tabella excel, in funzione del tempo e dello spazio, in modo da averne una più chiara visione: si noterà in particolar modo come l'indice FED è tanto maggiore quanto più si è in prossimità dell'incendio e come esso vada ad aumentare man mano che esso si sviluppa (Tabella 2).

Nella tabella 2, dove risulta chiara la variazione di FED nel tempo e nello spazio, si sono segnati in verde gli istanti e le progressive in corrispondenza dei quali l'indice FED assume valore pari ad 1.



Collana Eurocodici
finalmente in italiano

11 volumi

EPC EDITORE

È la prima collana pubblicata in Italia veramente completa e coerente che tratta specificatamente pressoché tutti gli Eurocodici in modo organico ed esteso. La collana è stata tradotta da esperti strutturisti, che hanno integrato il testo con note esplicative tese a chiarire il rapporto con le NTC 2008 e gli Annessi Tecnici Nazionali, rendendo la collana uno strumento davvero molto utile e innovativo per i Progettisti italiani.

- **Guida all'Eurocodice** - Criteri generali di progettazione strutturale: EN 1990 (settembre 2010)
- **Guida all'Eurocodice 1** - Azioni del vento: EN 1991 - 1.4 (ottobre 2010)
- **Guida all'Eurocodice 1** - Azioni sulle strutture: EN 1991 - 1.1 e da 1.3 a 1.7 (marzo 2011)
- **Guida agli Eurocodici 1,2,3,4** - Resistenza al fuoco delle strutture: EN 1991 - 1.2, EN 1992 - 1.2, EN 1993 - 1.2 e EN 1994 - 1.2 (maggio 2011)
- **Guida all'Eurocodice 2** - Progettazione delle strutture in calcestruzzo: EN 1992-1.1,1.2 (febbraio 2011)
- **Guida all'Eurocodice 3** - Progettazione di edifici in acciaio: EN 1993-1-1, -1-3 e -1-8 (giugno 2012)
- **Guida all'Eurocodice 4** - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo: EN 1994 - 1.1 (luglio 2011)
- **Guida all'Eurocodice 5** - Progettazione di strutture in legno (febbraio 2014)
- **Guida all'Eurocodice 6** - Progettazione di strutture in muratura: EN 1996-1-1 (ottobre 2012)
- **Guida all'Eurocodice 7** - Progettazione geotecnica: EN 1997-1 (febbraio 2012)
- **Guida all'Eurocodice 8** - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica: EN 1998-1, EN 1998-5 (dicembre 2011)

Gli 11 volumi della collana Guida all'Eurocodice al prezzo di € 346,50 anziché € 495,00
contattaci al numero: 06 33245271 o tramite E-mail: clienti@epc.it

Via dell'Acqua Traversa, 187/189 - 00135 Roma - Fax 06 33111043 - www.epc.it

A partire da questi istanti/progressive la situazione è critica ed è perciò contrassegnata in rosso.

Per ogni ascissa si determinano dunque gli istanti temporali in cui FED assume valore unitario. I risultati sono messi in un grafico che mostra l'andamento nel tempo e nello spazio di FED = 1 (Figura 1).

Poichè la velocità dei fumi cambia direzione nel corso dell'incendio, occorre fare riferimento a due situazioni, che poi saranno composte in modo da ricreare il reale andamento della velocità.

A questo punto viene definito un modello di accodamento ed evacuazione dei veicoli nella galleria in caso di incendio.

Il processo di evacuazione è valutato dal momento in cui ha inizio la situazione di pericolo a quello in cui le persone raggiungono un luogo sicuro.

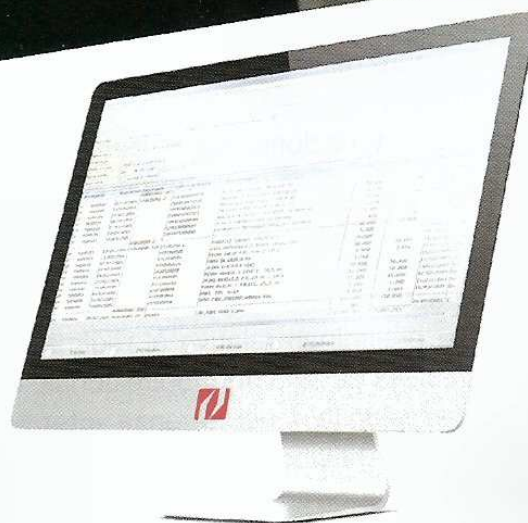
Nei modelli più complessi vengono considerate varie fasi del processo, assegnando delle durate ad ognuna di esse:

- *tempo di consapevolezza* → il tempo necessario ad un individuo per divenire consapevole della minaccia
- *tempo di reazione* → il tempo necessario alle persone, una volta venute a conoscenza del potenziale pericolo, per cominciare l'evacuazione
- *tempo di evacuazione del convoglio* → tempo necessario all'individuo per evacuare la carrozza
- *tempo di movimento* → dipende dalla distanza che le persone devono percorrere prima di raggiungere un luogo sicuro e dalla velocità di evacuazione
- *tempo di uscita dal tunnel* →

TUTTO SOTTO CONTROLLO con Taylor

Il software per i manutentori antincendio ed estintoristi.

- ✓ Velocizza gli interventi
- ✓ Elimina il rischio di errore
- ✓ Incrementa le marginalità



TAYLOR

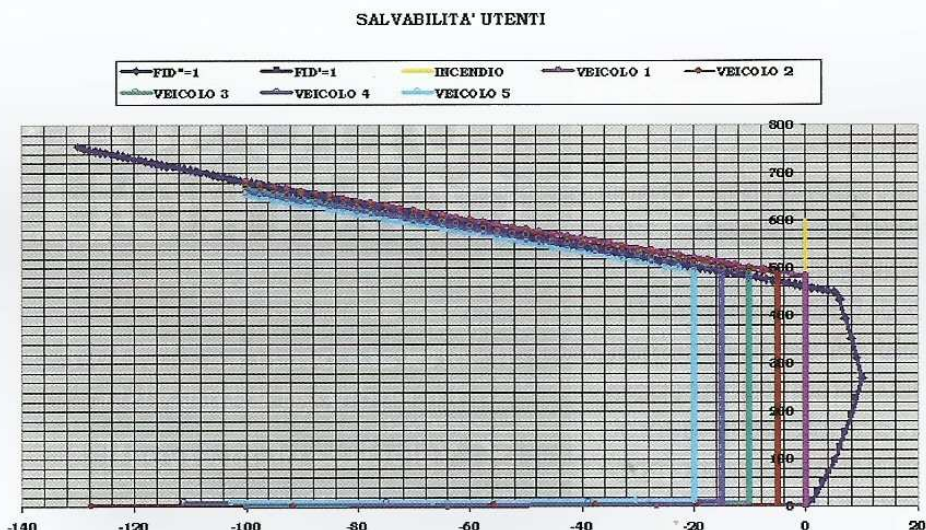
per maggiori informazioni

0735 751031

WWW.TAYLORSOFTWARE.IT

 Infoservice
soluzioni software

tel 0735 751031 fax 0735 658046
www.infoservicenet.it info@infoservicenet.it



Salvabilità degli utenti all'interno della galleria

tempo necessario per abbandonare la galleria una volta raggiunta l'uscita: nel caso in cui questa avvenga dagli imbocchi sarà evidentemente nullo, nel caso in cui avvenga invece attraverso le uscite intermedie sarà funzione della capacità delle aperture realizzate per accedervi.

Il modello di evacuazione, se correttamente realizzato, risulta essere uno strumento molto utile per schematizzare il modo in cui presumibilmente può avvenire l'esodo.

Per poterlo determinare è necessario fare alcune ipotesi preliminari relative al regime di circolazione nella galleria (monodirezionale o bidirezionale, velocità di percorrenza, interdistanza media tra i veicoli...), alla distanza in cui i veicoli si disporranno al momento dell'arresto al suo interno, e infine al numero di veicoli presenti.

Tutto ciò determina il numero di veicoli che si accodano e il numero di utenti presenti nella galleria durante l'evolversi dello scenario.

Comporre il modello di evacuazione con i risultati ottenuti tramite ARE-mod permette di valutare la salvabilità degli utenti all'interno della galleria e quindi eseguire una analisi della sua sicurezza in caso di incendio: quando la curva di evacuazione di un veico-

lo interseca o oltrepassa il grafico di FED=1 siamo di fronte alla situazione di non sopravvivenza.

Nel grafico qui sopra riportato si può notare ad esempio come la curva FED=1 (di colore blu) sia stata composta a partire da due diversi valori di velocità di propagazione dei fumi, secondo il processo precedentemente spiegato.

L'incendio è collocato all'ascissa 0, contrassegnata con un linea verticale gialla.

Le restanti curve colorate mostrano invece il comportamento degli utenti: valutata una certa interdistanza tra i veicoli, è possibile ipotizzare una certa collocazione degli stessi al momento dello scoppio dell'incendio.

Sulla base delle caratteristiche dell'incendio assunte e del modello di evacuazione adottato, i veicoli che si trovano all'interno del tunnel, a monte dell'incendio, vengono investiti dai fumi e sottoposti ad un FED maggiore di 1 prima ancora di aver iniziato la loro fuga (andamento verticale della linea colorata, che rappresenta il tempo di consapevolezza e reazione).

Ad ogni veicolo si attribuisce il trasporto di 1-5 persone: si determina in questo modo la mortalità all'interno della galleria.