

S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

VARIANTE TECNICA N°4

ai sensi dell'art. 176, comma 5, secondo periodo lettera "a" e lettera "b", del D.Lgs. N. 163/2006 e Art. 11 del CSA-NG

CONTRAENTE GENERALE



DIRETTORE DEI LAVORI

Ing. CARLO DAMIANI

OPERE D'ARTE MAGGIORI

GALLERIE NATURALI

GALLERIA NATURALE CALTANISSETTA



Studio della Sicurezza



Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

3579-01

Codice Elaborato:

PA12_09 - V 1 2 5 GN 2 0 4 GN 0 2 Z R H 0 0 2 C

Scala:

F						
E						
D						
C	Aprile 2021	AGGIORNAMENTO CARTIGLIO	A. FOCARACCI	A. FOCARACCI	A. ANTONELLI	A. FINAMORE
B	Ottobre 2020	Emissione a seguito nota DL nr.003/CD/19 del 05.02.2019	A. FOCARACCI	A. FOCARACCI	A. ANTONELLI	A. FINAMORE
A	Aprile 2018	EMISSIONE	A. FOCARACCI	A. FOCARACCI	A. ANTONELLI	P. PAGLINI
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO

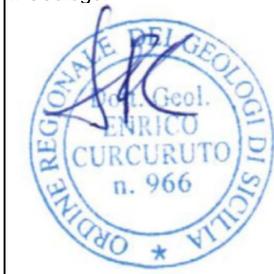
Il Progettista:



Il Consulente Specialista:



Il Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza:



Il Direttore dei Lavori:



Responsabile del procedimento: Ing. LUIGI MUPO



Empedocle2 S.C.p.A.

GALLERIA CALTANISSETTA

SS N.640 DI "PORTO EMPEDOCLE"

STUDIO DELLA SICUREZZA

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"

		Prometeoengineering.it Srl viale Giuseppe Mazzini, 11 - 00195 Roma Tel. 06 33.22.53.50 www.prometeoengineering.it			
		Commessa: 630-PE2			
Data	Rev.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Aprile 2018	0	Emissione	GG	MS	AF
Ottobre 2020	1	Revisione per commenti	GG	MS	AF



Pagina lasciata intenzionalmente bianca

INDICE

1	Premessa.....	7
2	Inquadramento normativo.....	10
2.1	Abbreviazioni.....	12
2.2	Glossario.....	15
3	Descrizione del sistema galleria.....	22
3.1	Descrizione generale della galleria e del suo ambiente	22
3.1.1	Rischio sismico.....	23
3.1.2	Caratteristiche ambientali.....	24
3.1.3	Classificazione della galleria	24
3.1.4	Gestore dell'opera	24
3.2	Descrizione delle opere civili	25
3.2.1	Caratteristiche geometriche della galleria	25
3.2.2	Caratteristiche tracciato stradale.....	27
3.2.3	Vie di fuga ed uscite di emergenza	29
3.2.4	Caratteristiche del rivestimento e delle opere di drenaggio.....	29
3.3	Descrizione degli impianti di sicurezza.....	30
3.3.1	Impianto di illuminazione ordinaria	30
3.3.2	Impianto di illuminazione di evacuazione	31
3.3.3	Impianto di ventilazione.....	32
3.3.4	Impianto di monitoraggio dell'aria.....	33
3.3.5	Impianto di pressurizzazione by-pass	33
3.3.6	Impianto idrico antincendio.....	34
3.3.7	Impianto rivelazione incendi	35
3.3.8	Impianto radio	36
3.3.9	Impianto SOS.....	36
3.3.10	Impianto di videosorveglianza (TVCC).....	37
3.3.11	Impianto per chiudere la galleria	38

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

3.3.12	Impianto di segnaletica luminosa	38
3.3.13	Sistema di telecontrollo	39
3.3.14	Sistema di rilevazione malfunzionamenti e valutazione del rischio tempo reale.....	41
3.3.15	Impianti elettrici	43
3.4	Comportamento al fuoco	44
3.4.1	Resistenza al fuoco delle strutture	44
3.4.2	Protezione contro la caduta di apparecchiature appese a soffitto	44
3.4.3	Funzionamento degli impianti al calore	44
3.5	Accessibilità della galleria da parte dei soccorsi.....	45
3.6	Dotazioni di evacuazione	45
3.7	Descrizione delle caratteristiche di traffico	46
4	Analisi preliminare dei pericoli	50
4.1	Guasti e malfunzionamenti.....	51
4.1.1	Infrastruttura.....	51
4.1.2	Impianti.....	52
4.1.3	Errore umano	53
4.2	Inquinamento in galleria	53
4.3	Veicolo fermo / ostacolo in carreggiata	53
4.3.1	Perdita di carico.....	53
4.3.2	Veicolo fermo / Avaria	54
4.3.3	Presenza di animali vaganti/morti.....	54
4.4	Turbativa alla circolazione.....	55
4.4.1	Traffico rallentato / coda	56
4.4.2	Traffico bloccato.....	56
4.5	Violazioni del codice.....	56
4.6	Ambiente.....	57
4.7	Incidente stradale.....	57
4.8	Incendio.....	58

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

4.9	Incidenti con merci pericolose	59
4.10	Esplosione.....	60
4.11	Azione terroristica / catastrofe naturale	60
5	Analisi di vulnerabilità della galleria	61
5.1	Identificazione dei parametri di sicurezza.....	62
5.1.1	Parametri di sicurezza principali.....	62
5.1.2	Parametri di sicurezza caratteristici.....	63
5.2	Identificazione del gruppo di requisiti minimi di sicurezza	65
5.3	Verifica di conformità al D.Lgs 264/06.....	67
5.4	Fattori di pericolo.....	71
5.4.1	Scala del Pericolo.....	71
6	Il metodo IRAM (Italian Risk Analysis Method)	78
6.1	Diagramma di flusso IRAM.....	82
6.2	Eventi critici iniziatori.....	83
6.2.1	Caratterizzazione probabilistica.....	84
6.2.2	Caratterizzazione energetica.....	97
6.3	Albero degli eventi.....	100
6.4	Determinazione delle prestazioni dei sistemi di sicurezza.....	101
6.5	Flusso del pericolo	104
6.6	Evacuazione degli utenti	106
6.7	Quantificazione del rischio	113
6.7.1	Criteri di accettazione del rischio.....	113
7	Il rischio.....	115
7.1	Calcolo delle frequenze di accadimento.....	115
7.2	Albero degli eventi.....	116
7.3	Calcolo delle conseguenze	117
7.4	Calcolo del rischio	119
8	Ipotesi di calcolo.....	121

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

8.1	Traffico	121
8.2	Efficienza dei sistemi di sicurezza	122
8.2.1	Stima delle incertezze	122
8.2.2	Monitoraggio-rilevazione	123
8.2.3	Comunicazione.....	124
8.2.4	Ventilazione.....	126
8.2.5	Illuminazione	127
8.2.6	Erogazione idrica.....	128
8.2.7	Drenaggio.....	129
9	Risultati	130
9.1	Curve Cumulate Complementari	131
10	Conclusioni.....	132
	Allegato A: albero degli eventi	134
	Configurazione di PE	134
	Configurazione di Perizia di Variante n.4.....	142
	Configurazione di Perizia di Variante n.4 con SCADRA	150
	Allegato B: simulazioni di flusso del pericolo.....	159

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

1 Premessa

Il presente documento costituisce lo Studio della Sicurezza della galleria naturale Caltanissetta, opera inserita all'interno di un importante e strategico corridoio europeo ed in particolare nella parte corrispondente all'itinerario Agrigento-Caltanissetta-A19 dal km 44+000 allo svincolo con la A19, e fa riferimento ai lavori di ammodernamento e adeguamento alla Cat. B del D.M. 5.11.2001 della S.S 640 "di Porto Empedocle".

Il documento è redatto in conformità 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".

La galleria Caltanissetta è una galleria stradale a doppio fornice, di lunghezza pari a circa 4000 m, e traffico monodirezionale con n.2 corsie per senso di marcia.

Ai sensi della Circolare n.5244 del 26/07/2011 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti la galleria Caltanissetta non è a caratteristiche speciali.

La Direttiva 2004/54/CE "Requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della rete stradale trans europea", recepita in Italia dal Decreto Legislativo n. 264 del 5 ottobre 2006 "Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale trans europea", costituisce il riferimento normativo per la sicurezza in fase di esercizio di gallerie stradali ed autostradali in ambito europeo.

La Direttiva Europea, e quindi il D.Lgs 264/06, individuano gli obiettivi di sicurezza da perseguire, identificano un insieme di parametri di sicurezza da considerare, fissano gruppi di requisiti minimi di sicurezza da soddisfare, sollecitano siano adottate idonee misure gestionali, richiedono sia redatta un'idonea documentazione di sicurezza, nell'ambito di un approccio sistemico per la progettazione della sicurezza che individua l'analisi di rischio come lo strumento analitico da utilizzare per determinare e valutare il livello di sicurezza di una galleria. Al paragrafo § 2.3.8 del D.Lgs 264/06 si stabilisce che "Se vi sono uscite di emergenza, la distanza tra due di esse non deve superare i 500 m". E successivamente al paragrafo § 2.4.1 si stabilisce che "Nelle gallerie a doppio fornice, se i fornicci si trovano allo stesso livello, o quasi, devono essere previste almeno ogni 1 500 m delle gallerie trasversali adatte ai veicoli dei servizi di pronto intervento."

Inoltre con la legge 24 marzo 2012, n. 27, "Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 24 gennaio 2012, n. 1 "Decreto Sviluppo": Misure urgenti in materia di concorrenza, liberalizzazioni e infrastrutture", pubblicata in G.U. del 24 marzo 2012, n. 71, all'articolo n.53 "Allineamento alle norme europee della regolazione progettuale delle infrastrutture ferroviarie e stradali e disposizioni in materia di gallerie stradali", viene stabilito il concetto dell' "over design" attraverso la frase: "Non possono essere applicati alla progettazione e costruzione delle nuove gallerie stradali e autostradali nonché agli adeguamenti di quelle esistenti, parametri e standard tecnici e funzionali più stringenti rispetto a quelli previsti dagli accordi e dalle norme dell'Unione Europea".

Tale concetto viene ripreso dal "Decreto Sblocca Italia" e dalla successiva Legge 11 novembre 2014, n. 164 "Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 11 settembre 2014, n. 133, Misure urgenti per l'apertura

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

dei cantieri, la realizzazione delle opere pubbliche, la digitalizzazione del Paese, la semplificazione burocratica, l'emergenza del dissesto idrogeologico e per la ripresa delle attività produttive", pubblicata in G.U. n. 262 dell'11 novembre 2014. In particolare l'art. 14 "Disposizioni in materia di standard tecnici" recita: "Non possono essere richieste da parte degli organi competenti modifiche dei progetti delle opere pubbliche rispondenti a standard tecnici più stringenti rispetto a quelli definiti dal diritto europeo e prescritti dagli Organi comunitari, senza che le stesse siano accompagnate da una stima dei sovra costi necessari e da una analisi di sostenibilità economica e finanziaria per il gestore dell'infrastruttura, corredata da stime ragionevoli anche in termini di relativi tempi di attuazione."

Lo scopo delle norme citate è quello di ridurre i costi derivanti dall'over design, determinando una maggiore economicità nella realizzazione e gestione in sicurezza delle gallerie in generale.

Con riferimento alle misure infrastrutturali dedicate all'esodo degli utenti in caso di emergenza, il progetto esecutivo della galleria Caltanissetta prevede n.9 by pass pedonali e n.4 by pass pedonali/carrabili in coerenza con la normativa, D.M. 5/11/2001 "Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade", la quale stabilisce, come indicato al paragrafo § 4.1.2, che "Per gallerie a doppio fornice devono essere previsti collegamenti pedonali ogni 300 m e collegamenti per il passaggio di veicoli di soccorso o di servizio ogni 900 m".

L'exkursus normativo sopra illustrato rende concreta, ossia attuabile sotto l'aspetto normativo e di buona pratica di progettazione, la possibilità di presentare alla Commissione Permanente per le Gallerie la proposta che prevede di portare l'interdistanza massima tra le uscite di emergenza della galleria Caltanissetta a 500m per le uscite di emergenza pedonali e 1500m per le uscite di emergenza carrabili.

Inoltre, nel corso degli scavi per la realizzazione dei due fornici della galleria, a causa delle complesse condizioni geologiche, geotecniche ed idrogeologiche delle aree e dei terreni interessati dallo scavo, si sono manifestate subsidenze superficiali che impongono attente riflessioni sulla localizzazione dei by-pass di collegamento tra i fornici.

In particolare, è possibile evidenziare lungo lo sviluppo della galleria aree di criticità geologica/idrogeologica ed aree di criticità con subsidenze superficiali dovute alla presenza di edifici.

Di conseguenza, nella Perizia di Variante n.4 è stata proposta una nuova distribuzione dei by-pass pedonali e carrabili che, rispondendo ai requisiti della Direttiva 2004/54/CE, ovvero del Decreto Legislativo n. 264/06, consente di non interessare con gli scavi dei by-pass le zone di criticità precedentemente evidenziate.

D'altronde, come evidenziato in precedenza, la galleria Caltanissetta, facente parte della rete TERN, non è a caratteristiche speciali, pertanto sarebbe sufficiente il rispetto dei requisiti minimi previsti dal D.Lgs. 264/06 per il soddisfacimento delle richieste di normativa.

In considerazione della maggiore interdistanza tra le uscite di emergenza rispetto a quanto previsto nel progetto esecutivo della galleria, ed al fine di ridurre il livello di rischio della galleria in configurazione di

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

variante, si prevede in ogni caso l'adozione di misure di sicurezza impiantistiche integrative rispetto a quanto già previsto in progetto esecutivo.

Il livello di sicurezza della galleria nelle diverse configurazioni analizzate è stato pertanto valutato mediante un'analisi di rischio quantitativa. In questo senso, l'analisi di rischio rappresenta lo strumento con cui quantificare i benefici attesi a seguito delle modifiche proposte e può essere utilizzata come strumento di supporto al processo decisionale, oltre che come verifica del raggiungimento dei livelli minimi di sicurezza richiesti.

L'analisi di rischio della galleria è stata condotta secondo la metodologia prevista dal D.Lgs. 264/2006 art. 13 e paragrafo 3 dell'Allegato 3, e meglio dettagliata dalle "Linee Guida ANAS per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali", nota con la dicitura di IRAM (Italian Risk Analysis Method), valutata con voto 177/05 bis del 15/12/2005 dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

2 Inquadramento normativo

Riferimento Normativo

DECRETO LEGISLATIVO 5 Ottobre 2006 n.264: *"Attuazione della Direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea"*.

Documenti Collegati

Direttiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004 relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della Rete stradale transeuropea.

"Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali" emesse dalla Direzione Centrale Progettazione dell'ANAS SpA con circolare n.17/06 del 28/11/2006.

Note:

Le Linee Guida sono state votate dai membri dell'Assemblea Generale del C.S.L.L.P.P.:

Voto dell'Assemblea Generale del C.S.L.L.P.P. del 29/9/2005. Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali, redatte dall'ANAS. Misure strutturali ed impiantistiche.

Voto dell'Assemblea del C.S.L.L.P.P. del 15/12/2005. Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali, redatte dall'ANAS. Analisi dei rischi.

Le *"Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali"* sono state revisionate e rimesse con prot. n.CDG-179431-P del 09/12/2009 dalla Condirezione Generale Tecnica di ANAS SpA.

Documenti Complementari

Legge n.226 13/07/1999: *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 14/01/2008: *Norme Tecniche per le Costruzioni.*

Decreto Ministeriale 14/9/2005: *Norme di illuminazione delle gallerie stradali.*

Circolare ANAS n. 33/2005: *Sagome interne e principali dotazioni infrastrutturali delle gallerie stradali.*

Decreto Interministeriale 28/10/2005: *Sicurezza nelle gallerie ferroviarie.*

Decreto Ministero dell'Interno 9/5/2007: *"Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio"*

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

PIARC Committee on Road Tunnels:

- *"Fire and Smoke Control in Road Tunnels"*, 1999
- *"Road Tunnels: Emissions, Ventilation, Environment"*, 1999
- *«Risk Analysis for road tunnel » 2008*
- *«Risk Evaluation» Draft Report TC4- WG2C - 2010*

ISO 13387 *Fire Safety Engineering* Parts 1-8, 1999

NFPA 502: *Standard for Road Tunnels, Bridges and other limited access highways*, 2004

IEC, International Standard 60300 –3 – 9, *Risk Analysis of technological systems*, Geneve, 1995

NFPA 551: *Evaluation of Fire Risk Assessments*, 2004

MHIDAS (Major Hazard Incidents Data Service), UK Health and Safety Execution, July 2004

Commissioni Sicurezza Gallerie Stradali e Ferroviarie – Atti del Seminario "sicurezza in galleria: normativa, progetti, nuove tecnologie" – Genova, 27-28 Marzo 2007.

A. Focaracci - Nuovi orientamenti in tema di normative di sicurezza per gallerie stradali e ferroviarie - Gallerie e Grandi Opere sotterranee n 73 agosto 2004.

A. Focaracci - Relazione del Presidente del Comitato C.3.3 sulla gestione delle gallerie stradali, XXV Congresso Nazionale Stradale AIPCR Napoli 4-7 ottobre 2006.

Focaracci A.– Progettazione e realizzazione della sicurezza nelle gallerie stradali e ferroviarie - Strade & Autostrade 1-2007.

Focaracci A. Progettare la sicurezza - Italian Risk Analysis Method - Le strade 4-2007.

Angelozzi E.; Bandini Claudio; Doferri Vitelli M.; Focaracci A.; Grassi F. – Il progetto del potenziamento appenninico - Le strade 6-2007.

Focaracci A.; Tozzi G.– L'applicazione del D.Lgs. n 264/2006 alle gallerie di Autostrade per l'Italia (ASPI) – Le strade 11-2007.

2.1 Abbreviazioni

La successiva tabella contiene la lista delle abbreviazioni utili per la lettura del Progetto della Sicurezza. Alcuni termini possono non essere contenuti nel documento attuale e sono da intendersi quale riferimento per le versioni future.

Abbreviazione	Significato
A	
ADR	Normativa sul Trasporto Merci Pericolose
AID	Automatic Incident Detection
AIPCR	Associazione Internazionale Permanente dei Congressi della Strada (Associazione Mondiale della Strada)
AISCAT	Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
B	
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
BPC	By-pass Carrabile
BPP	By-pass Pedonale
C	
CE	Condizioni di Esercizio
CME	Condizioni Minime di Esercizio
COA	Centrale Operativa Autostradale della Polizia Stradale
COC	Centro Operativo di Controllo
E	

Abbreviazione	Significato
ETA	Event Tree Analysis
I	
IDC	Indicatori di Disponibilità della Corsia (<i>Semafori freccia-croce</i>)
IRAM	Italian Risk Analysis Method
M	
MP	Merci Pericolose
MT	Media Tensione
N	
NC	Non Conosciuto
ND	Non Determinato
P	
PHA	Preliminary Hazard Analysis
PGE	Piano di Gestione dell'Emergenza
PMV	Pannello a Messaggio Variabile
PMR	Persone a Mobilità Ridotta
PS	Polizia di Stato
R	
RAI	Rilevamento Automatico degli Incidenti
RI	Rilevamento Incendio
S	
SCADA	Sistema di Supervisione e Controllo

Abbreviazione	Significato
T	
TIR	mezzi pesanti
TGM	Traffico Giornaliero Medio (su base annua)
TMP	Trasporto di Merci Pericolose
U	
UPS	Gruppo di continuità elettrica
V	
VAD	Valore Atteso del Danno
VCE	Vapour Cloud Explosion
VL	Veicolo Leggero
VP	Veicolo Pesante
VS(S)	Veicolo di Soccorso (Stradale)
VTMP	Veicolo Trasportante Merci Pericolose
VVF	Vigili del Fuoco

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

2.2 Glossario

A

ALARP: Acronimo dell'espressione inglese *AsLowAsReasonablyPracticable* che individua la porzione del diagramma frequenza di accadimento - numero di fatalità compreso tra il livello di accettabilità ed il livello di tollerabilità del rischio entro la quale si applica l'analisi costi - benefici come criterio guida nell'assumere decisioni di gestione del rischio in presenza di incertezza per una data struttura. I livelli di accettabilità e di tollerabilità delimitano la regione di accettabilità condizionata del rischio. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

ALBERO DEGLI EVENTI: Sequenza di eventi, ognuno caratterizzabile in termini di probabilità di accadimento condizionate dall'azione delle misure di prevenzione e protezione adottate. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

ALLARME: Situazione o stato anormale che segnala un degrado, una variazione importante della condizione al contorno rilevata o un difetto di un impianto.

ALLERTA: Chiamata o segnale che proviene in seguito alla minaccia di un pericolo e che invita a prendere delle misure per contrastarlo.

ANALISI DI RISCHIO: Metodologia finalizzata alla valutazione ed alla gestione del rischio associato ad un determinato sistema galleria rispetto alle conseguenze sulla popolazione esposta. La valutazione del rischio è un processo che comporta l'individuazione delle sorgenti 'i pericolo e la determinazione dell'esposizione della popolazione 'l pericolo ed include la stima delle incertezze connesse. La gestione del rischio è l'atto decisionale, susseguente 'alla valutazione del rischio, inerente la realizzazione di misure di sicurezza, in modo congruente alle caratteristiche del contesto sociale, economico, politico del paese nel quale è realizzata l'opera. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

ANOMALIA: termine che indica una deviazione dallo stato normale atteso.

C

CAUSA O EVENTO INIZIATORE: Particolare situazione o condizione di pericolo che da origine a una sequenza incidentale.

CONDIZIONI MINIME DI ESERCIZIO (CME): Le CME corrispondono ad una soglia, oltre la quale, in situazione degradata, sono necessarie misure compensative al fine di garantire la sicurezza degli utenti. Esse indicano lo stato di disponibilità dei dispositivi di sicurezza oltre il quale la galleria deve essere chiusa alla circolazione ovvero devono essere adottate misure supplementari.

CONSEGUENZA: Risultanza dell'accadimento di un evento pericoloso sulla popolazione esposta, sulla struttura, sugli impianti, sull'economia, sull'ambiente. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

CURVA DI DEFLUSSO: Curva rappresentativa della variazione della velocità media della corrente veicolare in funzione della densità di flusso. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

D

DANNO: Rappresenta l'impatto ultimo di un incidente e può essere valutato in termini di decessi, numero di feriti, costo economico per il ripristino delle infrastrutture, ecc.

DENSITA' DI FLUSSO: Rapporto tra i veicoli equivalenti transitati in una sezione stradale rispetto ai veicoli equivalenti smaltibili nella stessa unità di tempo. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

E

ELEMENTO AGGRAVANTE: Particolare situazione o condizione di pericolo che si presenta a evento incidentale già accaduto e che contribuisce all'aggravamento del danno in termini di aumento dei danni materiali e aumento del numero di feriti e/o morti.

EFFETTO DOMINO: Concatenazione di un incidente (un primo incidente danneggia un altro sistema o impianto scatenando un nuovo incidente di gravità simile o superiore al primo).

ESERCIZIO STRADALE: Fruizione dell'infrastruttura nel rispetto delle regole che disciplinano il comportamento degli utenti e il deflusso veicolare, atte a soddisfare le esigenze della domanda di traffico nel rispetto di predeterminati standard di sicurezza. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

EVACUAZIONE: Operazione che permette lo spostamento delle persone dallo spazio adibito alla circolazione, e soggetto ad una situazione di emergenza, verso l'esterno dell'infrastruttura.

EVENTO: Qualsiasi turbativa al funzionamento normale dell'infrastruttura, sia che questa è legata al funzionamento tecnico degli impianti o alla circolazione dei veicoli, sia che questa è imprevista (incidente) oppure no (lavori all'interno del tunnel).

EVENTO ELEMENTARE: Singolo accadimento di una successione di eventi consequenziali. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

EVENTO INIZIATORE: Accadimento all'origine di una catena di eventi successivi che determinano nel loro complesso uno scenario di pericolo caratterizzato da una specifica distribuzione di conseguenze che identificano il danno ad esso associato. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

EVENTO RILEVANTE(o EVENTO CRITICO): Evento caratterizzato da bassa probabilità di accadimento ed elevate conseguenze. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

E

FERITI: persone a cui siano derivate, a seguito di incidente, lesioni. *[Definizione AISCAT]*

FLASH FIRE: fenomeno fisico derivante dall'innesco ritardato di una nube di vapori infiammabili.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

FLUSSO VEICOLARE: Numero di veicoli transitati in una sezione stradale nell'unità di tempo conteggiati indipendentemente dalle loro caratteristiche tipologiche. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

FREQUENZA: Numero di accadimenti previsti per un certo evento rispetto ad un periodo di riferimento, in genere l'anno.

FUNZIONAMENTO DEGRADATO: La situazione è caratterizzata dall'indisponibilità di personale e/o impianti e si rende necessaria la messa in opera di misure compensative che possono riguardare il personale, gli impianti e/o la gestione del traffico.

G

GALLERIA SPECIALE: Galleria alla quale sono associate caratteristiche geometriche, funzionali e ambientali che possono indurre condizioni di pericolo per gli utenti tali da richiedere, suffragata da analisi di rischio, l'adozione di misure di sicurezza integrative. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

GALLERIA VIRTUALE: Galleria che possiede tutte le misure di sicurezza corrispondenti ai requisiti minimi obbligatori previsti dal DECRETO LEGISLATIVO 5 Ottobre 2006 n.264 ALLEGATO 2 non affette da malfunzionamento. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

GESTORE DELL'INFRASTRUTTURA: Soggetto incaricato della realizzazione, della manutenzione dell'infrastruttura stradale e dell' gestione in sicurezza della circolazione. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

I

INCIDENTE: Evento, o serie di eventi, non intenzionali che causano danni a persone, a cose e all'ambiente ovvero la disfunzione di un sistema o di un servizio. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

INCIDENTI CON CONSEGUENZE ALLE PERSONE: incidenti dai quali siano derivati traumi a persone di qualsiasi gravità (ferite e/o decessi). *[Definizione AISCAT]*

INCIDENTI MORTALI: incidenti nei quali si siano verificati uno o più decessi fra le persone infortunate entro trenta giorni dal momento dell'incidente. *[Definizione AISCAT]*

INCIDENTALITÀ SPECIFICA: numero di eventi incidentali verificatisi nell'unità di tempo e di sviluppo della strada rapportati ai veicoli transitati nella stessa sezione e nello stesso tempo. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

INDICE DI RISCHIO: indicatore quantitativo di rischio espresso in funzione della probabilità di accadimento di un evento incidentale e dell'entità delle conseguenze da es'ò derivanti. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

J

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

JET FIRE: fenomeno fisico derivante dall'innescio immediato di un getto di liquido o di gas rilasciato da un contenitore in pressione.

L

LIVELLO DI RISCHIO ACCETTABILE: Livello di rischio proprio della galleria virtuale. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

LIVELLO DI RISCHIO TOLLERABILE: Livello di rischio associato al livello globale di sicurezza del sistema galleria rispondente ai requisiti minimi di sicurezza. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

LIVELLO DI SERVIZIO: Condizione tipica di deflusso caratterizzata dalla densità veicolare e dalla velocità media di transito. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

LIVELLO GLOBALE DI SICUREZZA: Livello di sicurezza del sistema galleria fornito dalle misure di sicurezza installate. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

LUNGHEZZA DI TRANSIZIONE: Sviluppo stradale di limitata estensione ove, in fase di esercizio, l'utente adegua la marcia a diverse situazioni geometrico-funzionali. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

M

MALFUNZIONAMENTO: Condizione funzionale delle misure di sicurezza diversa dalle condizioni di progetto e caratterizzata da una specifica probabilità che essa possa determinare una condizione di pericolo ed un conseguente danno. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

MANOVRE A RISCHIO: Manovre che il conducente del veicolo effettua in debito di sicurezza. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

MANOVRE ILLEGALI: Manovre che il conducente del veicolo effettua in contrasto con i disposti legislativi e/o regolamentari che regolano l'esercizio stradale. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

MANOVRE IN EMERGENZA: Manovre che il conducente del veicolo effettua per evitare l'incidente in situazioni critiche e impreviste e/o imprevedibili. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

MISURE DI EQUIVALENZA: Provvedimenti adottabili per conseguire un livello globale di sicurezza equivalente quando non siano tecnicamente od economicamente realizzabili uno o più dei requisiti minimi caratterizzanti una classe di gallerie. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

MISURE DI SICUREZZA: Provvedimenti strutturali, impiantistici, gestionali mirati a ridurre la probabilità di accadimento e/o le conseguenze di eventi incidentali. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

MISURE DI SICUREZZA INTEGRATIVE: Provvedimenti complementari che integrano i requisiti minimi di sicurezza e sono finalizzati al perseguimento di un minore livello di rischio per le gallerie che presentano

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

caratteristiche speciali rispetto ai parametri di sicurezza, tali da determinare condizioni di maggiore potenziale pericolo. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

MORTI: persone a cui siano derivate a seguito di incidente lesioni tali da provocarne il decesso all'atto dell'incidente o comunque entro trenta giorni. *[Definizione AISCAT]*

N

NUBE TOSSICA: dispersione, in aria, di sostanza tossica quale conseguenza più significativa di perdite o rotture dei relativi serbatoi, altrimenti anche come conseguenza della combustione di altre sostanze.

P

PERICOLO: condizione o stato potenzialmente in grado di produrre danni all'uomo o all'ambiente.

PERSONE COINVOLTE IN INCIDENTI: persone a cui siano derivati traumi, di qualsiasi gravità, a seguito di incidente. *[Definizione AISCAT]*

POOL FIRE: evento incidentale che presuppone l'innesco di una sostanza liquida sversata in un'area circoscritta o meno.

POPOLAZIONE ESPOSTA: Insieme costituito dagli utenti, dal personale di esercizio, dal personale addetto al soccorso. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

PREVENZIONE: Misure ed azioni intese a ridurre la probabilità di accadimento di un evento pericoloso. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

PROBABILITÀ DI INCIDENTE: Sommatoria delle probabilità individuali di incidente estesa al flusso transitato su un tronco stradale in un definito arco temporale. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

PROBABILITÀ INDIVIDUALE DI INCIDENTE: Sommatoria delle produttorie delle probabilità degli eventi elementari intercettati da ciascun percorso critico dell'albero degli eventi. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

PROBABILITÀ DI MALFUNZIONAMENTO: Rapporto normalizzato tra il numero di eventi anomali rispetto al totale degli eventi possibili nelle condizioni di ordinario funzionamento. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

PROTEZIONE: Misure ed azioni intese a ridurre le conseguenze di un evento pericoloso. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

Q

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

QUALIFICAZIONE FUNZIONALE DELLA STRADA: Caratterizzazione dell'itinerario stradale in funzione della tipologia prevista dal CdS e dell'ambito territoriale attraversato. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

R

REQUISITI DI SICUREZZA: Provvedimenti strutturali, infrastrutturali ed impiantistici previsti per un tracciato stradale in sotterraneo e finalizzati a ridurre il rischio d'esercizio agendo sia sulla probabilità di accadimento degli eventi incidentali, sia sulle possibili conseguenze. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

REQUISITI MINIMI DI SICUREZZA: Provvedimenti strutturali, infrastrutturali ed impiantistici necessari a garantire il livello globale di sicurezza associato alla soglia di rischio tollerabile. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

RISCHIO: Legame analitico tra probabilità di accadimento di un evento ed entità delle conseguenze da esso derivanti, inclusiva delle incertezze connesse alla stima delle grandezze di definizione. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

S

SCENARIO: Una successione di eventi che descrive, a partire da un dato evento iniziatore, le modalità condizionate dalle misure di sicurezza adottate, che inducono determinate conseguenze. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

SISTEMA GALLERIA: E' il complesso costituito dagli elementi strutturali, dall'ambiente circostante l'opera, al traffico pertinente l'opera e l'ambiente, dalle dotazioni di sicurezza impiantistiche e dalle procedure di gestione che caratterizzano un tracciato in sotterraneo della strada. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

SITUAZIONI CRITICHE: Condizioni strutturali, ambientali e/o funzionali che determinano un'elevata probabilità di accadimento e/a gravi conseguenze per un evento incidentale. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

I

TASSO INCIDENTALE: Rapporti tra il numero di incidenti, incidenti mortali, persone coinvolte, morti e le percorrenze relativamente svolte nel periodo dalle unità veicolari (esprese in centinaia di milioni di veicoli – km).

TRONCO STRADALE: Sezione longitudinale di un itinerario stradale dello sviluppo di alcuni chilometri caratterizzata da omogeneità strutturali, di traffico o funzionali. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

V

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

VALUTAZIONE DI EQUIVALENZA: Analisi di rischio atta a verificare in forma quantitativa l'equivalenza ai fini del perseguimento di un livello globale di sicurezza tra provvedimenti previsti in alternativa ad eventuali requisiti minimi non realizzati e/o non realizzabili. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

VEICOLI CHILOMETRO: sono i chilometri complessivamente percorsi dalle unità veicolari entrate in autostrada. *[Definizione AISCAT]*

VEICOLI EFFETTIVI: è il numero di tutte le unità veicolari (siano esse autovetture, autocarri, motrici, autotreni, autoarticolati o autosnodati) entrate in autostrada, a prescindere dai chilometri percorsi. *[Definizione AISCAT]*

VEICOLI EQUIVALENTI: Quantificazione del flusso veicolare nell'unità di tempo espressa riconducendo tramite l'adozione di opportuni coefficienti di equivalenza le diverse componenti di traffico ad un'unica tipologia veicolare. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

VEICOLI LEGGERI: si intendono i motocicli e gli autoveicoli a due assi con altezza da terra, in corrispondenza dell'asse anteriore, inferiore a 1,30 m. *[Definizione AISCAT]*

VEICOLI PESANTI: si intendono sia gli autoveicoli a due assi con altezza da terra, in corrispondenza dell'asse anteriore, superiore a 1,30 m., sia tutti gli autoveicoli a tre o più assi. *[Definizione AISCAT]*

VEICOLI TEORICI (o TGMT): sono le unità veicolari che idealmente, percorrendo l'intera autostrada, danno luogo nel complesso a percorrenze pari a quelle ottenute realmente (veicoli chilometro di cui sopra); il numero di tali veicoli è definito dal rapporto tra i veicoli chilometro e la lunghezza dell'autostrada. *[Definizione AISCAT]*

Z

ZONA DI APPROCCIO ALLA GALLERIA: Tratta stradale precedente l'ingresso in galleria ove le condizioni di esercizio possono influenzare la sicurezza della marcia in sotterraneo. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

ZONA IN USCITA ALLA GALLERIA: Tratta stradale precedente l'ingresso in galleria ove le condizioni di esercizio possono influenzare la sicurezza della marcia in sotterraneo. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

3 Descrizione del sistema galleria

Il presente capitolo è stato predisposto in applicazione del comma 2.3 dell'Allegato 4 del D.Lgs italiano n. 264 del 5.10.2006, con lo scopo di definire le caratteristiche principali della galleria Caltanissetta e del territorio circostante la galleria, così da poter valutare le condizioni di rischio a cui sarà soggetta la circolazione.

Il documento comprende le seguenti parti:

- Descrizione generale della galleria e del suo ambiente;
- Descrizione delle opere civili;
- Descrizione degli impianti di sicurezza;
- Descrizione del comportamento al fuoco;
- Accessibilità della galleria da parte dei soccorsi;
- Analisi di rispondenza delle gallerie ai requisiti minimi di sicurezza previsti dal D.Lgs 264/06.

3.1 Descrizione generale della galleria e del suo ambiente

La galleria Caltanissetta fa parte dei lavori di ampliamento della S.S.640 "di Porto Empedocle", consistenti nell' adeguamento della S.S.640 esistente (strade ad unica carreggiata, doppio senso di marcia) ad una strada di tipo B "extraurbana principale". Il progetto di adeguamento prevede, in corrispondenza della città di Caltanissetta, una variante fuori sede della S.S.640 che si sviluppa tra gli svincoli di Caltanissetta Sud e Caltanissetta Nord e costituisce, in sostanza, un by pass dell' area urbana nissena. Il tratto in variante a doppia carreggiata comprende la galleria Caltanissetta, realizzata con metodo di scavo meccanizzato a tutta sezione con impiego di macchina TBM scudata.

La galleria a doppio fornice ha una lunghezza di 3970,11 m in carreggiata destra (dir. A19) e 3962,89 m in carreggiata sinistra (dir. Agrigento). Gli assi dei due fornici distano tra loro da un minimo di 35m (in prossimità degli imbocchi) fino ad un massimo di 85m.

Il fornice destro (dir. A19) si sviluppa dalla pk. 12+929,58 alla pk. 16+955,16, ha quota lato Agrigento a 530,91 m s.l.m. e quota lato A19 a 508,65m s.l.m., con quota massima lungo il tracciato a 550,81 m s.l.m. a circa 1872 m dall'imbocco.

Il fornice sinistro (dir. Agrigento) si sviluppa dalla pk. 16+909,60 alla pk. 12+924,58, ha quota lato A19 a 507,50 m s.l.m., e quota lato Agrigento a 530,88 m s.l.m. con quota massima lungo il tracciato a 550,81 m s.l.m. a circa 2073 m dall'imbocco.

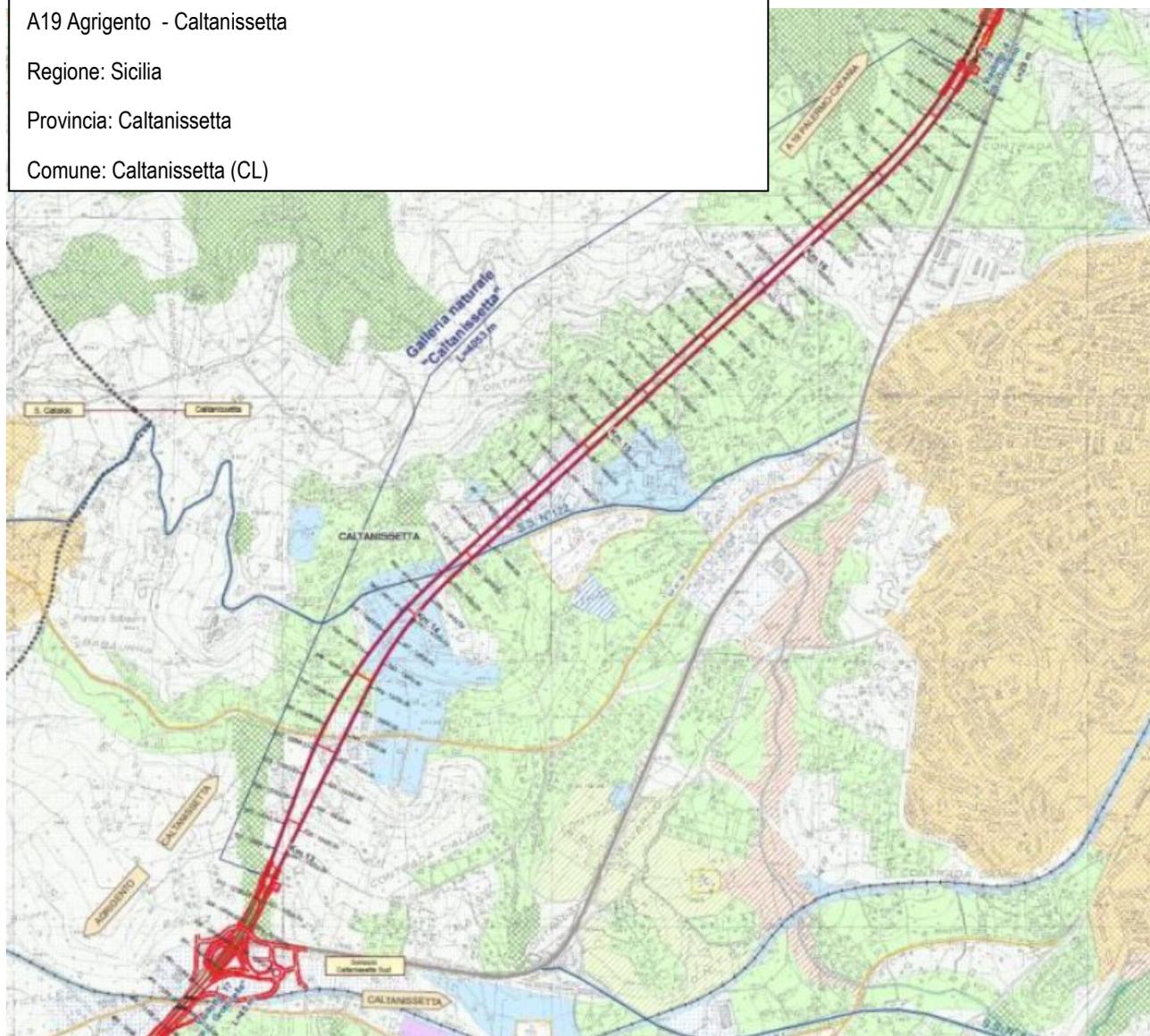
La copertura massima in calotta è pari a 130 m (in prossimità della pk. 15+450,00).

A19 Agrigento - Caltanissetta

Regione: Sicilia

Provincia: Caltanissetta

Comune: Caltanissetta (CL)



Area di Intervento

3.1.1 Rischio sismico

Dal punto di vista delle condizioni sismiche, l'opera ricade nel territorio comunale di Caltanissetta, classificato come sismico in zona 4 (sismicità bassa) in base alle risultanze dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003 n.3274 e successive modificazioni ed integrazioni.

3.1.2 Caratteristiche ambientali

La galleria Caltanissetta si trova sulla SS n.640 di "Porto Ercole", nel territorio del Comune di Caltanissetta, ad una quota sul livello del mare di circa 530 m.

La stazione metereologica di riferimento è localizzata nel comune di Caltanissetta, a 570 m s.l.m., alle coordinate geografiche 37°29'N 14°04'E.

In base alla media trentennale di riferimento climatico 1961-1990 la temperatura media del mese più freddo, gennaio, si attesta a +7,2°C; quella dei mesi più caldo, luglio e agosto, si attesta a +24,6°C; mediamente si verificano 22 giorni di gelo all'anno.

Caltanissetta	Mesi												Stagioni				Anno
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Inv	Pri	Est	Aut	
T. max. media (°C)	10,5	11,5	13,9	17,2	22,5	27,8	30,7	30,6	26,9	20,8	15,7	12,2	11,4	17,9	29,7	21,1	20,0
T. min. media (°C)	3,9	4,0	5,2	7,4	11,3	15,9	18,5	18,6	16,1	12,5	8,6	5,8	4,6	8,0	17,7	12,4	10,7

Dati climatologici

Classificazione climatica: zona D.

3.1.3 Classificazione della galleria

Ai sensi della legislazione vigente la galleria Caltanissetta:

- appartiene ad una Strada di tipo B (strada statale in ambito extraurbano)
- ha una lunghezza > 3000 m;
- ha una pendenza longitudinale minore del 3%
- è interessata da un traffico superiore a 2000 v/g/corsia (4.389 v/g su 2 corsie per fornice) e %VP=13,2%;
- è percorribile da tutte le utenze ammesse dal Codice della Strada (D.Lgs. 285/92 e ss.mm.ii., art. 175) in una strada di classe B.

3.1.4 Gestore dell'opera

La galleria sarà gestita dal seguente Ente:

- **ANAS S.p.A.**, Direzione Regionale per la Sicilia.

Il grado di sorveglianza della nuova galleria sarà del tipo "sorveglianza umana permanente" in quanto il controllo ed il comando degli impianti e la gestione del traffico fa capo ad un Centro di Controllo (C.C.), presidiato 24 ore su 24.

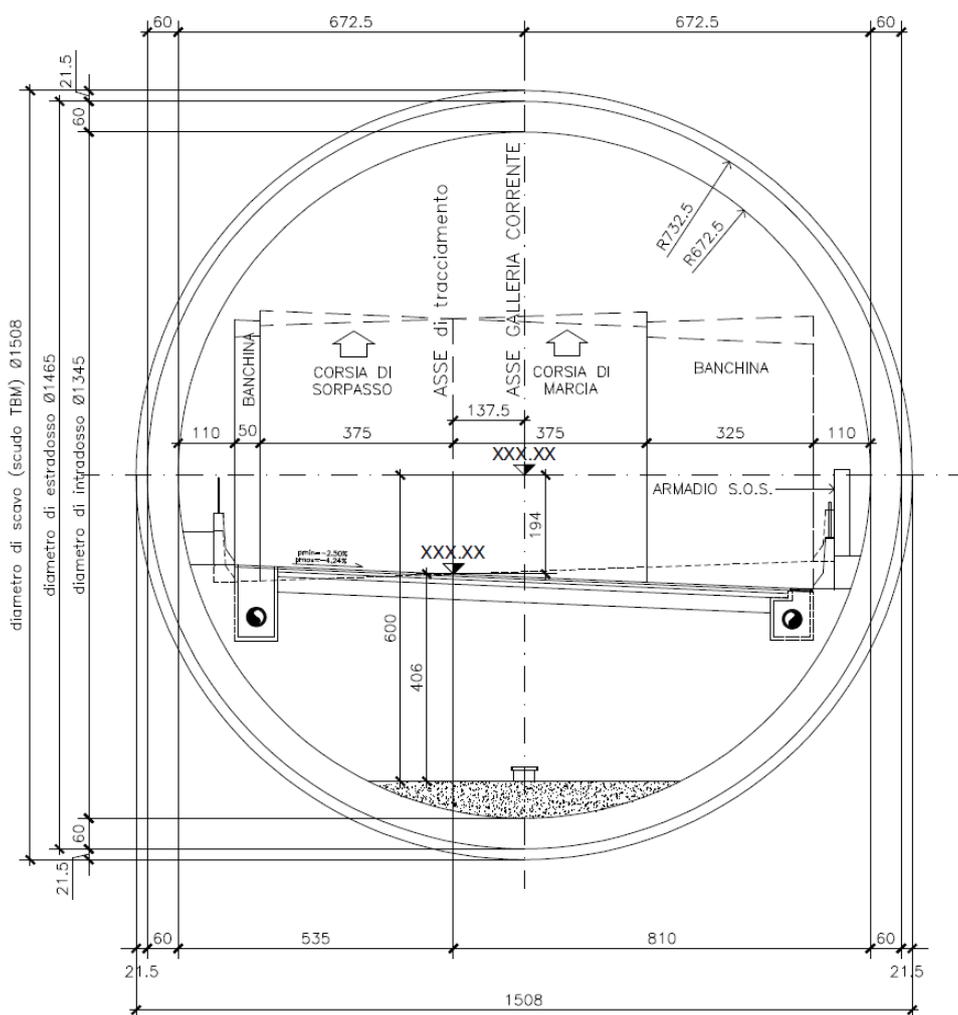
3.2 Descrizione delle opere civili

3.2.1 Caratteristiche geometriche della galleria

La galleria a doppio fornice ha una lunghezza di 3970,11 m in carreggiata destra (dir. A19) e 3962,89 m in carreggiata sinistra (dir. Agrigento). Gli assi dei due fornici distano tra loro da un minimo di 35m (in prossimità degli imbocchi) fino ad un massimo di 85m.

Il profilo longitudinale della galleria ha un andamento "convesso" con una sequenza di livellette (procedendo nel verso delle progressive crescenti - direzione A19) aventi pendenza in salita del +2,6% e 0,6% circa, ed in discesa del 2,2% circa; la tratta di sbocco lato A19 si trova su una transizione altimetrica convessa con una livelletta (esterna alla galleria) in discesa con pendenza -3,8% circa.

La piattaforma stradale ha larghezza totale di 11,25 m, organizzata con 2 corsie (marcia lenta e sorpasso) di larghezza 3,75 m, affiancate da una banchina in sinistra da 0,50 m e da una banchina in destra da 3,25 m (corsia di emergenza) continua per tutta la lunghezza della galleria.



Sezione tipologica della galleria

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Lungo tutta la galleria sono garantiti franchi verticali liberi sulla carreggiata $\geq 5,00$ m.

I risultati della schedatura della galleria e dell'analisi svolta rispetto agli articoli in allegato 2 al decreto, inerenti la caratterizzazione della struttura, sono stati specificati al fine di evidenziare i parametri rilevanti e propedeutici alla formulazione dell'analisi di rischio e di seguito riportati nelle successive tabelle:

Categoria stradale	B – Strada Extraurbana Principale
Costruzione	Naturale
Numero fornici	2
Direzionalità	Unidirezionale

dati caratteristici geometrici e strutturali - galleria

Fornice direzione	Nord
Lunghezza	3970,11 m
Pendenza longitudinale	2,60 % e 0,6% in salita, 2,20% in discesa
Tracciato	Rettilineo / Curvilineo
Forma della sezione	Circolare
Area della sezione	80 m ²
Altezza in asse galleria	8 m
Larghezza tra i piedritti	13 m
Numero corsie	2
Larghezza corsie	0,50 m franco laterale pavimentato + 3,75 m corsia di marcia + 3,75 m corsia di sorpasso + 3,25 m banchina di emergenza
By-pass	n.13 (n.4 carrabili, n.9 pedonali) in PE n.9 (n.2 carrabili, n.7 pedonali) proposta di Perizia di Variante n.4
Interdistanze by-pass	≤ 500 m tra i by-pass pedonali, ≤ 1500 m tra i by-pass carrabili
Piazzole di sosta	-

dati caratteristici geometrici e strutturali – fornice Nord

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Fornice direzione	Sud
Lunghezza	3962,89 m
Pendenza longitudinale	2,60 % e 0,6% in discesa, 2,20% in salita
Tracciato	Rettilineo / Curvilineo
Forma della sezione	Circolare
Area della sezione	80 m ²
Altezza in asse galleria	8 m
Larghezza tra i piedritti	13 m
Numero corsie	2
Larghezza corsie	0,50 m franco laterale pavimentato + 3,75 m corsia di marcia + 3,75 m corsia di sorpasso + 3,25 m banchina di emergenza
By-pass	n.13 (n.4 carrabili, n.9 pedonali) in PE n.9 (n.2 carrabili, n.7 pedonali) proposta di Perizia di Variante n.4
Interdistanze by-pass	≤ 500m tra i by-pass pedonali, ≤ 1500m tra i by-pass carrabili
Piazzole di sosta	-

dati caratteristici geometrici e strutturali – fornice Sud

3.2.2 Caratteristiche tracciato stradale

Dal punto di vista planimetrico, la canna destra, partendo dall'imbocco lato Agrigento, dopo un primo tratto in rettilineo di sviluppo pari a 738.32m (di cui 680.15m in galleria) il tracciato devia verso destra percorrendo una curva di raggio planimetrico da 1460.00m e sviluppo pari a 360.42m anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi). Successivamente il tracciato torna ad essere rettilineo per 1964.34m fino a deviare a sinistra mediante una curva di raggio planimetrico pari a 1920.00m e sviluppo pari a 677.05 (di cui 431.52m in galleria) anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi).

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Planimetricamente, la canna sinistra, partendo dall'imbocco lato Agrigento, dopo un primo tratto in rettilineo di sviluppo pari a 269.80m (di cui 229.16m in galleria) il tracciato devia verso destra percorrendo una curva di raggio planimetrico da 1890.00m e sviluppo pari a 673.45m anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi). Successivamente il tracciato torna ad essere rettilineo per 2008.77m fino a deviare a sinistra mediante una curva di raggio planimetrico pari a 1885.00m e sviluppo pari a 663.59m (di cui 407.45m in galleria) anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi).

Dal punto di vista altimetrico, la canna destra, partendo dall'imbocco lato Agrigento, inizia a salire con pendenza pari a 2.64% per 257.65m. Un raccordo verticale convesso di raggio 20000m e sviluppo 415.83m immette su una livelletta in leggera salita con pendenza 0.56% per 1081.88m, successivamente, tramite un altro raccordo verticale convesso di raggio 25000m e sviluppo 680.65m si immette su una livelletta in discesa con pendenza pari a 2.16% e sviluppo pari a 1226.46m dopo la quale, tramite un raccordo verticale convesso di raggio 25000m e sviluppo di 344.14m arriva all'imbocco lato A19.

Altimetricamente la canna sinistra, partendo dall'imbocco lato Agrigento, inizia a salire con pendenza pari a 2.63% per 257.97m. Un raccordo verticale convesso di raggio 20000m e sviluppo 413.60m immette su una livelletta in leggera salita con pendenza 0.56% per 1111.19m, successivamente, tramite un altro raccordo verticale convesso di raggio 25000m e sviluppo 680.04m si immette su una livelletta in discesa con pendenza pari a 2.15% e sviluppo pari a 1200.51m dopo la quale, tramite un raccordo verticale convesso di raggio 25000m e sviluppo di 394.41m arriva all'imbocco lato A19.

Nei tratti all'aperto contigui alla galleria la sezione ha una banchina in sinistra di larghezza 0,50 m che poi viene progressivamente allargata a 1,25 m (superiore al valore minimo di norma₁) su uno sviluppo di 80 m, ed una banchina in destra larga 1,75 m. Pertanto in prossimità dell'imbocco della galleria avviene un restringimento della banchina in sinistra di $1,25 - 0,50 = 0,75$ m ed un ampliamento della banchina destra di $3,25 - 1,75 = 1,50$ m.

Si riscontra, quindi, una variazione della sezione tra i tratti all'aperto e in galleria che avviene all'interno della distanza percorsa in 10 sec. alla V_p , entro la quale, secondo il D.Lgs. 264/06, non dovrebbero avvenire cambiamenti di sezione.

L'effetto di disturbo alla circolazione che induce il cambiamento delle dimensioni della piattaforma stradale in corrispondenza dell'imbocco della galleria è tuttavia praticamente inesistente in quanto:

- in destra si ha un allontanamento dagli ostacoli laterali, condizione questa palesemente più favorevole rispetto a quella che prevede un restringimento dello spazio stradale;
- in sinistra la banchina ha la stessa dimensione che in galleria nelle immediate vicinanze e, a distanza di 35 m dall'imbocco, si modifica allargandosi nel rispetto delle regole previste dal documento "Roadside Design Guide" AASHTO 2002 all'interno della fascia adiacente alla carreggiata dove l'utente risulta disturbato dalla variazione della configurazione del margine laterale (Shy Line).

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

In prossimità degli imbocchi sono previsti varchi nello spartitraffico per lo scambio di carreggiata: in particolare è previsto un varco in corrispondenza dell'imbocco lato Agrigento ed un altro varco a circa 250 m dall'imbocco lato A19.

A distanza di circa 250 m dall'imbocco lato Agrigento della galleria si trova lo svincolo di Caltanissetta Sud.

3.2.3 Vie di fuga ed uscite di emergenza

Come precedentemente esposto il progetto esecutivo della galleria prevedeva la realizzazione di n.9 by pass pedonali e n.4 by pass pedonali/carrabili. In considerazione delle complesse condizioni geologiche, geotecniche ed idrogeologiche delle aree e dei terreni interessati dallo scavo, nonché della possibilità di presentare alla Commissione Permanente per le Gallerie la proposta che prevede di portare l'interdistanza massima tra le uscite di emergenza della galleria Caltanissetta a 500m per le uscite di emergenza pedonali e 1500m per le uscite di emergenza carrabili in conformità con le richieste di normativa, D.Lgs. 264/06, si prevede di realizzare n. 7 by-pass pedonali e n. 2 by-pass pedonali/carrabili come di seguito localizzati:

Elemento	pk. dir.A19	Interdistanza uscite di emergenza [m]	pk. dir.Agrigento	Interdistanza uscite di emergenza [m]
portale	12+929,58		16+909,60	
pedonale	13+426,12	496,54	16+675,49	234,11
pedonale	13+910,33	484,21	16+275,49	400
carrabile	14+401,93	491,6	15+975,49	300
pedonale	14+899,93	498	15+675,49	300
pedonale	15+177,09	277,16	15+190,49	485
carrabile	15+662,09	485	14+913,33	277,16
pedonale	15+962,09	300	14+415,33	498
pedonale	16+262,09	300	13+915,63	499,7
pedonale	16+667,43	405,34	13+417,33	498,3
portale	16+955,16	287,73	12+924,58	492,75

L'interdistanza media tra le uscite di emergenza nella Perizia di Variante n.4 risulta pertanto pari a circa 400 m.

3.2.4 Caratteristiche del rivestimento e delle opere di drenaggio

Il rivestimento della galleria è costituito da un anello formato da 8 conci prefabbricati in c.a. di spessore pari a 0.6m e lunghezza nominale 2.0m, oltre al "concio di chiave". I conci sono realizzati con calcestruzzo C45/55 ed armati con barre di acciaio B450C.

La tenuta idraulica del rivestimento è garantita mediante opportune guarnizioni tra i conci.

L'impianto di raccolta delle acque di piattaforma è costituito, secondo le indicazioni previste in progetto, da un dreno microfessurato di forma circolare $\phi 315$ mm. Per lo smaltimento di liquidi infiammabili sversati in

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

carreggiata è invece previsto un sistema di drenaggio con pozzetti sifonati (antipropagazione della fiamma) con interdistanza massima 35m.

3.3 Descrizione degli impianti di sicurezza

Si descrivo di seguito le principali caratteristiche delle dotazioni di sicurezza impiantistiche a servizio della galleria.

3.3.1 Impianto di illuminazione ordinaria

Il ruolo dell'illuminazione delle gallerie consiste nel ridurre o eliminare la differenza di qualità della visione di un conducente, causata dal livello di adattamento necessario per scorgere i dettagli della strada all'esterno ed all'interno del tunnel; l'illuminazione della galleria è più critica durante le ore diurne, perché il sistema di visione umano non può essere conscio dei dettagli spaziali in presenza di così differenti livelli d'illuminazione, come la brillantezza all'esterno e l'oscurità all'interno del tunnel.

Ciò significa che, ad ogni data velocità, la maggiore differenza di illuminazione tra l'interno e l'esterno del tunnel comporta una maggiore estensione della distanza, lungo la quale, la capacità di visione del guidatore è ridotta.

Per valutare tale problematica, sono state identificate 5 zone di illuminazione:

- 1) zona di accesso;
- 2) zona di soglia;
- 3) zona di transizione e adattamento;
- 4) interno della galleria;
- 5) zona di uscita.

La zona di accesso è la porzione di strada immediatamente prima dell'imbocco della galleria, di lunghezza pari alla distanza di arresto, lungo la quale il conducente deve essere in grado di riconoscere la presenza di un ostacolo all'interno della galleria.

La zona di soglia è la prima porzione di strada all'interno della galleria; la sua estensione è pari alla distanza di frenatura. L'illuminazione deve garantire in questo tratto un valore di luminanza media tale da consentire al conducente in avvicinamento di individuare eventuali ostacoli dalla distanza di arresto; la prima metà della zona avrà luminanza media costante, mentre la seconda metà prevedrà luminanza media trasversale decrescente.

La zona di transizione e adattamento è la porzione di strada che segue la soglia; in questo tratto, il livello di illuminamento al termine della zona di soglia viene gradualmente ridotto fino al livello dell'interno.

L'interno della galleria segue la zona di transizione; l'illuminazione è mantenuta ad un livello permanente lungo tutta la sua estensione.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

La zona di uscita è la porzione di galleria nella quale la visione del conducente, che si avvicina all'uscita, è influenzata dalla brillantezza esterna.

L'impianto di illuminazione di rinforzo sarà del tipo a controflusso, caratterizzato da un rapporto tra luminanza della superficie della strada e l'illuminazione verticale superiore a 0,6; l'illuminazione permanente sarà del tipo simmetrico.

I valori di illuminazione della zona di soglia e di quella di transizione sono determinati in base alle prescrizioni contenute nella Norma UNI 11095.

La metà dell'illuminazione permanente sarà collegata a circuiti di alimentazione in continuità assoluta, che prevedono l'utilizzo di cavi resistenti all'incendio, in modo che possa fungere anche da illuminazione di sicurezza della galleria.

L'illuminazione di rinforzo della galleria sarà adeguata automaticamente a quella naturale mediante regolazione del flusso luminoso emesso; le variazioni discontinue della luminanza non presenteranno variazioni con rapporti maggiori di 2.

L'adattamento della visuale ad aumenti dell'illuminazione è rapida e, quindi, non è richiesto un incremento dell'illuminazione all'uscita della galleria.

La luminanza media delle pareti della galleria, fino ad un'altezza di 2 m, non sarà essere inferiore alla media della luminanza della superficie stradale. L'uniformità dell'illuminazione sarà assicurata sulla superficie stradale e sulle pareti, fino a 2 m di altezza; la parte inferiore delle pareti funge da sfondo per il traffico, così come la strada, per cui entrambe devono essere considerate allo stesso modo. Il valore ammesso sarà contenuto entro un rapporto tra luminanza minima e media di 0,4 per quella generale e di 0,6 per quella longitudinale.

L'illuminazione diurna delle zone interne sarà almeno pari a 1,5 cd/m², mentre l'illuminazione interna nelle ore notturne ed in caso di mancanza dell'alimentazione principale sarà assicurata ad un livello non inferiore a 1 cd/m².

Tutti i circuiti che attraversano la galleria faranno uso di cavi conformi alle norme CEI non propaganti l'incendio e a bassissima emissione di fumi o gas tossici.

Per il controllo automatico del livello di luminanza in galleria, si installerà un sistema fotoelettrico misuratore di luminanza. Tale dispositivo consentirà di adattare il livello dell'illuminazione artificiale a quello della luce diurna, mutevole con le ore del giorno, con le condizioni meteorologiche e con le stagioni, al fine di garantire ai conducenti sempre un rapporto ottimale tra l'illuminazione esterna e quella interna alla galleria.

3.3.2 Impianto di illuminazione di evacuazione

L'illuminazione di evacuazione consiste nell'illuminazione delle vie di fuga mediante apparecchi a tecnologia LED; il sistema assicura l'indicazione delle vie di fuga, attraverso la guida luminosa del corpo illuminante per

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

tutta la lunghezza della galleria, in modo da essere di ausilio in caso di emergenza per raggiungere le uscite principali.

La sorgente luminosa del corpo illuminante scelto è costituita da LED posizionati sui due lati di ciascun fornice ad un'interasse di 8 m ed ad un'altezza dal piano stradale di circa 1 m.

La fonte luminosa è costituita da un circuito stampato allocante i LED di colore bianco, posizionati in modo che l'emissione della luce sia simmetricamente bidirezionale, in grado di assicurare 3 lux medi a 10 m dal corpo illuminante.

L'impianto sarà alimentato in continuità assoluta dai gruppi statici di continuità, in modo di garantire il suo funzionamento anche in caso di interruzione della fornitura di energia elettrica o di guasto ai trasformatori.

3.3.3 Impianto di ventilazione

L'impianto di ventilazione, che deve essere opportunamente gestito in automatico attraverso un impianto di monitoraggio degli agenti inquinanti e rilevazione degli eventuali focolai di incendio, consente il giusto mantenimento all'interno della galleria dei parametri ambientali che condizionano la guida stessa degli utenti (fumi, concentrazione di CO ecc.), nonché un'evacuazione rapida e sicura degli utenti rimasti intrappolati all'interno del tunnel a seguito di incidente, unitamente ad un altrettanto rapida pulizia del fornice interessato dai fumi in caso di incendio per un'efficace ed immediato intervento dei soccorritori.

Nella galleria Caltanissetta sarà installato un impianto di ventilazione meccanica di tipo longitudinale costituito da n.24 acceleratori in acciaio inox per ciascun fornice, sospesi a coppie alla volta della galleria; tale impianto dovrà tenere conto dei seguenti elementi:

- controllo degli inquinanti emessi dagli autoveicoli, nel caso di flussi di traffico normali e nei picchi di traffico;
- controllo degli inquinanti emessi dagli autoveicoli in caso di arresto del traffico per incidenti;
- controllo del calore e del fumo in caso di incendio

L'impianto sarà dimensionato per una potenza termica di 30 MW, e sarà in grado di assicurare l'esercizio di ciascun fornice della galleria con traffico bidirezionale, anche per futuri interventi di manutenzione che comportino la chiusura temporanea di una canna della galleria.

Ciascun ventilatore avrà le seguenti caratteristiche:

- spinta in campo libero 900 N;
- velocità aria in uscita dal ventilatore 30,5 m/s; • senso di rotazione reversibile; • coefficiente di posizionamento 0,7;
- durata del funzionamento a 400°C 90 minuti.

I ventilatori saranno installati, in ciascun fornice, in due gruppi da 6 coppie posti nei pressi degli imbocchi; la distanza reciproca tra le coppie sarà di 100 m (pari a 10 volte il diametro idraulico), mentre la prima coppia disterà dall'imbocco almeno 150 m (pari a 15 volte il diametro idraulico). I cavi di alimentazione dell'impianto

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

elettrico saranno conformi alle norme CEI non propaganti l'incendio, a bassissima emissione di gas tossici, nocivi e corrosivi e del tipo resistente al fuoco, secondo le norme CEI.

Ogni ventilatore in galleria sarà alimentato mediante un circuito esclusivo direttamente dalla cabina elettrica di alimentazione; l'allaccio locale avverrà mediante prese con interruttore di blocco e spine tali da assicurare la continuità elettrica a 400°C per 120 minuti.

I ventilatori saranno collegati all'alimentazione elettrica di emergenza proveniente dal gruppo elettrogeno. Il sistema di comando e controllo del sottosistema ventilazione, invece, sarà collegato all'alimentazione elettrica di sicurezza.

Agli imbocchi della galleria sarà previsto un quadro di comando della ventilazione, allo scopo di consentire, alle squadre di pronto intervento in caso di incendio, la gestione locale della ventilazione durante le operazioni di soccorso ed estinzione dell'incendio.

3.3.4 Impianto di monitoraggio dell'aria

Per un corretto funzionamento dell'impianto di ventilazione, occorre anche realizzare l'impianto di misurazione inquinanti in galleria ed il sistema di conteggio del traffico.

Le misurazioni di CO, opacità e velocità e direzione del vento in galleria servono ad inserire correttamente la ventilazione, in caso si formassero delle sacche d'aria viziata.

Infatti, una concentrazione troppo elevata di CO può essere pericolosa per la salute degli utenti in transito, mentre un'opacità elevata riduce il campo visivo del guidatore; la misura del vento in galleria consente di assecondare la velocità dell'aria mediante l'azione dei ventilatori. Tali misuratori saranno collocati in tre gruppi per ciascun fornice.

I segnali di misura delle apparecchiature CO, OP, anemometri e di conteggio traffico vengono tradotti in segnali di comando di marcia e di arresto dei ventilatori in galleria; la regolazione ed il controllo del regime dei ventilatori deve essere programmabile mediante il sistema di telecontrollo ed avviene pertanto in modo automatico.

3.3.5 Impianto di pressurizzazione by-pass

Le condizioni di allarme di presenza fumo e di incendio rilevate attraverso il sistema di monitoraggio della temperatura con il cavo termosensibile ed attraverso il rilevamento del campo di visibilità interna ai singoli fornici della galleria dovranno attivare la ventilazione dei filtri di by-pass in modo che questi possano costituire luogo sicuro con assenza di carico di incendio.

Il filtro dovrà essere mantenuto in sovrappressione di circa 80 Pa in condizione di ante aperte e, pertanto, dovrà essere realizzato un sistema di immissione in configurazione speculare, così da poter immettere aria all'interno dei filtri aria dal fornice non interessato dal dolo attraverso i ventilatori dedicati allo scopo.

La dotazione di ogni filtro con accesso pedonale prevedrà:

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

- n. 1+1 ventilatori assiali con prestazione 1000 mc/h prevalenza 150 Pa in esecuzione silenziata ed adatti a funzionare per 2 ore a 400°C;
- n. 1+1 prese d'aria sulle pareti di compartimentazione dei filtri di dimensioni utili non inferiori a 0,15 m²;
- n. 1+1 serrande tagliafuoco di sezione utile = 0,15 m² complete di servocomando motorizzato di tipo 0-1 alimentato a 230 V;
- n. 2 diffusori di immissione dim 600x600 mm portata 500 mc/h;
- n. 1+1 serrande di sovrappressione associate a serranda antifumo motorizzate equipaggiate con servocomando modulante alimentato a 230 V in relazione all'entità differenziale di pressione rilevato tra gli ambienti di galleria ed il filtro stesso;
- n. 1+1 serrande tagliafuoco complete di servocomando motorizzato di tipo 0-1 alimentate a 230 V associate al circuito di riduzione della pressione interna al filtro;
- n. 1+1 pressostati differenziali associati al relativo regolatore per la regolazione del servocomando modulante;
- complesso di canali a controsoffitto in acciaio inox AISI 316 per l'immissione dell'aria all'interno del filtro.

Analogamente per i filtri attrezzati di portoni carrabili saranno previsti:

- n. 2+2 ventilatori assiali con prestazione 2000 mc/h prevalenza 150 Pa in esecuzione silenziata ed adatti a funzionare per 2 ore a 400°C;
- n.1+1 prese d'aria sulle pareti di compartimentazione dei filtri di dimensioni utili non inferiori a 0,6 m²;
- n. 2+2 serrande tagliafuoco di sezione utile = 0,6 m² complete di servocomando motorizzato di tipo 0-1 alimentate a 230V;
- n. 4 diffusori di immissione dimensioni 600x600 mm portata 500 mc/h;
- n. 1+1 serrande di sovrappressione associate a serrande antifumo motorizzate equipaggiate con servocomando modulante alimentato a 230 V in relazione all'entità differenziale di pressione rilevato tra gli ambienti di galleria ed il filtro stesso;
- n. 1+1 serrande tagliafuoco complete di servocomando motorizzato di tipo 0-1 alimentate a 230 V associate al circuito di riduzione della pressione interna al filtro;
- n. 1+1 pressostati differenziali associati al relativo regolatore per la regolazione del servocomando modulante;
- complesso di canali a controsoffitto in acciaio inox AISI 316 per l'immissione dell'aria all'interno del filtro.

3.3.6 Impianto idrico antincendio

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Al fine di combattere efficacemente gli incendi in galleria, sarà realizzato un impianto di spegnimento incendi fisso ad acqua costituito da idranti UNI 45 e UNI70, alimentati mediante una rete di distribuzione idrica magliata, realizzata mediante tubazioni interrato in polietilene PE80 PFA 12,5 DN 125.

In accordo con la UNI EN 12845 e con le linee guida ANAS l'impianto è stato dimensionato adottando una portata di progetto di 300 l/min (5 l/s) per ciascun idrante UNI70 e di 120 l/min (2 l/s) per gli idranti UNI45 considerando una pressione residua non inferiore a 0,5 Mpa per l'idrante più sfavorito e contemporaneamente in funzione n.2 idranti UNI70 e n.5 idranti UNI45 (portata totale 20 l/s).

Le centrali idriche antincendio, realizzate nei pressi di ciascun imbocco, saranno costituite da un accumulatore con capacità utile di 144 m³ suddiviso su tre serbatoi della capacità di 48 m³ ciascuno.

Gli idranti UNI 45, completi di lancia e due manichette di lunghezza 20 m, saranno installati ogni 75 m; gli idranti UNI 70 saranno collocati nei piazzali agli imbocchi della galleria. Agli imbocchi saranno presenti anche degli attacchi UNI 70 per autopompa dei Vigili del Fuoco.

La rete di distribuzione dell'acqua antincendio è del tipo magliato: è costituita da un anello principale in polietilene DN160 installato in ciascuna canna sotto il marciapiede destro per l'alimentazione degli idranti posti sul lato corsia d'emergenza; la rete è chiusa a maglia con attraversamenti in corrispondenza dei by pass ogni 300 m, per l'alimentazione degli idranti ivi previsti. La realizzazione della rete a maglia garantisce l'erogazione idrica anche in caso di guasto su un tratto della rete; l'alimentazione può, infatti, avvenire attraverso il ramo di rete superstite. Per intercettare qualsiasi guasto o interruzione nel condotto vengono disposte, in prossimità di ogni cassetta idrante, una saracinesca di sezionamento NA priva della manovra; il leverismo sarà a disposizione delle squadre di manutenzione che potranno isolare tratti della rete previo coordinamento con le squadre di pronto intervento.

In corrispondenza di ciascuno stacco idrante è prevista la realizzazione di un pozzetto di ispezione per l'accesso alle valvole di intercettazione.

3.3.7 Impianto rivelazione incendi

L'impianto di rivelazione incendi viene installato allo scopo di rivelare e segnalare un incendio nel minor tempo possibile al fine di:

- avviare un tempestivo sfollamento delle persone, nonché lo sgombero dei mezzi;
- attivare i piani di intervento;
- attivare i sistemi di protezione contro l'incendio previsti dal piano di sicurezza.

La presenza di sovratemperature anomale e lo svilupparsi di fiamme libere in galleria sarà rivelata attraverso sensori longitudinali in grado di monitorare l'intera estensione della stessa.

A tal fine sarà installato, in entrambi i forni, un sistema lineare di rivelazione incendi costituito da due rami di cavo sensore in fibra ottica, collegati alle due unità di controllo installate nelle cabine elettriche poste in prossimità degli imbocchi

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Le funzioni principali dell'impianto saranno:

- visualizzazione in tempo reale su PC locale e remoto del tracciato interattivo della temperatura in funzione della posizione e del tempo lungo tutta la linea di rilevazione (profilo termico);
- reazione ad una variazione termica anche a temperature molto basse – 30 °C con sensibilità ± 2 °C;
- indicazione dello stato delle singole zone;
- estensione dell'incendio;
- direzioni di propagazione dell'incendio;

3.3.8 Impianto radio

Per mantenere le comunicazioni via radio dei veicoli di servizio e di quelli con funzione di sicurezza tra loro e con la centrale operativa, sia durante il transito ordinario nella galleria, sia in caso di emergenza, è necessario che venga garantito un collegamento radio senza interruzioni. Inoltre, per aumentare la sicurezza degli automobilisti all'interno della galleria, è utile la diffusione di programmi radio con informazioni sul traffico; in caso di un evento di emergenza, sulle stesse frequenze è data la possibilità di inviare messaggi dalle centrali di controllo o da unità operative in loco.

Per conseguire tale risultato, nella galleria sarà installato un impianto per ritrasmissioni radio ad uso dei servizi di pronto intervento (Vigili del Fuoco, Polizia di Stato e ANAS), nonché la ripetizione di alcune frequenze radio FM sulla quali instradare eventuali informazioni agli utenti in galleria.

L'operatività che il sistema sarà in grado di garantire, permetterà agli operatori le comunicazioni tra due o più automezzi nella stessa galleria e tra due o più automezzi all'interno della galleria e le reti provinciali esterne.

3.3.9 Impianto SOS

In corrispondenza degli imbocchi in galleria ed al suo interno ogni 150 m, direttamente posato sul new jersey, sarà installato un armadio orizzontale SOS stagno di segnalazione soccorso in acciaio inox AISI 316 equipaggiato con:

- un estintore a polvere da 6 kg;
- una plafoniera con tubo fluorescente da 18 W;
- n. 2 pulsanti di richiesta di soccorso - incidente;
- n. 1 modulo contatti ausiliari per collegamento remoto;
- n. 1 stazione di dialogo in fonìa con tecnologia IP;
- finecorsa per controllo apertura porte e prelievo estintore;
- sistema di allarme ottico-acustico;
- punto di alimentazione

La segnalazione di un veicolo fermo sulla carreggiata o in corsia di emergenza all'interno della galleria, fatta attraverso il sistema di telefonia SOS o attraverso l'uso di estintori in dotazione alle cassette SOS, attiverà le lanterne gialle lampeggianti del semaforo ubicato all'imbocco del fornice e del semaforo installato sul pannello

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

a messaggio variabile ubicato circa 150 m prima dell'imbocco, e dovrà comparire il relativo segnale su detto cartello di "VEICOLO FERMO IN GALLERIA".

L'attivazione dei pulsanti protetti è intesa, invece, quale strumento di estrema gravità il loro azionamento interdirà l'accesso alla galleria mediante le lanterne rosse del semaforo installato sul pannello a messaggio variabile ubicato circa 150 m prima dell'imbocco, in associazione con il pittogramma di "INCIDENTE" e la conseguente segnalazione di interdizione di entrambe le piste del fornice interessato dall'evento attraverso i pannelli indicatori di agibilità piste. In questo modo, si intende prevenire il pericolo di innesco di incidenti a catena all'interno della galleria a causa di veicoli fermi all'interno.

Il ripristino delle condizioni ordinarie di funzionalità sarà comandato da un pulsante di reset installato all'uscita di ogni fornice in direzione opposta al senso di marcia.

Da ogni postazione SOS di galleria, sarà possibile una comunicazione fonica con il centro di presidio, attraverso un unico sistema di comunicazione con tecnologia IP in grado di consentire, oltre alle attività di emergenza, anche le normali attività di manutenzione ordinaria e straordinaria.

3.3.10 Impianto di videosorveglianza (TVCC)

All'interno della galleria, ad un'interdistanza di circa 150 m, nei due by pass ed agli imbocchi, saranno installate delle telecamere a colori di tipo fisso; il sistema di videosorveglianza consentirà:

- il monitoraggio centralizzato in tempo reale del traffico in itinere;
- la video registrazione, per una successiva consultazione, delle sequenze provenienti dalle telecamere;
- la rilevazione e gestione di un pacchetto dati relativi allo stato del traffico come ausilio agli operatori del Centro di Controllo;
- il riscontro automatico dei veicoli fermi sulla carreggiata;
- il rilevamento della formazione di code all'interno dei fornici di galleria e la conseguente possibilità di preavviso attraverso l'attivazione del sistema di informazione all'utenza con la cartellonistica a messaggio variabile;
- il rilevamento dell'entità dei transiti in galleria;
- la possibilità di valutare l'entità dell'evento verificatosi indipendentemente dalla emotività degli interlocutori e, conseguentemente, attivare le misure più idonee;
- l'individuazione di autori di atti vandalici attraverso la memorizzazione delle immagini su supporto magnetico;
- la presenza di soggetti diversi dall'utenza stradale all'interno dei fornici, quali animali randagi o pedoni che camminano lungo la banchina.

Il software di sistema dovrà fornire oltre alla restituzione delle immagini il rilevamento automatico di incidente AID (Automatic Incident Detection), l'acquisizione e l'elaborazione di misure (velocità del flusso di traffico, conteggio e classificazione dei veicoli in transito) sul traffico utilizzando telecamere fisse di tipo standard.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

3.3.11 Impianto per chiudere la galleria

L'arresto della circolazione in galleria viene principalmente espletata dai semafori e dai pannelli a messaggio variabile. Il controllo di questo impianto è affidato al sistema di telecontrollo, ma sarà comunque possibile il loro azionamento manuale.

Sui portali di imbocco e, all'interno della galleria, ogni 300 m, saranno installati dei cartelli a messaggio variabile segnalatori di disponibilità di corsia, costituiti da pannelli grafici, appesi ad una struttura metallica, realizzata con carpenteria metallica zincata a caldo, in corrispondenza della mezzeria di ciascuna corsia. I pannelli saranno in grado di presentare all'utenza:

- una freccia verde verticale con la punta diretta verso il basso, quando la corsia è agibile;
- una freccia gialla con la punta diretta verso destra o sinistra, quale preavviso di chiusura corsia ed indicazione del lato verso cui occorrerà spostarsi;
- una croce rossa a forma di X, quando la corsia è chiusa.

Unitamente a tali cartelli, saranno installati dei pannelli alfanumerici a messaggio variabile, su due righe da 15 caratteri; la finalità di tali cartelli è correlata alla capacità di indicare tempestivamente, anche mediante procedure automatiche, condizioni critiche in galleria, come veicoli fermi in carreggiata, o anche situazioni di congestione, che potrebbero consigliare l'arresto del flusso veicolare in galleria.

Inoltre ad una distanza di circa 150 m dall'ingrasso in galleria, da entrambi le direttrici del traffico, saranno installate delle postazioni informative costituite da cartello a messaggio variabile a pittogramma con tecnologia LED di tipo full color in grado di rappresentare i segnali stradali e l'indicazione di illuminazione galleria spenta e semaforo a tre luci.

3.3.12 Impianto di segnaletica luminosa

Per informare gli utenti delle gallerie delle dotazioni da utilizzare in caso di emergenza, si predisporrà una conveniente segnaletica; la segnaletica verticale di emergenza deve essere di tipo luminoso, a causa della limitata riproduzione dei colori, dovuta al tipo di sorgenti luminose impiegate per l'impianto di illuminazione.

I pittogrammi saranno realizzati in materiale plastico autoestinguento, stampati o verniciati; dovranno essere stabili per cromaticità e consistenza in presenza dell'atmosfera corrosiva tipica della galleria stradale.

La segnaletica verticale luminosa di emergenza da installare in galleria consiste dei seguenti cartelli:

- indicatore di stazione di emergenza (SOS) con estintore e idrante: sarà installato in corrispondenza di ciascuna nicchia di emergenza, previste ogni 150 m sul piedritto destro di entrambi i fornici della galleria; inoltre, sarà installato sul lato sinistro dei fornici, in corrispondenza dei by pass;

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

- indicatore di stazione di emergenza con idrante: sarà installato in corrispondenza di ciascuna cassetta con idrante non associata alla postazione SOS, previste ogni 150 m sul piedritto destro di entrambi i fornici della galleria;
- indicatore di uscita di emergenza in luogo sicuro: sarà installato sul lato sinistro dei fornici, in corrispondenza dei by pass;
- indicatori di distanza dall'uscita di emergenza: saranno disposti ogni 75 m, alternativamente sui due piedritti della galleria per fornire l'informazione di quanto distano dal cartello le due uscite di sicurezza contigue;
- indicatori di segnalazione incidente in galleria: saranno collocati 150 m prima dell'ingresso in galleria.

L'alimentazione elettrica dei segnali luminosi proverrà dalla sezione in continuità assoluta del quadro generale di bassa tensione in cabina, con cavi del tipo resistente al fuoco.

3.3.13 Sistema di telecontrollo

Tutti gli impianti presenti in galleria saranno eserciti tramite un sistema di controllo centralizzato, in grado di gestire il funzionamento della galleria in modo automatico, con la sorveglianza di personale specializzato in un'apposita sala di controllo del Gestore.

L'impianto di telecontrollo si assumerà il compito di controllare e di gestire tutti gli impianti tecnologici della galleria.

Il controllo e la gestione degli impianti tecnologici constano di diverse attività tra loro strettamente interconnesse; esse sono così riassumibili:

- acquisizione dei dati ambientali ed elettrici, quali presenza di incendio, stato impianti di illuminazione, stato degli impianti elettrici, dei dispositivi di segnaletica, di SOS, ecc.;
- trasmissione delle informazioni dai dispositivi locali ai dispositivi del sistema di controllo;
- elaborazione dei dati sopramenzionati da parte del sistema di controllo in base ai parametri di funzionamento ed agli algoritmi preimpostati dai posti di controllo supervisione;
- attuazione delle azioni previste e comando dei dispositivi delle apparecchiature degli impianti; in particolare, deve attuare la gestione, dell'illuminazione, del controllo di traffico e della segnaletica.

La gestione dell'intera galleria sarà effettuata da un unico Centro di Controllo, presidiato 24 h su 24; sarà comunque disponibile presso la cabina elettrica una postazione di comando locale. Da tale postazione, non presidiata, sarà possibile verificare lo stato dei sottosistemi presenti in galleria, aggiornare e riconfigurare i software di gestione ed attivare le procedure per il controllo e comando in locale degli impianti a servizio della galleria. Fermo restando l'elevato livello di autonomia operativa degli impianti installati, tutte le procedure di allarme che comportano l'interdizione del traffico in galleria, devono essere confermate dagli operatori presenti nel Centro di Controllo.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Il sistema di controllo sarà strutturato in modo da mantenere le funzioni vitali delle unità elementari degli impianti, cosicché un'interruzione del sistema stesso non pregiudichi in alcun modo l'intervento di base dei sistemi di sicurezza. Le informazioni raccolte dai sensori saranno processate da sistemi che, in accordo ad algoritmi, allertano il personale di controllo e disporranno una procedura di reazione alla variazione delle condizioni di esercizio, sia per le condizioni di normale esercizio, sia in caso di eventi incidentali.

Il sistema di controllo e gestione di una galleria dovrà:

- attuare procedure di risparmio energetico in condizioni di esercizio;
- mantenere la struttura in efficienza al fine di gestire al meglio l'esercizio;
- comunicare segnalazioni agli utenti;
- assistere l'operatore del centro di controllo a mobilitare le unità di emergenza per risolvere gli eventi incidentali all'interno della galleria;
- assistere l'operatore del centro di controllo a dare inizio alle operazioni appropriate di emergenza, quando necessario;
- monitorare di continuo l'equipaggiamento di sicurezza della struttura, in modo da conservarlo sempre operativo;
- gestire la manutenzione degli impianti di sicurezza;
- indicare con precisione e tempestività la zona dell'incidente e del potenziale conseguente incendio;
- assistere l'operatore del centro di controllo ad attivare, quando necessario, il piano di soccorso e/o di evacuazione;
- archiviare all'interno di una base dati i valori misurati dai sensori, gli allarmi avvenuti, le azioni intraprese.

Il sistema di controllo e gestione della galleria, inoltre, deve essere in grado di:

- gestire gli allarmi provenienti dai sistemi di ventilazione, pressurizzazione, di prevenzione incendi e dal sistema di videosorveglianza;
- gestire le variazioni di esercizio e le segnalazioni a messaggio variabile;
- gestire l'impianto di illuminazione in condizioni di esercizio, di emergenza e di evacuazione;
- gestire l'impianto di alimentazione elettrica in condizioni di esercizio ed in condizioni di emergenza;
- gestire le procedure di manutenzione ordinaria e straordinaria dei sistemi tecnologici a servizio del tunnel;
- gestire gli allarmi derivanti da malfunzionamento dei vari sistemi;
- fornire un'interfaccia di comunicazione locale e remota con gli addetti alla sicurezza;

All'interno dei quadri elettrici nei locali tecnologici, saranno installati i PLC, che avranno il compito di raccogliere i dati dei sensori installati in prossimità del relativo armadio. I PLC controllano i sistemi di gestione della galleria quali illuminazione e servizi (stato interruttori di protezione e sezionamento ubicati negli armadi SOS, fine corsa, ecc.).

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Tutti i sistemi di controllo presenti in galleria ed in cabina, provenienti dalla centralina rilevamento incendio in cabina, dai quadri di potenza, dai quadri di controllo del gruppo statico di continuità, dal gruppo elettrogeno, saranno connessi in Ethernet al relativo switch. Per la supervisione e controllo locale degli impianti, la cabina elettrica sarà dotata di un sistema di supervisione. Da questa postazione sarà possibile il controllo locale della galleria ed interventi di set-up, diagnostica, rilievo dati e soprattutto il controllo manuale e di manutenzione.

3.3.14 Sistema di rilevazione malfunzionamenti e valutazione del rischio tempo reale

Uno dei principi ispiratori della politica europea dei trasporti è costituito dalla sicurezza degli utenti delle infrastrutture di trasporto. Nello specifico ambiente confinato della galleria, l'incendio e lo sversamento di sostanze tossiche e pericolose sono gli eventi critici che vengono considerati in relazione alle conseguenze catastrofiche che essi possono generare. Per tale ragione gli obiettivi per la sicurezza sono strettamente connessi a tali fenomeni. Principalmente i provvedimenti riguardano l'auto-soccorso degli utenti, le operazioni di salvataggio e spegnimento dell'incendio da parte degli operatori di soccorso, l'eliminazione del rischio di esplosioni ed infine la limitazione dei danni alla struttura e agli impianti, oltre che ad eventuali altre strutture presenti in prossimità.

In materia di dotazioni per la sicurezza l'art. 14 del D.Lgs. 264/06 prevede che *"la Commissione accorda, sulla base di una domanda debitamente documentata dal Gestore, deroghe ai requisiti prescritti dal presente decreto, allo scopo di consentire l'installazione e l'uso di equipaggiamenti di sicurezza innovativi o l'utilizzo di procedure di sicurezza innovative, atti a fornire un livello equivalente o più elevato di protezione rispetto alle tecnologie previste dal presente decreto"*.

In tale ambito la Prometeoengineering.it S.r.l. ha sviluppato l'innovativa soluzione dello *smart-tunnel*, finalizzata ad ottenere, mediante l'implementazione di misure di sicurezza impiantistiche e/o gestionali, un livello di sicurezza in galleria accresciuto rispetto a quello garantito dalla realizzazione degli interventi necessari al soddisfacimento dei requisiti di normativa.

Lo Smart-Tunnel è costituito dalla corretta ed opportuna gestione dell'impiantistica di galleria dosando ed integrando misure di regolazione del traffico, sistemi tecnologici in grado di colloquiare aggiornando costantemente l'utente, e misure di supporto alla circolazione ed all'auto-soccorso in caso di emergenza quali pattugliamenti e presidi.

La presenza delle misure impiantistiche e gestionali alternative ed integrative presenti nello Smart-tunnel genera effetti positivi in termini di riduzione dei tempi di intervento e di comunicazione con l'utenza, ed al contempo maggiore efficienza nella gestione del traffico e delle emergenze, determinando anche una riduzione dei tassi di accadimento degli eventi incidentali, che influiscono direttamente sul valore del rischio associato ad una galleria.

Lo Smart-Tunnel può inoltre integrare strutture operative di supporto dedicate alla gestione del traffico e delle emergenze, rilevando in tempi rapidissimi ogni situazione di emergenza ed adottando tempestivamente i

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

provvedimenti per chiudere la galleria, bloccare il traffico, facilitare l'evacuazione degli utenti e intervenire rapidamente sull'incendio riducendo notevolmente le proporzioni dell'emergenza.

L'innovazione tecnologica introdotta con lo Smart Tunnel consente quindi di raggiungere livelli di sicurezza elevati e di conoscere in tempo reale ciò che avviene all'interno della galleria (condizioni ambientali, dati di traffico e stato degli impianti) per valutare - attraverso un'analisi di rischio dinamica - il livello di rischio in galleria ed applicare le misure operative necessarie a garantire la sicurezza in esercizio anche in condizioni di funzionamento degradato degli impianti.

I sistemi SCADA tradizionalmente operanti all'interno delle gallerie sono provvisti di logiche dedicate per il controllo da remoto degli impianti e l'attuazione degli opportuni algoritmi di gestione degli stessi sia condizioni di esercizio che in condizioni di emergenza.

La configurazione del sistema hardware e software proposto, denominato SCADRA, affianca al tradizionale sistema di controllo degli impianti, un sistema di acquisizione di tutti i "*parametri caratteristici*" che possono avere influenza nella gestione della galleria (ad es: malfunzionamento degli impianti, tipo ed intensità di traffico, presenza ADR, qualità dell'aria, visibilità, ecc...) che permettono di ottenere informazioni sullo stato di funzionamento degli impianti stessi, sulle condizioni ambientali e sullo stato del traffico all'interno della galleria, necessari per la successiva Analisi di Rischio Dinamica.

Lo SCADRA permette, nel normale esercizio del tunnel, di attuare strategie di gestione degli impianti volte al risparmio energetico, senza compromettere la sicurezza degli utenti, poiché l'esercizio degli impianti in modalità di risparmio energetico sarà consentito solo in condizioni di sicurezza ottimali al fine di garantire che tale operazione non determini un aumento del rischio oltre i valori predefiniti.

Attraverso l'elaborazione e l'analisi dei "parametri caratteristici", si attua un continuo monitoraggio sia dello stato degli impianti che del livello di sicurezza della galleria ed è possibile attuare una manutenzione preventiva e correttiva diminuendo i costi operativi, riducendo il numero di interventi di manutenzione correttiva per impianto/anno, i tempi di risposta rispetto alla richiesta di intervento, il MTTR (tempo medio di ripristino), il tempo di indisponibilità, ecc...

L'Analisi di Rischio Dinamica viene effettuata ad intervalli regolari predefiniti (a esempio ogni 2 ore) in condizioni di normale esercizio e viene attivata in caso di repentino mutamento delle condizioni di traffico, ambientali o del grado di funzionamento dei sistemi per un'immediata valutazione del livello di sicurezza.

Il mutamento delle condizioni di traffico e/o delle condizioni ambientali, o il malfunzionamento degli impianti, possono determinare un rischio istantaneo superiore rispetto alla valutazione del rischio effettuata in fase di progetto. Qualora il livello di rischio cresca verso limiti di non accettabilità, lo SCADRA provvede ad attivare e/o segnalare tutte le misure di sicurezza necessarie al raggiungimento del livello di sicurezza richiesto, quali, a titolo esemplificativo e non esaustivo:

- Misure di gestione e contingentamento del traffico
- Interruzione della modalità di risparmio energetico degli impianti

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

- Comunicazioni all'utenza

3.3.15 Impianti elettrici

L'impianto elettrico dovrà alimentare le utenze della galleria con l'assegnato grado di affidabilità e continuità di servizio, nel rispetto dei criteri di sicurezza.

Per conseguire tale scopo, saranno realizzate due cabine elettriche di trasformazione, nei pressi di ciascun imbocco in galleria, nel cui interno saranno alloggiare le apparecchiature necessarie.

Per assicurare l'alimentazione del sistema anche in caso di mancanza della sorgente primaria, interverranno automaticamente i gruppi elettrogeni che, entro 15 s, provvederanno a rialimentare tutte le utenze collegate.

Alcune utenze necessitano di essere alimentate senza soluzione di continuità; questo obiettivo verrà raggiunto mediante l'installazione di un gruppo statico di continuità da 200 kVA, con autonomia di 120 minuti.

La rete così alimentata, denominata di sicurezza, vedrà ad essa collegati i seguenti carichi:

- metà dell'illuminazione permanente in galleria;
- l'illuminazione di sicurezza;
- impianti di comunicazione, guida traffico, sicurezza e controllo a servizio della galleria;
- la segnaletica luminosa.

Tutte le apparecchiature della cabina saranno dotate delle opportune interfacce con l'impianto di telecontrollo, che sarà così in grado di ricevere le informazioni sullo stato di funzionamento della stessa, le misure delle principali grandezze elettriche, le segnalazioni di guasto od allarme e di effettuare i comandi necessari.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

3.4 Comportamento al fuoco

3.4.1 Resistenza al fuoco delle strutture

La struttura principale (rivestimento della galleria) è realizzata con calcestruzzo $R_{ck} \geq 45$ MPa e garantisce un livello di resistenza al fuoco che, in caso di cedimento locale della galleria in corrispondenza di un focolaio d'incendio, non comporta un rischio di crollo dell'intera struttura con effetto domino, con conseguenze dannose per la sicurezza delle persone che potrebbero essere presenti in altre zone.

Per le strutture (pareti) che dividono il vano strada dalle uscite di emergenza è prevista resistenza al fuoco REI 120. Analoga resistenza REI120 caratterizza le porte di accesso alle uscite di emergenza.

Non sono previsti locali tecnici all'interno della galleria né condotti di ventilazione.

3.4.2 Protezione contro la caduta di apparecchiature appese a soffitto

I sistemi di ancoraggio in volta dei ventilatori hanno resistenza al fuoco coerente con la resistenza al fuoco dei ventilatori individuati.

3.4.3 Funzionamento degli impianti al calore

Alimentazioni elettriche e cavi di segnali e comunicazione utti i cavi di potenza sono installati in zona protetta dal fuoco entro il cunicolo di servizio posto sotto il piano stradale.

Tutti i cavi sono del tipo a bassa emissione di fumi opachi e gas corrosivi e tossici con resistenza al fuoco certificata.

E' prescritto che i ventilatori debbano resistere, mantenendo un corretto funzionamento, per 90 minuti a 400°C.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

3.5 Accessibilità della galleria da parte dei soccorsi

I soccorsi possono accedere in galleria dai due imbocchi. In prossimità degli imbocchi sono presenti varchi aperti.

In galleria sono presenti n.2 by-pass carrabili per consentire eventuali inversioni di marcia dei mezzi di soccorso.

In caso di intervento d'emergenza nella galleria Caltanissetta sono attivati i presidi di soccorso dedicati (Vigili del Fuoco, Polizia stradale, 118) di Caltanissetta. L'allarme ai servizi di soccorso può avvenire mediante contatto diretto da parte degli utenti, oppure mediante allarme da parte del Centro di Controllo.

L'accesso alla galleria può avvenire entrando sulla S.S. 640:

- dallo svincolo di Caltanissetta Sud,
 - per l'accesso secondo il verso di marcia nella canna in direzione A19;
 - per l'accesso "in contromano" nella canna adiacente (direzione Agrigento);
- dallo svincolo di Caltanissetta Nord,
 - per l'accesso secondo il verso di marcia nella canna in direzione Agrigento;
 - per l'accesso "in contromano" nella canna adiacente (direzione A19).

L'accesso nel verso di marcia avviene percorrendo la carreggiata all'esterno della galleria e la banchina destra all'interno della galleria; al riguardo si rileva che l'accesso in emergenza risulta facilitato dalla presenza della corsia di emergenza, tale da non richiedere ai mezzi di soccorso di maggiori dimensioni (v. autoambulanze e autopompe dei Vigili del Fuoco) un parziale impegno della carreggiata che potrebbe essere già occupata da veicoli in coda, eventualmente anche abbandonati dagli utenti negli scenari di emergenza più gravi.

3.6 Dotazioni di evacuazione

Per l'evacuazione e la messa in sicurezza degli utenti, in caso di emergenza, è disponibile una banchina di emergenza in destra di larghezza 3,25m ed una banchina pedonabile in sinistra larga 0,50m tramite la quale gli utenti possono raggiungere a piedi le uscite di sicurezza, previste con interdistanza massima di 500m. Le uscite di sicurezza sono compartimentate REI 120 e dotate di zona filtro fumi in sovrappressione rispetto alla galleria.

Per valutare l'efficacia dell'uscita di sicurezza è stato impiegato il modello di accodamento dei veicoli in galleria e di evacuazione degli utenti descritti al paragrafo 6.6.

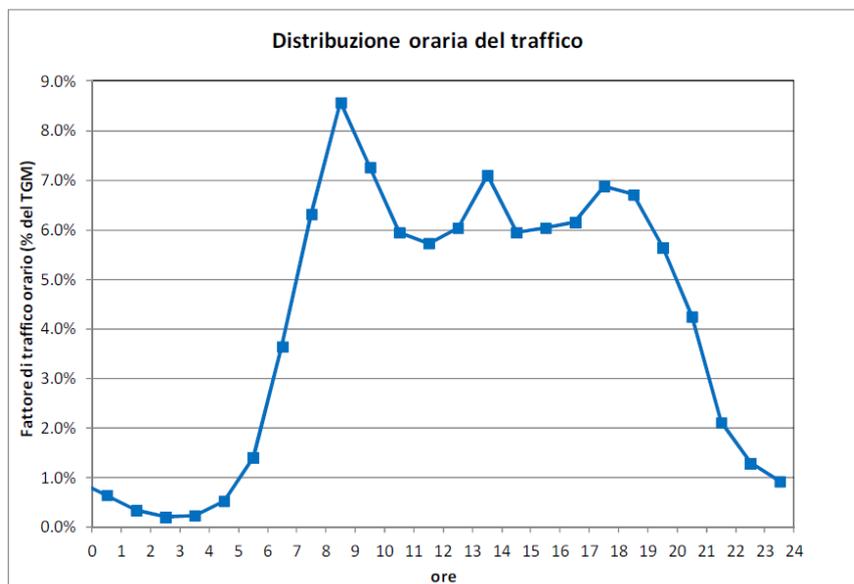
3.7 Descrizione delle caratteristiche di traffico

La galleria è a doppio fornice, con traffico monodirezionale e due corsie per senso di marcia.

I dati relativi alla caratterizzazione del traffico della tratta su cui insiste la galleria, ed in seguito utilizzati in fase di analisi di rischio, sono stati ottenuti dagli studi condotti in sede di progettazione definitiva ("Progetto definitivo, Studi e indagini, Studio del traffico, Relazione generale" (Cod. T01_IA20_AMB_RE01)" e vengono riportati nella seguente tabella:

Galleria	TGM (veicoli/giorno)	Veicoli pesanti (%)	Merci pericolose (% sul traffico totale)	Classe ADR	Velocità (km/h)
Caltanissetta	8.778	13.2	6.3	A	110

La distribuzione oraria del traffico è stata definita sulla base dei rilievi di traffico svolti sulla S.S. 640 esistente nell'anno 2006. La distribuzione oraria di riferimento è stata definita come distribuzione oraria media, calcolata assumendo per ogni ora il valor medio del traffico registrato nelle 4 stazioni di rilievo, nei due sensi di marcia e nei due giorni di rilievo del 22 e 23 marzo 2006, è rappresentata nella figura seguente.



In assenza di specifiche informazioni per la tratta stradale in esame si è assunto che il traffico giornaliero si mantenga costante nei diversi mesi dell'anno (assenza di fenomeni di stagionalità).

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Il transito in galleria di veicoli commerciali trasportanti merci pericolose (MP) è ammesso. La percentuale di veicoli trasportanti merci pericolose è stata determinata mediante una valutazione su scala nazionale.

Una stima della percentuale media, a livello nazionale, delle tonnellate di merci pericolose sul totale delle merci trasportate può quindi essere effettuata rapportando il valore complessivo delle merci trasportate e il valore complessivo delle merci pericolose trasportate come segue:

Percentuale nazionale merci pericolose

$$= \frac{\text{valore complessivo delle merci pericolose trasportate}}{\text{valore complessivo delle merci trasportate}}$$

Per quanto riguarda il trasporto complessivo di merci pericolose sul territorio nazionale, si è fatto riferimento ai dati forniti da EUROSTAT in "Annual road freight transport of dangerous goods, by type of dangerous goods and broken down by activity", relativamente all'anno 2013, come di seguito illustrato.

	merci pericolose	trasporti interni	trasporti internazionali	trasporti complessivi
1	Materie e oggetti esplosivi	30	nd	30
2	Gas compressi, gas liquefatti, gas liquefatti refrigerati e gas disciolti sotto pressione	988	c	998
3	Materie liquide infiammabili	4489	308	4797
4,1	Materie solide infiammabili, materie auto-reattive, esplosivi solidi desensibilizzati	203	c	268
4,2	Materie soggette ad accensione spontanea	c	nd	c
4,3	Materie che a contatto con l'acqua sviluppano gas infiammabili	66	nd	66
5,1	Materie comburenti	81	c	143
5,2	Perossidi organici	39	nd	39
6,1	Materie tossiche	54	c	82
6,2	Materie infettanti	46	c	57
7	Materie radioattive	c	nd	c
8	Materie corrosive	839	c	913
9	Materie e oggetti pericolosi diversi	443	c	541
	totale	7382	654	8037

nd = non disponibile

c =confidenziale

trasporto complessivo di merci pericolose sul territorio nazionale - 2013

Il trasporto merci pericolose su strada, in particolare il valore complessivo relativo all'anno 2013, risulta pari a 8.037 milioni di tonnellate-km, senza distinzione tra i diversi livelli gerarchici delle infrastrutture (autostrade, strade urbane principali, secondarie, etc.).

Il valore complessivo delle merci trasportate è invece ricavato dal "Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti anni 2013 - 2014" pubblicato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, come di seguito illustrato.

Tab. V.4.1 - Trasporto complessivo di merci su strada^(a) - Anni 1995, 2000, 2005, 2009-2014

Titolo di trasporto	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012	2013	2014 ^(*)
<i>Tonnellate (migliaia)</i>									
Conto proprio	457.665	438.566	457.523	445.749	420.761	362.792	291.243	230.850	n.d.
Conto terzi	788.687	766.551	1.051.179	1.023.204	1.107.002	977.157	830.071	793.023	n.d.
Totale	1.246.352	1.205.117	1.508.702	1.468.953	1.527.763	1.339.949	1.121.313	1.023.873	1.049.789
<i>Tonnellate-km (milioni)</i>									
Conto proprio	28.543	26.931	21.044	17.186	15.725	13.767	11.031	10.221	n.d.
Conto terzi	145.888	158.170	190.755	150.442	160.051	129.118	112.984	117.019	n.d.
Totale	174.431	185.101	211.799	167.628	175.776	142.885	124.015	127.240	123.920

Nota: eventuali incongruenze nei totali sono da attribuire alle procedure di arrotondamento.

(*) Stima del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

(a) Le quantità si riferiscono al traffico effettuato da veicoli di portata utile non inferiore ai 35 quintali immatricolati in Italia.

Fonte: elaborazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti su dati ISTAT.

Tab. V.4.2 - Trasporto merci su strada interno, internazionale e complessivo per titolo di trasporto^(a) - Anno 2013

Titolo di trasporto	Conto proprio		Conto terzi		Complessivo	
	Tonnellate (migliaia)	Tkm (milioni)	Tonnellate (migliaia)	Tkm (milioni)	Tonnellate (migliaia)	Tkm (milioni)
Trasporti interni	230.515	10.142	781.828	110.018	1.012.344	120.161
Trasporti internazionali	334	79	11.194	7.000	11.528	7.079
Trasporti complessivi	230.849	10.221	793.023	117.018	1.023.872	127.240

Nota: eventuali incongruenze nei totali sono da attribuire alle procedure di arrotondamento.

(a) Le quantità si riferiscono al traffico effettuato da veicoli di portata utile non inferiore ai 35 quintali immatricolati in Italia.

Fonte: elaborazione Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti su dati ISTAT.

Il trasporto merci su strada, in particolare il valore complessivo relativo all'anno 2013, risulta pari a 127.240 milioni tonnellate-km. Tale valore comprende i trasporti effettuati in conto proprio e in conto terzi, ed anche in questo caso senza distinzione tra i diversi livelli gerarchici delle infrastrutture (autostrade, strade urbane principali, secondarie, etc.).

La stima della percentuale media delle tonnellate di merci pericolose sul totale delle merci trasportate, a livello nazionale e relativa all'anno 2013 (ultimo dato disponibile), può quindi essere effettuata come segue:

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

$$\text{Percentuale nazionale merci pericolose} = \frac{8.037 \text{ milioni tonnellate ADR km}}{127.240 \text{ milioni tonnellate totali km}} = 6,3 \%$$

In via cautelativa si ritiene pertanto opportuno considerare per la galleria Caltanissetta una percentuale dei veicoli ADR pari al 6,3%.

La circolazione all'interno della galleria avverrà infine senza imposizione di regole di comportamento particolari e secondo lo standard attualmente in vigore sulla rete stradale in gestione A.N.A.S.. In particolare, non sono previste particolari prescrizioni alla circolazione in galleria quali limiti localizzati di velocità, divieto di sorpasso per i VP, imposizione di un valore minimo di interdistanza veicolare, etc.

Il modello previsionale utilizzato in progetto porta a stimare il valore del tasso d'incidentalità atteso nella galleria "Caltanissetta" in $5.9 \cdot 10^{-8}$ eventi/veic.km.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

4 Analisi preliminare dei pericoli

Si tratta di un'analisi preliminare sistematica di tipo qualitativo che ha per obiettivo l'individuazione dei fattori di pericolo che possono essere causa o elemento aggravante di un evento incidentale. La loro individuazione assume un'importanza rilevante nelle scelte infrastrutturali, impiantistiche e gestionali, di natura preventiva, volte a diminuire la probabilità che occorra una certa condizione che potrebbe essere causa o elemento aggravante di incidente. E' importante tenere presente che in uno stesso evento incidentale può presentarsi più di una causa e che molteplici possono essere le combinazioni. L'obiettivo di tale analisi preliminare è quello di identificare le misure imprescindibili per gli eventi meno critici e di selezionare gli eventi che richiedono un'analisi più approfondita al fine di valutarne il rischio in termini quantitativi.

La tabella successiva sintetizza i fattori di pericolo analizzati.

ANALISI PRELIMINARE DEI PERICOLI	
Guasti e malfunzionamenti	Infrastruttura
	Impianti
	Errore umano
Inquinamento in galleria	
Veicolo fermo / ostacolo in carreggiata	Perdita di carico
	Veicolo fermo / avaria
	Presenza di animali vaganti / morti
Turbativa alla circolazione	Traffico rallentato / coda
	Traffico bloccato
Violazione del codice	
Ambiente	
Incidente stradale	
Incendio	
Incidenti con merci pericolose	
Esplosione	
Azione terroristica / catastrofe naturale	

Fattori di pericolo

In allegato è presente una tabella riportante i risultati di un'indagine effettuata sui pericoli, le possibili cause, i pericoli associati e la stima delle conseguenze attese di un sistema galleria tipo, ottenute applicando la tecnica del Giudizio degli Esperti in accordo al Metodo Delphi.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

4.1 Guasti e malfunzionamenti

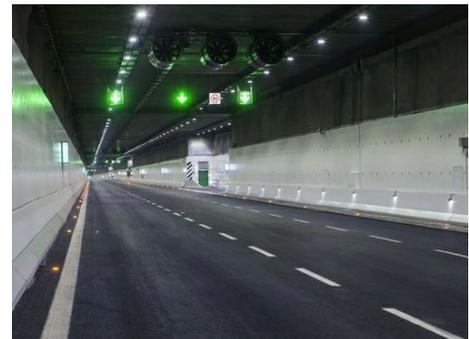
Le misure di sicurezza in galleria possono essere molteplici e diverse nella specificità funzionale, atte a garantire i livelli di sicurezza richiesti per la struttura e per la salute pubblica. Una corretta progettazione della sicurezza richiede la realizzazione di sistemi specifici per il controllo, la mitigazione, la prevenzione degli eventi incidentali che possono verificarsi in galleria. I sistemi di sicurezza realizzati determinano la risposta della struttura alle condizioni di emergenza e la risposta della popolazione esposta agli eventi incidentali. Guasti e malfunzionamenti causano la perdita totale o parziale delle funzioni di sicurezza proprie delle misure previste.

I disservizi possono riguardare:

- misure di sicurezza strutturali,
- misure di sicurezza tecnologiche,
- misure di sicurezza comportamentali.

4.1.1 Infrastruttura

In linea generale le caratteristiche costruttive e geometriche dell'infrastruttura incidono sui livelli finali di sicurezza. L'analisi statistica delle serie storiche sugli eventi incidentali in galleria, condotta dall'estensore dell'IRAM e mostrata nelle Linee Guida ANAS, ha mostrato una relazione tra frequenze di accadimento di eventi incidentali e caratteristiche architettoniche e strutturali dell'opera, che possono essere individuati in termini di:



- anno di costruzione,
- lunghezza (galleria singola, gallerie in serie),
- sezione (larghezza della carreggiata, altezza massima, marciapiedi),
- tracciato (profilo orizzontale e verticale della galleria e delle zone di imbocco),
- tipologia costruttiva (unidirezionale, bidirezionale, corsie di emergenza).

Una valutazione di tali caratteristiche rapportate alla galleria in esame è stata effettuata nell'Analisi di Vulnerabilità.

Da sottolineare l'importanza del buono stato dell'infrastruttura, ad esempio:

- il manto stradale ed il rivestimento della galleria,
- il funzionamento e le caratteristiche REI di eventuali vie di fuga,
- il mantenimento di determinate caratteristiche di resistenza al fuoco per la messa in sicurezza degli utenti in caso di incendio e dei Servizi di Soccorso in caso di intervento,
- il corretto funzionamento del sistema di raccolta delle acque di piattaforma.

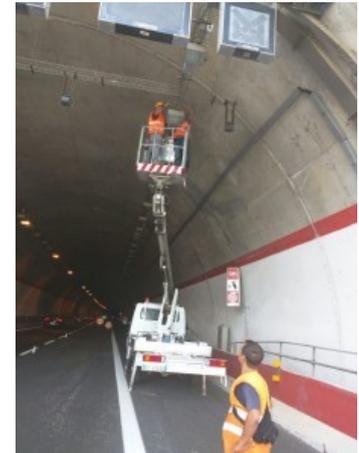
E' fondamentale che siano svolte opportune operazioni di monitoraggio e manutenzione dell'infrastruttura attraverso una pianificazione adeguata ed efficiente.

4.1.2 Impianti

In linea generale gli impianti sono destinati a svolgere funzioni di:

- inibizione/mitigazione,
- protezione attiva/passiva,
- facilitazione dell'autosoccorso/soccorso.

L'anomalia di funzionamento degli impianti si definisce a seguito di mal funzionamenti degli stessi. Il malfunzionamento degli impianti fa evolvere un evento verso conseguenze più gravi in termini di feriti, perdite umane e danni all'infrastruttura.



In particolar modo un malfunzionamento dell'impianto di illuminazione costituisce un evento di particolare pericolosità in quanto causa il peggioramento delle condizioni di visibilità e potrebbe precludere la corretta gestione della sicurezza in condizioni di emergenza. In tal caso è utile l'impostazione di una corretta comunicazione agli utenti al fine di aumentare il livello di attenzione degli stessi, ad esempio attraverso messaggi specifici tipo "galleria non illuminata" su PMV.

Impianti di rilevazione di incidente e/o incendio determinano invece una tempestiva gestione dell'emergenza, diminuendone le possibili conseguenze.

Impianti di ritrasmissioni radio all'interno della galleria rendono più efficace l'intervento delle squadre di soccorso, avendo la possibilità di comunicare fra di loro oltre che con il personale di sala operativa, garantendo così un'efficace coordinamento dell'operazione.

Impianto SOS e copertura GSM hanno il compito di permettere agli utenti di segnalare una situazione di pericolo in tempi più rapidi.

Un elenco di eventuali altri impianti che possono essere presenti in galleria può essere:

- impianto di ventilazione meccanica,
- illuminazione di evacuazione,
- rilevatori di dati ambientali,
- impianto idrico antincendio,
- sistema di gestione, controllo e trasmissioni dati,
- impianti di sorveglianza,
- segnaletica luminosa,
- alimentazione elettrica normale e di emergenza,
- etc.

Per ciascun impianto è dunque fondamentale che siano svolte opportune operazioni di monitoraggio e manutenzione attraverso una pianificazione adeguata ed efficiente al fine di conservare le condizioni di sicurezza ottimali per il funzionamento dell'opera.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Le Condizioni Minime di Esercizio (CME) devono prendere atto di tutte le caratteristiche tecniche e delle prestazioni previste da progetto.

4.1.3 Errore umano

Nella gestione ordinaria e di emergenza intervengono numerosi soggetti con caratteristiche e competenze diversificate:

- gli operatori della sala operativa adibita al controllo ed alla gestione della galleria,
- il personale su strada con compiti di sorveglianza e gestione del traffico,
- il personale addetto alle attività di manutenzione,
- servizi pubblici esterni (Polizia Stradale, Vigili del Fuoco, Soccorso Sanitario, etc.),
- servizi di soccorso meccanico.

L'errore umano, legato alla disattenzione, alla inadeguatezza o alla lentezza, può essere origine di situazioni pericolose o diventare elemento aggravante.

La formazione specifica del personale di servizio è fondamentale per evitare errori o comportamenti inadeguati. Gli agenti che intervengono non dovranno avere comportamenti imprudenti che possano generare situazioni pericolose.

La predisposizione di procedure di manutenzione e d'emergenza pre-stabilite e condivise, accompagnate da esercitazioni periodiche, riduce la probabilità di errore umano. Le procedure dovranno essere redatte in modo rigoroso e seguite scrupolosamente.

Gli indicatori di disponibilità corsia (IDC) e la predisposizione di scenari automatici accorrerebbero in aiuto a impedire che una condizione pericolosa possa diventare causa di incidente nella struttura.



E' indispensabile inoltre che sia i servizi di soccorso, sia le ditte esterne conoscano le caratteristiche e le dotazioni di sicurezza presenti in galleria e le procedure da adottare.

4.2 Inquinamento in galleria

Valori anomali di qualità dell'aria potrebbero essere sintomo di mal funzionamento dell'impianto di ventilazione, quando presente. Il verificarsi di tale circostanza costituisce un evento di particolare pericolosità in quanto potrebbe precludere la corretta gestione della sicurezza in condizioni di emergenza.

4.3 Veicolo fermo / ostacolo in carreggiata

4.3.1 Perdita di carico



	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

La perdita di carico può verificarsi oltre che nel caso d'incidente anche qualora un veicolo abbia una perdita delle merci trasportate o, più in generale, qualora un qualunque veicolo disperda il proprio carico perché non adeguatamente sistemato. Particolari rischi si possono verificare a seguito della dispersione di sostanze viscidie o materiali tali che possono rendere scivoloso il piano viabile, o che possono costituire ostacoli sulle corsie di marcia, per la possibilità d'incidente dei veicoli in transito. Nei casi in cui viene disperso un carico costituito da materiale sciolto, le difficoltà di recupero divengono maggiori. Qualora il carico sia costituito da materiali o sostanze considerate dannose per la salute (residui della macellazione, rifiuti ospedalieri, liquami etc.) l'intervento di recupero può divenire particolarmente complesso per le cautele da adottare (vedi paragrafo specifico).

L'impianto di videosorveglianza permette la rapida rilevazione dell'evento. In caso di assenza di videosorveglianza o per le zone non coperte dallo stesso, la rilevazione può essere effettuata da:

- personale addetto con tempi che variano in funzione della frequenza di pattugliamento,
- utenti tramite SOS o comunicazione via telefono ai numeri di emergenza con tempi di rilevazione più lunghi.



Una volta rilevato l'evento è necessario che sia attivata l'opportuna segnaletica di gestione del traffico (IDC e PMV) al fine di segnalare tempestivamente l'evento agli utenti che stanno per entrare in galleria.

4.3.2 Veicolo fermo / Avaria

Tra i casi di possibile ingombro della carreggiata è compreso quello che può verificarsi quando un veicolo, in particolare un mezzo pesante, per cause diverse (ad esempio perdita del battistrada) è costretto a fermarsi in posizione tale da intralciare anche solo parzialmente il transito degli altri veicoli.

Nel caso di un veicolo in panne, la presenza di una corsia di emergenza o di una piazzola di sosta permetterebbe la fermata dello stesso senza che rappresenti un intralcio alla circolazione.

L'impianto di videosorveglianza e le colonnine SOS permettono la rapida rilevazione dell'evento.

Una volta rilevato l'evento è necessario che sia attivata l'opportuna segnaletica di gestione del traffico (IDC e PMV) al fine di segnalare tempestivamente l'evento agli utenti che stanno per entrare in galleria.

4.3.3 Presenza di animali vaganti/morti

La presenza di animali vaganti/morti in galleria costituisce un ostacolo di particolare pericolosità. Inoltre bisogna prendere in considerazione anche le imprevedibili reazioni dell'animale spaventato dal sopraggiungere di un veicolo.

La recinzione della sede stradale riduce il verificarsi dell'evento per quanto riguarda gli animali selvatici. E' da prestare maggiore attenzione per quanto riguarda gli animali domestici abbandonati.



	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

L'impianto di sorveglianza sia in galleria che nei tratti prospicienti gli imbocchi, permette la rapida rilevazione dell'evento. In caso di assenza di videosorveglianza o per le zone non coperte dallo stesso, la rilevazione può essere effettuata da:

- personale addetto con tempi che variano in funzione della frequenza di pattugliamento,
- utente tramite SOS o comunicazione via telefono ai numeri di emergenza con tempi di rilevazione più lunghi.



Una volta rilevato l'evento è necessario che sia attivata l'opportuna segnaletica di gestione del traffico (IDC e PMV) al fine di segnalare tempestivamente l'evento agli utenti che stanno per entrare in galleria.

4.4 Turbativa alla circolazione

Creano turbativa alla circolazione eventi che si verificano in galleria e nei quali il traffico non sia regolare o comunque, anche se intenso, scorrevole. A crescenti difficoltà di deflusso dei veicoli corrispondono le situazioni di traffico rallentato, coda e traffico bloccato. Il verificarsi di uno dei suddetti eventi può dare luogo a:

- incidente coinvolgente i veicoli sopraggiungenti sull'evento e quelli fermi o in rallentamento al termine dello stesso;
- incidente tra i veicoli (tamponamento) in rallentamento o in coda tenuto conto delle ridotte distanze di arresto e delle discontinuità nella marcia;
- necessità di assistenza agli occupanti dei veicoli nel caso di arresto prolungato;
- necessità di soccorso ai veicoli eventualmente rimasti in panne.

L'analisi statistica delle serie storiche sugli eventi incidentali in galleria, condotta dall'estensore dell'IRAM e mostrata nelle Linee Guida ANAS, ha mostrato una relazione tra frequenze di accadimento di eventi incidentali e caratteristiche di traffico dell'opera, che possono essere individuati in termini di:

- volume di traffico (traffico giornaliero medio, stagionalità),
- composizione del traffico (traffico pesante, traffico ADR),
- regimi di traffico (traffico scorrevole, traffico congestionato).

Una valutazione di tali caratteristiche rapportate alla galleria in esame è stata effettuata nell'Analisi di Vulnerabilità.

Uno studio accurato sulle condizioni di traffico, comprese le previsioni future, può essere d'aiuto ad individuare specifiche criticità. Il Piano di Emergenza dovrà dunque individuare possibili itinerari alternativi per gli utenti, individuare le modalità di arrivo dei mezzi di soccorso presso gli imbocchi della galleria e sul luogo dell'incidente anche in caso di turbativa della circolazione.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Un'opportuna segnaletica di gestione del traffico (IDC e PMV), al fine di segnalare tempestivamente l'evento agli utenti che stanno per entrare in galleria, agevolerebbe la creazione di una via libera di accesso ai servizi di soccorso.

4.4.1 Traffico rallentato / coda

Il traffico risulta rallentato quando i veicoli procedono a velocità ridotta condizionandosi reciprocamente; la presenza di veicoli più lenti nel flusso diventa un fattore di ulteriore disagio. Nel caso si presenti una coda, i veicoli procedono lentamente con fasi di fermo e fasi di movimento che tendono progressivamente all'arresto, la presenza di veicoli lenti crea dei vuoti nella coda veicolare, che tende ad allungarsi.



4.4.2 Traffico bloccato

Nell'evento traffico bloccato la sede stradale è ostruita totalmente e il transito dei veicoli è di fatto impossibile: i veicoli sono fermi in colonna, il cambio di corsia non è possibile. Il blocco può avvenire per una riduzione della larghezza della sede stradale per incidente o in presenza di lavori per un evento che si verifica nella carreggiata ridotta e ne compromette la transitabilità. Questa condizione può derivare anche dalle condizioni della strada (ad esempio ristagni di acqua, materiale disperso, etc.) o dell'ambiente circostante (ad esempio allagamento della sede stradale) che provocano l'arresto dei veicoli e ne impediscono la marcia.

4.5 Violazioni del codice

Per reato si intende ogni azione delittuosa nei confronti delle persone, delle merci e delle proprietà che si verifica in ambito stradale. Il verificarsi di un evento di questo tipo, oltre gli aspetti di danno nei confronti di persone e/o cose può dare anche luogo nella sua evoluzione a condizioni di rischio per la circolazione.

Il comportamento alla guida del conducente di un veicolo in transito incide in modo rilevante sui livelli di rischio della circolazione stradale. Esempi di comportamenti diffusi sono:

- guida in condizioni di affaticamento
- guida in stato di ebbrezza o sotto l'azione di sostanze psicotrope,
- mancata utilizzazione dei dispositivi di sicurezza del veicolo,
- presenza di pedoni in galleria,
- mancato rispetto dei limiti di velocità,
- mancato rispetto delle distanze di sicurezza,
- veicolo contromano.

Occorre un adeguato controllo e spingere il conducente verso un comportamento alla guida meno rischioso e più prudente. Svolgono in tal senso ruolo fondamentale i controlli ordinari della Polizia Stradale e l'uso di dispositivi di controllo della velocità.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

4.6 Ambiente

L'analisi statistica delle serie storiche sugli eventi incidentali in galleria, condotta dall'estensore dell'IRAM e mostrata nelle Linee Guida ANAS, ha mostrato una relazione tra frequenze di accadimento di eventi incidentali e caratteristiche dell'ambiente, che possono essere individuati in termini di:

- condizioni meteo-climatiche prevalenti agli imbocchi ed orientazione,
- accessibilità della struttura (accesso agli imbocchi, accesso alla galleria, viabilità alternativa),
- localizzazione sul territorio delle squadre di soccorso.

Una valutazione di tali caratteristiche rapportate alla galleria in esame è stata effettuata nell'Analisi di Vulnerabilità.

Condizioni meteo avverse influiscono sulla sicurezza della circolazione stradale e devono portare ad una guida maggiormente prudente, in tal senso informative su PMV lungo la tratta saranno utili.



Frane e allagamenti, che producono l'occlusione parziale delle sedi stradali, perché invase da materiale o allagate, dovranno prevedere procedure di gestione dell'emergenza predefinite e condivise.

Il Piano di Emergenza dovrà dunque individuare possibili itinerari alternativi per gli utenti, individuare le modalità di arrivo dei mezzi di soccorso presso gli imbocchi della galleria e sul luogo dell'evento.

Un'opportuna segnaletica di gestione del traffico (IDC e PMV), al fine di segnalare tempestivamente l'evento agli utenti che stanno per entrare in galleria, agevolerebbe la creazione di una via libera di accesso ai servizi di soccorso.

4.7 Incidente stradale

Evento nel quale risulta coinvolto almeno un veicolo in movimento che sia fuoriuscito dalla carreggiata, ovvero che in galleria sia venuto in collisione con altro veicolo, persona o ostacolo.

Il verificarsi di un incidente può dare luogo singolarmente o nel complesso a:

- danni alle persone,
- danni ai veicoli,
- turbativa alla circolazione,
- incendio,
- rischio di perdita o dispersione di sostanze,
- dispersione di materiale,



	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

- danni alle strutture,
- investimento di animali.

L'impianto di videosorveglianza, ancorché dotato di un sistema di rilevazione automatica incidente, permette una rapida rilevazione dell'evento.

Una volta rilevato l'incidente è necessario che sia attivata la segnaletica di gestione del traffico (PMV e IDC) al fine di:

- segnalare l'evento agli utenti che stanno per entrare in galleria,
- evitare incidenti a catena,
- creare una via di accesso libera alle squadre di soccorso.

Un sistema di controllo da remoto degli impianti permetterà di gestire gli stessi in funzione dell'evento critico rilevato e ridurre ulteriormente i tempi d'intervento e di soccorso.

La possibilità di mitigazione degli effetti dipende dalla predisposizione di misure, risorse e procedure che garantiscano un efficace e tempestivo soccorso (tecnico e sanitario), nonché l'assistenza e la sicurezza degli utenti. La pianificazione di tali misure deve costituire parte fondamentale del Piano di Gestione delle Emergenze.

4.8 Incendio

Lo stato di emergenza provocato da un incendio deve essere necessariamente classificato tra i più impegnativi a causa dell'effetto della propagazione dei fumi. E' infatti sempre molto difficile stabilire in maniera sicura nell'immediato l'entità dell'evento, quante persone sono rimaste coinvolte, quanti veicoli e di che tipo, se c'è dispersione di sostanze trasportate da uno dei veicoli coinvolti, etc. Inoltre gli incidenti all'interno di tali infrastrutture in caso d'incendio, comportano la formazione di atmosfere incompatibili con la normale gestione operativa e addirittura l'impossibilità di raggiungere il luogo del sinistro. Durante un incendio infatti, essendo l'ambiente chiuso, il fumo limita non solo l'evacuazione delle persone, ma rallenta anche l'intervento dei soccorritori sia per l'irrespirabilità dell'aria, sia per le elevate temperature che vengono a formarsi. Inoltre i veicoli rimasti bloccati e/o abbandonati costituiscono intralcio all'azione di soccorso.



L'impianto di videosorveglianza ed un sistema di rilevazione automatica d'incendio (cavo fibrolaser, rilevatori CO-OP, etc.), permettono una rapida rilevazione dell'evento.

Una volta rilevato l'incidente è necessario che sia attivata la segnaletica di gestione del traffico (PMV e IDC) secondo modalità prescritte nel Piano di Gestione delle Emergenze.

Un sistema di controllo da remoto degli impianti permetterà di gestire gli stessi in funzione dell'evento critico rilevato e ridurre ulteriormente i tempi d'intervento e di soccorso.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Un impianto di ventilazione meccanica permette la gestione ed il contenimento dei fumi nelle diverse condizioni di traffico. Assume grande importanza prevedere un algoritmo per l'ottimizzazione, l'attivazione e la gestione della ventilazione in caso d'incendio.

Un sistema di illuminazione di evacuazione può essere di aiuto agli utenti nel processo di esodo in caso di presenza di fumo.

La presenza di un impianto idrico antincendio risulta fondamentale per combattere le conseguenze dello stesso.

Bisogna tener conto inoltre delle caratteristiche di resistenza al fuoco degli impianti e loro componenti, per garantire le necessarie funzionalità in caso d'incendio.

La possibilità di mitigazione degli effetti dipende dalla predisposizione di misure, risorse e procedure che garantiscano un efficace e tempestivo soccorso (tecnico e sanitario), nonché l'assistenza e la sicurezza degli utenti. La pianificazione di tali misure deve costituire parte fondamentale del Piano di Gestione delle Emergenze.

4.9 Incidenti con merci pericolose

Sono gli incidenti che coinvolgono veicoli trasportanti merci pericolose (secondo l'ADR o comunque classificate a rischio per la salute). Merci pericolose pongono notevoli problemi sia alle persone coinvolte nell'incidente, sia alle persone presenti, sia ai soccorritori e sia all'ambiente circostante.

Il coinvolgimento in un incidente di un veicolo trasportante merci pericolose può determinare lo sversamento di sostanze sul manto stradale o il veicolo può rovesciarsi mantenendo i contenitori intatti. In ogni caso si deve procedere con le necessarie cautele a rimettere in assetto di marcia il veicolo ed è fondamentale la disponibilità in tempi ridottissimi di squadre e mezzi specializzati.

Nel caso d'incendio, la presenza di sostanze pericolose pone ulteriori problemi relativi:

- alla maggiore potenza dell'incendio,
- alla formazione di fumi nocivi,
- al pericolo di esplosione.

Un sistema di raccolta dei liquidi sversati sulla piattaforma è fondamentale per impedire il propagarsi di liquidi infiammabili e tossici all'interno di un fornice e tra i fornici.

Procedure e regolamenti di traffico riguardo VTMP possono diminuire la frequenza di accadimento di incidenti coinvolgenti merci pericolose.



	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

La possibilità di mitigazione degli effetti dipende dalla predisposizione di misure, risorse e procedure che garantiscano un efficace e tempestivo soccorso (tecnico e sanitario), nonché l'assistenza e la sicurezza degli utenti. La pianificazione di tali misure deve costituire parte fondamentale del Piano di Gestione delle Emergenze.

4.10 Esplosione

Lo stato di emergenza provocato da un'esplosione in galleria deve essere necessariamente classificato tra i più impegnativi. E' infatti sempre molto difficile stabilire in maniera sicura nell'immediato l'entità dell'evento, quante persone sono rimaste coinvolte, quanti veicoli e di che tipo, se c'è dispersione di sostanze trasportate da uno dei veicoli coinvolti, etc.

Le esplosioni sono generalmente conseguenti a incidenti coinvolgenti VTMP, per cui si fa riferimento al paragrafo specifico.

4.11 Azione terroristica / catastrofe naturale

Lo stato di emergenza provocato deve essere necessariamente classificato tra i più impegnativi data la criticità e l'impossibilità di prevedere la natura dell'evento.

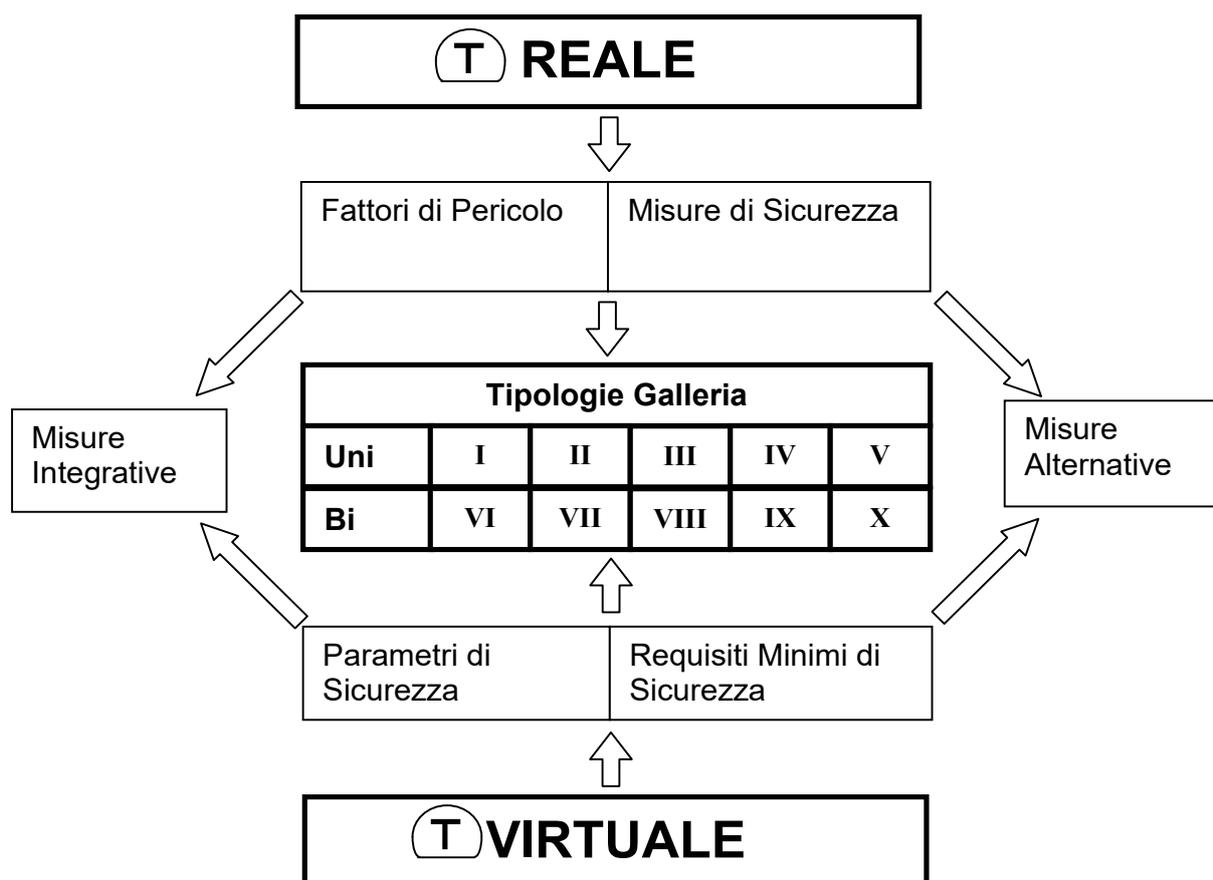


5 Analisi di vulnerabilità della galleria

L'analisi di vulnerabilità persegue i seguenti obiettivi:

- identificazione dei parametri di sicurezza della galleria come definiti dal D.Lgs n.264/2006 e ripresi nelle Linee Guida ANAS;
- identificazione del gruppo di requisiti minimi di sicurezza di appartenenza della galleria;
- individuazione di deficit rispetto ai requisiti minimi di sicurezza;
- individuazione di caratteristiche speciali (anomalie) che la galleria presenta rispetto ai parametri di sicurezza;
- valutazione sulla vulnerabilità della galleria con indicazione di eventuali misure di sicurezza da realizzare in galleria, i cui benefici sono quantificabili in sede di analisi di rischio.

La successiva figura esemplifica l'analisi di vulnerabilità per il sistema galleria stradale.



Schema analisi di vulnerabilità

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

5.1 Identificazione dei parametri di sicurezza

In accordo al D.Lgs 264/06 le misure di sicurezza da realizzare in una galleria devono basarsi su una considerazione sistematica di tutti gli aspetti del sistema consistenti nell'infrastruttura, l'esercizio, gli utenti e i veicoli.

Le Linee Guida ANAS distinguono i parametri per decidere sulle misure di sicurezza in:

- Parametri di Sicurezza Principali,
- Parametri di Sicurezza Caratteristici.

5.1.1 Parametri di sicurezza principali

I parametri di sicurezza principali sono identificati con:

- la lunghezza della struttura,
- il volume di traffico incidente sulla struttura.

Il metodo di progetto della sicurezza adottato identifica i valori limite per i parametri di sicurezza principali:

- valori limite inferiori sono fissati dal D.Lgs 264/06.
- valori limite superiori sono ricavati in funzione della tipologia costruttiva di un sistema galleria applicando un metodo dei minimi quadrati idoneo ad interpolare dati affetti da incertezze a:
 - serie storiche di eventi incidentali rilevati sulla rete stradale nazionale in funzione del volume di traffico (dati AISCAT),
 - serie storiche di fatalità indotte da eventi di incendio in sistemi galleria nel mondo in funzione della lunghezza della struttura (dati PIARC).

Il valore limite superiore per la lunghezza è fissato pari a 4000 metri.

Il valore limite superiore per il volume di traffico è fissato pari a 10.000 veicoli al giorno per corsia.

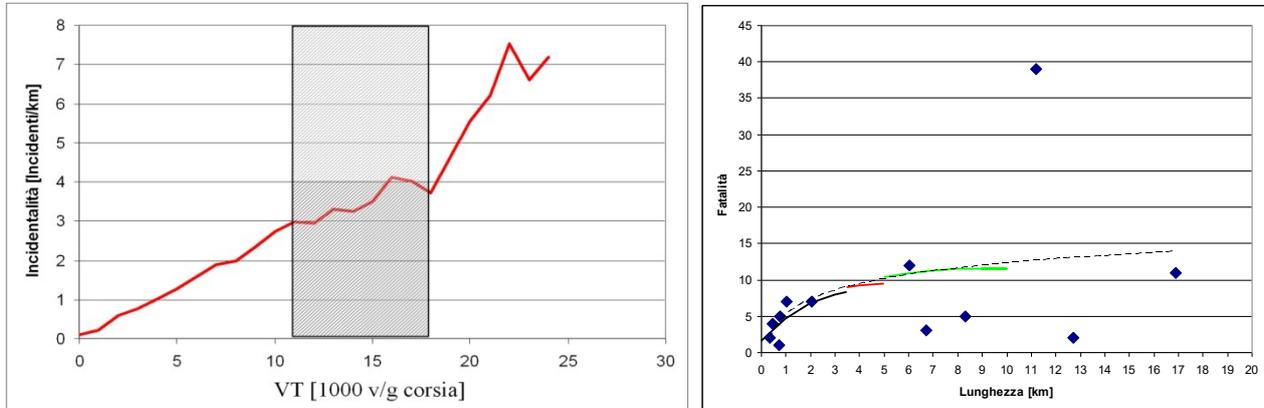
I valori limite superiori introdotti ed i valori limite inferiori fissati dal decreto legislativo sono utilizzati per:

- individuare gli intervalli di variazione ammessi per i valori dei parametri di sicurezza principali;
- stabilire una corrispondenza univoca tra gruppi di sistemi galleria e gruppi omogenei di requisiti minimi di sicurezza.

N.B. L'identificazione dei valori limite superiori per gli intervalli di variazione dei parametri di sicurezza principali non è richiesta dal decreto legislativo.

Il valore limite del volume di traffico di 10.000 v/giorno corsia, individuato dalla norma per prescrivere la divisione dei flussi di traffico mediante la realizzazione di gallerie a doppio fornice, coincide con il valore in

corrispondenza del quale l'andamento della curva di regressione delle serie storiche di eventi incidentali rilevati sulla rete stradale nazionale presenta un primo significativo cambio di pendenza:



L'andamento della curva di regressione delle serie storiche del tasso di mortalità per eventi di incendio, in funzione del parametro lunghezza, presenta una prima discontinuità in corrispondenza del valore di 4.000 m.

5.1.2 Parametri di sicurezza caratteristici

I parametri di sicurezza caratteristici sono identificati con:

- il numero di corsie per senso di marcia,
- la larghezza delle corsie,
- la pendenza del profilo piano- altimetrico del tracciato,
- il raggio di curvatura,
- la composizione del traffico (frazione di veicoli pesanti, trasporto ADR),
- la congestione del traffico (durata, velocità dei veicoli),
- la stagionalità del traffico,
- le condizioni meteo-climatiche ai portali (nebbia, precipitazioni).

L'applicazione di idonei modelli di inferenza statistica a serie storiche di dati relativi all'incidentalità stradale, utilizzando i parametri di sicurezza caratteristici come variabili di interpolazione, ha consentito agli estensori del metodo di progetto della sicurezza di:

- stimare le variazioni del tasso di accadimento degli eventi incidentali per un sistema galleria in funzione di valori limite dei parametri di sicurezza caratteristici e pesi statistici attribuiti alle caratteristiche dei fattori di pericolo.
- costruire una scala del pericolo per i sistemi galleria, in termini di un insieme di fattori di pericolo, definiti utilizzando come grandezze di rappresentazione le caratteristiche dei fattori di pericolo, identificate a partire dai parametri di sicurezza caratteristici,

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Il tasso di accadimento degli eventi incidentali in un sistema galleria può essere stimato in funzione dei parametri di sicurezza caratteristici. La dipendenza del tasso di accadimento degli eventi incidentali dai parametri di sicurezza caratteristici è determinata applicando un modello binomiale negativo a serie storiche di eventi incidentali rilevati su base annua e per tratti omogenei della rete stradale nazionale (dati AISCAT).

L'applicazione del modello di inferenza statistica ha consentito di:

- stabilire valori limite dei parametri di sicurezza caratteristici per i quali il tasso di accadimento degli eventi incidentali non subisce variazioni significative dal punto di vista statistico,
- quantificare le variazioni del tasso di accadimento degli eventi incidentali in funzione dei pesi statistici attribuiti alle caratteristiche dei fattori di pericolo.

I valori limite dei parametri di sicurezza caratteristici per i quali non si verificano variazioni significative nel tasso di accadimento degli eventi incidentali sono riportati nella successiva tabella.

Parametro di Sicurezza Caratteristico	Unidirezionale	Bidirezionale
Numero di corsie per senso di marcia	3	2
Larghezza corsie [m]	3,5	3,5
Pendenza [%]	5	3
Raggio di Curvatura [m]	1000	100
Frazione Veicoli Pesanti [%]	25*	15
Congestione Traffico [min/giorno]	30	30
Stagionalità traffico	2	2
Nebbia [% annua]	20	20
Precipitazioni [% annua]	20	20

Valori limite dei parametri di sicurezza caratteristici

* Il valore limite della frazione di veicoli pesanti per i sistemi galleria unidirezionali è pari al 15% qualora sia ammesso il transito di veicoli adibiti al trasporto di merci pericolose (trasporto ADR).

Le variazioni del tasso di accadimento degli eventi incidentali sono valutate come media aritmetica dei pesi statistici attribuiti alle caratteristiche dei fattori di pericolo:

$$\Delta T = \frac{\sum_{i=1}^N PS_i}{N}$$

dove PS sono i pesi statistici delle caratteristiche dei fattori di pericolo.

Il tasso di accadimento effettivo degli eventi incidentali è valutato attraverso la relazione:

$$T_{EFF} = T_{MS} \cdot \Delta T$$

dove T_{EFF} è il tasso di accadimento effettivo e T_{MS} è il tasso di accadimento medio statistico.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Come evidenziato nella seguente tabella la galleria Caltanissetta non presenta anomalie nei parametri di sicurezza:

Parametro di Sicurezza Caratteristico	Unidirezionale	Galleria Caltanissetta
Numero di corsie per senso di marcia	3	2
Larghezza corsie [m]	3,5	3,75
Pendenza [%]	5	max 2,60
Raggio di Curvatura [m]	1000	> 1000
Frazione Veicoli Pesanti [%]	25*	13,2
Congestione Traffico [min/giorno]	30	< 15
Stagionalità traffico	2	1
Nebbia [% annua]	20	< 20
Precipitazioni [% annua]	20	< 20

5.2 Identificazione del gruppo di requisiti minimi di sicurezza

Prendendo a riferimento i valori limiti dei parametri di sicurezza principali definiti dal Decreto Legislativo che trovano rispondenza con le analisi dei dati sull'incidentalità è possibile stabilire una corrispondenza univoca tra gruppi gallerie e gruppi omogenei di requisiti minimi di sicurezza secondo la tabella di seguito riportata (Allegato 3 Linee Guida ANAS).

Gallerie unidirezionali	500<L<1000	L>1000	500<L<1000	1000<L<3000	L>3000
VT < 2.000 v/g cor	I	II			
VT > 2.000 v/g cor			III	IV	V
Gallerie bidirezionali	500<L<1000	L>1000	500<L<1000	1000<L<3000	L>3000
VT < 2.000 v/g cor	VI	VII			
2.000 < VT < 10.000 v/g cor			VIII	IX	X

Identificazione gruppi di requisiti minimi di sicurezza

La tabella successiva sintetizza i valori dei parametri di sicurezza principali dei due forni della galleria Caltanissetta.

Lunghezza [km]	TGM [veicoli/giorno]	VT [veicoli/giorno corsia]
3,917/ 3,877	4439 (2026)	2220 (2026)

Parametri di sicurezza principali galleria Caltanissetta

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Dall'analisi dei parametri di sicurezza principali si desume che la galleria Caltanissetta appartiene al gruppo V, cui corrispondono i requisiti minimi riportati nella tabella seguente.

Gruppo V				
<i>Parametri di Sicurezza</i>	<i>Misure</i>	<i>Sistemi di sicurezza</i>	<i>Requisiti Minimi di Sicurezza</i>	
Unidirezionale V T > 2000 [Veic/corsia] L > 3000 [m]	Misure Strutturali		Dislivelli $\leq 5\%$	
			Banchine pedonabili di emergenza	
			Uscite di emergenza ogni 500 m	
			Gallerie trasversali ogni 1500 m	
			Attraversamento spartitraffico imbocchi	
			Drenaggio liquidi infiammabili e tossici	
			Resistenza al fuoco delle strutture	
	Misure Impiantistiche	Illuminazione		Illuminazione Ordinaria
				Illuminazione Sicurezza
				Illuminazione Emergenza
		Ventilazione		Ventilazione meccanica
				Altoparlanti nei rifugi ed alle uscite
		Comunicazione		Messaggi radio agli utenti
				Ritrasmissioni radio
				Stazioni di emergenza
				Rilevamento automatico incidenti
		Rilevazione		Rilevamento automatico incendi
				Telecamere
				Estintori
		Gestione Incendio		Erogazione idrica
				Idranti ogni 250 m
				Centro di controllo
				Segnaletica stradale
		Gestione Traffico		Semafori prima degli ingressi
				Semafori in galleria ogni 1000 m
				Alimentazione elettrica Ordinaria
		Alimentazione elettrica		Alimentazione elettrica di emergenza
				Resistenza e reazione al fuoco dei componenti dei sistemi di sicurezza

Requisiti minimi di sicurezza - gruppo IV

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

5.3 Verifica di conformità al D.Lgs 264/06

Nella tabella successiva sono riportati i risultati della verifica effettuata sui Requisiti Minimi di Sicurezza della galleria nella configurazione proposta con la Perizia di Variante n.4, ai sensi dell'all.2 del D.Lgs n.264/2006.

I risultati possibili sono di seguito elencati:

Conforme		conforme al requisito del decreto
Non Conforme		requisito non presente seppur obbligatorio
Non Richiesto		requisito non applicabile per la galleria in esame
Migliorativo		la misura di sicurezza è da considerarsi migliorativa qualora la sua adozione è obbligatoria, ma le caratteristiche di questa eccedono le prescrizioni minime del decreto
Integrativo		l'adozione di una misura di sicurezza è da considerarsi integrativa se le caratteristiche della galleria non la rendono obbligatoria

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

REQUISITO	TIP. (1)	RIF.TO	Galleria Caltanissetta	
OBBLIGATORIO				
2 o più fornici	S	2.1.2		REQUISITO SODDISFATTO 2 fornici a traffico unidirezionale
Misure supplementari per pendenza long. > 3%	S	2.2.3		REQUISITO NON APPLICABILE Pendenza longitudinale massima del 2,6%.
Banchine pedonabili di emergenza	S	2.3.1		REQUISITO SODDISFATTO Presente una banchina di emergenza di larghezza 3,25m in ciascun fornice
Uscite di emergenza	S	2.3.6-8		REQUISITO SODDISFATTO Sono presenti n.7 by-pass pedonali e n.2 by-pass carrabili con interdistanza massima tra le uscite di emergenza di 500m, interdistanza media 400m.
Illuminazione ordinaria	I	2.8.1		REQUISITO SODDISFATTO L'impianto di illuminazione è stata progettato e dimensionato in conformità con il DM n.3476 del 14.09.05.
Illuminazione di sicurezza	I	2.8.2		REQUISITO SODDISFATTO L'impianto di illuminazione è alimentato tramite circuito privilegiato.
Illuminazione di evacuazione	I	2.8.3		REQUISITO SODDISFATTO Previsti picchetti luminosi a LED posti su profilo redirettivo.
Ventilazione meccanica	I	2.9.2-4		REQUISITO SODDISFATTO Previsto un impianto di ventilazione longitudinale dimensionato a 30 MW
Ventilazione meccanica: disposizioni speciali per la v. (semi)trasversale	I	2.9.5		REQUISITO NON APPLICABILE La galleria è a traffico monodirezionale.
Stazioni di emergenza	I	2.10.2-3		REQUISITO SODDISFATTO Sono presenti stazioni di emergenza in galleria con interdistanza non superiore a 150m e vicino ai portali.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"		Commessa: 630-PE2
			Rev. 1

Erogazione idrica	I	2.11		REQUISITO SODDISFATTO Previsto un impianto di spegnimento incendi fisso ad acqua costituito da idranti UNI70 e attacchi motopompa UNI70 installati agli imbocchi e da cassette idranti UNI45 previste all'interno dei due forni ad intervalli regolari di 150 m, alimentati mediante una rete di distribuzione idrica ad anello.
Segnaletica stradale	I	2.12		REQUISITO SODDISFATTO Sono installati segnali luminosi per tutte le dotazioni di sicurezza a servizio degli utenti.
Centro di controllo	I	2.13.1		REQUISITO SODDISFATTO Presente un Centro di Controllo della galleria con funzione h24. Previsto sistema SCADRA per l'analisi di rischio in continuo della galleria
Impianti di sorveglianza: telecamere + rilevamento automatico incidente e/o incendio	I	2.14.1		REQUISITO SODDISFATTO La galleria è dotata di un sistema di rivelazione automatica di incidente e/o incendio costituito da un impianto TVCC.
Impianto per chiudere la galleria: semafori agli imbocchi	I	2.15.1		REQUISITO MIGLIORATIVO Presenti agli imbocchi lanterne semaforiche a 3 luci, pannelli PMV e segnalatori di agibilità corsia agli imbocchi
Sistemi di comunicazione: ritrasmissioni radio ad uso servizi pronto intervento	I	2.16.1		REQUISITO SODDISFATTO La ritrasmissione radio ad uso dei servizi di pronto intervento è garantita dall'impianto radio con ritrasmissione del segnale tramite cavo fessurato in galleria.
Sistemi di comunicazione: messaggi di emergenza via radio destinati agli utenti della galleria	I	2.16.2		REQUISITO SODDISFATTO Previsto un sistema radio in grado di diffondere messaggi di emergenza agli utenti.
Alimentazione elettrica di emergenza	I	2.17.1		REQUISITO SODDISFATTO In caso di mancanza di alimentazione da rete la continuità è garantita dalla presenza di gruppi elettrogeni e gruppi di continuità.
Resistenza e reazione al fuoco degli impianti e sistemi e dei loro componenti	I	2.18		REQUISITO SODDISFATTO

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

OBBLIGATORIO CON ECCEZIONI				
Pendenza long. ≤5%	S	2.2.2		REQUISITO SODDISFATTO Pendenza longitudinale massima dello 2,6%.
Accessi per i servizi di pronto intervento (gallerie trasversali nelle gallerie a doppio fornice)	S	2.4.1		REQUISITO SODDISFATTO Sono previsti n.2 bypass carrabili e sono posizionati ad una distanza massima di 1500 m tra loro e gli imbocchi.
Punti attraversamento spartitraffico agli imbocchi (G. a doppio fornice)	S	2.4.2		REQUISITO SODDISFATTO Sono presenti varchi nello spartitraffico in prossimità degli imbocchi.
Piazzole di sosta	S	2.5.1-3		REQUISITO NON RICHIESTO La galleria è a traffico monodirezionale.
Drenaggio	S	2.6.1		REQUISITO SODDISFATTO E' presente un sistema di drenaggio per le acque di piattaforma costituito da pozzetti tagliafuoco.
Resistenza al fuoco delle strutture	S	2.7		REQUISITO NON RICHIESTO Non sono presenti importanti strutture adiacenti la galleria.
Impianti di sorveglianza: rilevamento automatico incendio	I	2.14.2		REQUISITO SODDISFATTO La galleria è dotata di impianto rivelazione automatica incendi mediante cavo in fibra ottica.
Sistemi di comunicazione: altoparlanti nei rifugi e presso le uscite	I	2.16.3		REQUISITO NON RICHIESTO Non sono presenti rifugi ma solo vie di fuga
RACCOMANDATO				
Impianto per chiudere la galleria: semafori all'interno della galleria	I	2.15.2		REQUISITO SODDISFATTO Sono previsti dei freccia-croce all'interno della galleria.

(1) S:Strutturale I:Impiantistico

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

5.4 Fattori di pericolo

L'insieme dei fattori di pericolo e le caratteristiche dei fattori di pericolo di una galleria, in accordo alle Linee Guida ANAS, sono sintetizzati nella successiva tabella:

Fattori di pericolo	Caratteristiche dei fattori di pericolo
Struttura	tipologia costruttiva area della sezione trasversale numero e larghezza delle corsie geometria del tracciato
Traffico	Composizione Velocità Congestione Stagionalità
Condizioni meteo-climatiche	Vento Precipitazioni nebbia
Accessibilità	Imbocchi galleria di emergenza viabilità alternativa

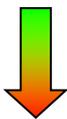
Fattori di pericolo

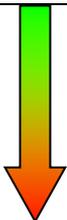
5.4.1 Scala del Pericolo

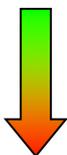
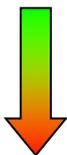
La scala del pericolo, adottata nel metodo di progetto della sicurezza, è definita in termini di importanza dei fattori di pericolo e di pesi delle caratteristiche dei fattori di pericolo desunti applicando un modello binomiale negativo a:

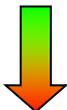
- serie storiche di eventi incidentali rilevati su base annua e per tratti omogenei della rete stradale nazionale (dati AISCAT);
- serie storiche di eventi incidentali rilevati su tracciati stradali dei paesi europei reperite nella letteratura libera.

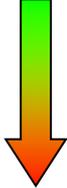
Le tabelle successive sintetizzano le modalità di ordinamento dei fattori di pericolo ed i valori dei pesi statistici attribuiti alle caratteristiche dei fattori di pericolo.

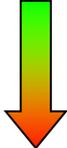
I	Struttura-Tipologia costruttiva			
1	Unidirezionale + corsia di emergenza		0.5	
2	Unidirezionale		1	
3	Bidirezionale		2	

II	Struttura-Corsie			
	Numero Corsie	Larghezza		
2	>2	L >3.5 m	0.5	
3		3.5 <L<3 m	0.75	
4		L<3 m	1	
5	1-2	L >3.5 m	1.25	
6		3.5 <L<3 m	1.5	
7		L<3 m	2	

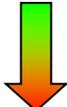
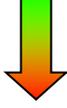
III	Struttura-Tracciato			
	Pendenza	Disegno		
1	< 3%	Dritta	0.5	
2		Curva – Imbocchi dritti	0.75	
3		Dritta – Imbocchi curvi	1	
4		Curva – Imbocchi curvi	1.5	
5	> 3%	Dritta	1.25	
6		Curva – Imbocchi dritti	1.5	
7		Dritta – Imbocchi curvi	1.75	
8		Curva – Imbocchi curvi	2	

IV	Traffico-Composizione			
	%Veicoli pesanti			
1	< 15%		0.5	
2	>15%<30%		1	
3	>30%		2	
	Veicoli ADR			
4	<3%		+1	
5	>3%		+1.5	

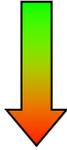
V	Traffico-Velocità		
	Limiti di velocità		
1	≤50 km/h	0.5	
2	≤70 km/h	0.75	
3	≤90 km/h	1	
4	≤110 km/h	1.5	
5	>110 km/h	2	

VI	Traffico-Congestione		
	Durata (min/giorno) Vel Media <20 km/h		
1	0	0.5	
2	>15 min	1	
3	>30 min	1.5	
4	>60 min	2	

VII	Traffico-Stagionalità		
	TGM (Medio mensile max)/ TGM (Medio annuo)		
1	< 1,25	0.5	
2	1,25 ÷ 2	1	
3	>2	2	

VIII	Ambiente-Condizioni meteorologiche		
	Condizione	Frequenza	
1	Vento	Bassa	
2		Stagionale	
3		Elevata	
1	Precipitazioni	Bassa	
2		Stagionale	
3		Elevata	
1	Nebbia	Bassa	
2		Stagionale	
3		Elevata	

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

IX	Ambiente-Accessibilità		
1	Imbocchi, Galleria di emergenza, Viabilità alternativa	0.5	
2	Imbocchi ,Viabilità alternativa	1	
3	Imbocchi	1.5	
4	Singolo imbocco	2	

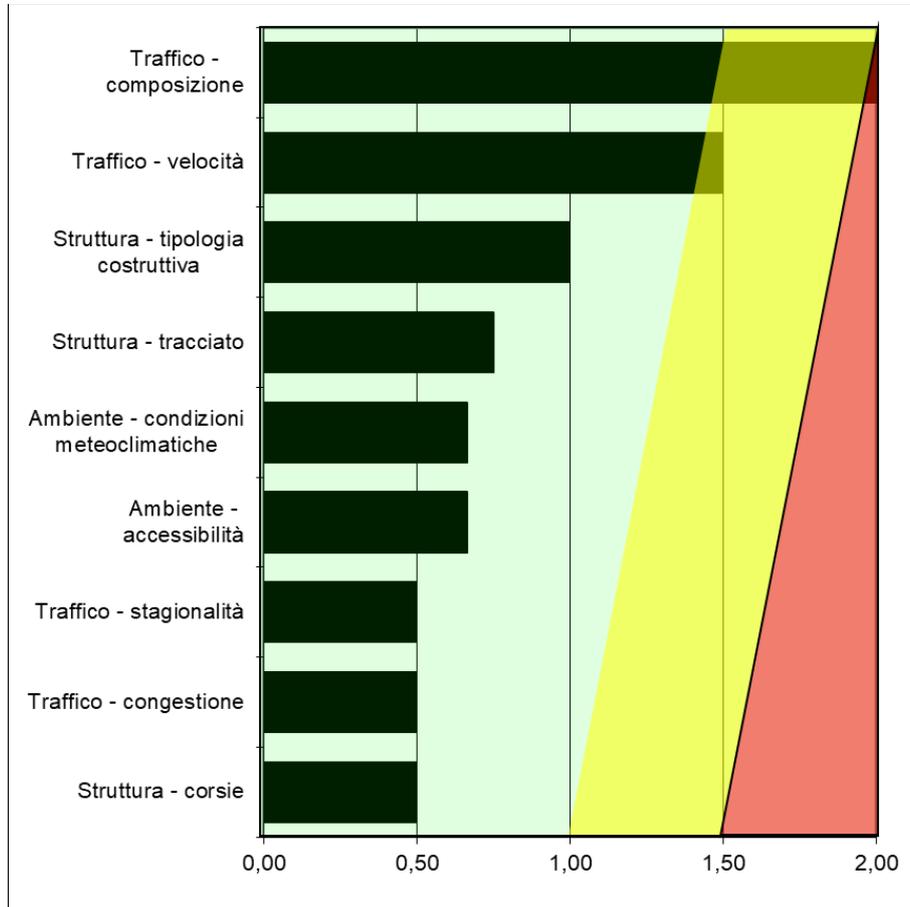
I fattori di pericolo per il sistema galleria Caltanissetta sono sintetizzati nella successiva tabella.

Caratteristiche dei Fattori Di Pericolo	Categoria	Caltanissetta
Unidirezionale + Corsia di emergenza		
Unidirezionale		X
Bidirezionale		
Struttura-Corsie		
>2 Corsie	L>3.5 m	
	3,5<L<3 m	
	L<3 m	
1-2 Corsie	L>3.5 m	X
	3,5<L<3 m	
	L<3 m	
Struttura-Tracciato		
Pendenza < 3%	Dritta	
	Curva – Imbocchi dritti	X
	Dritta – Imbocchi curvi	
	Curva – Imbocchi curvi	
Pendenza > 3%	Dritta	
	Curva – Imbocchi dritti	
	Dritta – Imbocchi curvi	
	Curva – Imbocchi curvi	
Traffico-Composizione		
% Veicoli Pesanti	≤ 15%	X
	>15%<30%	
	>30%	
Veicoli ADR		X
Traffico-Velocità		
Limiti di velocità	≤50 km/h	
	≤70 km/h	
	≤90 km/h	
	≤110 km/h	X
	>110 km/h	
Traffico-Congestione		
Durata (min/giorno) Vel Media <20 km/h	≤ 15 min	X
	>15 min	
	>30 min	
	>60 min	
Traffico-Stagionalità		
TGM (Medio mensile max) / TGM (Medio annuo)	< 1,25	X
	1,25 ÷ 2	
	>2	

Caratteristiche dei Fattori Di Pericolo	Categoria	Caltanissetta
Ambiente-Condizioni meteo-climatiche		
Condizione	Frequenza	
Vento	Bassa	
	Stagionale	X
	Elevata	
Precipitazioni	Bassa	X
	Stagionale	
	Elevata	
Nebbia	Bassa	X
	Stagionale	
	Elevata	
Ambiente-Accessibilità		
Imbocchi, Galleria di emergenza, Viabilità alternativa		
Imbocchi, Viabilità alternativa		
Imbocchi		X
Singolo imbocco		

Scala del pericolo

I fattori di pericolo sopra riportati e pesati con la scala di pericolo permettono la valutazione della vulnerabilità della galleria rappresentata nel grafico seguente.



vulnerabilità della galleria

La metodologia di analisi prevede l'adozione di una fascia di pericolo elevato indicata in colore rosso nel grafico, una fascia di attenzione indicata in colore giallo nel grafico ed una fascia di colore verde relativa al pericolo ridotto.

I parametri sono ordinati secondo la scala del pericolo dal più influente al meno influente per la specifica galleria, l'inclinazione della fascia fa sì che sia cumulato il pericolo connesso a tutti i parametri, considerando quindi sia l'effetto di ogni singolo parametro che del contributo di tutti i parametri.

Nel caso specifico si evidenzia che:

- il parametro composizione del traffico, che si attesta al limite della zona rossa, con una frazione di veicoli pesanti di circa il 13,2% e la presenza di merci pericolose risulta il più influente sulla vulnerabilità della struttura, assieme alla velocità;
- il parametro velocità, con una velocità massima consentita pari a 110 km/h, costituisce un ulteriore fattore di pericolo;
- i restanti fattori di pericolo risultando nella zona verde possono essere preliminarmente considerati trascurabili.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

6 Il metodo IRAM (Italian Risk Analysis Method)

L'Analisi di Rischio è stata redatta con riferimento alla metodologia di progettazione della sicurezza IRAM (Italian Risk Analysis Method) che segue le prescrizioni del D.Lgs n.264/2006.

Il D.Lgs n 264/2006 all'allegato 3 delinea la metodologia di analisi di rischio analitica e ben definita che intende adottare per rispondere a quanto richiesto dalla Direttiva 54/2004/CE limitandone anche il campo di applicazione, ed infatti al citato allegato 3 recita *"la metodologia qui presentata si riferisce esclusivamente all'analisi degli eventi considerati critici nello specifico ambiente confinato delle gallerie vale a dire incendi, collisioni con incendio, sversamenti di sostanze infiammabili, rilasci di sostanze tossiche e nocive. Eventi propri dell'incidentalità stradale, connessi a caratteristiche geometriche dell'infrastruttura e non indotti dallo specifico ambiente galleria, che non comportino per l'utenza rischi aggiuntivi rispetto ai rischi connessi alla circolazione stradale, sono da considerarsi e da fronteggiarsi per la prevenzione nell'ambito della regolamentazione del traffico e della progettazione stradale. Le vittime di questi ultimi incidenti vanno contabilizzate nell'ambito dell'incidentalità stradale."*

La presente Analisi di Rischio per la galleria Caltanissetta, in accordo al D.Lgs n.264/06, non considera pertanto le misure di sicurezza preventive connesse agli eventi incidentali di tipo meccanico (collisioni, investimento pedone, etc.) essendo quest'ultime contemplate da normative specifiche.

La metodologia di analisi di rischio utilizzata è descritta dalle "Linee Guida ANAS per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali", nota con la dicitura di IRAM (Italian Risk Analysis Method), ampiamente utilizzata in Italia e già confermata alla Commissione Permanente per le Gallerie ex. art. 4 del D.Lgs 264/06 che ha approvato con tale metodologia oltre trenta gallerie della rete autostradale italiana.

Tale metodologia, con tutte le approssimazioni e le incertezze connesse ad un metodo statistico, costituisce un utile strumento di raffronto tra differenti ipotesi di intervento e tra differenti gallerie in rapporto ai criteri di accettazione del rischio previsti dalla norma a cui la metodologia fa strettamente riferimento.

E' evidente che il metodo adottato dà utili indicazioni sul rischio residuo connesso ad un'infrastruttura in sotterraneo in un determinato arco temporale ed ha in sé i limiti insiti nel concetto di rischio che non può essere misurato come una grandezza fisica ma soltanto calcolato mediante processi matematici di tipo statistico.

Con queste premesse lo studio fornirà indicazioni sul livello di rischio associato ad una determinata galleria e ad una determinata configurazione di esercizio e di dotazioni di sicurezza con tutte le approssimazioni del caso, confrontandola con i criteri di accettazione previsti dal D. Lgs 264/06.

La metodologia è dettagliata nelle "Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali" emesse da ANAS SpA con Circolare n.17/06 del 28/11/2006 e rimesse con circolare n.CDG-0179431-P del 09/12/2009.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

L'Italian Risk Analysis Method descritto nelle Linee Guida adotta l'Approccio Bayesiano Classico con Analisi delle Incertezze e trae presupposto da quanto noto nel campo della valutazione del rischio in materia di sicurezza e salute pubblica; in particolare sono stati presi a riferimento i seguenti principi a carattere generale:

- la sicurezza è materia di giudizio;
- livelli di sicurezza verificabili non esistono e sono impossibili da fissare;
- l'eliminazione del rischio non può essere richiesta, vale a dire, livelli di rischio nullo non possono essere prescritti;
- un livello di sicurezza è il livello che può essere ragionevolmente previsto dia origine ad un rischio accettabile per la popolazione potenzialmente esposta nel contesto socio-economico caratteristico della nazione nella quale la struttura è realizzata;
- un livello di sicurezza, essendo inferito dalle conoscenze scientifiche e basato sul giudizio degli esperti, risulta affetto da incertezze;
- la fattibilità sia tecnica sia economica non costituisce una base sulla quale fissare un livello di sicurezza, vale a dire, la migliore tecnologia disponibile non è rilevante nel fissare un livello di sicurezza;
- gli standard devono essere più stringenti dei livelli di sicurezza corrispondenti al rischio accettabile, per assicurare un margine rispetto alle incertezze che affliggono la definizione dei livelli di sicurezza;
- Il Livello di Sicurezza Accettabile è il risultato di una scelta su base giuridica di un livello di rischio per la salute pubblica fissato da uno stato come accettabile nel contesto socio-economico caratteristico della nazione nella quale è realizzata l'infrastruttura.

Il Decreto Legislativo n.264/2006 sancisce che il livello di dettaglio da adottare nell'applicazione della metodologia di Analisi di Rischio ad un Sistema Galleria deve consentire la determinazione della Salvabilità della Popolazione Esposta al Flusso del Pericolo per Insiemi Scenari di Esodo derivanti da Scenari di Pericolo determinati dall'accadimento di specifici Eventi Pericolosi identificati come Eventi Critici per l'ambiente Galleria.

Il Livello di Analisi di Rischio adottato nell'IRAM, per ottemperare al regime normativo fissato dal D.Lgs n.264/2006, prevede la formulazione e la soluzione di un Modello di Rischio Bayesiano Classico con Analisi delle Incertezze Aleatorie ed Epistemiche associate ai Fenomeni ed ai Processi Pericolosi che si instaurano in un Sistema Galleria e consente la Determinazione del Livello di Rischio ad esso proprio in funzione delle Misure di Sicurezza Strutturali e delle Prestazioni dei Sistemi di Sicurezza che realizzano le Misure Impiantistiche.

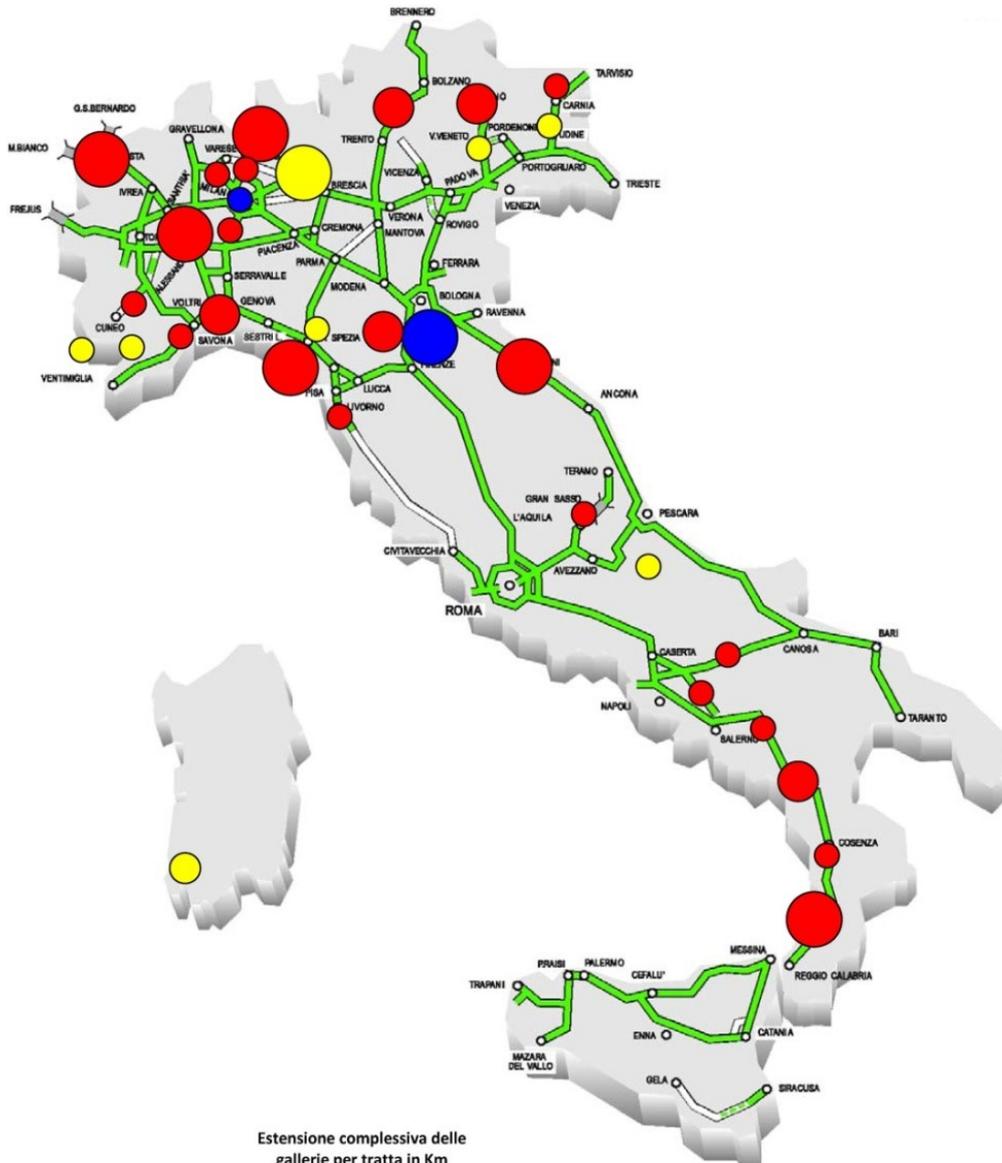
La Determinazione del Livello di Rischio, in accordo al modello adottato, si ottiene come Convulsione delle Funzioni di Distribuzione caratterizzanti le Probabilità di Accadimento degli Scenari di Pericolo e delle Funzioni di Distribuzione caratterizzanti le Conseguenze derivanti dalla realizzazione degli Scenari di Esodo.

Il Modello di Rischio (IRAM) utilizza tecniche note e codificate:

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

- tecniche probabilistiche di identificazione e caratterizzazione degli eventi incidentali rilevanti pertinenti al sistema (funzioni di distribuzione, alberi degli eventi);
- tecniche probabilistiche di rappresentazione degli scenari di pericolo possibili, condizionati nell'evoluzione dall'affidabilità e dall'efficienza dei sistemi di sicurezza che realizzano le misure di sicurezza protettive in condizioni di emergenza (alberi degli eventi);
- tecniche di soluzione analitiche e numeriche dei modelli formulati per rappresentare il flusso del pericolo nella struttura, determinato dai fenomeni termici e fluidodinamici indotti da specifici eventi incidentali, al fine di caratterizzare l'ambiente interno alla struttura nel quale si realizza il processo di esodo degli utenti coinvolti e l'azione degli addetti al soccorso (modelli termo-fluidodinamici semplificati, modelli formulati e risolti adottando il metodo della Fluidodinamica Computazionale);
- tecniche statistiche di soluzione dei modelli di esodo degli utenti dalla struttura in condizioni di emergenza (tecniche Monte Carlo);
- tecniche analitiche e grafiche di rappresentazione del rischio connesso ad una galleria stradale (curve cumulate complementari);
- criteri di valutazione del rischio congruenti con dottrine di accettabilità del rischio note e codificate.

La metodologia IRAM per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali, oggi disponibile anche in software EURAM 2.0, è stata già applicata nella valutazione del rischio associato ad oltre 400 gallerie in esercizio/progettazione.



Estensione complessiva delle gallerie per tratta in Km

L < 10 10 < L < 30 L > 30

- Gallerie Ferroviarie
- Gallerie Stradali unidirezionali
- Gallerie Stradali bidirezionali

Applicazione della metodologia IRAM in Italia

6.1 Diagramma di flusso IRAM

La successiva figura mostra il diagramma di flusso del metodo di progettazione della sicurezza e analisi di rischio IRAM.

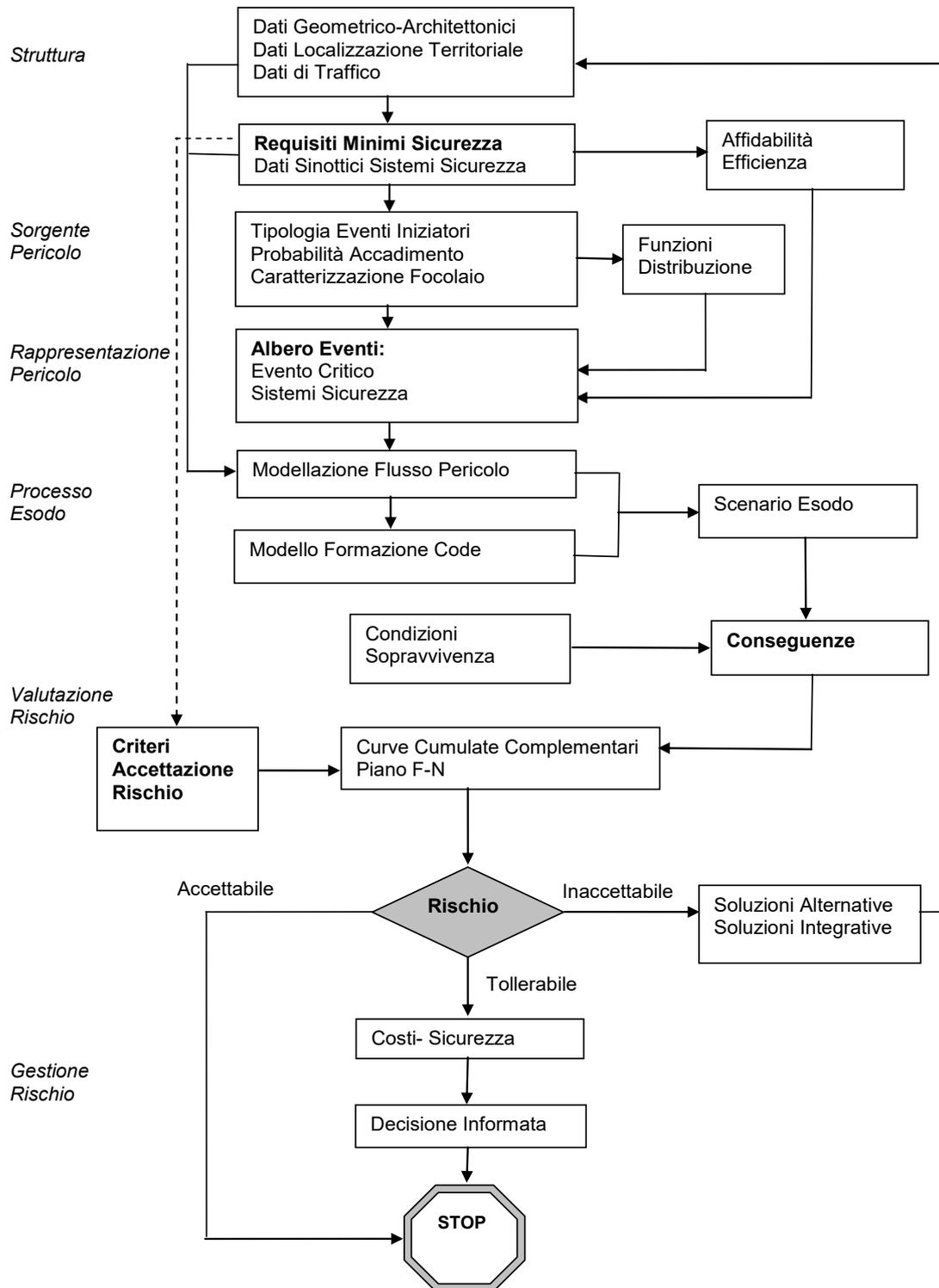


Diagramma di flusso IRAM

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

6.2 Eventi critici iniziatori

La selezione degli eventi critici iniziatori rappresenta un passo essenziale dell'analisi di rischio.

Il D.Lgs n 264/2006 all'allegato 3 delinea la metodologia di analisi di rischio analitica e ben definita che intende adottare per rispondere a quanto richiesto dalla Direttiva 54/2004/CE limitandone anche il campo di applicazione, ed infatti al citato allegato 3 recita *"la metodologia qui presentata si riferisce esclusivamente all'analisi degli eventi considerati critici nello specifico ambiente confinato delle gallerie vale a dire incendi, collisioni con incendio, sversamenti di sostanze infiammabili, rilasci di sostanze tossiche e nocive. Eventi propri dell'incidentalità stradale, connessi a caratteristiche geometriche dell'infrastruttura e non indotti dallo specifico ambiente galleria, che non comportino per l'utenza rischi aggiuntivi rispetto ai rischi connessi alla circolazione stradale, sono da considerarsi e da fronteggiarsi per la prevenzione nell'ambito della regolamentazione del traffico e della progettazione stradale. Le vittime di questi ultimi incidenti vanno contabilizzate nell'ambito dell'incidentalità stradale."*

Sulla base di quanto indicato nelle Linee Guida Anas §1.4.5.4 per la progettazione della realizzazione della sicurezza nelle gallerie stradali, che meglio dettagliano la metodologia di analisi di rischio prevista dal D.Lgs 264/06, gli eventi critici iniziatori considerati all'interno dell'analisi di rischio, ovvero gli scenari di rischio considerati, sono di seguito elencati:

1. incendio di autovettura (circa 5MW di potenza media (min 1MW-max 9MW));
2. incendio di furgone (circa 15MW di potenza media (min 10MW-max 20MW));
3. incendio di veicolo pesante di taglia media-BUS (circa 30 MW di potenza media (min 20MW-max 40MW));
4. incendio di veicolo pesante di taglia medio-elevata (circa 50 MW di potenza media (min 35MW-max 65MW));
5. incendio di veicolo pesante di taglia elevata con materiale combustibile (circa 100 MW di potenza media (min 70MW-max 130MW));
6. incendio di liquidi infiammabili sversati (circa 150 MW di potenza media (min 80MW-max 220MW));
7. rilascio di sostanze tossiche liquide e gassose;
8. esplosione.

Le potenze associate agli scenari di incendio sono da considerarsi come valore medio di potenza di funzioni di distribuzione gaussiane.

Relativamente ai VTMP (Veicoli adibiti al Trasporto delle Merci Pericolose) le probabilità di accadimento vengono accorpate ed espresse sotto forma di funzione di distribuzione di probabilità incentrata su un valore medio di potenza del focolaio pari a 150 MW.

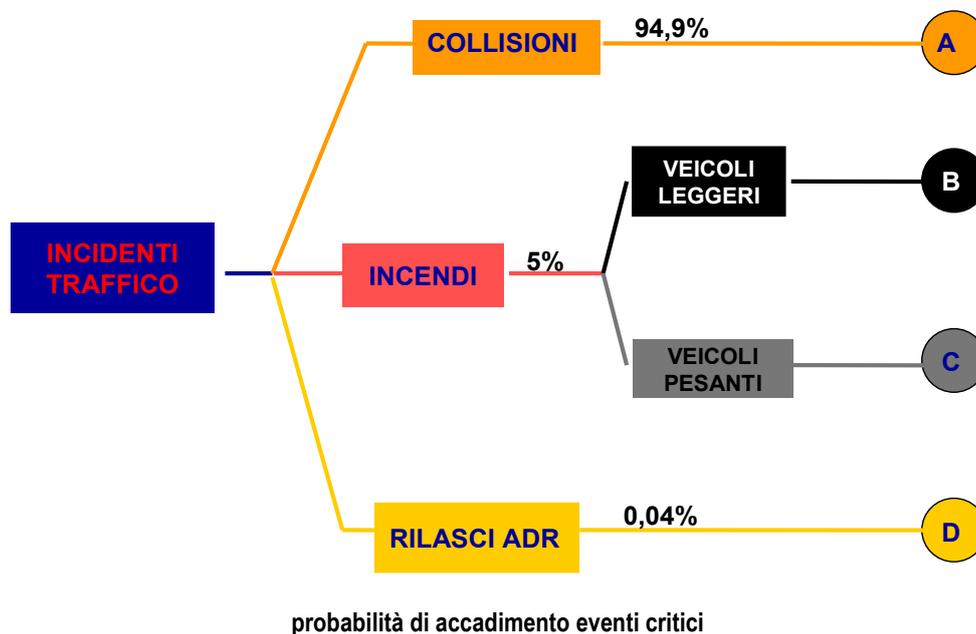
Nelle figure successive sono riportate le funzioni di distribuzione utilizzate per la determinazione della potenza in ciascuna delle iterazioni nell'ambito delle simulazioni degli scenari critici individuati, e le curve di rilascio termico associate agli eventi incendio.

6.2.1 Caratterizzazione probabilistica

Le probabilità di accadimento degli eventi critici rilevanti possono essere determinate utilizzando approcci diversi:

- analisi dei dati storici,
- tecnica dell'albero degli eventi,
- giudizio degli esperti.

La successiva figura quantifica in termini di probabilità di accadimento gli eventi critici iniziatori.



Le probabilità di accadimento degli insiemi di eventi critici rilevanti sono modellate da specifiche funzioni di distribuzione inferite dall'analisi statistica delle serie storiche di dati disponibili sull'incidentalità in galleria.

Gli eventi critici, al pari delle calamità naturali, sono eventi statistici con caratteristiche particolari:

- l'accadimento è aleatorio nel tempo;
- le probabilità di accadimento sono basse e le conseguenze elevate.

Gli eventi statistici sono eventi incidentali che non possono essere previsti in modo deterministico, ma che possono essere caratterizzati solo in termini probabilistici, attraverso un ente matematico noto come funzione distribuzione di probabilità. Una funzione distribuzione di probabilità è l'equivalente statistico della funzione analitica utilizzata nell'analisi matematica elementare per definire il legame esistente tra due grandezze.

Il tratto che distingue i due enti matematici richiamati è la natura delle grandezze coinvolte nelle definizioni: le grandezze correlate da una funzione distribuzione di probabilità sono grandezze statistiche mentre le grandezze correlate da una funzione analitica sono grandezze deterministiche.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Le funzioni distribuzione di probabilità, alla stessa stregua delle funzioni analitiche, sono funzioni continue e derivabili. La sottolineatura dei concetti di continuità e derivabilità delle funzioni di distribuzione è funzionale alla comprensione delle caratteristiche precipue della metodologia IRAM per il calcolo del rischio di una galleria.

La funzione di distribuzione di probabilità idonea a rappresentare i tassi di accadimento degli eventi critici in una galleria, in quanto correntemente utilizzata per rappresentare i tassi di accadimento di eventi statistici con proprietà affatto analoghe alle proprietà degli eventi critici in galleria, è la funzione di Poisson.

La funzione distribuzione di probabilità di Poisson è definita come:

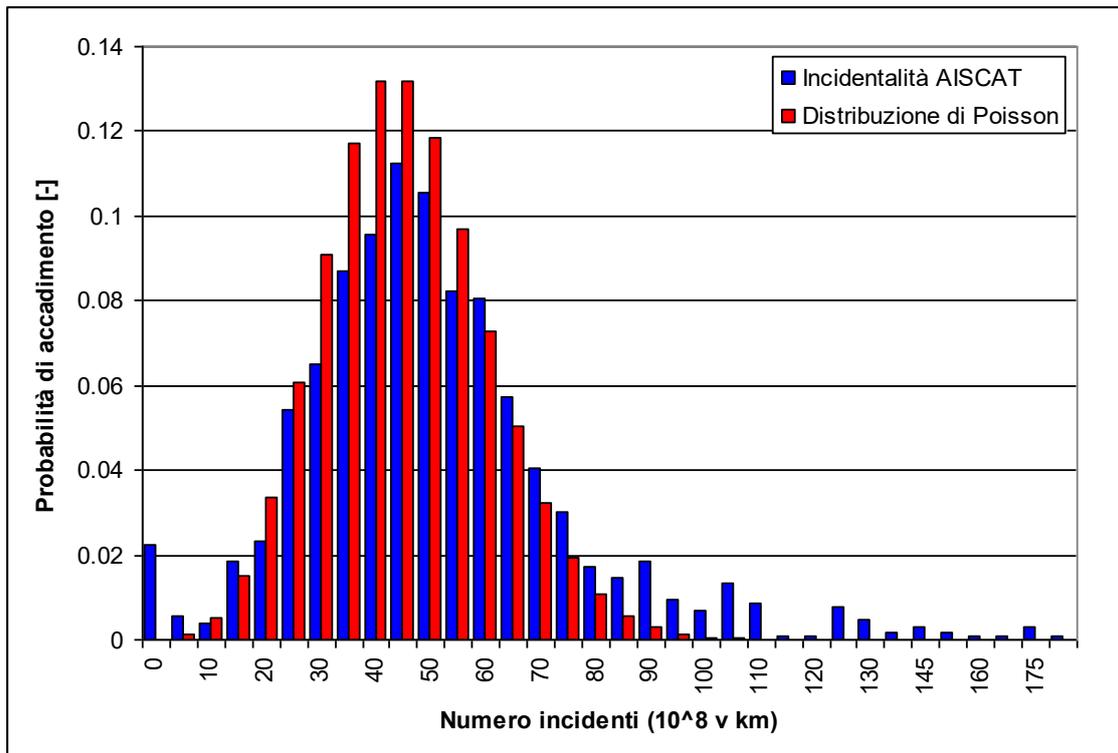
$$f = ((\lambda t)^{\lambda} / \lambda!) \times e^{-\lambda t}$$

dove λ è parametro caratteristico della funzione di Poisson, identificabile con il valore medio del tasso di accadimento dell'evento critico per la quale è stata determinata.

L'esame delle statistiche incidentali reperibili nella letteratura libera evidenzia come:

- la probabilità di accadimento di un evento di incendio nelle gallerie stradali non supera in alcun caso 15 incendi per 10^8 veicoli per chilometro,
- le gallerie urbane sono caratterizzate da una frequenza di accadimento maggiore delle altre tipologie di galleria,
- il 40% delle gallerie analizzate non è mai stato interessato da eventi di incendio,
- la frequenza di accadimento di eventi di incendio causati da veicoli pesanti è molto maggiore rispetto alla frequenza connessa ad eventi che coinvolgano le autovetture,
- una frequenza di accadimento compresa fra un incendio al mese e un incendio all'anno per galleria, si riscontra solamente per i tunnel molto lunghi e per i tunnel molto trafficati.

La successiva figura mostra i risultati ottenuti dall'analisi statistica delle serie storiche di eventi incidentali rilevati sulla rete stradale nazionale fornite dall'AISCAT per il periodo 2001-2005 e l'interpolazione ottenuta utilizzando un modello di inferenza statistica poissoniano.



analisi statistica delle serie storiche di eventi incidentali rilevati sulla rete stradale nazionale

La funzione distribuzione di probabilità rappresentativa della grandezza statistica frequenza di accadimento di un evento critico è determinata a partire dalla funzione distribuzione di probabilità determinata per la grandezza statistica tasso di accadimento di un evento critico attraverso una formula derivata applicando il principio di omogeneità dimensionale tra grandezze:

$$FDP \text{ (frequenza di accadimento)} = FDP \text{ (tasso di accadimento)} * \text{volume medio di traffico} * \text{lunghezza caratteristica del tracciato}$$

Dove l'acronimo FDP individua la Funzione Distribuzione di Probabilità, mentre il simbolo * individua l'operazione prodotto di convoluzione tra la funzione distribuzione di probabilità del tasso di accadimento dell'evento critico considerato ed i numeri rappresentativi del volume di traffico e della lunghezza della galleria. L'operazione prodotto di convoluzione degenera nell'operazione prodotto ordinario quando in luogo della funzione distribuzione di probabilità del tasso di accadimento di un evento critico si utilizza il valore medio del tasso di accadimento di un evento critico.

L'adozione del valore medio del tasso di accadimento di un evento critico presuppone sia introdotta la seguente ipotesi:

la funzione distribuzione di probabilità del tasso di accadimento di un evento critico è una funzione distribuzione di probabilità uniforme.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

La grandezza valore medio del tasso di accadimento di un evento critico è una grandezza statistica variabile nel tempo. Il valore medio del tasso di accadimento di un evento critico stimato in un certo anno è diverso dal valore medio del tasso di accadimento stimato in anni precedenti o successivi.

La variazione del valore medio del tasso di accadimento di un evento critico per anno, nella metodologia IRAM è valutata attraverso la relazione:

$$f(t) = ae^{-bt}$$

dove a individua il valore medio del tasso di accadimento stimato per l'anno assunto come riferimento, b individua il fattore di crescita atteso del valore medio del tasso di accadimento, t è il tempo espresso in anni.

La metodologia di analisi di rischio IRAM determina le funzioni distribuzione di probabilità rappresentative delle frequenze di accadimento degli eventi critici a partire dalle serie storiche dei dati di incidentalità in galleria, dalle basi dati relative alla caratterizzazione del traffico e dell'ambiente circostante (meteo) a disposizione. L'affidabilità e la rappresentatività delle stime ottenute sono incrementate attraverso l'applicazione del teorema di Bayes al complesso di dati di incidentalità derivati dalle serie storiche della rete italiana e dalle serie storiche raccolte da enti statistici internazionali relative a sistemi di trasporto europei.

I tassi di accadimento adottati per la stima delle frequenze di accadimento e per la determinazione del rischio mediante il modello IRAM sono determinati applicando il teorema di Bayes adottando il metodo della massima verosimiglianza considerando come variabili le caratteristiche del tracciato e le condizioni meteo.

6.2.1.1 Incendio

Gli scenari incendio riguardano quegli eventi critici che colpiscono unicamente lo spazio traffico. Gli incendi che colpiscono i locali tecnici non sono presi in considerazione.

Gli incendi possono essere spontanei:

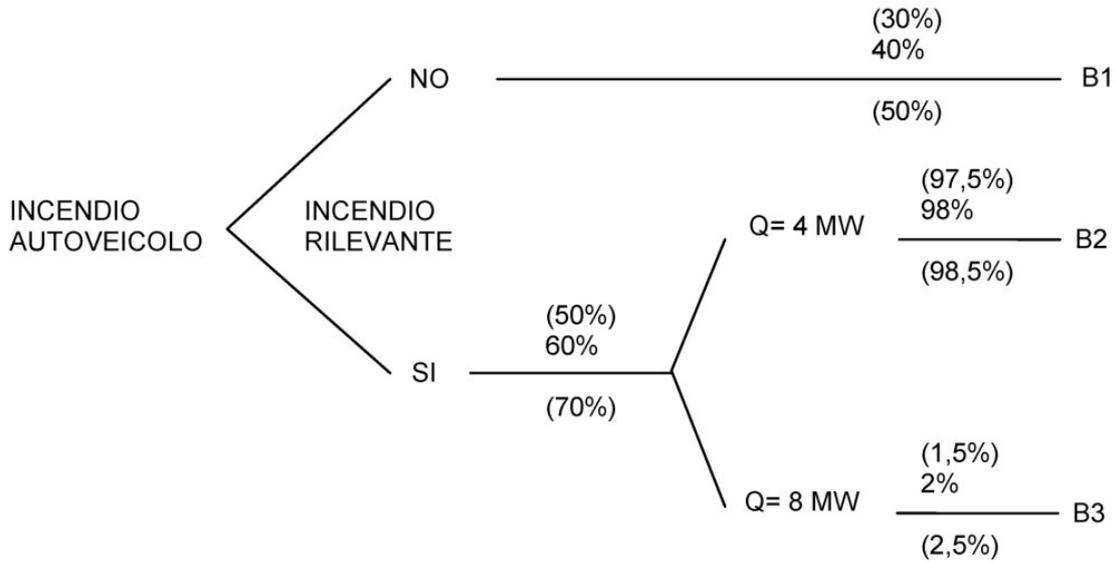
- surriscaldamento del motore,
- surriscaldamento dei freni,
- incendio del carico del veicolo,
- etc.

o aver luogo a seguito di un incidente che può avere diverse origini:

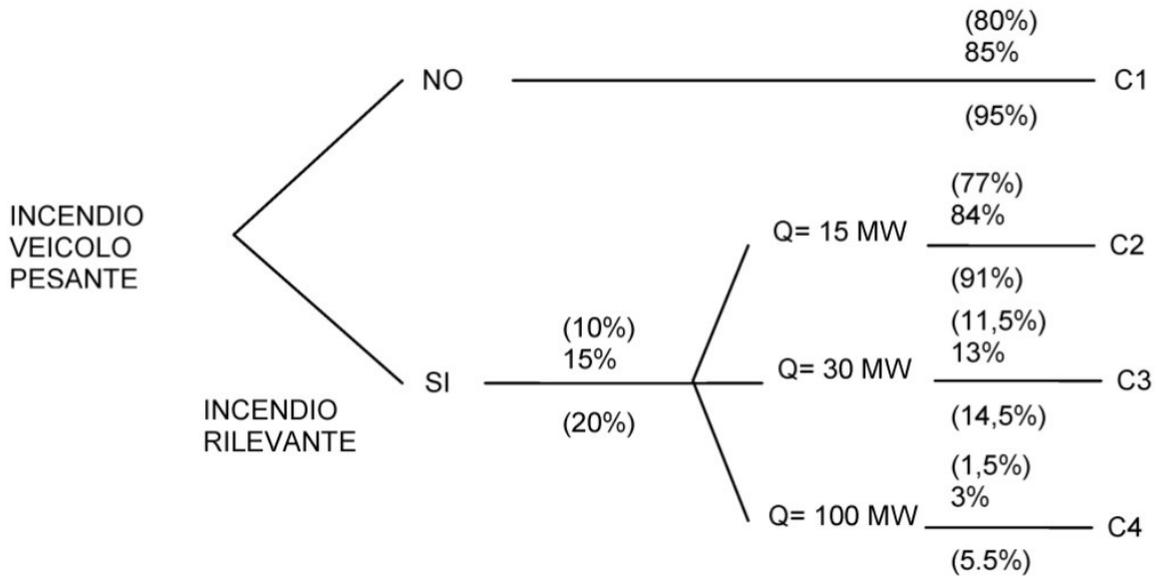
- mancanza di rispetto del Codice della Strada (velocità, interdistanza),
- perdita di controllo del veicolo (guida pericolosa, difetto meccanico),
- incontro di un ostacolo sulla carreggiata,
- collisione con veicolo fermo sulla carreggiata,
- etc.

Le successive figure mostrano due ripartizioni possibili del sottoinsieme degli eventi di incendio in una galleria stradale, come determinate dall'analisi di serie storiche di dati di incidentalità riportata nelle Linee Guida ANAS, e rappresentate utilizzando una tecnica albero degli eventi per due categorie di veicoli:

- veicoli leggeri,
- veicoli pesanti.

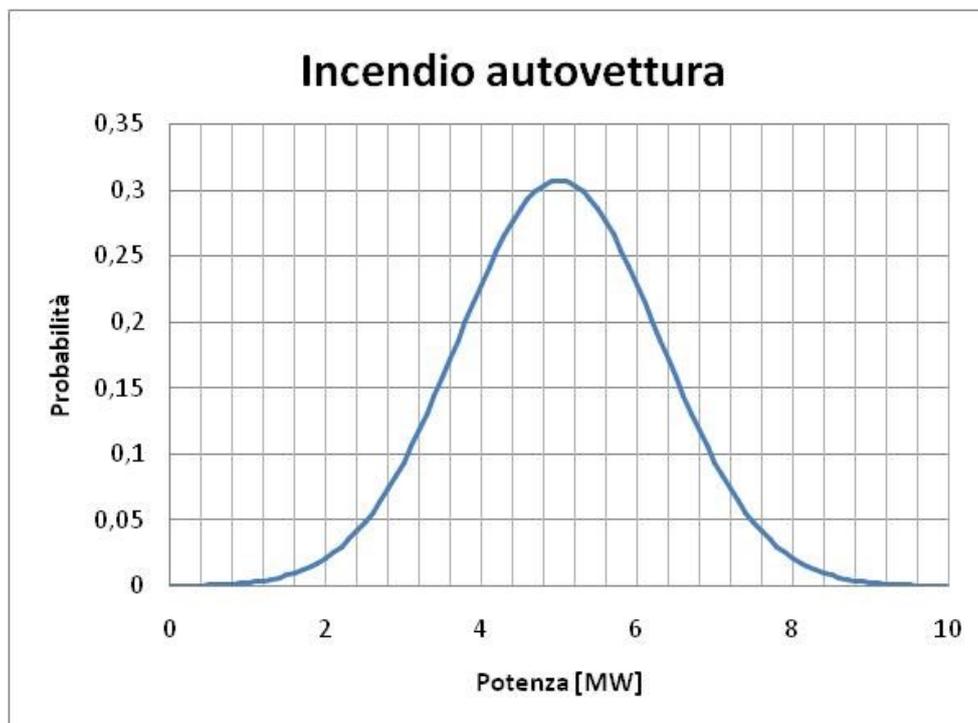


Probabilità di accadimento: incendio veicolo leggero



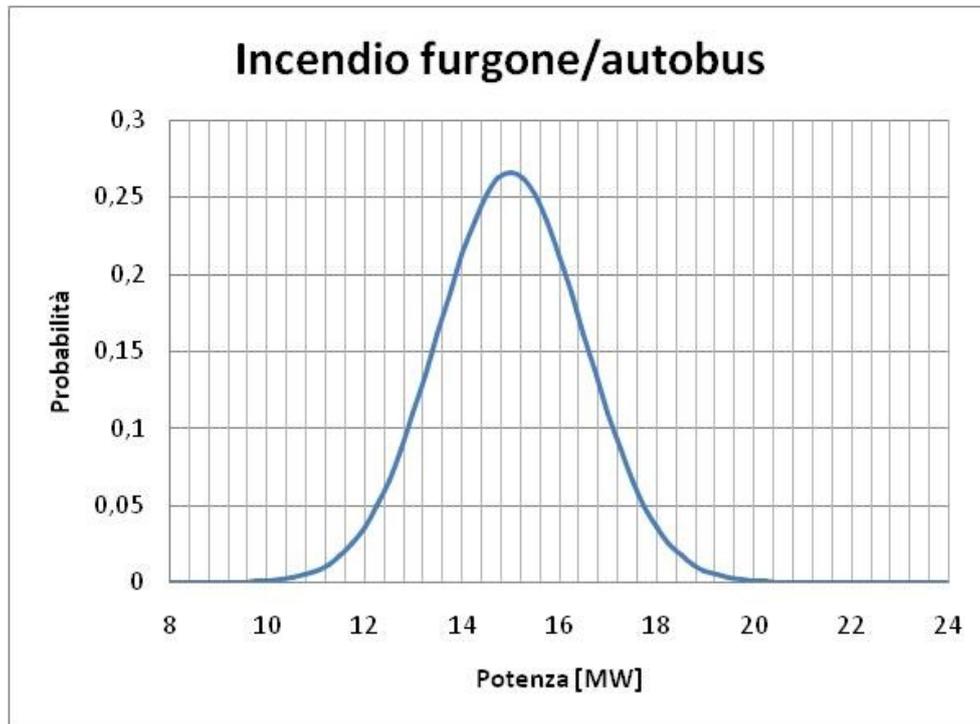
Probabilità di accadimento: incendio veicolo pesante

Relativamente ai veicoli leggeri, vista la percentuale esigua di incendio con potenza generata di 8 MW, le probabilità di accadimento vengono accorpate ed espresse sotto forma di funzione di distribuzione di probabilità incentrata su un valore medio di potenza pari a 5 MW.

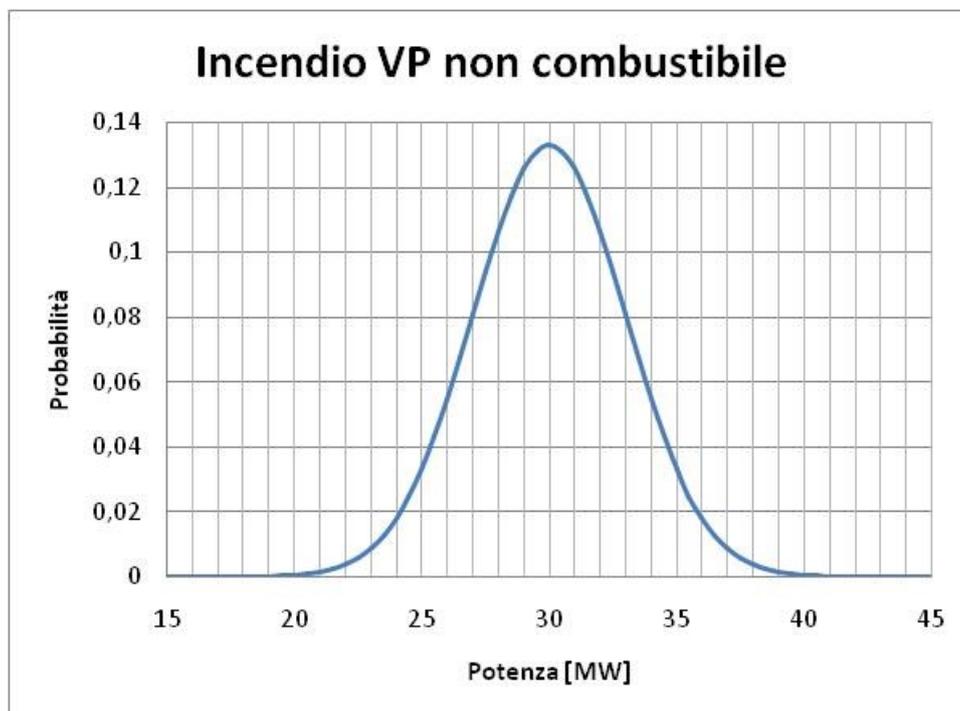


funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 5MW

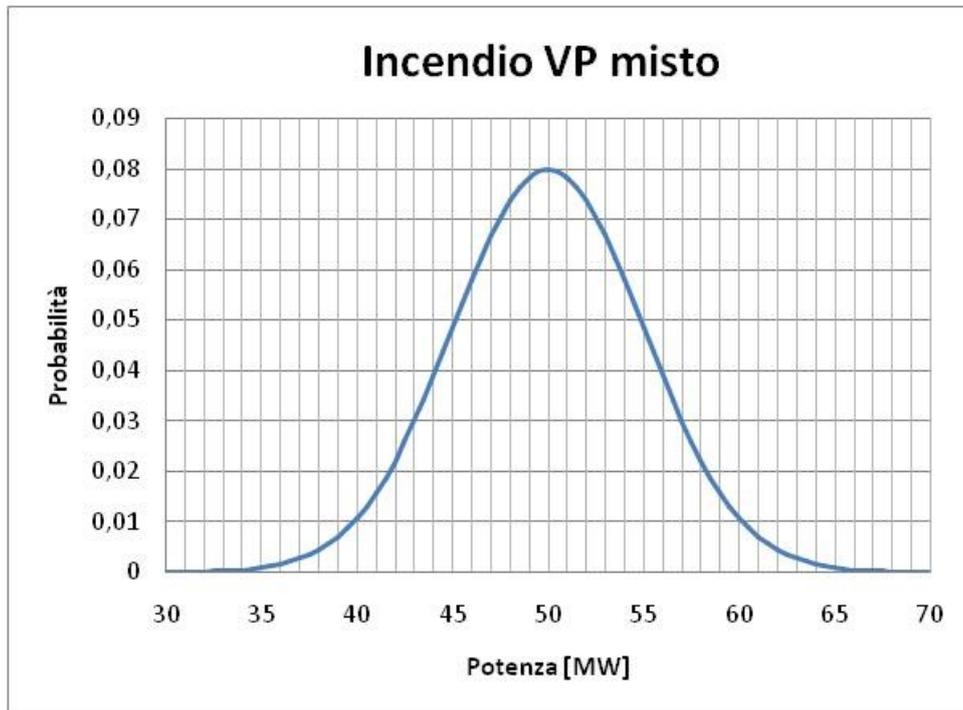
Relativamente ai veicoli pesanti, vista l'elevata pericolosità, si aggiunge una funzione di distribuzione di probabilità incentrata su una potenza di incendio pari a 50 MW, mantenendo distribuzioni di probabilità di accadimento coerenti con i valori delle Linee Guida ANAS.



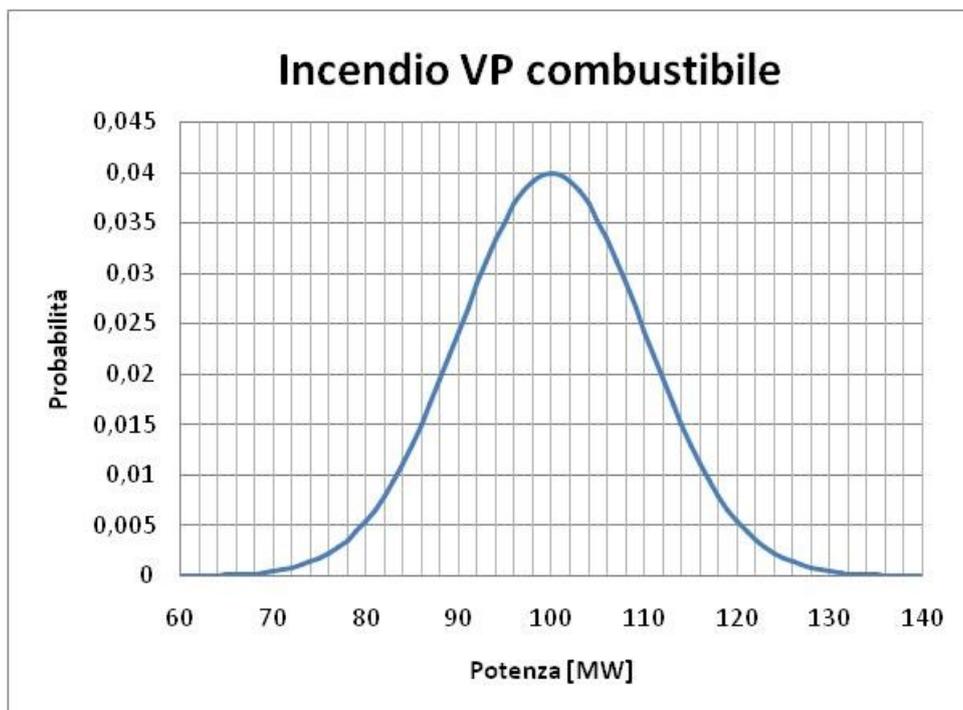
funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 15 MW



funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 30 MW

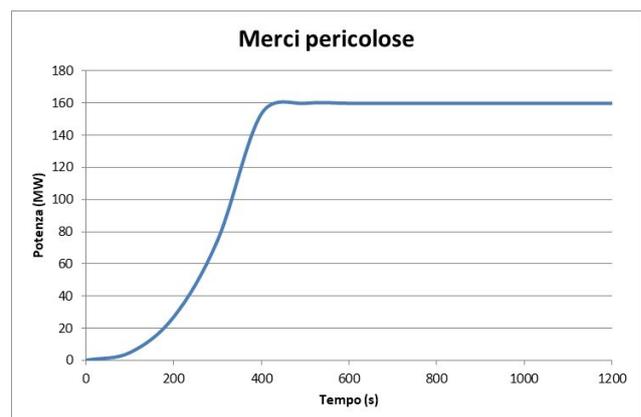
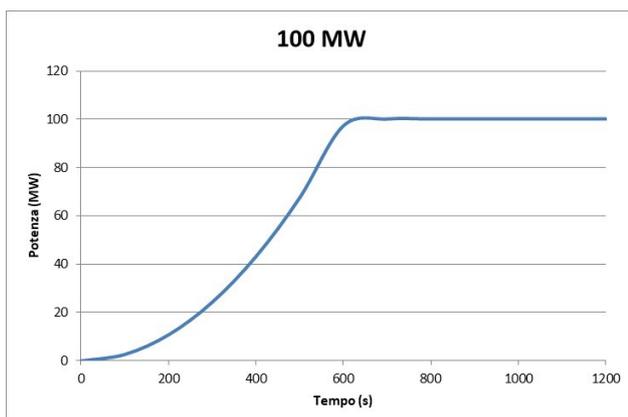
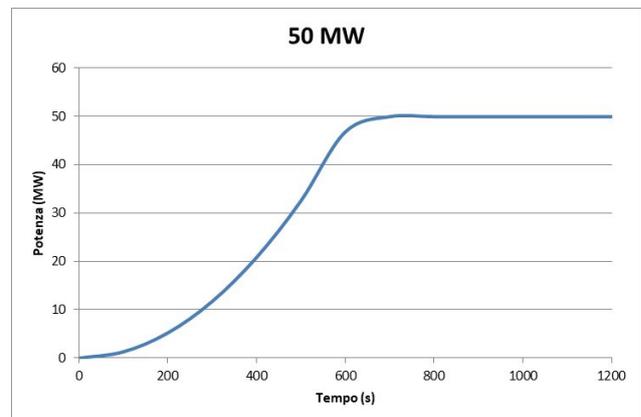
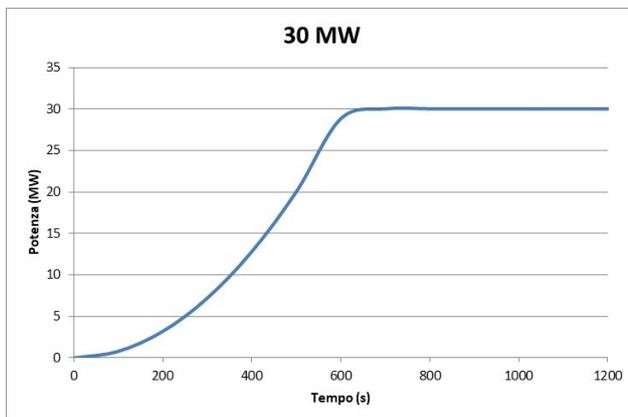
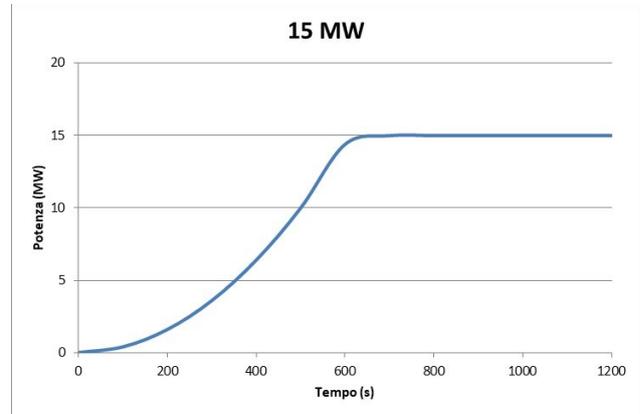
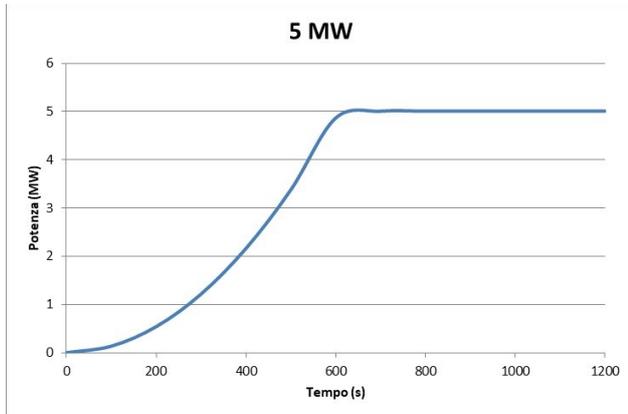


funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 50 MW



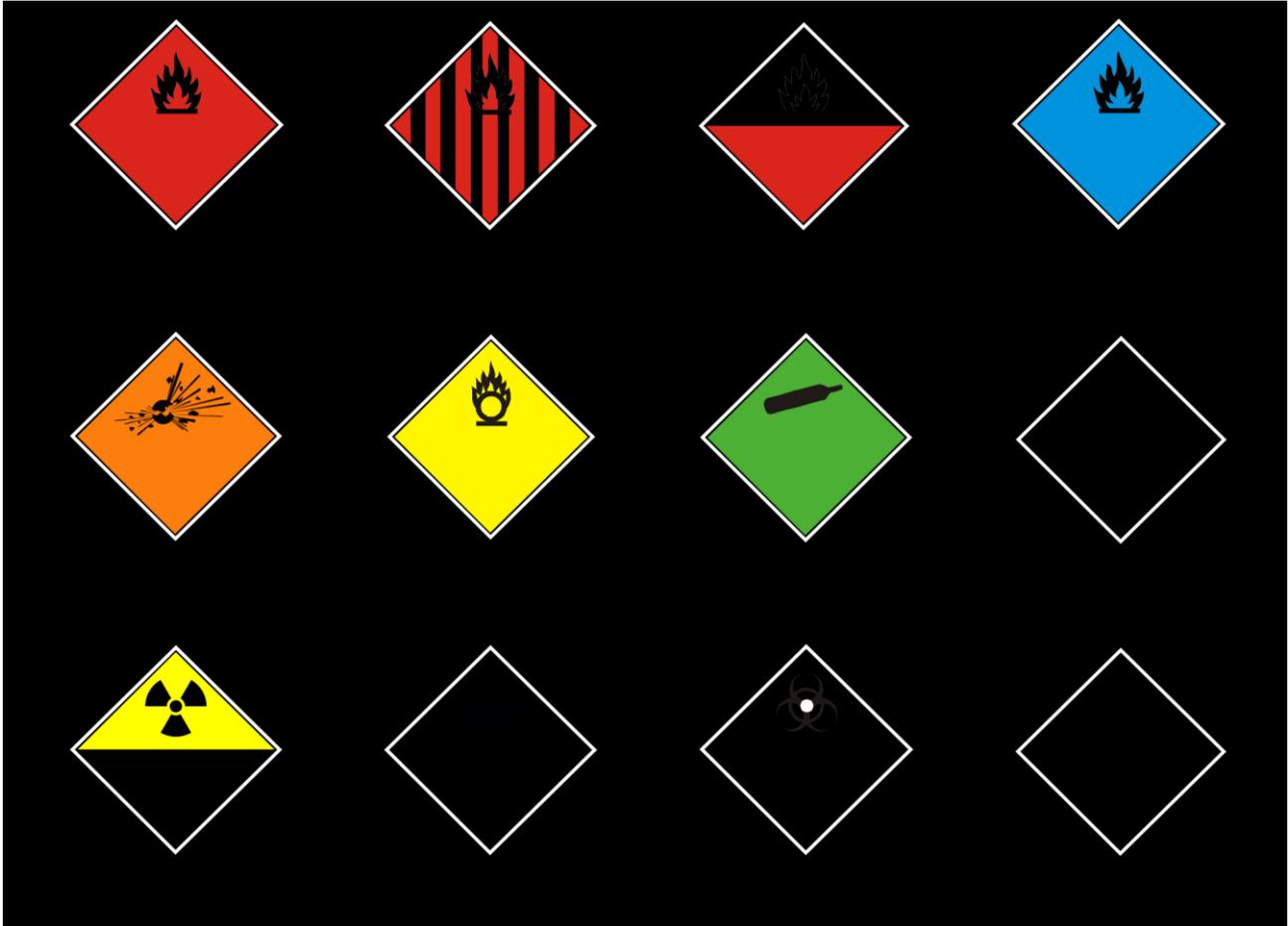
funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 100 MW

Nelle figure successive sono riportate le curve di rilascio termico associate agli eventi incendio.



6.2.1.2 Rilascio di sostanze pericolose

A seguito di un incidente che coinvolge un TMP può seguire una dispersione di sostanze pericolose. Esiste una grande varietà di sostanze pericolose e di rischi che esse comportano. Di seguito si riporta la loro classificazione internazionale.



Classificazione internazionale MP

La dispersione di sostanze pericolose può provocare:

- rischio di slittamento di veicoli sopraggiungenti ed di incidente a catena,
- rischio di intossicazione degli utenti,
- rischio di tamponamenti.

I possibili incidenti a catena, a seguito del passaggio di veicoli nella sostanza sversata, possono essere:

- fuoco di torcia,
- fuoco di strato,
- esplosione di una nube di vapore (VCE)
- vaporizzazione esplosiva della cisterna sottoposta a un fuoco esterno (BLEVE).

Soltanto la presenza di un efficace e sicuro sistema di drenaggio e smaltimento che impedisca importanti pozze di liquido può consentire di ridurre la probabilità di aggravio di incidenti iniziali e del verificarsi di eventi estremi come VCE e BLEVE.

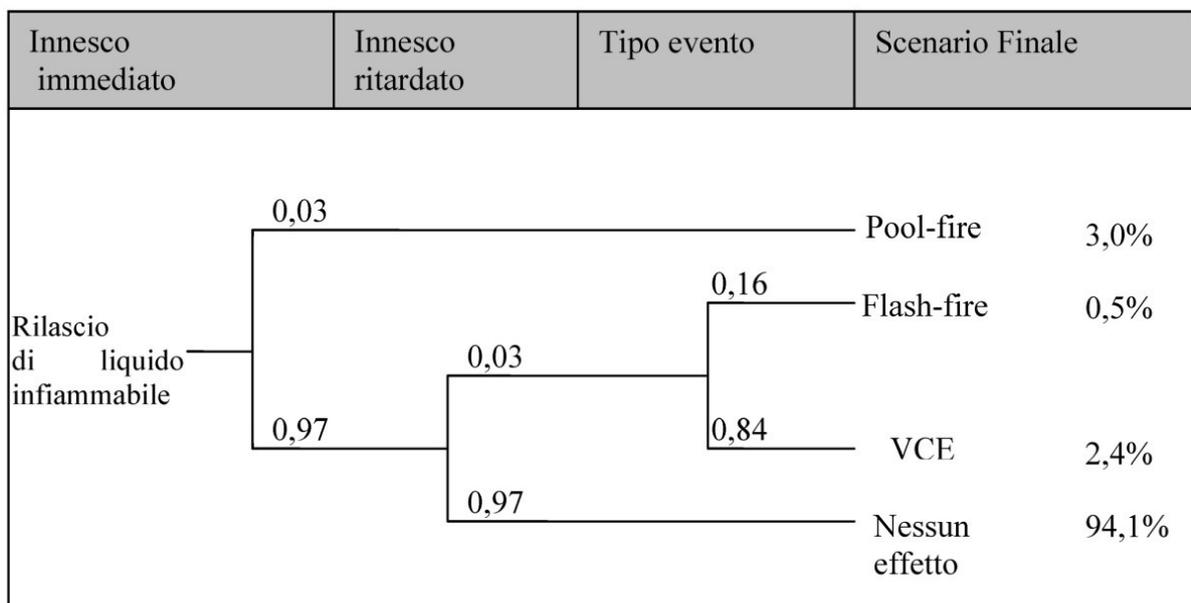
I dati di frequenza dedotti dalle Linee Guida ANAS riportanti le percentuali di incidenti in galleria caratterizzati da evento critico "rilascio ADR" sono i seguenti.

VEICOLI ADR	
Tipo incidente	Ripartizione rilasci a seguito incidente
Gas liquefatto tossico	24%
Gas liquefatto infiammabile	26%
Liquido infiammabile	33%
Liquido tossico	17%

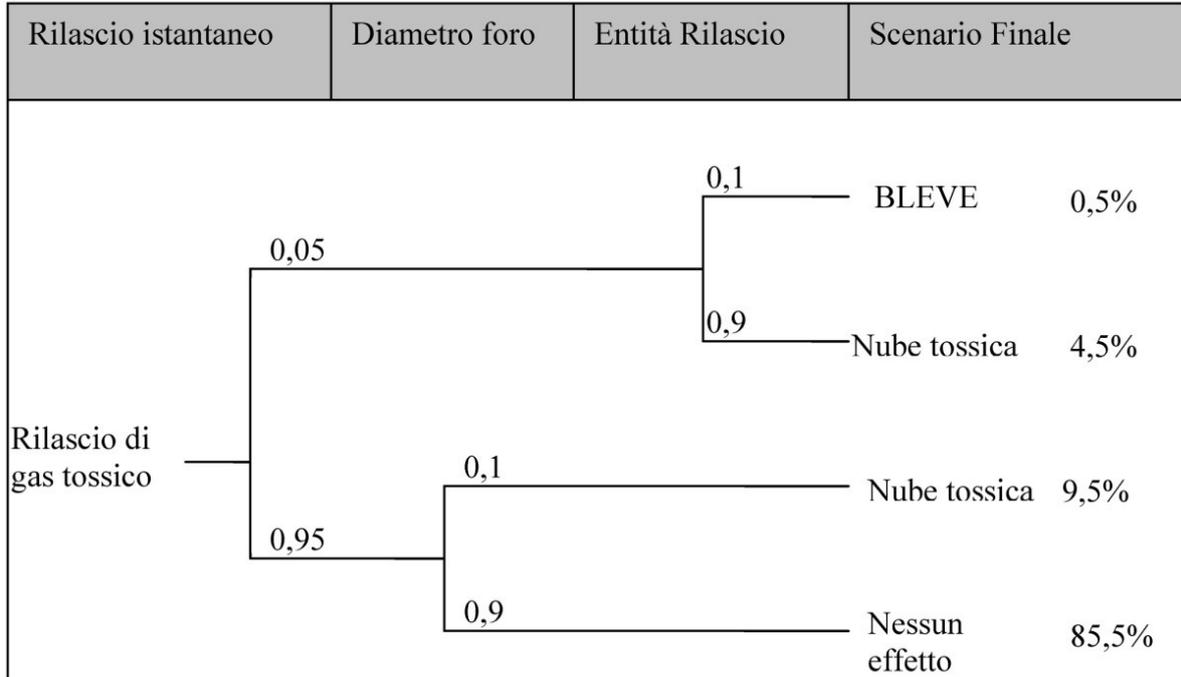
Ripartizione rilasci ADR

I successivi alberi degli eventi quantificano in termini di probabilità di accadimento gli scenari di pericolo generati da eventi critici connessi al transito di veicoli.

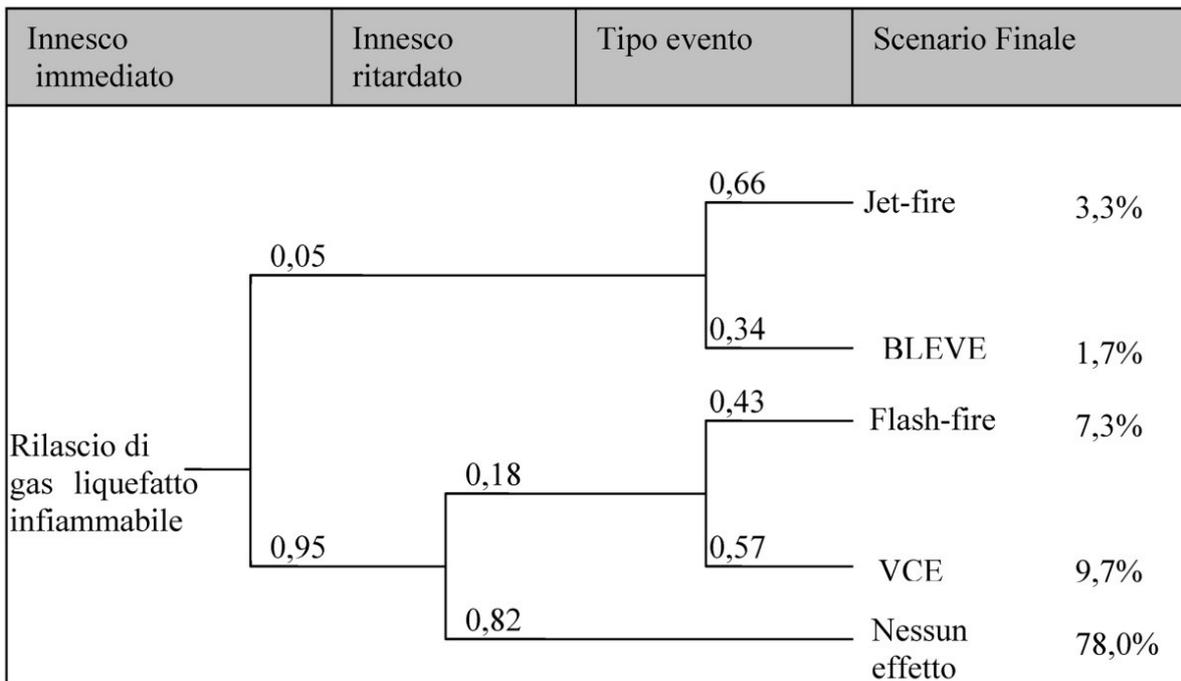
Le probabilità riportate negli alberi degli eventi derivano dall'elaborazione statistica dei dati contenuti nella banca dati MIDHAS (Major Hazard Incident Data Service, OHS_ROM Luglio 2004) riportata nelle Linee Guida ANAS.



Scenario rilascio liquido infiammabile

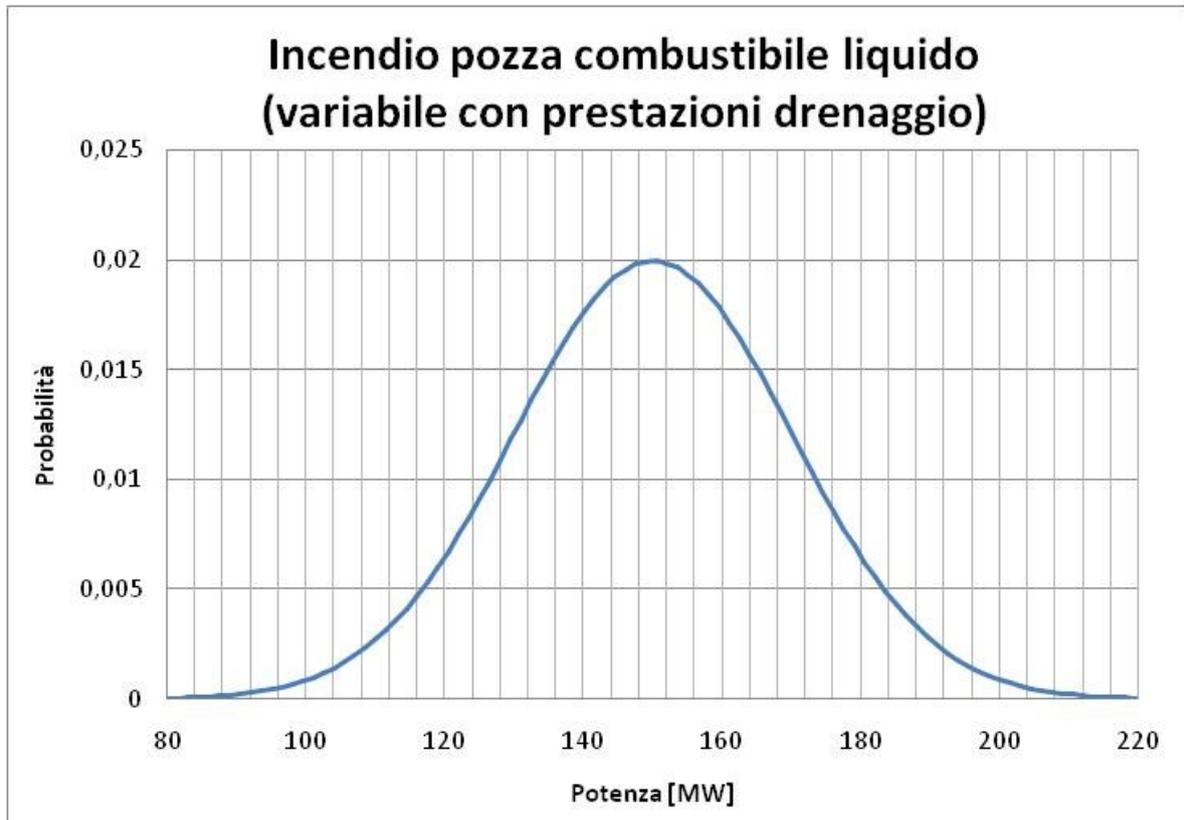


Scenario rilascio gas tossico



Scenario rilascio gas liquefatto infiammabile

Relativamente ai VTMP le probabilità di accadimento vengono accorpate ed espresse sotto forma di funzione di distribuzione di probabilità incentrata su un valore medio di potenza del focolaio pari a 150 MW.



funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 150 MW

6.2.2 Caratterizzazione energetica

La Caratterizzazione Energetica dei Focolai di Incendio in un Sistema Galleria è condotta adottando la procedura sintetizzata nella successive tabelle tratte dall'Allegato 5 delle Linee Guida.

La Potenza Termica generata da un focolaio costituito da autoveicoli può essere stimata a partire dall'energia posseduta dal combustibile attraverso una relazione semi-empirica determinata correlando dati sperimentali ottenuti nell'ambito di prove condotte su scala reale in condizioni di ventilazione naturale nell'ambito del Progetto EUREKA e riportata nell'Allegato 5 delle Linee Guida ANAS.

		Energia	P_T	\dot{Q}
Veicolo da turismo	Piccolo	6000 MJ		
	Grande	12000 MJ	18000 MJ	8 MW
Furgone Carico	Allestimento	9000 MJ		
	a) prodotti cellulosici	24000 MJ	33000 MJ	
	b) liquido infiammabile	54000 MJ	63000 MJ	15 MW
Veicolo pesante Carico	Motrice	7000 MJ		
	Semirimorchio	25000 MJ		
	Combustibile autotrazione (500 l)	18000 MJ	50000 MJ	30 MW
	a) prodotti cellulosici	280000 MJ	330000 MJ	
	b) liquido infiammabile	400000 MJ	450000 MJ	100 MW

Potenze termiche generate

I risultati ottenuti dall'applicazione della relazione riportata sono sintetizzati nella tabella precedente dove E è l'energia attribuita ai singoli componenti costituenti il focolaio, P_T è l'energia complessiva attribuita al focolaio, \dot{Q}_M è la potenza massima generata dal focolaio.

La potenza totale generata dal focolaio è comprensiva della componente convettiva e della componente radiativa. La componente radiativa può essere assunta, in prima approssimazione, pari al 30% della potenza massima.

La Caratterizzazione Energetica dei Focolai e la Caratterizzazione dell'Evoluzione dei Focolai di Incendio può essere condotta adottando i parametri sintetizzati in tabella.

Tipologia della sorgente	E	\dot{Q}_M	t_c	t_{max}	t_e	v_a	\dot{G}_f	\dot{G}_f^*
	[MJ]	[MW]	[min]	[min]	[min]	[m/s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
2-3 autovetture	15000 18000	8	5	20-25	20	2	30	30
1 furgone	40000 65000	15	5	30	15-20	2.5	50	50-70
1 veicolo pesante	125000 150000	30-50	10	50-60	30	3	80-120	110-250
1 cisterna liquido infiammabile	450000 1000000	100-200	10	60	30	4	300	250-400

Caratterizzazione evoluzione dei focolai

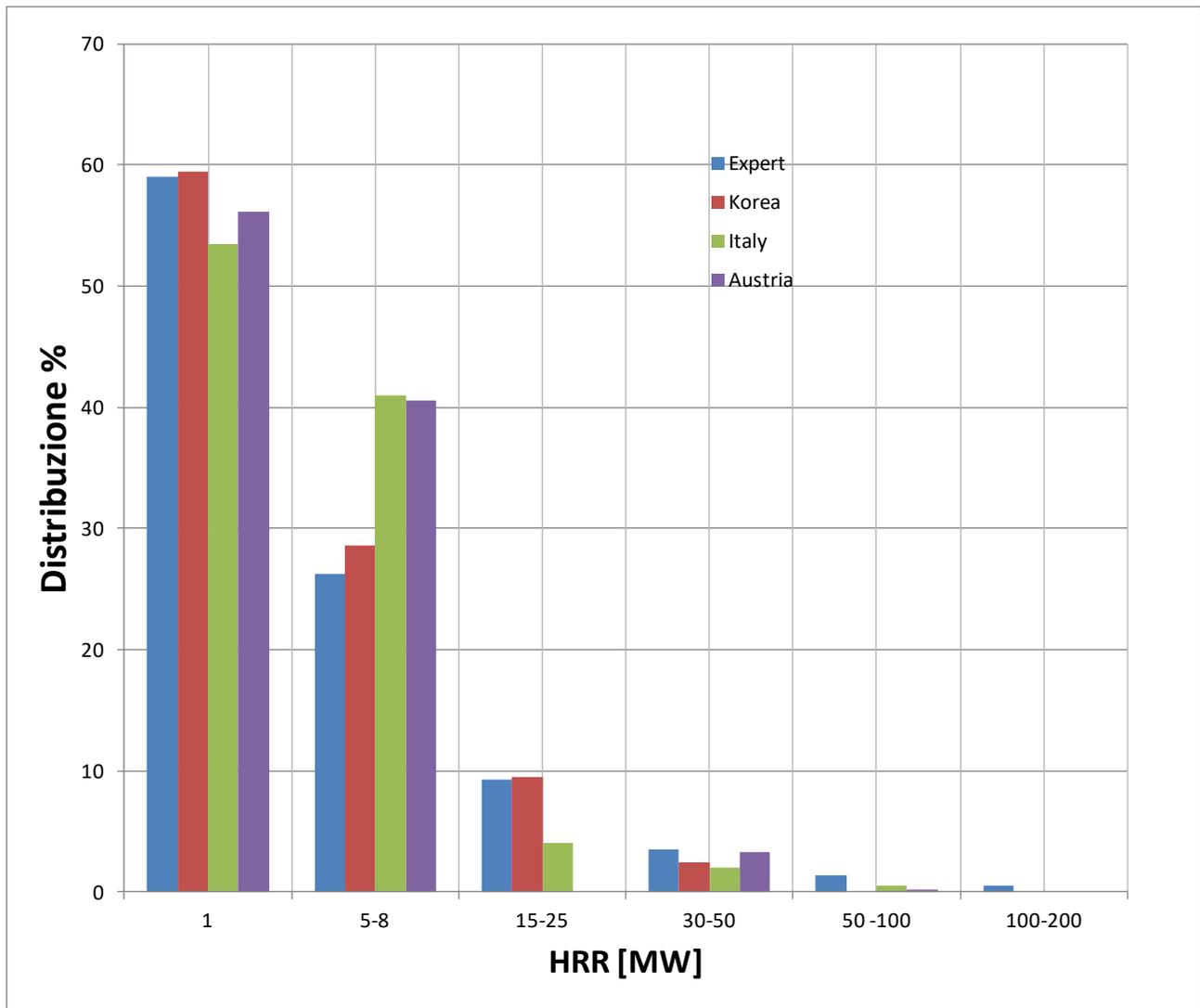
dove t_c è il tempo di crescita, t_{max} è il tempo caratteristico della fase stazionaria dell'evento, t_e è il tempo di estinzione, v_a è la velocità dell'aria in galleria, \dot{G}_f è la portata di fumi generati dal focolaio, \dot{G}_f^* è la portata della miscela aria-fumi in galleria.

La portata della miscela aria-fumi in galleria è stimata attraverso la relazione:

$$\dot{G}_f^* = A(v_a + 1)$$

dove A è la sezione trasversale della galleria.

La successiva figura mostra la distribuzione delle potenze di incendio per diversi paesi e derivante dal giudizio degli esperti. Dall'analisi dei dati di letteratura si può desumere che gli incendi di potenza superiore 30 MW variano tra il 7% e l'1%, anche in funzione della presenza o meno di merci pericolose.

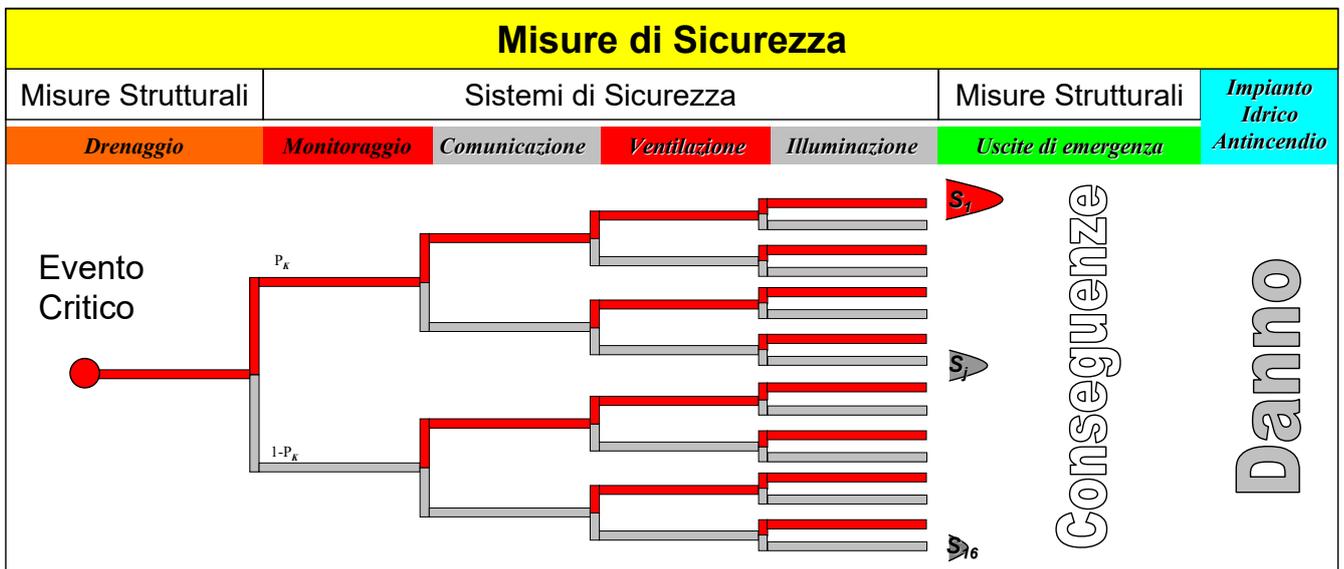


Distribuzione delle potenze d'incendio

6.3 Albero degli eventi

La tecnica albero degli eventi, così come prescritto dal D.Lgs n 264/2006, è utilizzata nella metodologia di analisi di rischio IRAM per caratterizzare le traiettorie incidentali probabili di un sistema galleria stradale conseguenti all'accadimento di un evento critico iniziatore condizionate nell'evoluzione dall'azione dei sistemi di sicurezza che realizzano le misure di prevenzione e mitigazione previste in fase di progetto.

L'albero degli eventi individua una distribuzione di scenari incidentali possibili ai quali corrisponde un vettore rappresentativo del danno ad essi ascrivibile. La determinazione del danno avviene attraverso la modellazione degli scenari incidentali che identificano i rami dell'albero degli eventi.

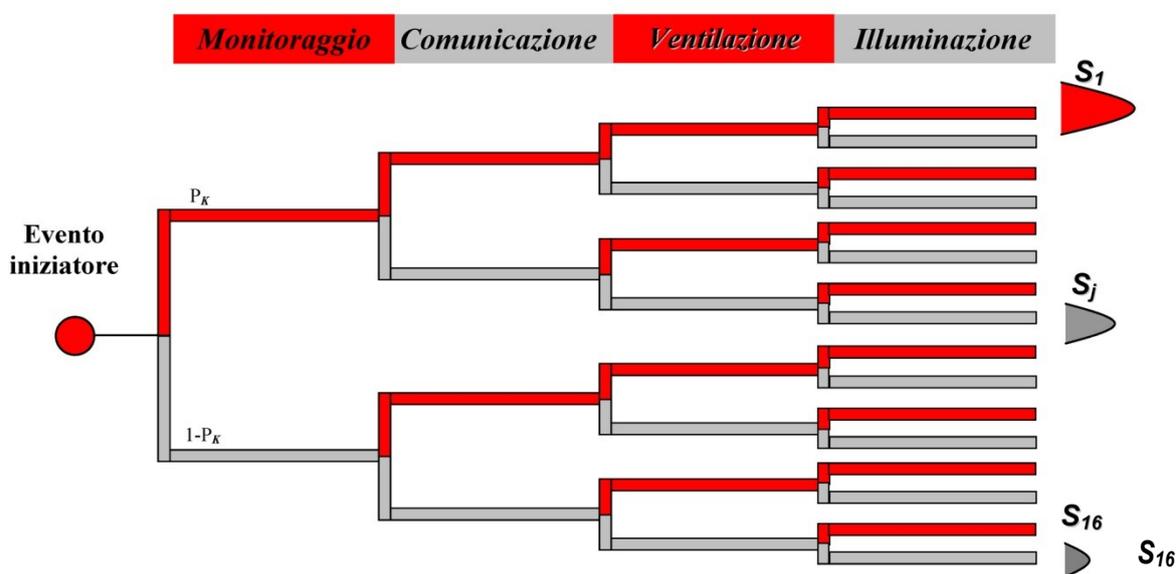


Albero degli eventi

6.4 Determinazione delle prestazioni dei sistemi di sicurezza

La successiva figura mostra un esempio di applicazione della tecnica albero degli eventi nella caratterizzazione della sicurezza antincendio di una galleria nella quale si assume siano installati i seguenti sistemi di sicurezza:

- Monitoraggio-Rilevazione,
- Comunicazione,
- Ventilazione,
- Illuminazione.



Applicazione tecnica albero degli eventi

Abbinando all'evento iniziatore una frequenza di accadimento ed agli eventi una probabilità di accadimento (valutata in termini di efficienza ed affidabilità dei sistemi di sicurezza), si potrà valutare la frequenza di ciascuna sequenza individuata.

L'applicazione dei reticoli bayesiani nel contesto dell'analisi di rischio di tipo probabilistico condotta ha permesso di precisare i livelli di affidabilità ed efficienza di ciascun sottosistema di sicurezza prescritto dalla normativa vigente. I risultati dell'analisi forniscono, infatti, gli input progettuali da adottare nel progetto dei singoli impianti ovvero un parametro di riferimento per la verifica di quanto già adottato.

Le probabilità di malfunzionamento da attribuire a ciascun ramo dell'albero degli eventi sono derivate dall'efficacia dei sistemi di sicurezza.

Essendo necessario per alcuni sistemi caratterizzare sia le prestazioni dal punto di vista elettromeccanico in termini di affidabilità e disponibilità sia le prestazioni da punto di vista della protezione degli utenti nello

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

specifico ambiente confinato (ad esempio il comportamento dei fumi a seguito dell'attivazione della ventilazione), la probabilità associata ai singoli sottoeventi, che fanno capo ai diversi sottosistemi, è identificata con l'Efficacia del sistema così definita:

Efficacia = Integrità x Efficienza

dove:

Integrità= Affidabilità x Disponibilità x Manutenibilità

e:

Efficienza = prestazione fornita/prestazione di riferimento ovvero probabilità di ottenere il beneficio atteso nelle condizioni e nel contesto di impiego comprensiva delle incertezze connesse ai modelli ed alle condizioni al contorno (Sistemi meccanici: Media =0,85, Dev st = 0,02,. Sistemi Elettrici- Media =0,95, Dev st = 0,02).

Affidabilità: deriva dalle analisi affidabilistiche dei componenti del sistema (0,99-0,9999)

Disponibilità: deriva dalle analisi di disponibilità dei componenti del sistema (0,99-0,9999)

Manutenibilità: deriva dalle analisi di manutenibilità dei componenti del sistema (0,99-0,999)

Efficacia = (media 0,85-0,95. dev.st 0,02) in condizioni di riferimento.

L'efficienza dei sistemi di protezione antincendio può essere derivata dagli studi effettuati nelle fasi di progettazione ovvero deve essere coerente con gli stessi.

La determinazione delle prestazioni di sicurezza è condotta a partire dalla banca dati contenente le caratteristiche e le prestazioni dei dispositivi e sistemi più diffusi sul mercato a disposizione dello scrivente.

L'efficienza di una misura di sicurezza è definita come l'abilità di una misura di sicurezza tecnologica a realizzare una funzione di sicurezza per un fissato intervallo temporale operando in modo non degradato in specifiche condizioni.

L'efficienza delle misure di sicurezza nell'esodo degli utenti e nella protezione degli addetti al soccorso è condizionata da:

- rivelazione precoce degli eventi critici,
- comunicazione immediata ai centri preposti alla gestione dell'emergenza ed agli utenti,
- disponibilità di vie di fuga,
- efficacia del sistema di ventilazione,
- gestione del traffico che favorisca l'uscita dalla galleria dei veicoli non coinvolti e dei veicoli a valle delle sorgenti di pericolo,
- dotazione di impianti ed attrezzature di protezione,
- riduzione del tempo di intervento degli addetti al soccorso.

Le efficienze attribuite ai singoli sistemi di sicurezza presuppongono che essi siano progettati e realizzati in accordo ai dettami della buona pratica corrente. In particolare l'efficienza dell'impianto di ventilazione è stata stimata pari all'85% per lo scenario dimensionante pari a 30 MW.

La buona pratica attuale riportata nei diversi documenti del PIARC ed adottata in alcune norme nazionali prevede che il dimensionamento dell'impianto di ventilazione per eventi di incendio di veicoli non adibiti al trasporto di merci pericolose sia pari a 30 MW esso pertanto è assunto come riferimento da adottare .

Il livello di confidenza di una misura di sicurezza è inversamente proporzionale alla probabilità di malfunzionamento su richiesta dei sistemi tecnologici e corrisponde all'affidabilità di una misura di sicurezza nel realizzare in modo corretto la funzione di sicurezza richiesta in modo conforme all'efficienza ed al tempo di risposta fissati per tutte le condizioni operative previste e per un determinato intervallo di tempo.

Le successive tabelle tratte dalla letteratura di settore supportano i valori di efficienza adottati.

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	$\geq 10^{-2} < 10^{-1}$

Livello di confidenza – malfunzionamenti

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

Efficienza – livello di confidenza

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

6.5 Flusso del pericolo

Il flusso del pericolo è il flusso risultante dai processi di scambio di massa e di energia generati dagli scenari di pericolo conseguenti all'accadimento di eventi critici per un sistema galleria e condizionati nell'evoluzione dalle prestazioni dei sistemi di sicurezza. Esso si rappresenta in termini di mappe di temperatura e concentrazione di sostanze tossiche o impattanti sulla visibilità in funzione del tempo e dello spazio all'interno della galleria.

La quantificazione del flusso del pericolo è condotta dagli esperti della sicurezza con differenti livelli di dettaglio mediante la formulazione di specifici modelli di flusso del pericolo risolti con tecniche analitiche e numeriche di tipo termofluidodinamico.

I risultati forniti dai modelli del flusso del pericolo sono utilizzati per caratterizzare il microclima all'interno del sistema galleria determinato dai vincoli fluidodinamici e dai vincoli termodinamici imposti da:

- le caratteristiche geometriche ed architettoniche della struttura,
- le caratteristiche chimico-fisiche delle sorgenti di pericolo,
- le prestazioni dei sistemi di sicurezza.

La quantificazione del flusso del pericolo generato dagli scenari di pericolo associati agli eventi critici fissati è in generale condotta formulando e risolvendo i seguenti modelli:

- un modello di campo tridimensionale,
- un modello di campo monodimensionale,
- un modello termodinamico a parametri concentrati.

I modelli di campo, risolti con codici di fluidodinamica numerica (codici CFD), sono formulati adottando una caratterizzazione energetica delle sorgenti di pericolo caratterizzate in termini di:

- potenze termiche generate dai focolai (eventi di incendio, eventi di sversamento di liquidi infiammabili),
- portate di rilascio delle sorgenti (eventi di rilascio di sostanze tossiche e nocive in fase gassosa).

Le simulazioni con modelli di campo tridimensionali, attinenti l'analisi di scenario di un sistema galleria, sono finalizzate a:

- la quantificazione dei campi termici e dei campi fluidodinamici che determinano il flusso del pericolo per la caratterizzazione delle prestazioni dei sistemi di sicurezza,
- la taratura di modelli termodinamici semplificati monodimensionali da utilizzare con tecniche statistiche.

La zonizzazione del flusso del pericolo è l'identificazione di zone nella struttura caratterizzate da condizioni ambientali ostili entro le quali si realizza il processo di esodo degli utenti e si esplica l'azione di soccorso e spegnimento degli addetti.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Le condizioni ostili sono definite dai valori limite per la temperatura e per le concentrazioni di sostanze tossiche oltre le quali la sopravvivenza dell'essere umano è seriamente compromessa in tempi rapidi. In particolare si hanno i seguenti riferimenti:

- temperatura non superiore a 100°C per pochi secondi (Calcolo NFPA 130),
- concentrazione di monossido di carbonio non superiore a 2000 ppm per pochi secondi (NFPA 130).

L'utente che si trova in tali zone su può considerare come vittima.

Nelle prime fasi dell'evento di incendio risulta una situazione non critica ed in continua evoluzione pertanto il concetto di zona deve essere completato, per poter valutare le effettive condizioni di pericolo, con il concetto di dose ed in particolare con il concetto di Fractional Effective Dose (FED).

Il valore di questa dose è dato dalla formula generale riportata in normativa ISO 13571:

$$XFED = \sum_i \sum_j (C_{i,j}/C_{ii}) \times t_j$$

Compaiono i seguenti valori:

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

Il concetto di dose si calcola quando combinando i risultati del calcolo del flusso del pericolo con quelli del calcolo dell'esodo associando ad ogni singolo utente una posizione ed una dose variabili nel tempo.

La presentazione dei Principi e delle Tecniche proprie del Metodo della Fluidodinamica Numerica esulano dagli scopi della relazione e si rimanda il lettore interessato alla vasta letteratura sull'argomento. Una sintesi delle modalità di simulazione degli eventi critici nei sistemi galleria in accordo al metodo della fluidodinamica numerica e dei criteri di valutazione dei risultati forniti dalla soluzione dei modelli di campo è contenuta in allegato alle Linee Guida ANAS.

La simulazione statistica del flusso del pericolo comporta la caratterizzazione delle variabili di stato in termini di funzioni di distribuzione introdotte per quantificare le incertezze epistemiche connesse alle attuali conoscenze scientifiche sui fenomeni ed i processi termofluidodinamici pericolosi conseguenti all'accadimento di un evento critico.

I tratti salienti del modello termodinamico sviluppati dagli estensori del metodo IRAM possono essere così riassunti:

- il modello termodinamico a parametri concentrati consente, adottando una caratterizzazione energetica dei focolai, la simulazione statistica del flusso del pericolo generato da scenari di pericolo determinati da focolai costituiti da veicoli, in una struttura dotata di un sistema di ventilazione longitudinale,

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

- il modello termodinamico a parametri concentrati consente a due zone, adottando una caratterizzazione energetica dei focolai, un sottomodello di rimescolamento tra due strati di aria, la simulazione statistica del flusso del pericolo generato da scenari di pericolo determinati da focolai costituiti da veicoli, in una struttura dotata di un sistema di ventilazione semitrasversale ovvero in assenza di ventilazione forzata valutando l'effetto della stratificazione dei fumi.

La caratteristica essenziale del modello termodinamico a parametri concentrati può essere così sintetizzata:

- la soluzione del modello, coincidente con il flusso del pericolo nella struttura analizzata, è esprimibile in termini di funzioni analitiche traslate nello spazio e nel tempo che tengono conto dello scambio termico alle pareti e della velocità dell'aria in galleria.

La caratterizzazione probabilistica degli scenari di pericolo è attuata introducendo specifiche funzioni di distribuzione per le seguenti variabili:

- il numero di veicoli coinvolti negli scenari di pericolo,
- la localizzazione spaziale dei veicoli nella struttura,
- la potenza termica generata,
- il tasso di generazione dei fumi,
- la velocità dell'aria nella struttura.

In particolare la velocità dell'aria nella struttura in assenza di ventilazione forzata è calcolata per ogni singolo scenario sulla base dei seguenti fattori: condizioni meteo ai portali, numero e tipo di veicoli fermi in galleria, caratteristiche idrauliche della galleria, effetto camino.

La simulazione statistica del flusso del pericolo si manifesta nell'andamento delle curve cumulate complementari come quantificazione degli effetti delle incertezze aleatorie sulle caratteristiche dei focolai e delle incertezze epistemiche sulla dinamica degli eventi critici. I modelli sviluppati si configurano come strumenti idonei alla simulazione in tempo reale dell'evoluzione degli eventi critici in galleria e per la verifica delle prestazioni dei sistemi di ventilazione consentendo di analizzare in tempi ridotti una moltitudine di scenari di pericolo.

Le simulazioni del flusso del pericolo sono effettuate in numero superiore a 51200, variando le condizioni al contorno e l'effetto dei sistemi di sicurezza sull'evoluzione del flusso medesimo. Per le analisi di rischio il software di calcolo EURAM 2.0 adottato esegue un numero di simulazioni pari a 100 per ciascun ramo dell'albero degli eventi.

6.6 Evacuazione degli utenti

Gli scenari di pericolo non possono essere utilizzati direttamente per analizzare il processo di esodo degli utenti dalla struttura. La conversione degli scenari di pericolo in scenari di esodo richiede siano precisati i parametri caratteristici di uno scenario di esodo. I parametri caratteristici che definiscono uno scenario di esodo possono essere raggruppati nelle seguenti categorie:

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

- parametri geometrici,
- parametri di connotazione della popolazione esposta,
- parametri ambientali,
- parametri procedurali.

I parametri geometrici sono i parametri che caratterizzano:

- le caratteristiche geometriche dei percorsi di esodo e delle vie di fuga,
- gli ostacoli presenti sui percorsi di esodo,
- la distribuzione iniziale degli utenti.

I parametri di connotazione della popolazione esposta sono:

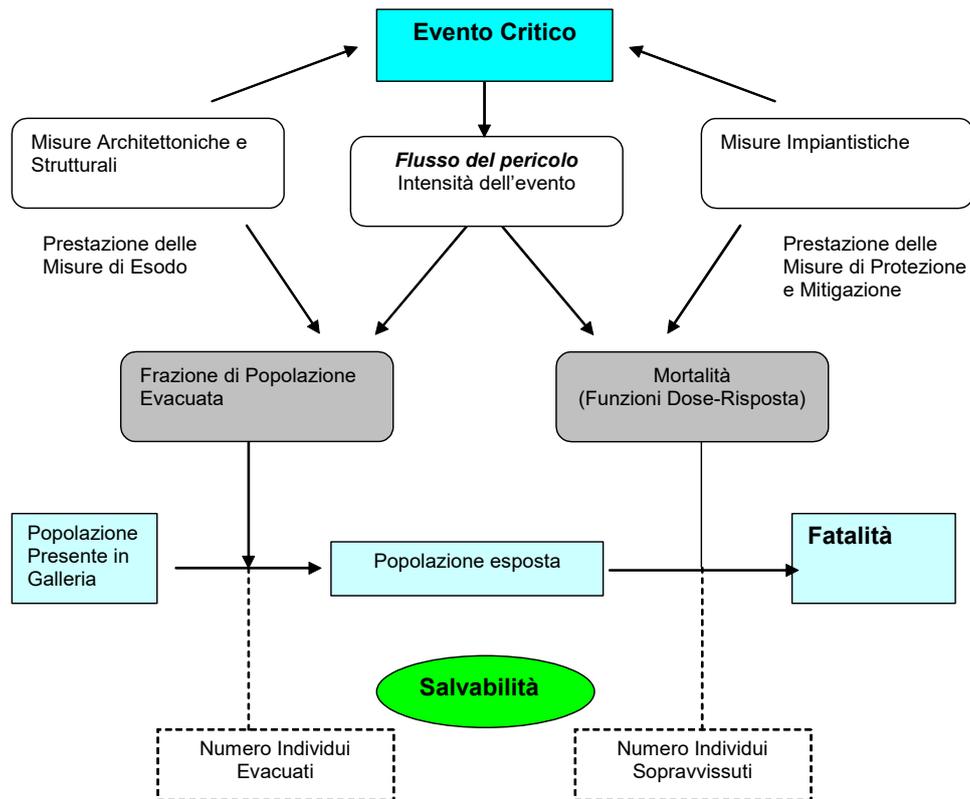
- la distribuzione per età,
- la distribuzione per genere,
- le condizioni fisiche degli individui,
- i tempi di reazione,
- la velocità di movimento degli individui.

I parametri ambientali, definiti come i parametri che descrivono il microclima nella struttura conseguente all'accadimento di un evento critico, sono:

- i campi di temperatura,
- i campi di concentrazione.

I parametri procedurali sono definiti come i parametri per i quali si caratterizzano le procedure di emergenza previste per gli addetti al soccorso ed allo spegnimento e le procedure di emergenza previste per gli utenti.

La successiva figura esemplifica la conversione degli scenari di pericolo in scenari di esodo.



Scenari di esodo

La modellazione degli scenari di esodo richiede la formulazione e la soluzione di:

- un modello di formazione delle code nella struttura, finalizzato alla quantificazione della popolazione esposta al flusso del pericolo;
- un modello di esodo degli utenti dalla struttura, finalizzato alla determinazione delle fatalità attese nella popolazione esposta.

Il modello di formazione delle code nella struttura è formulato utilizzando parametri correntemente adottati nella caratterizzazione del flusso di traffico in termini di regimi di traffico. I dettagli formali del modello di formazione delle code, riportati in forma estesa in allegato alle Linee Guida ANAS, possono essere così sintetizzati:

- il parametro caratteristico del flusso di traffico è identificato con l'interdistanza tra i veicoli in movimento espressa in funzione della velocità media dei veicoli e del numero di veicoli dislocati su una carreggiata,
- i regimi del flusso di traffico sono caratterizzati in termini di disuguaglianze tra l'interdistanza dei veicoli e l'interdistanza di sicurezza tra i veicoli, dipendente dalla velocità ammessa per tipologia di veicolo,
- l'accadimento di un evento critico determina la formazione di una discontinuità nel flusso di traffico (tappo),
- la cinematica del tappo è descritta introducendo una velocità di risalita caratteristica esprimibile in termini dei parametri geometrici e dei parametri cinematici introdotti nella caratterizzazione del flusso di traffico,

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

- la velocità di risalita del tappo influenza la probabilità di carambola tra i veicoli agli estremi della coda,
- il tempo di risalita del tappo identifica il tempo di chiusura al traffico della galleria.

La soluzione del modello di formazione delle code consente la quantificazione della popolazione esposta al flusso del pericolo essendo fissato il numero medio di passeggeri per veicolo.

Il processo di esodo della popolazione esposta al flusso del pericolo verso i luoghi sicuri è un processo complesso realizzato da aggregati di individui segnati da comportamenti specifici. La simulazione del processo di esodo è effettuata adottando due modelli lagrangiani di complessità formale crescente risolti con tecniche statistiche tipo Monte-Carlo.

La scelta del modello di simulazione del processo di esodo è determinata dagli obiettivi perseguiti:

- determinazione del numero di vittime lungo i percorsi di esodo,
- quantificazione degli effetti delle caratteristiche geometriche ed architettoniche delle vie di fuga sul processo di esodo.

Il modello di simulazione del processo di esodo è formulato assumendo come parametri fondamentali:

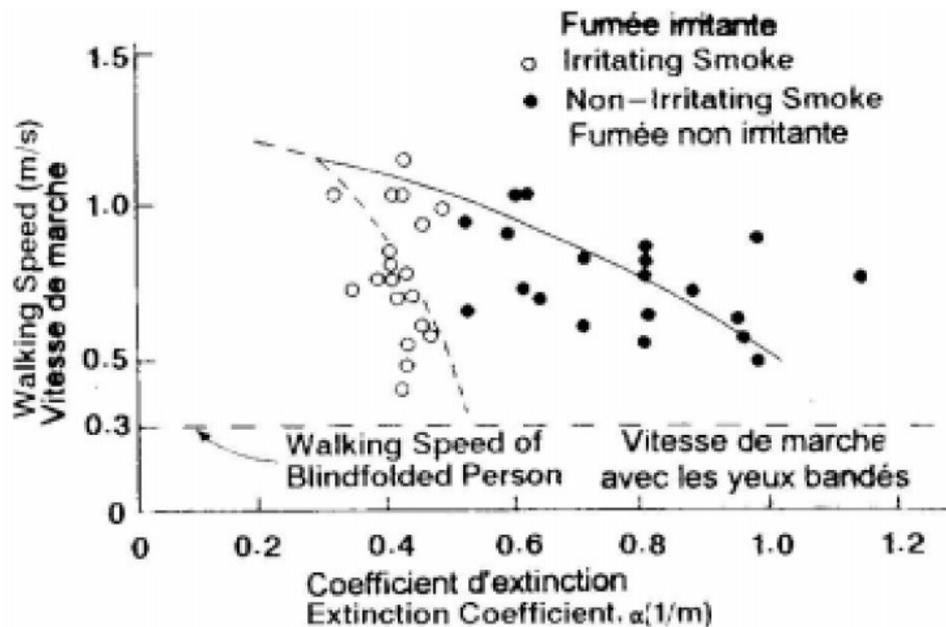
- la posizione del focolaio rispetto alle vie di fuga,
- i tempi di abbandono dei veicoli da parte degli utenti,
- la velocità di esodo degli utenti nella struttura,
- il comportamento e le traiettorie degli utenti lungo i percorsi di esodo,
- l'orientamento degli utenti verso i luoghi sicuri.

I parametri assunti come fondamentali nel modello di simulazione del processo di esodo sono trattati come variabili aleatorie e caratterizzati in termini di funzioni di distribuzione. Valori massimi per i tempi di abbandono dei veicoli utilizzati nelle simulazioni sono pari a 150 secondi. Valori medi per la velocità di esodo degli utenti, parametrizzati in funzione delle condizioni di visibilità nella struttura interessata da un evento critico, sono:

Condizioni di visibilità	Velocità di allontanamento
Buona	1 m/s
Ridotta	0,5 m/s
Nulla	0,3 m/s

Velocità di allontanamento

La successiva figura mostra l'andamento della velocità di esodo in funzione della visibilità come riportata dal PIARC ed adottata per la modellazione dell'esodo.



velocità di esodo in funzione della visibilità

La velocità di esodo è inoltre corretta in maniera proporzionale alla Fractional Effective Dose (FED) per considerare nel tempo lo stato di salute degli utenti esposti al flusso del pericolo.

La simulazione statistica degli scenari di esodo si manifesta nell'andamento delle curve cumulate complementari come quantificazione degli effetti delle incertezze aleatorie sulle variabili comportamentali degli utenti e delle incertezze epistemiche sulla dinamica del processo di esodo.

L'approccio utilizzato per determinare il numero di fatalità associato agli scenari di esodo da un sistema galleria, affatto analogo all'approccio utilizzato nell'ambito della Fire Safety Engineering per determinare il numero di fatalità associato al processo di esodo dagli edifici, si basa sul calcolo del Tempo Disponibile per l'Esodo (A-SET) della popolazione esposta lungo percorsi di esodo interessati dal flusso del pericolo (zonizzazione del flusso del pericolo).

Gli effetti sulla salute della popolazione esposta sono determinati in base ai valori assunti dalle Dosi Frazionarie Inabilitanti (Fractional Effective Dose), adottate come indicatori di rischio chimico (concentrazioni di sostanze tossiche, irritanti, nonché dell'ossigeno, ai fini della valutazione della ipossia) ed indicatori di rischio termico (temperature dei gas e dell'aria, valori di irraggiamento termico ai quali gli utenti sono esposti in galleria), lungo i percorsi di esodo ed al tempo di esposizione dei soggetti a ciascun elemento di rischio.

Gli effetti sulla salute della popolazione esposta sono funzione del prodotto delle concentrazioni dei fattori di rischio per la salute umana (CO, Temperatura) pesato con il tempo di esposizione e normalizzato rispetto ad un valore limite costituente il parametro di riferimento per il calcolo del tempo disponibile per l'esodo.

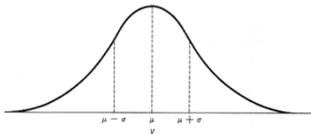
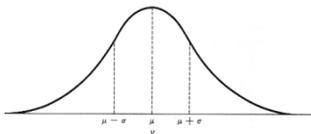
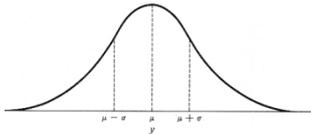
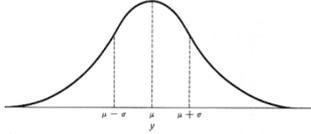
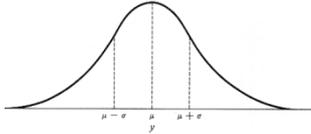
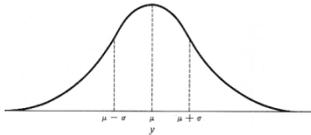
	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

I risultati delle simulazioni del flusso del pericolo combinati con la simulazione statistica del processo di esodo condotta mediante modelli di tipo Monte-Carlo al variare delle caratteristiche della popolazione, consentono di determinare la salvabilità ovvero le fatalità attese per tutti gli scenari incidentali possibili.

Di seguito sono riportati i risultati più significativi di simulazioni statistiche di scenari di esodo, condotto formulando un modello della galleria Del Monte in geometria monodimensionale, accoppiate a simulazioni d'incendio con potenze massime del focolaio pari a 15 MW, 30 MW, 50 MW e 100 MW, nel caso di malfunzionamento dell'impianto di ventilazione.

Le simulazioni del flusso del pericolo sono effettuate in numero pari a 51200, variando le condizioni al contorno e l'effetto dei sistemi di sicurezza sull'evoluzione del flusso medesimo. Per le analisi di rischio il software di calcolo EURAM 2.0 adottato esegue un numero di simulazioni pari a 100 per ciascun ramo dell'albero degli eventi.

Nella tabella successiva si riepilogano le variabili di rappresentazione degli scenari di esodo che vengono trattate come variabili statistiche aventi le seguenti funzioni di distribuzione:

	Variabile statistica		Funzione di distribuzione
Evoluzione dell'evento critico	Posizione del focolaio		uniforme
	Potenza del focolaio		 Media e varianza rispetto allo scenario albero eventi
Popolazione esposta	Formazione delle code (in funzione dei volumi di traffico)		 Calcolato sulla base di flusso di traffico definito con media e varianza a partire dal TGM
	Tempo di psicoreazione della popolazione esposta		 Media e Varianza
	Velocità di esodo (popolazione esposta)		 In funzione della concentrazione di particolato
	Distanza vie di esodo		 Media e Varianza in funzione della distribuzione in galleria
	Velocità dei fumi (Sistema di ventilazione)		 Calcolata come media e varianza sulla base di modello termodinamico

variabili statistiche degli scenari di esodo

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

6.7 Quantificazione del rischio

Nell'ambito della procedura di analisi di rischio codificata nell'IRAM, le misure di rischio sociale sono determinate attraverso l'operazione di convoluzione tra le funzioni di distribuzione delle frequenze di accadimento degli eventi critici e delle conseguenze attese determinate sulla base delle analisi e simulazioni descritte nei paragrafi precedenti.

I risultati della quantificazione del rischio sono espressi attraverso gli indicatori stabiliti dal Decreto Legislativo n. 264/2006:

- Rischio Sociale rappresentato come Curva Cumulata Complementare riportata sul piano F-N;
- Valore Atteso del Danno (VAD) determinato come area sottesa dalla Curva Cumulata Complementare.

Le Curve Cumulate Complementari rappresentano, 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 fatalità per anno, $f_N(x)$ è la funzione densità di probabilità del numero di fatalità per anno.

Le Curve Cumulate Complementari sono, per definizione, curve continue monotone decrescenti.

Il Valore Atteso del Danno è l'integrale definito di una Curva Cumulata Complementare.

Il Valore Atteso del Danno, essendo il Momento del Primo Ordine della Funzione di Distribuzione definita da una Curva Cumulata Complementare, fornisce un'informazione limitata sul Rischio Sociale associato ad un Sistema Galleria.

Il Valore Atteso del Danno è indicato dal Decreto Legislativo come l'Indicatore di Rischio Globale da utilizzare nella Verifica del Criterio di Equivalenza per i Sistemi Galleria che presentano Deficit nei Requisiti Minimi di Sicurezza.

6.7.1 Criteri di accettazione del rischio

I criteri di accettazione del rischio, nel decreto legislativo, sono fissati in accordo al principio ALARP. I criteri di accettazione del rischio, tradotti in un livello di rischio tollerabile ed un livello di rischio accettabile, sono rappresentati sul piano frequenze-conseguenze da rette di intercetta fissata e pendenza negativa unitaria (grado di avversione al rischio).

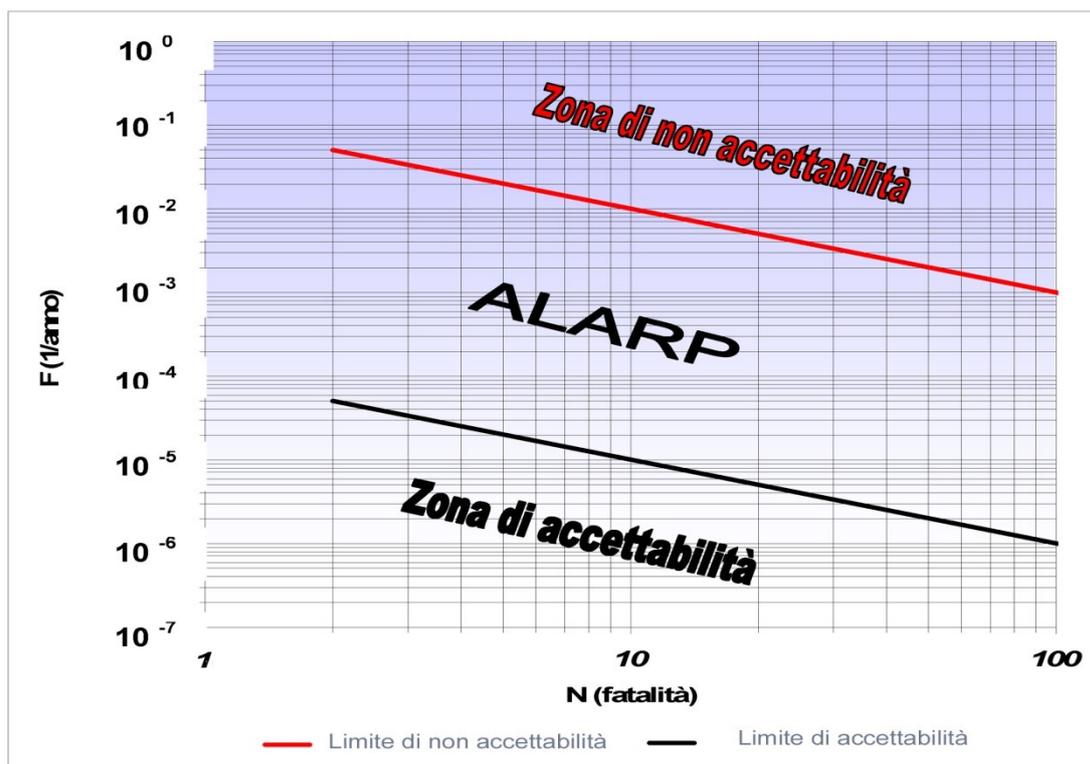


Diagramma ALARP

I livelli di rischio tollerabile ed accettabile delimitano le tre seguenti zone:

1. area del rischio "non accettabile". Un rischio che cade in questa regione non può essere giustificato in nessun caso;
2. area del rischio "accettabile". Qualora il rischio associato all'attività o opera in esame cada in questa regione, non sono necessari ulteriori indagini ed azioni in quanto il valore è da ritenersi accettabile;
3. area ALARP (As Low As Reasonably Practicable). Occorre svolgere ulteriori indagini e prevedere azioni mitigative al fine di ridurre, per quanto ragionevolmente praticabile, il valore di rischio, mettendo in opera misure di sicurezza integrative che assicurino un livello globale di sicurezza equivalente a quello della galleria virtuale associata.

Interventi sulla progettazione o sulla realizzazione di una modifica infrastrutturale importante possono avere ripercussioni di rilievo sulla gestione della struttura stessa, in termini di costi e modalità operative. In questo senso, l'analisi di rischio rappresenta lo strumento con cui quantificare i benefici attesi a seguito delle modifiche proposte e può essere utilizzata come strumento di supporto al processo decisionale, oltre che come verifica del raggiungimento dei livelli minimi di sicurezza richiesti.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

7 Il rischio

Il rischio associato ad una galleria stradale è ottenuto sommando i contributi relativi ad ogni singolo pericolo individuato.

Il valore ottenuto è una distribuzione del rischio che deve essere rappresentato sotto forma di una curva cumulata complementare.

Il rischio associato ad un singolo pericolo è ottenuto come la combinazione tra la frequenza di accadimento f espressa su base annua e la distribuzione del numero di fatalità N tenendo conto delle incertezze σ associati al pericolo stesso come mostrato nella seguente relazione.

$$(1) \quad R = f \cdot N + \sigma(R)$$

La curva del rischio ottenuta come definito, è confrontata con i criteri di accettazione del rischio definiti all'allegato 3 del D.Lgs 264/06.

I criteri di accettazione del rischio si basano su:

- il rischio sociale rappresentato come curva cumulata complementare (Curva FN) sul piano Frequenza -Numero di Fatalità (F-N) riferito all'anno ed al km di linea,
- il Valore atteso del Danno definito come valore del rischio complessivo riferito all'anno.

7.1 Calcolo delle frequenze di accadimento

Le frequenze di accadimento sono calcolate a partire dai tassi di accadimento degli eventi incidentali associati a ciascun pericolo.

Il tasso di accadimento è valutato sia mediante analisi statistica dei dati sia sulla base della letteratura di settore.

La frequenza associata a ciascun pericolo m si calcola come :

$$(1) \quad f_m = 365 T_i \cdot TGM \cdot (1 - e)$$

Dove:

T_i : è un tasso di accadimento base

TGM : è il traffico medio giornaliero

e : è l'efficacia delle misure preventive ed è definito tra 0 e 0,9999

I valori di tassi di accadimento sono derivati dall'analisi statistica dei dati di incidentalità, dalla letteratura di settore e dai risultati delle analisi dell'albero delle cause in funzione della tipologia di pericolo e di sistema.

7.2 Albero degli eventi

Sono formulati alberi degli eventi per ciascun pericolo individuato, a ciascun ramo dell'albero degli eventi sono associati un numero sufficiente di scenari per ciascuno dei quali sarà calcolato il valore delle conseguenze in termini di numero di fatalità.

Il numero di scenari da computare per ciascun ramo dell'albero è variabile in funzione delle tipologie di pericoli come di seguito specificato e deve essere mirato a considerare un numero sufficiente di casi possibili.

Le probabilità di malfunzionamento da attribuire a ciascun ramo dell'albero degli eventi sono derivate dall'efficacia dei sistemi di sicurezza.

La probabilità associata ai singoli sottoeventi, che fanno capo ai diversi sottosistemi, è identificata con l'Efficacia del sistema definita nel paragrafo 4.4.

I valori delle probabilità associate a ciascun ramo tengono conto delle probabilità condizionate connesse ai diversi rami dell'albero degli eventi.

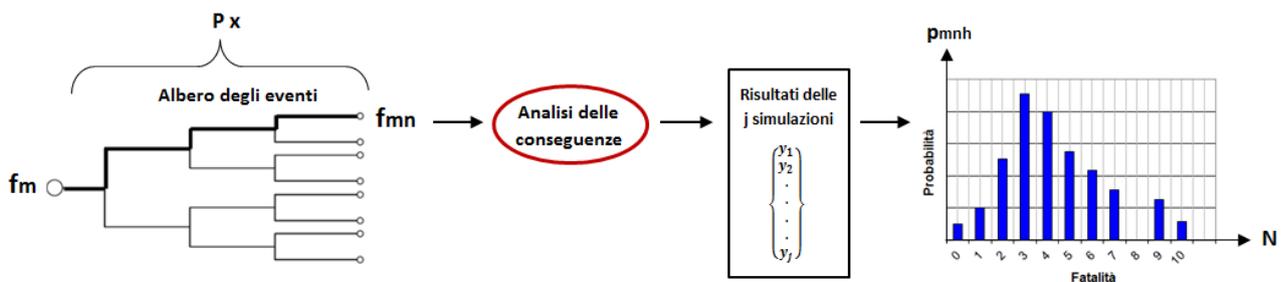
La **frequenza di accadimento di ciascun ramo n** dell'albero degli eventi si calcola a partire dalla frequenza di accadimento con la seguente relazione:

$$(2) \quad f_{mn} = f_m \cdot P_x$$

dove P_x è la probabilità associata al ramo x , data dal prodotto delle probabilità condizionate associate ai singoli eventi.

Ciascun ramo n dell'albero degli eventi a cui è associato un pericolo m viene nominato R_{mn} ; per ciascun ramo viene definito un numero j di scenari.

Considerata l'elevata incertezza connessa alla categoria di pericoli termofluidodinamici indicati dal D.Lgs 264/06, ad ogni ramo dell'albero degli eventi sono associati più scenari per i quali sono calcolate le conseguenze secondo il metodo Monte Carlo.



	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

Il numero di scenari da analizzare deve essere statisticamente significativo ovvero non deve essere inferiore a 6000 per ogni pericolo nel suo complesso e non inferiore a 100 per ciascun ramo dell'albero degli eventi.

L'albero degli eventi è caratterizzato da un numero esteso di sotto eventi e considera almeno i seguenti eventi/sistemi.

Incendio							
1)Veicolo leggero 2)Veicolo pesante 3)Merci Pericolose	Efficacia drenaggio	Efficacia sistemi di rilevazione	Efficacia sistema di ventilazione	Efficacia comunicazioni	Efficacia segnaletica ed illuminazione	Efficacia impianto antincendio	Efficacia procedure di emergenza

Il progettista della sicurezza definisce l'albero degli eventi di cui sopra nel quale sono considerate in modo esplicito o indiretto l'affidabilità e l'efficienza almeno dei seguenti sistemi: rilevazione, comunicazione, manutenzione, ventilazione, antincendio, procedure di gestione, vie di fuga, illuminazione e segnaletica, alimentazione elettrica, monitoraggio e supervisione.

7.3 Calcolo delle conseguenze

Le conseguenze sono calcolate con metodi quantitativi elaborando i dati statistici a disposizione con tecniche note e riconosciute e/o utilizzando modelli di calcolo formulati appositamente.

I risultati dei calcoli sono elaborati al fine di ottenere una distribuzione di probabilità delle conseguenze per ciascun pericolo, ottenendo un valore di probabilità per ciascun valore di fatalità assumendo un intervallo variabile tra 0 ed il numero massimo di fatalità attese .

I parametri minimi considerati nella valutazione delle conseguenze attraverso i modelli ovvero attraverso parametrizzazioni statistiche sono:

- pendenza longitudinale,
- caratteristiche della sezione trasversale (area, larghezza vie di esodo),
- distanza tra le uscite di emergenza,
- tempo di rilevazione dell'evento incidentale,
- tempo di uscita dai veicoli,
- tempo di attivazione dei sistemi di sicurezza,

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

- numero di veicoli coinvolti,
- localizzazione dell'evento,
- magnitudo e tempi caratteristici dell'evento,
- strategie di gestione della ventilazione e degli impianti antincendio,
- tempi di intervento dei servizi di soccorso,
- condizioni meteo esterne,
- velocità di percorrenza prima dell'evento.

L'analisi è effettuata in modo tale da considerare ciascun tratto di galleria con caratteristiche omogenee ed in particolare:

- galleria/esterno,
- forma ed area della sezione trasversale-numero di corsie,
- tipologia di ventilazione,
- presenza di cameroni intersezioni.

Le conseguenze sono calcolate per ogni numero j di scenari associati a ciascun ramo dell'albero degli eventi.

Raggruppando tutti i rami dell'albero degli eventi relativi a ciascun pericolo si ottiene quindi un insieme di coppie f, N che devono essere ordinate per valori di N crescenti.

La procedura di calcolo può quindi essere così sintetizzata:

- calcolo delle frequenze associate a ciascun ramo dell'albero degli eventi,
- scelta e formulazione delle tecniche e dei modelli per la determinazione delle conseguenze in funzione della tipologia di pericolo,
- calcolo delle conseguenze per tutti i rami dell'albero degli eventi per ottenere la distribuzione di probabilità delle conseguenze associata al singolo pericolo rappresentata come un insieme di coppie probabilità- fatalità per valori di fatalità variabili tra 0 ed il numero massimo di fatalità attese,
- calcolo delle frequenze di accadimento da associare a ciascun valore di fatalità.

I valori delle conseguenze da associare al j -esimo scenario sono determinati con l'ausilio di modelli termo fluidodinamici e modelli di esodo tenendo conto della variabilità dei parametri più significativi.

In particolare le conseguenze dei pericoli di tipo termofluidodinamico sono calcolate mediante l'adozione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio attraverso:

- la simulazione di eventi di incendio-esplosione e rilascio di sostanze tossiche e nocive con modelli termofluidodinamici di tipo non stazionario,
- la simulazione del processo di esodo degli utenti in galleria mediante modelli almeno monodimensionali che tengano conto dell'effetto della visibilità e delle condizioni ambientali sulla velocità di esodo,
- la stima della sopravvivenza di ogni singolo utente mediante la dose frazionaria efficace (FED) calcolate sulla base delle caratteristiche di genere, età, stato di salute.

Per ogni singolo ramo lungo l'albero degli eventi si simulano un numero j di scenari da cui si ottiene una distribuzione che lega la probabilità relativa al numero di fatalità.

Gli scenari sono generati con tecnica Monte Carlo variando i parametri caratteristici di ciascun evento (es. posizione dell'incendio, potenza dell'incendio, condizioni meteo, numero di passeggeri sul treno etc...)

Per ciascun ramo dell'albero degli eventi la **probabilità di accadimento della N_h -esima fatalità** si calcola dividendo il numero degli scenari a cui è associata la fatalità $N_h(h)$ per il numero totale j degli scenari simulati per il singolo ramo, come di seguito descritto:

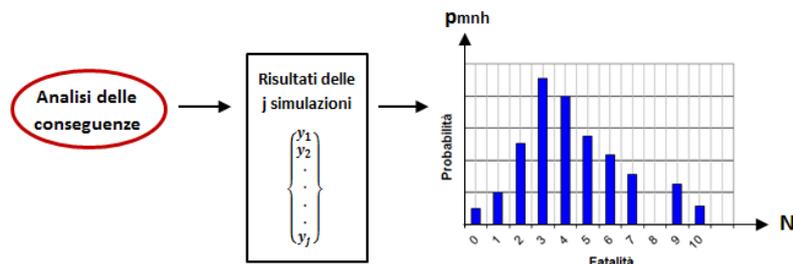
$$(3) \quad p_{mnh} = h / j$$

Dove:

h è il numero di scenari aventi un numero di fatalità pari ad N_h

j è il numero di scenari per ciascun ramo dell'albero degli eventi

La successiva figura mostra il risultato sotto forma di istogramma che deve essere ottenuto per ciascun ramo dell'albero degli eventi.



La frequenza relativa al gruppo di scenari a cui è associato il numero di fatalità h è definita come:

$$(4) \quad f_{Nh} = f_{mn} \cdot p_{mnh}$$

7.4 Calcolo del rischio

Il rischio si calcola sommando i contributi in termini di frequenza di accadimento per ciascun valore di fatalità dei diversi pericoli, ottenendo una distribuzione di frequenza di accadimento in funzione di ciascun valore delle conseguenze ovvero delle coppie f - N .

Per costruire la curva cumulata complementare associata a ciascun pericolo è necessario che ciascuna coppia di numeri sia formata dal valore della fatalità N_h e la relativa frequenza F_{Nh} , calcolata come somma delle frequenze a cui è associata la fatalità N_h e tutte le frequenze a cui sono associate le fatalità $k > N_h$. La frequenza relativa alla fatalità N_h si determina quindi con la seguente sommatoria:

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

$$(5) \quad CF_N = \sum_{k > N_h} f_k = F_{N_h}$$

Ciascun punto della curva cumulata complementare sarà individuato dalla coppia di valori fatalità N_h e Frequenza cumulata F_{N_h} .

Il **rischio complessivo** per ciascun pericolo è definito come integrale della curva cumulata complementare che è l'area sottesa alla curva stessa fino al massimo numero di fatalità calcolato, il rischio complessivo rappresenta il **Valore Atteso del Danno** (VAD) definito dal D.Lgs 264/06.

In luogo del calcolo dell'integrale, l'elevato numero di valori a disposizione, consente di calcolare il rischio complessivo come somma delle frequenze cumulate associate a ciascun valore di fatalità.

$$(6) \quad VAD = \sum_{i=1}^{N_{max}} F_{N_h}$$

8 Ipotesi di calcolo

Le ipotesi di calcolo di seguito presentate riguardano:

- il traffico,
- tipologia, modalità di funzionamento ed efficienza degli impianti di sicurezza,
- misure gestionali in vigore presso il Gestore quali misure per ridurre il livello di rischio,
- servizi di soccorso esterni e tempi d'intervento.

8.1 Traffico

Le variabili input delle simulazioni incendio ed evacuazione che riguardano il traffico sono:

- TGM e previsioni;
- composizione del traffico;
- distribuzione del traffico.

La definizione di tali variabili influisce sulla:

- frequenza di accadimento dell'evento critico analizzato;
- tipologia e caratteristiche dell'incendio (potenza termica generata, portata di fumo prodotto, velocità di propagazione, etc.);
- tempo di riempimento della galleria per l'arresto dei veicoli a monte dell'incendio.

I dati di traffico propedeutici all'effettuazione dell'analisi di rischio sono stati determinati dallo studio di traffico condotti in sede di progettazione della variante tecnica migliorativa e sono riportati al paragrafo 3.7 e riepilogati nella seguente tabella.

Galleria	TGM (veicoli/giorno/fornice)	Veicoli pesanti (%)	Merci pericolose (% sul traffico totale)	Classe ADR	Velocità (km/h)
Caltanissetta	4.389	13.2	6.3	A	110

Il modello previsionale utilizzato in progetto porta a stimare il valore del tasso d'incidentalità atteso nella galleria "Caltanissetta" in $5.9 \cdot 10^{-8}$ eventi/veic.km.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

8.2 Efficienza dei sistemi di sicurezza

Le misure di sicurezza presenti in galleria sono quantificate in funzione dei tempi di risposta all'evento e dell'efficacia che esse assicurano sulla base delle caratteristiche tecnologiche previste.

I valori assunti per tempi di risposta ed efficacia delle misure di sicurezza dovranno essere verificati mediante i collaudi condotti al completamento dei lavori di adeguamento della galleria, e tengono conto delle incertezze associate ai fenomeni ed ai processi pericolosi.

La possibilità di analizzare correttamente tutti i parametri in gioco, pesandone correttamente la rilevanza all'interno delle analisi di rischio, è conseguenza dell'adozione della metodologia IRAM (Italian Risk Analysis Method), prevista dal D.Lgs. 264/06 ed implementata nel software EURAM 2.0 mediante il quale sono state condotte tutte le simulazioni numeriche. Tale software consente difatti di superare i limiti degli altri software in commercio, adatti solo a valutare il livello di rischio in una galleria generato dal transito delle merci pericolose, ma che non sono in grado di valutare l'efficacia ed i tempi di risposta delle dotazioni di sicurezza e di sviluppare quindi un'analisi completa per i tunnel stradali. La metodologia IRAM implementata nel software EURAM 2.0 consente invece di analizzare modelli di esodo che permettono di valutare i tempi di evacuazione degli utenti in funzione dell'evoluzione del flusso del pericolo all'interno della galleria, ovvero dell'evoluzione dello scenario simulato in relazione a potenze incendio, emissione fumi, concentrazione sostanze nocive, valutato congiuntamente con i tempi di intervento ed efficacia degli impianti, il comportamento della popolazione esposta, l'intervento squadre soccorso, ecc.

La presenza dello SCADRA nella configurazione di variante consentirà inoltre di incrementare l'efficacia delle principali dotazioni di sicurezza. Tale sistema consentirà difatti di ottenere informazioni sullo stato di funzionamento degli impianti stessi, sulle condizioni ambientali e sullo stato del traffico all'interno della galleria e di attivare e/o segnalare tutte le misure di sicurezza necessarie al raggiungimento del livello di sicurezza richiesto in tempo reale.

8.2.1 Stima delle incertezze

In ottemperanza all'Allegato 1 "Glossario" del D. Lgs. 264/06, che definisce l'Analisi di Rischio "[...] *La valutazione del rischio è un processo che comporta l'individuazione delle sorgenti di pericolo e la determinazione dell'esposizione della popolazione al pericolo ed include la stima delle incertezze connesse. [...]*" ed il rischio come "*Legame analitico tra probabilità di accadimento di un evento ed entità delle conseguenze da esso derivanti, inclusiva delle incertezze connesse alla stima delle grandezze di definizione*" la metodologia di Analisi di Rischio adottata prevede la formulazione e la soluzione di un Modello di Rischio Bayesiano Classico con analisi delle incertezze associate ai fenomeni ed ai processi pericolosi. Gli scenari critici per i sistemi galleria stradale sono eventi a bassa probabilità di accadimento ed elevate conseguenze. Un modello Bayesiano classico corredato da analisi delle incertezze consente di condurre stime quantitative del livello di rischio associato ad una galleria.

8.2.2 Monitoraggio-rilevazione

L'efficacia degli impianti di monitoraggio-rilevazione è maggiore quanto minori sono:

- i tempi di rilevazione,
- il tempo di convalida,
- i tempi di reazione e delle modalità operative del C.C.

8.2.2.1 Tempi di rilevazione

I tempi di rilevazione di un evento incidentale in galleria influenzano l'evoluzione della sequenza incidentale e quindi le conseguenze dello stesso: maggiori tempi di reazione e gestione equivalgono a conseguenze più gravi.

Per rilevazione di un evento si intende l'intervallo di tempo che trascorre dall'accadimento dello stesso all'istante di acquisizione da parte del C.C. Il tempo di rilevazione varia a seconda:

- del tipo di impianti presenti in galleria,
- della frequenza di pattugliamento degli ausiliari della viabilità e della Polizia Stradale,
- delle modalità e tempi di reazione degli utenti.

La tabella successiva sintetizza le caratteristiche sopra elencate

	Configurazione di PE e di Perizia di Variante n.4	Configurazione di Perizia di Variante n.4 con SCADRA
Dotazioni impiantistiche	Telecamere in galleria con rilevazione automatica incidenti e/o incendi Rilevamento automatico incendi Centro Operativo di Controllo	Telecamere in galleria con rilevazione automatica incidenti e/o incendi Rilevamento automatico incendi Centro Operativo di Controllo Sistema di valutazione del rischio in tempo reale e segnalamento malfunzionamenti (SCADRA)
Misure gestionali	Ausiliari alla viabilità sulla tratta	Ausiliari alla viabilità sulla tratta
Utenti	SOS in galleria interdistanza 150 m e presso i portali	SOS in galleria interdistanza 150 m e presso i portali

Rilevazione di un evento

8.2.2.2 Tempi di convalida

La fase di convalida va a sommarsi nei tempi complessivi di allerta. Lo scopo della fase di convalida è la verifica dell'esistenza dell'evento o, in caso contrario, l'annullamento dell'emergenza per falso allarme. La presenza di impianti di videosorveglianza con telecamere e immagini remotizzate fa sì che l'operazione di convalida sia stimata intorno a 60 secondi. Le segnalazioni provenienti dagli ausiliari alla viabilità e Polizia Stradale possono ritenersi automaticamente convalidate. A tal proposito si ritiene indispensabile un'accurata pianificazione ed organizzazione della catena e dei tempi decisionali da parte del COC nonché una mirata opera di formazione ed addestramento del personale addetto.

8.2.2.3 Efficacia

Sulla base delle ipotesi adottate si riportano le prestazioni ed i valori di efficacia, assunti secondo la buona pratica ed a favore di sicurezza.

	Configurazione di PE e di Perizia di Variante n.4	Configurazione di Perizia di Variante n.4 con SCADRA
Prestazione stimata	Tempo Risposta 1 min 30 s	Tempo Risposta 1 min 30 s
Efficacia	0,9	0,95

Efficacia sistema di monitoraggio-rilevazione

L'efficacia dell'impianto di monitoraggio-rilevazione è assunta nel calcolo tramite una distribuzione gaussiana.

Si ritiene comunque che le ipotesi adottate debbano essere oggetto di verifica una volta installati i nuovi impianti previsti e tramite verifiche sul campo.

8.2.3 Comunicazione

Il blocco quanto più tempestivo del traffico in ingresso alla galleria, secondo una pianificazione di emergenza associato a provvedimenti di regolazione del traffico anche a distanza dalla galleria, ha l'obiettivo di:

- ridurre il numero di veicoli che entrano in galleria e che rimangono bloccati a monte dell'incendio,
- ridurre la distanza degli utenti già entrati dal veicolo incendiato, corrispondente ad una riduzione della distanza di esposizione all'incendio,
- favorire le operazioni di soccorso.

La tabella successiva sintetizza le misure di azione protettiva associate alle diverse configurazioni.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

	Configurazione di PE e di Perizia di Variante n.4	Configurazione di Perizia di Variante n.4 con SCADRA
Misure di blocco del traffico	IDC e PMV sui portali in ingresso galleria ed ogni 300m circa in galleria	IDC e PMV sui portali in ingresso galleria ed ogni 300m circa in galleria Sistema di valutazione del rischio in tempo reale e segnalamento malfunzionamenti (SCADRA)
Sistemi di comunicazione	Ritrasmissione radio ANAS, PS, VVF e ritrasmissioni radio FM per comunicazione agli utenti in galleria	Ritrasmissione radio ANAS, PS, VVF e ritrasmissioni radio FM per comunicazione agli utenti in galleria

Misure di blocco del traffico

Sulla base delle ipotesi adottate si riportano le prestazioni ed i valori di efficacia, assunti secondo la buona pratica ed a favore di sicurezza.

	Configurazione di PE e di Perizia di Variante n.4	Configurazione di Perizia di Variante n.4 con SCADRA
Prestazione stimata	Tempo Risposta 1 min 30 s	Tempo Risposta 1 min 30 s
Efficacia	0,9	0,95

Efficacia sistema di comunicazione

L'efficacia dell'impianto di comunicazione è assunta nel calcolo tramite una distribuzione gaussiana.

Si ritiene comunque che le ipotesi adottate debbano essere oggetto di verifica una volta installati i nuovi impianti previsti e tramite verifiche sul campo.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

8.2.4 Ventilazione

Nel calcolo si ipotizza una differenza di pressione ai portali media di 50 Pa, con varianza di 5 Pa.

La tabella successiva sintetizza le caratteristiche del sistema di ventilazione associate alle diverse configurazioni.

	Configurazione di PE e di Perizia di Variante n.4	Configurazione di Perizia di Variante n.4 con SCADRA
Sistema di ventilazione meccanica	Longitudinale con n.12 ventilatori in ciascun fornice, gestito dal C.C.. Strumenti di misura qualità e velocità dell'aria	Longitudinale con n.12 ventilatori in ciascun fornice, gestito dal C.C.. Strumenti di misura qualità e velocità dell'aria Sistema di valutazione del rischio in tempo reale e segnalamento malfunzionamenti (SCADRA)

Sistema di ventilazione

In relazione alla contropressione naturale che si instaura tra i due imbocchi a causa delle diverse condizioni barometriche e dell'effetto del vento sui portali, la caduta di pressione in galleria legata a tale effetto è stata valutata assumendo, in carenza di misurazioni puntuali, una differenza di pressione barometrica pari a 50 Pa (valore medio). Tale valore, a cui è associata una funzione di distribuzione gaussiana con deviazione standard pari a 5 Pa (ovvero nelle simulazioni si considera la differenza di pressione variabile tra 40 e 60 Pa), si ritiene cautelativo in relazione alla lunghezza della galleria ed all'orografia delle aree territoriali comprese tra i portali della stessa.

L'impianto di ventilazione sarà dotato di un sistema di controllo della velocità dell'aria mirato a favorire la stratificazione dei fumi nella prima fase dell'incendio ed a contrastare nel contempo la risalita dei fumi controcorrente (Back-layering) nonché a limitare l'effetto di incremento della potenza dell'incendio dovuto ad elevate velocità dell'aria (effetto "mantice").

Gli algoritmi dovranno gestire tutti gli scenari possibili con l'efficacia definita, nell'ambito del dimensionamento dell'impianto, al variare di: posizione dell'incendio, condizioni al contorno, tipologia di traffico (scorrevole, congestionato).

In condizioni di esercizio dovrà mantenere i parametri di inquinamento e visibilità al di sotto dei valori fissati dal PIARC per le diverse condizioni di esercizio.

Sulla base delle ipotesi adottate e delle verifiche condotte si riportano le prestazioni ed i valori di efficacia, assunti secondo la buona pratica ed a favore di sicurezza.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

	Configurazione di PE e di Perizia di Variante n.4	Configurazione di Perizia di Variante n.4 con SCADRA
Prestazione stimata	Velocità 3 m/s	Velocità 3 m/s
Efficacia	0,85	0,95

Efficacia sistema di ventilazione

L'efficacia dell'impianto di ventilazione è assunta nel calcolo tramite una distribuzione gaussiana.

Si ritiene comunque che le ipotesi adottate debbano essere oggetto di verifica una volta installati i nuovi impianti previsti e tramite verifiche sul campo.

8.2.5 Illuminazione

L'illuminazione in galleria deve garantire condizioni adatte all'evacuazione delle persone verso un luogo sicuro. La luminosità dell'infrastruttura influisce quindi sulle modalità e capacità di evacuazione degli utenti bloccati a monte dell'evento critico (es. incendio). Inoltre una buona illuminazione dell'ambiente è importante per la tempestiva rilevazione attraverso l'impianto TVCC quando presente.

La tabella successiva sintetizza le caratteristiche dell'impianto di illuminazione:

	Configurazione di PE e di Perizia di Variante n.4	Configurazione di Perizia di Variante n.4 con SCADRA
Illuminazione ordinaria	presente secondo DM 3476/05	presente secondo DM 3476/05
Illuminazione sicurezza	presente	presente
Illuminazione evacuazione	presente	presente

Impianti di illuminazione

Sulla base delle ipotesi adottate si riportano le prestazioni ed i valori di efficacia assunti secondo la buona pratica ed a favore di sicurezza.

	Configurazione di PE e di Perizia di Variante n.4	Configurazione di Perizia di Variante n.4 con SCADRA
Prestazione stimata	Illuminamento 2 lux	Illuminamento 2 lux
Efficacia	0,95	0,95

Efficacia sistema di illuminazione

L'efficacia dell'impianto di illuminazione è assunta nel calcolo tramite una distribuzione gaussiana.

Si ritiene comunque che le ipotesi adottate debbano essere oggetto di verifica una volta installati i nuovi impianti previsti e tramite verifiche sul campo.

8.2.6 Erogazione idrica

L'obiettivo principale dell'impianto di erogazione idrica in una galleria stradale consiste nel fornire alle squadre VVF un approvvigionamento idrico sufficiente e distribuito lungo la galleria per contrastare efficacemente lo sviluppo dell'incendio in galleria, preservando l'integrità della struttura. Un sistema di alimentazione d'acqua, comprendente la rete idrica, le linee di alimentazione in caso d'incendio o le colonne montanti, è necessario per fornire acqua alla pressione di sistema richiesta per spegnere gli incendi in galleria. La capacità di intervento sull'incendio dei VVF e degli operatori del presidio antincendio è variabile in relazione al carico termico che l'incendio potrebbe generare ed al tempo di intervento previsto.

In considerazione della posizione dei comandi VVF sul territorio, si stima l'arrivo delle squadre VVF entro 20 minuti dall'allerta.

La tabella successiva sintetizza i valori di efficacia assunti:

		Tutte le configurazioni
Tempo di intervento [s]		1200
Efficacia	5 MW	0,95
	15 MW	0,95
	30 MW	0,85
	50 MW	0,85
	100 MW	0,65
	Pool	0,65
	Toxic	0,65
	Explosion	0,65

8.2.7 Drenaggio

La realizzazione di un sistema di drenaggio degli sversati provenienti da mezzi trasportanti ADR è finalizzata a limitare lo spargimento di sostanze tossiche, pericolose ed infiammabili sulla piattaforma stradale. La presenza di pozzetti sifonati consente infatti di contenere le dimensioni della pozza infiammabile e di conseguenza il carico termico che può essere generato dall'evento incendio.

La tabella successiva sintetizza le caratteristiche dell'impianto di drenaggio di galleria.

Tutte le configurazioni	
Drenaggio	Pozzetti sifonati ad interdistanza media 35 m

Impianto di drenaggio

Sulla base delle ipotesi adottate si riportano le prestazioni ed i valori di efficacia assunti secondo la buona pratica ed a favore di sicurezza.

Tutte le configurazioni	
Prestazione stimata	Portata minima 8 l/s
Efficacia	0,85

Efficacia sistema di drenaggio

L'efficacia dell'impianto di drenaggio è assunta nel calcolo tramite una distribuzione gaussiana.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

9 Risultati

Nell'ambito della procedura di analisi di rischio codificata nell'IRAM, le misure di rischio sociale sono determinate attraverso l'operazione di convoluzione tra le funzioni di distribuzione delle frequenze di accadimento degli eventi critici e delle conseguenze attese determinate sulla base delle analisi e simulazioni descritte nei paragrafi precedenti.

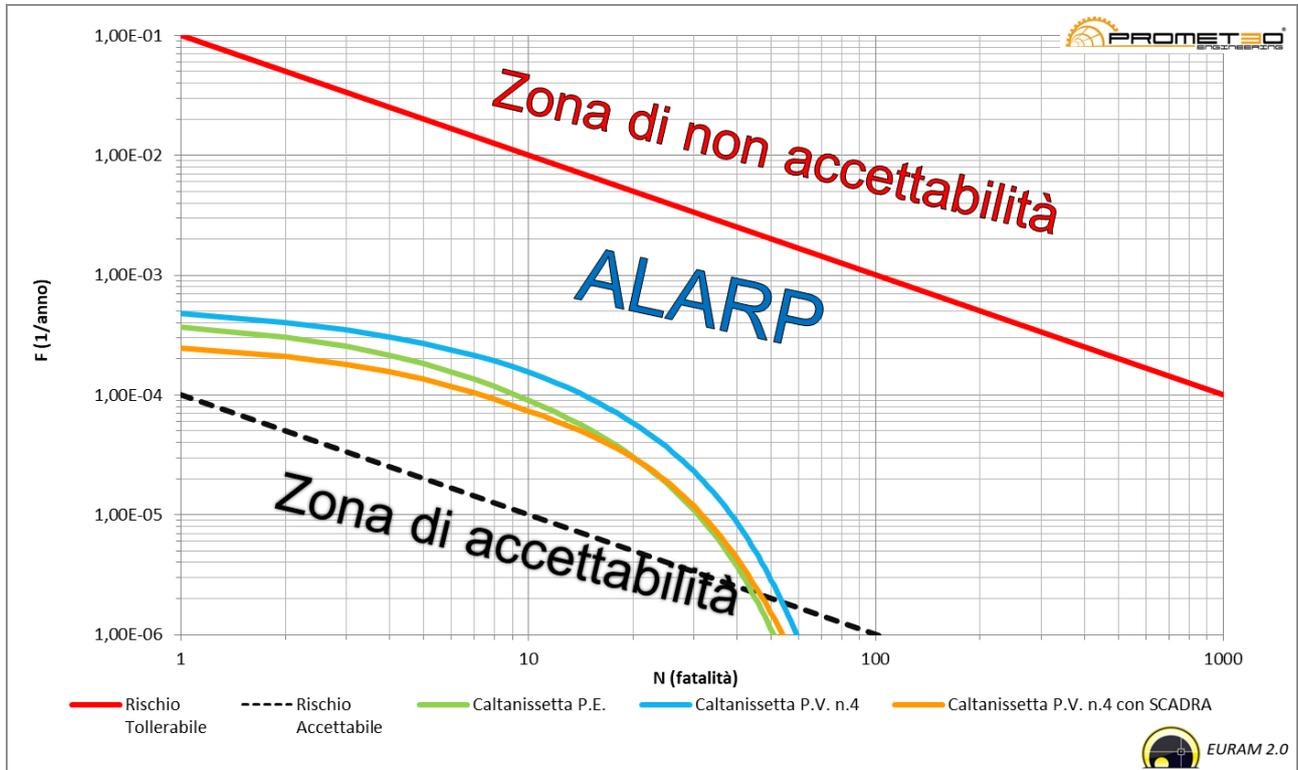
Sono riportati di seguito i risultati della quantificazione del rischio per il sistema galleria attraverso gli indicatori stabiliti dal Decreto Legislativo n. 264/2006:

- Rischio Sociale rappresentato come Curva Cumulata Complementare riportata sul piano F-N;
- Valore Atteso del Danno (VAD) determinato come area sottesa dalla Curva Cumulata Complementare.

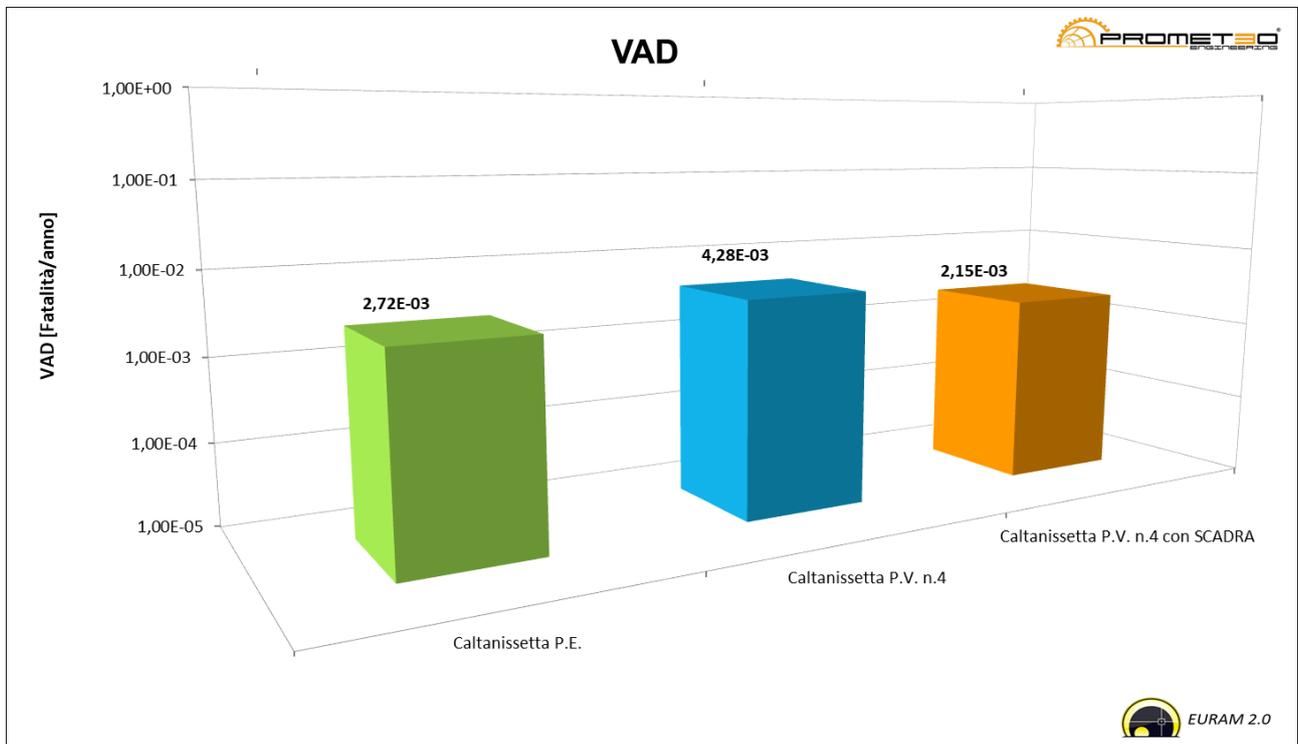
In particolare sono mostrati e confrontati i risultati relativi al livello di sicurezza dell'opera per le seguenti configurazioni:

1. Caltanissetta P.E.: Galleria Caltanissetta nella configurazione di progetto esecutivo;
2. Caltanissetta P.V. n.4: Galleria Caltanissetta nella configurazione proposta con la Perizia di Variante n.4;
3. Caltanissetta P.V. n.4 con SCADRA: Galleria Caltanissetta nella configurazione proposta con la Perizia di Variante n.4 e l'adozione del sistema SCADRA per il monitoraggio in continuo del livello di sicurezza della galleria.

9.1 Curve Cumulate Complementari



Curva Cumulata Complementare sul piano F-N



Valore Atteso del Danno

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

10 Conclusioni

Il presente studio della sicurezza ha lo scopo di verificare e validare la proposte progettuali della Perizia di Variante n.4 della galleria Caltanissetta, a doppio fornice e di lunghezza pari a circa 4000 m, ubicata sulla SS n.640 di "Porto Empedocle".

Ai sensi della Circolare n.5244 del 26/07/2011 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti la galleria Caltanissetta, facente parte della rete TERN e di conseguenza ricadente nel campo di applicazione del D.Lgs del 5 ottobre 2006 non è a caratteristiche speciali, pertanto sarebbe sufficiente il rispetto dei requisiti minimi previsti dal D.Lgs. 264/06 per il soddisfacimento delle richieste di normativa.

La galleria Caltanissetta non presenta anomalie nei parametri di sicurezza né deficit rispetto ai requisiti di sicurezza previsti dalla normativa.

Tuttavia, in considerazione della variazione del numero e dell'interdistanza massima tra le uscite di emergenza previste dalla configurazione di variante, è stata condotta un'analisi di rischio per valutare la possibilità di implementare misure impiantistiche integrative finalizzate a ridurre il livello di rischio della galleria.

Tale misura di sicurezza integrativa è rappresentata dallo SCADRA, un innovativo sistema che associa alla rilevazione automatica malfunzionamenti l'esecuzione di un'analisi di rischio dinamica che consente di conoscere in tempo reale le condizioni di sicurezza all'interno della galleria e di conseguenza di ottimizzare la pianificazione e gli interventi di manutenzione ordinaria sulle diverse componenti impiantistiche assicurandone la massima efficacia e di fornire tempestive informazioni all'utenza sui comportamenti da tenere nelle diverse situazioni.

L'analisi dei rischi è stata redatta ai sensi del Decreto Legislativo n.264 del 5 ottobre 2006: "Attuazione della Direttiva 54/2004/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea". L'analisi è stata condotta adottando il metodo IRAM (Italian Risk Analysis Method) formulato dallo scrivente in accordo al Decreto Legislativo n.264/2006 ed alle Linee Guida ANAS per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali. La corretta applicazione della metodologia in conformità alla normativa vigente ha richiesto l'analisi dei dati di incidentalità e delle prestazioni dei sistemi di sicurezza a partire da basi dati pubbliche e proprietarie nonché la soluzione di modelli fenomenologici e statistici che consentano di quantificare il rischio per il sistema galleria considerando le incertezze aleatorie ed epistemiche. Il modello di rischio adottato dal metodo IRAM è implementato nel pacchetto software EURAM 2.0 che è stato utilizzato per la presente analisi.

Lo studio della sicurezza della galleria ha quindi previsto l'effettuazione di un'Analisi di Rischio di tipo Prestazionale, al fine di dimostrare che l'insieme delle misure di prevenzione, protezione, mitigazione o inibizione del potenziale incremento di pericolosità dell'evento iniziatore, nonché di facilitazione delle azioni di auto-soccorso e di soccorso, sia tale da assicurare che il livello di rischio della struttura ricada al di sotto del livello di rischio tollerabile considerando il malfunzionamento dei singoli Sistemi di Sicurezza. L'Analisi di tipo probabilistico fa riferimento alle situazioni più probabili e non può tener conto di tutte le condizioni che possono avverarsi.

	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

La presente Analisi di Rischio è valida sulla base delle ipotesi adottate, sarà cura del Gestore verificare che i parametri assunti siano costantemente verificati. Al variare delle condizioni il Gestore adotta misure supplementari.

Gli indicatori quantitativi del rischio adottati per rappresentare i risultati dell'analisi di rischio in accordo ai dettati del Decreto 264/2006 sono:

- il Rischio Sociale rappresentato come Curva Cumulata Complementare riportata sul piano F-N;
- il Valore Atteso del Danno determinato come area sottesa dalla Curva Cumulata Complementare.

I risultati ottenuti, sulla base dei modelli di calcolo e dei dati di ingresso adottati, mostrano come le curve cumulate complementari della galleria in ogni configurazione di progetto si trovano nella zona di accettabilità del rischio, ovvero all'interno della zona ALARP del piano F-N.

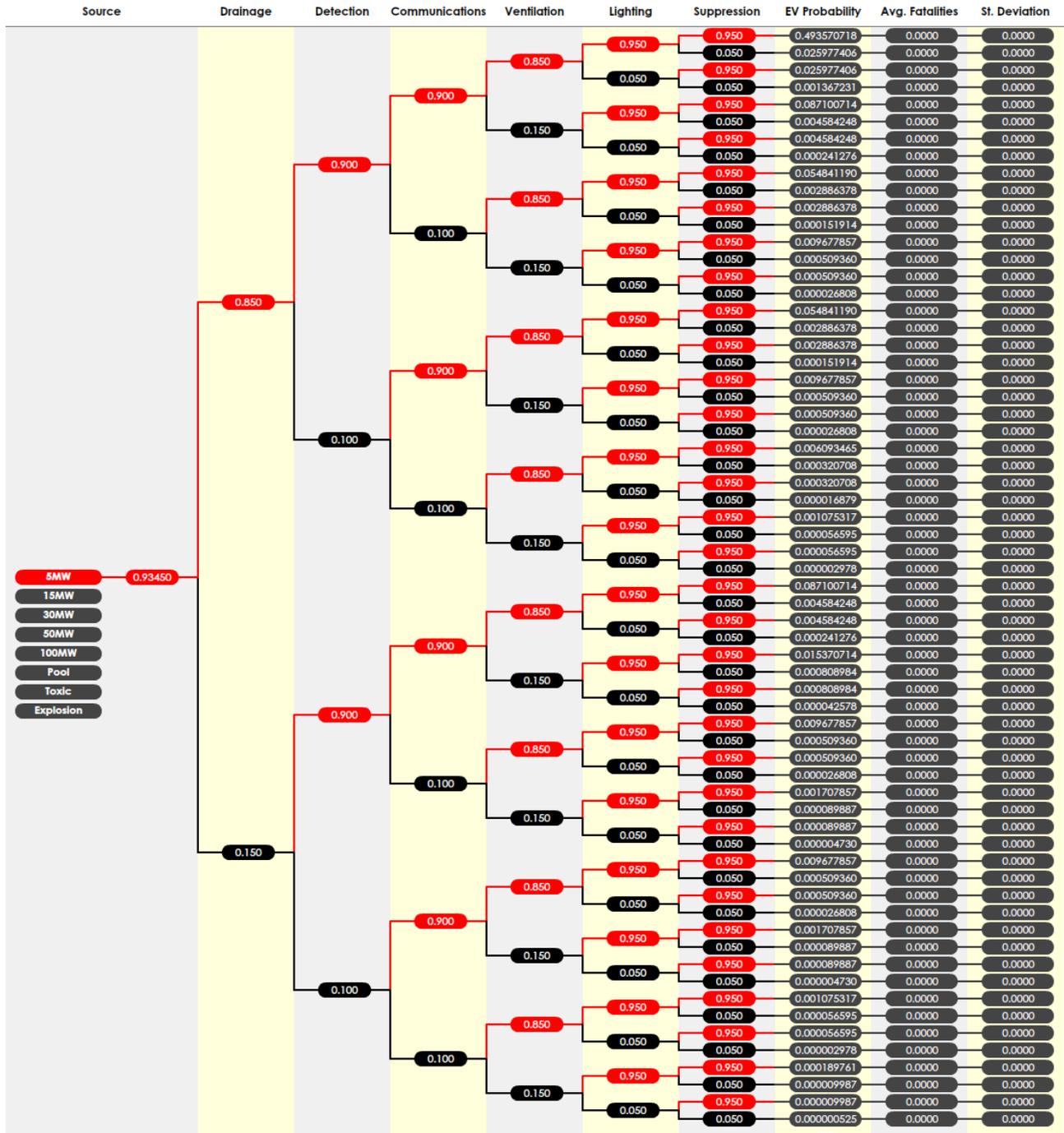
	configurazione A Progetto Esecutivo	configurazione B Perizia di Variante n.4	configurazione C Perizia di Variante n.4 con dotazioni integrative (SCADRA)
VAD (fatalità/anno)	0,0027	0,0043	0,0021

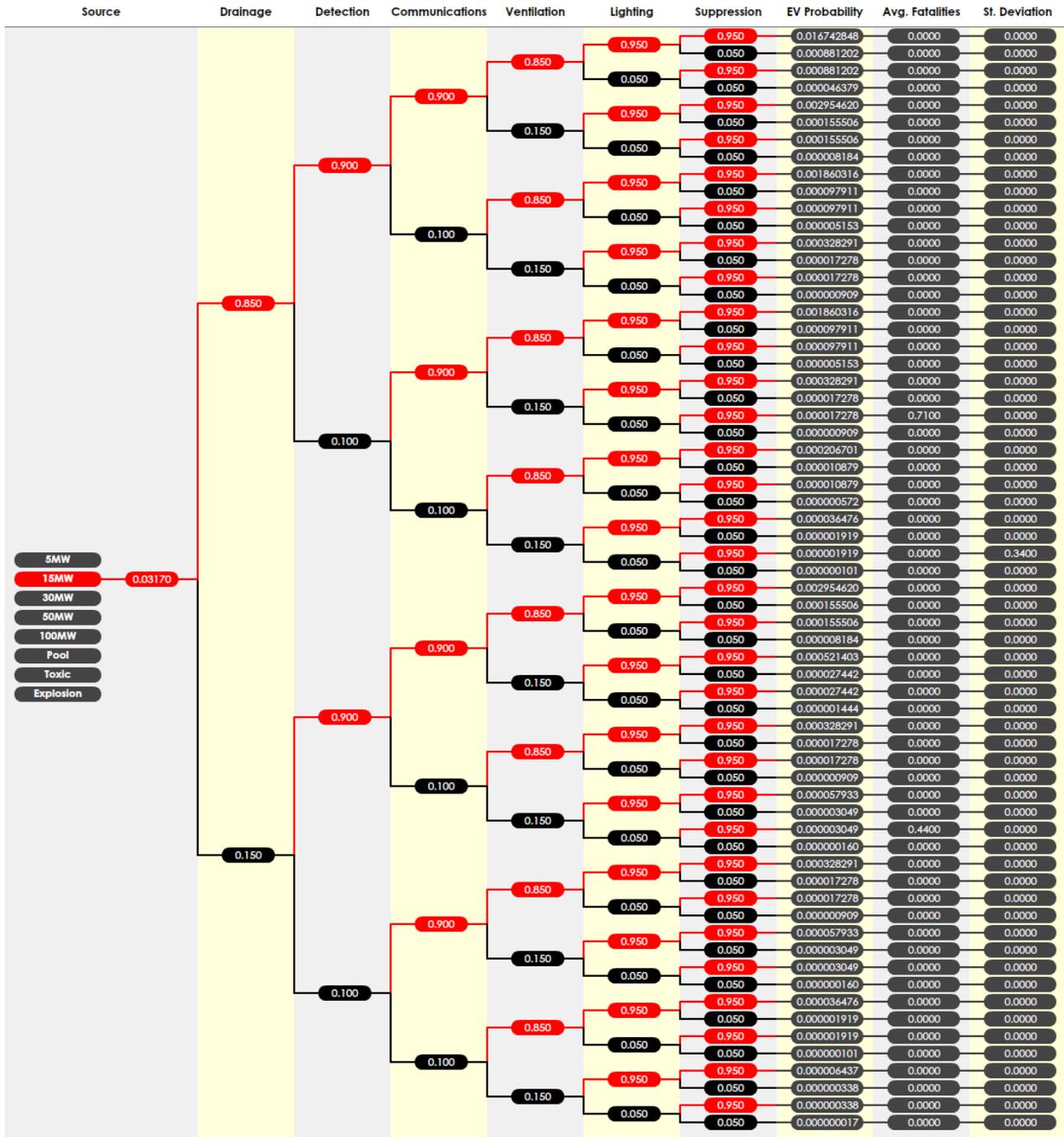
L'insieme dei risultati sopra commentati conferiscono alla galleria in configurazione di variante caratteristiche pienamente congruenti con le prestazioni alle dotazioni richieste ed in linea con gli standard nazionali.

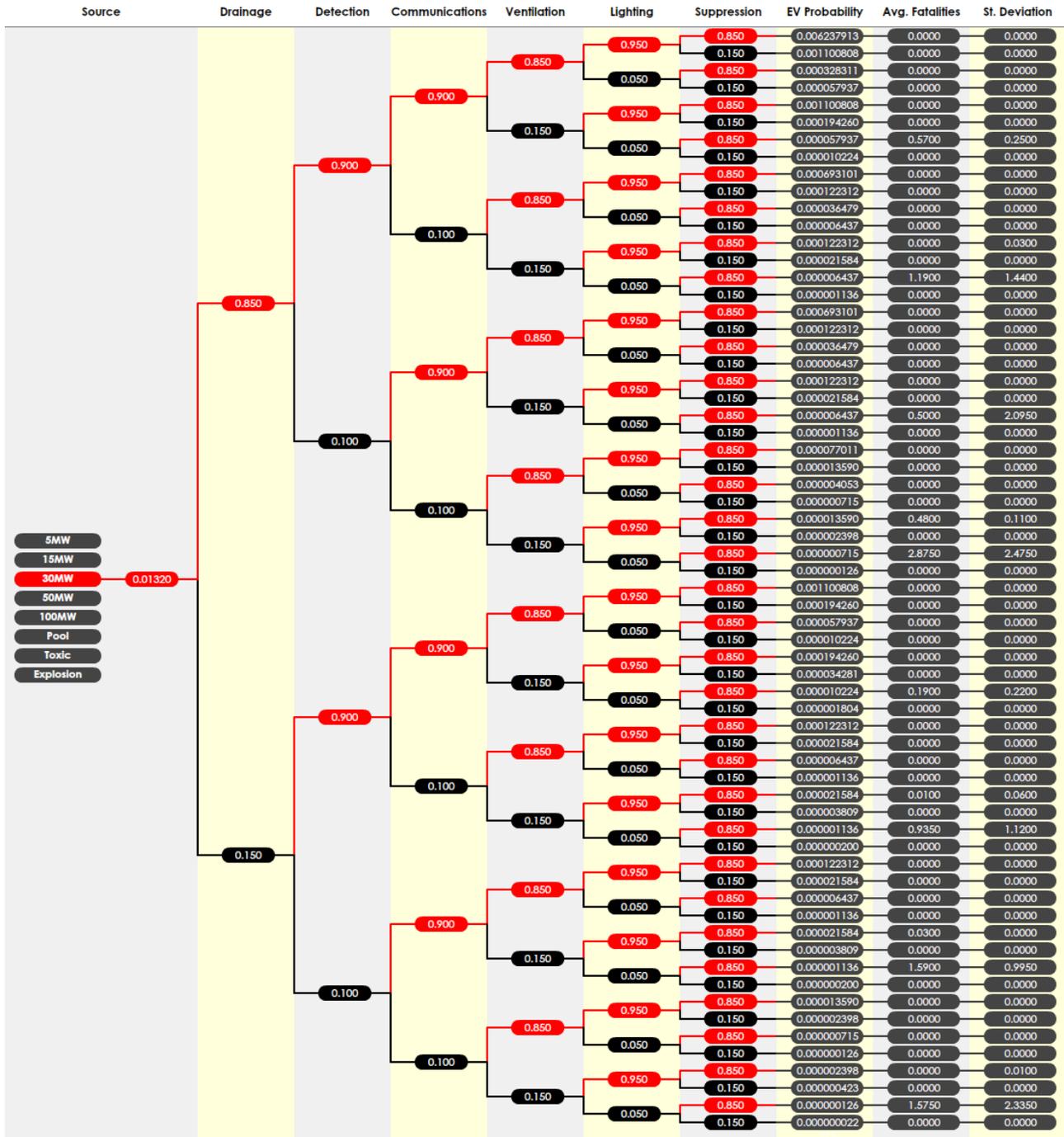
In particolare per effetto degli interventi impiantistici proposti la Curva Cumulata Complementare relative al progetto della Perizia di Variante n.4 con le dotazioni impiantistiche integrative consente di ottenere un incremento, seppur modesto, del livello di sicurezza della galleria Caltanissetta rispetto a quello della galleria in configurazione di progetto esecutivo.

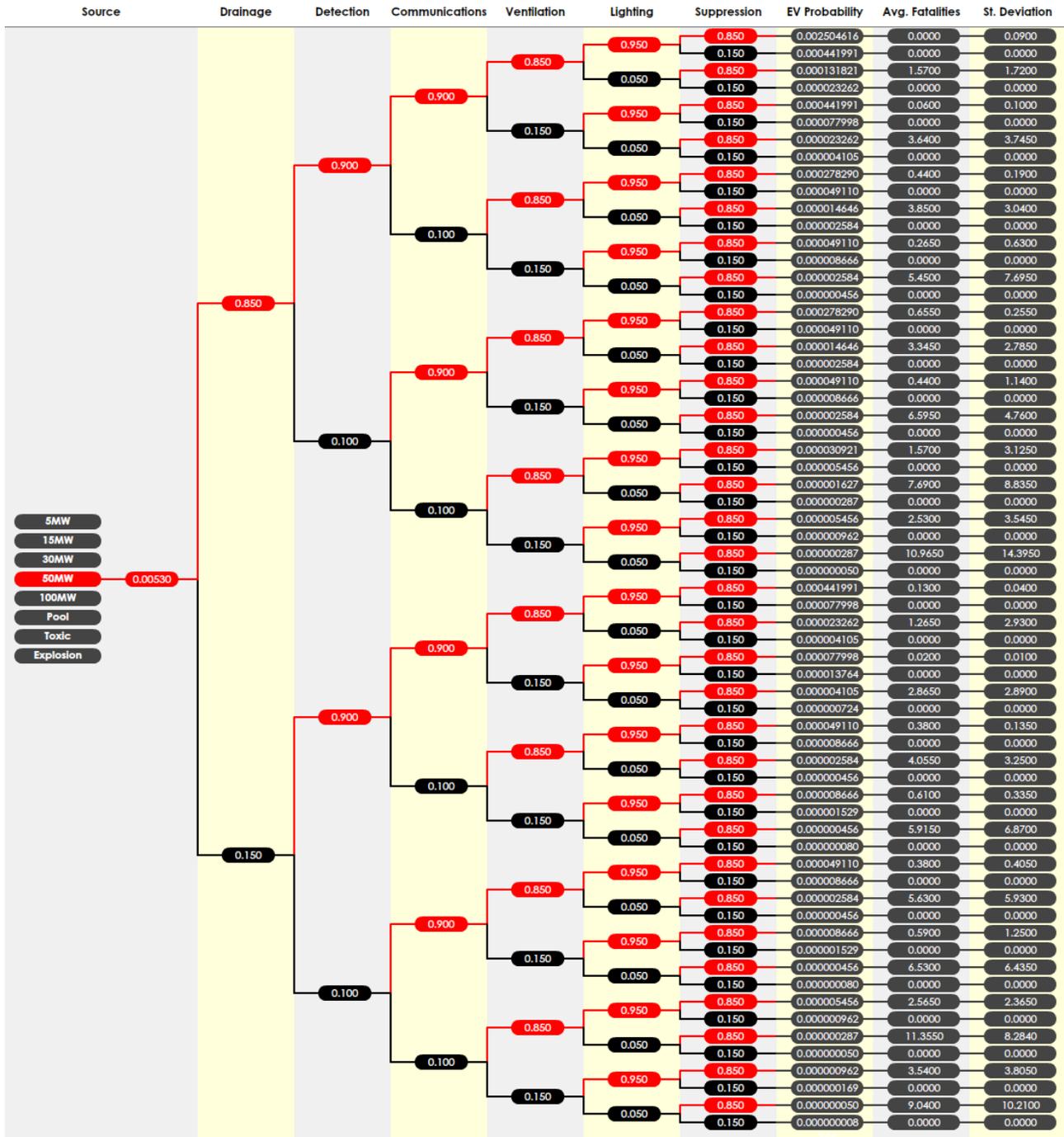
Allegato A: albero degli eventi

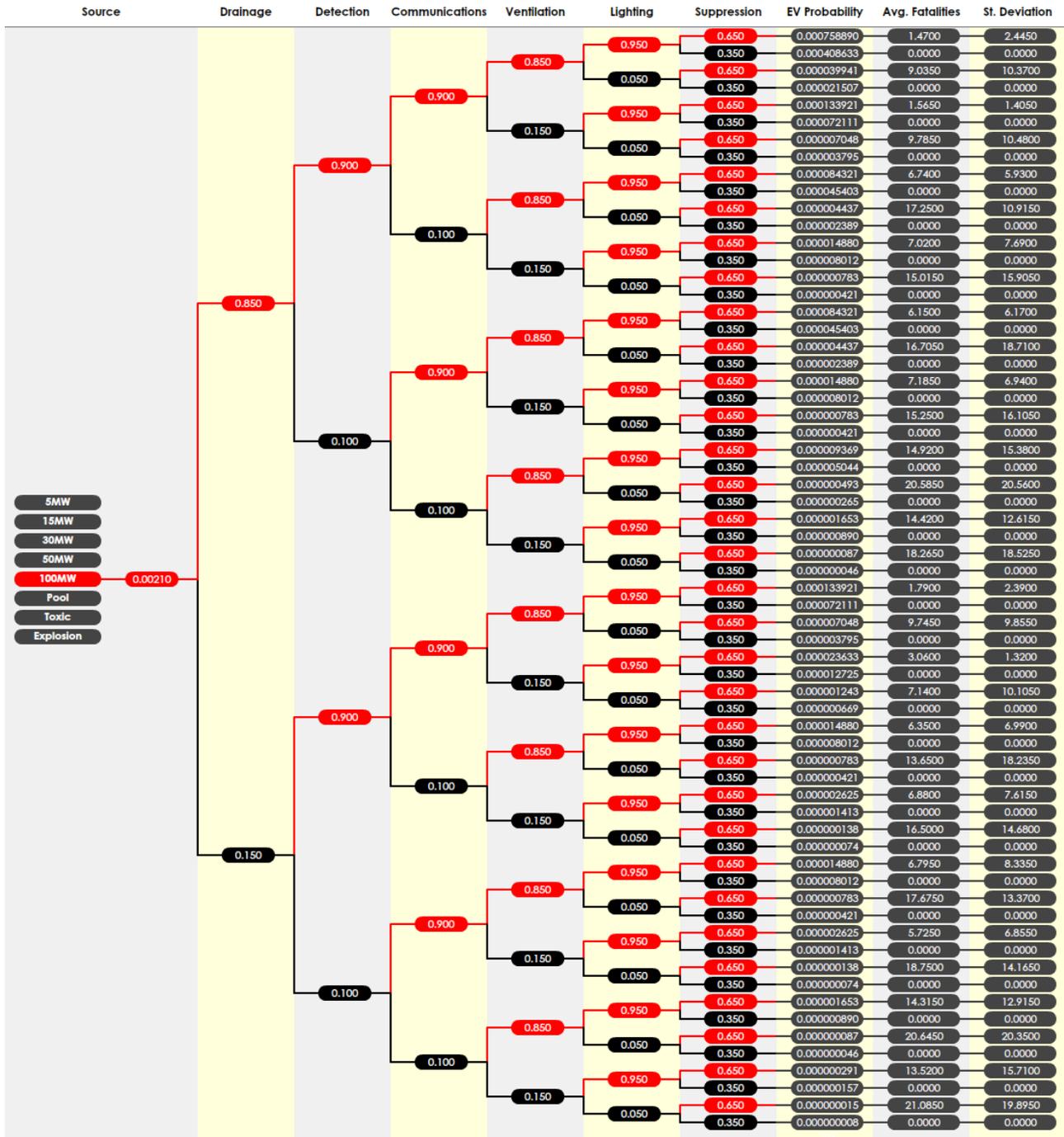
Configurazione di PE



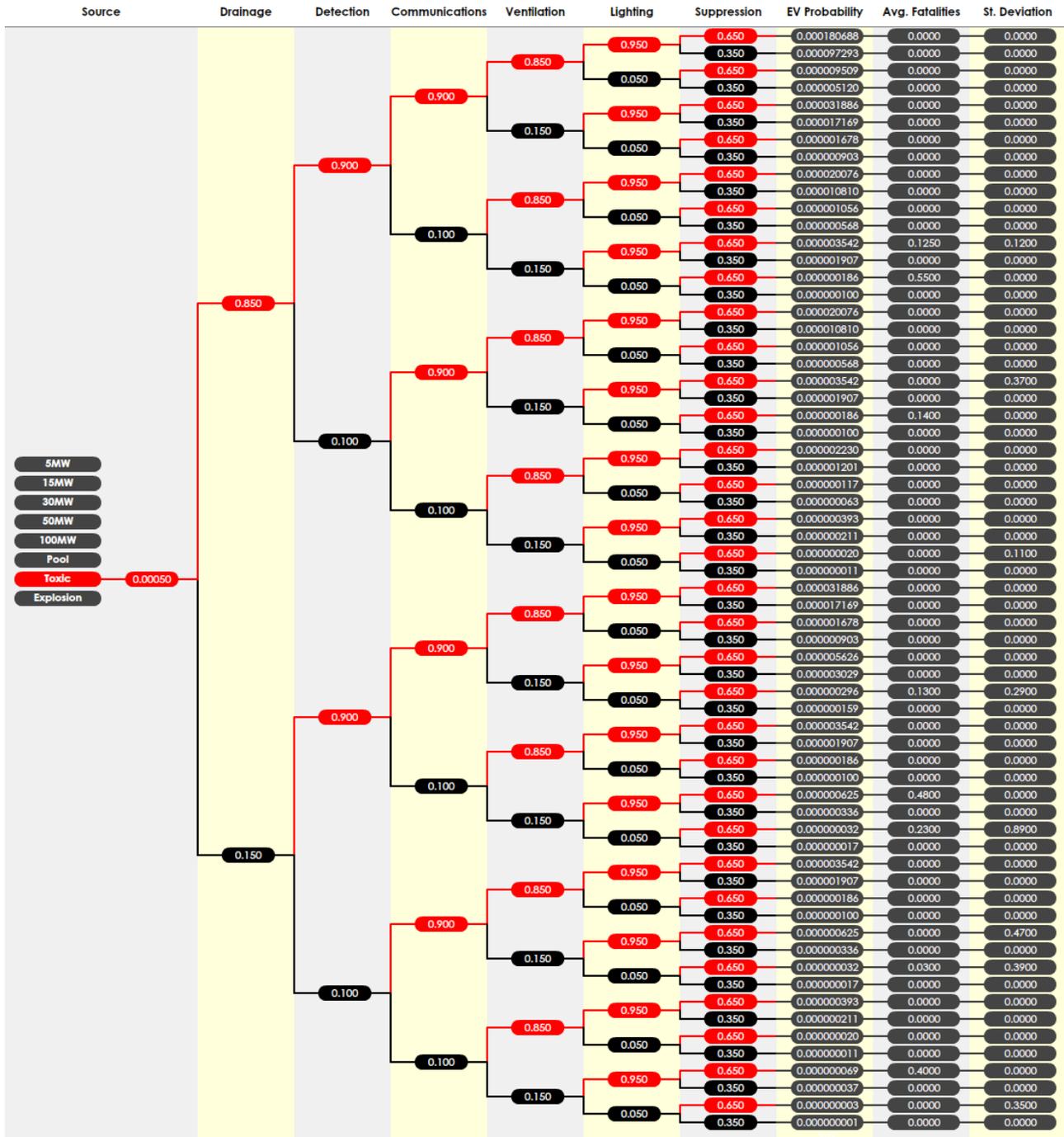


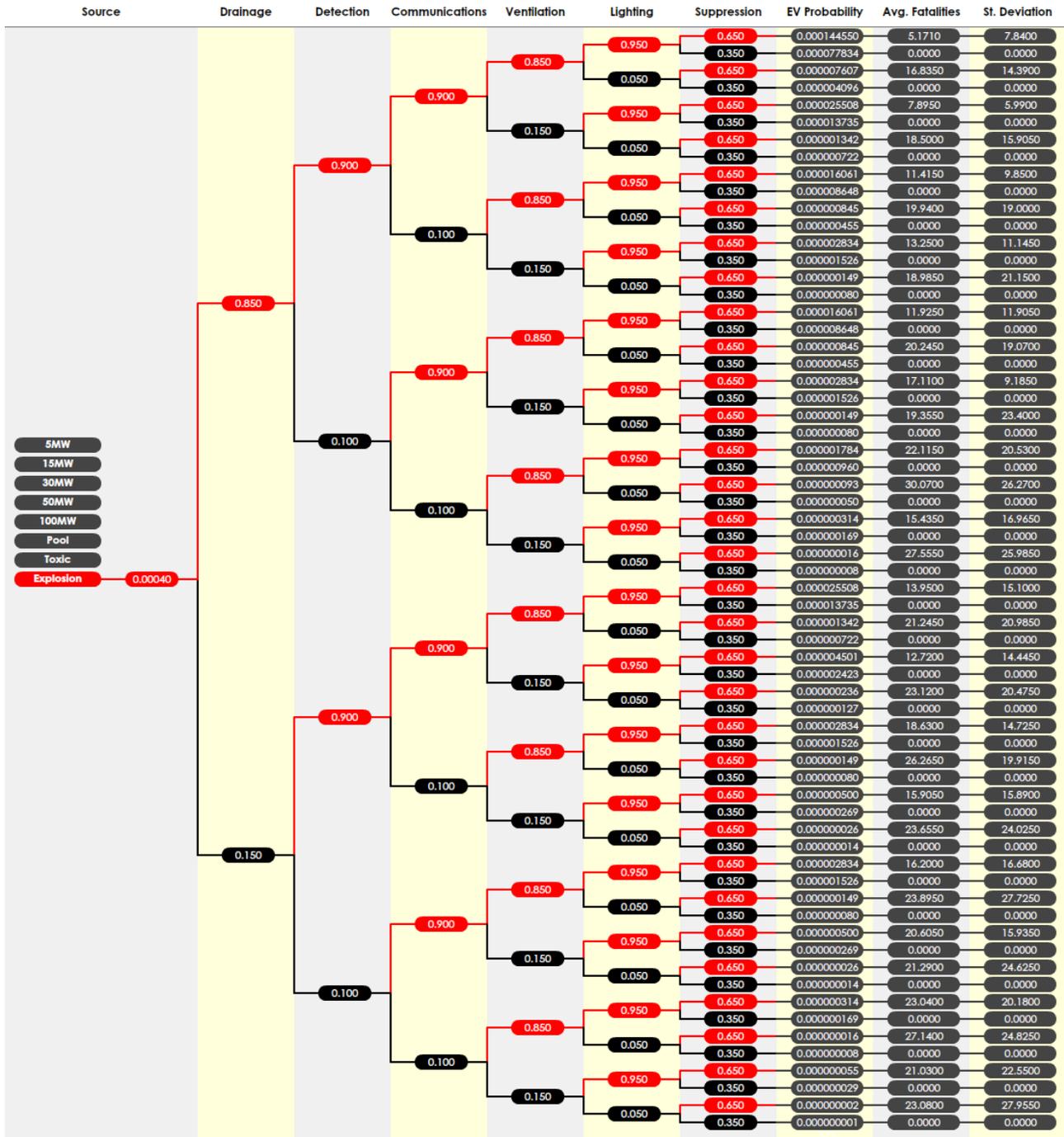


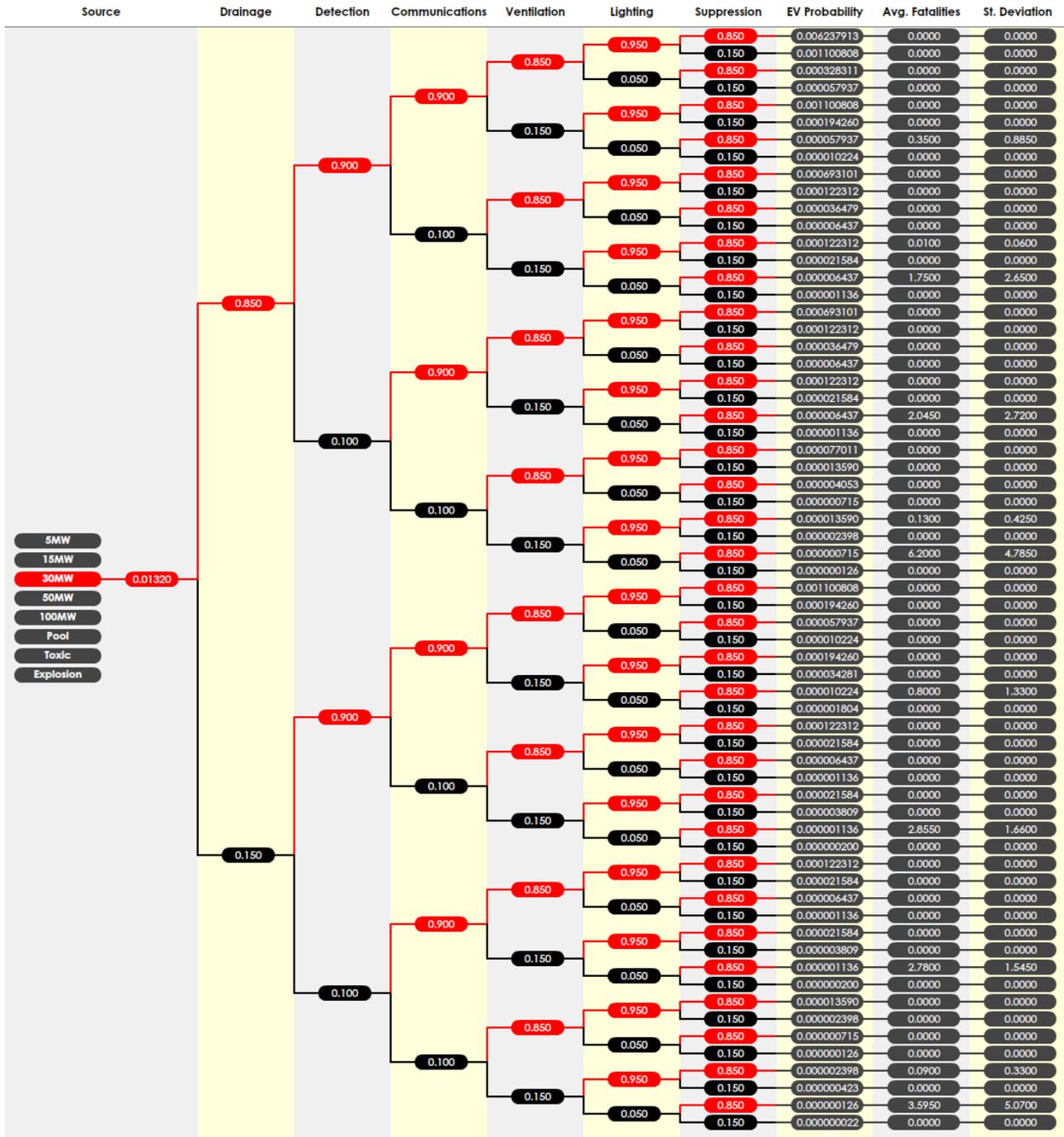


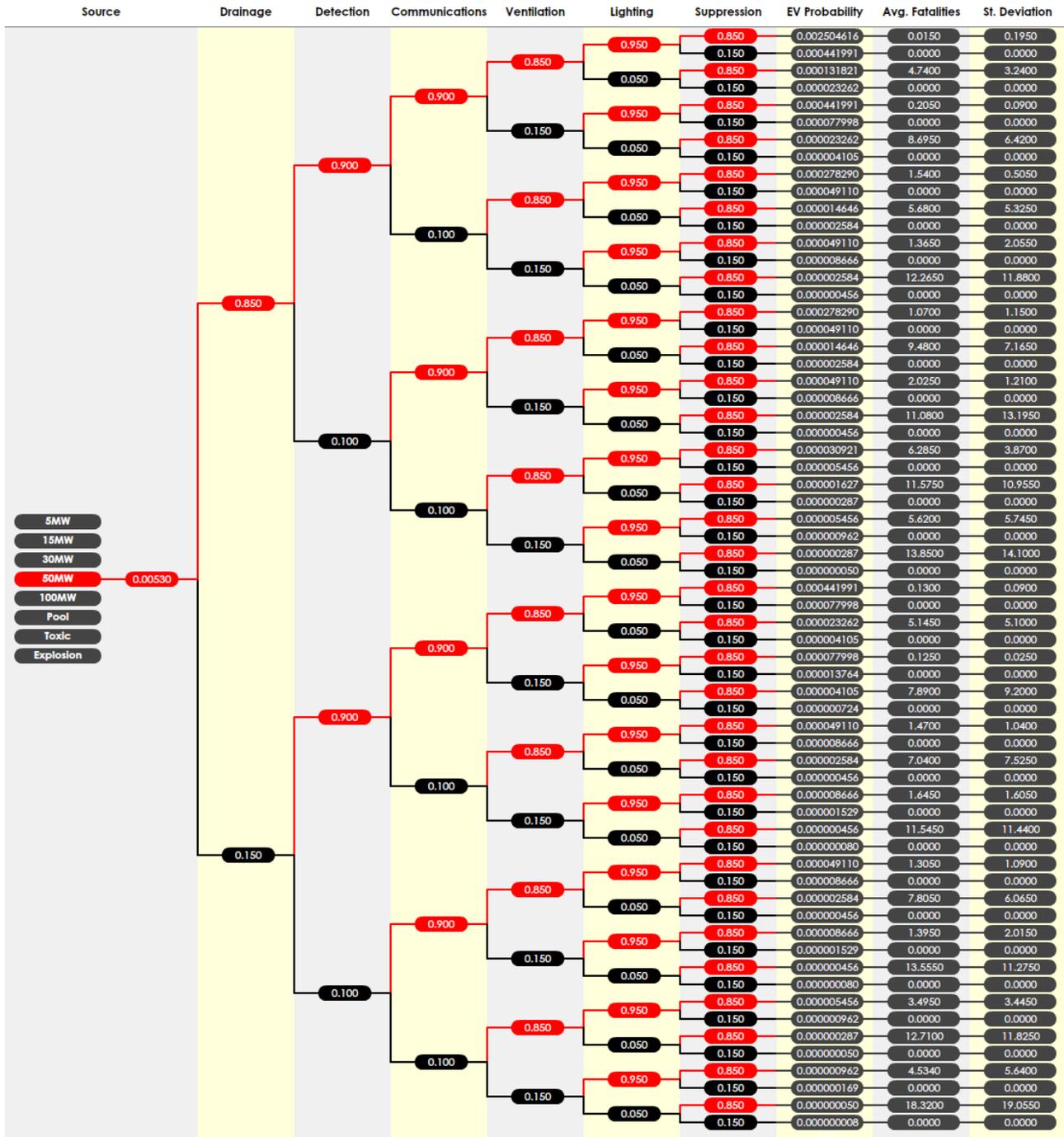


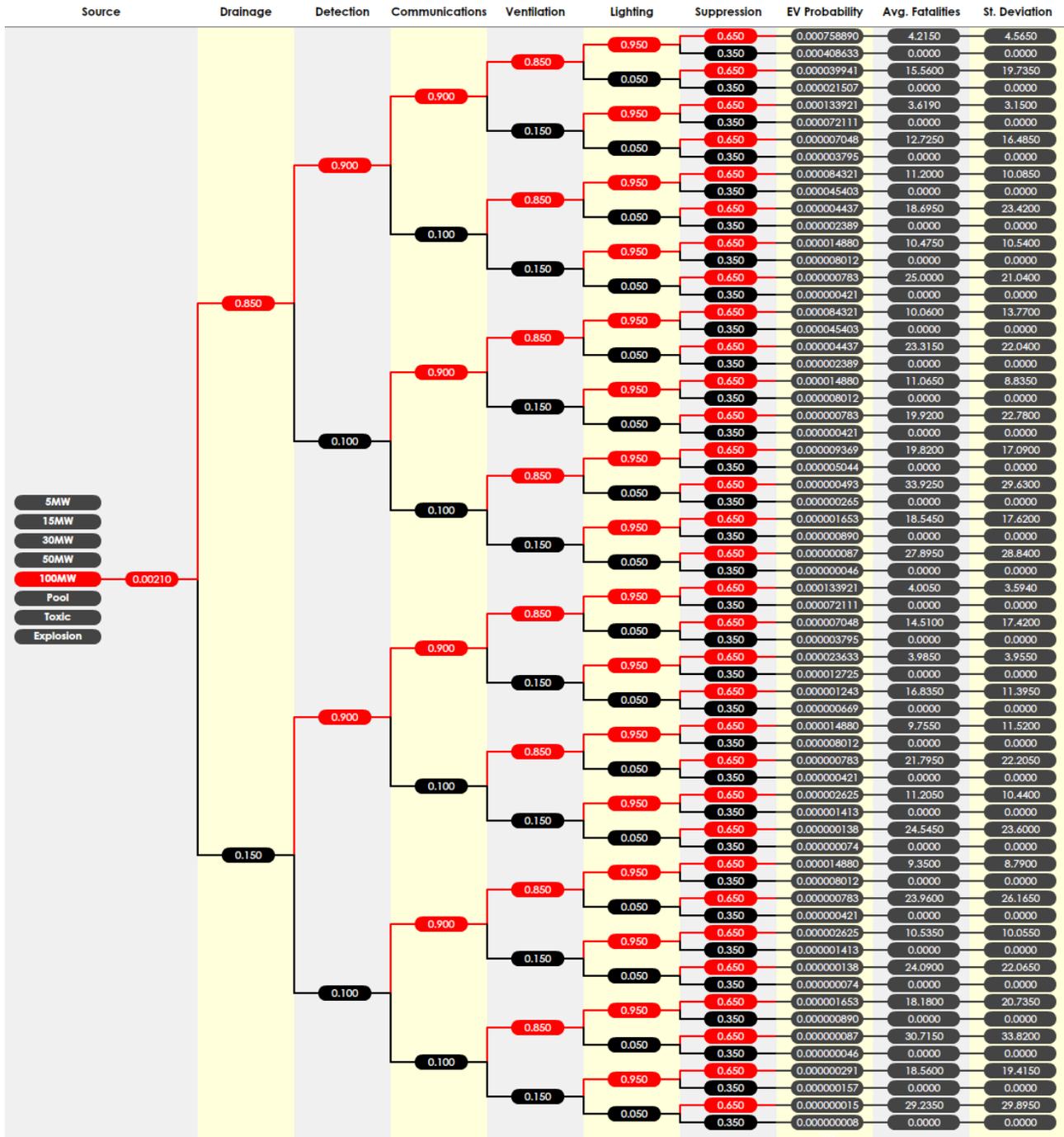
Source	Drainage	Detection	Communications	Ventilation	Lighting	Suppression	EV Probability	Avg. Fatalities	St. Deviation		
5MW 15MW 30MW 50MW 100MW Pool 0.00070 Toxic Explosion	0.850	0.900	0.900	0.850	0.950	0.650	0.000252963	0.0000	0.0000		
					0.350	0.000136211	0.0000	0.0000			
				0.050	0.650	0.000013313	0.9550	0.8500			
				0.950	0.350	0.000007169	0.0000	0.0000			
			0.150	0.950	0.650	0.000044640	0.1100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
				0.050	0.650	0.000002349	0.9900	0.9250			
									0.350	0.000001265	0.0000
			0.100	0.650	0.000028107	0.1600	0.1700				
								0.950	0.350	0.000015134	0.0000
				0.050	0.650	0.000001479	2.6000				
								0.350	0.000000796	0.0000	0.0000
			0.900	0.850	0.000004960	0.0000	0.0900				
								0.150	0.950	0.650	0.000002670
				0.050	0.650	0.000000261	2.1600				
								0.350	0.000000140	0.0000	0.0000
			0.100	0.650	0.000028107	0.2850	0.1850				
								0.950	0.350	0.000015134	0.0000
				0.050	0.650	0.000001479	1.9550				
								0.350	0.000000796	0.0000	0.0000
		0.900	0.850	0.000004960	0.0800	0.1350					
							0.150	0.950	0.650	0.000002670	0.0000
			0.050	0.650	0.000000261	1.8200					
							0.350	0.000000140	0.0000	0.0000	
		0.100	0.650	0.000003123	0.5250	0.7050					
							0.950	0.350	0.000001681	0.0000	0.0000
			0.050	0.650	0.000000164	4.9300					
							0.350	0.000000088	0.0000	0.0000	
		0.900	0.850	0.000000551	0.4600	0.5150					
							0.150	0.950	0.650	0.000000296	0.0000
			0.050	0.650	0.000000029	3.3900					
							0.350	0.000000015	0.0000	0.0000	
		0.900	0.850	0.000044640	5.6500	5.6150					
							0.150	0.950	0.650	0.000024037	0.0000
			0.050	0.650	0.000002349	14.5550					
							0.350	0.000001265	0.0000	0.0000	
		0.100	0.650	0.000007877	5.2740	6.0750					
							0.950	0.350	0.000004241	0.0000	0.0000
			0.050	0.650	0.000000414	15.2650					
							0.350	0.000000223	0.0000	0.0000	
0.900	0.850	0.000004960	11.6300	10.2600							
					0.150	0.950	0.650	0.000002670	0.0000	0.0000	
	0.050	0.650	0.000000261	17.4450							17.5750
					0.350	0.000000140	0.0000	0.0000			
0.100	0.650	0.00000875	13.5900	12.9800							
					0.950	0.350	0.000000471	0.0000	0.0000		
	0.050	0.650	0.000000046	21.3950						24.1650	
					0.350	0.000000024	0.0000	0.0000			
0.900	0.850	0.000004960	13.6750	13.9150							
					0.150	0.950	0.650	0.000002670	0.0000	0.0000	
	0.050	0.650	0.000000261	22.2050							20.7200
					0.350	0.000000140	0.0000	0.0000			
0.100	0.650	0.00000875	12.7100	12.5600							
					0.950	0.350	0.000000471	0.0000	0.0000		
	0.050	0.650	0.000000046	23.3750						21.7000	
					0.350	0.000000024	0.0000	0.0000			
0.900	0.850	0.000000551	21.1050	23.3500							
					0.150	0.950	0.650	0.000000296	0.0000	0.0000	
	0.050	0.650	0.000000029	28.9150							27.1450
					0.350	0.000000015	0.0000	0.0000			
0.100	0.650	0.000000097	21.9650	23.3000							
					0.950	0.350	0.000000052	0.0000	0.0000		
	0.050	0.650	0.000000005	27.6700						27.9200	
					0.350	0.000000002	0.0000	0.0000			

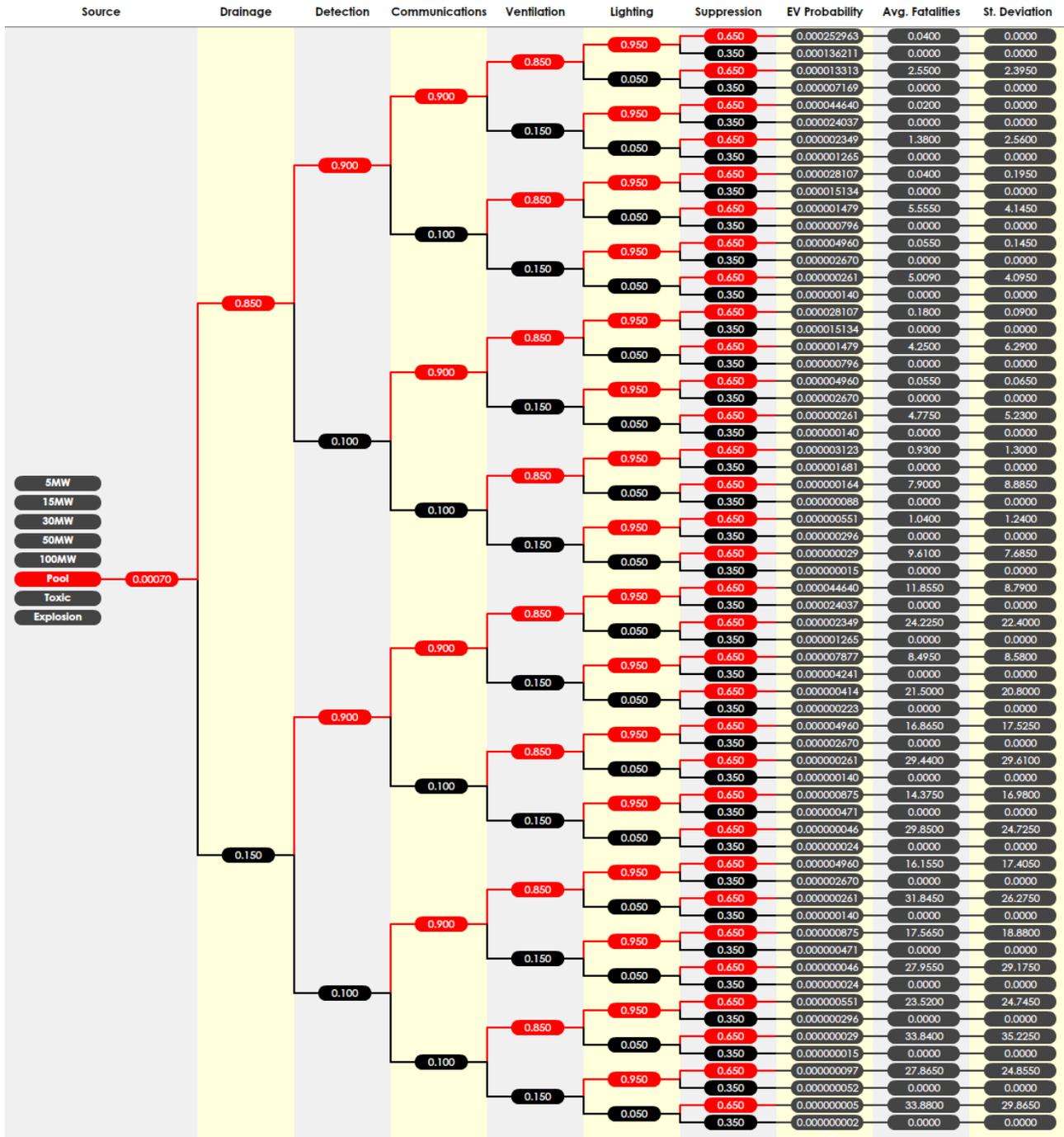


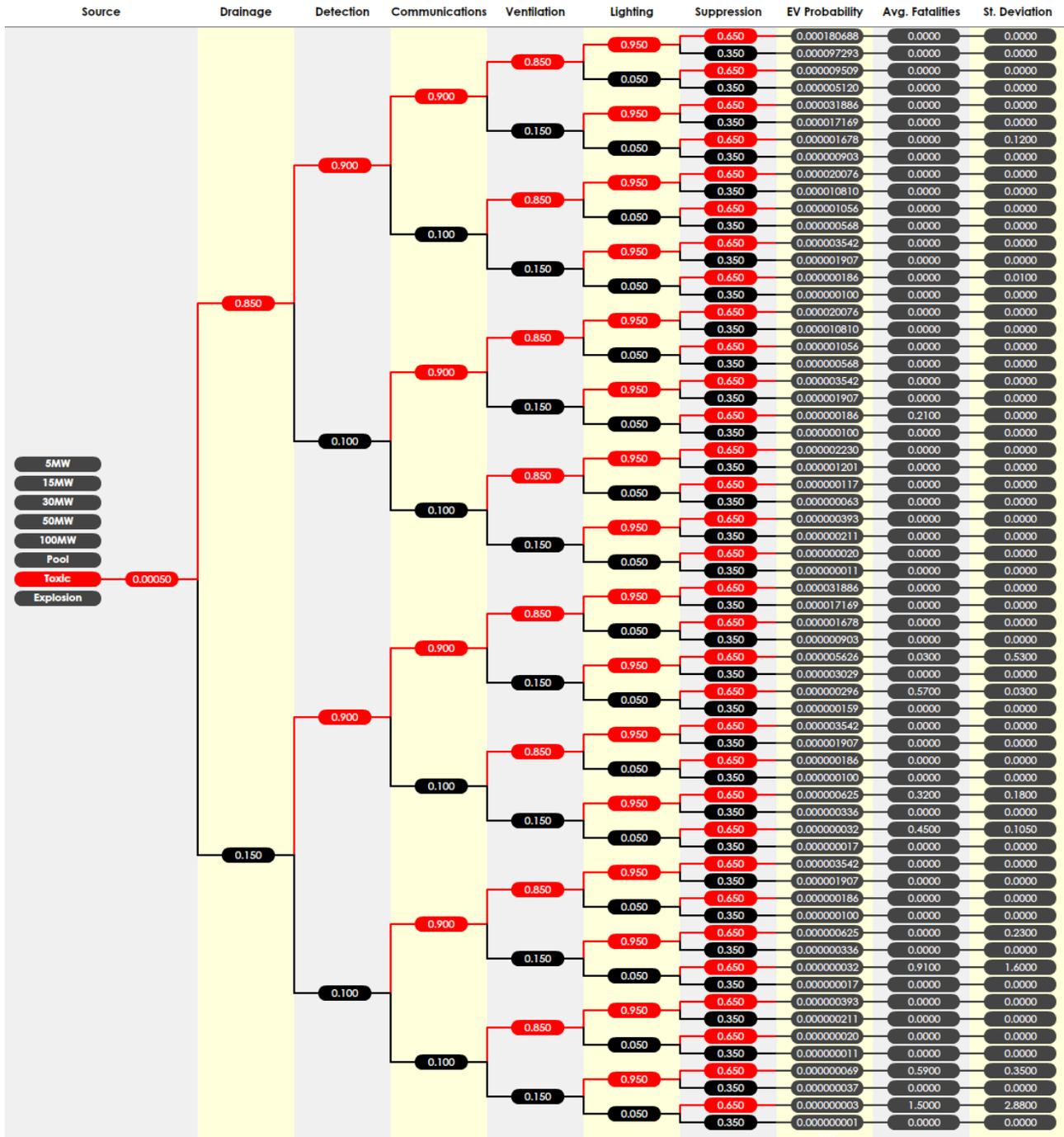


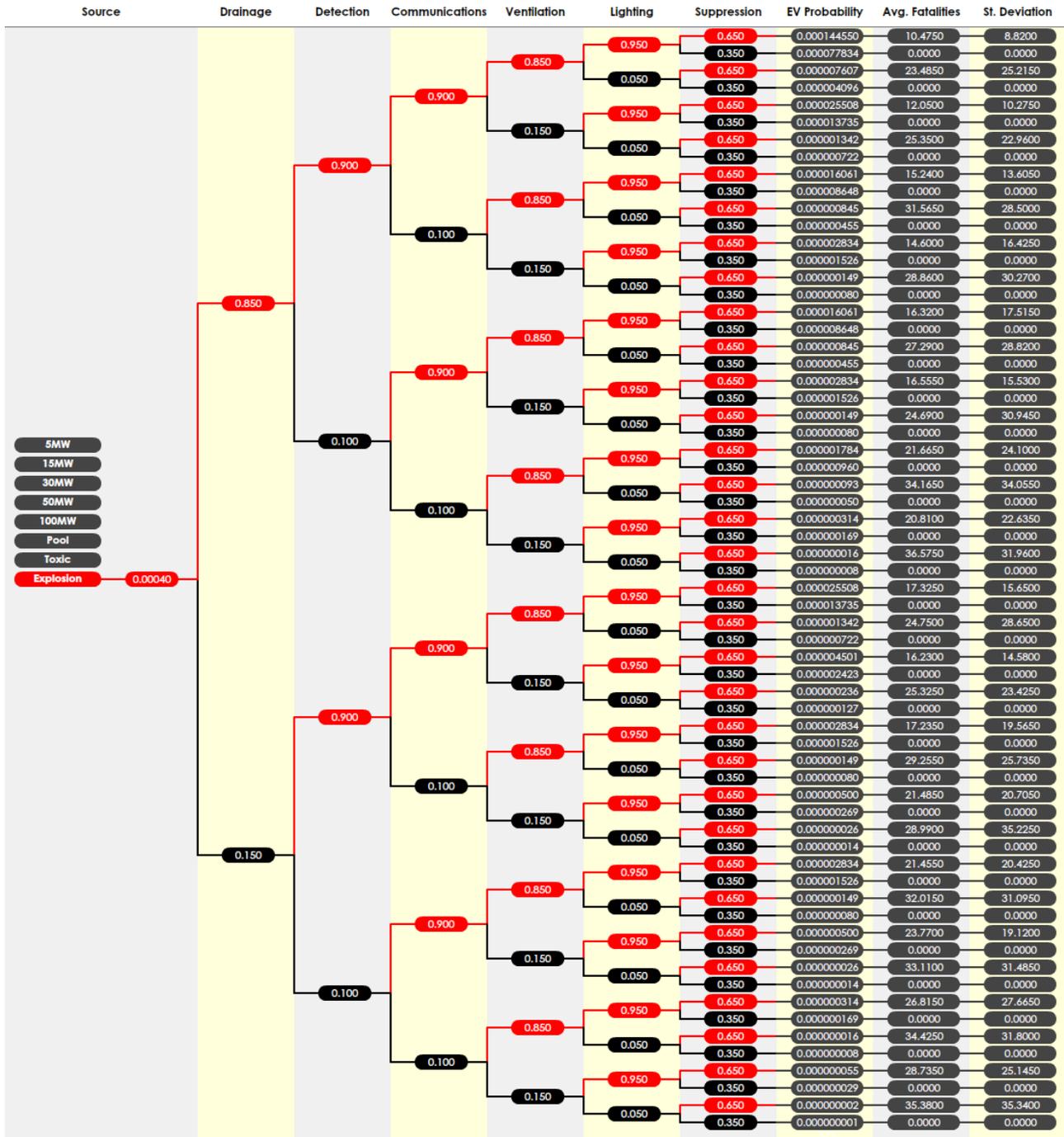




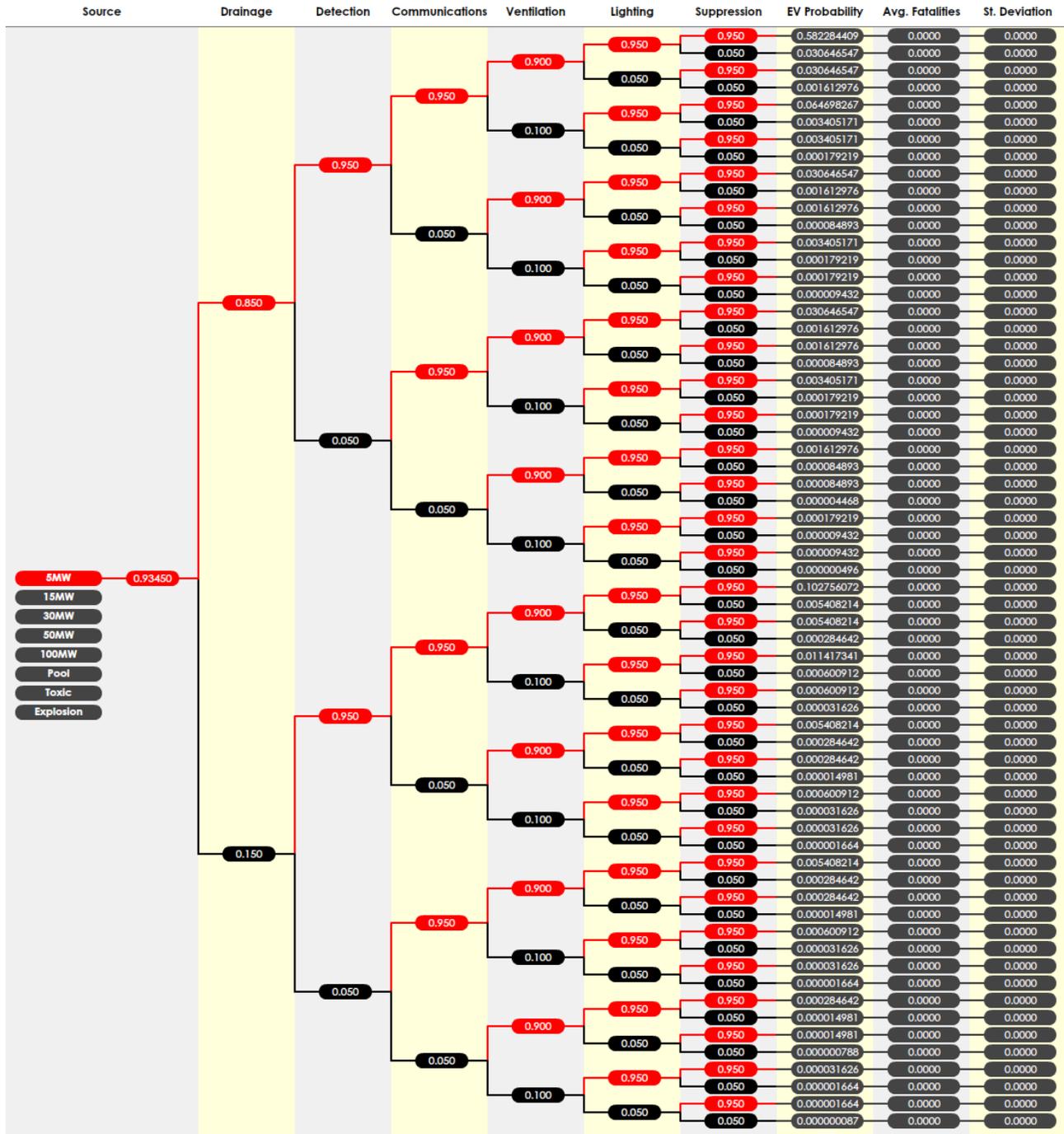


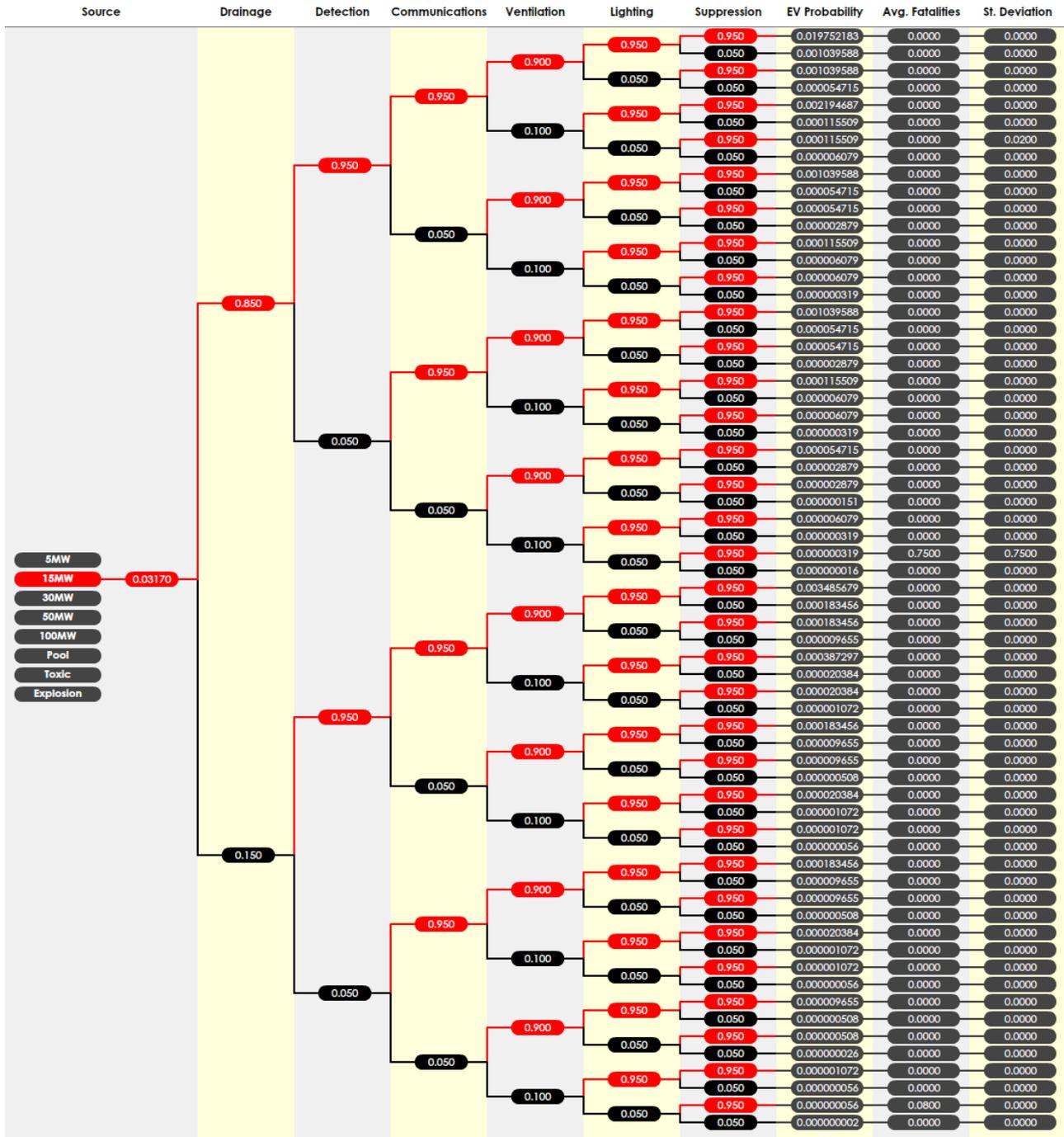


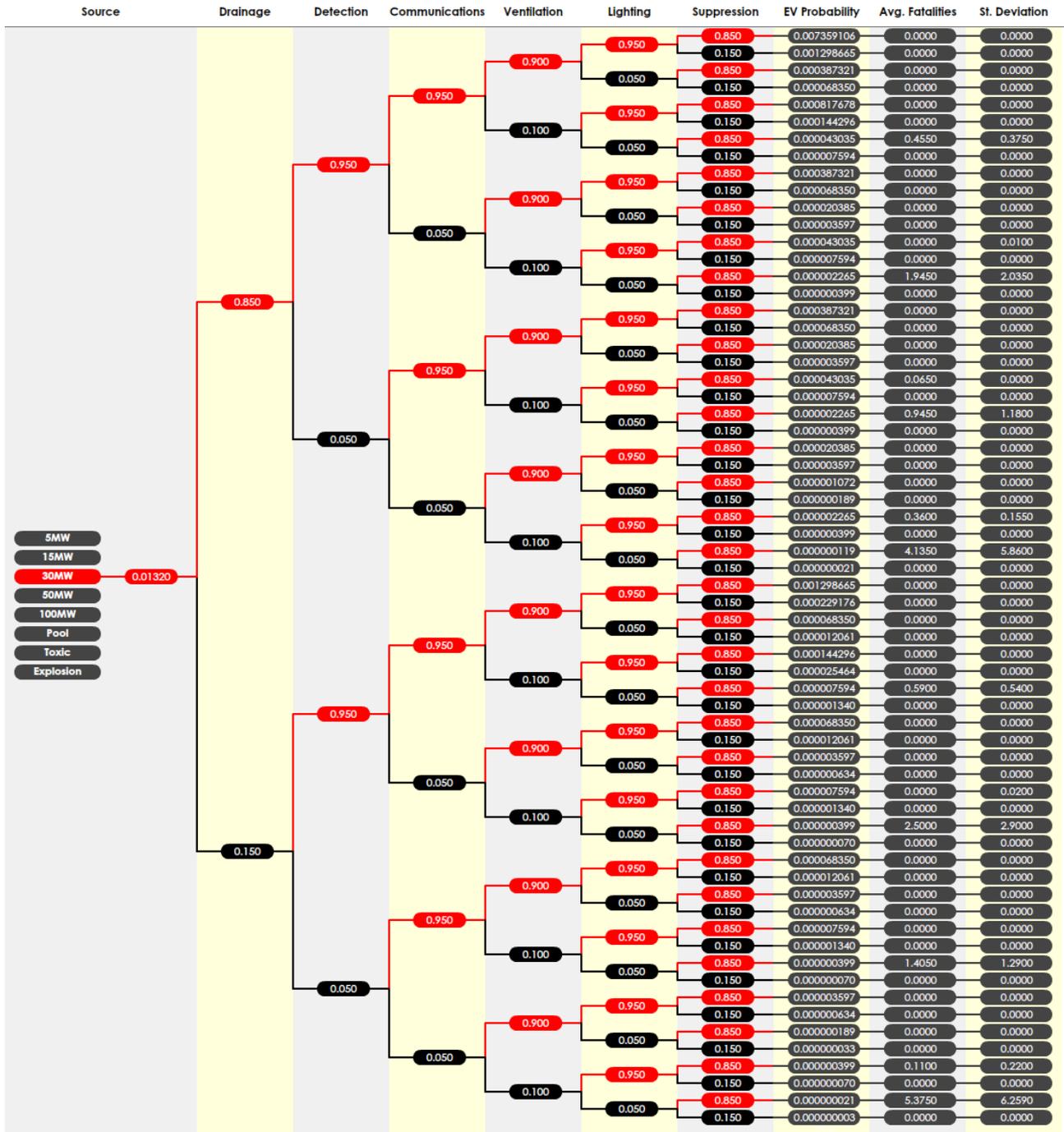


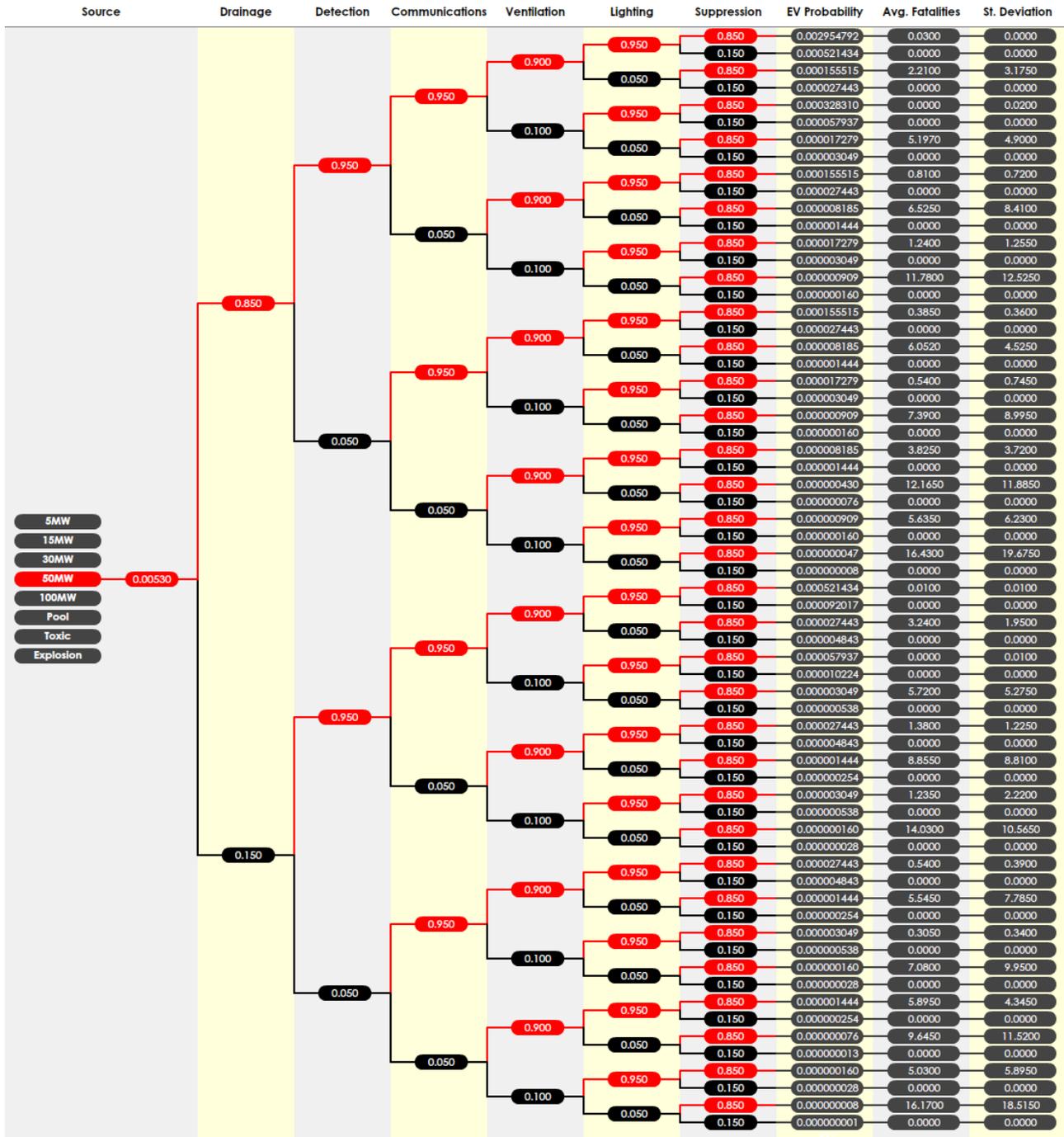


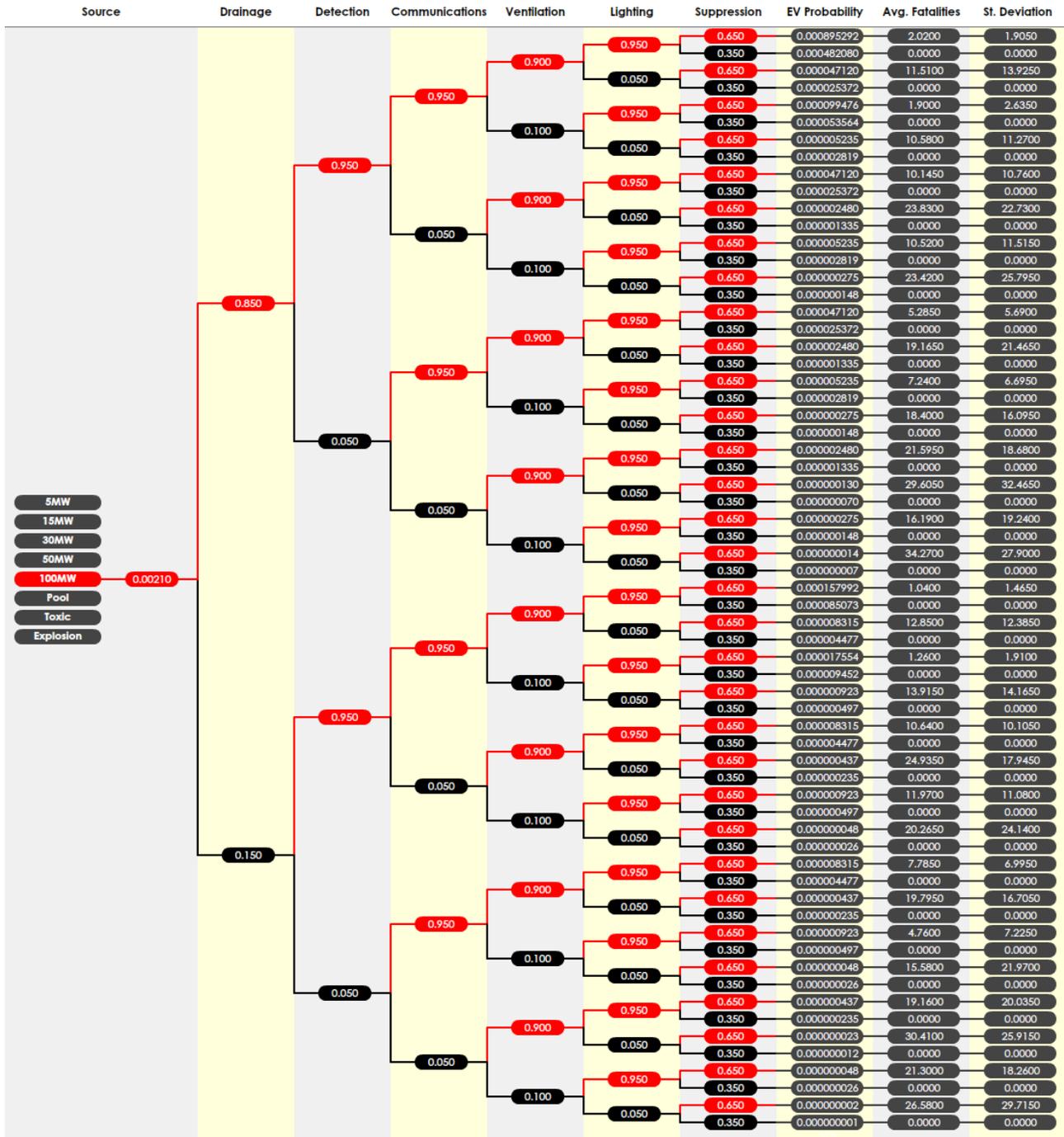
Configurazione di Perizia di Variante n.4 con SCADRA



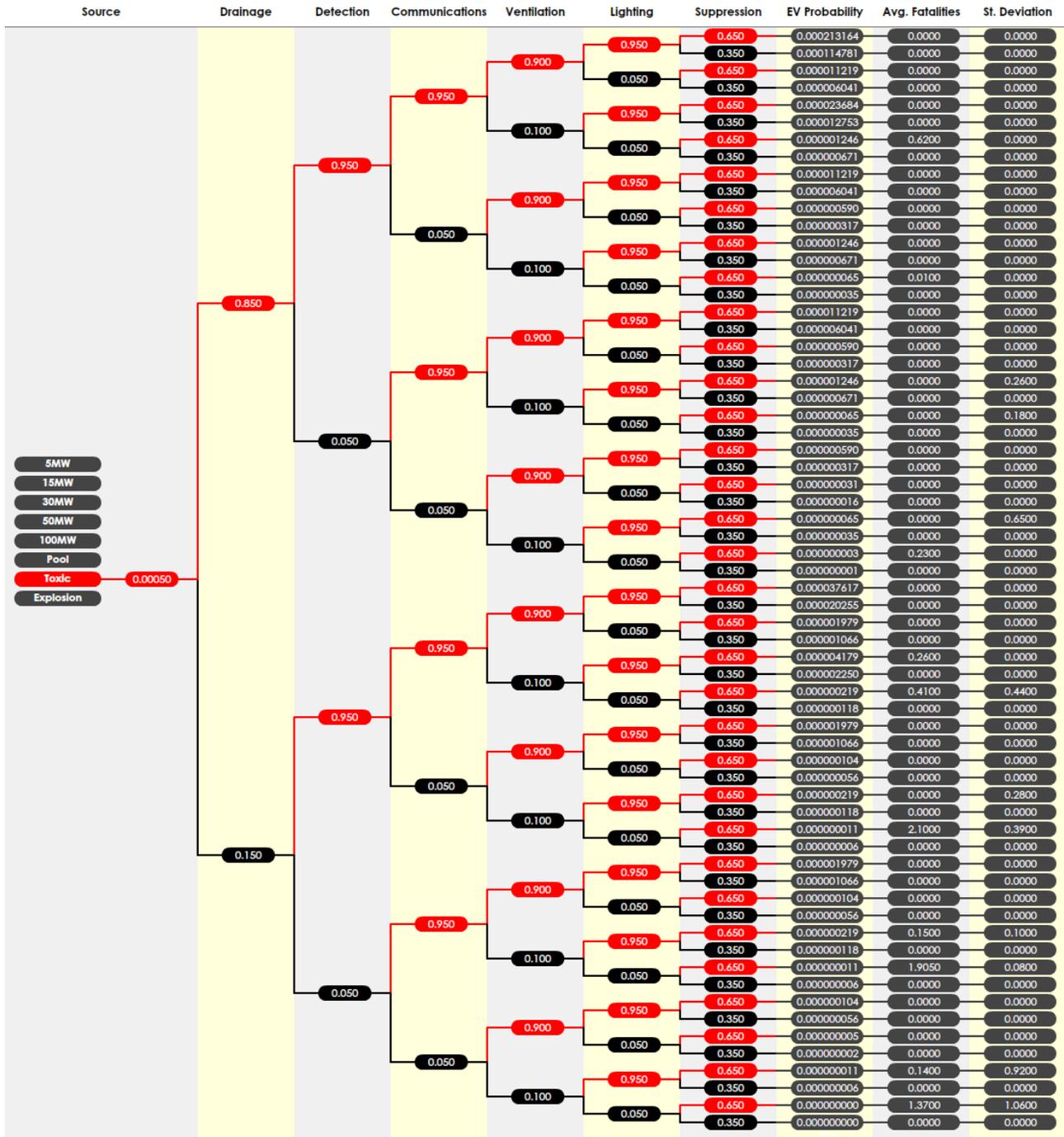


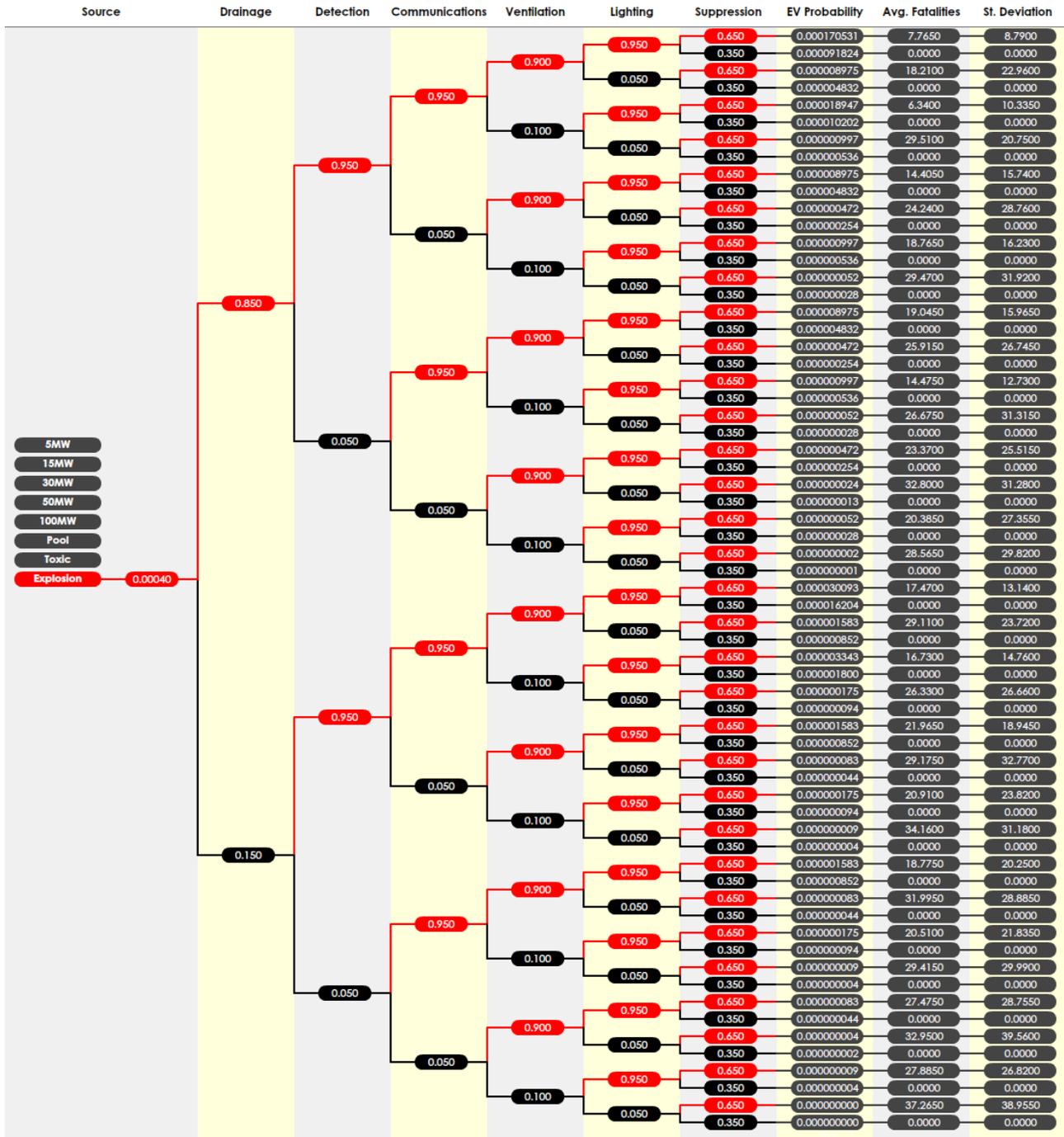






Source	Drainage	Detection	Communications	Ventilation	Lighting	Suppression	EV Probability	Avg. Fatalities	St. Deviation
5MW 15MW 30MW 50MW 100MW Pool 0.00070 Toxic Explosion	0.850	0.950	0.950	0.900	0.950	0.650	0.000298430	0.0000	0.0000
					0.350	0.000160693	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000015706	0.8400	0.5950	
					0.050	0.000008457	0.0000	0.0000	
					0.950	0.000033158	0.0000	0.0000	
					0.350	0.000017854	0.0000	0.0000	
					0.050	0.000001745	1.1750	1.3550	
					0.350	0.000000939	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000015706	0.1500	0.1300	
					0.350	0.000008457	0.0000	0.0000	
					0.050	0.000008226	4.5650	4.0200	
					0.350	0.000004445	0.0000	0.0000	
					0.950	0.000001745	0.1050	0.5300	
					0.350	0.000000939	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000000991	4.0050	3.6500	
					0.350	0.000000049	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000015706	0.0500	0.0200	
					0.350	0.000008457	0.0000	0.0000	
					0.050	0.000008226	3.2100	2.9950	
					0.350	0.000004445	0.0000	0.0000	
					0.950	0.000001745	0.0300	0.0900	
					0.350	0.000000939	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000000991	3.3700	3.1500	
					0.350	0.000000049	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000008226	1.1600	0.6800	
					0.350	0.000004445	0.0000	0.0000	
					0.950	0.000000043	9.4300	7.8850	
					0.050	0.000000223	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000000991	1.7450	1.0300	
					0.350	0.000000049	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000000004	8.1850	8.8400	
					0.350	0.000000002	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000052664	4.8050	4.1500	
					0.350	0.000028357	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000002771	15.0650	17.1150	
					0.350	0.000001492	0.0000	0.0000	
					0.950	0.000005851	4.5650	4.3200	
					0.350	0.000003150	0.0000	0.0000	
					0.050	0.00000307	17.5200	16.7400	
					0.350	0.000000165	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000002771	15.5650	15.5750	
					0.350	0.000001492	0.0000	0.0000	
					0.950	0.000000145	28.4500	30.3150	
					0.050	0.000000078	0.0000	0.0000	
					0.650	0.00000307	17.5850	16.9150	
					0.350	0.000000165	0.0000	0.0000	
					0.050	0.000000016	29.0100	31.3400	
					0.350	0.000000008	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000002771	11.8300	11.3750	
					0.350	0.000001492	0.0000	0.0000	
					0.950	0.000000145	21.4850	21.2350	
					0.050	0.000000078	0.0000	0.0000	
					0.650	0.00000307	11.5100	11.4050	
					0.350	0.000000165	0.0000	0.0000	
					0.050	0.000000016	21.9200	26.3200	
					0.350	0.000000008	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000000045	25.2950	25.9050	
					0.350	0.000000078	0.0000	0.0000	
					0.950	0.000000007	33.6850	34.8850	
					0.050	0.000000004	0.0000	0.0000	
					0.650	0.000000016	21.5000	22.9900	
					0.350	0.000000008	0.0000	0.0000	
					0.950	0.000000000	38.4100	33.1500	
					0.050	0.000000000	0.0000	0.0000	





	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

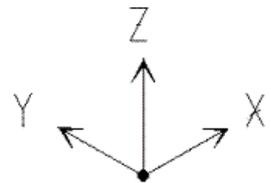
	Studio della sicurezza Galleria Caltanissetta SS n.640 di "Porto Empedocle"	Commessa: 630-PE2
		Rev. 1

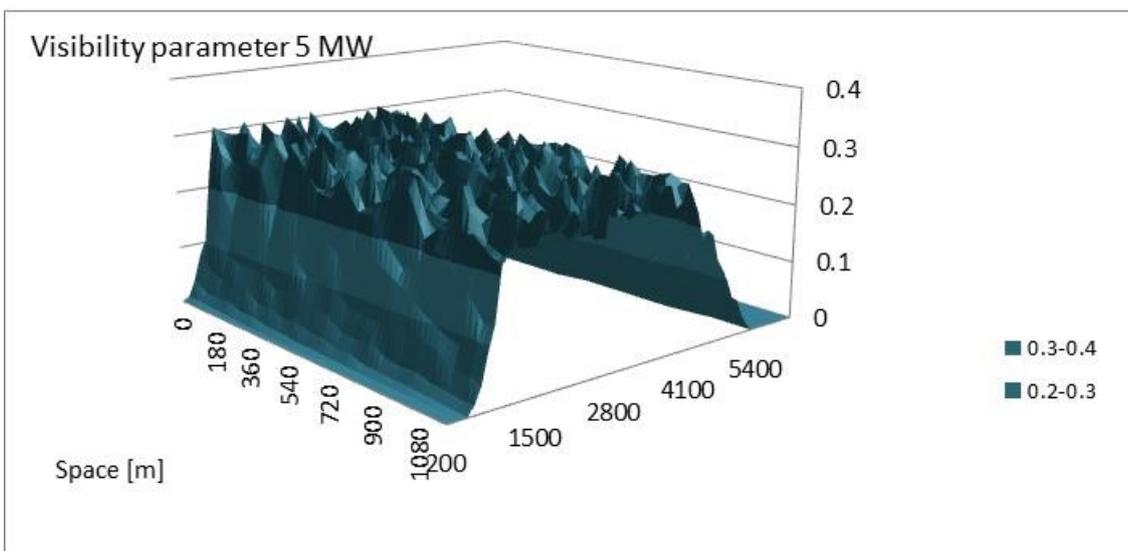
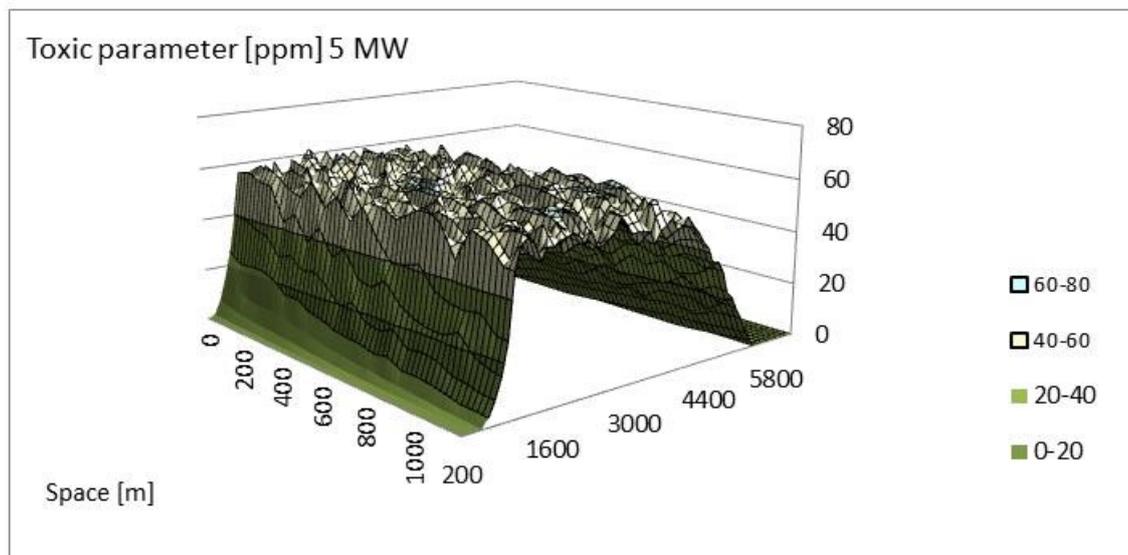
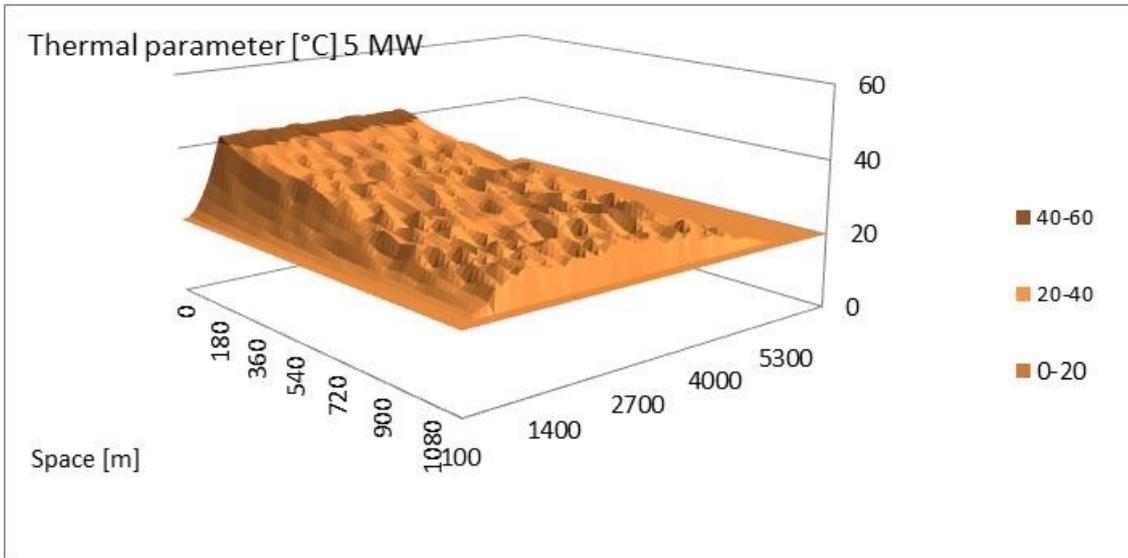
Allegato B: simulazioni di flusso del pericolo

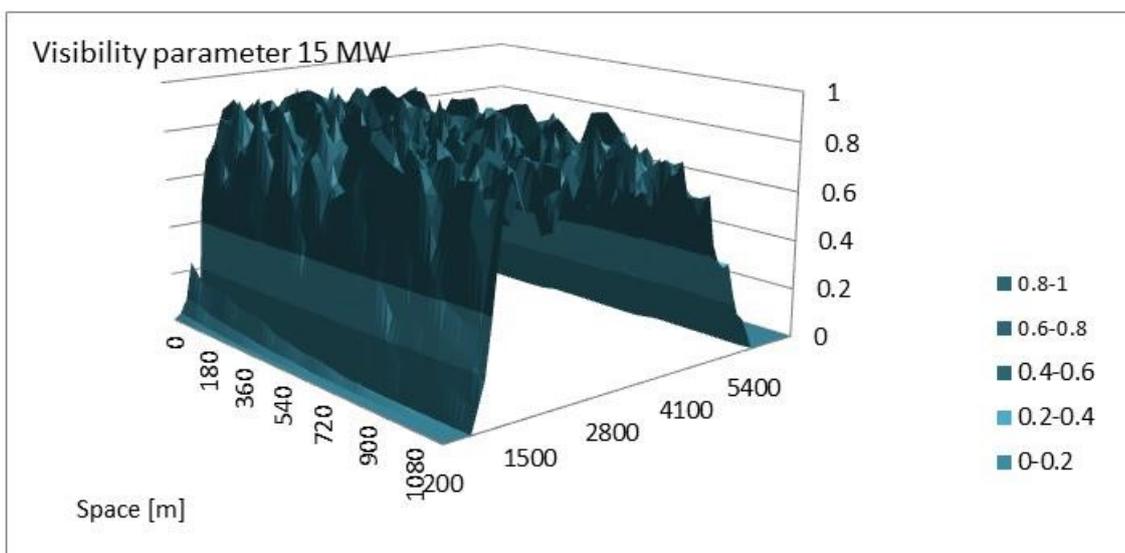
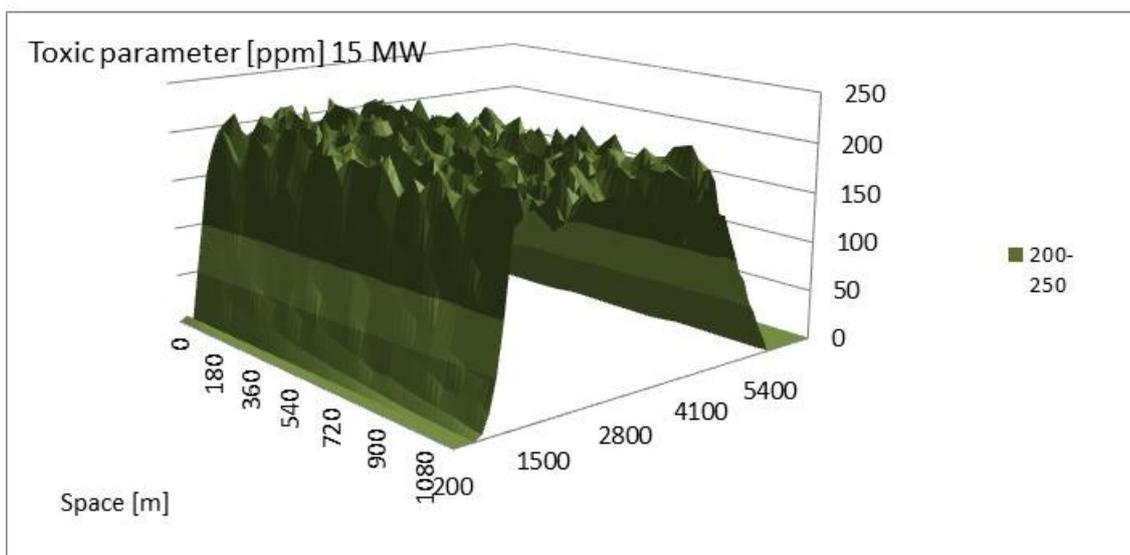
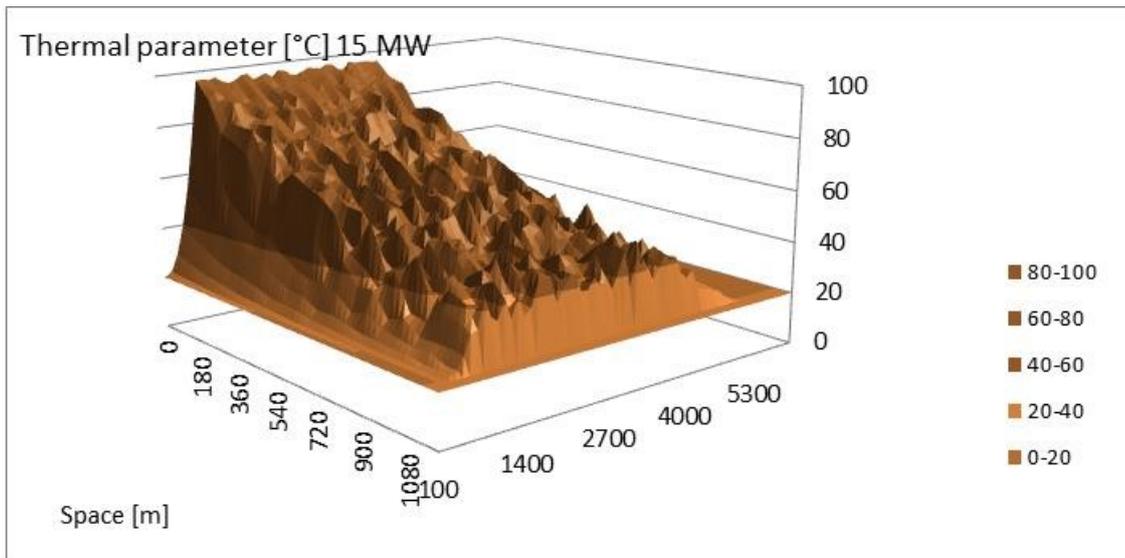
Di seguito sono riportati i risultati delle simulazioni del flusso del pericolo condotte con il software EURAM 2.0 all'interno dell'analisi di rischio.

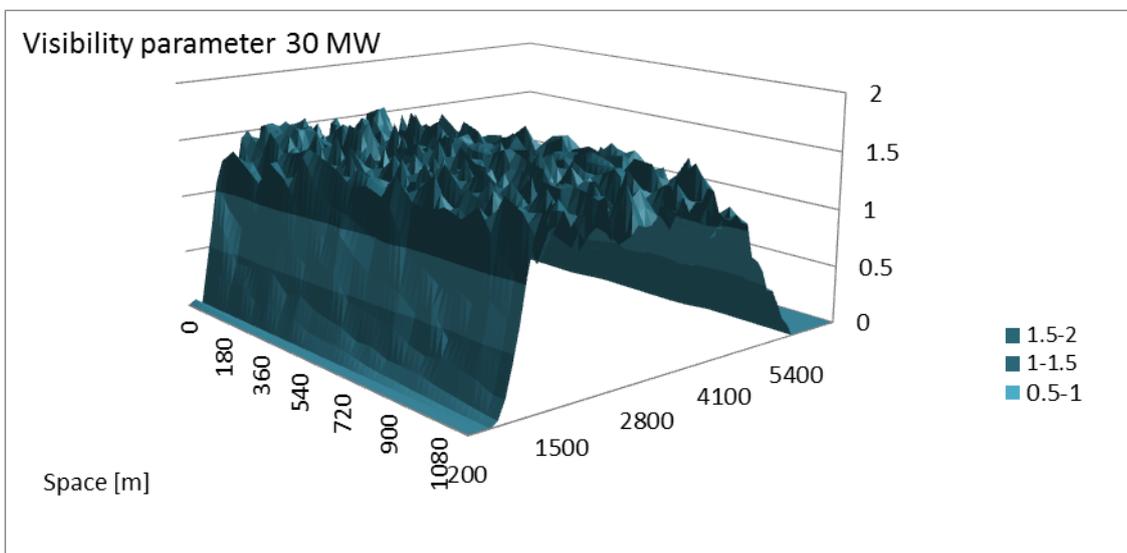
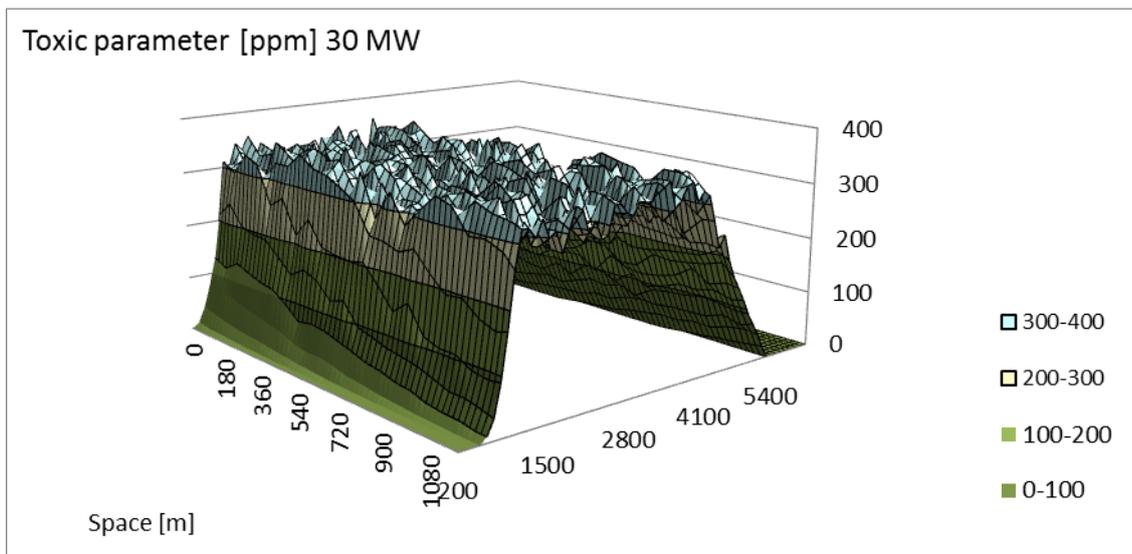
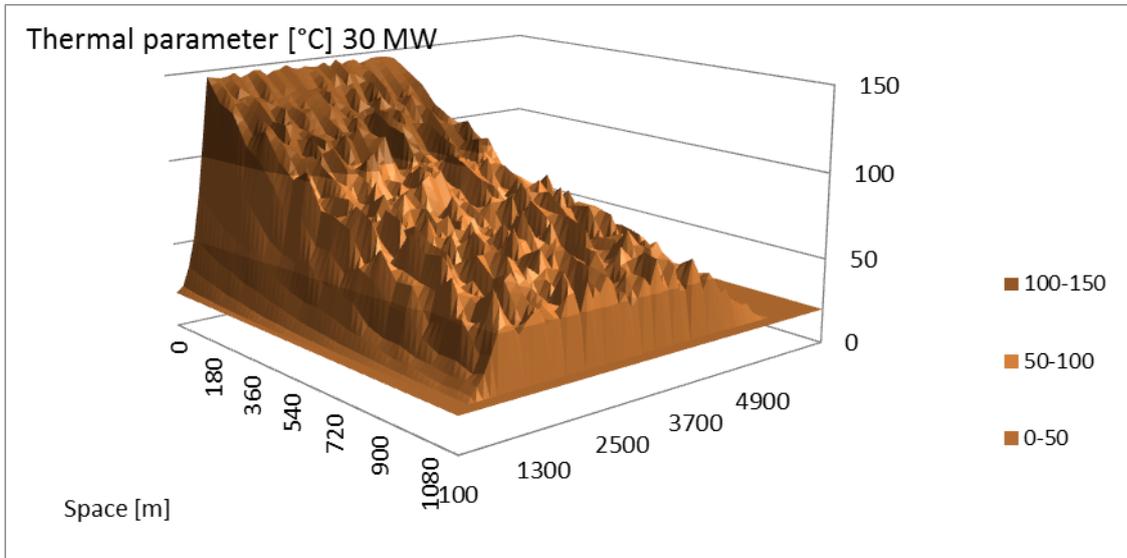
I grafici rappresentano l'evoluzione della simulazione nello spazio e nel tempo per ogni carico d'incendio considerato. Lungo gli assi x,y,z (vedi figura sottostante) dei grafici sono rappresentati:

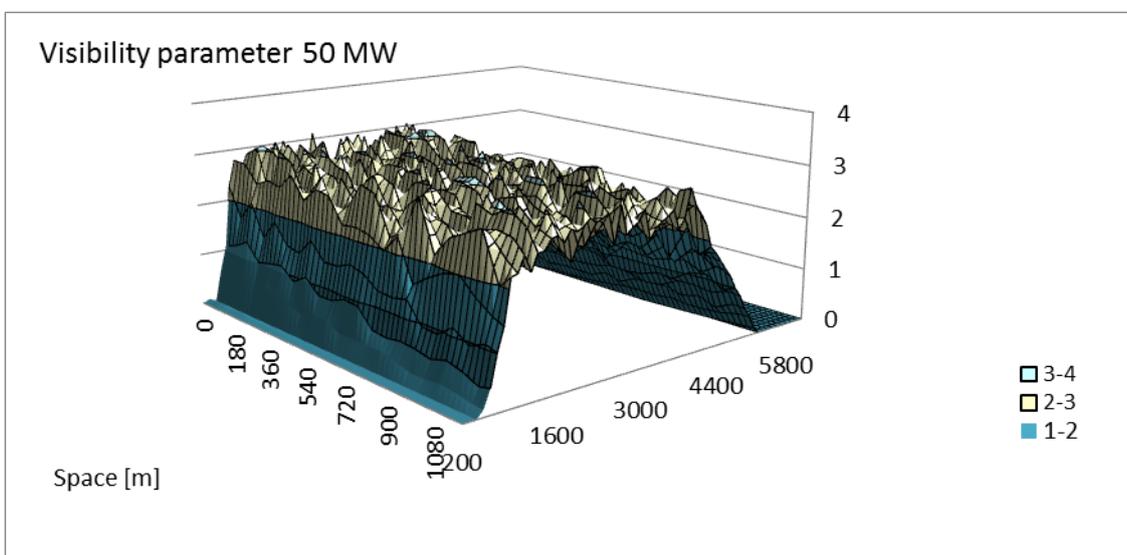
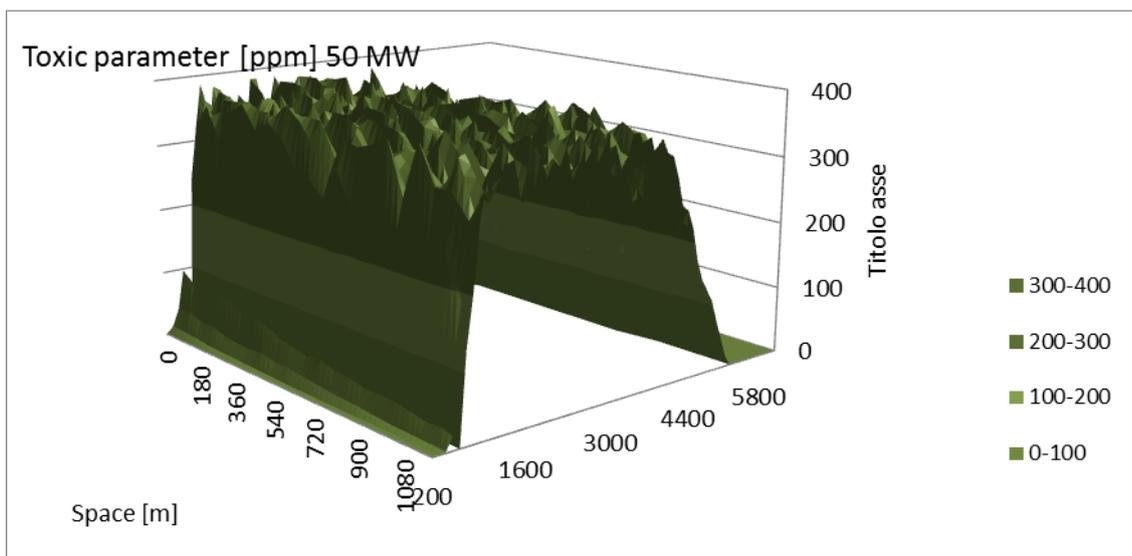
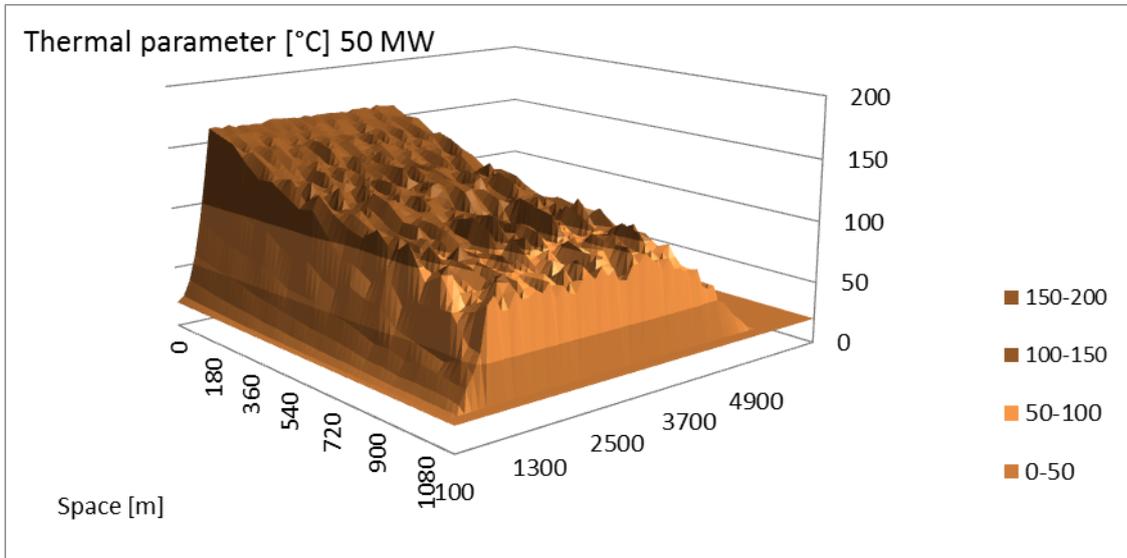
- asse x: tempo;
- asse y: spazio;
- asse z: variabile di riferimento, che per i n.3 grafici riportati per la singola potenza incendio considerata è rispettivamente identificata in:
 - temperatura, espressa in °C;
 - concentrazione di monossido di carbonio, espressa come concentrazione in parti per milione;
 - coefficiente di estinzione, ovvero misura dell'opacità dei fumi, espresso in m^{-1}



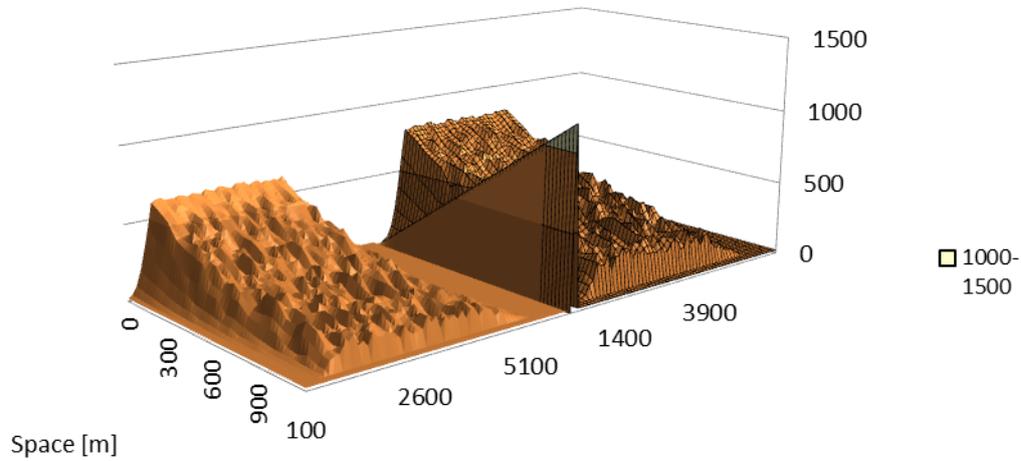




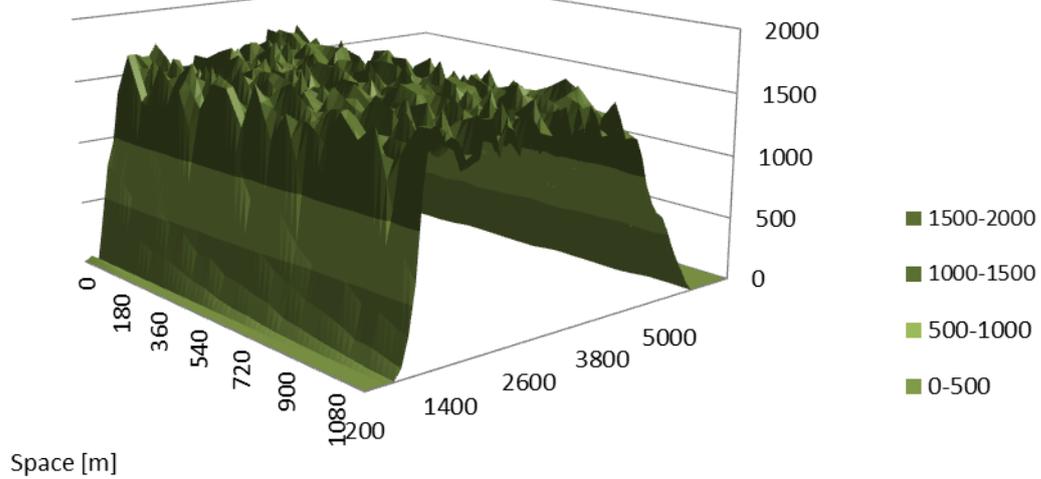




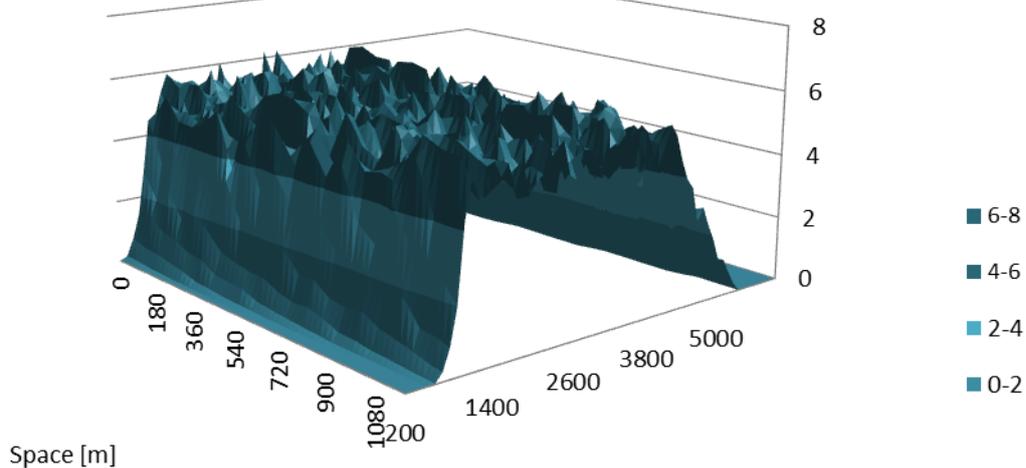
Thermal parameter [°C] 100 MW

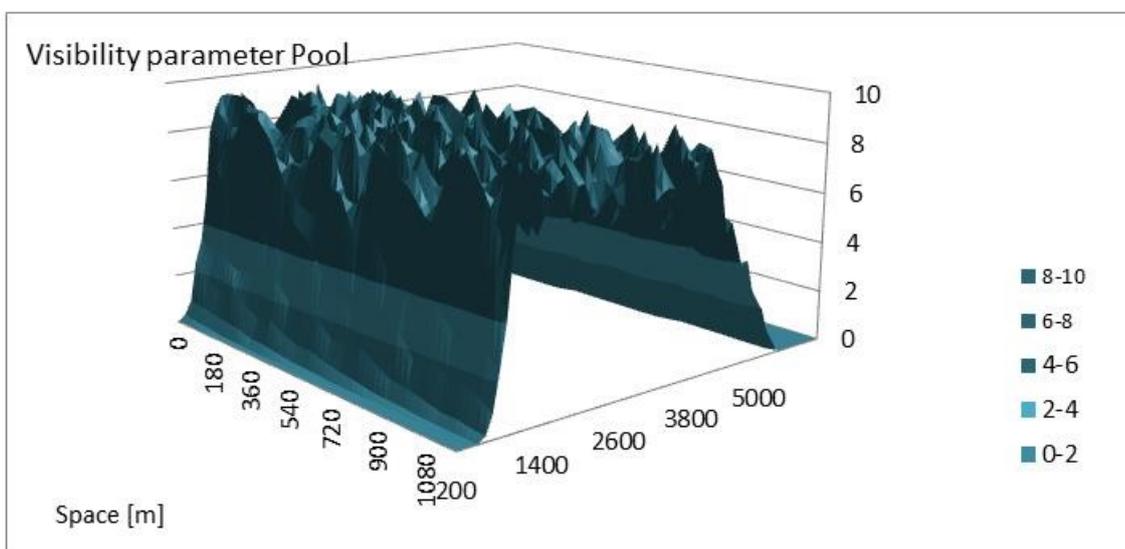
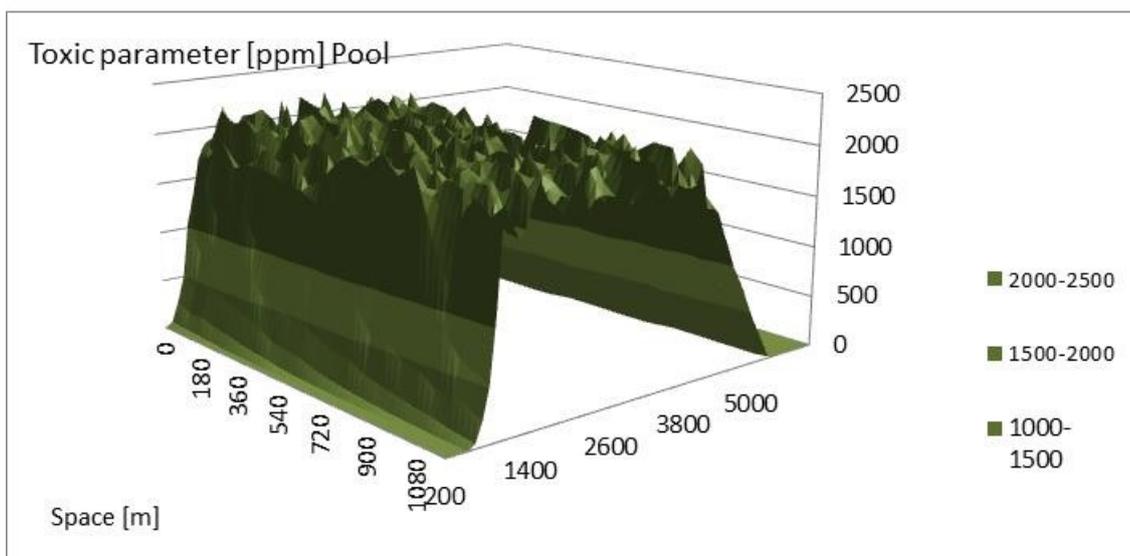
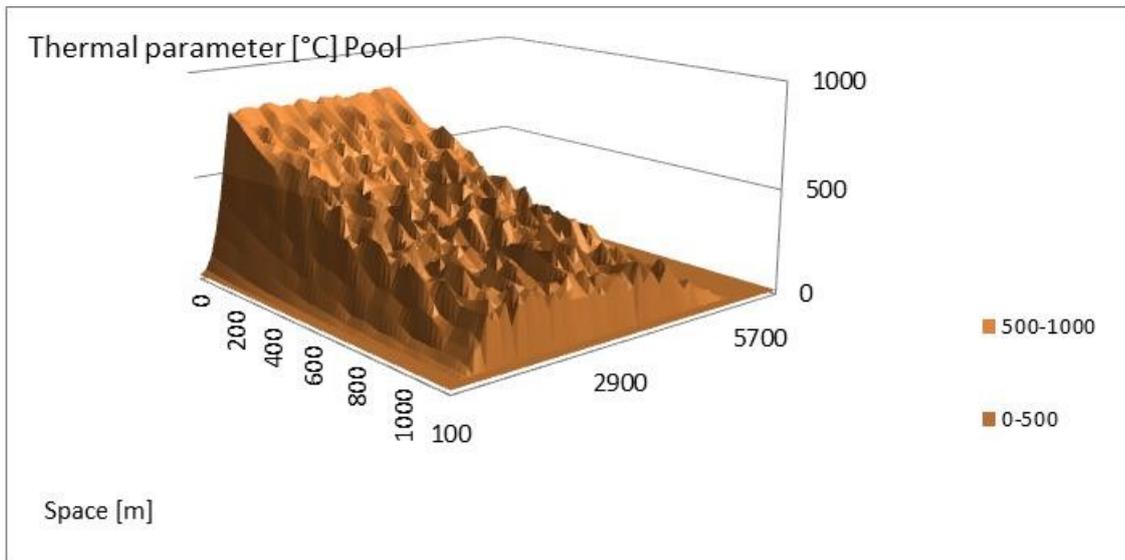


Toxic parameter [ppm] 100 MW

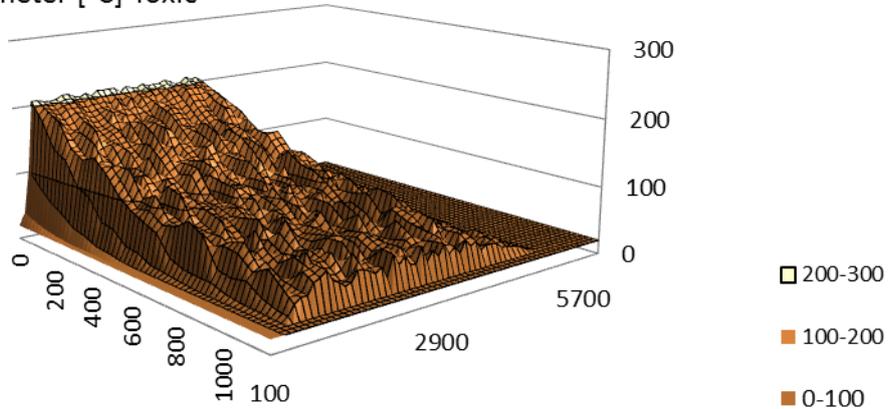


Visibility parameter 100 MW



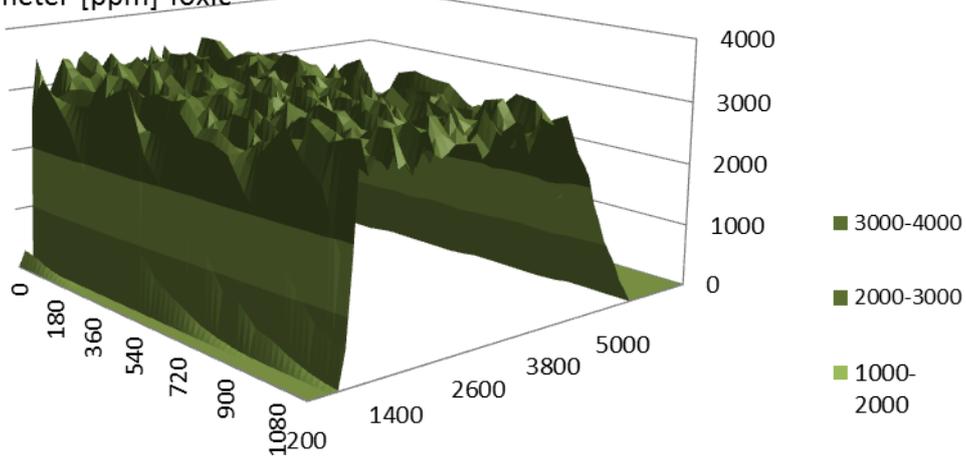


Thermal parameter [°C] Toxic



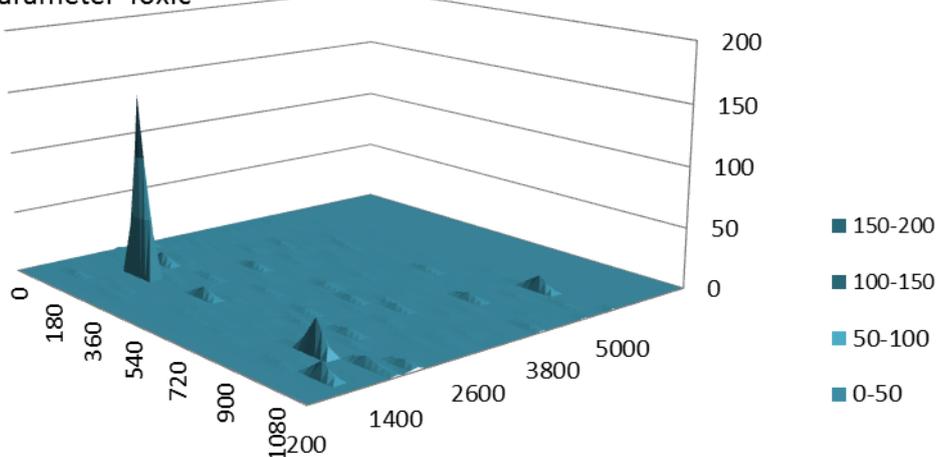
Space [m]

Toxic parameter [ppm] Toxic



Space [m]

Visibility parameter Toxic



Space [m]

