

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento Energia

Laboratorio Combustione “Cesare Codegone”

Gruppo di Ricerca sulle Fiamme



Progetto della Sicurezza per le gallerie Caravaggio e Fontanabuona

Luglio 2014

Prof. Emilio Cafaro

SOMMARIO

1.	Premessa	3
2.	Riferimenti normativi	4
2.1.	<i>Norme e linee guida succedanee</i>	4
3.	PROGETTO DELLA SICUREZZA: METODOLOGIA	5
3.1.	<i>Analisi di Conformità</i>	6
3.2.	<i>Analisi di Sicurezza</i>	7
3.3.	<i>Analisi di vulnerabilità</i>	9
3.4.	<i>Analisi di Rischio</i>	11
4.	PROGETTO DELLA SICUREZZA: LE GALLERIE CARAVAGGIO E FONTANABUONA	27
4.1.	<i>Criteri di progetto della sicurezza</i>	29
4.2.	<i>Analisi di conformità</i>	32
Galleria Caravaggio	33
Galleria Fontanabuona	36
4.3.	<i>Analisi di sicurezza</i>	39
4.1.	<i>Analisi di Vulnerabilità</i>	40
4.2.	<i>Analisi di rischio</i>	42
5.	CONCLUSIONI	44

1. PREMESSA

La relazione concerne il *Progetto della Sicurezza* per le gallerie *Caravaggio e Fontanabuona* ubicate lungo il nuovo “Collegamento tra la Valfontanabuona e l’Autostrada A12 Genova – Roma”, nei pressi dello svincolo di Rapallo. Esso è stato predisposto in applicazione del Comma 1 del Punto 2.3 dell’Allegato 4 del D.Lgs 264 del 5.10.2006 «Attuazione della Direttiva Europea 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea» essendo l’Autostrada A12 Genova – Roma sulla quale sono dislocate le gallerie Caravaggio e Fontanabuona parte integrante della Rete di Trasporto Transeuropea (Rete TERN). Come prescritto, stante le caratteristiche architettoniche e geometriche dell’infrastruttura e le caratteristiche del traffico incidente, esso include un’*Analisi di Rischio* condotta in modo conforme alla metodologia tratteggiata nell’Allegato 3 del D.Lgs 264 del 5/10/2006.

Il progetto della sicurezza è stato sviluppato sulla base del *Progetto Definitivo* allegato e tenendo in debito conto i *Criteri di Progetto* e gli *Standard* fissati dal *Gestore* per la progettazione esecutiva delle opere civili e delle misure impiantistiche.

Nell’allegato A sono elencati i documenti dai quali sono stati tratti i dati necessari alla stesura del Progetto della Sicurezza e per l’elaborazione dell’*Analisi di Rischio*.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

D. Lgs.264 5 Ottobre 2006 “Attuazione della Direttiva 2004/54/CE relativa ai requisiti di sicurezza per le gallerie della rete stradale trans europea”.

Direttiva Europea 2004/54/CE, relativa ai “ Requisiti Minimi di Sicurezza per le gallerie della rete stradale trans europea”.

Legge n.226 13/07/1999 conversione in Legge, con modificazioni, del Decreto Legge 13/05/1999 n. 132, recante “Interventi urgenti in materia di protezione civile”.

Circolare Ministeriale n. 7938 del 6/12/1999 “Sicurezza della circolazione nelle gallerie stradali con particolare riferimento ai veicoli che trasportano materiali pericolosi”.

Decreto Ministeriale 5/6/2001 “Sicurezza nelle gallerie stradali”.

Decreto Ministeriale 5/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade” e successive modifiche.

Decreto Ministeriale 14/9/2005 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

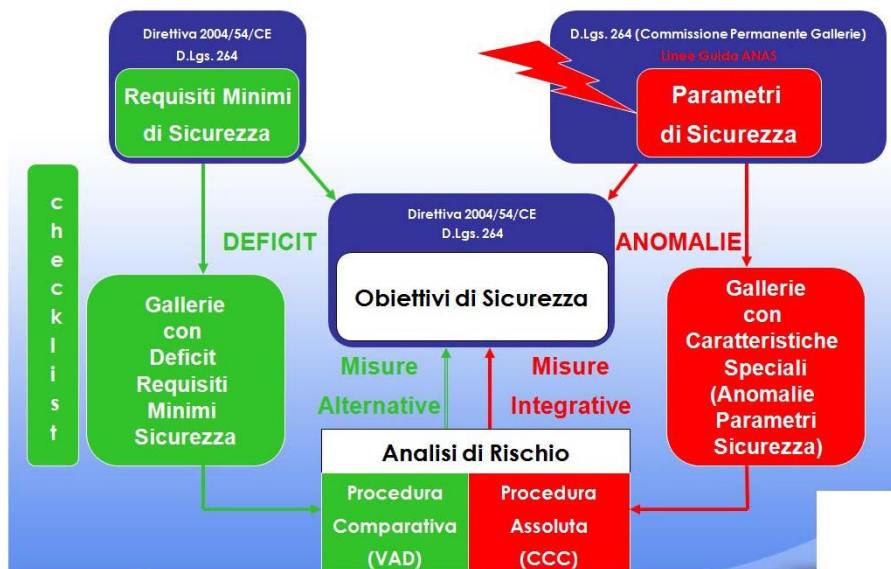
Decreto Ministeriale 14/9/2005 “Norme di Illuminazione delle Gallerie Stradali”.

2.1. Norme e linee guida succedanee

- a) IEC, International Standard 60300 –3 – 9, Risk Analysis of technological systems, Geneve, 1995
- b) ISO 13387 “Fire Safety Engineering” Parts 1-8, 1999
- c) SEVESO Direttive ed Emendamenti, 1982, 1996,2003
- d) NFPA 551 “Evaluation of Fire Risk Assessments”, 2004
- e) NFPA 502 “Standard for Road Tunnels, Bridges and other limited access highways”, 2008

3. PROGETTO DELLA SICUREZZA: METODOLOGIA

La procedura adottata nel *D.Lgs.264/2006* promulgato dall'Italia in fase di recepimento della Direttiva Europea 2004/54/CE per la verifica di conformità delle gallerie in esercizio, ovvero dei progetti della sicurezza per le gallerie in fase di realizzazione, alle raccomandazioni della Direttiva Europea e l'utilizzo dell'Analisi di Rischio qualora esse necessitino di adeguamento è esemplificata nella successiva figura.



Il progetto della sicurezza per le gallerie Caravaggio e Fontanabuona, condotto in accordo al dettato del Decreto Legislativo n. 264 del 5 Ottobre 2006, è stato sviluppato secondo una procedura articolata nelle seguenti macrofasi:

- *analisi di conformità*, inerente la verifica di compatibilità dei valori assunti dai *parametri di sicurezza* di una generica galleria e delle *misure di sicurezza* ad essa ascritte con i valori di riferimento individuati per la *galleria ideale* ad essa omologa per lunghezza ed intensità del traffico; essa è finalizzata ad individuare la presenza di *anomalie* nei parametri di sicurezza e di *deficit* nelle misure di sicurezza, al fine di assumere *decisioni informate* sulla necessità di effettuare un'*analisi di rischio*;
- l'*analisi di sicurezza*, inerente la valutazione del *potenziale vulnerabilità* di una galleria, quale determinato dai valori assunti dai *parametri di sicurezza* e dalle *prestazioni* delle *misure di sicurezza* ad essa ascritte; essa è finalizzata all'*ordinamento* dei *livelli di sicurezza* assicurati da progetti diversi nei *panieri* delle misure di sicurezza adottate;
- l'*analisi di rischio*, concernente la determinazione del *rischio sociale* di una galleria quale determinata dall'applicazione di un *modello fattoriale del rischio* che assume come variabili di rappresentazione le *frequenze di accadimento degli eventi critici* nell'ambiente galleria ed il *numero atteso di vittime* tra la popolazione coinvolta; essa è finalizzata a verificare la conformità di una galleria ai *criteri di accettazione del rischio* fissati per legge e giustificare l'adozione di misure di sicurezza *alternative* o misure di sicurezza *integrative* rispetto al rischio

sociale derivante dalla realizzazione dei *requisiti minimi di sicurezza* previsti per la galleria ideale omologa alla galleria in esame.

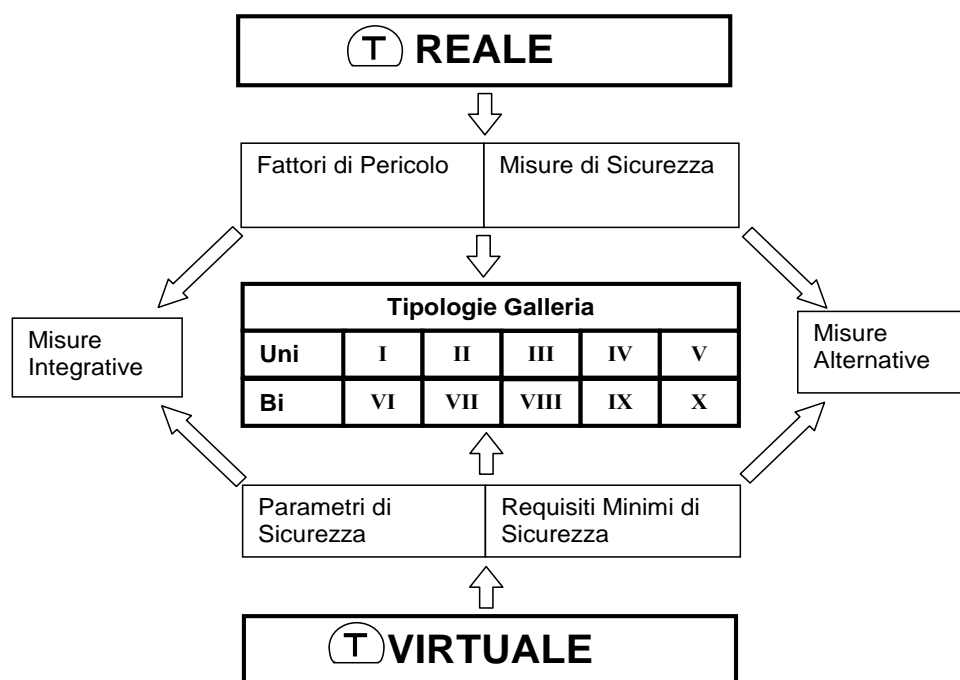
3.1. Analisi di Conformità

L'analisi di conformità di un sistema galleria è effettuata applicando la tecnica del confronto (Ceck.-List) tra le misure strutturali e le misure impiantistiche previste dal progetto della sicurezza per essa formulato (progetto ex-novo, progetto di adeguamento) ed i Requisiti Minimi di Sicurezza pertinenti al sistema galleria in esame riportati nell'Allegato 2 del D.Lgs.264/2006.

L'analisi di conformità è finalizzata all'*Identificazione dei Deficit* nelle misure di sicurezza prescritte che, in ottemperanza ai dettati di legge, possono essere compensati attraverso l'adozione di misure di sicurezza alternative.

La tecnica del confronto è giustificata dall'introduzione del concetto di *Galleria Virtuale* definita come la galleria dotata di tutti i Requisiti Minimi di Sicurezza caratterizzati da prestazioni (affidabilità, efficienza) ideali.

La successiva figura esemplifica la tecnica del confronto adottata nello svolgimento dell'analisi di conformità.



3.2. Analisi di Sicurezza

Il metodo di progetto della sicurezza adottato parte dall'*analisi di vulnerabilità* del sistema galleria esplicitando la dipendenza funzionale del potenziale vulnerabilità globale di una galleria da un insieme predefinito di *fattori di pericolo* ad esso propri e connessi alle caratteristiche architettoniche e geometriche dell'infrastruttura, al fenomeno del traffico, alle prestazioni delle misure di sicurezza impiantistiche e gestionali correntemente adottate nelle gallerie dislocate sulla rete autostradale nazionale (modello fattoriale del potenziale vulnerabilità globale) e finalizzata alla quantificazione degli effetti che valori anomali assunti dai parametri di sicurezza possono avere sul livello di sicurezza complessivo dell'opera.

I valori soglia per i parametri di sicurezza (fattori di pericolo) sono stati determinati applicando specifiche tecniche di analisi statistica multivariata (tecniche quantitative ed oggettive) su specifici campioni di dati (AISCAT et all.). Essi, tuttavia, non essendo stati oggetto di valutazione ed accettazione da parte della Commissione Permanente per le Gallerie non possono avere e non hanno valore cogente.

L'analisi di vulnerabilità di un sistema galleria rispetto all'attacco del fenomeno traffico può essere condotta determinando:

- il numero atteso di incidenti su base temporale annua secondo la formula:

$$N = 365 \cdot L \cdot TGM \cdot T_i$$

dove L è la lunghezza della galleria espressa in km, TGM è il traffico medio giornaliero espresso in veh/giorno, T_i è il tasso di incidentalità sulla rete autostradale espresso in incidenti/(veh*km).

- il potenziale di collisione, i.e. il numero atteso di collisioni su base annua in funzione delle caratteristiche architettoniche, strutturali, di traffico, nonché delle misure di sicurezza preventive installate o previste, mediante la relazione:

$$P_c = L \cdot TGM \cdot (N_c \cdot F_c) \cdot [f_c(VP) \cdot f_c(C)]$$

dove N_c è il numero di eventi di collisione, F_c è la frequenza di accadimento degli eventi di collisione, f_c sono i fattori di pericolo connessi alle caratteristiche del traffico incidente.

- il potenziale di incendio, i.e. il numero atteso di incendi su base annua in funzione delle caratteristiche architettoniche, strutturali, di traffico, nonché delle misure di sicurezza preventive installate o previste, mediante la relazione:

$$P_i = L \cdot TGM \cdot (N_i \cdot F_i) \cdot [f_i(VP) \cdot f_i(C) \cdot f(L) \cdot f(\varphi) \cdot f(d) \cdot f(I_p)] \cdot [f(V) \cdot f(SA) \cdot f(E) \cdot f(DR)]$$

dove N_i è il numero di eventi di incendio, F_i è la frequenza di accadimento degli eventi di incendio, f_i sono i fattori di pericolo connessi alle caratteristiche del traffico incidente ed alle caratteristiche architettoniche e strutturali dell'opera, f sono i fattori di pericolo connessi alle misure di sicurezza impiantistiche.

La successiva tabella riporta le formule utilizzate per quantificare le dipendenze dei potenziali vulnerabilità f_c ed f_i dai fattori di pericolo.

Parametro di Sicurezza			Fattore di Vulnerabilità
Architettura	direzionalità del traffico	Monodirezionale	$F_c^{Bi} = 1,86 F_c^{mono}$ $F_i^{Bi/mese} = 3 \cdot 10^{-9} F_i^{Bi/mese}$
		Bidirezionale	
Geometria	lunghezza (L)		$f(L) = 0,2(4 + L)$
	allineamento verticale (φ)		$f(\varphi) = \begin{cases} 0,25(1 + \varphi), & \varphi \geq 0 \\ 0,33(1 - \varphi), & \varphi < 0 \end{cases}$
	interdistanza vie di fuga (d)		$f(d) = 2,718(1,618 + \ln(d))$
	geometria percorsi esodo (larghezza banchine) (l_b)		$f(l_b) = 0,85 l_b^{-0,82}$
Traffico	volume traffico (TGM)		$f(TGM) = TGM$
	% veicoli pesanti (VP)		$f_c(VP) = 0,5(1 + VP)$ $f_i(VP) = 0,1 + 0,875VP$
	congestione (C)		$f_c(C) = 1 + 1,25C$ $f_i(C) = 1 + 6C$
Misure Impiantistiche	sistema ventilazione	longitudinale	$f(V) = 1$
		longitudinale/algoritmi gestione	$f(V) = 0,87$
		trasversale	$f(V) = 0,666$
	sistema antincendio	impianto idrico antincendio	$f(SA) = 1$
		impianto mitigazione/spegnimento	$f(SA) = 0,85$
	sistema illuminazione emergenza		$f(IE) = 0,95$
	drenaggio		$f(DR) = 1$

Le determinazioni sono ottenute assumendo il numero di collisioni N_c pari a 32,1 per gallerie monodirezionali e pari a 64,2 per gallerie bidirezionali, il numero di incendi N_i pari a 4400 per gallerie monodirezionali e pari a 37700 per gallerie bidirezionali, le frequenze di accadimento degli eventi di collisione F_c sono state assunte pari a $5,28 \cdot 10^{-7}$ per gallerie monodirezionali e pari a $9,81 \cdot 10^{-7}$ per gallerie bidirezionali.

Il criterio integrale di sicurezza per l'identificazione di una infrastruttura può essere espresso come:

$$C = J(TGM) \sqrt{F_c + F_i} \leq 0,666$$

con

$$J(TGM) = \begin{cases} 0,75 & TGM < 2000 \\ 0,75 + 6,75 \left(\frac{TGM_0}{2} \right)^{0,8} & 2000 \leq TGM \leq 13000 \\ 7,5 - 6,75 \left(\frac{1 - TGM_0}{2} \right)^{0,8} & 13000 \leq TGM \leq 22000 \\ 7,5 & TGM > 22000 \end{cases}$$

$$TGM_0 = \frac{TGM}{TGM_{lim}} \quad TGM_{lim} = 22000 \text{ v/gc}$$

dove $J(TGM)$ è il numero di incidenti per unità di lunghezza dell'infrastruttura e TGM è il traffico medio giornaliero per corsia.

L'ordinamento dei livelli di sicurezza assicurati da progetti diversi nei panieri delle misure di sicurezza adottate è realizzato introducendo un *indice di efficacia funzionale* di un progetto della sicurezza definito come:

$$\Pi = C_v / C$$

dove C_v è il criterio integrale di sicurezza per la galleria virtuale e C è il criterio integrale di sicurezza per la galleria in esame omologa alla galleria virtuale.

3.3. Analisi di vulnerabilità

Propedeutica all'esecuzione dell'analisi di rischio è l'analisi di vulnerabilità di una galleria rispetto agli eventi critici.

Gli eventi critici per una galleria, in accordo al D.Lgs.264/2006 Allegato 3, sono:

- collisioni con incendio;
- incendi;
- sversamenti in fase liquida di materiali infiammabili;
- rilasci in fase gassosa di sostanze tossiche e nocive.

Il potenziale vulnerabilità rispetto agli eventi critici è assimilabile al concetto di carico di incendio probabile in accordo al linguaggio pompieristico. Esso è determinante nell'identificazione e nella definizione dell'insieme statistico degli scenari critici rispetto al quale effettuare il dimensionamento dei sistemi tecnologici e sviluppare l'analisi di rischio finalizzata alla quantificazione del rischio sociale pertinente ad una data infrastruttura.

Il carico di incendio probabile è determinato assumendo come grandezze principali:

- la composizione del traffico incidente su una data galleria;
- le potenze massime di rilascio dei focolai probabili, costituiti dalle diverse tipologie di veicoli ammesse al transito.

L'attribuzione delle potenze di rilascio massime ai focolai probabili può essere effettuata sulla base di:

- informazioni reperibili nella letteratura tecnica inerenti le potenze massime misurate nel corso di esperimenti condotti in laboratorio e nel corso di prove condotte su scala reale;
- le potenze massime suggerite da consessi di esperti per diverse tipologie di veicoli.

La classificazione dei veicoli dovrebbe essere effettuata in conformità alle prescrizioni della normativa vigente in un determinato paese.

I veicoli possono essere classificati in due macro categorie in funzione della destinazione d'uso:

- veicoli adibiti al trasporto delle persone (autovetture, autobus);

- veicoli adibiti al trasporto delle merci (veicoli pesanti, veicoli ultra pesanti, veicoli ADR).

Il potenziale vulnerabilità di un'infrastruttura rispetto agli eventi critici è determinato attraverso la relazione:

$$V_i = P_i^P P_i^I Q_i^M$$

dove P_i^P individua la probabilità di presenza dell'i-esima tipologia di veicolo in galleria, quale determinata dalla composizione del traffico, P_i^I individua la probabilità che si verifichi un incendio di determinata potenza caratterizzante l'i-esima tipologia di veicolo, Q_i^M la potenza massima attribuibile all' i-esima tipologia di veicolo.

L'analisi statistica dei dati relativi alle probabilità di accadimento di eventi di incendio caratterizzati da focolai di specifiche potenze termiche di rilascio, dipendenti dalle diverse tipologie di veicoli, ha consentito di determinare la seguente funzione di distribuzione:

$$p_Q = \frac{1}{Q_r} e^{-\frac{Q}{Q_r}}$$

con

$$Q_r = 22,5 \text{ MW}$$

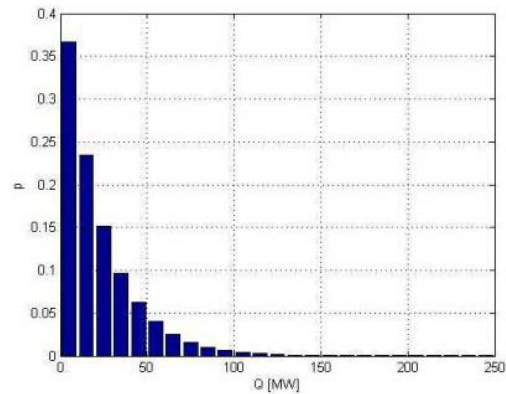
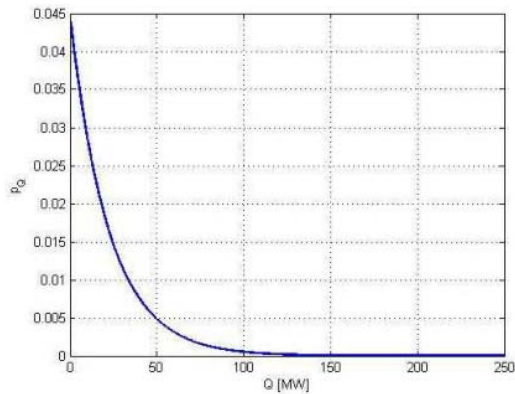
dove Q_r è la potenza del focolaio di riferimento.

La funzione di distribuzione introdotta, nota come funzione di distribuzione esponenziale negativa, è rappresentativa delle probabilità di accadimento di eventi di incendio in galleria ordinati in funzione delle potenze di picco probabili per diverse tipologie di veicoli.

La funzione cumulata complementare della funzione di distribuzione delle probabilità di accadimento degli eventi di incendio in galleria ordinati in funzione delle potenze di incendio assume la forma:

$$P_c(Q) = e^{-\frac{Q}{Q_r}}$$

La successiva figura mostra gli andamenti in forma continua e discreta della funzione di distribuzione adottata per individuare l'insieme statistico degli scenari di pericolo in galleria.



Le frequenze di accadimento cumulate complementari degli eventi critici sono state determinate utilizzando la formula:

$$F = 365 L TGM T_i P_{inc} P_{inc-rti} P_c^*(Q)$$

dove T_i è il tasso di incidentalità assunto pari a $39 \cdot 10^{-8}$ inc/veh/km, P_{inc} è la probabilità di incendio pari a $5 \cdot 10^{-2}$, $P_{inc-rti}$ è la probabilità di incendio rilevante pari a $4,7 \cdot 10^{-1}$, $P_c^*(Q)$ è la funzione cumulata complementare della funzione di distribuzione rappresentativa delle probabilità di accadimento degli eventi di incendio in galleria ordinati in funzione delle potenze di incendio e normalizzata rispetto alla composizione del traffico.

3.4. Analisi di Rischio

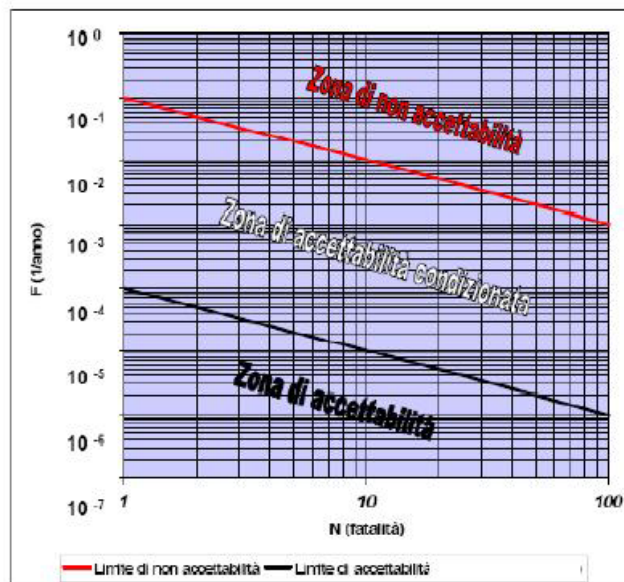
Il Governo Italiano, in fase di recepimento della Direttiva Europea 2004/54/CE ha promulgato il D.Lgs. 5 Ottobre 2006 n°264 (“Attuazione della Direttiva Europea 2004/54/CE relativa ai Requisiti Minimi di Sicurezza per le Gallerie della Rete Stradale Transeuropea”) nel quale si è individuato come strumento analitico e ben definito da adottare nella valutazione e gestione del rischio per le gallerie della rete italiana compresa nella rete TEN che presentano anomalie nei parametri di sicurezza e/o deficit nei requisiti minimi di sicurezza l’Analisi di Rischio Probabilistica (PRA).

I capisaldi dell’Analisi di Rischio Probabilistica adottata nel D.Lgs.264/2006 (Allegato 3) possono essere così sintetizzati:

1. identificazione univoca delle *tipologie degli eventi critici* per una galleria (collisioni con incendio, incendi, sversamenti di liquidi infiammabili, rilascio di sostanze tossiche e nocive);
2. adozione del *Principio ALARP* (As Low As Reasonably Practicable) come principio dal quale derivare *criteri quantitativi* di valutazione del rischio ed identificazione del *rischio sociale* come unica misura rappresentativa del rischio di una galleria e/o di un progetto della sicurezza;
3. definizione dei *limiti di accettazione del rischio* per le infrastrutture dislocate sulla rete stradale italiana compresa nella rete TEN;

4. determinazione del rischio sociale di una galleria attraverso un *modello fattoriale* definito come *Prodotto* tra le *Frequenze di Accadimento degli Eventi Critici (F)* ed il *Numero Atteso di Vittime (N)* tra la popolazione esposta (utenti, addetti) valutato su un insieme di *Scenari di Fine Emergenza*
5. rappresentazione del rischio sociale mediante una curva cumulata complementare da riportare sul piano (F,N), individuato dalle variabili di rappresentazione del rischio.

I limiti di accettazione del rischio, detti *Limite di Tollerabilità* e *Limite di Accettabilità*, sono fissati per legge e sono rappresentati sul piano (F,N) da rette che intercettano l'asse delle frequenze in punti prefissati con pendenze che quantificano il *grado di avversione al rischio* anche esso fissato per legge. La teoria di accettazione del rischio adottata nel D.Lgs.264 è basata sul Principio ALARP di uso corrente nella definizione dei criteri di accettazione del rischio dei sistemi di processo, per il quale il progetto della sicurezza da adottare per una galleria deve essere il progetto che assicura il rischio sociale minimo compatibile con costi accettabili. La successiva figura mostra la trascrizione del principio ALARP sul piano Frequenza di accadimento - Numero atteso di vittime.



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 porzione del piano F-N compresa tra i limiti di accettazione del rischio è la *zona di accettabilità condizionata del rischio*, dominio di applicazione del criterio ALARP,

Il rischio sociale di una galleria e/o di un progetto della sicurezza è rappresentato da una *curva cumulata complementare* tracciata sul piano (F,N). Una curva cumulata complementare appare come una curva monotonamente decrescente. Essa è, dal punto di vista formale, una funzione di distribuzione ed in quanto tale caratterizzata da un numero finito di momenti. Il momento del primo ordine, coincidente con l'area sottesa dalla funzione di distribuzione sul piano di rappresentazione del rischio, è un numero che quantifica il *Valore Atteso del Danno (VAD)* di una galleria e/o di un progetto della sicurezza.

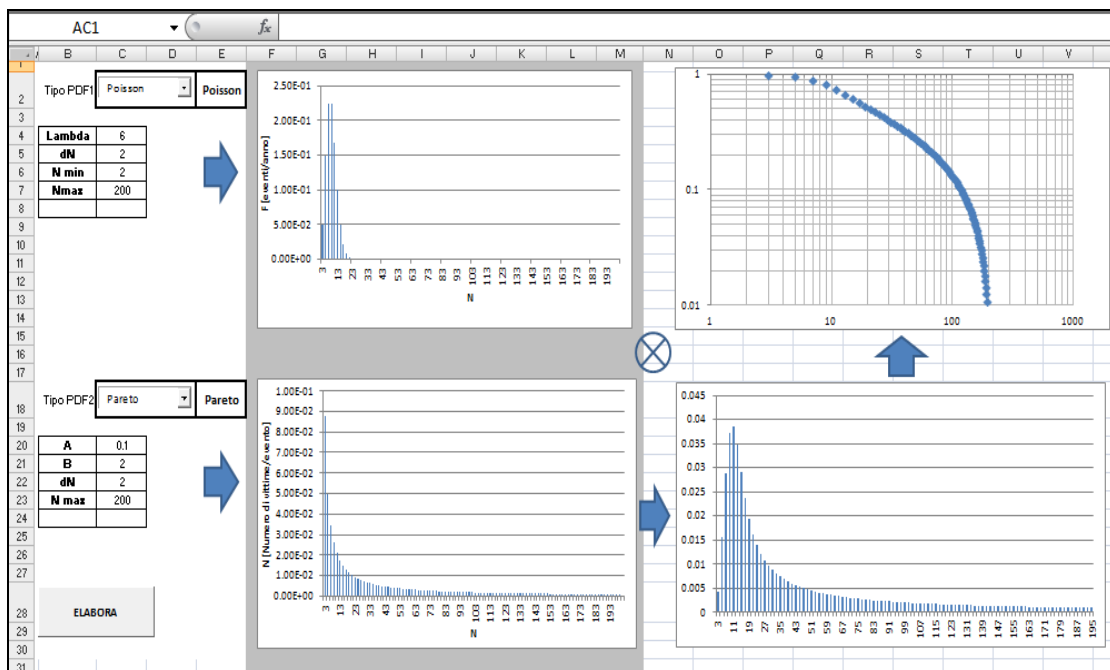
Una curva cumulata complementare rappresenta, su scala logaritmica, la funzione:

$$1 - F_N(x) = P(N > x) = \int_x^{\infty} f_N(x) dx$$

dove $F_N(x)$ è la funzione di distribuzione di probabilità del numero di vittime per anno, $f_N(x)$ è la funzione densità di probabilità del numero di vittime per anno. Una curva cumulata complementare è, per definizione, una curva continua e decrescente.

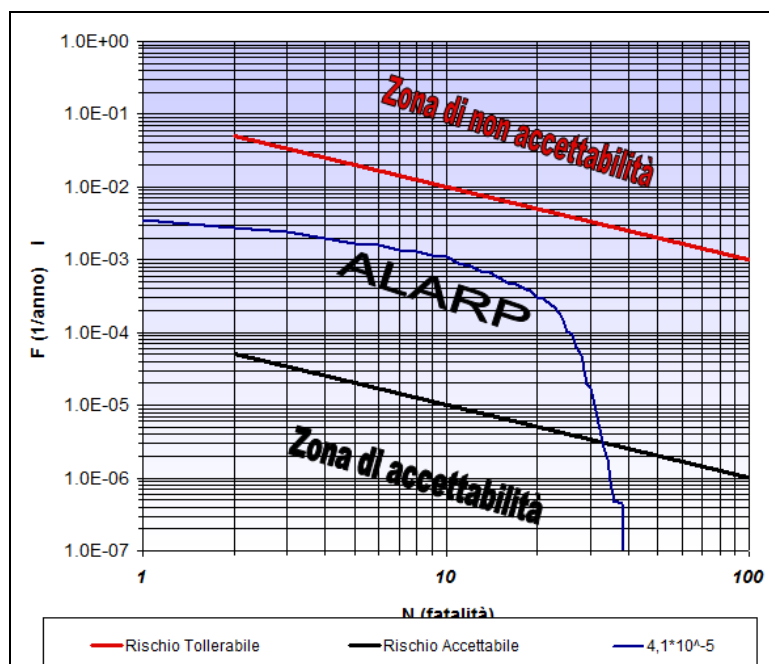
La definizione formale del valore atteso del danno, in quanto momento del primo ordine della funzione di distribuzione che definisce la curva cumulata complementare, richiede sempre e comunque la determinazione della funzione di distribuzione pertinente ad uno specifico progetto della sicurezza.

La successiva figura esemplifica il calcolo della misura rischio sociale come prodotto di convoluzione delle funzioni di distribuzione rappresentative delle frequenze di accadimento degli eventi critici (funzione di distribuzione di Poisson) e delle conseguenze attese sulla popolazione esposta (funzione di distribuzione di Pareto).



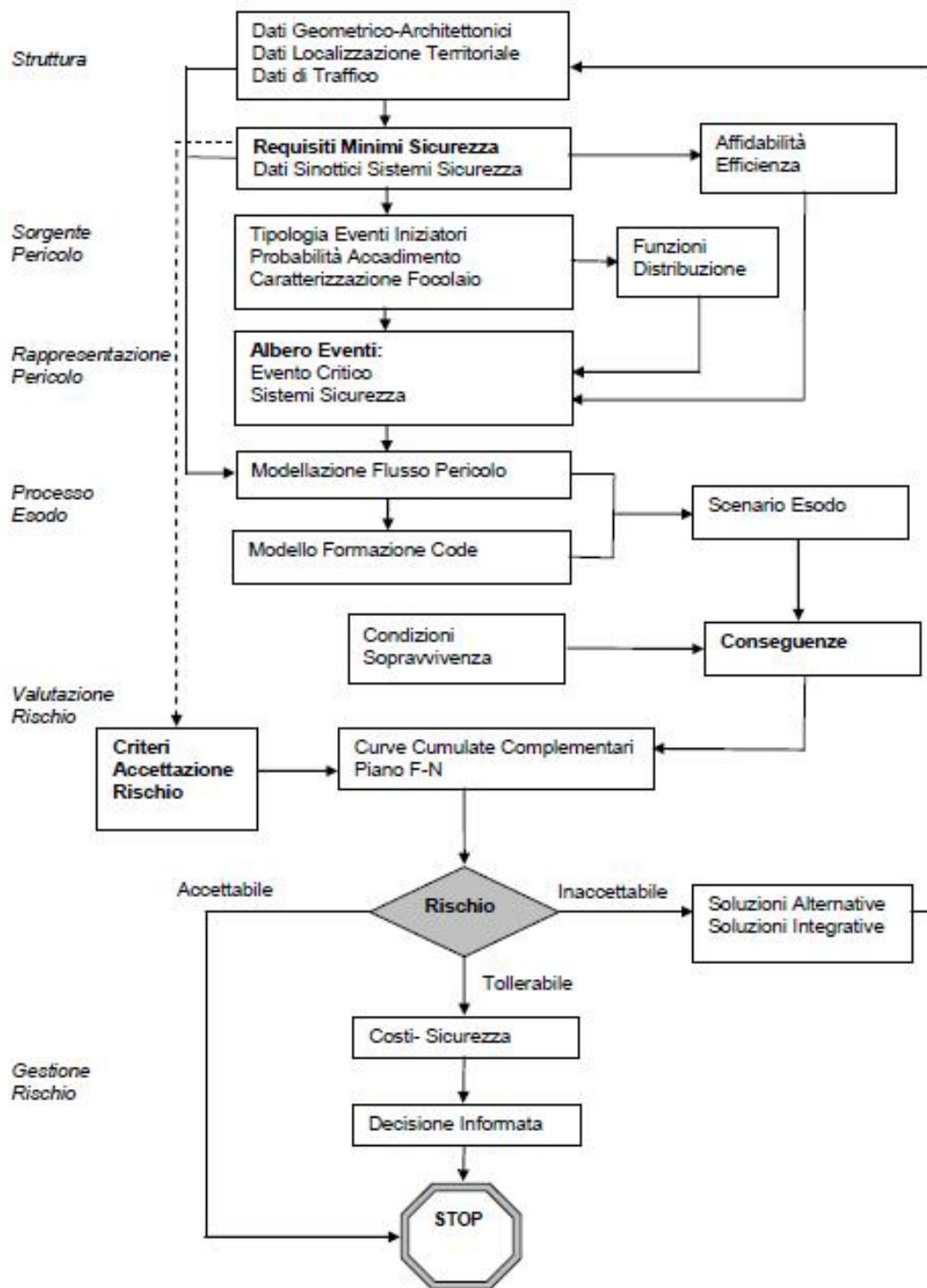
La verifica di compatibilità del rischio sociale di un progetto di sicurezza redatto per una specifica galleria con i criteri di accettazione del rischio richiede che la curva cumulata complementare calcolata per il sistema galleria considerato ricada all'interno della zona ALARP, ovvero, la porzione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

La successiva figura mostra il Piano F-N di rappresentazione del rischio, il Limite di Tollerabilità ed il Limite di Accettabilità del rischio vigenti in Italia ed un esempio di curva cumulata complementare, misura del rischio sociale pertinente ad una galleria.



3.4.1. Codice Pro-Securitate 2005[®]

La procedura di analisi di rischio probabilistica, quale tratteggiata nell'Allegato 3 del D.Lgs.264/2006, può essere esemplificata attraverso il diagramma di flusso mostrato nella successiva figura.



Il codice Pro-Securitate 2005[®], codifica possibile della procedura di analisi di rischio tratteggiata nell'Allegato 3 del D.Lgs.264/2006, è strutturato in tre macroblocchi:

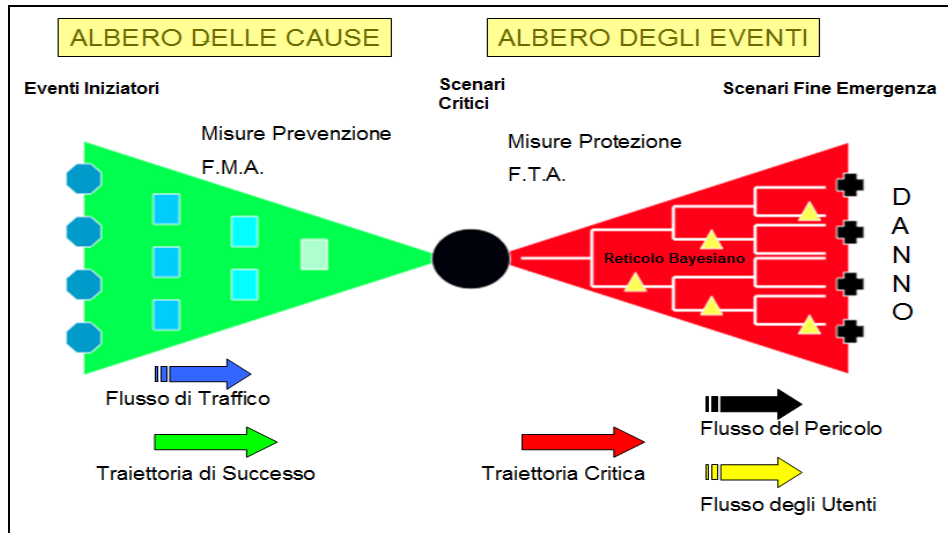
- *Macroblocco Input* destinato alla caratterizzazione del sistema galleria dal punto di vista architettonico e strutturale, del traffico, dei requisiti di sicurezza in esso realizzati o previsti, delle frequenze di accadimento degli eventi critici ad esso ascritte;
- *Macroblocco Core* contenente i 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	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
CORE	<ul style="list-style-type: none"> • 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: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Temperatura fumi ✓ Concentrazione fumi ✓ Visibilità Zonizzazione del Flusso del Pericolo Determinazione del Tempo Disponibile per l'Esodo <ul style="list-style-type: none"> • 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
OUTPUT	<ul style="list-style-type: none"> • Modello Fattoriale di Rischio $R=CONV(FN)$ • Curva Cumulata Complementare

Le tecniche di rappresentazione del rischio pertinente ad una galleria stradale utilizzate nel codice Pro-Securitate 2005[®] sono:

- il diagramma a farfalla probabilistico,
- l'albero degli eventi probabilistico.

La successiva figura mostra il diagramma a farfalla probabilistico adottato nel codice.



La successiva figura mostra l'albero degli eventi probabilistico adottato nel codice.



Il termine probabilistico è utilizzato per sottolineare come:

- gli eventi iniziatori e gli eventi critici siano elementi di insiemi statistici;
- le transizioni tra i vari rami dell'albero delle cause e dell'albero degli eventi siano caratterizzate in termini di specifiche funzioni densità di probabilità.

I risultati ottenuti dall'analisi dell'incidentalità consentono di individuare la funzione di distribuzione caratterizzante le frequenze di accadimento di un insieme di scenari di pericolo (F), condizionati dalle prestazioni delle misure di sicurezza preventive adottate.

La funzione di distribuzione caratterizzante il numero atteso di vittime tra la popolazione esposta (N) deve essere valutata, in accordo alle prescrizioni di legge, su un insieme di scenari di fine emergenza e deve includere il condizionamento su di esso esercitato dall'efficacia delle misure di sicurezza protettive adottate.

Funzioni di distribuzione rappresentative di eventi critici caratterizzati da basse probabilità di accadimento ed elevate conseguenze, quali risultano essere gli eventi di incendio, sono:

- leggi di potenza (funzione di Pareto);
- funzioni errore (skewed error function);
- funzioni gamma;
- funzioni log-normali.

Esse sono funzioni di distribuzione correntemente utilizzate nella caratterizzazione statistica degli eventi catastrofici naturali (terremoti, esondazioni) e del mercato finanziario (crolli in borsa, bolle speculative).

La verosimiglianza delle funzioni di distribuzione richiamate può risultare parzialmente inadeguata stante l'assenza nei rapporti di incidente di informazioni quantitative sulle misure di sicurezza attive all'atto dell'evento, sulle prestazioni ad esse ascritte, sulle caratteristiche anagrafiche (genere, età) e sulle capacità motorie (velocità di esodo) dei componenti la popolazione esposta.

Il legislatore, nella consapevolezza dei limiti intrinseci alla determinazione dei danni conseguenti l'accadimento di eventi critici, ha previsto che la quantificazione del rischio sociale di una galleria fosse ottenuta simulando:

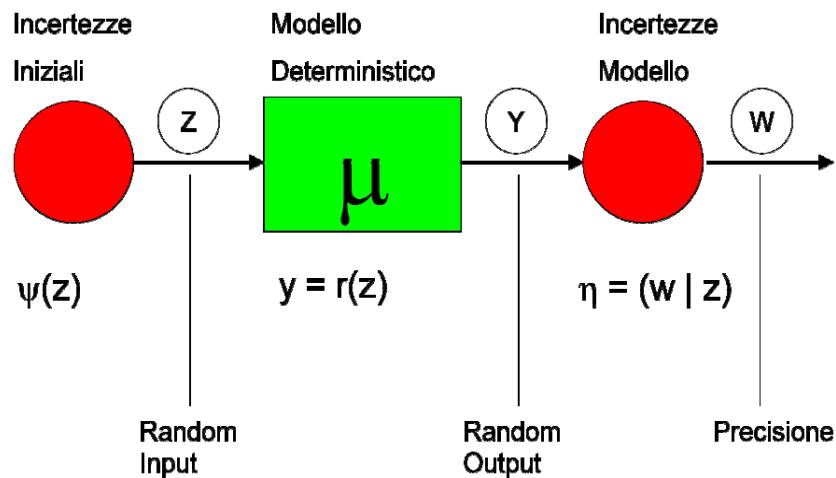
- il flusso del pericolo determinato dai fenomeni pericolosi che si instaurano in una galleria in conseguenza dell'accadimento di un evento critico (microclima in galleria) ;
- il processo di esodo degli utenti e degli addetti dalla struttura (salvabilità dei componenti la popolazione esposta).

I modelli utilizzati per quantificare il flusso del pericolo e per descrivere il processo di esodo sono affetti da:

- incertezze aleatorie sui dati iniziali (localizzazione delle sorgenti, intensità di emissione, velocità dell'aria in galleria all'atto dell'evento);
- incertezze epistemiche connesse all'effettività capacità di rappresentazione dei fenomeni pericolosi (fenomeno della turbolenza, cinetica chimica, dispersione delle sostanze pericolose, processi di scambio termico).

Le incertezze aleatorie ed epistemiche affliggono la funzione di distribuzione rappresentativa del numero atteso di vittime.

La successiva figura esemplifica il modello fattoriale di rischio soggiacente alla metodologia di analisi di rischio prevista dal D.Lgs.264/2006 ed implementato nel codice Pro-Securitate 2005[®].

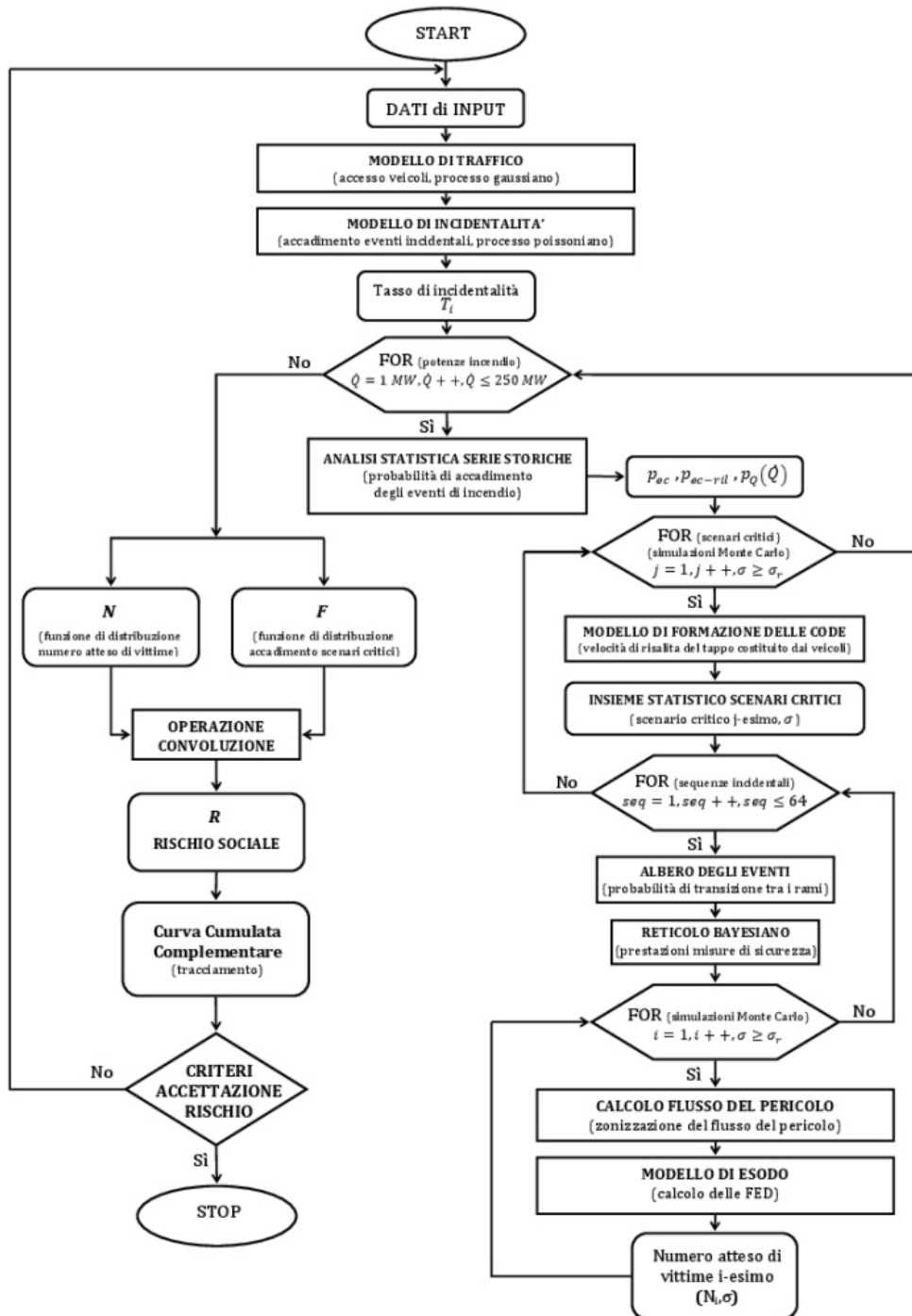


Il modello di quantificazione del rischio sociale di una galleria stradale quale sintetizzato nei tre macroblocchi nei quali si articola il codice Pro-Securitate 2005[®] riposa sulle seguenti ipotesi:

- 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 blocchi 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 come determinata dalla soluzione del modello di formazione delle code;
- 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.

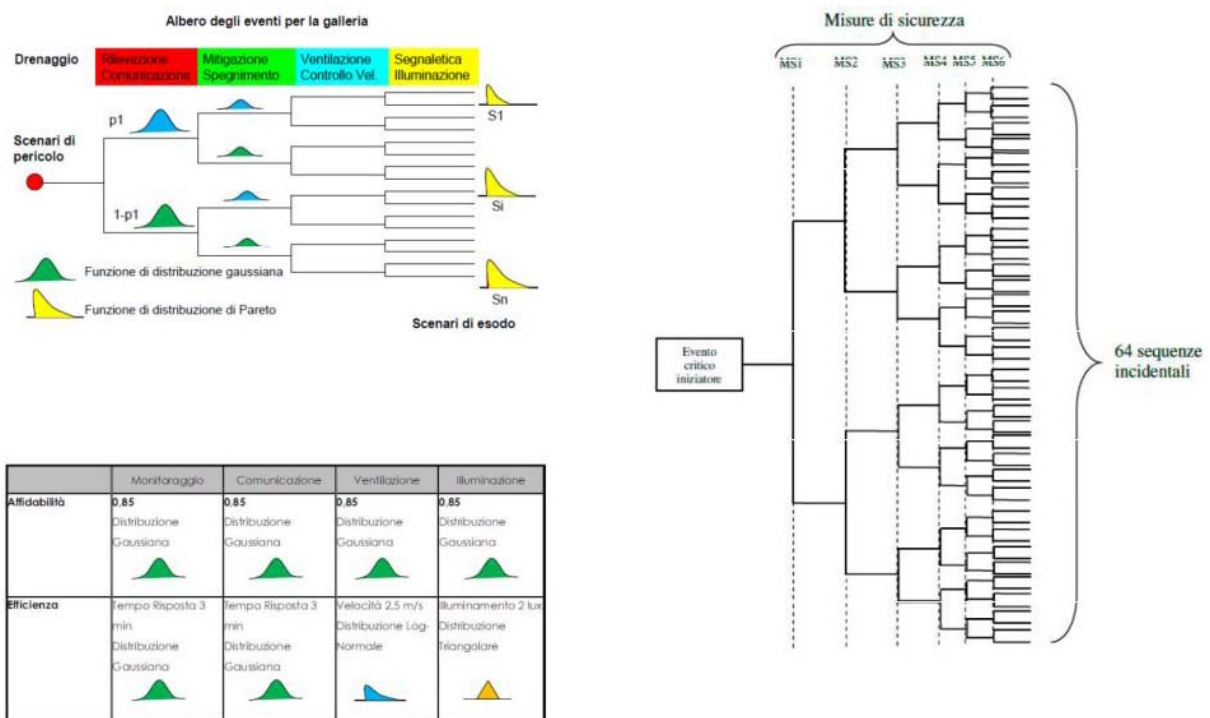
L'algorithmo di calcolo del rischio sociale implementato nel codice Pro-Securitate 2005[®] è sintetizzato nel successivo diagramma di flusso, formulato in accordo alla logica propria della programmazione strutturata.



Il codice Pro Securitate 2005 risolve, con tecniche statistiche Monte Carlo, modelli idonei a descrivere:

- gli eventi pericolosi che determinano il flusso del pericolo all'interno di una galleria interessata da un evento di incendio ed al quale è esposta la popolazione presente nell'infrastruttura all'atto dell'evento e nelle fasi successive (utenti, addetti alle operazioni di soccorso);
- l'atto di moto di una popolazione di individui, caratterizzata in termini statistici, sui percorsi di esodo disponibili all'interno dell'infrastruttura.

La successiva figura mostra l'albero degli eventi utilizzato nel codice Pro Securitate 2005. In essa sono riportate, altresì, le funzioni di distribuzione utilizzate per caratterizzare le efficienze delle misure di sicurezza che determinano le probabilità di transizione tra i vari rami dell'albero.

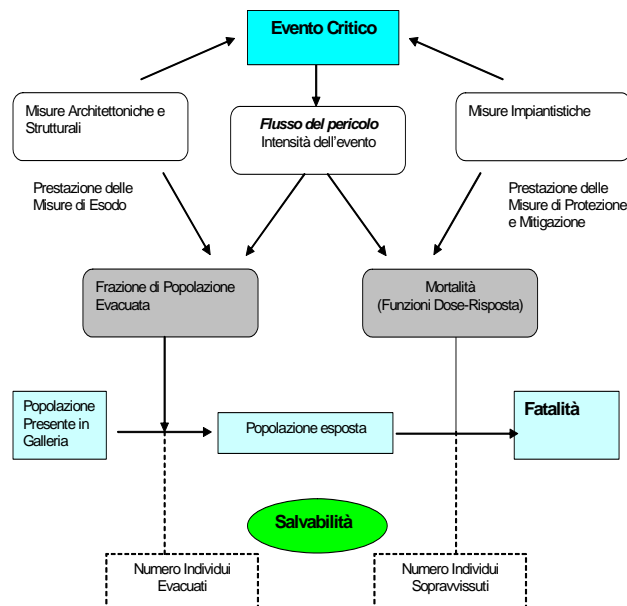


Il Codice Pro Securitate analizza 8 scenari di pericolo che diffondono lungo un albero comprendente 64 rami generando 512 scenari di fine emergenza. La funzione di distribuzione del numero atteso di vittime sulla popolazione esposta, risolto un idoneo modello di formazione delle code, è ottenuta simulando 500 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. Il numero totale di simulazioni effettuate con il codice Pro Securitate 2005 al fine di determinare una funzione di distribuzione del numero atteso di vittime statisticamente significativa ammonta a 256000. 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 a misure di sicurezza realizzate secondo la buona pratica corrente pari a 0,85 e varianza pari a $\pm 15\%$.

La successiva tabella sintetizza le grandezze trattate come variabili stocastiche dal codice Pro Securitate 2005:

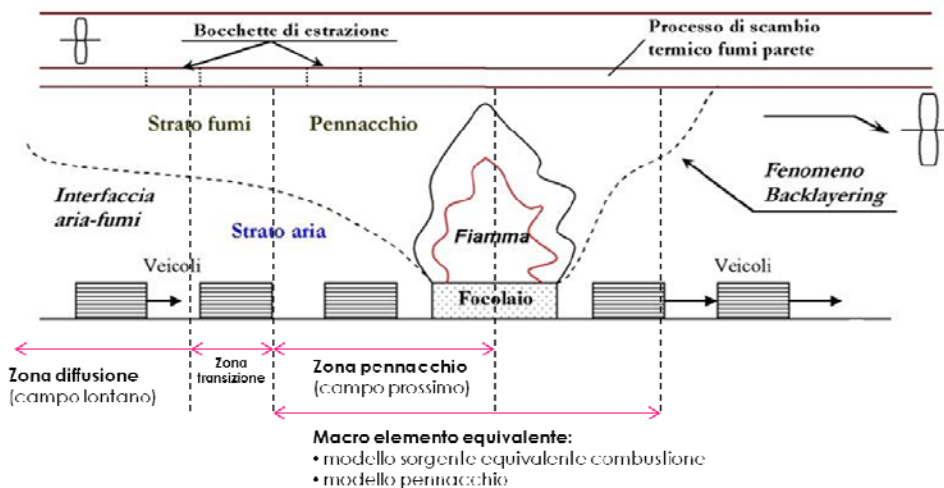
Geometria	Localizzazione dei focolai in galleria	$0 < x < L$
	Localizzazione focolai rispetto alle vie di fuga	Distribuzione triangolare
	Allineamento verticale	Distribuzione gaussiana
	Dimensioni caratteristiche percorsi di esodo	Distribuzione gaussiana
Traffico	Traffico giornaliero medio (TGM)	Distribuzione poissoniana
	Velocità media dei veicoli	Distribuzione gaussiana
	Composizione del traffico	Distribuzioni: 1) uniforme autoveature, a veicoli leggeri, veicoli pesanti.
	Congestione	Distribuzione uniforme
	Veicoli pesanti	Distribuzione poissoniana
Fluidodinamiche e Termiche	Spinta acceleratori	Distribuzione uniforme
	Velocità dell'aria in galleria	Distribuzione log-normale
	Fattore di attrito	Distribuzione uniforme
	Potenza focolai	Distribuzione triangolare
	Coefficiente di crescita dei focolai	Distribuzione gaussiana
	Temperatura di parete	Distribuzione uniforme
	Coefficiente di scambio termico	Distribuzione gaussiana
Esodo (popolazione)	Numero individui	Distribuzione uniforme
	Composizione per genere	Distribuzione gaussiana
	Abilità motorie	Distribuzione gaussiana
Tempi caratteristici di intervento	Sistema di monitoraggio e rilevazione	$120 < t [s] < 180$
	Sistema di comunicazione	$60 < t [s] < 120$
	Sistema di ventilazione	$120 < t [s] < 180$
	Chiusura galleria	$300 < t [s] < 480$
	Servizi di soccorso	$900 < t [s] < 1200$

La successiva figura esemplifica la logica soggiacente al trattamento di ciascun ramo dell'albero degli eventi nel Codice Pro Securitate 2005.



I modelli di simulazione del flusso del pericolo sono formulati in accordo al metodo della termofluidodinamica analitica e numerica e sono caratterizzati da livelli di complessità formale crescente.

La successiva figura mostra la schematizzazione adottata nel codice Pro Sicurezza 2005 per modellare un evento di incendio in galleria.

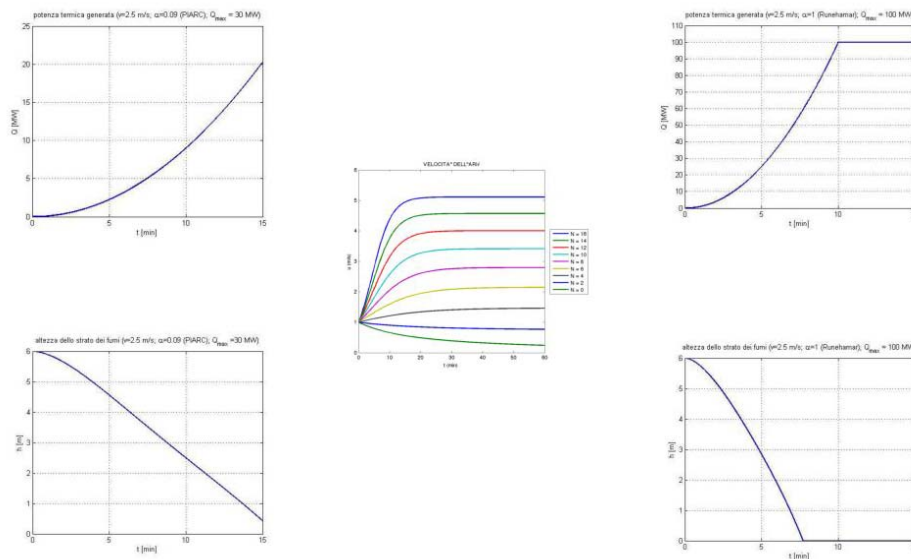


Esempi di modelli codificati sono modelli termodinamici monodimensionali suscettibili di integrazione analitica e modelli di flussi turbolenti bidimensionali risolubili con idonee tecniche numeriche.

I modelli semplificati adottati nel Codice Pro-Sicurezza 2005 sono stati tarati in modo da fornire risultati congruenti con modelli di campo di eventi di incendio in galleria formulati e risolti in accordo al metodo della termofluidodinamica numerica utilizzando codici commerciali (Codice FLUENT) ovvero codici liberi reperibili in rete (Codice FDS).

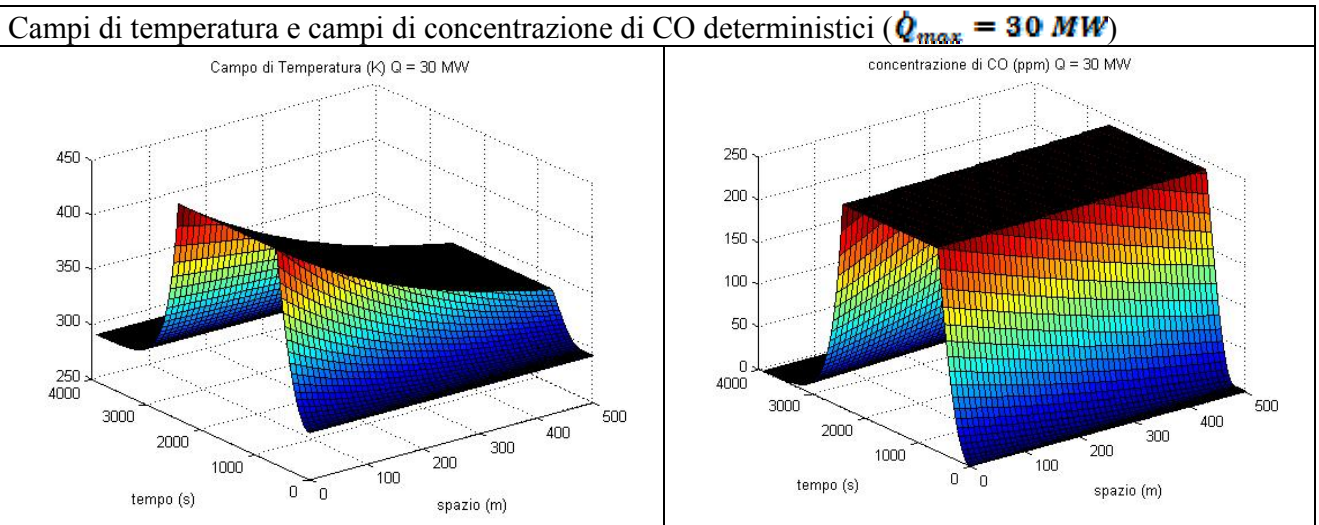
Il codice Pro Securitate consente di calcolare anche la variazione dell'altezza dello strato dei fumi in funzione del tempo risolvendo l'equazione di conservazione della massa e di bilancio dell'energia termica.

La successiva figura mostra l'andamento atteso dell'evoluzione dello strato dei fumi nella galleria per due valori di potenza termica massima rilasciata dei focolai ($\dot{Q}_{max} = 30 \text{ MW}$, $\dot{Q}_{max} = 100 \text{ MW}$), nonché la soluzione analitica dell'equazione di bilancio della quantità di moto in funzione del numero di ventilatori installati.

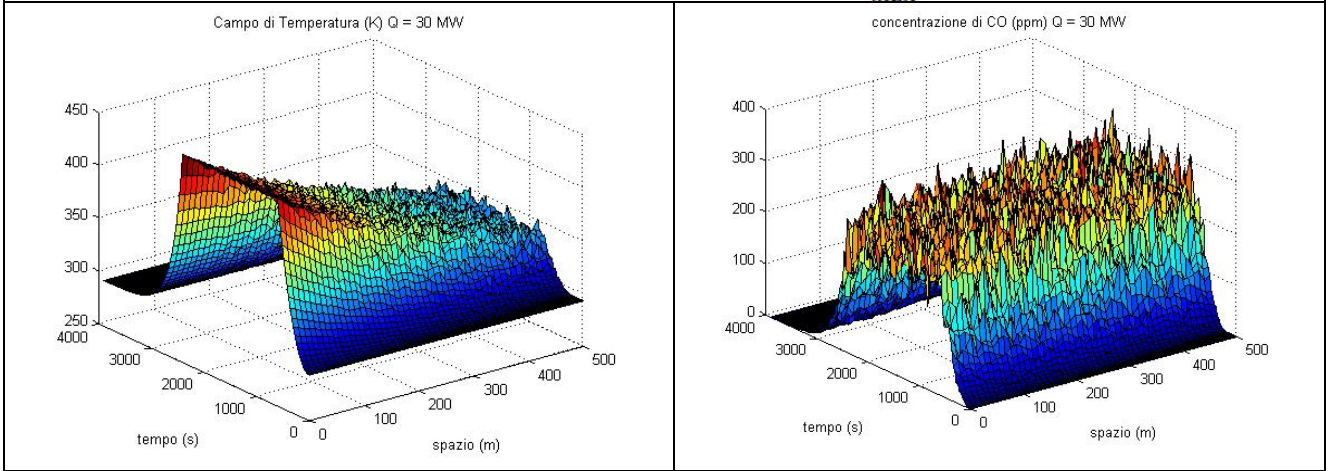


I grafici riportati evidenziano l'effetto che la scelta dell'evento dimensionante può avere sulla sicurezza complessiva garantita da un progetto.

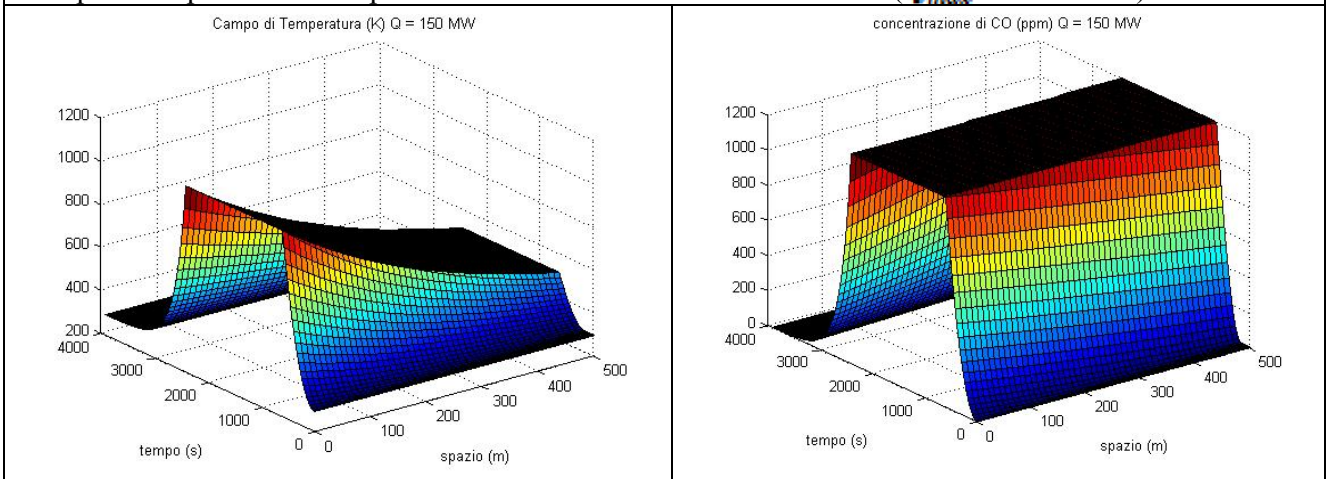
Le successive figure mostrano i campi di temperatura ed i campi di concentrazione di CO calcolati all'interno della galleria interessata da eventi di incendio generati da focolai di potenza termica diversa, ottenuti risolvendo con tecniche deterministiche e stocastiche il modello del flusso del pericolo.



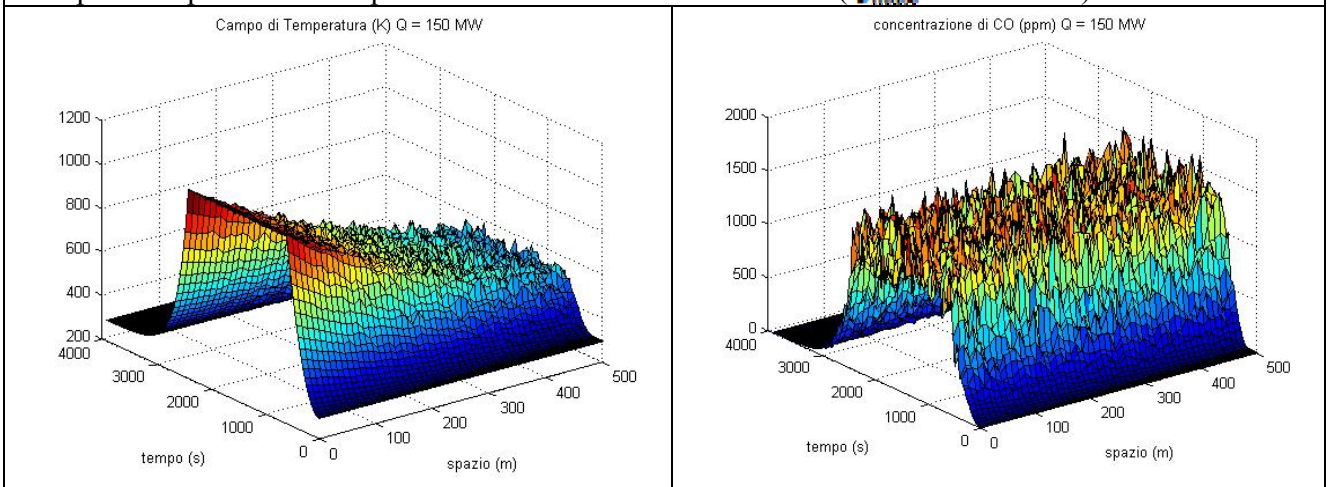
Campi di temperatura e campi di concentrazione di CO stocastici ($\dot{Q}_{max} = 30 MW$)



Campi di temperatura e campi di concentrazione di CO deterministici ($\dot{Q}_{max} = 150 MW$)

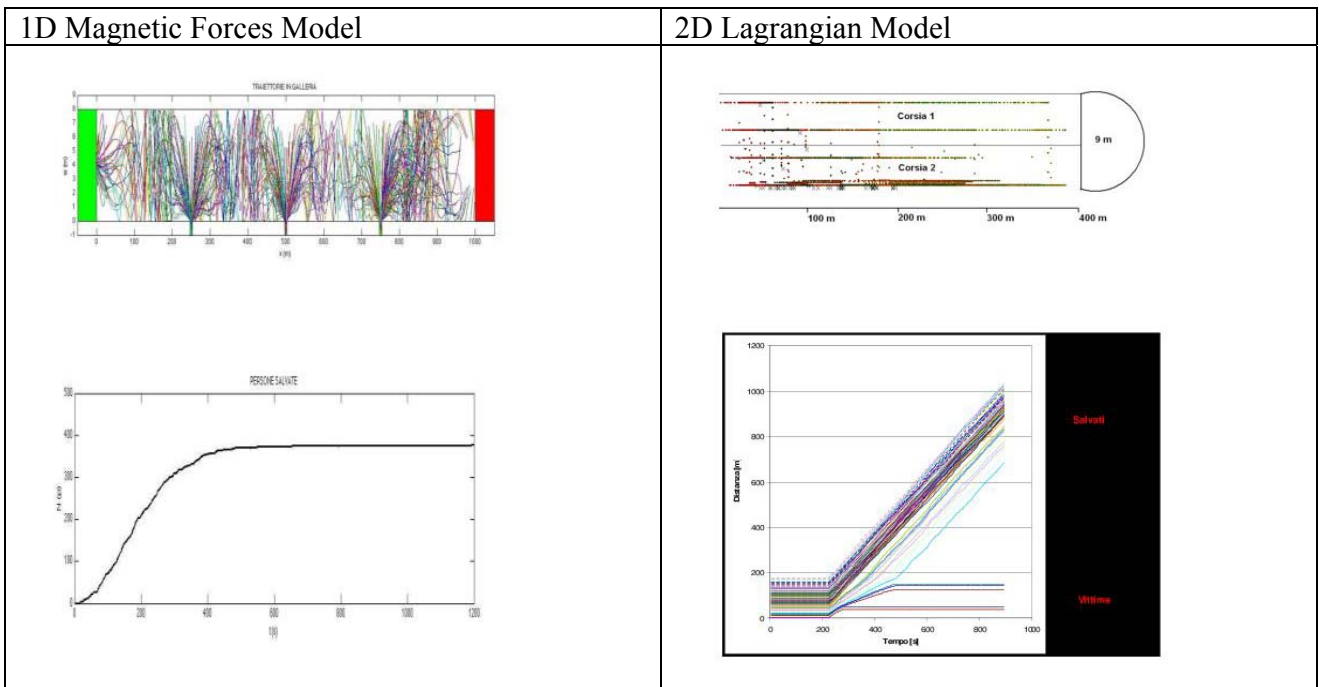


Campi di temperatura e campi di concentrazione di CO stocastici ($\dot{Q}_{max} = 150 MW$)



La simulazione del processo di esodo della popolazione coinvolta in un evento di incendio è condotta adottando modelli di esodo lagrangiani nella formulazione, risolti su percorsi di esodo monodimensionali e bidimensionali, nei quali i singoli componenti della popolazione si suppone interagiscano tra loro secondo prefissati potenziali di interazione.

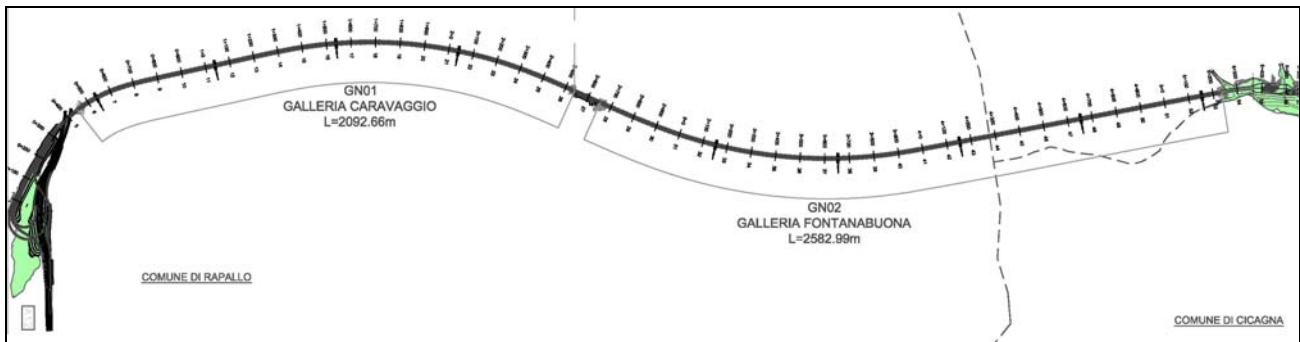
La successiva figura esemplifica le modalità di calcolo ed i risultati forniti dai modelli di esodo utilizzati dal codice Pro Securitate 2005.



4. PROGETTO DELLA SICUREZZA: LE GALLERIE CARAVAGGIO E FONTANABUONA

Il progetto prevede la realizzazione di uno svincolo completo che si innesta sul tratto di Autostrada A12 compreso tra le gallerie esistenti Giovanni Maggio e Casalino con rampe di immissione/uscita in direzione Genova e Livorno. La rampa principale, che con uno sviluppo di circa 5.6 km, costituisce il collegamento vero e proprio con la Valfontanabuona, prevede la realizzazione di due gallerie di lunghezza rispettivamente pari a 2092m e 2583m.

La successiva figura esemplifica il tracciato dello svincolo.



Le gallerie Caravaggio e Fontanabuona sono due gallerie consecutive intervallate da un tratto all'aperto in rilevato di 103m.

La sezione tipo di progetto, sviluppata per superare alcune criticità legate all'adozione di una sezione di galleria bidirezionale, prevede la realizzazione di una sezione innovativa, nella quale in un unico fornice, realizzato con tecniche di scavo tradizionali, vengono alloggiati due gallerie monodirezionali, ciascuna con una piattaforma di larghezza complessiva pari a 6,00 m, costituita da una corsia da 4.00 m, e banchine in destra e in sinistra di 1.00 m.

Le gallerie Caravaggio e Fontanabuona, ai sensi della legislazione vigente, si configurano come un'infrastruttura:

- dislocate su una Strada di tipo A (autostrada in ambito extraurbano), appartenente alla Rete TEN, perciò soggette alle prescrizioni del D.Lgs.264/06 in tema di sicurezza;
- caratterizzate da *“un progetto preliminare non ancora approvato”* secondo la dizione dell'Art. 8 D.Lgs. n. 264/06;
- costituite da singoli forni monodirezionali di lunghezza inferiore ai 3000m;
- caratterizzate da un profilo longitudinale che presenta con pendenza inferiore al 3%;
- interessate da un traffico medio giornaliero (TGM) superiore a 2000 v/g·corsia (14.500 v/g su 2 corsie) ed una percentuale di veicoli pesanti %VP>8%.

Le caratteristiche principali del progetto architettonico e geometrico dell'infrastruttura sono sintetizzate nelle successive tabelle.

CARATTERISTICHE ARCHITETTONICO - GEOMETRICHE		NOTE
Lunghezza	2092 m	
Pendenza media	-/+2%	
Traffico	Unidirezionale	
Corsie	n. 1 da 4m	
Banchine	n. 2 da 1m ciascuna	
Velocità massima	80km/h	
Uscite di emergenza	n. 4	By-pass pedonali tra i due fornici
Interasse uscite di emergenza	500m	
Luogo calmo in corrispondenza di ogni uscita di emergenza	si	

Tabella 1: Galleria Caravaggio

CARATTERISTICHE ARCHITETTONICO - GEOMETRICHE		NOTE
Lunghezza	2583m	
Pendenza media	-/+2%	
Traffico	Unidirezionale	
Corsie	n. 1 da 4m	
Banchine	n. 2 da 1m ciascuna	
Velocità massima	80km/h	
Uscite di emergenza	n. 5	By-pass pedonali tra i due fornici
Interasse uscite di emergenza	500m	
Luogo calmo in corrispondenza di ogni uscita di emergenza	si	

Tabella 2: Galleria Fontanabuona

4.1. Criteri di progetto della sicurezza

Il progetto della sicurezza, stanti le caratteristiche proprie del tracciato stradale è stato sviluppato adottando i criteri di verifica delle misure di sicurezza presenti per verificare la corretta rispondenza ai requisiti minimi richiesti ed alle eventuali anomalie.

Le successive tabelle sintetizzano le misure impiantistiche previste dal progetto della sicurezza redatto. Esse sono descritte, in modo dettagliato, nella relazione tecnica allagata.

MISURE DI SICUREZZA IMPIANTISTICHE		
Cabine elettriche	n. 2 CE01, CE02	1+1 ai portali
Consegna Enel	n.1 (alla cabina CE01)	Consegna in MT
Gruppi elettrogeni (alimentazione di riserva)	n. 2 in cabina CE01	1.2 MVA/cad
Trasformatori MT/bt per FM (690V)	da 1000kVA in CE01 da 630kVA in CE02	
Trasformatori MT/bt Luce Pubblica (400V)	da 315kVA / cad	n. 1 in CE01 n. 1 in CE02
Trasformatori bt/MT da GE	da 1600kVA / cad	n. 2 in CE01
UPS per ogni cabina	n. 1 UPS + batterie / cabina	
Impianto di ventilazione	Longitudinale	
Acceleratori in galleria	n. 14 per fornice	Jet-fans da 37kW/cad.
Pressurizzazione zone filtro by-pass	n. 2 ventilatori / Uscite Emergenza.	uno di riserva o per bolla d'aria
Impianto Illuminazione Permanente	Lampade LED	con regolatore di flusso e diagnostica
Impianto Illuminazione Rinforzi	Lampade LED	con regolatore di flusso e diagnostica
Impianto Illuminazione By-pass.	Lampade fluorescenza	
Stazioni acqua antincendio	n.1	n.1 lato cabina CE01
Rete idranti – ai portali	attacco autopompa VVF e idrante UNI 70	
Rete idranti: cassette in galleria	n. 16 per ogni fornice	Attacchi UNI 45
Postazioni di chiamata di soccorso SOS	n. 16 per ogni fornice	ogni 125m in galleria
Postazioni di chiamata di soccorso SOS	n. 4	In ogni Uscita Emerg. “luogo calmo”
Colonnine di chiamata di soccorso SOS	n.1 ad ogni imbocco	

Tabella 3: Galleria Caravaggio

MISURE DI SICUREZZA IMPIANTISTICHE		
Cabine elettriche	n. 2 CE03, CE04	1+1 ai portali
Consegna Enel	n.1 (alla cabina CE04)	Consegna in MT
Gruppi elettrogeni (alimentazione di riserva)	n. 2 in cabina CE04	1.3 MVA/cad
Trasformatori MT/bt per FM (690V)	da 800kVA in CE03 da 1250kVA in CE04	
Trasformatori MT/bt Luce Pubblica (400V)	da 250kVA in CE03 da 315kVA in CE04	
Trasformatori bt/MT da GE	da 1600kVA / cad	n. 2 in CE01
UPS per ogni cabina	n. 1 UPS + batterie / cabina	
Impianto di ventilazione	Longitudinale	
Acceleratori in galleria	n. 18 per fornice	Jet-fans da 37kW/cad.
Pressurizzazione zone filtro by-pass	n. 2 ventilatori / Uscite Emergenza.	uno di riserva o per bolla d'aria
Impianto Illuminazione Permanente	Lampade LED	con regolatore di flusso e diagnostica
Impianto Illuminazione Rinforzi	Lampade LED	con regolatore di flusso e diagnostica
Impianto Illuminazione By-pass.	Lampade fluorescenza	
Stazioni acqua antincendio	n.1	n.1 lato cabina CE01
Rete idranti – ai portali	attacco autopompa VVF e idrante UNI 70	
Rete idranti: cassette in galleria	n. 19 per ogni fornice	Attacchi UNI 45
Postazioni di chiamata di soccorso SOS	n. 19 per ogni fornice	ogni 125m in galleria
Postazioni di chiamata di soccorso SOS	n. 5	In ogni Uscita Emerg. "luogo calmo"
Colonnine di chiamata di soccorso SOS	n.1 ad ogni imbocco	

Tabella 4: Galleria Fontanabuona

Le strutture interne alla galleria che dividono il vano strada dalla galleria di servizio è previsto siano strutture REI 120 alla stessa stregua delle porte di accesso alle uscite di emergenza e delle porte di accesso al vano scale previsto in piazzola di sosta.

Gli acceleratori in galleria è previsto debbano resistere, mantenendo un corretto funzionamento, per 120 minuti a 400°C. I sistemi di ancoraggio in volta dei ventilatori hanno resistenza al fuoco coerente con la resistenza al fuoco degli acceleratori previsti.

I cavi di potenza è previsto siano installati in zona protetta dal fuoco entro apposite vie cavi poste sotto il piano stradale. I circuiti elettrici di alimentazione e trasmissione dei dati è previsto siano sezionati su tratti di circa 250m d utilizzano cavi a bassissima emissione di fumi e gas tossici e nocivi (LS0H =Low Smoke Zero Halogen). In particolare, i cavi previsti per l'alimentazione degli impianti di sicurezza e collocati in posizione non protetta, è previsto siano di tipo resistente al fuoco (850°C per 90'), in accordo alla Norma CEI 20-36, in modo da garantire la continuità di alimentazione anche in caso di incendio.

La successiva figura mostra una sezione tipo delle gallerie Caravaggio e Fontanabuona.

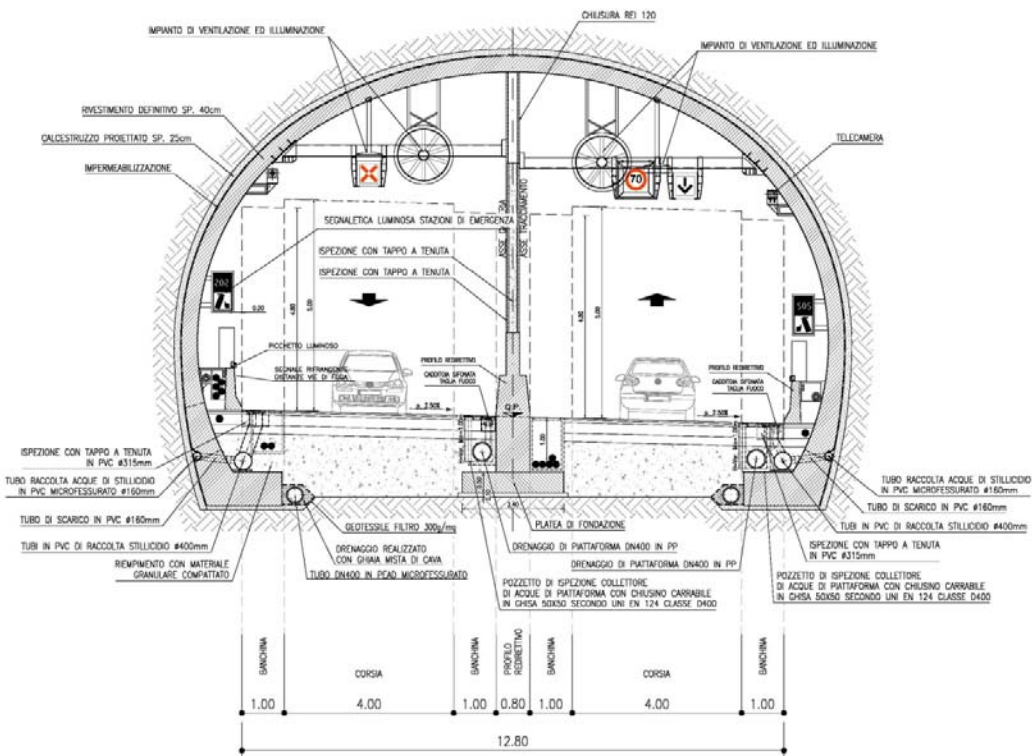


Figura 1: Sezione tipo gallerie Caravaggio e Fontanabuona

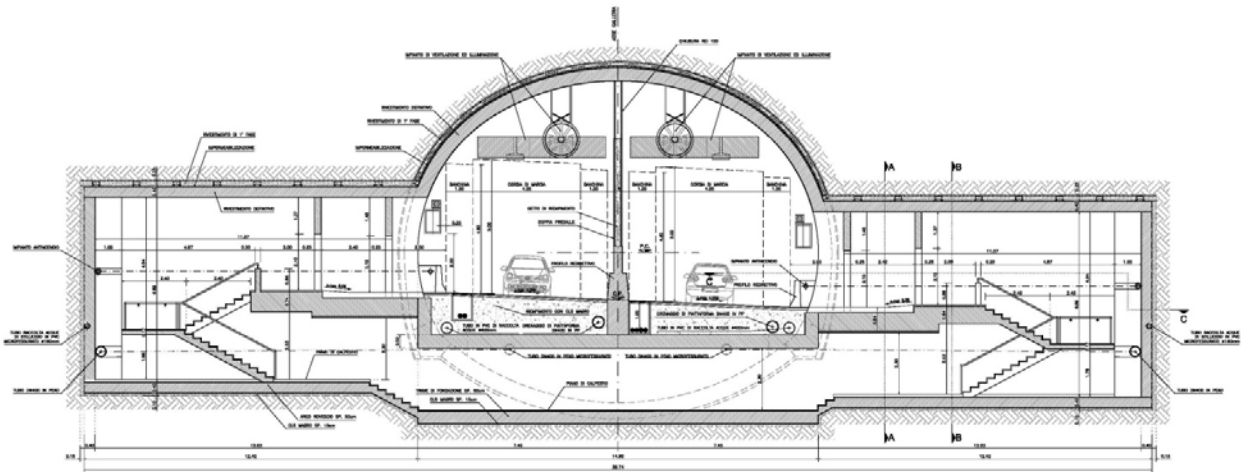


Figura 2: Sezione tipo by-pass pedonale

4.2. Analisi di conformità

Il confronto tra le misure di sicurezza previste ed i requisiti minimi di sicurezza richiesti è dettagliato nella successiva tabella. Essa è strutturata in modo affatto analogo alle prescrizioni dei legge (Allegato 2 al Decreto Legislativo n°264/2006) suddividendo i requisiti minimi di sicurezza in:

- *requisiti obbligatori*: requisiti per i quali, qualora mancanti nel caso di gallerie esistenti o in progetto con progetto preliminare approvato alla data 01.05.2006, è ammessa la deroga solo a condizione di prevedere misure di mitigazione del rischio alternative, la cui efficacia va dimostrata mediante valutazione in termini comparativi del rischio;
- *requisiti obbligatori con eccezioni*: requisiti la cui mancanza è consentita a condizione che ne venga dimostrata l'ammissibilità, mediante valutazione in termini assoluti del rischio;
- *requisiti raccomandati*: requisiti per i quali, qualora mancanti, non è richiesta alcuna particolare valutazione.

Sono inoltre dettagliate:

- la tipologia di requisito: S= strutturale – I= impiantistico;
- il paragrafo dell'Allegato 2 al D.Lgs. 264/06 in cui è descritto il requisito;
- la descrizione sintetica del requisito minimo e delle sue condizioni di applicabilità;
- la descrizione sintetica delle dotazioni della galleria in esame;
- la conformità alle prescrizioni di legge.

GALLERIA CARAVAGGIO

REQUISITO	TIP. (1)	RIF.TO	NOTE	CARAVAGGIO	Conformità
OBBLIGATORIO					
2 o più fornici	S	2.1.2	obbligatorio se le previsioni su 15 anni indicano traffico > 10.000 veicoli/corsia	2 fornici monodirezionale	SI
Misure supplementari per pendenza long. >3%	S	2.2.3	Obbligatorie tramite analisi di rischio	P<3%	SI
Banchine pedonabili di emergenza	S	2.3.1		Sono previste due banchine da 1m	SI
Uscite di emergenza	S	2.3.6-8	Obbligatorie con interdistanza massima 500m se il volume di traffico è > 2000 veicoli per corsia	Uscite di emergenza ogni 500m	SI
Illuminazione ordinaria	I	2.8.1		Illuminazione secondo D. 14/9/05: illuminazione di rinforzo e permanente	SI
Illuminazione di sicurezza	I	2.8.2		Quota parte della permanete sotto UPS	SI
Illuminazione di esodo	I	2.8.3		Picchetti luminosi posti lungo i piedritti	SI
Ventilazione meccanica	I	2.9.2-4	Obbligatorio impianto di ventilazione meccanica per gallerie di L.> 1000m con volume di traffico > 2000 veicoli per corsia (V. longitudinale consentita solo con analisi di rischio e misure specifiche)	Ventilazione longitudinale	SI
Ventilazione meccanica: disposizioni speciali per la v. (semi)trasversale	I	2.9.5	Per gallerie di L > 3000 m, traffico bidirezionale e volume di traffico > 2000 veicoli per corsia, la V. (semi)trasversale deve prevedere: estrazione fumi azionabile separatamente o a gruppi regolazione del processo di controllo dell'impianto di ventilazione		NON APPLICABILE
Stazioni di emergenza	I	2.10.2-3	Obbligatorie vicino ai portali e a interdistanze max 150m (dotazione minima: telef. SOS + 2 estintori)	Previste stazioni di emergenza ogni 150m	SI
Erogazione idrica	I	2.11	Obbligatorie con idranti a interdistanze max 250m	Prevista ogni 150m	SI + MISURA SUPPLEMENTARE
Segnaletica stradale	I	2.12	Obbligatorio secondo prescrizioni dell'allegato 5	Previsti segnali retroilluminati con indicazione delle vie di fuga	SI
Centro di controllo	I	2.13.1	Obbligatorio per G. di L > 3000 m con volume di traffico > 2000 veicoli per corsia	Presente	SI

Impianti di sorveglianza: telecamere + rilevamento automatico incidente e/o incendio	I	2.14.1	Obbligatorio nelle gallerie servite da un centro di controllo	Sistema di videosorveglianza mediante TVcc, sistema rilevamento automatico incendi/incidenti	SI
Impianto per chiudere la galleria: semafori agli imbocchi	I	2.15.1	Obbligatorio per G. di L. > 1000 m	Pannelli alfanumerici e freccia croce agli imbocchi e ripetuti in galleria	SI
Sistemi di comunicazione: ritrasmissioni radio ad uso servizi pronto intervento	I	2.16.1	Obbligatorio per gallerie di L > 1000 m con volume di traffico > 2000 veicoli per corsia	Presente	SI
Sistemi di comunicazione: messaggi di emergenza via radio destinati agli utenti della galleria	I	2.16.2	Obbligatorio per gallerie di L > 3000 m servite da un centro di controllo	Prevista ripetizione canali radio informativi (Isoradio)	SI
Alimentazione elettrica di emergenza	I	2.17.1		Previsti UPS e GE	SI
Resistenza e reazione al fuoco degli impianti e sistemi e dei loro componenti	I	2.18	Devono consentire il mantenimento delle necessarie funzioni di sicurezza	Presente	SI

OBBLIGATORIO CON ECCEZIONI					
Pendenza long.< 5%	S	2.2.2	Obbligatorio solo se le caratteristiche geomorfologiche non consentono diverse soluzioni progettuali	Pendenza sempre <5%	SI
Accessi per i servizi di pronto intervento (gallerie trasversali nelle gallerie a doppio fornice)	S	2.4.1	Obbligatorie per G. di L. > 1500 m se i fornice sono allo stesso livello, o comunque collegabili, con interdistanza max 1500 m		NON APPLICABILE
Punti attraversamento spartitraffico agli imbocchi (G. a doppio fornice)	S	2.4.2	Obbligatorio solo se le caratteristiche geomorfologiche lo consentono	Presente	
Piazzole di sosta	S	2.5.1-3	Obbligatorie ogni 1000 m solo per G bidirezionali di L > 1500 m con volume di traffico >2000 veicoli per corsia, qualora non sia prevista la corsia di emergenza; non obbl. se la largh. residua della piattaforma, escluse le corsie di marcia, è pari almeno ad una corsia		NON APPLICABILE
Drenaggio	S	2.6.1	Obbligatorio solo se è autorizzato il trasporto di merci pericolose	Presente	SI
Resistenza al fuoco delle strutture	S	2.7	Obbligatorio solo se un eventuale cedimento locale può avere conseguenze catastrofiche		NON APPLICABILE
Impianti di sorveglianza: rilevamento automatico incendio	I	2.14.2	Obbligatorio se, in assenza di centro di controllo, il funzionamento della	Rilevamento incendio mediante cavo fibrolaser e telecamere	NON APPLICABILE

			ventilazione per controllo fumi è diverso è diverso da quello automatico per controllo inquinanti		
Sistemi di comunicazione: altoparlanti nei rifugi e presso le uscite	I	2.16.3	Obbligatorio se gli utenti della galleria in fase di evacuazione devono aspettare prima di poter raggiungere l'esterno	SOS presente nel luogo calmo	SI (auto salvataggio degli utenti)

RACCOMANDATO					
Impianto per chiudere la galleria: semafori all'interno della galleria	I	2.15.2	Raccomandato per G. di L. > 3000 m e volume di traffico > 2000 veicoli per corsia, con interdistanza max 1000 m	Pannelli alfanumerici e freccia croce agli imbocchi e ripetuti in galleria	SI

GALLERIA FONTANABUONA

REQUISITO	TIP. (1)	RIF.TO	NOTE	FONTANABUONA	Conformità
OBBLIGATORIO					
2 o più fornici	S	2.1.2	obbligatorio se le previsioni su 15 anni indicano traffico > 10.000 veicoli/corsia	2 fornici monodirezionale	SI
Misure supplementari per pendenza long. >3%	S	2.2.3	Obbligatorie tramite analisi di rischio	P<3%	SI
Banchine pedonabili di emergenza	S	2.3.1		Sono previste due banchine da 1m	SI
Uscite di emergenza	S	2.3.6-8	Obbligatorie con interdistanza massima 500m se il volume di traffico è > 2000 veicoli per corsia	Uscite di emergenza ogni 500m	SI
Illuminazione ordinaria	I	2.8.1		Illuminazione secondo D. 14/9/05: illuminazione di rinforzo e permanente	SI
Illuminazione di sicurezza	I	2.8.2		Quota parte della permanente sotto UPS	SI
Illuminazione di esodo	I	2.8.3		Picchetti luminosi posti lungo i piedritti	SI
Ventilazione meccanica	I	2.9.2-4	Obbligatorio impianto di ventilazione meccanica per gallerie di L.> 1000m con volume di traffico > 2000 veicoli per corsia (V. longitudinale consentita solo con analisi di rischio e misure specifiche)	Ventilazione longitudinale	SI
Ventilazione meccanica: disposizioni speciali per la v. (semi)trasversale	I	2.9.5	Per gallerie di L > 3000 m, traffico bidirezionale e volume di traffico > 2000 veicoli per corsia, la V. (semi)trasversale deve prevedere: estrazione fumi azionabile separatamente o a gruppi regolazione del processo di controllo dell'impianto di ventilazione		NON APPLICABILE
Stazioni di emergenza	I	2.10.2-3	Obbligatorie vicino ai portali e a interdistanze max 150m (dotazione minima: telef. SOS + 2 estintori)	Previste stazioni di emergenza ogni 150m	SI
Erogazione idrica	I	2.11	Obbligatorie con idranti a interdistanze max 250m	Prevista ogni 150m	SI + MISURA SUPPLEMENTARE
Segnaletica stradale	I	2.12	Obbligatorio secondo prescrizioni dell'allegato 5	Previsti segnali retroilluminati con indicazione delle vie di fuga	SI
Centro di controllo	I	2.13.1	Obbligatorio per G. di L > 3000 m con volume di traffico > 2000 veicoli per corsia	Presente	SI
Impianti di sorveglianza:	I	2.14.1	Obbligatorio nelle	Sistema di	SI

telecamere + rilevamento automatico incidente e/o incendio			gallerie servite da un centro di controllo	videosorveglianza mediante TVcc, sistema rilevamento automatico incendi/incidenti	
Impianto per chiudere la galleria: semafori agli imbocchi	I	2.15.1	Obbligatorio per G. di L. > 1000 m	Pannelli alfanumerici e freccia croce agli imbocchi e ripetuti in galleria	SI
Sistemi di comunicazione: ritrasmissioni radio ad uso servizi pronto intervento	I	2.16.1	Obbligatorio per gallerie di L > 1000 m con volume di traffico > 2000 veicoli per corsia	Presente	SI
Sistemi di comunicazione: messaggi di emergenza via radio destinati agli utenti della galleria	I	2.16.2	Obbligatorio per gallerie di L > 3000 m servite da un centro di controllo	Prevista ripetizione canali radio informativi (Isoradio)	SI
Alimentazione elettrica di emergenza	I	2.17.1		Previsti UPS e GE	SI
Resistenza e reazione al fuoco degli impianti e sistemi e dei loro componenti	I	2.18	Devono consentire il mantenimento delle necessarie funzioni di sicurezza	Presente	SI

OBBLIGATORIO CON ECCEZIONI					
Pendenza long.< 5%	S	2.2.2	Obbligatorio solo se le caratteristiche geomorfologiche non consentono diverse soluzioni progettuali	Pendenza sempre <5%	SI
Accessi per i servizi di pronto intervento (gallerie trasversali nelle gallerie a doppio fornice)	S	2.4.1	Obbligatorie per G. di L. > 1500 m se i fornici sono allo stesso livello, o comunque collegabili, con interdistanza max 1500 m		NON APPLICABILE
Punti attraversamento spartitraffico agli imbocchi (G. a doppio fornice)	S	2.4.2	Obbligatorio solo se le caratteristiche geomorfologiche lo consentono	Presente	
Piazzole di sosta	S	2.5.1-3	Obbligatorie ogni 1000 m solo per G bidirezionali di L > 1500 m con volume di traffico >2000 veicoli per corsia, qualora non sia prevista la corsia di emergenza; non obbl. se la largh. residua della piattaforma, escluse le corsie di marcia, è pari almeno ad una corsia		NON APPLICABILE
Drenaggio	S	2.6.1	Obbligatorio solo se è autorizzato il trasporto di merci pericolose	Presente	SI
Resistenza al fuoco delle strutture	S	2.7	Obbligatorio solo se un eventuale cedimento locale può avere conseguenze catastrofiche		NON APPLICABILE
Impianti di sorveglianza: rilevamento automatico incendio	I	2.14.2	Obbligatorio se, in assenza di centro di controllo, il funzionamento della ventilazione per	Rilevamento incendio mediante cavo fibrolaser e telecamere	NON APPLICABILE

			controllo fumi è diverso è diverso da quello automatico per controllo inquinanti		
Sistemi di comunicazione: altoparlanti nei rifugi e presso le uscite	I	2.16.3	Obbligatorio se gli utenti della galleria in fase di evacuazione devono aspettare prima di poter raggiungere l'esterno	SOS presente nel luogo calmo	SI (auto salvataggio degli utenti)

RACCOMANDATO					
Impianto per chiudere la galleria: semafori all'interno della galleria	I	2.15.2	Raccomandato per G. di L. > 3000 m e volume di traffico > 2000 veicoli per corsia, con interdistanza max 1000 m	Pannelli alfanumerici e freccia croce agli imbocchi e ripetuti in galleria	SI

4.3. Analisi di sicurezza

L'applicazione della procedura di valutazione della sicurezza alle gallerie in progetto hanno fornito i risultati sintetizzati nella Tabella 5:

Galleria Caravaggio (L=2092m)	Galleria Fontanabuona (L=2583m)
$P_c = 0,321$	$P_c = 0,449$
$P_i = 0,508$	$P_i = 0,805$
$P^{05} = 0,91$	$P^{05} = 1,12$
$J(TGM)P^{05} = 4,29$	$J(TGM)P^{05} = 5,28$

Tabella 5 - Risultati dell'analisi di sicurezza

La Tabella 6 sintetizza i dati inerenti la caratterizzazione delle misure di sicurezza adottate per effettuare l'analisi di sicurezza.

Direzionalità traffico	Monodirezionale
Lunghezza galleria (L)	2092 m (Caravaggio), 2583 m (Fontanabuona)
Allineamento verticale (φ)	-2%
Interdistanza vie di fuga (d)	500 m
Geometria percorsi di esodo (l_b)	Banchine libere rettilinee Larghezza 1 m
Volume traffico (TGM)	14500 veh/g
% veicoli pesanti (VP)	9%
Congestione (C)	15%
Sistema di ventilazione	Longitudinale Velocità massima 5-6 m/s Velocità critica 4-2,5 m/s Velocità controllata 1,5-1 m/s Resistenza al fuoco ventilatori 400-250 °C per 90 min
Sistema antincendio	Interdistanza idranti 150 m Portata minima 1200 l/min Pressione 0,5 MPa
Sistema di illuminazione di emergenza	5-3 lux
Drenaggio	portata 100-50 l/s

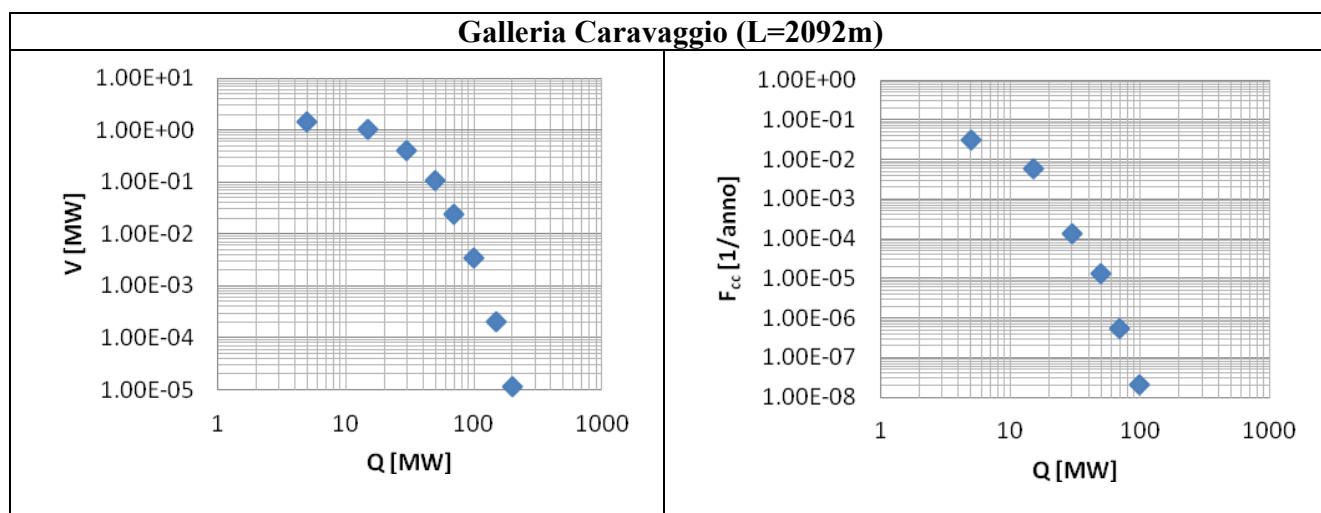
Tabella 6 – Caratterizzazione delle misure di sicurezza

I risultati ottenuti evidenziano come per la galleria Val Fontanabuona non sarebbe obbligatorio effettuare alcun tipo di analisi di rischio, non presentando anomalie nei parametri di sicurezza, né deficit nei requisiti minimi di sicurezza.

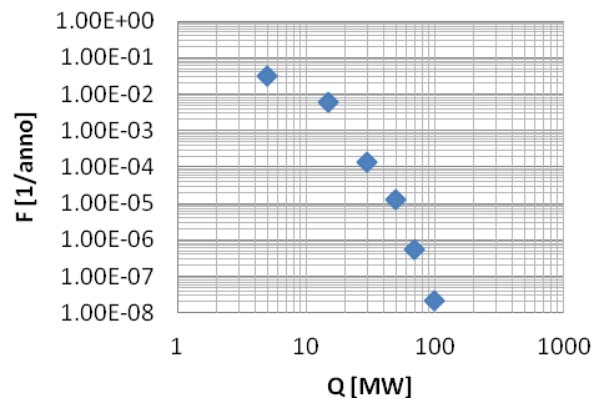
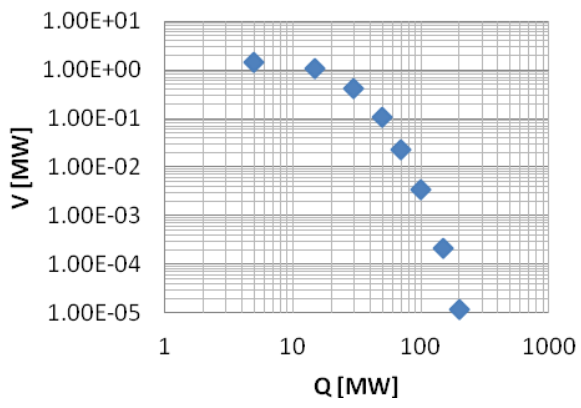
4.1. Analisi di Vulnerabilità

Le successive tabelle e figure sintetizzano il calcolo del potenziale vulnerabilità rispetto agli eventi critici per le gallerie Caravaggio e Fontanabuona, i grafici del potenziale vulnerabilità rispetto agli eventi di incendio e le frequenze di accadimento cumulate complementari degli eventi critici quali determinati dalla composizione del traffico in funzione delle potenze attribuite a diverse categorie di veicoli.

Gallerie Caravaggio e Fontanabuona					
Q [MW]	p [-]	Composizione traffico [-]	V [MW]	F _{cc} (Caravaggio) [1/anno]	F _{cc} (Fontanabuona) [1/anno]
5	4.56E-01	6.18E-01	1.41E+00	2.25E-02	3.15E-02
15	2.93E-01	2.36E-01	1.04E+00	4.24E-03	5.94E-03
30	1.50E-01	9.02E-02	4.06E-01	9.76E-05	1.37E-04
50	6.18E-02	3.44E-02	1.06E-01	9.27E-06	1.30E-05
70	2.54E-02	1.32E-02	2.34E-02	3.83E-07	5.37E-07
100	6.69E-03	5.03E-03	3.36E-03	1.52E-08	2.13E-08
150	7.25E-04	1.92E-03	2.09E-04	0.00E+00	0.00E+00
200	7.86E-05	7.34E-04	1.15E-05	0.00E+00	0.00E+00



Galleria Fonatnabuona (L=2583m)



4.2. Analisi di rischio

La Figura 10 mostra la curva cumulata complementare fornita dal codice Pro Sicurezza 2005 per la galleria Caravaggio (L=2092m), considerando un'efficacia globale del progetto della sicurezza sviluppato pari a 0,85.

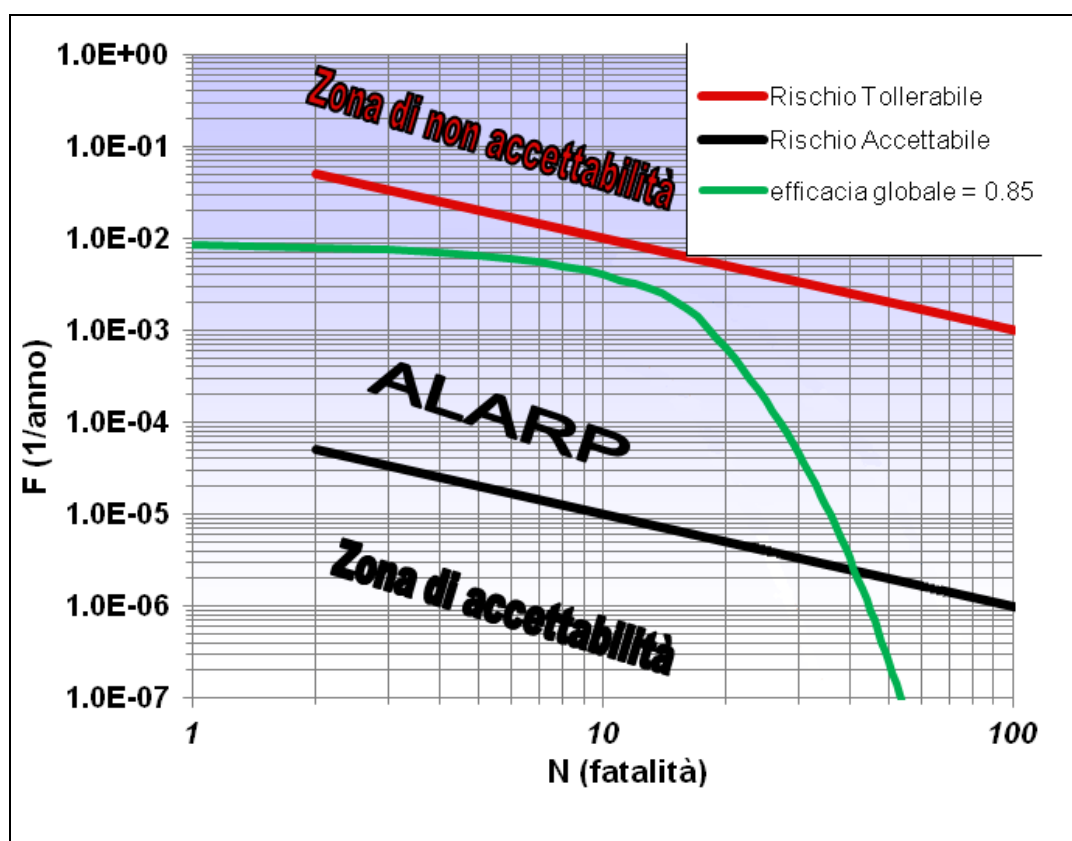


Figura 3 - Misura di Rischio Sociale per la galleria Caravaggio (L=2092m)

La Figura 11 mostra la curva cumulata complementare fornita dal codice Pro Sicurezza 2005 per la galleria Fontanabuona (L=2583m), considerando un'efficacia globale del progetto della sicurezza sviluppato pari a 0,85.

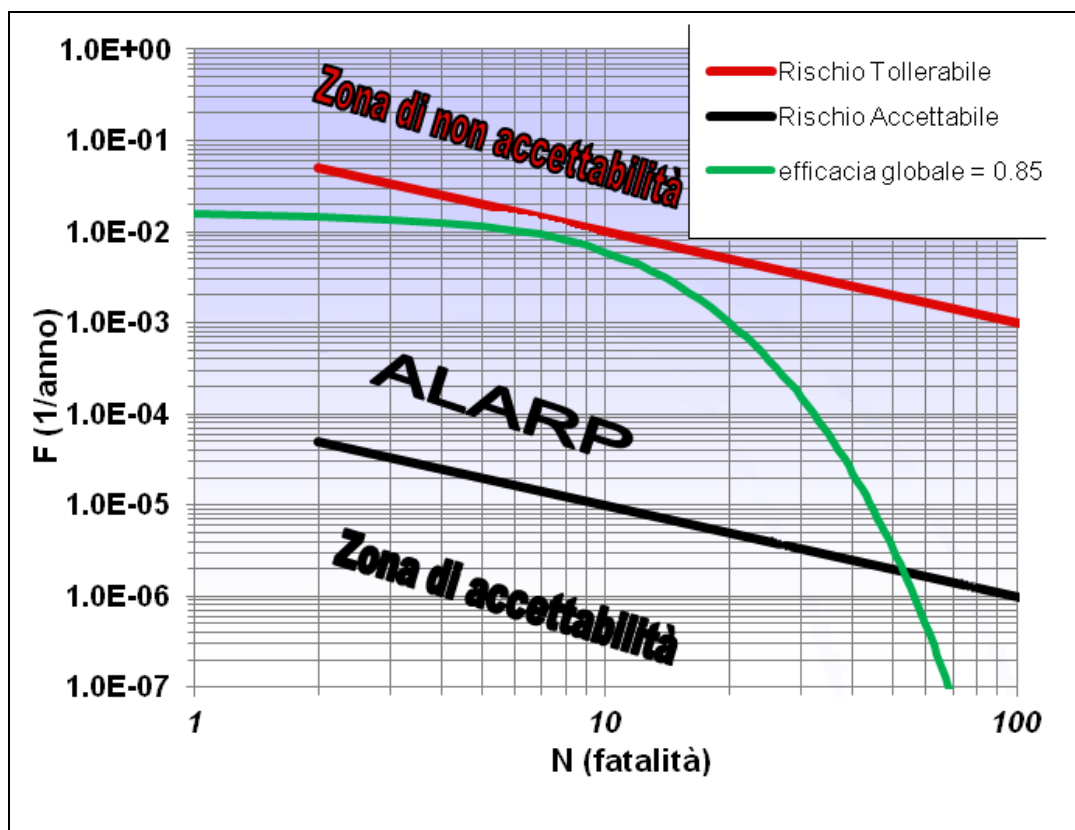


Figura 4 - Misura di Rischio Sociale per la galleria Fontanabuona (L=2583m)

La Tabella 5 mostra il Valore Atteso del Danno in funzione dell'efficacia globale del progetto della sicurezza per le due gallerie:

Gallerie Val Fontanabuona	
VAD	Efficacia globale 0.85
Caravaggio (L=2074m)	8.44E-02
Fontanabuona(L=2600m)	1.41E-01
VAD medio	1.13E-01

Tabella 7 - Valore Atteso del Danno

5. CONCLUSIONI

L'analisi del rischio sviluppata consente di determinare mediante l'applicazione del Codice Pro Securitate l'andamento delle curve cumulate complementari ed i relativi valori attesi del danno per le gallerie Caravaggio e Fontanabuona.

In conclusione le misure di sicurezza individuate per tali gallerie soddisfano la teoria di accettazione del rischio adottata nel D.Lgs.264 basata sul Principio ALARP.

ALLEGATO A