

S.S.51 "ALEMAGNA"
VARIANTE DI LONGARONE

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

COD. VE407

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE e PRGETTISTA:

Dott. Ing. Massim Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma A26031)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:

MANDANTI:

PROGETTISTA:

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*



GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma A15138)

COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Maria Antonietta Merendino (Ord. Ing. Prov. Roma A28481)



VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Ettore De Cesbron De La Grennelais

PROGETTO DELLA SICUREZZA IN GALLERIA
Analisi di rischio

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	VE407_T00EG00SICRE05_A			
DPVE0407	A 23	CODICE ELAB.	T00EG00SICRE05	A	-
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B					
A	EMISSIONE	MAR. 2023	G. NICOLETTI	D. COTICELLA	L. STANTERO
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



ANAS S.P.A.

**S.S.51 “ALEMAGNA” – VARIANTE DI LONGARONE
GALLERIA CASTELLAVAZZO**

**PROGETTO DELLA SICUREZZA
(D.LGS. 264/2006)**

PS05 – ANALISI DI RISCHIO

 <p>RISK DESIGN ENGINEERING R D E</p> <p>ING. LUCA STANTERO ORD. ING. TORINO 8563W DLGS 8/3/2006 T008563102049 LUCA.STANTERO@RISKDESIGN.IT</p>	REV	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE
	0	MARZO 2023	PRIMA EMISSIONE

INDICE

INDICE	2
1 PREMESSA.....	5
2 METODOLOGIA DI ANALISI DI RISCHIO PROBABILISTICA	7
2.1 MODELLO DI RISCHIO SOCIALE PER UNA GALLERIA	7
2.2 ANALISI DEL RISCHIO E DECRETO LEGISLATIVO N.264/06.....	12
2.3 PROCEDURA PER LA QUANTIFICAZIONE DEL RISCHIO SOCIALE.....	13
2.4 METODOLOGIA DI ANALISI DI RISCHIO PRO-SECURITATE PER TRAFFICO ORDINARIO.....	16
2.4.1 DEFINIZIONE PROBABILISTICA DEGLI SCENARI DI PERICOLO	24
2.4.2 CARATTERIZZAZIONE PROBABILISTICA DELL’ALBERO DEGLI EVENTI.....	25
2.4.3 RETICOLO BAYESIANO DELLE MISURE DI SICUREZZA	26
2.4.4 QUANTIFICAZIONE STATISTICA DEL FLUSSO DEL PERICOLO.....	28
2.4.5 MODELLO TERMODINAMICO.....	29
2.4.6 CARATTERIZZAZIONE STATISTICA DEGLI SCENARI DI ESODO	31
2.4.7 SIMULAZIONE STATISTICA DEGLI SCENARI DI ESODO	33
2.5 METODOLOGIA DG-QRAM PER TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE	35
3 ANALISI DI RISCHIO	38
3.1 GENERALITÀ E RIFERIMENTI	38
3.2 INCIDENTALITA’	40
3.3 Prestazioni dei sistemi di sicurezza.....	40
3.3.1 Analisi prestazioni impianto di ventilazione	44
3.3.2 Logiche di ventilazione	44
3.3.3 Modellazione della ventilazione	44
3.4 PARAMETRI DI CALCOLO PRO-SECURITATE.....	45
3.4.1 FREQUENZE DI ACCADIMENTO.....	45
3.4.2 CURVE DI INCENDIO	48
3.4.3 PRESTAZIONI DELLE MISURE DI SICUREZZA	52
3.4.4 MODELLO TERMODINAMICO.....	53
3.5 PARAMETRI DI CALCOLO DG-QRAM.....	53

3.5.1	FATTORE CORRETTIVO DEL TASSO DI INCIDENTALITA'	53
3.5.2	CARATTERIZZAZIONE DEL TRAFFICO	53
3.5.3	DEFINIZIONE DEGLI SCENARI.....	53
3.6	VALUTAZIONE DEL RISCHIO.....	54
3.6.1	RISULTATI MODELLO PRO-SECURITATE TRAFFICO ORDINARIO	55
3.6.2	RISULTATI MODELLO DG-QRAM TRAFFICO ADR.....	57
3.6.3	RISULTATI FINALI ANALISI DI RISCHIO	59
4	CONCLUSIONI.....	61
	ALLEGATO 1: alberi degli eventi e frequenze di accadimento	63
	ALLEGATO 2: flusso del pericolo modello PRO-SECURITATE	70
	ALLEGATO 3: dati di input modello PRO-SECURITATE.....	77
	ALLEGATO 4: dati di input modello DG-QRAM.....	78
	ALLEGATO 5: tabulati risultati analisi di rischio.....	81

Indice delle Tabelle e delle Figure

Figura 1 – Modello di rischio sociale	8
Figura 2 – Tratti caratteristici del modello di rischio.....	10
Figura 3 – Procedura di analisi di rischio.....	11
Figura 4 – Dottrina ALARP.....	12
Figura 5 – Piano F-N.....	13
Figura 6 – Procedura per la quantificazione del rischio sociale	15
Tabella 1 : Macroblocchi del codice di calcolo.....	17
Figura 7 – Algoritmo del calcolo dei rischio sociale	19
Tabella 2 : Caratteristiche del programma di calcolo.....	23
Figura 8 – Funzione di distribuzioni Poissoniana	24
Figura 9 – Albero degli eventi per il sistema in galleria.....	25
Tabella 3 : Affidabilità ed efficienza sistemi di sicurezza	26
Tabella 4 : Efficienza reticolo Bayesiano	27
Figura 10 – Diffusione scenari di pericolo	27
Figura 11 – Esempio risultati modello termodinamico	31

Figura 12 – Orientamento ed estensione del pennacchio.....	32
Figura 13 – Simulazione scenario di esodo.....	34
Tabella 5 : Scenari di riferimento modello DG-QRAM	37
Figura 14 – Albero degli eventi.....	39
Tabella 6 : Analisi delle prestazioni dell’impianto di ventilazione	41
Tabella 7 : Analisi delle prestazioni dell’impianto di alimentazione elettrica.....	42
Tabella 8 : Analisi delle prestazioni dell’impianto di supervisione e comunicazione.....	42
Tabella 9 : Analisi delle prestazioni dell’impianto di gestione traffico	42
Tabella 10 : Analisi delle prestazioni dell’impianto di rilevazione incendi.....	43
Tabella 11 : Analisi delle prestazioni dell’impianto di illuminazione di evacuazione	43
Tabella 12 : Analisi delle prestazioni dell’impianto idrico antincendio	43
Figura 15 – Scomposizione degli incidenti rispetto al tasso incidentale – Linee Guida ANAS rev. 2009.....	45
Tabella 13: Frequenze di accadimento - Castellavazzo	46
Tabella 14 : Albero degli eventi degli scenari di pericolo - Castellavazzo	46
Figura 16 – Albero degli eventi per incendi coinvolgenti veicoli leggeri in galleria	47
Tabella 15 : Albero degli eventi per incendi coinvolgenti veicoli leggeri - Castellavazzo.....	47
Figura 17 – Albero degli eventi per incendi coinvolgenti veicoli pesanti in galleria.....	48
Tabella 16 : Albero degli eventi per incendi coinvolgenti veicoli pesanti - Castellavazzo.....	48
Figura 18 – Curve di incendio PRO-SECURITATE	51
Tabella 17 : Prestazioni sistemi di sicurezza.	52
Tabella 18 : Proporzioni scenari di riferimento modello DG-QRAM.....	54
Figura 19 – Curva cumulata complementare codice PRO-SECURITATE	56
Figura 20 – VAD codice PRO-SECURITATE.....	56
Figura 21 – Curva cumulata complementare codice DG-QRAM	58
Figura 22 – VAD codice DG-QRAM	58
Figura 23 – Curva cumulata complementare complessiva	60
Figura 24 – VAD complessivo	60

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce l'Analisi di Rischio del Progetto della Sicurezza della galleria Castellavazzo ubicata lungo la S.S.51 “Alemagna” – Variante di Longarone, nel comune di Longarone (BL), in fase di progettazione.

La nuova infrastruttura S.S.51 “Alemagna” – Variante di Longarone non appartiene alla rete TERN. D'altra parte, pur non rientrando il progetto nel campo di applicazione del D.Lgs 264/06, la stessa sarà utilizzata come norma di riferimento per tutti gli aspetti di sicurezza della galleria Castellavazzo.

Il documento è redatto in conformità all'allegato 4 del D.Lgs n° 264 del 5/10/2006: “Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea”.

Il documento PS05 “Analisi di rischio” contiene quanto richiesto in merito a:

“l'analisi di rischio, ove prevista, per verificare la validità delle scelte strutturali e impiantistiche adottate”. [D.Lgs 264/06, Allegato 4, comma 2.3]

Lo studio mostrato nel documento PS03 “Indagine sui fattori di rischio” evidenzia come la galleria Castellavazzo appartenga al gruppo delle gallerie con caratteristiche speciali.

Inoltre l'analisi effettuata nel documento PS04 “Analisi di conformità” ha evidenziato come sia necessario svolgere l'analisi di rischio per:

- valutare l'accettabilità delle banchine pedonabili di emergenza in luogo delle corsie di emergenza (D.Lgs 264/06 all.2 requisito 2.1.4);
- valutare l'accettabilità dell'impianto di ventilazione di tipo longitudinale in galleria con traffico bidirezionale (D.Lgs 264/06 all.2 requisito 2.9.3).

L'analisi di conformità ha pur evidenziato come la galleria Castellavazzo non presenti deficit circa la rispondenza ai requisiti minimi obbligatori di sicurezza di cui all'Allegato 2 al D.Lgs 264/2006. Sono altresì individuate sinteticamente le seguenti misure integrative o con caratteristiche migliorative:

- collegamenti pedonali tra la galleria principale e la galleria di emergenza ogni 300 m circa,
- quattro piazzole di sosta (2 per senso di marcia) in corrispondenza dei bypass pedonali e tra loro sfalsate, ovvero a distanze di circa 600 m per ogni senso di marcia,
- stazioni in galleria in galleria poste ogni 75 m alternativamente nelle due direzioni di marcia,
- idranti in galleria in galleria posti ogni 75 m alternativamente nelle due direzioni di marcia,
- centro di controllo e conseguenti sistemi di videosorveglianza AID e ritrasmissioni radio per la diffusione di messaggi di emergenza;
- impianto per chiudere la galleria: presso ciascun imbocco sono previste dotazioni supplementari, oltre alla lanterna semaforica, in particolare: PMV composti posti a distanza di 150 metri prima degli imbocchi, in corrispondenza degli imbocchi ed in galleria con passo 300 m.

La presente analisi di rischio è dunque svolta ai sensi del comma 3 dell'articolo 13 del D.Lgs 264/2006), per cui è obbligatorio svolgere un'analisi di rischio che:

- stabilisca se siano sufficienti le misure di sicurezza alternative / integrative individuate,
- rappresenti graficamente il rischio della galleria reale come distribuzione cumulata complementare sul piano F–N da confrontare con il limite di rischio tollerabile rappresentato

in figura al punto 4 dell’Allegato 4 del D. Lgs 264/2006.

2 METODOLOGIA DI ANALISI DI RISCHIO PROBABILISTICA

L'analisi di rischio, distinta e distante da un'analisi dei pericoli tanto nei fondamenti quanto negli obiettivi, è una teoria analitica e ben definita, atta a quantificare il rischio connesso ad una qualsivoglia attività antropica.

La quantificazione del rischio, grandezza statistica e non accessibile ad una misura diretta, richiede sia formulato un modello di rischio compatibile con i fondamenti teorici della teoria delle probabilità, da risolvere con tecniche di calcolo statistiche.

Le caratteristiche essenziali della grandezza rischio possono essere percepite ricordando come:

il rischio associato ad un sistema antropico è determinato dai pericoli intrinseci alla missione del sistema ed è modulato dal controllo della missione, dall'efficacia (affidabilità, efficienza) delle misure di sicurezza, dalle modalità di gestione.

La natura statistica della grandezza rischio discende da:

- le tipologie di pericoli considerati, in generale, pericoli derivanti dall'accadimento di eventi incidentali casuali che soddisfano statistiche estremali, vale a dire, caratterizzati da basse probabilità di accadimento ed elevate conseguenze (eventi critici per un sistema galleria);
- le prestazioni delle misure di sicurezza (affidabilità ed efficienza) adottate, in generale, manufatti che soffrono dei limiti intrinseci dello sviluppo scientifico e tecnologico;
- le modalità di gestione dei sistemi di sicurezza in condizioni di emergenza, in quanto l'efficacia ascrivibile ai sistemi di sicurezza nel contenimento delle conseguenze negli scenari di fine emergenza è determinata dalle caratteristiche degli scenari di pericolo e dal condizionamento che essi esercitano sull'evoluzione degli scenari di pericolo verso gli scenari di fine emergenza.

L'inaccessibilità ad una misura diretta discende dall'essere il rischio una grandezza valutata a partire da uno specifico modello di rischio, vale a dire, un'equazione che definisce una possibile relazione di dipendenza tra la variabile rischio (variabile dipendente) ed un insieme finito di variabili dalle quali si presume esso possa dipendere (variabili indipendenti di rappresentazione del rischio).

L'analisi di rischio di una galleria, in accordo ai dettami del D.Lgs 264/06, è mirata a:

- quantificare il rischio sociale pertinente al progetto della sicurezza redatto per la galleria considerata, da rappresentare mediante una curva cumulata complementare;
- verificare la compatibilità del rischio sociale determinato con i criteri di accettazione del rischio fissati per legge, riportando la curva cumulata complementare sul piano F-N e verificando che essa ricada all'interno della zona di accettazione condizionata del rischio, individuata dalle rette rappresentative del rischio sociale tollerabile ed accettabile;
- supportare il gestore della galleria nell'intraprendere decisioni informate sul rischio nell'ambito dell'analisi costi-sicurezza.

2.1 MODELLO DI RISCHIO SOCIALE PER UNA GALLERIA

Il modello di rischio sociale adottato nel D.Lgs. 264/06 e nelle Linee Guida ANAS, parafrasando nei concetti ispiratori i modelli di rischio sociale sviluppati ed adottati per una generica attività antropica, è un modello di rischio fattoriale basato sulle seguenti ipotesi:

- le variabili di rappresentazione del rischio (variabili indipendenti) sono identificate in termini di una funzione di distribuzione rappresentativa dell'accadimento degli scenari di pericolo (eventi critici) e di una funzione di distribuzione rappresentativa delle conseguenze sugli obiettivi sensibili (vettore danno);
- il rischio (variabile dipendente) è valutato come prodotto di convoluzione tra le funzioni di distribuzione rappresentative delle variabili indipendenti prescelte ed è rappresentato da una funzione di distribuzione cumulata complementare.

Il modello di rischio adottato nel D.Lgs. 264, può essere espresso nella forma compatta:

$$\mathfrak{R} = P \otimes C$$

Dove \mathfrak{R} è la funzione di distribuzione cumulata complementare rappresentativa del rischio sociale; P è la funzione di distribuzione rappresentativa dell'accadimento degli scenari di pericolo conseguenti all'istaurarsi degli eventi pericolosi identificati per legge come eventi critici per una galleria stradale; C è la funzione di distribuzione rappresentativa delle conseguenze sulla popolazione coinvolta negli scenari di fine emergenza.

La successiva figura esemplifica il modello di rischio sociale descritto:

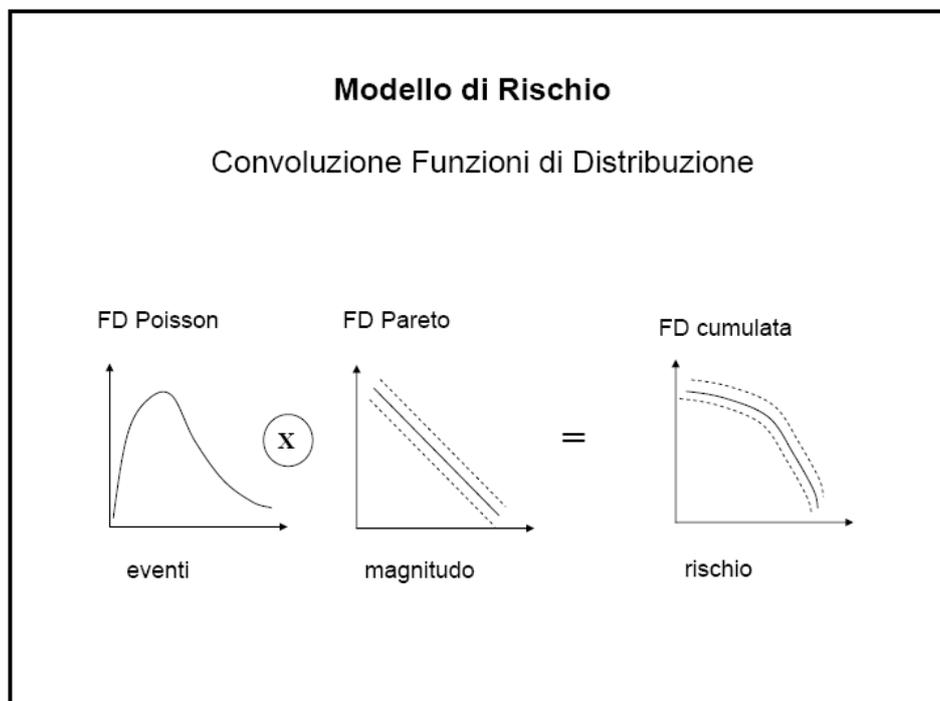


Figura 1 – Modello di rischio sociale

Il modello di rischio adottato è noto in letteratura come modello di rischio bayesiano classico inclusivo dell'analisi delle incertezze. Il termine bayesiano nella definizione del modello di rischio è introdotto per rammentare le tecniche di analisi statistica dei campioni di dati disponibili utilizzate per determinare le funzioni di distribuzione rappresentative degli scenari di pericolo e delle prestazioni dei sistemi di sicurezza (teorema di Bayes).

Le incertezze considerate sono:

- le incertezze aleatorie connesse alle frequenze di accadimento ed alle caratteristiche degli scenari di pericolo;
- le incertezze epistemiche connesse ai modelli utilizzati nella simulazione dei fenomeni e dei processi pericolosi che si instaurano in galleria.

Esso prevede:

- la caratterizzazione degli scenari di pericolo e delle prestazioni dei sistemi di sicurezza (affidabilità, efficienza) in termini di specifiche funzioni di distribuzione (caratterizzazione probabilistica);
- la rappresentazione del modello di rischio mediante un albero degli eventi nel quale sono riportati:
 1. gli scenari di pericolo caratterizzati in termini di funzioni di distribuzione per le frequenze di accadimento;
 2. i sistemi di sicurezza che realizzano le misure di sicurezza protettive e le funzioni di distribuzione adottate nella caratterizzazione delle prestazioni (caratterizzazione statistica), determinanti le probabilità di transizione tra i rami dell'albero;
 3. le conseguenze attese sulla popolazione esposta espresse in termini di funzioni di distribuzione (caratterizzazione statistica delle conseguenze);
- la modellazione probabilistica e la successiva zonizzazione del flusso del pericolo, condotta attraverso la formulazione e la soluzione con tecniche statistiche (Monte Carlo) di modelli di complessità crescente, idonei a quantificare i campi di temperatura e di concentrazione, come determinati dalle caratteristiche delle sorgenti di pericolo e condizionati dalle prestazioni dei sistemi di sicurezza installati (caratterizzazione statistica del microclima all'interno della galleria);
- la caratterizzazione probabilistica degli scenari di esodo effettuata in termini di funzioni di distribuzione rappresentative del numero dei soggetti costituenti la popolazione coinvolta (modello di formazione delle code), della composizione della popolazione coinvolta (composizione per genere, età, stato psico-fisico), delle caratteristiche dei percorsi di esodo (interdistanza tra le vie di fuga, larghezza ed accessibilità);
- la modellazione probabilistica del processo di esodo, condotta mediante la formulazione e la soluzione con tecniche statistiche (Monte Carlo) di modelli lagrangiani che descrivono, a partire dagli scenari di esodo, il moto dei soggetti costituenti la popolazione coinvolta all'interno del microclima che si è instaurato in galleria in conseguenza degli scenari di esodo e determinato nella fase di simulazione del flusso del pericolo;

- la quantificazione probabilistica delle conseguenze attese sulla popolazione esposta, effettuata in termini di funzioni di distribuzione derivate dalla simulazione del processo di esodo;
- la determinazione della curva cumulata complementare (Misura di Rischio Sociale) ottenuta componendo attraverso un'operazione prodotto di convoluzione effettuata tra le funzioni di distribuzione rappresentative delle frequenze di accadimento degli scenari di pericolo e le funzioni di distribuzione rappresentative delle conseguenze attese sulla popolazione coinvolta; il Valore Atteso del Danno (Indicatore Globale del Rischio) è calcolato come area sottesa alla curva cumulata complementare.

La definizione formale del Valore Atteso del Danno non giustifica la distinzione introdotta nel D.Lgs. 264/06 tra analisi di rischio estesa ed analisi di rischio comparativa, in quanto la determinazione del Valore Atteso del Danno richiede sempre e comunque la determinazione della curva cumulata complementare, pertinente ad un progetto della sicurezza.

La successiva figura sintetizza i tratti caratteristici del modello di rischio descritto:

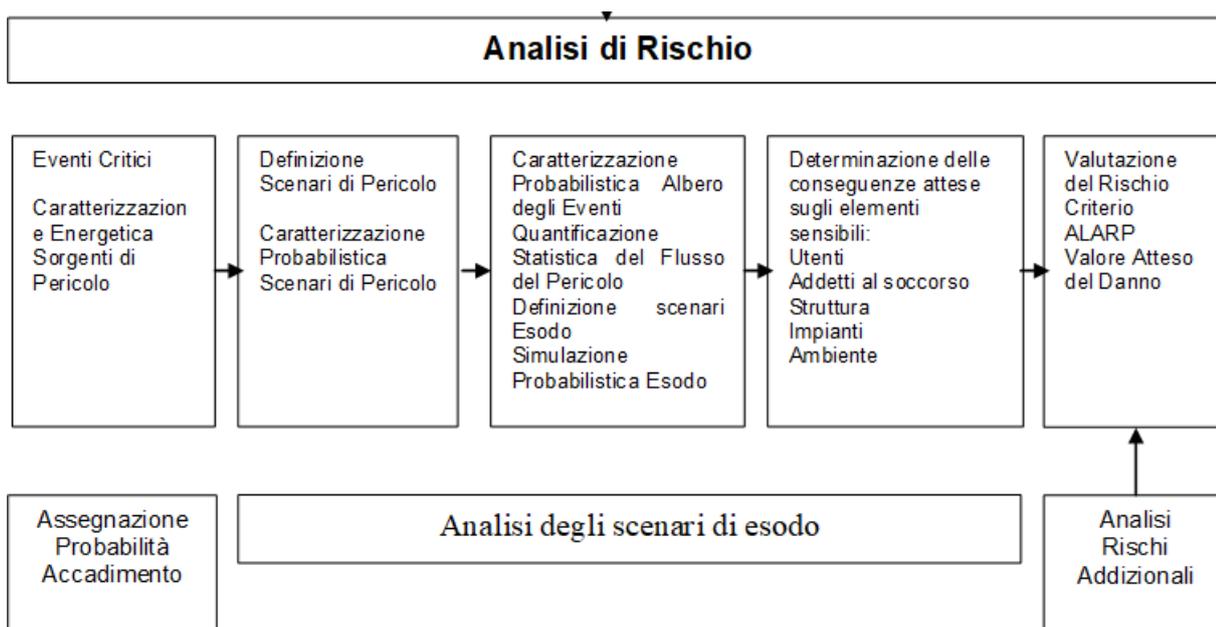


Figura 2 – Tratti caratteristici del modello di rischio

Il successivo diagramma di flusso sintetizza la procedura di analisi di rischio adottata:

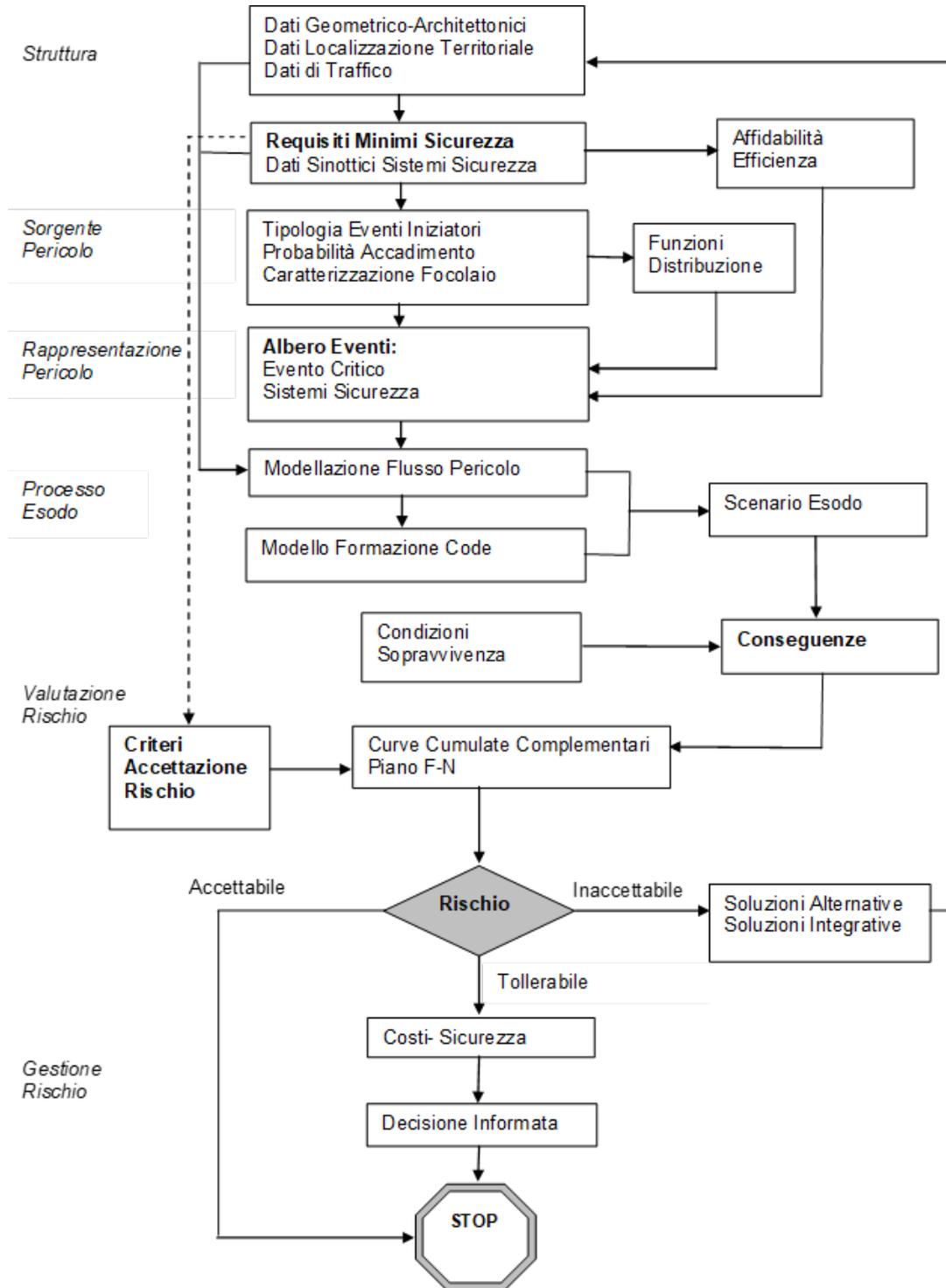


Figura 3 – Procedura di analisi di rischio

2.2 ANALISI DEL RISCHIO E DECRETO LEGISLATIVO N.264/06

L'analisi di rischio adottata risulta congruente con il D.Lgs. 264/06 che richiede:

- la quantificazione della misura di rischio (Rischio Sociale) pertinente ad una galleria attuata attraverso la formulazione e la soluzione di un idoneo modello di rischio;
- la rappresentazione del rischio sociale in termini di curve cumulate complementari riportate sul piano Frequenze di accadimento (F) - Numero atteso di vittime (N);
- la verifica di compatibilità del Rischio Sociale della galleria con i Criteri di Accettazione del Rischio fissati per legge in accordo ad una specifica Teoria di Accettazione del Rischio (Livello di Rischio Accettabile, Livello di Rischio Non Accettabile);
- la decisione informata sul Rischio Sociale per Progetti della Sicurezza diversi, ciascuno caratterizzato da una specifica curva cumulata complementare, intrapresa dal Gestore in accordo al Criterio ALARP.

La teoria di accettazione del rischio adottata nel D.Lgs. 264/06 e fatta propria dalle Linee Guida ANAS è basata sul Principio ALARP (As Low As Reasonably Practicable) di uso corrente nella definizione dei criteri di accettazione del rischio dei sistemi di processo.

L'esemplificazione della teoria è mostrata nella successiva figura:

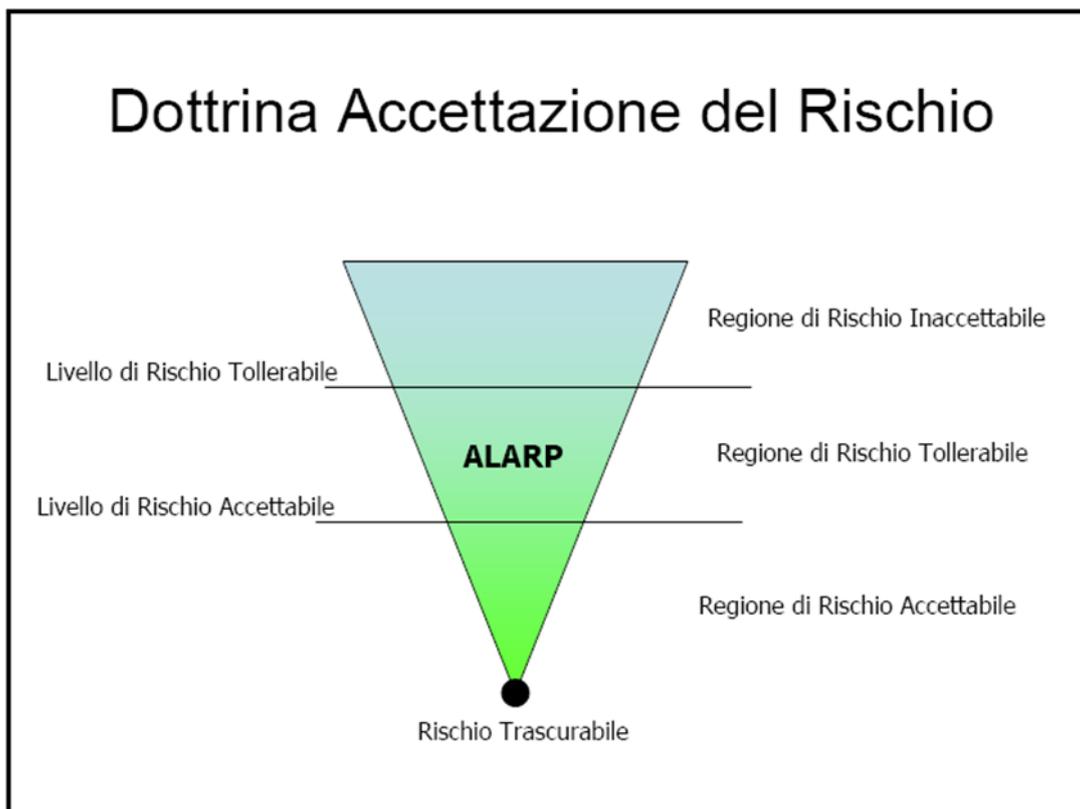


Figura 4 – Dottrina ALARP

La successiva figura mostra la trascrizione del principio ALARP sul piano F –N (Frequenza di accadimento - Numero atteso di vittime):

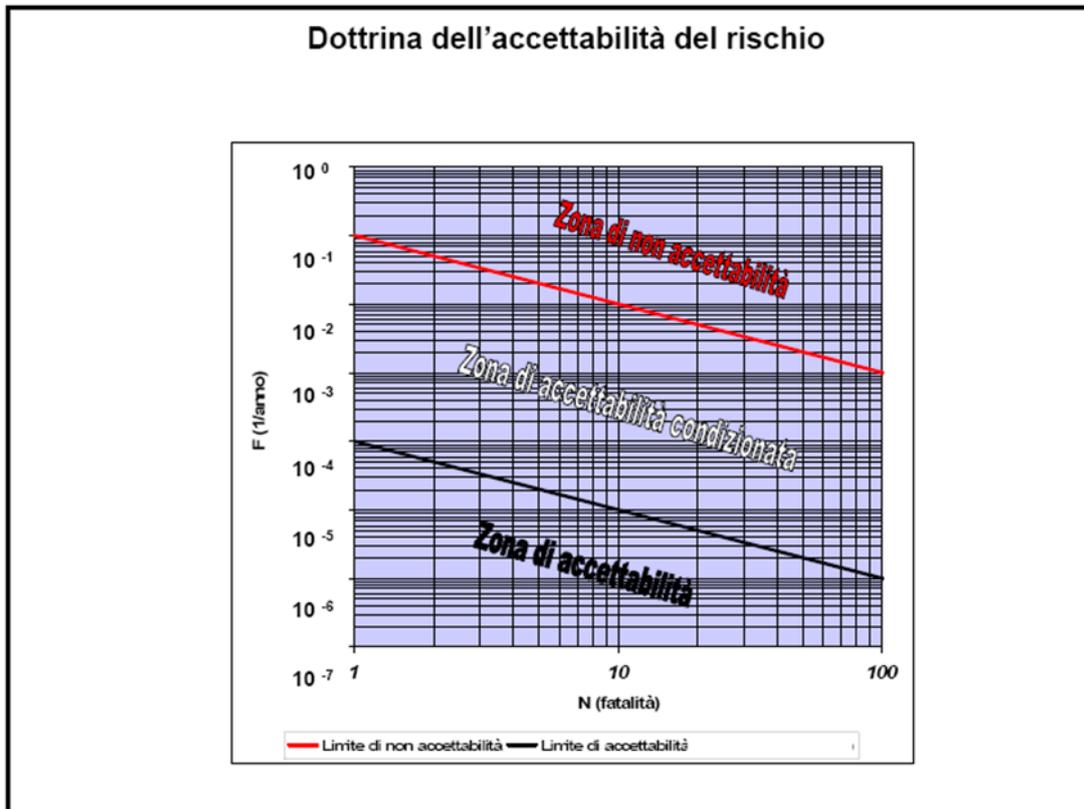


Figura 5 – Piano F-N

La porzione del Diagramma F-N compresa fra i valori di 1 e 2 fatalità rappresenta il dominio di interesse dell'Analisi di Incidentalità Stradale e non compete all'Analisi di Rischio.

La verifica di compatibilità del rischio sociale di un progetto di sicurezza redatto per una specifica galleria con i criteri di accettazione del rischio richiede che la curva cumulata complementare, calcolata per il sistema galleria considerato, ricada all'interno della zona ALARP, ovvero, la porzione del piano (F-N) delimitata dalle rette rappresentative dei livelli di rischio fissati per legge.

La decisione informata sul rischio deve soddisfare il criterio ALARP, ovvero, il Gestore deve scegliere il progetto di sicurezza caratterizzato dal minor Rischio Sociale compatibile con la fattibilità tecnica ed economica delle misure architettoniche ed impiantistiche previste (criterio Costi-Sicurezza).

2.3 PROCEDURA PER LA QUANTIFICAZIONE DEL RISCHIO SOCIALE

La procedura prevede l'utilizzo del codice PRO-SECURITATE per la quantificazione del rischio sociale connesso al traffico ordinario e del codice DG-QRAM per la quantificazione del rischio

sociale connesso al traffico adibito al trasporto di merci pericolose, come mostrato nella figura successiva.

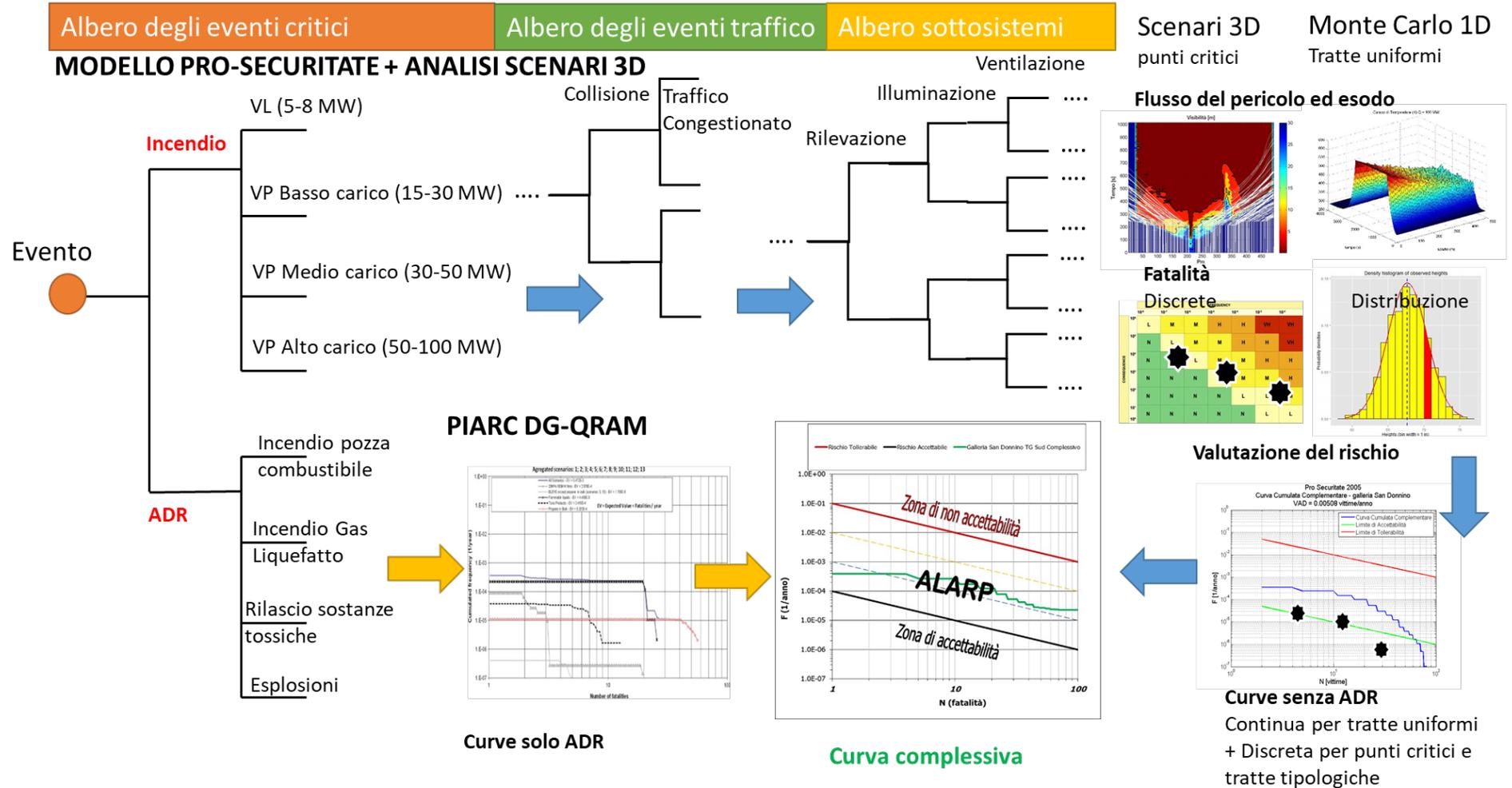


Figura 6 – Procedura per la quantificazione del rischio sociale

2.4 METODOLOGIA DI ANALISI DI RISCHIO PRO-SECURITATE PER TRAFFICO ORDINARIO

Il presente capitolo contiene una descrizione dettagliata della procedura adottata per la quantificazione del rischio sociale pertinente al progetto di sicurezza di una galleria. La procedura codificata deriva dal codice alla base dell'applicativo PRO-SECURITATE, sviluppato dal Prof. Cafaro, già Professore nel Politecnico di Torino.

Gli autori del codice PRO-SECURITATE sono:

- Prof. Emilio Cafaro,

assistito da:

- Ing. Carlo Cima (Politecnico di Torino),
- Ing. Teresa Taurino,
- Ing. Luca Stantero.

Il codice è stato sviluppato a partire dal 2005 ed è stato oggetto di aggiornamenti fino al 2023 da parte dei collaboratori del Prof. Cafaro: ing. Saba ed ing. Stantero.

Il riferimento in letteratura è rappresentato dal seguente articolo:

- E. Cafaro F.Saba, Approccio Ingegneristico all'Analisi di rischio in galleria, Strade & Autostrade 98 Marzo-Aprile 2013, 28-35.

La procedura, codifica possibile della procedura di analisi di rischio tratteggiata nell'Allegato 3 del D.Lgs. 264/06, è strutturata in tre macroblocchi:

- *Macroblocco Input* destinato alla caratterizzazione del sistema galleria dal punto di vista architettonico e strutturale, del traffico, dei requisiti di sicurezza in esso realizzati o previsti, delle frequenze di accadimento degli eventi critici ad esso ascritte;
- *Macroblocco Core* contenente i modelli di simulazione del processo di formazione delle code, del processo di dispersione delle sostanze tossiche e nocive generate dagli scenari critici all'interno della galleria, del processo di esodo degli utenti dall'infrastruttura, la valutazione delle conseguenze attese sulla popolazione esposta, condizionati dalle prestazioni delle misure di sicurezza installate o previste;
- *Macroblocco Output* destinato alla determinazione della funzione di distribuzione rappresentativa della Misura Rischio Sociale pertinente alla galleria in esame, al tracciamento della Curva Cumulata Complementare ad essa corrispondente sul piano F-N, al calcolo del Valore Atteso del Danno.

INPUT	<p>Caratterizzazione geometrico architettonica dell'infrastruttura Caratterizzazione del traffico incidente sull'infrastruttura e sull'ambiente circostante Definizione e caratterizzazione prestazionale dell'insieme di requisiti minimi di sicurezza (progetto della sicurezza di tentativo) Scelta del tasso di accadimento degli eventi incidentali Scelta delle frequenze di accadimento degli eventi critici</p>
CORE	<p>Modello di Accadimento degli Scenari Critici Funzioni di Distribuzione caratterizzante gli Scenari Critici Modello Formazione Code Determinazione del Numero Veicoli Coinvolti Quantificazione della Popolazione Esposta Modello di Diffusione sul Reticolo Bayesiano individuato dalle Misure di Sicurezza adottate Efficienza complessiva del reticolo bayesiano Modello Flusso del Pericolo Profili: - Temperatura fumi - Concentrazione fumi - Visibilità Zonizzazione del Flusso del Pericolo Determinazione del Tempo Disponibile per l'Esodo Modello Flusso degli Utenti Scelta del Modello di Esodo (mono-bidimensionale) Scelta del Potenziale di Interazione tra gli Individui costituenti la Popolazione in Esodo Caratterizzazione Statistica della Popolazione Modello di Danno Funzioni Probit, Fractional Incapacitating Dose Modello Fattoriale di Rischio $R=CONV(FN)$</p>
OUTPUT	<p>Curva Cumulata Complementare</p>

Tabella 1 : Macroblocchi del codice di calcolo

Il modello di quantificazione del rischio sociale di una galleria stradale, quale sintetizzato nei tre macroblocchi nei quali si articola il codice utilizzato, riposa sulle seguenti ipotesi:

- l'accesso dei veicoli in galleria è descritto da processo stocastico gaussiano;
- l'accadimento degli eventi incidentali è descritto da un processo stocastico poissoniano;
- il processo di formazione delle code è simulato assumendo che il traffico, all'atto dell'incidente, si blocca istantaneamente sopravento al focolaio, la cinematica del tappo costituito dai veicoli è descritta da una specifica velocità di risalita, la posizione del focolaio varia in modo statistico lungo lo sviluppo della galleria;

- il focolaio è identificato con una sorgente che genera una potenza termica ed emette una portata di fumi variabili in modo statistico;
- il focolaio è localizzato in una posizione arbitraria e variabile in modo statistico lungo l’asse della galleria ipotizzando una distribuzione uniforme;
- il flusso del pericolo, definito come la risultante dei campi attesi di temperatura, concentrazione dei fumi, visibilità in galleria, condizionato dalle prestazioni delle misure di sicurezza previste dal progetto della sicurezza, è la soluzione statistica del problema di scambio termico coniugato tra miscela aria–fumi e pareti interne della galleria;
- il flusso del pericolo che si instaura in galleria determina il tempo disponibile per l’esodo (A-SET);
- il flusso della popolazione in esodo dalla struttura è la soluzione statistica di un modello di esodo lagrangiano bidimensionale per il quale i singoli componenti della popolazione interagiscono tra loro secondo prefissati potenziali di interazione;
- la popolazione in esodo dalla struttura è caratterizzata mediante una funzione di distribuzione che tiene conto dell’età, del genere, dell’attitudine al moto dei singoli individui;
- il danno sulla popolazione in esodo è valutato sull’insieme statistico degli scenari di fine emergenza utilizzando specifiche funzioni che quantificano l’azione incapacitante dei campi caratterizzanti il flusso del pericolo (Fractional Incapacitating Dose);
- il flusso della popolazione in esodo dalla struttura determina il tempo richiesto per l’esodo (R-SET);
- il rischio sociale è determinato da un modello fattoriale di rischio definito come prodotto di convoluzione tra la funzione di distribuzione delle frequenze di accadimento degli scenari critici e della funzione di distribuzione rappresentativa del numero di vittime atteso tra la popolazione all’interno della galleria.

Il modello monodimensionale prevede l’approssimazione cautelativa di campi di temperatura e concentrazione costanti sulla singola sezione della galleria (trascuando l’effetto positivo delle stratificazione), per tale motivo e per via delle caratteristiche geometriche della galleria che rendono l’irraggiamento significativo per potenze elevate, e dell’entità delle portate di aria in galleria che mantengono elevata la concentrazione di ossigeno, i parametri flusso termico irraggiato e concentrazione di ossigeno per il caso di merci non pericolose ovvero per incendi fino a 100 MW.

L’algoritmo di calcolo del rischio sociale implementato nel codice PRO-SECURITATE è sintetizzato nel successivo diagramma di flusso, formulato in accordo alla logica propria della programmazione strutturata:

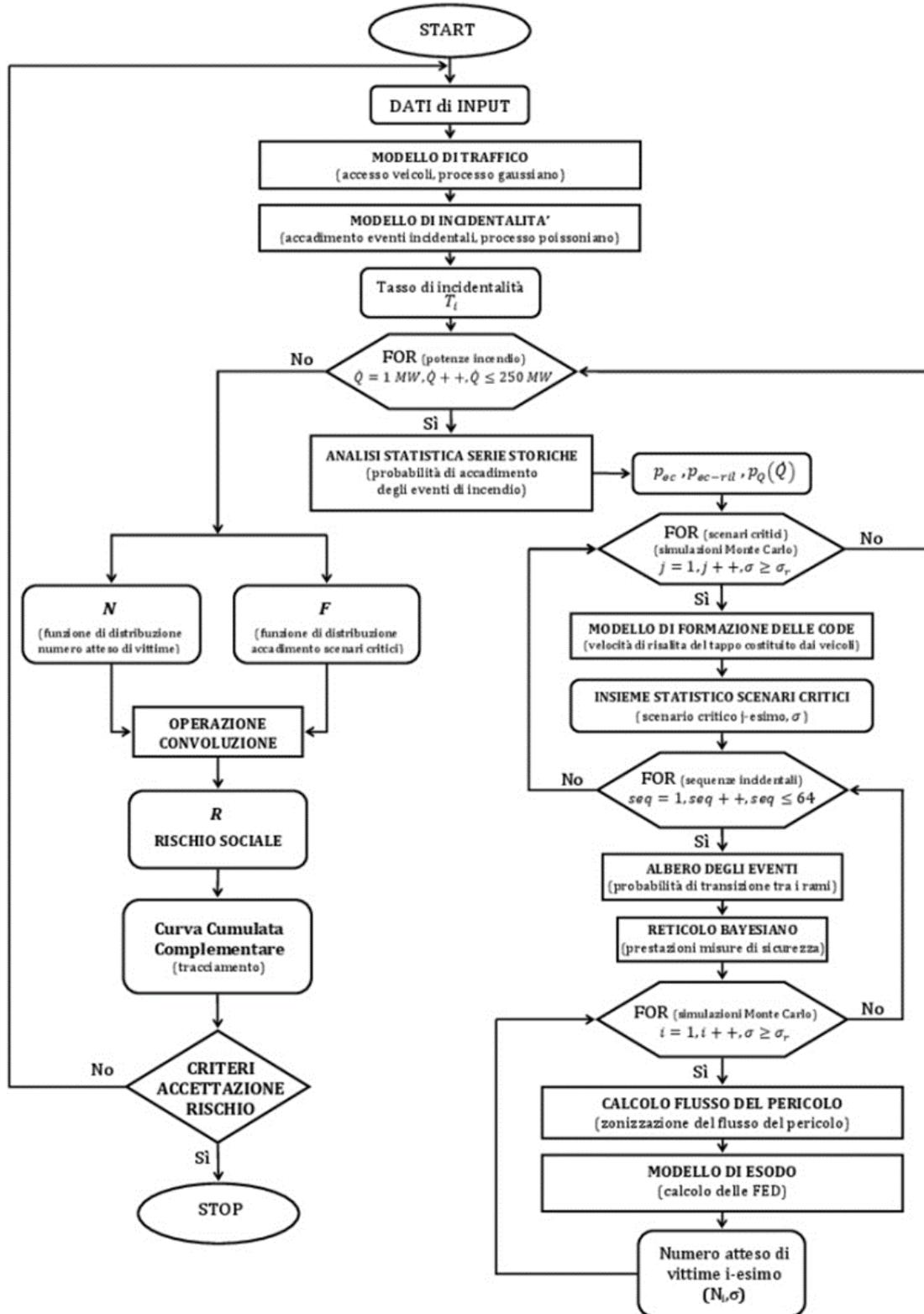
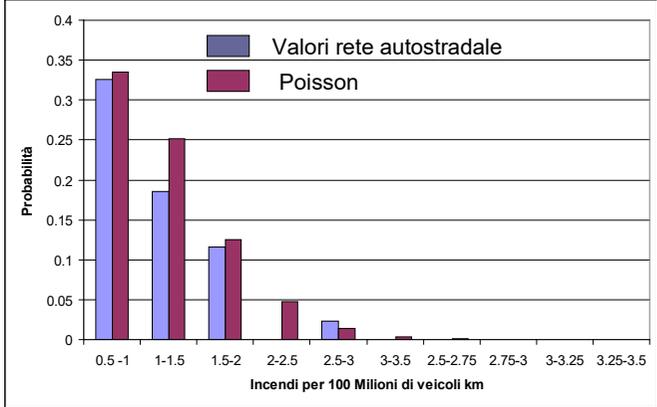
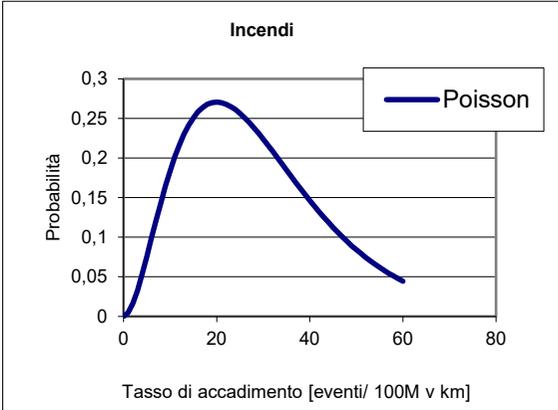
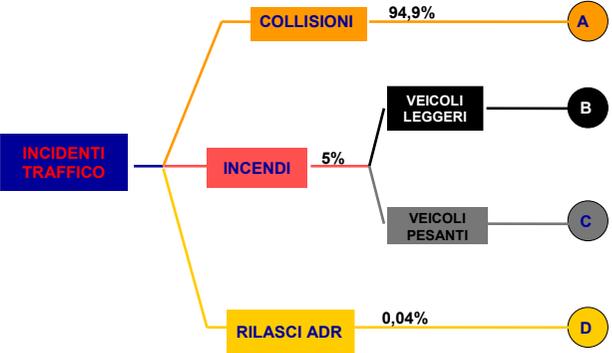
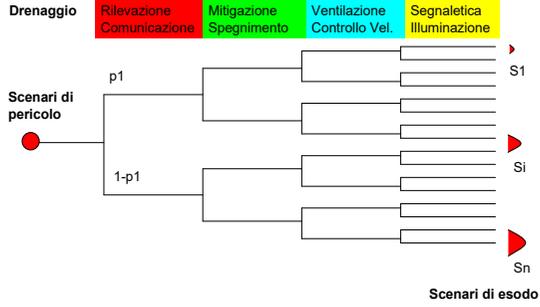
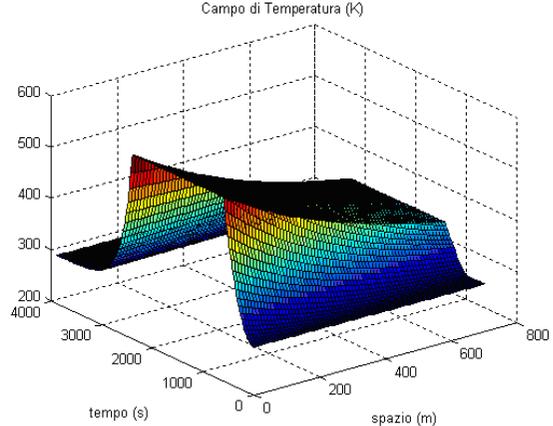


Figura 7 – Algoritmo del calcolo dei rischio sociale

I risultati dell'applicazione del modello PRO-SECURITATE sono sintetizzati nei capitoli successivi.
La tabella successiva sintetizza le caratteristiche salienti dell'algoritmo di calcolo.

DATI DI INGRESSO	PROCEDIMENTO CALCOLO	RISULTATI
<p>Geometria Lunghezza</p> <p>Caratterizzazione Traffico Volume traffico Composizione Traffico Tipologia traffico (uni-bidirezionale)</p>	<p>a) Statistica Incidenti Rilevanti</p> 	<p>Determinazione Funzioni di Distribuzione Tassi di Accadimento</p> 
<p>Incidenti Rilevanti Incendio Sversamento Rilascio Sistemi Sicurezza Rilevazione Comunicazione, Mitigazione/spengimento, Ventilazione, Segnaletica Illuminazione</p> <p>Affidabilità, Efficienza</p>	<p>b) Alberi Eventi Critici</p> 	<p>Rappresentazione Albero Eventi</p> <p>Albero degli eventi per la galleria</p> 

DATI DI INGRESSO	PROCEDIMENTO CALCOLO	RISULTATI
<p><u>Geometria</u> Lunghezza, Altezza, Sezione</p> <p><u>Meteorologia del Sito</u> Differenza di Pressione ai Portali, Velocità del Vento</p>	<p>c) Calcolo Flusso Pericolo Incendio</p> <p>c1) Soluzione Modello Incendio – Monte Carlo</p> <p><u>Modello di Incendio</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Localizzazione del Focolaio • Potenza Termica • Portata Prodotti Combustione • Composizione Prodotti Combustione • Velocità Flusso Aria 	<p>Campo Velocità Campo Temperatura Campo Concentrazione Fumi</p> <p>Campo di Temperatura (K)</p> 
<p><u>Geometria</u> Lunghezza, Altezza, Sezione</p> <p><u>Output c1</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Campo Velocità • Campo Temperatura • Campi Concentrazione 	<p>c2) Zonizzazione Flusso Pericolo Incendio</p>	<p>Determinazione Livelli Locali Temperatura e irraggiamento</p> <p>Determinazione Livelli Locali Concentrazione Sostanze Tossiche</p>
	<p>d) Determinazione Numero Vittime Incidenti Rilevanti</p>	

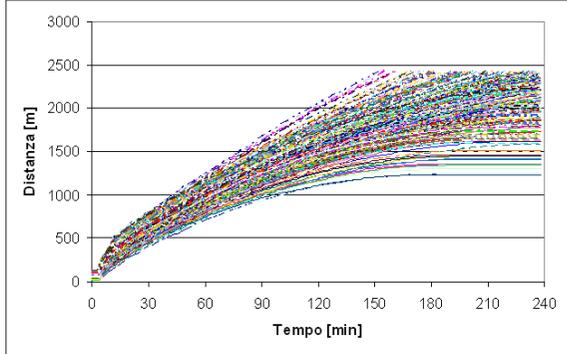
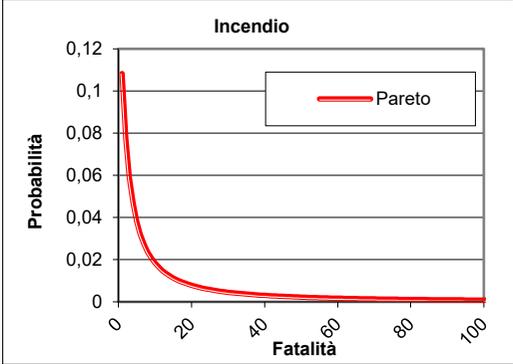
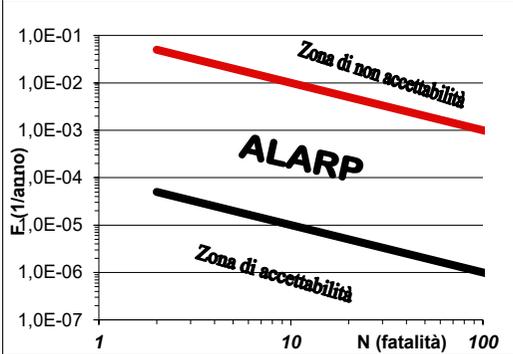
DATI DI INGRESSO	PROCEDIMENTO CALCOLO	RISULTATI
<p><u>Output c2)</u> Livelli Locali Temperatura Livelli Locali Concentrazione Sostanze Tossiche (CO, HCN, HCl, CO₂)</p> <p>Localizzazione del Focolaio</p> <p><u>Architettura</u> Interdistanza Vie Fuga</p> <p><u>Caratterizzazione Traffico</u> Volume traffico, Composizione traffico</p>	<p>d3) Soluzione Modello Esodo – Monte Carlo</p> 	<p>Determinazione Funzione Distribuzione Vittime Incendio</p> 
<p><u>Output a)</u> Funzioni di Distribuzione Tassi di Accadimento Funzioni di Distribuzione Frequenze di Accadimento</p> <p><u>Output b)</u> Albero Eventi</p> <p><u>Output c)</u> Funzione Distribuzione Vittime (Incendio)</p>	<p>e) Calcolo del Rischio (Prodotto di Convoluzione Funzioni di Distribuzione)</p>	<p>Curve FN</p>  <p>Valore Atteso Danno</p>

Tabella 2 : Caratteristiche del programma di calcolo

2.4.1 DEFINIZIONE PROBABILISTICA DEGLI SCENARI DI PERICOLO

Gli eventi pericolosi identificati come critici per una galleria stradale nel D.Lgs. 264/06 sono:

- collisioni con incendio,
- incendi,
- sversamenti di liquidi infiammabili,
- rilasci di sostanze tossiche e nocive.

La caratterizzazione delle sorgenti degli eventi critici è effettuata assumendo come variabili indipendenti grandezze globali variabili nel tempo rappresentative degli eventi critici considerati:

- potenza termica generata dal focolaio per un evento di incendio,
- portata di rilascio per gli sversamenti di liquidi infiammabili,
- portata di emissione di sostanze tossiche e nocive in fase gassosa.

La funzione di distribuzione rappresentativa dell'accadimento degli scenari di pericolo è determinata dall'applicazione di idonee tecniche di analisi statistica alle banche di dati disponibili sui tassi di accadimento degli eventi critici in galleria (tecniche di regressione statistica, tecniche di analisi multivariata, tecniche bayesiane).

Il modello PRO-SECURITATE per il caso specifico sarà utilizzato solo per gli incendi esclusi quelli derivanti da sversamento di combustibile liquido da veicoli ADR, tutti i restanti scenari saranno considerati nell'analisi svolta con il codice DG-QRAM del PIARC.

La successiva figura mostra la funzione di distribuzione utilizzata per caratterizzare i tassi di accadimento degli eventi critici su una generica tratta autostradale della rete italiana:

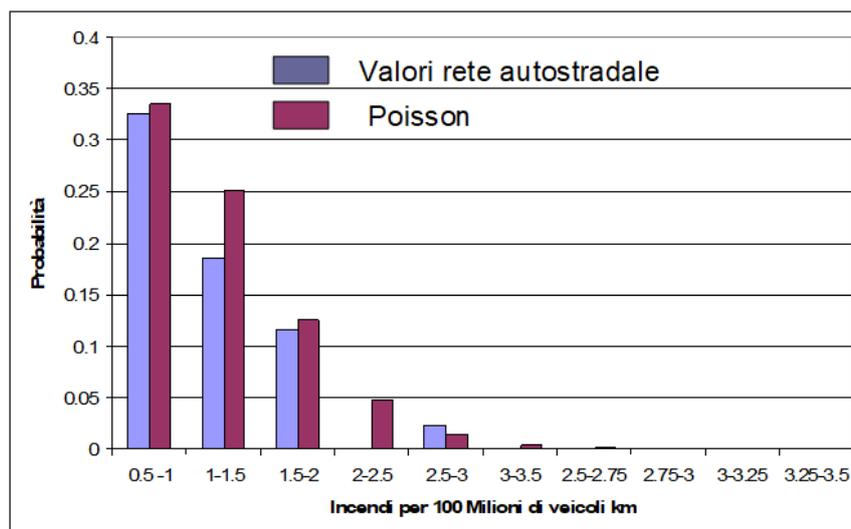


Figura 8 – Funzione di distribuzioni Poissoniana

La definizione dell'insieme statistico rappresentativo degli scenari di pericolo in galleria richiede siano altresì introdotti:

- una funzione di distribuzione rappresentativa della distribuzione spaziale delle sorgenti di pericolo all'interno della galleria, per tener conto dell'aleatorietà connessa alla localizzazione degli scenari di pericolo;
- una funzione di distribuzione rappresentativa delle condizioni di traffico per l'influenza che esse hanno sulla ventilazione e sulla evoluzione dell'evento;
- una funzione di distribuzione rappresentativa delle proprietà di reazione al fuoco dei materiali di rivestimento e dei sistemi di sicurezza.

2.4.2 CARATTERIZZAZIONE PROBABILISTICA DELL'ALBERO DEGLI EVENTI

L'albero degli eventi è una tecnica nota ed accettata di rappresentazione del rischio pertinente ad una generica attività antropica. L'esemplificazione della tecnica di rappresentazione del rischio ad una galleria stradale è mostrata nella successiva figura.

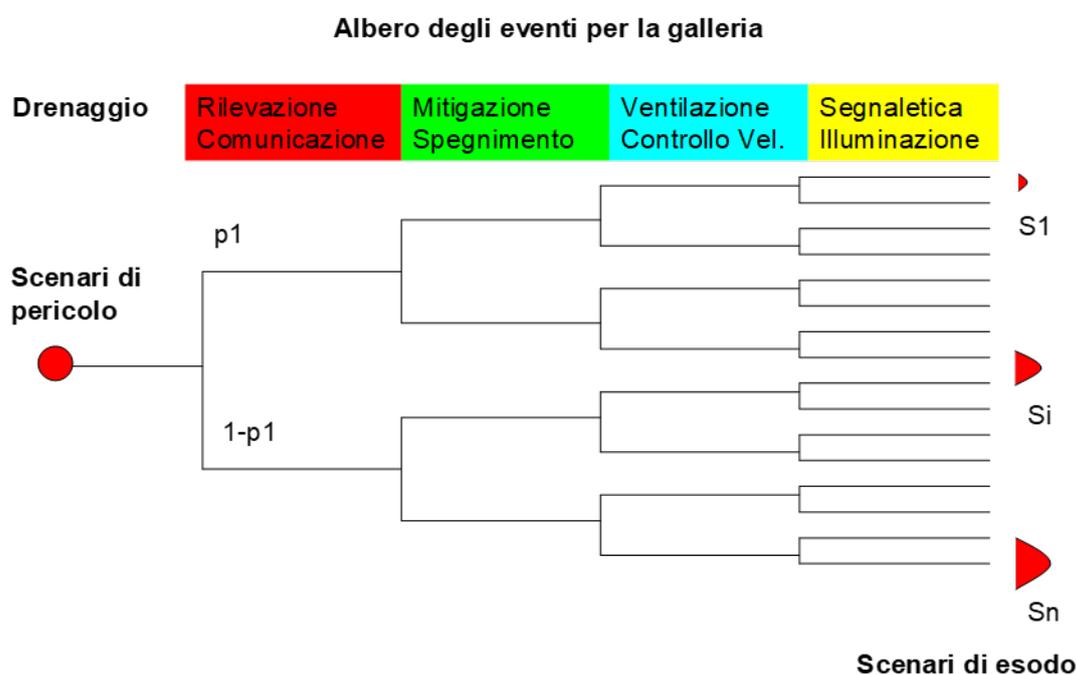


Figura 9 – Albero degli eventi per il sistema in galleria

Gli elementi essenziali dell'albero degli eventi sono:

- la *radice* rappresentativa dell'insieme statistico degli scenari di pericolo;
- i *rami* rappresentativi delle traiettorie stocastiche seguite dal sistema galleria in condizioni di emergenza;
- le *inflorescenze* rappresentative dell'insieme statistico degli scenari di fine emergenza.

Le traiettorie stocastiche seguite dal sistema galleria sono condizionate dalle prestazioni dei sistemi di sicurezza; l'insieme statistico degli scenari di fine emergenza è determinato dai processi di esodo possibili per la popolazione coinvolta negli eventi critici.

L'efficacia delle misure di sicurezza, determinando i processi di esodo possibili della popolazione coinvolta negli eventi critici, dipende da:

- rilevazione degli eventi critici,
- comunicazione ai centri preposti alla gestione dell'emergenza ed agli utenti,
- numero e distribuzione delle vie di fuga lungo il tracciato,
- prestazioni (efficacia) del sistema di mitigazione,
- prestazioni (efficacia) del sistema ventilazione,
- procedure di gestione del sistema di ventilazione in condizioni di emergenza,
- procedure di gestione del traffico per consentire l'uscita dal tunnel dei veicoli non coinvolti e dei veicoli a valle delle sorgenti di pericolo,
- tempo di intervento degli addetti al soccorso ed allo spegnimento.

La successiva tabella sintetizza valori tipici di affidabilità ed efficienza di sistemi che realizzano le misure di sicurezza impiantistiche in una galleria:

Livello di confidenza	Probabilità di Malfunzionamento
LC4	$\geq 10^{-5} < 10^{-4}$
LC3	$\geq 10^{-4} < 10^{-3}$
LC2	$\geq 10^{-3} < 10^{-2}$
LC1	$\geq 10^{-2} < 10^{-1}$

Efficienza	Tolleranza		
	0	1	2
< 60 %	Np	LC1	LC2
$\geq 60\% < 90\%$	LC1	LC2	LC3
$\geq 90\% < 99\%$	LC2	LC3	LC4
$\geq 99\%$	LC3	LC4	LC4

np = non possibile; LC4 = livello di confidenza raramente realizzato nei sistemi di processo

Tabella 3 : Affidabilità ed efficienza sistemi di sicurezza

2.4.3 RETICOLO BAYESIANO DELLE MISURE DI SICUREZZA

L'insieme delle misure di sicurezza è assimilato ad un reticolo bayesiano; l'efficacia complessiva del reticolo bayesiano è la soluzione di un processo diffusivo tra i nodi del reticolo; i valori medi di efficacia dei sistemi che realizzano le misure di sicurezza impiantistiche sono determinati simulando un numero congruo di processi diffusivi tra i nodi del reticolo.

La successiva tabella mostra valori tipici di efficacia di un reticolo bayesiano rappresentativo di un insieme di misure di sicurezza impiantistiche congruente con il dettato del D.Lgs. 264/06 in materia di dotazioni impiantistiche per le gallerie dislocate sulla rete TEN.

Efficacia Reticolo Bayesiano		
Virtuale	Buona Pratica	Degradato
1 (0,95)	0,85 (Meccanici) 0,9 (Elettrici-TLC)	0,70

Tabella 4 : Efficienza reticolo Bayesiano

Il calcolo prevede l'analisi di 6 scenari di pericolo che diffondono lungo un albero 64 rami, generando 384 scenari di fine emergenza:

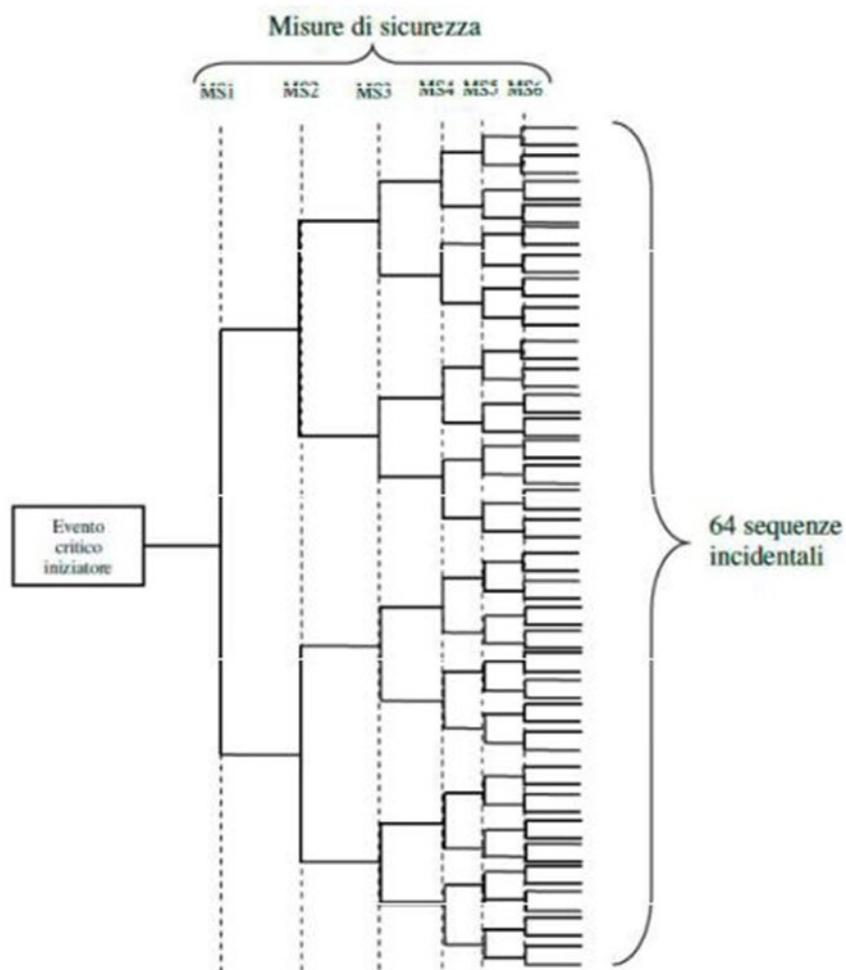


Figura 10 – Diffusione scenari di pericolo

Il processo di diffusione lungo i rami dell'albero è modellato come un processo markoviano che genera una funzione di distribuzione gaussiana per l'efficacia complessiva del progetto della sicurezza (insieme delle misure di sicurezza adottate), avente il massimo in corrispondenza al valore di efficacia attribuito alle misure di sicurezza e varianza pari a $\pm 15\%$.

La funzione di distribuzione del numero atteso di vittime sulla popolazione esposta è ottenuta simulando 100 volte il flusso del pericolo lungo ciascuno dei rami costituenti l'albero, utilizzando idonee funzioni di distribuzione, per caratterizzare i parametri termofluidodinamici e l'efficacia delle misure di sicurezza.

2.4.4 QUANTIFICAZIONE STATISTICA DEL FLUSSO DEL PERICOLO

La metodologia di analisi di rischio adottata prevede la quantificazione statistica dei flussi del pericolo indotti dall'accadimento degli scenari di pericolo, ossia, la determinazione delle traiettorie stocastiche seguite dal sistema galleria in condizioni di emergenza, tenendo conto della modulazione esercitata dai sistemi di sicurezza, in funzione delle prestazioni ad essi attribuite.

La quantificazione statistica del flusso del pericolo può essere condotta utilizzando modelli di simulazione dei fenomeni e dei processi pericolosi risultanti dall'accadimento degli scenari di pericolo caratterizzati da livelli di complessità formale, tempi e risorse di calcolo crescenti.

Esempi paradigmatici di modelli utilizzabili nella quantificazione del flusso del pericolo, ordinati in sequenza crescente di complessità formale e capacità predittiva, sono:

- modelli termodinamici,
- modelli a zone e modelli di rete,
- modelli di campo.

La quantificazione statistica del flusso del pericolo è stata ottenuta utilizzando:

- modello termodinamico monodimensionale transitorio atto alla simulazione del flusso del pericolo generato da un insieme statistico di eventi critici di tipo incendio, localizzazione degli scenari di pericolo lungo la galleria rappresentata mediante idonee funzioni di distribuzione, incertezze epistemiche del modello caratterizzate in termini di idonee funzioni di distribuzione per i parametri fluidodinamici e di scambio termico, in una galleria dotata di un sistema di ventilazione longitudinale o trasversale;
- modello termofluidodinamico monodimensionale atto alla simulazione del processo di combustione eterogenea che caratterizza gli eventi di incendio generati da focolai costituiti da veicoli ed alla simulazione statistica del flusso del pericolo da essi indotto in un sistema galleria stradale, dotato di un sistema di ventilazione longitudinale o trasversale.

I modelli di simulazione statistica del flusso del pericolo sono risolti con tecniche statistiche di tipo Monte Carlo.

L'analisi è condotta con metodo tipo Monte Carlo facendo variare i parametri significativi con una distribuzione di probabilità fissata a priori.

Sono costruiti secondo l'albero degli eventi una serie di macro scenari, per ciascuno dei quali sono eseguiti un determinato numero di casi.

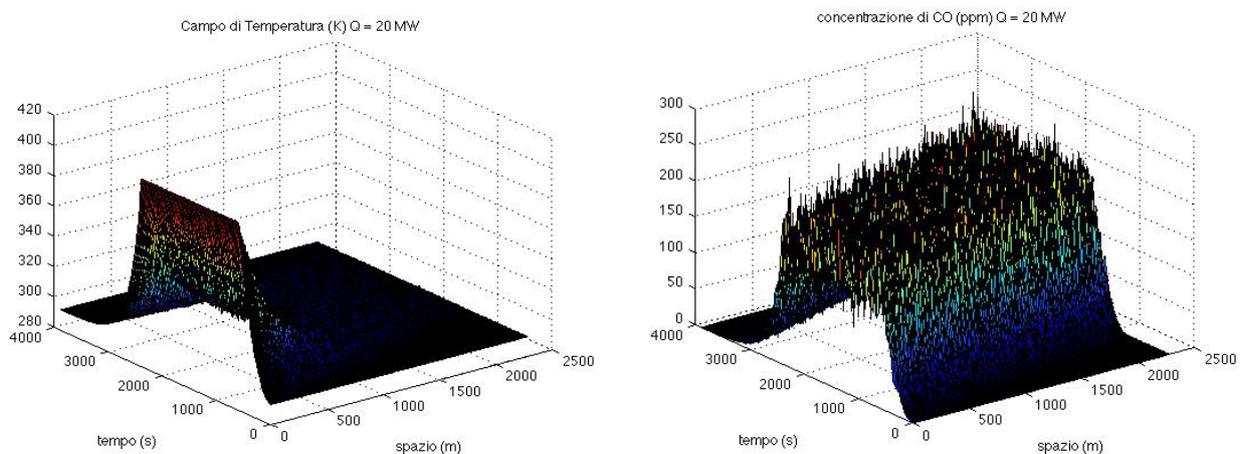
Il modello di incendio è un modello monodimensionale semplificato che, a partire da una velocità dell'aria media, variabile in modo discreto, con la pendenza della galleria determina l'andamento della temperatura e delle concentrazioni di CO e particolato attribuendo una componente base più una casuale ai tassi di generazione delle specie (Yields). Le velocità dell'aria considerate variano da 1,5 a 2,5 m/s.

Sulla base delle analisi CFD svolte è stato definito questo intervallo ridotto di velocità che risulta fornire risultati coerenti ed affidabili per la maggior parte dei casi. In caso le analisi di cui ai precedenti punti evidenziassero problematiche particolari è possibile fissare valori differenti.

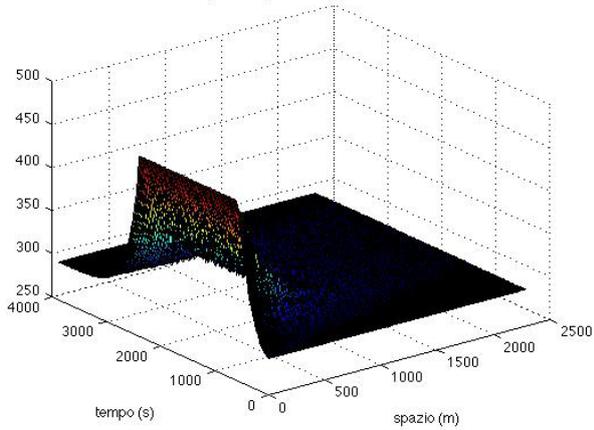
2.4.5 MODELLO TERMODINAMICO

Gli scenari di incendio, nel modello termodinamico, sono definiti come scenari probabilistici nell'ambito di una caratterizzazione energetica dei focolai. La caratterizzazione probabilistica degli scenari di incendio è attuata introducendo specifiche funzioni di distribuzione per la probabilità di accadimento, per il numero di veicoli coinvolti, per la localizzazione spaziale all'interno della galleria, per le variabili potenza termica generata e tasso di generazione dei fumi. La velocità dell'aria in galleria ed i coefficienti liminari di scambio termico fumi-pareti sono anche essi considerati variabili aleatorie e caratterizzate in termini di idonee funzioni di distribuzione. Il modello termodinamico per la semplicità formale ad esso propria consente di stimare in tempo reale e con un sufficiente grado di accuratezza le caratteristiche essenziali del microclima in galleria e l'effetto delle incertezze attribuite alle variabili di stato utilizzate per descrivere le traiettorie di emergenza lungo le quali possono evolvere gli scenari di incendio.

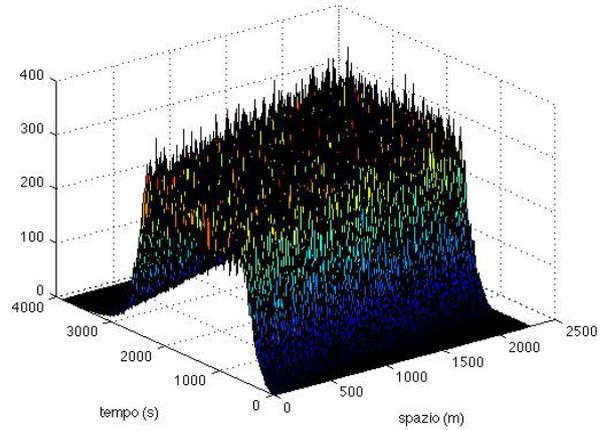
Le successive figure esemplificano i risultati forniti dal modello termodinamico, nel caso esemplificativo di applicazione ad una galleria di 2200 m.



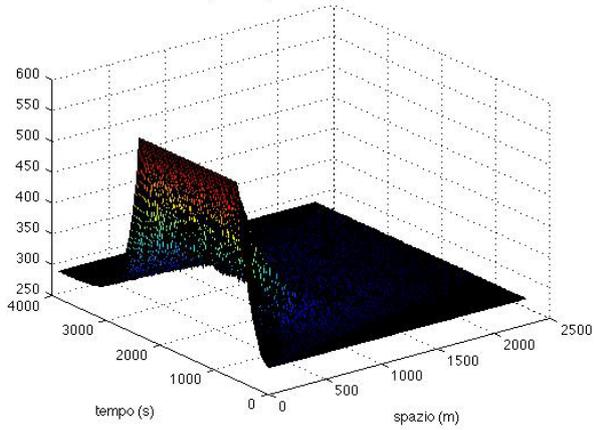
Campo di Temperatura (K) Q = 30 MW



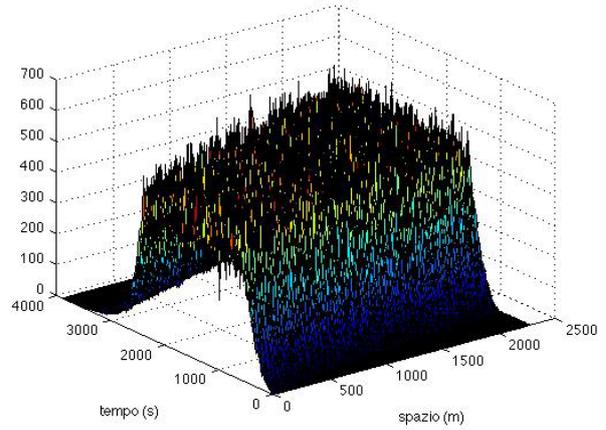
concentrazione di CO (ppm) Q = 30 MW



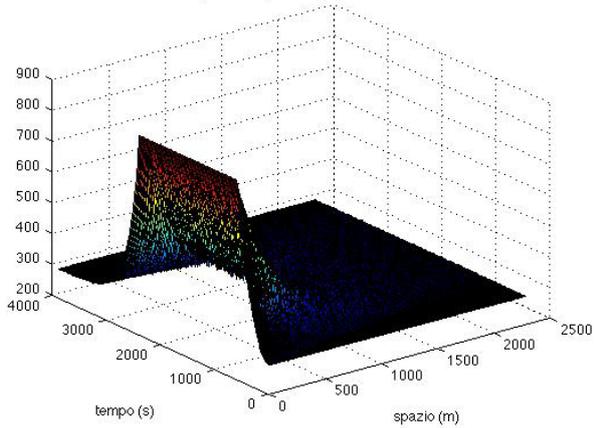
Campo di Temperatura (K) Q = 50 MW



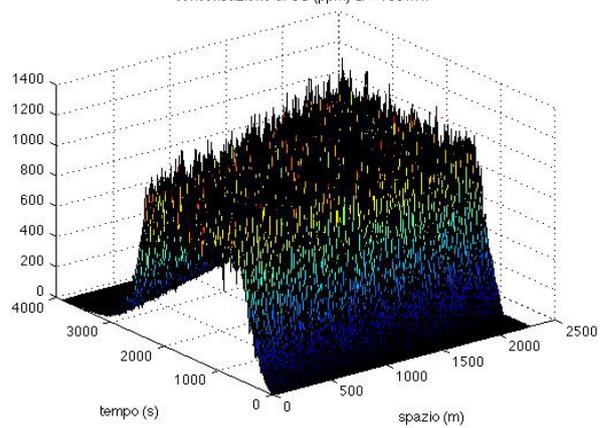
concentrazione di CO (ppm) Q = 50 MW



Campo di Temperatura (K) Q = 100 MW



concentrazione di CO (ppm) Q = 100 MW



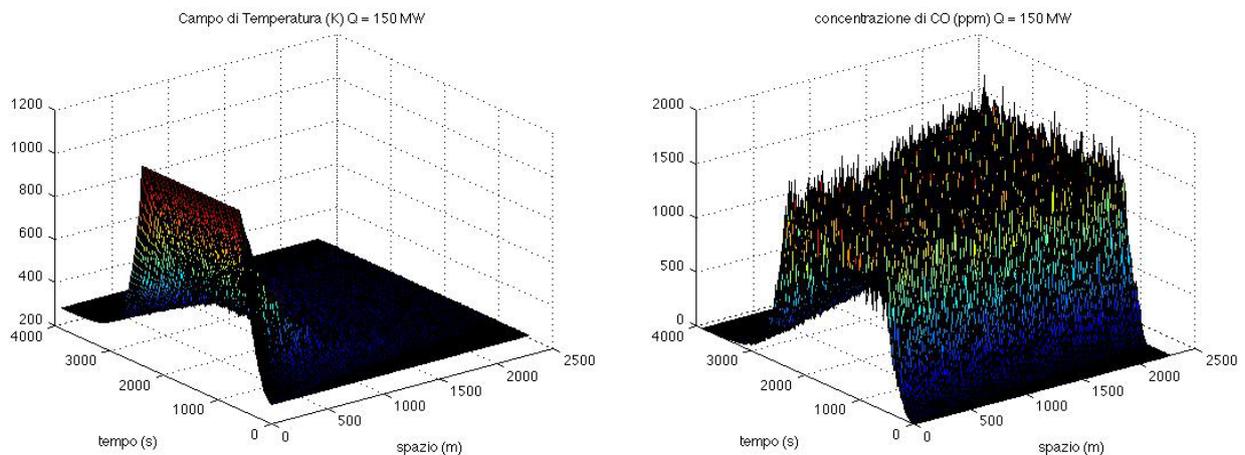


Figura 11 – Esempio risultati modello termodinamico

2.4.6 CARATTERIZZAZIONE STATISTICA DEGLI SCENARI DI ESODO

La determinazione delle fatalità connesse ad un singolo ramo dell'albero degli eventi è ottenuta risolvendo uno specifico modello del processo di esodo degli utenti dalla struttura.

Il modello di esodo ingloba un modello di formazione delle code dei veicoli in galleria dopo l'accadimento di un evento critico che risolto consente la determinazione della popolazione esposta, essendo fissato il numero medio di passeggeri per veicolo.

Un modello semplificato di formazione delle code in galleria può essere formulato riferendosi ai parametri correntemente utilizzati nella caratterizzazione della circolazione in galleria in termini di regimi di traffico nella consapevolezza che la modellazione adottata ha un ridotto livello di rappresentazione ed accuratezza.

La successiva figura schematizza il processo di formazione di una coda all'interno di una canna in una galleria, a prescindere dalla direzionalità del traffico, nella quale si verifichi un evento critico. E' evidente che, qualora la canna sia interessata da un traffico bidirezionale, le code dei veicoli si formano a monte ed a valle della sorgente di pericolo, ma lo schema di rappresentazione del processo di formazione di una singola coda non si modifica. L'orientamento e l'estensione del pennacchio, viceversa, sono determinati dalla tipologia del sistema di ventilazione e dalle procedure adottate per la gestione del sistema di ventilazione asservito alla galleria.

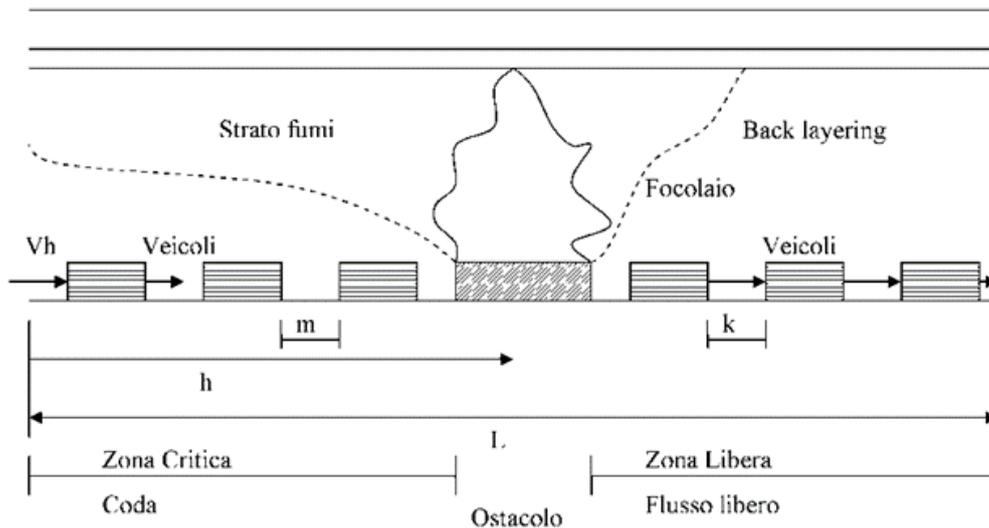


Figura 12 – Orientamento ed estensione del pennacchio

Il modello di formazione delle code utilizzato nel codice PRO-SECURITATE è definito come:

$$\text{velocità di propagazione della coda} = \text{Flusso orario} / (r_0 - r_1)$$

dove:

Flusso orario = TGM/15

r_1 = densità di traffico congestionato pari a 90 Veicoli/km

r_0 = densità di traffico scorrevole pari a Flusso orario/Velocità media

La velocità media dei veicoli è calcolata come media ponderata dei limiti di velocità dei veicoli leggeri e veicoli pesanti.

Il modello prende inoltre in considerazione:

- lunghezze medie dei veicoli:
 - lunghezza media Veicoli Leggeri: 11 m (*),
 - lunghezza media Veicoli Pesanti: 11 m (*),
 - lunghezza media Autobus: 11 m (*),
- tempo di rilevazione dell'evento: (dati di input) s con varianza 20 s,
- tempo di chiusura al traffico della galleria: (dati di input) s con varianza 20 s,
- fattore moltiplicativo dei tempi per malfunzionamento: 1.5.

(*) Assunto valore medio comprensivo della distanza tra i veicoli derivante dalla densità pari a 90 veicoli/km

Il processo di esodo degli utenti, verso le uscite di soccorso in condizioni incidentali, è un processo realizzato da aggregati di individui segnati da comportamenti specifici. Le attività preliminari necessarie a formulare un modello di simulazione del processo di esodo sono:

- stabilire i fattori che controllano il movimento degli utenti nello spazio;
- costruire una configurazione del flusso di utenti in accordo con il progetto della struttura simulata;
- assumere differenti situazioni (come evacuazione ideale, fasi dell'evacuazione, blocco statico o dinamico di comportamenti critici durante l'evacuazione), o informazioni necessarie di ingresso come il numero degli occupanti, la distanza tra gli occupanti, etc.

Un modello semplificato per il processo di esodo degli utenti può essere formulato assumendo come parametri fondamentali:

- i tempi di abbandono dei veicoli da parte degli utenti;
- la velocità di esodo degli utenti.

Il processo di esodo è altresì dipendente da:

- modalità di avanzamento degli utenti all'interno della galleria;
- orientamento corretto verso le uscite di sicurezza.

Il modello di esodo prevede:

- tasso di occupazione medio atteso Veicoli Leggeri: 1.7 utenti,
- tasso di occupazione medio atteso Veicoli Pesanti: 1 utenti,
- tasso di occupazione medio atteso Autobus: 27 utenti

2.4.7 SIMULAZIONE STATISTICA DEGLI SCENARI DI ESODO

La simulazione del processo di esodo può essere effettuata sviluppando modelli di complessità formale crescente in funzione delle dimensioni assunte come rappresentative del percorso di esodo, dell'approccio usato nella formulazione, delle tecniche di soluzione adottate.

Esempi paradigmatici di modelli utilizzabili nella simulazione del processo di esodo sono:

- modelli monodimensionali o bidimensionali,
- modelli lagrangiani o euleriani,
- risolti con tecniche deterministiche e statistiche.

La successiva figura esemplifica i risultati della simulazione statistica di uno scenario di esodo condotto formulando un modello lagrangiano risolto con una tecnica statistica tipo Monte-Carlo. Il modello esegue un numero di simulazioni analoghe variabile tra 3000 e 32000.

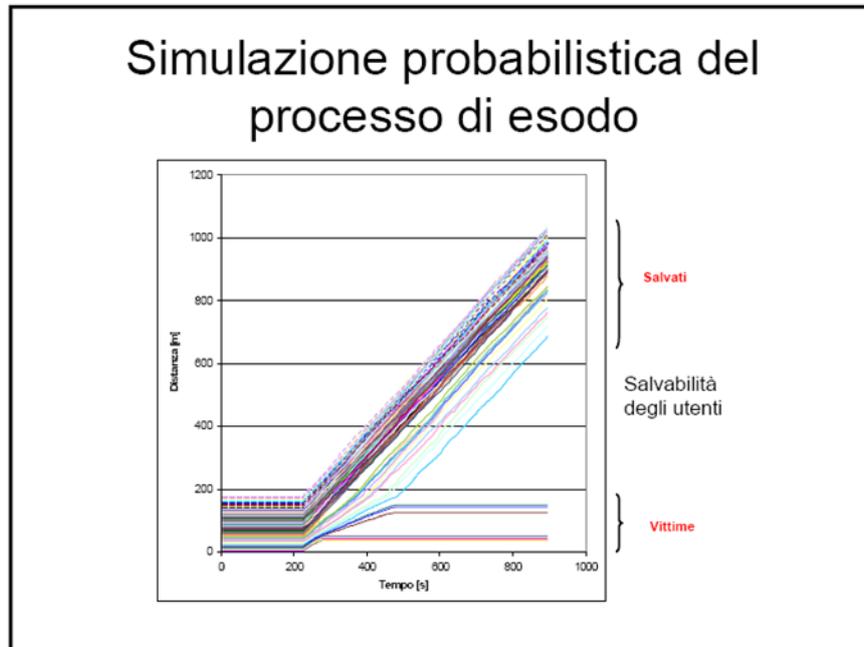


Figura 13 – Simulazione scenario di esodo

Il modello di esodo adottato nel codice PRO-SECURITATE è di tipo monodimensionale, esso parte, per ciascuno scenario, da una distribuzione degli utenti in galleria e ne calcola il moto fino al raggiungimento delle uscite di emergenza distribuite lungo la galleria, e considera la variazione di velocità di esodo in funzione dell'illuminazione considerando un valore medio ed una deviazione standard ipotizzando una distribuzione di tipo gaussiano.

Il tempo di pre-movimento (impiegato dagli utenti per l'allertamento, decisione e per svolgere le attività che precedono il movimento) è assunto variabile tra 90 s e 300 s in funzione della posizione dell'utente, secondo il seguente criterio:

$$t_a = 300 - 240 * (\text{posizione}) / \text{distanza dal focolaio}$$

La velocità di esodo è definita come:

- media = 0.726 m/s, deviazione standard = 0,15 m/s, in presenza di illuminazione di esodo;
- media = 0,5 m/s, deviazione standard = 0,1 m/s, in assenza di illuminazione di esodo.

Il modello di esodo prevede la distribuzione di un numero di utenti lungo la galleria determinato sulla base di una densità di traffico di riferimento ed il movimento degli stessi verso le uscite. La velocità di esodo ha una componente fissa ed una casuale e varia in funzione delle condizioni di illuminazione. Durante il processo di esodo è calcolata la FED secondo la seguente relazione derivata dalla NFPA 130 e da Stewart et al. Come da SFPE Handbook che tiene conto di temperatura, irraggiamento e concentrazione di CO.

$$\begin{aligned} \text{FED_CO} &= 3.317 \cdot (10^{-5}) \cdot \text{RMV} \cdot (\text{XCO})^{1.036} \cdot \text{ttc} / (\text{COHb}) \\ \text{FED_CHT} &= \text{ttc} / (5 \cdot 10^7 \cdot (T_{f1} - 273)^{-3.4}) \\ \text{FED_Q} &= \text{ttc} / (4 \cdot (Q_f / 1000)^{-1.36}); \\ \text{FED_CHT} &= \text{FED_CHT} + \text{FED_Q}; \\ \text{ACCFED} &= \text{ACCFED} + \text{FED_CHT} + \text{FED} \end{aligned}$$

Essendo il modello monodimensionale limitato per via del fatto che considera la temperatura media sulla sezione in luogo della temperatura ad altezza uomo (ipotesi cautelativa perché non si considera la stratificazione dei fumi), e per via della dinamica degli incendi in galleria è stato scelto, sulla base delle analisi effettuate nel corso degli anni di trascurare le componenti di: concentrazione di CO₂, O₂, e HCN.

Il modello monodimensionale considera un valore uniforme di concentrazione e temperatura su tutta la sezione della galleria mentre nella realtà si verifica la cosiddetta stratificazione che viene progressivamente meno man mano che la velocità dell'aria aumenta,

Nella parte bassa della galleria, ad altezza uomo (2 m circa rispetto alla volta che varia tra 7 m e 9 m) si avranno pertanto valori di temperatura e concentrazione più bassi rispetto alla media.

L'elevata sezione della galleria fa sì che le concentrazioni di ossigeno non si riducano di molto se non per incendi di magnitudo elevata. Per quanto attiene la CO₂ il valore di soglia di letalità è relativamente alto e considerata la ventilazione in galleria non si hanno particolari problematiche. Per quanto attiene gli HCN tali prodotti dipendono dalle caratteristiche del focolaio, hanno un elevato valore di letalità ma la loro presenza è legata alla tipologia di focolaio (non è sempre presente) e comunque risulta sempre diluito dalla ventilazione.

Gli effetti di CO₂ e HCN stati considerati attraverso le incertezze connesse alla concentrazione di monossido di carbonio espressa come funzione di distribuzione nell'ambito del metodo Monte Carlo e la sovrastima legata al modello monodimensionale.

Per quanto attiene l'irraggiamento esso è letale nella zona prossima al focolaio per potenze elevate, tuttavia le temperature molto alte calcolate dal modello monodimensionale ed inserite nella formula della FED rendono il contributo dell'irraggiamento trascurabile agli effetti del risultato finale in quanto esse stesse hanno un effetto letale molto marcato (l'esponente è 3,4).

Il modello simula 100 sottoscenari per ciascun ramo dell'albero degli eventi variando i parametri principali sulla base di una funzione di distribuzione predefinita associata in modo specifico a ciascuno di essi, il risultato delle simulazioni condotte è quindi una funzione di distribuzione delle conseguenze.

Il livello di FED che determina le fatalità può variare tra 0,3 e 1 ed è un parametro proprietario del modello derivante dalla messa a punto dello stesso nel corso degli anni, esso può essere soggetto a variazioni in funzione delle caratteristiche della galleria da valutare.

2.5 METODOLOGIA DG-QRAM PER TRASPORTO DI MERCI

PERICOLOSE

Il DG-QRAM è un modello di analisi di rischio quantitativa sviluppato dal PIARC, ed adottato dalla maggior parte dei paesi europei, per la valutazione del rischio connesso al trasporto di merci pericolose sia in tunnel stradali sia nelle strade a cielo aperto.

Il modello si basa sull'analisi di tredici scenari di riferimento che risultano rappresentativi dell'intera casistica possibile. Questa semplificazione, viste anche le elevate variabilità legate al trasporto di merci pericolose, consente di rappresentare in modo semplice e di calcolare in modo rapido il rischio connesso ad un'attività complessa caratterizzata da notevoli incertezze. Pur con tutte le limitazioni ad esso connesse, il metodo rappresenta lo stato dell'arte nel settore ed è riconosciuto a livello europeo come il modello di riferimento.

La sua relativamente bassa sensibilità alla variazione dei parametri significativi lo rende uno strumento robusto ed affidabile nella comparazione tra situazioni molto differenti, non è tuttavia in grado di analizzare nel dettaglio l'effetto delle prestazioni dei sistemi di sicurezza, e per questo è utilizzato principalmente per le merci pericolose, per le quali le misure di sicurezza devono avere prestazioni molto elevate.

Il metodo si basa sul calcolo delle probabilità di accadimento e delle conseguenze degli scenari selezionati tra i tredici disponibili, ciascuno dei quali è analizzato considerando un numero limitato di posizioni dell'evento lungo il tunnel (5).

Per ciascuno scenario è calcolata una curva cumulata complementare, riportante i punti relativi alle posizioni dell'evento; le curve sono poi composte per definire la curva complessiva di tutti gli scenari.

Le probabilità di accadimento degli eventi e le ripartizioni per ciascuno scenario sono calcolate sulla base di dati di default che possono essere selezionati dall'utente e che sono relativi ai differenti stati europei ed extraeuropei; non esistono dati specifici per l'Italia.

E' inoltre possibile inserire valori personalizzati dall'utente sulla base dei dati a propria disposizione. In particolare è possibile inserire i valori dei tassi di incidentalità e della ripartizione dei diversi scenari che derivano dalla composizione del trasporto di merci pericolose relativo alla singola nazione.

Per quanto riguarda il calcolo delle conseguenze il metodo DQ-QRAM utilizza:

- per il flusso del pericolo degli incendi un modello termodinamico semplificato che considera la fase di crescita (quella in cui è più probabile salvare gli utenti) solo traslando nel tempo (5 min) l'inizio dell'evento che avviene subito alla massima potenza,
- per il flusso del pericolo delle esplosioni un modello multienergia,
- per il flusso del pericolo delle sostanze tossiche un modello di rilascio/evaporazione ed un modello dispersione semplificato in galleria (propagazione alla velocità dell'aria) e più complesso all'esterno,
- per la letalità un modello con funzioni probit, specifiche per ciascuno scenario.

Applicando le funzioni probit a ciascuno scenario, viene calcolato il numero atteso di fatalità per quello specifico scenario.

Per gli scenari di incendio deve essere definito un modello aeraulico ovvero, impostate le portate dell'aria in galleria prima, durante e dopo l'evento, anche a seguito dell'intervento dell'impianto di ventilazione, quando presente.

Il modello contiene inoltre uno specifico calcolo delle prestazioni del sistema di drenaggio atto a definire la dimensione della pozza di liquido sversato necessaria a definire la magnitudo dell'evento.

Gli scenari definiti all'interno del modello DG-QRAM sono mostrati nella tabella successiva.

Scenario Nr:	Description	Capacity of tank	Size of breach (mm)	Mass flow rate (kg/s)
1	HGV fire 20 MW	-	-	-
2	HGV fire 100 MW	-	-	-
3	BLEVE of LPG in cylinder	50 kg	-	-
4	Motor spirit pool fire	28 tonnes	100	20.6
5	VCE of motor spirit	28 tonnes	100	20.6
6	Chlorine release	20 tonnes	50	45
7	BLEVE of LPG in bulk	18 tonnes	-	-
8	VCE of LPG in bulk	18 tonnes	50	36
9	Torch fire of LPG in bulk	18 tonnes	50	36
10	Ammonia release	20 tonnes	50	36
11	Acrolein in bulk release	25 tonnes	100	24.8
12	Acrolein in cylinder release	100 litres	4	0.02
13	BLEVE of liquefied CO2	20 tonnes	-	-

Tabella 5 : Scenari di riferimento modello DG-QRAM

Gli scenari n.1 e n.2 relativi agli incendi di veicoli pesanti trasportanti merci non pericolose sono stati contabilizzati nel calcolo effettuato con il codice PRO-SECURITATE relativamente al traffico ordinario e quindi non considerati nel caso specifico con il codice DG-QRAM.

3 ANALISI DI RISCHIO

3.1 GENERALITÀ E RIFERIMENTI

Il D.Lgs 264/06 all.3 recita:

“L'Analisi di Rischio Quantitativa nelle gallerie stradali deve essere sviluppata adottando un approccio sistemico adatto allo specifico ambito del sistema galleria.”

e ancora:

“La metodologia considera una galleria con le sue specifiche caratteristiche localizzata sul territorio ed in interazione con l'ambiente circostante.”

L'approccio sistemico prevede siano considerati in modo più completo e coordinato possibile tutti gli aspetti connessi al sistema galleria che influiscono sulle frequenze degli eventi critici e sulle conseguenze derivanti da essi.

Al fine di poter considerare in maniera completa tutti gli aspetti si è scelto di utilizzare modelli quantitativi probabilistici, basati sull'albero degli eventi, flusso del pericolo e modelli di esodo, che consentissero di fornire un risultato globale valutando gli aspetti principali che incidono maggiormente sulla sicurezza dell'intero sistema senza soffermarsi sui dettagli, in quanto già analizzati nei precedenti livelli.

Tali modelli sono raccolti nel codice PRO-SECURITATE del Politecnico di Torino che realizza l'analisi di rischio relativa agli eventi di incendio non connessi al trasporto di merci pericolose.

L'analisi relativa alle merci pericolose è stato deciso di effettuarla con il codice DG-QRAM del PIARC già ampiamente descritto in letteratura e riconosciuto a livello internazionale e normativo (in alcuni stati membri) come riferimento per le sole merci pericolose.

La scelta è giustificata anche dal fatto che il codice utilizza modelli specifici per gli eventi di esplosione e rilascio di sostanze tossiche e che, per il caso di incendio di merci pericolose, per via delle elevate potenze in gioco e le incertezze connesse agli scenari, i modelli particolarmente raffinati (3D) non danno grossi vantaggi in termini di previsione delle fatalità.

L'output dell'approccio sistemico è una funzione di distribuzione da utilizzare all'interno dell'Analisi Quantitativa. Tale funzione è la combinazione delle funzioni determinate per gli incendi e per le merci pericolose.

Il metodo considera:

- i tassi di accadimento degli eventi,
- il volume di traffico e la sua ripartizione,
- le caratteristiche geometriche della sezione della galleria (area, perimetro, etc.),
- la distanza tra le uscite di emergenza e la loro deviazione standard,
- l'efficienza dei sistemi di sicurezza intesa come il numero di successi di una determinata prestazione rispetto al numero totale degli scenari possibili compreso il mantenimento nel tempo dell'efficienza stessa. Si considerano i seguenti sistemi: Rilevazione, Comunicazione, Ventilazione, Illuminazione, Drenaggio, Mitigazione.

L'albero degli eventi adottato per le analisi è esemplificato in figura.

EVEN TO CRITICO	DRENAGGIO	RILEVAZIONE	COMUNICAZIONE	SPEGNIMENTO	ILLUMINAZIONE	VENTILAZIONE	FREQUENZE
						0.85	0.00210540
					0.90	0.15	0.00037154
				0.85		0.85	0.00023393
					0.10	0.15	0.00004128
			0.90			0.85	0.00037154
				0.90		0.15	0.00006557
				0.15		0.85	0.00004128
					0.10	0.15	0.00000729
		0.90				0.85	0.00023393
					0.90	0.15	0.00004128
				0.85		0.85	0.00002599
					0.10	0.15	0.0000459
			0.10			0.85	0.00004128
				0.15		0.90	0.0000729
					0.10	0.85	0.0000459
						0.15	0.0000081
	0.85					0.85	0.00023393
					0.90	0.15	0.00004128
				0.85		0.85	0.00002599
					0.10	0.15	0.0000459
			0.90			0.85	0.00004128
				0.15		0.90	0.0000729
					0.10	0.85	0.0000459
		0.10				0.15	0.0000081
					0.90	0.85	0.00002599
				0.85		0.15	0.0000459
			0.10			0.85	0.0000289
					0.10	0.15	0.0000051
						0.85	0.0000459
				0.15		0.90	0.0000081
					0.10	0.85	0.0000051
						0.15	0.0000009
						0.85	0.00037154
					0.90	0.15	0.00006557
				0.85		0.85	0.00004128
					0.10	0.15	0.0000729
			0.90			0.85	0.00006557
				0.15		0.90	0.0001157
					0.90	0.85	0.0000729
					0.10	0.15	0.0000129
		0.90				0.85	0.00004128
					0.90	0.15	0.0000729
				0.85		0.85	0.0000459
					0.10	0.15	0.0000081
			0.10			0.85	0.0000729
				0.15		0.90	0.0000129
					0.10	0.15	0.0000081
						0.85	0.0000014
					0.90	0.85	0.00004128
	0.15					0.15	0.0000729
				0.85		0.85	0.0000459
					0.10	0.15	0.0000081
			0.90			0.85	0.0000729
				0.15		0.15	0.0000129
					0.90	0.85	0.0000081
					0.10	0.15	0.0000014
						0.85	0.0000459
				0.85		0.15	0.0000081
					0.10	0.85	0.0000009
			0.10			0.85	0.0000081
					0.90	0.15	0.0000014
				0.15		0.85	0.0000009
					0.10	0.15	0.0000002
C3 INCENDI VP (30 MW)							
0.00470272							

Figura 14 – Albero degli eventi

Lo scopo del modello è di valutare il peso di tutti i fattori che incidono maggiormente sul livello di rischio, le semplificazioni introdotte, a valle dell'esecuzione di numerosi casi si sono rivelate idonee al livello di analisi desiderato.

L'analisi di dettaglio è effettuata con il livello di analisi relativo alla verifica della salvabilità degli utenti.

I valori di efficienza dei sistemi sono fissati sulla base della buona pratica dell'analisi di rischio per eventi di incendio e sull'esperienza dell'analista considerando: affidabilità dei sistemi, incertezza dei modelli, ridondanza degli apparati, criteri di dimensionamento, condizioni di traffico particolari (congestionato-bloccato), prestazioni dei sistemi, configurazione di installazione dei dispositivi, livello tecnologico del progetto, obsolescenza apparati.

Di seguito si riportano i riferimenti bibliografici relativi alla definizione dei valori di affidabilità ed efficacia dei sistemi:

- E Cafaro, C Cima, L Stantero, A Focaracci and M Guarascio, Progetto della sicurezza e analisi di rischio, Strade & Autostrade 61 (2007), 186-191.
- Xiao-qian SUN, Ming-chun LUO Fire Risk Assessment for Super High-rise Buildings, Procedia Engineering 71 (2014) 492 – 501.
- E. Cafaro F.Saba, Approccio Ingegneristico all'Analisi di rischio in galleria, Strade & Autostrade 98 Marzo-Aprile 2013, 28-35.

3.2 INCIDENTALITA'

L'incidentalità sulle tratte stradali è il punto di partenza per la valutazione dei pericoli in galleria in quanto in essa sono compresi tutti gli eventi pericolosi dai quali sono successivamente estratti i valori di incidentalità specifici per la galleria.

Per il caso specifico della galleria Castellavazzo non sono disponibili dati di incidentalità, per cui a seguito dell'applicazione di un modello di inferenza statistica basato sulla banca dati incidentali a disposizione dello scrivente e sulle funzioni di correlazione con i parametri di sicurezza della galleria:

- lunghezza 1545 m;
- tipologia di traffico bidirezionale;

si determina un tasso di accadimento medio pari a 40 incidenti a km per 10^8 veicoli, valore in linea con quanto indicato nelle Linee Guida ANAS per le gallerie bidirezionali.

3.3 Prestazioni dei sistemi di sicurezza

Il D.Lgs 264/06 all.3 recita:

“I requisiti minimi di sicurezza dell'Allegato II sono prevalentemente preposti a svolgere un ruolo specifico di protezione, mitigazione o inibizione del potenziale incremento di pericolosità dell'evento iniziatore (ad es. potenza termica del focolaio, velocità di propagazione dei fumi, etc.), nonché di facilitazione delle azioni di auto-soccorso per l'esodo (ad es. uscite di emergenza, visibilità, riduzione di opacità, comunicazione efficace, etc.) e di soccorso in condizioni di emergenza. Alcuni dei suddetti requisiti svolgono anche un ruolo generale di prevenzione in condizioni di esercizio.”

In particolare, riferendosi alle prestazioni dei sistemi di sicurezza:

“I sottosistemi di sicurezza determinano la risposta del sistema alle condizioni di emergenza e conseguentemente definiscono le condizioni di pericolo per la popolazione esposta agli eventi critici possibili.”

Al fine di poter valutare l'efficacia delle misure di sicurezza è necessario che il progettista analizzi nel dettaglio le prestazioni dei sistemi di sicurezza valutando per opportuni scenari di dimensionamento la risposta degli impianti al fine di poter soddisfare i livelli di rischio accettabili.

Nello specifico l'analisi di rischio deve prevedere l'acquisizione delle verifiche effettuate dal progettista relativamente agli impianti al fine di poter analizzare gli scenari con i metodi di seguito descritti.

In particolare per i sistemi galleria è necessario valutare i seguenti parametri:

- tempi di rilevazione degli eventi incidentali,
- tempi di chiusura della galleria,
- velocità dell'aria in galleria e tempi di raggiungimento (compresa la strategia di ventilazione),
- tempi di arrivo dei VVF,
- affidabilità di tutte le installazioni elettriche e speciali,
- efficacia dei dispositivi di gestione del traffico e comunicazione all'utenza,
- livello di illuminamento dei percorsi di esodo e visibilità della segnaletica.

Per quanto riguarda gli impianti che controllano direttamente l'evoluzione dell'emergenza, ovvero ventilazione, ci si riferisce ai calcoli ed alle verifiche effettuati nell'ambito della progettazione.

Le successive tabelle sintetizzano i parametri principali analizzati come desunti dal progetto dei sistemi di sicurezza e dalle modalità di gestione dell'emergenza del gestore.

Impianto di ventilazione	Valore	Note
Incendio di dimensionamento	30 MW	Per controllo dei fumi con velocità critica
Velocità critica	3 m/s	
Pressione Barometrica ai portali (percentile)	-	
Vento ai portali	20 Pa	
Temperatura Ventilatori e tempo di funzionamento	400 °C per 2 h	
Tempo raggiungimento del valore di progetto regime	180 s	
Tipo di controllo	retroazionato	
Interdistanza sistemi di rilevazione velocità dell'aria	600 m	

Tabella 6 : Analisi delle prestazioni dell'impianto di ventilazione

Impianto alimentazione elettrica	Valore	Note
Durata alimentazione sotto continuità	60 min	
Durata alimentazione sotto GE	24 h	
Numero cabine	1	
MTBF quadristica	n.d.	
MTTR quadristica	n.d.	
Cavi in sede protetta o resistenti al fuoco	SI	

Tabella 7 : Analisi delle prestazioni dell'impianto di alimentazione elettrica

Impianto supervisione e comunicazione	Valore	Note
Rete dati ad anello	SI	
Numero guasti tollerati		
Cavi in sede protetta o resistenti al fuoco	SI	
PLC ridondato in due sedi diverse		
Switch ridondati		
Elementi in galleria protetti da sovratemperature		

Tabella 8 : Analisi delle prestazioni dell'impianto di supervisione e comunicazione

Gestione traffico	Valore	Note
PMV in galleria - Tipo interdistanza	PMV con indicazione alfanumerica Pittogramma Full Color	ogni 300 m
Freccia Croce in galleria - Tipo interdistanza	Indicatori disponibilità corsia	ogni 300 m
PMV esterni -Tipo interdistanza	PMV con indicazione alfanumerica Pittogramma Full Color	150 metri prima degli imbocchi
Sistemi di blocco del traffico-tipo e tempi di intervento	semafori + indicatori disponibilità corsia	imbocco
Centro di controllo-presente, numero operatori h24, formazione	Centro di Controllo locale	
Addetti alla viabilità Numero squadre / lunghezza tratta-Componenti squadra e formazione	nd	

Tabella 9 : Analisi delle prestazioni dell'impianto di gestione traffico

Impianto di rilevazione incendi	Valore	Note
Temperatura massima a cui resiste il sistema di rilevazione incendi lineare		
Lunghezza delle zone di rilevazione		
Posizione del cavo (volta-canaletta)	Volta	
Sensibilità sistemi rilevazione fumi (Opacimetri)		
Criteri rilevazione: temperatura, gradiente, diff spaziale		
Tempo risposta sensori rilevazione fumi		
Distanza sensori rilevazione fumi	600 m	

Tabella 10 : Analisi delle prestazioni dell'impianto di rilevazione incendi

Impianto di illuminazione di evacuazione	Valore	Note
Distanza corpi illuminanti	12,5 m	
Illuminamento a terra		
Luminanza a terra		
UNI 16325		
Tipo segnalazione uscite Attiva-Passiva Rifrangente-Retroilluminata		

Tabella 11 : Analisi delle prestazioni dell'impianto di illuminazione di evacuazione

Impianto idrico antincendio	Valore	Note
Portata	780 l/min	
Pressione minima		
Interdistanza idranti-Tipologia	75 m sfalsati – UNI45	
Autonomia alla portata di progetto	2 h	
Protezione dal gelo	SI	
Idranti agli imbocchi	UNI70	
Tipo alimentazione (singola-singola superiore)		
Rincalzo acquedotto-Portata		

Tabella 12 : Analisi delle prestazioni dell'impianto idrico antincendio

3.3.1 Analisi prestazioni impianto di ventilazione

Il progetto della ventilazione contiene i calcoli di dimensionamento degli impianti di ventilazione per valori pari a 30 MW.

3.3.2 Logiche di ventilazione

I dati contenuti nel progetto sono assunti come dati di base per l'analisi di rischio, per quanto attiene la velocità dell'aria in galleria si fa riferimento al progetto ed alle simulazioni CFD riportate nella documentazione di sicurezza della presente analisi con i seguenti criteri:

- l'impianto di ventilazione dovrà garantire una velocità dell'aria inferiore a 1,5 m/s per favorire la stratificazione dei fumi durante tutta la fase di esodo dalla galleria,
- l'impianto di ventilazione dovrà garantire una velocità corrispondente alla velocità critica, calcolata per l'evento di dimensionamento dell'impianto stesso nella fase di accesso dei soccorsi.

La ventilazione dovrà essere gestita secondo idonei algoritmi che dovranno implementare le seguenti logiche:

1. per il caso di traffico scorrevole e congestionato si prevede un controllo della velocità longitudinale ad un valore compreso fra 0,5 ed 1,5 m/s, nel verso del portale più prossimo al luogo dell'incendio traffico da raggiungersi entro un tempo predefinito.
2. nel caso di eventi di incendio che coinvolgono veicoli ADR, qualora rilevabili, è necessario disattivare l'impianto quanto più rapidamente possibile.

Gli algoritmi che implementeranno le logiche saranno caratterizzati da elevata robustezza ed affidabilità e saranno basati sull'attivazione dei ventilatori in funzione dello scenario di incendio (localizzazione), il numero di ventilatori sarà determinato da un sistema retroazionato e verificato ad intervalli di tempo predefiniti e compatibili con la tempistica della gestione dell'emergenza. Essi dovranno essere messi a punto nella fase di commissioning degli impianti, sulla base prima di modelli teorici 1D e successivamente di tarature in campo, al fine di considerare la configurazione definitiva dell'opera e le risposte del sistema reale.

3.3.3 Modellazione della ventilazione

Nel modello PROSECURITATE la ventilazione è considerata efficace nel mantenere la stratificazione dei fumi per un tempo sufficiente all'autosalvataggio degli utenti fino ad una potenza pari a 30 MW. L'efficacia del sistema è stata stimata con un valore pari all'85%.

Il modello calcola il danno solo nel caso di malfunzionamento della ventilazione ovvero per potenze superiori a 30 MW.

Le simulazioni tridimensionali di incendio ed esodo sono mirate a verificare come per scenari di riferimento il mantenimento della stratificazione dei fumi consenta l'autosalvataggio degli utenti grazie alla ridotta interdistanza tra le uscite di emergenza pari a 300 m.

3.4 PARAMETRI DI CALCOLO PRO-SECURITATE

3.4.1 FREQUENZE DI ACCADIMENTO

La successiva figura mostra la scomposizione degli incidenti da traffico, a partire dal tasso incidentale, nelle diverse tipologie di eventi incidentali come definito dalle Linee Guida ANAS rev. 2009.

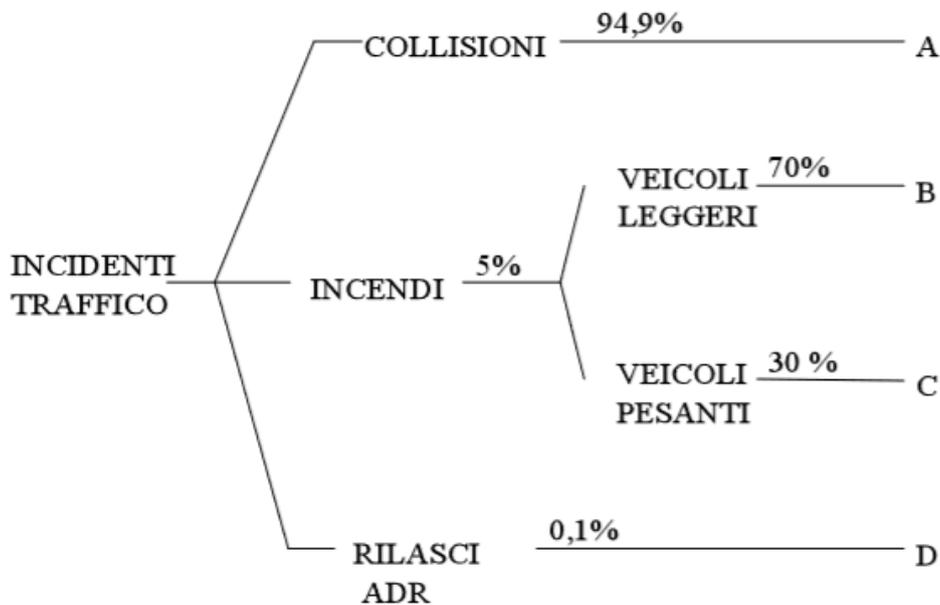


Figura 15 – Scomposizione degli incidenti rispetto al tasso incidentale – Linee Guida ANAS rev. 2009

La distribuzione proposta dalle Linee Guida viene quindi adattata per il caso specifico alla luce dei dati di traffico previsti.

Il calcolo preliminare delle frequenze di accadimento degli eventi pericolosi è riportato nella successiva tabella.

Galleria	Castellavazzo			
Lunghezza	1545	m		
TGMA (previsione 2036)	11050	veicoli/giorno		
Frazione Veicoli Pesanti	5.24	% su TGM		
Frazione Veicoli ADR	8.00	% su VP		
Tasso incidentalità	40	eventi/100 mil. veic. - km		
	Frequenze		Tempo di ritorno	
Incidenti traffico	2.4925	eventi/anno - probabilità	0.40	anni
A - Collisioni	2.3575	eventi/anno - probabilità	0.42	anni
Incendi	0.1246	eventi/anno - probabilità	8.02	anni
B - Incendi veicoli leggeri	0.1181	eventi/anno - probabilità	8.47	anni
C - Incendi veicoli pesanti	0.007	eventi/anno - probabilità	153.13	anni
D - Rilasci ADR	0.0104	eventi/anno - probabilità	95.71	anni

Tabella 13: Frequenze di accadimento - Castellavazzo

La successiva tabella mostra l'albero degli eventi rappresentativo dell'insieme statistico degli scenari di pericolo proprio della galleria, ed esplicita il calcolo delle frequenze di accadimento a partire dal tasso di incidentalità adottato.

ALBERO DEGLI EVENTI SCENARI DI PERICOLO						FREQUENZE	
		COLLISIONI	94.58 %			A	2.357
				VEICOLI LEGGERI	% VL	B	0.118
INCIDENTI TRAFFICO		INCENDI	5.00 %			C	0.007
				VEICOLI PESANTI	% VP	C	0.007
		RILASCI ADR	0.42 %			D	0.010

Tabella 14 : Albero degli eventi degli scenari di pericolo - Castellavazzo

La successiva figura mostra gli alberi rappresentativi degli eventi di incendio che interessano i veicoli leggeri, in accordo alle probabilità derivate dall'elaborazione statistica dei dati contenuti nella banca dati MIDHAS (Major Hazard Incident Data Service, OHS_ROM Luglio 2004).

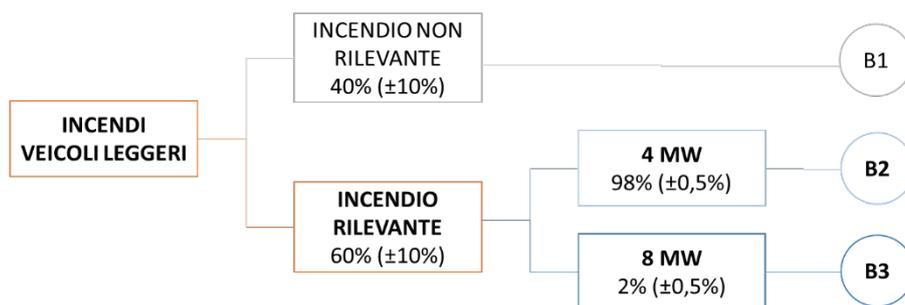


Figura 16 – Albero degli eventi per incendi coinvolgenti veicoli leggeri in galleria

La successiva tabella mostra l'albero degli eventi rappresentativo dell'insieme statistico degli incendi coinvolgenti veicoli leggeri propri della galleria analizzata, ed esplicita il calcolo delle frequenze di accadimento.

ALBERO DEGLI EVENTI INCENDI VEICOLI LEGGERI							FREQUENZE	
			Rilevante					
			NO	40 %			B1	0.04723878
B	INCENDI VL				4 MW	98 %	B2	0.06944101
			SI	60 %				
					8 MW	2 %	B3	0.00141716

Tabella 15 : Albero degli eventi per incendi coinvolgenti veicoli leggeri - Castellavazzo

La successiva figura mostra gli alberi rappresentativi degli eventi di incendio che interessano i veicoli pesanti, in accordo alle probabilità derivate dall'elaborazione statistica dei dati contenuti nella banca dati MIDHAS (Major Hazard Incident Data Service, OHS_ROM Luglio 2004).

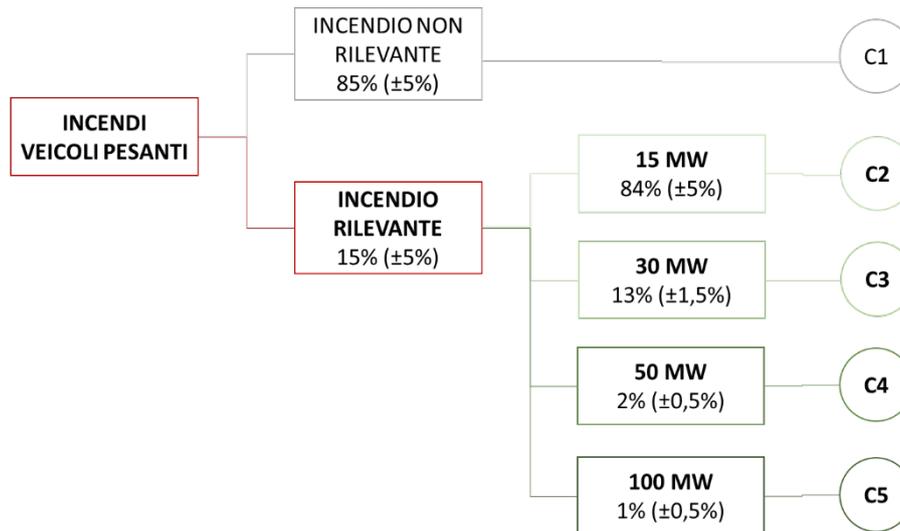


Figura 17 – Albero degli eventi per incendi coinvolgenti veicoli pesanti in galleria.

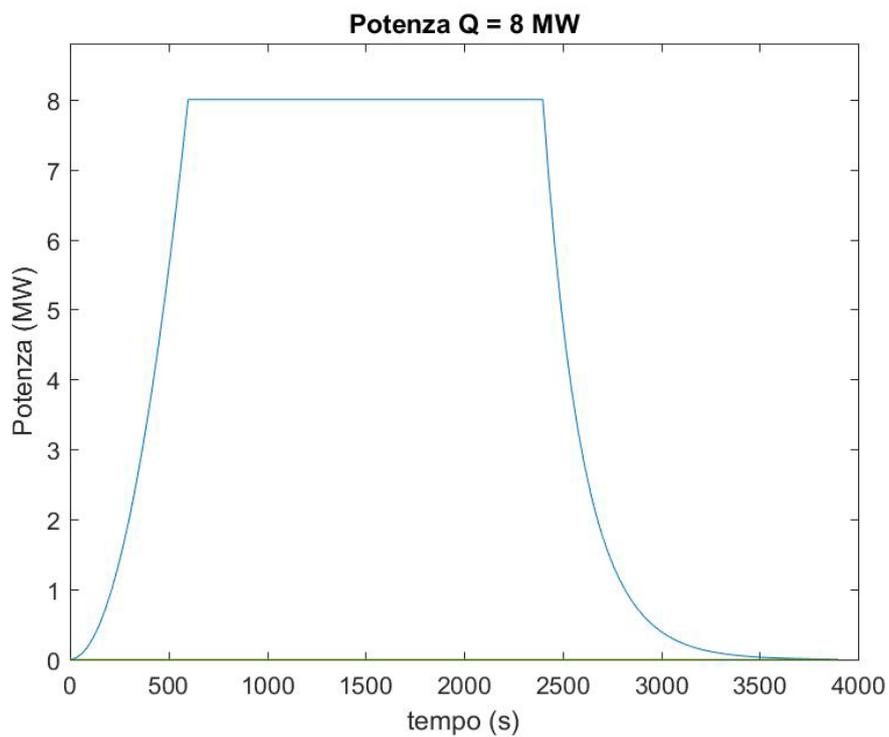
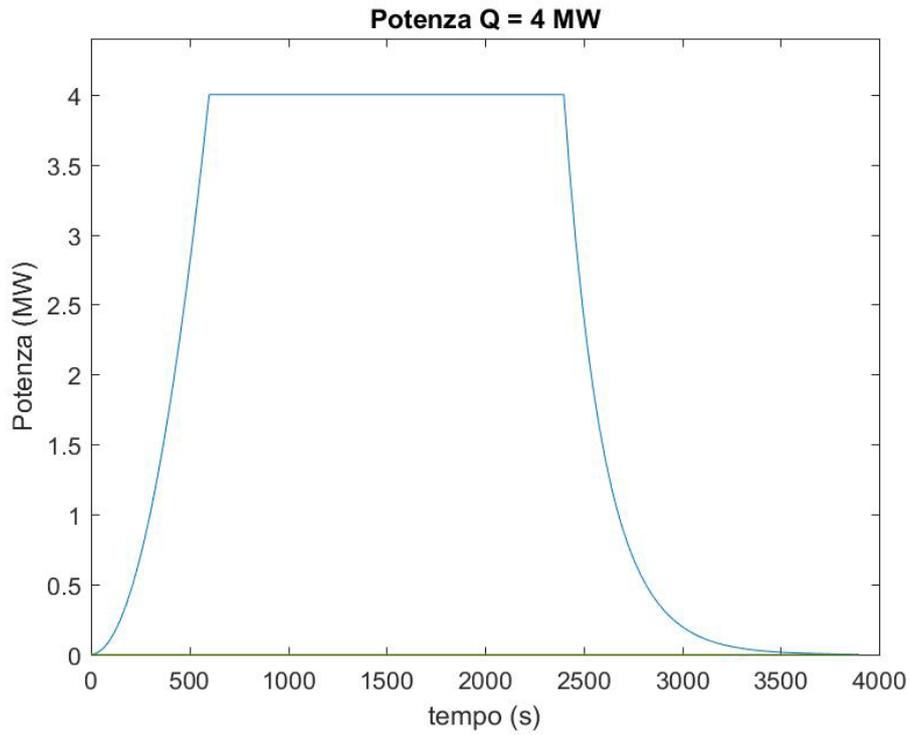
La successiva tabella mostra l’albero degli eventi rappresentativo dell’insieme statistico degli incendi coinvolgenti veicoli pesanti propri della galleria analizzata, ed esplicita il calcolo delle frequenze di accadimento.

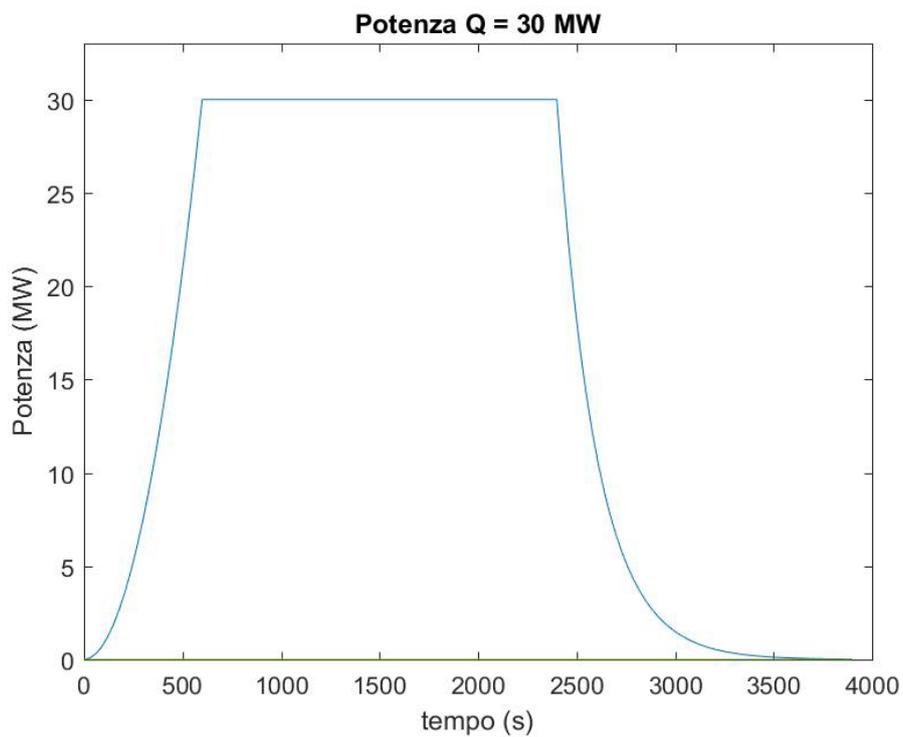
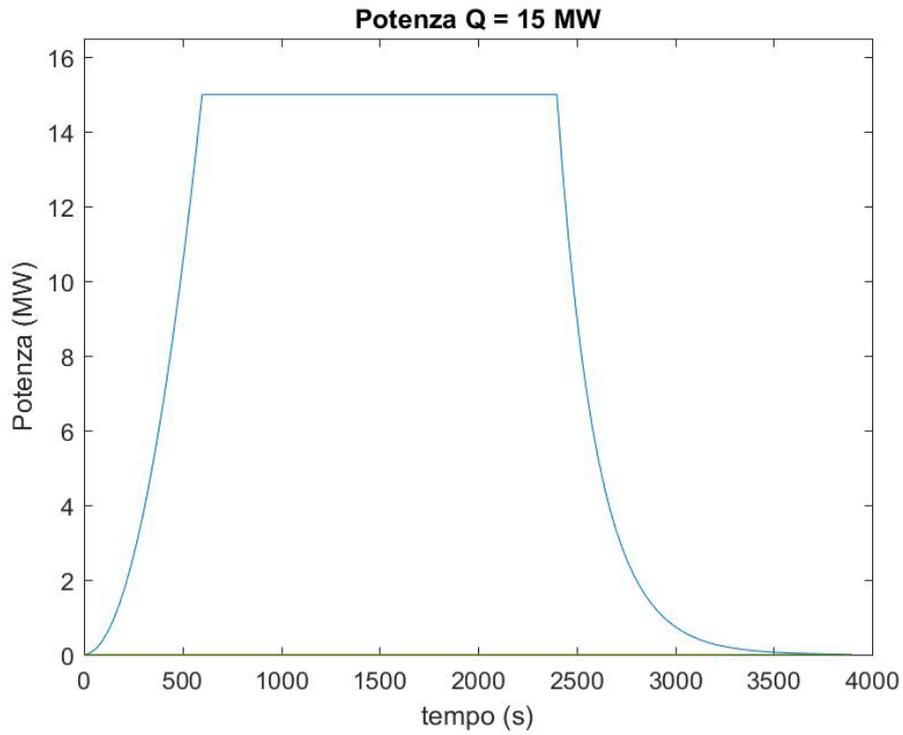
ALBERO DEGLI EVENTI INCENDI VEICOLI PESANTI							FREQUENZE
			Rilevante				
			NO	85 %		C1	0.00555091
C	INCENDI VP				15 MW	84 %	C2 0.00082284
					30 MW	13 %	C3 0.00012734
			SI	15 %			
					50 MW	2 %	C4 0.00001959
					100 MW	1 %	C5 0.00000980

Tabella 16 : Albero degli eventi per incendi coinvolgenti veicoli pesanti - Castellavazzo

3.4.2 CURVE DI INCENDIO

Le successive figure sintetizzano le curve di incendio come calcolate dal modello PRO-SECURITATE per lo specifico caso.





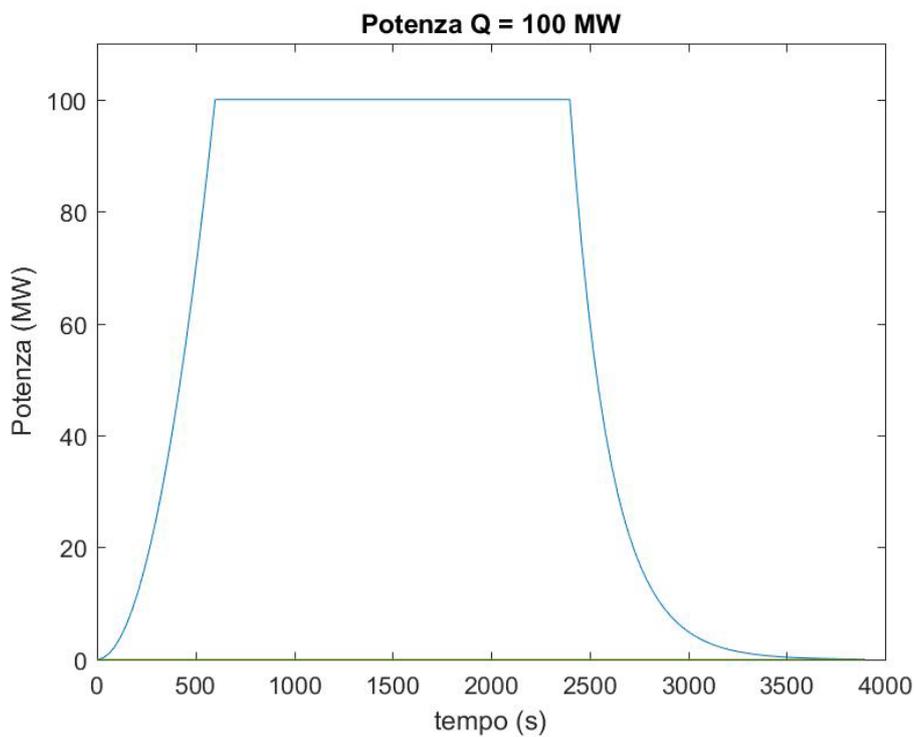
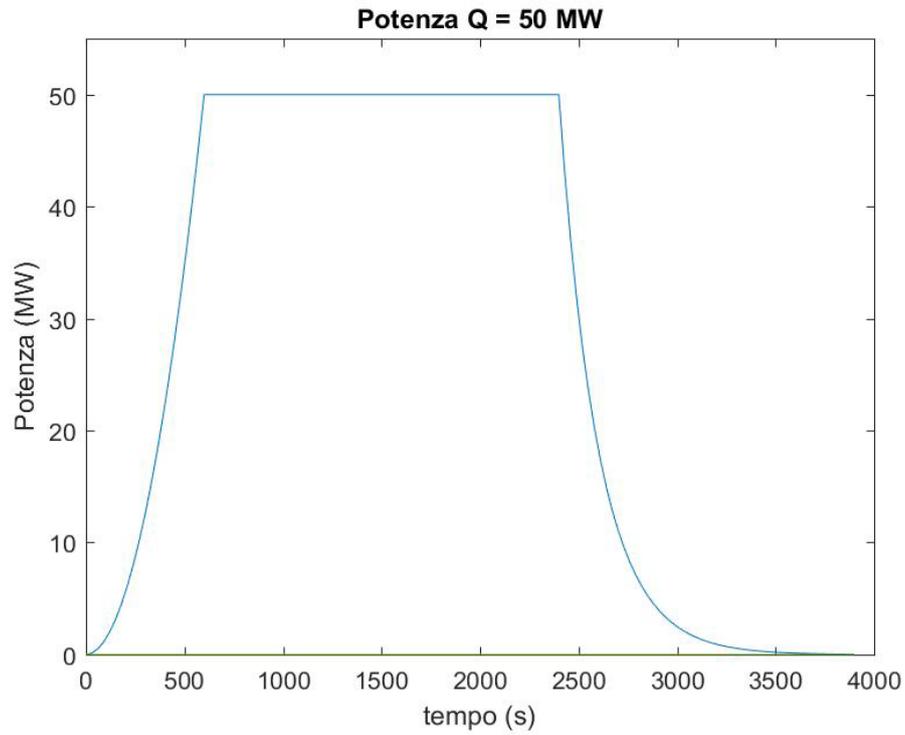


Figura 18 – Curve di incendio PRO-SECURITATE

I parametri considerati nel modello di incendio sono:

- frazione irraggiamento=0,7
- CO_YEALD=0,04
- $K=[CO]*Temp_{media}/83000(m-1)$

3.4.3 PRESTAZIONI DELLE MISURE DI SICUREZZA

La successiva tabella sintetizza le prestazioni attribuite ai sistemi di sicurezza di tutti i fornicati componenti il sistema che determinano le probabilità di transizione tra i diversi rami dell'albero degli eventi.

Come illustrato al paragrafo 2.4.3 i valori di efficacia secondo la buona pratica sono pari a 0,85 (impianti Meccanici) e 0,9 (impianti Elettrici-TLC).

	Drenaggio	Rilevazione/ Monitoraggio	Comunicazione	Mitigazione automatico incendi	Illuminazione di esodo	Ventilazione
Efficacia	(*)	0,9	0,95	0	0,9	0,85
Prestazione attesa	(*)	Tempo Risposta 3 min	Tempo Risposta 2 min	assente	Illuminamento 2 lux	longitudinale 30 MW
Affidabilità	(*)	0,99	0,9999	-	0,9999	0,99

Tabella 17 : Prestazioni sistemi di sicurezza.

(*) Gli scenari relativi agli incendi di veicoli pesanti trasportanti merci pericolose non sono stati contabilizzati nel calcolo effettuato con il codice PRO-SECURITATE e quindi, nel caso specifico, non viene considerato il sistema di drenaggio.

Vista la presenza di misure di sicurezza integrative, quali la presenza di impianti di chiusura del traffico in galleria, l'efficacia della comunicazione è aumentata ad un valore congruo di 0,95.

Gli alberi degli eventi propri della galleria analizzata, che esplicitano il calcolo delle frequenze di accadimento, sono riportati in allegato.

3.4.4 MODELLO TERMODINAMICO

I risultati forniti dal modello termodinamico per il caso specifico sono riportati in allegato.

3.5 PARAMETRI DI CALCOLO DG-QRAM

3.5.1 FATTORE CORRETTIVO DEL TASSO DI INCIDENTALITA'

Il tasso di accadimento degli eventi incidentali utilizzato nell'ambito di questa analisi è pari a 40 incidenti a km per 10⁸ veicoli.

Limitatamente agli scenari coinvolgenti i veicoli trasportanti merci pericolose viene applicato un fattore correttivo pari a 0,56 che tiene conto della preparazione degli autisti ad affrontare eventuali eventi pericolosi e della maggior manutenzione cui sono soggetti i veicoli trasportanti merci pericolose.

3.5.2 CARATTERIZZAZIONE DEL TRAFFICO

Relativamente ai dati di esercizio si è utilizzato:

- TGM = traffico giornaliero medio previsto al 2036.

Relativamente ai dati di esercizio, per il calcolo dei parametri in ciascuna configurazione, si sono adottate le seguenti linee:

- traffico totale (veicoli/h) = TGM / 15
- numero dei veicoli trasportanti merci pericolose = 8 % dei Veicoli Pesanti
- numero degli autobus = 12,2% dei Veicoli Pesanti

Relativamente ai tassi di occupazione dei veicoli si sono utilizzati i medesimi del codice di calcolo PRO-SECURITATE:

- tasso di occupazione medio atteso Veicoli Leggeri: 1.7
- tasso di occupazione medio atteso Veicoli Pesanti: 1
- tasso di occupazione medio atteso Autobus: 27

Il tempo di chiusura al traffico della galleria, coerentemente con quanto fatto per il traffico ordinario, è stato ipotizzato pari a 300 s.

3.5.3 DEFINIZIONE DEGLI SCENARI

Gli scenari n.1 e n.2 relativi agli incendi di veicoli pesanti trasportanti merci non pericolose sono stati contabilizzati nel calcolo effettuato con il codice PRO-SECURITATE relativamente al traffico ordinario e quindi non considerati nel caso specifico con il codice DG-QRAM.

Relativamente agli scenari rimanenti, il modello DG-QRAM è stato applicato come illustrato nella tabella successiva.

numero	scenario	ratio
1	DG potentially leading to a 20MW fire	-
2	DG potentially leading to a large (100MW) fire (except liquids)	-
3	Propane 50kg	0.04
4	Flammable liquids in bulk (Motor spirit, diesel oil,...)	0.6
5	Fraction of flammable liqs potentially leading to VCE (excl diesel oil)	0.65
6	Chlorine in bulk	0.0002
7	Propane in Bulk	0.13
8	Propane in bulk	0.13
9	Propane in bulk	0.13
10	Ammonia in Bulk	0.01
11	Acrolein in bulk	0.01
12	Acrolein in cylinder	0.01
13	Liquefied refrigerated CO2 in bulk	0.09

Tabella 18 : Proporzioe scenari di riferimento modello DG-QRAM

3.6 VALUTAZIONE DEL RISCHIO

La valutazione del rischio prevede la determinazione degli indicatori di rischio ed il confronto con criteri di accettabilità del rischio come definiti dalla norma ed eventualmente come definito dall'analista-progettista.

Per quanto attiene le verifiche di norma si fa riferimento ai criteri ed agli indicatori definiti all'allegato 3 del D.Lgs 264/2006:

“Il rischio connesso ad una galleria è definito come valore atteso del danno ovvero come distribuzione delle probabilità di superamento di predeterminate soglie di danno (Distribuzioni Cumulate Complementari riportate sul cosiddetto piano F - N).

- Il rischio come valore atteso del danno si ottiene come somma dei prodotti tra le probabilità dei singoli eventi critici iniziatori e le corrispondenti sommatorie delle probabilità degli eventi terminali dei singoli rami dell'albero degli eventi moltiplicate per i corrispondenti indicatori di danno espressi in numero di vittime normalizzato all' anno.

- Il rischio come distribuzione delle probabilità di superamento di predeterminate soglie di danno è rappresentato graficamente sul piano F - N (dove F indica la probabilità di superamento della soglia e N il numero di fatalità) dalla distribuzione cumulata complementare (probabilità di superamento delle soglie di danno) ottenuta in corrispondenza dei valori degli indicatori di danno (soglie di danno) associati agli eventi terminali dei singoli rami dell'albero degli eventi.”

Per quanto attiene le verifiche di salvabilità il criterio di verifica prevede una matrice di criticità Frequenza Fatalità, definita dal progettista ovvero la definizione di un criterio di numero di fatalità massimo accettabile in funzione dello scenario.

3.6.1 RISULTATI MODELLO PRO-SECURITATE TRAFFICO ORDINARIO

Le caratteristiche geometriche, impiantistiche e del traffico, utilizzate come dati di input per l'analisi di rischio, effettuata mediante il codice PRO-SECURITATE, sono riportate in allegato.

L'analisi di rischio è stata effettuata considerando i possibili eventi di incendio generati da veicoli leggeri e pesanti.

Le Curve Cumulate Complementari, rappresentative della misura Rischio Sociale pertinente al progetto della sicurezza elaborato ed analizzato, tracciate sul Piano F-N, come richiesto dal D.Lgs. 264/06, sono mostrate nelle figure successive.

Per completezza espositiva è riportato il Valore Atteso del Danno (EV = expected value), essendo esso indicatore globale di rischio sovente utilizzato nella pratica ingegneristica.

Si evidenzia come il modello adottato sia basato su tecniche tipo Monte Carlo ed ha come output delle distribuzioni di fatalità discrete per ciascun ramo dell'albero degli eventi e per ciascuna potenza di incendio. Il risultato finale è la curva cumulata complementare complessiva, non si ritiene significativo riportare valori medi delle fatalità per singoli rami o singoli eventi in quanto potrebbero essere fuorvianti nell'interpretazione dei risultati e comunque non corrispondenti in modo diretto all'output del modello che presenta circa 32000 valori per ogni ramo di galleria.

NOTA: il drenaggio non è stato considerato nell'analisi di rischio effettuata mediante il codice PRO-SECURITATE, in quanto non considera la presenza di merci pericolose.

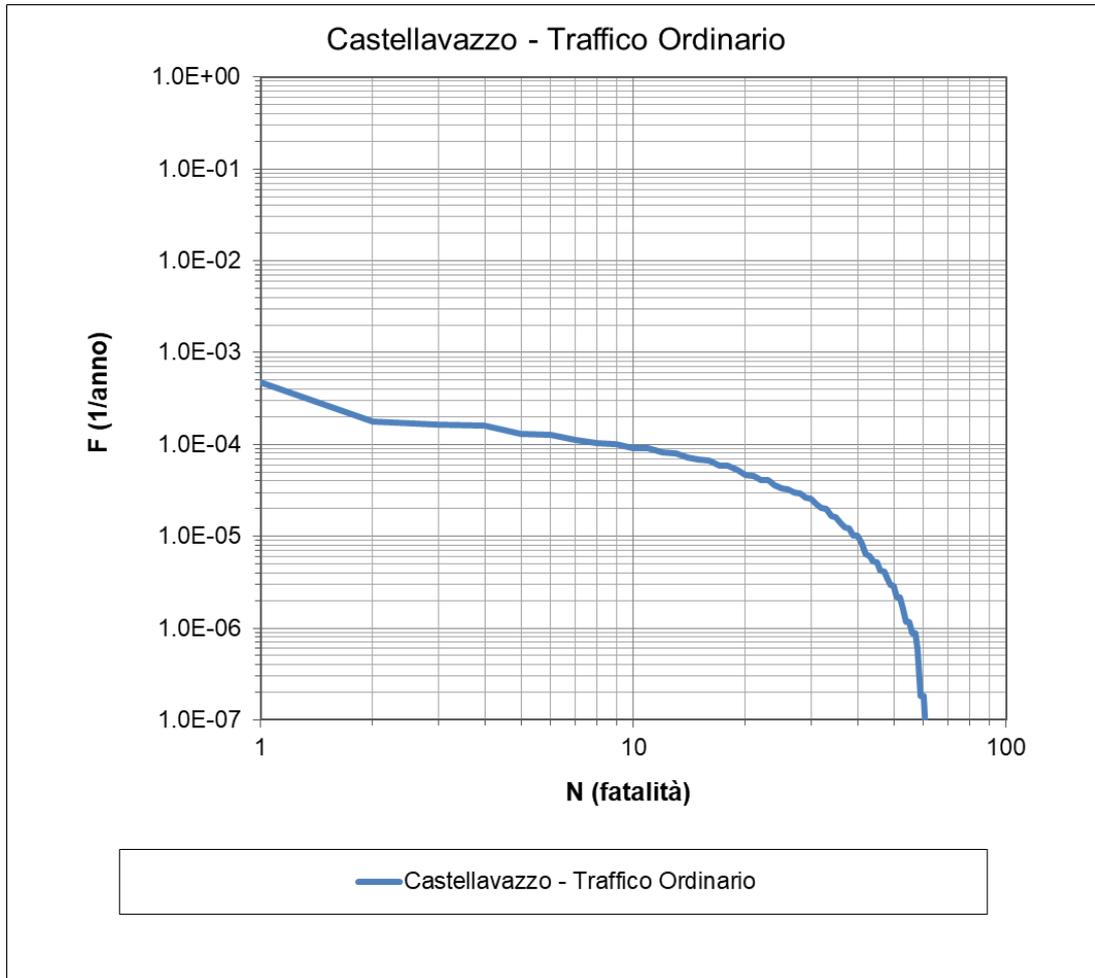


Figura 19 – Curva cumulata complementare codice PRO-SECURITATE

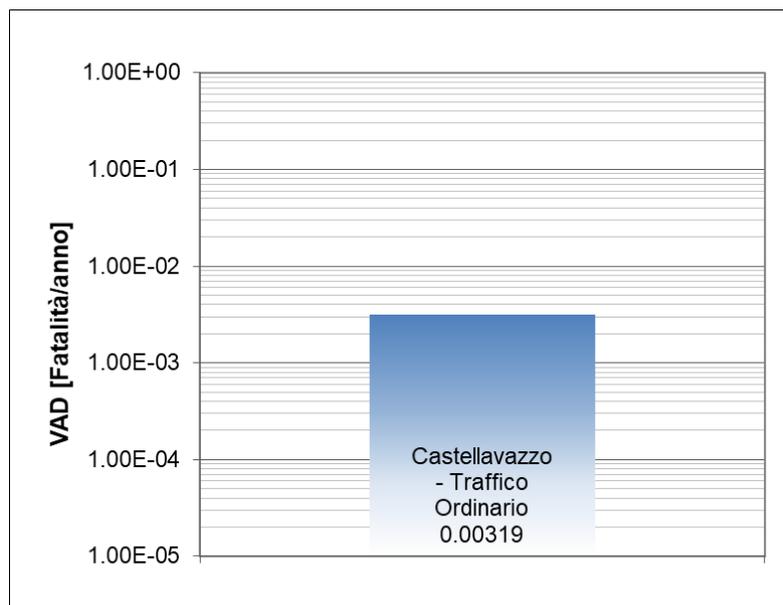


Figura 20 – VAD codice PRO-SECURITATE

3.6.2 RISULTATI MODELLO DG-QRAM TRAFFICO ADR

Le caratteristiche geometriche, impiantistiche e del traffico, utilizzate come dati di input per l'analisi di rischio, effettuata mediante il codice DG-QRAM, sono riportate in allegato.

L'analisi di rischio è stata effettuata considerando i possibili eventi di incendio generati da veicoli trasportanti merci pericolose.

Le Curve Cumulate Complementari, rappresentative della misura Rischio Sociale pertinente al progetto della sicurezza elaborato ed analizzato, tracciate sul Piano F-N, come richiesto dal D.Lgs. 264/06, sono mostrate nelle figure successive.

Per completezza espositiva è riportato il Valore Atteso del Danno (EV = expected value), essendo esso indicatore globale di rischio sovente utilizzato nella pratica ingegneristica.

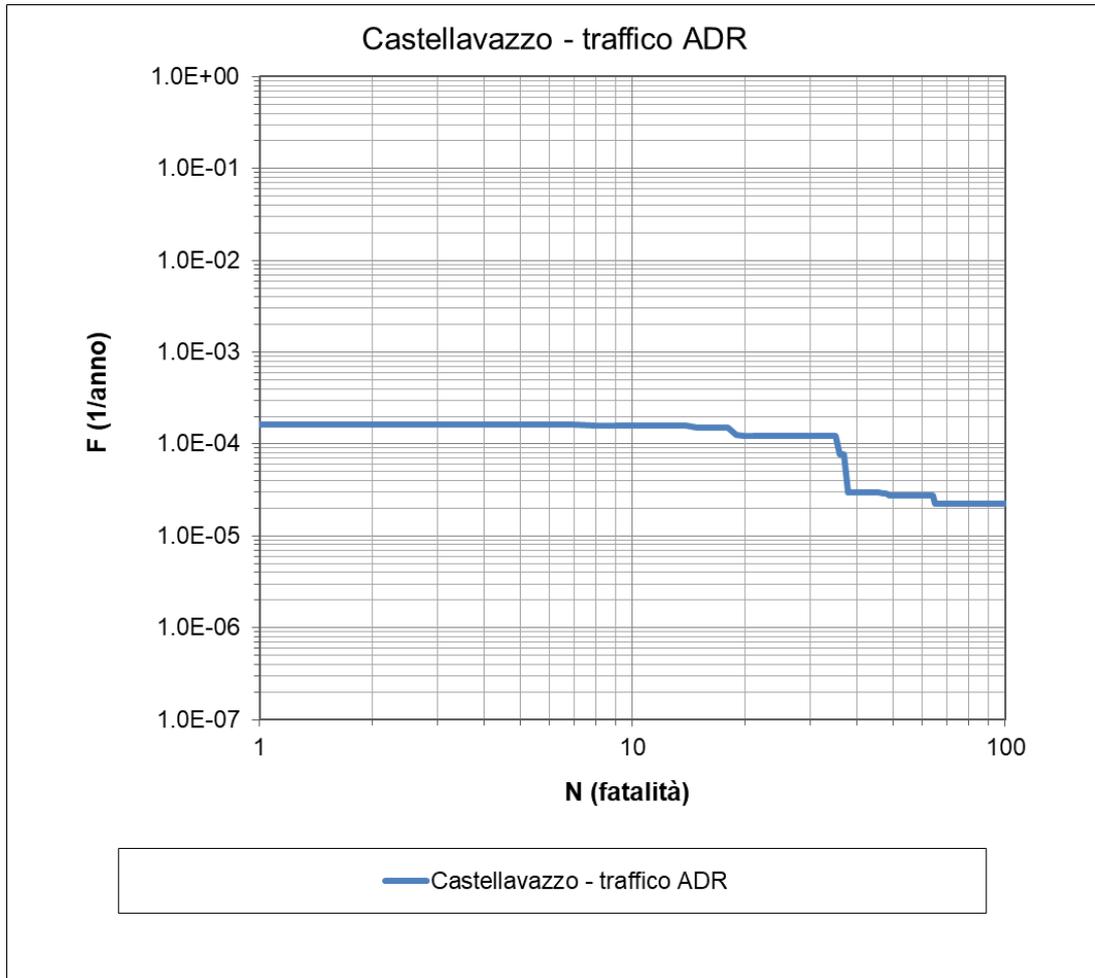


Figura 21 – Curva cumulata complementare codice DG-QRAM

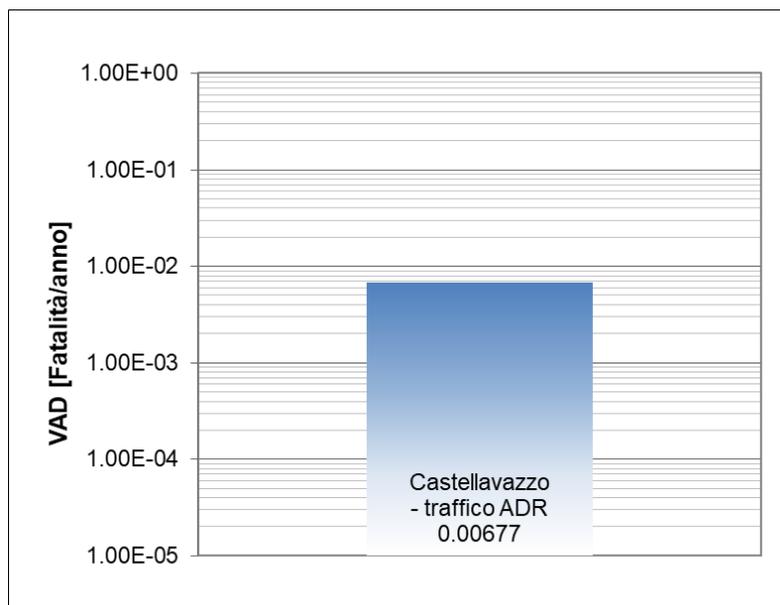


Figura 22 – VAD codice DG-QRAM

3.6.3 RISULTATI FINALI ANALISI DI RISCHIO

Le successive figure riportano i risultati dell’analisi di rischio come combinazione tra le curve cumulate complementari relative al traffico ordinario e le curve cumulate complementari relative al trasporto merci pericolose.

Le Curve Cumulate Complementari, rappresentative della misura Rischio Sociale pertinente al progetto della sicurezza elaborato ed analizzato, tracciate sul Piano F-N, come richiesto dal D.Lgs. 264/06, sono mostrate nelle figure successive.

Per completezza espositiva è riportato il Valore Atteso del Danno (EV = expected value), essendo esso indicatore globale di rischio sovente utilizzato nella pratica ingegneristica.

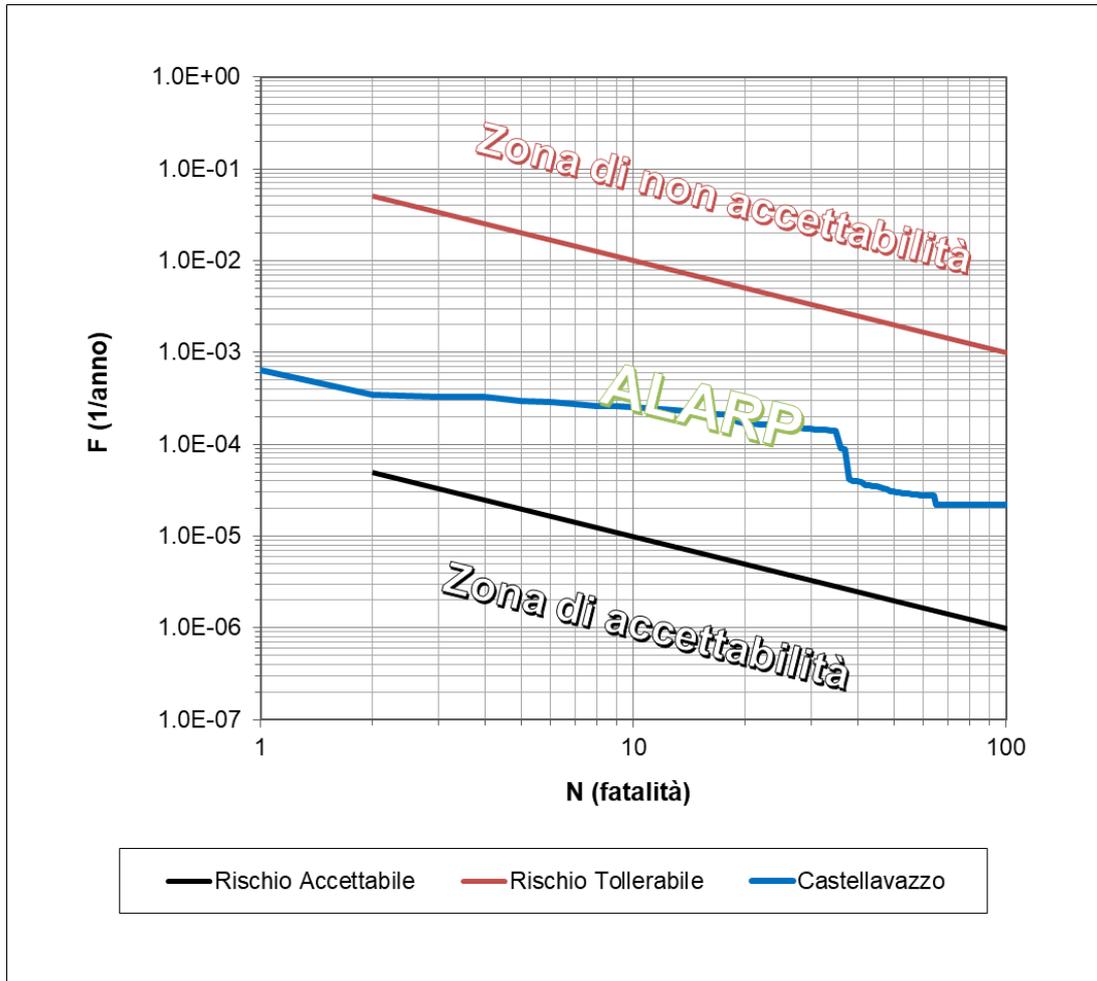


Figura 23 – Curva cumulata complementare complessiva

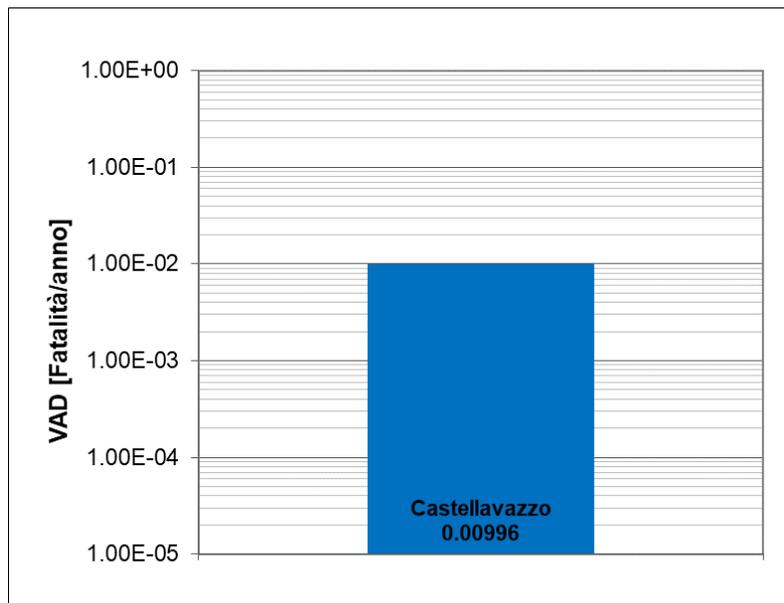


Figura 24 – VAD complessivo

4 CONCLUSIONI

Il presente documento costituisce l'Analisi di Rischio del Progetto della Sicurezza della galleria Castellavazzo ubicata lungo la S.S.51 “Alemagna” – Variante di Longarone, nel comune di Longarone (BL), in fase di progettazione.

L'analisi di rischio è stata condotta sulla base delle indicazioni contenute:

- nella direttiva comunitaria 2004/54/CE;
- nel Decreto Legislativo n. 264 del 5 Ottobre 2006 e successive modifiche;
- alle Linee Guide sviluppate da ANAS S.p.A nel 2006 e revisionate nel 2009.

Il documento è redatto in riferimento al D.Lgs n° 264 del 5/10/2006: “Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea” e successive modifiche, poiché rappresenta la normativa di riferimento per le gallerie di lunghezza superiore ai 500 m, seppur la galleria in progetto non rientra nel campo di applicazione dello stesso poiché non appartenente alla rete stradale transeuropea.

L'analisi di rischio è stata effettuata mediante il calcolo separato del contributo in termini di curva cumulata complementare dei veicoli ordinari e dei veicoli adibiti al trasporti di merci pericolose da cui è stata successivamente la curva complessiva da confrontare con i limiti fissati al paragrafo 4 dell'allegato 3 al D. Lgs 264/06.

Gli indicatori quantitativi del rischio, adottati per rappresentare i risultati dell'analisi di rischio, in accordo alle indicazioni del Decreto Legislativo n. 264/2006, sono:

- il rischio sociale rappresentato come curva cumulata complementare riportata sul piano F-N;
- il valore atteso del danno (VAD) determinato come area sottesa dalla curva cumulata complementare.

L'analisi del rischio della galleria Castellavazzo redatta:

- sulla base dei dati forniti dalla Committenza;
- con la metodologia prevista dal Decreto Legislativo n. 264 del 5 ottobre 2006 “Attuazione della Direttiva Europea n. 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea”;
- tenendo conto delle incertezze associate alle elaborazioni svolte;

ha evidenziato che:

- la distribuzione del rischio della galleria è sempre al di sotto del limite di tollerabilità e nella parte centrale della zona ALARP,
- il valore atteso del Danno stimato risulta coerente rispetto alle dotazioni di sicurezza previste.

La galleria è dotata di misure di sicurezza integrative quali le uscite di emergenza ogni 300 m che possono consentire, considerati anche la ridotta lunghezza della galleria, il volume di traffico e la ridotta percentuale di veicoli pesanti, di supportare, in termini di rischio residuo la scelta di un sistema di ventilazione di tipo longitudinale. Considerate la lunghezza e la bidirezionalità del traffico del sistema galleria, al fine di mantenere il livello di rischio ai livelli stimati, si raccomanda al Gestore, in fase di messa in servizio della galleria, di:

- realizzare e collaudare un sistema di gestione della ventilazione mediante controllo della velocità longitudinale che sia in grado di gestire in modo semplice ed affidabile tutti gli scenari possibili, che non favorisca la crescita dell'incendio controllando la velocità dell'aria in prossimità del focolaio, i cui algoritmi, basati sulle logiche definite nel redigendo progetto esecutivo, tengano in conto in modo specifico, affidabile ed efficace degli scenari consentendo anche di prevenire condizioni iniziali potenzialmente dannose per la gestione dell'evento in particolare in presenza di merci pericolose, potenze di incendio superiori a 30 MW e di condizioni meteo e di traffico critiche,
- verificare in fase di progettazione ed approvazione dei materiali le caratteristiche dei calcestruzzi affinché siano caratterizzati da una ridotta probabilità di spalling in particolare nelle fasi di esodo e nelle fasi di accesso dei servizi di soccorso, per quest'ultima fase prevedere procedure di accesso coordinate con la gestione della ventilazione finalizzate a realizzare una zona sicura per le operazioni di spegnimento,
- verificare che l'impianto di alimentazione elettrica consenta l'avviamento dei ventilatori in tempi compatibili con la buona pratica progettuale nel rispetto delle procedure di gestione dell'impianto,
- verificare l'efficacia e l'affidabilità, comprese trasmissione dati e alimentazione elettrica, del sistema di rilevazione degli eventi (incendi, incidenti) che deve minimizzare le tempistiche di attivazione delle procedure di emergenza da cui dipende una sua gestione efficace,
- verificare l'efficacia e l'affidabilità, comprese trasmissione dati e alimentazione elettrica, dei sistemi di comunicazione agli utenti e di controllo del traffico all'interno della galleria in caso di emergenza,
- l'impianto di ventilazione deve essere soggetto, in fase di commissioning, a una verifica delle prestazioni e di messa a punto mediante misure in campo, in particolare relativamente al controllo della velocità longitudinale,
- porre in essere specifiche procedure di gestione delle emergenze finalizzate alla gestione del traffico dell'intera tratta stradale, alla gestione dell'esodo ed all'individuazione di punti di raccolta per gli utenti, in particolare per tenere conto degli eventi incidentali che coinvolgono merci pericolose,
- definire ed attuare idonei piani di manutenzione,
- disporre di un'organizzazione in grado di gestire in modo efficace le situazioni ordinarie e di emergenza secondo procedure aziendali consolidate,
- monitorare in modo continuo le variabili che influenzano il livello di sicurezza della galleria, quali: le caratteristiche del traffico, il regime di traffico, le condizioni meteo, l'efficienza e lo stato di manutenzione dei sistemi e dei singoli dispositivi valutando il livello di sicurezza della galleria in tutte le condizioni,
- definire in modo specifico per ciascun tratto di galleria le cantierizzazioni per le attività di manutenzione utilizzando al meglio tutti i sistemi di comunicazione previsti e programmando tali attività nei periodi di minor traffico, porre in essere tutte le misure per limitare la probabilità di congestione e verificare costantemente il valore della probabilità di congestione stessa.

ALLEGATO 1: alberi degli eventi e frequenze di accadimento

EVENTO CRITICO	DRENAGGIO	RILEVAZIONE	COMUNICAZIONE	SPENNAMENTO	VENTILAZIONE	ILLUMINAZIONE	FREQUENZE	SCENARIO
						0.90	0.00000000	1
					0.85	0.10	0.00000000	2
				0.00		0.90	0.00000000	3
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	4
					0.85	0.90	0.00000000	5
				1.00		0.10	0.00000000	6
					0.90	0.10	0.00000000	7
		0.90			0.85	0.90	0.00000000	8
					0.15	0.10	0.00000000	9
			0.05	0.00		0.90	0.00000000	10
					0.85	0.10	0.00000000	11
				1.00		0.90	0.00000000	12
					0.15	0.10	0.00000000	13
					0.85	0.90	0.00000000	14
	0.00				0.10	0.10	0.00000000	15
				0.00		0.90	0.00000000	16
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	17
					0.85	0.90	0.00000000	18
				1.00		0.10	0.00000000	19
					0.90	0.10	0.00000000	20
					0.85	0.10	0.00000000	21
					0.15	0.90	0.00000000	22
		0.10			0.85	0.10	0.00000000	23
				0.00		0.90	0.00000000	24
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	25
					0.85	0.90	0.00000000	26
				1.00		0.10	0.00000000	27
					0.90	0.10	0.00000000	28
					0.85	0.10	0.00000000	29
					0.15	0.90	0.00000000	30
					0.85	0.10	0.00000000	31
					0.15	0.10	0.00000000	32
					0.85	0.90	0.00000000	33
B2 INCENDI VL (4 MW)						0.90	0.00000000	34
0.06944101				0.00		0.10	0.00000000	35
					0.15	0.10	0.00000000	36
			0.95		0.85	0.90	0.04541963	37
				1.00		0.10	0.00504663	38
					0.90	0.10	0.00801523	39
		0.90			0.15	0.10	0.00089058	40
					0.85	0.90	0.00000000	41
				0.00		0.90	0.00000000	42
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	43
					0.85	0.90	0.00239051	44
				1.00		0.10	0.00026561	45
					0.15	0.90	0.00042185	46
	1.00				0.85	0.10	0.00004687	47
					0.90	0.10	0.00000000	48
				0.00		0.85	0.00000000	49
					0.15	0.10	0.00000000	50
			0.95		0.85	0.90	0.00000000	51
				1.00		0.10	0.00504663	52
					0.90	0.10	0.00056074	53
					0.15	0.10	0.00089058	54
					0.85	0.90	0.00009895	55
		0.10			0.90	0.10	0.00000000	56
				0.00		0.85	0.00000000	57
					0.15	0.10	0.00000000	58
			0.05		0.85	0.90	0.00026561	59
					0.90	0.10	0.00000000	60
				1.00		0.15	0.00002951	61
					0.85	0.90	0.00004687	62
					0.15	0.10	0.00000521	63
					0.85	0.90	0.00000521	64

EVENTO CRITICO	DRENAGGIO	RILEVAZIONE	COMUNICAZIONE	SPEGNIMENTO	VENTILAZIONE	ILLUMINAZIONE	FREQUENZE	SCENARIO
						0.90	0.00000000	1
					0.85	0.10	0.00000000	2
				0.00		0.90	0.00000000	3
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	4
					0.85	0.90	0.00000000	5
				1.00		0.10	0.00000000	6
					0.90	0.10	0.00000000	7
		0.90			0.85	0.90	0.00000000	8
					0.15	0.10	0.00000000	9
			0.95		0.85	0.10	0.00000000	10
				0.00		0.90	0.00000000	11
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	12
					0.85	0.90	0.00000000	13
				1.00		0.10	0.00000000	14
					0.90	0.10	0.00000000	15
	0.00				0.85	0.10	0.00000000	16
				0.00		0.90	0.00000000	17
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	18
					0.85	0.90	0.00000000	19
				1.00		0.10	0.00000000	20
		0.10			0.90	0.10	0.00000000	21
					0.85	0.10	0.00000000	22
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	23
					0.85	0.90	0.00000000	24
				1.00		0.10	0.00000000	25
					0.90	0.10	0.00000000	26
			0.95		0.85	0.10	0.00000000	27
				0.00		0.90	0.00000000	28
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	29
					0.85	0.90	0.00000000	30
				1.00		0.10	0.00000000	31
					0.90	0.10	0.00000000	32
B3 INCENDI VL (8 MW)						0.90	0.00000000	33
0.00141716						0.85	0.00000000	34
				0.00		0.90	0.00000000	35
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	36
					0.85	0.90	0.00092693	37
				1.00		0.10	0.00010299	38
			0.95		0.85	0.90	0.00016358	39
		0.90			0.15	0.10	0.00001818	40
					0.85	0.90	0.00000000	41
				0.00		0.90	0.00000000	42
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	43
					0.85	0.90	0.00004879	44
				1.00		0.10	0.00000542	45
					0.90	0.10	0.00000861	46
	1.00				0.15	0.10	0.00000096	47
					0.85	0.90	0.00000000	48
				0.00		0.90	0.00000000	49
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	50
					0.85	0.90	0.00000000	51
				1.00		0.10	0.00010299	52
			0.05		0.85	0.10	0.00001144	53
					0.90	0.10	0.00001818	54
		0.10			0.15	0.10	0.00000202	55
					0.85	0.90	0.00000000	56
				0.00		0.90	0.00000000	57
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	58
					0.85	0.90	0.00000000	59
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	60
					0.85	0.90	0.00000542	61
				1.00		0.10	0.00000060	62
					0.90	0.10	0.00000096	63
					0.15	0.10	0.00000011	64

GALLERIA CASTELLAVAZZO – S.S.51 “ALEMAGNA” – VARIANTE DI LONGARONE

EVENTO CRITICO	DRENAGGIO	RILEVAZIONE	COMUNICAZIONE	SPEGNIMENTO	VENTILAZIONE	ILLUMINAZIONE	FREQUENZE	SCENARIO
						0.90	0.00000000	1
					0.85	0.10	0.00000000	2
				0.00		0.90	0.00000000	3
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	4
					0.85	0.90	0.00000000	5
				1.00		0.10	0.00000000	6
					0.90	0.10	0.00000000	7
		0.90			0.85	0.90	0.00000000	8
					0.15	0.10	0.00000000	9
				0.00		0.90	0.00000000	10
			0.05		0.85	0.10	0.00000000	11
				1.00		0.90	0.00000000	12
					0.15	0.10	0.00000000	13
					0.85	0.90	0.00000000	14
	0.00				0.10	0.10	0.00000000	15
				0.00		0.90	0.00000000	16
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	17
				1.00		0.90	0.00000000	18
					0.85	0.10	0.00000000	19
					0.15	0.90	0.00000000	20
				0.00		0.10	0.00000000	21
				1.00		0.90	0.00000000	22
		0.10			0.85	0.10	0.00000000	23
					0.15	0.10	0.00000000	24
				0.00		0.90	0.00000000	25
			0.05		0.85	0.10	0.00000000	26
				1.00		0.90	0.00000000	27
					0.15	0.10	0.00000000	28
					0.85	0.90	0.00000000	29
				0.00		0.10	0.00000000	30
				1.00		0.90	0.00000000	31
					0.15	0.10	0.00000000	32
					0.85	0.10	0.00000000	33
C2 INCENDI VP (15 MW)						0.90	0.00000000	34
0.00082284				0.00		0.90	0.00000000	35
					0.15	0.10	0.00000000	36
			0.95			0.90	0.00053820	37
				1.00	0.85	0.10	0.00005980	38
					0.15	0.90	0.00009498	39
		0.90			0.10	0.10	0.00001055	40
					0.85	0.90	0.00000000	41
				0.00		0.90	0.00000000	42
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	43
				1.00		0.90	0.00002833	44
					0.85	0.10	0.00000315	45
					0.15	0.90	0.00000500	46
	1.00				0.10	0.10	0.00000056	47
					0.85	0.90	0.00000000	48
				0.00		0.90	0.00000000	49
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	50
				1.00		0.90	0.00005980	51
					0.85	0.10	0.0000664	52
					0.15	0.90	0.00001055	53
				0.00		0.10	0.00000117	54
		0.10			0.85	0.90	0.00000000	55
					0.15	0.10	0.00000000	56
				0.00		0.90	0.00000000	57
			0.05		0.85	0.10	0.00000000	58
				1.00		0.90	0.00000315	59
					0.15	0.10	0.00000035	60
					0.85	0.90	0.00000056	61
				0.00		0.10	0.00000006	62
				1.00		0.90	0.00000056	63
					0.15	0.10	0.00000006	64

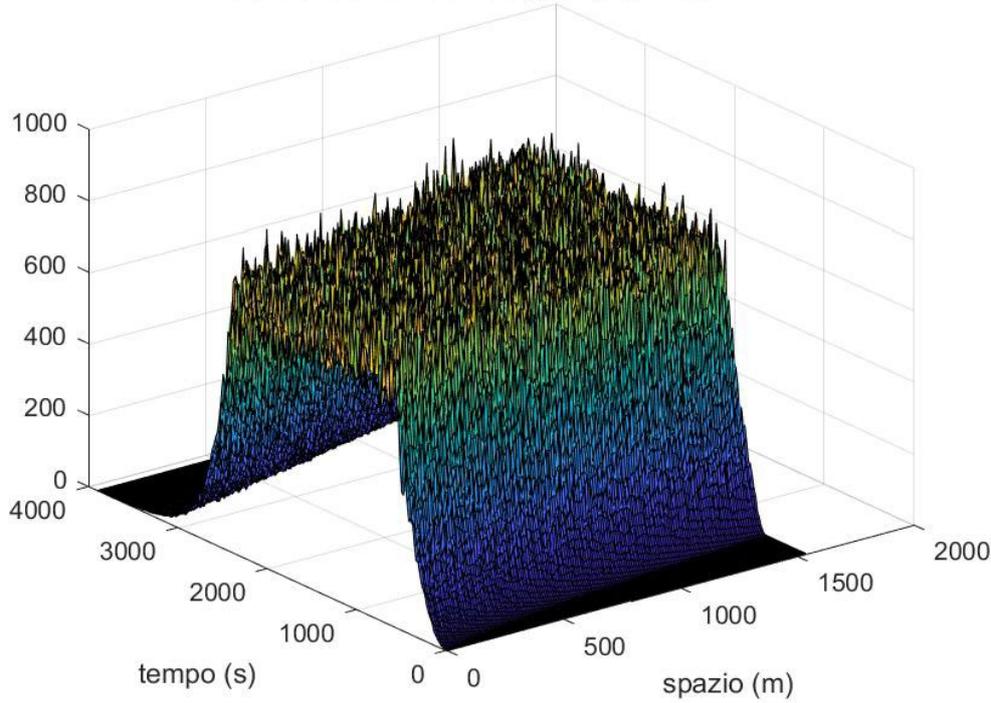
EVENTO CRITICO	DRENAGGIO	RILEVAZIONE	COMUNICAZIONE	SPEGNIMENTO	VENTILAZIONE	ILLUMINAZIONE	FREQUENZE	SCENARIO
						0.90	0.00000000	1
					0.85	0.10	0.00000000	2
				0.00		0.90	0.00000000	3
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	4
					0.85	0.90	0.00000000	5
				1.00		0.10	0.00000000	6
					0.90	0.90	0.00000000	7
		0.90			0.15	0.10	0.00000000	8
					0.85	0.90	0.00000000	9
				0.00		0.10	0.00000000	10
			0.05		0.15	0.90	0.00000000	11
					0.85	0.10	0.00000000	12
				1.00		0.90	0.00000000	13
					0.15	0.10	0.00000000	14
					0.85	0.90	0.00000000	15
	0.00				0.15	0.10	0.00000000	16
					0.90	0.90	0.00000000	17
				0.00		0.10	0.00000000	18
			0.95		0.15	0.90	0.00000000	19
					0.85	0.10	0.00000000	20
				1.00		0.90	0.00000000	21
		0.10			0.15	0.10	0.00000000	22
					0.85	0.90	0.00000000	23
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	24
					0.85	0.90	0.00000000	25
				0.00		0.10	0.00000000	26
					0.15	0.90	0.00000000	27
				1.00		0.10	0.00000000	28
			0.05		0.85	0.90	0.00000000	29
					0.15	0.10	0.00000000	30
				1.00		0.90	0.00000000	31
					0.85	0.10	0.00000000	32
					0.90	0.90	0.00000000	33
C3 INCENDI VP (30 MW)					0.85	0.10	0.00000000	34
0.00012734				0.00		0.90	0.00000000	35
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	36
					0.85	0.90	0.00008329	37
				1.00		0.10	0.00000925	38
					0.90	0.90	0.00001470	39
		0.90			0.15	0.10	0.00000163	40
					0.85	0.90	0.00000000	41
				0.00		0.10	0.00000000	42
			0.05		0.15	0.90	0.00000000	43
					0.85	0.10	0.00000438	44
				1.00		0.90	0.00000049	45
					0.15	0.10	0.00000077	46
					0.85	0.90	0.00000009	47
	1.00				0.15	0.10	0.00000000	48
					0.90	0.90	0.00000000	49
				0.00		0.10	0.00000000	50
			0.95		0.15	0.90	0.00000000	51
					0.85	0.10	0.00000925	52
				1.00		0.90	0.00000103	53
					0.15	0.10	0.00000163	54
		0.10			0.85	0.90	0.00000018	55
					0.90	0.10	0.00000000	56
				0.00		0.90	0.00000000	57
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	58
					0.85	0.90	0.00000000	59
				1.00		0.10	0.00000000	60
					0.85	0.90	0.00000049	61
					0.15	0.10	0.00000005	62
				1.00		0.90	0.00000009	63
					0.85	0.10	0.00000001	64

EVENTO CRITICO	DRENAGGIO	RILEVAZIONE	COMUNICAZIONE	SPEGNIMENTO	VENTILAZIONE	ILLUMINAZIONE	FREQUENZE	SCENARIO
						0.90	0.00000000	1
					0.85	0.10	0.00000000	2
				0.00		0.90	0.00000000	3
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	4
					0.85	0.90	0.00000000	5
				1.00		0.10	0.00000000	6
					0.90	0.10	0.00000000	7
		0.90			0.85	0.90	0.00000000	8
					0.15	0.10	0.00000000	9
			0.95		0.85	0.10	0.00000000	10
				0.00		0.90	0.00000000	11
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	12
					0.85	0.90	0.00000000	13
				1.00		0.10	0.00000000	14
					0.90	0.10	0.00000000	15
	0.00				0.85	0.10	0.00000000	16
				0.00		0.90	0.00000000	17
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	18
					0.85	0.90	0.00000000	19
				1.00		0.10	0.00000000	20
		0.10			0.90	0.10	0.00000000	21
					0.85	0.10	0.00000000	22
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	23
					0.85	0.90	0.00000000	24
				1.00		0.10	0.00000000	25
					0.90	0.10	0.00000000	26
			0.95		0.85	0.10	0.00000000	27
				0.00		0.90	0.00000000	28
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	29
					0.85	0.90	0.00000000	30
				1.00		0.10	0.00000000	31
					0.90	0.10	0.00000000	32
C4 INCENDI VP (50 MW)						0.90	0.00000000	33
0.00001959					0.85	0.10	0.00000000	34
				0.00		0.90	0.00000000	35
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	36
					0.85	0.90	0.00001281	37
				1.00		0.10	0.00000142	38
					0.90	0.10	0.00000226	39
		0.90			0.15	0.10	0.00000025	40
					0.85	0.90	0.00000000	41
			0.95		0.85	0.10	0.00000000	42
				0.00		0.90	0.00000000	43
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	44
					0.85	0.90	0.00000067	45
				1.00		0.10	0.00000007	46
					0.90	0.10	0.00000012	47
	1.00				0.15	0.10	0.00000001	48
					0.85	0.90	0.00000000	49
				0.00		0.10	0.00000000	50
					0.90	0.10	0.00000000	51
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	52
					0.85	0.90	0.00000142	53
				1.00		0.10	0.00000016	54
					0.90	0.10	0.00000025	55
		0.10			0.15	0.10	0.00000003	56
					0.85	0.90	0.00000000	57
					0.15	0.10	0.00000000	58
			0.05		0.85	0.10	0.00000000	59
				0.00		0.90	0.00000000	60
					0.15	0.10	0.00000000	61
					0.85	0.90	0.00000007	62
				1.00		0.10	0.00000001	63
					0.90	0.10	0.00000000	64

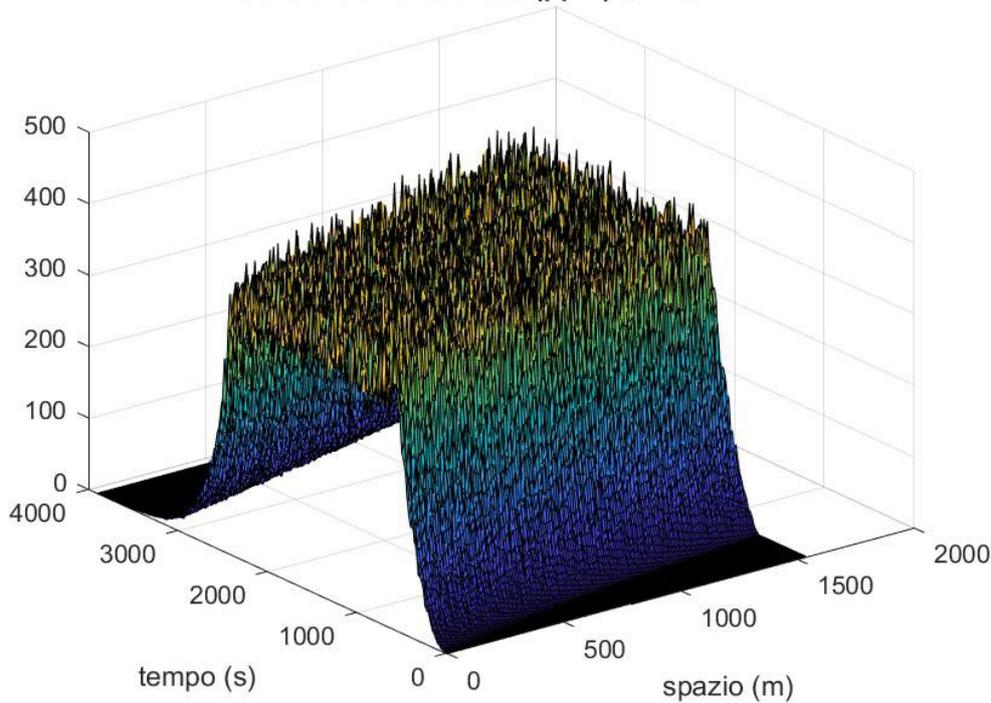
EVENTO CRITICO	DRENAGGIO	RILEVAZIONE	COMUNICAZIONE	SPEGNIMENTO	VENTILAZIONE	ILLUMINAZIONE	FREQUENZE	SCENARIO	
						0.90	0.00000000	1	
					0.85	0.10	0.00000000	2	
				0.00		0.90	0.00000000	3	
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	4	
					0.85	0.90	0.00000000	5	
				1.00		0.10	0.00000000	6	
					0.90	0.10	0.00000000	7	
					0.15	0.10	0.00000000	8	
		0.90				0.90	0.00000000	9	
					0.85	0.10	0.00000000	10	
				0.00		0.90	0.00000000	11	
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	12	
					0.85	0.90	0.00000000	13	
				1.00		0.10	0.00000000	14	
					0.90	0.10	0.00000000	15	
					0.15	0.10	0.00000000	16	
	0.00					0.90	0.00000000	17	
					0.85	0.10	0.00000000	18	
				0.00		0.90	0.00000000	19	
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	20	
					0.85	0.90	0.00000000	21	
				1.00		0.10	0.00000000	22	
					0.90	0.10	0.00000000	23	
		0.10			0.15	0.10	0.00000000	24	
					0.85	0.90	0.00000000	25	
				0.00		0.10	0.00000000	26	
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	27	
					0.85	0.90	0.00000000	28	
				1.00		0.10	0.00000000	29	
					0.90	0.10	0.00000000	30	
					0.15	0.10	0.00000000	31	
					0.85	0.10	0.00000000	32	
CS INCENDI VP (100 MW)						0.90	0.00000000	33	
0.00000980						0.85	0.10	0.00000000	34
				0.00		0.90	0.00000000	35	
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	36	
					0.85	0.90	0.00000641	37	
				1.00		0.10	0.00000071	38	
					0.90	0.10	0.00000113	39	
					0.15	0.10	0.00000013	40	
		0.90				0.90	0.00000000	41	
					0.85	0.10	0.00000000	42	
				0.00		0.90	0.00000000	43	
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	44	
					0.85	0.90	0.00000034	45	
				1.00		0.10	0.00000004	46	
					0.90	0.10	0.00000006	47	
					0.15	0.10	0.00000001	48	
	1.00					0.90	0.00000000	49	
					0.85	0.10	0.00000000	50	
				0.00		0.90	0.00000000	51	
			0.95		0.15	0.10	0.00000000	52	
					0.85	0.90	0.00000071	53	
				1.00		0.10	0.00000008	54	
					0.90	0.10	0.00000013	55	
		0.10			0.15	0.10	0.00000001	56	
					0.85	0.10	0.00000000	57	
				0.00		0.90	0.00000000	58	
			0.05		0.15	0.10	0.00000000	59	
					0.85	0.90	0.00000004	60	
				1.00		0.10	0.00000000	61	
					0.90	0.10	0.00000000	62	
					0.15	0.10	0.00000001	63	
					0.85	0.10	0.00000000	64	

ALLEGATO 2: flusso del pericolo modello PRO- SECURITATE

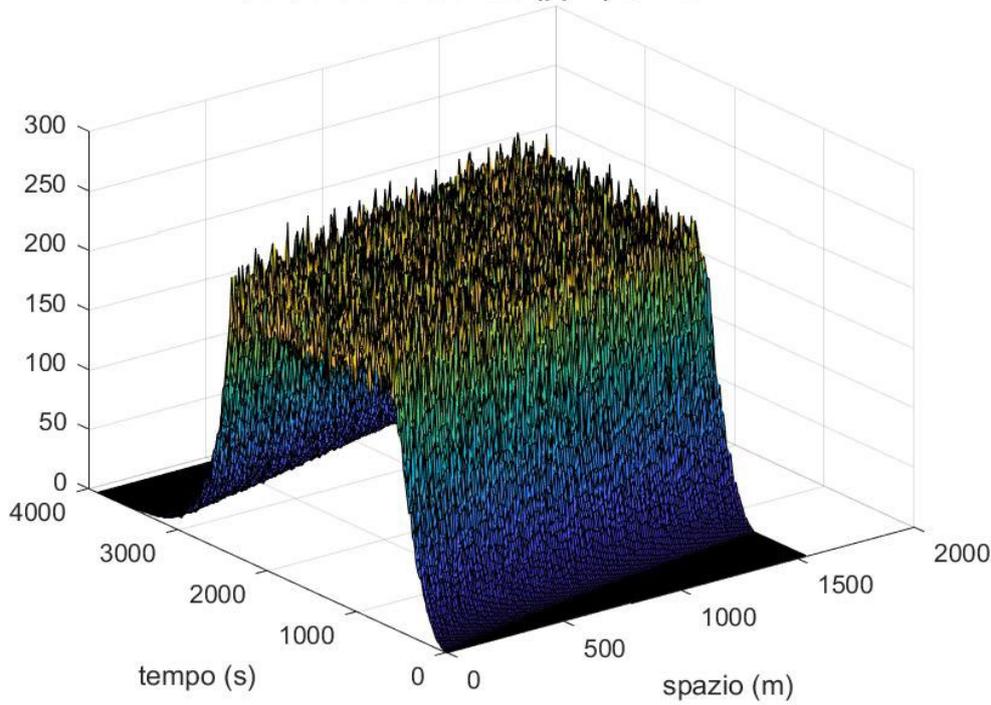
concentrazione di CO (ppm) Q = 100 MW



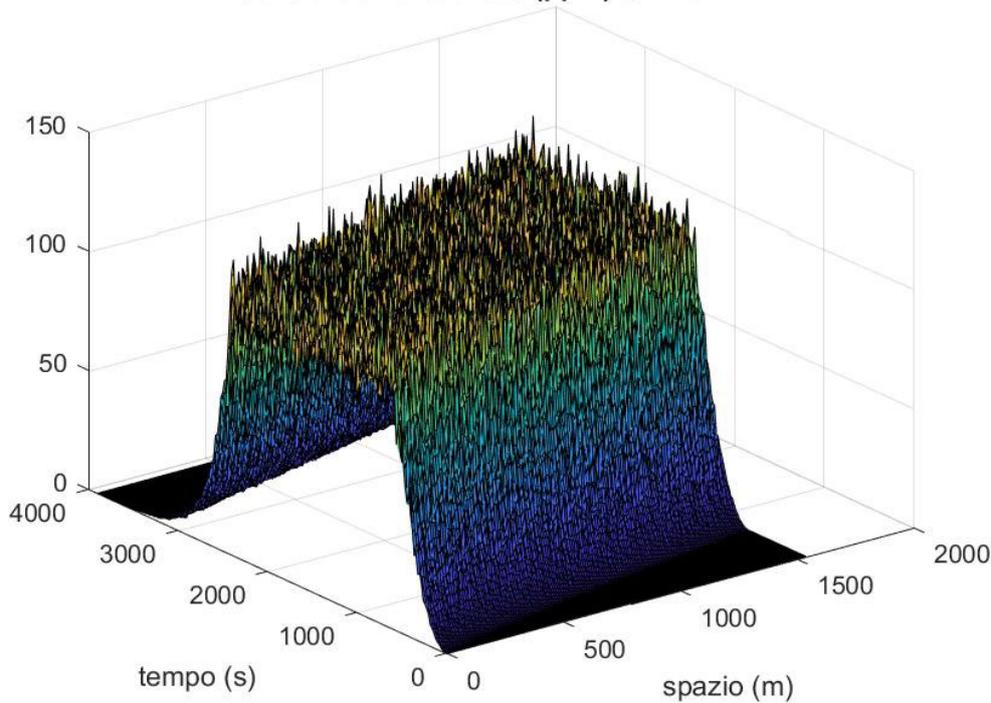
concentrazione di CO (ppm) Q = 50 MW



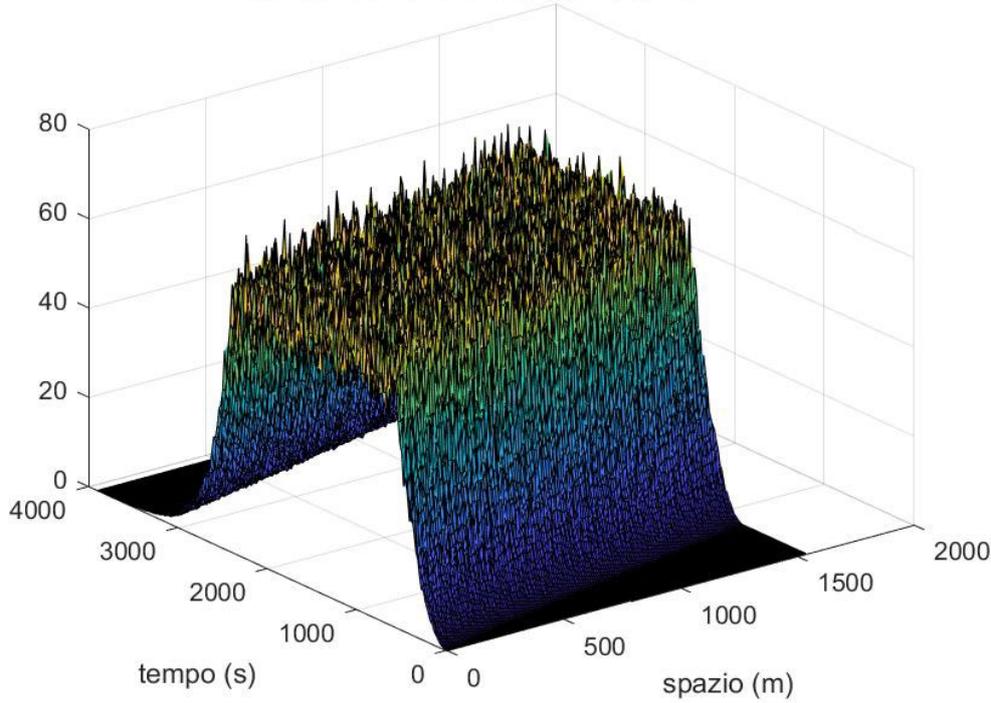
concentrazione di CO (ppm) Q = 30 MW



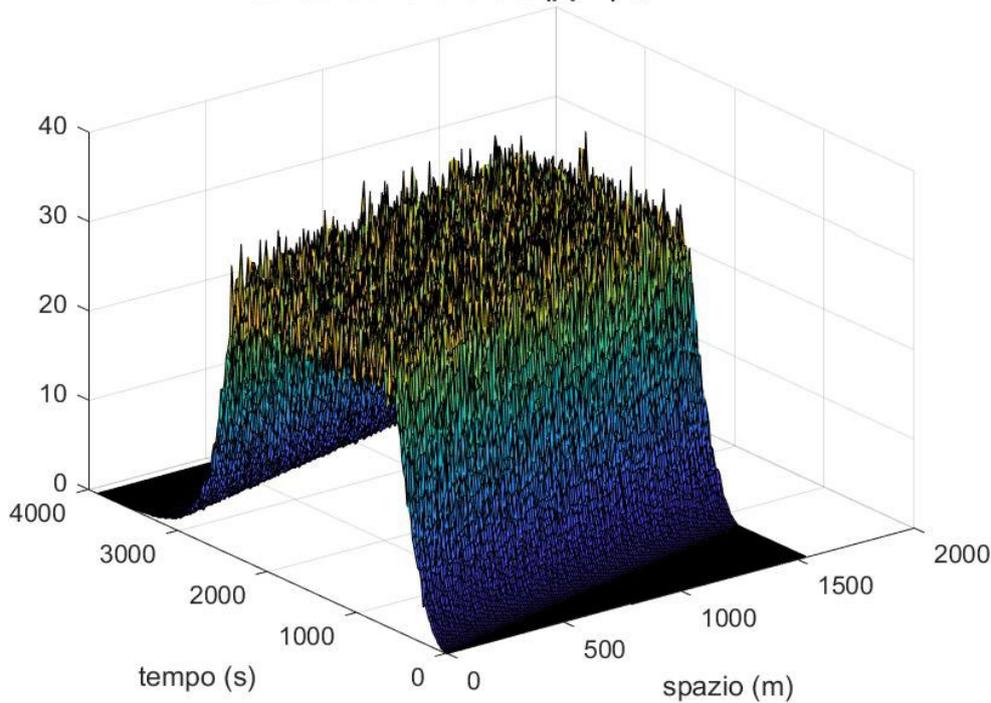
concentrazione di CO (ppm) Q = 15 MW



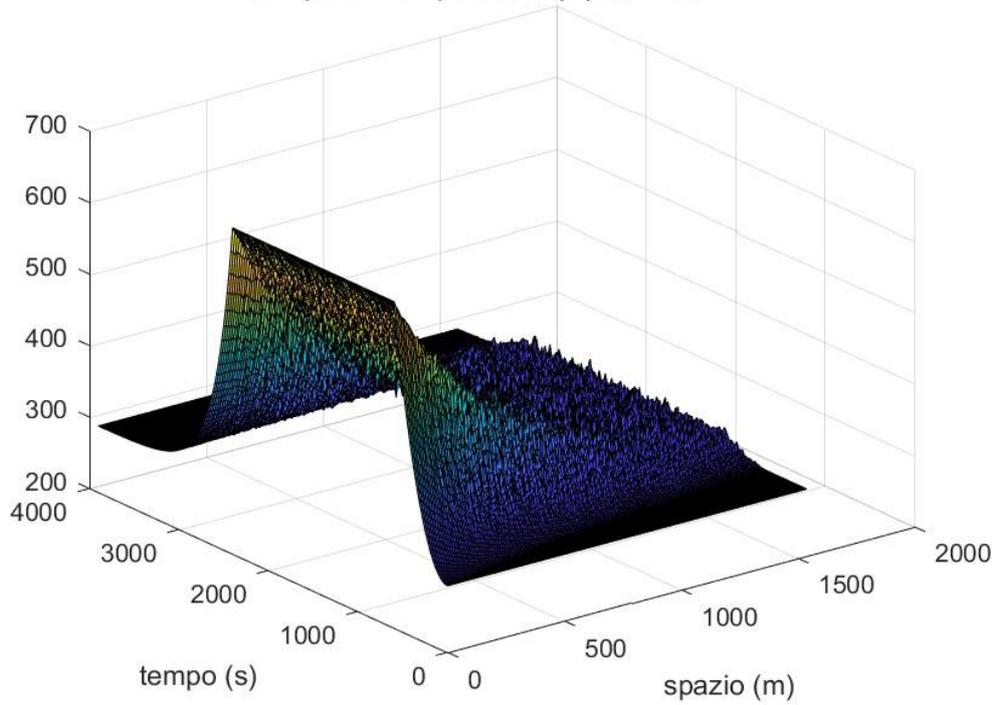
concentrazione di CO (ppm) Q = 8 MW



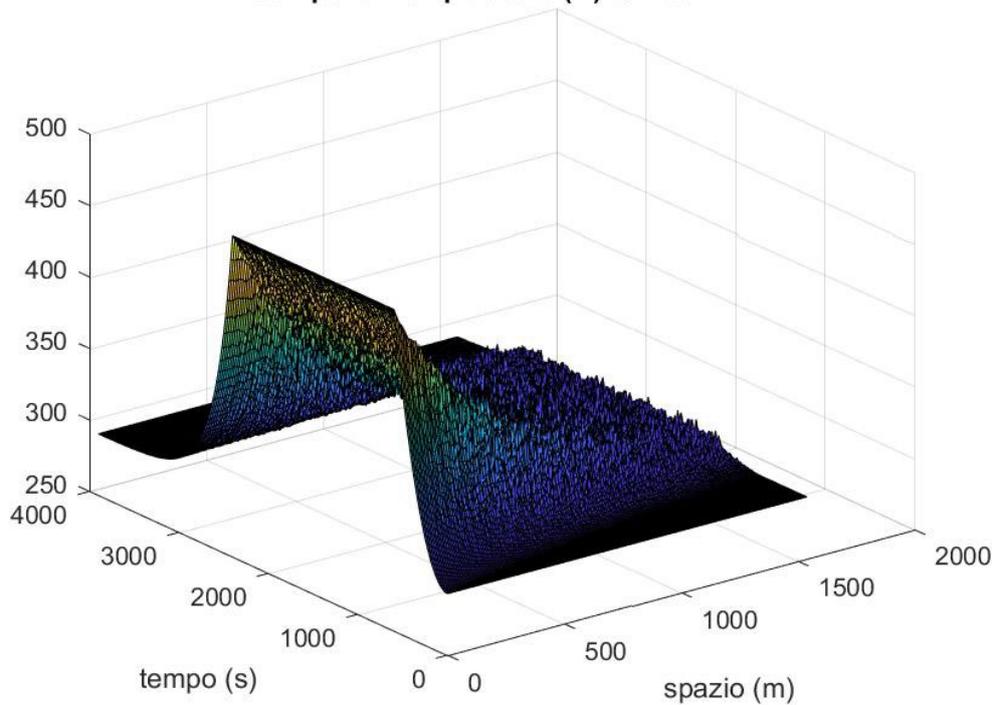
concentrazione di CO (ppm) Q = 4 MW



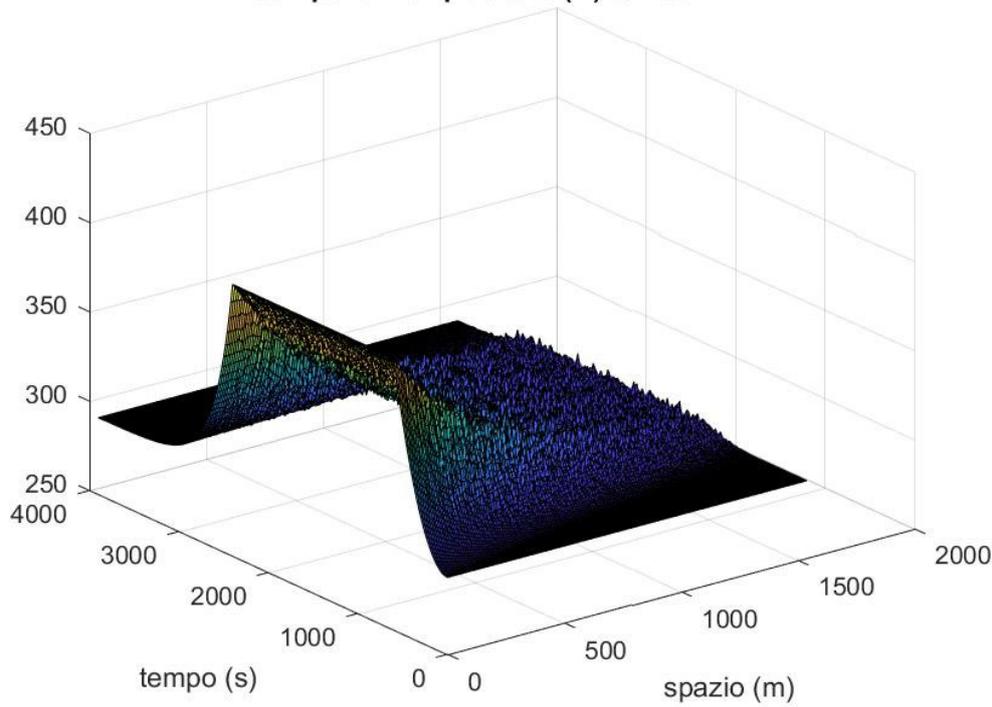
Campo di Temperatura (K) Q = 100 MW



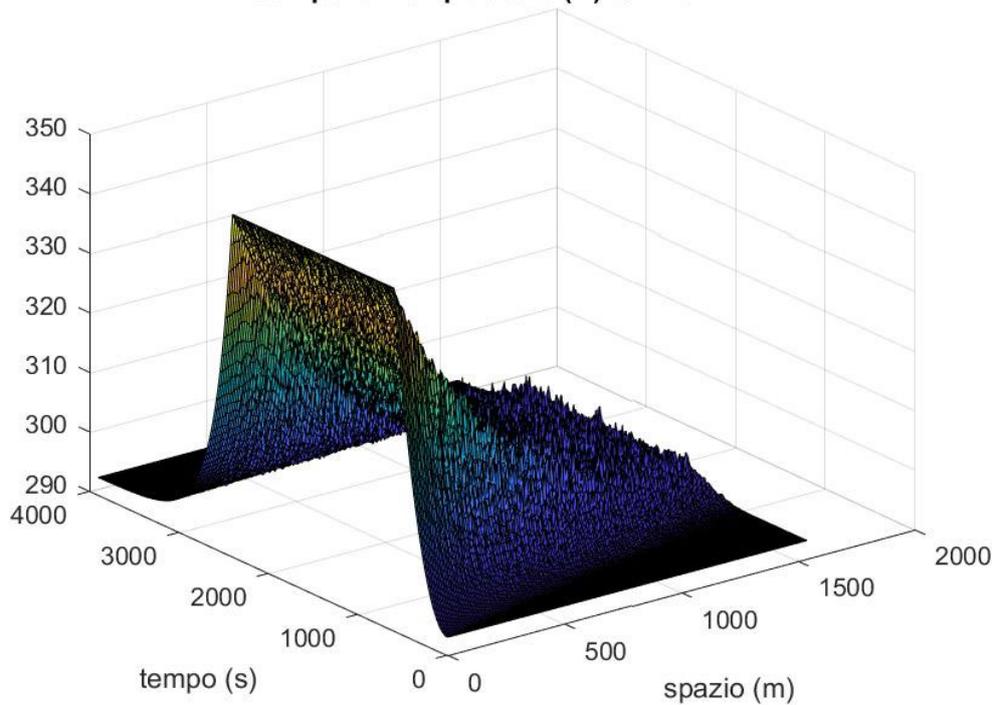
Campo di Temperatura (K) Q = 50 MW



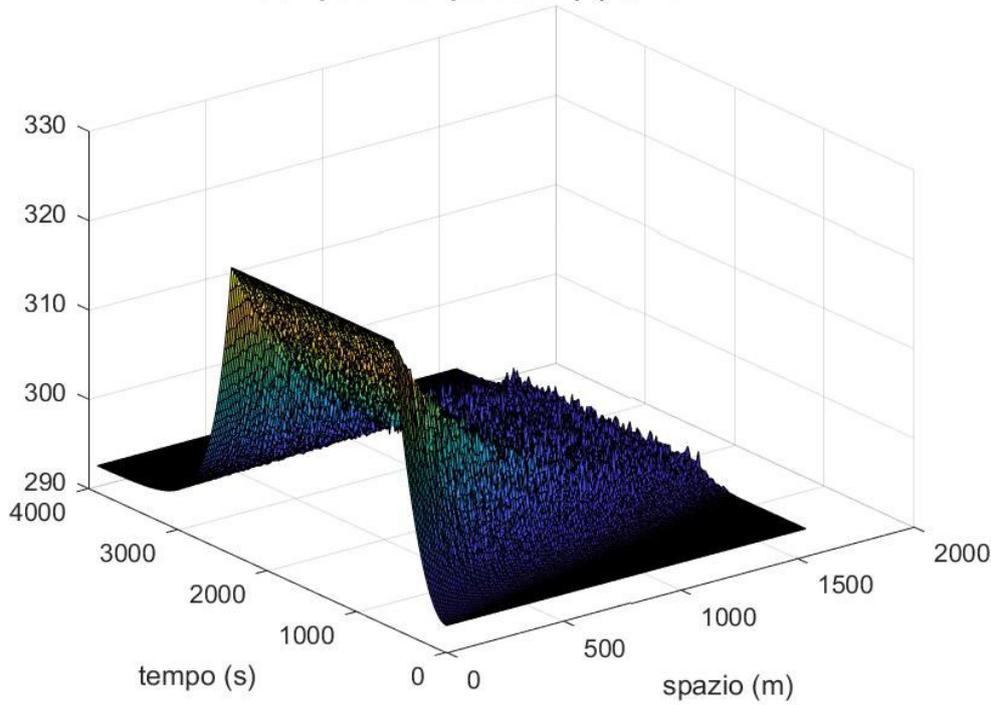
Campo di Temperatura (K) Q = 30 MW



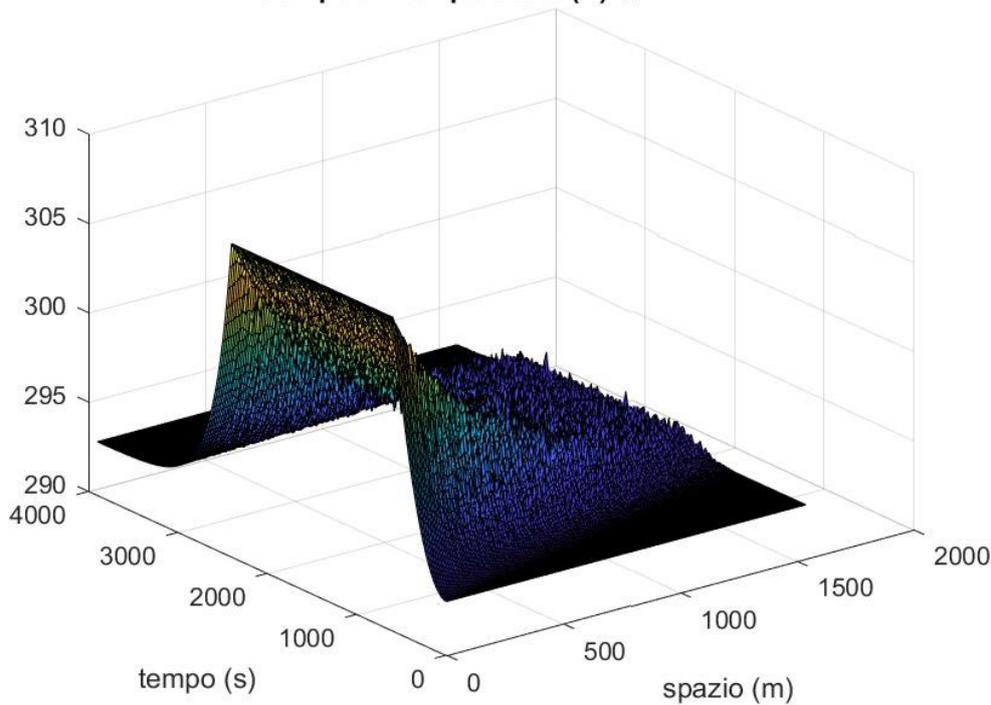
Campo di Temperatura (K) Q = 15 MW



Campo di Temperatura (K) Q = 8 MW



Campo di Temperatura (K) Q = 4 MW



ALLEGATO 3: dati di input modello PRO-SECURITATE

nome galleria	Castellavazzo		
galleria stradale/ferroviaria (0/1)	0		
galleria monodirezionale/bidirezionale (0/1)	1		
lunghezza (L)	1545 m		
larghezza (W)	12.9 m		
altezza (H)	7.85 m		
sezione (A)	80 m ²		
perimetro (P)	32 m		
pendenza media (SL)	0.81 %		
numero corsie per fornice (nc)	2		
numero fornici (nt)	1		
traffico giornaliero medio (TGM)	11050 veh/giorno		
velocità media veicoli (VHM)	84 km/h		
frazione veicoli pesanti	0.0524		
merci pericolose (1/0)	0		
tasso di incidentalità	4.00E-06		
drenaggio (1/0)	0 affidabilità		0
rilevazione (1/0)	1 affidabilità		0.9
Comunicazione (1/0)	1 affidabilità		0.95
spegnimento (1/0)	0 affidabilità		0
illuminazione (1/0)	1 affidabilità		0.9
ventilazione (1/0)	1 affidabilità		0.85
tipo impianto ventilazione (assente=0, longitudinale=1, semi-trasversale=2, trasversale =3)	1		
potenza dimensionamento impianto di ventilazione	30 MW		
interdistanza vie di fuga (Lv)	300 m		
deviazione standard di Lv (sdLv)	0 m		
tempo di rilevazione	180 s		
tempo di chiusura galleria	120 s		
numero simulazioni Monte Carlo	200		
simulazione esodo ON/OFF (1/0)	1		
approccio deterministico/stocastico (1/0)	0		
plot figure	2		

ALLEGATO 4: dati di input modello DG-QRAM

cross-section geometry					
effective width	W	m	11		
effective height	H	m	7.3		
open cross-sectional area	A	m ²	80.3		
camber	Cam	%	0.3		
lengthwise geometry					
...segments (homogeneous - ventilation, gradient)					
total number of segments	Ns	-	2		
segment number			1	2	
segment lengths	Xs	m	1320	225	
total length of tunnel	Xt	m	1545		
segment gradient	Gs	%	1.01	-0.35	
...nodes (segment start and end points)					
total number of nodes	Nn	-	3		
node number			1	2	3
location of node	Xn	m	0	1320	1545
ventilation - normal					
...segments					
segment number			1	2	
volume flow rate extracted from tunnel	VsN	m ³ /s	0	0	
...nodes (segment start and end points)					
node number			1	2	3
volume flow rate along tunnel at nodes	VnN	m ³ /s	-80	-80	-80
ventilation - emergency					
number of emergency ventilation regimes	nE	-	1		
time taken to activate emergency ventilation	tE	mins	3		
Warning: This value can					
segment number			1	2	
emergency ventilation regime if accident within this segment	iE	-	1	1	
...volume flow rate extracted from tunnel					
segment number			1	2	
emergency ventilation regime	1		0	0	
...volume flow rate along tunnel					
node number			1	2	3
emergency ventilation regime	1		-120	-120	-120

drainage			
open area of discrete drains or continuous slot (per Xd m)	Ad	m ²	0.1
interval between drains, or slot length used to define Ad	Xd	m	20
traffic			
traffic direction (0=bi-directional, 1=A-to-B, -1=B-to-A)	TrDir	-	0
traffic density (0=none, 1=light, 2=normal, 3=peak)	TrDen	-	0.8986122
mitigation measures			
average spacing between emergency exits	Xe	m	300
emergency coms (0=no, 1=bell/siren, 2=PA, 3=PA+CCTV)	Ecom	-	3
tunnel structure			
type of construction (1=drill+blast/tbm, 2=cut+cover)	itype	-	1
ground type (1=bedrock, 2=fragmented, 3=frag/under water)	ground	-	2
internal radius	trad	m	6
lining thickness	dlin	m	0.6
road support thickness	droad	m	0.3
mid-wall thickness	dmidw	m	0
overburden depth	dover	m	6.5
depth of water above solid overburden	dwater	m	20
fire protection lining (0=no, 1=yes)	fprot	-	1
temperature rating	fptemp	degC	1350
time rating	fptime	mins	120

1) Data that are constant all along a route, but that can be modified as a function of time period and travel direction																		
Route name	Castellavazzo_NORMAL																	
Route description	SS51 variante																	
Average number of persons in a car	1.7																	
Average number of persons in a HGV	1																	
Average number of persons in a Bus/Coach	27																	
HDGV traffic (veh/h)	3.253																	
Proportion of each DG type in the whole for :	Scen:	Consider fires for Non-DG HGV? No																
	Ratio:	0.000	0.040	0.600	0.65	0.0002	0.130	0.13	0.13	0.010	0.010	0.010	0.090	0	0	0	0.13	
Remaining part:	0.110																	
Period number:	1																	
Time ratio for this period	1																	
Direction: A+B																		
2) Data that are modifiable as a function of the route, the time period and the travel direction																		
Route characteristics	Section #	Tunnel? (0=NO) (1=YES)	X (m)	Y (m)	Straight line (m)	User defined length (m)	Urban / Rural?	Rk-DG use?	Total traffic (veh/h)	HGV ratio (adim)	Bus / coaches Ratio (adim)	Light vehicles speed (km/h)	HGV/Bus speed (km/h)	Delay (s) for stopping approaching traffic	Number of lanes	First run: User defined or Default frequency?	Accident frequency (/veh.km)	DG transport correction factor
	0		0	0														
	1	1	1545	0	1545	1545	Rural	Sk	776	0.052	0.006	90	70	300	2	2	4.00E-07	5.60E-01

ALLEGATO 5: tabulati risultati analisi di rischio

La tabella riporta i valori delle curve cumulate complementari relative alle merci pericolose (ottenute con il software DG-QRAM e riportate ai valori interi del numero di fatalità mediante un foglio excel con formule), ai trasporti ordinari (ottenute direttamente dal calcolo con il codice PRO-SECURITATE) ed al rischio complessivo ottenuto come somma delle due precedenti colonne. La prima riga denominata VAD riporta i rispettivi Valori Attesi del Danno.

FATALITA'	DG-QRAM probabilità cumulata	PRO-SECURITATE probabilità cumulata	COMPLESSIVO probabilità cumulata
VAD	0.00677	0.00319	0.00996
0	1.69E-04	6.23E-04	7.92E-04
1	1.64E-04	4.78E-04	6.42E-04
2	1.64E-04	1.78E-04	3.42E-04
3	1.64E-04	1.65E-04	3.29E-04
4	1.64E-04	1.62E-04	3.26E-04
5	1.64E-04	1.29E-04	2.93E-04
6	1.64E-04	1.26E-04	2.90E-04
7	1.64E-04	1.12E-04	2.77E-04
8	1.59E-04	1.04E-04	2.63E-04
9	1.59E-04	1.02E-04	2.61E-04
10	1.59E-04	9.18E-05	2.51E-04
11	1.58E-04	8.99E-05	2.48E-04
12	1.58E-04	8.09E-05	2.39E-04
13	1.58E-04	7.98E-05	2.38E-04
14	1.57E-04	7.28E-05	2.30E-04
15	1.52E-04	6.83E-05	2.21E-04
16	1.52E-04	6.74E-05	2.20E-04
17	1.52E-04	5.86E-05	2.11E-04
18	1.52E-04	5.82E-05	2.11E-04
19	1.26E-04	5.24E-05	1.79E-04
20	1.23E-04	4.65E-05	1.70E-04
21	1.23E-04	4.57E-05	1.69E-04
22	1.23E-04	4.13E-05	1.64E-04
23	1.23E-04	4.07E-05	1.64E-04
24	1.23E-04	3.63E-05	1.59E-04
25	1.23E-04	3.33E-05	1.56E-04
26	1.23E-04	3.26E-05	1.55E-04
27	1.23E-04	2.98E-05	1.52E-04
28	1.23E-04	2.93E-05	1.52E-04
29	1.23E-04	2.64E-05	1.49E-04
30	1.23E-04	2.58E-05	1.48E-04
31	1.23E-04	2.24E-05	1.45E-04
32	1.23E-04	2.04E-05	1.43E-04
33	1.23E-04	1.99E-05	1.43E-04
34	1.23E-04	1.67E-05	1.39E-04

35	1.23E-04	1.62E-05	1.39E-04
36	7.62E-05	1.40E-05	9.01E-05
37	7.62E-05	1.26E-05	8.87E-05
38	2.97E-05	1.22E-05	4.19E-05
39	2.97E-05	1.02E-05	3.99E-05
40	2.97E-05	1.01E-05	3.98E-05
41	2.97E-05	8.53E-06	3.82E-05
42	2.97E-05	6.46E-06	3.61E-05
43	2.97E-05	6.15E-06	3.58E-05
44	2.97E-05	5.29E-06	3.49E-05
45	2.97E-05	5.21E-06	3.49E-05
46	2.97E-05	4.26E-06	3.39E-05
47	2.92E-05	4.16E-06	3.33E-05
48	2.92E-05	3.48E-06	3.26E-05
49	2.76E-05	2.95E-06	3.06E-05
50	2.76E-05	2.91E-06	3.06E-05
51	2.76E-05	2.17E-06	2.98E-05
52	2.76E-05	2.16E-06	2.98E-05
53	2.76E-05	1.64E-06	2.93E-05
54	2.76E-05	1.18E-06	2.88E-05
55	2.76E-05	1.16E-06	2.88E-05
56	2.76E-05	8.84E-07	2.85E-05
57	2.76E-05	8.78E-07	2.85E-05
58	2.76E-05	5.90E-07	2.82E-05
59	2.76E-05	1.81E-07	2.78E-05
60	2.76E-05	1.81E-07	2.78E-05
61	2.76E-05	6.99E-08	2.77E-05
62	2.76E-05	6.98E-08	2.77E-05
63	2.76E-05	4.52E-08	2.77E-05
64	2.76E-05	4.51E-08	2.77E-05
65	2.21E-05	2.95E-08	2.21E-05
66	2.21E-05	2.59E-08	2.21E-05
67	2.21E-05	2.54E-08	2.21E-05
68	2.21E-05	3.61E-09	2.21E-05
69	2.21E-05	3.61E-09	2.21E-05
70	2.21E-05	1.67E-09	2.21E-05
71	2.21E-05	1.18E-09	2.21E-05
72	2.21E-05	1.18E-09	2.21E-05
73	2.21E-05	6.38E-10	2.21E-05
74	2.21E-05	6.38E-10	2.21E-05
75	2.21E-05	5.46E-10	2.21E-05
76	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
77	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
78	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
79	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
80	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
81	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
82	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
83	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05

84	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
85	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
86	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
87	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
88	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
89	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
90	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
91	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
92	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
93	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
94	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
95	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
96	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
97	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
98	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
99	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
100	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
101	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
102	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
103	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
104	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
105	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
106	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
107	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
108	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
109	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
110	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
111	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
112	2.21E-05	0.00E+00	2.21E-05
113	1.66E-05	0.00E+00	1.66E-05
114	1.66E-05	0.00E+00	1.66E-05
115	1.66E-05	0.00E+00	1.66E-05
116	1.66E-05	0.00E+00	1.66E-05
117	1.66E-05	0.00E+00	1.66E-05
118	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
119	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
120	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00